

PGS. TS. NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO XÂY DỰNG VIETCONS
CHƯƠNG TRÌNH - MỖI NGÀY MỘT CUỐN SÁCH



KẾT CẤU BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC



VT.001777

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

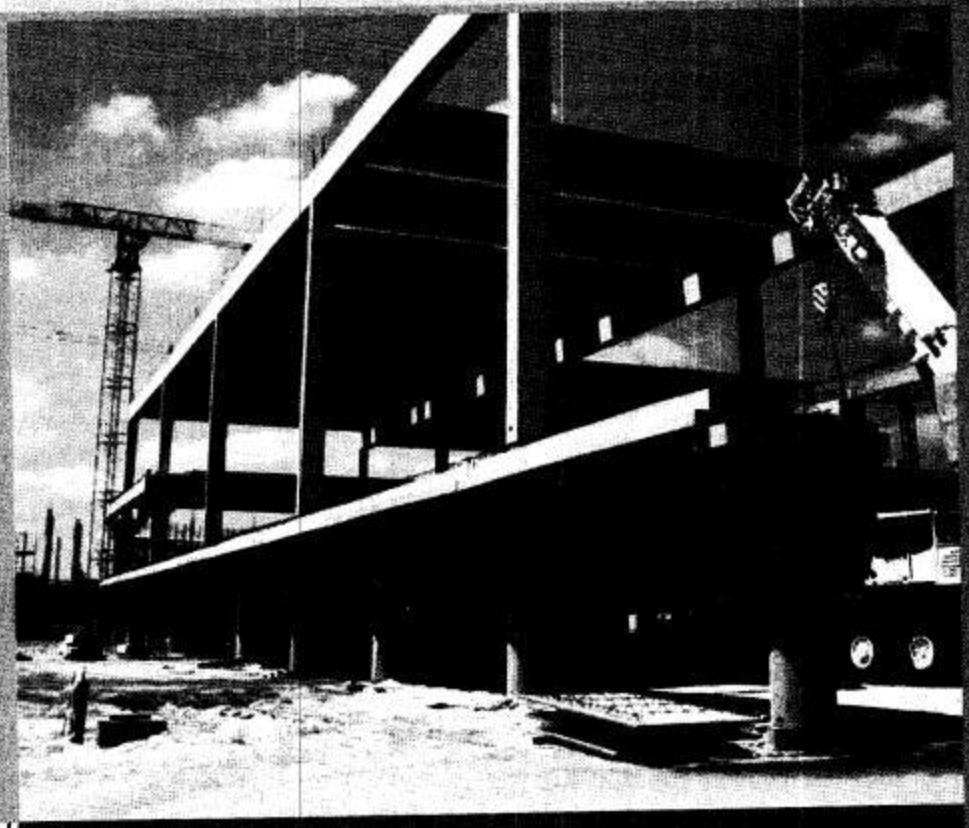
PGS. TS. NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS





KẾT CẤU BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC





Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PGS.TS. NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

KẾT CẤU BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2010

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

LỜI NÓI ĐẦU

Sử dụng kết cấu bêtông ứng suất trước trong xây dựng cơ bản đang được đẩy mạnh ở nước ta. Nhiều kỹ sư xem ứng suất trước là một giải pháp thích hợp để mở rộng phạm vi sử dụng đối với kết cấu bêtông cốt thép cho các loại công trình mà trước đây chủ yếu sử dụng kết cấu thép. Các công trình nhà cao tầng, công trình vượt nhịp lớn, công trình cầu, các hệ thống sillô, bể chứa, các công trình yêu cầu chống thấm cao, công trình chịu tải trọng lớn, tải trọng động... đều thuộc phạm vi mà kết cấu bêtông ứng suất trước có ưu thế.

Vật liệu cường độ cao đang ngày càng được sử dụng phổ biến trên thế giới cũng như ở nước ta. Nếu phát huy được cường độ chịu lực tối đa của vật liệu thì việc sử dụng vật liệu cường độ cao sẽ đưa lại hiệu quả kinh tế cao hơn so với vật liệu cường độ thấp. Kết cấu bêtông ứng suất trước là giải pháp kết cấu hiệu quả để sử dụng vật liệu bêtông cường độ cao và cốt thép cường độ cao.

Trước đây ở nước ta các công trình phần lớn có quy mô nhỏ, nhịp bé nên nhu cầu sử dụng kết cấu bêtông ứng suất trước còn ít; nhưng gần đây tình hình thị trường đã đổi khác, các công trình quy mô lớn, nhịp lớn và yêu cầu thẩm mỹ cao đang ngày càng phổ biến. Đây là nhu cầu thực tế thuận lợi để kết cấu bêtông ứng suất trước phát triển.

Công cuộc công nghiệp hoá ngành xây dựng ở nước ta đang trên đà phát triển. Cùng với các giải pháp công nghệ thi công tiến tiến trên hiện trường, việc sản xuất các cấu kiện xây dựng trong công xưởng cũng đang được đẩy mạnh. Nhiều dây chuyền sản xuất cấu kiện đúc sẵn đã và đang được xây dựng trên các miền đất nước. Đối với việc sản xuất cấu kiện đúc sẵn thì giải pháp ứng suất trước tỏ ra có ưu thế.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bêtông cốt thép TCXDVN 356 : 2005 ra đời đã góp phần phát triển kết cấu bêtông ứng suất trước ở nước ta. Tiêu chuẩn đã được các kỹ sư xây dựng tìm hiểu và áp dụng.

Thực tế cho thấy việc thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đang gặp khó khăn. Có ba nguyên nhân chính dẫn đến khó

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

khăn này: 1) Thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước chưa quen thuộc đối với các kỹ sư Việt Nam; 2) Các tài liệu kỹ thuật hướng dẫn áp dụng TCXDVN 356 : 2005 còn ít; 3) TCXDVN 356 : 2005 được biên soạn trên cơ sở tiêu chuẩn CHuП 2.03.01 - 84 của Cộng hoà Liên bang Nga, nhưng hiện nay nguồn tài liệu từ CHLB Nga vào nước ta rất hạn chế.

Cuốn sách này được biên soạn nhằm mục đích làm tài liệu học tập cho các sinh viên ngành xây dựng và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư khi thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước theo TCXDVN 356 : 2005.

Tác giả xin bày tỏ sự cảm ơn đối với các đồng nghiệp về những ý kiến nhận xét, góp ý cho nội dung cuốn sách. Các góp ý đã được tác giả xem xét để hoàn chỉnh cho lần xuất bản này. Tuy nhiên, đây là tài liệu được biên soạn lần đầu, chắc còn có thiếu sót. Tác giả mong nhận được sự góp ý của bạn đọc để hoàn chỉnh hơn cho lần sau. Mọi góp ý xin gửi về:

Phòng Biên tập sách khoa học kỹ thuật
Nhà xuất bản Xây dựng
37 Lê Đại Hành, Hà Nội
ĐT: 043.9741954

Tác giả

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

THUẬT NGỮ, ĐƠN VỊ VÀ KÝ HIỆU

A. Thuật ngữ

Cấp độ bền nén của bêtông: ký hiệu bằng chữ B, là giá trị trung bình thống kê của cường độ chịu nén tức thời, tính bằng đơn vị MPa, với xác suất đảm bảo không dưới 95%, xác định trên các mẫu lập phương kích thước tiêu chuẩn (150 mm × 150 mm × 150 mm) được chế tạo, dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm nén ở tuổi 28 ngày.

Cấp độ bền kéo của bêtông: ký hiệu bằng chữ B_t, là giá trị trung bình thống kê của cường độ chịu kéo tức thời, tính bằng đơn vị MPa, với xác suất đảm bảo không dưới 95%, xác định trên các mẫu kéo tiêu chuẩn được chế tạo, dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm kéo ở tuổi 28 ngày.

Kết cấu bêtông: là kết cấu làm từ bêtông không đặt cốt thép hoặc đặt cốt thép theo yêu cầu cấu tạo mà không kể đến trong tính toán. Các nội lực tính toán do tất cả các tác động trong kết cấu đều do bêtông chịu.

Kết cấu bêtông cốt thép: là kết cấu làm từ bêtông có đặt cốt thép chịu lực và cốt thép cấu tạo. Các nội lực tính toán do tất cả các tác động trong kết cấu bêtông cốt thép chịu bởi bêtông và cốt thép chịu lực.

Kết cấu bêtông ứng suất trước: là kết cấu làm từ bêtông cốt thép, trong đó một phần hoặc toàn bộ các cốt thép được kéo căng gây ứng suất trước làm cho toàn bộ hoặc một phần bêtông được nén trước khi đưa vào chịu lực với mục đích triệt tiêu ứng suất kéo do tải trọng ngoài sau này gây ra.

Cốt thép căng: là cốt thép được kéo căng gây ứng suất trước trong quá trình chế tạo kết cấu trước khi có tải trọng sử dụng tác dụng.

Cốt thép thường: là cốt thép không được kéo căng gây ứng suất trước trong quá trình chế tạo kết cấu trước khi có tải trọng sử dụng tác dụng.

Cốt thép chịu lực: là cốt thép đặt theo tính toán.

Cốt thép cấu tạo: là cốt thép đặt theo yêu cầu cấu tạo mà không tính toán.

Chiều cao làm việc của tiết diện: là khoảng cách từ mép chịu nén của cấu kiện đến trọng tâm tiết diện của cốt thép dọc chịu kéo.

Lớp bêtông bảo vệ: là lớp bêtông có chiều dày tính từ mép cấu kiện đến bề mặt gần nhất của thanh cốt thép.

Nội lực giới hạn: là nội lực lớn nhất mà cấu kiện, tiết diện của nó (với các đặc trưng vật liệu được lựa chọn) có thể chịu được.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trạng thái giới hạn: là trạng thái mà khi vượt quá kết cấu không còn thỏa mãn các yêu cầu sử dụng đề ra đối với nó khi thiết kế.

Điều kiện sử dụng bình thường: là điều kiện sử dụng tuân theo các yêu cầu tính đến trước theo tiêu chuẩn hoặc trong thiết kế, thỏa mãn các yêu cầu về công nghệ cũng như sử dụng.

B. Đơn vị

Trong tài liệu này sử dụng hệ đơn vị đo SI. Đơn vị chiều dài: m; đơn vị ứng suất: MPa; đơn vị lực: N.

C. Ký hiệu

1. Các đặc trưng hình học

b	chiều rộng tiết diện chữ nhật; chiều rộng sườn tiết diện chữ T và chữ I;
b_f , b'_f	chiều rộng cánh tiết diện chữ T và chữ I tương ứng trong vùng chịu kéo và nén;
h	chiều cao của tiết diện chữ nhật, chữ T và chữ I;
h_f , h'_f	phần chiều cao của cánh tiết diện chữ T và chữ I tương ứng nằm trong vùng chịu kéo và nén;
a , a'	khoảng cách từ hợp lực trong cốt thép tương ứng với S và S′ đến biên gần nhất của tiết diện;
h_0 , h'_0	chiều cao làm việc của tiết diện, tương ứng bằng h − a và h − a';
x	chiều cao vùng bêtông chịu nén;
ξ	chiều cao tương đối của vùng bêtông chịu nén, bằng x/h_0 ;
s	khoảng cách cốt thép đai theo chiều dài cấu kiện;
e_0	độ lệch tâm của lực dọc N đối với trọng tâm của tiết diện quy đổi;
e_{0p}	độ lệch tâm của lực nén trước P đối với trọng tâm tiết diện quy đổi;
$e_{0,tot}$	độ lệch tâm của hợp lực giữa lực dọc N và lực nén trước P đối với trọng tâm tiết diện quy đổi;
e , e'	tương ứng là khoảng cách từ điểm đặt lực dọc N đến hợp lực trong cốt thép S và S′;
e_s , e_{sp}	tương ứng là khoảng cách từ điểm đặt lực dọc N và lực nén trước P đến trọng tâm tiết diện cốt thép S;
l	nhịp cấu kiện;
l_0	chiều dài tính toán của cấu kiện chịu tác dụng của lực nén dọc;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

i	bán kính quán tính của tiết diện ngang của cấu kiện đối với trọng tâm tiết diện;
d	đường kính danh nghĩa của thanh cốt thép;
A_s, A'_s	lần lượt là diện tích tiết diện phần cốt thép thường (không căng, tương ứng với S và S';
A_{sp}, A'_{sp}	lần lượt là diện tích tiết diện phần cốt thép căng tương ứng với S và S';
A_{sw}	diện tích tiết diện của cốt thép đai đặt trong mặt phẳng vuông góc với trục dọc cấu kiện và cắt qua tiết diện nghiêng;
$A_{s,inc}$	diện tích tiết diện của thanh cốt thép xiên đặt trong mặt phẳng nghiêng góc với trục dọc cấu kiện và cắt qua tiết diện nghiêng;
μ	hàm lượng cốt thép xác định như tỉ số giữa diện tích tiết diện cốt thép S và diện tích tiết diện ngang của cấu kiện bh_0, không kể đến phần cánh chịu nén và kéo;
A	diện tích toàn bộ tiết diện ngang của cấu kiện;
A_b	diện tích tiết diện của vùng bê tông chịu nén;
A_{bt}	diện tích tiết diện của vùng bê tông chịu kéo;
A_{red}	diện tích tiết diện quy đổi của cấu kiện;
A_{locl}	diện tích bê tông chịu nén cục bộ;
S'_{b0}, S_{b0}	mômen tĩnh của diện tích tiết diện tương ứng của vùng bê tông chịu nén và chịu kéo đối với trục trung hòa;
S_{s0}, S'_{s0}	mômen tĩnh của diện tích tiết diện cốt thép tương ứng S và S' đối với trục trung hòa;
I	mô men quán tính của tiết diện bê tông đối với trọng tâm tiết diện của cấu kiện;
I_{red}	mô men quán tính của tiết diện quy đổi đối với trọng tâm của nó;
I_s	mômen quán tính của tiết diện cốt thép đối với trọng tâm của tiết diện cấu kiện;
I_{b0}	mômen quán tính của tiết diện vùng bê tông chịu nén đối với trục trung hòa;
I_{s0}, I'_{s0}	mômen quán tính của tiết diện cốt thép tương ứng S và S' đối với trục trung hòa;
W_{red}	mômen kháng uốn của tiết diện quy đổi của cấu kiện đối với thớ chịu kéo ở biên, xác định như đối với vật liệu đàn hồi.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2. Các đặc trưng của cốt thép trong tiết diện ngang của cấu kiện

S ký hiệu cốt thép dọc:

- khi tồn tại cả hai vùng tiết diện bê tông chịu kéo và chịu nén do tác dụng của ngoại lực: S biểu thị cốt thép đặt trong vùng chịu kéo;
- khi toàn bộ vùng bê tông chịu nén: S biểu thị cốt thép đặt ở biên chịu nén ít hơn;
- khi toàn bộ vùng bê tông chịu kéo:

+ đối với các cấu kiện chịu kéo lệch tâm: biểu thị cốt thép đặt ở biên chịu kéo nhiều hơn;

+ đối với cấu kiện chịu kéo đúng tâm: biểu thị cốt thép đặt trên toàn bộ tiết diện ngang của cấu kiện;

S′ ký hiệu cốt thép dọc:

- khi tồn tại cả hai vùng tiết diện bê tông chịu kéo và chịu nén do tác dụng của ngoại lực: S′ biểu thị cốt thép đặt trong vùng chịu nén;
- khi toàn bộ vùng bê tông chịu nén: biểu thị cốt thép đặt ở biên chịu nén nhiều hơn;
- khi toàn bộ vùng bê tông chịu kéo đối với các cấu kiện chịu kéo lệch tâm: biểu thị cốt thép đặt ở biên chịu kéo ít hơn đối với cấu kiện chịu kéo lệch tâm.

3. Ngoại lực và nội lực

F ngoại lực tập trung;

M mômen uốn;

M_t mômen xoắn;

Q lực cắt.

4. Các đặc trưng vật liệu

R_b, $R_{b,ser}$ cường độ chịu nén tính toán dọc trục của bê tông ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai;

R_{bn} cường độ chịu nén tiêu chuẩn dọc trục của bê tông ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất (cường độ lăng trụ);

R_{bt}, $R_{bt,ser}$ cường độ chịu kéo tính toán dọc trục của bê tông ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai;

R_{btn} cường độ chịu kéo tiêu chuẩn dọc trục của bê tông ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

R_{bp} cường độ của bê tông khi bắt đầu chịu ứng suất trước;

R_s, $R_{s,ser}$ cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai;

R_{sp} cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép kéo căng ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất;

R_{sw} cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép ngang.

R_{sc} cường độ chịu nén tính toán của cốt thép ứng với các trạng thái giới hạn thứ nhất;

E_b mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông khi nén và kéo;

E_s mô đun đàn hồi của cốt thép.

5. Các đặc trưng của ứng suất trước

P lực nén trước, có kể đến hao tổn ứng suất trong cốt thép ứng với từng giai đoạn làm việc của cấu kiện;

σ_{sp}, σ'_{sp} tương ứng là ứng suất trước trong cốt thép S và S′ trước khi nén bê tông khi kéo căng cốt thép trên bệ (căng trước) hoặc tại thời điểm giá trị ứng suất trước trong bê tông bị giảm đến không bằng cách tác động lên cấu kiện ngoại lực thực tế hoặc ngoại lực quy ước. Ngoại lực thực tế hoặc quy ước đó được xác định có kể đến hao tổn ứng suất trong cốt thép ứng với từng giai đoạn làm việc của cấu kiện;

σ_{bp} ứng suất nén trong bê tông trong quá trình nén trước, xác định có kể đến tổn hao ứng suất trong cốt thép ứng với từng giai đoạn làm việc của cấu kiện;

γ_{sp} hệ số độ chính xác của ứng suất trước.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

MỞ ĐẦU

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

Bêtông là vật liệu giòn – có khả năng chịu nén khá tốt nhưng chịu kéo kém. Cường độ chịu kéo của bêtông chỉ bằng xấp xỉ 8 - 15% cường độ chịu nén. Do khả năng chịu kéo kém nên đã hạn chế phạm vi sử dụng bêtông như là vật liệu thuần nhất để làm kết cấu. Người ta đã khắc phục nhược điểm này của vật liệu bêtông bằng cách đặt các thanh cốt thép vào kết cấu để chịu thay cho bêtông các lực kéo – đấy chính là kết cấu bêtông cốt thép.

Kết cấu bêtông cốt thép đồng thời phát huy được cả mặt mạnh về khả năng chịu nén tốt của bêtông và khả năng chịu kéo tốt của cốt thép. Tuy vậy, các vết nứt tại vùng kéo vẫn xuất hiện trong bêtông ngay cả khi tải trọng khá bé. Các vết nứt này làm giảm độ cứng chống uốn của kết cấu bêtông cốt thép. Để đảm bảo độ cứng chống uốn kích thước dầm phải tăng lên nhanh chóng khi cần vượt nhịp lớn. Sự tăng tiết diện kết cấu làm tăng khối lượng vật liệu, tăng tải trọng và làm ảnh hưởng đến không gian sử dụng trong công trình. Các vết nứt cũng chính là nguyên nhân để cho môi trường xâm thực vào làm gỉ cốt thép trong kết cấu.

Kết cấu bêtông ứng suất trước được tạo ra bằng cách trước khi đưa kết cấu bêtông vào sử dụng người ta làm cho bêtông bị nén sao cho có thể triệt tiêu toàn bộ hay một phần ứng suất kéo do tải trọng sau này gây ra nhằm mục đích loại trừ khả năng xuất hiện các vết nứt trong kết cấu.

Có thể nói rằng chính do các vết nứt sớm trong bêtông ở vùng kéo là nguyên nhân dẫn đến sự ra đời một loại kết cấu mới – kết cấu bêtông ứng suất trước.

Kết cấu bêtông ứng suất trước tỏ ra được ưa chuộng và được sử dụng ngày càng nhiều trên thế giới, bởi vì loại kết cấu này có những ưu điểm như sau:

- Kết cấu bêtông ứng suất trước có khả năng chịu uốn cao hơn so với kết cấu bêtông cốt thép có cùng kích thước.
- Do có độ cứng lớn hơn nên kết cấu bêtông ứng suất trước có độ võng nhỏ hơn so với kết cấu bêtông cốt thép.
- Kết cấu bêtông ứng suất trước sử dụng vật liệu cường độ cao nên mảnh và nhẹ hơn so với kết cấu bêtông cốt thép.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Kết cấu bêtông ứng suất trước có khả năng chịu cắt cao hơn do ứng suất nén trước trong bêtông đã làm giảm ứng suất kéo chính. Việc sử dụng cốt thép căng dạng cong có ý nghĩa làm giảm lực cắt trong bêtông dầm ở vùng gần gối tựa.

- Do không bị nứt nên kết cấu bêtông ứng suất trước hạn chế được sự xâm thực gây ăn mòn của môi trường, tăng tuổi thọ, tăng khả năng chống thấm của kết cấu. Chính vì thế nên kết cấu bêtông ứng suất trước thích hợp với các công trình có yêu cầu chống thấm cao như ống áp lực, bể chứa...

- Kết cấu bêtông ứng suất trước có độ bền mỏi cao nên được dùng phổ biến làm kết cấu chịu tải trọng động như cầu đường sắt, móng máy...

- Kết cấu bêtông ứng suất trước có khả năng chịu lửa cao.

- Kết cấu bêtông ứng suất trước có độ linh hoạt cao và dễ thích nghi với nhiều loại công trình khác nhau.

- Sử dụng kết cấu bêtông ứng suất trước có thể giảm được một lượng đáng kể bêtông và cốt thép. Mặc dầu trong kết cấu bêtông ứng suất trước phải sử dụng bêtông cường độ cao, cốt thép cường độ cao và các phụ kiện ứng suất trước, nhưng đối với các kết cấu nhịp lớn nói chung sử dụng bêtông ứng suất trước kinh tế hơn so với bêtông cốt thép.

Kết cấu bêtông ứng suất trước, tuy nhiên, bên cạnh những ưu điểm như trên còn có những nhược điểm cần được biết để khắc phục trong sử dụng:

- Việc gây ứng suất nén trong bêtông tại một số vùng có thể gây nên ứng suất kéo tại một số vùng khác của kết cấu. Khi thiết kế cần có sự tính toán để loại trừ khả năng nứt bêtông do các ứng suất kéo này gây ra.
- Kết cấu bêtông ứng suất trước sử dụng bêtông cường độ cao và cốt thép cường độ cao. Trong một số trường hợp việc chế tạo các loại vật liệu này gặp khó khăn hoặc giá thành cao.
- Kết cấu bêtông ứng suất trước căng sau, ngoài các vật liệu bêtông và cốt thép, còn phải có các vật liệu khác như neo, ống gen, vữa bơm...
- Thi công kết cấu bêtông ứng suất trước phải sử dụng các thiết bị chuyên dụng như kích, neo công cụ, bệ căng (trường hợp căng trước)...
- So với kết cấu bêtông cốt thép thì thi công kết cấu bêtông ứng suất trước đòi hỏi nhiều chi phí nhân công hơn, đặc biệt là công nhân có tay nghề cao.
- Công tác kiểm soát chất lượng đối với kết cấu bêtông ứng suất trước đòi hỏi cao hơn so với kết cấu bêtông cốt thép.

Cho đến nay, kết cấu bêtông ứng suất trước đã có lịch sử phát triển hơn một thế kỷ. Trong thời gian hơn một trăm năm đó loại kết cấu này đã không ngừng được nghiên cứu, ứng dụng và không ngừng được phát triển cả về mặt lý luận và thực

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tiễn. Đóng góp vào sự phát triển của kết cấu bêtông ứng suất trước có công sức của nhiều kỹ sư và nhà khoa học.

Nhìn lại lịch sử, khái niệm kết cấu bêtông ứng suất trước dường như ra đời cùng lúc với khái niệm kết cấu bêtông cốt thép. Bất luận sử dụng cốt thép hay tạo ra ứng suất trước, mục đích của nó đều là để khắc phục nhược điểm khả năng chịu kéo quá thấp của bêtông trong kết cấu.

Việc áp dụng nguyên lý ứng suất trước vào kết cấu bêtông bắt đầu từ thập niên 80 của thế kỷ XIX. Năm 1886, P.H. Jackson (Mỹ) đã nhận được chứng nhận bản quyền về việc sử dụng cốt thép căng để làm vòm bêtông. Năm 1888, Dorhing (Đức) nhận được chứng nhận bản quyền về việc đặt thêm sợi thép căng vào bêtông để đúc thành tấm và dầm. Đó là những bước đi đầu tiên của việc sử dụng nguyên lý ứng suất trước chế tạo cấu kiện bêtông đúc sẵn.

Khái niệm dùng ứng suất trước triệt tiêu ứng suất kéo trong bêtông do ngoại tải gây ra là do J. Mandl (Áo) đề xuất lần đầu tiên vào năm 1896. Năm 1906, M. Koenen (Đức) tiến hành thí nghiệm đổ bêtông với cốt thép có giới hạn bền 160 MPa, quan sát thí nghiệm ông nhận thấy hiện tượng ứng suất nén trước ban đầu bị mất đi do bêtông co ngót.

Năm 1908 C.R.Steiner (Mỹ) đề xuất việc kéo căng hai lần để giảm bớt tổn hao ứng suất trước và đã nhận được chứng nhận bản quyền. Lần kéo căng thứ nhất được tiến hành vào giai đoạn ban đầu khi cường độ bêtông còn rất thấp để phá vỡ sự kết dính giữa cốt thép căng và bêtông. Sau khi bêtông đạt cường độ cao hơn thì tiến hành kéo căng lần thứ hai.

Năm 1923, F. Emperger (Áo) đã sáng tạo phương pháp quấn dây thép căng để làm ống bêtông chịu áp lực. Dây thép căng sử dụng loại có cường độ từ 160MPa đến 800 MPa.

Công nghệ ứng suất trước căng sau không bám dính được R.H.Dill (Mỹ) đề xuất vào năm 1925. Ông sử dụng cốt thép cường độ cao có phủ ngoài chất chống dính, sau khi bêtông đóng rắn thì tiến hành kéo căng và dùng êcu chốt cố định ở hai đầu. Sau đó, vào năm 1927, R.Farber (Mỹ) nhận được chứng nhận bản quyền về phương pháp ứng suất trước có cốt thép căng có thể trượt trong bêtông. Lúc đó, phương pháp chống bám dính giữa bêtông và cốt thép căng là phủ lên bề mặt cốt thép một lớp bột đá hoặc là đặt cốt thép căng vào trong ống cứng.

Trong thời kỳ đầu lịch sử phát triển của kết cấu bêtông ứng suất trước, do thiếu sự hiểu biết về tính năng của bêtông và vật liệu cốt thép trong quá trình chịu tải, nên ứng suất trước mà những phương pháp nói trên tạo ra vẫn rất nhỏ, hiệu quả không rõ ràng, phạm vi ứng dụng còn hạn chế.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Giai đoạn đưa kết cấu bêtông ứng suất trước vào ứng dụng thực tế không thể tách rời sự đóng góp của kỹ sư người Pháp F. Freyssinet. Trên cơ sở nghiên cứu tính năng của bêtông và vật liệu cốt thép cũng như tổng kết kinh nghiệm của những người đi trước, ông đã nghĩ tới tổn hao ứng suất trước do bêtông co ngót và từ biến. Năm 1928 F.Freyssinet chỉ ra rằng kết cấu bêtông ứng suất trước phải sử dụng thép cường độ cao và bêtông cường độ cao. Đây là một sự đột phá về lý thuyết kết cấu bêtông ứng suất trước. Từ đó, việc nghiên cứu kết cấu bêtông ứng suất trước bắt đầu đi vào giai đoạn kết hợp nghiên cứu tính chất của vật liệu.

Trong giai đoạn này vẫn chưa giải quyết được vấn đề công nghệ sản xuất kết cấu bêtông ứng suất trước.

Năm 1938, E.Hoyer người Đức đã nghiên cứu thành công phương pháp căng trước dựa vào sự bám dính giữa dây thép nhỏ cường độ cao (đường kính 0,5 ~ 2mm) và bêtông chứ không phải dựa vào sự truyền lực đầu neo. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu này người ta có thể sản xuất đồng thời nhiều thanh cấu kiện ở trên bệ dài hàng chục mét.

Năm 1939, F.Freyssinet nghiên cứu thành công neo hình côn cho bó dây thép và thiết bị kích kéo căng đồng bộ cho loại cốt thép căng và neo này.

Năm 1940, G.Magnel người Bỉ nghiên cứu thành công loại neo dạng khối có thể ứng dụng cho trường hợp kéo căng đồng thời hai thanh cốt thép.

Kết quả nghiên cứu có tính tiên phong đóng góp vào sự phát triển kết cấu bêtông ứng suất trước về lý thuyết cũng như trong thực tiễn của các nhà khoa học Xô viết là rất đáng kể và đã được khái quát trong [8, 9, 10].

Những thành tựu trên đây đã tạo nên cơ sở của công nghệ sản xuất kết cấu bêtông ứng suất trước theo cả phương pháp căng trước và căng sau.

Từ sau đại chiến thế giới thứ II (1945), bêtông ứng suất trước bắt đầu được sử dụng rộng rãi. Lúc bấy giờ ở châu Âu do chiến tranh tàn phá, nền công nghiệp, giao thông, thành phố có nhu cầu cấp thiết được phục hồi tu bổ, do đó vật liệu thép trở nên khan hiếm. Một số công trình trước đây sử dụng kết cấu thép, đều chuyển sang thay thế bằng kết cấu bêtông ứng suất trước. Trong vòng mấy năm cả Tây Âu và Đông Âu kết cấu bêtông ứng suất trước đều đạt được sự phát triển mạnh mẽ. Phạm vi sử dụng cũng được mở rộng từ cầu cống và nhà xưởng công nghiệp cho đến các lĩnh vực công trình xây dựng dân dụng.

Bắt đầu từ những năm 50 của thế kỷ XX các nước như Mỹ, Canada, Australia, Nhật Bản cũng bắt đầu mở rộng việc ứng dụng bêtông ứng suất trước.

Để thúc đẩy sự phát triển của kết cấu bêtông ứng suất trước, Hiệp hội Bêtông ứng suất trước Quốc tế (FIP) đã được thành lập năm 1950, có hơn 40 nước thành viên, 4 năm 1 lần tổ chức đại hội trao đổi kinh nghiệm trong nghiên cứu và thực tiễn của các nước.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Hiện nay việc ứng dụng kết cấu bêtông ứng suất trước đã là vấn đề quen thuộc trên phạm vi toàn thế giới.

Ở nước ta kết cấu bêtông ứng suất trước thâm nhập vào khá sớm, công trình cầu Phú Lỗ và nhà máy đóng tàu Bạch Đằng là những công trình có ứng dụng kết cấu bêtông ứng suất trước do các nhà xây dựng Việt Nam thực hiện trong những năm 1960. Sau hai công trình thí điểm này kết cấu bêtông ứng suất trước ở nước ta tiếp tục phát triển trong ngành xây dựng cầu và trong xây dựng dân dụng và công nghiệp với những đặc thù riêng.

Trong xây dựng cầu, trước năm 1990 đã thực hiện việc chế tạo các dầm khẩu độ lớn phục vụ cho các công trình cầu lớn mà điển hình là Cầu Thăng Long. Trong giai đoạn gần đây (sau 1990) trong xây dựng cầu ngoài việc chế tạo các hệ dầm đúc sẵn nhịp lớn, công nghệ bêtông ứng suất trước căng sau đang được áp dụng cho các kết cấu cầu nhịp lớn theo phương pháp đúc đẩy và đúc hẫng. Hiện nay phần lớn các cầu bêtông đang được xây dựng ở nước ta đều ứng dụng công nghệ ứng suất trước.

Trong xây dựng dân dụng và công nghiệp, việc nghiên cứu ứng dụng kết cấu bêtông ứng suất trước có thể được chia ra hai giai đoạn: giai đoạn trước 1996 và giai đoạn từ 1996 trở lại đây.

Trong giai đoạn trước 1996 việc nghiên cứu ứng dụng kết cấu bêtông ứng suất trước trong xây dựng dân dụng và công nghiệp ở nước ta chủ yếu tập trung vào tìm kiếm công nghệ thích hợp để chế tạo các cấu kiện như panel, dầm nhỏ, dàn vì kèo mái nhà công nghiệp...

Từ năm 1996 đến nay đã có sự thay đổi trong hướng nghiên cứu ứng dụng kết cấu bêtông ứng suất trước trong ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp ở nước ta. Trong giai đoạn này, nghiên cứu kết cấu bêtông ứng suất trước gắn liền với việc đưa công nghệ của thế giới vào ứng dụng cho các công trình với quy mô lớn. Đánh dấu cho hướng nghiên cứu ứng dụng này là dự án khoa học công nghệ "Ứng dụng công nghệ bêtông ứng suất trước cho kết cấu sàn nhà và silô" mang mã số P01-1996. Dự án P01-1996 đã được thực hiện trong giai đoạn 1996 – 1998. Thông qua việc thực hiện dự án các kỹ sư của Việt Nam đã tiếp thu được công nghệ bêtông ứng suất trước của thế giới và đưa vào ứng dụng thực tế. Có thể xem đây là điểm khởi đầu cho việc ứng dụng rộng rãi kết cấu bêtông ứng suất trước trong xây dựng dân dụng và công nghiệp trên phạm vi cả nước.

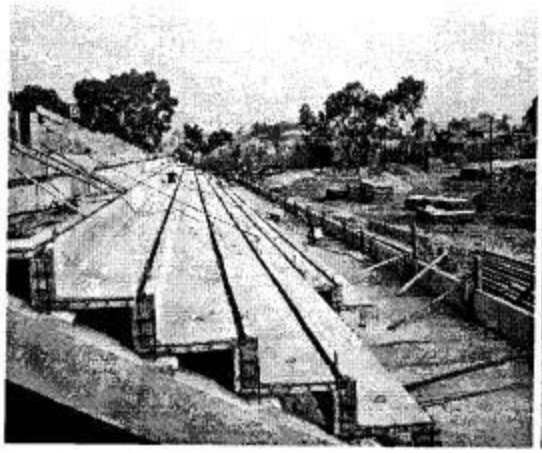
Công nghệ sản xuất cấu kiện bêtông ứng suất trước căng trước đang được phát triển mạnh ở nước ta. Nhiều cơ sở sản xuất trong nước đã nhập các dây chuyền hiện đại sản xuất cấu kiện bêtông ứng suất trước. Sản phẩm của các cơ sở này đang ngày càng phát triển phong phú, đa dạng. Các sản phẩm bêtông ứng suất trước đang được sản xuất phổ biến ở nước ta bao gồm: panen, dầm, cọc tròn ly tâm, cọc vuông, cọc cừ, cột điện...

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

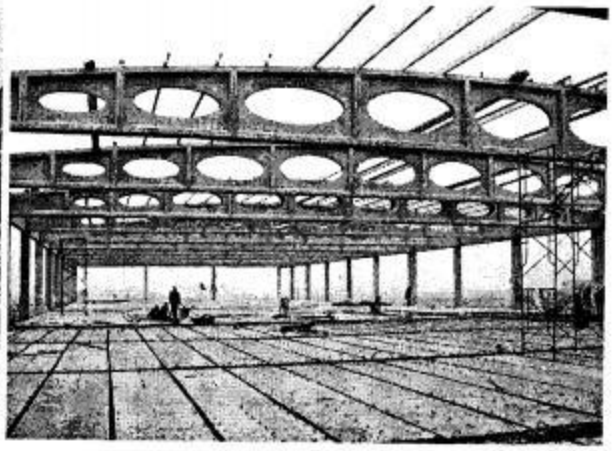
Công nghệ bêtông ứng suất căng sau đã được sử dụng phổ biến trong xây dựng các công trình silô, bể chứa, gara ôtô, khung nhà nhịp lớn, nhà cao tầng...

Công nghệ căng sau không bám dính được áp dụng để làm hệ thống sàn của công trình Nhà điều hành Đại học Quốc gia - Hà Nội vào năm 1997. Sau công trình này kết cấu bêtông ứng suất trước căng sau không bám dính tiếp tục được sử dụng tại một số công trình khác trên phạm vi toàn quốc. Hiện nay loại kết cấu này đang tiếp tục được nghiên cứu và mở rộng ứng dụng ở nước ta chủ yếu để làm các kết cấu sàn trong nhà nhiều tầng.

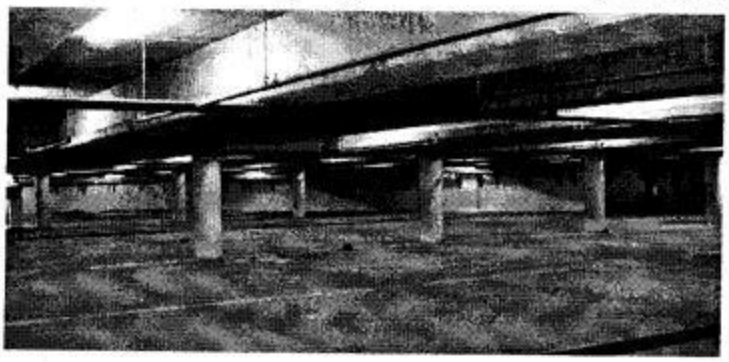
Nhìn một cách tổng quát thì kết cấu bêtông ứng suất trước đang được phát triển mạnh ở nước ta, tuy nhiên về tỷ trọng so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường thì hãy còn ít. Theo tài liệu công bố của Hãng VSL trong thời gian gần đây thì ở Hoa Kỳ có tới 90% số nhà xây mới sử dụng giải pháp kết cấu bêtông ứng suất trước, con số đó ở Australia là 60%, ở châu Âu là xấp xỉ 50%. Trong tương lai, với sự phát triển của ngành công nghiệp xây dựng, chúng ta sẽ xây dựng nhiều công trình có quy mô lớn, có chiều cao lớn, nhịp lớn và yêu cầu chất lượng ngày càng cao. Kết cấu bêtông ứng suất trước sẽ là giải pháp kết cấu được ưu tiên lựa chọn.



Hình 1: *Bậc khán giả của Sân vận động Việt Trì được lắp ghép bằng cấu kiện bêtông ứng suất trước*

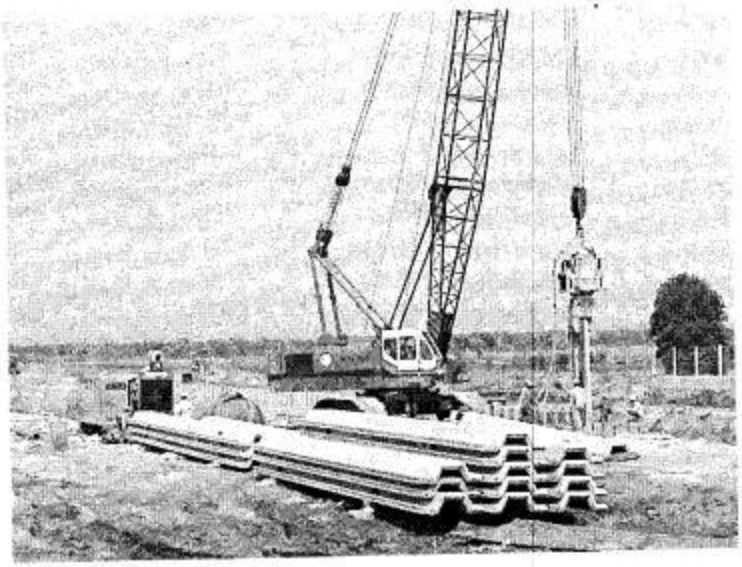


Hình 2: *Kết cấu lắp ghép bằng cấu kiện bêtông ứng suất trước tại công trình Mê Linh Plaza (Vĩnh Phúc)*



Hình 3: *Hệ kết cấu dầm – sàn gara ngầm bằng cấu kiện bêtông ứng suất trước căng trước (Hà Nội)*

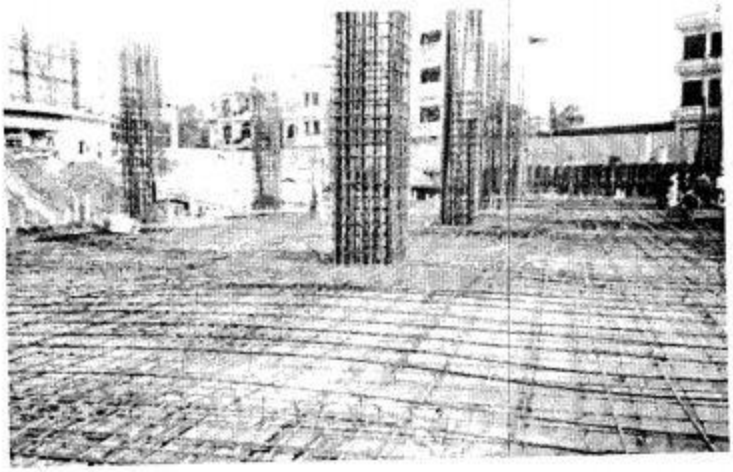
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 4: *Thi công hạ các tấm cừ bêtông ứng suất trước (Nhà máy nhiệt điện Phú Mỹ)*

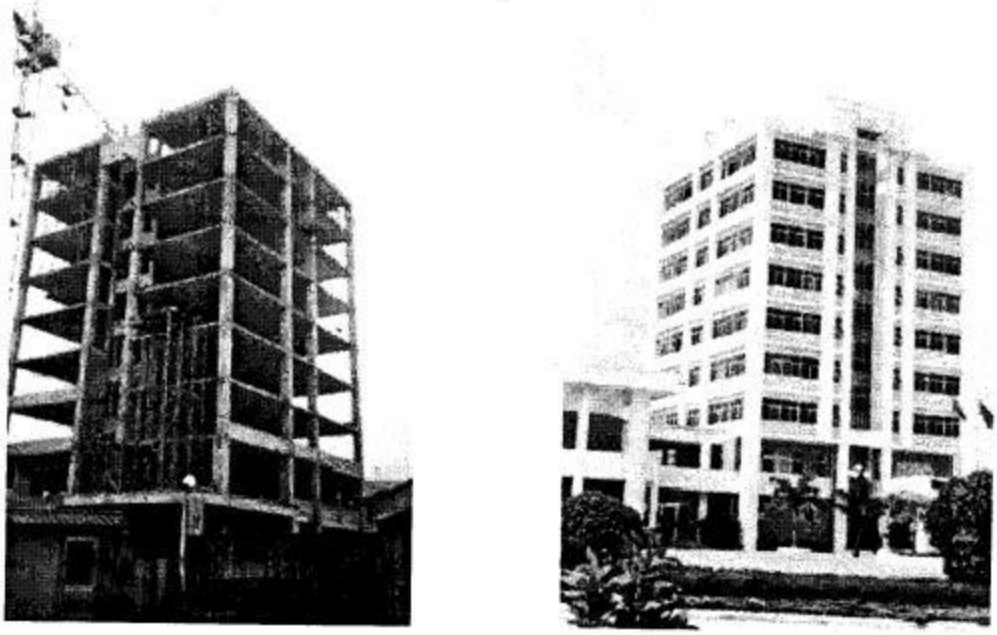


Hình 5*: Thi công nhà cao tầng có hệ thống sàn lắp ghép bằng cấu kiện bêtông ứng suất trước (Hà Nội)*

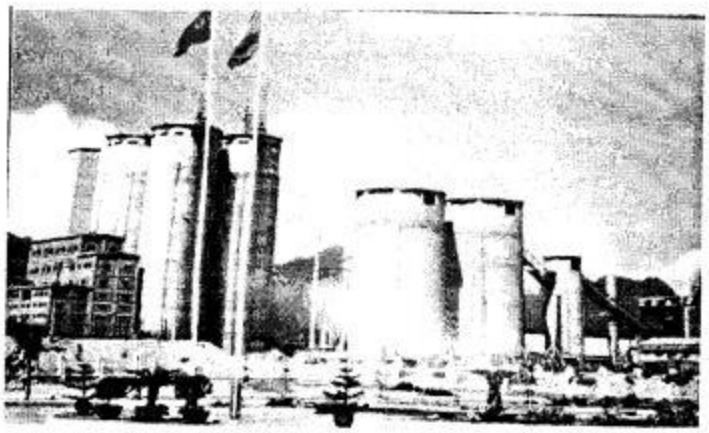


Hình 6: *Cốt thép căng không bám dính và cốt thép thường trong sàn bêtông ứng suất trước căng sau (Hà Nội)*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



***Hình 7**: Nhà Điều hành Đại học Quốc gia Hà Nội có hệ thống sàn bêtông ứng suất trước căng sau (1997)*



***Hình 8:** Hệ thống silô của Nhà máy ximăng Bút Sơn có kết cấu thành là bêtông ứng suất trước căng sau (1997)*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 1
KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1.1. KHÁI NIỆM VỀ KẾT CẤU BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

Kết cấu bêtông ứng suất trước là thuật ngữ dùng để chỉ kết cấu, cấu kiện hay sản phẩm bêtông cốt thép mà trong quá trình chế tạo người ta tạo ra theo tính toán ứng suất kéo trước trong toàn bộ hoặc một phần cốt thép và ứng suất nén trong toàn bộ hoặc một phần bêtông.

Khái niệm về kết cấu bêtông ứng suất trước trên đây được sử dụng trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 của Việt Nam, cũng như trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bêtông СНиП 2.03.01 – 84 của Cộng hoà Liên bang Nga .

Ứng suất nén trong bêtông được gây ra bằng cách làm cho các thanh cốt thép dãn ra rồi sau đó dùng bêtông của kết cấu ngăn cản sự co lại của chúng. Kết quả là xảy ra hiện tượng các thanh cốt thép có xu hướng co lại do tính đàn hồi nhưng bị bêtông ngăn cản đã tác dụng lên bêtông và gây ra ứng suất nén trong bêtông, trong khi các thanh cốt thép này vẫn bị kéo.

Phương pháp gây ứng suất trước thông thường là căng các thanh cốt thép bằng phương pháp cơ học, nhưng cũng có các phương pháp khác, ví dụ như phương pháp dùng dòng điện để đốt nóng làm cho các thanh cốt thép dãn dài ra hoặc sử dụng bêtông nở để gây ứng suất trước.

Trường hợp căng các thanh cốt thép bằng phương pháp cơ học để gây ứng suất trước thường gắn liền với khái niệm lực căng, vậy nên trong một số tài liệu dùng thuật ngữ ứng lực trước hay dự ứng lực.

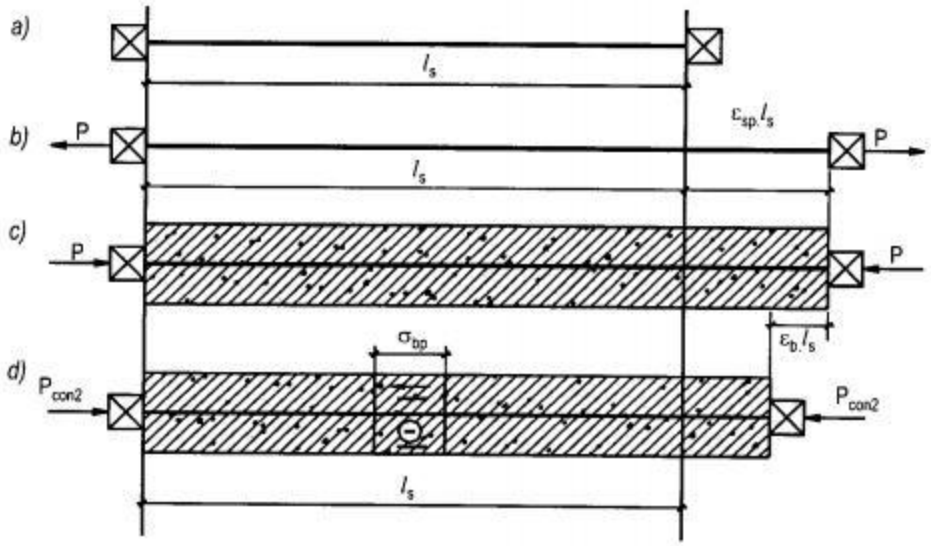
Trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 thuật ngữ ***Kết cấu bêtông ứng suất trước được sử dụng.***

Khái niệm về bêtông ứng suất trước trên đây đề cập đến cả việc gây ứng suất nén trong bêtông và ứng suất kéo trong cốt thép. Trong một số tài liệu, khái niệm về bêtông ứng suất trước chỉ đề cập đến ứng suất nén trong bêtông mà không đề cập đến ứng suất kéo trong cốt thép. Cũng có thể xem khái niệm trên đây là để chỉ loại kết cấu bêtông ứng suất trước mà trong đó việc gây ứng suất trước là do các thanh cốt thép co lại sau khi bị căng (bị làm cho dãn dài ra) tác dụng lên bêtông, còn khi chỉ đề cập đến việc tạo ứng suất nén trong bêtông là để chỉ kết cấu bêtông được gây

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ứng suất nén bằng các phương pháp khác nhau, trong đó có cả trường hợp căng các thanh cốt thép. Chính vì điều này nên trong một số tài liệu ở nước ta và ở CHLB Nga người ta gọi kết cấu bêtông ứng suất trước là kết cấu bêtông cốt thép ứng suất trước hay kết cấu bêtông cốt thép ứng lực trước.

Khái niệm trên cũng ngụ ý đến việc xem xét các kết cấu bêtông ứng suất trước là phải xem xét sự ứng xử của cả bêtông và cốt thép; điều này dẫn đến sự thống nhất về phương pháp nghiên cứu và thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước và kết cấu bêtông cốt thép thông thường.



***Hình 1.1**: Sơ đồ thanh bêtông ứng suất trước có cốt thép căng đúng tâm*

Xét ví dụ như được thể hiện trên hình 1.1. Trước tiên người ta căng thanh cốt thép và neo giữ nó. Ứng suất trong thanh cốt thép lúc dầu là σ_{sp}, biến dạng là ε_{sp}. Giả sử cốt thép đang trong giai đoạn đàn hồi, ta có: $\sigma_{sp} = \varepsilon_{sp} E_s$. Lúc này thanh cốt thép bị dãn dài ra một đoạn là Δl_{sp}. Bêtông được thi công sao cho vị trí của thanh cốt thép trùng với trọng tâm tiết diện bêtông. Khi bêtông đã đóng rắn ta buông thanh cốt thép. Lúc này do tính đàn hồi nên thanh cốt thép co lại. Bêtông ngăn cản sự co lại của cốt thép tạo ra sự tương tác giữa hai thành phần vật liệu là bêtông và cốt thép, kết quả là bêtông bị nén (chịu các ứng suất nén dọc trục).

Do đặc tính không đàn hồi của vật liệu cốt thép và bêtông nên trạng thái ứng suất và biến dạng của các bộ phận của thanh (cốt thép và bêtông) thay đổi theo các quy luật phức tạp. Về vấn đề này sẽ được xem xét trong chương 2 và chương 3. Ở đây với mục đích làm sáng tỏ ý nghĩa của ứng suất trước nên chưa xem xét đến quá trình này.

Bêtông bị nén nên co lại và làm cho ứng suất kéo trong thanh cốt thép bị giảm xuống, còn lại:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sigma_{con2} = \sigma_{sp} - \alpha\sigma_{bp} \quad (1.1)$$

Trong đó:

σ_{sp} - ứng suất ban đầu trong thanh thép được căng;

σ_{bp} - ứng suất nén trong thanh bêtông do cốt thép được căng gây ra;

$\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ - tỷ số giữa môđun đàn hồi của cốt thép và của bêtông.

Đại lượng $\alpha\sigma_{bp} = \Delta\sigma_{sp}$ là phần giảm ứng suất trước trong cốt thép do biến dạng đàn hồi của bêtông. Biến dạng của bêtông được tính theo công thức:

$$\varepsilon_b = \Delta\varepsilon_{sp} = \frac{\Delta\sigma_{sp}}{E_s} = \frac{\sigma_b}{E_b} \quad (1.2)$$

Trong đó:

$\Delta\varepsilon_{sp}$ - biến dạng của cốt thép căng do biến dạng co đàn hồi của bêtông.

Từ đó ta có công thức tính độ giảm ứng suất trong cốt thép căng do co ngắn đàn hồi của bêtông:

$$\Delta\sigma_{sp} = \frac{E_s}{E_b}\sigma_{bp} = \alpha\sigma_{bp} \quad (1.3)$$

Giả sử bêtông không bị biến dạng, ứng suất trong bêtông do lực kéo của thanh cốt thép tác dụng được tính theo công thức:

$$\sigma_{bp1} = \frac{A_{sp}\sigma_{sp}}{A_b} \quad (1.4)$$

Thực tế thì ứng suất nén này gây ra biến dạng trong bêtông ε_b. Biến dạng của bêtông đồng thời cũng là biến dạng co lại của cốt thép căng. Sự co lại này làm giảm ứng suất trong cốt thép căng một lượng $\Delta\sigma_{sp} = \alpha\sigma_{bp}$ và đồng thời ứng suất nén trong bêtông cũng giảm đi so với σ_{bp1} một lượng là $\Delta\sigma_{bp}$. Như vậy, ứng suất trong cốt thép căng có giá trị $\sigma_{con2} = \sigma_{sp} - \alpha\sigma_{bp}$ và ứng suất trong bêtông:

$$\sigma_{bp} = \sigma_{bp1} - \Delta\sigma_{bp} = \frac{A_{sp}\sigma_{con2}}{A} \quad (1.5)$$

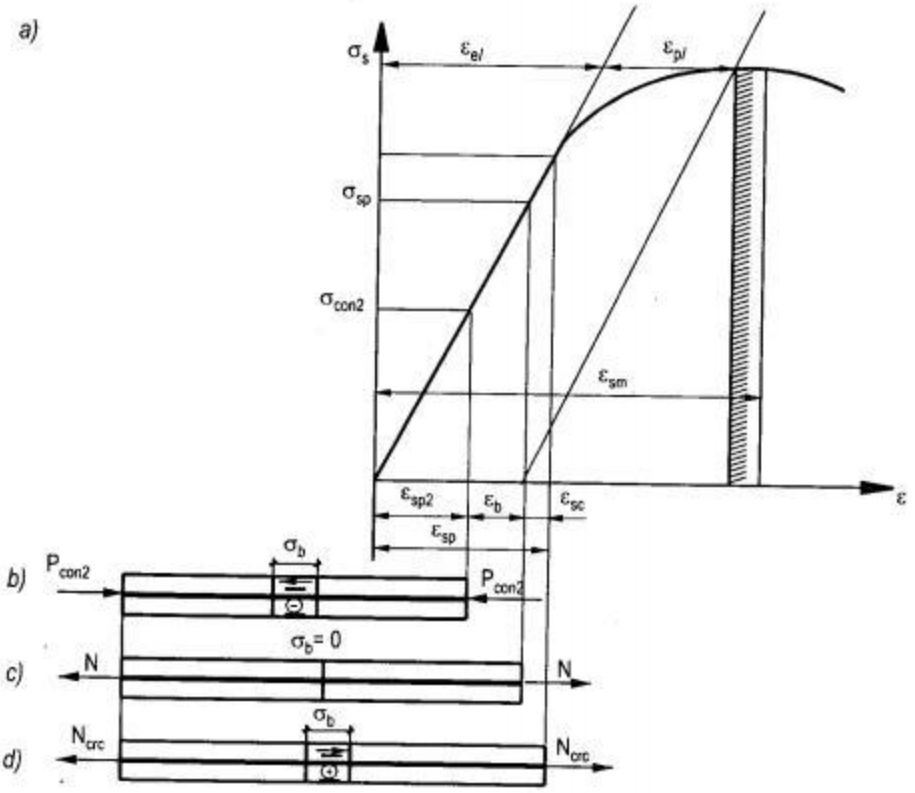
Sau khi buông cốt thép căng, ứng suất trong bêtông và trong cốt thép có các giá trị tương ứng là σ_{bp} và σ_{con2}. Đây là sự khác biệt giữa kết cấu bêtông ứng suất trước và kết cấu bêtông cốt thép thông thường. Nếu không xét đến ứng suất do sự co ngót của bêtông gây ra, thì đối với kết cấu bêtông cốt thép thông thường, khi không

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chịu tải trọng ngoài trong bêtông và cốt thép đều không có ứng suất, còn đối với kết cấu bêtông ứng suất trước thì ngay từ đầu cả trong bêtông và cốt thép đều đã có ứng suất – đó là ứng suất trước.

Thanh bêtông cốt thép được chế tạo theo cách trên đây được gọi là thanh bêtông ứng suất trước.

Xét trường hợp thanh bêtông ứng suất trước chịu lực kéo đúng tâm N như được thể hiện trên hình 1.2.



***Hình 1.2** : Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép căng trong thanh bêtông ứng suất trước*

Trước khi tác dụng lực N lên thanh bêtông ứng suất trước, ứng suất trong cốt thép căng và trong bêtông của thanh có giá trị tương ứng là σ_{con2} và σ_{bp}. Căn cứ vào điều kiện cân bằng nội lực, ta có:

$$P_{con2} = A\sigma_{bp} = A\varepsilon_b E_b = A_{sp}\sigma_{con2} \qquad (1.6)$$

Lực kéo N gây cho bêtông biến dạng ε và làm giảm ứng suất nén trong bêtông một lượng là $\Delta\sigma_{bp} = \varepsilon E_b$. Nếu lực N tăng thì biến dạng của bêtông ε cũng tăng theo và đến khi biến dạng này đạt giá trị ε_b, thì ứng suất trong bêtông hoàn toàn bị triệt tiêu, còn ứng suất trong cốt thép căng trở lại giá trị σ_{sp}, lúc này ta có :

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$N = A_{sp}\sigma_{sp} \tag{1.7}$$

Nếu N tiếp tục tăng làm cho biến dạng của bêtông tăng thêm và trở thành ứng suất kéo. Khi ứng suất kéo trong bêtông đạt giá trị bằng độ bền kéo thì bêtông bị nứt. Mối quan hệ giữa lực N và ứng suất trong bêtông có dạng sau:

$$N = A\sigma_{bt} + \left(\sigma_{sp} + \Delta\sigma_{sp}\right)A_{sp} \tag{1.8}$$

Trong đó:

σ_{bt} - ứng suất kéo trong bêtông;

$\Delta\sigma_{sp}$ - ứng suất tăng thêm trong cốt thép được xác định theo điều kiện cùng biến dạng của cốt thép và bêtông:

$$\Delta\sigma_{sp} = \Delta\varepsilon_{sp}E_s = \Delta\varepsilon_b E_s = \frac{\sigma_{bt}}{\nu_t E_b}E_s = \frac{1}{\nu_t}\alpha\sigma_{bt} \tag{1.9}$$

ν_t - hệ số thể hiện biến dạng phi tuyến của bêtông khi kéo.

Tại thời điểm bêtông bị nứt, ta có : $\sigma_{bt} = R_{bt,ser}$, $\nu_t = 0{,}5$ và $N = N_{crc}$ – gọi là lực gây nứt, được xác định như sau:

$$N_{crc} = AR_{bt,ser} + 2\alpha A_{sp}R_{bt,ser} + A_{sp}\sigma_{sp} \tag{1.10}$$

Số hạng cuối cùng trong (1.10) thể hiện tính năng của kết cấu bêtông ứng suất trước. Thông thường lực gây nứt đối với kết cấu bêtông ứng suất trước lớn hơn 2 – 3 lần so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường; hay nói cách khác khả năng chống nứt của kết cấu bêtông ứng suất trước cao hơn 2 – 3 lần so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường.

Trạng thái chịu lực của cấu kiện trước khi xuất hiện vết nứt được căn cứ để tính toán kiểm tra nứt của cấu kiện.

Sau khi ứng suất nén trước trong bêtông bị triệt tiêu thì kết cấu bêtông ứng suất trước làm việc giống như kết cấu bêtông cốt thép thông thường. Điểm khác nhau ở chỗ là tại thời điểm hình thành vết nứt, ứng suất trong cốt thép căng trong kết cấu bêt tông ứng suất trước có giá trị $\sigma_{sp} + 2\alpha R_{bt,ser}$, còn ứng suất trong cốt thép đối với kết cấu bêtông cốt thép thông thường có giá trị $2\alpha R_{bt,ser}$.

Trường hợp cốt thép căng tương đối dẻo thì khi lực N tiếp tục tăng, ứng suất trong cốt thép cũng tiếp tục tăng và các vết nứt trong bêtông tiếp tục phát triển. Ứng suất trong cốt thép tăng lên, cùng với biến dạng đàn hồi xuất hiện cả biến dạng dẻo. Biến dạng đàn hồi của cốt thép căng được ký hiệu là ε_{el}, biến dạng dẻo được ký hiệu là ε_{pl}. Tổng biến dạng của cốt thép căng có thể được viết:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} \tag{1.11}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sự phát triển biến dạng dẻo trong cốt thép căng từng bước triệt tiêu ứng suất trước. Khi biến dạng dẻo đạt giá trị ε_{sp} là thời điểm triệt tiêu hoàn toàn ứng suất trước trong cốt thép căng. Điều này có nghĩa là, khi kết cấu đạt đến trạng thái này, nếu dỡ tải hoàn toàn thì biến dạng dư trong cốt thép căng sau khi dỡ tải sẽ là ε_{sp}. Lúc này cốt thép căng không còn khả năng gây ra ứng suất nén trước cho bêtông nữa.

Sau thời điểm này, nếu lực N tiếp tục tăng sẽ làm cho biến dạng của cốt thép tăng thêm, nhưng sự làm việc của cốt thép căng trong giai đoạn này giống như cốt thép không căng, hay nói cách khác là ứng suất trước ban đầu không có ảnh hưởng gì đến cường độ chịu lực cuối cùng của cốt thép. Gọi biến dạng cuối cùng của cốt thép trong quá trình gia tải là ε_{sm}. Giá trị ε_{sm} không phụ thuộc vào ứng suất kéo ban đầu trong cốt thép. ε_{sm} được gọi là biến dạng giới hạn của cốt thép. Từ sự phân tích trên đây có thể rút ra kết luận là cường độ chịu lực của thanh bêtông ứng suất trước không khác gì của thanh bêtông cốt thép không ứng suất trước. Do vậy, tính toán cường độ chịu lực của thanh bêtông ứng suất trước cũng giống như tính toán thanh bêtông cốt thép thông thường.

Tuy nhiên, ở đây cũng cần phải nói rằng những nhận xét trên được đưa ra chỉ dựa vào kết quả xem xét về độ bền của vật liệu mà không xét đến yếu tố phát triển các vết nứt. Nếu xét đến yếu tố nứt thì phải xem xét trên cơ sở biến dạng của cốt thép do tải trọng gây ra, tức là đại lượng $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sp}$. Đối với kết cấu bêtông cốt thép thường thì biến dạng do tải trọng gây ra được tính từ khi cốt thép không có biến dạng. Do vậy, khi cốt thép đạt cường độ chịu lực thì bêtông bị nứt lớn hơn so với kết cấu bêtông ứng suất trước. Đây cũng có thể xem là một ưu điểm của kết cấu bêtông ứng suất trước.

1.2. PHÂN LOẠI BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

1.2.1. Bêtông ứng suất trước căng trước và bêtông ứng suất trước căng sau

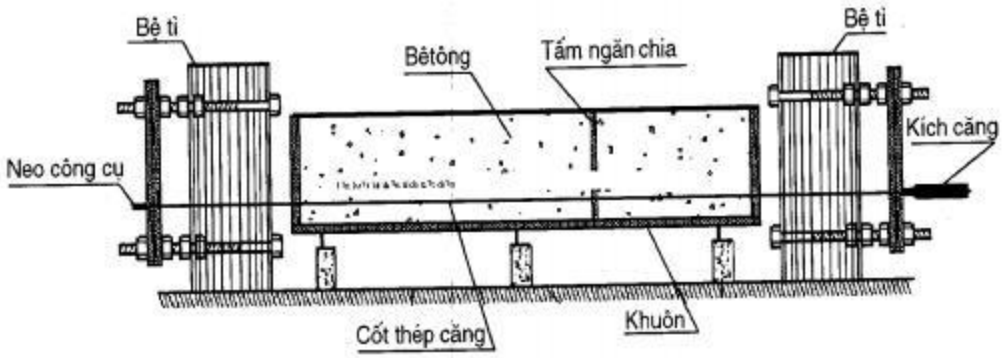
Bêtông ứng suất trước căng trước là bêtông mà trong đó ứng suất trước được tạo ra bằng phương pháp căng trước, còn trong bêtông ứng suất trước căng sau – ứng suất trước được tạo ra bằng phương pháp căng sau.

Phương pháp căng trước, hay còn gọi là phương pháp căng trên bệ, là dùng biện pháp kỹ thuật làm cho các thanh cốt thép bị dãn ra một lượng cần thiết và tiến hành neo giữ chúng vào các bệ hoặc tường chịu lực. Các hệ thống neo giữ này làm cho các thanh cốt thép không co lại được và tồn tại trong chúng ứng suất kéo. Công tác lắp đặt các cốt thép thường, các chi tiết đặt sẵn và đổ bêtông cấu kiện được tiến hành trong khi các thanh cốt thép được giữ trong trạng thái bị căng. Sau khi bêtông đạt

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

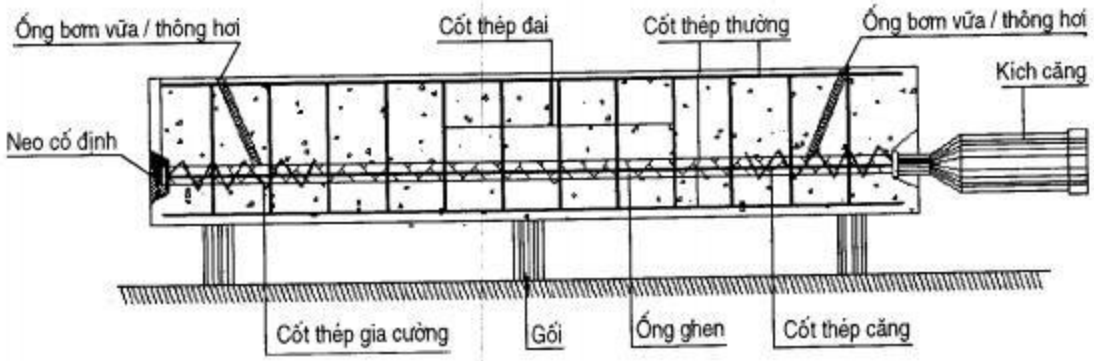
cường độ nhất định thì tiến hành buông các thanh cốt thép căng. Lực co lại của các thanh cốt thép được truyền vào bêtông gây ra ứng suất trước. Các thanh cốt thép căng có thể có dạng thẳng hoặc gấp khúc. Việc tạo hình gấp khúc cho các thanh cốt thép căng được thực hiện nhờ các móc neo liên kết với bệ căng hoặc khuôn. Trên hình 1.3 thể hiện phương pháp căng trước bằng kích thuỷ lực.

Nói chung phương pháp căng trước là phương pháp hiệu quả, nhất là trong trường hợp sản xuất các cấu kiện đồng loạt.



***Hình 1.3**: Phương pháp căng trước (căng trên bệ) bằng kích thuỷ lực*

Phương pháp căng sau, hay còn gọi là phương pháp căng trên bêtông, được thực hiện như sau : trước tiên tiến hành lắp đặt cốt thép thường, các chi tiết đặt sẵn, các ống (rãnh) để đặt cốt thép căng và đổ bêtông ; sau đó đặt các thanh cốt thép căng vào các ống (rãnh) chừa sẵn (có thể đặt sẵn cốt thép căng ngay từ đầu) ; tiến hành căng cốt thép và neo giữ không cho nó co lại bằng các thiết bị neo (các thiết bị neo làm nhiệm vụ tuyền lực do cốt thép bị căng gây ra lên bêtông, gây ra cho bêtông ứng suất trước); tiếp đó tiến hành bơm vữa vào các ống (rãnh) để bảo vệ cốt thép căng và tạo ra sự liên tục giữa cốt thép căng và phần bêtông. Đó chính là loại bêtông ứng suất trước căng sau có bám dính. Nếu không bơm vữa thì gọi là bêtông ứng suất trước căng sau không bám dính.



***Hình 1.4:** Phương pháp căng sau (căng trên bêtông) bằng kích thuỷ lực*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Phương pháp căng sau thuận lợi cho trường hợp không có bệ căng, thích hợp để sản xuất các cấu kiện lớn tại hiện trường và các kết cấu bêtông ứng suất trước được thi công tại chỗ ngay trên công trình.

Khi căng cốt thép theo phương pháp căng sau, thường không cần đến bệ căng hoặc tường chịu lực mà tỳ ngay thiết bị căng lên bêtông. Chính vì vậy, nên phương pháp này còn được gọi là phương pháp căng trên bêtông.

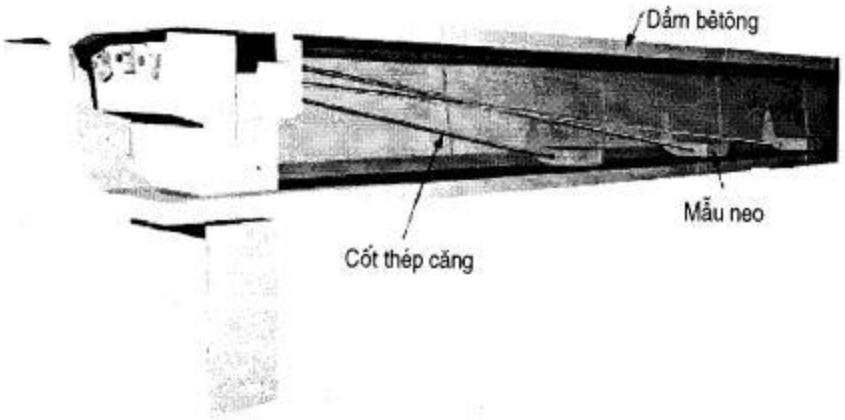
Trên hình 1.4 thể hiện phương pháp căng sau trong sản xuất cấu kiện bêtông ứng suất trước.

1.2.2. Bêtông ứng suất trước căng trong tiết diện và bêtông ứng suất trước căng ngoài tiết diện

Cốt thép căng của kết cấu bêtông ứng suất trước có thể được bố trí ở trong bêtông, nhưng cũng có thể được bố trí ngoài tiết diện bêtông của kết cấu. Khi cốt thép căng được bố trí ngoài tiết diện bêtông người ta gọi là bêtông ứng suất trước căng ngoài tiết diện, còn khi cốt thép căng được bố trí trong tiết diện bêtông người ta gọi là bêtông ứng suất trước căng trong tiết diện.

Phương pháp căng ngoài tiết diện thường được sử dụng để gia cường kết cấu. Trong trường hợp này cốt thép căng được liên kết với bêtông qua các mấu neo. Các mấu neo vừa làm nhiệm vụ truyền ứng lực trước từ cốt thép căng vào bêtông vừa làm nhiệm vụ định vị cốt thép căng. Hình ảnh về bêtông ứng suất trước căng ngoài tiết diện được thể hiện trên hình 1.5.

Phương pháp căng ngoài tiết diện bêtông được áp dụng phổ biến cho các kết cấu mặt cầu dạng hộp. Trong các kết cấu này các thanh cốt thép căng được đặt trong bụng dầm (trong hộp). Trong hộp dầm người ta làm các vách ngang bêtông cốt thép tại các vị trí nhất định để liên kết và định vị cốt thép căng.



Hình 1.5: Bêtông ứng suất trước căng ngoài tiết diện

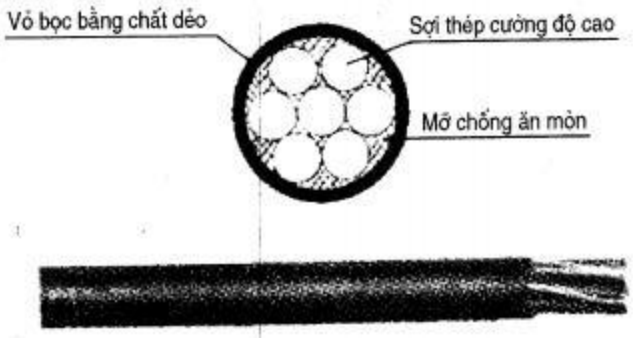
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Điểm mạnh của phương pháp căng ngoài là có thể kiểm tra, bổ sung ứng suất trước hoặc thay thế cốt thép căng khi cần thiết.

1.2.3. Bêtông ứng suất trước có bám dính và bêtông ứng suất trước không bám dính

Bêtông ứng suất trước có bám dính là chỉ loại bêtông ứng suất trước mà cốt thép căng có sự bám dính với bêtông bao quanh. Bêtông ứng suất trước căng trước có cốt thép căng dính kết với bêtông nên đây là loại kết cấu bêtông ứng suất trước có bám dính. Trong bêtông ứng suất trước căng sau, cốt thép căng có thể được bám dính với bêtông bao quanh, cũng có thể không có sự dính kết giữa cốt thép căng và bêtông bao quanh. Trường hợp có sự dính kết giữa cốt thép căng và bêtông bao quanh, gọi là kết cấu bêtông ứng suất trước căng sau có bám dính; trường hợp không có sự dính kết giữa cốt thép căng và bêtông bao quanh, gọi là kết cấu bêtông ứng suất trước căng sau không bám dính.

Trong bêtông ứng suất trước căng sau không bám dính, cốt thép căng do không có sự bám dính với bêtông nên có thể trượt dọc tuyến một cách tự do trong bêtông. Cốt thép căng không bám dính có thể được bố trí thành từng bó và được đặt trong các ống và được liên kết với bêtông tại một số vị trí gọi là vị trí neo. Trong nhiều trường hợp người ta sử dụng cốt thép căng không bám dính dạng tao thép xoắn được bao bọc bởi lớp vỏ chất dẻo có mỡ bảo vệ chống ăn mòn như được thể hiện trên hình 1.6.



Hình 1.6: Cốt thép căng dạng xoắn (tao thép xoắn) không bám dính

1.2.4. Bêtông ứng suất trước toàn phần và bêtông ứng suất trước không toàn phần

Kết cấu bêtông ứng suất trước được thiết kế sao cho trong các giai đoạn chịu lực không xuất hiện ứng suất kéo trong bêtông được gọi là kết cấu bêtông ứng suất trước toàn phần ; trường hợp cho phép xuất hiện ứng suất kéo gọi là kết cấu bêtông ứng suất trước không toàn phần, hay ứng suất trước một phần.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong kết cấu bêtông ứng suất trước không toàn phần, ngoài cốt căng người ta còn bố trí cả cốt thép thường (không căng) để kiểm soát nứt, độ võng và tăng cường độ chịu lực. Bởi vậy, trong một số tài liệu người ta gọi kết cấu bêtông ứng suất trước không toàn phần là kết cấu bêtông sử dụng cả cốt thép căng và không căng làm cốt thép chịu lực.

1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP CĂNG CỐT THÉP

Để tạo ứng suất trước hiện nay người ta thường căng các thanh cốt thép sau đó sử dụng tính năng đàn hồi co lại của chúng để nén bêtông và kết quả là gây ra ứng suất nén trước trong bêtông. Có thể tóm tắt việc tạo ứng suất trước như sau: đầu tiên người ta làm cho thanh cốt thép được dãn ra một lượng cần thiết, tiến hành neo giữ không cho chúng co lại ; do tính năng đàn hồi hồi mà trong các thanh cốt thép có các ứng suất kéo ; việc còn lại là tiến hành tuyền các lực kéo của các thanh cốt thép này lên bêtông để gây ra trong bêtông ứng suất nén. Trong trường hợp này bêtông đã đóng vai trò ngăn cản sự co lại của các thanh cốt thép, còn các thanh cốt thép tác dụng gây ứng suất nén trong bêtông.

Trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 bốn phương pháp căng cốt thép được xem xét: phương pháp cơ học, phương pháp nhiệt - điện, phương pháp kết hợp nhiệt - điện và cơ học và phương pháp hoá – lý.

1.3.1. Phương pháp cơ học

Thực chất của phương pháp là tạo ra độ dãn dài tương đối của cốt thép căng $\varepsilon_{sp} = \frac{\Delta l}{l}$, tương ứng với ứng suất trước $\sigma_{sp} = \varepsilon_{sp} E_p$, bằng phương pháp cơ học - thông thường người ta căng trực tiếp cốt thép bằng các kích thuỷ lực. Ngoài phương pháp căng bằng kích thuỷ lực người ta còn sử dụng phương pháp quay ecu để tạo lực kéo trong các thanh cốt thép, nhưng nhìn chung phương pháp này chỉ được dùng hạn chế trong một số trường hợp đặc biệt.

Trường hợp căng trên bệ, hệ thống kích kéo phải tỳ lên hệ thống bệ căng hoặc tường chịu lực để căng các thanh cốt thép. Như vậy, phương pháp này khác với phương pháp nhiệt - điện ở chỗ, đối với phương pháp nhiệt điện thì bệ căng hoặc tường chịu lực được sử dụng để neo giữ cốt thép sau khi đã làm cho nó dãn dài ra, còn ở phương pháp này thì bệ tỳ hoặc tường chịu lực được sử dụng ngay từ đầu để kéo các thanh cốt thép.

Phương pháp cơ học được nghiên cứu ứng dụng sớm nhất, ngay từ những ngày đầu của lịch sử phát triển kết cấu bêtông ứng suất trước. Đây là phương pháp hiệu quả, có thể áp dụng cho cả trường hợp căng trên bệ cũng như căng trên bêtông.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong trường hợp căng trên bêtông, các kích căng được tì trực tiếp lên bêtông kết cấu nên có thể sản xuất các kết cấu tại công trường mà không cần tới bệ căng.

Hiện nay các thiết bị căng đã đạt trình độ hoàn chỉnh cao và phương pháp cơ học trở thành phương pháp chủ yếu để thi công ứng suất trước của các nước. Phương pháp cơ học đang là phương pháp căng cốt thép duy nhất được áp dụng để sản xuất kết cấu bêtông ứng suất trước ở Việt Nam hiện nay.

1.3.2. Phương pháp nhiệt - điện

Phương pháp nhiệt - điện là làm cho các thanh cốt thép căng dãn dài tương đối ε_{sp} bằng cách sử dụng dòng điện đốt nóng chúng tới nhiệt độ theo tính toán là $\varepsilon_{sp} = \alpha_t \Delta T^0$ (không vượt quá nhiệt độ đốt nóng tới hạn), tương ứng với ứng suất trước theo tính toán là $\sigma_{sp} = \varepsilon_{sp} E_s$.

Nhiệt độ đốt nóng tới hạn là nhiệt độ làm cho cốt thép bị giảm cường độ chịu lực, đối với các loại cốt thép AT-V và AT-VI nhiệt độ đốt nóng tới hạn là 400^0C, đối với các loại sợi thép có đường kính từ 5mm trở lên là 300^0C, còn đối với các loại cốt thép xoắn có đường kính 9mm và 15mm có nhiệt độ đốt nóng tới hạn tương ứng là 350^oC và 450^oC.

Sau khi đốt nóng làm cho các thanh cốt thép dãn ra thì tiến hành neo giữ chúng vào bệ hoặc tường chịu lực và làm nguội chúng. Khi nhiệt độ giảm xuống các thanh cốt thép co lại, nhưng do bị neo chặt nên trong chúng xuất hiện ứng suất kéo – đấy chính là ứng suất trước đã được tạo ra trong cốt thép.

Trường hợp tổng quát, nhiệt độ đốt nóng được tính toán như sau:

$$\Delta T^0 = \frac{\varepsilon_{sp}}{\alpha_t} + \frac{\Delta_1}{\alpha_t l} = \frac{l}{\alpha_t}\left(\varepsilon_{sp} + \frac{\Delta_1}{l}\right) \qquad (1.12)$$

Trong đó:

ΔT^0 là nhiệt độ đốt nóng cần thiết ;

$\alpha_t = 0{,}000012/^0$C là hệ số nở nhiệt của cốt thép ;

$\Delta_1 = 4 - 5$mm phụ thuộc vào phương pháp neo giữ.

Phương pháp nhiệt - điện được nghiên cứu và ứng dụng ở Liên Xô cũ, chủ yếu để sản xuất các cấu kiện lắp ghép có chiều dài đến 24m.

Theo các tài liệu của Liên Xô cũ thì ứng suất trước trong cốt thép được gây bằng phương pháp nhiệt - điện cho phép đạt giá trị 90% giới hạn bền $(0{,}9R_{su})$ của cốt thép.

Phương pháp nhiệt - điện chưa được áp dụng trong thực tế xây dựng ở nước ta.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1.3.3. Phương pháp kết hợp cơ học và nhiệt - điện

Sự kết hợp giữa phương pháp nhiệt - điện và phương pháp cơ học được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng ở Liên Xô cũ (CHLB Nga). Trong phương pháp này vai trò của cơ học chỉ chiếm 20 – 30%, phần còn lại của độ dãn dài của cốt thép được tạo ra bằng nhiệt - điện. Theo tổng kết của Liên Xô cũ (CHLB Nga) thì đây là phương pháp có hiệu quả cao hơn phương pháp cơ học và phương pháp nhiệt - điện cả về tiết kiệm năng lượng và vật liệu cũng như tăng năng suất lao động. Ở nước ta phương pháp này chưa được ứng dụng.

1.3.4. Phương pháp lý – hoá

Thực chất của phương pháp này là sử dụng loại bêtông nở để gây ứng suất trước. Bêtông nở có tính năng là nở thể tích khi khô cứng, khi đó bêtông dính chặt với cốt thép và kéo cốt thép dãn ra. Kết quả là bêtông bị nén, còn cốt thép bị kéo. Phương pháp này có khó khăn trong việc khống chế độ dãn nở của bêtông, do vậy chỉ được dùng trong một số điều kiện nhất định. Ở Việt Nam cho đến nay phương pháp này chưa được áp dụng trong thực tế.

1.4. NEO CỐT THÉP CĂNG

Đối với kết cấu bêtông cốt thép thường, neo cốt thép là một vấn đề quan trọng nhằm mục đích phát huy hết khả năng chịu lực của cốt thép. Cơ sở để neo cốt thép là lực bám dính giữa bêtông và cốt thép. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định các thanh cốt thép tròn trơn trong lưới buộc phải uốn móc ở đầu mút, còn các thanh thép có gờ và các thanh thép tròn trơn trong lưới hàn có thể để thẳng.Độ dài đoạn neo được tính từ đầu mút cốt thép đến tiết diện mà nó được tính toán với đầy đủ khả năng chịu lực. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra công thức tính toán chiều dài đoạn neo căn cứ vào các thông số: đặc tính làm việc của bêtông tại vị trí neo (bêtông bị nén hay bị kéo); loại và đường kính cốt thép ; cường độ bêtông và cường độ cốt thép. Các quy định này vẫn được áp dụng cho cốt thép thường trong kết cấu bêtông ứng suất trước.

Vấn đề neo đối với cốt thép căng có những đặc điểm riêng, khác với neo cốt thép thường và được phân biệt hai trường hợp: sử dụng thiết bị neo và không sử dụng thiết bị neo.

1.4.1. Trường hợp không có thiết bị neo

Trường hợp căng trước (căng trên bệ), sau khi cốt thép được căng đến ứng suất theo tính toán hoặc được làm cho dãn dài ra đến mức theo tính toán thì được neo chặt vào bệ căng hoặc tường chịu lực, sau đó mới tiến hành đổ bêtông. Khi bêtông đạt cường độ theo quy định thì mới buông cốt thép căng. Lực do cốt thép bị căng gây ra được truyền vào bêtông thông qua khả năng bám dính giữa bêtông và cốt thép.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Ứng suất trong thanh cốt thép căng có giá trị bằng không (0) ở đầu mút và tăng dần đến một giá trị nhất định và từ đó ứng suất trong nó có giá trị ổn định. Chiều dài kể từ đầu mút để ứng suất trong cốt thép căng truyền hết vào bêtông gọi là độ dài đoạn truyền ứng suất. Chiều dài đoạn truyền ứng suất của cốt thép căng trong trường hợp này được TCXDVN 356 : 2005 chỉ dẫn tính theo công thức:

$$l_p = \left(\omega_p \frac{\sigma_{sp}}{R_{bp}} + \lambda_p \right) d \qquad (1.13)$$

Trong đó:

d - đường kính cốt thép;

Các hệ số ω_p, λ_p được cho trong bảng 1.1;

Giá trị của σ_{sp} trong (1.12) được lấy bằng:

- Giá trị lớn hơn trong hai giá trị R_s và σ_{sp} khi tính theo độ bền;

- Giá trị σ_{sp} khi tính theo khả năng chống nứt. Ở đây, σ_{sp} được lấy có kể đến tổn hao ứng suất trước từ σ_1 đến σ_5.

Khi áp dụng công thức (1.13) để xác định chiều dài đoạn truyền ứng suất, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định như sau :

- Trong trường hợp cần thiết, giá trị R_{bp} trong (1.13) được nhân với hệ số điều kiện làm việc của bêtông, ngoại trừ γ_{b2};

- Giá trị l_p lấy không nhỏ hơn 15d đối với thanh thép có gờ của tất cả các nhóm;

Bảng 1.1. Các hệ số để xác định độ dài đoạn truyền ứng suất

Loại và nhóm thép		Đường kính (mm)	Các hệ số	
			ω_p	λ_p
1. Thép thanh có gờ (tất cả các nhóm)		Không phụ thuộc đường kính	0,25	10
2. Thép sợi có gờ nhóm Bp-II		5 4 3	1,40 1,40 1,40	40 50 60
3. Tao thép xoắn	K – 7	15 12 9 6	1,00 1,10 1,25 1,40	25 25 30 40
	K – 19	14	1,00	25
Ghi chú: Đối với cấu kiện bêtông nhẹ cấp từ B7,5 đến B12,5 thì các giá trị ω_p, λ_p được tăng lên 1,4 lần so với giá trị trong bảng này.				

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Đối với các cấu kiện bêtông hạt nhỏ nhóm B và bêtông nhẹ cốt liệu rỗng (trừ bêtông cấp từ B7,5 đến B12,5), giá trị ω_p,λ_p trong bảng 1.1 được nhân hệ số 1,2;

- Khi ứng suất trước được truyền đột ngột vào bêtông, đối với các thanh thép có gờ có đường kính đến 18mm, các giá trị ω_p,λ_p được nhân hệ số 1,25, còn các thanh cốt thép có đường kính lớn hơn 18mm, thì không cho phép truyền ứng suất trước một cách đột ngột;

- Đối với cốt thép dạng sợi (trừ thép sợi nhóm Bp-II có các neo trong phạm vi đoạn ngàm) thì điểm đầu của đoạn truyền ứng suất trong trường hợp truyền ứng suất trước đột ngột, được tính từ điểm cách đầu mút cấu kiện đoạn bằng $0,25l_p$.

Quy luật thay đổi ứng suất trong cốt thép căng trong đoạn này có tính phi tuyến, nhưng để đơn giản cho tính toán thường người ta chấp nhận quy luật tuyến tính. Theo giả thiết này thì ứng suất trước trong cốt thép căng tại vị trí cách điểm đầu của đoạn truyền ứng suất một khoảng $l_{px} \le l_p$ được tính theo công thức:

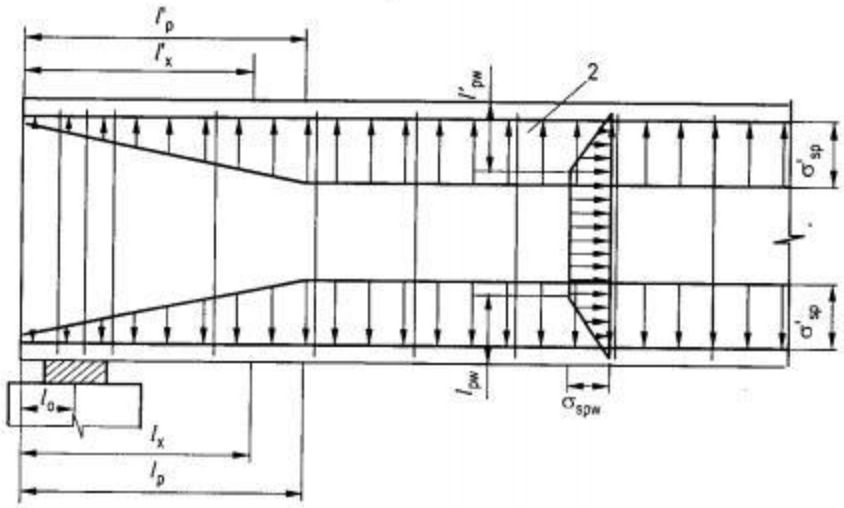
$$\sigma_{spx} = \sigma_{sp1} \frac{l_{px}}{l_p} \qquad (1.14)$$

Trong đó:

σ_{spx} - ứng suất trước trong cốt thép căng tại vị trí tính toán;

l_{px} - khoảng cách từ điểm đầu đoạn truyền ứng suất trước ($l_{px} \le l_p$);

σ_{sp1} - ứng suất trước trong cốt thép căng tại vị trí sau đoạn truyền ứng suất.



Hình 1.7: *Sơ đồ phân bố ứng suất trong cốt thép căng khi không có thiết bị neo*

Trên hình 1.7 là hình ảnh về phân bố ứng suất trong cốt thép căng ở vùng neo. Tương tự như trường hợp có thiết bị neo, trong trường hợp này trong vùng neo

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

(vùng đầu cấu kiện) lực do bó cốt thép căng tác dụng lên cấu kiện cũng làm xuất hiện các ứng suất theo phương vuông góc với trục của bó cốt thép.

1.4.2. Trường hợp sử dụng thiết bị neo

Trường hợp căng trên bêtông, sau khi các thanh cốt thép được căng đến ứng suất theo tính toán thì tiến hành neo giữ chúng bằng thiết bị chuyên dụng, gọi là thiết bị neo hay neo ứng suất trước. Thiết bị neo cũng có thể được sử dụng cho trường hợp căng trên bệ khi lực bám dính giữa bêtông và cốt thép không đủ để neo giữ cốt thép căng. Như vậy, neo là thiết bị dùng để neo giữ cốt thép căng và truyền ứng suất trước lên bêtông.

Trong thực tế người ta phân biệt hai loại neo : neo chủ động (hay còn gọi là neo căng) và neo bị động (hay neo cố định).

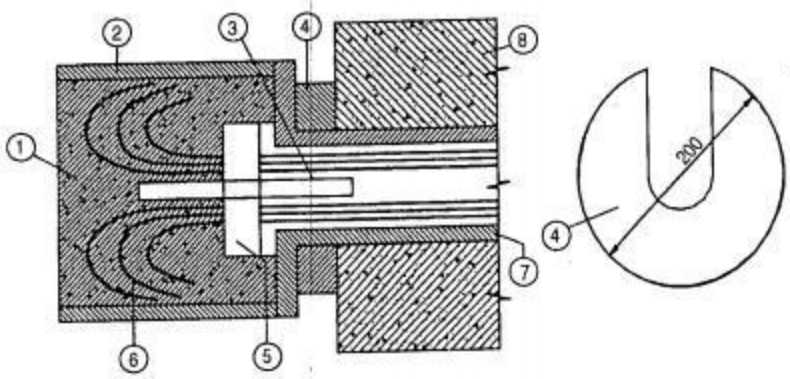
Neo chủ động (neo căng) được bố trí tại đầu căng cốt thép. Sau khi cốt thép được căng thì tiến hành đóng các neo chủ động để giữ cốt thép. Neo bị động (neo cố định) được gắn liền với cốt thép căng ngay từ đầu và làm nhiệm vụ neo giữ cốt thép ngay từ khi căng.

Neo căng (neo chủ động) có cơ chế làm việc đặc biệt. Trong thực tế đang có các kiểu neo:

- Neo kiểu bulông ;
- Neo kiểu cốc ;
- Neo kiểu nêm.

Neo kiểu bulông được sử dụng cho trường hợp cốt thép căng dạng thanh có đường kính lớn. Người ta tạo ren trên cốt thép căng rồi dùng êcu hoặc ống thép có ren để hãm lại kiểu như bulông và sau đó tỳ lên bản thép để truyền lực lên bêtông.

Neo kiểu cốc được nghiên cứu ứng dụng nhiều ở Liên Xô cũ (CHLB Nga), cấu tạo của neo được thể hiện trên hình 1.8.



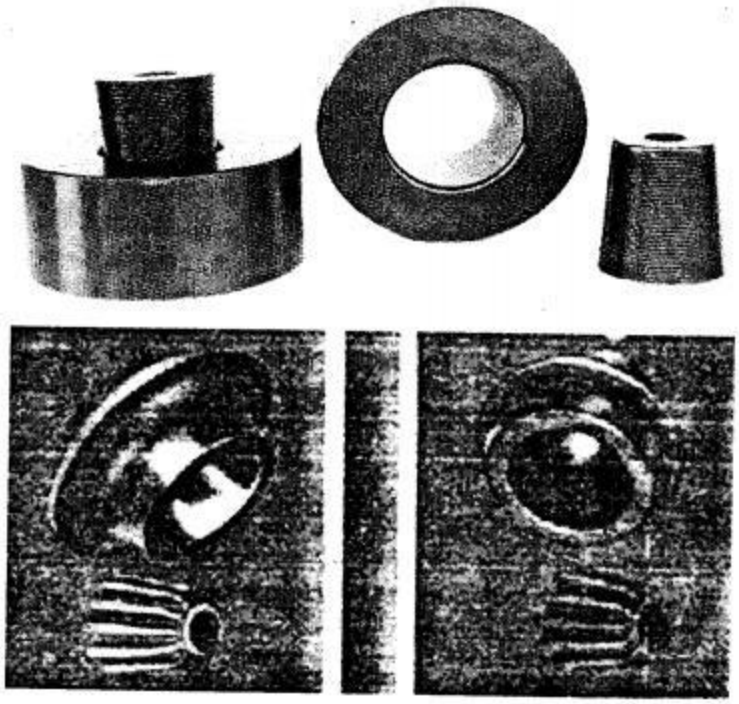
Hình 1.8: *Neo kiểu cốc*

1. Bêtông; 2. Cốc bằng thép; 3. Chốt thép; 4. Vòng đệm bằng thép; 5. Vòng kẹp; 6. Bó sợi thépl;Ống tạo rãnh; 8. Cấu kiện.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Neo kiểu nêm là kiểu neo đã được hãng Freyssinet sáng chế ra và đã được nghiên cứu phát triển thành kiểu neo được sử dụng rộng rãi nhất trên Thế giới. Neo kiểu nêm được sử dụng cho các loại cốt thép căng dạng sợi, dạng xoắn và dạng thanh.

Nêm ở dây thường gồm hai bộ phận có dạng hình côn ngược nhau. Bộ phận ngoài có lỗ hình côn (gọi là vỏ neo), bộ phận trong có dạng mặt ngoài hình côn (gọi là ruột neo). Lực kéo của cốt thép làm cho ruột neo và vỏ neo ép sát vào nhau tạo ra lực ma sát neo giữ cốt thép. Có hai cách neo giữ cốt thép theo phương pháp này. Theo cách thứ nhất các thanh cốt thép được đặt nằm giữa ruột neo và vỏ neo. Khi làm việc hai bộ phận vỏ và ruột neo ép lên các thanh cốt thép tạo ra lực ma sát giữ cốt thép. Đây là kiểu neo do Hãng Freyssinet sáng chế và thường được gọi là neo Freyssinet. Để tăng lực ma sát người ta có thể tạo mặt nhám hoặc tạo hình răng cưa trên mặt ngoài của ruột neo và mặt trong của vỏ neo như trên hình 1.9a, hoặc tạo rãnh ở ruột neo như trên hình 1.9b.



Hình 1.9 : *Neo côn (neo Freyssinet)*
a) Neo côn; b) Neo côn có rãnh đặt cốt thép.

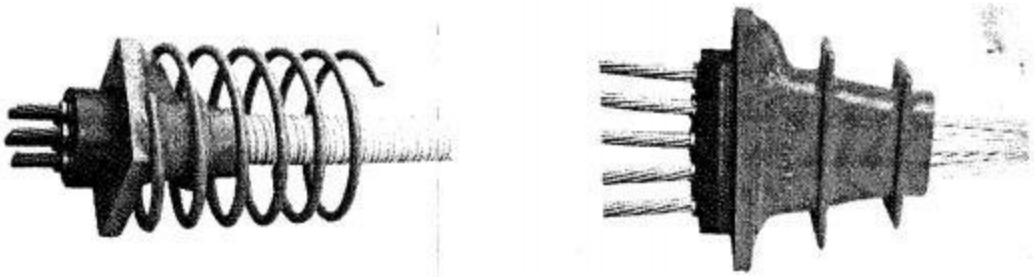
Theo cách thứ hai, ruột neo được chia làm các mảnh ôm lấy thanh cốt thép căng đặt phía trong. Trong trường hợp này ruột neo được gọi là kẹp neo. Khi làm việc thanh cốt thép làm cho kẹp neo dịch chuyển gây ra lực ép giữa kẹp neo và vỏ neo. Lực ép này được truyền lên mặt tiếp xúc giữa kẹp neo và cốt thép gây ra lực ma sát neo giữ cốt thép. Cũng như cách thứ nhất, để tăng lực ma sát neo giữ cốt thép người ta tạo mặt nhám hoặc tạo hình răng cưa trên các kẹp neo về phía tiếp xúc với cốt

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thép. Kiểu neo này thường gọi là neo kẹp hoặc neo VSL – tên của hãng đã sáng chế ra loại neo nó. Kẹp neo là bộ phận quan trọng của neo kẹp kẹp kiểu này. Các kẹp neo dùng cho cốt thép xoắn K7-15 do hàng Freyssinet chế tạo được thể hiện trên hình 1.10. Trên hình 1.11 thể hiện kiểu neo kẹp hình tròn và kiểu kẹp hình dẹt. Neo dẹt thường được sử dụng cho kết cấu mỏng như bản sàn, mặt cầu...



***Hình 1.10** : Kẹp neo (kiểu neo kẹp VSL)*



***Hình 11** : Neo kẹp (neo VSL)*

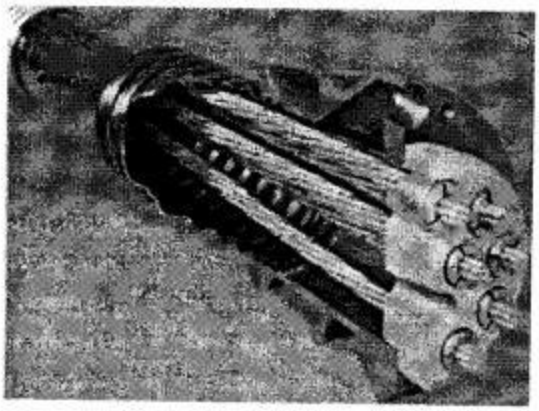
Bộ phận của neo làm nhiệm vụ truyền ứng suất lên bêtông được gọi là đế neo. Đế neo có thể được cấu tạo dạng bản thép đủ dày để truyền đều áp lực lên bề mặt bêtông. Nếu ứng suất trước lớn, bản thép không đủ cứng để dàn đều áp lực lên bêtông, thì có thể tạo thêm các gân. Đế neo kiểu bản thép thường được sử dụng trong trường hợp lực căng của bó cốt thép tương đối nhỏ. Trong một số trường hợp, người ta cấu tạo đế neo và vỏ neo làm một như được thể hiện trên hình 1.12.



***Hình 1.12** : Neo kẹp đơn*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

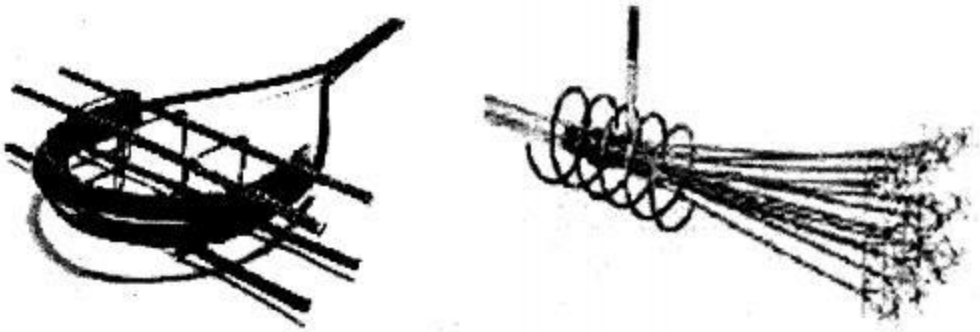
Kiểu neo có đế hình tang trống (hình 1.13) hiện đang được sử dụng phổ biến. Đế neo hình tang trống có độ dài nhất định nên có khả năng không chỉ truyền lực ép lên bề mặt bêtông mà có khả năng truyền lực vào vùng trong cấu kiện, nơi mà bêtông đã được tăng cường khả năng chịu lực bằng các cốt thép ngang. Kiểu đế neo này có khả năng truyền được lực lớn hơn và diện tích chiếm chỗ bé hơn so với đế neo kiểu bản. Ngoài ra, đế neo hình tang trống còn được sử dụng để là họng bơm vữa bảo vệ cốt thép căng. Trong trường hợp này các lỗ bơm vữa được bố trí ngay trên đế neo như được thể hiện trên hình 1.13.



***Hình 1.13** : Cấu tạo neo kẹp có đế neo hình tang trống*

So với neo chủ động thì neo bị động (neo cố định) thường có cấu tạo đơn giản hơn. Trong thực tế thường sử dụng các dạng neo bị động dưới đây :

Neo cốt thép căng đầu cố định bằng cách sử dụng lực bám dính của bêtông và cốt thép căng. Trong trường hợp này sự làm việc của đầu neo giống như trong trường hợp không sử dụng thiết bị neo. Để tăng thêm khả năng bám dính người ta uốn vòng hoặc làm cho các tao thép xoắn tua ra và tăng cường thêm bản thép hoặc khung cốt thép ở vị trí đầu neo như được thể hiện trên hình 1.14.



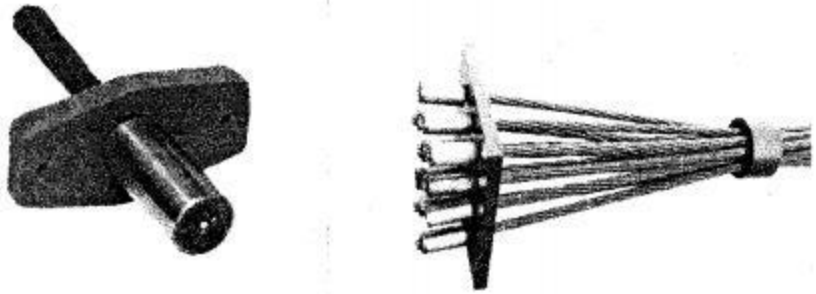
***Hình 1.14**: Các kiểu neo cố định sử dụng lực bám dính của bêtông và cốt thép căng*

Kiểu neo cố định như trên hình 1.15 là sử dụng thiết bị kẹp (gồm ống thép và sợi thép cứng dạng lò xo đặt trong ống và ôm lấy cốt thép căng). Để kẹp được thanh thép căng người ta thực hiện chuốt qua lỗ khuôn làm cho ống thép bị biến dạng, sợi thép ngậm vào thành ống và thanh thép tạo thành cơ chế giữ không cho thanh thép dịch chuyển so với ống. Đây là loại neo hay được dùng trong các kết cấu bêtông ứng suất trước không bám dính. Phía trước neo cố định dạng này người ta thường bố trí

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

bản thép dày. Kiểu neo này có đặc điểm nổi trội là làm cho ứng suất trước trong cốt thép căng có giá trị ổn định ngay sau neo mà không cần đến độ dài đoạn truyền lực. Tuy nhiên so với kiểu neo bám dính thì kiểu neo này có giá thành cao hơn.

Neo căng kiểu kẹp cũng có thể dùng làm neo cố định. Trong trường hợp này chính lực kéo căng trong cốt thép là nhân tố để đóng các kẹp neo.



***Hình 1.15** : Kiểu neo cố định sử dụng kẹp (neo kẹp)*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 2

VẬT LIỆU VÀ CẤU TẠO BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

2.1. KHÁI QUÁT CHUNG VỀ SỬ DỤNG VẬT LIỆU

Vật liệu của kết cấu bêtông ứng suất trước gồm có bêtông, cốt thép căng, cốt thép thường và một số vật liệu khác như neo, bộ nối, ống gen, vữa bơm bảo vệ cốt thép căng.

Kết quả nghiên cứu của Freyssinet và các tác giả khác trong những năm đầu thế kỷ XX chứng tỏ sự cần thiết phải sử dụng vật liệu bêtông và cốt thép căng cường độ cao cho kết cấu bêtông ứng suất trước. Các nghiên cứu cũng đồng thời chứng tỏ rằng việc thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước không chỉ đòi hỏi phải có sự hiểu biết về các đặc tính cơ lý của vật liệu mà còn phải có sự hiểu biết về quá trình biến đổi các đặc tính này theo thời gian. Hay nói cách khác, nghiên cứu kết cấu bêtông ứng suất trước phải gắn liền với khoa học nghiên cứu vật liệu.

Biến dạng do từ biến và co ngót là đặc tính quan trọng của vật liệu bêtông. Biến dạng này làm cho cốt thép căng trong kết cấu bêtông ứng suất trước bị co ngắn lại làm giảm ứng suất căng ban đầu. Đối với các loại bêtông thông thường tổng các biến dạng này dao động trong khoảng $0,0003 \div 0,001$. Mô đun đàn hồi của vật liệu cốt thép là 2.10^5MPa, do vậy tổn hao do biến dạng từ biến và co ngót của bêtông gây ra cho ứng lực căng trong cốt thép là vào khoảng $60 \div 200$MPa Nếu sử dụng cốt thép có cường độ thấp thì lượng hao tổn này là quá lớn. Sử dụng cốt thép cường độ cao trong bêtông ứng suất trước rõ ràng là có lợi hơn. Một số nước xuất phát từ kinh tế còn đặt ra sự hạn chế đối với cường độ thấp nhất của cốt thép căng, như Thụy Sĩ quy định cường độ chịu kéo của vật liệu cốt thép không được thấp hơn 1200MPa, CHLB Đức - không được thấp hơn 1050MPa. Xét về mặt hiệu quả rõ ràng cường độ chịu kéo của cốt thép căng càng cao thì càng tốt, nhưng do cốt thép cường độ cao thường hay bị dòn, không đảm bảo yêu cầu về độ dẻo dai nên chỉ có một số loại được dùng làm cốt thép căng. Sở dĩ cần đến độ dẻo dai của cốt thép căng là vì trong kết cấu chúng thường phải uốn cong, ở chỗ neo phải chịu lực cục bộ tương đối lớn. Độ dẻo dai của cốt thép căng là nhằm mục đích đề phòng sự phá huỷ dòn không có

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

dấu hiệu báo trước rõ ràng và đồng thời để đảm bảo sự phân phối lại nội lực trong kết cấu khi bị quá tải. Do đó, cốt thép căng phải đảm bảo yêu cầu nhất định về độ dẻo dai. Thông thường người ta lấy tỷ số giữa giới hạn bền và giới hạn chảy, tỷ số giữa biến dạng khi bị kéo đứt và biến dạng đàn hồi hoặc đơn giản hơn là giá trị độ dãn dài tương đối khi bị kéo đứt làm chỉ tiêu để đánh giá độ dẻo dai của cốt thép. Hiện nay các loại cốt thép có thể đáp ứng yêu cầu độ dẻo dai trên thế giới thường có độ bền chịu kéo vào khoảng $1800 \div 2000MPa$. Cốt thép có cường độ cao hơn thường không đảm bảo độ dẻo dai (quá giòn) nên không thích hợp để dùng làm cốt thép căng.

Việc sử dụng bêtông cường độ cao đối với kết cấu bêtông ứng suất trước đưa lại những lợi ích sau:

Do giảm kích thước tiết diện nên giảm trọng lượng bản thân kết cấu làm cho kết cấu có thể vượt được nhịp lớn hơn;

Môđun đàn hồi của bêtông cường độ cao lớn hơn so với bêtông cường độ thấp nên có thể giảm được giá trị tổn hao ứng suất trước do biến dạng đàn hồi của bêtông;

Tổn hao ứng suất trước do co ngót và từ biến của bêtông cường độ cao cũng ít hơn so với bêtông cường độ thấp.

Bêtông cường độ cao có khả năng chịu kéo cao nên có thể làm chậm sự xuất hiện vết nứt trong kết cấu, giảm được độ dài truyền đối với kết cấu bêtông ứng suất trước căng trước;

Bêtông cường độ cao có khả năng chịu nén cục bộ cao nên có lợi cho việc bố trí neo cũng như giảm kích thước tấm đệm đối với trường hợp căng sau.

Không chỉ yêu cầu cao hơn về cường độ mà về độ đồng đều của bêtông, kết cấu bêtông ứng suất trước cũng có yêu cầu cao hơn so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường. Trong kết cấu bêtông ứng suất trước có nhiều bộ phận chịu lực cao hơn so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường. Lấy dầm bêtông ứng suất trước đơn giản làm ví dụ, khi tạo ứng suất trước phần đáy của dầm phải chịu áp lực cao, còn dưới tác dụng của toàn bộ ngoại tải thì phần đỉnh của dầm lại chịu áp lực cao; trong khi tiết diện giữa nhịp chịu uốn lớn nhất, thì tiết diện phần đầu dầm phải chịu ứng suất cục bộ cao. Cho nên, việc bảo đảm cường độ và tính đồng đều của bêtông trở nên rất quan trọng đối với kết câu bêtông ứng suất trước.

Một yêu cầu khác đối với bêtông trong kết cấu bêtông ứng suất trước là phải chịu áp lực cao ngay từ rất sớm – khi tạo ứng suất trước. Vấn đề phải đặc biệt quan tâm là làm sao để khi tạo ứng suất trước bêtông không bị nén dập. Trong trường hợp này rõ ràng bêtông cường độ cao tỏ ra ưu việt hơn.

Thông thường bêtông sử dụng cho kết cấu bêtông ứng suất trước có độ bền chịu nén nằm trong khoảng· $30 \div 60MPa$. Theo Tiêu chuẩn ACI, độ bền chịu nén của

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

bêtông theo mẫu trụ yêu cầu $28 \div 55MPa$. Theo Tiêu chuẩn Anh (BS) thì độ bền chịu nén của bêtông theo mẫu khối vuông cho kết cấu bêtông ứng suất trước căng trước yêu cầu không thấp hơn 40MPa, cho kết cấu bêtông ứng suất trước căng sau không thấp hơn 35MPa. Kinh nghiệm cho thấy rằng đối với kết cấu bêtông ứng suất trước thi công tại hiện trường nên sử dụng bêtông có độ bền chịu nén $30 \div 40MPa$, còn đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước sản xuất trong nhà máy nên sử dụng bêtông có độ bền chịu nén $45 \div 60MPa$.

2.2. BÊTÔNG

2.2.1. Phân loại

Bêtông thông thường được phân loại theo các cách khác nhau, ví dụ:

- Phân loại theo cấu trúc: bêtông đặc chắc, bêtông lỗ rỗng, bêtông tổ ong.
- Phân loại theo khối lượng riêng: bêtông nặng thông thường $\gamma = 2200 \div 2500\ kg/m^3$, bêtông nặng cốt liệu nhỏ $\gamma = 1800 \div 2200 kg/m^3$, bêtông nhẹ $\gamma < 1800 kg/m^3$, bêtông nặng đặc biệt $\gamma > 2500 kg/m^3$.
- Phân loại theơ thành phần : bêtông thông thường, bêtông cốt liệu nhỏ, bêtông đá hộc.
- Theo phạm vị sử dụng: bêtông làm kết cấu chịu lực, bêtông chịu nhiệt, bêtông chống xâm thực...

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định về sử dụng làm kết cấu chịu lực các loại bêtông sau:

- Bêtông nặng có khối lượng thể tích trung bình $2200 \div 2500 kg/m^3$;
- Bêtông cốt liệu nhỏ có khối lượng thể tích trung bình $1800 \div 2200 kg/m^3$;
- Bêtông nhẹ có cấu trúc đặc và rỗng;
- Bêtông tổ ong chưng áp và không chưng áp;
- Bêtông tự ứng suất.

Bêtông sử dụng làm kết cấu chịu lực có thể được phân loại căn cứ vào các chỉ tiêu chất lượng sau đây:

- Cấp độ bền nén;
- Cấp độ bền kéo dọc trục;
- Mác chống thấm;
- Khối lượng thể tích;
- Khả năng tự ứng suất.

Quy định về sử dụng cấp và mác bêtông theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 được đưa trong Phụ lục 1.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2.2.2. Cường độ

1. Độ bền nén

Độ bền nén, hay còn gọi là cường độ chịu nén là thuật ngữ dùng để chỉ khả năng chịu lực của bêtông khi chịu nén một trục được thí nghiệm trên mẫu thử chuẩn. Độ bền chịu nén là chỉ tiêu quan trọng của vật liệu bêtông dùng để kiểm soát vật liệu này trong thiết kế cũng như trong thi công xây dựng. Các mẫu chuẩn bêtông thường là mẫu khối vuông kích thước 150 × 150 × 150(mm), 200 × 200 × 200 (mm), 100 × 100 × 100 (mm); mẫu trụ đường kính 150mm (6 in), chiều cao 300mm (12 in.); mẫu lăng trụ kích thước 150 × 150 × 450(mm), 100 × 100 × 300(mm). Trong các loại mẫu thử trên thì loại mẫu thử hình khối vuông kích thước 150 × 150 × 150 (mm) và mẫu thử hình trụ tròn có đường kính 150mm (6 in) và chiều cao 300mm (12 in) là được sử dụng nhiều hơn cả. Tiêu chuẩn Việt Nam sử dụng mẫu thử chuẩn khối vuông kích thước 150 × 150 × 150 (mm).

Khi chịu lực nén, bêtông biến dạng nở ngang và dẫn đến bị nứt theo phương dọc. Nếu biến dạng theo phương ngang bị hạn chế thì độ bền của bêtông được tăng lên. Khi thí nghiệm, ma sát giữa bàn nén và mẫu thử làm cản trở sự nở ngang của bêtông tại mặt tiếp xúc. Sự cản trở biến dạng này làm cho bêtông tại vùng gần các mặt tiếp xúc khó bị phá hủy hơn so với phần giữa mẫu thử. Nếu bôi trơn mặt tiếp xúc giữa bàn máy nén và mẫu thử thì sự hạn chế biến dạng ngang do ma sát giảm xuống và giá trị độ bền thu được sẽ nhỏ hơn khi không bôi trơn. Cũng chính do ảnh hưởng của ma sát làm cản trở biến dạng ngang mà giá trị độ bền theo mẫu trụ và lăng trụ đều thấp hơn độ bền theo mẫu khối vuông.

Khi thí nghiệm mẫu thử, tốc độ gia tải có ảnh hưởng đến giá trị độ bền thu được. Người ta thường quy định tốc độ gia tải khi thí nghiệm mẫu bêtông là 0,2MPa/s và độ bền thu được là R. Khi gia tải nhanh giá trị độ bền thu được có thể bằng $(1,15 \div 1,2)R$, còn khi gia tải rất chậm giá trị độ bền thu được có thể chỉ đạt $(0,85 \div 0,9)R$.

Xét về thành phần vật liệu, bêtông là một hỗn hợp gồm nước, xi măng, cốt liệu và không khí. Những thay đổi về đặc tính hoặc tỷ lệ của các vật liệu thành phần cũng như những thay đổi trong khâu trộn, vận chuyển, đổ và lèn chặt bêtông dẫn đến những thay đổi về độ bền của bêtông thành phẩm. Nhìn chung khó có thể làm ra các mẫu thử có cấu trúc giống nhau từ cùng một loại bêtông. Ngoài ra, những sai số trong thí nghiệm sẽ dẫn đến sự sai khác về độ bền của các mẫu thử được làm ra cùng một loại bêtông; hay nói cách khác số liệu thí nghiệm xác định độ bền của bêtông luôn có độ phân tán nhất định. Chính vì thế nên người ta thường sử dụng phương pháp xử lý thống kê để đưa ra các giá trị đặc trưng cho bêtông từ những kết quả thí nghiệm. Thông thường giá trị đặc trưng của cường độ bêtông, hay còn gọi là cường

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

độ đặc trưng, là giá trị trung bình thống kê của độ bền chịu nén tức thời với xác suất đảm bảo không dưới 95%, xác định trên mẫu thử được chế tạo, dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm nén ở tuổi 28 ngày. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 sử dụng khái niệm cấp độ bền làm chỉ tiêu đặc trưng cho cường độ của bêtông.

2. Độ bền kéo

Độ bền kéo, hay còn gọi là cường độ chịu kéo của bêtông nhỏ hơn nhiều so với độ bền chịu nén (bằng 8÷15% cường độ chịu nén). Bêtông bị nứt khi xuất hiện ứng suất kéo có giá trị tương đối bé. Khi bị nứt, tính năng làm việc của kết cấu biến đổi mạnh, do đó độ bền kéo của bêtông là một chỉ tiêu quan trọng trong thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước. Độ bền kéo của bêtông có thể được xác định theo các phương pháp thí nghiệm như sau:

- Phương pháp thứ nhất là thí nghiệm kéo trực tiếp mẫu thử bêtông. Mẫu thử chuẩn được chế tạo có hai đầu vai còn phần giữa có tiết diện hình vuông. Thực tế cho thấy rằng thí nghiệm này cho kết quả với sự phân tán lớn. Sự phân tán lớn ở đây là do tập trung ứng suất tại vùng kẹp giữ của thiết bị thí nghiệm lên mẫu thử, độ nghiêng và độ lệch tâm khi lắp đặt mẫu thử cũng như cấu trúc không đồng đều của bêtông. Do những nguyên nhân trên, phương pháp thí nghiệm kéo trực tiếp mẫu thử xác định cường độ chịu kéo của bêtông hiện nay ít được áp dụng, mà thay vào đó, độ bền kéo của bêtông được xác định một cách gián tiếp thông qua thí nghiệm uốn dầm và thí nghiệm chẻ (tách) mẫu thử trụ tròn.

- Phương pháp thí nghiệm uốn dầm sử dụng mẫu thử dạng dầm đơn giản chịu hai tải trọng tập trung tại các vị trí cách gối bằng 1/3 nhịp. Lấy ứng suất kéo lớn nhất của tiết diện phần giữa nhịp làm môđun phá hoại khi uốn hay độ bền kéo uốn của bêtông. Giá trị của độ bền kéo uốn cao hơn nhiều so với độ bền chịu kéo dọc trục. Có ba nguyên nhân dẫn đến sự sai khác này. Đầu tiên là dầm được tính theo quy luật phân bố tuyến tính của ứng suất, nhưng trong thực tế sự phân bố này có dạng cong. Thứ hai là khi dầm chịu uốn dạng phân bố ứng suất trong bêtông vùng chịu kéo có lợi cho độ bền kéo của bêtông. Thứ ba là chỉ có mép ngoài cùng của tiết diện dầm mới xuất hiện ứng suất lớn nhất, chỉ cần điểm xung yếu của bêtông không nằm trong phần này thì sẽ không xảy ra hiện tượng phá huỷ sớm - tức là có khả năng nâng cao hơn độ bền kéo của bêtông. Do các nguyên nhân trên, mô đun phá hoại khi uốn của bêtông tính trung bình cao hơn khoảng 50% so với độ bền kéo trực tiếp của bêtông.

- Thí nghiệm nứt tách là một phương pháp gián tiếp để xác định độ bền kéo của bêtông, do kết quả thí nghiệm tương đối ổn định, nên được áp dụng nhiều trên thế giới. Trong trường hợp này mẫu thử thường là hình trụ tròn, hoặc mẫu thử khối vuông. Trường hợp sử dụng mẫu thử hình trụ thì khi thí nghiệm, mẫu thử được đặt nằm ngang trên tấm nén của máy thí nghiệm. Tải trọng thí nghiệm được tác dụng xuyên tâm theo phương thẳng đứng. Dưới tác dụng của tải trọng này sẽ sinh ra ứng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

suất kéo gần như phân bố đều theo phương vuông góc làm nứt tách mẫu thí nghiệm ra làm đôi theo phương thẳng đứng.

Nói chung độ bền kéo nhận được bằng thí nghiệm nứt tách có giá trị bé hơn giá trị nhận được bằng thí nghiệm uốn dầm, nhưng lớn hơn giá trị nhận được bằng thí nghiệm kéo trực tiếp.

Khi độ bền nén của bêtông tăng lên thì độ bền kéo cũng tăng lên, nhưng tăng chậm hơn. Quy luật gần đúng để miêu tả sự phụ thuộc của độ bền kéo vào độ bền nén của bêtông trong một số tiêu chuẩn là quy luật căn bậc hai.

3. Cấp độ bền

Trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 sử dụng các đặc trưng vật liệu "cấp độ bền chịu nén của bêtông" và "cấp độ bền chịu kéo của bêtông".

Cấp độ bền chịu nén của bêtông: ký hiệu bằng chữ B, là giá trị trung bình thống kê của độ bền chịu nén tức thời, tính bằng đơn vị MPa, với xác suất đảm bảo không dưới 95%, xác định trên các mẫu thử khối vuông kích thước tiêu chuẩn (150 mm x 150 mm x 150 mm) được chế tạo, dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm nén ở tuổi 28 ngày.

Cấp độ bền chịu kéo của bêtông: ký hiệu bằng chữ B_t, là giá trị trung bình thống kê của độ bền chịu kéo tức thời, tính bằng đơn vị MPa, với xác suất đảm bảo không dưới 95%, xác định trên các mẫu kéo tiêu chuẩn được chế tạo, dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm kéo ở tuổi 28 ngày.

Tương quan giữa cấp độ bền chịu nén và độ bền chịu nén tức thời của bêtông được xác định theo công thức:

$$B = R_m\left(1-1{,}64v\right) \tag{2.1}$$

Tương quan giữa cấp độ bền chịu nén và độ bền chịu nén tức thời của bêtông được xác định theo công thức:

$$B_t = R_{tm}\left(1-1{,}64v_t\right) \tag{2.2}$$

Trong các công thức (2.1) và (2.2):

R_m, R_{tm} – tương ứng là các giá trị trung bình thống kê của độ bền chịu nén và chịu kéo tức thời của bêtông được xác định như sau:

$$R_m = \frac{n_1R_1 + n_2R_2 + \ldots + n_nR_n}{n_1 + n_2 + \ldots + n_n} \tag{2.3a}$$

$$R_{tm} = \frac{n_1R_{t1} + n_2R_{t2} + \ldots + n_nR_{tn}}{n_1 + n_2 + \ldots + n_n} \tag{2.3b}$$

n_i - số lượng các mẫu thử tiêu chuẩn có độ bền tương ứng khi nén (kéo) là R_i (R_{ti});

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ν - hệ số biến động của độ bền các mẫu thử tiêu chuẩn:

$$\nu = \frac{\sigma}{R_m} \tag{2.4a}$$

$$\nu_t = \frac{\sigma_t}{R_{tm}} \tag{2.4b}$$

σ (σ_t) - độ lệch quân phương:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_m)^2}{n-1}} \tag{2.5a}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (R_{ti} - R_{tm})^2}{n-1}} \tag{2.5b}$$

Trường hợp thiếu số liệu có thể lấy : ν= 0,135 ứng với trường hợp chịu nén, ν = 0,165 ứng với trường hợp chịu kéo.

Trong trường hợp chỉ nói đến cấp độ bền, thì được hiểu là độ bền nén của bêtông. Các cấp độ bền nén của bêtông được sử dụng trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 bao gồm: B3,5, B5, B7,5, B10, B12,5, B15, B20, B22,5, B25, B30, B35, B40, B45, B50, B55, B60...

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định về sử dụng cấp độ bền của bêtông đối với kết cấu bêtông ứng suất trước như được thể hiện trong bảng 2.1.

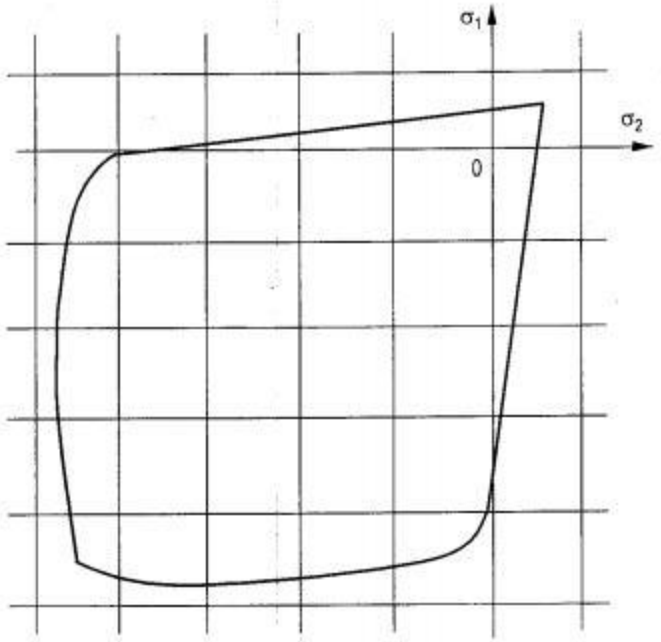
Bảng 2.1. Quy định về sử dụng cấp độ bền của bêtông đối với kết cấu bêtông ứng suất trước

Loại và nhóm cốt thép căng		Cấp độ bền của bêtông không thấp hơn
1. Thép sợi nhóm:		
B-II (có neo)		B20
Bp-II (không có neo) có đường kính:	≤ 5 mm	B20
	≥ 6 mm	B30
K-7 và K-19		B30
2. Thép thanh không có neo, có đường kính:		
+ từ 10 mm đến 18 mm, nhóm:	CIV, A-IV	B15
	A-V	B20
	A-VI và AT-VII	B30
+ ≥ 20 mm, nhóm:	CIV, A-IV	B20
	A-V	B25
	A-VI và AT-VII	B30

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

4. Độ bền của bêtông khi chịu lực theo hai hoặc ba trục

Gọi là bêtông chịu lực theo hai trục khi nó chịu các lực tác dụng theo hai phương vuông góc với nhau. Về cơ bản không có sự ngăn cản biến dạng theo phương thứ ba. Vấn đề này tương tự như trường hợp bài toán ứng suất phẳng trong lý thuyết đàn hồi. Độ bền của bêtông chịu trạng thái ứng suất hai trục được thể hiện trên hình 2.1. Có thể xảy ra các trường hợp tổ hợp ứng suất theo hai trục như sau: cả hai trục chịu kéo, một trục chịu kéo và một trục chịu nén và cả hai trục đều chịu nén.



Hình 2.1: *Hình ảnh về độ bền của bêtông chịu lực theo hai trục*

Trường hợp chịu kéo theo cả hai trục, độ bền của bêtông gần bằng độ bền chịu kéo một trục. Ở đây bêtông bị phá hoại theo dạng bị đứt gẫy theo phương vuông góc với ứng suất kéo chính lớn nhất.

Trường hợp một ứng suất chính là kéo, còn ứng suất kia là nén thì bêtông bị phá hoại tại ứng suất thấp hơn so với giá trị mà bêtông bị phá hoại khi chịu kéo hoặc nén theo một trục. Trạng thái ứng suất kiểu này thường gặp trong thân dầm.

Khi bêtông chịu nén theo cả hai trục thì bêtông bị phá hoại với việc hình thành các mặt đứt gẫy theo phương song song với phía không chịu tải. Đây là phương chịu kéo lớn nhất. Độ bền của bêtông khi chịu nén theo cả hai trục lớn hơn khi chịu nén theo một trục. Khi ứng suất nén theo hai trục bằng nhau thì độ bền xấp xỉ bằng 107% so với trường hợp nén theo một trục.

Khi bêtông chịu nén theo cả ba trục thì sự phá hoại của nó xảy ra dưới dạng hình thành các đứt gẫy do kéo song song với ứng suất kéo lớn nhất hoặc có thể xuất hiện

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

kiểu phá hoại do cắt. Độ bền của bêtông khi chịu nén theo cả ba trục lớn hơn khi chịu nén một trục. Trường hợp bêtông dạng trụ hoặc lăng trụ chịu nén theo phương dọc trục nhưng lại bị hạn chế biến dạng theo hai trục còn lại thì độ bền của nó được tăng lên đáng kể, phụ thuộc vào mức độ hạn chế biến dạng. Sự làm việc của cột bêtông có thép đai là ví dụ về trường hợp chịu lực kiểu này. Trường hợp bị hạn chế nở hông hoàn toàn thì cường độ chịu nén của bêtông cao gấp hơn 3 lần so với cường độ khi chịu nén một trục.

5. Độ bền mỏi

Trong điều kiện chịu tải trọng lặp đi lặp lại, sau khi trải qua nhiều lần lặp lại, bêtông bị phá hoại với điều kiện tải trọng thấp hơn so với tải phá hoại tĩnh lực. Khái niệm về độ bền mỏi của bêtông được hiểu là độ bền bêtông chịu được với sự lặp lại một số lượng lần nhất định của tải trọng mà không bị phá hoại (thông thường sử dụng tỷ lệ phần trăm độ bền tĩnh lực để thể hiện). Cường độ và biên độ thay đổi của tải trọng lặp cũng như số lượng lần lặp lại để xuất hiện sự phá huỷ có mối liên quan mật thiết. Do đó, cũng giống như độ bền mỏi của vật liệu thép, độ bền mỏi của bêtông là đại lượng có điều kiện. So sánh với sự phá hoại khi thí nghiệm tĩnh lực, đặc điểm của sự phá hoại do mỏi là có biến dạng lớn và có sự xuất hiện rất nhiều vết nứt. Từ đó thấy rằng, phá hoại do mỏi của bêtông hoàn toàn không nguy hiểm như phá hoại do mỏi của vật liệu thép (làm cho vật liệu thép bị dòn).

Kết quả thí nghiệm được viện dẫn trọng tiêu chuẩn ACI 215 (Hoa Kỳ) cho thấy khi biên độ của ứng suất nén trong bêtông không vượt quá 55 % độ bền nén của bêtông chịu lực tĩnh (độ bền tĩnh lực) thì bêtông có thể chịu được 10^7 chu kỳ lặp mà không bị phá hoại do mỏi; trong trường hợp chịu kéo và chịu uốn thì biên độ ứng suất bêtông chịu được mà không bị phá hoại cũng vào khoảng 55% độ bền tĩnh lực tương ứng. Nói chung, đối với kết cấu của các công trình xây dựng thông thường, khi biên độ ứng suất không vượt quá các giới hạn này thì vấn đề độ bền mỏi của bêtông ít được quan tâm.

6. Sự thay đổi cường độ theo thời gian

Cường độ của bêtông tăng dần theo thời gian, tốc độ tăng lúc đầu nhanh, sau đó chậm dần, sau khoảng $2 \div 3$ năm thì đi vào ổn định, nhưng sự phát triển của cường độ bêtông còn kéo dài trong nhiều năm mới kết thúc. Về quy luật phát triển cường độ theo thời gian của bêtông liên quan đến nhiều yếu tố, ví dụ như loại bêtông hay điều kiện bảo dưỡng, do đó khó có thể nhận được công thức hay một đường cong thực nghiệm thích hợp. Trong điều kiện bình thường, độ bền chịu nén của bêtông ở tuổi 90 ngày đạt giá trị xấp xỉ 1,1 lần và sau một năm thì đạt giá trị khoảng 1,2 lần độ bền ở tuổi 28 ngày.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong điều kiện môi trường khô cường độ của bêtông tăng nhanh trong giai đoạn đầu nhưng sau đó tắt nhanh. Ngược lại, trong môi trường ẩm cường độ của bêtông lúc đầu tăng chậm nhưng sự phát triển được kéo dài theo thời gian. Nói chung, trong môi trường ẩm sự phát triển cường độ của bêtông thuận lợi hơn so với môi trường khô.

Sự phát triển cường độ của bêtông trong giai đoạn đầu phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và độ ẩm môi trường. Cường độ của bêtông tăng nhanh trong môi trường nhiệt độ cao. Các cấu kiện sản xuất trong nhà máy thường được dưỡng hộ nhiệt có thể đạt cường độ theo yêu cầu từ sớm. Ngày nay, để đẩy nhanh sự đóng rắn của bêtông, người ta đã nghiên cứu nhiều biện pháp hữu hiệu, ví dụ như nâng cao hoạt tính của chất kết dính, giảm lượng nước dùng ban đầu trong hỗn hợp, sử dụng phụ gia đóng rắn nhanh, dưỡng hộ nhiệt, bão hoà hợi nước áp suất cao...

Người ta đã sử dụng biện pháp dưỡng hộ bằng hơi nước nóng ở nhiệt độ 170^0C và áp suất 8atm làm cho bêtông có thể đạt cường độ thiết kế trong vòng 12giờ.

Trong điều kiện bình thường, sự phát triển cường độ theo thời gian của bêtông sử dụng ximăng pooclăng có thể được xác định theo công thức của B.G. Scramtaev:

$$R_n = R_{28}\lg n/\lg 28 \qquad (2.6)$$

Trong đó:

R_n - độ bền nén của bêtông ở tuổi n ngày;

R_{28} - độ bền nén của bêtông ở tuổi 28 ngày;

lg - hàm số logarit.

Uỷ ban hỗn hợp CEB/FIP đưa ra các giá trị để tham khảo về cường độ của bêtông theo thời gian như được thể hiện trong bảng 2.2.

Bảng 2.2. Sự phát triển cường độ của bêtông theo thời gian (CEB/FIP)

Tuổi bêtông	3	7	28	90	360
Ximăng pooclăng	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Ximăng đóng rắn nhanh	0,50	0,75	1,00	1,15	1,20

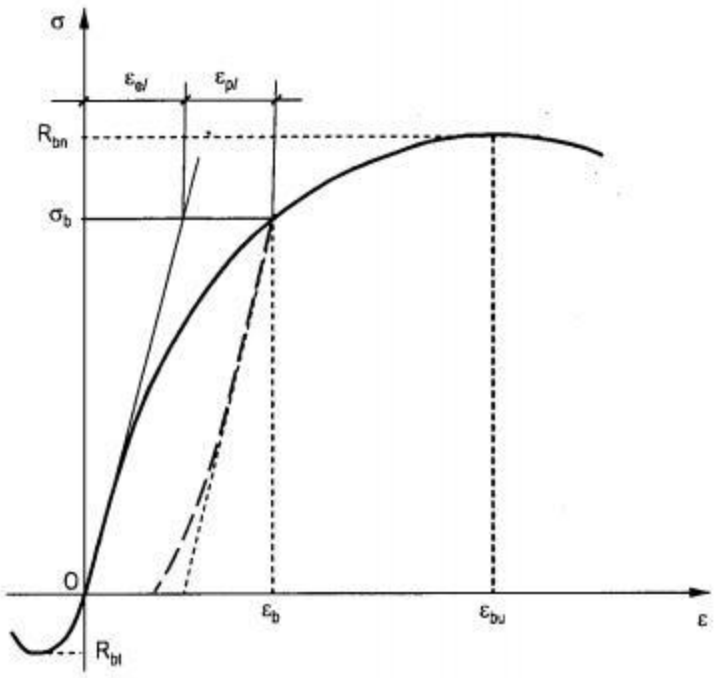
Cũng như độ bền nén, độ bền kéo của bêtông cũng phát triển lâu dài theo thời gian. Tốc độ phát triển của độ bền kéo của bêtông theo thời gian nhanh hơn tốc độ phát triển của độ bền nén. Sự phát triển nhanh theo thời gian của độ bền kéo của bêtông làm cho khả năng chịu cắt của kết cấu tăng nhanh. Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc lựa chọn thời gian thích hợp để tháo dỡ cốp pha của một số kết cấu nằm ngang như các bản sàn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2.2.3. Biến dạng

1. Quan hệ ứng suất - biến dạng

Đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng của bêtông khi gia tải một trục ngắn hạn có dạng như được thể hiện trên hình 2.2. Đoạn phía trên ứng với trường hợp chịu nén, đoạn phía dưới ứng với trường hợp chịu kéo.



Hình 2.2: *Quan hệ ứng suất – biến dạng của bêtông*

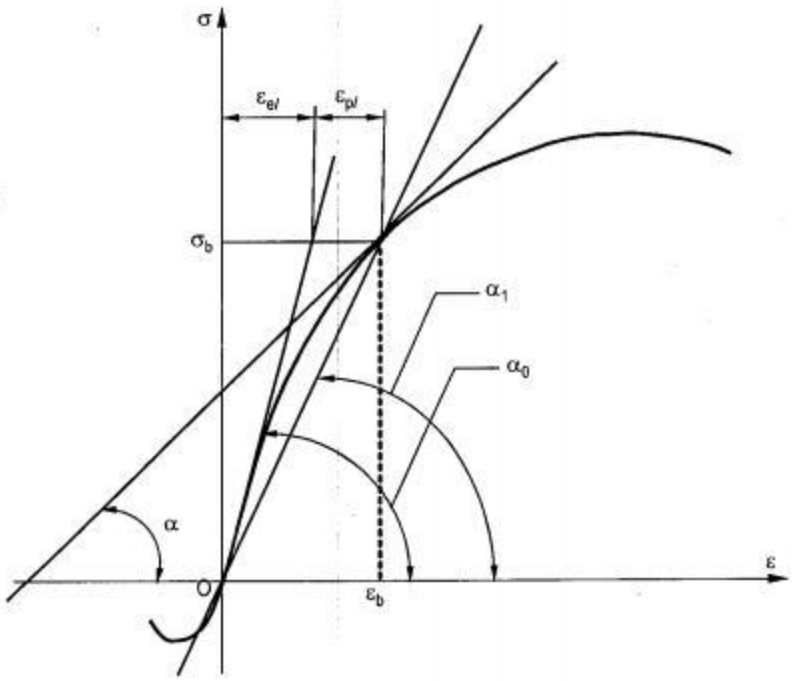
Đường cong phía trên có hai phần khác nhau là phần đi lên và phần đi xuống. Phần đi lên cũng có thể chia làm hai phần: phần gần như thẳng và phần cong. Phần gần như thẳng kéo dài từ gốc toạ độ đến điểm ứng với ứng suất xấp xỉ 45% độ bền chịu nén của bêtông. Phần đường cong tiếp tục đi lên đến đỉnh tức là đến độ bền nén của bêtông. Phần gần như thẳng đặc trưng cho tính tuyến tính của quan hệ ứng suất – biến dạng, còn phần cong đặc trưng cho tính phi tuyến. Ở đây đặc trưng tuyến tính được chấp nhận một cách tương đối. Đối với vật liệu bêtông thì tính phi tuyến của quan hệ ứng suất – biến dạng có ngay từ khi ứng suất tương đối nhỏ. Tuy nhiên trong tính toán nếu sử dụng quy luật phi tuyến thì sẽ gặp khó khăn, do vậy người ta thường xem quy luật này là tuyến tính cho đến khi ứng suất nén đạt giá trị xấp xỉ 45% độ bền nén của bêtông. Kết quả thí nghiệm cho thấy biến dạng của bêtông khi đạt độ bền nén (đỉnh của đường cong) nằm trong khoảng $0,001 \div 0,003$. Giá trị biến dạng cực hạn của bêtông nằm trong khoảng $0,001 \div 0,004$. Đối với cấu kiện chịu uốn giá trị biến dạng cực hạn của bêtông tại mép chịu nén có giá trị trong khoảng $0,003 \div 0,005$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Quan hệ ứng suất – biến dạng của bêtông khi chịu kéo dọc trục được thể hiện bằng phần đường cong phía dưới của hình 2.2. Trước khi ứng suất đạt giá trị xấp xỉ 50% độ bền kéo, biểu đồ có dạng gần với đường thẳng. Phần biểu đồ còn lại có dạng cong. Biến dạng cực hạn của bêtông đạt giá trị xấp xỉ 0,0001 ứng với trường hợp chịu kéo dọc trục và từ 0,00014 đến 0,00018 khi chịu kéo uốn. Thông thường người ta lấy giá trị biến dạng cực hạn của bêtông khi chịu kéo uốn để tính toán là 0,00015.

2. Môđun đàn hồi

Khi bêtông bắt đầu chịu lực, nói một cách chính xác, giữa ứng suất và biến dạng không hề tồn tại mối quan hệ tuyến tính, dù cho trong trường hợp ứng suất không cao thì biến dạng cũng không thể khôi phục hoàn toàn sau khi cất tải. Cho đến nay, trên thế giới vẫn chưa có sự thống nhất về định nghĩa và phương pháp thí nghiệm xác định môđun đàn hồi của bêtông. Hiện đang tồn tại ba phương pháp biểu thị môđun đàn hồi của bêtông: 1) Môđun tiếp tuyến ban đầu - là độ dốc của tiếp tuyến tại điểm đầu của đường cong ứng suất – biến dạng của bêtông; 2) Môđun tiếp tuyến – là độ dốc của đường tiếp tuyến với đường cong ứng suất – biến dạng tại một giá trị quy định của ứng suất trong bêtông; 3) Môđun cát tuyến – là độ dốc của đường thẳng nối điểm đầu của đường cong với điểm trên đường cong ứng với giá trị ứng suất được quy định trong bêtông.



Hình 2.3: *Sơ đồ xác định môđun đàn hồi và môđun biến dạng của bêtông*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 sử dụng môđun đàn hồi ban đầu làm môđun đàn hồi của bêtông. Trên hình 2.3, môđun đàn hồi của bêtông chính là:

$$E_b = tg\alpha_0 = \frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon}\Big|_{\varepsilon=0} \tag{2.7}$$

Môđun đàn hồi - dẻo hay môđun biến dạng của bêtông chính là môđun cát tuyến, được xác định theo công thức:

$$E_b' = tg\alpha_1 = \nu_b E_b \tag{2.8}$$

Trong đó:

E_b - môđun đàn hồi của bêtông khi nén;

E_b' - môđun biến dạng của bêtông khi nén;

$\nu_b = \frac{\varepsilon_{el}}{\varepsilon_b}$ - hệ số biến dạng đàn hồi của bêtông khi nén.

Khi chịu kéo, môđun đàn hồi ban đầu của bêtông cũng giống như khi chịu nén, còn môđun biến dạng của bêtông khi chịu kéo được xác định như sau:

$$E_{bt}' = \nu_{bt} E_b \tag{2.9}$$

Trong đó:

E_{bt}' - môđun biến dạng của bêtông khi kéo;

ν_{bt} - hệ số biến dạng đàn hồi của bêtông khi kéo.

3. Hệ số nở ngang và môđun biến dạng trượt

Hệ số nở ngang (hệ số Poisson) của bêtông có giá trị thay đổi trong khoảng $0,11 \div 0,21$ và thường nằm trong khoảng $0,15 \div 0,20$ [14]. Trong tính toán thường sử dụng giá trị 0,20 đối với trường hợp chịu nén theo một hoặc hai trục, giá trị 0,18 đối với trường hợp kéo theo một hoặc hai trục và giá trị $0,18 \div 0,20$ đối với trường hợp cả kéo và nén. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định giá trị của hệ số nở ngang là 0,2 cho mọi trường hợp.

Môđun biến dạng trượt của bêtông:

$$G_b = \frac{E_b}{2(1+\nu)} = 0,42E_b \approx 0,4E_b.$$

4. Hệ số giãn nở nhiệt

Hệ số giản nở nhiệt của bêtông thường nằm ở mức xấp xỉ $10^{-5}/^0C$. Giá trị này có thể dao động ít nhiều phụ thuộc vào các yếu tố như thành phần bêtông, độ ẩm và tuổi của bêtông.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định hệ số giãn nở nhiệt của bêtông khi nhiệt độ thay đổi trong khoảng từ - 40^0C đến 50^0C, tuỳ thuộc vào loại bêtông và được lấy như trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Hệ số giản nở nhiệt của một số loại bêtông

Loại bêtông	$\alpha_{bt}\left[10^{-5}/°C\right]$
Bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ và bêtông cốt liệu nhỏ loại đặc chắc	1
Bêtông nhẹ dùng cốt liệu nhỏ loại rỗng	0,7
Bêtông tổ ong và bêtông rỗng	0,8

5. Từ biến

Từ biến là hiện tượng mà dưới ứng suất hay tải trọng không đổi, biến dạng tiếp tục phát triển theo thời gian. Tốc độ tăng của biến dạng ban đầu nhanh, về sau giảm dần và sau một thời gian tương đối dài mới gần như đi vào ổn định. Độ lớn của biến dạng do từ biến có quan hệ mật thiết với nguyên vật liệu, điều kiện ngoại cảnh cũng như quá trình thay đổi ứng suất theo thời gian của bêtông.

Vật liệu làm bêtông chủ yếu bao gồm đá, cát, ximăng, nước và chất phụ gia. Nguyên liệu sỏi có tỷ lệ hút nước thấp và mô đun đàn hồi cao có lợi cho việc giảm biến dạng do từ biến của bêtông. Các loại đá dùng làm nguyên liệu có ảnh hưởng đến từ biến của bêtông theo thứ tự: đá vôi, đá thạch anh, đá granite.

Thể tích của xi măng dễ bị biến dạng, do đó tăng hàm lượng đá có lợi cho việc giảm biến dạng do từ biến. Tăng hàm lượng vữa và tăng tỷ lệ nước / xi măng đều làm tăng biến dạng do từ biến của bêtông.

Độ ẩm có ảnh hưởng lớn đến từ biến của bêtông. Độ ẩm cao thì biến dạng do từ biến của bêtông giảm. Từ biến của bêtông ở độ ẩm 50% gấp 1,4 lần so với ở độ ẩm 70% và gấp 2 lần so với ở độ ẩm 90% [17].

Nếu như kết cấu không bị mất đi dễ dàng lượng nước trong bêtông, thì chính là có lợi cho việc giảm biến dạng do từ biến. Ví dụ lớp bảo dưỡng chống mất nước cho kết cấu bêtông là biện pháp dùng để ngăn sự mất nước bêtông, nhưng cũng đồng thời có lợi cho việc giảm biến dạng do từ biến. Tiết diện hình I có diện tích bề mặt tiếp xúc với không khí lớn, dễ bị mất nước trong bêtông, có thể gây ..nên sự phát triển mạnh của biến dạng do từ biến hơn là tiết diện tròn hay chữ nhật. Ảnh hưởng của kích thước và hình dạng tiết diện kết cấu bêtông thường được thể hiện bằng tỷ số giữa thể tích và diện tích bề mặt của bêtông.

Tuổi của bêtông là thời gian kể từ khi bêtông được chế tạo đến thời điểm tác dụng lần đầu tiên của tải trọng hoặc thời điểm các lần thay đổi tải trọng về sau. Tuổi của

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

bêtông khi gia tải lần đầu càng lớn thì càng giảm được biến dạng do từ biến. Tuổi bêtông 28 ngày có từ biến lớn hơn 10% so với tuổi 90 ngày[17].

Thực nghiệm cho thấy, nếu ứng suất trong bêtông không quá cao (không vượt quá 40% độ bền chịu nén), thì giữa biến dạng do từ biến và ứng suất nhìn chung có quan hệ tuyến tính [14]. Do vậy, người ta đã sử dụng một hệ số để biểu thị tỷ số giữa biến dạng tăng thêm do từ biến và biến dạng đàn hồi của bêtông. Hệ số này được gọi là hệ số từ biến và được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\varphi_b = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{el}} \tag{2.10}$$

Trong đó:

ε_{cr} - biến dạng từ biến của bêtông;

ε_{el} - biến dạng đàn hồi của bêtông;

Khi thời gian tương đối lâu thì hệ số từ biến ổn định dần đến giá trị giới hạn φ_{bu}. Giá trị φ_{bu} của bêtông trong điều kiện thông thường nằm trong khoảng $1,5 \div 3,5$. Đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước căng trước, tuổi bêtông khi gây ứng suất trước sớm, thì giá trị của hệ số từ biến có thể cao hơn một ít; đối với trường hợp căng sau, thời gian gây ứng suất trước muộn, thì giá trị của hệ số từ biến có thể sẽ thấp hơn chút ít.

Ngoài khái niệm hệ số từ biến như được xem xét trên đây, trong một số tài liệu còn sử dụng khái niệm suất từ biến.

Suất từ biến là đại lượng được xác định bằng biểu thức toán học như sau:

$$C_b(t,t_0) = \frac{\partial \varepsilon_{cr}(t,t_0)}{\partial \sigma_b}\Big|_{\sigma \to 0} \tag{2.11}$$

Trong đó:

$C_b(t,t_0)$ - suất từ biến của bêtông với tuổi gia tải $t_0 \le t$;

σ_b - ứng suất không đổi do tải trọng ngoài tác dụng lên bêtông kể từ thời điểm $t_0 \le t$;

$\varepsilon_{cr}(t,t_0)$ - biến dạng từ biến của bêtông ứng với trường hợp ứng suất σ_b.

Khi ứng suất σ_b tương đối nhỏ ($\sigma_b \le 0,3R_{bn}$), biến dạng từ biến của bêtông gần như tỷ lệ với ứng suất. Trong trường hợp này suất từ biến của bêtông có thể được xác định theo công thức:

$$C_b = \frac{\varepsilon_{cr}}{\sigma_b} \tag{2.12}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

C_b - suất từ biến có đơn vị $(MPa)^{-1}$;

σ_b - ứng suất không đổi tác dụng lên bêtông.

Giữa hệ số từ biến và suất từ biến có mối quan hệ như sau:

$$\varphi = C_b E_b \tag{2.13}$$

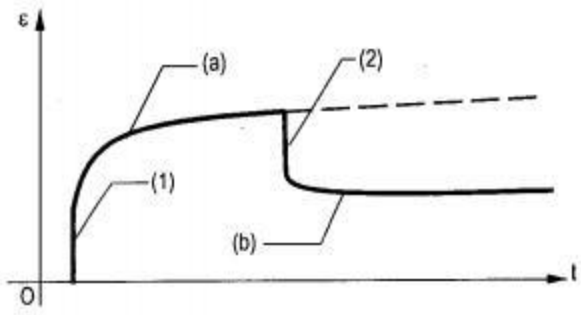
Suất từ biến là đại lượng thay đổi theo thời gian và khi thời gian khá dài thì giá trị của suất từ biến tiến tới giá trị giới hạn C_{bu} .Giá trị giới hạn C_{bu} của một số loại bêtông được đưa trong bảng 2.4 [8].

Bảng 2.4. Giá trị giới hạn suất từ biến của bêtông $C_{bu}.10^6(MPa)^{-1}$

Độ sụt (cm)	Cấp độ bền của bêtông					
	B10	B15	B20	B30	B40	B50
1-2	149	128	108	74	59	50
5-6	163	143	115	84	67	-
9-10	184	154	122	89	71	-

Quy luật phát triển theo thời gian của biến dạng do từ biến cũng như quy luật ảnh hưởng của các yếu tố đến từ biến của bêtông, nói chung là phức tạp. Một cách sơ lược có thể thấy rằng, trong tổng giá trị biến dạng do từ biến có khoảng 1/4 đầu tiên xảy ra trong vòng 2 tuần kể từ khi gây ứng suất trước, 1/4 tiếp theo xảy ra trong vòng $2 \div 3$ tháng, 1/4 thứ ba xảy ra trong vòng 1 năm, còn 1/4 cuối cùng thì cần rất nhiều năm mới có thể kết thúc [17].

Đường cong thể hiện quan hệ giữa biến dạng do từ biến của bêtông và thời gian có dạng như trên hình 2.4. Đoạn thẳng đứng đầu tiên (1) thể hiện biến dạng tức thời của mẫu thử khi gia tải; đoạn thẳng đứng thứ hai (2) thể hiện độ phục hồi biến dạng khi giảm tải; đoạn đường cong thứ nhất (a) thể hiện biến dạng do từ biến của bêtông khi chịu tải kéo dài; đoạn thứ hai (b) thể hiện độ phục hồi của biến dạng do từ biến sau khi giảm tải; Đường cong nét đứt thể hiện biến dạng do từ biến khi không có quá trình giảm tải.



Hình 2.4: *Đường cong đặc trưng biến dạng do từ biến của bêtông*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

6. Co ngót

Co ngót là hiện tượng co lại của bêtông trong quá trình hoá cứng và khô dưới nhiệt độ không đổi. Lượng co ngót của bêtông tăng theo thời gian, lúc đầu tăng nhanh, sau đó giảm dần và sau nhiều năm mới kết thúc.

Do khi trộn bêtông, lượng nước vượt quá yêu cầu, sự bốc hơi của lượng nước thừa này làm cho bêtông bị co ngót. Biến dạng do co ngót có liên quan đến điều kiện ứng suất trong bêtông. Nếu như bị cản trở, biến dạng do co ngót có thể làm cho bêtông bị nứt.

Độ lớn của biến dạng do co ngót phụ thuộc vào độ ẩm tương đối của môi trường. Trong môi trường khô độ co ngót của bêtông tăng lên, ngược lại trong môi trường ẩm độ co ngót giảm. Trong [18] chỉ ra rằng khi độ ẩm tương đối của môi trường giảm từ 90% đến 40%, biến dạng co ngót của bêtông có thể tăng lên 4 lần. Có thể xem co ngót của bêtông là hiện tượng có tính thuận nghịch. Nếu như đem bêtông khô ngâm vào trong nước, thì bêtông sau khi hút no nước có thể nở ra đến mức phục hồi lại thể tích ban đầu khi chưa bị mất nước.

Co ngót của bêtông phụ thuộc vào thành phần của nó. Vữa xi măng hoá cứng sẽ co lại, trong khi các cốt liệu thì không co. Do vậy, phần thể tích được tạo ra bằng vữa xi măng thuỷ hoá càng lớn thì sự co ngót càng lớn. Tính chất của các cốt liệu cũng ảnh hưởng đến sự co ngót của bêtông. Bêtông sử dụng cốt liệu đá có môđun đàn hồi cao co ngót ít hơn so với bêtông sử dụng loại đá có môđun đàn hồi thấp.

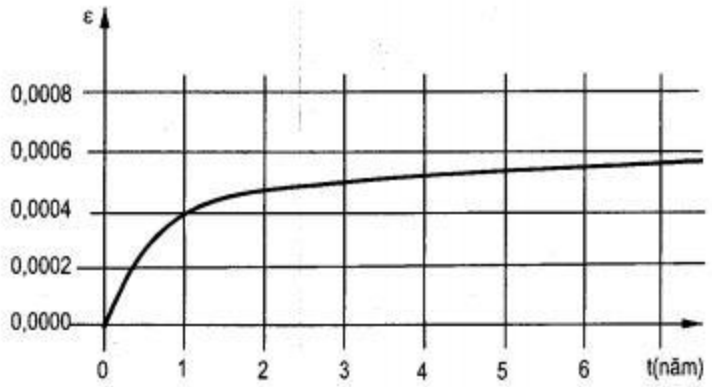
Tỷ lệ N/X có ảnh hưởng đến tính co ngót của bêtông – tỷ lệ N/X càng cao thì độ co ngót của bêtông càng lớn. Khi hàm lượng xi măng trong bêtông tăng lên, độ co ngót của bêtông cũng tăng lên.

Sự phát triển co ngót gắn liền với quá trình mất nước của bêtông. Các kết cấu mỏng co ngót nhanh hơn các kết cấu dày vì lượng nước trong kết cấu mỏng khuếch tán nhanh hơn.

Đường cong thể hiện biến dạng do co ngót của bêtông theo thời gian có dạng như trên hình 2.5. Tốc độ phát triển co ngót của bêtông chậm lại theo thời gian.

Người ta đã tiến hành thí nghiệm đo biến dạng do co ngót của mẫu hình trụ đường kính 150mm (6in.), chiều cao 300mm (12in.) duy trì trong thời gian dài trong môi trường có độ ẩm tương đối 40% nằm trong khoảng $0,0004 \div 0,0011$ [17]. Tuy nhiên, trong thực tế lượng co ngót của bêtông kết cấu thường có xu thế ít hơn vì: 1) Tỷ lệ thể tích với diện tích bề mặt nhìn chung lớn hơn so với khối trụ, vì vậy quá trình bị khô của bêtông diễn ra chậm hơn; 2) Một kết cấu được tạo nên theo nhiều giai đoạn nên các giai đoạn lần lượt giảm bớt phần co ngót kể từ khi giai đoạn tiếp theo được hoàn thành; 3) Cốt thép trong kết cấu đóng vai trò hạn chế sự phát triển co ngót.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



***Hình 2.5:** Đường cong thể hiện biến dạng do co ngót của bêtông*

Giá trị biến dạng cuối cùng của bêtông do co ngót trong thực tế thường ước tính nằm trong khoảng $0{,}0003 \div 0{,}0006$. Giá trị trung bình đối với bêtông nặng lấy xấp xỉ 0,0004; đối với bêtông nhẹ lấy xấp xỉ 0,00045 [8].

2.3. CỐT THÉP

2.3.1. Phân loại và phạm vi sử dụng

Các loại cốt thép phải đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn hiện hành của Nhà nước. Theo TCVN 1651:1985, có các loại cốt thép tròn trơn CI và cốt thép có gân (cốt thép vằn) CII, CIII, CIV. Theo TCVN 3101: 1979 có các loại dây thép cácbon thấp kéo nguội. Theo TCVN 3100: 1979 có các loại thép sợi tròn dùng làm cốt thép bêtông ứng suất trước.

Trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 có kể đến các loại thép nhập khẩu từ Nga, gồm các chủng loại sau:

1. Cốt thép thanh

- Cán nóng: tròn trơn nhóm A-I, có gờ nhóm A-II và AC-II, A-III, A-IV, A-V, A-VI;

- Gia cường bằng nhiệt luyện và cơ nhiệt luyện: có gờ nhóm AT-IIIC, AT-IV, AT-IVC, AT-IVK, AT-VCK, AT-VI, AT-VIK và AT-VII.

2. Cốt thép dạng sợi

- Thép sợi kéo nguội:

+ loại thường: có gờ nhóm Bp-I;

+ loại cường độ cao: tròn trơn B-II, có gờ nhóm Bp-II.

- Thép cáp (tao thép xoắn)

+ Loại 7 sợi K-7, loại 19 sợi K-19.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Có thể sử dụng phương pháp tăng cường độ bằng cách kéo thép thanh nhóm A-IIIB trong các dây chuyền công nghiệp (có kiểm soát độ giãn dài và ứng suất hoặc chỉ kiểm soát độ giãn dài). Việc sử dụng chủng loại thép mới sản xuất cần phải được được các cơ quan có thẩm quyền phê duyệt.

Để làm các chi tiết đặt sẵn và những bản nối cần dùng thép bản cán nóng hoặc thép hình theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCXDVN 338 : 2005.

Các loại thép được sản xuất theo tiêu chuẩn của các nước khác (kể cả thép được sản xuất trong các công ty liên doanh) phải tuân theo các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn tương ứng và phải cho biết các chỉ tiêu kỹ thuật chính như sau:

- Thành phần hoá học và phương pháp chế tạo đáp ứng với yêu cầu của thép dùng trong xây dựng;
- Các chỉ tiêu về cường độ: giới hạn chảy, giới hạn bền và hệ số biến động của các giới hạn đó;
- Môđun đàn hồi, độ giãn dài cực hạn, độ dẻo;
- Khả năng hàn được;
- Với kết cấu chịu nhiệt độ cao hoặc thấp cần biết sự thay đổi tính chất cơ học khi tăng giảm nhiệt độ;
- Với kết cấu chịu tải trọng lặp cần biết giới hạn mỏi.

Đối với các loại cốt thép không được quy định trong tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) thì căn cứ vào các chỉ tiêu cơ học để quy đổi về cốt thép tương đương khi lựa chọn phạm vi sử dụng của chúng.

Việc lựa chọn cốt thép phụ thuộc vào loại kết cấu cũng như điều kiện thi công và sử dụng nhà và công trình, và xét đến sự thống nhất hoá cốt thép dùng cho kết cấu theo nhóm và đường kính, v.v...

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định sử dụng cốt thép cường độ cao làm cốt thép căng trong kết cấu bêtông ứng suất trước phụ thuộc vào điều kiện làm việc của kết cấu, cụ thể là:

- Đối với kết cấu thông thường, cần sử dụng: thép thanh nhóm A–V (A–V, AT–V, AT–VK, AT–VCK), A–VI (A–VI, AT–VI, AT–VIK) và AT–VII; thép sợi nhóm B–II, Bp–II, thép cáp K–7 và K–19. Cho phép sử dụng thép thanh nhóm CIV, A–IV (A–IV, AT–IV, AT–IVC, AT–IVK) làm cốt thép căng. Trong các kết cấu có chiều dài không quá 12m nên ưu tiên sử dụng cốt thép thanh nhóm AT–VII, AT–VI và AT– V.
- Để làm kết cấu chịu áp lực hơi, chất lỏng và vật liệu rời nên dùng các loại: thép sợi nhóm B–II, Bp–I và thép cáp K–7 và K–19; thép thanh nhóm A–V (A–V, AT–V, AT–VK, AT–VCK), A–VI (A–VI, AT–VI, AT–VIK) và AT–VII; thép thanh nhóm

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

CIV, A–IV (A–IV, Ат–IV, Ат–IVC, Ат–IVK). Đối với các kết cấu này có thể sử dụng cốt thép A – IIIB.

- Để làm kết cấu làm việc trong môi trường xâm thực mạnh nên ưu tiên dùng cốt thép nhóm CIV, A–IV, cũng như các loại cốt thép nhóm Ат–VIK, Ат–VK, Ат–VCK và Ат–IVK.

Để làm cốt thép thường (không căng), tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định sử dụng các loại thép sau đây:

- Thép thanh nhóm Ат-IVC: dùng làm cốt thép dọc;
- Thép thanh nhóm CIII, A-III và Ат-IIIC: dùng làm cốt thép dọc và cốt thép ngang;
- Thép sợi nhóm Bp-I: dùng làm cốt thép ngang và cốt thép dọc;
- Thép thanh nhóm CI, A-I, CII, A-II và Ac-II: dùng làm cốt thép ngang cũng như cốt thép dọc (nếu như không thể dùng loại thép thường khác được);
- Thép thanh nhóm CIV, A-IV (A-IV, Ат-IV, Ат-IVK): dùng làm cốt thép dọc trong khung thép buộc và lưới thép;
- Thép thanh nhóm A-V (A-V, Ат-V, Ат-VK, Ат-VCK), A-VI (A-VI, Ат-VI, Ат-VIK), Ат-VII: dùng làm cốt thép dọc chịu nén, cũng như dùng làm cốt thép dọc chịu nén và chịu kéo trong trường hợp bố trí cả cốt thép thường và cốt thép căng trong khung thép buộc và lưới thép.

Để làm cốt thép thường (không căng), cho phép sử dụng cốt thép nhóm A-IIIB làm cốt thép dọc chịu kéo trong khung thép buộc và lưới. Nên sử dụng cốt thép nhóm CIII, A-III, Ат-IIIC, Ат-IVC, Bp-I, CI, A-I, CII, A-II và Ac-II trong khung thép buộc và lưới. Cho phép sử dụng làm lưới và khung thép hàn các loại cốt thép nhóm A-IIIB, Ат-IVK (làm từ thép mác $10MnSi_2$, $08Mn_2Si$) và Ат-V (làm từ thép mác 20MnSi) trong liên kết chữ thập bằng hàn điểm.

2.3.2. Đặc điểm của các loại cốt thép

1. Sợi thép cường độ cao

Đường kính của sợi thép cường độ cao sử dụng làm cốt thép căng thường nằm trong khoảng $4 \div 12$ mm. Các sợi thép có đường kính $4 \div 8$ mm thường được dùng cho trường hợp căng trước, còn các sợi thép có đường kính $9 \div 12$ mm thường được dùng cho trường hợp căng sau. Các sợi thép này thường sử dụng loại thép các bon tròn chất lượng tốt thông qua vài lần tuốt nguội đạt được đường kính và cường độ yêu cầu. Thành phần hoá học của vật liệu thép theo tiêu chuẩn các nước không giống nhau nhưng sai khác không lớn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Phần trong của sợi thép sau khi tuốt nguội có tồn tại nội ứng suất tương đối lớn , nên người ta thường sử dụng cách xử lý nung sau khi hạ nhiệt để triệt tiêu nội ứng lực, sợi thép qua xử lý như vậy được gọi là sợi thép khử ứng suất. Cách làm cụ thể là nung nóng sợi thép tuốt nguội đến một nhiệt độ thích hợp (thường không quá $500^{o}C$), sau đó làm lạnh rồi lại nung nóng. Sợi thép qua quá trình khử ứng suất thì giới hạn tỷ lệ, cường độ và mô đun đàn hồi đều có phần được nâng cao, độ dẻo cũng được cải thiện.

Độ chùng ứng suất của sợi thép khử ứng suất tuy thấp hơn chút ít so với sợi thép trước khi xử lý khử ứng suất, nhưng vẫn tương đối cao. Do vậy người ta phát triển một loại công nghệ gọi là "bình thường hoá", tức là tiến hành nung lại $300 \div 400^{o}C$ và khử ứng suất cho sợi thép tuốt nguội trong điều kiện có ứng suất kéo nhất định. Bằng cách này độ chùng ứng suất của sợi thép có thể giảm xuống còn 1/3 so với sợi thép khử ứng suất. Sợi thép loại này gọi là sợi thép có độ chùng thấp, hiện nay đang được sử dụng phổ biến trên thế giới.

Do công nghệ sản xuất khác nhau nên các loại sợi thép được các hãng khác nhau sản xuất thường có sự khác nhau; đặc biệt là giá trị giới hạn tỷ lệ của chúng thường cao hoặc thấp hơn một ít. Việc sử dụng sợi thép có giới hạn tỷ lệ cao tốt hơn hay sử dụng loại có giới hạn tỷ lệ thấp tốt hơn? Vấn đề này nói chung chưa có sự đánh giá thống nhất. Lý do cho rằng sử dụng sợi thép có giới hạn tỷ lệ cao tốt hơn tốt hơn là giai đoạn đàn hồi của vật liệu thép lớn hơn nên tổn hao do chùng ứng suất ít hơn và do vậy có thể giảm được cốt thép căng. Lý do cho rằng sử dụng sợi thép có giới hạn tỷ lệ cao không tốt là vì khả năng bị rỉ của loại thép này cao hơn, sự kẹp giữ của một số dụng cụ neo khó khăn h120ơn và sự tăng giới hạn tỷ lệ có khi còn làm giảm độ dẻo của cốt thép.

Hiện nay trên thế giới có các loại sợi thép cường độ cao dạng tròn trơn, dạng có khắc vết và dạng lượn sóng. Việc khắc vết hoặc tạo hình dạng lượn sóng cho các sợi cốt thép cường độ cao là nhằm tăng khả năng bám dính giữa bêtông và cốt thép.

Quy cách và các đặc trưng của các loại thép cường độ cao dạng sợi dùng cho kết cấu bêtông ứng suất trước theo tiêu chuẩn Việt Nam được quy định trong TCVN 6284 : 1997.

2. Tao thép xoắn cường độ cao

Tao thép xoắn cường độ cao được tạo ra bằng 2, 3, 7 hoặc 19 sợi thép cường độ cao xoắn lại với nhau. Sử dụng nhiều nhất là loại tao thép 7 sợi do 6 sợi thép quấn cùng chiều bao quanh một sợi thép trung tâm. Đường kính của sợi thép trung tâm thường lớn hơn các sợi thép xung quanh $6 \div 7\%$. Bước xoắn của sợi thép thường từ $12 \div 16$ lần đường kính của nó. Dây thép xoắn thường dùng có 2 loại $7\phi4$ và $7\phi5$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong một số trường hợp căng trước người ta sử dụng loại tao thép xoắn do 2 hay 3 sợi có đường kính 3mm tạo thành.

Tao thép xoắn 7 sợi có diện tích tiết diện tương đối lớn, khá mềm nên dễ thi công, thích hợp cho cả phương pháp căng trước lẫn phương pháp căng sau, nên hiện nay đã trở thành một loại vật liệu cốt thép căng được sử dụng nhiều nhất trên thế giới.

Để sử dụng làm cốt thép căng không bám dính, người ta phủ lên bề mặt tao thép xoắn một lớp mỡ chống ăn mòn và bọc nó bằng lớp chất dẻo. Loại tao thép xoắn có vỏ bọc này đang được sử dụng phổ biến trên thế giới để làm cốt thép căng trong công nghệ căng sau không bám dính.

Để giảm đường kính ngoài của tao thép xoắn, ở Anh người ta đã sản xuất một loại tao thép xoắn "tuốt khuôn". Do trong quá trình tuốt khuôn các bề mặt tiếp xúc của sợi thép chịu sự nén làm cho sợi thép biến dạng từ tiết diện hình tròn trở thành tiết diện gần giống như hình lục giác, do vậy đã giảm được đường kính và các khe hở giữa các sợi thép. Đối với trường hợp căng sau sử dụng tao thép xoắn tuốt khuôn có lợi hơn vì loại này có đường kính nhỏ nên có thể tăng được diện tích cốt thép căng trong cùng một diện tích mặt cắt ống gen, đồng thời việc neo giữ cốt thép này cũng dễ hơn. Nhưng trong phương pháp căng trước, do diện tích tiếp xúc với bêtông giảm đi, lực kết dính bị giảm xuống nên sử dụng loại tao thép này không thích hợp.

Tính năng làm việc của tao thép xoắn giống như tính năng của các sợi thép tạo nên nó. Cũng như trường hợp sợi thép cường độ cao, tao thép xoắn cường độ cao cũng được chia làm hai loại : loại có độ chùng thấp và loại có độ chùng bình thường.

Quy cách và các đặc trưng của các loại tao thép xoắn cường độ cao dùng cho kết cấu bêtông ứng suất trước theo tiêu chuẩn Việt Nam được quy định trong TCVN 6284 : 1997.

3. Thanh cốt thép cường độ cao

Cốt thép hợp kim thấp có chứa các nguyên tố như mangan, silic, crom được xử lý nguội để nâng cao cường độ trở thành cốt thép cường độ cao. Sau khi xử lý nguội thì phải thực hiện biện pháp khử ứng suất để cải thiện tính năng cơ học. Loại thép này chất lượng tốt, độ chùng nhỏ, tính năng chống ăn mòn tốt và giá thành tương đối thấp. Về cường độ của vật liệu thép, thường chia làm 2 cấp có độ bền kéo tương ứng là 1060MPa và 1100MPa. Đường kính của loại cốt thép này thường nằm trong khoảng $19 \div 32$ mm.

Gần đây người ta đã sử dụng các công nghệ xử lý nhiệt đặc biệt để thu được cốt thép cường độ cao dạng thanh có cường độ cao hơn. Độ bền của loại cốt thép này có thể đạt được mức $1360 \div 1460$ MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Quy cách và các đặc trưng của các loại thép cường độ cao dạng thanh dùng cho kết cấu bêtông ứng suất trước theo tiêu chuẩn Việt Nam được quy định trong TCVN 6284 : 1997.

4. Cốt thép thường

Cốt thép thường thuộc loại thép các bon hoặc thép hợp kim thấp. Thép các bon có hàm lượng các bon nằm trong khoảng 0,3 – 0,5%. Các loại thép hợp kim thấp có trong thành phần của nó một lượng nhỏ các nguyên tố khác như mangan, crôm, titan, silic...nhằm nâng cao cường độ và cải thiện một số tính chất của thép.

Cốt thép có thể được chế tạo thành cốt thép cán nóng hoặc sợi thép kéo nguội. Cốt thép cán nóng có hai dạng: tròn trơn và có gờ. Sợi thép kéo nguội thường ở dạng tròn trơn có đường kính không quá 8mm.

Cốt thép thường có giới hạn chảy nằm trong khoảng $235 \div 540$ MPa, giới hạn bền nằm trong khoảng $380 \div 835$ MPa, môđun đàn hồi lấy giá trị $E_s = 2.10^5$ MPa, độ dãn dài khi kéo đứt yêu cầu không nhỏ hơn 4%.

Các loại cốt thép thường thông dụng được giới thiệu trong tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 và trong phụ lục 7.

2.3.3 Các đặc trưng cơ học của cốt thép

Cốt thép cường độ thấp có miền chảy rõ ràng và độ dãn dài tương đối khi bị kéo đứt có giá trị lớn, còn cốt thép cường độ cao thì miền chảy thường không rõ ràng và độ dãn dài tương đối khi bị kéo đứt bé. Đường cong quan hệ ứng suất – biến dạng của cốt thép cường độ cao khác với cốt thép cường độ thấp. Đường cong điển hình quan hệ ứng suất – biến dạng của các loại cốt thép được thể hiện trên hình 2.6. Các đại lượng đặc trưng của cốt thép cần được quan tâm là: độ dốc ban đầu của đường cong chính là mô đun đàn hồi của cốt thép, biến dạng cực hạn khi cốt thép bị kéo đứt, giới hạn bền khi chịu kéo (độ bền chịu kéo) của cốt thép, giới hạn tỷ lệ, giới hạn chảy.

Về giới hạn chảy của cốt thép cường độ cao hiện nay có ba khái niệm (quy ước), đó là giới hạn chảy ứng với biến dạng dư 0,1%, giới hạn chảy ứng với biến dạng dư 0,2% và giới hạn chảy ứng với biến dạng tương đối bằng 1% của cốt thép.

Giới hạn chảy ứng với biến dạng của cốt thép đạt 1% thường được dùng cho cốt thép cường độ cao dạng xoắn (thép cáp). Đối với cốt thép dạng xoắn việc thí nghiệm xác định giới hạn chảy quy ước theo giá trị biến dạng dư gặp khó khăn, vì loại cốt thép này do các sợi được xoắn (bện) lại nên luôn có độ chùng nhất định. Khi thí nghiệm khó phân biệt được độ dãn dư và độ dãn do chùng của cốt thép.

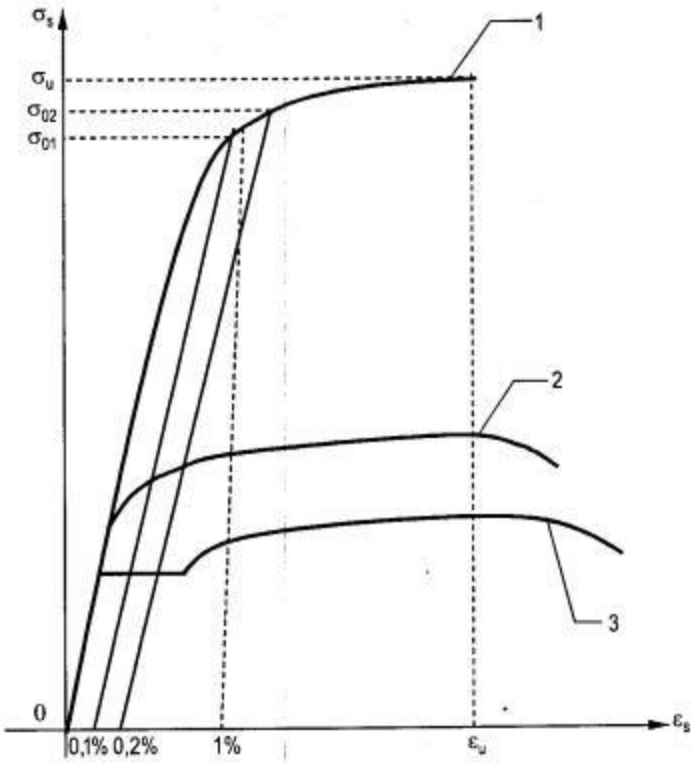
Trong một số tiêu chuẩn giới hạn chảy được hiểu là ứng suất ứng với biến dạng dư 0,1%, còn trong các tiêu chuẩn khác thì giới hạn chảy lại được quy định là ứng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

suất ứng với biến dạng dư 0,2% của cốt thép. Trong tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6284 : 1997 quy định cả 2 loại giới hạn chảy cho các loại cốt thép căng. Trong BS 8110 : 1997 và CEB – FIP Model Code 1990 sử dụng ứng suất ứng với biến dạng dư 0,1% làm giới hạn chảy của cốt thép căng. Các tiêu chuẩn Hoa kỳ (ASTM A – 416, ASTM A – 421, ASTM A – 322 và ASTM A – 29) quy định giới hạn chảy của cốt thép căng dạng thép xoắn và thép sợi là ứng suất ứng với biến dạng tương đối của cốt thép có giá trị 1%, còn của cốt thép dạng thanh là ứng suất ứng với biến dạng dư 0,2%.

Giới hạn tỷ lệ là để chỉ ứng suất trong cốt thép khi mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng bắt đầu đi chệch đường thẳng (tức là bắt đầu xuất hiện biến dạng dẻo). Trong thực tế để dễ thí nghiệm người ta thường lấy ứng suất ứng với biến dạng dư 0,1% làm giá trị của giới hạn tỷ lệ – tức là xem giới hạn chảy 0,1% và giới hạn tỷ lệ của cốt thép cường độ cao trùng nhau.

Giới hạn bền khi kéo hay còn gọi là độ bền chịu kéo của cốt thép được xác định bằng thí nghiệm kéo mẫu cốt thép trong khoảng thời gian ngắn, nên còn được gọi là độ bền chịu kéo tức thời.



Hình 2.6: *Quan hệ ứng suất – biến dạng của cốt thép*
1.Cốt thép cường độ cao, 2. Cốt thép thường có giới hạn chảy quy ước;
3. Cốt thép thường có giới hạn chảy thực

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Môđun đàn hồi của các loại cốt thép khác nhau có khác nhau. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho các giá trị môđun đàn hồi của một số loại thép như trong phụ lục 12.

Độ dãn dài tương đối của cốt thép khi bị kéo đứt là một chỉ tiêu về độ dẻo dai của cốt thép. Giá trị dãn dài tương đối của cốt thép khi bị kéo đứt lớn tức là cốt thép có độ dẻo dai cao, còn ngược lại khi giá trị dãn dài tương đối của cốt thép khi bị kéo đứt nhỏ tức là cốt thép có độ dẻo dai kém.

Trị số của độ dãn dài tương đối của cốt thép khi bị kéo đứt có liên quan đến khoảng cách (độ dài) thí nghiệm kéo cốt thép. Các loại cốt théo cường độ cao thường được thí nghiệm với các mẫu chuẩn có độ dài khác nhau, ví dụ như độ dài thí nghiệm tiêu chuẩn của sợi thép lấy 10d hay100mm (d chỉ đường kính của sợi thép), còn cốt thép xoắn nhiều sợi lấy 60cm. Đối với yêu cầu về độ dẻo dai thấp nhất, các loại thép căng cũng không giống nhau. Đối với sợi thép có độ dài thí nghiệm tiêu chuẩn 10d, thường quy định độ dãn dài cực hạn không được thấp hơn 4%, còn đối với cốt thép xoắn có độ dài thí nghiệm tiêu chuẩn 60cm thì không được thấp hơn 3,5%.

Độ dãn dài tương đối của cốt thép khi bị kéo đứt như được xem xét trên đây đã bao gồm cả biến dạng cục bộ tại vị trí kẹp kéo và đoạn bị thu hẹp tiết diện do bị kéo đứt. Rõ ràng nếu độ dài đoạn mẫu kéo chuẩn càng lớn thì độ dãn dài này càng bị nhỏ đi. Do đó không thể nói rằng sợi thép có độ dãn dài tương đối khi bị kéo đứt là 4% thì tổng độ dãn dài khi bị kéo đứt sẽ là 4% độ dài của nó. Thực tế biến dạng trung bình của sợi thép khi bị kéo đứt thường chỉ bằng $1,5 \div 2,5\%$, nghĩa là độ dãn dài thực tế của sợi thép là vào khoảng $1,5 \div 2,5\%$ độ dài của nó. Tiêu chuẩn CEB – FIP Model Code 1990 yêu cầu khả năng duy trì biến dạng của cốt thép căng ít nhất phải gấp 3 lần biến dạng đàn hồi lớn nhất của nó. Nhìn chung xu thế hiện nay các tiêu chuẩn yêu cầu về độ dẻo dai đối với cốt thép đang ngày càng cao. Nhưng thực tế cho thấy với độ dãn dài tương đối khi bị kéo đứt là 4% thì cốt thép hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu về độ dẻo dai của kết cấu và cấu kiện.

2.3.4. Sự chùng và từ biến của cốt thép căng

1. Sự chùng cốt thép căng

Có thể cho rằng sự chùng là một loại phản ứng tự vệ của vật liệu khi bị ngoại lực tác dụng. Đối với vật liệu cốt thép căng, sự chùng là chỉ tổn hao của ứng lực kéo trong cốt thép căng xảy ra theo thời gian, trong điều kiện độ dài và nhiệt độ không đổi. Thí nghiệm xác định tổn hao do chùng của vật liệu thép với các điều kiện tiêu chuẩn: ứng suất ban đầu nằm trong khoảng $(0,6 \div 0,8)\sigma_u$ (σ_u là giới hạn bền của cốt thép), nhiệt độ là 20^oC. Khi ứng suất kéo ban đầu không quá $0,5\sigma_u$, tổn hao do

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chùng rất nhỏ, thường không cần tính đến; nhưng cùng với sự gia tăng của ứng suất ban đầu hoặc nhiệt độ, tổn hao do chùng tăng mạnh mẽ.

Sự phát triển của sự chùng rất chậm, phải trải qua thời gian nhiều năm mới kết thúc. Do đó, người ta quen lấy sự chùng trong khoảng thời gian 1000 giờ làm căn cứ để suy đoán sự chùng cho cả giai đoạn sau này. Hiện nay, vẫn chưa có tài liệu về sự chùng lâu dài của các loại vật liệu thép, người ta thường sử dụng quy luật phát triển sự chùng theo thời gian như sau [19]:

$$\Delta\sigma_R = \sigma_{spi}\frac{\log t}{k_S}\left(\frac{\sigma_{spi}}{\sigma_y} - 0{,}55\right) \tag{2.14}$$

Trong đó:

$\Delta\sigma_R$ - độ chùng ứng suất của cốt thép;

σ_{spi} - ứng suất ban đầu;

σ_y - giới hạn chảy của cốt thép;

t - thời gian tính theo giờ;

k_S - hệ số lấy giá trị bằng 10 cho trường hợp cốt thép có độ chùng bình thường và bằng 45 cho cốt thép có độ chùng thấp.

Nói chung sự chùng ứng suất của cốt thép lúc đầu phát triển tương đối nhanh, về sau giảm dần. Độ chùng ứng suất tính cho 50 năm có giá trị gấp khoảng $(2{,}5 \div 3)$ lần so với độ chùng tại thời điểm 1000 giờ. Trong thiết kế, thiên về an toàn có thể lấy giá trị độ chùng sau 50 năm bằng 3 lần độ chùng sau 1000 giờ.

Tiêu chuẩn Hoa Kỳ phân cốt thép căng ra làm hai cấp chùng: độ chùng bình thường và độ chùng thấp. Độ chùng của cốt thép thuộc loại có độ chùng thấp xấp xỉ bằng 25% độ chùng của cốt thép thuộc loại có độ chùng bình thường. Một số tiêu chuẩn khác (ví dụ tiêu chuẩn Anh, tiêu chuẩn CEB - FIP) lại phân cốt thép căng làm 3 cấp chùng: cấp 1, cấp 2 và cấp 3; Trong đó sợi thép và tao thép có độ chùng cấp 1 và cấp 2 còn các thanh thép cường độ cao có độ chùng cấp 3. Trong thiết kế phải phân biệt loại cốt thép căng theo cấp độ chùng để tính tổn hao ứng suất trước do chùng.

2. Từ biến của cốt thép căng

Từ biến của vật liệu thép là chỉ sự tăng trưởng theo thời gian của biến dạng của vật liệu thép dưới điều kiện ứng suất và nhiệt độ không đổi. Sự phát triển của biến dạng này có tốc độ giảm dần theo thời gian nhưng lại có tính lâu dài.

Nói chung trong thiết kế thường lấy sự chùng của cốt thép làm đại diện cho biến dạng không đàn hồi của cốt thép để tính tổn hao ứng suất trước. Tuy nhiên, cũng có

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

một số trường hợp, ví dụ như thanh giằng của kết cấu vòm, trong thiết kế phải kể đến biến dạng từ biến của cốt thép căng.

Cũng như đối với sự chùng ứng suất, biến dạng từ biến của cốt thép tăng nhanh khi ứng suất và nhiệt độ trong cốt thép tăng lên. Trường hợp ứng suất thấp hơn $0,5\sigma_u$ thì biến dạng từ biến nói chung không đáng kể. Giá trị biến dạng từ biến chính xác phải được xác định thông qua thí nghiệm.

2.3.5. Độ bền mỏi của cốt thép căng

Độ bền mỏi của cốt thép căng phải được quan tâm khi kết cấu bêtông ứng suất trước chịu các tải trọng thay đổi theo thời gian và lặp đi lặp lại nhiều lần. Độ bền mỏi của cốt thép được xác định thông qua ba thông số: giá trị ứng suất nhỏ nhất hoặc lớn nhất, biên độ thay đổi ứng suất và số lần lặp của tải trọng.

Hiệp hội bêtông ứng suất trước quốc tế (FIP) quy định cốt thép căng dùng cho trường hợp căng sau phải chịu được ít nhất 2.10^6 lần lặp của tải trọng với ứng suất lớn nhất là $\sigma_{max} = 0,65\sigma_u$ và biên độ $\Delta\sigma = 80MPa$. Uỷ ban hỗn hợp ACI – ASCE cũng quy định cốt thép căng không bám dính phải chịu được ít nhất 6.10^5 lần lặp của tải trọng với ứng suất thay đổi trong khoảng $(0,60 \div 0,66)\sigma_u$.

2.3.6. Ảnh hưởng của nhiệt độ đối với cốt thép căng

Khi nhiệt độ biến đổi trong phạm vi không lớn lắm, thì một số tính năng đối với vật liệu cốt thép căng như giới hạn bền, giới hạn chảy và môđun đàn hồi, nói chung không bị ảnh hưởng rõ rệt. Thế nhưng đối với sự chùng ứng suất thì không hoàn toàn như vậy, khi nhiệt độ tăng từ 200^oC tới 400^oC, độ chùng ứng suất sau 1000 giờ tăng khoảng 50%. Nguyên nhân của sự gia tăng này là do sự chùng xuất hiện nhanh dưới nhiệt độ cao. Điều này cần phải lưu ý khi làm nóng bảo dưỡng các cấu kiện căng trước. Tuy nhiên cũng phải nói thêm rằng tăng nhiệt độ có làm tăng tốc độ chùng của cốt thép, nhưng độ chùng tổng cộng thì không thay đổi.

Khi nhiệt độ lên quá cao hay hạ quá thấp có ảnh hưởng đáng kể đến tính năng của vật liệu cốt thép căng. Nhiệt độ hạ nhanh chóng sẽ làm tăng cường độ và môđun đàn hồi của vật liệu cốt thép, nhưng làm giảm độ dẻo và khả năng chống va đập của nó. Khi nhiệt độ hạ từ 20^oC xuống -200^oC, cường độ cốt thép tăng khoảng 20%. Trong điều kiện nhiệt độ thấp, tổn hao do chùng có sự giảm rõ rệt. Khi nhiệt độ vượt quá 200^0C, cường độ và môđun đàn hồi của vật liệu cốt thép sẽ bị giảm đi nhiều, điều này rất không có lợi đối với kết cấu khi làm việc trong điều kiện cháy. Một khi xảy ra cháy làm cho vật liệu thép có thể đạt tới nhiệt độ giới hạn, lúc đó ứng suất do ngoại tải sinh ra sẽ vượt quá cường độ của vật liệu cốt thép, gây nên sự phá hoại và sụp đổ của kết cấu. Do đó, khi thiết kế kết cấu có thể phải chịu tác dụng nhiệt độ

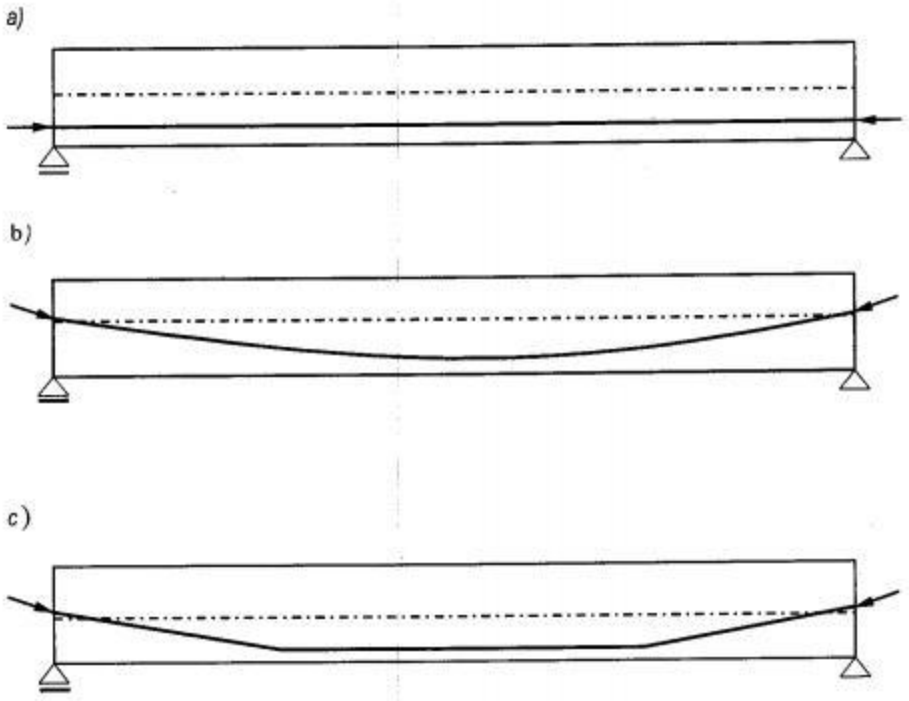
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

cao, thì nên sử dụng cốt thép hợp kim, vì nói chung các loại cốt thép hợp kim chỉ sau khi vượt quá 350^0C thì mới xuất hiện hiện tượng suy giảm cường độ.

2.4. CẤU TẠO BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

2.4.1. Quỹ đạo cốt thép căng

Trong kết cấu bêtông ứng suất trước quỹ đạo cốt thép căng có ý nghĩa quan trọng đến hiệu quả ứng suất trước. Với các cấu kiện chịu kéo trung tâm, cốt thép căng nên bố trí đối xứng với trọng tâm tiết diện để có thể tạo ra ứng lực trước đúng tâm. Các cấu kiện chịu kéo lệch tâm hoặc chịu nén lệch tâm với mômen uốn không đổi theo chiều dài cấu kiện thì các cốt thép căng nên được bố trí theo dạng thẳng sao cho mômen do ứng suất trước tạo ra ngược chiều với mômen ngoại lực. Đối với các cấu kiện chịu uốn thì quỹ đạo cốt thép căng nên được lựa chọn trên cở sở sự làm việc của cấu kiện trên toàn bộ chiều dài. Ví dụ đối với dầm chịu uốn với tải trọng phân bố đều thì quỹ đạo cốt thép căng có thể được thiết kế dạng thẳng như trên hình 2.7a hoặc theo dạng cong như trên hình 2.7b. Việc bố trí cốt thép căng dạng thẳng dễ thi công hơn dạng cong, nhưng có nhược điểm là gây ra mômen âm tại khu vực gần gối có thể làm nứt dầm ở phía trên. Cốt thép căng được thiết kế theo quỹ đạo cong khắc phục được nhược điểm này của quỹ đạo thẳng. Ngoài ra các cốt thép căng dạng xiên còn tăng khả năng chịu lực cắt cho cấu kiện.

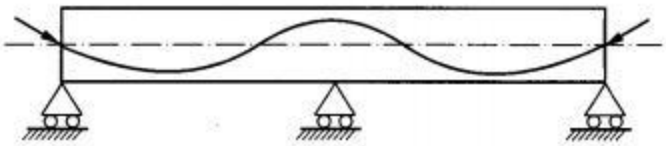


Hình 2.7: *Quỹ đạo cốt thép căng trong dầm*
a) Quỹ đạo thẳng; b) Quỹ đạo cong; c) Quỹ đạo gấp khúc

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Quỹ đạo cốt thép căng dạng đường cong như trên hình 2.13b chỉ làm được trong trường hợp căng sau bằng cách đặt sẵn ống đặt cốt thép căng trước khi đổ bêtông theo quỹ đạo định trước. Trong trường hợp căng trước không thể tạo ra quỹ đạo dạng đường cong trơn như trên hình 2.13b, nhưng thay vào đó người ta sử dụng các mấu neo trên khuôn để tạo ra các quỹ đạo hình gấp khúc như trên hình 2.7c.

Trong các kết cấu siêu tĩnh thì việc thiết kế quỹ đạo cốt thép căng phải được xem xét ngoài hình dạng mômen ngoại tải còn phải xét đến mômen thứ cấp do ứng suất trước gây ra. Trên hình 2.8 là một ví dụ về hình dạng quỹ đạo cốt thép căng cho dầm liên tục bêtông ứng suất trước căng sau.



Hình 2.8: *Quỹ đạo cốt thép căng trong dầm liên tục*

2.4.2. Bố trí cốt thép dọc trong tiết diện

Một phần cốt thép dọc của cấu kiện được phép không gây ứng suất trước, nếu điều kiện về chống nứt và biến dạng được thoả mãn. Tổng diện tích tiết diện cốt thép dọc trong các cấu kiện bêtông ứng suất trước phải nằm trong giới hạn cho phép.

Trong các cấu kiện thẳng chịu nén lệch tâm, khoảng cách giữa trục các thanh cốt thép dọc không được lớn hơn 400mm theo phương vuông góc với mặt phẳng uốn và không lớn hơn 500mm theo phương trong mặt phẳng uốn.

Trong dầm có chiều rộng lớn hơn 150mm, phải có ít nhất là 2 thanh cốt thép dọc chịu lực được kéo vào gối.

Trong sườn các panen, bản đúc sẵn, sàn sườn v.v... có chiều rộng sườn là 150mm và nhỏ hơn, cho phép chỉ đưa vào gối một thanh.

Trong bản, khoảng cách giữa các thanh đưa vào gối không được vượt quá 400mm, đồng thời diện tích tiết diện các thanh này tính trên 1m chiều rộng bản không được nhỏ hơn 1/3 diện tích tiết diện các thanh trong nhịp được tính toán theo mômen uốn lớn nhất.

Khoảng cách giữa các trục của cốt chịu lực tại vùng giữa nhịp của bản và trên gối tựa (phía trên) không được lớn hơn 200mm khi chiều dày bản tới 150mm và không lớn hơn 1,5h khi chiều dày bản trên 150mm (h – chiều dày bản).

Trong cấu kiện chịu uốn, khi chiều cao tiết diện lớn hơn 700mm, phải đặt cốt thép dọc cấu tạo tại các cạnh bên với khoảng cách giữa chúng theo phương chiều cao không được quá 400mm và diện tích tiết diện không nhỏ hơn 0,1% diện tích tiết diện bêtông có kích thước theo phương chiều cao bằng khoảng cách giữa các thanh đó còn

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

kích thước theo phương chiều rộng bằng một nửa chiều rộng sườn nhưng không lớn hơn 200mm.

Cốt thép dọc không căng cần đặt sát mặt ngoài cấu kiện sao cho cốt thép ngang có thể ôm được toàn bộ các cốt thép căng.

Khoảng cách thông thuỷ giữa các thanh cốt thép hay các ống đặt cốt thép căng theo phương đứng và phương ngang của tiết diện phải đảm bảo sự làm việc đồng thời giữa bêtông với cốt thép cũng như dễ đổ và đầm bêtông; đồng thời phải xét đến sự chịu lực cục bộ của bêtông và kích thước các thiết bị căng thép (đầu kích, bộ hãm, v.v...) cũng như các loại neo công cụ.

Khoảng cách thông thuỷ giữa các cốt thép dọc không căng cũng như căng trong trường hợp căng trên bệ cũng như căng trên bêtông không được nhỏ hơn đường kính của thanh lớn nhất và:

a) Nếu vị trí các thanh thép nằm ngang hoặc xiên khi đổ bêtông, lấy không nhỏ hơn:

- đối với cốt bên dưới..... 25mm;

- đối với cốt bên trên..... 30mm;

- khi các thanh dưới được bố trí nhiều hơn hai lớp thì khoảng cách giữa các thanh theo phương ngang, không kể các thanh trong hai lớp dưới cùng, lấy không nhỏ hơn 50m;

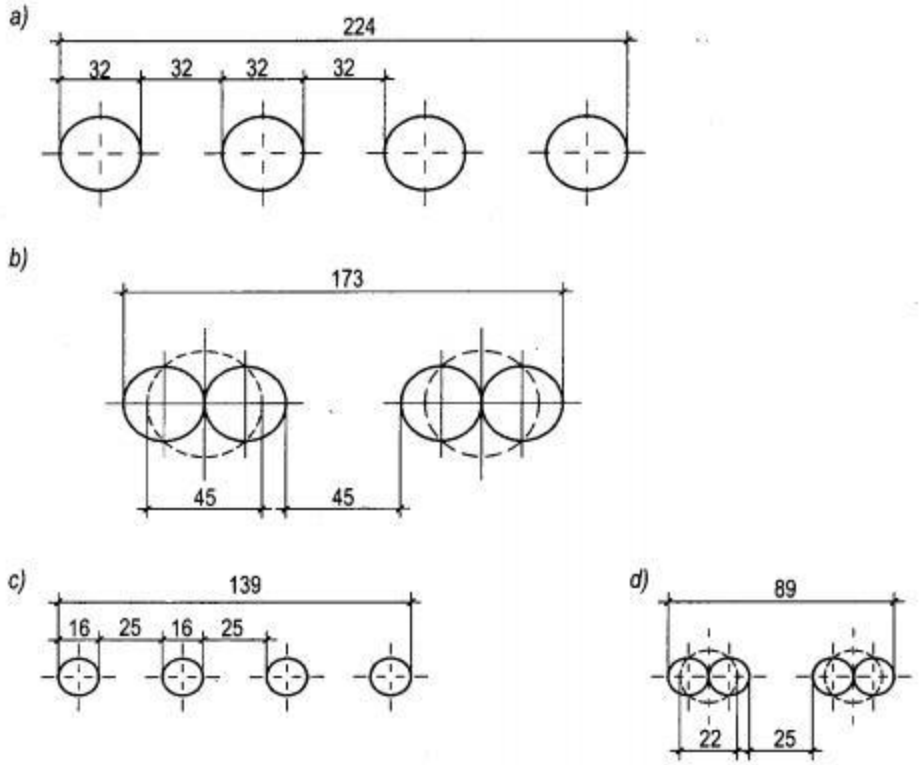
b) Nếu các thanh thép có vị trí thẳng đứng khi đổ bêtông thì lấy không nhỏ hơn 50mm; nếu thành phần cốt liệu thô được kiểm soát một cách hệ thống thì khoảng cách có thể giảm xuống còn 35mm, nhưng không được nhỏ hơn 1,5 lần kích thước lớn nhất của cốt liệu thô.

Trong các cấu kiện hay tại các nút có hàm lượng cốt thép lớn hoặc có nhiều chi tiết đặt sẵn, khi không dùng đầm rung gắn vào côppha, tại một số vị trí cần phải đảm bảo khoảng cách thông thuỷ giữa các thanh không nhỏ hơn 60mm để cho đầm dùi có thể qua được giữa các thanh. Đồng thời, khoảng cách giữa các vị trí này không được lớn hơn 500mm.

Trong điều kiện phải bố trí quá dày, có thể đặt chập đôi cốt thép. Khi xác định khoảng cách giữa các thanh thép chập đôi này phải được xem như một thanh tương đương có đường kính $d_{red} = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$, ở đây d_1 và d_2 - đường kính của hai thanh thép chập (hình 2.9).

Khoảng cách thông thuỷ giữa các thanh thép có gờ được xác định theo đường kính danh nghĩa không xét đến gờ và sườn. Khi bố trí cốt thép trong tiết diện trong điều kiện chật hẹp, có xét đến các cốt thép và các chi tiết đặt sẵn của các cấu kiện khác liên kết vào, cần quan tâm tới gờ và sườn cũng như sai số cho phép kích thước quy ước của thanh thép, của lưới và khung hàn, của các chi tiết đặt sẵn, của hình dạng và bố trí thép, chi tiết đặt sẵn trong tiết diện.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

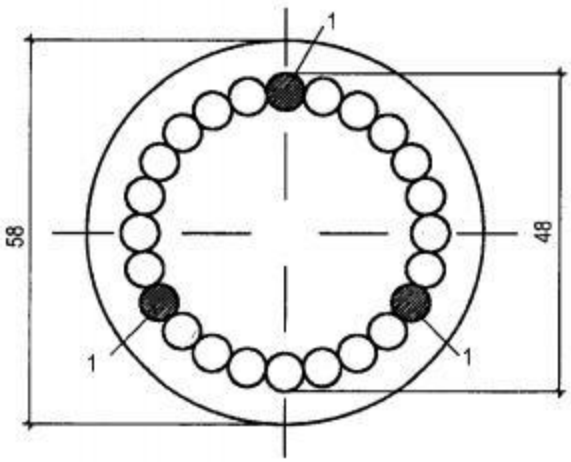


Hình 2.9: *Bố trí cốt thép khi sản xuất cấu kiện trên bàn rung*
a,b) Các phương pháp bố trí cốt thép đường kính 32mm.
c,d) Bố trí cốt thép đường kính 16mm. a,c) Bố trí từng thanh riêng biệt;
b,d) Bố trí cốt thép chập

Trong các cấu kiện có cốt thép căng trên bêtông, khoảng cách thông thuỷ giữa các ống đặt cốt thép không được nhỏ hơn đường kính ống và không nhỏ hơn 50mm.

Đối với trường hợp sử dụng các bó cốt thép sợi, cần để chừa các khe hở giữa các sợi hay bó sợi (bằng cách đặt các lò xo bên trong các bó, các đoạn ống trong neo v.v...) với kích thước đủ để vữa xi măng hay bêtông hạt nhỏ lấp đầy khi bơm vào ống.

Khi bơm vữa vào ống qua các lỗ từ đầu neo, các sợi thép hay các bó



Hình 2.10: *Mặt cắt ngang ống đặt bó thép bao gồm 24 sợi đường kính 5mm khi bơm vữa qua các lỗ đặt trong đầu neo*
1- Các cốt thép được giữ chặt trong neo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thép sợi phải bố trí theo đường tròn (hình 2.10), và đường kính ống đặt cốt thép phải lớn hơn đường kính bó thép ít nhất 15mm.

2.4.3. Cấu tạo cốt thép đai

Cốt thép đai trong cấu kiện phải ôm lấy được tất cả các cốt thép dọc ngoài cùng. Đồng thời khoảng cách giữa các cốt thép đai không được lớn hơn 600mm và không lớn hơn hai lần chiều rộng cấu kiện.

Trong các cấu kiện chịu nén lệch tâm có cốt thép dọc căng đặt ở chính giữa (ví dụ trong cọc bêtông ứng suất trước), không cần đặt cốt thép ngang nếu khả năng chống lực cắt của bêtông là đảm bảo.

Trong sườn mỏng của cấu kiện chịu uốn (chiều rộng không lớn hơn 150mm) có thể không đặt cốt thép đai, thường trong trường hợp này chỉ đặt một thanh cốt thép dọc hay lưới hàn.

Trong các cấu kiện thẳng chịu nén lệch tâm, cũng như trong vùng nén của cấu kiện chịu uốn có cốt thép căng dọc đặt theo tính toán, phải đặt cốt thép đai với khoảng cách:

- khi $R_{sc} \leq 400MPa$: không lớn hơn 500mm và không lớn hơn 15d cho khung thép buộc, 20d cho khung hàn;

- khi $R_{sc} \geq 450MPa$: không lớn hơn 400mm và không lớn hơn 12d cho khung thép buộc, 15d cho khung hàn. (d – đường kính nhỏ nhất của cốt thép dọc chịu nén).

Ở đây, cốt thép đai phải bảo đảm sự ổn định của cốt chịu nén theo bất kỳ phương nào.

Các chỉ dẫn trên đây cũng phù hợp với trường hợp trong vùng chịu nén có cốt thép căng với ứng suất $\sigma_{sc} > 0$, nhưng phải thay giá trị R_{sc} bằng σ_{sc}.

Đường kính cốt thép đai trong khung thép buộc của cấu kiện thẳng chịu nén lệch tâm phải lấy không nhỏ hơn 0,25d và không nhỏ hơn 5mm (d là đường kính lớn nhất của cốt thép dọc).

Đường kính cốt thép đai trong khung thép buộc của các cấu kiện chịu uốn phải lấy không nhỏ hơn:

- khi chiều cao tiết diện nhỏ hơn hoặc bằng 800mm.....5mm;

- khi chiều cao tiết diện lớn hơn 800mm.....8mm.

Chỉ dẫn trên đây có thể không cần áp dụng cho các cốt vòng hay cốt lò xo của các cấu kiện ống ly tâm.

Tỷ lệ giữa đường kính cốt thép đai và cốt thép dọc trong khung thép buộc và lưới thép hàn được xác định theo điều kiện hàn được theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Trong kết cấu dầm chiều cao lớn hơn 150mm, cũng như các panen nhiều lỗ (hay các kết cấu dày sườn tương tự) có chiều cao lớn hơn 300mm đều phải đặt cốt thép đai.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong các bản đặc không phụ thuộc vào chiều cao, trong bản nhiều lỗ (hay bản dày sườn tương tự) chiều cao tới 300mm và trong kết cấu dầm chiều cao tới 150mm được phép không đặt cốt thép đai.

Cốt thép đai trong kết cấu bản, dầm theo chỉ dẫn sau: khi chịu tải trọng phân bố đều, đoạn gần gối tựa bằng 1/4 nhịp; khi chịu tải trọng tập trung lấy bằng khoảng cách từ gối đến điểm tập trung, nhưng không nhỏ hơn 1/4 nhịp và với khoảng cách giữa các cốt thép đai khi chiều cao tiết diện h:

- nhỏ hơn hoặc bằng 450mm..... không lớn hơn h/2 và không lớn hơn 150mm;
- lớn hơn 450mm..... không lớn hơn h/3 và không lớn hơn 500mm.

Trong đoạn giữa nhịp với chiều cao tiết diện lớn hơn 300mm cần đặt cốt thép đai với khoảng cách không lớn hơn (3/4)h và không lớn hơn 500mm.

Cốt thép đai được tính toán theo lực cắt phải đảm bảo được neo một cách chắc chắn. Trong khung cốt thép hàn hay khung cốt thép buộc, đường kính cốt thép dọc không được nhỏ hơn 0,8 lần đường kính cốt thép ngang.

Cốt thanh hay cốt sợi được kéo trên bệ có thể uốn cong theo cung tròn đường kính từ d đến 30d. Ở đây, cần xét tới độ giảm cường độ của cốt tại vùng bị uốn. Góc uốn không được lớn hơn 45^{o}.

Cốt thép căng trên bêtông nên có dạng cong với độ dốc so với trục dọc cấu kiện không quá 30^{o} và bán kính cong được lấy như sau:

- đối với cốt thép dạng bó sợi hoặc dạng xoắn (cáp): khi đường kính của thép sợi tới 5mm và đường kính của cáp từ 6mm đến 9mm – lấy không nhỏ hơn 4m; khi đường kính của thép sợi trong bó là từ 6mm đến 8mm và đường kính của cáp từ 12mm đến 15mm – lấy không nhỏ hơn 6m;
- đối với cốt thép dạng thanh: khi đường kính tới 25mm – lấy không nhỏ hơn 15m; khi đường kính từ 28mm đến 40mm – lấy không nhỏ hơn 20m.

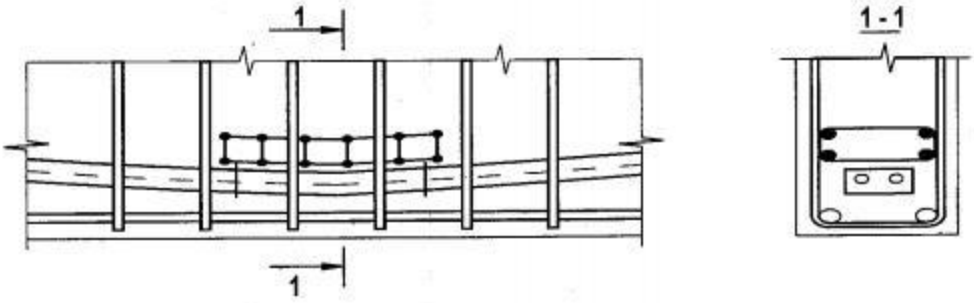
Khi áp dụng các biện pháp giảm ma sát giữa cốt thép căng và thành ống (sử dụng đệm trượt, vỏ bọc vật liệu tổng hợp v.v...), bán kính cong có thể lấy nhỏ hơn nhưng phải có căn cứ thực nghiệm.

Trong các cấu kiện chịu uốn xoắn đồng thời, các cốt thép đai buộc phải khép kín với móc neo đầu thanh, còn với khung hàn, tất cả cốt thép ngang theo 2 phương phải được hàn vào các cốt thép dọc ở góc để tạo nên vòng khép kín; đồng thời phải bảo đảm cường độ của liên kết và đai.

Khi căng cốt thép trên bêtông, tại những vị trí độ cong của ống đặt cốt thép căng thay đổi đột ngột cần đặt các đoạn ống thép. Phải mở rộng hai đầu ống (rãnh) để đặt neo và thiết bị căng khi trong ống (rãnh) có nhiều thanh hay bó cốt thép. Tại các điểm uốn cốt thép căng (hình 2.11) hay điểm mở rộng ống (rãnh), phải thực hiện

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

biện pháp gia cường bằng các ống thép, cốt thép đai hay lưới thép, cũng có thể tăng tiết diện cấu kiện.



Hình 2.11: Gia cường bằng cốt thép tại điểm uốn của cốt thép căng

2.4.4. Lớp bêtông bảo vệ cốt thép

Lớp bêtông bảo vệ phải đảm bảo cho cốt thép chịu lực cùng làm việc với bêtông trong mọi giai đoạn chịu lực của kết cấu, cũng như bảo vệ cho cốt thép khỏi bị ăn mòn dưới tác động của môi trường, nhiệt độ và các tác động khác.

Đối với cốt thép dọc chịu lực (cốt thép thường và cốt thép căng trên bệ), chiều dày lớp bêtông bảo vệ phải lấy không nhỏ hơn đường kính của thanh hay cáp, đồng thời không nhỏ hơn:

- Trong bản và tường mỏng, có chiều dày:

+ tới 100mm..... 10mm

+ trên 100mm.....15mm

- trong dầm và sườn có chiều cao:

+ tới 250mm..... 15mm

+ trên 250mm.....20mm

- Trong cột 20mm

Đối với các cấu kiện lắp ghép dùng bêtông nặng cấp độ bền B20 và lớn hơn, chiều dày lớp bêtông bảo vệ cốt thép dọc lấy bằng đường kính thanh trừ đi 5mm, nhưng không nhỏ hơn các trị số nêu trên.

Đối với bản bêtông ứng suất trước dùng bêtông cấp B20 và lớn hơn được đúc trong các khuôn thép ở nhà máy và bên trên có lớp bêtông đổ sau, chiều dày lớp bêtông bảo vệ cốt thép trên cho phép lấy bằng 5mm.

Đối với cốt thép đai và cốt cấu tạo, chiều dày lớp bêtông bảo vệ lấy không nhỏ hơn đường kính cốt thép tương ứng và không nhỏ hơn 10mm khi chiều cao tiết diện nhỏ hơn 250mm và không nhỏ hơn 15mm khi chiều cao tiết diện lớn hơn hoặc bằng 250mm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chiều dày lớp bêtông bảo vệ tại đầu mút các cấu kiện ứng suất trước và trên vùng truyền ứng suất không được lấy nhỏ hơn:

- đối với cốt thanh nhóm A-IV và A-IIIa, cũng như cốt thép cáp..... 2d;
- đối với cốt thanh nhóm A-V, A-VI..... 3d.

Ngoài ra, chiều dày lớp bêtông bảo vệ trên đoạn nêu trên của cấu kiện lấy không nhỏ hơn 40mm đối với cốt thép thanh thuộc mọi nhóm và không nhỏ hơn 20mm đối với cốt thép cáp.

Trong các tiết diện gần gối, đối với cốt thép căng thuộc mọi nhóm thép có neo hay không neo, chiều dày lớp bêtông bảo vệ được lấy như tiết diện giữa nhịp.

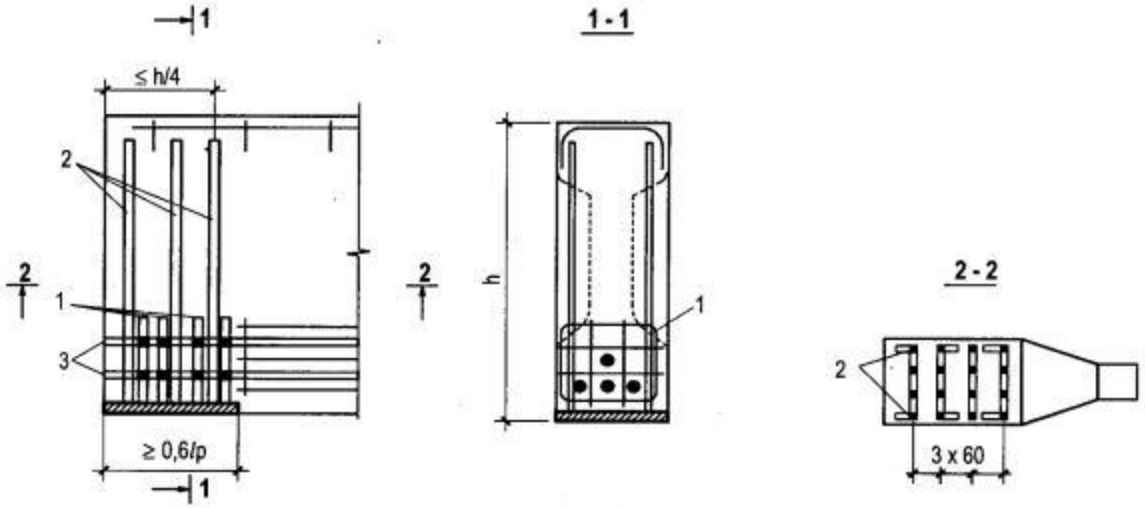
Trong các cấu kiện có cốt thép căng đặt trong ống, khoảng cách từ mặt trên cấu kiện đến mặt ống không nhỏ hơn 40mm và không nhỏ hơn đường kính ống; khoảng cách đến các mặt bên cũng không được nhỏ hơn một nửa đường kính ống.

Các đầu cốt thép căng và neo phải được phủ lớp chống ăn mòn hay lớp vữa dày không nhỏ hơn 5mm hay lớp bêtông dày không nhỏ hơn 10mm.

2.4.5. Cấu tạo cốt thép đầu mút cấu kiện

Tại đầu mút cấu kiện bêtông ứng suất trước, nhằm hạn chế phát triển vết nứt dọc theo cốt thép căng, phải đặt thêm cốt thép ngang như được thể hiện trên hình 2.12 và hình 2.13.

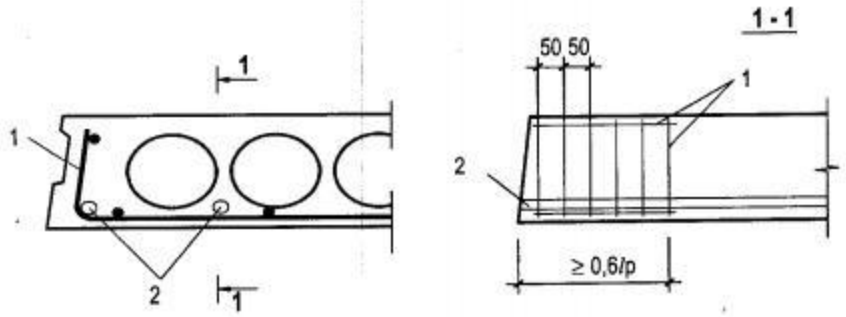
Các đầu mút của sườn mỏng cần được tăng cường bằng chi tiết đặt sẵn – với móc ôm của thanh neo (hình 2.14).



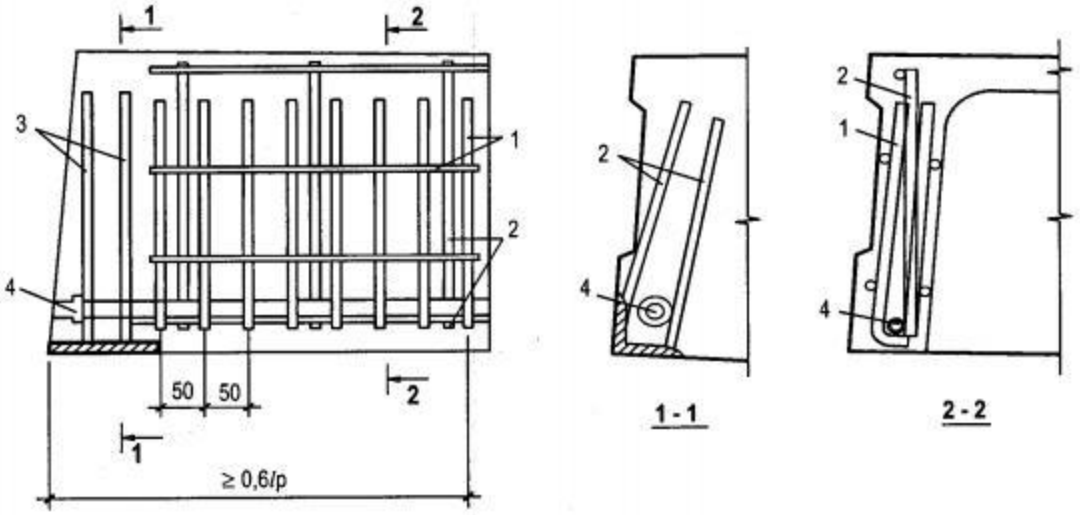
Hình 2.12: *Bố trí cốt thép tại các đầu dầm ứng suất trước*

1- Lưới thép hàn dạng cài răng lược. 2- cốt thép được hàn vào chi tiết sẵn.
3- cốt căng (cốt ngang chính của dầm và cốt đặt theo vùng tăng chiều rộng tiết diện dầm vùng gối tựa không thể hiện trong hình này).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 2.13: *Bố trí cốt thép ở các đầu tấm sàn nhiều lỗ*
1- lưới hàn đặt theo yêu cầu điều 8.5.3.1; 2- cốt căng.



Hình 2.14: *Bố trí cốt thép đầu sườn panen sàn*
1- lưới thép; 2- lưới khung thép phẳng trong sườn; 3- các thép râu hàn vào bản đặt sẵn – thép ôm cốt thép dọc; 4- cốt căng (cốt trên cánh bản và trong sườn ngang, và cũng như cốt thép đặt tại góc giao nhau giữa cốt ngang và cốt thép dọc trong sườn đều không thể hiện trên hình này).

Đối với cốt thép căng dạng thanh, trường hợp cường độ bêtông khi căng không nhỏ hơn 22MPa, cốt thép ngang nêu trên hay cốt gián tiếp có thể không cần bố trí, nếu:

- khi d = 10 ÷ 14mm..... $\sigma_{sp} \leq 460$MPa
- khi d = 16 ÷ 20mm..... $\sigma_{sp} \leq 420$MPa
- khi d = 22 ÷ 32mm..... $\sigma_{sp} \leq 380$MPa

(Ứng suất trước σ_{sp} có kể đến các hao tổn và với $\gamma_{sp} = 1,0$; d - đường kính cốt thép căng).

Trường hợp cường độ bêtông khi căng nhỏ hơn 22MPa, cốt thép ngang bổ sung có thể không đặt nếu $\sigma_{sp} \leq 260$MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nhằm tránh xuất hiện các vết nứt dọc tại các đầu mút cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn khi truyền ứng suất trước từ cốt thép sang bêtông, nên uốn một phần cốt thép dọc căng vào gối và rải đều chúng theo chiều cao cấu kiện; đồng thời cốt thép được uốn này cho phép kéo ra khỏi mặt trên cấu kiện.

Nếu cốt thép dọc căng đặt tập trung ở mặt dưới và mặt trên cấu kiện, tại các đầu mút phải đặt cốt thép ngang căng hay không căng bổ sung trong một đoạn không lớn hơn 1/4 chiều cao cấu kiện.

Cốt thép ngang căng phải được căng trước khi căng cốt thép dọc với lực không nhỏ hơn 15% tổng lực kéo cốt thép dọc đặt ở vùng kéo tiết diện gối tựa.

Các đầu mút cốt thép ngang không căng phải được hàn vào các cốt thép đặt sẵn để đảm bảo độ neo. Tiết diện cốt thép này khi không tính đến độ bền mỏi phải có đủ khả năng tiếp thu không dưới 20% nội lực trong cốt thép dọc căng trong cấu kiện, còn đối với kết cấu được tính độ bền mỏi - phải không dưới 30% nội lực trong cốt thép dọc căng đặt ở vùng dưới tiết diện gối được tính theo bền (tức là $R_s A_{sp}$).

Có thể sử dụng cốt thép ngang đặt ở vùng gối dưới dạng các lưới thép chữ U bao lấy toàn bộ cốt thép dọc phía dưới.

Dưới đế neo cốt thép căng và tại các điểm tì các thiết bị căng xuất hiện ứng suất tập trung, cần đặt tại đây các bản đệm hoặc cốt ngang bổ sung đồng thời phải tăng kích thước tiết diện.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 3

ỨNG SUẤT TRƯỚC VÀ TỔN HAO ỨNG SUẤT TRƯỚC

3.1. KHÁI QUÁT CHUNG

So với kết cấu bêtông cốt thép thường (không ứng suất trước), thì kết cấu bêtông ứng suất trước có một số điểm đặc biệt, có thể kể đến như sau:

- Trạng thái chịu lực của kết cấu bêtông ứng suất trước nhìn chung là phức tạp hơn so với kết cấu bêtông cốt thép. Trong khi kết cấu bêtông cốt thép được xem là nằm trong trạng thái không chịu lực cho đến khi các tải trọng ngoài tác dụng lên nó, thì kết cấu bêtông ứng suất trước luôn nằm trong trạng thái chịu lực. Nguyên nhân là do ứng suất trước được sinh ra kể từ khi căng cốt thép và tồn tại lâu dài trong suốt thời gian tồn tại của kết cấu.

- Dưới tác dụng của ứng lực trước do cốt thép được căng gây ra mà bêtông của kết cấu chịu ứng suất lớn khi cường độ còn tương đối thấp. Trong nhiều trường hợp thì đây là ứng suất lớn nhất đối với bêtông tại một số vùng của kết cấu.

- Khả năng truyền ứng suất trước lên bêtông khi bêtông chưa đạt cường độ thiết kế cần được xem xét; ứng suất nén trước trong bêtông cần được khống chế để sao cho từ biến của nó được kiểm soát và tổn hao do biến dạng từ biến của bêtông gây ra không quá lớn.

- Ứng suất căng trong cốt thép trong nhiều trường hợp cũng là ứng suất lớn nhất mà nó phải gánh chịu trong suốt thời gian tồn tại của kết cấu.

- Ứng suất trước gây nén đối với bêtông tại một số vùng, nhưng lại có thể gây ra kéo tại một số vùng khác. Các ứng suất kéo này có thể làm bêtông bị nứt.

Khi thiết kế kết cấu bêtông cốt thép chỉ cần lựa chọn kích thước kết cấu và các vật liệu, còn khi thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước ngoài việc lựa chọn kích thước kết cấu và vật liệu còn phải lựa chọn ứng suất căng cốt thép.

Ứng suất căng cốt thép cần được lựa chọn trên cơ sở vừa đảm bảo điều kiện chịu lực của kết cấu trong tất cả các giai đoạn vừa phải đảm bảo tính kinh tế sử dụng vật liệu và các yêu cầu kỹ thuật khác như công nghệ chế tạo, vận chuyển và lắp dựng kết cấu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Do nhiều nguyên nhân mà ứng suất trước trong cốt thép cũng như trong bêtông bị thay đổi theo thời gian (bị tổn hao). Kết quả của hiện tượng này là mức độ ứng suất trước tại các thời điểm làm việc khác nhau của kết cấu là khác nhau. Việc tính toán kiểm tra sự làm việc của kết cấu bêtông ứng suất trước cho các giai đoạn chịu lực gắn liền với việc xác định lượng tổn hao ứng suất trước cho đến thời điểm đó. Việc lựa chọn ứng suất căng cốt thép ban đầu cũng cần xem xét đến quá trình thay đổi này của ứng suất trước.

3.2. ỨNG SUẤT TRƯỚC TRONG CỐT THÉP CĂNG

3.2.1. Ứng suất căng

Ứng suất căng trong cốt thép phải được lựa chọn sao cho vừa đảm bảo an toàn lại vừa đảm bảo tính hiệu quả sử dụng cốt thép. Nếu ứng suất trước quá nhỏ thì khi kết cấu đạt trạng thái chịu lực giới hạn, ứng suất trong cốt thép nhỏ, có thể chưa đạt trạng thái chảy dẻo, vừa lãng phí cốt thép vừa làm cho kết cấu bị phá hoại dòn, gây nguy hiểm. Nếu ứng suất căng quá lớn có thể làm cho cốt thép bị phá hoại khi căng hoặc làm xuất hiện biến dạng dẻo triệt tiêu ứng suất trước.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định giá trị ứng suất trước σ_{sp} và σ'_{sp} tương ứng trong cốt thép căng tại vùng kéo S và vùng nén S' phải được chọn với độ sai lệch p sao cho thoả mãn các điều kiện:

$$\begin{aligned} \sigma_{sp}(\sigma'_{sp}) + p &\le R_{s,ser} \\ \sigma_{sp}(\sigma'_{sp}) - p &\ge 0{,}3R_{s,ser} \end{aligned} \qquad (3.1)$$

Trong đó :

p tính bằng MPa, được xác định như sau :

- căng bằng phương pháp cơ học: $p = 0{,}05\sigma_{sp}$;

- căng bằng phương pháp nhiệt - điện và cơ nhiệt - điện:

$$p = 30 + \frac{360}{l} \qquad (3.2)$$

l - chiều dài thanh cốt thép căng (khoảng cách giữa các mép ngoài của bệ căng), tính bằng mm.

Trường hợp căng bằng thiết bị tự động thì giá trị 360 trong công thức (3.2) được thay bằng 90.

Trong trường hợp không có số liệu về công nghệ chế tạo kết cấu, giá trị của $\sigma_{sp}(\sigma'_{sp})$ không được lớn hơn 700MPa đối với cốt thép cán nóng, 550MPa đối với cốt thép tăng cường độ bằng gia nhiệt. Đối với cốt thép sợi bị uốn cong, giá trị của $\sigma_{sp}(\sigma'_{sp})$ không được vượt quá $0{,}86R_{s,ser}$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

3.2.2. Độ chính xác của giá trị ứng suất trước

Trong thực tế luôn tồn tại sai số về giá trị ứng suất trước trong cốt thép căng so với tính toán. Có nhiều nguyên nhân dẫn đến sai khác này, ví dụ như sai số do thiết bị đo, do tính năng của vật liệu cốt thép, sai số hình học về kết cấu và vị trí cốt thép...Bởi vậy, giá trị ứng suất trước khi đưa vào tính toán phải được nhân với hệ số độ chính xác γ_{sp}:

$$\gamma_{sp} = 1 \pm \Delta\gamma_{sp} \tag{3.3}$$

Trong công thức (3.6), lấy dấu cộng (+) khi có ảnh hưởng bất lợi của ứng suất trước (tức là trong giai đoạn làm việc cụ thể của kết cấu hoặc bộ phận đang xem xét của kết cấu, ứng suất trước làm giảm khả năng chịu lực, thúc đẩy sự hình thành vết nứt...) ; lấy dấu trừ (-) khi có ảnh hưởng có lợi của ứng suất trước.

Trường hợp tạo ứng suất trước bằng phương pháp cơ học, đại lượng $\Delta\gamma_{sp}$ lấy giá trị 0,1, còn khi tạo ứng suất trước bằng phương pháp nhiệt - điện , $\Delta\gamma_{sp}$ được xác định bằng công thức:

$$\Delta\gamma_{sp} = 0{,}5\frac{p}{\sigma_{sp}}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n_p}}\right) \geq 0{,}1 \tag{3.4}$$

Trong đó:

n_p - số thanh cốt thép căng trên tiết diện kết cấu.

Như vậy, theo quy định của tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 thì sai số tính toán của ứng suất trước được lấy không nhỏ hơn 10%.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định khi tính toán tổn hao ứng suất trước trong cốt thép, cũng như khi tính theo điều kiện nứt và tính toán theo biến dạng đại lượng $\Delta\gamma_{sp}$ lấy giá trị $\Delta\gamma_{sp} = 0$.

3.3. ỨNG SUẤT TRƯỚC TRONG BÊTÔNG

3.3.1. Phân tích đàn hồi tiết diện

Dựa vào điều kiện biến dạng đồng thời của cốt thép và bêtông ta có thể quy đổi tiết diện cấu kiện bêtông ứng suất trước thành tiết diện bêtông tương đương như sau:

$$A_{red} = A + \alpha_s A_s + \alpha'_s A'_s + \alpha_{sp} A_{sp} + \alpha'_{sp} A''_{sp} \tag{3.5}$$

Trong đó:

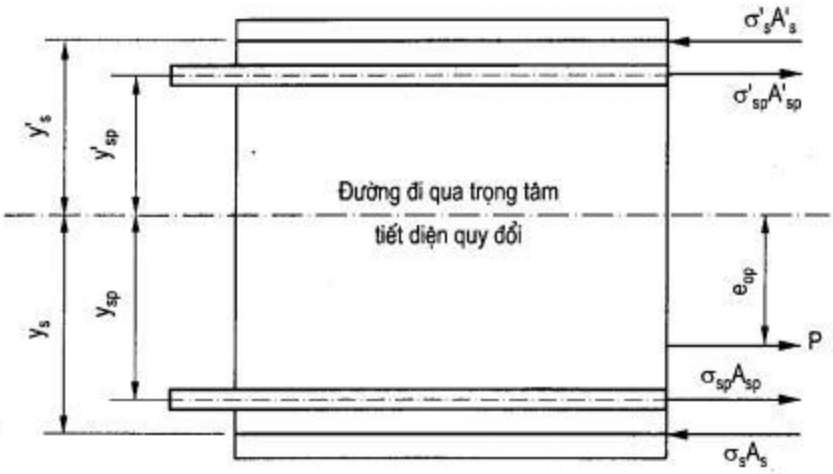
A_{red} - diện tích tiết diện quy đổi;

A - diện tích tiết diện bêtông có xét đến sự giảm yếu do các lỗ chờ đặt cốt thép căng. Khi sự giảm yếu bởi các lỗ này nhỏ hơn 3% thì không cần kể đến;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các hệ số $\alpha_s, \alpha'_s, \alpha_{sp}, A'_{sp}$ lần lượt là tỷ số giữa môđun đàn hồi của cốt thép tương ứng và bêtông;

Các đại lượng $A_s, A'_s, A_{sp}, A'_{sp}$ lần lượt là diện tích cốt thép tương ứng như trên hình 3.1.



***Hình 3.1**: Sơ đồ ứng lực trong cốt thép trên tiết diện cấu kiện*

Ảnh hưởng của cốt thép trong tiết diện quy đổi xem như không đáng kể khi tổng diện tích cốt thép trên tiết diện nhỏ hơn 0,8%, trong trường hợp đó tiết diện tương đương được chấp nhận bằng tiết diện bêtông.

Mômen tĩnh của tiết diện quy đổi đối với mép chịu kéo được xác định theo công thức:

$$S_{red} = S + \alpha_{sp} A_{sp} a_{sp} + \alpha'_{sp} A'_{sp} \left(h - a'_{sp}\right) + \alpha_s A_s a_s + \alpha'_s A'_s \left(h - a'\right) \qquad (3.6)$$

Trong đó:

h - chiều cao thiết diện;

a_{sp}, a_s lần lượt là khoảng cách từ mép dầm phía dưới đến trọng tâm cốt thép căng phía dưới và cốt thép thường phía dưới;

a'_{sp}, a'_s lần lượt là khoảng cách từ mép dầm phía trên đến trọng tâm cốt thép căng phía trên và cốt thép thường phía trên;

S - mômen tĩnh của tiết diện bêtông.

Khoảng cách từ mép chịu kéo (mép dưới) đến trọng tâm của tiết diện quy đổi được xác định theo công thức:

$$y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red}} \qquad (3.7)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Mômen quán tính của tiết diện quy đổi đối với trục ngang đi qua trọng tâm được xác định theo công thức:

$$I_{red} = I + \alpha_{sp} A_{sp} \left(y_{sp}\right)^2 + \alpha'_{sp} A'_{sp} \left(y'_{sp}\right)^2 + \alpha_s A_s \left(y_s\right)^2 + \alpha'_s A'_s \left(y'_s\right)^2 \qquad (3.8)$$

Lực nén trước tại tiết diện xem xét được xác định bằng tổng hợp lực trong các cốt thép:

$$P = \sigma_{sp} A_{sp} + \alpha'_{sp} A'_{sp} - \sigma_s A_s - \alpha'_s A'_s \qquad (3.9)$$

còn độ lệch tâm của nó so với trọng tâm tiết diện quy đổi được xác định theo công thức:

$$e_{op} = \frac{\sigma_{sp} A_{sp} y_{sp} - \alpha'_{sp} A'_{sp} y'_{sp} + \sigma_s A_s y_s - \alpha'_s A'_s y'_s}{P} \qquad (3.10)$$

Trong (38), (3.9) và (3.10):

y_s, y'_s lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện quy đổi đến trọng tâm của cốt thép thường trong vùng kéo và trong vùng nén;

y_{sp}, y'_{sp} lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện quy đổi đến trọng tâm của cốt thép căng trong vùng kéo và trong vùng nén;

A_s, A'_s lần lượt là diện tích cốt thép thường trong vùng kéo và trong vùng nén;

A_{sp}, A'_{sp} lần lượt là diện tích cốt thép căng trong vùng kéo và trong vùng nén;

σ_s, σ'_s lần lượt là ứng suất trong cốt thép thường ở vùng kéo và vùng nén do co ngót và từ biến của bêtông gây ra, Trong đó:

- Trong giai đoạn sản xuất: chỉ xét đến ảnh hưởng của từ biến nhanh của bêtông;
- Trong giai đoạn sử dụng: xét đến ảnh hưởng của cả co ngót và từ biến của bêtông;

$\sigma_{sp}, \sigma'_{sp}$ lần lượt là ứng suất trong cốt thép căng trong vùng kéo và trong vùng nén, được xác định như sau:

- Trong giai đoạn sản xuất: có kể đến các tổn hao thứ nhất;
- Trong giai đoạn sử dụng: có kể đến cả các tổn hao thứ nhất và các tổn hao thứ hai.
- Kết quả tính theo (3.10) cho giá trị e_{op} dương (+) khi điểm đặt của P ở phía dưới so với trọng tâm, cho giá trị âm (-) khi điểm đặt của P ở phía trên trọng tâm.

Trường hợp tiết diện không bị nứt và các vật liệu được giả thiết làm việc trong giai đoạn đàn hồi, ứng suất pháp tuyến tại các thớ có khoảng cách đến trọng tâm tiết diện quy đổi y , được tính như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} + \frac{Pe_{op}}{I_{red}} y - \frac{M}{I_{red}} y \qquad (3.11)$$

- Đại lượng y lấy giá trị dương (+) khi điểm cần tính nằm phía dưới trục trung hoà, lấy giá trị âm (+) khi nằm phía trên trục trung hoà.

Khi tính theo (3.11) cho giá trị dương (+) là ứng suất nén, cho giá trị âm (-) là ứng suất kéo.

3.3.2. Ứng suất nén trước cho phép trong bêtông

Khi ứng suất tương đối nhỏ, biến dạng từ biến của bêtông là có giới hạn và tương đối nhỏ. Ngược lại, khi ứng suất nén lớn thì biến dạng do từ biến của bêtông phát triển mạnh, có giá trị lớn và thậm chí dẫn đến phá hoại kết cấu. Khi bêtông chịu ứng suất nén trước lớn thì biến dạng do từ biến sẽ lớn, do đó tổn hao ứng suất trước do biến dạng từ biến của bêtông gây ra cũng sẽ lớn. Bởi vậy, ứng suất nén trong bêtông do ứng suất trước gây ra phải đảm bảo không vượt quá giá trị cho phép.

Ứng suất nén lớn nhất trong bêtông ngay sau khi gây ứng suất trước được xác định theo công thức:

$$\sigma_{bp1} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op}}{I_{red}} y_c - \frac{M}{I_{red}} y_c \qquad (3.12)$$

Trong đó:

y_c - khoảng cách từ trọng tâm đến thớ xa nhất của tiết diện tính về phía bị nén; lấy giá trị dương (+) khi nằm phía dưới trục trung hoà, lấy giá trị âm (+) khi nằm phía trên trục trung hoà;

P_1 - giá trị ứng lực trước có kể đến các tổn hao thứ nhất.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định giá trị σ_{bp1} phải thoả mãn điều kiện sao cho tỷ số $\left(\sigma_{bp1}/R_{bp}\right)$ không vượt quá giá trị cho phép, được cho trong bảng 3.1.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 còn đưa ra các quy định như sau:

- Cường độ bêtông tại thời điểm nén trước R_{bp} (được kiểm soát như đối với cấp độ bền chịu nén) không được nhỏ hơn 11 MPa, còn khi dùng thép thanh nhóm A-VI, AT-VI, AT-VIK và AT-VII, thép sợi cường độ cao không có neo và thép xoắn thì không được nhỏ hơn 15,5 MPa. Ngoài ra, R_{bp} không được nhỏ hơn 50% cấp độ bền chịu nén của bêtông.

- Khi tính toán kết cấu bêtông cốt thép trong giai đoạn nén trước, các đặc trưng tính toán của bêtông được lấy như đối với cấp độ bền của bêtông, có trị số bằng cường độ của bêtông khi bắt đầu chịu ứng suất trước (theo nội suy tuyến tính).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 3.1. Các giá trị cho phép của tỷ số (σ_{bpl}/R_{bp})

Trạng thái ứng suất của tiết diện	Phương pháp căng cốt thép	(σ_{bpl}/R_{bp}) không lớn hơn	
		Nén đúng tâm	Nén lệch tâm
Ứng suất không tăng khi có tải trọng ngoài	Trên bệ	0,85	0,95
	Trên bêtông	0,70	0,85
Ứng suất tăng khi có tải trọng ngoài	Trên bệ	0,65	0,70
	Trên bêtông	0,60	0,65

* Áp dụng cho các cấu kiện được sản xuất theo điều kiện tăng dần lực nén, khi có các chi tiết liên kết bằng thép tại gối và cốt thép gián tiếp với hàm lượng thép theo thể tích $\geq 0,5\%$, trên đoạn không nhỏ hơn chiều dài đoạn truyền ứng suất , cho phép lấy giá trị $\sigma_{bp}/R_{bp} = 1,0$.

Ghi chú: Đối với bêtông nhẹ từ cấp B7,5 đến B12,5, giá trị (σ_{bpl}/R_{bp}) nên lấy không lớn hơn 0,3.

- Trường hợp thiết kế các kết cấu bao che một lớp đặc làm chức năng cách nhiệt, khi giá trị $(\sigma_{bpl}/R_{bp}) \leq 0,3$, cho phép sử dụng cốt thép căng nhóm CIV, A-IV có đường kính không lớn hơn 14 mm với bêtông nhẹ có cấp từ B7,5 đến B12,5, khi đó R_{bp} không được nhỏ hơn 80% cấp độ bền của bêtông.

3.4. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRƯỚC

3.4.1. Khái quát chung

Ứng suất trước là thủ pháp sử dụng lực đàn hồi của các thanh cốt thép được căng để gây cho bêtông ứng suất nén nhằm triệt tiêu toàn bộ hoặc một phần ứng suất kéo do ngoại tải gây ra sau này. Lúc đầu ứng suất kéo trong cốt thép được áp đặt với một giá trị nào đó, nhưng cùng với thời gian và sự làm việc của kết cấu, ứng suất này bị giảm đi một phần. Lượng ứng suất bị giảm đi này gọi là tổn hao ứng suất trước (gọi tắt là tổn hao). Đối với cốt thép cường độ cao, tổn hao ứng suất trước có thể đạt đến 30% ứng suất căng ban đầu, còn đối với cốt thép cường độ thấp thì con số này có thể cao hơn nhiều, thậm chí có thể làm triệt tiêu hoàn toàn ứng suất căng ban đầu. Xác định một cách chính xác các nguyên nhân, quy luật và phương pháp tính toán tổn hao ứng suất trước là một vấn đề khó. Trong các tiêu chuẩn người ta thường đưa ra các phương pháp đơn giản, gần đúng để tính toán tổn hao ứng suất trước. Điều may mắn là trong trường hợp thông thường tổn hao ứng suất trước trong cốt thép căng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

không ảnh hưởng đến cường độ chịu lực của cấu kiện bêtông ứng suất trước, mà chỉ ảnh hưởng đến khả năng chống nứt và sự làm việc bình thường của kết cấu.

Theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 thì tổn hao ứng suất trước có thể được xác định trên cơ sở các yếu tố chính, như : sự chùng ứng suất của cốt thép ; sự chệnh lệch về nhiệt độ giữa cốt thép và bêtông ; biến dạng của dụng cụ neo ; ma sát giữa cốt thép căng về các bộ phận tiếp xúc ; biến dạng của khuôn ; từ biến và co ngót của bêtông ; biến dạng do ép mặt của bêtông ; biến dạng của các mối nối...Trong bảng 3.2 liệt kê các loại tổn hao ứng suất trước. Các tổn hao ứng suất trước này được phân thành 11 loại, tuy nhiên trong trường hợp cụ thể nhất định chỉ xuất hiện một số trong 11 loại này.

Bảng 3.2. Các loại tổn hao ứng suất trước trong cốt thép căng

Thứ tự	Nguyên nhân gây tổn hao	Tổn hao ứng suất trước	
		Trên bệ	Trên bêtông
	I – Các tổn hao thứ nhất:		
1	Chùng ứng suất của cốt thép (căng trên bệ)	σ_1	-
2	Chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép và bêtông	σ_2	-
3	Biến dạng thiết bị neo	σ_3	σ_3
4	Ma sát giữa cốt thép và các bộ phận tiếp xúc	σ_4	σ_4
5	Biến dạng khuôn	σ_5	-
6	Từ biến nhanh của bêtông	σ_6	-
	II – Các tổn hao thứ hai :		
7	Chùng ứng suất của cốt thép (căng trên BT)	-	σ_7
8	Co ngót của bêtông	σ_8	σ_8
9	Từ biến của bêtông	σ_9	σ_9
10	Biến dạng của bêtông do ép mặt	-	σ_{10}
11	Biến dạng của các mối nối	-	σ_{11}

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 phân chia các loại tổn hao ứng suất trước làm hai nhóm : nhóm các tổn hao thứ nhất và nhóm các tổn hao thứ hai. Các tổn hao thứ nhất xuất hiện trong giai đoạn từ đầu đến khi bêtông được gây ứng suất trước, còn các tổn hao thứ hai xuất hiện trong giai đoạn sau khi bêtông được gây ứng suất trước. Tổn hao ứng suất trước đến thời điểm xem xét được tính bằng cách cộng các

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tổn hao thành phần. Trong bảng 3.3 chỉ ra các tổn hao theo các nhóm cần được tính toán tương ứng với phương pháp tạo ứng suất trước.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định trong mọi trường hợp tổng các tổn hao thứ nhất và các tổn hao thứ hai không ít hơn 100MPa.

Đối với trường hợp tự gây ứng suất trước thì tổn hao ứng suất trước chỉ có các thành phần do co ngót và từ biến của bêtông gây nên. Xác định giá trị của tổn hao này phải xét đến các yếu tố cường độ của bêtông và các yếu tố môi trường.

Bảng 3.3. Các nhóm tổn hao ứng suất trước

Phương pháp tạo ứng suất trước	Các tổn hao thứ nhất σ_{l1}	Các tổn hao thứ hai σ_{l2}
Phương pháp căng trên bệ	$\sigma_1;\sigma_2;\sigma_3;\sigma_4;\sigma_5;\sigma_6$	$\sigma_8;\sigma_9$
Phương pháp căng trên bêtông	$\sigma_3;\sigma_4$	$\sigma_7;\sigma_8;\sigma_9;\sigma_{10};\sigma_{11}$

3.4.2. Tính toán các loại tổn hao

Các tổn hao thứ nhất:

1. Tổn hao do chùng ứng suất trong cốt thép

Tổn hao do chùng ứng suất trong cốt thép căng trong quá trình sản xuất cấu kiện bêtông ứng suất trước chỉ tính cho trường hợp căng trên bệ, không tính cho trường hợp căng trên bêtông. Giá trị của tổn hao ứng suất trước này phụ thuộc vào chủng loại cốt thép căng, phương pháp tạo ứng suất trước và ứng suất căng ban đầu trong cốt thép.

Khi căng tạo ứng suất trước bằng phương pháp cơ học, giá trị tổn hao ứng suất trước do chùng ứng suất trong cốt thép căng thuộc nhóm các tổn hao thứ nhất (tổn hao trong quá trình sản xuất cấu kiện) được tính như sau:

Đối với sợi thép và tao thép xoắn:

$$\sigma_1 = \left(0{,}22\frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp} \qquad (3.13)$$

Đối với thanh thép:

$$\sigma_1 = 0{,}1\sigma_{sp} - 20 \qquad (3.14)$$

Khi áp dụng phương pháp nhiệt - điện hoặc phương pháp kết hợp nhiệt - điện với cơ học để tạo ứng suất trước trong cốt thép, giá trị tổn hao ứng suất trước do chùng ứng suất trong cốt thép căng thuộc nhóm các tổn hao thứ nhất được tính như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với sợi thép và tao thép xoắn:

$$\sigma_1 = 0{,}05\sigma_{sp} \tag{3.15}$$

Đối với thanh thép: $$\sigma_1 = 0{,}03\sigma_{sp} \tag{3.16}$$

Trong các công thức (3.13) – (3.16):

σ_{sp} - ứng suất căng ban đầu (chưa kể đến các tổn hao), được tính bằng MPa;

$R_{s,ser}$ - cường độ tiêu chuẩn của cốt thép căng;

Nếu trường hợp tính toán cho giá trị $\sigma_1 < 0$ thì lấy giá trị $\sigma_1 = 0$.

2. Tổn hao do chênh lệch nhiệt độ trong thi công

Tổn hao do chênh lệch nhiệt độ trong thi công được tính cho trường hợp căng trên bệ, không tính cho trường hợp căng trên bêtông. Tổn hao này xảy ra khi có sự chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép căng bị nung nóng và bệ căng hoặc tường chịu lực. Giá trị tổn hao này được tính toán cho các loại bêtông như sau:

Đối với cấp bêtông B15 – B40:

$$\sigma_2 = 1{,}25T^0 \tag{3.17}$$

Đối với cấp bêtông từ B45 trở lên:

$$\sigma_2 = 1{,}0\Delta T^0 \tag{3.18}$$

Trong đó:

ΔT^0- chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép căng bị nung nóng và bệ căng hoặc tường chịu lực được tính bằng ^{0}C. Khi thiếu số liệu thì tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho phép lấy $\Delta T^0 = 65^0$C.

Đại lượng σ_2 tính theo MPa.

Tổn hao do chênh lệch nhiệt độ trong thi công có thể được loại trừ bằng cách gia nhiệt bổ sung.

3. Tổn hao do biến dạng neo của thiết bị căng

Tổn hao này là kết quả do biến dạng của các bộ phận neo như các vòng đệm, đầu neo, ecu... Tổn hao này không cần tính toán khi áp dụng phương pháp tạo ứng suất trước bằng nhiệt - điện vì nó đã được kể đến khi xác định độ dãn dài toàn bộ của cốt thép.

- Khi căng trên bệ, giá trị tổn hao do biến dạng neo được tính theo công thức:

$$\sigma_3 = \frac{\Delta l}{l} E_s \tag{3.19}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

l (mm) - chiều dài của cốt thép căng, tính bằng khoảng cách giữa mép ngoài của các gối trên bệ;

Δl - biến dạng của các vòng đệm bị ép và các đầu neo bị ép cục bộ lấy bằng 2mm; khi có sự trượt giữa các thanh cốt thép trong thiết bị kẹp dùng nhiều lần, Δl được xác định theo công thức:

$$\Delta l = 1{,}25 + 0{,}15d \tag{3.20}$$

với d là đường kính thanh cốt thép, tính bằng mm.

- Khi căng trên bêtông, giá trị tổn hao do biến dạng neo được tính theo công thức:

$$\sigma_3 = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{l} E_s \tag{3.21}$$

Trong đó:

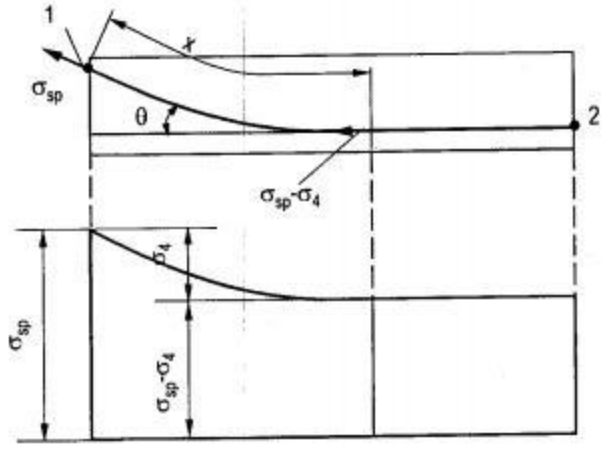
Δl_1 - biến dạng của êcu hoặc các bản đệm giữa các neo và bêtông, lấy bằng 1mm;

Δl_2 - biến dạng của neo hình cốc, êcu neo, lấy bằng 1mm;

l (mm) - chiều dài của cốt thép căng hoặc cấu kiện.

4. Tổn hao do ma sát

Khi căng trên bêtông, cốt thép căng bị cản trở biến dạng bởi ma sát giữa nó với thành ống hoặc bề mặt bêtông. Tổn hao ứng suất trước do ma sát này gây ra được tính bằng hiệu giữa ứng suất căng và ứng suất trong cốt thép căng tại vị trí xem xét (hình 3.2).



Hình 3.2: *Sự thay đổi ứng suất trong cốt thép căng do ma sát giữa cốt thép và thành ống/rãnh hoặc thiết bị đổi hướng*

1 - thiết bị kéo; 2 – neo; σ_4 – tổn hao do ma sát

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Công thức xác định giá trị tổn hao ứng suất trước do ma sát trong trường hợp này có dạng:

$$\sigma_4 = \sigma_{sp}\left(1 - e^{-(\omega x + \delta\theta)}\right) \qquad (3.22)$$

Trong đó:

ω,δ - các hệ số ma sát, được cho trong bảng 3.4;

x - khoảng cách từ thiết bị căng đến tiết diện tính toán, tính bằng m;

θ - tổng góc thay đổi hướng của trục cốt thép căng, tính bằng radian;

e - số logarit tự nhiên ;

σ_{sp} - ứng suất căng ban đầu (chưa kể đến tổn hao).

Bảng 3.4. Các hệ số ma sát để tính tổn hao do ma sát

Loại ống rãnh hay bề mặt tiếp xúc	Các hệ số ma sát		
	ω (radian^{-1})	δ (m^{-1})	
		Sợi thép, tao thép	Thanh thép
Ống rãnh :			
- bề mặt kim loại	0,0030	0,35	0,40
- bề mặt bêtông tạo bằng khuôn lõi cứng	0	0,55	0,65
- bề mặt bêtông tạo bằng khuôn lõi mềm	0,0015	0,55	0,65
Bề mặt bêtông	0	0,55	0,65

Khi căng trên bệ, nếu cốt thép căng không bị đổi hướng thì không xảy ra tổn hao ứng suất trước do ma sát. Trường hợp có sử dụng các thiết bị chuyển hướng, ví dụ các móc neo với bệ, thì giá trị tổn hao do ma sát được tính theo công thức :

$$\sigma_4 = \sigma_{sp}\left(1 - e^{-\delta\theta}\right) \qquad (3.23)$$

Trong đó:

δ - các hệ số ma sát, lấy giá trị $\delta = 0{,}25$;

θ -tổng góc thay đổi hướng của trục cốt thép căng, tính bằng radian;

e - số logarit tự nhiên ;

σ_{sp} - ứng suất căng ban đầu (chưa kể đến tổn hao).

Với các kết cấu mà tổng góc thay đổi hướng của trục cốt thép căng lớn thì giá trị tổn hao do ma sát là đáng kể. Các kết cấu quá dài cũng làm tăng giá trị tổn hao do ma sát khi căng trên bêtông.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Để giảm bớt tổn hao do ma sát, trong thực tế người ta thường phân đoạn căng - tức là giảm góc thay đổi hướng và chiều dài cho từng đoạn cốt thép căng. Một biện pháp khác nhằm làm giảm ảnh hưởng của ma sát đối với ứng suất trước là sử dụng các loại ống có hệ số ma sát bé như ống bằng chất dẻo, ống kim loại hình sóng hoặc thực hiện việc bôi trơn cốt thép căng.

5. Tổn hao do biến dạng khuôn

Trường hợp cấu kiện bêtông ứng suất trước được sản xuất theo phương pháp căng trước với việc sử dụng hệ khuôn thép thay cho bệ căng, thì sự biến dạng khuôn làm cho ứng suất trước bị giảm đi một phần, gọi là tổn hao do biến dạng khuôn. Giá trị của tổn hao do biến dạng khuôn phụ thuộc vào đặc tính của khuôn, nhưng cũng phụ thuộc vào phương pháp tạo ứng suất trước. Công thức để xác định tổn hao ứng suất trước do biến dạng khuôn có dạng như sau:

$$\sigma_5 = \eta \frac{\Delta l}{l} E_s \qquad (3.24)$$

Trong đó:

η - hệ số, được xác định như sau:

$\eta = \frac{n-1}{2n}$, khi căng cốt thép bằng kích;

$\eta = \frac{n-1}{4n}$, khi căng cốt thép bằng phương pháp nhiệt - điện kết hợp máy tời với 50% lực là do trọng lượng của vật nặng đảm nhận;

n là số nhóm cốt thép được căng không đồng thời.

Δl - độ dịch lại gần nhau của các gối trên bệ theo phương tác dụng của lực căng, được tính toán theo biến dạng khuôn;

l (mm) - chiều dài của cốt thép căng, tính bằng khoảng cách giữa mép ngoài của các gối trên bệ;

Khi thiếu các số liệu để tính toán thì tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho phép lấy $\sigma_5 = 30MPa$.

Theo quy định của TCXDVN 356 : 2005, tổn hao do biến dạng khuôn không cần tính toán khi áp dụng phương pháp tạo ứng suất trước bằng nhiệt - điện vì nó đã được kể đến khi xác định độ dãn dài toàn bộ của cốt thép.

6. Tổn hao do từ biến nhanh của bêtông

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn về tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến nhanh của bêtông (từ biến xảy ra trong quá trình sản xuất cấu kiện). Loại tổn hao này chỉ phải kể đến cho trường hợp căng trên bệ, không cần kể đến cho

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

trường hợp căng trên bêtông. Việc tính toán tổn hao ứng suất trước căn cứ vào điều kiện đóng rắn của bêtông.

- Trường hợp bêtông đóng rắn tự nhiên:

$$\sigma_6 = 40\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \quad \text{khi: } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \le \alpha \tag{3.25}$$

$$\sigma_6 = 40\alpha + 85\beta\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - \alpha\right) \quad \text{khi: } \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > \alpha \tag{3.26}$$

Trong đó:

$\alpha = 0{,}25 + 0{,}025R_{bp}$, nhưng không lớn hơn 0,8;

$\beta = 5{,}25 - 0{,}185R_{bp}$, nhưng không lớn hơn 2,5 và không nhỏ hơn 1,1;

σ_{bp} được xác định tại mức trọng tâm cốt thép dọc S và S', có kể đến các tổn hao $\sigma_1 \div \sigma_5$;

R_{bp} là cường độ của bêtông khi gây ứng suất trước;

$\sigma_6, R_{bp}, \sigma_{bp}$ được tính bằng MPa.

Đối với bêtông nhẹ có cường độ khi gây ứng suất trước không lớn hơn 11MPa, thì tổn hao do từ biến nhanh được tính theo các công thức (3.25) và (3.26) với việc thay giá trị 40 bằng 60.

- Trường hợp có dưỡng hộ nhiệt:

Trường hợp bêtông được dưỡng hộ nhiệt thì cường độ bêtông phát triển nhanh hơn và do vậy tổn hao do từ biến nhanh của bêtông ít hơn so với trường hợp không có dưỡng hộ nhiệt. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn về tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến nhanh của bêtông trong trường hợp có dưỡng hộ nhiệt bằng cách lấy kết quả tính cho trường hợp đóng rắn tự nhiên nhân với hệ số 0,85.

Các tổn hao thứ hai:

7. Tổn hao do chùng ứng suất trong cốt thép

Trường hợp căng trên bêtông, tổn hao ứng suất trước do chùng ứng suất trong cốt thép thuộc nhóm các tổn hao thứ hai.

Trường hợp căng trên bêtông, phương pháp tạo ứng suất trước phổ biến hiện nay là phương pháp cơ học. Giá trị tổn hao ứng suất trước do chùng ứng suất trong cốt thép căng trong trường hợp này được tính như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Đối với sợi thép và tao thép xoắn:

$$\sigma_7 = \left(0{,}22\frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp} \quad (3.27)$$

Đối với thanh thép: $\sigma_7 = 0{,}1\sigma_{sp} - 20$ (3.28)

Trong các công thức (3.27) – (3.28):

σ_{sp} - ứng suất căng ban đầu (chưa kể đến các tổn hao), được tính bằng MPa;

$R_{s,ser}$ - cường độ tiêu chuẩn của cốt thép căng;

Theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 nếu trường hợp tính toán theo các công thức trên cho giá trị $\sigma_7 < 0$ thì lấy giá trị $\sigma_7 = 0$.

8. Tổn hao do co ngót bêtông

Biến dạng co ngót của bêtông làm giảm chiều dài kết cấu, làm cho cốt thép căng bị co ngắn lại. Biến dạng co ngắn này làm giảm ứng suất kéo trong cốt thép căng. Đây chính là tổn hao ứng suất trước do co ngót của bêtông.

Tổn hao ứng suất trước do co ngót của bêtông được xác định theo công thức:

$$\sigma_8 = \varepsilon_{shb}E_s \quad (3.29)$$

Trong đó:

ε_{shb} - biến dạng do co ngót của bêtông.

Việc xác định chính xác tổn hao ứng suất trước do co ngót của bêtông nói chung là khó khăn. Để phục vụ công tác thiết kế kết cấu bê tông ứng suất trước tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn về tính toán gần đúng tổn hao ứng suất trước do co ngót của bêtông trong các trường hợp như trong bảng 3.5.

Bảng 3.5.Tổn hao ứng suất trước do co ngót của bêtông

Loại bêtông	Tổn hao σ_8 theo phương pháp gây ứng suất trước [MPa]		
	Trên bệ		Trên bêtông
	Đóng rắn tự nhiên	Dưỡng hộ nhiệt trong điều kiện áp suất khí quyển	Không phụ thuộc điều kiện đóng rắn của bêtông
a) B35 và thấp hơn	40	35	30
b) B40	50	40	35
c) B45 và cao hơn	60	50	40

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trường hợp căng trên bêtông tổn hao do co ngót của bêtông có giá trị bé hơn trường hợp căng trên bệ. Nguyên nhân là do tuổi bêtông khi gây ứng suất trước trong trường hợp căng sau thường lớn hơn so với trường hợp căng trên bệ. Phần co ngót của bêtông xảy ra trước khi gây ứng suất trước không gây tổn hao ứng suất trước cho cốt thép căng.

9. Tổn hao do từ biến của bêtông

Tổn hao ứng suất trước do từ biến của bêtông trong trường hợp thời hạn chất tải không ít hơn 100 ngày được tính như sau:

$$\sigma_9 = 150\alpha\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \qquad \text{khi} \quad \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \le 0,75 \qquad (3.30a)$$

$$\sigma_9 = 300\alpha\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0,375\right) \qquad \text{khi} \quad \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} > 0,75 \qquad (3.30b)$$

Trong đó:

σ_{bp} được xác định tại mức trọng tâm cốt thép dọc S và S', có kể đến các tổn hao $\sigma_1 \div \sigma_5$;

α - hệ số, được lấy:

$\alpha = 1$ khi bêtông đóng rắn tự nhiện;

$\alpha = 0,85$ khi có dưỡng hộ nhiệt trong áp suất khí quyển.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn sau đây về tính tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bêtông trong một số trường hợp đặc biệt:

- Trường hợp thời hạn chất tải ít hơn 100 ngày, thì tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bêtông được nhân với hệ số:

$$\varphi_t = \frac{4t}{100 + 3t} \qquad (3.31)$$

Trong đó:

t - thời gian tính bằng ngày, được xác định như sau:

- khi tính tổn hao do từ biến: tính từ ngày gây ứng suất trước cho bêtông;
- khi tính tổn hao do co ngót : tính từ ngày kết thúc đổ bêtông.

- Đối với kết cấu làm việc trong điều kiện không khí có độ ẩm thấp hơn 40%, tổn hao ứng suất trước cần được tăng thêm 25%. Trường hợp kết cấu làm từ bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, làm việc trong vùng khí hậu nóng và không được bảo vệ tránh bức xạ mặt trời, tổn hao ứng suất trước cần tính tăng 50%.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Nếu biết rõ loại xi măng, thành phần bêtông, điều kiện chế tạo và sử dụng kết cấu, cho phép sử dụng các phương pháp chính xác hơn để tính tổn hao ứng suất trước khi phương pháp đó được chứng minh là có cơ sở theo quy định hiện hành.

10. Tổn hao do biến dạng ép mặt của bêtông

Đối với các kết cấu dạng trụ tròn có đường kính đến 3m, ép cục bộ bề mặt bêtông do cốt thép đai dạng xoắn hay vòng tròn làm bêtông bị biến dạng theo phương bán kính và gây ra tổn hao ứng suất trước. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra công thức tính tổn hao ứng suất trước do biến dạng ép mặt của bêtông như sau:

$$\sigma_{l0} = 70 - 0{,}22 d_{ext} \qquad (3.32)$$

Trong đó:

d_{ext} là đường kính ngoài của kết cấu, tính bằng cm.

σ_{l0} tính bằng MPa.

Đối với các kết cấu có đường kính lớn hơn 3m, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho phép không phải tính tổn hao do biến dạng ép mặt của bêtông.

11. Tổn hao do biến dạng mối nối

Trường hợp kết cấu được lắp ghép từ các khối và được ép lại với nhau bằng ứng suất trước, tổn hao ứng suất trước do biến dạng ép các mối nối được tính theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 như sau:

$$\sigma_{l1} = \frac{n\Delta l}{l} E_s \qquad (3.33)$$

Trong đó:

n - số lượng khe nối giữa các khối kết cấu;

Δl - biến dạng ép sát của khe nối, được lấy như sau:

với khe được nhồi bêtông: $\Delta l = 0{,}3$mm ;

với khe ghép trực tiếp: $\Delta l = 0{,}5$mm ;

l - độ dài cốt thép căng.

3.5. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

VÍ DỤ 1:

Số liệu:

Dầm kê tự do có tiết diện như trên hình 3.3; bêtông có cấp độ bền B35 ($E_b = 3{,}1 \cdot 10^4$ MPa); Cường độ bêtông khi căng tạo ứng suất trước $R_{bp} = 17{,}5$ MPa; cốt thép căng loại thép xoắn K-7 ($R_{s,ser} = 1295$ MPa, $E_s = 18 \cdot 10^4$ MPa) có diện tích

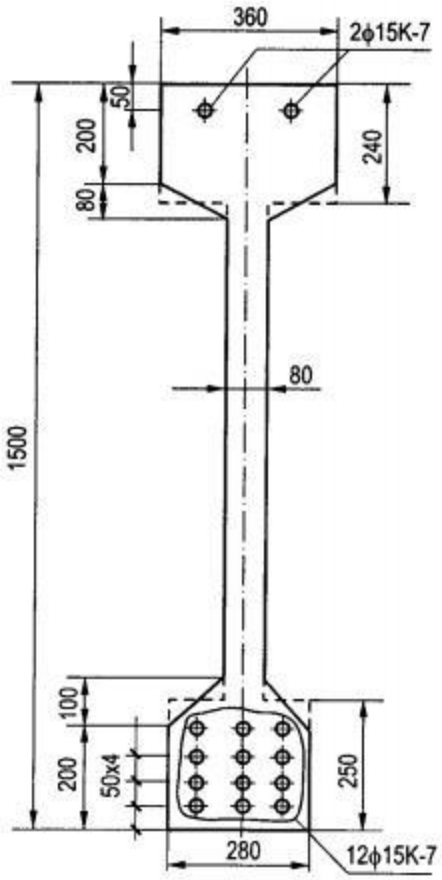
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tiết diện: ở vùng chịu kéo A_{sp} = 1699 mm^2 (12ϕ15), ở vùng chịu nén A'_{sp} = 283mm^2 (2ϕ15); căng cốt thép trên bệ bằng phương pháp cơ học; bêtông được dưỡng hộ nhiệt; neo cốt thép căng trên bệ bằng các neo công cụ luân chuyển nhiều lần; chiều dài bệ căng 20 m; khối lượng dầm 11,2T; chiều dài dầm l = 18m.

Yêu cầu:

a) Xác định độ lớn và vị trí đặt của ứng lực sau khi xuất hiện các tổn hao ứng suất thứ nhất P_1 và sau khi xuất hiện tất cả các tổn hao thứ nhất và thứ hai P_2 đối với tiết diện giữa nhịp, lấy lực căng cốt thép lớn nhất.

b) Kiểm tra tỉ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005.



Hình 3.3: *Tiết diện dầm cho ví dụ 1*

Tính toán:

a) Xác định độ lớn và vị trí đặt của ứng lực trước sau khi xuất hiện các tổn hao ứng suất thứ nhất P_1 và sau khi xuất hiện tất cả các tổn hao thứ nhất và thứ hai P_2 đối với tiết diện giữa nhịp.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1) Tính toán các đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi

$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{18.10^4}{3{,}1.10^4} =$ 5,8 (do cốt thép thường cấu tạo ít nên không kể đến);

Để đơn giản tính toán chiều cao bản cánh lấy giá trị trung bình như được thể hiện trên hình 3.3.

Diện tích tiết diện quy đổi:

$$A_{red} = A + \alpha A_{sp} + \alpha A'_{sp} = 1500.80 + 280.240 + 200.250 + 5{,}8\,(1699 + 283)$$
$$= 24{,}9.10^4 \text{ mm}^2.$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến mép dưới của dầm (xem tiết diện tất cả 4 hàng cốt thép có diện tích giống nhau):

$$a_s = \frac{50 + 100 + 150 + 200}{4} = 125 \text{ mm}.$$

Mô men tĩnh của tiết diện bêtông đối với mép dưới của dầm:

$$S = \frac{80.1500^2}{2} + 280.240(1500 - 120) + \frac{200.250^2}{2} = 18\,900.10^4 \text{ mm}^3.$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến mép dưới của dầm:

$$y_0 = \frac{S + \alpha A_{sp} a_p + \alpha A'_{sp}(h - a'_p)}{A_{red}} =$$

$$= \frac{18900.10^4 + 5{,}8.1699.125 + 5{,}8.283(1500 - 50)}{24{,}9.10^4} = 774 \text{ mm}.$$

Mô men quán tính của tiết diện quy đổi:

$y_{sp} = y_0 - a_p = 774 - 125 = 649$ mm;

$y'_{sp} = h - a'_p - y_0 = 1500 - 50 - 774 = 676$ mm;

$$I_{red} = I + \alpha A_{sp} y^2_{sp} + \alpha A'_{sp} y'^2_{sp} = \frac{80 \cdot 1500^3}{12} + 80.1500\,(774 - 750)^2 +$$

$$+ \frac{280.240^3}{12} + 280.240\,(1380 - 774)^2 + \frac{200.250^3}{12} + 200 \cdot 250(774 - 125)^2 +$$

$$+ 5{,}8.1699.649^2 + 5{,}8.283.676^2 = 73800.10^6 \text{ mm}^4.$$

2) Tính toán P_1 và e_{0p1}

Xác định ứng suất căng cho phép lớn nhất σ_{sp} không kể đến tổn hao :

$$\sigma_{sp} = 0{,}95\, R_{s,ser} = 0{,}95 \cdot 1295 = 1226 \text{ MPa}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Xác định các tổn hao ứng suất thứ nhất:

- Tổn hao do chùng ứng suất trong cốt thép:

$$\sigma_1 = \left(0,22\frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,1\right)\sigma_{sp} = \left(0,22\frac{1226}{1290} - 0,1\right)1226 = 134 \text{ MPa}.$$

- Tổn hao do chênh lệch nhiệt độ giữa gối tựa của bệ căng và bêtông:

$$\Delta t = 65^oC;$$

$$\sigma_2 = 1,25\ \Delta t = 1,25.65 = 81 \text{ MPa}.$$

- Tổn hao do biến dạng của neo công cụ luân chuyển nhiều lần:

$$\Delta l = 1,25 + 0,15d = 1,25 + 0,15.15 = 3,5 \text{ mm};$$

$$l = 20 \text{ m};$$

$$\sigma_3 = \frac{\Delta l}{l}E_s = \frac{3,5}{20\cdot 10^3}1,8.10^5 = 31,5 \text{ MPa}.$$

- Tổn hao do ma sát :

$$\sigma_4 = 0;$$

Vì cốt thép căng không bị uốn gập, nên không có những tổn hao do ma sát.

- Tổn hao do biến dạng khuôn:

$$\sigma_5 = 0;$$

Các tổn hao do biến dạng của khuôn thếp không có vì ứng lực trước truyền thẳng lên gối tựa của bệ căng.

Như vậy, ứng lực trước khi có kể đến các tổn hao được tính như sau:

$$P_1 = (A_{sp}+A'_{sp})(\sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3) = (1699+283)\times(1226 - 134 - 81 - 31,5) =$$

$$= 1982.980 = 1941.10^3 \text{ N} = 1941 \text{ kN}.$$

Điểm đặt lực P_1 trùng với trọng tâm của toàn bộ cốt thép căng:

$$e_{0p1} = \frac{A_{sp}y_{sp} - A'_{sp}y'_{sp}}{A_{sp} + A'_{sp}} = \frac{1699.649 - 283.676}{1699 + 283} = 447\text{mm}$$

Xác định các tổn hao do từ biến nhanh của bêtông:

Ứng suất trong bêtông σ_{bp} tại giữa nhịp do tác dụng của lực P_1 và mô men uốn M_g do trọng lượng bản thân dầm:

Tải trọng do trọng lượng bản thân dầm:

$$q_w = \frac{11200.0,01}{18} = 6,23 \text{ kN/m}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$M_w = \frac{q_w l^2}{8} = \frac{6,23 \cdot 17,5^2}{8} = 238 \text{ kNm};$$

(l = 17,5m - khoảng cách giữa các tấm đệm kê dầm).

Ứng suất σ_{bp} tại cao độ cốt thép S:

$y = y_{sp} = 649$ mm;

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{0p1} y}{I_{red}} - \frac{M_w y}{I_{red}} = \frac{1941.10^3}{24,9.10^4} + \frac{1941.10^3.447.649}{73800.10^6} -$$

$$- \frac{238.10^6.649}{73800.10^6} = 13,3 \text{ MPa}.$$

Ứng suất σ'_{bp} tại cao độ cốt thép S' :

$y = y'_{sp} = 676$ mm;

$$\sigma'_{bp} = \frac{1941 \cdot 10^3}{24,9 \cdot 10^4} - \frac{1941 \cdot 10^3 \cdot 447 \cdot 676}{73800 \cdot 10^6} + \frac{238 \cdot 10^6 \cdot 676}{73800 \cdot 10^6} = 2,1 \text{ MPa} > 0;$$

Bêtông bị nén.

Các tổn hao do từ biến nhanh:

- Đối với cốt thép trong vùng chịu kéo S:

$\alpha = 0,25 + 0,025 R_{bp} = 0,25 + 0,025 \cdot 17,5 = 0,69 < 0,8$;

$\beta = 5,25 - 0,185 R_{bp} = 5,25 - 0,185 \cdot 17,5 = 2,01 < 2,5$;

Thoả mãn yêu cầu: $1,1 \le \beta < 2,5$;

Vì $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{13,3}{17,5} = 0,77 > \alpha = 0,69$, nên:

$$\sigma_6 = 0,85\left[40\alpha + 85\beta\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - \alpha\right)\right] = 0,85\left[40.0,69 + 85.2,01(0,77 - 0,69)\right]$$

$= 35,0$ MPa.

- Đối với cốt thép trong vùng chịu nén S':

$$\sigma'_6 = 0,85.40 \frac{\sigma'_{bp}}{R_{bp}} = 0,85.40 \frac{2,1}{17,5} = 4,1 \text{ MPa}.$$

Xác định ứng suất σ_{sp1} có kể đến các tổn hao thứ nhất:

- Đối với cốt thép S:

$\sigma_{sp1} = (\sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3) - \sigma_6 = 980 - 35 = 945$ MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Đối với cốt thép S' :

$\sigma'_{sp1} = 980 - 4,1 = 976$ MPa.

Xác định lực nén trước có kể đến các tổn hao thứ nhất:

$$P_1 = \sigma_{sp1} A_{sp} + \sigma'_{sp1} A'_{sp} = 945 \cdot 1699 + 976 \cdot 283 = 1882 \text{ kN};$$

$$e_{0p1} = \frac{\sigma_{sp1} A_{sp} y_{sp} - \sigma'_{sp1} A'_{sp} y'_{sp}}{P_1} = \frac{945 \cdot 1699 \cdot 649 - 976 \cdot 283 \cdot 676}{1882 \cdot 10^3} = 454 \text{ mm}.$$

Kết quả tính toán: $P_1 = 1882$ kN ;

$e_{0p1} = 454$ mm .

3) Tính toán P_2 và e_{0p2}

Xác định các tổn hao ứng suất thứ hai:

- Tổn hao do co ngót bêtông: $\sigma_8 = 35$ MPa.

- Tổn hao do từ biến của bêtông:

+ Đối với cốt thép trong vùng chịu kéo S:

Để đơn giản tính toán, tỉ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ lấy như khi xác định σ_6, nghĩa là $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,77$;

Vì $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,77 > 0,75$ nên:

$$\sigma_9 = 300\alpha\left(\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} - 0,375\right) = 300.0,85.(0,77 - 0,375) = 101 \text{ MPa}.$$

+ Đối với cốt thép trong vùng chịu nén S':

$$\sigma_9 = 150\alpha\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 150.0,85.\frac{2,1}{17,5} = 15,4 \text{MPa}.$$

Xác định ứng suất σ_{sp} có kể đến tất cả các tổn hao thứ nhất và thứ hai:

- Đối với cốt thép trong vùng chịu kéo S:

$\sigma_{sp2} = \sigma_{sp1} - \sigma_8 - \sigma_9 = 945 - 35 - 101 = 809$ MPa.

- Đối với cốt thép trong vùng chịu nén S' :

$\sigma'_{sp2} = \sigma'_{sp1} - \sigma_8 - \sigma_9 = 976 - 35 - 15,4 = 926$ MPa.

Xác định lực nén trước có kể đến tất cả các tổn hao thứ nhất và thứ hai:

$P_2 = \sigma_{sp2} A_{sp} + \sigma'_{sp2} A'_{sp} = 809.1699 + 926.283 = 1637.10^3$ N = 1637 kN;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$e_{0p2} = \frac{\sigma_{sp2}A_{sp}y_{sp} - \sigma'_{sp2}A'_{sp}y'_{sp}}{P_2} = \frac{809 \cdot 1699 \cdot 649 - 926 \cdot 283 \cdot 676}{1637 \cdot 10^3} = 437 \text{ mm.}$$

Kết quả tính toán: $P_2 = 1637$ kN ;

$e_{0p2} = 437$ mm .

b) Kiểm tra tỉ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005

Xác định ứng suất nén lớn nhất của bêtông do tác dụng của lực P_1 không kể đến trọng lượng bản thân cấu kiện:

$y = y_0 = 774$ mm;

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{0p1} y_0}{I_{red}} = \frac{1882 \cdot 10^3}{24,9 \cdot 10^4} + \frac{1882 \cdot 10^3 \cdot 454 \cdot 774}{73800 \cdot 10^6} = 16,5 \text{ MPa.}$$

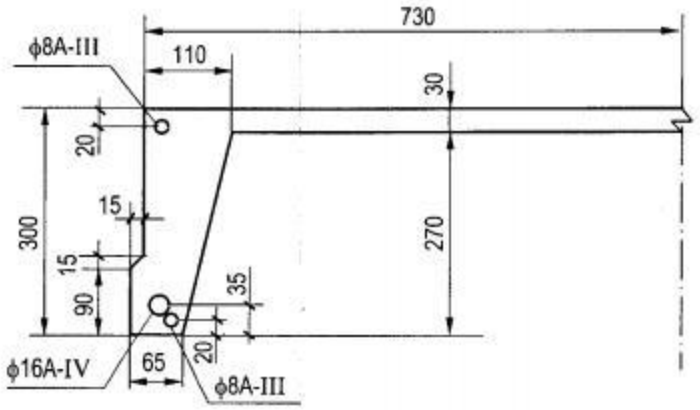
Kiểm tra tỉ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 :

$$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{16,5}{17,5} = 0,94 < 0,95 = \left[\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}\right]$$

$\Rightarrow$ đảm bảo yêu cầu theo TCXDVN 356 : 2005 (bảng 3.1).

VÍ DỤ 2:

Số liệu:



Hình 3.4: *Hình vẽ cho ví dụ 2*

Tấm sàn mái kích thước 1,5 × 6m; tiết diện ngang như trên hình 3.4; bêtông nặng có cấp độ bền là B25 ($E_b = 2,7 \cdot 10^4$ MPa); cường độ bêtông khi tạo ứng suất trước

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

R_{bp} = 17,5 MPa; cốt thép căng loại A-IV ($R_{s,ser}$ = 590MPa, $E_s = 19.10^4$MPa) có diện tích tiết diện A_{sp} = 201 mm^2 (1ϕ16), cốt thép thường chịu nén và chịu kéo loại A-III ($E_s = 2.10^4$MPa) có diện tích $A_s = A'_s$ = 50,3mm^2 (1ϕ8); căng cốt thép đưc tiến hành trên bệ bằng phương pháp nhiệt điện không tự động; sản xuất tấm sàn bằng công nghệ dây chuyền có dưỡng hộ nhiệt; trọng lượng tấm sàn 1,3 T.

Yêu cầu:

a) Xác định giá trị và điểm đặt các ứng lực trước có kể đến các tổn hao thứ nhất và ứng lực trước có kể đến tất cả tổn hao thứ nhất và thứ hai đối với tiết diện giữa nhịp, lấy lực căng cốt thép lớn nhất cho phép.

b) Kiểm tra tỷ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo TCXDVN 356 : 2005.

Tính toán:

a) Xác định giá trị và điểm đặt các ứng lực trước có kể đến các tổn hao thứ nhất và ứng lực trước có kể đến tất cả tổn hao thứ nhất và thứ hai đối với tiết diện giữa nhịp, lấy lực căng cốt thép lớn nhất cho phép.

1) Tính toán các đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi

Do tính chất đối xứng tiết diện, việc tính toán được tiến hành cho một nửa tiết diện tấm sàn.

Xác định các đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi.

Hệ số α của toàn bộ cốt thép:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{20 \cdot 10^4}{27,0 \cdot 10^3} = 7,4;$$

Diện tích tiết diện quy đổi:

$A'_{sp} = 0$;

$A_{red} = A + \alpha A_{sp} + \alpha A_s + \alpha A'_s$

$= 730 \cdot 30 + 50 \cdot 270 + 60 \cdot 270 \cdot 0,5 + 97,5 \cdot 15 + 7,4 \cdot 201 + 7,4 \cdot 50,3 \cdot 2$

$= 47\,200$ mm^2.

Mô men tĩnh của tiết diện bêtông đối với mép dưới của sườn:

$$S = 730 \cdot 30 \cdot 285 + 50 \cdot 270^2 \cdot 0,5 + 60 \cdot 0,5 \frac{2}{3} 270^2 + 97,5^2 \cdot 15 \cdot 0,5$$

$= 9593 \cdot 10^3$ mm^3.

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến mép dưới của sườn:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$y_0 = \frac{S + \alpha A_{sp} a_{sp} + \alpha A_s a_s + \alpha A'_s (h - a'_s)}{A_{red}} =$$

$$= \frac{9593 \cdot 10^3 + 7,4 \cdot 201 \cdot 35 + 7,4 \cdot 50,3 \cdot 20 + 7,4 \cdot 50,3(300 - 200)}{47200}$$

$= 206,7$ mm.

Mô men quán tính của tiết diện qui đổi:

$y_{sp} = y_0 - a_p = 206,7 - 35 = 171,7$ mm;

$y_s = y_0 - a_s = 206,7 - 20 = 186,7$ mm;

$y'_s = h - a'_s - y_0 = 300 - 20 - 206,7 = 73,3$ mm.

$I_{red} = I + \alpha A_{sp} y^2_{sp} + \alpha A_s y^2_s + \alpha A'_s y'^2_s$

$$= \frac{730 \cdot 30^3}{12} + 730 \cdot 30 (285 - 206,7)^2 + \frac{50 \cdot 270^3}{12} + 50 \cdot 270 (206,7 - 135)^2 +$$

$$+ \frac{60 \cdot 270^3}{36} + 60 \cdot 270 \cdot 0,5 (206,7 - 180)^2 + \frac{15 \cdot 97,5^3}{12} + 15 \cdot 97,5 (206,7 - 48,7)^2 +$$

$$+ 7,4 \cdot 201 \cdot 171,7^2 + 7,4 \cdot 50,3 \cdot 186,7^2 + 7,4 \cdot 50,3 \cdot 73,3^2 = 3599 \cdot 10^5 \text{ mm}^4.$$

2) Tính toán P_1 và e_{0p1}

Xác định ứng suất trước lớn nhất không kể đến tổn hao:

Chiều dài thanh thép căng l = 6 m;

$$p = 30 + \frac{360}{l} = 30 + \frac{360}{6} = 90 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{sp} = R_{s,ser} - p = 590 - 90 = 500 \text{ MPa}.$$

Xác định các tổn hao thứ nhất.

- Tổn hao do chùng ứng suất trong cốt thép khi căng bằng biện pháp nhiệt điện:

$$\sigma_1 = 0,03\ \sigma_{sp} = 0,03 \cdot 500 = 15 \text{ MPa}.$$

- Tổn hao do chênh lệch nhiệt độ khi thi công:

$$\sigma_2 = 0;$$

Với công nghệ sản xuất dây chuyền, khi hấp nhiệt, cốp pha có gối được hấp nhiệt cùng với dầm, nên chênh lệch nhiệt độ giữa chúng bằng không.

Tổn hao do biến dạng neo:

$$\sigma_3 = 0;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tổn hao do biến dạng của neo khi căng bằng biện pháp nhiệt điện lấy bằng không.

Tổn hao do ma sát:

$$\sigma_4 = 0;$$

Vì cốt thép căng không bị uốn gập nên tổn hao do ma sát cốt thép lấy bằng không.

Như vậy, ứng lực trước có kể đến các tổn hao trên đây có giá trị:

$$P_1 = A_{sp}(\sigma_{sp} - \sigma_1) = 201\ (500 - 15) = 97485\ \text{N}.$$

Độ lệch tâm của P_1 là :

$$e_{0p} = y_{sp} = 171{,}7\ \text{mm}.$$

Xác định tổn hao do từ biến nhanh của bêtông:

Tải trọng do trọng lượng tấm sàn:

$$q_w = 0{,}5\frac{1300 \cdot 0{,}01}{6} = 1{,}083\ \text{kN/m};$$

$$M_w = \frac{q_w l^2}{8} = \frac{1{,}083 \cdot 5{,}7^2}{8} = 4{,}4\ \text{kNm};$$

(l = 5,7m - khoảng cách giữa các tấm đệm kê các tấm sàn).

Ứng suất σ_{bp} tại cao độ cốt thép S:

$$y = y_{sp} = 171{,}7\ \text{mm};$$

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{0p} y}{I_{red}} - \frac{M_w y}{I_{red}} =$$

$$= \frac{97485}{47200} + \frac{97485 \cdot 171{,}7^2}{3599 \cdot 10^5} - \frac{4{,}4 \cdot 10^6 \cdot 171{,}7}{3599 \cdot 10^5} = 7{,}95\ \text{MPa};$$

Ứng suất σ'_{bp} tại cao độ cốt thép S':

$$y = y'_s = 73{,}3\ \text{mm};$$

$$\sigma'_{bp} = \frac{97485}{47200} - \frac{97485 \cdot 171{,}7 \cdot 73{,}3}{3599 \cdot 10^5} + \frac{4{,}4 \cdot 10^6 \cdot 73{,}3}{3599 \cdot 10^5}$$

$$= -0{,}45\ \text{MPa} < 0;$$

Bêtông bị kéo.

- Tổn hao do từ biến nhanh:

+ Đối với cốt thép trong vùng chịu kéo S:

$$\alpha = 0{,}25 + 0{,}025R_{bp} = 0{,}25 + 0{,}025 \cdot 17{,}5 = 0{,}69 < 0{,}8;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Vì $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{7,95}{17,5} = 0,45 < \alpha = 0,69$, nên:

$$\sigma_6 = 0,85.40 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,85.40 \cdot 0,45 = 15,3 \text{ MPa.}$$

+ Đối với cốt thép trong vùng chịu nén S':

Vì $\sigma'_{bp} < 0$, nên:

$$\sigma_6 = 0.$$

Ứng suất σ_{sp1} có kể đến các tổn hao thứ nhất:

$$\sigma_{sp1} = \sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_6 = 500 - 15 - 15,3 = 470 \text{ MPa.}$$

Xác định lực nén trước có kể đến các tổn hao thứ nhất:

$$P_1 = \sigma_{sp1} A_{sp} - \sigma_s A_s = 470 \cdot 201 - 15,3 \cdot 50,3 = 93,7 \cdot 10^3 \text{ N;}$$

Các ứng suất σ_s và σ'_s lấy bằng các tổn hao do từ biến nhanh, nghĩa là $\sigma_s = 15,3$ MPa và $\sigma'_s = 0$;

$$e_{0p1} = \frac{\sigma_{sp1} A_{sp} y_{sp} - \sigma_s A_s y_s}{P_1} = \frac{470 \cdot 201 \cdot 171,7 - 15,3 \cdot 50,3 \cdot 186,7}{93,7 \cdot 10^3} = 171,6 \text{ mm.}$$

Kết quả tính toán: $P_1 = 93,7$ kN ;

$e_{0p1} = 171,6$ mm .

3) Tính toán P_2 và e_{0p2}

Xác định các tổn hao thứ hai:

- Tổn hao do co ngót bêtông: $\sigma_8 = 35$ MPa.
- Tổn hao do từ biến của bêtông:

+ Đối với cốt thép trong vùng kéo S:

Để đơn giản tính toán, tỉ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ lấy như khi xác định σ_6, nghĩa là $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,45$;

Vì $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,45 < 0,75$, nên :

$$\sigma_9 = 150\alpha \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 150 \cdot 0,85 \cdot 0,45 = 57,6 \text{ MPa.}$$

+ Đối với cốt thép trong vùng nén S':

Vì $\sigma'_{bp} < 0$, nên: $\sigma_6 = 0$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tổng các tổn hao thứ nhất và thứ hai:

$\sigma_1 + \sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9 = 15 + 15,3 + 35 + 57,6 = 122,9$ MPa > 100 MPa, nên không cần tăng thêm.

Ứng suất σ_{sp2} có kể đến tất các các tổn hao thứ nhất và thứ hai :

$$\sigma_{sp2} = 500 - 122,9 \cong 377,1 \text{ MPa.}$$

Lực nén trước P_2 có kể đến tất cả các tổn hao ứng suất thứ nhất và thứ hai:

$$\sigma_s = 15,3 + 35 + 57,6 = 107,9 \text{ MPa;}$$

Ứng suất trong cốt thép thường σ_s lấy bằng tổng hao tổn do co ngót và từ biến của bêtông.

Vì $\sigma'_{bp} < 0$ và $\sigma'_s = 0$, nên

$$P_2 = \sigma_{sp2} A_{sp} - \sigma_s A_s = 377,1 \cdot 201 - 107,9 \cdot 50,3$$

$$= 70\,370 \text{ N} = 70,370 \text{kN;}$$

$$e_{0p2} = \frac{\sigma_{sp2} A_{sp} y_{sp} - \sigma_s A_s y_s}{P_2} = \frac{377,1 \cdot 201 \cdot 171,7 - 107,9 \cdot 50,3 \cdot 186,7}{70370}$$

$$= 170,5 \text{ mm.}$$

Kết quả tính toán : $P_2 = 70,370$ kN ;

$e_{0p2} = 170,5$ mm .

b) Kiểm tra tỷ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo TCXDVN 356 : 2005

Xác định ứng suất nén lớn nhất của bêtông do tác dụng của lực P_1 không kể đến trọng lượng bản thân cấu kiện:

$$y = y_0 = 206,7 \text{ mm;}$$

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{0p1} y}{I_{red}} = \frac{93700}{47200} + \frac{93700 \cdot 171,7 \cdot 206,7}{3599 \cdot 10^5} = 11,2 \text{ MPa.}$$

Kiểm tra tỷ số $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ theo TCXDVN 356 : 2005 :

$$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{11,2}{17,5} = 0,64 < 0,95 = \left[\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}\right]$$

$\Rightarrow$ đảm bảo yêu cầu theo TCXDVN 356 : 2005 (bảng 3.1).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 4

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KẾT CẤU BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN

4.1. TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT CỦA CẤU KIỆN CHỊU UỐN

Sự làm việc của cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu kéo đúng tâm được xem xét trong chương 1. Ở đây sẽ xem xét sự làm việc của cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn (dầm bêtông ứng suất trước).

Khả năng chống nứt của kết cấu bêtông ứng suất trước lớn gấp $2 \div 3$ lần so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường. Điều đó có nghĩa là kết cấu bêtông ứng suất trước có khả năng duy trì được trạng thái không bị nứt cho đến cấp tải khá lớn. Trong thực tế người ta có thể thiết kế được các cấu kiện bêtông ứng suất trước không bị nứt trong trạng thái chịu tải trọng sử dụng bình thường. Kết quả phân tích cũng cho thấy tính đặc thù của kết cấu bêtông ứng suất trước được thể hiện rõ nét ở giai đoạn trước khi xuất hiện vết nứt.

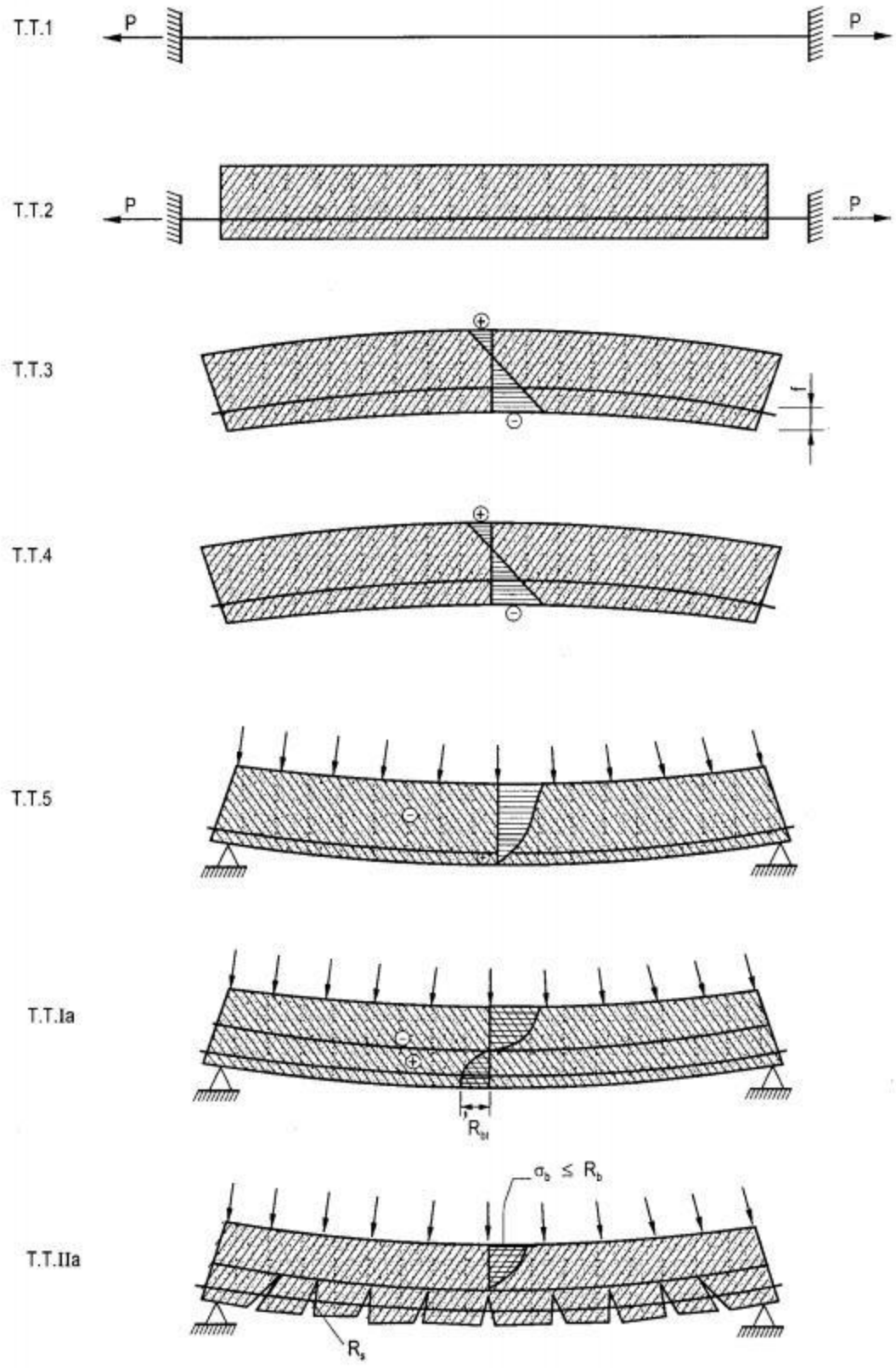
Để có được bức tranh tổng thể về sự làm việc của dầm bêtông ứng suất trước, ta xem xét trạng thái ứng suất của dầm từ thời điểm đầu tiên cho đến khi bị phá hoại. Quá trình này có thể được chia ra thành các giai đoạn như sau:

Giai đoạn I:

Khi cốt thép căng được gây ứng suất trước, sự làm việc của nó được đặc trưng bởi *trạng thái 1* như được thể hiện trên hình 4.1–T.T.1. Đây là thời điểm mà cốt thép được được gây ứng suất có giá trị σ_{sp}.

Trạng thái 2 được thể hiện trên hình 4.1–T.T.2 là trạng thái mà sau khi cốt thép căng được neo vào bệ hoặc tường chịu lực; tiến hành các công việc lắp đặt cốt thép thường, các chi tiết đặt sẵn, công tác cốppha và đổ bêtông. Trong giai đoạn này đã xuất hiện một số loại tổn hao ứng suất trước trong cốt thép căng bao gồm: chùng ứng suất trong cốt thép (một phần), biến dạng neo, chênh lệch nhiệt độ, biến dạng khuôn. Kết thúc giai đoạn này, ứng suất trong cốt thép căng bị giảm đi một phần do các tổn hao thứ nhất và có giá trị $\left(\sigma_{sp} - \sigma_{l1}\right)$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 4.1: *Trạng thái ứng suất của dầm bêtông ứng suất trước*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi bêtông đạt cường độ nhất định, tiến hành buông cốt thép căng để gây ứng suất trước cho bêtông. *Trạng thái 3* (hình 4.1–T.T.3) đạt được khi đã xuất hiện các tổn hao thứ nhất cùng với biến dạng đàn hồi của bêtông dầm dưới tác dụng của ứng suất trước. Ứng suất trong cốt thép căng khi kết cấu đạt trạng thái 3 có giá trị:

$$\sigma_{sp1} = \sigma_{sp} - \sigma_{l1} - \alpha\sigma_b \tag{4.1}$$

Trong đó: σ_b là ứng suất nén trước trong bêtông do ứng suất trước có kể đến các tổn hao thứ nhất gây ra:

$$\alpha = E_s/E_b$$

Trạng thái 4 được thể hiện trên hình 4.1–T.T.4, là trạng thái đã xuất hiện đầy đủ các tổn hao thứ nhất và thứ hai cùng với biến dạng đàn hồi của bêtông dầm dưới tác dụng của ứng suất trước. Ứng suất trước trong cốt thép căng sau giai đoạn này có giá trị:

$$\sigma_{sp2} = \sigma_{con2} - \sigma_{l2} = \sigma_{sp} - \sigma_{l1} - \alpha\sigma_b - \sigma_{l2} \tag{4.2}$$

Trong đó: σ_b là ứng suất nén trước trong bêtông do ứng suất trước có kể đến các tổn hao thứ nhất và thứ hai gây ra, được xác định theo công thức (3.12) với giá trị ứng suất trước có kể đến tất cả các tổn hao thứ nhất và thứ hai.

Bắt đầu chất tải lên dầm và cho tải trọng tăng dần lên cho đến khi ứng suất nén trước trong bêtông tại mép dưới của dầm bị triệt tiêu. Trạng thái làm việc của dầm tại thời điểm triệt tiêu hoàn toàn ứng suất nén trước trong bêtông tại mép dưới của tiết diện gọi là *trạng thái 5* (hình 4.1–T.T.5). Tại trạng thái 5 ứng suất trong cốt thép căng có giá trị:

$$\sigma_{sp,0} = \sigma_{sp2} + \alpha\sigma_b = \sigma_{sp} - \sigma_{l1} - \sigma_{l2} \tag{4.3}$$

Kể từ trạng thái 5, nếu tiếp tục gia tải thì dầm bêtông ứng suất trước làm việc tương tự như dầm bêtông cốt thép thường.

Tiếp tục tăng tải trọng cho đến khi xuất hiện vết nứt tại vùng chịu kéo của dầm. Thời điểm mà bêtông bị nứt là thời điểm quan trọng vì đây là dấu hiệu mà kết cấu thay đổi mạnh về trạng thái ứng suất - biến dạng. Kể từ thời điểm đó cấu kiện chuyển từ trạng thái không có vết nứt sang trạng thái có vết nứt, tức là tiết diện không còn nguyên. Trạng thái ngay trước khi xuất hiện vết nứt gọi là *trạng thái Ia* (hình 4.1–T.T.Ia), chính là thời điểm kết thúc giai đoạn I. Trạng thái Ia dùng làm sơ đồ tính toán mômen kháng nứt đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước.

Tại thời điểm trước khi xuất hiện vết nứt (trạng thái Ia), ứng suất trong cốt thép căng có giá trị:

$$\sigma_{sp,crc} = \sigma_{sp,0} + \sigma_s = \sigma_{sp,0} + 2\alpha R_{bt,ser} \tag{4.4}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức (4.4) đã chấp nhận một cách gần đúng sự hình thành vết nứt ở mép dầm phía dưới dầm trùng với sự hình thành vết nứt trong bêtông tại cao độ cốt thép căng.

Giai đoạn II:

Sau khi xuất hiện vết nứt trong bêtông tại vùng chịu kéo, lực kéo trong vùng này được chuyển sang cốt thép chịu. Ở giai đoạn này cấu kiện làm việc trong trạng thái có vết nứt, nhưng cốt thép vẫn trong trạng thái đàn hồi và bêtông vùng nén chưa đạt trạng thái dẻo hoàn toàn. Giai đoạn này gọi là *giai đoạn II.*

Tiếp tục tăng tải trọng cho đến khi xảy ra một trong 3 trường hợp sau đây:

Trường hợp 1: Cốt thép vùng kéo đạt trạng thái chảy trong khi bêtông vùng nén chưa bị phá hoại.

Trường hợp 2: Bêtông vùng nén bị phá hoại trong khi cốt thép vùng kéo chưa bị chảy.

Trường hợp 3: Bêtông vùng nén bị phá hoại đồng thời với sự chảy của cốt thép vùng nén.

Khi xảy ra trường hợp 2 thì đồng thời cấu kiện cũng bị phá hoại. Sự phá hoại kiểu này xảy ra đột ngột không có sự báo hiệu trước và rất nguy hiểm. Người ta gọi kiểu phá hoại này là phá hoại giòn.

Khi xảy ra trường hợp 1, tuy cốt thép ở vùng kéo bị chảy, nhưng bêtông vùng nén chưa bị phá hoại. Cấu kiện vẫn duy trì được khả năng chịu lực. Trạng thái làm việc của cấu kiện lúc này gọi là *trạng thái IIa* (hình 4.1–T.T.IIa).

Trường hợp 3 là trường hợp đặc biệt, được xem là giới hạn giữa trường hợp 1 và trường hợp 2. Trong tính toán có thể ghép trường hợp 3 vào trường hợp 1.

Giai đoạn III:

Giai đoạn III là giai đoạn cấu kiện bị phá hoại. Giả sử tồn tại trạng thái IIa, nghĩa là cốt thép bị chảy trước khi bêtông vùng nén bị phá hoại. Tiếp tục tăng tải trọng thì cốt thép tiếp tục bị chảy, các vết nứt phát triển lên phía trên, vùng nén thu hẹp lại, biến dạng dẻo của bêtông vùng nén tiếp tục phát triển cho đến khi bị phá hoại. Trong trường hợp này cấu kiện bị phá hoại khi cả cốt thép chịu kéo và bêtông chịu nén đều đạt trạng thái giới hạn về cường độ. Trường hợp phá hoại này gọi là trường hợp phá hoại thứ nhất, hay còn gọi là trường hợp phá hoại dẻo. Ứng với trường hợp phá hoại dẻo, khả năng chịu lực của cả cốt thép và bêtông đều đã được phát huy hết.

Khi xảy ra trường hợp bêtông vùng nén bị phá hoại trong khi cốt thép trong vùng chịu kéo chưa đạt đến giới hạn chảy. Trường hợp phá hoại này gọi là phá hoại giòn. Trường hợp xảy ra phá hoại giòn vừa không tận dụng được hết khả năng chịu lực

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

của cốt thép, vừa nguy hiểm vì cấu kiện bị phá hoại một cách đột ngột khi biến dạng còn nhỏ nên khó đề phòng. Trong thiết kế nên tránh khả năng xảy ra trường hợp phá hoại giòn.

Một trường hợp đặc biệt có thể xảy ra, đó là ngay sau khi hình thành vết nứt, do lượng cốt thép quá ít nên các vết nứt nhanh chóng phát triển làm cho dầm bị phá hoại ngay. Trường hợp phá hoại này được xem là trường hợp phá hoại đột ngột và cũng rất nguy hiểm, do vậy, khi thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước nếu lượng cốt thép theo tính toán ít hơn so với lượng tối thiểu theo quy định thì phải tăng lên để đảm bảo sao cho kết cấu không bị phá hoại đột ngột kiểu này.

Trường hợp phá hoại đột ngột cũng gây nguy hiểm và phải được tránh khi thiết kế kết cấu.

Thời điểm trước khi dầm bị phá hoại gọi là *trạng thái giới hạn khả năng chịu lực* của cấu kiện, hay còn gọi là *trạng thái giới hạn về cường độ*. Trạng thái này được dùng làm sơ đồ tính toán cấu kiện theo cường độ trên tiết diện thẳng góc.

Đối với cấu kiện bêtông cốt thép thông thường, tải trọng gây nứt thường ở mức 10–15% tải trọng phá hoại; còn đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước, tải trọng gây nứt có thể đạt đến mức 70 – 80% tải trọng phá hoại. Như vậy có nghĩa là giai đoạn I của dầm bêtông ứng suất trước là rất lớn so với hai giai đoạn II và III. Chính vì điều này nên kết cấu bêtông ứng suất trước được xem là kết cấu có độ dẻo kém hơn so với kết cấu bêtông cốt thép thông thường.

4.2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN

4.2.1. Khái quát về các phương pháp tính toán kết cấu

Xét theo lịch sử phát triển thì các phương pháp tính toán kết cấu gồm có: phương pháp tính toán theo ứng suất cho phép, phương pháp tính toán theo giai đoạn phá hoại và phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định tính toán kết cấu bêtông ứng suất trước theo trạng thái giới hạn.

1. Phương pháp tính toán kết cấu theo ứng suất cho phép

Phương pháp tính toán kết cấu theo ứng suất cho phép đã có lịch sử hơn một thế kỷ. Phương pháp này lấy ứng suất chảy của vật liệu đưa chia cho một hệ số an toàn nào đó làm ứng suất cho phép để tính toán. Hệ số an toàn có giá trị lớn hơn đơn vị nên ứng suất cho phép nằm trong giai đoạn đàn hồi: Kết cấu được thiết kế nhằm đảm bảo điều kiện ứng suất do ngoại tải gây ra có giá trị không vượt quá ứng suất cho phép.

Phương pháp tính toán theo ứng suất cho phép có khái niệm rõ ràng, đơn giản, thuận tiện dễ áp dụng, nhưng lại có một số nhược điểm như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Không xét đến tính phi đàn hồi của vật liệu do vậy không thể phản ánh được trạng thái làm việc của kết cấu ở giai đoạn phá hoại.

Không phản ánh được tính đặc thù của hiệu ứng các loại tải trọng cũng như tính hợp lý của các tổ hợp tải trọng tác động lên kết cấu. Bởi vậy, khi tính toán trên các mặt cắt kết cấu thì phương pháp này thiên về an toàn (bảo thủ), nhưng xét trên toàn hệ kết cấu thì vẫn có thể xảy ra tình huống không an toàn.

Hiện nay trên thế giới phương pháp tính toán theo ứng suất cho phép ít được sử dụng để thiết kế kết cấu, nhưng vẫn được sử dụng để tính toán kiểm tra nứt và sự làm việc bình thường của kết cấu bêtông ứng suất trước.

2. Phương pháp tính toán theo giai đoạn phá hoại

Phương pháp tính toán theo giai đoạn phá hoại là phương pháp tính toán dựa trên cơ sở nội lực phá hoại tại mặt cắt tiết diện kết cấu. Công thức diễn đạt điều kiện an toàn của kết cấu tại tiết diện là: tích của hệ số an toàn cho trước và nội lực do tải trọng gây ra không vượt quá khả năng chịu lực của kết cấu tại tiết diện ở giai đoạn phá hoại.

Ưu điểm của phương pháp tính toán theo giai đoạn phá hoại là đã xét đến tính chất đàn hồi – dẻo của vật liệu. Về tải trọng đã phân chia ra các nhóm như tải trọng chủ yếu, tải trọng phụ và tải trọng đặc biệt. Hạn chế của phương pháp này là ở chỗ xác định hệ số an toàn – có thể xem đây là một hệ số mang tính kinh nghiệm, không phản ánh được quy luật phân bố của các đặc trưng của các vật liệu khác nhau trong kết cấu.

3. Phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn

Phương pháp tính toán kết cấu theo trạng thái giới hạn do các nhà khoa học Liên Xô (cũ) lần đầu tiên đưa ra vào những năm năm mươi của thế kỷ XX. Có thể xem phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn là một cải tiến to lớn của phương pháp tính toán kết cấu theo giai đoạn phá hoại. Sự tiến bộ của phương pháp này ở chỗ là không chỉ xét đến tính phi đàn hồi của vật liệu mà còn thừa nhận tính không tiền định của cả tải trọng lẫn các đặc trưng của vật liệu. Hạn chế của phương pháp này là chưa xét đến tính không tiền định của các đại lượng hình học của kết cấu. Chính vì lẽ đó nên người ta thường gọi phương pháp tính toán này là phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn bán xác suất.

Phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn bán xác suất đã được đưa vào tiêu chuẩn thiết kế của Liên Xô (cũ) từ những năm năm mươi của thế kỷ trước. Sau đó nhiều nước trên thế giới cũng đã lần lượt công nhận và sử dụng phương pháp này trong các tiêu chuẩn thiết kế của mình. Cho đến nay phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn đã được sử dụng ở hầu hết các quốc gia trên thế giới.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong mấy chục năm gần đây người ta đã tiến hành nghiên cứu nhằm hoàn thiện phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc xây dựng định nghĩa độ tin cậy của kết cấu theo lý thuyết xác suất và trên cơ sở lý thuyết xác suất xem xét sự phân bố và tổ hợp hiệu ứng của tải trọng và khả năng chịu lực của kết cấu. Phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn với những cải tiến, bổ sung này được gọi là phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn xác suất.

4.2.2. Trạng thái giới hạn

Kết cấu được thiết kế để đáp ứng các công năng dự tính trước (các yêu cầu sử dụng). Khi trạng thái làm việc của kết cấu vượt quá một trạng thái được quy định, không còn đáp ứng được công năng, người ta nói kết cấu vượt quá trạng thái giới hạn ứng với công năng đó. Mục tiêu của thiết kế kết cấu hiện đại là giải quyết làm sao để với một chi phí tương đối nhỏ, kết cấu được thiết kế đảm bảo không vượt quá trạng thái giới hạn trong thời hạn sử dụng được dự tính và trong những điều kiện được quy định. Như vậy, trạng thái giới hạn của kết cấu có thể được hiểu như sau: khi kết cấu hoặc bộ phận kết cấu vượt quá một trạng thái, không thể tiếp tục đáp ứng được một công năng nào đó do thiết kế quy định thì trạng thái đó là trạng thái giới hạn của công năng tương ứng.

Khái niệm về trạng thái giới hạn đang được chấp nhận một cách rộng rãi hiện nay có thể được tóm lược như sau:

Công năng của toàn bộ kết cấu hoặc bộ phận của nó được diễn đạt bằng các trạng thái giới hạn mà vượt quá chúng thì về lâu dài kết cấu không còn thoả mãn các yêu cầu thiết kế.

Các trạng thái giới hạn được chia làm hai loại:

- Trạng thái giới hạn khả năng chịu lực tương ứng với khả năng chịu lực lớn nhất của kết cấu.

- Trạng thái giới hạn sử dụng tương ứng với khả năng sử dụng bình thường của kết cấu.

Trạng thái giới hạn khả năng chịu lực tương ứng với các trường hợp:

- Toàn bộ kết cấu hoặc bộ phận của nó bị mất ổn định khi chúng được xem như là vật rắn tuyệt đối;

- Kết cấu bị phá hoại tại các tiết diện nguy hiểm do vượt quá hoặc cường độ chịu lực hoặc biến dạng giới hạn của vật liệu trong kết cấu;

- Kết cấu bị biến thành hệ biến hình (hệ cơ cấu);

- Kết cấu hoặc bộ phận của nó bị mất ổn định.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trạng thái giới hạn sử dụng tương ứng với các trường hợp:

- Kết cấu bị biến dạng đến mức ảnh hưởng đến điều kiện sử dụng bình thường hoặc hình dạng công trình;

- Dao động quá mức gây ảnh hưởng đến hoạt động của người sử dụng, đến kết cấu và sự làm việc của thiết bị;

- Hư hỏng cục bộ làm giảm độ bền lâu của kết cấu hoặc ảnh hưởng đến hiệu quả sử dụng hoặc hình dạng của công trình.

Để kiểm tra kết cấu theo trạng thái giới hạn về sử dụng trong thiết kế thường sử dụng các điều kiện khống chế như biến dạng (chuyển vị, độ võng, góc xoay),vết nứt, gia tốc chuyển động (dao động)...

Ngoài hai nhóm trạng thái giới hạn như được đề cập trên đây, việc thiết kế kết cấu cần quan tâm đến các yếu tố khác như khả năng chịu lửa và độ bền lâu. Thông thường trong thiết kế để đảm bảo độ bền lâu và khả năng chịu lửa của kết cấu, ngoài các yêu cầu về chất lượng vật liệu, công nghệ thi công, còn phải quy định về cấu tạo, đặc biệt là quy định về lớp bảo vệ chống ăn mòn và chống cháy.

4.2.3. Tải trọng và tổ hợp tải trọng

Tải trọng dùng để thiết kế kết cấu công trình cần được xác định theo các tiêu chuẩn tương ứng về tải trọng. Đối với nhà và công trình sử dụng tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam là tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995 – "Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế". Đối với các công trình giao thông, thuỷ lợi, điện lực, bưu điện... có những tiêu chuẩn chuyên ngành tương ứng.

Căn cứ vào đặc tính tác dụng, các tải trọng được chia làm ba loại:

- Tải trọng thường xuyên là tải trọng tác dụng không thay đổi trong suốt quá trình sử dụng kết cấu như trọng lượng bản thân kết cấu, trọng lượng tường xây, vách ngăn ...

- Tải trọng tạm thời là các tải trọng có thể thay đổi về điểm đặt, trị số, chiều tác dụng như tải trọng trên sàn, tải trọng do cầu trục, ôtô, tải trọng gió...

- Tải trọng đặc biệt rất ít khi xảy ra như động đất, nổ...

Căn cứ vào phương tác dụng, các tải trọng được chia làm tải trọng đứng và tải trọng ngang. Tải trọng đứng thường gặp bao gồm trọng lượng công trình, trọng lượng thiết bị, hoạt tải sử dụng... Tải trọng ngang thường gặp gồm có tải trọng gió, tải trọng động đất..

Trong tính toán kết cấu theo các tiêu chuẩn Việt Nam thường sử dụng khái niệm tải trọng tiêu chuẩn và tải trọng tính toán.

Tải trọng tiêu chuẩn, hay còn được gọi là trị số tiêu chuẩn của tải trọng, được quy định trong tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995 là đại lượng đặc trưng cho tải trọng đó. Có thể hiểu là giá trị được thiết lập theo phương pháp thống kê với xác suất vượt trung bình cho trước hoặc được cho bằng một giá trị danh định, đặc trưng cho bản thân loại tải trọng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tải trọng tính toán, hay còn gọi là trị số tính toán của tải trọng, được xác định bằng cách nhân trị số tiêu chuẩn với hệ số độ tin cậy của loại tải trọng đó.

Khi tính toán kết cấu, trị số tải trọng và tác động, hệ số độ tin cậy về tải trọng, hệ số tổ hợp, hệ số giảm tải cũng như cách phân loại tải trọng cần lấy theo các tiêu chuẩn hiện hành về tải trọng và tác động, riêng đối với kết cấu nhà và công trình thì lấy theo tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995.

Tổ hợp các tải trọng dùng để tính toán kết cấu theo quy định của tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995 gồm có tổ hợp cơ bản và tổ hợp đặc biệt. Tổ hợp tải trọng cơ bản gồm các tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn. Tổ hợp tải trọng đặc biệt gồm các tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn, tải trọng tạm thời ngắn hạn có thể xảy ra và một trong các tải trọng đặc biệt. Ngoài ra, tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995 có quy định cho một số trường hợp đặc biệt như sau:

- Ở những vùng khí hậu quá nóng mà kết cấu không được bảo vệ phải chịu bức xạ mặt trời thì cần kể đến tác dụng nhiệt khí hậu.

- Đối với kết cấu tiếp xúc với nước (hoặc nằm trong nước), cần phải kể đến áp lực đẩy nổi của nước.

Khi tính toán kết cấu có xét đến nội lực bổ sung do vận chuyển và cẩu lắp, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định về xác định giá trị tải trọng như sau: lấy trọng lượng bản thân cấu kiện nhân với hệ số động lực; hệ số động lực lấy bằng 1,6 khi vận chuyển và lấy bằng 1,4 khi cẩu lắp. Nếu có cơ sở chắc chắn thì hệ số động lực có thể lấy các giá trị khác với các giá trị trên đây, nhưng không được nhỏ hơn 1,25.

Tải trọng dùng để tính toán kết cấu bêtông cốt thép cũng như kết cấu bêtông ứng suất trước theo các trạng thái giới hạn thứ hai được xác định với các hệ số độ tin cậy $\gamma_f = 1$, ngoại trừ trường hợp tính toán kết cấu theo điều kiện sự hình thành, mở rộng hoặc khép kín vết nứt, theo quy định của tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005, được lấy theo phụ lục 14.

Trường hợp tính toán kết cấu có xét đến nhiều loại tải trọng tạm thời thì khi tổ hợp các tải trọng tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995 đưa ra quy định về giảm bớt các giá trị của các tải trọng tạm thời khi thiết lập các tổ hợp tải trọng.

Việc tính toán tải trọng động do thiết bị trong tổ hợp với các tải trọng khác được quy định theo các tài liệu tiêu chuẩn về thiết kế móng máy hoặc kết cấu chịu lực của nhà và công trình có đặt máy gây ra tải trọng động.

4.2.4. Các đặc trưng tiêu chuẩn và tính toán của bêtông

Trạng thái làm việc của bêtông trên kết cấu không hoàn toàn giống như ở mẫu thử. Để tính toán kết cấu người ta phải quy đổi các đặc trưng thu được từ thí nghiệm mẫu thử ra các đặc trưng tương ứng với trạng thái làm việc của bêtông trên kết cấu. Dưới đây là cách quy đổi thông thường:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi thí nghiệm mẫu bêtông ta thu được giá trị cường độ của mẫu thử. Giá trị trung bình của cường độ các mẫu thử gọi là cường độ trung bình của bêtông. Còn giá trị trung bình thống kê cường độ các mẫu thử đảm bảo xác suất an toàn 95% được gọi là giá trị đặc trưng của cường độ hay cường độ đặc trưng của bêtông.

Về mặt toán học, giá trị đặc trưng của cường độ bêtông có thể được xác định theo các công thức xác định cấp độ bền của bêtông (chương 2). Từ đây cho thấy cấp độ bền của bêtông chính là giá trị đặc trưng của cường độ bêtông tính theo đơn vị MPa.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 sử dụng khái niệm về cường độ tiêu chuẩn của bêtông bao gồm cường độ chịu nén tiêu chuẩn và cường độ chịu kéo tiêu chuẩn.

Cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bêtông là đại lượng được kí hiệu R_{bn} và xác định bằng cách nhân giá trị đặc trưng của cường độ bêtông với hệ số xét đến sự làm việc thực tế của bêtông trên kết cấu. Hệ số này thường có giá trị $\gamma_{KC} = 0,7 \div 0,8$.

Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn của bêtông Rbtn trong những trường hợp độ bền chịu kéo của bêtông được kiểm soát trong quá trình sản xuất được lấy bằng cấp độ bền chịu kéo. Trường hợp cấp độ bền không được kiểm soát trong quá trình sản xuất thì được xác định tùy thuộc vào cấp độ bền chịu nén của bêtông theo phụ lục 2.

Cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bêtông có thể được lấy bằng cường độ đặc trưng của mẫu lăng trụ với h = 4a (a = 150mm) và thường được gọi là cường độ lăng trụ. Hệ số γ_{KC} là hệ số quy đổi cường độ từ mẫu khối vuông (150 × 150 × 150)mm sang mẫu lăng trụ h = 4a (a = 150mm).

Cường độ tính toán của bêtông theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 được khái niệm như sau:

Các cường độ tính toán của bêtông khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất R_b, R_{bt} và theo trạng thái giới hạn thứ hai $R_{b,ser}$, $R_{bt,ser}$, được xác định bằng cách chia cường độ tiêu chuẩn cho hệ số độ tin cậy của bêtông tương ứng khi nén γ_{bc} và khi kéo γ_{bt}. Các giá trị của các hệ số γ_{bc} và γ_{bt} của một số loại bêtông chính được cho trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Hệ số độ tin cậy của một số loại bêtông khi nén và khi kéo

Loại bêtông	Giá trị của các hệ số độ tin cậy của bêtông khi tính toán kết cấu theo nhóm trạng thái giới hạn			
	Nhóm thứ nhất			Nhóm thứ hai γ_{bc}, γ_{bt}
	γ_{bc}	γ_{bt} ứng với cấp độ bền của bêtông		
		Chịu nén	Chịu kéo	
Bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông tự ứng suất, bêtông nhẹ và bêtông rỗng	1,3	1,5	1,3	1,0
Bêtông tổ ong	1,5	2,3	–	1,0

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các cường độ tính toán của bêtông $R_b, R_{bt}, R_{b,ser}, R_{bt,ser}$ tuỳ thuộc vào cấp độ bền chịu nén và kéo dọc trục của bêtông khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất được cho trong phụ lục 3 và khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai trong phụ lục 2.

Khi tính toán theo nhóm trạng thái giới hạn thứ hai, hệ số điều kiện làm việc của bêtông được lấy giá trị $\gamma_b = 1$.

Môđun đàn hồi của bêtông khi chịu nén và chịu kéo dùng để tính toán kết cấu đều lấy giá trị môđun ban đầu của bêtông ứng với cấp độ bền thiết kế. Giá trị môđun của một số loại bêtông được cho trong phụ lục 4.

Hệ số nở ngang của bêtông dùng trong tính toán kết cấu lấy giá trị $\nu = 0,2$ cho mọi trường hợp.

Môđun biến dạng trượt của bêtông lấy bằng $0,4E_b$.

Hệ số nở nhiệt của bêtông dùng trong tính toán ứng với khoảng nhiệt độ từ -40^0C đến $+50^0$C lấy theo bảng 2.3 (Chương 2).

Các cường độ tính toán của bêtông khi tính toán theo trạng thái giới hạn thứ nhất R_b và R_{bt} được giảm xuống (hoặc tăng lên) bằng cách nhân với các hệ số điều kiện làm việc của bêtông γ_{bi}. Các hệ số này kể đến tính chất đặc thù của bêtông, tính dài hạn của tác động, tính lặp lại của tải trọng, điều kiện và giai đoạn làm việc của kết cấu, phương pháp sản xuất, kích thước tiết diện, v.v...Giá trị hệ số điều kiện làm việc của bêtông trong các trường hợp điển hình được cho trong phụ lục 5.

4.2.5. Các đặc trưng tiêu chuẩn và tính toán của cốt thép

Cũng như đối với bêtông, trong TCXDVN 356 : 2005 sử dụng khái niệm cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán đối với cốt thép.

Cường độ tiêu chuẩn của cốt thép R_{sn} là giá trị nhỏ nhất được kiểm soát của giới hạn chảy thực tế hoặc quy ước (bằng ứng suất ứng với biến dạng dư là 0,2%). Đặc trưng được kiểm soát đối với cốt thép được lấy theo các tiêu chuẩn nhà nước hiện hành và các điều kiện kỹ thuật của cốt thép đảm bảo với xác xuất không nhỏ hơn 95%. Cường độ tiêu chuẩn R_{sn} của một số loại thép thanh và thép sợi cho trong phụ lục 8.

Cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai được xác định theo công thức:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s} \qquad (4.5)$$

Trong đó:

γ_s - hệ số độ tin cậy của cốt thép.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với các loại cốt thép thông dụng hệ số độ tin cậy γ_s lấy các giá trị như trong bảng 4.2.

Bảng 4.2. Hệ số độ tin cậy của cốt thép γ_s

Nhóm thép thanh			Giá trị γ_s khi tính toán kết cấu theo các trạng thái giới hạn	
			Thứ nhất	Thứ hai
Thép thanh	CI, A-I, CII, A-II		1,05	1,00
	CIII, A-III có đường kính, mm	6 ÷ 8	1,10	1,00
		10 ÷ 40	1,07	1,00
	CIV, A-IV, A-V		1,15	1,00
	A-VI, AT-VII		1,20	1,00
	A-IIIB	có kiểm soát độ giãn dài và ứng suất	1,10	1,00
		chỉ kiểm soát độ giãn dài	1,20	1,00
Thép sợi	Bp-I		1,20	1,00
	B-II, Bp-II		1,20	1,00
Thép xoắn	K-7, K-19		1,20	1,00

Đối với các loại cốt thép khác, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định lấy giá trị γ_s như sau:

- Khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất: Đối với các loại cốt thép có giới hạn chảy không lớn hơn 300MPa, lấy $\gamma_s = 1,1$; Đối với các loại cốt thép chỉ có giới hạn chảy quy ước có giá trị lớn hơn 600MPa, lấy $\gamma_s = 1,2$; Đối với các loại cốt thép có giới hạn chảy hoặc giới hạn chảy quy ước nằm trong khoảng từ 300MPa đến 600MPa, lấy theo phương pháp nội suy.
- Khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai: $\gamma_s = 1,0$.

Cường độ chịu nén tính toán của cốt thép R_{sc} dùng trong tính toán kết cấu theo các trạng thái giới hạn thứ nhất khi có sự dính kết giữa bêtông và cốt thép được cho trong phụ lục 10 và phụ lục 11. Khi tính toán trong giai đoạn nén trước, giá trị R_{sc} lấy không lớn hơn 330 MPa, còn đối với thép nhóm A-IIIB lấy bằng 170 MPa. Trường hợp sử dụng cốt thép không có dính kết với bêtông thì cường độ nén tính toán của cốt thép lấy $R_{sc} = 0$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Cường độ tính toán của một số loại cốt thép thông dụng được cho trong phụ lục 9 và phụ lục 10.

Cường độ tính toán của cốt thép ngang (cốt thép đai và cốt thép xiên) R_{sw} được giảm xuống so với R_s bằng cách nhân với các hệ số điều kiện làm việc γ_{s1} và γ_{s2}. Các hệ số này lấy như sau:

Không phụ thuộc vào loại và mác thép: $\gamma_{s1} = 0,8$ (γ_{s1} kể đến sự phân bố ứng suất không đều trong cốt thép);

Đối với cốt thép thanh nhóm CIII, A – III có đường kính nhỏ hơn 1/3 đường kính cốt thép dọc và đối với sợi thép nhóm Bp-I trong khung cốt thép hàn : $\gamma_{s2} = 0,9$ (γ_{s2} kể đến khả năng liên kết hàn bị phá hoại giòn).

Khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất, cường độ tính toán của cốt thép được giảm xuống (hoặc tăng lên) bằng cách nhân với hệ số điều kiện làm việc của cốt thép γ_{si}. Hệ số này kể đến sự nguy hiểm do phá hoại vì mỏi, sự phân bố ứng suất không đều trong tiết diện, điều kiện neo, cường độ của bêtông bao quanh cốt thép, v.v..., hoặc khi cốt thép làm việc trong điều kiện ứng suất lớn hơn giới hạn chảy quy ước, sự thay đổi tính chất của thép do điều kiện sản xuất... Các hệ số này được tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định như trong phụ lục 13.

Khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai, cường độ tính toán của cốt thép $R_{s,ser}$ được xác định với hệ số điều kiện làm việc $\gamma_{si} = 1,0$.

Môđun đàn hồi của cốt thép dùng trong tính toán kết cấu lấy theo phụ lục 11.

Hệ số giản nở nhiệt của cốt thép lấy giá trị $\alpha_{st} = 1,2.10^{-5}/^0C$.

4.3. TÍNH TOÁN THEO CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ NHẤT

4.3.1. Yêu cầu tính toán

Kết cấu bêtông ứng suất trước phải được tính toán kiểm tra theo các trạng thái giới hạn thứ nhất. Tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất nhằm đảm bảo cho kết cấu:

- Không bị phá hoại giòn, dẻo, hoặc theo dạng phá hoại khác (trong trường hợp cần thiết, tính toán theo độ bền có kể đến độ võng của kết cấu tại thời điểm trước khi bị phá hoại);

- Không bị mất ổn định về hình dạng (tính toán ổn định các kết cấu thành mỏng) hoặc về vị trí (tính toán chống lật và trượt cho tường chắn đất, tính toán chống đẩy nổi cho các bể chứa chìm hoặc ngầm dưới đất, trạm bơm, v.v...);

- Không bị phá hoại vì mỏi (tính toán chịu mỏi đối với các cấu kiện hoặc kết cấu chịu tác dụng của tải trọng lặp thuộc loại di động hoặc xung: ví dụ như dầm cầu trục, móng khung, sàn có đặt một số máy móc không cân bằng);

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Không bị phá hoại do tác dụng đồng thời của các yếu tố về lực và những ảnh hưởng bất lợi của môi trường (tác động định kỳ hoặc thường xuyên của môi trường xâm thực hoặc hỏa hoạn).

4.3.2. Công thức tính toán

Trạng thái giới hạn thứ nhất là trạng thái giới hạn về cường độ chịu lực của kết cấu. Đây là trạng thái mà kể từ đó kết cấu bị phá hoại, bị mất ổn định hoặc bị phá hoại do mỏi. Trong thực tế tính toán theo trạng thái giới hạn về cường độ chịu lực được thực hiện bằng cách kiểm tra tiết diện kết cấu ứng với các dạng phá hoại, ví dụ tiết diện thẳng góc ứng với dạng phá hoại do uốn, kéo hoặc nén; tiết diện nghiêng ứng với dạng phá hoại do cắt và uốn; tiết diện nghiêng ứng với dạng phá hoại do xoắn, cắt và uốn...

Tính toán theo cường độ đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước cần được thực hiện đối với tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện, cũng như đối với tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất. Khi có mô men xoắn cần kiểm tra tiết diện không gian được giới hạn bởi các vết nứt nghiêng trong vùng kéo nguy hiểm nhất có thể xảy ra. Ngoài ra còn phải tiến hành tính toán cấu kiện chịu tải trọng cục bộ (dập vỡ bêtông kể cả trường hợp bêtông dưới neo của cốt thép căng, ép mặt, kéo đứt) theo các chỉ dẫn của TCXDVN 356 : 2005 đối với bêtông cốt thép thông thường.

Điều kiện kiểm tra cường độ chịu lực của cấu kiện tại tiết diện được thiết lập trên cơ sở trạng thái cân bằng giới hạn:

$$F \le F_u(A, R_{bn}, R_{btn}, \gamma_{bc}, \gamma_{bt}, \gamma_{bi}, R_{sn}, \gamma_s, \gamma_{si}) \quad (4.6)$$

hoặc:

$$F \le F_u(A, R_b, R_{bt}, \gamma_{bi}, R_s, R_{sc}, R_{sw}, \gamma_s) \quad (4.7)$$

Trong đó:

F - nội lực tại tiết diện tính toán của tổ hợp các tải trọng tính toán tác dụng lên kết cấu;

F_u - khả năng chịu lực giới hạn của kết cấu tại tiết diện tính toán được thiết lập trên cơ sở điều kiện cân bằng giới hạn;

A - đặc trưng hình học của tiết diện;

R_{bn}, R_{btn}, R_{sn} lần lượt là cường độ chịu nén tiêu chuẩn, cường độ kéo tiêu chuẩn của bêtông và cường độ tiêu chuẩn của cốt thép;

$\gamma_{bc}, \gamma_{bt}, \gamma_s$ lần lượt là là độ tin cậy của bêtông khi chịu nén, khi chịu kéo và của cốt thép;

$R_b, R_{bt}, R_s, R_{sc}, R_{sw}$ lần lượt là cường độ chịu nén tính toán, cường độ kéo tính toán của bêtông, cường độ chịu kéo tính toán, cường độ chịu nén tính toán của cốt thép dọc và cường độ tính toán của cốt thép đai;

γ_{bi}, γ_{si} lần lượt là hệ số điều kiện làm việc của bêtông và của cốt thép.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các hệ số điều kiện làm việc của vật liệu bêtông kết cấu phải được xác định trên cơ sở các đặc tính của tải trọng, điều kiện thi công và môi trường. Một số trường hợp điển hình như sau:

a) Kết cấu chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và ngắn hạn, ngoài các tải trọng tạm thời ngắn hạn tác dụng tức thời với tổng thời gian tác dụng là nhỏ so với toàn bộ thời gian sử dụng công trình (tải trọng gió, cầu trục, tải trọng do các phương tiện vận chuyển, tải trọng xuất hiện khi sản xuất, vận chuyển, xây dựng...), cũng như chịu tác dụng của các tải trọng đặc biệt gây nên bởi biến dạng của nền đất yếu, nền đất trương nở và các loại nền tương tự; trong trường hợp này cường độ tính toán của bêtông chịu kéo và chịu nén R_b, R_{bt} được lấy với hệ số $\gamma_{b2} = 0,9$;

b) Kết cấu chịu tác dụng của tất cả các tải trọng kể cả các tải trọng tác dụng tức thời; trong trường hợp này cường độ tính toán của bêtông R_b, R_{bt} được lấy với hệ số $\gamma_{b2} = 1,1$.

Khi tính toán tải trọng đặc biệt đưa vào thêm hệ số điều kiện làm việc theo các chỉ dẫn (ví dụ như khi tính tải trọng động đất) thì hệ số γb2 được lấy bằng đơn vị $(\gamma_{b2} = 1)$.

Nếu kết cấu được sử dụng trong điều kiện có lợi cho việc phát triển cường độ của bêtông (dưới nước, trong đất ẩm hoặc khi độ ẩm của môi trường xung quanh cao hơn 75%), tính toán theo trường hợp "a" được thực hiện với hệ số $\gamma_{b2} = 1,0$.

Khi tính toán về cường độ trong giai đoạn sản xuất hệ số γ_{b2} được lấy bằng đơn vị $(\gamma_{b2} = 1)$.

Cường độ chịu lực theo tính toán của cấu kiện cần được thỏa mãn cả trường hợp "a" cũng như trường hợp "b".

Khi không có tải trọng tác dụng tức thời cũng như các tải trọng do sự cố, việc tính toán cường độ chỉ cần thực hiện với trường hợp "a".

Khi có tải trọng tác dụng tức thời cũng như các tải trọng do sự cố, việc tính toán theo cường độ chỉ cần thực hiện với trường hợp "b" nếu đảm bảo điều kiện: $F_I < 0,82\ F_{II}$. , (F_I là nội lực (mô men M_I, lực cắt Q_I hoặc lực dọc N_I) do tải trọng sử dụng khi tính toán theo trường hợp "a"; thêm vào đó trong các tính toán tiết diện thẳng góc với trục dọc của cấu kiện chịu tải lệch tâm mô men M_I được lấy đối với trục đi qua thanh cốt thép chịu kéo nhiều hơn (hoặc chịu nén ít hơn); F_{II} là nội lực do tải trọng gây ra khi tính toán theo trường hợp "b").

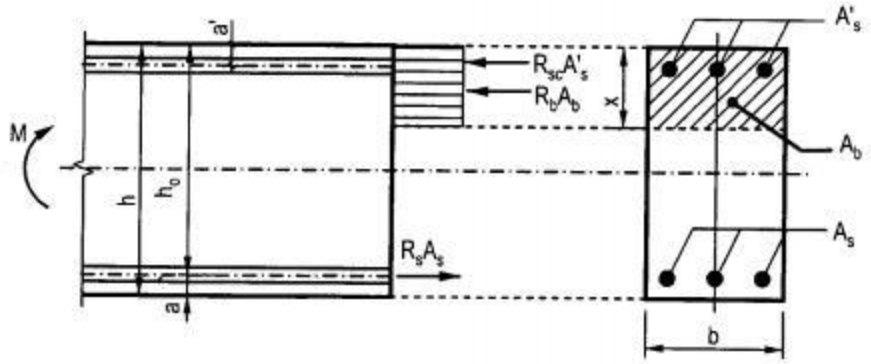
Cho phép chỉ tiến hành tính toán theo trường hợp "b" cả khi không thỏa mãn điều kiện $F_I < 0,82\ F_{II}$., nếu như sử dụng cường độ tính toán của bêtông R_b và R_{bt} (khi $\gamma_{b2} = 1,0$) với hệ số $\gamma_{bl} = 0,9\ F_{II} / F_I \leq 1,1$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm được tính toán theo sơ đồ không biến dạng, giá trị F_I và F_{II} có thể xác định không xét đến ảnh hưởng của uốn dọc của cấu kiện.

Đối với các cấu kiện sử dụng trong điều kiện có lợi cho sự phát triển cường độ của bêtông thì điều kiện : $F_I < 0,82\ F_{II}$ trên đây được thay bằng điều kiện $F_I < 0,9\ F_{II}$, còn hệ số γ_{bl} cần được lấy bằng $\gamma_{bl} = F_{II} / F_I$.

Ví dụ tính toán kiểm tra về cường độ chịu uốn của tiết diện dầm như được thể hiện trên hình 4.2. Mô men nội lực tại tiết diện do tổ hợp các tải trọng tính toán tác dụng lên kết cấu có giá trị là M. Giả sử dầm bị phá hoại dẻo, nghĩa là tại trạng thái cân bằng giới hạn, các cốt thép ở vùng kéo và bêtông ở vùng nén đều đạt trạng thái chảy dẻo. Giả sử cốt thép tại vùng nén đạt giá trị cường độ chịu nén. Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trên tiết diện được thể hiện trên hình 4.2. Các giá trị R_b, R_s, R_{sc} tương ứng là cường độ tính toán của bêtông và cốt thép đã nhân với các hệ số điều kiện làm việc.



Hình 4.2: *Sơ đồ nội lực và ứng suất trên tiết diện của dầm chịu uốn*

Từ điều kiện cân bằng tĩnh lực $\sum X = 0$, ta có:

$$xbR_b = A_sR_s - A'_sR_{sc} \tag{4.8}$$

Điều kiện (65) trở thành:

$$M \le M_u = R_bxb(h_0 - \frac{x}{2}) + R_{sc}A'_s\ (h_0 - a') \tag{4.9}$$

Điều kiện (4.9) là điều kiện kiểm tra cường độ chịu uốn của cấu kiện tại tiết diện tính toán.

4.3.3. Chiều cao vùng nén giới hạn

Chiều cao vùng nén giới hạn là chiều cao của vùng bêtông chịu nén tại tiết diện thẳng góc tính toán để đảm bảo sao cho khi bêtông tại vùng nén bị phá hoại thì cốt thép chịu kéo đạt giới hạn chảy. Nếu chiều cao của vùng bêtông chịu nén lớn hơn

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chiều cao vùng nén giới hạn thì khi bêtông vùng nén bị phá hoại cốt thép chịu kéo chưa đạt giới hạn chảy – cấu kiện bị phá hoại giòn (trường hợp phá hoại thứ hai); còn nếu chiều cao của vùng bêtông chịu nén nhỏ hơn chiều cao vùng nén giới hạn thì cốt thép chịu kéo bị chảy trước khi bê tông vùng nén bị phá hoại – dạng phá hoại của cấu kiện là phá hoại dẻo (trường hợp phá hoại thứ nhất).

Theo tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005, giá trị chiều cao vùng nén giới hạn được xác định theo công thức thực nghiệm như sau:

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} \qquad (4.10)$$

Trong đó:

ω - đại lượng đặc trưng cho vùng chịu nén của bêtông, được tính theo công thức:

$$\omega = \alpha - 0,008R_b;$$

α - hệ số được lấy giá trị $\alpha = 0,85$ đối với bêtông nặng;

R_b (MPa) là cường độ chịu nén tính toán của bêtông;

σ_{sR} - ứng suất giới hạn trong cốt thép ở vùng chịu kéo (MPa), được tính như sau:

- Cốt thép có giới hạn chảy thực tế:

$$\sigma_{sR} = R_s - \sigma_{sp};$$

- Cốt thép có giới hạn chảy quy ước CIV, A-IV, A-V, A-VI, AT-VII:

$$\sigma_{sR} = R_s + 0,002E_s - \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp} = R_s + 400 - \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp};$$

- Cốt thép cường độ cao dạng sợi và tao xoắn B-II, Bp-II, K-7, K-19:

$$\sigma_{sR} = R_s + 0,002E_s - \sigma_{sp} = R_s + 400 - \sigma_{sp};$$

R_s - cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép có kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng γ_{si}, ngoại trừ γ_{s6};

σ_{sp} được lấy với $\gamma_{sp} < 1$;

$$1,1 = \frac{h}{h_0};$$

$\sigma_{sc,u}$ - ứng suất giới hạn của cốt thép ở vùng chịu nén, được lấy giá trị $\sigma_{sc,u} = 500MPa$ khi sử dụng hệ số điều kiện làm việc của bêtông $\gamma_{b2} = 0,9$; lấy giá trị $\sigma_{sc,u} = 400MPa$ khi sử dụng hệ số $\gamma_{b2} = 1,0$ hoặc $\gamma_{b2} = 1,1$; khi tính kết cấu trong giai đoạn nén trước lấy giá trị $\sigma_{sc,u} = 330MPa$;

$\Delta\sigma_{sp}$ - giá trị ứng suất, được tính như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Khi gây ứng suất trước bằng phương pháp cơ học, nhiệt - điện tự động hoặc cơ học kết hợp nhiệt - điện tự động cho các loại cốt thép CIV, A-IV, A-V, AVI, AT-VII:

$$\Delta\sigma_{sp} = 1500\frac{\sigma_{sp1}}{R_s} - 1200 \geq 0;$$

σ_{sp1} được xác định với $\gamma_{sp} < 1$;

- Khi gây ứng suất trước cho các loại cốt thép CIV, A-IV, A-V, AVI, AT-VII bằng các phương pháp khác và cho các loại cốt thép B-II, Bp-II, K-7, K-19 bằng bất kỳ phương pháp nào thì $\Delta\sigma_{sp}$ lấy giá trị $\Delta\sigma_{sp} = 0$.

Đối với bêtông tổ ong, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định: $\xi_R \leq 0{,}6$.

Theo công thức (4.10) ta thấy rằng tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định việc xác định chiều cao vùng nén trên tiết diện chỉ xét đến điều kiện làm việc của cốt thép căng mà không xét đến cốt thép thường trong cấu kiện. Đây là một quy định gần đúng. Ngoài ra, nhằm giảm bớt công việc tính toán khi thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 còn cho sẵn giá trị ξ_R cho các trường hợp thường gặp. Trong phụ lục 18 là các giá trị cho sẵn của chiều cao vùng nén giới hạn ξ_R cho các trường hợp thường gặp trong thực tế.

4.3.4. Hàm lượng cốt thép tối thiểu

Đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước, ngoài điều kiện khống chế về chiều cao vùng nén còn phải khống chế hàm lượng cốt thép tối thiểu.

Khi trong cấu kiện bố trí hàm lượng cốt thép quá ít, sau khi vượt trạng thái Ia, cấu kiện nhanh chóng bị phá hoại. Sự phá hoại trong trường hợp này xảy ra đột ngột, nguy hiểm. Để tránh các trường hợp phá hoại đột ngột như trên, hàm lượng cốt thép dọc trong cấu kiện phải không được quá ít, tức là :

$$\mu \geq \mu_{min} \qquad (4.11)$$

Trong đó:

μ, μ_{min} lần lượt là hàm lượng cốt thép và hàm lượng cốt thép tối thiểu cho phép trong cấu kiện.

Để không xảy ra hiện tượng phá hoại đột ngột do cốt thép quá ít Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra yêu cầu tăng lượng cốt thép ít nhất 15% so với lượng cốt thép tính toán theo cường độ đối với cấu kiện chịu uốn, khi:

$$M^*_{crc} \geq M_u \text{ và } \xi < \xi_R \qquad (4.12)$$

Trong đó:

M_u - mômen giới hạn tính toán của tiết diện;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

M^*_{crc} - mômen kháng nứt của tiết diện, được tính toán có xét đến biến dạng phi đàn hồi của bêtông và với giá trị cường độ chịu kéo của bêtông được tăng lên 1,2 lần so với cường độ chịu kéo tiêu chuẩn.

Hàm lượng cốt thép nhỏ nhất đối với một số trường hợp thường gặp được cho trong bảng 4.3.

Bảng 4.3: Hàm lượng cốt thép dọc nhỏ nhất trong các cấu kiện [6]

Thứ tự	Điều kiện làm việc của cốt thép	μ_{min}
1	Cốt thép trong vùng chịu kéo (S) của cấu kiện chịu uốn và chịu kéo	0,005
2	Cốt thép S và S' của cấu kiện chịu kéo khi lực dọc nằm giữa cốt thép S và S'	0,005
3	Cốt thép S và S' của cấu kiện chịu nén lệch tâm khi: $l_0/i < 17$ $17 \le l_0/i \le 35$ $35 < l_0/i \le 83$ $l_0/i > 83$	 0,005 0,1 0,2 0,25

4.4. TÍNH TOÁN THEO CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ HAI

Tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai nhằm đảm bảo sự làm việc bình thường của kết cấu bêtông ứng suất trước sao cho:

- Không cho hình thành cũng như mở rộng vết nứt quá mức hoặc vết nứt dài hạn nếu điều kiện sử dụng không cho phép hình thành hoặc mở rộng vết nứt dài hạn.
- Không có những biến dạng vượt quá giới hạn cho phép (độ võng, góc xoay, góc trượt, dao động).

Trong thực hành thiết kế kết cấu bêtông ứng suất trước, tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai bao gồm tính toán nứt và tính toán biến dạng các cấu kiện.

4.4.1. Tính toán nứt

Phân biệt ba trường hợp tính toán nứt đối với kết cấu bêtông ứng suất trước: tính toán theo điều kiện hình thành vết nứt, theo điều kiện mở rộng vết nứt và theo điều kiện khép vết nứt.

1. Tính toán theo sự hình thành vết nứt

Tính toán theo sự hình thành vết nứt được thực hiện với giả thiết cấu kiện làm việc với tiết diện nguyên (không bị nứt).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu các vật liệu là đàn hồi tuyến tính thì điều kiện để trong dầm không hình thành vết nứt theo phương thẳng góc tại mép chịu kéo được xác định từ điều kiện:

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} + \frac{Pe_{op}}{I_{red}} y_t - \frac{M}{I_{red}} y_t \le R_{bt,ser} \qquad (4.13)$$

Trong đó:

y_t - khoảng cách từ trọng tâm đến thớ xa nhất của tiết diện tính về phía bị kéo;

$R_{bt,ser}$ - cường độ chịu kéo tính toán dọc trục của bêtông ứng với trạng thái giới hạn thứ hai;

Các đại lượng khác trong (4.13) có ý nghĩa như trong mục 3.3 – Chương 3.

Công thức (4.13) tính ứng suất tại mép chịu kéo không kể đến đặc tính phi đàn hồi của vật liệu bêtông. Do vậy, kiểm soát theo điều kiện này là quá khắt khe và thường chỉ dùng để kiểm tra các kết cấu chịu tải trọng lặp.

Trong các trường hợp thông thường khi tính ứng suất tại mép chịu kéo để kiểm tra sự hình thành vết nứt phải kể đến biến dạng phi đàn hồi của vật liệu bêtông, ví dụ đối với thanh chịu kéo đúng tâm như đã được xem xét trong Chương 1, điều kiện để cấu kiện không bị nứt là:

$$N \le N_{crc} = AR_{bt,ser} + \nu\left(\frac{E_s}{E_b}\right)A_{sp}R_{bt,ser} + A_{sp}\sigma_{sp} \qquad (4.14)$$

Trong (4.14), hệ số ν lấy giá trị bằng 2 ($\nu = 2$) thể hiện đặc tính phi tuyến của vật liệu bêtông, cụ thể là khi ứng suất kéo trong bêtông đạt giá trị độ bền kéo thì môđun biến dạng của bêtông có giá trị bằng 50% so với môđun đàn hồi ban đầu.

Một cách tổng quát, khi tính toán kết cấu bêtông ứng suất trước theo sự hình thành vết nứt cần xét đến biến dạng phi đàn hồi của vật liệu bêtông.

Tương tự, điều kiện để dầm không bị nứt theo phương thẳng góc là:

$$M \le M_{crc} \qquad (4.15)$$

Trong đó:

M - mômen nội lực do các tổ hợp tải trong gây ra tại tiết diện;

M_{crc} - mômen kháng nứt của tiết diện có xét đến biến dạng phi đàn hồi của các vật liệu và hiệu ứng của ứng suất trước.

Điều kiện để cấu kiện không bị nứt theo mặt cắt nghiêng được viết như sau:

$$\sigma_{mt} \le \gamma_{b4} R_{bt,ser} \qquad (4.16)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

σ_{mt} - ứng suất kéo chính do ngoại tải và ứng suất trước gây ra, được tính theo lý thuyết đàn hồi;

γ_{b4} - hệ số điều kiện làm việc của bêtông có xét đến hiệu ứng chịu lực hai trục.

2. Tính toán theo sự mở rộng vết nứt

Tính toán bề rộng vết nứt được thực hiện với giả thiết cấu kiện làm việc trong giai đoạn II (hình 4.1), khi đó tiết diện cấu kiện bị nứt, bêtông vùng nén làm việc trong giai đoạn đàn hồi - dẻo, trong vùng kéo bêtông bị nứt. Bề rộng vết nứt được tính toán và được kiểm tra theo điều kiện:

$$a \le a_{crc} \tag{4.17}$$

Trong đó:

a - bề rộng vết nứt theo tính toán;

a_{crc} - bề rộng vết nứt cho phép theo tiêu chuẩn.

3. Tính toán theo sự khép vết nứt

Khi tính toán theo sự khép vết nứt, cấu kiện được xem làm việc với tiết diện nguyên (không bị nứt). Nhằm đảm bảo để các vết nứt thẳng góc và các vết nứt xiên trong kết cấu bêtông ứng suất trước được gây ra bởi các tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn sẽ được khép lại dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đã đưa ra các điều kiện sau:

Dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn, trong cốt thép căng không xuất hiện biến dạng không phục hồi. Điều kiện này được tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định cụ thể như sau:

$$\sigma_{sp} + \sigma_s \le 0{,}8R_{s,ser} \tag{4.18}$$

Trong đó:

σ_{sp} - ứng suất trong cốt thép căng sau khi đã xuất hiện các tổn hao;

σ_s - số gia ứng suất trong cốt thép căng gây ra bởi tải trọng ngoài.

- Tiết diện có vết nứt trong vùng chịu kéo do tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn phải luôn bị nén dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn và có ứng suất pháp nén σ_b tại mép chịu kéo do ngoại tải gây ra không nhỏ hơn 0,5MPa. Điều kiện này được viết như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sigma_b \geq 0{,}5\text{MPa} \qquad (4.19)$$

Trong đó: σ_b - ứng suất nén trong bêtông tại mép chịu kéo được xác định với quan niệm cấu kiện là vật thể đàn hồi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và ứng suất trước.

Trường hợp, khi cấu kiện có vết nứt ban đầu ở vùng chịu nén, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 có các quy định riêng về tính toán các giá trị σ_{sp} và σ_b.

Đối với vết nứt xiên, tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định: để đảm bảo khép kín các vết nứt xiên với trục cấu kiện một cách chắc chắn, cả hai ứng suất chính trong bêtông ở cao độ trọng tâm của tiết diện quy đổi khi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn, phải là ứng suất nén và có giá trị không bé hơn 0,6MPa.

4.4.2. Tính toán biến dạng

Tính toán biến dạng (chuyển vị, độ võng, góc xoay) của cấu kiện bêtông ứng suất trước phải xét đến biến dạng phi đàn hồi của các vật liệu, ngoài ra phải phân biệt hai trường hợp: trường hợp cấu kiện không bị nứt và trường hợp cấu kiện bị nứt. Cấu kiện chịu tải không bị nứt làm việc trong giai đoạn I (hình 4.1), còn cấu kiện bị nứt làm việc trong giai đoạn II (hình 4.1). Cấu kiện được xem là không bị nứt tại vùng chịu kéo nếu vết nứt không hình thành khi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn, hoặc nếu chúng khép lại khi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn. Trường hợp cấu kiện bị nứt tại vùng chịu kéo thì trong tính toán phải xét đến yếu tố giảm yếu do nứt.

Trong mọi trường trường hợp, tính toán biến dạng của cấu kiện bêtông ứng suất trước phải kể đến các thành phần:

- Biến dạng của kết cấu do tác dụng của tải trọng ngắn hạn;
- Biến dạng của kết cấu do tác dụng của tải trọng dài hạn;
- Biến dạng do tác dụng ngắn hạn của ứng suất trước;
- Biến dạng do tác dụng dài hạn của ứng suất trước.

Biến dạng của cấu kiện bêtông ứng suất trước phải được kiểm tra theo điều kiện:

$$f \leq f_u \qquad (4.20)$$

Trong đó:

f - giá trị biến dạng của cấu kiện theo tính toán;

f_u - giá trị biến dạng cho phép đối với cấu kiện.

Giá trị biến dạng (độ võng) cho phép đối với các loại cấu kiện được cho trong Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005. Trong phụ lục 17 là các giá trị biến dạng (độ võng) cho phép đối với một số loại cấu kiện thường gặp.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

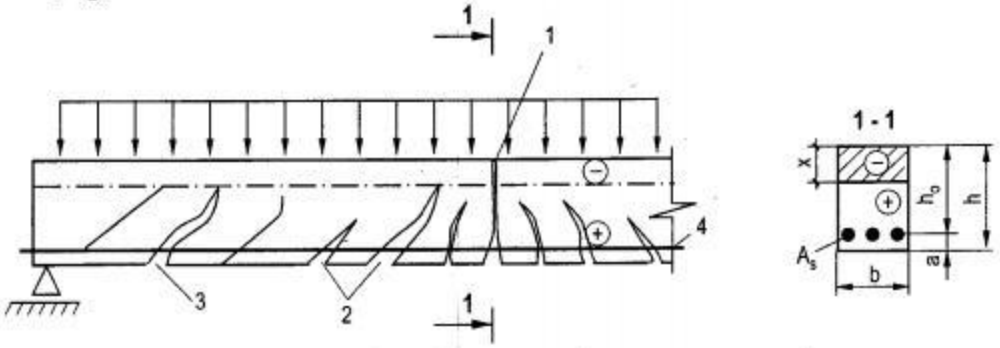
Chương 5

CẤU KIỆN CHỊU UỐN – TÍNH TOÁN CƯỜNG ĐỘ THEO TIẾT DIỆN THẲNG GÓC

5.1. MỞ ĐẦU

Các cấu kiện chịu mômen uốn hoặc mômen uốn và lực cắt gọi chung là cấu kiện chịu uốn. Các cấu kiện chịu uốn thường gặp trong thực tế có thể kể đến là bản sàn, dầm sàn, côngxon, dầm móng, lanh tô, ôvăng, dầm khung, dầm cầu trục...

Thí nghiệm dầm bêtông ứng suất trước như trên hình 5.1, người ta thấy khi tải trọng tăng dần có thể xuất hiện các vết nứt thẳng góc tại khu vực giữa nhịp xuất phát từ mép dưới của dầm và hướng lên phía trên. Khi tải trọng tiếp tục tăng các vết nứt này phát triển lên phía trên làm dầm bị phá hoại. Ngoài sự xuất hiện các vết nứt thẳng góc tại khu vực giữa nhịp, người ta còn thấy trường hợp xuất hiện các vết nứt xiên có dạng như trên hình 5.1.



Hình 5.1: *Hình ảnh các vết nứt trên dầm bêtông ứng suất trước*
1– 2 – 3 – 4 – Các dạng vết nứt trên dầm

Các vết nứt thẳng góc tại vùng giữa nhịp là đặc trưng cho sự phá hoại dầm do mômen uốn, còn các vết nứt xiên tại khu vực gần gối là do sự kết hợp giữa lực cắt và mômen uốn.

Do đặc tính phá hoại của dầm bêtông ứng suất trước như trên đây, nên tính toán theo cường độ đối với cấu kiện chịu uốn bêtông ứng suất trước phải được thực hiện cả tính toán theo tiết diện thẳng góc và tính toán theo tiết diện nghiêng. Mục đích của tính toán về cường độ theo tiết diện thẳng góc nhằm đảm bảo cho

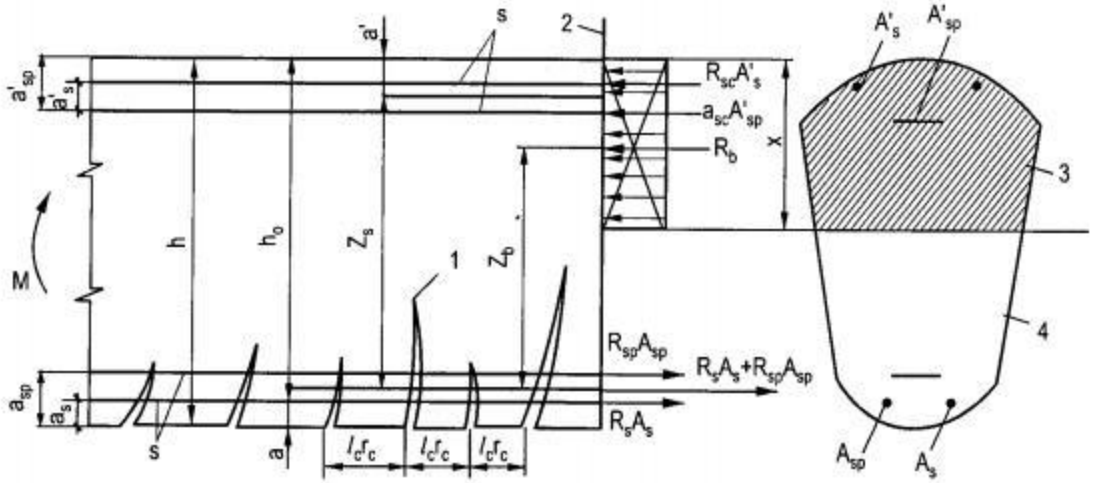
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

cấu kiện chịu được mômen uốn, còn tính toán theo tiết diện nghiêng nhằm đảm bảo cho cấu kiện chịu được cả lực cắt và mômen uốn tại tiết diện tính toán. Trường hợp tại tiết diện cấu kiện chỉ chịu mômen uốn hoặc khi lực cắt nhỏ thì chỉ cần tính toán theo tiết diện thẳng góc. Tính toán theo tiết diện nghiêng phải được thực hiện cho đoạn cấu kiện chịu lực cắt lớn. Giá trị tính toán của mômen và lực cắt do ngoại lực gây ra được xác định theo các tổ hợp của các tải trọng tính toán như đã được xem xét trong chương 4.

5.2. CẤU KIỆN CÓ TIẾT DIỆN ĐỐI XỨNG CHỊU UỐN PHẲNG

Xem xét cấu kiện chịu uốn có tiết diện không đổi đối xứng qua trục đứng như được thể hiện trên hình 5.2. Nếu tải trọng tác dụng lên cấu kiện gây ra mômen uốn trong mặt phẳng đối xứng thì ta gọi cấu kiện chịu uốn phẳng hay chịu uốn đơn giản.

Trên các tiết diện của cấu kiện chịu uốn phẳng luôn tồn tại hai vùng: vùng bị nén và vùng bị kéo. Vùng bị nén dưới tác dụng của tải trọng ngoài được gọi là vùng chịu nén, còn vùng kia được gọi là vùng chịu kéo (hình 5.2).



Hình 5.2: *Sơ đồ nội lực và ứng suất tính toán theo tiết diện thẳng góc đối xứng*
1- Vết nứt; 2- Tiết diện tính toán; 3 – Vùng nén; 4 – Vùng kéo.

Các cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn có thể có hoặc không có cốt thép căng trong vùng nén. Cốt thép căng trong vùng nén thường được đưa vào với mục đích loại trừ hoặc khống chế bề rộng vết nứt của cấu kiện trong giai đoạn chế tạo khi chưa có tải trọng ngoài hoặc trong một số trường hợp khi có nội lực đổi dấu. Ứng suất trước với giá trị lớn trong cốt thép căng ở vùng nén có thể chưa bị triệt tiêu (chưa biến mất) cho đến khi dầm bị phá hoại do uốn. Phần ứng suất trước còn lại đó góp phần nén ép bêtông ở vùng nén và kết quả là làm giảm khả năng chịu lực của cấu kiện. Nhìn chung, trong các cấu kiện bêtông ứng suất trước có yêu cầu chống

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

nứt cấp 2 và cấp 3 với sự cho phép hình thành vết nứt ban đầu trong vùng chịu nén (bị kéo do tác dụng của ứng suất trước), không bố trí cốt thép căng trong vùng này là hợp lý hơn và nên thay vào đó là sử dụng cốt thép thường để hạn chế sự mở rộng vết nứt. Trong mọi trường hợp chỉ nên bố trí cốt thép căng và cốt thép thường trong vùng nén ở mức tối thiểu.

Công thức tính toán theo cường độ đối với tiết diện thẳng góc đối xứng được thiết lập trên cơ sở các phương trình cân bằng của cấu kiện tại trạng thái giới hạn : $\sum X = 0$ và $\sum M = 0$.

Điều kiện $\sum X = 0$ thể hiện sự cân bằng của cấu kiện theo phương dọc trục, tức là tổng tất cả các nội lực theo phương dọc trục trên tiết diện bằng không. Tại trạng thái giới hạn ứng với trường hợp phá hoại thứ nhất (phá hoại dẻo), phương trình $\sum X = 0$ được viết như sau:

$$R_b A_b + R_{sc} A'_s + \sigma_{sc} A'_{sp} - R_s A_s - \gamma_{s6} R_s A_{sp} = 0 \qquad (5.1)$$

Trong đó:

$A_b, A'_s, A'_{sp}, A_s, A_{sp}$ lần lượt là diện tích vùng bêtông chịu nén, diện tích cốt thép thường trong vùng chịu nén, diện tích cốt thép căng trong vùng chịu nén, diện tích cốt thép thường trong vùng chịu kéo và diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo;

R_b, R_{sc}, R_s lần lượt là cường độ chịu nén tính toán của bêtông, cường độ chịu nén tính toán của cốt thép thường và cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép(ở đây sử dụng ký hiệu R_s chung cho cả cốt thép thường và cốt thép căng);

σ_{sc} - giá trị ứng suất đưa vào tính toán thể hiện ứng suất trong cốt thép căng trong vùng chịu nén, xác định theo công thức (5.5).

Trong thiết kế thường các giá trị cường độ tính toán của bêtông và cốt thép cũng như diện tích của các loại cốt thép đều cho trước, phương trình (5.1) được dùng để xác định diện tích vùng bêtông chịu nén.

Điều kiện $\sum M = 0$ có nghĩa là tổng của các mô men uốn trong mặt phẳng đối xứng của nội lực và ngoại lực là đối với trọng tâm của tiết diện có giá trị bằng không. Tại trạng thái giới hạn ứng suất trong các vật liệu thành phần đạt giá trị cường độ tính toán và mômen nội lực có giá trị là M_u - gọi là mômen giới hạn. Để đảm bảo cho cấu kiện không vượt quá trạng thái giới hạn thì phải thoả mãn điều kiện:

$$M \le M_u \qquad (5.2)$$

Trong (5.2), M - mômen do tổ hợp các tải trọng tính toán gây ra trong cấu kiện tại tiết diện tính toán.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Mômen giới hạn M_u của tiết diện ứng với trường hợp phá hoại thứ nhất (phá hoại dẻo) được tính theo công thức:

$$M_u = R_b A_b z_b + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + \sigma_{sc} A'_{sp} (h_0 - a'_{sp}) \quad (5.3)$$

Các đại lượng z_b, h_0, a', a'_{sp} được thể hiện trên hình 5.2.

Chiều cao hiệu quả của tiết diện được xác định như sau:

$$h_0 = h - a \quad (5.4)$$

Trong đó:

h - chiều cao của tiết diện;

a - khoảng cách từ hợp lực của cốt thép trong vùng chịu kéo đến biên gần nhất.

Giá trị tính toán của ứng suất trong cốt thép căng khi ở trong vùng chịu nén được xác định theo công thức :

$$\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma'_{sp} \le R_{sc} \quad (5.5)$$

Trong đó:

σ'_{sp} được xác định với hệ số $\gamma_{sp} > 1$.

Trong phương trình (5.1) cường độ tính toán của cốt thép căng trong vùng chịu kéo được nhân với hệ số điều kiện làm việc γ_{s6}. Hệ số γ_{s6} đặc trưng cho sự làm việc của cốt thép cường độ cao trong điều kiện ứng suất lớn hơn giới hạn chảy quy ước. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn về xác định hệ số γ_{s6} như sau:

- Đối với cốt thép căng thuộc các nhóm CIV, A-IV, A-V, A-VI, AT-VII, B-II, Bp-II, K-7, K-19 ở trong vùng chịu kéo của tiết diện có chiều cao vùng nén không lớn hơn chiều cao vùng nén giới hạn, tức là:

$$\xi = \frac{x}{h_0} \le \xi_R \quad (5.6)$$

thì hệ số điều kiện làm việc γ_{s6} được xác định theo công thức:

$$\gamma_{s6} = \eta - (\eta - 1)\left(2\frac{\xi}{\xi_R} - 1\right) \le \eta \quad (5.7)$$

Trong đó:

η - hệ số, lấy đối với các nhóm cốt thép:

Cốt thép nhóm CIV, A-IV: $\eta = 1{,}20$;

Cốt thép nhóm A-V, B-II, Bp-II, K-7, K-19: $\eta = 1{,}15$;

Cốt thép nhóm AQ-VI, AT-VII: $\eta = 1{,}10$.

- Đối với trường hợp chịu kéo đúng tâm cũng như chịu kéo lệch tâm do lực dọc đặt ở giữa các hợp lực trong cốt thép, giá trị của γ_{s6} lấy bằng η.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Trường hợp có mối hàn nằm ở vùng cấu kiện có mômen uốn vượt quá $0,9M_{max}$ (M_{max} là mômen tính toán lớn nhất), giá trị của γ_{s6} đối với cốt thép nhóm CIV, A-IV, A-V lấy không lớn hơn 1,1; đối với cốt thép nhóm A-VI, AT-VII lấy không lớn hơn 1,05.

- Hệ số γ_{s6} lấy giá trị $\gamma_{s6} = 1$ đối với các cấu kiện:

Chịu tải trọng lặp;

Có cốt thép sợi cường độ cao đặt sát nhau;

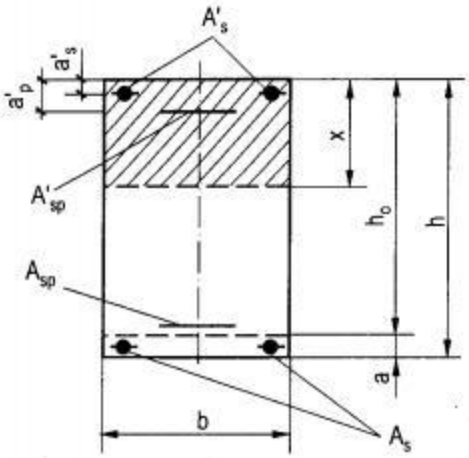
Sử dụng trong môi trường ăn mòn.

Chiều cao vùng nén giới hạn ξ_R được xác định theo công thức (4.10) hoặc lấy theo phụ lục 19.

5.3. CẤU KIỆN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

5.3.1. Cường độ chịu uốn của tiết diện

Cho trước cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn có sơ đồ mặt cắt tiết diện hình chữ nhật như được thể hiện trên hình 5.3. Cần xác định cường độ chịu uốn của cấu kiện tại tiết diện. Trên hình này thể hiện toàn bộ cốt thép căng và cốt thép thường trong vùng chịu kéo cũng như cốt thép căng và cốt thép thường trong vùng chịu nén. Khi một loại cốt thép nào đó không có thì diện tích của nó có giá trị bằng không.



Hình 5.3: *Tiết diện hình chữ nhật*

Để xác định cường độ chịu uốn của cấu kiện tại tiết diện, trước tiên ta cần xác định trường hợp phá hoại. Cơ sở để xác định trường hợp phá hoại tại tiết diện là đại lượng ξ_1 được xác định như sau:

$$\xi_1 = \frac{R_s A_{sp} + R_s A_s - R_{sc} A_s' - \sigma_{sc} A_{sp}'}{R_b b h_0} \qquad (5.8)$$

Có thể xảy ra một trong hai trường hợp $\xi_1 \le \xi_R$ hoặc $\xi_1 > \xi_R$. Chiều cao vùng nén tương đối giới hạn ξ_R được xác định theo công thức (4.11) hoặc lấy theo phụ lục 18.

Để cấu kiện không bị phá hoại giòn, yêu cầu $\xi_1 \le \xi_R$. Trong trường hợp này cốt thép căng làm việc trong điều kiện ứng suất cao hơn giới hạn chảy quy ước. Phương trình trạng thái giới hạn của tiết diện (phương trình (5.1) và (5.2)) trong trường hợp này có dạng như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\gamma_{s6}R_sA_{sp} + R_sA_s - R_{sc}A'_s - \sigma_{sc}A'_{sp} - R_b xb = 0 \quad (5.9)$$

$$M_u = R_b bx(h_0 - 0{,}5x) + R_{sc}A'_s(h_0 - a'_s) + \sigma_{sc}A'_{sp}(h_0 - a'_p) \quad (5.10)$$

Trong đó:

$$x = \frac{\gamma_{s6}R_sA_{sp} + R_sA_s - R_{sc}A'_s - \sigma_{sc}A'_{sp}}{R_b b} \quad (5.11)$$

Hệ số điều kiện làm việc của cốt thép căng được xác định theo công thức:

$$\gamma_{s6} = \frac{2\eta - 1 + 2(\eta - 1)\alpha_c/\xi_R}{1 + 2(\eta - 1)(\xi_1 + \alpha_c)/\xi_R} \le \eta \quad (5.12)$$

Trong đó:

η được lấy như trong công thức (5.7), còn α_c được xác định như sau:

$$\alpha_c = \frac{R_{sc}A'_s + \sigma_{sc}A'_{sp} - R_sA_s}{R_b bh_0} \quad (5.13)$$

Khi $\xi = \xi_1$ hệ số γ_{s6} có thể được xác định theo công thức (5.7).

Trường hợp công thức (5.11) cho giá trị $x < 0$, thì cường độ chịu uốn tại tiết diện được xác định như sau:

$$M_u = (\eta R_{sp}A_{sp} + R_sA_s)(h_0 - a'_s) \quad (5.14)$$

Khi $\xi_1 > \xi_R$, cốt thép căng không đạt giới hạn chảy khi dầm đạt trạng thái giới hạn, không cần xác định giá trị của γ_{s6}. Trong thiết kế không nên để xảy ra trường hợp này.

Để tính toán cường độ của tiết diện cần phải xác định được ứng suất trong cốt thép tại vùng chịu kéo. Bài toán này có thể giải quyết theo phương pháp tính lặp. Theo [7] thì mômen giới hạn có thể tính theo công thức :

$$M_u = \frac{\alpha_R + \alpha_m}{2} R_b bh_0^2 + R_{sc}A'_s(h_0 - a'_s) + \sigma_{sc}A'_{sp}(h_0 - a'_p) \quad (5.15)$$

Trong đó: $\alpha_R = \xi_R(1 - 0{,}5\,\xi_R)$ (5.16a)

$\alpha_m = \xi_1(1 - 0{,}5\,\xi_1)$ (5.16b)

Trong [7] đưa ra chỉ dẫn cho một số trường hợp riêng như sau:

- Với các loại cốt thép căng A – IIIB và A – III giá trị $(\alpha_R + \alpha_m)/2$ trong công thức (5.15) được thay bằng α_R.

- Nếu trong vùng chịu kéo có cốt thép không căng thuộc nhóm có giới hạn chảy thực với số lượng tương đối lớn ($R_sA_s > 0{,}2R_sA_{sp}$), thì đại lượng $(\alpha_R + \alpha_m)/2$ trong công thức (5.15) được thay bằng α_R khi cốt thép căng có giới hạn chảy quy ước, còn

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

với cốt thép căng có giới hạn chảy thực thì các giá trị α_R và ξ_R được xác định như đối với cốt thép không căng.

Thông thường việc tính toán cường độ chịu uốn của tiết diện nhằm mục đích kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện. Bài toán tính toán kiểm tra cường độ chịu uốn của tiết diện cấu kiện được tóm tắt như sau:

Bài toán: Cho trước $M, R_b, R_s, R_{sc}, b, h_0, A_s, A_{sp}, A'_s, A'_{sp}, \sigma'_{sp}$. Cần kiểm tra cường độ chịu uốn $M_u \geq M$.

Các bước tính toán:

- Bước 1: Tính σ_{sc} theo (5.5);
- Bước 2: Tính ξ_1 theo (5.8);
- Bước 3: Kiểm tra điều kiện $\xi_1 \leq \xi_R$;
- Bước 4: Tính M_u theo trường hợp:
  1. Nếu $\xi_1 \leq \xi_R \Rightarrow M_u$ tính theo (5.10) hoặc (5.14);
  2. Nếu $\xi_1 > \xi_R \Rightarrow M_u$ tính theo (5.15);
- Bước 5: Kiểm tra cường độ chịu uốn $M_u \geq M$.

5.3.2. Tính toán tiết diện

Cấu kiện nên được thiết kế sao cho chiều cao vùng nén nhỏ hơn chiều cao vùng nén giới hạn ($\xi < \xi_R$), như vậy vừa tiết kiệm được cốt thép, vừa tránh được phá hoại giòn đối với kết cấu.

Để đơn giản trong tính toán ta sử dụng đại lượng:

$$\alpha_m = \frac{x}{h_0}\left(1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}\right) = \xi(1 - 0{,}5\xi) \tag{5.17}$$

Với cách sử dụng đại lương α_m như trên, điều kiện $\xi < \xi_R$ được thay bằng :

$$\alpha_m \leq \alpha_R = \xi_R(1 - 0{,}5\xi_R) \tag{5.18}$$

1. Trường hợp không có cốt thép trong vùng chịu nén

Trường hợp không bố trí cốt thép dọc trong vùng chịu nén. Điều kiện đảm bảo cường độ chịu lực của cấu kiện tại tiết diện tính toán là:

$$M \leq M_u = R_b bx(h_0 - 0{,}5x) = \alpha_m bh_0^2 R_b \tag{5.19}$$

Khi tiết diện cấu kiện đạt trạng thái giới hạn chịu uốn thì mômen do ngoại tải gây ra có giá trị bằng mômen giới hạn $(M = M_u)$. Ứng với trạng thái giới hạn này, từ (5.19) có thể rút ra được các công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{\alpha_m b R_b}} \tag{5.20}$$

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} \tag{5.21}$$

Như vậy, nếu điều kiện (5.18) được thoả mãn thì không cần cốt thép dọc trong vùng chịu nén. Trong trường hợp này, cốt thép căng trong vùng chịu kéo được tính như sau:

$$A_{sp} = \frac{M}{\gamma_{s6} R_s \varsigma h_0} \tag{5.22}$$

Trong đó:
$$\varsigma = 1 - 0{,}5\xi = \frac{1 + \sqrt{1 - 2\alpha_m}}{2} \tag{5.23}$$

Nếu trong vùng chịu kéo có bố trí cốt thép thường, thì diện tích cốt thép căng được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{M - R_s A_s \varsigma h_0}{\gamma_{s6} R_s \varsigma h_0} \tag{5.24}$$

Quy trình tính toán tiết diện chữ nhật trong trường hợp không có cốt thép trong vùng chịu nén có thể được tóm lược như sau:

Bài toán 1: Cho trước : M, R_b, R_s, b, h_0, A_s. Cần xác định A_{sp}.

Các bước tính toán:

- Bước 1: Tính α_m theo (5.21);
- Bước 2: Kiểm tra điều kiện (5.18);
- Bước 3: Tính ς theo (5.23);
- Bước 4: Tính A_{sp} theo (5.22) hoặc (5.24).

Bài toán 2: Cho trước M, R_b, R_s, b, A_s. Cần xác định h_0 và A_{sp}.

Các bước tính toán:

- Bước 1: Chọn giá trị α_m;
- Bước 2: Căn cứ vào (5.20) để lựa chọn h_0;
- Bước 3: Tính α_m theo (5.21);
- Bước 4: Kiểm tra điều kiện (5.18);
- Bước 5: Tính ς theo (5.23);
- Bước 6: Tính A_{sp} theo (5.22) hoặc (5.24).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2. Trường hợp có cốt thép thường trong vùng chịu nén

Nếu α_m tính theo (5.21) có giá trị lớn hơn α_R, tức là $\alpha_m > \alpha_R$, thì có thể tăng kích thước mặt cắt cấu kiện hoặc có thể bố trí cốt thép thường trong vùng chịu nén.

Cốt thép thường trong vùng chịu nén cũng có thể được bố trí nhằm mục đích hạn chế bề rộng vết nứt khi truyền ứng suất trước đối với các cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2 và cấp 3.

Trường hợp $\alpha_m > \alpha_R$, tức là chiều cao vùng nén lớn hơn chiều cao giới hạn, nếu sử dụng cốt thép trong vùng chịu nén để làm giảm chiều cao vùng nén của tiết diện đến giá trị chiều cao giới hạn ($\xi = \xi_R$) thì diện tích cốt thép được xác định theo công thức:

$$A'_s = \frac{M - \alpha_R R_b b h_0^2}{R_{sc}(h_0 - a'_s)} \tag{5.25}$$

Đây là lượng cốt thép tối thiểu được bố trí trong vùng chịu nén để đảm bảo cho tiết diện không bị phá hoại giòn. Nếu lượng cốt thép trong vùng chịu nén được bố trí xấp xỉ giá trị tính toán theo (5.25) thì chiều cao vùng nén được lấy xấp xỉ chiều cao vùng nén giới hạn, tức là $\xi \approx \xi_R$. Trong trường hợp này diện tích cốt thép căng được tính theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi_R R_b b h_0 + R_{sc} A'_s - R_s A_s}{R_s} \tag{5.26}$$

Nếu diện tích cốt thép chịu nén được bố trí lớn hơn giá trị tính theo (5.25) thì diện tích cốt thép căng được tính toán như sau:

$$\alpha_m = \frac{M - R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s)}{R_b b h_0^2} \tag{5.27}$$

Có thể xảy ra hai trường hợp : $\alpha_m \geq 0$ hoặc $\alpha_m < 0$.

- Trường hợp $\alpha_m \geq 0$:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} \tag{5.28}$$

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + R_{sc} A'_s - R_s A_s}{\gamma_{s6} R_s} \tag{5.29}$$

Trong đó:

γ_{s6} được xác định theo công thức (5.7).

- Trường hợp $\alpha_m < 0$:

$$A_{sp} = \frac{M - R_s A_s (h_0 - a'_s)}{\eta R_s (h_0 - a'_s)} \tag{5.30}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

η được lấy như đối với công thức (5.7).

Như vậy, bài toán tính toán tiết diện trong trường hợp này thông thường được thực hiện theo các bước:

- Bước 1: Xác định A'_s tối thiểu trong vùng chịu nén theo (5.25);
- Bước 2: Bố trí cốt thép thường A'_s;
- Bước 3: Tính α_m theo (5.27);
- Bước 4: Tính A_{sp} theo (5.29) hoặc (5.30) tuỳ thuộc vào giá trị α_m.

Nếu A'_s được bố trí theo tính toán thì A_{sp} được tính theo (5.26).

3. Trường hợp có cốt thép thường và cốt thép căng trong vùng chịu nén

Khi trong vùng chịu nén có bố trí cốt thép căng nhằm mục đích loại trừ hoặc hạn chế bề rộng vết nứt trong vùng này khi truyền ứng suất trước, thì chiều cao vùng nén được kiểm tra theo đại lượng α_m - xác định theo công thức sau:

$$\alpha_m = \frac{M - R_{sc}A'_s\left(h_0 - a'_s\right) - \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_p\right)}{R_b b h_0^2} \qquad (5.31)$$

Trong đó:

σ_{sc} được xác định theo công thức (5.5).

Nếu xảy ra trường hợp $\alpha_m \le 0$, thì diện tích cốt thép căng được xác định theo công thức (5.30). Đây là trường hợp mà lượng cốt thép trong vùng chịu nén được bố trí quá nhiều, cần giảm bớt để khỏi lãng phí vật liệu.

Nếu $0 < \alpha_m \le \alpha_R$, thì tiến hành tính cốt thép căng trong vùng chịu kéo, còn nếu $\alpha_m > \alpha_R$, thì phải tăng thêm lượng cốt thép thường trong vùng nén hoặc thay đổi các thông số của cấu kiện nhằm đảm bảo sao cho chiều cao vùng nén không lớn hơn chiều cao vùng nén giới hạn.

Diện tích cốt thép thường tối thiểu để đảm bảo cho chiều cao vùng nén không vượt quá chiều cao vùng nén giới hạn là:

$$A'_s = \frac{M - \alpha_R R_b b h_0^2 - \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_{sp}\right)}{R_{sc}\left(h_0 - a'_s\right)} \qquad (5.32)$$

Khi lượng cốt thép thường trong vùng chịu nén được bố trí bằng diện tích tính theo công thức (5.32), thì diện tích cốt thép căng được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi_R R_b b h_0 + \sigma_{sc}A'_{sp} + R_{sc}A'_s - R_s A_s}{R_s} \qquad (5.33)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trường hợp lượng cốt thép được bố trí nhiều hơn so với lượng tính theo công thức (5.32), thì diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + \sigma_{sc} A'_{sp} + R_{sc} A'_s - R_s A_s}{\gamma_{s6} R_s} \qquad (5.34)$$

Trong đó:

$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$;

α_m xác định theo công thức (5.31);

γ_{s6} được xác định theo công thức (5.7).

Để thuận lợi trong tính toán, các đại lượng $\alpha_m(\alpha_R), \xi(\xi_R), \varsigma$ được tính sẵn trong phụ lục 19.

5.3.3. Ví dụ tính toán

VÍ DỤ 3:

Số liệu:

Tiết diện dầm chữ nhật : $b = 300mm; h = 700mm; a = 50mm$; không có tải trọng tác dụng tức thời; bêtông nặng B25 $(R_b = 13MPa; \gamma_{b2} = 0,9)$; cốt thép căng A-IV $(R_s = 510MPa)$; diện tích tiết diện $A_{sp} = 1847mm^2 (3\varphi 28)$; ứng suất trước với $\gamma_{sp} < 1$: không kể đến tổn hao $\sigma_{sp1} = 500MPa$, có kể đến tất cả các tổn hao $\sigma_{sp2} = 400MPa$; cốt thép thường A-III $(R_s = 365MPa)$, diện tích tiết diện $A_s = 236mm^2 (3\phi 10)$; mômen uốn $M = 580kNm$; cốt thép được căng theo phương pháp nhiệt - điện tự động hoá.

Yêu cầu:

Tính toán kiểm tra cường độ chịu uốn.

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 700 - 50 = 650mm$$

Xác định giá trị của ξ_1 :

$$\xi_1 = \frac{R_s A_{sp} + R_s A_s}{R_b b h_0} = \frac{510.1847 + 365.236}{13.300.650} = 0,405$$

Xác định giá trị của $\Delta\sigma_{sp}$ (cốt thép A-IV được căng theo phương pháp nhiệt - điện tự động hoá):

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$\Delta\sigma_{sp} = 1500\sigma_{sp1} / R_s - 1200 = 1500.500 / 510 - 1200 = 270MPa > 0$

Xác định hệ số γ_{s6}:

Với $\gamma_{b2} = 0,9$, cốt thép A – IV, bêtông B25 và $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = \frac{400 + 270}{510} = 1,31$, theo phụ lục 21, ta có $\xi_R = 0,65$.

$\xi_1 = 0,405 < \xi_R = 0,65 \Rightarrow \gamma_{s6}$ được xác định như sau:

$$\gamma_{s6} = \eta - (\eta - 1)\left(2\frac{\xi}{\xi_R} - 1\right) = 1,2 - (1,2 - 1)\left(2\frac{0,405}{0,65} - 1\right) = 1,15 < \eta = 1,2.$$

Xác định chiều cao vùng nén:

$$x = \frac{\gamma_{s6} R_s A_{sp} + R_s A_s}{R_b b} = \frac{1,15.510.1847 + 365.236}{13.300} = 300mm$$

Kiểm tra cường độ chịu uốn của tiết diện:

$$M_u = R_b bx(h_0 - 0,5x) = 13.300.300(650 - 0,5.300) = 385.10^6 Nmm =$$
$$= 585kNm > M = 580kNm$$

Kết luận: $M_u > M \Rightarrow$ Tiết diện đảm bảo cường độ chịu uốn..

VÍ DỤ 4:

Số liệu:

Tiết diện dầm chữ nhật: b = 300mm; h = 700mm; a = 60mm; $a'_p = 30mm$; bêtông nặng B30 ($R_b = 15,5MPa; \gamma_{b2} = 0,9$); cốt thép căng Bp-II, đường kính 5mm ($R_s = 1050MPa$); cốt thép thường A-III ($R_s = 365MPa$); diện tích tiết diện cốt thép S: $A_{sp} = 1570mm^2 (80\varphi 5)$, $A_s = 236mm^2 (3\varphi 10)$; diện tích cốt thép S': $A'_{sp} = 392mm^2 (20\phi 5)$; ứng suất trước có kể đến tất cả các tổn hao với $\gamma_{sp} < 1$: $\sigma_{sp} = 630MPa$; $\sigma'_{sp} = 880MPa$; cốt thép được căng theo phương pháp cơ học; mômen uốn M = 650kNm;

Yêu cầu:

Tính toán kiểm tra cường độ chịu uốn.

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 700 - 60 = 640mm$$

Xác định ứng suất trong cốt thép căng ở vùng nén:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Với $\gamma_{b2} = 0,9$ và $\sigma_{sc,u} = 500MPa$:

$$\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma'_{sp} = 500 - 880 = -380MPa$$

Xác định giá trị của ξ_1 :

$$\xi_1 = \frac{R_s A_{sp} + R_s A_s - \sigma_{sc} A'_{sp}}{R_b b h_0} = \frac{1050.1570 + 365.236 + 380.392}{13.300.640} = 0,634$$

Xác định giá trị của $\Delta\sigma_{sp}$ (Cốt thép căng thuộc loại Bp-II):

$$\Delta\sigma_{sp} = 0.$$

Xác định hệ số γ_{s6} :

Với $\gamma_{b2} = 0,9$, cốt thép Bp – II, bêtông B30 và $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = \frac{630 + 270}{1050} = 0,6$

Theo phụ lục 21, ta có $\xi_R = 0,46.$

$\xi_1 = 0,634 > \xi_R = 0,46 \Rightarrow$ không cần xác định hệ số γ_{s6} .

Mômen giới hạn của tiết diện được xác định như sau:

Theo phụ lục 21: với $\xi = \xi_1 = 0,634 \Rightarrow \alpha_m = 0,433$ còn với $\xi_R = 0,46 \Rightarrow \alpha_R = 0,354.$

$$M_u = \frac{\alpha_R + \alpha_m}{2} R_b b h_0^2 + \sigma_{sp} A'_{sp} \left(h_0 - a'_p\right) =$$

$$= \frac{0,354 + 0,433}{2} 15,5.300.640^2 - 380.392(640 - 30) =$$

$$= 660.10^6 Nmm = 660kNm > M = 650kNm$$

Kết luận: $M_u > M \Rightarrow$ Tiết diện đảm bảo cường độ chịu uốn.

VÍ DỤ 5:

Số liệu:

Tiết diện dầm chữ nhật: b = 300mm; h = 700mm; a = 50mm; không có tải trọng tác dụng tức thời; bêtông nặng B25 ($R_b = 13MPa; \gamma_{b2} = 0,9$); cốt thép căng S: A-IV ($R_s = 510MPa$); cốt thép thường S': A-III ($R_s = 365MPa$), diên tích tiết diện $A'_s = 804mm^2 (1\phi32)$; mômen uốn M = 500kNm.

Yêu cầu:

Xác định diện tích cốt thép căng $A_{sp} = ?$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tính toán:

$$h_0 = 700 - 50 = 650\text{mm}$$

Xác định hệ số α_m:

$$\alpha_m = \frac{M - R_{sc}A'_s(h_0 - a'_s) + R_sA_s}{R_bbh_0^2} = \frac{500.10^6 - 365.804(650-50)}{13.300.650^2} = 0,198$$

Xác định giá trị của ξ:

Từ phụ lục 23, với $\alpha_m = 0,198 \Rightarrow \xi = 0,223$.

Xác định hệ số γ_{s6}:

Với $\gamma_{b2} = 0,9$; cốt thép căng A-IV; bêtông B25; chọn $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = 0,6$, theo phụ lục 21, ta có $\xi_R = 0,54$.

Như vậy: $\xi = 0,223 < \xi_R = 0,54$.

Ngoài ra: $\xi = 0,223 < 0,5\xi_R = 0,5.0,54 = 0,27$, nên: $\gamma_{s6} = \eta = 1,2$.

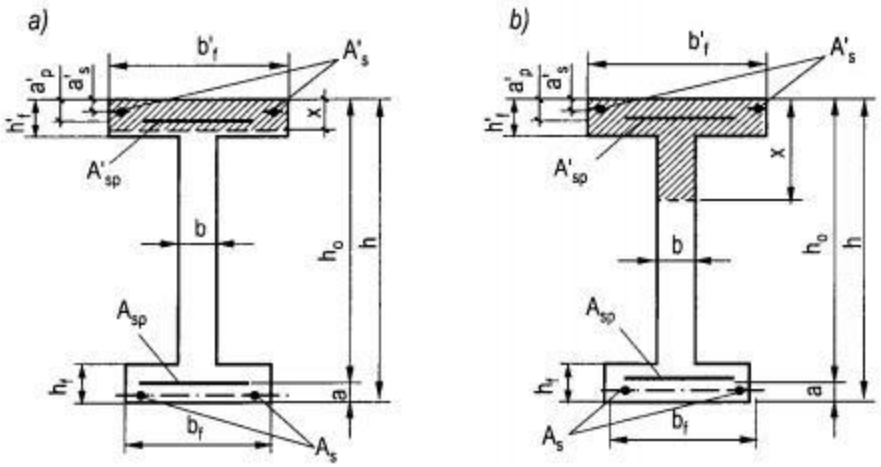
Diện tích cốt thép căng yêu cầu:

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b bh_0 + R_{sc}A'_s}{\gamma_{s6}R_s} = \frac{0,223.23.300.650 + 365.804}{1,2.510} = 1410\text{mm}^2$$

Chọn cốt thép căng: $3\phi25 \Rightarrow A_{sp} = 1473\text{mm}^2$.

5.4. CẤU KIỆN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ T VÀ CHỮ I

5.4.1. Đặc điểm và cường độ chịu uốn của tiết diện



***Hình 5.4**: Tiết diện chữ I*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tiết diện chữ T gồm có cánh và sườn. Trường hợp cánh nằm trong vùng chịu nén thì bề rộng vùng chịu nén được tăng thêm do có sự cùng chịu nén của cánh và sườn. Do vậy dùng tiết diện chữ T trong trường hợp này tiết kiệm vật liệu hơn tiết diện chữ nhật.

Trường hợp cánh nằm trong vùng chịu kéo, vì khả năng chịu kéo của bêtông không được kể đến khi tính toán cường độ chịu uốn của dầm nên không có ý nghĩa tiết kiệm vật liệu như trường hợp cánh nằm trong vùng chịu nén. Trong trường hợp này sơ đồ tính toán cường độ chịu uốn của tiết diện chữ T giống như tiết diện chữ nhật có bề rộng bằng bề rộng sườn.

Tiết diện chữ I có cánh trong cả vùng chịu nén và vùng chịu kéo. Vai trò của các cánh của dầm chữ I trong vùng chịu nén và trong vùng chịu kéo cũng giống như cánh dầm chữ T tương ứng trong các trường hợp trên đây. Bởi vậy, khi tính toán cường độ chịu uốn, tiết diện chữ I và tiết diện chữ T có sơ đồ tính toán giống nhau.

Mặc dầu không có ý nghĩa làm tăng cường độ chịu uốn cho cấu kiện, nhưng đối với dầm bêtông ứng suất trước thì cánh của tiết diện chữ T và chữ I trong vùng chịu kéo trong một số trường hợp cũng cần thiết, ví dụ như yêu cầu cấu tạo kiến trúc, để bố trí cốt thép dọc hoặc để tăng khả năng chống nứt, tăng độ cứng chống uốn cho cấu kiện.

Để đảm bảo giả thiết về sự chịu lực đồng thời của cánh và sườn, độ vươn của cánh dầm kể từ mép dầm khi đưa vào tính toán cường độ chịu uốn được lấy không lớn hơn $\frac{1}{6}$ nhịp dầm và không lớn hơn:

- Khi có các sườn ngang hoặc khi $h_f' \geq 0,1h$ lấy không lớn hơn $\frac{1}{2}$ khoảng cách thông thủy giữa hai dầm dọc;

- Khi không có sườn ngang hoặc khi khoảng cách giữa chúng lớn hơn khoảng cách giữa hai dầm dọc và $h_f' < 0,1h$ lấy không lớn hơn $6h_f'$;

- Khi cánh dầm có dạng côngxon:

+ Trường hợp: $h_f' \geq 0,1h$ lấy không lớn hơn $6h_f'$;

+ Trường hợp $0,05h \leq h_f' < 0,1h$ lấy không lớn hơn $3h_f'$;

+ Trường hợp $h_f' < 0,05h$ không kể đến cánh.

Sơ đồ tính toán cường độ chịu uốn của dầm tiết diện chữ I (tương tự dầm tiết diện chữ T) được thể hiện trên hình 5.3. Có thể xảy ra hai trường hợp : vùng nén nằm hoà toàn trong cánh (hình 5.4a) và vùng nén bao gồm toàn bộ cánh và một phần sườn (hình 5.4b).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi vùng nén nằm hoàn toàn trong cánh thì cường độ chịu uốn của tiết diện được tính toán như đối với tiết diện chữ nhật có bề rộng bằng bề rộng cánh $\left(b_f'\right)$ và chiều cao là chiều cao của tiết diện (h). Cường độ chịu uốn của tiết diện trong trường hợp này được tính toán như trong 5.3.1. Xuất phát từ trường hợp phá hoại dẻo, điều kiện để vùng nén nằm hoàn toàn trong cánh là:

$$\gamma_{s6}R_{sp}A_{sp} + R_sA_s \le R_b b_f' h_f' + R_{sc}A_s' + \sigma_{sc}A_{sp}' \tag{5.35}$$

Trong đó:

γ_{s6} được xác định theo công thức (5.7) với $\xi = \dfrac{h_f'}{h_0}$.

Khi điều kiện (5.35) không được thoả mãn thì việc tính toán tiết diện phải căn cứ vào chiều cao tương đối của vùng nén và trường hợp phá hoại của tiết diện.

Trước tiên cần tính đại lượng ξ_1 theo công thức:

$$\xi_1 = \frac{R_{sp}A_{sp} + R_sA_s - R_b\left(b_f' - b\right)h_f' - R_{sc}A_s' - \sigma_{sc}A_{sp}'}{R_b b h_0} \tag{5.36}$$

Có thể xảy ra một trong hai trường hợp phá hoại : trường hợp phá hoại dẻo và trường hợp phá hoại giòn, tức là hoặc $\xi_1 \le \xi_R$ hoặc $\xi_1 > \xi_R$. Chiều cao vùng nén giới hạn ξ_R được xác định theo công thức (4.11) hoặc lấy theo phụ lục 18.

Khi $\xi_1 \le \xi_R$ phá hoại của cấu kiện tại tiết diện là trường hợp phá hoại dẻo. Trong trường hợp này cốt thép căng bị chảy dẻo và làm việc trong điều kiện ứng suất cao hơn giới hạn chảy quy ước. Mômen giới hạn của tiết diện được tính toán như sau:

$$\begin{aligned} M_u = {} & R_b bx\left(h_0 - 0{,}5x\right) + R_b\left(b_f' - b\right)h_f'\left(h_0 - 0{,}5h_f'\right) + \\ & + R_{sc}A_s'\left(h_0 - a_s'\right) + \sigma_{sc}A_{sp}'\left(h_0 - a_p'\right) \end{aligned} \tag{5.37}$$

Trong đó:

$$x = \frac{\gamma_{s6}R_{sp}A_{sp} + R_sA_s - R_b\left(b_f' - b\right)h_f' - R_{sc}A_s' - \sigma_{sc}A_{sp}'}{R_b b} \tag{5.38}$$

Hệ số điều kiện làm việc của cốt thép căng được xác định theo công thức:

$$\gamma_{s6} = \frac{2\eta - 1 + 2(\eta - 1)\alpha_{ov}/\xi_R}{1 + 2(\eta - 1)(\xi_1 + \alpha_{ov})/\xi_R} \le \eta \tag{5.39}$$

Trong đó:

η được lấy như trong công thức (5.7), còn α_{ov} được xác định như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\alpha_{ov} = \frac{R_b(b'_f - b)h'_f + R_{sc}A'_s + \sigma_{sc}A'_{sp} - R_sA_s}{R_b b h_0} \quad (5.40)$$

Khi $\xi_1 > \xi_R$, phá hoại của cấu kiện tại tiết diện là trường hợp phá hoại thứ hai (phá hoại giòn). Theo chỉ dẫn trong [7], cường độ chịu uốn của cấu kiện tại tiết diện được tính theo công thức:

$$M_u = \frac{\alpha_m + \alpha_R}{2} R_b b h_0^2 + R_b\left(b'_f - b\right)h'_f\left(h_0 - 0{,}5h'_f\right) + \\ + R_{sc}A'_s\left(h_0 - a'_s\right) + \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_p\right) \quad (5.41)$$

Trong đó:

α_m,α_R được xác định theo công thức (5.15).

Trong [7] đưa ra chỉ dẫn cho một số trường hợp riêng như sau:

- Với các loại cốt thép căng A – IIIB và A – III giá trị $(\alpha_R + \alpha_m)/2$ trong công thức (5.41) được thay bằng α_R.

- Nếu trong vùng chịu kéo có cốt thép không căng thuộc nhóm có giới hạn chảy thực với số lượng tương đối lớn ($R_sA_s > 0{,}2R_sA_{sp}$), thì đại lượng $(\alpha_R + \alpha_m)/2$ trong công thức (5.41) được thay bằng α_R khi cốt thép căng có giới hạn chảy quy ước, còn với cốt thép căng có giới hạn chảy thực thì các giá trị α_R và ξ_R được xác định như đối với cốt thép không căng.

5.4.2. Tính toán tiết diện

Để đảm bảo tính kinh tế cũng như tránh trường hợp phá hoại giòn cho cấu kiện, tiết diện cần được tính toán sao cho chiều cao vùng nén không vượt quá chiều cao vùng nén giới hạn, nghĩa là $\xi \le \xi_R$.

Khi $\xi_R \le h'_f / h_0$, tiết diện chữ T (chữ I) được tính toán như đối với tiết diện chữ nhật có bề rộng bằng bề rộng cánh b'_f.

Khi $\xi_R > h'_f / h_0$, tiết diện dầm được tính toán như dưới đây.

Diện tích cốt thép thường tối thiểu để đảm bảo cho chiều cao vùng nén không vượt quá chiều cao vùng nén giới hạn là:

$$A'_s = \frac{M - \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_p\right) - \alpha_R R_b b h_0^2 - R_b\left(b'_f - b\right)h'_f\left(h_0 - 0{,}5h'_f\right)}{R_{sc}\left(h_0 - a'_s\right)} \quad (5.42)$$

Trong trường hợp này cũng có thể xảy ra hai khả năng: vùng chịu nén nằm hoàn toàn trong cánh và vùng chịu nén bao gồm toàn bộ cánh và một phần sườn. Do vậy diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo được tính như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Nếu vùng chịu nén nằm hoàn toàn trong cánh, tức là thoả mãn điều kiện:

$$M \le R_b b'_f h'_f \left(h_0 - 0{,}5h'_f\right) + R_{sc}A'_s\left(h_0 - a'_s\right) + \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_p\right) \quad (5.43)$$

thì diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo được tính toán như đối với tiết diện chữ nhật có bề rộng b'_f.

- Nếu biên của vùng chịu nén nằm trong sườn, tức là không thoả mãn điều kiện (5.43), thì diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + R_b\left(b'_f - b\right)h'_f + R_{sc}A'_s + \sigma_{sc}A'_{sp} - R_s A_s}{\gamma_{s6}R_{sp}} \quad (5.44)$$

Trong đó:

γ_{s6} được xác định theo công thức (5.7);

$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$;

α_m được xác định theo công thức:

$$\alpha_m = \frac{M - R_b\left(b'_f - b\right)h'_f\left(h_0 - 0{,}5h'_f\right) - R_{sc}A'_s\left(h_0 - a'_s\right) - \sigma_{sc}A'_{sp}\left(h_0 - a'_{sp}\right)}{R_b b h_0} \quad (5.45)$$

Khi lượng cốt thép thường trong vùng chịu nén được bố trí bằng (xấp xỉ) giá trị tính theo công thức (5.42), thì diện tích cốt thép căng trong vùng chịu kéo có thể được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi_R R_b b h_0 + R_b\left(b'_f - b\right)h'_f + R_{sc}A'_s + \sigma_{sc}A'_{sp} - R_s A_s}{R_{sp}} \quad (5.46)$$

5.4.3. Ví dụ tính toán:

VÍ DỤ 6:

Số liệu:

Dầm tiết diện chữ T có: $b'_f = 1120$mm; $h'_f = 30$mm; b = 100mm; h = 300mm; a = 30mm; bêtông B25 ($R_b = 13$MPa; $\gamma_{b2} = 0{,}9$); cốt thép căng A IV ($R_s = 510$MPa); mômen uốn M = 23kNm.

Yêu cầu:

Xác định diện tích cốt thép căng $A_{sp} = ?$

Tính toán:

$$h_0 = 300 - 30 = 270\text{mm}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Giả sử không sử dụng cốt thép thường chịu nén.

Xác định chiều cao vùng nén:

$R_b b'_f h'_f (h_0 - 0,5h'_f) = 13.1120.30(270 - 0,5.30) = 114kNm > M = 23kNm \Rightarrow$ vùng nén nằm trong cánh dầm và tính toán dầm theo cường độ chịu uốn được thực hiện như đối với dầm có tiết diện chữ nhật với chiều rộng $b = b'_f = 1120mm$.

Xác định hệ số α_m:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} = \frac{23.10^6}{13.1120.270^2} = 0,0217$$

Xác định hệ số γ_{s6}:

Với $\gamma_{b2} = 0,9$, cốt thép căng A-IV, bêtông B25, chọn $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = 0,6$, theo phụ lục 21, ta có $\xi_R = 0,54$.

Theo phụ lục 23, với $\xi_R = 0,54 \Rightarrow \alpha_R = 0,394$.

Như vậy: $\alpha_m = 0,0217 < \alpha_R = 0,394. \Rightarrow$ không yêu cầu cốt thép chịu nén.

Từ phụ lục 23, ta có: $\alpha_m = 0,0217 \Rightarrow \varsigma = 0,989; \xi = 0,022$.

Ngoài ra: $\xi = 0,022 < 0,5\xi_R = 0,5.0,54 = 0,27 \Rightarrow \gamma_{s6} = \eta = 1,2$.

Diện tích cốt thép căng yêu cầu:

Với $A_s = 0 \Rightarrow$ $A_{sp} = \frac{M}{\gamma_{s6} R_s \varsigma h_0} = \frac{23.10^6}{1,2.510.0,989.270} = 140mm^2$

Chọn cốt thép căng: $1\phi14 \Rightarrow A_{sp} = 154mm^2$.

VÍ DỤ 7:

Số liệu:

Dầm tiết diện chữ T có: $b'_f = 280mm$; $h'_f = 200mm$; b = 80mm; h = 900mm; a = 72mm; a' = 40mm; bêtông B30 ($R_b = 15,5MPa$; $\gamma_{b2} = 0,9$); cốt thép căng S: A-IV ($R_s = 510MPa$), $A_{sp} = 2036mm^2 (8\phi18)$; cốt thép thường trong vùng nén S': A-III ($R_{sc} = 365MPa$), $A_s = 226mm^2 (2\phi12)$; ứng suất trước trong cốt thép với $\gamma_{sp} < 1$: không kể đến tổn hao - $\sigma_{sp1} = 380MPa$, có kể đến tất cả các tổn hao - $\sigma_{sp2} = 320MPa$; cốt thép được căng theo phương pháp cơ học; mômen uốn M = 790kNm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu:

Tính toán kiểm tra tiết diện theo cường độ.

Tính toán:

$$h_0 = 900 - 72 = 828\text{mm}$$

Xác định biên vùng nén:

Giả sử $\gamma_{s6} = 1$, ta có:

$$R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s = 15,5.280.200 + 365.226 = 950500\text{N} < \gamma_{s6} R_s A_{sp} =$$

$$= 1.510.2036 = 1038400\text{N}$$

Như vậy có nghĩa là biên vùng nén đi qua sườn.

Xác định giá trị của ξ_1:

$$\xi_1 = \frac{R_s A_{sp} - R_b (b'_f - b) h'_f - R_{sc} A'_s}{R_b b h_0} =$$

$$= \frac{510.2036 - 15,5.(280 - 80)200 - 365.226}{15,5.80.828} = 0,327$$

Xác định giá trị của $\Delta\sigma_{sp}$:

Đối với cốt thép căng A-IV được căng theo phương pháp cơ học, đại lượng $\Delta\sigma_{sp}$ được xác định như sau:

$$\Delta\sigma_{sp} = \frac{1500\sigma_{sp1}}{R_s} - 1200 = \frac{1500.380}{510} - 1200 = -80\text{MPa} < 0 \Rightarrow \Delta\sigma_{sp} = 0$$

Xác định hệ số γ_{s6}:

Với $\gamma_{b2} = 0,9$, cốt thép căng A-IV, bêtông B30 và $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = \frac{320}{510} = 0,627$, theo phụ lục 21, ta có $\xi_R = 0,52$;

Do $\xi_1 = 0,327 < \xi_R = 0,52 \Rightarrow \gamma_{s6}$ được xác định như sau:

$$\alpha_{ov} = \frac{R_b (b'_f - b) h'_f + R_{sc} A'_s}{R_b b h_0} = \frac{15,5(280 - 80)200 + 365.226}{15,5.80.828} = 0,684$$

$$\gamma_{s6} = \frac{2\eta - 1 + 2(\eta - 1)\alpha_{ov} / \xi_R}{1 + 2(\eta - 1)(\xi_1 + \alpha_{ov}) / \xi_R} = \frac{2.1,2 - 1 + 2(1,2 - 1)0,684 / 0,52}{1 + 2(1,2 - 1)(0,327 + 0,684) / 0,52} =$$

$$= 1,082 < \eta = 1,2$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Xác định chiều cao vùng nén:

$$x = \frac{\gamma_{s6} R_s A_{sp} - R_b (b'_f - b) h'_f - R_{sc} A'_s}{R_b b} =$$

$$= \frac{1,082.510.2036 - 15,5.(280 - 80)200 - 365.226}{15,5.80} = 340\text{mm}$$

Kiểm tra cường độ chịu uốn:

$$M_u = R_b bx(h_0 - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_o - 0,5h') + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) =$$

$$15,5.80.340(828 - 0,5.340) + 15,5(280 - 80)200(828 - 0,5.200) +$$

$$65.226(828 - 40) = 795.10^6 \text{ Nmm} = 795\text{kNm} > M = 790\text{kNm}$$

Kết luận: $M_u > M \Rightarrow$ Tiết diện đảm bảo cường độ chịu uốn.

VÍ DỤ 8:

Số liệu:

Dầm mái bêtông ứng suất trước có tiết diện chữ T với các kích thước trên tiết diện như sau: $b'_f = 280\text{mm}$; $h'_f = 200\text{mm}$; $b = 80\text{mm}$; $h = 900\text{mm}$; $a = 90\text{mm}$; $b = 80\text{mm}$; $a' = 40\text{mm}$; bêtông nặng B35; cốt thép căng S: K-7(ϕ15; $R_s = 1080\text{MPa}$), cốt thép thường trong vùng nén S': A-III ($R_{sc} = 365\text{MPa}$), $A_s = 226\text{mm}^2 (2\phi 12)$; mômen uốn: khi không xét đến tải do vận chuyển $M_I = 740\text{kNm}$; khi xét đến tải trọng do vận chuyển $M_{II} = 1000\text{kNm}$.

Yêu cầu:

Xác định diện tích cốt thép căng $A_{sp} = ?$

Tính toán:

Xác định trường hợp tính toán:

$0,82M_{II} = 0,82.1000 = 820\text{kNm} > M_I = 740\text{kNm} \Rightarrow$ Tính toán theo cường độ cho trường hợp b) với giá trị mômen $M = M_{II} = 1000\text{kNm}$.

Lựa chọn $R_b = 15,5\text{MPa}$ với $\gamma_{b2} = 1,1$.

$$h_0 = h - a = 900 - 90 = 810\text{mm}$$

Xác định biên vùng nén:

$$R_b b'_f h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) = 21,5.280.200(810 - 0,5.200) +$$

$$+ 365.226(810 - 40) = 918.10^6 \text{ Nmm} = 918\text{kNm} < M = 1000\text{kNm} \Rightarrow$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Biên vùng nén đi qua sườn.

Xác định giá trị của α_m:

$$\alpha_m = \frac{M - R_b(b'_f - b)h'_f(h_0 - 0,5h'_f) - R_{sc}A'_s(h_0 - a'_s)}{R_b b h_0^2} =$$

$$= \frac{1000.10^6 - 21,5(280-80)200(810 - 0,5.200) - 365.226.(810-40)}{21,5.80.810^2} = 0,29$$

Xác định giá trị ξ:

Theo phụ lục 23,: $\alpha_m = 0,29 \Rightarrow \xi = 0,35$.

Xác định hệ số γ_{s6}:

Theo phụ lục 21: với $\gamma_{b2} = 1,1$; cốt thép K–7; Bêtông B35 và $\frac{\sigma_{sp2} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s} = 0,6$ ta có $\xi_R = 0,38$.

$\xi = 0,35 < \xi_R = 0,38 \Rightarrow$ cốt thép trong vùng nén đảm bảo yêu cầu.

Cốt thép căng K–7 $\Rightarrow \eta = 1,15$.

$$\gamma_{s6} = \eta - (\eta - 1)\left(2\frac{\xi}{\xi_R} - 1\right) = 1,15 - (1,15-1)\left(2\frac{0,35}{0,38} - 1\right) =$$

$$= 1,024 < \eta = 1,15.$$

Xác định cốt thép căng yêu cầu:

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + R_b(b'_f - b)h'_f + R_{sc}A'_{sc}}{\gamma_{s6}R_s} =$$

$$= \frac{0,35.21,5.80.810 + 21,5(280-80)200 + 365.226}{1,024.1080} = 1293mm^2$$

Chọn cốt thép căng: $10\phi15 \Rightarrow A_{sp} = 1416mm^2$.

5.5. TRƯỜNG HỢP TỔNG QUÁT

Trường hợp tiết diện dầm làm việc theo sơ đồ tổng quát thì việc tính toán theo cường độ có phần phức tạp hơn. Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trong tiết diện thẳng góc trong trường hợp này được thể hiện trên hình 5.5.

Tính toán tiết diện thẳng góc của cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn trong trường hợp tổng quát (hình 5.5) được thực hiện từ điều kiện:

$$M \le R_b S_b - \Sigma\sigma_{si} S_{si} \qquad (5.47)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

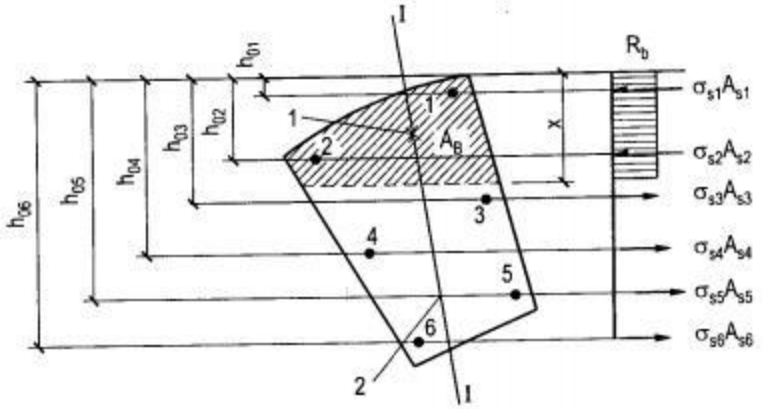
Trong đó:

M - hình chiếu véc tơ mô men ngoại lực lên mặt phẳng vuông góc với đường thẳng giới hạn vùng nén tiết diện;

S_b - mômen tĩnh của diện tích bêtông vùng nén đối với trục song song với đường giới hạn vùng nén và đi qua trọng tâm tiết diện các thanh cốt thép chịu kéo;

S_{si} - mômen tĩnh của diện tích tiết diện thanh cốt dọc thứ i đối với trục nói trên;

σ_{si} - ứng suất trong thanh cốt dọc thứ i.



Hình 5.5: *Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trong tiết diện thẳng góc (trường hợp tổng quát)*

I-I – mặt phẳng song song với mặt phẳng tác dụng của mô men uốn;

1 – điểm đặt hợp lực cân bằng trong cốt thép chịu nén và bêtông chịu nén;

2 – điểm đặt hợp lực trong cốt thép chịu kéo

Chiều cao vùng nén x và ứng suất σ_{si} được xác định từ việc giải đồng thời các phương trình:

$$R_b A_b = \Sigma \sigma_{si} A_{si} \tag{5.48}$$

Giá trị ứng suất σ_{si} trong (5.48) phụ thuộc vào giá trị của chiều cao tương đối vùng nén ξ_i . Theo chỉ dẫn của [6] thì σ_{si} được tính theo các trường hợp như sau:

- Trường hợp $\xi_i \le \xi_{Ri}$:

$$\sigma_{si} = R_{si}\left[\eta - (\eta - 1)\left(2\frac{\xi_i}{\xi_{Ri}} - 1\right)\right] \le \eta R_{si} \tag{5.49}$$

- Trường hợp $\xi_{el,i} \ge \xi_i > \xi_{Ri}$:

$$\sigma_{si} = \left[\beta + (1-\beta)\frac{\xi_{el,i} - \xi_i}{\xi_{el,i} - \xi_{Ri}}\right] R_{si} \tag{5.50}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Trường hợp $\xi_i > \xi_{eli}$:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right) \sigma_{spi} \qquad (5.51)$$

Đối với cốt thép có giới hạn chảy thực, khi $\xi_i > \xi_{Ri}$ chỉ được sử dụng phương trình (5.51).

Giá trị ứng suất σ_{si} tính theo (5.50) hoặc (5.51) không được lớn hơn cường độ chịu kéo tính toán và không được nhỏ hơn cường độ chịu nén tính toán của cốt thép.

Các đại lượng trong các công thức từ (5.48) đến (5.51) có ý nghĩa như sau :

A_b - diện tích bêtông vùng nén;

A_{si} - diện tích tiết diện thanh cốt dọc thứ i;

ξ_i - chiều cao tương đối vùng nén, được lấy bằng: $\xi_i = \frac{x}{h_{0i}}$;

h_{0i} - khoảng cách từ trục đi qua trọng tâm tiết diện thanh đang xét thứ i và song song với đường giới hạn vùng nén đến điểm cách xa vùng nén nhất của tiết diện (hình 5.4);

ξ_{Ri}, $\xi_{el,i}$ - chiều cao tương đối vùng nén tương ứng với khi ứng suất trong cốt thép của thanh đang xét đạt đến R_{si} và βR_{si}, giá trị ξ_{Ri} được xác định theo công thức (4.13), giá trị $\xi_{el,i}$ được tính theo công thức (4.11), nhưng thay σ_{sR} bằng $\beta R_{si} - \sigma_{spi}$, tức là:

$$\xi_{eli} = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\beta R_{si} - \sigma_{spi}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right)} \qquad (4.52)$$

ở đây β - hệ số được lấy bằng:

- Khi căng bằng phương pháp cơ học, nhiệt điện tự động và cơ nhiệt điện tự động cốt thép loại A-IV, A-V, A-VI:

$$\beta = 0,5 \frac{\sigma_{sp1i}}{R_s} + 0,4 \geq 0,8 \qquad (5.53)$$

Trong đó:

σ_{sp1i} - ứng suất trong cốt thép căng được xác định với $\gamma_{sp} < 1,0$ có kể đến tổn hao do ma sát, biến dạng khuôn và biến dạng neo;

- Khi căng bằng các phương pháp khác (ngoài các phương pháp nói trên) cốt thép loại A-IV, A-V và A-VI, cũng như khi kéo cốt thép loại B-II, Bp-II, K-7 và K-19 bằng bất kỳ phương pháp nào β = 0,8;

η như đối với công thức (5.7);

σ_{sc}, , ω như đối với công thức (4.13).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Ứng suất σ_{si} được xác định theo công thức (5.51), đưa vào tính toán với dấu của nó: có dấu " + " có nghĩa là ứng suất kéo, còn có dấu " – " nghĩa là ứng suất nén. Ứng suất σ_{si} được dùng không nhỏ hơn $-R_{sc}$ (ứng suất nén cực đại) và cũng không nhỏ hơn $(\sigma_{sp} - \sigma_{sc,u})$.

Ứng suất σ_{spi} trong công thức (5.51) được xác định với hệ số $\gamma_{sp} < 1,0$ nếu thanh đang xét nằm trong vùng kéo và $\gamma_{sp} > 1,0$ nếu thanh nằm trong vùng nén.

Để xác định vị trí biên vùng nén khi uốn xiên (tức là khi mặt phẳng tác dụng của mô men không vuông góc với đường thẳng giới hạn vùng nén) ngoài việc sử dụng công thức từ (5.48) đến (5.51) cần phải tuân theo các điều kiện song song giữa các mặt phẳng tác dụng của mô men nội và ngoại lực.

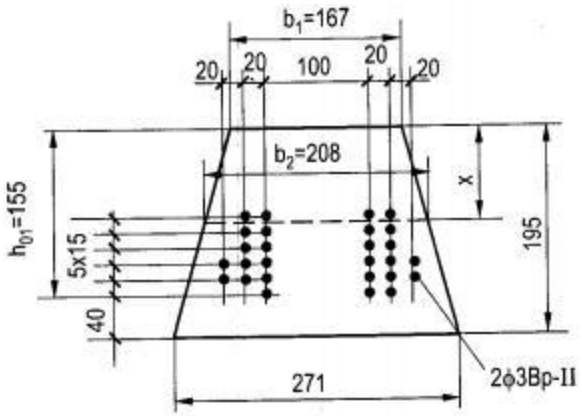
VÍ DỤ 9 :

Số liệu:

Dầm bêtông ứng suất trước có kích thước mặt cắt thẳng góc với trục như trên hình 6.5; bêtông B40 có $R_b = 24MPa$, $\gamma_{b2} = 1,1$; cốt thép căng Bp-II đường kính 3mm có $R_s = 1215$ Mpa; ứng suất trước với $\gamma_{sp} < 1$ có giá trị $\sigma_{sp} = 975$ Mpa; mômen uốn tính toán M = 26kNm.

Yêu cầu:

Kiểm tra dầm theo cường độ chịu uốn.



Hình 5.6: *Tiết diện dầm bêtông ứng suất trước*

Tính toán:

Đặc trưng tiết diện dầm và sự bố trí cốt théo căng trên tiết diện cho thấy rằng đây là trường hợp chịu uốn tổng quát.

1. Tính toán ξ_R và ξ_{el}:

$$\omega = 0,85 - 0,008\ R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 24 = 0,658.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Ứng với loại cốt thép căng dạng sợi 3mm Bp-II ta có:

$$\Delta\sigma_{sp} = 0 \text{ và } \beta = 0,8,\ \sigma_{sc,u} = 400 \text{ MPa (với } \gamma_{b2} = 1,1).$$

Giá trị của σ_{sR} khi tính ξ_R:

$$\sigma_{sR} = R_s + 400 - \sigma_{sp} = 1215 + 400 - 975 = 640 \text{ MPa};$$

Giá trị của σ_{sR} khi tính ξ_{el}:

$$\sigma_{sR} = \beta R_s - \sigma_{sp} = 0,8 .1215 - 975 = -3 \text{ MPa}.$$

Từ đó ta có:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,658}{1 + \frac{640}{400}\left(1 - \frac{0,658}{1,1}\right)} = 0,4;$$

$$\xi_{el} = \frac{0,658}{1 + \frac{-3}{400}\left(1 - \frac{0,658}{1,1}\right)} = 0,66 .$$

2. Xác định kích thước vùng nén:

Khi biết được chiều cao vùng nén x, thì ứng suất trong cốt thép căng σ_{si} theo các hàng nganng được xác định như sau :

Khi $\xi_i \le \xi_R$:

$$\sigma_{si} = R_s\left[\eta - (1-\eta)\left(2\frac{\xi_i}{\xi_R} - 1\right)\right];$$

Khi $\xi_{el} \ge \xi_i > \xi_R$:

$$\sigma_{si} = \left[\beta + (1-\beta)\frac{\xi_{el} - \xi_i}{\xi_{el} - \xi_R}\right]R_s = \left(0,8 + 0,2\frac{0,66 - \xi_i}{0,66 - 0,40}\right)1215 = 1640 - 1010\,\xi\,;$$

Khi $\xi_i > \xi_{el}$:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}}\left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1\right) + \sigma_{sp} = \frac{400}{1 - \frac{0,658}{1,1}}\left(\frac{0,658}{\xi_i} - 1\right) + 975 = \frac{655}{\xi_i} - 20 .$$

Sau đó tính toán tổng các lực kéo trong cốt thép căng $\Sigma\sigma_{si}A_{si}$, (ở đây A_{si} là diện tích các cốt thép căng trên hàng thứ i, song song với trục trung hoà).

Giá trị của x theo xấp xỉ thứ nhất được xác định theo (5.47), với sự chấp nhận giá trị ứng suất trung bình trong cốt thép là $0,9R_s = 0,9.215 = 1093$ MPa;

$$\Sigma A_{si} = 367 \text{ mm}^2 \text{ (52}\phi\text{3)},$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ đó suy ra:

$$A_b = \frac{\Sigma \sigma_{si} A_{si}}{R_b} = \frac{1093.367}{24} = 16700 \text{ mm}^2 .$$

Vùng nén có dạng hình thang, do vậy diên tích được xác định như sau:

$$A_b = \left(167 + \frac{271-167}{195} 0,5x\right) x = (167 + 0,267)x,$$

Từ đó ta có:

$$x = -\frac{167}{2.0,267} + \sqrt{\left(\frac{167}{2.0,261}\right)^2 + \frac{A_b}{0,267}} = -313 + \sqrt{98000 + \frac{16700}{0,267}} = 87,5 \text{ mm.}$$

Kết quả tính toán các giá trị $\sigma_{si}A_{si}$ và $\Sigma \sigma_{si} A_{si}$ với giá trị x = 87,5mm được đưa trong bảng 5A.

Bảng 5A. Kết quả tính toán ví dụ 9 với giá trị x = 87,5mm

Tên hàng cốt thép	Diện tích cốt thép trong hàng A_{si}, mm^2	h_{0i}, mm	x = 87,5 mm		
			$\xi_i = \frac{x}{h_{0i}}$	σ_{si}, MPa	$\sigma_{si} A_{si}$,N
1	28,3 (4ϕ3)	155	0,565	1070	30300
2	84,3 (12ϕ3)	140	0,625	1010	85200
3	84,3 (12ϕ3)	125	0,70	916	77200
4	56,5 (8ϕ3)	110	0,795	804	45400
5	56,5 (8ϕ3)	95	0,922	690	39000
6	56,5 (8ϕ3)	80	1,093	579	32700
			$\Sigma \sigma_{si} A_{si}$ = 309800 N		

Từ kết quả tính toán trong bảng 5A, với x = 87,5mm, ta có:

$$A_b = \frac{309800}{24} = 12900 \text{ mm}^2 ;$$

$$x = -313 + \sqrt{98000 + \frac{12900}{0,267}} = 70 \text{ mm} < 87,5 \text{ mm} ,$$

Giá trị xấp xỉ thứ hai của x có thể lấy giá trị x = 76mm.

Kết quả tính toán các giá trị $\sigma_{si}A_{si}$ và $\Sigma \sigma_{si} A_{si}$ với giá trị x = 76mm được đưa trong bảng 5B.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 5B. Kết quả tính toán ví dụ 9 với giá trị x = 76mm

Tên hàng cốt thép	Diện tích cốt thép trong hàng A_{si}, mm^2	h_{0i}, mm	x = 76 mm			
			$\xi_i = \frac{x}{h_{0i}}$	σ_{si}, MPa	$\sigma_{si} A_{si}$, N	$\sigma_{si}A_{si}(h_{01}-h_{0i})$, Nmm
1	28,3 (4∅3)	155	0,49	1145	32400	0.10^6
2	84,3 (12∅3)	140	0,536	1099	92600	$1,39.10^6$
3	84,3 (12∅3)	125	0,608	1026	84650	$2,595.10^6$
4	56,5 (8∅3)	110	0,691	929	52500	$2,36.10^6$
5	56,5 (8∅3)	95	0,80	799	45100	$2,705.10^6$
6	56,5 (8∅3)	80	0,95	669	37800	$2,84.10^6$
			$\Sigma \sigma_{si} A_{si}$ = 309800 N			
			$\Sigma \sigma_{si}S_{si} = 11,9.10^6$ Nm			

Với xấp xỉ thứ hai x = 76mm, ta có:

$$A_b = \frac{347000}{24} = 14450 \text{ mm}^2;$$

$$x = -313 + \sqrt{98000 + \frac{14450}{0,267}} = 78 \text{ mm} \approx 76 \text{ mm},$$

Như vậy, giá trị x = 76mm có thể được chấp nhận.

3. Tính toán mômen giới hạn của tiết diện:

Xác định mômen tĩnh của vùng nén dạng hình thang đối với hàng thấp nhất S_b:

$b_2 = 167 + 2.0,267.76 = 208$ mm; $b_1 = 167$ mm.

$$S_b = 0,5\left[b_1 x\left(h_{01} - \frac{1}{3}x\right) + b_2 x\left(h_{01} - \frac{2}{3}x\right)\right] =$$

$$= 0,5\left[167 \cdot 76\left(155 - \frac{1}{3}76\right) + 208 \cdot 76\left(155 - \frac{2}{3}76\right)\right] = 1,65.10^6 \text{ mm}^3$$

Mômen do nội lực trong cốt thép đối với trọng tâm của hàng dưới cùng được xác định:

$$\Sigma \sigma_{si} S_{si} = \Sigma \sigma_{si} A_{si} (h_{01} - h_{oi}).$$

Giá trị $\Sigma \sigma_{si} S_{si}$ được xác định trong Bảng 5.B.

Kiểm tra cường độ chịu uốn tại tiết diện:

$$R_b S_b - \Sigma \sigma_{si} S_{si} = 24 \cdot 1,65.10^6 - 11,9 \cdot 10^6 = 27,7.10^6 \text{ Nmm} = 27,7\text{kNm}$$

Kiểm tra cường độ chịu uốn:

M = 27,7kNm > M = 26kNm $\Rightarrow$ Tiết diện đảm bảo cường độ chịu uốn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

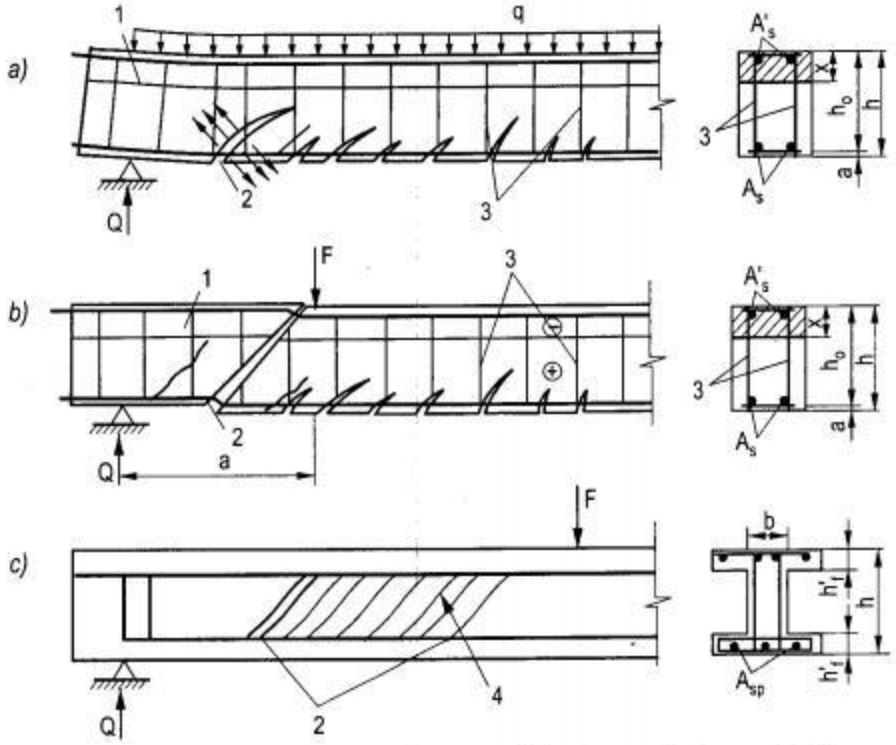
Chương 6

CẤU KIỆN CHỊU UỐN – TÍNH TOÁN CƯỜNG ĐỘ THEO TIẾT DIỆN NGHIÊNG

6.1. KHÁI QUÁT CHUNG

Sự phá hoại của cấu kiện do các vết nứt xiên xảy ra tại các khu vực có lực cắt lớn. Sự kết hợp giữa lực cắt và mômen uốn gây ra ứng suất kéo chính theo phương xiên góc so với trục của cấu kiện làm cho bêtông bị nứt.

Cốt thép dọc, cốt thép đai và cốt thép xiên đi ngang qua các khe nứt có ý nghĩa chống lại sự phát triển các vết nứt này, tức là chống lại sự phá hoại của cấu kiện theo tiết diện nghiêng.



Hình 6.1: *Các dạng phá hoại của dầm theo tiết diện nghiêng*
1 – Đường trung hòa; 2- Vết nứt xiên; 3 – Cốt thép đai;
4- Các vết nứt phân chia bụng dầm thành các dải nén xiên.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sự phá hoại của cấu kiện khi xuất hiện các vết nứt xiên có thể xảy ra theo một trong các trường hợp như sau:

Dạng phá hoại thứ nhất (hình 6.1c): Khi tại bụng dầm có ứng suất nén theo phương dọc trục σ_x cùng với tác dụng của lực cắt gây ra ứng suất tiếp τ thì các ứng suất nén chính được xác định theo công thức:

$$\sigma_2 = -0{,}5\sigma_x - \sqrt{(0{,}5\sigma_x)^2 + \tau^2} \qquad (6.1)$$

Khi ứng suất nén chính đủ lớn có thể làm cho bêtông bị nén dập (bị phá hoại do nén). Ở đây bêtông chịu lực theo hai phương, một phương kéo còn phương kia nén. Khả năng chịu nén của bêtông trong trường hợp này nhỏ hơn cường độ chịu nén một phương, tức là nhỏ hơn R_b.

Có thể ứng suất nén chính chưa đủ lớn để cho bêtông bị nén vỡ nát, nhưng ứng suất kéo chính có phương vuông góc với ứng suất nén chính lại đủ lớn làm cho bêtông bị nứt theo phương song song với ứng suất nén chính. Khi các vết nứt xiên xuất hiện ở bụng dầm, bêtông phần này được chia thành các dải theo phương nén chính. Các dải bêtông nằm giữa các vết nứt xiên chịu các lực nén – gọi là các dải chịu nén xiên (hay các dải nén xiên). Do các dải này có hình dạng và kích thước không đều nên thường có khả năng chịu nén trung bình nhỏ hơn cường độ của bêtông. Các dải bêtông chịu nén bị phá hoại sẽ làm cho cấu kiện bị phá hoại.

Cả hai kiểu phá hoại trên đây đều dẫn đến sự nén vỡ bêtông theo phương xiên và được gọi chung là trường hợp phá hoại do nén các dải bêtông giữa các vết nứt xiên. Trường hợp phá hoại này thường xảy ra với các cấu kiện có thành bụng mỏng. Đây là trường hợp phá hoại giòn nên rất nguy hiểm, phải được loại trừ khả năng xảy ra đối với kết cấu bêtông ứng suất trước. Để chống lại sự phá hoại này, kích thước và cường độ bêtông đóng vai trò quyết định.

Dạng phá hoại thứ hai (hình 6.1b): Khi các vết nứt xiên xuất hiện tại sườn dầm, nơi có ứng suất tiếp theo phương vuông góc với trục dọc cấu kiện có giá trị lớn. Do tính chất không đàn hồi của bêtông nên ứng suất tiếp được phân bố tương đối đều theo chiều cao tiết diện. Tại vùng nén, do sự tác dụng đồng thời của ứng suất tiếp và ứng suất pháp nén có thể làm cho bêtông bị phá hoại. Kết quả là làm cho hai phần cấu kiện ở hai phía vết nứt dịch chuyển tương đối theo phương vuông góc với trụ cấu kiện. Đây là trường hợp phá hoại đặc trưng cho tác dụng của lực cắt.

Dạng phá hoại thứ ba (hình 6.1a): Khi vết nứt xiên xuất hiện tại mép chịu kéo của cấu kiện và phát triển dần lên phía mép chịu nén. Vết nứt có dạng mở rộng ở mép chịu kéo và thu nhỏ dần về phía mép chịu nén. Mômen uốn trong trường hợp này đóng vai trò làm cho hai phần cấu kiện ở hai phía vết nứt quay quanh tâm tại vùng nén. Sự quay này làm cho vết nứt phát triển và kéo theo sự phá hoại của cấu

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

kiện. Đây là trường hợp phá hoại đặc trưng cho sự kết hợp giữa mômen uốn và lực cắt.

Tính toán theo cường độ trên tiết diện nghiêng đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn phải được thực hiện để đảm bảo cho cấu kiện không bị phá hoại theo bất kỳ dạng nào trong các dạng phá hoại trên, cụ thể phải thực hiện :

- Tính toán cường độ theo các dải nén xiên;
- Tính toán tiết diện nghiêng chịu lực cắt;
- Tính toán tiết diện nghiêng chịu mômen uốn.

6.2. TÍNH TOÁN CƯỜNG ĐỘ THEO CÁC DẢI NÉN XIÊN

Ứng suất kéo chính trong bụng dầm làm xuất hiện các vết nứt xiên và phân chia bụng dầm thành các dải xiên chịu nén. Nếu ứng suất nén trong các dải xiên này vượt khả năng chịu nén của bêtông thì bêtông bị nén dập. Cho đến khi xuất hiện vết nứt xiên, trạng thái ứng suất trong phần bêtông ở vùng này là trạng thái ứng suất phẳng. Do ảnh hưởng của ứng suất kéo chính theo phương vuông góc với các dải nén xiên nên khả năng chịu nén của bêtông trong các dải này bị giảm xuống. Căn cứ vào kết quả kết quả nghiên cứu thực nghiệm, TCXDVN 356 : 2005 quy định tính toán kiểm tra cường độ chịu nén của các dải bêtông ở bụng dầm giữa các vết nứt xiên theo điều kiện:

$$Q \le 0{,}3\ \varphi_{w1}\ \varphi_{b1}\ R_b\ b\ h_0 \qquad (6.2)$$

Trong đó :

Q - lực cắt lấy ở cách gối tựa một khoảng không nhỏ hơn h_0;

φ_{w1} - hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt thép đai thẳng góc với trục dọc cấu kiện và được xác định theo công thức:

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w \qquad (6.3)$$

nhưng không lớn hơn 1,3;

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs};$$

φ_{b1} - hệ số được xác định theo công thức:

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta\ R_b \qquad (6.4)$$

β - hệ số đặc trưng cho khả năng phân phối lại nội lực của các loại bêtông, với bêtông nặng lấy giá trị $\beta = 0{,}01$.

Trường hợp chiều rộng b thay đổi tuyến tính theo chiều cao, trong tính toán có thể lấy giá trị chiều rộng tiết diện ở mức giữa chiều cao của tiết diện không kể cánh.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

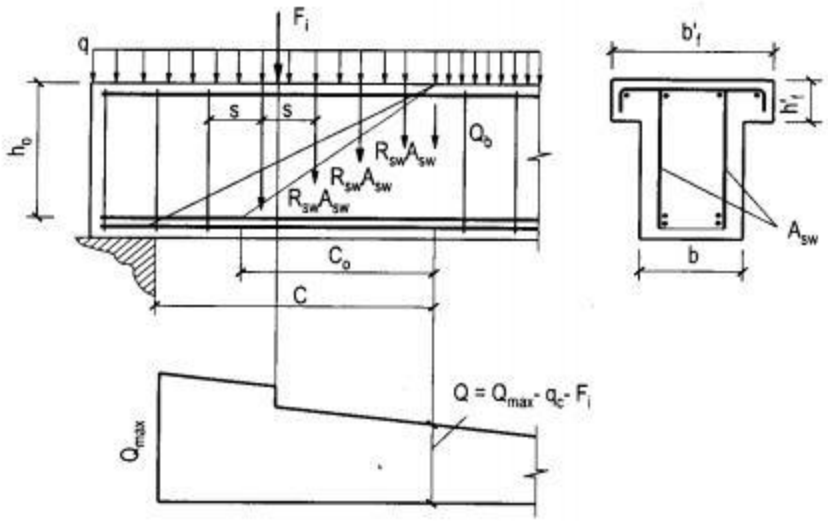
Khi cường độ chịu nén của các dải bêtông theo phương xiên không đảm bảo (điều kiện (6.2) không thoả mãn) thì phải tăng kích thước tiết diện hoặc tăng cấp độ bền của bêtông.

6.3. TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN NGHIÊNG THEO LỰC CẮT

6.3.1 Trường hợp có cốt thép đai không có cốt thép xiên

1. Kiểm tra khả năng chịu lực cắt

Sơ đồ nội lực trong tiết diện nghiêng của cấu kiện được đặt cốt thép đai và không có cốt thép xiên khi tính toán chịu lực cắt được thể hiện trên hình 6.2.



Hình 6.2: *Sơ đồ nội lực trên tiết diện nghiêng khi có cốt thép đai*

Khả năng chịu lực cắt của cấu kiện trên tiết diện nghiêng trong trường hợp này bao gồm khả năng chịu lực cắt của bêtông và khả năng chịu lực của các thanh cốt thép đai trên toàn tiết diện nghiêng. Điều kiện đảm bảo cường độ chịu lực cắt trên tiết diện nghiêng được viết như sau :

$$Q \le Q_u = Q_b + Q_{sw} \qquad (6.5)$$

Trong (6.5): Q - lực cắt do ngoại lực đặt ở một phía của tiết diện nghiêng đang xét. Trường hợp tải trọng thẳng đứng đặt ở mép trên cấu kiện, giá trị Q được lấy ở tiết diện thẳng góc đi qua đầu tiết diện nghiêng nằm xa gối hơn. Trường hợp tải trọng đặt ở cạnh dưới của cấu kiện hoặc trong tiết diện cấu kiện, giá trị Q lấy ở đầu tiết diện nghiêng gần gối hơn.

Q_b - lực cắt do bêtông chịu, được xác định theo công thức thực nghiệm:

$$Q_b = \frac{M_b}{c} \qquad (6.6)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$M_b = \varphi_{b2} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 \quad (6.7)$$

Trong (6.7): c - chiều dài hình chiếu tiết diện nghiêng lên trục dọc của cấu kiện; φ_{b2} là hệ số xét đến loại bêtông và được xác định theo bảng 6.1; φ_f - hệ số xét đến ảnh hưởng của cánh chịu nén, được xác định theo công thức:

$$\varphi_f = \frac{0,75(b'_f - b)h'_f}{bh_0} \le 0,5 \quad (6.8)$$

đại lượng $(b'_f - b)$ lấy không lớn hơn $3h'_f$.

Trong tính toán cần xét đến ảnh hưởng của cánh nếu cốt thép ngang trong sườn được neo vào cánh và có các cốt thép ngang liên kết cánh với sườn.

Hệ số φ_n trong (6.7) là đại lượng có xét đến ảnh hưởng của ứng suất trước ở vùng kéo, được xác định theo công thức:

$$\varphi_n = 0,1\frac{P}{R_{bt}bh_0} \le 0,5 \quad (6.9)$$

Trong đó:

$P = \sigma_{sp} A_{sp} - \sigma_s A_s$;

hệ số tổng cộng $1 + \varphi_f + \varphi_n$ được lấy không lớn hơn 1,5;

giá trị Q_b được lấy không nhỏ hơn $Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0$;

φ_{b3} - hệ số được lấy theo bảng 6.1.

Bảng 6.1. Bảng các giá trị $\varphi_{b2}, \varphi_{b3}, \varphi_{b4}$

Loại bêtông	Hệ số		
	φ_{b2}	φ_{b3}	φ_{b4}
1. Nặng	2,00	0,6	1,5
2. Cốt liệu nhỏ	1,70	0,5	1,2
3. Nhẹ có khối lượng riêng :			
$\rho \ge 1900 kg/m^3$	1,90	0,5	1,2
$\rho \le 1800 kg/m^3$ với cốt liệu nhỏ:			
- Đặc chắc	1,75	0,4	1,0
- Rỗng	1,50	0,4	1,0

Đại lượng Q_{sw} trong (6.5) là lực cắt do cốt thép đai chịu, được tính như sau:

$$Q_{sw} = q_{sw} c \quad (6.10)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

q_{sw} - nội lực trong cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cấu kiện trong khoảng tiết diện nghiêng, được tính theo công thức :

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} \tag{6.11}$$

Các công thức trên đây cho thấy khả năng chịu lực cắt của cấu kiện xác định theo (6.5) là đại lượng phụ thuộc vào giá trị c (chiều dài hình chiếu tiết diện nghiêng lên trục cấu kiện). Hàm số $Q_u(c)$ đạt cực tiểu khi:

$$\partial Q_u(c)/\partial c = 0 \Rightarrow -M_b/c_0^2 + q_{sw} = 0$$

Khi đó ta có:

$$c_0 = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw}}} \tag{6.12}$$

Đại lượng c_0 là chiều dài hình chiếu của tiết diện ghiêng lên trục cấu kiện, xác định theo (6.12), nhưng không lớn hơn c, không lớn hơn hơn $2h_0$, và không nhỏ hơn h_0 nếu $c > h_0$.

Xét về mặt toán học, có thể thay giá trị $c = c_0$ vào (6.5) để xác định giá trị nhỏ nhất của Q_u. Nhưng công thức (6.5) xác định đại lượng Q_u là công thức thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm chứng tỏ rằng khi đại lượng c thay đổi thì Q_b cũng thay đổi nhưng luôn nằm trong một giới hạn. Ngoài ra, các nghiên cứu thực nghiệm còn chỉ ra rằng : giá trị Q_u phụ thuộc vào chiều dài a lấy bằng khoảng cách từ mép gối tựa đến lực tập trung gần nhất hoặc bằng ¼ nhịp dầm khi tải trọng tác dụng lên dầm là phân bố đều. Khi a tăng thì $Q_{sw} = q_{sw}c$ tăng và Q_b giảm cho đến khi $a = c_0$ thì đạt đến sự cân bằng của chúng $Q_b = Q_{sw}$; khi tiếp tục tăng a $(a = c > c_0)$ thì chỉ có Q_b giảm còn Q_{sw} giữ giá trị không đổi $Q_{sw} = q_{sw}c_0$. Do vậy, kiểm tra cường độ chịu lực cắt trên tiết diện nghiêng được thực hiện theo điều kiện :

$$Q \le \frac{M_b}{c} + q_{sw}c_0 \tag{6.13}$$

Giá trị Q_b được lấy không nhỏ hơn $Q_{b,min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0$, tức là :

$$Q_b \ge Q_{b,min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0 \tag{6.14}$$

Trong đó:

φ_{b3} - hệ số được lấy theo bảng 6.1;

Cốt thép đai được xác định theo tính toán thông qua nội lực yêu cầu trong cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cấu kiện. Nội lực yêu cầu trong cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cấu kiện cần thỏa mãn điều kiện :

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$q_{sw} \geq \frac{Q_{b,min}}{2h_o} \qquad (6.15)$$

Điều kiện (6.15) có thể không đảm bảo, nếu trong (6.7) xét đến giá trị $R_{bt}b$, sao cho điều kiện (6.15) chuyển thành cân bằng, tức là lấy $M_b = 2h_0^2 q_{sw} \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}$, trong trường hợp này $c_0 = 2h_0$, nhưng không lớn hơn c.

Khi kiểm tra điều kiện (6.13) có thể giả thiết các tiết diện nghiêng với các giá trị c khác nhau nhưng không vượt quá khoảng cách từ gối tựa đến điểm có giá trị mômen lớn nhất, cũng như giá trị $(\varphi_{b2} / \varphi_{b3})\ h_0$. Một số trường hợp thường gặp trong thực tế, bao gồm :

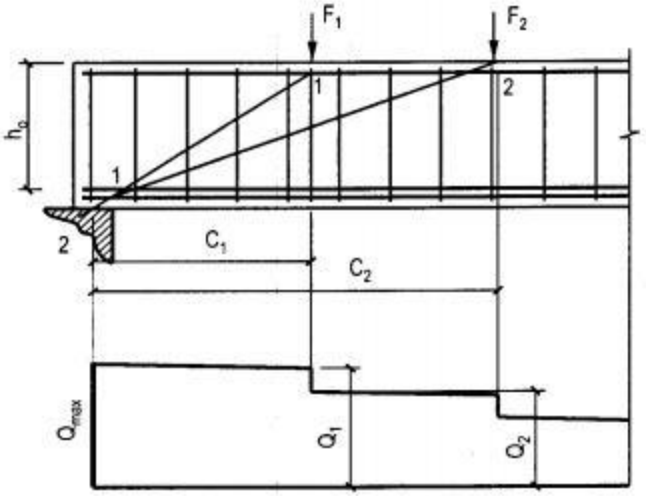
- Trường hợp khi cấu kiện chịu tác dụng của các tải trọng tập trung (hình 6.3), giá trị c được lấy bằng khoảng cách từ gối tựa đến điểm đặt các lực này (hình 6.3).

- Trường hợp cấu kiện chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều q, giá trị c được lấy bằng $\sqrt{M_b/q_1}$, còn nếu $q_1 > 0{,}56q_{sw}$, cần lấy $c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1 + q_{sw}}}$, ở đây q_1 được xác định như sau :

• Nếu tải trọng q là tải trọng thường xuyên phân bố thì $q_1 = q$;

• Nếu tải trọng q bao gồm các tải trọng thường xuyên phân bố đều và tải trọng tạm thời tương đương với tải phân bố đều ν (tức là tải trọng tạm thời được quy đổi tương đương với tải phân bố đều) thì $q_1 = g + \nu/2$ (g là phần tải trọng thường xuyên phân bố đều).

Ở đây giá trị Q được lấy bằng $Q_{max} - q_1 c$ (Q_{max} là lực cắt ở mép gối).



Hình 6.3: *Vị trí các tiết diện nghiêng bất lợi nhất khi tải trọng tập trung*
1-1 và 2-2 – tiết diện nghiêng được kiểm tra chịu các lực cắt Q_1 và Q_2

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2. Tính toán cốt thép đai

Mật độ cốt thép đai yêu cầu được biểu diễn thông qua q_{sw} , được tính toán cho các trường hợp như sau:

a) Trường hợp lực tập trung đặt ở các khoảng cách c_i tính từ gối:

Đối với mỗi tiết diện nghiêng c có chiều dài hình chiếu c_i không vượt quá khoảng cách đến tiết diện có mômen uốn lớn nhất, giá trị q_{sw} được xác định theo một trong các công thức (6.16) – (6.19), phụ thuộc vào hệ số $\chi_i = \frac{Q_i - Q_{bi}}{Q_{bi}}$. Sau khi tính $q_{sw(i)}$ theo các trường hợp (6.16) – (6.19), giá trị q_{sw} là giá trị lớn nhất trong các giá trị được tính.

Khi $x_i < x_{0i} = \frac{Q_{b,min}}{Q_{bi}} \cdot \frac{c_0}{2h_0}$ thì: $$q_{sw(i)} = \frac{Q_i}{c_0} \cdot \frac{x_{0i}}{x_{0i}+1} \quad (6.16)$$

Khi $x_{0i} \le x_i \le \frac{c_i}{c_0}$ thì: $$q_{sw(i)} = \frac{Q_i - Q_{bi}}{c_0} \quad (6.17)$$

Khi $\frac{c_i}{c_0} < x_i \le \frac{c_i}{h_0}$ thì: $$q_{sw(i)} = \frac{(Q_i - Q_{bi})^2}{M_b} \quad (6.18)$$

Khi $x_i > \frac{c_i}{h_0}$ thì: $$q_{sw(i)} = \frac{Q_i - Q_{bi}}{h_0} \quad (6.19)$$

Trong đó: h_0 được lấy không lớn hơn c_i.

Trong các công thức (6.16) – (6.19):

Q_i - lực cắt trong tiết diện thẳng góc đặt cách gối tựa một khoảng c_i;

c_0 được lấy bằng c_i, nhưng không lớn hơn $2h_0$;

b) Trường hợp chỉ có lực phân bố q tác dụng lên cấu kiện:

Trong trường hợp này q_{sw} được xác định như sau:

- Khi $Q_{max} \le \frac{Q_{b1}}{0,6}$ thì: $$q_{sw} = \frac{Q_{max}^2 - Q_{b1}^2}{4M_b} \quad (6.20)$$

- Khi $\frac{M_b}{h_0} + Q_{b1} > Q_{max} > \frac{Q_{b1}}{0,6}$ thì: $$q_{sw} = \frac{(Q_{max} - Q_{b1})^2}{M_b} \quad (6.21)$$

Trong cả hai trường hợp q_{sw} được lấy không nhỏ hơn $\frac{Q_{max} - Q_{b1}}{2h_0}$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Khi $Q_{max} > \frac{M_b}{h_0} + Q_{b1}$ thì: $$q_{sw} = \frac{Q_{max} - Q_{b1}}{h_0} \quad (6.22)$$

Trường hợp giá trị q_{sw} được tính toán như trên đây không thỏa mãn điều kiện (6.15), thì cần tính lại q_{sw} một lần nữa theo công thức:

$$q_{sw} = \frac{Q_{max}}{2h_0} + \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}} q_1 - \sqrt{\left(\frac{Q_{max}}{2h_0} + \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}} q_1\right)^2 - \left(\frac{Q_{max}}{2h_0}\right)^2} \quad (6.23)$$

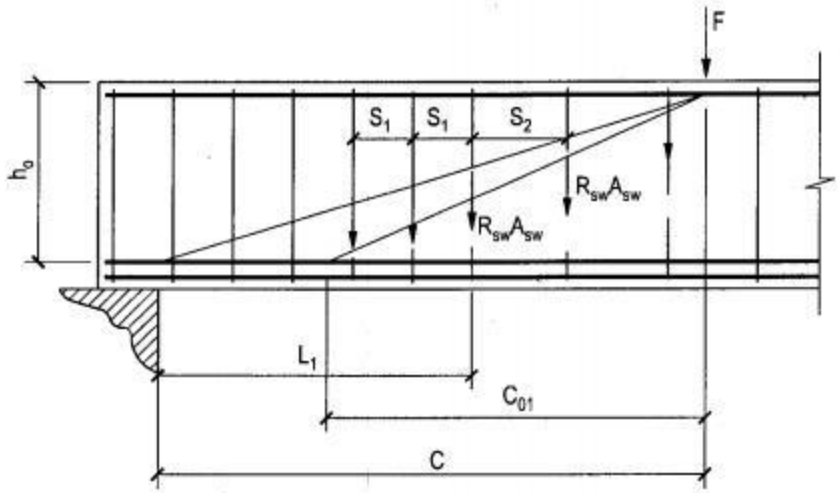
Trong đó:

$Q_{b1} = 2\sqrt{M_b q_1}$;

Q_{max} là lực cắt tại gối tựa;

M_b, q_1, φ_{b2}, φ_{b3} như phần trên của mục này.

3. Cấu kiện có cốt thép đai không đều



Hình 6.4: *Sự thay đổi mật độ cốt thép đai trong khoảng tiết diện nghiêng*

Khi giảm mật độ cốt thép đai từ gối vào nhịp từ q_{sw1} đến q_{sw2} (ví dụ bằng cách tăng bước cốt thép đai) cần kiểm tra điều kiện (6.13) với giá trị c lớn hơn l_1 – chiều dài của phần cấu kiện có mật độ cốt thép đai q_{sw1} (hình 6.4). Trong trường hợp này biểu thức $q_{sw}c_0$ được thay thế:

- Khi $c - l_1 < c_{01}$ ..... thay bằng $q_{sw1}\, c_{01} - (q_{sw1} - q_{sw2})\,(c - l_1)$;
- Khi $c_{02} > c - l_1 \geq c_{01}$ thay bằng $q_{sw2}\,(c - l_1)$;
- Khi $c - l_1 \geq c_{02}$ ..... thay bằng $q_{sw2}\, c_{02}$,

Trong đó: giá trị c_{01} và c_{02} được xác định theo công thức (6.13) khi q_{sw} tương ứng bằng q_{sw1} và q_{sw2}.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trường hợp cấu kiện chịu tải phân bố đều, chiều dài l_1 có cường độ q_{sw1} được xác định như sau:

- Khi $q_1 > q_{sw1} - q_{sw2}$ ..... $l_1 = c - \dfrac{M_b/c + q_{sw1}c_{01} - Q_{max} + q_1 c}{q_{sw1} - q_{sw2}}$

Trong đó: $c = \sqrt{\dfrac{M_b}{q_1 - (q_{sw1} - q_{sw2})}} \le \dfrac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}} h_0$.

- Khi $q_1 \le q_{sw1} - q_{sw2}$ ..... $l_1 = \dfrac{Q_{max} - (Q_{b,min} + q_{sw2}c_{01})}{q_1} - c_{01}$.

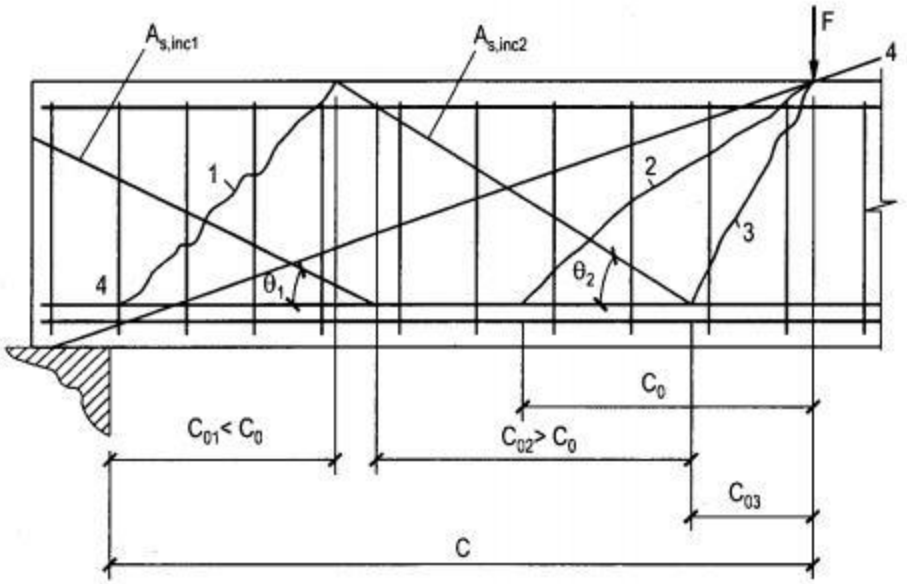
Ở đây, q_1 được xác định như phần trên của mục này.

Nếu với q_{sw2} không thoả mãn điều kiện (6.15), chiều dài l_1 được tính với giá trị điều chỉnh $M_b = 2h_0^2 q_{sw2} \varphi_{b2} / \varphi_{b3}$ và $Q_{b,min} = 2 h_0 q_{sw2}$;

Trong đó: biểu thức $(Q_{b,min} + q_{sw2} c_{01})$ được lấy không nhỏ hơn giá trị $Q_{b,min}$.

6.3.3 Trường hợp cấu kiện có cả cốt thép đai và cốt thép xiên

Sơ đồ xác định vết nứt xiên nguy hiểm cho cấu kiện có cả cốt thép đai và cốt thép xiên được thể hiện trên hình 6.5. Điều kiện chịu lực cắt của cấu kiện khi có cốt thép xiên cần kể đến sự làm việc chịu lực cắt của cốt thép xiên, tức là:



Hình 6.5: *Sơ đồ xác định vết nứt nghiêng nguy hiểm khi có cả cốt thép đai và cốt thép xiên*
1, 2, 3 - Các vết nứt nghiêng có thể xảy ra;
4-4 - tiết diện nghiêng đang xét

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$Q \le Q_b + q_{sw}\, c_0 + Q_{s,inc} \qquad (6.24)$$

Trong đó :

$Q_{s,inc}$ - thành phần lực cắt do cốt thép xiên chịu, được tính theo công thức:

$$Q_{s,inc} = A_{s,inc}\, R_{sw} \sin\theta \qquad (6.25)$$

$A_{s,inc}$ - diện tích tiết diện cốt thép xiên cắt vết nứt nghiêng nguy hiểm có chiều dài hình chiếu c_0;

θ - góc nghiêng của cốt thép xiên với trục dọc cấu kiện.

Giá trị c_0 được lấy bằng chiều dài đoạn cấu kiện nằm trong khoảng tiết diện nghiêng đang xét sao cho biểu thức $q_{sw}c_0 + Q_{s,inc} + M_b / c_0$ có giá trị tối thiểu. Cần xem xét đoạn từ điểm cuối tiết diện nghiêng hoặc từ điểm uốn cuối của cốt thép xiên nằm trong khoảng chiều dài c đến điểm bắt đầu uốn gần gối hơn cả hoặc đến gối (hình 6.5), đồng thời chiều dài đoạn được lấy không được lớn hơn giá trị c_0 xác định theo công thức (6.12).

Tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất trên hình 6.5 tương ứng với giá trị nhỏ nhất của các biểu thức sau:

$$q_{sw}\, c_{01} + R_{sw}\, A_{s,inc1} \sin\theta_1 + M_b / c_{01};$$

$$q_{sw}\, c_0 + R_{sw}\, A_{s,inc2} \sin\theta_2 + M_b / c_0;$$

$$q_{sw}\, c_{03} + M_b / c_{03}\,.$$

Ở đây, c_0 được tính theo công thức (6.12).

Giá trị c được lấy bằng khoảng cách từ gối đến điểm cuối đoạn uốn xiên hoặc đến điểm đặt lực tập trung (hình 6.5); ngoài ra cần kiểm tra các tiết diện nghiêng nằm trong khoảng chiều dài c_0 tính theo (6.12), được bắt đầu từ điểm cuối của thanh cốt thép xiên trước đến điểm đầu của thanh cốt thép xiên liền kề.

6.3.4 Trường hợp không có cốt ngang

Khi trong cấu kiện không có cốt thép đai và đồng thời cũng không cố cốt thép xiên, gọi là trường hợp không có cốt thép ngang. Khả năng chịu cắt của cấu kiện trong trường hợp này phải được tiến hành kiểm tra về cường độ chịu lực lực cắt của tiết diện thẳng góc và cường độ theo tiết diện nghiêng.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi cấu kiện chịu cắt thuần tuý, nếu thoả mãn điều kiện $\tau_{max} = \sigma_{mt} = \dfrac{Q}{bh_0} \le 2{,}5R_{bt}$ thì không hình thành các vết nứt xiên.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra công thức xác định khả năng chịu cắt của tiết diện bêtông trong trường hợp không có cốt ngang:

$$Q_b = 2{,}5\, R_{bt}\, b\, h_0 \qquad (6.26)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Như vậy, điều kiện để kiểm tra khả năng chịu cắt của cấu kiện không có cốt ngang có dạng sau:

$$Q_{max} \le 2{,}5\, R_{bt}\, b\, h_0 \qquad (6.27)$$

Trong đó: Q_{max} - lực cắt lớn nhất ở mép gối.

Tính toán kiểm tra khả năng chịu lực cắt của cấu kiện không có cốt thép ngang theo tiết diện nghiêng được thực hiện theo điều kiện:

$$Q \le Q_{b1} \qquad (6.28)$$

Trong đó:

Q - lực cắt ở đầu tiết diện nghiêng, bắt đầu từ gối tựa và có chiều dài hình chiếu c;

Q_{b1} - lực cắt giới hạn được lấy bằng M_{b1}/c; ở đây :

$$M_{b1} = \varphi_{b4}\,(1 + \varphi_n)\, R_{bt}\, b\, h_0^2 ,$$

nhưng không nhỏ hơn $Q_{b,min}$:

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3}\,(1 + \varphi_n)\, R_{bt}\, b\, h_0 \qquad (6.29)$$

Ứng với trường hợp $c = (\varphi_{b4} / \varphi_{b3})\, h_0 \approx 2{,}5\, h_0$;

φ_{b3}, φ_{b4} lấy theo bảng 6.1;

φ_n tính theo công thức (6.9).

Nếu trong khoảng chiều dài c không hình thành vết nứt thẳng góc (tức là $M \le M_{crc}$; M_{crc} là mô men nứt được trình bày trong Chương 9), thì khả năng chịu lực cắt của cấu kiện lớn hơn so với giá trị tính toán khi có vết nứt thẳng góc. Trong trường hợp này giá trị Q_{b1} được lấy không nhỏ hơn Q_{crc} :

$$Q_{crc} = b\frac{I_{red}}{S_{red}}\tau_{xy,crc} \qquad (6.30)$$

Trong đó :

S_{red} - mômen tĩnh của phần tiết diện quy đổi nằm ở một phía của trục đi qua trọng tâm tiết diện đối với trục này;

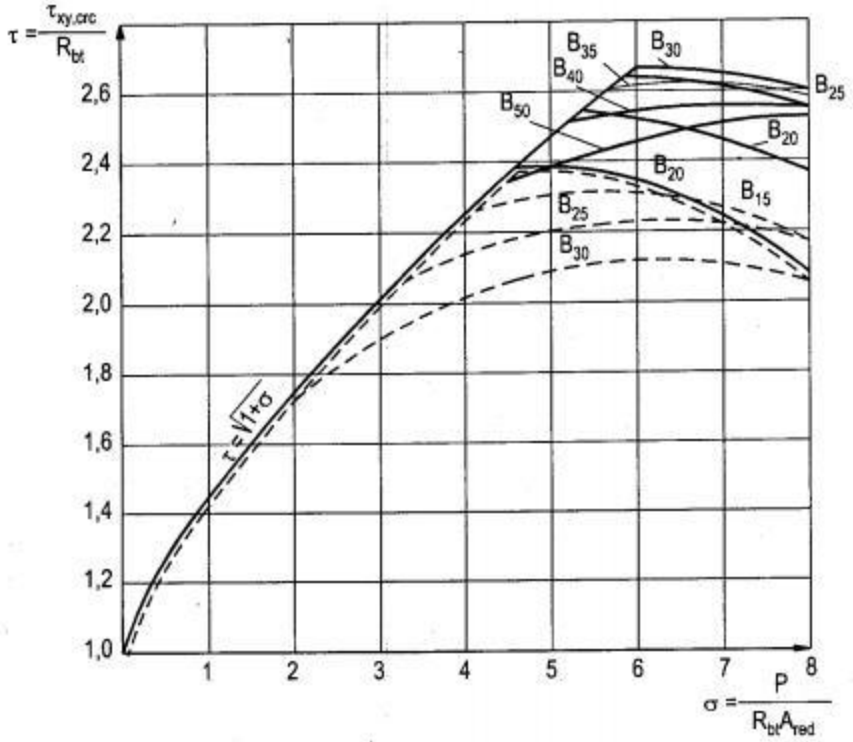
$\tau_{xy,crc}$ - ứng suất tiếp tại trọng tâm tiết diện quy đổi ứng với thời điểm hình thành vết nứt xiên; cho phép lấy giá trị $\tau_{xy,crc} = \tau\, R_{bt}$ xác định không kể đến ứng suất σ_y, nhờ biểu đồ trên hình 6.6.

Khi cấu kiện chịu tác dụng của lực tập trung hoặc tải trọng gián đoạn, giá trị c trong (6.28) được lấy bằng khoảng cách từ gối tựa đến điểm đầu của diện tích đặt tải trọng (hình 6.3).

Khi tính toán cấu kiện chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều, giá trị c được lấy bằng M_{b1} /Q_{crc} (Trong đó $Q_{b1} = Q_{crc}$), và cũng bằng chiều dài đoạn gần gối l_1, mà ở

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

đó không hình thành vết nứt thẳng góc (đồng thời nếu $l_1 > 2{,}5\ h_0$, thì $Q_{b1} = Q_{b,min}$). Trong cả hai trường hợp đều lấy $Q = Q_{max} - q_1 c$ (q_1 như phần trên của chương này).



Hình 6.6: *Biểu đồ quan hệ $\tau = f(\sigma)$*
—— đối với bêtông nặng; ----- đối với bêtông cốt liệu nhỏ và bêtông nhẹ

6.4. TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN NGHIÊNG CHỊU MÔMEN UỐN

Tính toán cấu kiện theo tiết diện nghiêng chịu mômen uốn (hình 6.7) được tiến hành theo điều kiện.:

$$M \le (R_s A_{sp} + R_s A_s) z_s + \Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} + \Sigma R_{sw} A_{s,inc} z_{s,inc} \qquad (6.31)$$

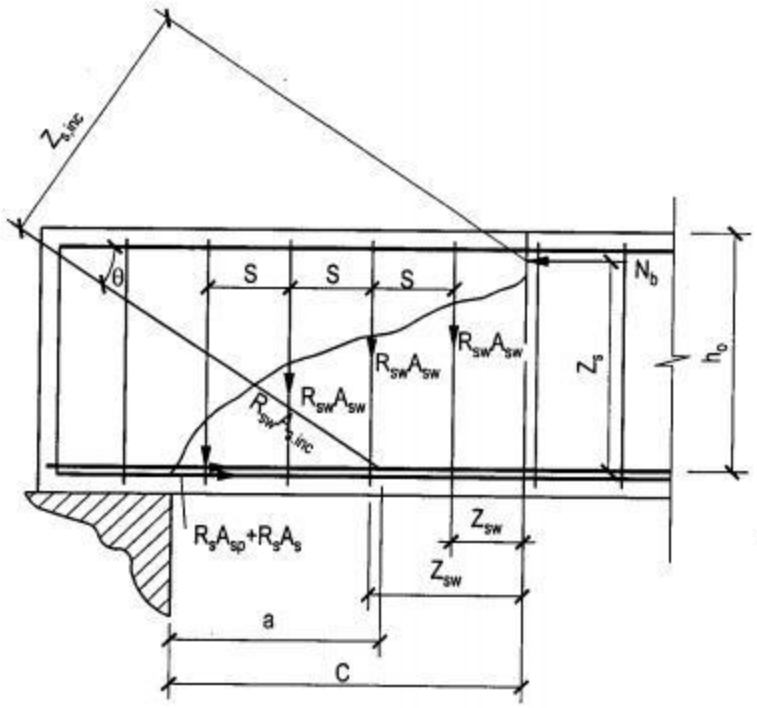
Trong đó :

M - mômen do ngoại lực đặt ở một phía của tiết diện đang xét đối với trục vuông góc với mặt phẳng tác dụng của mômen và đi qua điểm đặt của hợp lực trong vùng nén (hình 6.7);

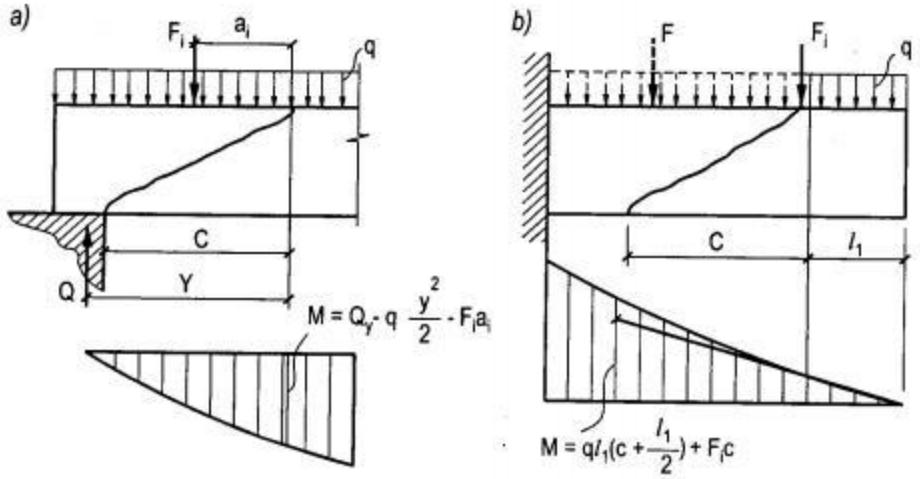
$\Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw}$, $\Sigma R_{sw} A_{s,inc} z_{s,inc}$ lần lượt là tổng mômen đối với trục này của các nội lực trong cốt thép đai và cốt thép xiên cắt qua vùng chịu kéo của tiết diện nghiêng;

z_s, z_{sw}, $z_{s,inc}$ - khoảng cách từ mặt phẳng của cốt dọc, cốt thép đai và cốt thép xiên đến trục nói trên.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 6.7: *Sơ đồ nội lực trên tiết diện nghiêng khi tính theo mômen uốn*



Hình 6.8: *Xác định giá trị mô men khi tính theo tiết diện nghiêng*
a – cho dầm tựa tự do; b – cho côngxon

Chiều cao vùng nén của tiết diện nghiêng được tính thẳng góc với trục dọc cấu kiện và được xác định từ điều kiện cân bằng hình chiếu nội lực trong bêtông vùng nén và trong cốt thép cắt qua vùng kéo của tiết diện nghiêng lên trục cấu kiện (chương 5), trong đó lấy $\gamma_{s6} = 1,0$. Trường hợp cấu kiện có cốt thép xiên, trong biểu thức tính toán giá trị x cần bổ sung thêm biểu thức $\Sigma R_s A_{s,inc}\cos\theta$ (ở đây θ là góc nghiêng của thanh xiên đối với trục dọc cấu kiện).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đại lượng z_s cho phép lấy bằng $h_0 - 0,5x$, nhưng không lớn hơn $h_0 - a'$, nếu giá trị của x được tính toán có xét đến cốt thép chịu nén.

Đại lượng $\Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw}$ khi cốt thép đai có bước không đổi được xác định theo công thức:

$$\Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} = 0,5 q_{sw} c^2 \quad (6.32)$$

Ở đây:

q_{sw} - khả năng chịu lực cắt của cốt thép đai (hay còn gọi là nội lực trong cốt thép đai) trên một đơn vị chiều dài cấu kiện trong khoảng tiết diện nghiêng (xem phần trên);

c - chiều dài hình chiếu tiết diện nghiêng lên trục dọc cấu kiện, bằng khoảng giữa các điểm đặt của hợp lực cân bằng trong cốt thép vùng kéo và vùng nén;

Đại lượng $z_{s,inc}$ cho mỗi mặt phẳng của thanh xiên được xác định theo công thức

$$z_{s,inc} = z_s \cos\theta + (c - a) \sin\theta \quad (6.33)$$

Trong đó :

a - khoảng cách từ điểm đầu của tiết diện nghiêng đến chỗ bắt đầu uốn trong vùng kéo (hình 6.7).

Tính toán tiết diện nghiêng chịu mômen uốn phải được thực hiện ở đầu gối tựa tự do và ở đầu tự do của côngxon khi cốt dọc không được neo, cũng như ở các vị trí cắt hoặc uốn cốt dọc ở trong nhịp.

Ngoài ra, tính toán tiết diện nghiêng chịu mômen được thực hiện tại các vị trí thay đổi đột ngột hình dạng cấu kiện (chỗ cắt giảm tiết diện, góc cấu kiện...).

Nếu tiết diện nghiêng cắt vào vùng kéo có cốt thép căng không có thiết bị neo trên chiều dài vùng truyền ứng suất hoặc cốt thép thường không có neo trên chiều dài đoạn neo, giá trị cường độ tính toán R_s của cốt thép được giảm đi bằng cách nhân nó với hệ số điều kiện làm việc γ_{s5}.

Tính toán tiết diện nghiêng chịu mômen uốn không cần thực hiện nếu đảm bảo điều kiện đối với cấu kiện không có cốt ngang.

- Dầm tựa tự do:

Đối với dầm tựa tự do, tiết diện nghiêng bất lợi nhất bắt đầu từ mép gối và có chiều dài hình chiếu c bằng:

$$c = \frac{Q - F_i - \Sigma R_s A_{s,inc} \sin\theta}{q_{sw} + q} \quad (6.34)$$

và không lớn hơn l_1 - chiều dài phần gần gối có $Q \geq Q_{crc}$ hoặc nếu trên đoạn đó có hình thành vết nứt thẳng góc có $Q \geq Q_{b1}$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức (6.34):

Q - lực cắt tại tiết diện gối;

F_i, q lần lượt là tải trọng tập trung và tải phân bố trong khoảng tiết diện nghiêng;

q_{sw} - khả năng chịu lực cắt của cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cấu kiện trong khoảng tiết diện nghiêng (xem phần trên);

θ - góc nghiêng của cốt thép xiên đối với trục dọc cấu kiện.

Nếu giá trị c được xác định đối với lực F_i nhỏ hơn khoảng cách từ gối đến lực F_i, còn xác định không xét đến lực F_i thì lại lớn hơn khoảng cách đó thì giá trị c cần được lấy bằng khoảng cách đến lực F_i.

Nếu trong khoảng chiều dài c mật độ cốt thép đai thay đổi, chuyển từ q_{sw1} ở đầu tiết diện nghiêng thành q_{sw2} thì giá trị c được xác định theo công thức (6.34) với $q_{sw} = q_{sw2}$ và tử số được giảm đi một lượng $(q_{sw2} - q_{sw1})l_1$, ở đây l_1 là chiều dài đoạn c có mật độ cốt thép đai q_{sw1}.

Đối với dầm chịu tải phân bố đều q, có mật độ cốt thép đai không đổi và không có cốt thép xiên điều kiện (6.31) có thể thay thế bằng điều kiện

$$Q \le \sqrt{2\left(R_s A_{sp} + R_s A_s\right) Z_s - M_0 \left(q_{sw} + q\right)} \tag{6.35}$$

Ở đây:

M_0 - mômen tại tiết diện gối;

Q - lực cắt tại tiết diện gối.

- ***Dầm côngxon:***

Đối với dầm côngxon có tiết diện không đổi chịu lực tập trung, tiết diện nghiêng bất lợi nhất bắt đầu từ vị trí đặt lực tập trung gần đầu tự do và có chiều dài hình chiếu c được lấy bằng:

$$c = \frac{Q_1 - \Sigma R_{sw} A_{s,inc} \sin\theta}{q_{sw}} \tag{6.36}$$

nhưng không lớn hơn khoảng cách từ điểm đầu tiết diện nghiêng đến gối; Q_1 là lực cắt tại vị trí bắt đầu tiết diện nghiêng.

Đối với dầm côngxon chịu lực phân bố đều q, tiết diện nghiêng bất lợi nhất kết thúc ở tiết diện gối và có chiều dài hình chiếu c được lấy bằng:

$$c = \frac{\left(R_s A_{sp}/l_p + R_s A_s/l_{an}\right) z_s}{q_{sw} + q} \tag{6.37}$$

Ở đây, nếu $c < (l - l_{an})$ hoặc $c < (l - l_p)$ thì trong công thức (6.37) lấy tương ứng $R_s A_s = 0$ hoặc $R_s A_{sp} = 0$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức (6.37):

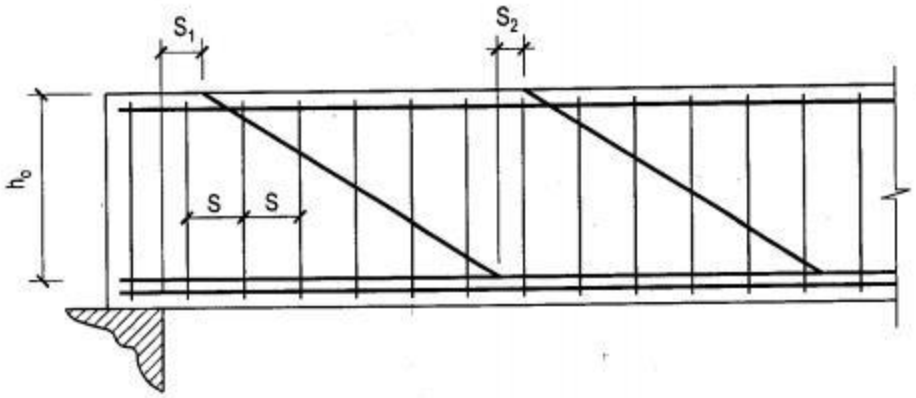
A_{sp} , A : diện tích tiết diện cốt thép kéo dài đến đầu tự do;

l_p , l_{an} lần lượt là chiều dài đoạn truyền ứng suất và đoạn neo;

z_s được xác định đối với tiết diện tại gối.

Để đảm bảo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của mômen uốn thì điểm uốn của cốt thép xiên trong vùng kéo cần phải cách tiết diện thẳng góc mà tại đó thanh bị uốn được sử dụng chịu mômen không nhỏ hơn $h_0/2$, còn điểm cuối của cốt thép xiên cần được đặt gần tiết diện thẳng góc mà tại đó cốt thép xiên không yêu cầu theo tính toán.

6.5. KHOẢNG CÁCH LỚN NHẤT CỦA CỐT NGANG



Hình 6.9: *Khoảng cách giữa các cốt thép đai và cốt thép xiên*

Cấu tạo cốt thép đai và cốt thép xiên trong kết cấu bêtông ứng suất trước phải tuân thủ theo các chỉ dẫn của TCXDVN 356 : 2005 (Chương 1). Ngoài ra, đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn (hình 6.1), khoảng cách giữa các cốt thép đai s, giữa gối tựa và đầu của thanh xiên gần gối tựa nhất s_1, cũng như giữa đầu cuối của thanh xiên trước với đầu của thanh tiếp theo s_2 không được lớn hơn đại lượng:

$$s_{max} = \frac{\varphi_{b4}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{Q} \qquad (6.38)$$

Trong đó:

φ_n - hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt ứng suất trước ở vùng kéo, được xác định theo công thức (6.6);

φ_{b4} lấy theo bảng 6.1.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

6.6. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

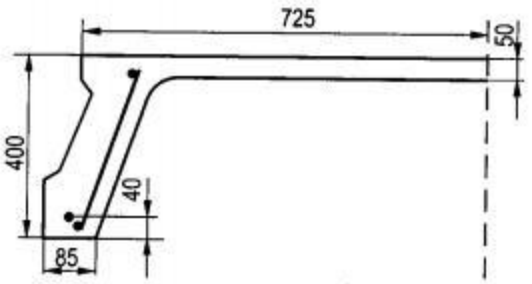
VÍ DỤ 10:

Số liệu:

Tấm bêtông ứng suất trước có tiết diện ngang như được thể hiện trên hình 6.10; bêtông B25 có R_b = 13 MPa, R_{bt} = 0,95 MPa với γ_{b2} = 0,9, $E_b = 27.10^3$ MPa; sườn của tấm có bố trí cốt thép đai loại Bp – I, đường kính 5mm, A_{sw} = 19,6 mm^2, R_{sw} = 260 MPa, $E_s = 17.10^4$ MPa, khoảng cách s = 150 mm; nội lực nén do cốt thép căng P = 130kN; tải trọng tạm thời ν = 19 kN/m, trọng lượng tấm và hoàn thiện g = 4 kN/m, lực cắt tại gối Q_{max} = 62 kN.

Yêu cầu:

Kiểm tra tiết diện nghiêng theo cường độ chịu nén của các dải bêtông giữa các vết nứt xiên và cường độ chịu lực cắt của sườn.



Hình 6.10: *Mặt cắt ngang của tấm BTUST cho ví dụ 10*

Tính toán:

Chiều cao làm việc của sườn: $h_0 = 400 - 40 = 360$mm.

a) Kiểm tra cường độ chịu nén của các dải bêtông giữa các vết nứt xiên của sườn:

Xác định φ_{w1} và φ_{b1}:

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} = \frac{19,6}{85 \cdot 150} = 0,00154 ;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{17.10^4}{27.10^3} = 6,3 ;$$

từ đó, ta có:

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w = 1 + 5 \cdot 6,3 . 0,00154 = 1,0485 < 1,3;$$

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta R_b = 1 - 0,01 . 13 = 0,87.$$

$$0,3\ \varphi_{w1}\ \varphi_{b1}\ R_b\ b\ h_0 = 0,3 . 1,0485 . 0,87 . 13 . 85 \cdot 360 =$$

$$= 108700N = 108,7kN > Q_{max} = 62kN$$

⇒ cường độ chịu nén của các dải bêtông giữa các vết nứt xiên của sườn đảm bảo.

b) Kiểm tra cường độ chịu lực cắt:

Xác định các đại lượng M và q_{sw}:

φ_{b1} = 2 (theo bảng 6.1).

$b'_f - b = 725 - 85 = 640$ mm > $3h'_f = 3 . 50 = 150$ mm ⇒ $b'_f - b = 150$ mm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\varphi_f = \frac{0,75(b'_f - b)h'_f}{bh_0} = \frac{0,75.150.50}{85360} = 0,184 < 0,5;$$

$$\varphi_n = 0,1\frac{P}{R_{bt}bh_0} = 0,1\frac{130000}{0,95.85.360} = 0,447 < 0,5.$$

$1 + \varphi_f + \varphi_n = 1 + 0,184 + 0,447 > 1,5 \Rightarrow$ ta lấy $1 + \varphi_f + \varphi_n = 1,5$;

$M_b = \varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 = 2.1,5.0,95.85.360^2 = 31,3 \times 10^6$ Nmm

$= 31,3$kNm;

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} = \frac{260.19,6}{150} = 34 \text{ N/mm}.$$

Kiểm tra cường độ chịu lực cắt theo điều kiện (6.13):

$Q_{b,\,min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0 = 0,6.1,5.0,95.85.360 = 26163$N, (ở đây $\varphi_{b3} = 0,6$, theo bảng 6.1);

$$\frac{Q_{b,min}}{2h_0} = \frac{26163}{2 \cdot 360} = 36,3 \text{ N/mm} > q_{sw} = 34 \text{ N/mm}$$

$\Rightarrow$ cường độ chịu lực cắt theo điều kiện (6.16) không đảm bảo.

Trong trường hợp này phải điều chỉnh giá trị M_b :

$$M_b = 2h_0^2 q_{sw} \varphi_{b2}/\varphi_{b3} = 2.360^2.34\frac{2}{0,6} = 29,38.10^6 \text{ Nmm} = 29,4\text{kNm};$$

$c_0 = 2h_0 = 2.360 = 720$ mm.

Xác định hình chiếu của tiết diện phá hoại nghiêng:

$q_1 = g + v/2 = 4 + 19/2 = 13,5$ kN/m (N/mm).

$0,56\,qsw = 0,56.34 = 19$ N/mm $> q_1 = 13,5$ N/mm

$$\Rightarrow c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} = \sqrt{\frac{29,38}{13,5}} = 1,475 \text{ m}.$$

$$\frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}h_0 = \frac{2}{0,6}0,36 = 1,2 \text{ m} < c = 1,475 \text{ m} \Rightarrow c = 1,2\text{m}$$

và $Q_b = Q_{b,min} = 26,16$kN.

Kiểm tra khả năng chịu lực cắt tại vị trí cuối vết nứt xiên:

$Q = Q_{max} - q_1 c = 62 - 13,31,2 = 45,8$ kN;

$Q_b + q_{sw} c_0 = 26,46 + 34.0,72 = 50,6$ kN $> Q = 45,8$ kN

$\Rightarrow$ cường độ chịu lực cắt đảm bảo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Kiểm tra khoảng cách cốt thép đai theo S_{max}:

$$s = 150 \text{ mm} < s_{max} = \frac{\varphi_{b4}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{Q_{max}} =$$

$$= \frac{1,5(1+0,447)0,95.85.360^2}{62000} = 366 \text{ mm};$$

Kiểm tra khoảng cách cốt thép đai theo yêu cầu về cấu tạo:

$$s = 150\text{mm} < h/2 = 400/2 = 200 \text{ mm}.$$

Khoảng cách cốt thép đai s = 150mm đảm bảo yêu cầu theo quy định của TCXDVN 356 : 2005.

VÍ DỤ 11:

Số liệu:

Dầm bêtông ứng suất trước có nhịp l = 8,3m ; tải trọng phân bố đều: tạm thời ν = 114 kN/m, tĩnh tải g = 46 kN/m; kích thước tiết diện: b = 300mm, h = 800mm, h_0 = 700mm; bêtông nặng cấp B30 (R_b = 15,5MPa, R_{bt} = 1,1MPa khi γ_{b2} = 0,9); cốt thép đai hàn loại A-III (R_{sw} = 290 MPa); lực nén trước P = 1600kN.

Yêu cầu:

Xác định đường kính và bước đai tại gối và đoạn cần tăng cường đai kể từ gối.

Tính toán:

Lực cắt lớn nhất tại gối:

$$Q_{max} = \frac{ql}{2} = \frac{160.8,3}{2} = 664 \text{ kN},$$

Ở đây: $q = \nu + g = 114 + 46 = 160$kN/m.

Xác định cốt thép đai :

$$\varphi_n = 0,1\ \frac{P}{R_{bt}bh_0} = 0,1\frac{160.10^3}{1,1.300.700} = 0,693 > 0,5 \Rightarrow\ \varphi_n = 0,5.$$

$\varphi_f = 0$ và $\varphi_{b2} = 2 \Rightarrow$

$M_b = \varphi_{b2}(1+\varphi_n) R_{bt}\, b\, h_0^2 = 2.1,5.1,1.300.700^2 = 485.10^6$ Nmm = 485 kNm;

$q_1 = g + \nu/2 = 46 + 114/2 = 103$ kN/m;

$Q_{b1} = 2\sqrt{M_b q_1} = 2\sqrt{485.103} = 447$kN.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\frac{Q_{b1}}{0,6} = \frac{447}{0,6} = 745 \text{ kN} > Q_{max} = 664 \text{ kN} \Rightarrow \text{cốt thép đai được xác định:}$$

$$q_{sw} = \frac{Q_{max}^2 - Q_{b1}^2}{4M_b} = \frac{\left(664^2 - 447^2\right).10^6}{4.485.10^6} = 124,3 \text{ N/mm.}$$

$$\frac{Q_{max} - Q_{b1}}{2h_0} = \frac{(664 - 447)10^3}{2.700} = 155 > q_{sw} = 124,3 \text{ N/mm,}$$

Do vậy, có thể chọn $q_{sw} = 155$ N/mm.

Theo quy định về cấu tạo (TCXDVN 356 : 2005), thì khoảng cách đai tại gối không lớn hơn 1/3h = 800/3 = 267 mm hoặc 500mm, tại giữa nhịp - không lớn hơn 3/4h = 600 mm hoặc 500mm.

Theo chỉ dẫn ở phần trên thì:

$$s_{max} = \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_o^2}{Q_{max}} = \frac{1,5.1,5.1,1.300.700^2}{664.10^3} = 548 \text{ mm.}$$

Lựa chọn khoảng cách cốt thép đai tại gối $s_1 = 250$ mm, tại giữa nhịp $s_2 = 2s_1 = 500$ mm.

Diện tích thanh cốt thép đai :

$$A_{sw} = q_{sw}\, s / R_{sw} = 155.250/290 = 134 \text{ mm}^2.$$

Lựa chọn thanh $\phi 10$ có $A_{sw} = 157$ mm^2.

Như vậy : $q_{sw1} = \frac{R_{sw}A_{sw1}}{s_1} = \frac{290.157}{250} = 182$ N/mm ;

$q_{sw2} = 0,5q_{sw1} = 91$ N/mm.

Độ dài đoạn tăng cường cốt thép đai:

$q_{sw1} - q_{sw2} = 182 - 91 = 91$ N/mm $< q_1 = 103$ N/mm, giá trị c được tính:

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1 - (q_{sw1} - q_{sw2})}} = \sqrt{\frac{485}{103 - 91}} = 6,36 \text{ m} > \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}h_0 = \frac{2}{0,6}0,7 = 2,33\text{m.}$$

Chấp nhận c = 2,33 m.

Với $q_{sw} = q_{sw1} = 182$ N/m, tính c_{01}:

$$c_{01} = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw1}}} = \sqrt{\frac{485}{182}} = 1,632 \text{ m.}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ đó ta có:

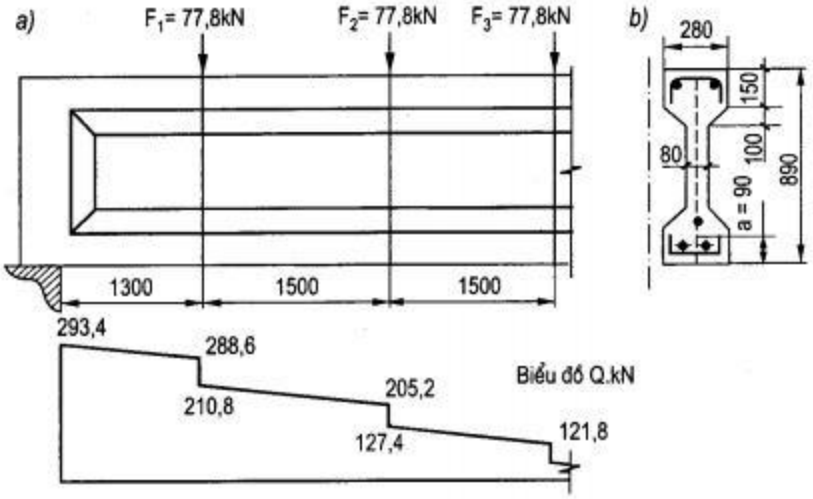
$$l_1 = c - \frac{M_b / c + q_{sw1} c_{01} - Q_{max} + q_1 c}{q_{sw1} - q_{sw2}}$$

$$= 2,33 - \frac{485/2,33 + 182.1,63 - 664 + 103.2,33}{91}$$

$$= 1,45 \text{ m} < \frac{l}{4} = \frac{8,3}{4} = 2,08 \text{ m}.$$

Như vậy, đoạn tăng cường cốt thép đai kể từ gối với s = 250 mm là 2,08 m.

VÍ DỤ 12:



Hình 6.11: *Dầm BTƯST cho ví dụ 12*

Số liệu:

Dầm mái bêtông ứng suất trước: tải trọng tập trung như trên hình 6.11a; tiết diện ngang của dầm được thể hiện trên hình 6.11b; bêtông cấp B50 (R_{bt} = 1,4 MPa với γ_{b2} = 0,9); cốt thép đai sử dụng loại A-III (R_{sw} = 285 MPa); lực nén trước P = 640kN.

Yêu cầu:

Xác định đường kính và khoảng cách cốt thép đai và độ dài đoạn cần tăng cường cốt thép đai .

Tính toán:

Xác định đại lượng M_b :

φ_{b2} = 2 (theo bảng 29); h'_f = 150 + 100/2 = 200mm (hình 6.11b);

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$b'_f - b = 280 - 80 = 200 \text{ mm} < 3h'_f;\ h_0 = 890 - 90 = 800 \text{ mm};$$

$$\varphi_f = \frac{0,75(b'_f - b)h'_f}{bh_0} = \frac{0,75 \cdot 200 \cdot 200}{80 \cdot 800} = 0,469 < 0,5;$$

$$\varphi_n = 0,1\frac{P}{R_{bt}bh_0} = 0,1\frac{640000}{1,4 \cdot 80 \cdot 800} = 0,714 > 0,5.$$

Lựa chọn $\varphi_n = 0,5$.

Do $(1 + \varphi_f + \varphi_n) > 1,5$ nên chọn $(1 + \varphi_f + \varphi_n) = 1,5$

$$M_b = \varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 = 2.1,5.1,4.80.800^2 =$$

$$= 215.10^6 \text{ Nmm} = 215\text{kNm}.$$

Tính toán cốt thép đai :

Chọn độ dài hình chiếu mặt cắt nghiêng c bằng khoảng cách từ gối đến tải trọng đầu tiên $c_1 = 1,3$m. Tải trọng tập trung có giá trị $Q_1 = 288,6$ kN (hình 6.11).

Theo công thức (6.6) ta có :

$$Q_{b1} = \frac{M_b}{c_1} = \frac{215}{1,3} = 164,5 \text{ kN} > Q_{b,min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0 =$$

$$= 0,6.1,5.1,4.80.800 = 80,64 \text{ kN}.$$

Từ đó ta có :

$$x_1 = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{Q_{b1}} = \frac{288,6 - 165,4}{165,4} = 0,75.$$

Vì $c_1 = 1,3 \text{ m} < 2h_0 = 2.0,8 = 1,6$ m nên lấy $c_0 = c_1 = 1,3$ m;

$$x_{01} = \frac{Q_{b,min}}{Q_{b1}} \cdot \frac{c_0}{2h_0} = \frac{80,64}{165,4} \cdot \frac{1,3}{2 \cdot 0,8} = 0,396 .$$

Vì $x_{01} = 0,396 < x_1 = 0,75 < \frac{c_1}{c_0} = 1$ nên giá trị $q_{sw(1)}$ được xác định :

$$q_{sw(1)} = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{c_0} = \frac{288,6 - 165,4}{1,3} = 94,8 \text{ kN/m}.$$

Xác định $q_{sw(2)}$ với giá trị c bằng khoảng cách từ gối đến tải trọng thứ hai $c_2 = 2,8$ m:

$$Q_{b2} = \frac{M_b}{c_2} = \frac{215}{2,8} = 76,8 \text{ kN} < Q_{b,min} = 80,64 \text{ kN}.$$

Lựa chọn $Q_{b2} = 80,64$ kN.

Tải trọng tập trung thứ hai có giá trị $Q_2 = 205,2$ kN.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Vì $c_2 = 2,8$ m $> 2h_0 = 1,6$ m nên lấy $c_0 = 2h_0 = 1,6$ m;

$$x_2 = \frac{Q_2 - Q_{b2}}{Q_{b2}} = \frac{205,2 - 80,64}{80,64} = 1,54 > x_{02} = \frac{Q_{b,min}}{Q_{b2}} \cdot \frac{c_0}{2h_0} = \frac{80,64}{80,64} \cdot \frac{1,6}{1,6} = 1;$$

$$x_2 < \frac{c_2}{c_0} = \frac{2,8}{1,6} = 1,75.$$

Giá trị $q_{sw(2)}$ được tính như sau :

$$q_{sw(2)} = \frac{Q_2 - Q_{b2}}{c_0} = \frac{205,2 - 80,64}{1,6} = 77,85 \text{ kN/m}.$$

Lựa chọn giá trị lớn nhất của $q_{sw}^{\cdot} = q_{sw(1)} = 94,8$ kN/m.

Khoảng cách đai lớn nhất theo quy định về cấu tạo: tại gối không vượt quá 1/3h = 890/3 = 297 mm hoặc 500 mm, trong nhịp - không lớn hơn 3/4h = 3/4.890 = 667mm hoặc 500 mm. Khoảng cách đai lớn nhất tính toán theo công thức (6.38):

$$s_{max} = \varphi_{b4} (1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 / Q_{max} = 1,5.1,5.1,4 \cdot 80.800^2 / 294,6.10^3 = 547 \text{ mm}.$$

Chọn : khoảng cách đai tại gối $s_1 = 150$ mm, còn trong nhịp $s_2 = 2s_1 = 300$ mm.

$$A_{sw1} = \frac{q_{sw} s_1}{R_{sw}} = \frac{94,8.150}{285} = 50 \text{ mm}^2.$$

Chọn đai một nhánh đường kính 8mm ($A_{sw} = 50,3$ mm^2).

Độ dài đoạn có bước s_1 được xác định theo điều kiện đảm bảo cường độ :

Với: $$q_{sw1} = \frac{R_{sw} A_{sw1}}{s_1} = \frac{285.50,3}{150} = 95,6 \text{ N/mm};$$

$$q_{sw2} = 0,5\, q_{sw1} = 47,8 \text{ N/mm};$$

$$q_{sw1} - q_{sw2} = q_{sw2} = 47,8 \text{ N/mm}.$$

Chọn độ dài đoạn có bố trí cốt thép đai bước $s_1 = 150$ mm bằng khoảng cách từ gối tựa đến tải trọng thứ hai $l_1 = 2,8$ m và kiểm tra điều kiện (6.13) với giá trị c bằng khoảng cách từ gối tựa đến tải trọng thứ ba: $c = 4,3$ m $> l_1$.

Giá trị c_{01} được xác định theo công thức (6.12) với $q_{sw} = q_{sw1} = 95,6$ kN/m :

$$c_{01} = \sqrt{\frac{M_b}{q_{sw1}}} = \sqrt{\frac{215}{95,6}} = 1,5 \text{ m} < 2h_0 = 1,6 \text{ m}.$$

Như vậy ta có $c_{01} = 1,5$ m $= c - l_1 = 4,3 - 2,8 = 1,5$ m , đại lương $q_{sw}c_0$ được thay bằng $q_{sw2}(c - l_1) = 47,6.1,5 = 71,4$ kN.

$$Q_b = M_b/c = \frac{215}{4,3} = 50 \text{ KN} < Q_{b,min} = 80,64 \text{ kN}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chấp nhận $Q_b = Q_{b,min} = 80,64$ kN.

Tương ứng với lực cắt $Q_3 = 121,8$ kN (hình 6.23a).

$$Q_b + q_{sw}c_0 = 80,64 + 71,4 = 152,04 \text{ kN} > Q_3 = 121,8 \text{ kN}.$$

Từ đây có thể kết luận cường độ chịu lực theo tiết diện nghiêng của cấu kiện đảm bảo.

Như vậy, chiều dài đoạn cần bố trí cốt thép đai với bước $s_1 = 150$ mm được lựa chọn là $l_1 = 2,8$ m.

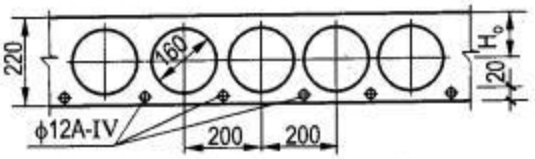
VÍ DỤ 13:

Số liệu:

Tấm sàn có lỗ rỗng nhịp l = 5,85 m tiết diện ngang cho trên hình 6.12; bêtông nặng cấp B25 ($R_{bt} = 0,95$ MPa có kể đến $\gamma_{b2} = 0,9$, $E_b = 27.10^3$ MPa); lực nén do các thanh căng trước P = 69,2 kN; các đặc trưng của tiết diện quy đổi b = 0,2 m: diện tích tiết diện $A_{red} = 24,7.10^3$ mm^2, mômen quán tính $I_{red} = 183,3.10^6$ mm^4, khoảng cách từ trọng tâm đến biên chịu kéo $y_0 = 107$ mm; tải trọng tạm thời $\nu = 12$kN/m^2; tải trọng cố định g = 6 kN/m^2.

Yêu cầu:

Kiểm tra yêu cầu đặt cốt thép đai trong tấm.



Hình 6.12: *Tấm sàn cho ví dụ 16*

Tính toán:

Kiểm tra điều kiện về cường cường độ theo mục 6.3.4:

$$h_0 = 220 - 20 = 200 \text{ mm}.$$

Tính toán được thực hiện đối với bề rộng tiết diện tấm nằm giữa hai lỗ tức là $b'_f = 200$ mm, b = 40 mm.

Khi đó: $q = (6 + 12)0,2 = 3,6$ kN/m = 3,6 N/mm;

$q_1 = (6 + 12/2)0,2 = 2,4$ kN/m = 2,4 N/mm.

Lực cắt trên tiết diện ở gối là $Q_{max} = \frac{ql}{2} = \frac{3,6.5,85}{2} = 10,52$ kN.

Kiểm tra điều kiện (6.61):

$$2,5R_{bt}\, b\, h_0 = 2,5.0,95.40.200 = 19\,000 \text{ N} > Q_{max} = 10,52 \text{ kN},$$

Như vậy điều kiện (6.27) đảm bảo.

Kiểm tra điều kiện (6.26), khi lấy giá trị c bằng M_{b1}/Q_{crc} và chiều dài đoạn l_1 không có vết nứt thẳng góc. Xác định giá trị M_{b1} và Q_{crc}, lấy:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\varphi_n = 0,1\frac{P}{R_{bt}bh_0} = 0,1\frac{69200}{0,95.40.200} = 0,63 > 0,5,$$

Do đó $\varphi_n = 0,5$ và $\varphi_{b4} = 1,5$ (bảng 6.1).

$M_{b1} = \varphi_{b4}(1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 = 1;5(1 + 0,5)0,95.40.200^2 = 3,42.10^6$ Nmm.

Mômen tĩnh của phần tiết diện nằm cao hơn trục đi qua trọng tâm S_{red} lấy bằng:

$$S_{red} = \frac{b(h - y_0)^2}{2} - \frac{D^3}{12} = \frac{200(220 - 107)^2}{2} - \frac{160^3}{12} = 936.10^3 \text{ mm}^3,$$

Trong đó D = 160 mm (hình 6.12).

Từ biểu đồ trên hình 6.6:

Khi $$\sigma = \frac{P}{R_{bt}A_{red}} = \frac{69,2.10^3}{0,95.24,7.10^3} = 2,95$$

ta tìm được $\tau = 1,99$, do vậy : $\tau_{xy,crc} = \tau R_{bt} = 1,99.0,95 = 1,89$ MPa .

Khi đó $$Q_{crc} = \frac{\tau_{xy,crc} b I_{red}}{S_{red}} = \frac{1,89.40.183,3.10^6}{936.10^3} = 14,8.10^3 \text{ N}.$$

Do $Q_{max} = 10,52$ kN < $Q_{crc} = 14,8$ kN, cường độ theo tiết diện nghiêng có chiều dài hình chiếu $c = M_{b1}/Q_{crc}$ đảm bảo.

Xác định chiều dài đoạn l_1 không có vết nứt thẳng góc, tức là khoảng cách từ gối tựa đến tiết diện thẳng góc tại đó có:

$$M = \frac{ql}{2}l_1 - \frac{ql_1^2}{2} = M_{crc}.$$

Xác định mômen M_{crc} theo chỉ dẫn trong Chương 9, sau khi lấy đơn giản hóa có $W_{pl} = 1,5\ W_{red}$ và $\varphi = 0,8$:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_0} = \frac{183,3.10^6}{107} = 1,72.10^6 \text{ mm}^3;$$

$$W_{pl} = 1,5.1,72.10^6 = 2,58.10^6 \text{ mm}^3;$$

$$r = \varphi\frac{W_{red}}{A_{red}} = 0,8\frac{1720.10^3}{24,7.10^3} = 55,7 \text{ mm};$$

$$e_0 = y_0 - a = 107 - 20 = 87 \text{ mm};$$

$M_{crc} = P(e_0 + r) + R_{bt} W_{pl} = 69,2.10^3 (87 + 55,7) + 0,95.2580.10^3 = 12,33.10^3$ Nmm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ phương trình bậc hai ở trên ta tìm được c = l_1 :

$$l_1 = \frac{1}{2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 - \frac{2M_{crc}}{q}} = \frac{5,85}{2} - \sqrt{\left(\frac{5,85}{2}\right)^2 - \frac{2 \cdot 12,33}{3,6}} =$$

$$= 1,622 \text{ m} > 2,5\ h_0 = 2,5.0,2 = 0,5\text{m}.$$

Từ đó, $Q_{b1} = Q_{b,min} = \varphi_{b3}\ (1 + \varphi_n)\ R_{bt}\ b\ h_0 = 0,6.1,5.0,95.40.200 = 6840$ N.

Lực cắt ở cuối tiết diện nghiêng bằng:

$$Q = Q_{max} - q_1 c = 20,32 - 2,4.1,622 = 6,41 \text{ kN} < Q_{b1} = 6,84 \text{ kN},$$

Điều kiện (6.26) đảm bảo. Do đó cốt thép đai trong tấm không cần theo tính toán.

VÍ DỤ 14:

Số liệu:

Số liệu cho trong ví dụ 10.

Yêu cầu:

Kiểm tra cường độ theo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của mômen uốn, cốt dọc chịu kéo ở sườn tấm là 1 thanh cốt thép căng loại A-V, đường kính 22 mm (R_s = 680 MPa, A_{sp} = 380 mm^2) và một thanh không ứng suất trước loại Bp-I, có đường kính 5 mm (R_s = 360 MPa, A_s = 19,6 mm^2); cả hai thanh không có neo; cường độ truyền ứng suất của bêtông R_{bp} = 15 MPa; thanh căng có kể đến tổn hao do chùng ứng suất và do biến dạng của đệm neo σ_{sp1} = 660 MPa (các tổn hao do chênh lệch nhiệt độ, ma sát và do biến dạng hình dáng lấy bằng không); chiều dài tựa l_{sup} = 150mm; các đặc trưng của tiết diện quy đổi: diện tích A_{red} = 68 800 mm^2, mômen quán tính $I_{red} = 1125.10^6$ mm^4, khoảng cách từ trọng tâm đến biên chịu kéo y_0 = 275 mm.

Tính toán:

Do cốt thép không có neo nên cường độ tính toán của cốt thép R_s được xác định có kể đến hệ số điều kiện làm việc γ_{b5}. Chỗ bắt đầu tiết diện nghiêng được lấy ở mép gối tựa. Do đó, $l_x = l_{sup}$ = 150 mm. Đối với thanh cốt thép căng chiều dài truyền ứng suất l_p được xác định theo công thức (1.13) . Từ bảng 1.1 có ω_p = 0,25, λ_p = 10. Do R_s = 680 MPa > σ_{sp1} = 660 MPa, lấy $\sigma_{tp} = R_s$ = 680 MPa.

$$l_p = \left(\omega_p \frac{\sigma_{tp}}{R_{bp}} + \lambda_p\right) d = \left(0,25 \frac{680}{15} + 10\right) 22 = 469 \text{ mm} > 15d = 15.22 = 330 \text{ mm}.$$

Lấy l_p = 469 mm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ đó đối với thanh cốt thép căng:

$$\gamma_{s5} = \frac{l_x}{l_p} = \frac{150}{469} = 0{,}32 \text{ và } R_s = 680\gamma_{s5} = 680 \cdot 0{,}32 = 218 \text{ MPa}.$$

Đối với thanh không căng chiều dài neo được xác định theoTCXDVN 356 : 2005. Do thanh bị nén dưới tác dụng của phản lực gối tựa, lấy $\omega_{an} = 0{,}5$; $\Delta\lambda_{an} = 8$;

$$l_{an} = \left(\omega_{an}\frac{R_s}{R_b} + \Delta\lambda_{an}\right)d = \left(0{,}5\frac{360}{14{,}5} + 8\right)5 = 102 \text{ mm} < 200 \text{ mm}.$$

Chọn $l_{an} = 200$ mm.

Khi đó: $$\gamma_{s5} = \frac{l_x}{l_{an}} = \frac{150-10}{200} = 0{,}7\ ;$$

$$R_s = 360\ \gamma_{s5} = 360.0{,}7 = 252 \text{ MPa}\ .$$

Chiều cao vùng nén x được xác định như đối với tiết diện chữ nhật theo công thức (5.11), lấy $\gamma_{s6} = 1$, $b = b'_f = 725$ mm, $A'_{sp} = 0$ và $A'_s = 0$:

$$x = \frac{R_sA_{sp} + R_sA_s}{R_bb} = \frac{218.380 + 252.19{,}6}{13.725} = 9{,}3 \text{ mm} < h'_f = 50 \text{ mm}.$$

Khi đó $z = h_0 - 0{,}5x = 360 - 0{,}5.9{,}3 = 355{,}2$ mm. Từ ví dụ 10 ta có $q_{sw} = 34$ N/mm.

Xác định chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng bất lợi nhất theo công thức (6.32), lấy $F_i = 0$, $A_{s,inc} = 0$, $q = v + g = 19 + 4 = 23$ N/mm = 23 kN/m:

$$c = \frac{Q}{q_{sw} + q} = \frac{62000}{34 + 23} = 1088 \text{ mm}.$$

Xác định chiều dài đoạn gần gối tựa l_1, Trong đó có $Q \geq Q_{crc}$, tức là từ phương trình $Q = Q_{max} - q_1l_1 = Q_{crc}$.

Tính được giá trị Q_{crc} theo điều 6.2.27. Từ biểu đồ trên hình 6.6 với

$$\sigma = \frac{P}{R_{bt}A_{red}} = \frac{13000}{0{,}75.68800} = 1{,}99$$

Ta tìm được $\tau = 1{,}73$, tức là $\tau_{xy,crc} = R_{bt}\ \tau = 0{,}95.1{,}73 = 1{,}64$ MPa. Mômen tĩnh S_{red} lấy bằng:

$$S_{red} = b\ (h - y_0)^2 / 2 + (b'_f - b)h'_f(h - y_0 - h'_f/2) = 85(400 - 275)^2/2 +$$
$$+ (725 - 85)50(400 - 275 - 50/2) = 38\ 640.10^3 \text{ mm}^3.$$

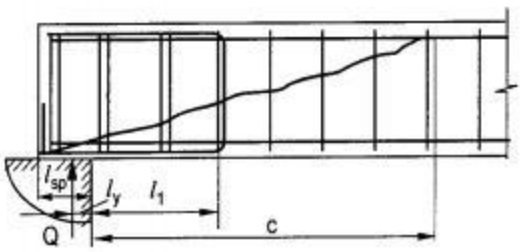
Khi đó $$Q_{crc} = \frac{\tau_{xy,crc}bI_{red}}{S_{red}} = \frac{1{,}64.85.1125.10^6}{38{,}64.10^6} = 40{,}7.10^3 \text{ N}\ ;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$l_1 = \frac{Q_{max} - Q_{crc}}{q_1} = \frac{62 - 40,7}{13,5} = 1,58 \text{ m.}$$

Do c = 1,088 m < l_1 = 1,58 m, giá trị c không cần điều chỉnh lại.

Mômen ngoại lực đối với trục đi qua điểm đặt hợp lực cân bằng trong vùng nén trong trường hợp này được lấy bằng mômen uốn tại tiết diện thẳng góc đi qua trục nói trên, tức là cách một khoảng (l_y + c) từ điểm đặt của phản lực gối tựa, Trong đó $l_y = l_{sup} / 3$ = 50 mm - khoảng cách từ điểm này đến đầu cuối của chi tiết đặt sẵn (hình 6.13):



Hình 6.13: *Dầm BTƯST cho ví dụ 14*

$$M = Q\left(l_y + c\right) - \frac{q\left(l_y + c\right)^2}{2} = 62(1,088 + 0,05) - \frac{23(1,088 + 0,05)^2}{2} = 55,6 \text{ kN.m.}$$

Kiểm tra cường độ theo điều kiện (6.31), có kể đến công thức (6.32):

$(R_s A_{sp} + R_s A_s)z_s + 0,5\ q_{sw}\ c^2 = (218.380 + 252.19,6)\ 355,2 + 0,5.34.1088^2 =$

$= 31,2.10^6 + 20,1.10^6 = 51,3.10^6$ Nmm = 51,3 kNm < M = 55,6 kNm,

Tức là cường độ theo tiết diện nghiêng chịu mômen không đảm bảo.

Bổ sung thêm lưới thép trên đoạn gần gối tựa với chiều dài l_1 = 300 mm làm bằng các thanh cốt thép đai có cùng đường kính và bước như trong khung thép chính và lần nữa kiểm tra cường độ của tiết diện. Theo mục 6.4, ta có:

$q_{sw2} = q_{sw}$ = 34 N/mm; $q_{sw1} - q_{sw2} = q_{sw}$ = 34 N/mm ;

$$c = \frac{Q - (q_{sw1} - q_{sw2})l_1}{q_{sw2} + q} = \frac{62000 - 34 \cdot 300}{34 + 23} = 909 \text{ mm ;}$$

$l_y + c = 50 + 909 = 959$ mm;

$$M = 62.0,959 - \frac{23 \cdot 0,959^2}{2} = 48,9 \text{ kNm.}$$

Kiểm tra điều kiện (6.31), khi lấy

$\Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} = 0,5\ q_{sw2}\ c^2 + (q_{sw2} - q_{sw1})l_1(c - l_1/2) = 0,5.34.909^2 +$

$+ 34.300\ (909 - 150) = 21,8.10^6$ Nmm = 21,8 kNm;

$(R_s A_{sp} + R_s A_s)\ z_s + \Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} = 31,2 + 21,8 = 53$ kNm > M = 48,9 kNm,

Tức là cường độ theo tiết diện nghiêng được đảm bảo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 7

CẤU KIỆN CHỊU NÉN - TÍNH TOÁN THEO CƯỜNG ĐỘ

7.1. KHÁI QUÁT CHUNG

Cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu nén trong thực tế thường gặp là cột nhà một tầng hoặc nhiều tầng bêtông ứng suất trước lắp ghép, cọc bêtông ứng suất trước đúc sẵn, các thanh giàn chịu nén, các bộ phận chịu nén của khung bêtông ứng suất trước, các thanh giằng bêtông ứng suất trước trong kết cấu khung...

Khi tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu nén phải xét đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a. Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a trong mọi trường hợp không được nhỏ hơn:

- 1/600 chiều dài cấu kiện hoặc khoảng cách giữa các tiết diện bị giữ chặt không cho chuyển dịch;
- 1/30 chiều cao tiết diện cấu kiện;
- 10 mm (đối với kết cấu được lắp ghép khi không có các giá trị thực nghiệm khác xác định e_a).

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 phân biệt hai trường hợp : cấu kiện chịu nén siêu tĩnh và cấu kiện chịu nén tĩnh định. Đối với cấu kiện chịu nén siêu tĩnh (kể cả cột của nhà khung), giá trị độ lệch tâm của lực dọc đối với trọng tâm tiết diện quy đổi e_0 được lấy bằng độ lệch tâm tính được theo các tính toán tĩnh lực kết cấu nhưng không được nhỏ hơn e_a. Đối với cấu kiện của kết cấu tĩnh định độ lệch tâm e_0 được tính bằng tổng độ lệch tâm xác định từ kết cấu tĩnh định và độ lệch tâm ngẫu nhiên.

Khi tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm cần xét đến ảnh hưởng của uốn dọc trong mặt phẳng lệch tâm của lực dọc (mặt phẳng uốn) đến khả năng chịu lực của kết cấu và trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng chịu lực. Khi tính toán ngoài mặt phẳng uốn, giá trị e_0 được lấy bằng giá trị độ lệch tâm ngẫu nhiên.

Tính toán ngoài mặt phẳng uốn có thể không cần thực hiện nếu độ mảnh của cấu kiện l_0/i (đối với tiết diện chữ nhật - l_0/h) trong mặt phẳng uốn lớn hơn độ mảnh trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng uốn.

Trường hợp độ lệch tâm ở hai hướng đều vượt quá độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a, việc tính toán thực hiện như trường hợp nén lệch tâm xiên.

Đối với các dạng cấu kiện chịu nén thường gặp, ví dụ như tiết diện chữ nhật và chữ I có cốt thép đối xứng đặt tập trung ở cạnh chịu nén và chịu kéo, tiết diện vành

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

khuyên có cốt thép đặt đều theo chu vi, việc tính toán cường độ theo tiết diện thẳng góc khi lực dọc nằm trong mặt phẳng đối xứng được xem xét trong chương này. Trong các trường hợp nói trên, giá trị giới hạn chiều cao tương đối vùng nén ξ_R, hệ số điều kiện làm việc γ_{s6} và ứng suất σ_{sc} trong cốt thép căng trong vùng chịu nén được xác định như với cấu kiện chịu uốn phẳng.

Đối với các dạng tiết diện khác cũng như khi nén lệch tâm xiên, việc tính toán tiết diện thẳng góc được thực hiện tương tự như trường hợp tổng quát tính toán cấu kiện chịu uốn, trong phần bên phải của phương trình (5.46) thêm vào giá trị lực N, còn giá trị M trong điều kiện (5.47) được thay bằng mômen của lực dọc đối với trục song song với đường thẳng giới hạn vùng nén và đi qua trọng tâm tiết diện các thanh chịu kéo xa nhất đối với trục đó.

Tính toán cường độ theo tiết diện nghiêng đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm được thực hiện tương tự tính toán cấu kiện chịu uốn có xét đến ảnh hưởng lực dọc N bằng cách thêm vào giá trị P trong công thức (6.9). Không xét đến ảnh hưởng của lực dọc nếu nó tạo nên mô men uốn cùng dấu với mô men uốn do tác dụng của lực ngang. Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm của kết cấu siêu tĩnh, khi tính toán cần chuyển lực dọc về trọng tâm tiết diện và ảnh hưởng của nó luôn được xét đến.

7.2. ẢNH HƯỞNG CỦA UỐN DỌC

Khi tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm cần xét đến ảnh hưởng của uốn dọc đến khả năng chịu lực của kết cấu. Trong trường hợp tổng quát kết cấu cần được tính toán theo sơ đồ biến dạng có xét đến biến dạng không đàn hồi của vật liệu và sự xuất hiện vết nứt trên kết cấu.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho phép tính toán kết cấu theo sơ đồ không biến dạng có xét đến yếu tố uốn dọc đối với các cấu kiện chịu nén có độ mảnh $l_0/i > 14$, bằng cách nhân độ lệch tâm e_0 với hệ số η được xác định theo công thức:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \tag{7.1}$$

Trong đó :

N_{cr} là lực tới hạn quy ước được lấy bằng:

$$N_{cr} = \frac{6{,}4E_b}{l_0^2}\left[\frac{I}{\varphi_l}\left(\frac{0{,}11}{0{,}1 + \frac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0{,}1\right) + \alpha I_s\right] \tag{7.2}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

riêng đối với cấu kiện làm từ bêtông cốt liệu nhỏ nhóm B, trong công thức (7.2) thay giá trị 6,4 bằng 5,6;

I, I_s lần lượt là mômen quán tính của tiết diện bêtông và tiết diện toàn bộ cốt thép đối với trọng tâm tiết diện bêtông;

φ_l - hệ số xét đến ảnh hưởng tác dụng dài hạn của tải trọng đến độ vồng cấu kiện ở trạng thái giới hạn và lấy bằng:

$$\varphi_l = 1 + \beta_1 \frac{M_{1l}}{M_1} \qquad (7.3)$$

nhưng không lớn hơn $1 + \beta_1$;

Ở đây: β_1 - hệ số được lấy phụ thuộc vào dạng bêtông theo bảng 7.1;

Bảng 7.1. Bảng các giá trị của hệ số β_1

Bêtông	Hệ số β_1
1. Nặng	1,0
2. Cốt liệu nhỏ nhóm:	
+ A	1,3
+ B	1,5
+ C	1,0
3. Nhẹ	
- Khi cốt liệu lớn nhân tạo và cốt liệu nhỏ:	
+ Đặc chắc	1,0
+ Rỗng	1,5
- Khi cốt liệu tự nhiên	2,5

M_1, M_{1l} lần lượt là mômen ngoại lực đối với trục đi qua trọng tâm của dãy cốt thép ngoài cùng gần mép chịu kéo (chịu nén ít hơn) và song song với mép này, do tác dụng của toàn bộ tải trọng và do tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn;

δ_e là hệ số lấy bằng e_0/h, nhưng không nhỏ hơn

$$\delta_{e,min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b \qquad (7.4)$$

Ở đây:

R_b (MPa) được lấy với $\gamma_{b2} = 1,0$;

l_0 - chiều dài tính toán của cấu kiện, được lấy như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm có gối cố định cũng như các cấu kiện không giằng với các kết cấu khác, chiều dài tính toán l_0 được xác định từ các tính toán ổn định;

- Chiều dài tính toán của cột nhà một tầng và nhà nhiều tầng được lấy theo chỉ dẫn của Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005.

φ_p - hệ số xét đến ảnh hưởng của ứng suất trước trong cốt thép đến độ cứng cấu kiện; khi nén đều tiết diện bằng cốt thép căng φ_p được xác định theo công thức:

$$\varphi_p = 1 + 12\frac{\sigma_{bp}}{R_b}\cdot\frac{e_0}{h} \qquad (7.5)$$

σ_{bp} được xác định có kể đến tất cả các tổn hao khi hệ số $\gamma_{sp}<1,0$;

$\frac{e_0}{h}$ được lấy không lớn hơn 1,5;

R_b được lấy không kể đến hệ số điều kiện làm việc.

Đối với tiết diện tròn và vành khuyên, đại lượng h trong công thức (7.5) và (7.6) được thay bằng đường kính tiết diện D.

Khi độ mảnh $l_0/i \le 35$ (đối với tiết diện chữ nhật – khi $l_0/h \le 10$) và khi $\mu < 0,015$ cho phép lấy $N_{cr} = \frac{2,5E_bI}{l_0^2}$.

Khi tính toán nếu nhận được kết quả $N \ge N_{cr}$, tức là điều kiện về ổn định của cấu kiện không đảm bảo. Trong trường hợp này cần tăng kích thước tiết diện.

Khi tính toán độ lệch tâm theo hai hướng, hệ số η được xác định riêng biệt cho từng hướng và nhân với độ lệch tâm tương ứng.

Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm có gối cố định cũng như các cấu kiện không giằng với các kết cấu khác, chiều dài tính toán l_0 được xác định từ các tính toán ổn định.

Chiều dài tính toán của cột nhà một tầng và nhà nhiều tầng được lấy theo Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005.

7.3. CẤU KIỆN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT VÀ TIẾT DIỆN CHỮ I CỐT THÉP ĐỐI XỨNG

7.3.1. Cấu kiện có tiết diện chứ nhật cốt thép đối xứng

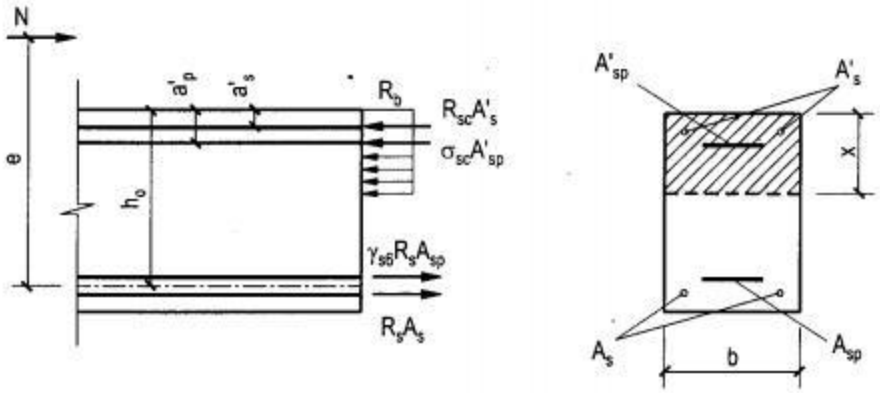
Cấu kiện chịu nén có tiết diện chữ nhật, có cốt thép đối xứng được bố trí tập gần các mép đối diện (hình 7.1). Khi tiết diện đạt trạng thái giới hạn dưới tác dụng của lực nén, bêtông tại một trong hai mép này của tiết diện luôn bị nén, còn tại mép kia

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

có thể bị nén hoặc bị kéo. Mép thứ nhất gọi là mép chịu nén, còn mép thứ hai gọi là mép chịu kéo hay chịu nén ít hơn.

Việc tính toán tiết diện thẳng góc với trục dọc của cấu kiện được bắt đầu bằng tính toán đại lượng :

$$\xi_1 = \frac{N + A_{sp}(R_s - \sigma_{sc})}{R_b b h_0} \quad . \tag{7.6}$$



Hình 7.1: *Sơ đồ nội lực trên tiết diện của cấu kiện chịu nén*

Đại lượng ξ_1 tính theo công thức (7.6) chính là chiều cao vùng nén tương đối khi chấp nhận $\gamma_{s6} = 1$. Có thể xảy ra một trong hai trường hợp: $\xi_1 \le \xi_R$ hoặc $\xi_1 > \xi_R$.

a) Trường hợp $\xi_1 \le \xi_R$, tức là chiều cao vùng nén không lớn hơn chiều cao vùng nén giới hạn. Trong trường hợp này phải xét đến hệ số γ_{s6} đối với cốt thép cường độ cao chịu kéo. Điều kiện đảm bảo về cường độ đối với tiết diện là:

$$Ne \le R_b\, bx\, (h_0 - 0{,}5\, x) + \sigma_{sc}\, A'_{sp}\, (h_0 - a'_p) + R_{sc}A'_s(h_0 - a'_s) \tag{7.7}$$

Trong đó :

$$x = \frac{N + A_{sp}(\gamma_{s6}R_s - \sigma_{sc})}{R_b b} \tag{7.8}$$

Hệ số γ_{s6} được xác định theo công thức (5.12), khi lấy ξ_1 theo công thức (7.6) và $\alpha_c = \dfrac{\sigma_{sc}A'_{sp} - N}{R_b b h_0}$;

Cũng có thể xác định hệ số γ_{s6} theo công thức (5.7) với việc thay thế ξ bằng ξ_1 .

Trường hợp $\xi_1 > \xi_R$, tức là chiều cao vùng nén lớn hơn chiều cao vùng nén giới hạn. Trong trường hợp này không cần xét đến hệ số γ_{s6} , nhưng phải xét đến sự làm việc thực tế của cốt thép chịu kéo (chịu nén ít hơn). Trong [7] đưa ra cách tính cường độ theo điều kiện (7.7), với chiều cao vùng nén x được xác định như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu cốt thép có giới hạn chảy quy ước thì chiều cao vùng nén x được xác định theo công thức :

$$x = \frac{N + R_s A_{sp}\left[\beta + (1-\beta)\dfrac{\xi_{el}}{\xi_{el} - \xi_R}\right] - \sigma_{sc} A'_{sp}}{R_b b h_0 + R_s A_{sp} \dfrac{1-\beta}{\xi_{el} - \xi_R}} h_o \qquad (7.9)$$

Trong đó :

ξ_{el} - được xác định theo công thức :

$$\xi_{el} = \frac{\omega}{1 + \dfrac{\beta R_s - \sigma_{sp}}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \dfrac{\omega}{1,1}\right)} \qquad (7.10)$$

ω, $\sigma_{sc,u}$ và σ_{sp} - xem công thức (4.10);

β - hệ số được xác định như trong mục 5.5 - chương 5.

Nếu x xác định theo công thức (7.9) có giá trị lớn hơn $\xi_{el}h_0$, thì trong điều kiện (7.7) thay giá trị x bằng:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{\bar{R}_s \omega h_0 \left(A_{sp} + A_s\right)}{R_b b}} \qquad (7.11)$$

Trong đó:

$$t = \frac{\left(\bar{R}_s - \sigma_{sp}\right)A_{sp} + \bar{R}_s A_s + \sigma_{sc} A'_{sp} + R_{sc} A'_s - N}{2R_b b};$$

$$\bar{R}_s = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \omega/1,1}.$$

- Nếu sử dụng cốt thép căng có giới hạn chảy thực, chiều cao vùng nén x khi $\xi > \xi_R$ luôn được xác định theo công thức (7.11).

Giá trị e (hình 7.1) được xác định theo công thức:

$$e = e_0 + \frac{h_0 - a'}{2} \qquad (7.12)$$

Trong đó, độ lệch tâm e_0 được xác định có kể đến độ cong của cấu kiện do uốn dọc.

Trường hợp trong cấu kiện có số lượng lớn cốt không căng có giới hạn chảy thực (khi $R_s A_s > 0,2\ R_s A_{sp}$) thì chiều cao vùng nén x được xác định theo các trường hợp uốn tổng quát (mục 5.5 – chương 5).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

7.3.2. Cấu kiện có tiết diện chữ I cốt thép đối xứng

Tính toán tiết diện chữ I có cốt thép đối xứng đặt tập trung trong phần cánh, được thực hiện như sau :

- Nếu biên vùng nén nằm trong cánh, tức là tuân theo điều kiện

$$N \le R_b\, b'_f\, h'_f - A_{sp}\,(\gamma_{s6}R_s - \sigma_{sc}) \tag{7.13}$$

(ở đây γ_{s6} được xác định theo công thức (5.7) khi $\xi = h'_f / h_0$), thì tính toán được tiến hành như đối với tiết diện chữ nhật có chiều rộng b'_f.

- Nếu biên vùng nén đi qua sườn, tức là không tuân theo điều kiện (7.13), thì tính toán được tiến hành tùy thuộc vào giá trị của ξ_1 xác định theo công thức:

$$\xi_1 = \frac{N + A_{sp}\left(R_s - \sigma_{sc}\right) - R_b A_{ov}}{R_b b h_0} \tag{7.14}$$

a) Nếu $\xi_1 \le \xi_R$ cường độ tiết diện được kiểm tra theo điều kiện:

$$Ne \le R_b\, bx\,(h_0 - 0{,}5x) + R_b A_{ov}(h_0 - 0{,}5h'_f) + \sigma_{sc}A'_{sp}(h_0 - a'_p) + R_{sc}A'_s\,(h_0 - a'_s) \tag{7.15}$$

Trong đó:

$$x = \frac{N + A_{sp}\left(\gamma_{s6}R_s - \sigma_{sc}\right) - R_b A_{ov}}{R_b b} \tag{7.16}$$

Ở đây:

γ_{s6} được xác định theo công thức

$$\gamma_{s6} = \frac{2\eta - 1 + 2(\eta - 1)\alpha_{ov}/\xi_R}{1 + 2(\eta - 1)(\xi_1 + \alpha_{ov})/\xi_R} \le \eta \tag{7.17}$$

η - hệ số, lấy như trong (5.7).

$$\alpha_{ov} = \frac{R_b A_{ov} - N + \sigma_{sc}A_{sp}}{R_b b h_0} \tag{7.18}$$

Khi $N > R_b\, A_{ov}$ cho phép tính γ_{s6} theo công thức (5.7) với $\xi = \xi_1$.

b) Khi $\xi_1 > \xi_R$ cường độ tiết diện được kiểm tra cũng từ điều kiện (7.14), Trong đó chiều cao vùng nén x khi cốt thép có giới hạn chảy quy ước, được xác định theo công thức:

$$x = \frac{N + R_s A_{sp}\left[\beta + (1-\beta)\dfrac{\xi_{el}}{\xi_{el} - \xi_R}\right] - R_b A_{ov} - \sigma_{sc}A'_{sp}}{R_b b h_0 + R_s A_{sp}\dfrac{1-\beta}{\xi_{el} - \xi_R}} h_0 \tag{7.19}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức từ (7.14) đến (7.19):

A_{ov} là diện tích tiết diện của cánh chịu nén bằng:

$A_{ov} = (b'_f - b)\, h'_f$;

ξ_{el} - xem mục 7.3.1;

β là hệ số được xác định như trong mục 5.5 - chương 5.

Nếu giá trị x được xác định theo công thức (7.19) lớn hơn $\xi_{el}h_0$, thì trong điều kiện (7.15) thay x bằng:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{\bar{R}_s \omega h_0 \left(A_{sp} + A_s\right)}{R_b b}} \qquad (7.20)$$

Trong đó:

$$t = \frac{\left(\bar{R}_s - \sigma_{sp}\right)A_{sp} + \bar{R}_s A_s + \sigma_{sc} A'_{sp} + R_{sc} A'_s + R_b A_{ov} - N}{2R_b b},$$

$$\bar{R}_s = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \omega/1{,}1};$$

ω, σ_{sc}, $\sigma_{sc,u}$ và σ_{sp} - xem công thức (4.10);

Trường hợp trong cấu kiện có số lượng lớn cốt thép không căng có giới hạn chảy thực (khi $R_s A_s > 0{,}2\, R_s A_{sp}$) thì chiều cao vùng nén x được xác định theo cách như đối với trường hợp uốn tổng quát (mục 5.5 – chương 5).

7.3.3. Ví dụ tính toán

VÍ DỤ 15:

Số liệu:

Cột có kích thước tiết diện b = 400 mm, h = 700 mm, $a_p = a_s = a'_s = a'_p = 40$ mm; bêtông cấp B30 (R_b = 19 MPa với γ_{b2} = 1,1, $E_b = 2{,}9.10^4$ MPa); cốt thép đối xứng loại A-V (R_s = 680 MPa, $E_s = 1{,}9.10^5$ MPa), diện tích tiết diện cốt ứng suất trước $A_{sp} = 402$ mm^2 (2ϕ16), cốt không ứng suất trước - $A_s = 201$ mm^2 (1ϕ16); ứng suất trước sau khi trừ toàn bộ tổn hao có giá trị σ_{sp} = 575 MPa; cốt thép được kéo bằng phương pháp nhiệt điện không tự động; diện tích tiết diện quy đổi $A_{red} = 287\,600$ mm^2; ứng lực trước đã kể đến toàn bộ tổn hao với γ_{sp} = 0,9 P = 397 kN; lực dọc do tải trọng cố định và dài hạn N_l = 1890 kN, do toàn bộ tải trọng N = 2450 kN; mômen uốn do tải trọng ngắn hạn, tính được theo sơ đồ không biến dạng M = M_{sh} = 245 kNm; chiều dài tính toán l_0 = 14,6 m.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu:

Kiểm tra cường độ tiết diện.

Tính toán:

$h_0 = 700 - 40 = 660$ mm, do $l_0/h = 14,6/0,7 = 20,8 > 10 \Rightarrow$ phải xét đến ảnh hưởng của uốn dọc.

- Tính toán N_{cr}:

- Xác định φ_l:

Lấy $\beta_1 = 1$;

$$\varphi_l = 1 + \beta_1 \frac{M_{1l}}{M_1} = 1 + \frac{N_l \frac{h_0 - a'_s}{2} + M_l}{N \frac{h_0 - a'_s}{2} + M} =$$

$$= 1 + \frac{1890 \frac{0,66 - 0,04}{2} + 0}{2450 \frac{0,66 - 0,04}{2} + 245} = 0,583;$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{245}{2450} = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm} > e_a = \frac{h}{30} = \frac{700}{30} = 23 \text{ mm};$$

$$\frac{e_a}{h} = \frac{100}{700} = 0,143 > \delta_{e,min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b =$$

$$= 0,5 - 0,01.20,8 - 0,01.19 = 0,102.$$

Do đó lấy: $\delta_e = e_0/h = 0,143$.

Ứng suất nén trong bêtông lấy bằng:

$$\sigma_{bp} = P/A_{red} = 397\,000 / 287\,600 = 1,38 \text{ MPa}.$$

Do $e_0/h < 1,5$, lấy $e_0/h = 0,143$.

Khi đó: $\varphi_p = 1 + 12 \frac{\sigma_{bp}}{R_b} \cdot \frac{e_0}{h} = 1 + 12 \frac{1,38}{19} 0,143 = 1,125$.

Mômen quán tính của tiết diện bêtông và cốt thép lấy bằng:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{400.700^3}{12} = 11430.10^6 \text{ mm}^4;$$

$$I_s = 2\left(A_s + A_{sp}\right)\left(\frac{h_0 - a'_s}{2}\right)^2 = 2.603.310^2 = 116.10^6 \text{ mm}^4;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{19.10^4}{2,9.10^4} = 6,55 ;$$

$$N_{cr} = \frac{6,4E_b}{l_0^2}\left[\frac{I}{\varphi_l}\left(\frac{0,11}{0,1+\delta_e/\varphi_p}+0,1\right)+\alpha I_s\right] =$$

$$= \frac{6,4.2,9.10^4}{14600^2}\left[\frac{11430\cdot 10^6}{1,583}\left(\frac{0,11}{0,1+0,143/1,125}+0,1\right)+6,55.116.10^6\right]$$

$$= 4335 \text{ kN}.$$

Tính η:

$$\eta = \frac{1}{1-\frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1-\frac{2450}{4335}} = 2,3 .$$

Tính giá trị e:

$$e = e_0\,\eta + \frac{h_0 - a'_s}{2} = 100.2,3 + 310 = 540 \text{ mm}.$$

Kiểm tra cường độ:

Do trong tiết diện dùng cốt không ứng suất trước loại A-V có giới hạn chảy quy ước, giá trị $A_{sp} = A'_{sp}$ được thay bằng $A_{sp1} = A'_{sp1} = A_{sp} + A_s = 603$ mm^2, còn ứng suất σ_{sp2} được thay bằng ứng suất trung bình $\sigma_{sp,m}$ và lấy $A_s = A'_s = 0$:

$$\sigma_{sp,m} = \sigma_{sp}\frac{A_{sp}}{A_{sp1}} = 575\frac{2}{3} = 383 \text{ MPa}.$$

Xác định ứng suất trong cốt thép σ_{sc} :

Lấy $\sigma_{sc,u} = 400$ MPa, còn $\sigma_{sp,m}$ có xét đến hệ số $\gamma_{sp} = 1,1$:

$$\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma_{sp,m} = 400 - 1,1.383 = -20 \text{ MPa}.$$

Tính chiều cao tương đối của vùng nén bêtông khi $\gamma_{s6} = 1$:

$$\xi_1 = \frac{N + A_{sp1}(R_s - \sigma_{sc})}{R_b b h_0} = \frac{2450.10^3 + 603(680+20)}{19.400.660} = 0,572 .$$

Với $\gamma_{b2} = 1,1$, cốt thép A-V, bêtông B30 và $\sigma_{sp}/R_s = \frac{\gamma_{sp}\sigma_{sp,m}}{R_s} = \frac{0,9.383}{680} = 0,507$ ta tính được $\xi_R = 0,42$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Do $\xi_1 = 0,572 > \xi_R = 0,42$ và cốt thép loại A-V có giới hạn chảy quy ước ; cốt thép được kéo bằng phương pháp nhiệt điện không tự động, lấy $\beta = 0,8$; với loại cốt thép A-V, cấp bêtông B30 và $\sigma_{sp}/R_s = 0,507$ ta tính được $\xi_{el} = 0,59$. Khi đó chiều cao vùng nén được xác định:

$$x = \frac{N + R_s A_{sp1}\left[\beta + (1-\beta)\dfrac{\xi_{el}}{\xi_{el} - \xi_R}\right] - \sigma_{sc} A'_{sp1}}{R_b b h_0 + R_s A_{sp1} \dfrac{1-\beta}{\xi_{el} - \xi_R}} h_0 =$$

$$= \frac{2450.10^3 + 680.603\left(0,8 + 0,2\dfrac{0,59}{0,59 - 0,42}\right) + 20.603}{19.400.660 + 680.603\dfrac{0,2}{0,59 - 0,42}} 660 = 369 \text{ mm}.$$

Do $x = 369 \text{ mm} < \xi_{el} h_0 = 0,59.660 = 389 \text{ mm} \Rightarrow x = 369 \text{ mm}$.

Cường độ được kiểm tra theo điều kiện:

$R_b\, bx(h_0 - 0,5x) + \sigma_{sc} A'_{sp1}\,(h_0 - a'_p) = 19.400.369\,(660 - 0,5.369) -$

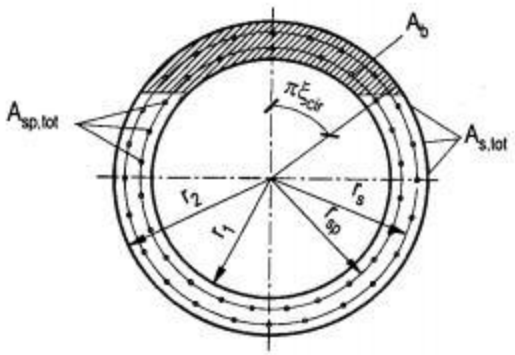
$- 20.603\,(660 - 40) = 1326.10^6 \text{ Nmm} > Ne = 2450.10^3.540 =$

$= 1323.10^6 \text{ Nmm}$.

Kết luận: Cường độ tiết diện đảm bảo.

7.4. CẤU KIỆN CÓ TIẾT DIỆN VÀNH KHUYÊN

Cấu kiện tiết diện vành khuyên trong thực tế thường gặp là các cọc ly tâm bêtông ứng suất trước và cột điện ly tâm bêtông ứng suất trước. Các cấu kiện này thường có chiều dày tương đối bé so với bán kính tiết diện. Ở đây chỉ giới hạn xem xét trường hợp cấu kiện có tỉ số của bán kính ngoài và trong không bé hơn 0,5 ($r_1/r_2 \geq 0,5$) và có cốt thép đặt đều theo chu vi với số lượng các thanh thép dọc không nhỏ hơn sáu.



Hình 7.2: *Sơ đồ dùng để tính toán tiết diện vành khuyên*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tính toán cấu kiện tiết diện vành khuyên (hình 7.2) khi tỉ số của bán kính ngoài và trong $r_1/r_2 \geq 0,5$ có cốt thép đặt đều theo chu vi và số lượng cốt dọc không nhỏ hơn sáu cần được thực hiện theo điều kiện:

$$Ne_0 \leq (R_b Ar_m + R_{sc} A_{sp,tot} r_{sp} + R_{sc} A_{s,tot} r_s) \frac{\sin \pi\xi_{cir}}{\pi} +$$

$$+ R_s A_{sp,tot} \varphi_{sp} z_{sp} + R_s A_{s,tot} \varphi_s z_s \qquad (7.21)$$

Trong đó :

e_0 - độ lệch tâm của lực N đối với trọng tâm tiết diện được xác định có xét đến ảnh hưởng của uốn dọc;

$r_m = 0,5 (r_1 + r_2)$;

$A_{sp,tot}$ - diện tích toàn bộ các thanh cốt thép dọc căng;

$A_{s,tot}$ - diện tích toàn bộ cốt dọc không căng;

r_{sp}, r_s lần lượt là bán kính đường tròn đi qua trọng tâm các thanh có diện tích $A_{sp,tot}$ và $A_{s,tot}$;

ξ_{cir} - diện tích tương đối của vùng nén bêtông được xác định theo công thức:

$$\xi_{cir} = \frac{N + \left(\sigma_{sp} + \omega_p R_s\right) A_{sp,tot} + \omega_s R_s A_{s,tot}}{R_b A + \left(R_{sc} + \delta_{sp} \omega_p R_s\right) A_{sp,tot} + \left(R_{sc} + \delta_s \omega_s R_s\right) A_{s,tot}} \qquad (7.22)$$

$$\omega_p = \eta_r - \frac{\sigma_{sp}}{R_s};$$

$\omega_s = \eta_r$;

$\eta_r = 1,1$ - đối với cốt thép có giới hạn chảy quy ước;

$\eta_r = 1,0$ - đối với cốt thép có giới hạn chảy thực;

$\delta_{sp(s)} = 1,5 + 6R_s.10^{-4}$; (R_s - MPa);

σ_{sp} - ứng suất trước có xét đến hệ số γ_{sp} lớn hơn đơn vị;

z_{sp}, z_s lần lượt là khoảng cách từ hợp lực của cốt thép căng và cốt thép không căng trong vùng kéo đến trọng tâm tiết diện được xác định theo công thức :

$$z_{sp(s)} = (0,2 + 1,3\ \xi_{cir})\ r_{sp(s)}, \qquad (7.23)$$

nhưng lấy không lớn hơn $z_{sp}(s)$;

φ_{sp}, φ_s - hệ số được lấy bằng:

$$\varphi_{sp(s)} = \omega_{p(s)} (1 - \delta_{sp(s)}\ \xi_{cir}) \qquad (7.24)$$

Nếu $\varphi_{sp} \leq 0$ (hoặc $\varphi_s \leq 0$), giá trị ξ_{cir} một lần nữa được tính lại theo công thức (7.21), Trong đó lấy $A_{sp} = 0$ (hoặc $A_s = 0$).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu $\xi_{cir} < 0,15$, trong điều kiện (7.21) thay nó bằng giá trị ξ_{cir} xác định theo công thức:

$$\xi_{cir} = \frac{N + \left(\sigma_{sp} + \varphi_{sp} R_s\right) A_{sp,tot} + \varphi_s R_s A_{s,tot}}{R_b A + R_{sc} A_{sp,tot} + R_{sc} A_{s,tot}} \qquad (7.25)$$

Trong đó : giá trị φ_{sp}, φ_s, z_{sp} và z_s được xác định theo công thức (7.23) và (7.24) với $\xi_{cir} = 0,15$.

VÍ DỤ 16:

Số liệu:

Cấu kiện tiết diện vành khuyên có bán kính trong $r_1 = 150$ mm, bán kính ngoài $r_2 = 250$ mm; bêtông cấp B30 ($R_b = 19$ MPa với $\gamma_{b2} = 1,1$, $E_b = 2,9.10^4$ MPa); cốt thép căng loại A-IV ($R_s = 510$ MPa, $R_{sc} = 400$ MPa, $E_s = 1,9.10^5$ MPa), diện tích tiết diện $A_{sp,tot} = 1470$ mm^2 (13∅12) được đặt đều ở giữa chiều dầy tiết diện vành khuyên; ứng suất trước đã kể toàn bộ tổn hao $\sigma_{sp2} = 350$ MPa; lực dọc do tải cố định và dài hạn $N = N_l = 250$ kN; mômen uốn do tải trọng gió $M = M_{sh} = 120$ kNm; chiều dài tính toán của cấu kiện $l_0 = 6$ m.

Yêu cầu

Kiểm tra cường độ chịu lực đối với tiết diện.

Tính toán:

Tính diện tích tiết diện vành khuyên :

$$A = \pi (r_2^2 - r_1^2) = 3,14(250^2 - 150^2) = 125600 \text{ mm}^2 ;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{19 \cdot 10^4}{2,9 \cdot 10^4} = 6,55 ;$$

$$A_{red} = A + \alpha A_{sp,tot} = 125\,600 + 6,55.1470 = 136\,900 \text{ mm}^2.$$

Bán kính quán tính của tiết diện

$$i = \frac{\sqrt{r_1^2 + r_2^2}}{2} = \frac{\sqrt{150^2 + 250^2}}{2} = 146 \text{ mm}.$$

Do $(l_0/i) = 6000/146 = 41 > 35$, nên tính toán cần thực hiện có xét đến ảnh hưởng của uốn dọc.

Tính N_{cr} :

$$r_{sp} = r_m = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{150 + 250}{2} = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m} ;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_{ll}}{M_l} = 1 + \frac{Ner_m + M_l}{Nr_m + M} = 1 + \frac{250 \cdot 0,2 + 0}{250 \cdot 0,2 + 120} = 1,294 ;$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{120}{250} = 0,48 \text{ m} = 480 \text{ mm} > e_a = \frac{D}{30} = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ mm};$$

Do $\frac{e_0}{D} = \frac{480}{500} = 0,96 > \delta_{e,min} = 0,5 - 0,01\frac{l_0}{D} - 0,01 R_b$, lấy $\delta_e = e_0/D = 0,96$.

Ứng suất khi nén trước trong bêtông khi $\gamma_{sp} = 0,9$ lấy bằng:

$$\sigma_{bp} = \frac{P}{A_{red}} = \frac{A_{sp,tot}\sigma_{sp}\gamma_{sp}}{A_{red}} = \frac{1470.350.0,9}{136900} = 3,4 \text{ MPa} .$$

Trường hợp $e_0/D < 1,5$, lấy $e_0/D = 0,96$. Khi đó :

$$\varphi_p = 1 + 12\frac{\sigma_{bp}}{R_b} \cdot \frac{e_0}{D} = 1 + 12\frac{3,4}{19}0,96 = 3,06 .$$

Mômen quán tính của tiết diện bêtông và cốt thép lấy bằng:

$$I = \frac{\pi}{4}\left(r_2^4 - r_1^4\right) = \frac{3,14}{4}\left(250^4 - 150^4\right) = 2670.10^6 \text{ mm}^4 ;$$

$$I_s = \frac{A_{sp,tot}r_{sp}^2}{2} = \frac{1470.200^2}{2} = 29,4.10^6 \text{ mm}^4 ;$$

$$N_{cr} = \frac{6,4E_b}{l_0^2}\left[\frac{I}{\varphi_l}\left(\frac{0,11}{0,1 + \delta_e/\varphi_p} + 0,1\right) + \alpha I_s\right] =$$

$$= \frac{6,4.2,9.10^4}{6000^2}\left[\frac{2670.10^6}{1,294}\left(\frac{0,11}{0,1 + 0,96/3,06} + 0,1\right) + 6,55.29,4.10^6\right] =$$

$$= 4885000 \text{ N} = 4885 \text{ kN}.$$

Hệ số η lấy bằng:

$$\eta = \frac{1}{1 - N/N_{cr}} = \frac{1}{1 - 250/4885} = 1,05 .$$

Kiểm tra cường độ :

Xác định giá trị ξ_{cir} :

Lấy $A_{s,tot} = 0$ và $\gamma_{sp} = 1,1$.

Trước tiên tính các đại lượng:

$\delta_{sp} = 1,5 + 6R_s .10^{-4} = 1,5 + 6.510.10^{-4} = 1,8$;

$\sigma_{sp} = 1,1.350 = 375$ MPa; $\eta_r = 1,1$;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\omega_p = \eta_r - \frac{\sigma_{sp}}{R_s} = 1{,}1 - \frac{375}{510} = 0{,}36\ ;$$

$$\xi_{cir} = \frac{N + \left(\sigma_{sp} + \omega_p R_s\right) A_{sp,tot}}{R_b A + \left(R_{sc} + \delta_{sp}\omega_p R_s\right) A_{s,tot}} =$$

$$= \frac{250 \cdot 10^3 + \left(375 + 0{,}36 \cdot 510\right)1470}{19 \cdot 125600 + \left(400 + 1{,}8 \cdot 0{,}36 \cdot 510\right)1470} = 31$$

$\xi_{cir} = 0{,}31 > 0{,}15 \Rightarrow$ giữ lại $\xi_{cir} = 0{,}31$

Giá trị φ_{sp} lấy bằng:

$$\varphi_{sp} = \omega_p\,(1 - \delta_{sp}\,\xi_{sir}) = 0{,}36(1 - 1{,}8.0{,}31) = 0{,}16.$$

Do $\varphi_{sp} > 0$, nên giữ lại giá trị $\varphi_{sp} = 0{,}16$.

Giá trị z_{sp} lấy bằng:

$$z_{sp} = (0{,}2 + 1{,}3\ \xi_{cir})r_{sp} = (0{,}2 + 1{,}3.0{,}31)200 = 120{,}6\ \text{mm}.$$

Kiểm tra cường độ với độ lệch tâm e_0 có kể đến hệ số η:

$$(R_b\ Ar_m + R_{sc}A_{sp,tot}r_{sp})\ \frac{\sin \pi\xi_{cir}}{\pi} + R_s\ A_{sp,tot}\ \varphi_{sp}\ z_{sp} =$$

$$= (19.125600.200 + 400.1470.200)\ \frac{\sin\left(3{,}14 \cdot 0{,}31\right)}{3{,}14} + 510.1470.0{,}16.120{,}6 =$$

$= 171.10^6$ Nmm = 171 kNm > $Ne_0\eta = M\eta = 120.1{,}05 = 126$ kNm ,

Kết luận: Tiết diện bảo cường độ.

7.5. CẤU KIỆN CHỊU LỰC NÉN TRƯỚC

Khi tính toán cấu kiện chịu tác dụng của lực nén trước có kể đến tải trọng tác dụng trong giai đoạn sản xuất nội lực trong cốt thép căng N_p được đưa vào tính toán như ngoại lực. Nội lực này được xác định như sau:

a) Khi kéo cốt thép trên bệ:

$$N_p = (\sigma_{sp1} - 330)\ A'_{sp} \qquad (7.26)$$

Trong đó :

A'_{sp} - diện tích cốt thép căng bố trí trong vùng bêtông giả định bị phá hoại do nén trong giai đoạn sản xuất;

σ_{sp1} (MPa) được xác định với hệ số γ_{sp} lớn hơn đơn vị ;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

b) Khi kéo cốt thép trên bêtông, nội lực N_p được xác định do toàn bộ cốt thép căng, ứng suất trong cốt thép được xác định như sau:

- Lấy giá trị ứng suất trong cốt thép căng tại ví trí đặt lực căng khi căng cốt thép, nếu tất cả cốt thép chịu kéo đồng thời ;

- Lấy giá trị $\sigma_{sp1} - \sigma_{sc,p}$, nếu cốt thép bị kéo lần lượt theo nhóm,

Trong đó:

$$\sigma_{sc,p} = \frac{A_{min}}{A_{max}} \cdot \frac{A_{sp} - A_{sp,n}}{A_{sp}} 330 \qquad (7.27)$$

nhưng không lớn hơn 280 MPa,

Ở đây :

A_{min}, A_{max} lần lượt là diện tích tiết diện ngang nhỏ nhất và lớn nhất của cấu kiện chịu nén;

A_{sp}, $A_{sp,n}$ lần lượt là diện tích tiết diện của tất các các nhóm và của nhóm cuối cùng của cốt thép căng.

Khi tính toán nén cục bộ, cường độ tính toán của bêtông $R_b = R_b^{(p)}$ được xác định tương ứng với bêtông có cấp độ bền bằng độ bền truyền ứng suất R_{bp}, và $\gamma_{b2} = 1$; đồng thời cần xét đến hệ sô γ_{b8}. Ngoài ra giá trị $\sigma_{sc,u}$ trong công thức (4.10) được lấy bằng 330 MPa.

Trường hợp kéo cốt thép trên bệ, tính toán cấu kiện chịu lực nén trước có thể không cần thực hiện.

Ảnh hưởng của uốn dọc đối với cấu kiện chịu nén chỉ xét đến khi có sự thay đổi độ lệch tâm do cấu kiện bị uốn. Do vậy , không cần xét đến ảnh hưởng của uốn dọc đối với trường hợp cấu kiện chịu lực nén trước khi cốt thép căng đặt trong cấu kiện và không bị dịch chuyển trên tiết diện ngang khi cấu kiện bị uốn. Ảnh hưởng của uốn dọc đối với trường hợp cấu kiện chịu nén trước khi cốt thép căng có thể dịch chuyển vị trí trên tiết diện ngang cần được xét đến.

Khi đặt lực N_p trong mặt phẳng đối xứng của tiết diện và cốt thép được đặt tập trung ở cạnh chịu nén nhiều hơn và cạnh chịu nén ít hơn, việc tính toán cường độ chịu lực nén trước có thể được thực hiện theo các chỉ dẫn dưới đây, Trong đó lấy $A_{sp} = 0$ nếu cốt thép được kéo trên bêtông. Nếu trong cấu kiện có số lượng lớn cốt không căng có giới hạn chảy thực (khi $R_s A_s > 0{,}2\ R_s A_{sp}$) thì việc tính toán cần được thực hiện theo cách như trường hợp uốn tổng quát (mục 5.5 – chương 5).

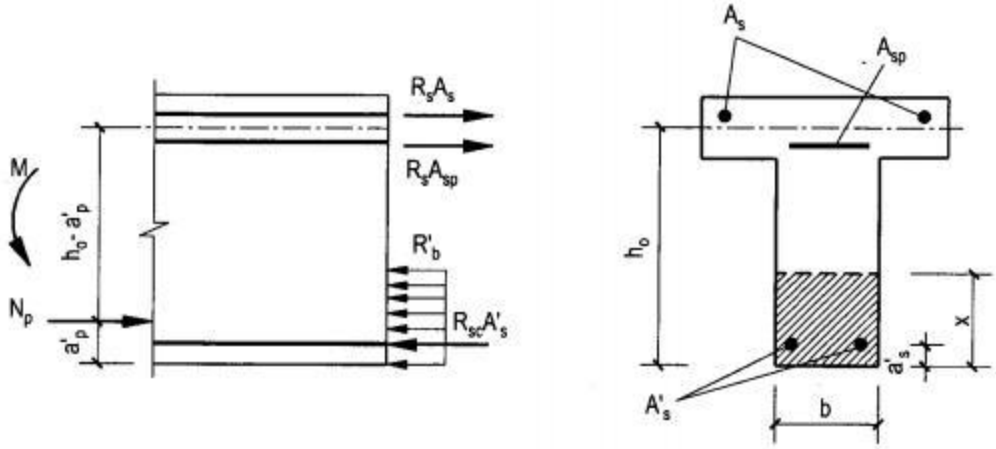
Đối với cấu kiện có tiết diện chữ nhật và chữ T có cánh nằm trong vùng nén ít hơn (hình 7.3) tính toán cường độ chịu lực nén trước được thực hiện phụ thuộc vào chiều cao vùng nén:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$x = \frac{N_p + R_s A_s + R_s A_{sp} - R_{sc} A'_s}{R_b^{(p)} b}$$

a) Khi $\xi = x / h_0 \le \xi_R$, kiểm tra theo điều kiện :

$$N_p e \le R_b^{(p)} bx (h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) \qquad (7.28)$$



Hình 7.3: *Sơ đồ nội lực trong tiết diện chịu nén lệch tâm*

b) Khi $\xi > \xi_R$, kiểm tra theo điều kiện :

$$N_p e \le \alpha_R R_b^{(p)} bh_0^2 + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) \qquad (7.29)$$

Trong đó :

$$\omega = \alpha - 0{,}008 R_b^{(p)};$$

$$\bar{R}_s = \frac{330}{1 - \omega/1{,}1};$$

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + 365/\bar{R}_s};$$

$$\alpha_R = \xi_R (1 - \xi_R/2).$$

Nếu $\xi > \xi_R$ khả năng chịu tải tính toán khi nén trước nếu cần thiết có thể tăng lên bằng cách sử dụng điều kiện (7.28) với giá trị x được xác định như sau:

- Khi trong vùng nén ít hơn không có cốt thép có giới hạn chảy quy ước:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{\bar{R}_s (A_{sp} + A_s) \omega h_0}{R_b^{(p)} b}} \qquad (7.30)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó :

$$t = \frac{\left(\bar{R}_s - \sigma_{sp}\right)A_{sp} + \bar{R}_s A_s + R_{sc}A'_s - N_p}{2R_b^{(p)}b}$$

$\omega = \alpha - 0{,}008\, R_b^{(p)}$;

$$\bar{R}_s = \frac{330}{1 - \omega/1{,}1};$$

α - xem công thức (4.10).

- Khi trong vùng nén ít hơn có cốt thép có giới hạn chảy quy ước:

$$x = \frac{N_p + R_s A_{sp}\left[\beta + (1-\beta)\dfrac{\xi_{el}}{\xi_{el} - \xi_R}\right] - R_{sc}A'_s + R_s A_s}{R_b^{(p)}bh_0 + R_s A_{sp}\dfrac{1-\beta}{\xi_{el} - \xi_R}} h_0 \qquad (7.31)$$

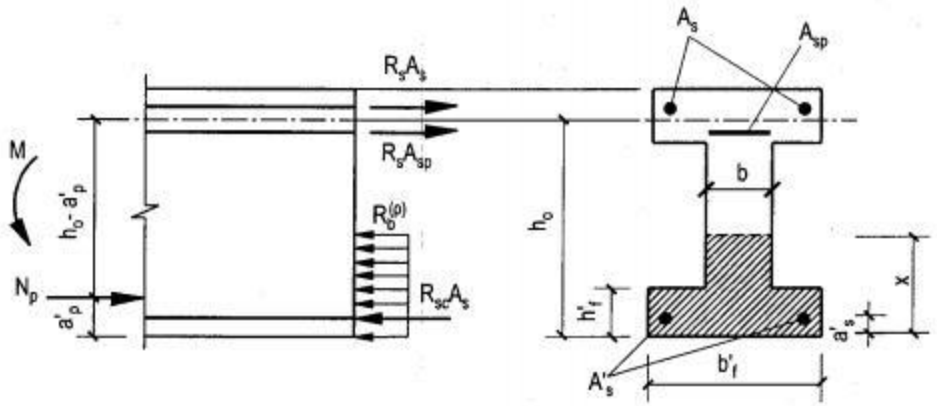
Trong đó :

ξ_{el} - tính theo (7.10) với $\sigma_{sc,u} = 330$ MPa;

β - lấy theo bảng 7.1.

Ở đây, nếu giá trị x được xác định theo công thức (7.31) lớn hơn $\xi_{el}h_0$ thì trong điều kiện (7.28) lấy giá trị của x tính theo công thức (7.30).

Đối với cấu kiện có tiết diện chữ I và chữ T có cánh nằm trong vùng nén nhiều hơn (hình 7.4), tính toán cường độ chịu lực nén trước được thực hiện như sau:



Hình 7.4: *Sơ đồ nội lực trong tiết diện chịu nén lệch tâm có cánh nằm trong vùng nén*

Nếu tuân theo điều kiện :

$$N_p \le R_b^{(p)}\, b'_f\, h'_f - R_s\, A_{sp} - R_s\, A_s + R_{sc}\, A'_s \qquad (7.32)$$

(tức là biên vùng nén nằm trong cánh), thì tính toán được tiến hành như đối với tiết diện không có cánh ở vùng nén nhiều hơn và với $b = b'_f$;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu điều kiện (7.32) không thoả mãn (tức là biên vùng nén nằm ở sườn), thì tính toán được thực hiện phụ thuộc vào chiều cao vùng nén:

$$x = \frac{N_p + R_s A_s + R_s A_{sp} - R_{sc} A'_s - R_b^{(p)} A_{ov}}{R_b^{(p)} b}$$

a) Khi $\xi = \frac{x}{h_0} \le \xi_R$ [ξ_R được xác định với $\sigma_{sc,u} = 330$ MPa], kiểm tra theo điều kiện:

$$N_p e \le R_b^{(p)} bx (h_0 - 0{,}5x) + R_b^{(p)} A_{ov} (h_0 - 0{,}5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) \quad (7.33)$$

b) Khi $\xi > \xi_R$, kiểm tra theo điều kiện :

$$N_p e \le \alpha_R R_b^{(p)} bh_0^2 + R_b^{(p)} A_{ov} (h_0 - 0{,}5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) \quad (7.34)$$

Trong điều kiện (7.33) và (7.34) :

$A_{ov} = (b'_f - b)h'_f$ là diện tích tiết diện cánh chịu nén.

Giá trị e trong điều kiện (7.28), (7.29), (7.33) và (7.34) được xác định theo công thức:

- Khi kéo trên bệ: $$e = h_0 - a'_p \pm \frac{M}{N_p} \quad (7.35)$$

- Khi kéo trên bêtông: $$e = \left(e_{0p} \pm \frac{M}{N_p} \right) \eta + h_0 - y \quad (7.36)$$

Trong công thức (7.35) và (7.36):

M - mômen do ngoại lực tác dụng trong giai đoạn sản xuất; dấu "+" được lấy nếu mômen của lực N_p đối với cốt thép S và mômen M có cùng hướng, dấu "-" nếu hướng của các mômen này ngược nhau;

e_{0p} - độ lệch tâm của lực N_p đối với trọng tâm tiết diện quy đổi;

η - hệ số uốn dọc;

y - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến cạnh chịu nén nhiều nhất.

Giá trị $\left(e_{0p} \pm \frac{M}{N_p} \right)$ trong công thức (7.36) được lấy không nhỏ hơn e_a.

VÍ DỤ 17 :

Số liệu:

Tấm sàn có sườn dài 12 m, tiết diện ngang cho trên hình 7.5; cốt ứng suất trước dùng cáp loại K-7 được kéo trên bệ; ứng suất trước có kể đến tổn hao thứ nhất

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

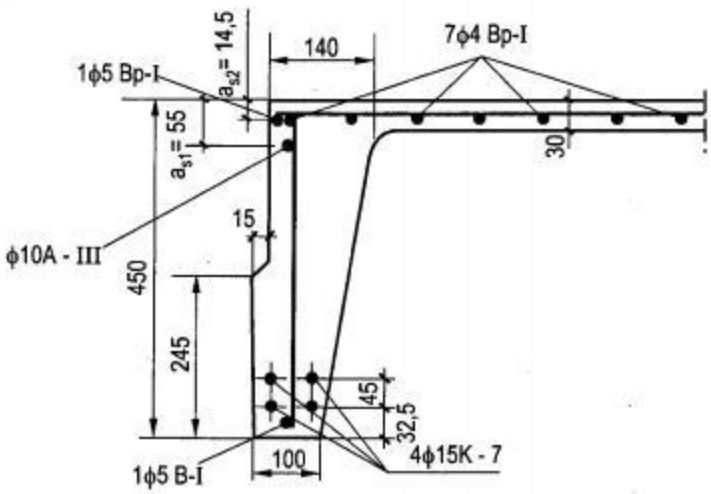
σ_{sp1} = 900 MPa với γ_{sp} > l; cường độ khi truyền ứng suất của bêtông R_{bp} = 25 MPa; khối lượng tấm là 7,4T; móc cẩu bố trí cách đầu tấm 800 mm.

Yêu cầu:

Kiểm tra cường độ của tấm trong giai đoạn sản xuất.

Tính toán:

Từ hình 7.5 rõ ràng là ở vùng nén nhiều hơn bố trí cốt thép ứng suất trước loại K-7, có diện tích A'_{sp} = 566 mm^2 (4ϕ15), cốt không ứng suất trước 1ϕ5 loại Bp-I bố trí trong vùng này sẽ không kể vào trong tính toán.



Hình 7.5: *Hình vẽ dùng cho ví dụ 17*

Trong vùng chịu nén ít hơn bố trí cốt không ứng suất trước có giới hạn chảy thực 1ϕ10 loại A-III (A_{s1} = 78,5 mm^2) và 1ϕ5 Bp-I + 7ϕ4 Bp-I (A_{s2} = 19,6 + 87,9 = 107,6 mm^2).

Do giá trị R_s của cốt thép loại A-III và Bp-I (ϕ4 và ϕ5) gần giống nhau, lấy điểm đặt hợp lực trong cốt thép tại trọng tâm tiết diện các cốt này, khi đó khoảng cách từ điểm này đến cạnh trên của tiết diện lấy bằng:

$$a = \frac{A_{s1}a_{s1} + A_{s2}a_{s2}}{A_{s1} + A_{s2}} = \frac{78,5.55 + 107,6.14,5}{78,5 + 107,6} = 31,6 \text{ mm}.$$

Do đó, h_0 = h – a = 450 – 31,6 = 418 mm.

Từ hình 7.5 ta có $a'_p = 32,5 + \frac{45}{2} = 55.$

Lực nén tính toán, lấy bằng:

$$N_p = (\sigma_{sp1} - 330)A'_{sp} = (900 - 330)\ 566 = 322\ 600 \text{ N} = 322,6 \text{ kN}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Xác định giá trị e:

Tải trọng phân bố đều do trọng lượng tấm được tính với hệ số độ tin cậy về tải trọng $\gamma_f = 1,1$, sẽ được lấy bằng:

$$q = \frac{7400}{12} 0,01.1,1 = 6,8 \text{ kN/m}.$$

Do móc cẩu nằm cách đầu tấm một khoảng $l = 0,8$ m, mômen bất lợi nhất do trọng lượng bản thân sẽ kéo cạnh trên của tiết diện khi nâng tấm lên. Xác định mômen này có kể đến hệ số vượt tải là 1,4, đối với một nửa tiết diện tấm có:

$$M = 0,5\frac{ql^2}{2}1,4 = 0,5\frac{6,8.0,8^2}{2}1,4 = 1,52 \text{ kNm}.$$

Khi đó $e = h_0 - a'_p + \frac{M}{N_p} = 418 - 55 + \frac{1,52.10^6}{322,6.10^3} \cong 368$ mm.

Cường độ tính toán của bêtông tương ứng với cường độ truyền ứng suất trước $R_{bp} = 25$ MPa khi $\gamma_{b2} = 1$, có $R_b^{(p)} = 14,5$ MPa, nếu có kể đến hệ số $\gamma_{s8} = 1,1$ thì $R_b^{(p)} = 1,1 \cdot 14,5 = 16$ MPa.

Do bề rộng sườn b thay đổi nên được lấy gần đúng bằng bề rộng tại giữa chiều cao vùng nén (bằng $\xi_R h_0$).

Bêtông cói $R_{bp} = 25$ MPa, với bêtông nặng và cốt căng là sợi, ta có có $\xi_R = 0,52$. Khi đó

$$b = 100 + \frac{15 + 140 - 100}{450 - 30} \cdot \frac{0,52.418}{2} = 114,2 \text{ mm}.$$

Chiều cao vùng nén khi $A_{sp} = 0$ và $A'_s = 0$ được lấy bằng:

$$x = \frac{N_p + R_s A_s}{R_b^{(p)} b} = \frac{322600 + 365.78,5 + 360.19,6 + 370.87,9}{16.114,2} = 214,2 \text{ mm}.$$

Do $\xi = x/h_0 = 214,2 / 418 = 0,512 < \xi_R = 0,52$, cường độ được kiểm tra theo điều kiện (7.28). Trong đó chiều rộng của sườn không cần tính lại do giá trị ξ nhận được gần với giá trị ξ_R:

$$R_b^{(p)} bx (h_0 - 0,5x) = 16.114,2.214,2 (418 - 0,5.214,2) =$$

$$= 121,7.10^6 \text{ Nmm} = 121,7 \text{ KNm} > N_p e =$$

$$= 322,6.0,368 = 118,7 \text{kNm},$$

Kết luận: Cường độ tiết diện trong giai đoạn sản xuất được đảm bảo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 8

CẤU KIỆN CHỊU KÉO – TÍNH TOÁN THEO CƯỜNG ĐỘ

8.1. CẤU KIỆN CHỊU KÉO ĐÚNG TÂM

Thanh bêtông ứng suất trước chịu kéo được xem là làm việc chịu kéo đúng tâm nếu cả nội lực và lực nén trước đều có điểm đặt trùng với trọng tâm quy đổi của tiết diện của cấu kiện.

Sự làm việc của thanh bêtông ứng suất trước chịu kéo đúng tâm đã được xem xét trong chương 1. Khi cấu kiện chịu kéo đúng tâm đạt trạng thái giới hạn về độ bền, bêtông bị nứt hoàn toàn, các cốt thép dọc được giả thiết đều bị chảy dẻo. Theo TCXDVN 356 : 2005 cường độ chịu lực của cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu kéo đúng tâm được tính toán kiểm tra theo điều kiện:

$$N \le \eta R_s A_{sp,tot} + R_s A_{s,tot} \qquad (8.1)$$

Trong đó:

η - hệ số, lấy như trong công thức (5.7);

$A_{sp,tot}$, $A_{s,tot}$ lần lượt là diện tích tiết diện toàn bộ cốt dọc căng và không căng (cốt thép thường).

8.2. CẤU KIỆN TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT KHI LỰC DỌC ĐẶT TRONG MẶT PHẲNG ĐỐI XỨNG

Cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu kéo có tiết diện chữ nhật thường gặp trong thực tế là các thanh giàn chịu kéo, thanh giằng trong kết cấu khung, thanh giằng của kết cấu vòm...

Tính toán cấu kiện chịu kéo lệch tâm tiết diện chữ nhật có cốt thép đặt ở cạnh chịu kéo và cạnh chịu nén (kéo ít hơn) được thực hiện phụ thuộc vào vị trí của lực dọc N:

a) Nếu lực dọc N đặt giữa hợp lực của các cốt thép S và S' (hình 8.1a), tức là khi $e' \le h_0 - a'$, - theo điều kiện:

$$Ne' \le (\eta R_s A_{sp} + R_s A_s)(h_0 - a') \qquad (8.2)$$

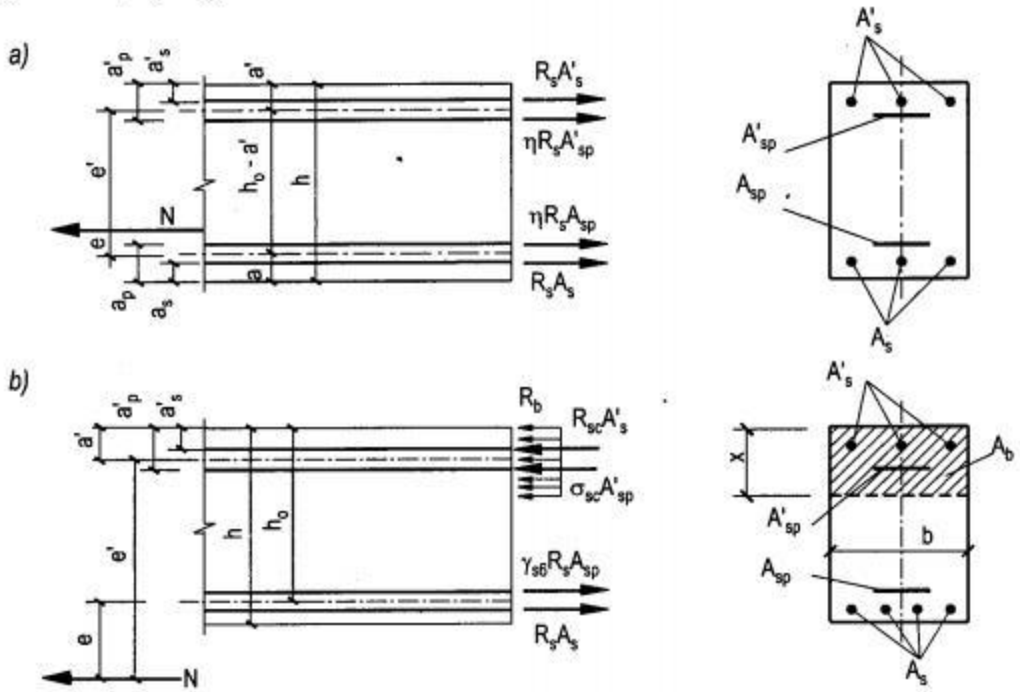
$$Ne \le (\eta R_s A'_{sp} + R_s A'_s)(h_0 - a') \qquad (8.3)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

η - hệ số, lấy như trong công thức (5.7);

Nếu cốt thép được bố trí đối xứng thì trong hai điều kiên (8.2) và (8.3) chỉ cần sử dụng điều kiện (8.2);



Hình 8.1: *Sơ đồ nội lực trên tiết diện chịu kéo lệch tâm khi tính toán theo cường độ*
a) Khi lực dọc N đặt giữa hợp lực trong cốt thép S và S';
b) Khi lực dọc nằm ngoài khoảng giữa các hợp lực trong cốt thép S và S'.

b) Nếu lực dọc N đặt ngoài khoảng giữa các hợp lực trong cốt thép S và S' (hình 8.1b), tức là khi $e' > h_0 - a'$, từ điều kiện:

$$Ne \le R_b\, bx(h_0 - x/2) + R_{sc}\, A'_s\, (h_0 - a'_s) + \sigma_{sc}\, A'_{sp}\, (h_0 - a'_p) \qquad (8.4)$$

đồng thời chiều cao vùng nén x được xác định theo công thức

$$x = \frac{\gamma_{s6} R_s A_{sp} + R_s A_s - R_{sc} A'_s - \sigma_{sc} A'_{sp} - N}{R_b b} \qquad (8.5)$$

Trong đó :

σ_{sc} - giá trị ứng suất trong cốt thép căng ở vùng chịu nén, xác định theo công thức (5.5);

γ_{s6} - hệ số đặc trưng cho sự làm việc của cốt thép cường độ cao trong điều kiện ứng suất lớn hơn giới hạn chảy quy ước, được xác định theo chỉ dẫn trong chương 5.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi xác định γ_{s6} một cách gần đúng có thể sử dụng $\xi = \frac{x}{h_0}$, được xác định từ công thức (8.5) nhưng không xét đến γ_{s6}.

Các trường hợp đặc biệt :

- Nếu từ công thức (8.5) tính được $x > \xi_R h_0$, trong điều kiện (8.4) lấy giá trị $x = \xi_R h_0$;

- Nếu $x < 0$, tức là tiết diện không có vùng nén, cường độ tại tiết diện được kiểm tra theo điều kiện (8.2);

- Nếu khi $e' > h_0 - a'$, chiều cao vùng nén được xác định không xét đến cốt thép không căng S', tức là:

$$x = \frac{\gamma_{s6} R_s A_{sp} + R_s A_s - \sigma_{sc} A'_{sp} - N}{R_b b}$$

nhỏ hơn $2a'_s$, thì khả năng chịu tải tính toán có thể tăng lên khi thực hiện các tính toán theo công thức (8.4) và (8.5) không xét đến cốt thép thường (không căng) S'.

Các cấu kiện tiết diện chữ nhật có cốt thép đối xứng bố trí thành một vài hàng theo chiều cao tiết diện, được tính với lực N đặt giữa các hàng cốt thép ngoài cùng theo điều kiện

$$Ne_1 \le \eta R_s S_{sp} + R_s S_s \qquad (8.6)$$

Trong đó:

e_1 - khoảng cách từ lực N đến trục vuông góc với phương lệch tâm và đi qua dãy cốt thép chịu kéo ít nhất;

S_{sp}, S_s lần lượt là mô men tĩnh của tiết diện toàn bộ cốt thép căng và cốt thép không ứng suất trước đối với cũng chính trục này;

η - hệ số, lấy như trong công thức (5.7).

Nếu lực N đặt bên ngoài khoảng giữa các cốt thép ngoài cùng, việc tính toán được thực hiện theo công thức của trường hợp tổng quát (mục 8.3).

Việc xác định số lượng cốt thép dọc cần thiết được thực hiện như sau:

* Khi $e' \le h_0 - a'$ diện tích cốt ứng suất trước S và S′ được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{Ne' - R_s A_s (h - a' - a_s)}{\eta R_s (h - a' - a_p)} \qquad (8.7)$$

$$A'_{sp} = \frac{Ne - R_s A'_s (h - a - a'_s)}{\eta R_s (h - a - a'_p)} \qquad (8.8)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

* Khi $e' > h_0 - a'$ diện tích tiết diện cốt ứng suất trước S được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + R_{sc} A'_s + \sigma_{sc} A'_{sp} - R_s A_s + N}{\gamma_{s6} R_s} \tag{8.9}$$

Trong đó ξ được xác định theo phụ lục 19, phụ thuộc vào giá trị :

$$\alpha_m = \frac{Ne - R_{sc} A'_{sc} (h_0 - a'_s) - \sigma_{sc} A'_{sp} (h_0 - a'_p)}{R_b b h_0^2} \tag{8.10}$$

γ_{s6} - xem công thức (5.7).

Đồng thời cần tuân theo điều kiện $\alpha_m \le \alpha_R = \xi_R (1 - \xi_R/2)$. Trường hợp ngược lại, cần tăng diện tích tiết diện cốt thép không căng A'_s, tăng cấp bêtông hoặc tăng kích thước tiết diện.

Nếu $\alpha_m < 0$, diện tích tiết diện cốt thép căng S được xác định theo công thức (8.7).

Khi chọn cốt thép căng đối xứng, ở lần lặp đầu tiên trong công thức (8.9) và (8.10) gán $A'_{sp} = 0$. Đồng thời nếu ứng suất σ_{sc} giảm (tức là $\sigma_{sc} > 0$), các tính toán lặp có thể không cần thực hiện tiếp.

Trường hợp $e' > h_0 - a'$ và khi không có cốt thép căng S', số lượng cốt thép căng cần thiết S có thể giảm nếu giá trị ξ xác định theo phụ lục 19 (không kể đến cốt thép không căng S'), tức là giá trị $\alpha_m = \frac{Ne}{R_b b h_0^2}$ nhỏ hơn $2a'_s/h_0$. Trong trường hợp này, tiết diện cốt thép căng S được xác định theo công thức:

$$A_{sp} = \frac{N\left(\frac{e}{\zeta h_0} + 1\right) - R_s A_s}{\gamma_{s6} A_s} \tag{8.11}$$

Trong đó: giá trị ζ và giá trị ξ dùng để tính toán γs6, được xác định theo phụ lục 19, phụ thuộc vào giá trị $\alpha_m = \frac{Ne}{R_b b h_0^2}$.

8.3 TRƯỜNG HỢP TỔNG QUÁT TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN THẲNG GÓC CỦA CẤU KIỆN CHỊU KÉO LỆCH TÂM

Tính toán tiết diện thẳng góc cấu kiện chịu kéo lệch tâm trong trường hợp tổng quát (hình 8.2) cần được thực hiện theo điều kiện :

$$Ne' \le \Sigma \sigma_{si} S_{si} - R_b S_b \tag{8.12}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

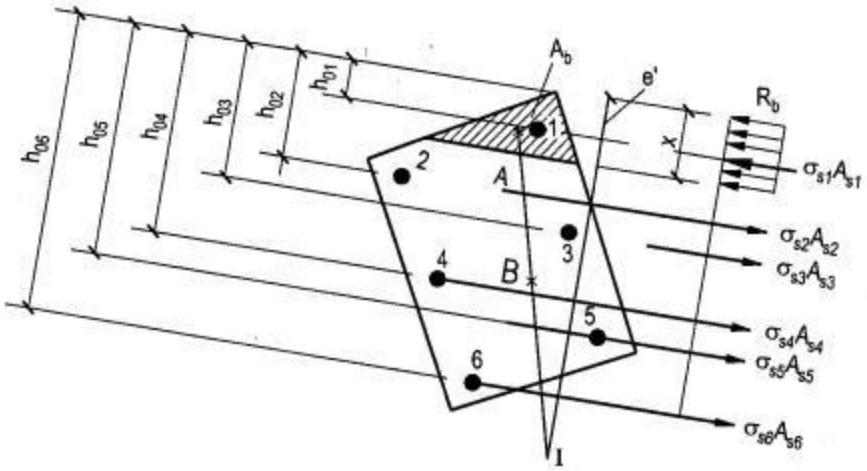
Trong đó:

e' - khoảng cách từ lực dọc N đến trục song song với đường thẳng giới hạn vùng nén và đi qua điểm thuộc vùng nén cách xa nhất đối với đường này;

σ_{si} - ứng suất trên thanh cốt dọc thứ i;

S_{si} - mô men tĩnh của tiết diện thanh cốt dọc thứ i đối với trục nói trên;

S_b - mô men tĩnh của diện tích tiết diện bêtông vùng nén đối với trục dọc nói trên.



***Hình 8.2:** Trường hợp tổng quát tính toán cấu kiện chịu kéo lệch tâm*

I - điểm đặt lực kéo N; A - điểm đặt hợp lực của cốt thép và bêtông vùng nén;

B - điểm đặt hợp lực trong cốt thép chịu kéo ; 1-6 - thanh cốt thép

Chiều cao vùng nén của bêtông x và ứng suất σ_{si} được xác định từ việc giải đồng thời các phương trình từ (5.46) đến (5.49) đồng thời đưa thêm vào phần bên trái công thức (5.46) giá trị N.

Khi kéo lệch tâm xiên, để xác định vị trí biên vùng nén ngoài việc sử dụng công thức (5.46) ÷ (5.49) cần tuân theo các điều kiện bổ sung là điểm đặt ngoại lực hợp lực nén trong bêtông, cốt thép và hợp lực trong cốt thép chịu kéo cần nằm trên một đường thẳng.

8.4. TÍNH TOÁN THEO TIẾT DIỆN NGHIÊNG ĐỐI VỚI TRƯỜNG HỢP CẤU KIỆN CHỊU KÉO

Tính toán tiết diện nghiêng đối với trường hợp cấu kiện chịu kéo lệch tâm và chịu cả lực cắt được thực hiện như đối với cấu kiện chịu uốn đã được xem xét trong chương 6; Trong đó khi N < P, giá trị P trong công thức (6.9) được giảm đi một lượng bằng lực dọc N, còn trong trường hợp khi N > P, công thức (6.9) được thay bằng công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\varphi_n = -0{,}2\frac{N-P}{R_{bt}bh_0} \qquad (8.13)$$

Trong đó: giá trị tuyệt đối của φ_n được lấy không lớn hơn 0,8. Ở đây P là nội lực do ứng suất trước của cốt thép đặt trong vùng kéo của tiết diện; khi lực N nằm giữa hai dãy cốt thép ngoài cùng, nội lực được tính từ toàn bộ cốt thép căng ngoài các cốt thép ở dãy chịu kéo ít nhất. Trong trường hợp này chiều cao vùng nén của tiết diện h_0 được tính từ dãy chịu kéo nhiều nhất.

Tính toán tiết diện nghiêng của cấu kiện chịu kéo lệch tâm chịu mô men uốn được thực hiện theo chỉ dẫn tại mục 6.4 – chương 6. Trong đó chiều cao vùng nén trong tiết diện nghiêng được xác định có xét đến lực kéo N theo công thức (8.5) hoặc tính theo trường hợp tổng quát của chịu kéo lệch tâm (mục 8.3).

8.5. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

VÍ DỤ 18:

Số liệu:

Kích thước tiết diện của thanh cánh hạ của dàn không có thanh xiên: b = 220 mm, h = 240 mm, a = a' = 40 mm; bêtông cấp B30; cốt thép dọc căng trước bố trí đối xứng loại A-IV (R_s = 510 MPa, η = 1,2), diện tích tiết diện $A_{sp} = A'_{sp}$ = 763 mm^2 (3ϕ18); lực kéo dọc trục N = 600kN; mômen uốn lớn nhất M = 24 kNm.

Yêu cầu:

Kiểm tra cường độ tiết diện thẳng góc.

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 240 - 40 = 200 \text{ mm};$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{24}{600} = 0{,}04 \text{ m} = 40 \text{ mm};$$

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a' = 40 + \frac{240}{2} - 40 = 120 \text{ mm}.$$

Do e' = 120 mm < $h_0 - a'$ = 200 – 40 = 160 mm, cường độ tiết diện được kiểm tra từ điều kiện (8.2). Điều kiện (8.3) không kiểm tra do cốt thép đối xứng:

$$\eta R_s A_{sp} (h_0 - a'_p) = 1{,}2.510.763\ (200 - 40) = 74{,}7.10^6 \text{ Nmm} =$$

$$= 74{,}7 \text{ kNm} > Ne' = 600.0{,}12 = 72 \text{ kNm},$$

Tức là cường độ tiết diện đảm bảo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

VÍ DỤ 19:

Số liệu:

Kích thước tiết diện : b = 240 mm, h = 360 mm; đặt cốt dọc ứng suất trước loại A-V có R_s = 680 MPa (hình 8.3); lực kéo đặt đúng tâm N = 1000 kN, mômen uốn M = 80 kNm; diện tích tiết diện toàn bộ cốt dọc $A_{sp,tot}$ = 2513 mm^2 (8∅20).

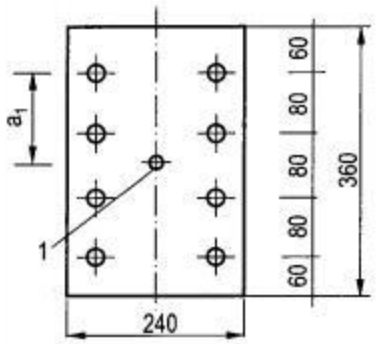
Yêu cầu:

Kiểm tra cường độ tiết diện thẳng góc.

Tính toán :

Khoảng cách từ dãy cốt thép ngoài cùng đến trọng tâm tiết diện (hình 8.3) được tính là:

$$a_1 = \frac{360}{2} - 60 = 120 \text{ mm}.$$



Hình 8.3: *Hình vẽ dùng cho ví dụ 20*
1 – trọng tâm tiết diện

Do e_0 = M/N = 80/1000 = 0,08m = 80 mm < a_1 = 120 mm, lực N đặt giữa các dãy cốt thép ngoài cùng và cường độ tiết diện có thể kiểm tra theo điều kiện (8.6).

Mômen tĩnh của diện tích tiết diện toàn bộ cốt thép đối với dãy cốt thép ngoài cùng lấy bằng:

$$S_{sp} = A_{sp,tot}\, a_1 = 2513.120 = 301600 \text{ mm}^3.$$

Khoảng cách từ lực N đến dãy cốt thép chịu kéo ít ít nhất là $e_1 = e_0 + a_1$ = 80 + 120 = 200 mm.

η = 1,15 (đối với cốt thép loại A-V);

Ta có:

$$\eta R_s S_{sp} = 1{,}15.680.301600 = 235{,}85.10^6 \text{ Nmm} =$$

$$= 235{,}85 \text{ kNm} > Ne_1 = 1000.0{,}2 = 200 \text{ kNm},$$

Kết luận: Cường độ tiết diện đảm bảo.

VÍ DỤ 20:

Số liệu:

Kích thước tiết diện thanh cánh dưới của dàn vì kèo: b = 550 mm, h = 210 mm, a = a' = 50 mm; cốt thép dọc căng trước làm bằng cáp loại K-7, có đường kính 15 mm (R_s = 1080 MPa); lực kéo dọc trục N = 2200 kKN; mômen uốn M = 44 kNm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu:

Xác định diện tích tiết diện cốt dọc đối xứng.

Tính toán:

$h_0 = h - a = 210 - 50 = 160$ mm;

$e_0 = M / N = 44 / 2200 = 0,02$ m $= 20$ mm;

$e' = e_0 + h / 2 - a = 20 + 210 / 2 - 50 = 75$ mm.

Do $h_0 - a' = 160 - 50 = 110$ mm $> e' = 75$ mm, diện tích cốt thép S và S′ được xác định theo công thức (8.7), với $\eta = 1,15$:

$$A_{sp} = A'_{sp} = \frac{Ne'}{\eta R_s (h_0 - a')} = \frac{2200000 \cdot 75}{1,15 \cdot 1080(160 - 50)} = 1208 \text{ mm}^2.$$

Chọn $A_{sp} = A'_{sp} = 1273$ mm^2 (9ϕ15 K-7).

VÍ DỤ 21:

Số liệu:

Kích thước tiết diện thanh cánh dưới của dàn không có thanh xiên: b = 240mm, h = 360 mm, a = a' = 60 mm; bêtông cấp B30 ($R_b = 15,5$ MPa khi $\gamma_{b2} = 0,9$); cốt thép dọc căng trước loại A-V ($R_s = 680$ MPa); lực kéo N = 480 kN; mômen uốn M = 72 kNm.

Yêu cầu:

Xác định diện tích tiết diện cốt dọc đối xứng.

Tính toán:

$h_0 = h - a = 360 - 60 = 300$ mm; $e_0 = M/N = 72 / 480 = 0,15$ m $= 150$ mm;

$e' = e_0 + h/2 - a' = 150 + 360/2 - 60 = 270$ mm;

$e = e_0 - h/2 + a = 150 - 360/2 + 60 = 30$ mm.

Do $h_0 - a' = 300 - 60 = 240$ mm $< e' = 270$ mm, cốt thép được chọn theo chỉ dẫn tại mục 8.2.

Khi đó theo công thức (8.9) xác định giá trị α_m, ở lần xấp xỉ thứ nhất lấy $A'_{sp} = 0$:

$$\alpha_m = \frac{Ne}{R_b b h_0^2} = \frac{480000.30}{15,5.240.300^2} = 0,043 .$$

Từ phụ lục 19 đối với $\alpha_m = 0,043$ tìm được $\xi = 0,045$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ phụ lục 18 khi $\gamma_{b2} = 0,9$, loại cốt thép A-V, cấp bêtông B30 và $\frac{(\sigma_{sp} + \Delta\sigma_{sp})}{R_s} = 0,6$,

ta nhận được $\xi_R = 0,5$.

Do $\xi = 0,045 < 0,5\ \xi_R = 0,25$, lấy $\gamma_{s6} = \eta = 1,15$.

Diện tích tiết diện cốt thép S được xác định theo công thức (8.9):

$$A_{sp} = \frac{\xi R_b b h_0 + N}{\gamma_{s6} R_s} = \frac{0,045 \cdot 15,5 \cdot 240 \cdot 300 + 480000}{1,15 \cdot 680} = 678\ mm^2.$$

Khi $\sigma'_{sp} = \gamma_{sp} 0,6 R_s = 1,1.0,6.680 = 449$ MPa giá trị $\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma'_{sp} = 500 - 449 > 0$, do đó tính toán lặp không cần thực hiện.

Chọn $A_{sp} = A'_{sp} = 760\ mm^2$ (2ϕ22).

VÍ DỤ 22:

Số liệu:

Kích thước tiết diện thanh cánh dưới của dàn không có thanh xiên: b = 220 mm, h = 240 mm, a = a′ = 40 mm; chiều dài thanh giữa hai cột là 2,8 m; bêtông cấp B30 (R_{bt} = 1,1 MPa khi $\gamma_{b2} = 0,9$); cốt đai làm từ lưới sợi thép loại Bp-I (R_{sw} = 260 MPa với d = 5 mm); lực kéo dọc đặt đúng tâm N = 300 kN; lực nén do cốt ứng suất trước đặt đối xứng P = 480 kN; lực cắt Q = 17 kN; mômen uốn lớn nhất tại tiết diện ở cuối thanh M_{max} = 23,8 kNm; các đặc trưng của tiết diện quy đổi: $A_{red} = 58100\ mm^2$, $I_{red} = 286,7.10^6\ mm^4$.

Yêu cầu:

Xác định đường kính và bước cốt đai.

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 240 - 40 = 200\ mm.$$

Xác định hệ số φ_n theo chỉ dẫn tại mục 8.4:

Cốt thép căng đặt thành hai hàng và đối xứng qua trọng tâm tiết diện vì vậy giá trị của P được tính chỉ từ một nửa cốt ứng suất trước, tức là P = 0,5.480 = 240 kN.

Do P = 240 kN < N = 400 kN, φ_n được xác định theo công thức (8.13):

$$\varphi_n = -0,2\frac{N - P}{R_{bt} b h_0} = -0,2\frac{(400 - 240)10^3}{1,1 \cdot 220 \cdot 200} = -0.661.$$

Do $|\varphi_n| = 0,661 < 0,8$, giữ lại $\varphi_n = -0,661$.

Cần xác định có yêu cầu cốt đai theo điều kiện cường độ hay không. Muốn vậy kiểm tra điều kiện (6.28) với chiều dài hình chiếu tiết diện nghiêng c được lấy

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

bằng chiều dài đoạn có vết nứt thẳng góc, tức là với $c = \frac{M_{max} - M_{crc1}}{Q}$, trong đó M_{crc1} - mômen uốn ngoại lực tương ứng với khi hình thành vết nứt.

Xác định mômen M_{crc1} từ điều kiện (9.3), sau khi đặt nó ở dạng cân bằng

$$M_r = M_{crc1} + Nr = M_{crc} = R_{bt} W_{pl} + P (e_{0p} + r),$$

Từ đó: khi $e_{0p} = 0$ ta có

$$M_{crc1} = R_{bt} W_{pl} + (P - N)r \text{ (ở đây P – lực nén toàn phần).}$$

Xác định W_{pl} và r:

$$y = \frac{h}{2} = \frac{240}{2} = 120 \text{ mm}; \; W_{red} = \frac{I_{red}}{y} = \frac{286,7 \cdot 10^6}{120} = 239 \cdot 10^6 \text{ mm}^3;$$

$W_{pl} = \gamma W_{red} = 1,75.239.10^6 = 4,18.10^6$ mm^3 (ở đây y = 1,75; xem bảng 9.1).

Để đơn giản khi tính toán lấy $\varphi = 0,8$, có

$$r = \varphi \frac{W_{red}}{A_{red}} = 0,8 \frac{2390 \cdot 10^3}{58,1 \cdot 10^3} = 32,9 \text{ mm}.$$

Do đó:

$$M_{crc1} = 1,1.4,18.10^6 + (480 - 400)\, 10^3.32,9 = 7,23.10^6 \text{ Nmm} = 7,23 \text{ kNm};$$

$$c = \frac{23,8 - 7,23}{17} = 0,975\text{m}.$$

Do c = 975 mm > 2,5 h_0 = 2,5.200 = 500 mm, theo chỉ dẫn tại mục 6.3.4 ta có:

$$Q_{b1} = Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1+\varphi_n) R_{bt} b h_0$$

$$= 0,6(1-0,661)1,1.220.200 = 9845 \text{ N} = 9,85 \text{ kN},$$

Trong đó: $\varphi_{b3} = 0,6$ (bảng 6.1).

$Q_{b1} = 9,85$ kN < Q = 17 kN, tức là điều kiện (6.28) không đảm bảo và cốt đai cần chọn theo điều kiện cường độ.

Theo công thức (6.7) xác định M_b với $\varphi_{b2} = 2$ (xem bảng 6.1) và $\varphi_f = 0$:

$M_b = \varphi_{b2} (1+\varphi_n) R_{bt} b h_0^2 = 2(1 - 0,661)1,1 \cdot 220 \cdot 200^2 = 6,56.10^6$ Nmm.

Do lực cắt không đổi trên cả chiều dài cấu kiện do đó lấy chiều dài hình chiếu c bằng chiều dài cấu kiện, tức là c = 2,8 m.

$$Q_b = M_b/c = 6,56/2,8 = 2,34 \text{ kN} < Q_{b,min} = 9,85 \text{ kN}.$$

Lấy $Q_b = Q_{b,min} = 9,85$ kN.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Do $c = 2,8$ m $> 2h_0 = 2.0,2 = 0,4$ m, nên $c_0 = 2h_0 = 0,4$ m.

Khi đó: $$x_0 = \frac{Q_{b,min}}{Q_b} \cdot \frac{c_0}{2h_0} = 1.$$

Do $x = \frac{Q - Q_b}{Q_b} = \frac{17 - 9,85}{9,85} = 0,727 < x_0$, giá trị q_{sw} được xác định theo công thức (6.16):

$$q_{sw} = \frac{Q}{c_0} \cdot \frac{x_0}{x_0 + 1} = \frac{17}{0,4} \cdot \frac{1}{2} = 21,25 \text{ kN/m}.$$

Bước cốt đai lớn nhất cho phép được lấy bằng:

$$c_{max} = \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_f) R_{bt} b h_0^2}{Q} = \frac{1,5(1 - 0,661)1,1 \cdot 220 \cdot 200^2}{17 \cdot 10^3} =$$

$$= 289 \text{ mm} > \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_f)}{2,5} h_0 = \frac{1,5(1 - 0,661)}{2,5} 200 = 40 \text{ mm}.$$

Chọn bước cốt đai $s = 200$mm $< 2b = 440$ mm.

Khi đó:

$$A_{sw} = \frac{q_{sw} s}{R_{sw}} = \frac{21,25.200}{260} = 16,3 \text{ mm}^2.$$

Chọn hai cốt đai đường kính 4 mm ($A_{sw} = 21,1$ mm^2).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 9

TÍNH TOÁN CẤU KIỆN BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC THEO SỰ HÌNH THÀNH, MỞ RỘNG VÀ KHÉP KÍN VẾT NỨT

9.1. QUY ĐỊNH CHUNG

Theo quy định của Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005, kết cấu bêtông ứng suất trước, căn cứ vào điều kiện làm việc và loại cốt thép sử dụng, được phân thành ba cấp chống nứt:

Cấp 1: Không cho phép xuất hiện vết nứt;

Cấp 2: Cho phép có sự mở rộng ngắn hạn của vết nứt với bề rộng hạn chế a_{crl} nhưng bảo đảm sau đó chắc chắn sẽ khép kín lại;

Cấp 3: Cho phép có sự mở rộng ngắn hạn của vết nứt với bề rộng hạn chế a_{crl} và có sự mở rộng dài hạn vết nứt với bề rộng hạn chế a_{cr2}.

Đối với cấu kiện được tính toán chịu tác dụng của tải trọng lặp, không cho phép xuất hiện các vết nứt.

Bề rộng vết nứt ngắn hạn được hiểu là sự mở rộng vết nứt khi kết cấu chịu tác dụng đồng thời của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời ngắn hạn và dài hạn. Bề rộng vết nứt dài hạn được hiểu là sự mở rộng vết nứt khi kết cấu chỉ chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn. Cấp chống nứt của kết cấu cũng như giá trị bề rộng giới hạn cho phép của vết nứt trong điều kiện môi trường không bị xâm thực cho trong phụ lục 15 (đảm bảo hạn chế thấm cho kết cấu) và phụ lục 16 (bảo vệ an toàn cho cốt thép).

Các đặc trưng vật liệu, hệ số độ tin cậy và hệ số điều kiện làm việc dùng trong tính toán được lấy căn cứ vào quy định của tiêu chuẩn về tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai. Tải trọng, hệ số độ tin cậy của tải trọng dùng để tính toán theo điều kiện hình thành, mở rộng hoặc khép kín vết nứt được cho trong phụ lục 14. Giá trị ứng suất trước và độ chính xác dùng trong tính toán nứt được lấy theo quy định của tiêu chuẩn thiết kế (chương 3). Tính toán về nứt trong đoạn truyền ứng suất cần xét đến sự giảm ứng suất.

Tính toán nứt đối với cấu kiện thanh được thực hiện theo tiết diện thẳng góc và tiết diện nghiêng đối với trục cấu kiện. Tiết diện thẳng góc ứng với dạng vết nứt

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thẳng góc với trục cấu kiện và được hình thành bắt đầu từ mép chịu kéo của cấu kiện và phát triển lên phía mép đối diện. Tiết diện nghiêng ứng với các vết nứt được hình thành theo phương vuông góc với ứng suất kéo chính khi có trạng thái chịu lực phức tạp như trường hợp cắt - uốn.

Khi tính toán nứt theo tiết diện thẳng góc cần xét đến biến dạng phi đàn hồi của các vật liệu và hiệu ứng của ứng suất trước, còn khi tính toán nứt theo tiết diện nghiêng thì ngoài việc xét đến biến dạng phi đàn hồi của các vật liệu, hiệu ứng của ứng suất trước, còn phải xét đến ảnh hưởng của trạng thái chịu lực theo hai trục.

Tính toán theo sự hình thành vết nứt được thực hiện với mục đích đảm bảo không xuất hiện vết nứt đối với các cấu kiện bêtông ứng suất trước có yêu cầu chống nứt cấp 1, các cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2 nếu theo tính toán không đảm bảo chắc chắn vết nứt được khép kín và tại các đầu mút cấu kiện trong khoảng truyền ứng suất của cốt thép không có thiết bị neo.

Tính toán theo sự mở rộng vết nứt đối với các cấu kiện bêtông ứng suất trước có yêu cầu chống nứt cấp 2 và 3.

Tính toán theo điều kiện khép kín vết nứt dành cho các cấu kiện bêtông ứng suất trước có yêu cầu chống nứt cấp 2.

9.2. TÍNH TOÁN THEO SỰ HÌNH THÀNH VẾT NỨT

9.2.1. Tính toán theo sự hình thành vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện

Ngay trước khi xuất hiện vết nứt đầu tiên thẳng góc với trục dọc cấu kiện bêtông ứng suất trước đạt trạng thái Ia (chương 4).

Để tính toán về sự hình thành vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện, các giả thiết tính toán sau đây được chấp nhận:

- Tiết diện phẳng vuông góc với trục dọc cấu kiện sau khi biến dạng vẫn phẳng;
- Độ giãn dài tương đối lớn nhất của thớ bêtông chịu kéo ngoài cùng bằng $2R_{bt,ser}/E_b$;
- Ứng suất trong bêtông vùng chịu kéo phân bố đều và có giá trị $R_{bt,ser}$;
- Ứng suất trong bêtông vùng chịu nén được xác định có xét đến biến dạng đàn hồi và không đàn hồi của bêtông. Biến dạng không đàn hồi của bêtông trong vùng chịu nén được tính đến bằng cách giảm khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến điểm mép lõi nằm đối diện với mép chịu kéo của tiết diện.

Tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước về sự hình thành vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện thường phân ra các trường hợp:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm

Thanh bêtông ứng suất trước chịu kéo đúng tâm đã được xem xét trong chương 1. Theo kết quả phân tích trên thì tiết diện cấu kiện chịu kéo đúng tâm không bị nứt khi thoả mãn điều kiện:

$$N \le N_{crc} \tag{9.1}$$

Trong đó:

N - lực kéo đung tâm tác dụng lên cấu kiện;

N_{crc} - lực kháng nứt của tiết diện, được xác định theo công thức :

$$N_{crc} = R_{bt,ser}\left(A + 2\alpha A_{sp,tot} + 2\alpha A_{s,tot}\right) + P \tag{9.2}$$

$A_{sp,tot}$, $A_{s,tot}$ lần lượt là diện tích toàn bộ cốt thép căng và cốt thép thường;

A - diện tích tiết diện thanh;

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}.$$

2. Cấu kiện chịu uốn, chịu nén lệch tâm và chịu kéo lệch tâm

Sơ đồ phân bố ứng suất và nội lực trên tiết diện thẳng góc ứng với các trường hợp chịu uốn, chịu nén lệch tâm và chịu kéo lệch tâm tại thời điểm trước khi xuất hiện vết nứt thẳng góc được thể hiện trên các hình 9.1a, 9.1b và 9.1c.

Việc thiết lập điều kiện tính toán sự hình thành vết nứt cho các trường hợp này được thực hiện như sau:

Trước tiên ta tính toán tiết diện có xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông tại vùng kéo, nhưng chưa xét đến biến dạng phi đàn hồi của bêtông ở vùng nén.

Khi không xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông tại vùng nén, việc thiết lập phương trình cân bằng của tiết diện tại thời điểm ngay trước khi xuất hiện vết nứt tương đối đơn giản. Trong trường hợp này tính toán sự hình thành vết nứt thẳng góc đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước cho cả ba trường hợp được thực hiện theo điều kiện:

$$M_r \le M_{crc} \tag{9.3}$$

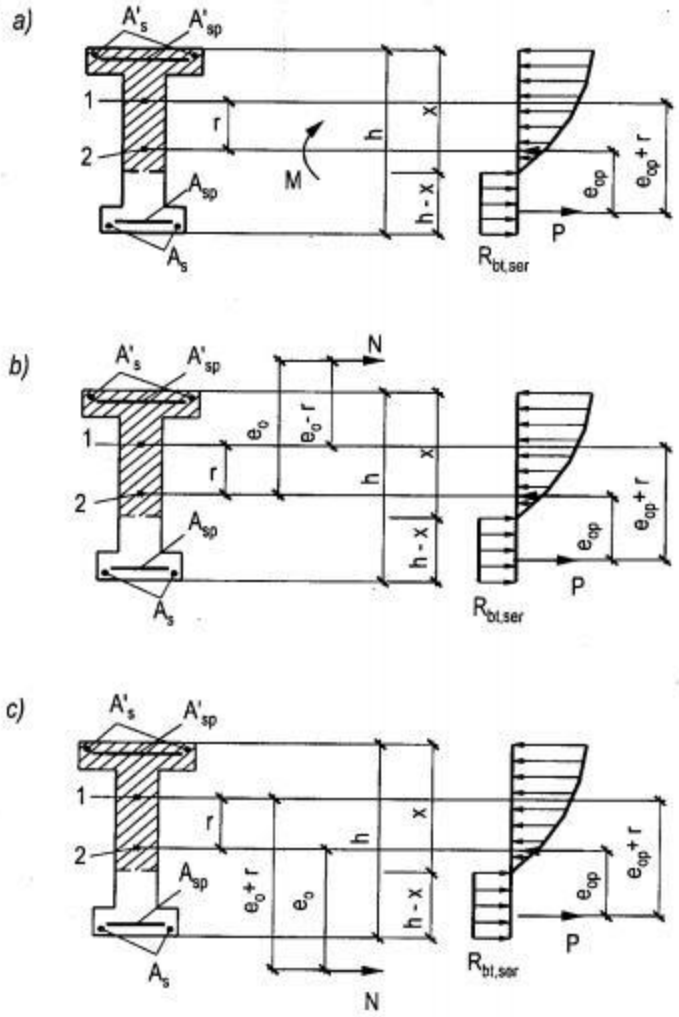
Trong đó:

M_r - mômen ngoại lực đặt ở một phía của tiết diện đang xét, lấy đối với trục song song với trục trung hòa và đi qua điểm lõi cách xa vùng chịu kéo nhất, được xác định cho các trường hợp như sau:

Đối với cấu kiện chịu uốn (hình 9.1a):

$$M_r = M$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 9.1: *Sơ đồ phân bố ứng suất và nội lực trên tiết diện khi tính toán theo sự hình thành vết nứt thẳng góc trong vùng nén dưới tác dụng của ứng suất trước*
a) Trường hợp uốn; b) Trường hợp nén lệch tâm; c) Trường hợp kéo lệch tâm
1 - Điểm lõi; 2 - Trọng tâm của tiết diện quy đổi

Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm (hình 9.1.b):

$$M_r = N(e_o - r) \tag{9.4}$$

Đối với cấu kiện chịu kéo lệch tâm (hình 7.1c):

$$M_r = N(e_o + r) \tag{9.5}$$

M_{crc} - mômen kháng nứt, được xác định theo công thức:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} \pm M_{rp} \tag{9.6}$$

M_{rp} - mômen của lực P đối với trục dùng để xác định M_r, được xác định theo công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$M_{rp} = P(e_{op} \pm r) \tag{9.7}$$

W_{pl} - mômen kháng dẻo của tiết diện quy đổi đối với thớ chịu kéo ngoài cùng có xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông vùng kéo, được xác định với giả thiết không có lực dọc N và lực nén trước P. Giá trị của đại lượng W_{pl} được xác định theo công thức:

$$W_{pl} = \frac{2(I_{bo} + \alpha I_{so} + \alpha I'_{so})}{h - x} + S_{bo} \tag{9.8}$$

I_{bo}, I_{so}, I'_{so} lần lượt là mômen quán tính của diện tích bêtông vùng nén, cốt thép S và cốt thép S' đối với trục trung hòa.

S_{bo} - mômen tĩnh của phần tiết diện bêtông chịu kéo đối với trục trung hòa.

Vị trí trục trung hòa trong trường hợp này được xác định từ điều kiện cân bằng các lực theo phương dọc trục cấu kiện với giả thiết không có lực dọc N và lực nén trước P:

$$S'_{bo} + \alpha S'_{so} - \alpha S_{so} = \frac{(h - x)A_{bt}}{2} \tag{9.9}$$

Trong đó:

S'_{bo}, S_{so}, S'_{so} lần lượt là mômen tĩnh của phần tiết diện bêtông chịu nén, cốt thép S và cốt thép S' đối với trục trung hòa.

A_{bt} - diện tích tiết diện bêtông vùng kéo.

Đối với các tiết diện thường gặp trong thực tế, giá trị W_{pl} có thể được xác định gần đúng theo công thức:

$$W_{pl} = \gamma W_{red} \tag{9.10}$$

Trong đó:

W_{red} được tính như vật liệu đàn hồi theo công thức (9.12);

γ - hệ số được cho trong bảng 9.1.

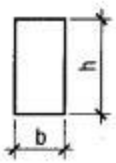
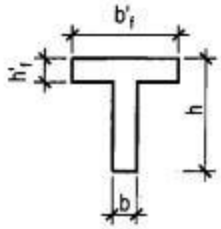
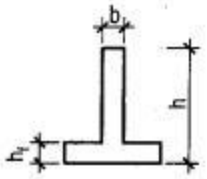
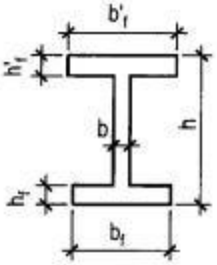
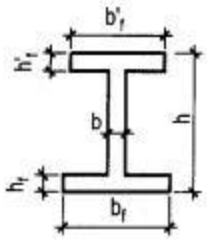
Trong công thức (9.4) và (9.5) : dấu "+" khi hướng của M_r và M_{rp} là ngược nhau (tức là P nén vùng kéo (hình 9.1), dấu "-" khi hướng của chúng trùng nhau (hình 9.3).

Trong các công thức (9.5) ÷ (9.10): r là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến điểm lõi cách xa vùng kéo nhất.

Bây giờ ta xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông ở cả vùng kéo và vùng nén bằng cách giảm khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến mép lõi.

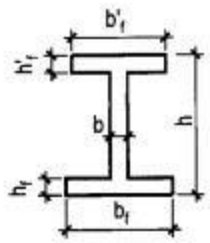
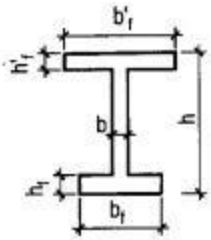
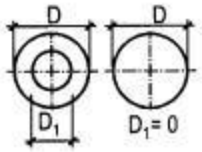
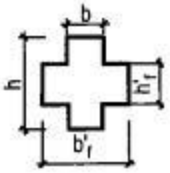
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 9.1. Giá trị của hệ số γ
dùng để tính mômen kháng dẻo của tiết diện

Loại tiết diện	Hệ số γ	Hình dạng tiết diện ngang
1	*2*	*3*
1. Chữ nhật	1,75	
2. Chữ T có cánh nằm trong vùng chịu nén	1,75	
3. Chữ T có cánh mở rộng nằm trong vùng chịu kéo: a) khi $b_f/b \le 2$ không phụ thuộc vào tỉ số h_f/h b) $b_f/b > 2$ và $h_f/h \ge 0,2$ c) $b_f/b > 2$ và $h_f/h < 0,2$	 1,75 1,75 1,50	
4. Chữ I đối xứng (hình hộp): a) khi $b'_f/b = b_f/b \le 2$ b) khi $2 < b'_f/b = b_f/b \le 6$ c) khi $b'_f/b = b'_f/b \ge 6$ và $h'_f/h = h'_f/h \ge 0,2$ d) khi $6 < b'_f/b = b_f/b \le 15$ và $h'_f/h = h_f/h < 0,2$ e) khi $b'_f/b = b_f/b > 15$ và $h'_f/h = h_f/h < 0,1$	 1,75 1,50 1,50 1,25 1,10	
5. Chữ I không đối xứng có, thoả mãn điều kiện $b'_f/b \le 3$: a) khi $b_f/b \le 2$ không phụ thuộc tỉ số h_f/h b) khi $2 < b_f/b \le 6$ không phụ thuộc tỉ số h_f/h c) khi $b_f/b > 6$ và $h_f/h > 0,1$	 1,75 1,50 1,50	

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 9.1 (tiếp theo)

1	2	3
6. Chữ I không đối xứng, thoả mãn điều kiện $3 < b'_f/b < 8$:		
a) khi $b'_f/b \le 4$ không phụ thuộc tỉ số h_f/h	1,50	
b) khi $b_f/b > 4$ và $h_f/h \ge 0,2$	1,50	
c) khi $b_f/b > 4$ và $h_f/h < 0,2$	1,25	
7 Chữ I không đối xứng, thoả mãn điều kiện $b'_f/b \ge 8$:		
a) khi $h_f/h > 0,3$	1,50	
b) khi $h_f/h \le 0,3$	1,25	
8. Vành khuyên và tròn	$2-0,4D_1/D$	
9. Chữ thập:		
a) khi $b'_f/b \ge 2$ và $0,9 \ge h'_f/h > 0,2$	2,00	
b) trong các trường hợp khác	1,75	

Ghi chú:

- Các ký hiệu b_f và h_f ứng với các kích thước của cánh chịu kéo khi tính toán theo sự hình thành vết nứt;
- Các ký hiệu b'_f và h'_f ứng với các kích thước của cánh chịu nén khi tính toán theo sự hình thành vết nứt.

Theo giả thiết thứ tư thì việc tính toán sự hình thành vết nứt có xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông tại vùng nén có thể áp dụng các công thức và điều kiện như trong bước 1 với việc giảm giá trị của r là khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện quy đổi đến điểm mép của lõi. Mức độ giảm giá trị của r phụ thuộc vào hình dạng phân bố ứng suất trong bêtông ở vùng nén. Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

đưa ra cách tính giá trị r có xét đến hệ số giảm khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến mép lõi như sau:

Đối với cấu kiện chịu uốn, nén lệch tâm và kéo lệch tâm khi $N \leq P$:

$$r = \varphi \frac{W_{red}}{A_{red}} \tag{9.11}$$

Trong đó:

$\varphi = 1,6 - \sigma_b / R_{b,ser}$ nhưng không nhỏ hơn 0,7 và không lớn hơn 1 (σ_b - ứng suất lớn nhất trong bêtông vùng nén được tính như đối với vật liệu đàn hồi trên tiết diện quy đổi);

A_{red} - diện tích tiết diện quy đổi;

W_{red} - mômen kháng đàn hồi của tiết diện quy đổi đối với thớ chịu kéo ngoài cùng, được tính như vật liệu đàn hồi theo công thức:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_o} \tag{9.12}$$

y_o - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến mép chịu kéo.

- Đối với cấu kiện chịu kéo lệch tâm khi $N > P$:

$$r = \frac{W_{pl}}{A + 2\left(\alpha A_{sp} + \alpha A_s + \alpha A'_{sp} + \alpha A'_s\right)} \tag{9.13}$$

Việc tính toán sự hình thành vết nứt đối với cấu kiện bêtông ứng suất trước cần phân biệt trạng thái làm việc của cấu kiện trong các trường hợp sau :

a) Giai đoạn vận chuyển, xây dựng và sử dụng

Khi tính toán theo sự hình thành vết nứt trong giai đoạn vận chuyển, xây dựng và sử dụng cần phân biệt hai trường hợp: lực P_2 gây nén bêtông vùng chịu kéo hoặc lực P_2 gây kéo bêtông vùng chịu kéo. Giá trị M_{crc} được xác định tương ứng với các trường hợp này như sau:

* Nếu lực P_2 gây nén bêtông vùng chịu kéo :

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}^{inf} + P_2\left(e_{op} + r_{sup}\right) \tag{9.14}$$

* Nếu trên đoạn cấu kiện đang xét mà có vết nứt ban đầu ở trong vùng nén thì giá trị M_{crc} tính theo (9.14) cần được giảm xuống bằng cách nhân với hệ số θ xác định theo (9.17).

* Nếu lực P_2 gây kéo bêtông vùng chịu kéo:

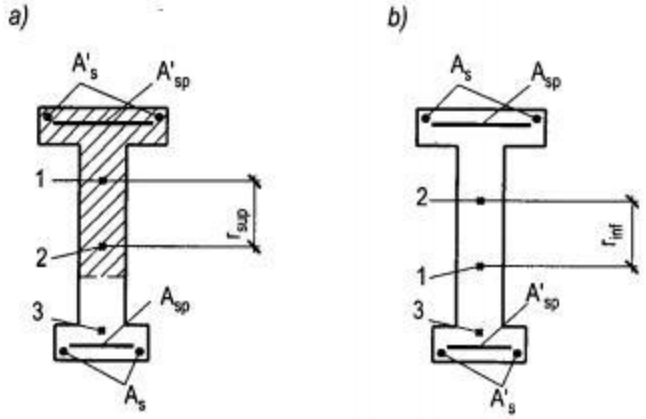
$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}^{sup} - P_2\left(e_{op} - r_{inf}\right) \tag{9.15}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức (9.14) và (9.15):

$W_{pl}^{inf}, W_{pl}^{sup}$ lần lượt là giá trị của W_{pl} đối với mép chịu nén và chịu kéo của tiết diện do lực P_2 gây ra;

r_{sup}, r_{inf} lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến điểm lõi xa cạnh chịu nén và cạnh chịu kéo tương ứng gây ra bởi lực P_2 (xem hình 9.2)



Hình 9.2: *Sơ đồ tiết diện để xác định* r_{sup} *và* r_{inf}

1 - điểm lõi; 2 - trọng tâm tiết diện quy đổi; 3 - điểm đặt của ứng lực trước

Nếu giá trị M_{crc} tính theo công thức (9.15) có giá trị âm thì có nghĩa vết nứt xuất hiện trước khi đặt ngoại lực.

Để tính toán M_r theo trong công thức (9.4) và (9.5), giá trị r cần được lấy bằng r_{sup} và r_{inf} tức là cũng như khi xác định M_{crc}.

b) Giai đoạn sản xuất

Tính toán theo sự hình thành các vết nứt trong vùng kéo do ứng suất trước trong giai đoạn sản xuất:

$$P_1\left(e_{op} - e_{inf}\right) \pm M_r \le R_{bt,ser}^{(p)} W_{pl}^{sup} \qquad (9.16)$$

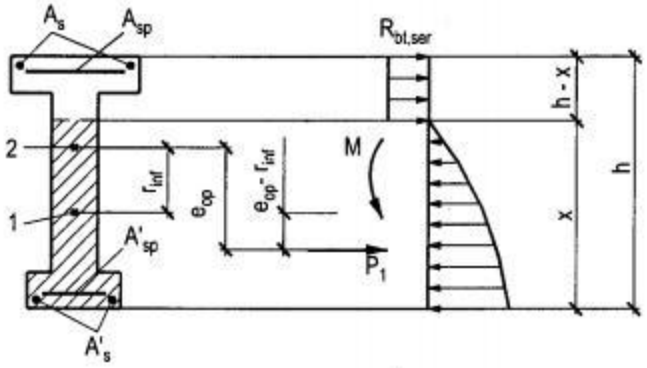
Trong đó:

M_r - mô men do tải trọng ngoài tác dụng lên cấu kiện trong giai đoạn sản xuất (ví dụ như trọng lượng bản thân cấu kiện); lấy dấu "+" khi mô men ngoại tải và mô men do P_1 cùng hướng, dấu "-" khi chúng khác hướng;

W_{pl}^{sup}, r_{inf} tương tự như (9.14) và (9.15);

$R_{bt,ser}^{(p)}$ - giá trị $R_{bt,ser}$ tương ứng với cường độ R_{bp} lúc buông cốt thép căng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 9.3: *Sơ đồ ứng suất và nội lực trên tiết diện khi tính toán theo sự hình thành vết nứt thẳng góc trong vùng kéo dưới tác dụng của ứng suất trước*

1 - Trọng tâm của tiết diện quy đổi; 2 - Điểm lõi;

c) Trường hợp cấu kiện có vết nứt ban dầu tại vùng nén

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 chỉ dẫn khi tính toán theo sự hình thành vết nứt trên những đoạn có vết nứt ban đầu ở vùng chịu nén, tức là không thoả mãn điều kiện (9.16), giá trị M_{crc} tính cho vùng chịu kéo do tác dụng của ngoại lực xác định theo (9.14), cần được giảm đi bằng cách nhân với hệ số θ, xác định như sau:

$$\theta = 1 - \left(1,5 - \frac{0,9}{\delta}\right)\left(1 - \varphi_m\right) \tag{9.17}$$

và θ được lấy không lớn hơn 1.

Trong công thức (9.17):

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,ser}^{(p)} W_{pl}^{sup}}{P_1\left(e_{op} - r_{inf}\right) \pm M_r} \tag{9.18}$$

nhưng không nhỏ hơn 0,45.

Trong đó:

$R_{bt,ser}^{(p)}$, W_{pl}^{sup}, r_{inf}, M_r - giống như trong điều phần trên;

$$\delta = \frac{y_o}{h - y_o} \frac{A_{sp} + A_s}{A_{sp} + A_s + A'_{sp} + A'_s} \tag{9.19}$$

nhưng không lớn hơn 1,4;

y_o - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến thớ ngoài cùng của bêtông bị kéo do ngoại lực.

Lực P_1 trong công thức (9.18) cũng được xác định với hệ số γ_{sp} như khi xác định P_2 trong điều (9.14) và (9.15).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với kết cấu sử dụng cốt thép dạng sợi và dạng thanh loại A-VI, giá trị δ tính theo công thức (9.19) phải giảm đi một lượng thích hợp (theo [7] có thể giảm 15%).

9.2.2. Tính toán theo sự hình thành vết nứt xiên góc với trục dọc cấu kiện

Tính toán theo sự hình thành vết nứt xiên góc với trục dọc cấu kiện được thực hiện theo điều kiện:

$$\sigma_{mt} \le \gamma_{b4} R_{bt,ser} \tag{9.20}$$

Trong đó:

γ_{b4} - hệ số điều kiện làm việc của bêtông được xác định theo công thức:

$$\gamma_{b4} = \frac{1 - \sigma_{mc}/R_{b,ser}}{0,2 + \alpha_b B} \tag{9.21}$$

Trong đó:

σ_{mt} - ứng suất kéo chính trong bêtông;

α_b - hệ số lấy theo loại bêtông, bằng 0,01 đối với bêtông nặng; 0,02 - đối với bêtông cốt liệu nhỏ và bêtông nhẹ;

B - cấp độ bền của bêtông, MPa; giá trị $\alpha_b B$ lấy không nhỏ hơn 0,3.

Đối với bêtông nặng, khi $\sigma_{mc} < 0,5 R_{b,ser}$ và $B \le 30$ MPa, có thể không sử dụng công thức (9.21) mà lấy γ_{b4} bằng 1.

Giá trị ứng suất kéo chính và ứng suất nén chính trong bêtông σ_{mt}, σ_{mc} được xác định theo công thức:

$$\sigma_{mt}, \sigma_{mc} = \mp \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \tag{9.22}$$

Ở đây:

σ_x - ứng suất pháp trong bêtông trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện do ngoại lực và lực nén trước P gây ra;

σ_y - ứng suất pháp trong bêtông trên tiết diện song song với trục dọc cấu kiện do tác dụng cục bộ của phản lực gối tựa, lực tập trung và lực phân bố cũng như lực nén do cốt đai và các cốt xiên ứng suất trước gây ra;

τ_{xy} - ứng suất tiếp trong bêtông do ngoại lực và lực nén do lực nén trước của các thanh xiên gây ra.

Các giá trị ứng suất $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ được xác định như đối với vật thể đàn hồi.

Ứng suất cục bộ do lực tập trung hay phản lực gối tựa gây ra trong dầm $\sigma_{x,loc}$, $\sigma_{y,loc}$, $\tau_{xy,loc}$ được xác định theo các công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sigma_{x,loc} = \frac{F}{bh}\frac{2}{\pi}\left[3\alpha\alpha(1-2\beta\beta)\text{arctg}\frac{1}{\alpha} + \frac{\alpha^2\beta}{(\alpha^2+\beta^2)} - \frac{1+3(1+2\alpha^2)(1-2\beta\beta)}{2(1+\alpha^2)}\right] \quad (9.23)$$

$$\sigma_{y,loc} = \frac{F}{bh}\frac{2\beta^2}{\pi}\left[\frac{\beta}{(\alpha^2+\beta^2)^2} - \frac{3-2\beta}{(1+\alpha^2)^2}\right] \quad (9.24)$$

$$\tau_{xy,loc} = \frac{F}{bh}\frac{2\beta}{\pi}\left\{\frac{\alpha[5+3\alpha^2(1-\beta)-6\beta\beta]}{(1+\alpha^2)^2} - 3(1-\beta)\text{arctg}\frac{1}{\alpha} + \frac{\alpha\beta}{(\alpha^2+\beta^2)^2}\right\} \quad (9.25)$$

Trong đó:

F - độ lớn của lực tập trung hoặc phản lực gối tựa;

b -chiều rộng tiết diện cấu kiện;

h - chiều cao tiết diện cấu kiện;

$\alpha = \frac{x}{h}, \beta = \frac{y}{h}$ – các tọa độ tương đối của điểm để xác định ứng suất; ở đây hệ tọa độ được xác định: gốc tọa độ trùng với điểm đặt lực F, trục ox song song với trục dọc cấu kiện, trục oy – theo phương vuông góc;

Giá trị dương của $\sigma_{x,loc}$ và $\sigma_{y,loc}$ tương ứng với ứng suất nén, còn giá trị âm – tương ứng với ứng suất kéo. Giá trị $\tau_{xy,loc}$ dương khi cùng chiều với τ_{xy}. Khi $\alpha > 0,7$ thì các ứng suất $\sigma_{x,loc}, \sigma_{y,loc}, \tau_{xy,loc}$ được lấy bằng không.

Trong trường hợp cần thiết σ_x và τ_{xy} do ngoại lực và lực nén trước được lấy tổng đại số với ứng suất $\sigma_{x,loc}$ và $\tau_{xy,loc}$ do tác dụng của phản lực gối tựa và tải trọng.

Trường hợp trên đoạn dầm có cốt thép đai và cốt thép xiên căng trước, các giá trị ứng suất σ_{yp} do ứng suất trước trong các cốt thép đai và cốt thép xiên được xác định theo công thức:

$$\sigma_{yp} = \frac{\sigma_{spw}A_{spw}}{s_w b} + \frac{\sigma_{sp,inc}A_{sp,inc}}{s_{inc} b}\sin\theta \quad (9.26)$$

Trong đó:

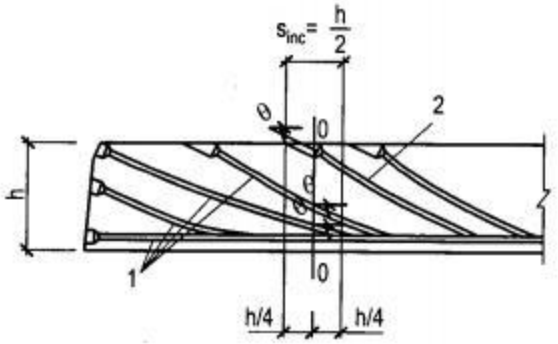
A_{spw} - diện tích tiết diện các cốt thép đai căng trước nằm trong cùng một mặt phẳng vuông góc với trục dọc cấu kiện;

$A_{sp,inc}$ - diện tích tiết diện cốt thép xiên căng trước trong đoạn s_{inc} có chiều dài bằng h/2 nằm đối xứng với tiết diện 0-0 đang xét (hình 9.4);

$\sigma_{spw}, \sigma_{sp,inc}$ lần lượt là ứng suất trước trong cốt thép đai và cốt thép xiên;

s_w - bước cốt thép đai căng trước.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 9.4: *Cốt thép xiên căng trước có dạng cong được kể đến khi xác định ứng suất trước trong bêtông*

1 - cốt thép được kể đến khi xác định ứng suất tiếp τ_{xy} tại tiết diện 0-0;

2 - cốt thép được kể đến khi xác định ứng suất pháp σ_{yp} trong đoạn s_{inc}

Ứng suất tiếp τ_{xy} được xác định theo công thức:

$$\tau_{xy} = \frac{QS_{red}}{bI_{red}} \qquad (9.27)$$

Trong đó:

Q - lực cắt do ngoại lực ở tiết diện đang xét;

S_{red} - mômen tĩnh quy đổi của phần tiết diện nằm cao hơn thớ đang xét đối với trục đi qua trọng tâm tiết diện quy đổi;

Trong cấu kiện có cốt thép căng dạng cong, giá trị Q trong công thức (9.27) được giảm đi một lượng :

$$Q_p = \sigma_{sp} A_{sp,inc1} \sin\theta \qquad (9.28)$$

Trong đó:

$A_{sp,inc1}$ - diện tích tiết diện của cốt thép căng uốn cong kết thúc ở gối hoặc trên đoạn giữa gối và tiết diện nằm trong khoảng h/4 tính từ tiết diện đang xét 0-0 (hình 9.4);

θ - góc giữa trục cốt thép và trục dọc cấu kiện tại tiết diện đang xét.

Kiểm tra theo điều kiện (9.20) được thực hiện cho trọng tâm tiết diện quy đổi và tại các vị trí tiếp giáp giữa cánh chịu nén và sườn của tiết diện chữ T và chữ I.

Khi tính toán cấu kiện có cốt thép căng không có thiết bị neo cần phải tính đến sự giảm ứng suất trước σ_{sp} và σ'_{sp} trên chiều dài vùng truyền ứng suất l_p bằng cách nhân với hệ số γ_{s5} (phụ lục 13).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

9.2.3. Ví dụ tính toán

VÍ DỤ 23:

Số liệu:

Thanh cánh hạ của giàn có kích thước tiết diện ngang 250x280mm, bêtông nặng cấp B35 ($R_{bt,ser}$=1,95MPa, E_b=3,1.10^4MPa); cốt dọc kéo căng loại K-7 (E_s= 18.10^4MPa); diện tích tiết diện A_{sp}= 1275mm^2 (25ϕ9), cốt thép thường loại A-III (E_s= 2.10^5MPa), diện tích tiết diện $A_{s,tot}$= 314mm^2 (4ϕ10); ứng suất trước có xét đến tất cả các tổn hao σ_{sp}= 922MPa; tổng tổn hao ứng suất do co ngót và từ biến của bêtông σ_s= 201MPa; ứng lực nén trước đặt ở tâm; cốt thép được căng bằng phương pháp cơ học; lực kéo dọc trục do toàn bộ tải trọng (khi $\gamma_f > 1,0$) N = 1100kN; cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2.

Yêu cầu:

Kiểm tra cấu kiện theo hình thành vết nứt.

Tính toán:

Tính toán theo điều kiện (9.1).

Vì cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2, ta tính toán hệ số chính xác của lực căng $\gamma_{sp} < 1$. Theo mục 3.2.2, căng theo phương pháp cơ học $\gamma_{sp} = 1 - \Delta\gamma_{sp} = 1 - 0,1 = 0,9$, tức là $\sigma_{sp} = 0,9.922 = 830$MPa.

Xác định ứng lực P :

$$P = \sigma_{sp}A_{sp,tot} - \sigma_s A_{s,tot} = 830.1275 - 201.314 = 995000N$$

Đối với cốt thép căng và không căng, giá trị $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$, tương ứng bằng:

$$\alpha_p = \frac{18.10^4}{3,1.10^4} = 5,8;\ \alpha_s = \frac{20.10^4}{3,1.10^4} = 6,45;$$

$$R_{bt,ser}(A + 2\alpha_p A_{sp,tot} - 2\alpha_s A_{s,tot}) + P = 1,95(250.280 + 2.5,8.1275 + 2.6,45.314) + 995.10^3$$

$$= 1158.10^3 N > N = 1100kN$$

Tức là, dưới tác động của toàn bộ tải trọng sẽ không hình thành vết nứt, do đó không cần tính toán theo mở rộng vết nứt.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

VÍ DỤ 24:

Số liệu:

Thanh cánh hạ của giàn có kích thước tiết diện ngang 250x280mm, bêtông nặng cấp B35 ($R_{bt,ser}$=1,95MPa, E_b=3,1.10^{4}MPa); cốt thép căng đối xứng A-IV có diện tích tiết diện $A_{sp} = A'_{sp}$ = 1232mm^2 (2ϕ28) (E_s = 1,9.10^{5}MPa), mômen quán tính của tiết diện quy đổi I_{red} = 608,3.10^{6}mm^4, khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến mép dưới y_o = 140mm, ứng lực nén trước có xét đến mọi tổn hao và hệ số chính xác căng γ_{sp} = 1,0 (yêu cầu đối với tính chống nứt cấp 3) P = 650kN, độ lệch tâm của nó đối với trọng tâm tiết diện quy đổi $e_{op} = 0$; lực kéo dọc trục do toàn bộ tải trọng gây ra N = 850kN; mômen uốn do toàn bộ tải trọng gây ra M=45kNm.

Yêu cầu:

Kiểm tra tiết diện theo hình thành vết nứt.

Tính toán:

Độ lệch tâm của ngoại lực dọc đối với trọng tâm tiết diện quy đổi bằng:

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{45.10^6}{850.10^3} = 52,9\text{mm}$$

Để kiểm tra điều kiện (9.3), ta xác định mômen kháng W_{pl} theo hệ số γ trong bảng 9.1. Để làm điều đó, ta tính mômen kháng W_{red}:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_o} = \frac{608,3.10^6}{140} = 4,35.10^6\,\text{mm}^3$$

Theo bảng 9.1, tìm được γ=1,75 (vì cấu kiện có tiết diện chữ nhật) và do đó:

$$W_{pl} = \gamma W_{red} = 1,75.4,35.10^6 = 7,61.10^6\,\text{mm}^3$$

Vì P = 650kN < N = 850kN nên giá trị r xác định theo công thức (9.6), khi lấy $\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{1,9.10^5}{3,1.10^4} = 6,1$

$$r = \frac{W_{pl}}{A + 2\alpha(A_{sp} + A'_{sp})} = \frac{7,61.10^6}{250.280 + 2.6,1.2.1232} = 76\text{mm}$$

Mômen nội lực nén trước đối với trục đi qua điểm lõi, xác định theo công thức (9.5):

$$M_{rp} = P(e_{op} + r) = 650.10^3.76 = 49,4.10^6\,\text{Nmm} = 49,4\text{kNm}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Mômen ngoại lực dọc đối với trục này theo công thức (9.7) :

$$M_r = N(e_o + r) = 850.10^3(52,9 + 76) = 109,6.10^6 \text{Nmm}$$

Kiểm tra sự hình thành vết nứt theo điều kiện (9.1):

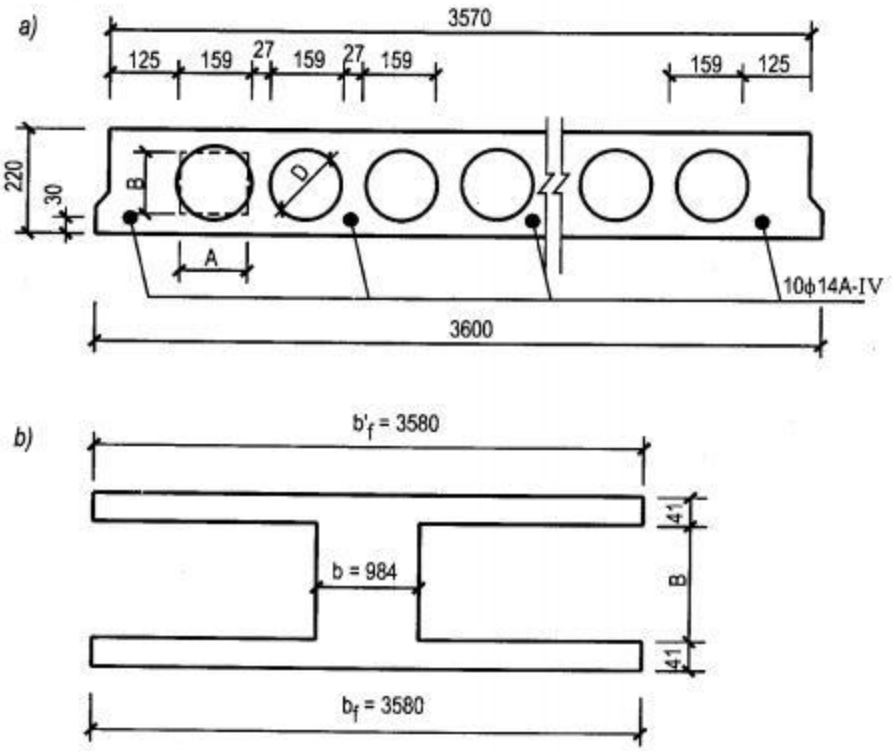
$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{rp} = 1,95.7,61.10^6 + 49,4.10^6$$

$$= 64,2.10^6 \text{Nmm} < M_r = 109,6.10^6 \text{Nmm}$$

tức là vết nứt được hình thành dưới tác dụng của toàn bộ tải trọng và yêu cầu phải kiểm tra bề rộng vết nứt.

VÍ DỤ 25:

Số liệu:



Hình 9.5: *Hình vẽ cho ví dụ 25 và 29*
a -tiết diện thực tế của bản; b- tiết diện quy đổi của bản.

Cho trước bản sàn nhiều lỗ theo hình 9.5, bêtông nhẹ B15 ($R_{bt,ser}$=1,15MPa, $R_{b,ser}$ = 11MPa); cường độ truyền ứng suất trước R_{bp}=12,5MPa ($R^{(p)}_{bt,ser}$ = 1,0MPa , $R^{(p)}_{b,ser}$ = 9,5MPa); đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi: diện tích $A_{red} = 45,1.10^4 mm^2$, khoảng cách từ trọng tâm đến mép chịu kéo (dưới) y_o= 107mm, mômen quán tính

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

của tiết diện quy đổi $I_{red} = 2734.10^6 mm^4$, mômen giữa nhịp do toàn bộ tải trọng gây ra M = 133,7kNm; mômen do trọng lượng bản thân của bản gây ra trong giai đoạn chế tạo M_w =35,6kNm; nội lực nén trước khi $\gamma_{sp} = 1,0$ có xét đến tổn thất thứ nhất P_1 = 765,8kN, còn xét đến toàn bộ tổn hao P_2 = 636kN, yêu cầu với tính chống nứt cấp 3.

Yêu cầu:

Kiểm tra bản theo hình thành vết nứt.

Tính toán:

Xác định mômen kháng đối với mép chịu kéo do tải trọng ngoài gây ra W_{red}^{inf} và do nén trước W_{red}^{sup}.

$$W_{red}^{inf} = \frac{I_{red}}{y_o} = \frac{2734.10^6}{107} = 25,5.10^6 mm^3$$

$$W_{red}^{sup} = \frac{I_{red}}{h - y_o} = \frac{2734.10^6}{220 - 107} = 24,2.10^6 mm^3$$

Tìm mômen kháng W_{pl} theo công thức (9.13). Để làm điều đó, ta đổi tiết diện bản ra dạng chữ I bằng cách chuyển các lỗ tròn thành hình chữ nhật có diện tích và mômen quán tính tương đương.

Bề rộng và chiều cao của hình chữ nhật đó tương ứng bằng:

A = 0,907D = 0,907.159 = 144,2mm; B = 0,866D = 0,866.159 = 138mm.

Khi đó, theo hình 9.12, ta có:

$$b_f = b'_f = 3580mm\ ;\ b = 3580 - 18.144,2 = 984mm;$$

$$h_f = h'_f = \frac{220 - 138}{2} = 41mm$$

Từ bảng 9.1, đối với tiết diện chữ I đối xứng khi $\frac{b_f}{b} = \frac{3580}{984} = 3,64 > 2$ và $\frac{b_f}{b} < 6$, ta có γ= 1,5.

Từ đó:

$$W_{pl}^{inf} = \gamma W_{red}^{inf} = 1,5.25,5.10^6 = 38,25.10^6 mm^3$$

$$W_{pl}^{sup} = \gamma W_{red}^{sup} = 1,5.24,2.10^6 = 36,3.10^6 mm^3$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Vì trong bản chủ yếu chỉ đặt một lớp thép căng, điểm đặt của ứng lực nén trong mọi giai đoạn đều trùng với trọng tâm cốt thép, tức là $e_{op} = y_o - a = 107 - 30 = 77mm$. Ta xác định khoảng cách lõi r_{sup} và r_{inf} theo công thức (9.11). Khi tác dụng tải trọng ngoài trong giai đoạn sử dụng, ứng suất lớn nhất trong bêtông chịu nén (mép trên) bằng:

$$\sigma_b = \frac{P_2}{A_{red}} + \frac{M - P_2 e_{op}}{W_{red}^{sup}} = \frac{636.10^3}{451.10^3} + \frac{133,7.10^3 - 636.10^3.77}{24,2.10^6} = 4,91MPa$$

khi đó $\varphi = 1,6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} = 1,6 - \frac{4,91}{11} = 1,15 > 1$.

Ta lấy $\varphi = 1$ và $r_{sup} = \varphi \frac{W_{red}^{inf}}{A_{red}} = \frac{25,5.10^6}{451.10^3} = 56,5mm$.

Khi tác động ứng lực nén P_1 trong giai đoạn chế tạo, ứng suất lớn nhất trong bêtông nén (mép dưới) bằng:

$$\sigma_b = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op} - M_w}{W_{red}^{inf}} =$$

$$= \frac{765,8.10^3}{451.10^3} + \frac{765,8.10^3.77 - 35,6.10^6}{25,5.10^6} = 1,7 + 0,95 = 2,65MPa$$

Đồng thời có thể thấy rằng ứng suất lớn nhất của bêtông trong giai đoạn này bằng $\frac{P_1}{A_{red}} - \frac{P_1 e_{op} - M_w}{W_{red}^{sup}}$, sẽ lớn hơn không (1,7 > 0,95), tức là sẽ chịu nén. Do đó, các vết nứt ban đầu bên trên sẽ không được hình thành và ta kiểm tra việc hình thành vết nứt bên dưới không cần xét đến hệ số θ.

Ta có:

$$M_r = M = 133,7kNm;$$

$$M_{rp} = P_2(e_{op} + r_{sup}) = 636.10^3(77 + 56,5) = 84,9kNm;$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} + M_{rp} = 1,15.38,25.10^6 + 84,9.10^6 = 128,9.10^6 Nmm$$

$$= 128,9kNm < M_r = 133,7kNm$$

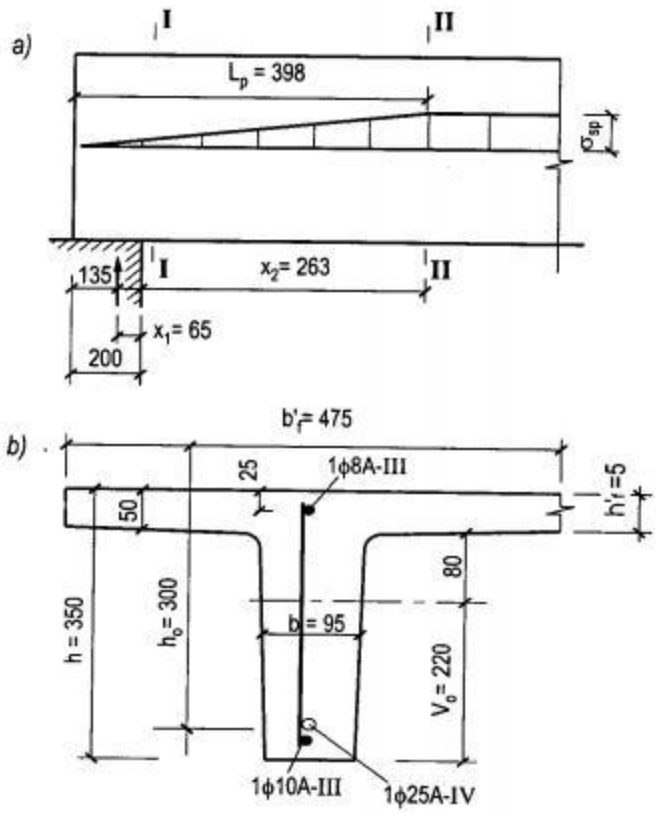
tức là vết nứt bên dưới được hình thành và do đó, cần tính toán theo mở rộng vết nứt.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

VÍ DỤ 26:

Số liệu:

Bản sàn theo hình 9.6, bêtông nặng B25 ($R_{bt,ser}$=1,6MPa, $R_{b,ser}$=18,5MPa, E_b=2,7.10^{4}MPa); cường độ truyền ứng suất trước R_{bp}=20MPa ($R^{(p)}_{bt,ser}$=1,4MPa, $R^{(p)}_{b,ser}$=15MPa); cốt thép căng A-IV có diện tích tiết diện A_{sp}= 491mm^2 (1ϕ25); cốt thép không căng loại A-III diện tích tiết diện tương ứng A_s = 78,5mm^2 (1ϕ10) và A'_s= 50,3mm^2 (1ϕ8); đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi: diện tích A_{red} = 5,55.10^{4}mm^2, khoảng cách từ trọng tâm đến mép kéo (dưới) y_o=220mm, mômen quán tính I_{red} = 718.10^{6}mm^4; mômen lớn nhất khi γ_f = 1,0 đối với một nửa tiết diện bản M = 66kNm; mômen do trọng lượng bản thân của bản trong giai đoạn chế tạo M_w = 5,3kNm; ứng lực nén trước (có xét đến tổn hao thứ nhất và γ_{sp} = 1,0) P_1 = 230kN, độ lệch tâm của nó đối với trọng tâm tiết diện quy đổi e_{op}=167mm. Ứng lực nén trước (có xét đến tổn hao và γ_{sp} = 1,0) P_2 = 150kN, độ lệch tâm của nó đối với trọng tâm tiết diện quy đổi e_{op}=165mm. Yêu cầu độ chống nứt cấp 3.



Hình 9.6: *Hình vẽ cho ví dụ 26*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu:

Xác định mômen hình thành vết nứt M_{crc}.

Tính toán:

Xác định sơ bộ mômen kháng và khoảng cách lõi đối với mép chịu kéo do tải trọng ngoài gây ra (W_{red}^{inf}, r_{sup}) và do nén trước (W_{red}^{sup}, r_{inf}) (hình 9.2).

$$W_{red}^{inf} = \frac{I_{red}}{y_o} = \frac{718.10^6}{220} = 3,26.10^6 mm^3$$

$$W_{red}^{sup} = \frac{I_{red}}{h - y_o} = \frac{718.10^6}{350 - 220} = 5,52.10^6 mm^3$$

Khoảng cách lõi r_{sup} và r_{inf} xác định theo công thức (9.11).

Dưới tác động của tải trọng ngoài trong giai đoạn sử dụng, ứng suất lớn nhất trong bêtông chịu nén bằng:

$$\sigma_b = \frac{P_2}{A_{red}} + \frac{M - P_2 e_{op}}{W_{red}^{sup}} = \frac{150.10^3}{55,5.10^3} + \frac{66.10^6 - 150.10^3.165}{5,52.10^6} = 10,17MPa$$

khi đó $\varphi = 1,6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}} = 1,6 - \frac{10,17}{18,5} = 1,05 > 1,0$.

Ta lấy $\varphi = 1,0$ và $r_{sup} = \varphi \frac{W_{red}^{inf}}{A_{red}} = \frac{3260.10^3}{55,5.10^3} = 58,7mm$.

Dưới tác dụng của ứng lực nén P_1 trong giai đoạn chế tạo, ứng suất lớn nhất trong bêtông chịu nén (mép dưới) bằng:

$$\sigma_b = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op} - M_w}{W_{red}^{inf}} = \frac{230.10^3}{55,5.10^3} + \frac{230.10^3.167 - 5,3.10^6}{3,26.10^6} = 14,3MPa$$

khi đó $\varphi = 1,6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}^{(p)}} = 1,6 - \frac{14,3}{15} = 0,647 < 0,7$.

Ta lấy $\varphi = 0,7$ và $r_{inf} = \varphi \frac{W_{red}^{sup}}{A_{red}} = 0,7 \frac{5520.10^3}{55,5.10^3} = 69,6mm$.

Tìm mômen kháng W_{pl}^{sup} theo công thức đơn giản (9.10)

$$W_{pl}^{inf} = \gamma_{inf} W_{red}^{inf} = 1,75.3,26.10^6 = 5,7.10^6 mm^3$$

$$W_{pl}^{sup} = \gamma_{sup} W_{red}^{sup} = 1,5.5,52.10^6 = 8,28.10^6 mm^3$$

($\gamma_{inf} = 1,75$ và $\gamma_{sup} = 1,5$ theo phụ l ục 25).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Kiểm tra hình thành vết nứt ban đầu bên trên:

$$P_1(e_{op} - r_{inf}) - M_w = 230.10^3(167 - 69,6) - 5,3.10^6 =$$

$$= 17,1.10^6 \text{Nmm} > R_{bt,ser}^{(p)} W_{pl}^{sup} = 1,4.8,28.10^6 = 11,59.10^6 \text{Nmm}$$

tức là vết nứt bên trên hình thành và do đó, xác định giá trị M_{crc} có xét đến hệ số θ:

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,ser}^{(p)} W_{pl}^{sup}}{P_1\left(e_{op} - r_{inf}\right) - M_w} = \frac{11,59}{17,1} = 0,678 > 0,45;$$

$$\delta = \frac{y_o}{h - y_o} \cdot \frac{A_{sp} + A_s}{A_{sp} + A_s + A'_s} = \frac{220}{350 - 220} \cdot \frac{491 + 78,5}{491 + 78,5 + 50,3} = 1,55 > 1,4$$

Ta lấy δ =1,4; khi đó:

$$\theta = 1 - \left(1,5 - \frac{0,9}{\delta}\right)\left(1 - \varphi_m\right) = 1 - \left(1,5 - \frac{0,9}{1,4}\right)\left(1 - 0,678\right) = 0,724 < 1,0$$

Xác định mômen hình thành vết nứt :

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl}^{inf} + P_2\left(e_{op} + r_{sup}\right) = 1,6.5,7.10^6 + 150.10^3(165 + 58,7)$$

$$= 42,7.10^6 \text{Nmm} = 42,7\text{kNm}$$

Khi xét đến hệ số θ:

$$M_{crc} = 0,724.42,7 = 31\text{kNm}.$$

VÍ DỤ 27:

Số liệu:

Bản sàn theo hình 9.6, bêtông nặng B25 ($R_{b,ser} = 18,5\text{MPa}; R_{bt,ser} = 1,6\text{MPa};$); $E_b = 2,7.10^4\text{MPa}$); cường độ bêtông khi truyền ứng suất trước $R_{bp} = 20\text{MPa}$, đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi: diện tích $A_{red} = 5,55.10^4\text{mm}^2$; khoảng cách tính từ trọng tâm tiết diện đến mép kéo $y_0 = 220\text{mm}$, mômen quán tính $I_{red} = 718.10^6\text{mm}^4$; khoảng cách từ trọng tâm của toàn bộ cốt chịu kéo đến mép kéo a = 50mm, cốt thép chịu kéo A-IV không neo ($E_s = 1,9.10^5\text{MPa}$), đường kính 25mm diện tích tiết diện cốt chịu nén $A'_s = 50,3\text{mm}^2$ (1ϕ8), ứng lực nén trước (có xét đến mọi tổn hao và $\gamma_{sp} = 1,0$) $P_2 = 150\text{kN}$, độ lệch tâm của nó $e_{0p} = 165\text{mm}$, ứng suất trước (có xét đến mọi tổn hao) $\sigma_{spl} = 475\text{MPa}$, lực cắt do tải trọng ngoài gây ra tại tiết diện gối tựa (khi $\gamma_f = 1,0$) $Q_{max} = 50\text{kN}$; yêu cầu độ chống nứt cấp 3.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu:

Kiểm tra có hình thành vết nứt nghiêng hay không trong phạm vi chiều dài vùng truyền ứng suất và khẳng định sự cần thiết tính toán theo mở rộng vết nứt nghiêng.

Tính toán:

Xét tiết diện sát mép gối tựa (tiết diện I-I) và tại khoảng cách l_p từ đầu của bản (tiết diện II-II) trong cả 2 trường hợp đều tiến hành kiểm tra tại trọng tâm tiết diện ($y_o = 220$mm).

Xác định giá trị P_2 tại các tiết diện đang xét. Để làm việc đó, theo công thức (1.13), ta tính độ dài đoạn truyền ứng suất l_p lấy $\sigma_{tp} = \sigma_{spI} = 475$MPa ;

$$l_p = \left(\omega_p \frac{\sigma_{tp}}{R_{bp}} + \lambda_p\right) d = \left(0,25.\frac{475}{20} + 10\right).25 = 398\text{mm}$$

($\omega_p = 0,25$ và $\lambda_p = 10$ theo Bảng 1.1)

Đối với tiết diện I-I, l_x =200mm; trong tiết diện này, theo mục 1.4.1:

$$P_2^I = P_2 \frac{l_x}{l_p} = 150\frac{200}{398} = 75,3\text{kN}$$

Đối với tiết diện II-II, $l_x = l_p$, do đó P_2^{II} =150kN.

Xác định ứng suất pháp σ_x trên cao độ trọng tâm tiết diện theo công thức (3.11) khi $y = 0$ và $P = P_2$.

$$\sigma_x^I = \frac{P_2^I}{A_{red}} = \frac{75,3.10^3}{5,55.10^4} = 1,36\text{MPa};$$

$$\sigma_x^{II} = \frac{P_2^{II}}{A_{red}} = \frac{150.10^3}{5,55.10^4} = 2,7\text{MPa}.$$

Xác định ứng suất tiếp τ_{xy} theo công thức (9.27). Để làm việc đó, ta tính mômen tĩnh của diện tích quy đổi của phần tiết diện nằm phía trên trọng tâm tiết diện đối với trục đi qua trọng tâm tiết diện:

$$S_{red} = 475.50\left(350 - 220 - \frac{50}{2}\right) + 80.95.\frac{80}{2} + 7.50,3(350 - 220 - 25)$$

$$= 2835.10^3\,\text{mm}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{19.10^4}{2,7.10^4} = 7.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong tiết diện I-I, lấy $Q_I = Q_{max} = 50kN$.

Tiết diện II-II lấy từ điểm đặt của phản lực gối tựa đến khoảng cách $x = l_p - 135 = 398 - 135 = 263mm$ (hình 9.5), do đó, theo mục 6.3, đối với tiết diện này:

$$Q_{II} = Q_{max} - q_1 x = 50 - 10,5.0,263 = 47,2kN,$$

Trong đó:

$$q_1 = g + v/2 = 3,5 + 14/2 = 10,5kN/m;$$

g = 3,5kN/m – tải trọng thường xuyên

v = 14kN/m – tải trọng tạm thời

Khi đó:

$$\tau_{xy}^{I} = \frac{Q_I S_{red}}{I_{red} b} = \frac{50.10^3.2835.10^3}{718.10^6.95} = 2,08MPa.$$

$$\tau_{xy}^{II} = \frac{Q_{II} S_{red}}{I_{red} b} = \frac{47,2.10^3.2835.10^3}{718.10^6.95} = 1,96MPa.$$

Vì không có cốt ngang căng trước nên $\sigma_{yp} = 0$. Ứng suất $\sigma_{y,loc}$ do tác động cục bộ của phản lực gối tựa $Q_{max} = F = 50kN$ xác định công thức (9.24).

Đối với tiết diện I-I: $x_I = 200 - 135 = 65mm$ (hình 9.6); $y_I = y_0 = 220mm$; $\alpha_I = x_I/h = 65/350 = 0,186 < 0,7$; $\beta_I = y_I/h = 220/350 = 0,63$. Theo công thức (9.24), ta có: $\sigma_{y,loc}^{I} = 0,676MPa$.

Đối với tiết diện II-II: $x_{II} = 263mm$; $\alpha_{II} = 263/350 = 0,75 > 0,7$, do đó, ta lấy $\sigma_{y,loc}^{II} = 0$.

Theo công thức (9.22) ta xác định ứng suất kéo chính và ứng suất nén chính, khi lấy $\sigma_y = \sigma_{y,loc}$:

Đối với tiết diện I-I:

$$\sigma_{\substack{mt \\ mc}}^{I} = \mp\frac{\sigma_x^I + \sigma_y^I}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^I - \sigma_y^I}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^{(I)2}}$$

$$= \mp\frac{1,36 + 0,68}{2} + \sqrt{\left(\frac{1,36 - 0,68}{2}\right)^2 + 2,08^2} = (\mp 1,02 + 2,11)MPa$$

$$\sigma_{mt}^{I} = -1,02 + 2,11 = 1,09MPa;\ \sigma_{mc}^{I} = 1,02 + 2,11 = 3,13MPa$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với tiết diện II-II:

$$\sigma_{\substack{mt\\mc}}^{II} = \mp\frac{2,7}{2} + \sqrt{\left(\frac{2,7}{2}\right)^2 + 1,96^2} = (\mp 1,35 + 2,38)\text{MPa}$$

$$\sigma_{mt}^{II} = -1,35 + 2,38 = 1,03\text{MPa}\,;\ \sigma_{mc}^{II} = 1,35 + 2,38 = 3,73\text{MPa}$$

Bởi vì đối với cả 2 tiết diện $\sigma_{mc} < 0,5R_{b,ser} = 0,5.18,5 = 9,25\text{MPa}$ và B<30MPa, ta lấy $\gamma_{b4} = 1,0$, tức là $\gamma_{b4}R_{bt,ser} = 1,6\text{MPa}$. Kiểm tra điều kiện (9.20). Bởi vì đối với cả 2 tiết diện $\sigma_{mt} < \gamma_{b4}R_{bt,ser} = 1,6\text{MPa}$ trong phạm vi chiều dài truyền ứng suất tại cao trình không vượt quá cao trình trọng tâm tiết diện, không hình thành vết nứt nghiêng, do đó thỏa mãn yêu cầu mục 9.1.

Vì trong các tiết diện xa gối tựa hơn, giá trị Q, và suy ra τ_{xy} và σ_{mt}, sẽ nhỏ hơn so với giá trị tại tiết diện II-II, thì tại cao trình trọng tâm tiết diện không bao giờ hình thành vết nứt nghiêng. Do đó, không cần tiến hành tính toán theo mở rộng vết nứt nghiêng.

9.3. TÍNH TOÁN THEO SỰ MỞ RỘNG VẾT NỨT

9.3.1. Khái quát chung

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định : đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 1, không cho phép xuất hiện vết nứt; đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2, cho phép có sự mở rộng ngắn hạn của vết nứt với bề rộng hạn chế a_{crl} nhưng bảo đảm sau đó chắc chắn sẽ khép kín lại dưới tác dụng của các tải trọng dài hạn; còn đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 3 thì cho phép có sự mở rộng ngắn hạn của vết nứt với bề rộng hạn chế a_{crl} và có sự mở rộng dài hạn vết nứt với bề rộng hạn chế a_{cr2}.

Đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2 việc tính toán theo sự mở rộng vết nứt được thực hiện cho trường hợp mở rộng vết nứt ngắn hạn.

Đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 3, tính toán sự mở rộng vết nứt phải được thực hiện đối với cả trường hợp dài hạn và ngắn hạn. Trường hợp cấu kiện chịu uốn có yêu cầu chống nứt cấp 3, khi độ rộng vết nứt giới hạn cho phép $a_{crc1} = 0,4\text{mm}$ và $a_{crc2} = 0,3\text{mm}$, việc tính toán mở rộng vết nứt có thể tiến hành chỉ một lần:

- Khi $\dfrac{M_l - M_{rp}}{M_{tot} - M_{rp}} > \dfrac{2}{3}$, chỉ cần kiểm tra mở rộng vết nứt dài hạn do tác dụng của mômen M_l;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Khi $\frac{M_l - M_{rp}}{M_{tot} - M_{rp}} \leq \frac{2}{3}$, chỉ cần kiểm tra mở rộng vết nứt ngắn hạn do tác dụng của mômen M_{tot}.

M_l, M_{tot} lần lượt là mô men ngoại lực ứng với tải trọng tác dụng dài hạn và toàn bộ tải trọng. M_{rp} là mômen của lực P đối với trục dùng để xác định M_r, được xác định theo công thức (9.7).

Tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước theo sự mở rộng vết nứt theo TCXDVN 356 : 2005 gồm tính toán theo sự mở rộng mở rộng vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện và sự mở rộng vết nứt xiên góc với trục dọc cấu kiện.

9.3.2. Tính toán theo sự mở rộng vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện

Theo sự phân tích trạng thái ứng suất của cấu kiện bêtông trong Chương 4 thì cấu kiện có vết nứt nằm trong giai đoạn II. Trong tính toán không kể đến sự làm việc của bêtông trong vùng kéo, còn bêtông vùng nén làm việc trong giai đoạn đàn hồi – dẻo, cốt thép trong vùng kéo làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 sử dụng phương pháp xác định bề rộng vết nứt thẳng góc với trục cấu kiện trên cở sở tính toán số gia ứng suất trung bình trong vùng chịu kéo của cấu kiện.

Theo phương pháp này, Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 cho phép sử dụng công thức xác định bề rộng vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện a_{crc}, mm, như sau:

$$a_{crc} = \delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E}20\left(3{,}5 - 100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d} \qquad (9.29)$$

Trong đó:

δ - hệ số, đối với cấu kiện chịu uốn, nén lệch tâm, kéo lệch tâm khi $P \geq N$ - lấy bằng 1; còn khi kéo lệch tâm với $P < N$ - lấy bằng 1,2.

φ_l - hệ số, đối với tải trọng tạm thời ngắn hạn và tác dụng không kéo dài của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn lấy bằng 1; đối với tải trọng lặp, cũng như tác dụng lâu dài của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn đối với kết cấu làm từ:

- Bêtông nặng:

+ Độ ẩm tự nhiên: $\varphi_l = 1{,}6\text{-}15\bar{\mu}$, nhưng không nhỏ hơn 1,3;

+ Bão hòa nước: $\varphi_l = 1{,}2$;

+ Khi độ ẩm thay đổi: $\varphi_l = 1{,}75$.

- Bêtông cốt liệu nhỏ:

+ Nhóm A lấy φ_l = 1,75;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

+ Nhóm B lấy $\varphi_l = 2$;

+ Nhóm C lấy $\varphi_l = 1,5$.

- Bêtông nhẹ: $\varphi_l = 1,5$.

Giá trị φ_l đối với bêtông cốt liệu nhỏ và bêtông nhẹ khi độ ẩm bão hòa được nhân với 0,8. còn khi độ ẩm thay đổi nhân với 1,2.

η - hệ số, đối với cốt thép loại A-III, A-IV, A-V, A-VI lấy $\eta = 1$;

BpII, K7. K19 lấy $\eta = 1,2$;

BII lấy $\eta = 1,4$.

σ_s - số gia ứng suất trong thanh cốt thép ở dãy ngoài cùng do tác dụng của ngoại lực .

$\bar{\mu}$ - hàm lượng cốt thép của tiết diện, được lấy bằng tỉ số giữa diện tích cốt thép S với diện tích tiết diện bêtông có chiều cao h_0, không tính đến cánh chịu nén và có giá trị không lớn hơn 0,02; đối với tiết diện chữ nhật, chữ T, chữ I:

$$\bar{\mu} = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_0 + (b_f - b)(h_f - a)} \le 0,02 \qquad (9.30)$$

$h_f - a$ lấy giá trị không nhỏ hơn 0;

d - đường kính cốt thép chịu kéo, mm; khi có nhiều loại đường kính khác nhau giá trị d được lấy bằng:

$$d = \frac{n_1 d_1^2 + ... + n_k d_k^2}{n_1 d_1 + ... + n_k d_k} \qquad (9.31)$$

$d_1,...,d_k$ lần lượt là đường kính các thanh cốt thép chịu kéo;

$n_1,...,n_k$ lần lượt là số thanh có đường kính $d_1,...,d_k$.

Nếu trong cấu kiện chịu kéo lệch tâm, lực kéo N_{tot} = N- P đặt giữa trọng tâm của các cốt thép S và cốt thép S', thì khi tính $\bar{\mu}$ chiều cao làm việc h_o được lấy từ điểm đặt lực N_{tot} đến cạnh chịu kéo ít hơn; khi chịu kéo đúng tâm $\bar{\mu} = \frac{A_{sp,tot} + A_{s,tot}}{bh}$, trong đó $A_{sp,tot} + A_{s,tot}$ là diện tích toàn bộ cốt dọc trong tiết diện.

Theo chỉ dẫn của TCXDVN 356 : 2006, bề rộng vết nứt xác định theo công thức (9.29) được điều chỉnh trong các trường hợp đặc biệt như sau:

a) Đối với cấu kiện chịu uốn, nén lệch tâm và kéo lệch tâm có $e_{o,tot} \ge 0,8h_o$, nếu trọng tâm của cốt thép chịu kéo S nằm cách cạnh chịu kéo nhiều hơn một khoảng $a_2 > 0,2h$ thì giá trị cần được tăng lên bằng cách nhân với hệ số δ_a bằng:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\delta_a = \frac{20 - \frac{a_2}{h} - 1}{3} \le 3 \qquad (9.32)$$

Đối với cấu kiện được đặt cốt có gờ, đường kính >10mm khi chiều dầy của lớp bảo vệ ở mặt bên tiết diện ≤15mm, thì giá trị a_{crc} xác định theo công thức (9.29) được giảm đi 20%.

b) Đối với cấu kiện chịu uốn và nén lệch tâm làm từ bêtông nặng và bêtông nhẹ, khi $\bar{\mu} \le 0,008$ đại lượng a_{crc} tính theo công thức (9.29) có thể giảm bằng cách nhân với hệ số φ_b nhằm xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo phía trên vết nứt:

$$\varphi_b = \varphi_f \varphi_{l1} \le 1 \qquad (9.33)$$

Ở đây:

φ_f - hệ số xét đến mức độ ứng suất, lấy bằng:

$$\varphi_f = \frac{M_r - M_{crc}}{M_o - M_{crc}} \frac{M_o - M_{rp}}{M - M_{rp}} \qquad (9.34)$$

φ_{l1} - hệ số xét đến tác dụng dài hạn của tải trọng, đối với tải trọng ngắn hạn và tác dụng không kéo dài của tải trọng thường xuyên, tải trọng dài hạn lấy bằng 1; tác dụng kéo dài của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn :

$$\varphi_{l1} = 1,8 \frac{M_{crc}}{M_r} \le 1 \qquad (9.35)$$

M_o - mômen mà với nó bêtông chịu kéo ở phía trên tiết diện không còn làm việc, lấy bằng:

$$M_o = M_{crc} + \psi b h^2 R_{bt,ser} \qquad (9.36)$$

$$\psi = \frac{15\bar{\mu}\alpha}{\eta} \le 0,6$$

Nếu $M_r > M_o$ hệ số φ_b không cần tính.

Trong công thức (9.34) ÷ (9.36):

M_r - mômen được gây ra do toàn bộ tải trọng gồm: tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời ngắn hạn và dài hạn;

M_{crc} - xem mục 9.2.1;

$\bar{\mu}$,η - như trong công thức (9.29).

Số gia ứng suất trong cốt thép chịu kéo σ_s do tải trọng ngoài trong giai đoạn sử dụng (kể cả giai đoạn vận chuyển và lắp dựng) được xác định từ điều kiện bằng không (0)

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

của tổng mômen ngoại lực và nội lực đối với trục đi qua điểm đặt của hợp lực trong vùng nén hoặc vùng kéo ít hơn của tiết diện. Giá trị σ_s được tính theo công thức:

Trường hợp cấu kiện chịu uốn (hình 9.7a):

$$\sigma_s = \frac{M - P_2\left(z - e_{sp}\right)}{\left(A_{sp} + A_s\right)z} \tag{9.37}$$

Trường hợp nén lệch tâm (hình 9.7b):

$$\sigma_s = \frac{N\left(e_s - z\right) - P_2\left(z - e_{sp}\right)}{\left(A_{sp} + A_s\right)z} \tag{9.38}$$

Trường hợp kéo lệch tâm (hình 9.7c):

+ Khi:

$$e_{o,tot} = \frac{Ne_o - P_2 e_{op}}{N - P_2} \geq 0{,}8h_o \text{ và } N < P_2 \tag{9.39}$$

thì

$$\sigma_s = \frac{N\left(z \pm e_s\right) - P_2\left(z - e_{sp}\right)}{\left(A_{sp} + A_s\right)z} \tag{9.40}$$

+ Khi: $0 \leq e_{o,tot} \leq 0{,}8h_o$ (hình 9.7d),

thì

$$\sigma_s = \frac{N\left(z_s \pm e_s\right) - P_2\left(z_s - e_{sp}\right)}{\left(A_{sp} + A_s\right)z_s} \tag{9.41}$$

Ở đây: $z_s = h_o$-a' là khoảng cách giữa trọng tâm cốt thép S và cốt thép S'.

Trong công thức (9.40) và (9.41) dấu "+" được dùng khi lực N đặt ngoài khoảng giữa hai cốt thép S và S', dấu "-" khi lực N đặt trong khoảng giữa hai cốt thép S và S'.

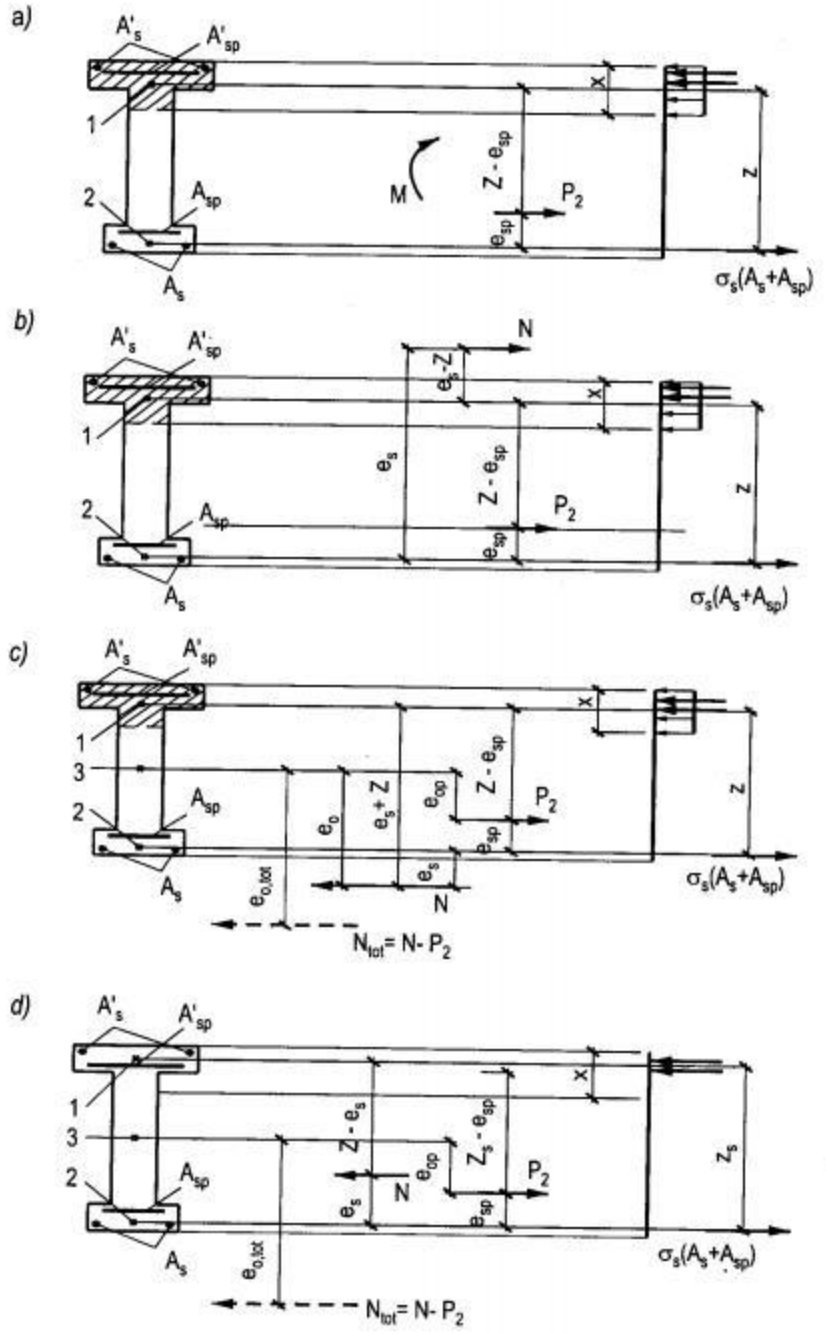
Đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm, tức là khi $e_{o,tot} = 0$; công thức (9.41) có dạng:

$$\sigma_s = \frac{N - P_2}{A_{sp,tot} + A_{s,tot}} \tag{9.42}$$

Trong đó:

$A_{sp,tot}$, $A_{s,tot}$ lần lượt là diện tích tiết diện của toàn bộ cốt thép căng và không căng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 9.7: *Sơ đồ nội lực và ứng suất trên tiết diện khi tính bề rộng vết nứt tại vùng bị nén dưới tác dụng của ứng suất trước*

a) Trường hợp chịu uốn; b) Trường hợp chịu nén lệch tâm;

c) Trường hợp chịu kéo lệch tâm với $e_{0,tot} \geq 0,8h_0$;

d) Trường hợp chịu kéo lệch tâm với $e_{0,tot} < 0,8h_0$.

1 - Điểm đặt nội lực ở vùng nén hoặc chịu kéo ít hơn; 2 - Trọng tâm diện tích cốt thép S; 3 - Trọng tâm tiết diện quy đổi.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong các công thức (9.37) ÷ (9.40):

z - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến điểm đặt hợp lực trong vùng nén ở trên vết nứt; hệ số ν được lấy như khi chịu tác dụng không kéo dài của tải trọng thường xuyên, tức là $\nu = 0,45$.

Cho phép lấy z như khi tính toán biến dạng, với chính các tải trọng đó, nếu $\left(A'_{sp} + A'_s\right)/\left(bh_o\right) < 0,01$.

Trong trường hợp $M_r < M_{cr}$, giá trị σ_s được tính theo công thức:

$$\sigma_s = \sigma_{s,crc}\frac{M_r - M_{rp}}{M_{crc} - M_{rp}} \tag{9.43}$$

Trong đó:

$\sigma_{s,crc}$ - số gia ứng suất trong cốt thép khi có tác dụng của tải trọng ứng với mômen gây nứt xác định theo các công thức (9.37) ÷ (9.41) và (9.44) nhưng thay M bằng M_{crc} và N bằng $N_{crc} = N(M_{crc}/M_r)$;

M_{crc} - xem mục 9.2.1.

Trong các trường hợp, khi $M_r > M_{crc}$ và $P_2 \geq 350(A_{sp}+A_s)$ (Trong đó: 350 có thứ nguyên là MPa – tức là 350MPa), giá trị đối với các cấu kiện chịu uốn và chịu nén lệch tâm cho phép xác định theo công thức:

$$\sigma_s = \varphi_{crc}\frac{M_s}{(A_{sp} + A_s)h_0} \tag{9.44}$$

Trong đó:

$M_s = M + Pe_{sp}$ - đối với các cấu kiện chịu uốn;

$M_s = Ne_s + Pe_{sp}$ - đối với các cấu kiện chịu nén lệch tâm;

φ_{crc} - hệ số được xác định theo phụ lục 21.

Khi bố trí cốt thép chịu kéo thành nhiều hàng theo chiều cao tiết diện của cấu kiện chịu uốn, chịu nén lệch tâm, cũng như chịu kéo lệch tâm khi $e_{o,tot} \geq 0,8h_o$, ứng suất σ_s tính theo các công thức ở mục này cần được nhân với hệ số δ_n bằng:

$$\delta_n = \frac{h - x - a_2}{h - x - a_1} \tag{9.45}$$

Trong đó:

$x = \xi h_0$ - giá trị ξ được xác định theo công thức (10.12); khi đó hệ số ν luôn được lấy như khi có tác dụng của tải trọng ngắn hạn, tức là $\nu = 0,45$; đối với các cấu kiện chịu uốn cho phép lấy $x = 0,5h_0$;

a_1, a_2 lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện của cốt thép S ứng với toàn bộ cốt thép và cốt thép hàng ngoài cùng đến thớ bêtông chịu kéo nhiều nhất.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đối với cấu kiện chịu kéo lệch tâm khi $e_{0,tot} < 0,8h_0$ và khi cốt thép được bố trí thành nhiều hàng theo chiều cao tiết diện, ứng suất σ_s cho phép lấy bằng $\alpha'\sigma_{bs}$, Trong đó σ_{bs} là ứng suất tại mức hàng cốt thép chịu kéo nhất do tác dụng của ngoại lực và lực nén trước P, được xác định như đối với vật thể đàn hồi theo tiết diện quy đổi, bao gồm diện tích tiết diện vùng chịu nén của bêtông và diện tích tiết diện của toàn bộ cốt thép dọc nhân với hệ số quy đổi $\alpha' = E_s/(0,9E_b)$. Trong trường hợp này, khi xác định hệ số $\bar{\mu}$ trong công thức (9.30) sử dụng toàn bộ cốt thép chịu kéo, còn giá trị h_0 được tính từ hàng cốt thép chịu kéo nhất.

Để tránh sự mở rộng các vết nứt không kiểm soát được và đảm bảo không cho xuất hiện các biến dạng không đàn hồi rõ rệt của cốt thép, các giá trị ứng suất $\sigma_s + \sigma_{sp}$ đối với cốt thép căng và $\sigma_s - \sigma_{sb}$ đối với cốt thép không căng, không được vượt quá các giá trị tương ứng $R_{s,ser}$. Khi đó, đối với cốt thép bố trí thành nhiều hàng, ứng suất σ_s được xác định có kể đến hệ số δ_n cho hàng ngoài cùng của cốt thép đang xét (căng hoặc không căng). Ở đây, σ_{sb} là tổng tổn hao ứng suất trước do co ngót và từ biến của bêtông.

Trên các đoạn của cấu kiện có vết nứt ban đầu trong vùng chịu nén, giá trị của lực nén trước P_2 cũng như của ứng suất σ_{sp} cần được giảm xuống bằng cách nhân với hệ số θ (xem mục 9.2.1).

Bề rộng vết nứt ban đầu trong vùng tiết diện chịu kéo do lực nén trước trong giai đoạn sản xuất được xác định theo công thức (9.29), khi đó lấy $\bar{\mu}$ và d đối với cốt thép chịu kéo (hình 9.7a), ứng suất hay số gia ứng suất σ_s trong cốt thép này được tính theo công thức:

$$\sigma_s = \frac{P_1\left(e_{sp} - z\right) \pm M}{\left(A_{sp} + A_s\right)z} \qquad (9.46)$$

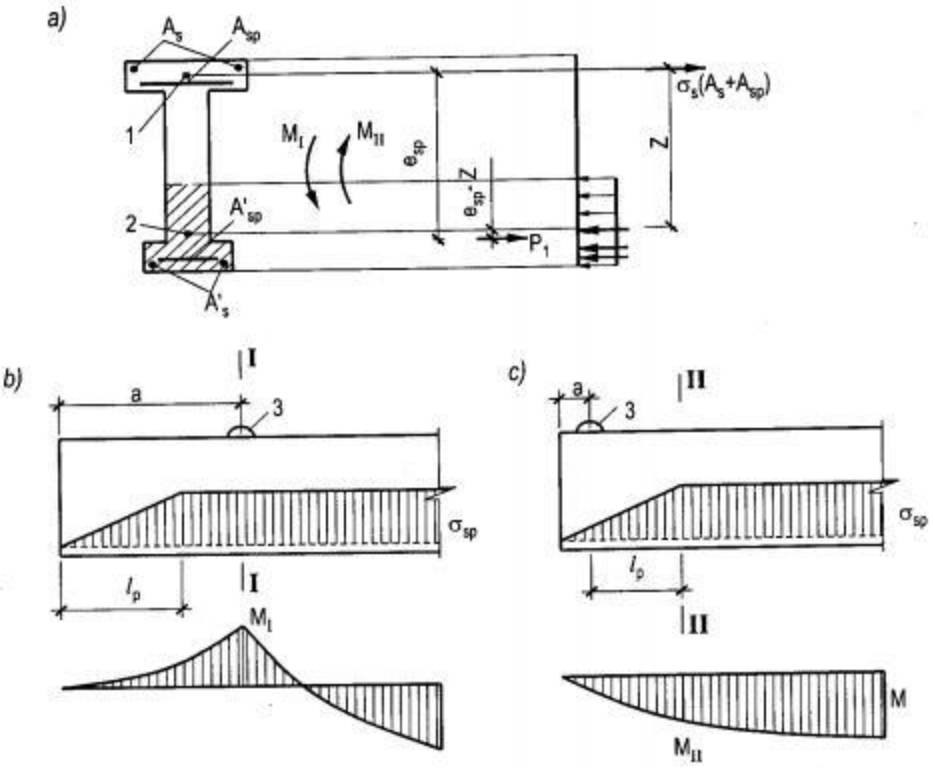
Trong đó:

M - mômen do trọng lượng riêng và các tải trọng khác tác dụng lên cấu kiện trong giai đoạn sản xuất; trong công thức (9.46) mômen được lấy giá trị dương khi kéo vùng có vết nứt;

z được xác định theo công thức (10.30) đối với giai đoạn sản xuất.

Khi cần xét các tiết diện chịu tác dụng bất lợi đồng thời của lực nén trước P_1 và M: tại vị trí đặt móc cẩu hoặc tại cuối vùng truyền ứng suất lp (hình 9.7b,c), nếu mômen M do trọng lượng bản thân kéo mép trên (tiết diện I-I), thì nó cần được tính với hệ số động lực 1,4, trong trường hợp ngược lại, (tiết diện II-II) - không kể đến hệ số động lực. Trong giai đoạn này, lực nén trước P_1 và mômen M được coi như tác dụng ngắn hạn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 9.8: *Sơ đồ tính toán theo sự mở rộng vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện trong giai đoạn chế tạo*

a) Sơ đồ nội lực và ứng suất; b) Sơ đồ tính toán theo vị trí móc cẩu;

1 - Trọng tâm cốt thép ở vùng chịu kéo khi chịu nén trước;

2 - Điểm đặt của hợp lực trong vùng nén; 3 - Vị trí móc cẩu.

Chiều sâu h_{crc} của các vết nứt trong vùng chịu nén không được lớn hơn $0,5h_0$. Giá trị h_{crc} được xác định theo công thức:

$$h_{crc} = h - (1,2 + \varphi_m)\xi h_0 \qquad (9.47)$$

Trong đó:

giá trị φ_m được xác định theo công thức (9.18);

giá trị ξ được xác định theo công thức (10.12), trong giai đoạn sản xuất.

Đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2, bề rộng vết nứt được xác định do tổng các tác dụng ngắn hạn của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tải trọng tạm thời ngắn hạn với hệ số $\varphi_l = \varphi_{ll} = 1$.

Đối với cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 3, bề rộng vết nứt dài hạn được xác định do tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn khi hệ số $\varphi_l > 1$. Bề rộng vết nứt ngắn hạn được xác định như tổng độ rộng vết nứt dài hạn do tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn với số gia bề rộng vết nứt do tác dụng ngắn hạn khi hệ số $\varphi_l = 1$, tức là theo công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$a_{crc} = a_{crc,l}\left(1 + \frac{\sigma_s/\sigma_{sl} - 1}{\varphi_l}\right) \quad (9.48)$$

Ở đây:

$a_{crc,l}$ - bề rộng vết nứt dài hạn do tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn;

$\varphi_l > 1$; nếu đại lượng $a_{crc,l}$ được xác định có kể đến công thức (9.33) thì hệ số φ_l trong công thức (9.48) được thay thế bằng tích của $\varphi_l\varphi_{ll}$ (φ_{ll} - xem mục 9.3.2b);

σ_{sl},σ_s được xác định theo chỉ dẫn ở phần trên của mục này do tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và do toàn bộ tải trọng.

9.3.3. Tính toán theo sự mở rộng vết nứt xiên góc với trục dọc cấu kiện

Bề rộng vết nứt xiên khi đặt cốt đai thẳng góc với trục dọc cấu kiện cần được xác định theo công thức:

$$a_{crc} = \varphi_l \frac{0{,}6\sigma_{sw} d_w \eta}{E_s \frac{d_w}{h_o} + 0{,}15E_b(1 + 2\alpha\mu_w)} \quad (9.49)$$

Ở đây: φ_l - hệ số được lấy như sau:

- Khi tính toán với tải trọng tạm thời ngắn hạn và tác dụng không kéo dài của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn φ_l lấy bằng 1;

- Khi tính với tải trọng lặp nhiều lần cũng như tác dụng kéo dài của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn đối với kết cấu làm từ:

a) Bêtông nặng :

+ Có độ ẩm tự nhiên lấy $\varphi_l = 1{,}5$;

+ Bão hòa nước lấy $\varphi_l = 1{,}2$;

+ Khi độ ẩm thay đổi $\varphi_l = 1{,}75$;

b) Bêtông cốt liệu nhỏ và bêtông nhẹ lấy φ_l theo công thức (9.29);

η là hệ số được lấy phụ thuộc loại cốt ngang:

+ Cốt ngang AI: $\eta = 1{,}3$;

+ Cốt ngang AII và AIII: $\eta = 1$;

+ Cốt ngang BpI: $\eta = 1{,}2$;

μ_w - hàm lượng cốt đai của cấu kiện :

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} \quad (9.50)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

d_w - đường kính của cốt đai;

σ_{sw} - ứng suất trong cốt đai được xác định theo công thức:

$$\sigma_{sw} = \frac{Q - Q_{b1}}{A_{sw} h_o} s \qquad (9.51)$$

(giá trị của ứng suất σ_{sw} không được vượt quá $R_{s,ser}$);

Ở đây:

Q_{b1} - phần bên phải của điều kiện (6.28); đồng thời hệ số ϕ_{b4} được nhân với hệ số 0,8. còn giá trị R_{bt}, R_b được thay bằng $R_{bt,ser}$ và $R_{b,ser}$; giá trị $R_{bt,ser}$ được lấy không lớn hơn giá trị $R_{bt,ser}$ của cấp bêtông B30.

Q - lực cắt do ngoại lực nằm ở một phía của tiết diện đang xét, được xác định như đối với điều kiện (6.14).

Tính toán được tiến hành đối với tiết diện nguy hiểm bắt đầu từ gối tựa và có chiều dài hình chiếu c như được quy định ở điều kiện (6.29).

Khi xác định bề rộng vết nứt nghiêng ngắn hạn và vết nứt nghiêng dài hạn cần xét đến các chỉ dẫn trong mục 9.3.2; đồng thời trong công thức (9.48) hệ số φ_l được lấy theo các chỉ dẫn ở mục này, còn các đại lương σ_{sl}, σ_s được thay thế tương ứng bằng $\sigma_{swl}, \sigma_{sw}$ xác định theo công thức (9.51) ứng với tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và toàn bộ tải trọng.

Đại lượng a_{crc} được phép giảm đi 1,5 lần so với giá trị tính theo công thức (9.49), nếu cấu kiện được đặt cốt đai thẳng góc với trục dọc cấu kiện và cốt dọc được đặt theo chiều cao tiết diện với bước như bước cốt đai [7].

9.3.4. Ví dụ tính toán

VÍ DỤ 28:

Số liệu:

Cấu kiện thanh cánh hạ của dàn có kích thước tiết diện ngang: h = 280mm, b = 250mm; a = a' = 40mm. Bêtông nặng B35 ($R_{b,ser}$ = 25,5MPa; $E_b = 3{,}1.10^4$MPa); Lực kéo dọc do toàn bộ tải trọng N = 850kN; momen do toàn bộ tải trọng M=45kNm. Lực dọc và momen do tải trọng thường xuyên và dài hạn N_l = 820kN, M_l=30kNm. Ứng suất trước trong cốt thép có xét đến mọi tổn hao σ_{sp2} = 264MPa. Các số liệu còn lại theo ví dụ 24.

Yêu cầu:

Tính toán cấu kiện theo mở rộng vết nứt nghiêng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tính toán:

Kiểm tra việc mở rộng vết nứt liên tục và không liên tục.

$$h_0 = 280 - 40 = 240\text{mm}.$$

Xác định độ lệch tâm của lực dọc bên ngoài N và hợp lực N_{tot} đối với trọng tâm tiết diện quy đổi.

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{45.10^6}{850.10^3} = 52,9\text{mm};$$

$$e_{0l} = \frac{M_l}{N_l} = \frac{30.10^6}{820.10^3} = 36,6\text{mm};$$

$$N_{tot} = N - P_2 = 850 - 650 = 200\text{kN} > 0;$$

$$N_{l,tot} = 820 - 650 = 170\text{kN} > 0;$$

Vì $e_{0p} = 0$,

$$e_{0,tot} = \frac{M}{N_{tot}} = \frac{45.10^6}{200.10^3} = 225\text{mm} > 0,8h_0 = 0,8.240 = 192\text{mm};$$

$$e_{0l,tot} = \frac{M_l}{N_{l,tot}} = \frac{30.10^6}{170.10^3} = 176\text{mm} < 0,8h_0 = 0,8.240 = 192\text{mm}.$$

Vết nứt liên tục xác định theo công thức (9.29). Bởi vì $e_{0l,tot} < 0,8h_0$, việc giảm ứng suất trong cốt thép σ_s xác định theo công thức (9.41):

$$e_s = y_0 - a - e_{0l} = 140 - 40 - 36,6 = 63,4\text{mm};$$

$$e_{sp} = y_0 - a = 140 - 40 = 100\text{mm};$$

$$z_s = h_0 - a' = 240 - 40 = 200\text{mm};$$

$$\sigma_s = \frac{N_l(z_s - e_s) - P_2(z_s - e_{sp})}{A_{sp}z_s}$$

$$= \frac{820.10^3(200 - 63,4) - 650.10^3(200 - 100)}{1232.200} = 191\text{MPa}$$

Bề rộng (mở rộng) vết nứt a_{crc} tìm theo công thức (9.29). Để làm điều đó, ta tính hệ số:

$$\bar{\mu} = \frac{A_{sp}}{bh_0} = \frac{1232}{250.240} = 0,021 > 0,02 \text{ (lấy } \bar{\mu} = 0,02);$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\varphi_l = 1,6 - 1,5\bar{\mu} = 1,6 - 1,5.0,02 = 1,3;$$

$$\eta = 1,0;\ \delta = 1,2\ (\text{vì } N > P_2).$$

Từ đó:

$$a_{crc} = \delta\varphi_{ll}\eta\frac{\sigma_s}{E_s}20\left(3.5 - 100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d}$$

$$= 1,2.1,3.1\frac{191}{2.10^5}20\left(3,5 - 100.0,02\right)\sqrt[3]{28} = 0,136\text{mm}$$

tức là mở rộng vết nứt liên tục nhỏ hơn giới hạn cho phép $\sigma_{crc2} = 0,3\text{mm}$ (bảng 4.5).

Mở rộng vết nứt không liên tục xác định theo công thức (9.48), khi lấy $a_{crc,l} = 0,136\text{mm}$, $\sigma_{sl} = 191\text{MPa}$ và $\varphi_l = 1,3$.

Để xác định giá trị σ_s, ta tìm trị số z theo công thức (10.30):

$$e_s = y_0 - a - e_0 = 140 - 40 - 52,9 = 47,1\text{mm};$$

$$M_s = P_2.e_{sp} - Ne_s = 650.10^3.100 - 850.10^3.47,1 = 25.10^6\text{Nmm};$$

$$\delta = \frac{M_s}{bh_0^2R_{b,ser}} = \frac{25.10^6}{250.240^2.25,5} = 0,068;$$

$$e_{s,tot} = \left|\frac{M_s}{N_{tot}}\right| = \frac{25.10^6}{200.10^3} = 125\text{mm};$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{2.10^5}{3,1.10^4} = 6,5;\ \mu = \frac{A_{sp}}{bh_0} = \frac{1232}{250.240} = 0,021;$$

$$\mu\alpha = 0,021.6,5 = 0,137;\ \nu = 0,45;$$

$$\varphi_f = \frac{\frac{\alpha}{2\nu}A'_{sp}}{bh_0} = \frac{\frac{6,5}{2.0,45}1232}{250.240} = 0,148;$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{a'}{h_0}\right) = 0,148\left(1 - \frac{40}{240}\right) = 0,123;$$

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(\delta + \lambda)}{10\mu\alpha}} - \frac{1,5 + \varphi_f}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} + 5.}$$

$$= \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,068 + 0,123)}{10.0,137}} - \frac{1,5 + 0,148}{11,5\frac{125}{240} + 5} = 0,155 < 1$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bởi vì $\xi = 0,155 < \frac{a'}{h_0} = \frac{40}{240} = 0,167$, ta tính toán giá trị ξ khi lấy $A'_{sp} = 0$, $\varphi_f = 0, \lambda = 0$:

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5\delta}{10\mu\alpha}} - \frac{1,5}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} + 5} = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5.0,068}{10.0,137}} - \frac{1,5}{11,5\frac{125}{240} + 5} = 0,224.$$

Bởi vì $\varphi_f = 0$, công thức (10.30) có dạng

$$z = h_0(1 - 0,5\xi) = 240 - (1 - 0,5.0,224) = 213\text{mm}.$$

Gia tăng ứng suất trong cốt thép xác định theo công thức (9.40):

$$\sigma_s = \frac{N(z - e_s) - P_2(z - e_{sp})}{A_{sp}z}$$

$$= \frac{850.10^3(213 - 47,1) - 650.10^3(213 - 100)}{1232.213} = 257\text{MPa}$$

Vì $\sigma_{sp2} + \sigma_s = 264 + 257 = 521\text{MPa} < R_{s,ser} = 590\text{MPa}$, bảo đảm không có biến dạng không đàn hồi trong cốt thép.

$$a_{crc} = a_{crc,1}\left(1 + \frac{\sigma_s/\sigma_{sl} - 1}{\phi_l}\right) = 0,136\left(1 + \frac{257/171 - 1}{1,3}\right) = 0,189\text{mm},$$

Kết luận: Bề rộng vết nứt nhỏ hơn giá trị giới hạn cho phép $a_{crc,1} = 0,4\text{mm}$.

VÍ DỤ 29:

Số liệu:

Bản sàn nhiều lỗ theo hình 9.5; bêtông nhẹ B15, mác theo độ chặt (mật độ) trung bình D1600 (E_b =13900MPa); cốt thép dọc loại A-IV, diện tích tiết diện A_{sp}=1539mm^2 (10ϕ14); lực nén trước (có xét đến mọi tổn hao và $\gamma_{sp} = 1,0$) P = 636kN; mômen do toàn bộ tải trọng M_{tot} = 133,7kNm, mômen do tải trọng thường xuyên và dài hạn M_l = 106,4kNm; yêu cầu độ chống nứt cấp 3. Các số liệu còn lại tính theo ví dụ 25.

Yêu cầu:

Tính toán bản theo mở rộng vết nứt thẳng góc ngắn hạn.

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 220 - 30 = 190\text{mm (hình 9.5)}.$$

Từ ví dụ 25, ta có M_{rp} = 84,9kNm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bắt đầu theo công thức (9.29) ta xác định việc mở rộng liên tục vết nứt khi tác động mômen $M_1 = 106,4kNm$.

Vì $M_r = M_1 = 106,4kNm < M_{crc} = 128,7kNm$, việc gia tăng ứng suất σ_s xác định theo công thức (9.36). Để làm việc đó, ta xác định giá trị $\sigma_{s,crc}$ do tác dụng của mômen $M_{crc} = 128,7kNm$. Vì $350A_{sp} = 350.1539 = 538650N < P_2 = 636kN$, ta dùng công thức đơn giản (9.44). Từ ví dụ 23, ta có $b'_f = b_f = 3580mm$, $b = 984mm$ và $h = h'_f = 41mm$. Khi đó

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0} = \frac{(3580 - 984)41}{984.190} = 0,569.$$

Vì $A_s = 0$, $A'_s = 0$ và $A'_{sp} = 0$, $M_s = M = 128,7kNm$;

$$\frac{e_{s,tot}}{h_0} = \frac{M_s}{P_2 h_0} = \frac{128,7}{636.0,19} = 1,065;$$

$$\mu\alpha = \frac{E_s A_{sp}}{E_b bh_0} = \frac{19.10^4.1539}{1,39.10^4.984.190} = 0,1125.$$

Ta tìm hệ số φ_{crc}. Để tìm nó, ta tra phụ lục 21 lấy giá trị tra bảng gần đúng $\varphi_f = 0,5$ và $\mu\alpha = 0,1$, và chỉ nội suy theo $e_{s,tot}/h_0$: khi $\frac{e_{s,tot}}{h_0} = 1,0$, $\phi_{crc} = 0,2$; khi $\frac{e_{s,tot}}{h_0} = 1,1$, $\varphi_{crc} = 0,27$; từ đó khi $\frac{e_{s,tot}}{h_0} = 1,065$ thì :

$$\varphi_{crc} = 0,2 + 0,65(0,27 - 0,2) = 0,246.$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,crc} = \frac{M}{A_{sp}h_0}\varphi_{crc} = \frac{128,7.10^6}{1539.190}0,246 = 108,3MPa.$$

Từ công thức (9.36) ta có:

$$\sigma_s = \sigma_{s,crc}\frac{M_r - M_{rp}}{M_{crc} - M_{rp}} = 108,3\frac{106,4 - 84,9}{128,9 - 84,9} = 52,9MPa.$$

Bề rộng vết nứt lâu dài xác định theo công thức (9.29). Từ điểm này ta có:

$\varphi_1 = 1,5$; $\delta = 1,0$; $\eta = 1,0$; d=14mm;

$$\bar{\mu} = \frac{A_{sp}}{bh_0 + (b_f - b)(h_f - a)}$$

$$= \frac{1539}{984.190 + (3580 - 984)(41 - 30)} = 0,0071 < 0,02$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$a_{crc} = \delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E_s}20\left(3.5-100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d}$$

$$=1.1,5.\frac{52,9}{19.10^4}20\left(3.5-100.0,007\right)\sqrt[3]{14}=0,056\text{mm}$$

Xác định bề rộng vết nứt ngắn hạn theo công thức (9.48), khi lấy $a_{crc,l}=0,056\text{mm}$ và $\sigma_{sl}=52,9\text{MPa}$. Ứng suất σ_s xác định theo công thức (9.44), khi lấy $M_s=M_{tot}=133,7\text{kNm}$:

$$\frac{e_{s,tot}}{h_0}=\frac{133,7}{636.0,19}=1,106.$$

Theo bảng 7.3, khi $\varphi_f=0,5$, $\mu\alpha=0,1$ và $\frac{e_{s,tot}}{h_0}=1,106$ ta được $\varphi_{crc}=0,274$.

Khi đó $\sigma_s=\frac{133,7.10^6}{1539.190}0,274=125,3\text{MPa}$;

$$a_{crc}=a_{crc,l}\left(1+\frac{\sigma_s/\sigma_{sl}-1}{\varphi_l}\right)=0,056\left(1+\frac{125,3/52,9-1}{1,5}\right)=0,107\text{mm},$$

Kết luận: Nhỏ hơn giá trị cho phép $a_{crcl}=0,4\text{mm}$.

VÍ DỤ 30:

Số liệu:

Bản sàn trên hình 9.6, bêtông nặng B25 ($E_b=2,7.10^4\text{MPa}$), cường độ truyền $R_{bp}=20\text{MPa}$ ($R^{(p)}_{bt,ser}=1,4\text{MPa}$, $R^{(p)}_{b,ser}=15\text{MPa}$); cốt thép vùng trên của bản A-III ($E_s=2.10^5\text{MPa}$), diện tích tiết diện $A_s=50,3\text{mm}^2$ (1ϕ8); cốt thép vùng dưới của bản $A'_{sp}+A'_s=569\text{mm}^2$ (1ϕ25 + 1ϕ10); lực nén trước có xét đến tổn hao thứ nhất P_1 = 230kN. Độ lệch tâm của nó đối với trọng tâm tiết diện quy đổi $e_{op}=167\text{mm}$; tải trọng do trọng lượng bản thân của bản $q_w=1,3\,\text{kN/m}$ (đối với 1/2 bản).

Yêu cầu:

Xác định bề rộng mở rộng và chiều sâu vết nứt thẳng góc trong giai đoạn chế tạo.

Tính toán:

Từ ví dụ 24 ta biết rằng trong giai đoạn đang xét vết nứt trên (ban đầu) được hình thành. Ta xét tiết diện tại điểm móc cẩu cách l_1 = 1m tính từ đầu bản. Mô men trong tiết diện này do trọng lượng bản thân của bản xác định như đối với côngxôn có xét đến hệ số động lực khi nâng bằng 1,4:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$M_w = \frac{1,4q_w l_1^2}{2} = \frac{1,4.1,3.1^2}{2} = 0,9\text{kNm}.$$

Tìm ứng suất trong cốt thép σ_s cần để tính toán bề rộng mở rộng vết nứt theo công thức (9.46).

Với mục đích đó, ta tính toán cánh tay đòn z theo công thức (10.18); liên quan đến nó, ta xác định các giá trị sau:

$$h_0 = 350 - 25 = 325\text{mm};$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{2.10^5}{2,7.10^4} = 7,4;$$

$$\varphi_f = \frac{\frac{\alpha}{2\nu}(A'_{sp} + A'_s)}{bh_0} = \frac{\frac{7,4}{2.0,45}56,9}{93.325} = 0,15;$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{a'}{h_0}\right) = 0,15\left(1 - \frac{50}{325}\right) = 0,13;$$

$$e_{sp} = e_{0p} + (h - y_0 - a) = 167 + (350 - 220 - 25) = 272\text{mm};$$

$$M_s = P_1 e_{sp} + M_w = 230.10^3.272 + 0,9.10^6 = 63,5.10^6\text{Nmm};$$

$$e_{s,tot} = \frac{M_s}{P_1} = \frac{63,5.10^6}{230.10^3} = 276,4\text{mm};$$

$$\delta = \frac{M_s}{bh_0^2 R_{b,ser}^{(p)}} = \frac{63,5.10^6}{95.325^2.15} = 0,42;$$

$$\mu\alpha = \frac{A_s}{bh_0}\alpha = \frac{50,3.7,4}{95.325} = 0,0121;$$

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(\delta + \lambda)}{10\mu\alpha}} + \frac{1,5 + \varphi_f}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} - 5}$$

$$= \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,42 + 0,13)}{0,121}} + \frac{1,5 + 0,15}{11,5.\frac{276,4}{325} - 5}$$

$$= 0,375 > \frac{a'}{h_0} = \frac{50}{325} = 0,154$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$z = h_0\left[1-\frac{\frac{2a'}{h_0}\varphi_f+\xi^2}{2(\varphi_f+\xi)}\right] = 325\left[1-\frac{\frac{2.50}{325}0,15+0,375^2}{2(0,15+0,375)}\right] = 267\text{mm}.$$

Vì $z < 0,97e_{s,tot} = 0,97.276,4 = 268$mm, ta lấy $z = 267$mm.

Ứng suất trong cốt thép kéo σ_s xác định theo công thức (9.46)

$$\sigma_s = \frac{P_1(e_{sp}-z)+M_w}{A_s z} = \frac{230.10^3(272-267)+0,9.10^6}{50,3.267} = 152,6\text{MPa}.$$

Để xác định giá trị a_{crc}, ta tính-hệ số $\bar{\mu}$ theo công thức (9.24):

$$\bar{\mu} = \frac{A_s}{bh_0+(b_f-b)(h_f-a)} = \frac{50,3}{9,5.325+(475-95)(50-25)} = 0,00125;$$

$$a_{crc} = \delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E_s}20\left(3,5-100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d}$$

$$= 1.1.1\frac{152,6}{2.10^5}20\left(3.5-100.0,00125\right)\sqrt[3]{8} = 0,103\text{mm}$$

nhỏ hơn giá trị giới hạn cho phép a_{crc}=0,4mm.

Trong tiết diện này, ta xác định chiều sâu vết nứt phía trên theo công thức (9.47):

$$\varphi_m = \frac{R^{(p)}_{bt,ser}W^{sup}_{pl}}{P_1(e_{0p}-r_{inf})+M_w} = \frac{1,4.8,28.10^6}{230.10^3(167-69,6)+0,9.10^6} = 0,50$$

ở đây, $\xi W^{sup}_{pl}, r_{inf}$ - xem ví dụ 24.

$h_{crc} = h-(1,2+\varphi_m)\xi h_0 = 350-(1,2+0,50)0,375.325 = 143\text{mm}$,

Kết luận: Chiều sâu vết nứt nhỏ hơn 0,5h = 0,5.350 = 175mm.

VÍ DỤ 31:

Số liệu :

Bản sàn trên hình 9.6; bêtông nặng cấp B25 ($E_b = 2,7.10^4$MPa, $R_{b,ser} = 18,5$MPa); cốt thép căng loại A-IV ($E_s = 1,9.10^5$MPa), diện tích tiết diện $A_{sp} = 491\text{mm}^2$ (1ϕ25); cốt thép thường chịu kéo và nén loại A-III, diện tích tiết diện tương ứng $A_s = 78,5\text{mm}^2$ (1ϕ10) và $A'_s = 50,3\text{mm}^2$ (1ϕ8); lực nén trước (có xét đến mọi tổn hao và $\gamma_{sp} = 1,0$) $P_2 = 150$kN, độ lệch tâm của nó $e_{op} = 165$mm; ứng suất trước $\sigma_{sp2} = 332$MPa; mômen lớn nhất do toàn bộ tải trọng (khi $\gamma_f = 1,0$)

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$M_{tot} = 66kNm$, Trong đó mômen do tải trọng thường xuyên và dài hạn $M_l = 60kNm$; yêu cầu độ chống nứt cấp 3.

Yêu cầu:

Tính toán bản theo mở rộng vết nứt thẳng góc trong giai đoạn sử dụng.

Tính toán:

Từ ví dụ 26, ta biết rằng trong giai đoạn chế tạo, tại vùng trên của bản hình thành các vết nứt ban đầu; xét đến các vết nứt này $M_{crc} = 31kNm < M_{tot} = 66kNm$. Do đó, cần phải tính toán theo mở rộng vết nứt thẳng góc tại vùng dưới của bản.

Liên quan đến sự có mặt của các vết nứt ban đầu, ta chỉnh lại trị số P_2, lực P_2 được giảm bằng cách nhân hệ số $\theta = 0,724$ (ví dụ 24).

$$P_2 = 150.0,724 = 108,6kN.$$

Khi đó, $M_{rp} = P_2(e_{op} + r_{sup}) = 108,6.10^3(165 + 58,7) = 24,3.10^6 Nmm = 24,3kNm$

(r_{sup} lấy theo ví dụ 24).

Vì $\frac{M_l - M_{rp}}{M_{tot} - M_{rp}} = \frac{60 - 24,3}{66 - 24,3} = 0,856 > \frac{2}{3}$, theo mục (9.3.1) ta chỉ kiểm tra mở rộng vết nứt dài hạn.

Để xác định bề rộng (mở rộng) vết nứt, ta tìm giá trị z theo công thức (10.30).

$$M_s = M + P_2.e_{sp} = 60.10^6 + 108,6.10^3.5 = 60,5.10^6 Nmm$$

Trong đó $e_{sp} = y - e_{0p} - a = 220 - 165 - 50 = 5mm$;

$$\delta = \frac{M_s}{bh_0^2 R_{b,ser}} = \frac{60,5.10^6}{95.300^2.18,5} = 0,382;$$

$$e_{s,tot} = \left|\frac{M_s}{P_2}\right| = \frac{60,5.10^6}{108,6.10^3} = 557mm;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{1,9.10^5}{2,7.10^4} = 7,0;\ \mu = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_0} = \frac{491 + 79}{95.300} = 0,02;$$

$$\mu\alpha = 0,02.7 = 0,14;$$

$$\varphi_f = \frac{(b_f' - b)h_f' + \frac{\alpha A_s'}{2\nu}}{bh_0} = \frac{(475 - 95)50 + \frac{7.50,3}{2.0,45}}{95.300} = 0,68;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\lambda = \varphi_f\left(1-\frac{a'}{h_0}\right) = 0,68\left(1-\frac{2,5}{300}\right) = 0,674;$$

$$\xi = \frac{1}{1,8+\dfrac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} + \frac{1,5+\varphi_f}{11,5\dfrac{e_{s,tot}}{h_0}-5}$$

$$= \frac{1}{1,8+\dfrac{1+5(0,382+0,674)}{1,4}} + \frac{1,5+0,68}{11,5\dfrac{557}{300}-5} = 0,292 > \frac{h'_f}{h_0} = \frac{50}{300} = 0,167$$

$$z = h_0\left[1-\frac{\dfrac{2a'}{h_0}\varphi_f+\xi^2}{2(\varphi_f+\xi)}\right] = 300\left[1-\frac{\dfrac{2.2,5}{300}0,68+0,292^2}{2(0,68+0,292)}\right] = 285\text{mm}$$

Ứng suất trong cốt thép chịu kéo σ_s xác định theo công thức (9.37):

$$\sigma_s = \frac{M-P_2\left(z-e_{sp}\right)}{\left(A_{sp}+A_s\right)z} = \frac{60.10^6-108,6.10^3(285-5)}{(491+79).285} = 182\text{MPa}.$$

Xác định hệ số δ_n đối với hàng cốt thép bên dưới (không căng) theo công thức (9.45) khi lấy $x = 0,292.h_0 = 0,292.300 = 87,6\text{mm}$

$$\delta_n = \frac{h-x-a_2}{h-x-a_1} = \frac{350-87,6-25}{350-87,6-50} = 1,12.$$

Khi đó, $\sigma_s = 182.1,12 = 204\text{MPa}$.

Bề rộng mở rộng vết nứt xác định theo công thức (9.29). Để làm việc đó, ta tính toán giá trị $\bar{\mu}$ và d:

$$\bar{\mu} = \mu = 0,02;$$

$$d = \frac{d_1^2+d_2^2}{d_1+d_2} = \frac{25^2+10^2}{25+10} = 20,7\,\text{mm}.$$

Hệ số φ_l bằng: $\varphi_l = 1,6-15\bar{\mu} = 1,6-15.0,02 = 1,3.$

$\delta = 1,0$; $\eta = 1,0$ (đối với cốt thép loại A-III và A-IV)

$$a_{crc2} = \delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E_s}20\left(3,5-100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d}$$

$$= 1.1,3.1\frac{204}{2.10^5}20\left(3,5-100.0,02\right)\sqrt[3]{20,7} = 0,11\text{mm}$$

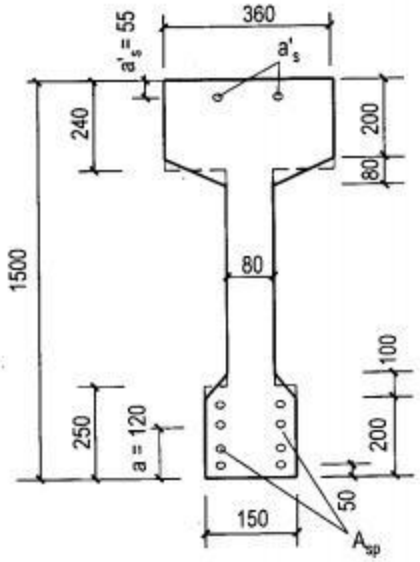
Kết luận: Bề rông vết nứt nhỏ hơn trị số giới hạn cho phép $a_{crc2} = 0,3\text{mm}$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

VÍ DỤ 32:

Số liệu:

Dầm sàn trên hình 9.9; bêtông nặng cấp B30 ($R_{bt,ser} = 1,8MPa$, $E_b = 2,9.10^4 MPa$, $R_{b,ser} = 22MPa$); cốt dọc bằng cáp loại K-7 ($E_s = 1,8.10^5 MPa$), diện tích tiết diện $A_{sp} = 725mm^2 (8\phi 12)$ và $A'_{sp} = 182mm^2 (2\phi 12)$; lực nén trước (có xét đến mọi tổn hao và $\gamma_{sp} = 1,0$) $P_2 = 580kN$, độ lệch tâm của nó với trọng tâm tiết diện quy đổi $e_{op} = 420mm$; mômen lực nén $M_{rp} = 434kNm$, mômen hình thành vết nứt $M_{crc} = 620kNm$; mômen do toàn bộ tải trọng $M_{tot} = 725kNm$; yêu cầu độ chống nứt cấp 2.



Hình 9.9: *Tiết diện ngang của dầm cho ví dụ 32*

Yêu cầu:

Tính toán dầm theo mở rộng vết nứt thẳng góc.

Tính toán:

Bề rộng (mở rộng) vết nứt không liên tục do tác động của mômen $M = M_{tot}$ xác định theo công thức (9.29). Để làm việc đó, ta tính sự gia tăng ứng suất trong cốt thép.

Tính trị số z theo công thức (10.30).

$$h_0 = h - a = 1500 - 120 = 1380mm;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{1,8.10^5}{2,9.10^4} = 6,2;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\mu\alpha = \frac{A_{sp}}{bh_0}\alpha = \frac{725}{80.1380}6,2 = 0,041;$$

$$M_s = M + P_2.e_{sp} = 725.10^6 + 580.10^3.340 = 922.10^6 \text{Nmm}$$

$$(e_{sp} = y - e_{0p} - a = 880 - 420 - 120 = 340\text{mm})$$

$$\delta = \frac{M_s}{bh_0^2 R_{b,ser}} = \frac{922.10^6}{80.1380^2.22} = 0,275;$$

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \frac{\alpha A'_{sp}}{2\nu}}{bh_0} = \frac{(360-80)240 + \frac{6,2.182}{2.0,45}}{80.1380} = 0,62;$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{h'_f}{2h_0}\right) = 0,62\left(1 - \frac{240}{2.1380}\right) = 0,57;$$

$$N_{tot} = P_2 = 580.10^3 \text{N};$$

$$e_{s,tot} = \frac{M_s}{N_{tot}} = \frac{922.10^6}{580.10^3} = 1590\text{mm};$$

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} + \frac{1,5+\varphi_f}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} - 5}$$

$$= \frac{1}{1,8 + \frac{1+5(0,275+0,57)}{0,41}} + \frac{1,5+0,62}{11,5\frac{1590}{1380} - 5} = 0,326 > \frac{h'_f}{h_0} = \frac{240}{1380} = 0,174$$

$$z = h_0\left[1 - \frac{\frac{h'_f}{h_0}\varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)}\right] = 1380\left[1 - \frac{\frac{240}{1380}0,62 + 0,326^2}{2(0,62+0,326)}\right] = 1224\text{mm};$$

$$\sigma_s = \frac{M_s - P_2 z}{A_{sp} z} = \frac{922.10^6 - 580.10^3.1224}{725.1224} = 239\text{MPa}.$$

Bởi vì cốt thép được bố trí trong nhiều hàng, ta xác định σ_s đối với hàng dưới; theo công thức (9.32), ta tìm hệ số:

$$\delta_n = \frac{h - \xi h_0 - a_2}{h - \xi h_0 - a_1} = \frac{1500 - 0,326.1380 - 50}{1500 - 0,326.1380 - 120} = 1,075.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ đó, $\sigma_s = 239.1,075 = 257MPa$.

Để xác định trị số a_{crc}, ta tìm hệ số cốt thép $\bar{\mu}$

$$\bar{\mu} = \frac{A_{sp}}{bh_0 + (b_f - b)(h_f - a)} = \frac{725}{80.1380 + (150 - 80)(250 - 120)} = 0,0061;$$

$\varphi_l = 1,0$; $\delta = 1,0$; đối với cốt thép loại K-7 $\eta = 1,2$.

Từ đó:

$$a_{crc} = \delta\varphi_l\eta\frac{\sigma_s}{E_s}20\left(3,5 - 100\bar{\mu}\right)\sqrt[3]{d}$$

$$= 1.1,0.1,2\frac{257}{1,8.10^5}20\left(3,5 - 0,61\right)\sqrt[3]{12} = 0,227mm$$

tức là bề rộng mở rộng vết nứt lớn hơn trị số giới hạn cho phép $a_{crcl} = 0,2mm$ (phụ lục 16).

Vì $\bar{\mu}$=0,0061<0,008, ta chỉnh giá trị tính toán a_{crc} bằng cách xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo khi có vết nứt:

$$M_r = M = 725kNm.$$

Xác định mômen khi bêtông chịu kéo, được kể đến khi chịu lực theo công thức (9.36). Để làm việc đó, ta tính:

$$\psi = \frac{15\bar{\mu}\alpha}{\eta} = \frac{15.0,0061.6,2}{1,2} = 0,473 < 0,6.$$

Khi đó:

$$M_0 = M_{crc} + \psi bh^2R_{bt,ser}$$

$$= 620.10^6 + 0,473.80.1500^2.1,8 = 773.10^6 Nmm > M_r = 725kNm$$

Vì tính toán theo tác động không liên tục của tải trọng $\varphi_{l_1} = 1,0$, và khi đó

$$\varphi_b = \varphi_f = \frac{M_r - M_{crc}}{M_0 - M_{crc}}.\frac{M_0 - M_{rp}}{M_r - M_{rp}} = \frac{725 - 620}{773 - 620}.\frac{773 - 434}{725 - 434} = 0,799 < 1$$

Giá trị chính xác (đã hiệu chỉnh) $a_{crc} = 0,227.0,799 = 0,181mm$, không vượt quá trị số giới hạn cho phép $a_{crcl} = 0,2mm$.

VÍ DỤ 33:

Số liệu:

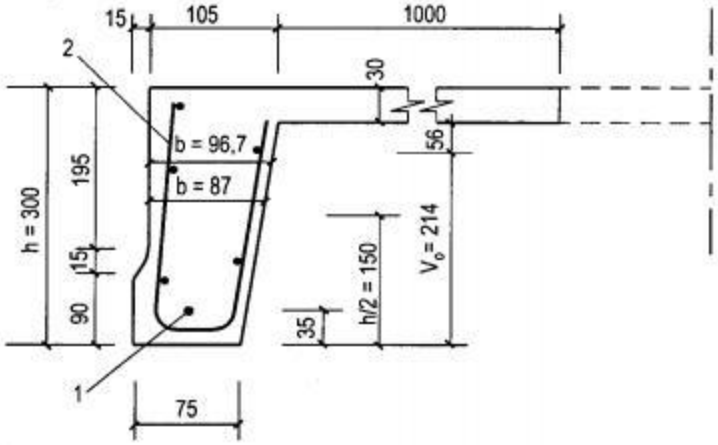
Bản sàn có nhịp l = 5,85m, tiết diện theo hình 9.10; bêtông nhẹ cấp B20 ($R_{bt,ser} = 1,4MPa$) mác theo độ chặt trung bình D1800 ($E_b = 17,3.10^3 MPa$); cốt

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thép ngang ở gối có dạng lưới hình chữ U bằng thép sợi loại Bp-I ($E_s = 17.10^4$ MPa), đường kính 4mm ($A_{sw} = 25,1mm^2$), với bước các thanh ngang s = 100mm; đặc trưng hình học của tiết diện : $A_{red} = 60400mm^2$, mômen quán tính $I_{red} = 556,5.10^6 mm^4$, khoảng cách từ trọng tâm đến mép dưới $y_0 = 274mm$; mômen hình thành vết nứt (khi $\gamma_{sp} = 1,0$) $M_{crc} = 17kNm$; ứng lực nén P = 50kN; tải trọng trên 1 sườn q = 8,4kN/m Trong đó tải trọng thường xuyên và dài hạn $q_l = 7,2kN/m$; tải trọng tuyết: toàn bộ s = 3kN/m, dài hạn $s_l = 1,8kN/m$.

Yêu cầu:

Tính toán bản theo mở rộng vết nứt nghiêng.



Hình 9.10: *Hình vẽ cho ví dụ 33*
1- Thép căng; 2- Lưới hình chữ U

Tính toán:

$$h_0 = h - a = 300 - 35 = 265mm \text{ (hình 9.9);}$$

Lực ngang trên gối bằng:

$$Q_{max} = \frac{ql}{2} = \frac{8,4.5,85}{2} = 24,57kN$$

Theo mục 6.3.4, ta xác định trị số Q_{b1} và Q.

Ta tính toán trị số Q_{crc}, khi lấy $R_{bt} = R_{bt,ser} = 1,4MPa$, b=96,7mm (hình 9.9) và:

$$S_{red} = \frac{96,7.56^2}{2} + \frac{(105 - 96,7)56^2}{3} + 1105.30(56 + 15) = 251,4.10^4 mm^3$$

Theo biểu đồ trên hình 6.6 khi $\sigma = \frac{P}{R_{bt}A_{red}} = \frac{50.10^3}{1,4.6,4.10^3} = 0,591$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Ta tìm $\tau = 1,26$, $\tau_{xy,crc} = \tau R_{bt} = 1,26.1,4 = 1,766 MPa$.

Khi đó $Q_{crc} = \frac{\tau_{xy,crc} b I_{red}}{S_{red}} = \frac{1,766.96,7.556,5.10^6}{251,4.10^4} = 37800N$.

Vì $Q_{crc} = 37,8kN > Q_{max}$, ngoài trị số bất lợi nhất với việc sử dụng chiều dài gần gối tựa l_1, ở đó không hình thành vết nứt thẳng góc. Khi tải trọng phân bố đều, trị số l_1 được xác định từ phương trình:

$$M = \frac{ql}{2} l_1 - \frac{q l_1}{2} = M_{crc}$$

từ đó $l_1 = c = \frac{l}{2} - \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - \frac{2M_{crc}}{q}} = \frac{5,85}{2} - \sqrt{\left(\frac{5,85}{2}\right)^2 - \frac{2.17}{8,4}} = 0,8m$

Bởi vì $2,5h_0 = 2,5.265 = 662mm < l_1$ nên giá trị Q_{b1} lấy bằng giá trị $Q_{b,min}$ xác định theo công thức (6.30) khi $R_{bt} = 1,4MPa$; $b = 87mm$ (hình 9.9); $\phi_{b4} = 0,4$ (bảng 6.1) và:

$$\varphi_n = 0,1\frac{P}{R_{bt} b h_0} = 0,1\frac{50.10^3}{1,4.87.265} = 0,155 < 0,5;$$

$$Q_{b,min} = Q_{b1} = \varphi_{b4}(1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0 = 0,4(1 + 0,155)1,4.87.265 = 14900N.$$

Lực cắt ngang tính toán Q lấy tại tiết diện ngang cách gối tựa c=0,8m khi xét đến ảnh hưởng gia tải của tải trọng thường xuyên và một nửa tải trọng tạm thời:

- Khi tác động của toàn bộ tải trọng

$$Q = Q_{max} - q_1 c = 24,57 - 6,9.0,8 = 19,05kN,$$

Trong đó $q_1 = q - s/2 = 8,4 - 3/2 = 6,9$ kN/m

- Khi tác động của tải trọng thường xuyên và dài hạn

$$Q_l = \frac{q_l l}{2} - q_{ll} c = \frac{7,2.5,85}{2} - 6,3.0,8 = 16,02kN$$

Trong đó $q_{ll} = q_l - s_1/2 = 7,2 - 1,8/2 = 6,3kN/m$.

Theo công thức (9.51), ta xác định ứng suất trong các cốt đai khi có tác động của tải trọng thường xuyên và dài hạn:

$$\sigma_{sw,l} = \frac{Q_l - Q_{b1}}{A_{sw} h_o} s = \frac{(16,02 - 14,9)10^3}{25,1.265} 100 = 16,9MPa < R_{s,ser}.$$

Chiều rộng (mở rộng) vết nứt liên tục dưới tác động của các tải trọng này xác định theo công thức (9.49), khi lấy $\varphi_l = 1,5$; $\eta = 1,2$; $d_w = 4mm$;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{1,7.10^5}{1,73.10^4} = 9,83;\ \mu_w = \frac{A_{sw}}{bs} = \frac{25,1}{87.100} = 0,00289;$$

$$a_{crc,1} = \varphi_l \frac{0,6\sigma_{sw,l} d_w \eta}{E_s \frac{d_w}{h_o} + 0,15E_b(1+2\alpha\mu_w)} =$$

$$= 1,5 \frac{0,6.16,9.4.1,2}{1,7.10^5 \frac{4}{265} + 0,15.1,73.10^4(1+2.9,83.0,00289)} = 0,014\text{mm}$$

nhỏ hơn trị số giới hạn cho phép $a_{crc2} = 0,3\text{mm}$ (phụ lục 16).

Xác định ứng suất σ_{sw} dưới tác động của toàn bộ tải trọng:

$$\sigma_{sw} = \frac{Q - Q_{bl}}{A_{sw} h_0} s = \frac{(19,05 - 14,9)10^3}{25,1.265} 100 = 62,4\text{MPa} < R_{s.ser}.$$

Chiều rộng (mở rộng) vết nứt không liên tục xác định theo công thức (9.41) khi lấy $\frac{\sigma_s}{\sigma_{sl}} = \frac{\sigma_{sw}}{\sigma_{sw,l}} = \frac{62,4}{16,9} = 3,692$:

$$a_{crc} = a_{crc,l}\left(1 + \frac{\sigma_s/\sigma_{sl} - 1}{\varphi_l}\right) = 0,014\left(1 + \frac{2,692}{1,5}\right) = 0,039\text{mm},$$

nhỏ hơn trị số giới hạn cho phép $a_{crc,l} = 0,4\text{mm}$.

9.4 TÍNH TOÁN THEO ĐIỀU KIỆN KHÉP KÍN VẾT NỨT

9.4.1 Khái quát chung

Tính toán theo điều kiện khép kín vết nứt được thực hiện đối với các cấu kiện có yêu cầu chống nứt cấp 2, nếu trong các vùng này các vết nứt được hình thành do tác dụng ngắn hạn của tải trọng thường xuyên, tạm thời ngắn hạn và dài hạn với hệ số độ tin cậy về tải trọng $\gamma_f > 1,0$.

9.4.2 Tính toán theo điều kiện khép kín vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện

Để đảm bảo khép lại vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện một cách chắc chắn khi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn, cần tuân theo các điều kiện sau:

a) Trong cốt thép căng S chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn, để tránh xuất hiện biến dạng không phục hồi được phải tuân theo điều kiện:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sigma_{sp} + \sigma_s \leq 0{,}8R_{s,ser} \qquad (9.52)$$

Trong đó:

σ_s - giá trị số gia ứng suất trong cốt thép căng S do tác dụng của ngoại lực; khi đó đối với cốt thép không căng (cốt thép thường) Bp-I cũng phải tuân theo điều kiện (9.52) nhưng trong đó thay σ_{sp} bằng σ_{sb}.

b) Tiết diện cấu kiện có vết nứt trong vùng chịu kéo do tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn cần phải luôn bị nén dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và có ứng suất nén pháp σ_b tại biên chịu kéo do ngoại lực gây ra không nhỏ hơn 0,5 MPa; đại lượng σ_b được xác định như đối với vật thể đàn hồi chịu tác dụng của ngoại lực và lực nén trước P_2 ; đối với cấu kiện chịu uốn yêu cầu trên được tuân thủ nếu điều kiện sau được thỏa mãn :

$$M \leq P_2(e_{op} + r) - 0{,}5W_{red} \qquad (9.53)$$

Trong đó :

r - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến điểm lõi nằm cách xa hơn cả so với mép chịu kéo của cấu kiện do ngoại lực tác dụng, được xác định theo công thức:

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}} \qquad (9.47)$$

Ở đây: W_{red}, A_{red} – xem mục 9.2.1;

Giá trị 0,5 trong (9.53) là ứng suất nén yêu cầu, tính bằng MPa, tại mép chịu kéo của cấu kiện do ngoại lực tác dụng ;

Đối với các cấu kiện chịu nén lệch tâm và kéo lệch tâm, trong công thức (9.53) giá trị mômen M được thay bằng giá trị mô men M_r (M_r được xác định theo 9.2.1) ; Trong đó r được xác định theo công thức (9.54).

Đối với đoạn cấu kiện có vết nứt ban đầu ở vùng chịu nén, giá trị σ_{sp} trong công thức (9.52) được nhân với hệ số θ, còn giá trị P_2 trong công thức (9.53) được nhân với hệ số $1{,}1\theta$ nhưng không lớn hơn 1,0, trong đó giá trị θ được xác định theo công thức (9.17).

9.4.3 Tính toán theo điều kiện khép kín vết nứt xiên góc với trục dọc cấu kiện

Để đảm bảo khép kín vết nứt nghiêng với trục dọc cấu kiện một cách chắc chắn, cả hai ứng suất chính trong bêtông, xác định theo điều 4.9 ở mức trọng tâm tiết diện quy đổi dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn, phải là ứng suất nén (nghĩa là giá trị σ_{mt} phải là âm) và có giá trị không nhỏ hơn 0,5 MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Yêu cầu trên được đảm bảo nhờ cốt thép ngang (cốt thép đai hoặc xiên) được gây ứng suất trước. Trong trường hợp này, độ lớn yêu cầu của ứng suất nén trong bêtông do ảnh hưởng của ứng suất trước trong cốt thép ngang được xác định theo công thức:

$$\sigma_{yp} = 0,5 + \frac{\tau_{xy}^2}{\sigma_x - 0,5} - \sigma_{y,loc} \qquad (9.55)$$

Trong đó :

σ_x, τ_{xy} được tính bằng MPa và được xác định theo mục 9.2.2;

$\sigma_{y,loc}$ - ứng suất pháp cục bộ tại mức trọng tâm tiết diện quy đổi ; khi đó các ứng suất τ_{xy} và $\sigma_{y,loc}$ được xác định với tác dụng của tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn ;

Công thức (9.55) nên sử dụng khi lựa chọn cốt thép ngang căng chỉ trong trường hợp nếu với giá trị σ_{yp} tìm được mà vết nứt xiên hình thành, nghĩa là khi có tác dụng của tải trọng thường xuyên, tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn với $\gamma_f > 1,0$ điều kiện (9.20) không thỏa mãn. Trong trường hợp ngược lại, giá trị σ_{yp} có thể được giảm xuống sao cho đảm bảo được điều kiện đã nêu.

9.4.4. Ví dụ tính toán

VÍ DỤ 34:

Số liệu:

Dầm sàn trên hình 9.9; cốt thép dọc bằng loại K-7 (Ø12) ($R_{s,ser} = 1335MPa$); ứng suất trước trong cốt thép S (khi $\gamma_{sp} = 1,0$) $\sigma_{sp} = 640MPa$; lực nén trước (có xét đến mọi tổn hao và $\gamma_{sp} < 1,0$) $P_2 = 520kN$, mômen do tải trọng thường xuyên và dài hạn $M_l = 340kNm$; đặc trưng hình học của tiết diện quy đổi: diện tích $A_{red} = 21.10^4 mm^2$, mômen kháng $W_{red} = 69.10^6 mm^3$; yêu cầu độ chống nứt cấp 2; các số liệu còn lại theo ví dụ 32.

Yêu cầu:

Tính dầm theo khép kín vết nứt vuông góc.

Tính toán:

Kiểm tra điều kiện (9.46) khi sử dụng ứng lực nén với $\gamma_{sp} < 1,0$; $P_2 = 520kN$.

Tính toán trị số r theo công thức (9.54):

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{69.10^6}{21.10^4} = 328mm$$

Từ ví dụ 32, ta có $e_{0p} = 420mm$.

Khi đó:

$$P_2(e_{0p} + r) - 0,5W_{red} = 520.10^3(420 + 328) - 0,5.69.10^6$$

$$= 355.10^6 Nmm = 355kNm > M_1 = 340kNm$$

Tức là: ứng suất nén do tải trọng thường xuyên và dài hạn gây ra vượt quá 0,5MPa.

Để kiểm tra điều kiện (9.52), ta sử dụng giá trị σ_s tính trong ví dụ 30 khi kiểm tra mở rộng vết nứt không liên tục dưới tác động của toàn bộ tải trọng, có xét đến δ_n: $\sigma_s = 257MPa$.

Khi đó:

$$\sigma_{sp} + \sigma_s = 640 + 257 = 897MPa < 0,8R_{s,ser} = 0,8.1335 = 1068MPa,$$

tức là không thể gây ra biến dạng ngược trong cốt thép. Như vậy, dưới tác động của tải trọng dài hạn và thường xuyên, các vết nứt hình thành do toàn bộ tải trọng có khả năng khép kín.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 10

TÍNH TOÁN CẤU KIỆN BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC THEO BIẾN DẠNG

10.1. KHÁI QUÁT CHUNG

Tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước theo biến dạng là tính toán theo nhóm trạng thái giới hạn thứ hai. Các giá trị cho phép về độ võng của các cấu kiện bêtông ứng suất trước theo TCXDVN 356 : 2005 được cho trong phụ lục 17.

Cấu kiện có vết nứt thẳng góc với trục dọc ở vùng kéo làm việc trong giai đoạn II, còn tại các cấu kiện không có vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện ở vùng kéo làm việc trong giai đoạn I (chương 4).

Biến dạng (độ võng, góc xoay) của cấu kiện bêtông ứng suất trước được tính theo phương pháp của cơ học kết cấu, có xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông, sự có mặt của cốt thép, tác dụng của ứng suất trước và sự xuất hiện vết nứt trong vùng kéo của tiết diện tại một số đoạn của cấu kiện.

Độ võng của các cấu kiện được xác định trên cơ sở độ cong tại các tiết diện của cấu kiện. Khi tính toán phân biệt các đoạn cấu kiện có vết nứt và đoạn không có vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện ở vùng kéo. Độ cong của cấu kiện tại các tiết diện được xác định như sau:

- Đối với đoạn cấu kiện không hình thành vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện ở vùng kéo, độ cong được xác định như đối với vật thể nguyên;

- Đối với đoạn cấu kiện có hình thành vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện ở vùng kéo, độ cong được xác định bằng tỉ số giữa hiệu biến dạng trung bình của thớ bêtông chịu nén ngoài cùng và cốt dọc chịu kéo với chiều cao làm việc của tiết diện.

Biến dạng của cấu kiện được tính toán theo trạng thái làm việc bình thường, do vậy các tải trọng đưa vào tính toán biến dạng của cấu kiện trong lấy hệ số độ tin cậy $\gamma_f = 1$. Trường hợp bất thường không kiểm soát về biến dạng đối với các cấu kiện.

Độ cong và biến dạng của cấu kiện bêtông ứng suất trước được loại trừ giá trị của chúng ở trạng thái ban đầu, tức là trạng thái trước khi nén trước.

10.2. TÍNH TOÁN ĐỘ CONG CỦA CẤU KIỆN TẠI ĐOẠN KHÔNG NỨT

Các đoạn cấu kiện được xem là không có vết nứt ở vùng kéo nếu vết nứt không hình thành dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ngắn hạn hoặc nếu chúng đóng lại dưới tác dụng tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn. Các trạng thái làm việc này đặc trưng cho cấu kiện hoặc đoạn cấu kiện bêtông ứng suất trước có cấp chống nứt là cấp 1 hoặc cấp 2.

Độ cong của cấu kiện dưới tác dụng của tải trọng và của ứng suất trước được phân thành độ cong do tác dụng ngắn hạn và độ cong do tác dụng dài hạn. Trên các đoạn không có vết nứt thẳng góc với trục dọc cấu kiện, độ cong toàn phần đối với cấu kiện chịu uốn, nén lệch tâm, kéo lệch tâm cần được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{r}=\left(\frac{1}{r}\right)_1+\left(\frac{1}{r}\right)_2-\left[\left(\frac{1}{r}\right)_3+\left(\frac{1}{r}\right)_4\right] \tag{10.1}$$

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_1, \left(\frac{1}{r}\right)_2$ lần lượt là độ cong do tác dụng của tải trọng ngắn hạn và độ cong do tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn (không kể lực nén trước P), được xác định theo các công thức:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_1=\frac{M_{sh}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} \tag{10.2}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2=\frac{M_l\varphi_{b2}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} \tag{10.3}$$

M_{sh}, M_l lần lượt là mômen do tải trọng tác dụng ngắn hạn và mômen do tải trọng tác dụng dài hạn đối với trục thẳng góc với mặt phẳng uốn và đi qua trọng tâm tiết diện quy đổi;

φ_{b1} - hệ số xét đến ảnh hưởng của từ biến ngắn hạn của bêtông và được lấy giá trị $\varphi_{b1}=0,85$ đối với bêtông nặng;

φ_{b2} - hệ số xét đến ảnh hưởng của từ biến dài hạn đến biến dạng của cấu kiện không có vết nứt, được xác định theo bảng 10.1.

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ - độ cong vồng lên do tác dụng ngắn hạn của lực nén trước P, được xác định theo công thức:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3=\frac{Pe_{op}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} \tag{10.4}$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ - độ cong vồng lên do co ngót và từ biến của bêtông dưới tác dụng của lực nén trước P, được xác định theo công thức:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon'_b}{h_o} \qquad (10.5)$$

Ở đây:

$\varepsilon_b, \varepsilon'_b$ lần lượt là biến dạng tương đối của bêtông do co ngót và từ biến dưới tác dụng của lực nén trước P, được xác định ở mức trọng tâm cốt dọc chịu kéo và ở thớ chịu nén ngoài cùng của bêtông theo công thức:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_{sb}}{2.10^5} \qquad (10.6)$$

$$\varepsilon'_b = \frac{\sigma'_{sb}}{2.10^5} \qquad (10.7)$$

Giá trị σ_{sb} được lấy bằng tổng tổn hao ứng suất trước của cốt thép do co ngót và từ biến của bêtông đối với cốt thép chịu kéo, còn σ'_{sb} được lấy tương tự đối với cốt ứng suất trước nếu có ở mức thớ chịu nén ngoài cùng của bêtông (tức là σ'_{sb} được xác định cả khi có hoặc không có cốt thép căng ở trong vùng nén); σ_{sb} và σ'_{sb} có đơn vị MPa.

Bảng 10.1, Bảng các giá trị của hệ số φ_{b2}

Tải trọng	Hệ số φ_{b2} từ bêtông			
	Nặng và nhẹ	Nhóm bêtông cốt liệu nhỏ		
		A	B	C
1. Tác dụng ngắn hạn	1,0	1,0	1,0	1,0
2. Tác dụng dài hạn với độ ẩm môi trường:				
a) 40-75 (%)	2,0	2,6	3,0	2,0
b) Thấp hơn 40 (%)	3,0	3,9	4,5	3,0

Khi tính toán σ_{sb} và σ'_{sb} ứng suất σ_{bp} được xác định theo công thức (3.11) tại cao độ trọng tâm cốt thép S và thớ chịu nén ngoài cùng của bêtông. Tổn hao do co ngót bêtông khi xác định σ'_{sb} được lấy bằng không. Nếu ở giai đoạn sản xuất trong vùng chịu kéo hình thành vết nứt do lực P_1 thì $e'_b = 0$.

Khi mômen M và mômen Pe_{op} cùng hướng (ví dụ ở vị trí ngàm của dầm), độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4$ được đưa vào công thức (10.1) với dấu "–",

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tổng $\left(\frac{1}{r}\right)_3 + \left(\frac{1}{r}\right)_4$ trong công thức (10.1) chính là độ cong dài hạn do ứng suất trước gây ra, nên phải được lấy giá trị không nhỏ hơn $\left(\frac{1}{r}\right)_3 \varphi_{b2}$, Trong đó φ_{b2} được lấy như khi tác dụng dài hạn của tải trọng.

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 quy định: khi xác định độ cong của cấu kiện có các vết nứt ban đầu ở vùng nén thì giá trị $\left(\frac{1}{r}\right)_1$, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ và $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ xác định theo các công thức (10.2), (10.3) và (10.4) được tăng lên 15%, còn giá trị $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ xác định theo công thức (10.5) cần được tăng lên 25%.

Tương tự, đối với các đoạn có vết nứt thẳng góc trong vùng kéo dưới tác dụng của tải trọng đang xét đảm bảo được khép lại dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn, có thể điều chỉnh giá trị độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_1$, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ và $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ trong công thức (10.1) bằng cách tăng lên 20%.

10.3. TÍNH TOÁN ĐỘ CONG CỦA CẤU KIỆN TẠI ĐOẠN CÓ VẾT NỨT TRONG VÙNG KÉO

Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra chỉ dẫn tính toán biến dạng của các cấu kiện có tiết diện chữ nhật, tiết diện chữ T hoặc chữ I chịu uốn, nén lệch tâm hoặc chịu kéo lệch tâm với $e_{o,tot} \geq 0{,}8h_o$ [công thức (9.33)].

Khi tính toán độ cong của cấu kiện có vết nứt thẳng góc với trục dọc ở vùng kéo chúng ta sử dụng giả thiết về tiết diện phẳng, nghĩa là tiết diện thẳng góc với trục cấu kiện vẫn phẳng sau khi cấu kiện bị biến dạng ngay cả khi hình thành vết nứt thẳng góc nối trục dọc.

Độ cong của đoạn cấu kiện có vết nứt ở vùng kéo có thể biểu diễn bằng công thức:

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{bm}}{h_0} \qquad (10.8)$$

Trong đó:

ε_{bm} - giá trị trung bình của biến dạng của thớ bêtông tại mép chịu nén;

ε_{sm} - giá trị trung bình của số gia biến dạng của cốt thép chịu kéo dưới tác dụng của ngoại tải.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đại lượng ε_{bm} có thể được biểu diễn thông qua giá trị biến dạng lớn nhất (tại vị trí vết nứt) của thớ bêtông tại mép chịu nén ε_b;

$$\varepsilon_{bm} = \psi_b \varepsilon_b \tag{10.9}$$

Tương tự, đại lượng ε_{sm} có thể được biểu diễn thông qua giá trị số gia biến dạng lớn nhất (tại vị trí vết nứt) của cốt thép chịu kéo dưới tác dụng của ngoại tải ε_s:

$$\varepsilon_{sm} = \psi_s \varepsilon_s \tag{10.10}$$

Xét trên tiết diện bị nứt, ta có:

$$\sigma_b = \varepsilon_b E_b^{'} = \frac{\varepsilon_{bm}}{\psi_b} \nu_c E_b \tag{10.11}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\psi_s} E_s \tag{10.12}$$

Trong đó:

ψ_b - hệ số xét đến sự phân bố không đều của biến dạng thớ chịu nén ngoài cùng của bêtông trên chiều dài đoạn có vết nứt và được lấy bằng 0,9 đối với bêtông nặng;

$\psi_s \leq 1$ - hệ số xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo tại đoạn có vết nứt ở vùng kéo đến số gia biến dạng của cốt thép chịu kéo, được xác định theo công thức (10.31).

Để tiện cho tính toán, ta sử dụng giá trị mômen thay thế M_s - là mômen đối với trục vuông góc với mặt phẳng tác dụng của mômen và đi qua trọng tâm diện tích tiết diện cốt thép S do toàn bộ ngoại lực và lực nén trước P; giá trị M_s được tính theo công thức:

- Đối với cấu kiện chịu uốn:

$$M_s = \pm M \pm Pe_{sp} \tag{10.13}$$

- Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm và kéo lệch tâm:

$$M_s = \pm Ne_s \pm Pe_{sp} \tag{10.14}$$

Ở đây: dấu được xác định theo hướng quay của các mômen (hình 10.1); dấu "+" được lấy đối với các mô men gây kéo cốt thép S;

Từ sơ đồ trên hình 10.1, ta có:

$$M_s - N_{tot} z = \left(A_{sp} + A_s\right)\sigma_s z = \left(A_{sp} + A_s\right)\frac{\varepsilon_{sm}}{\psi_s} E_s z \tag{10.15}$$

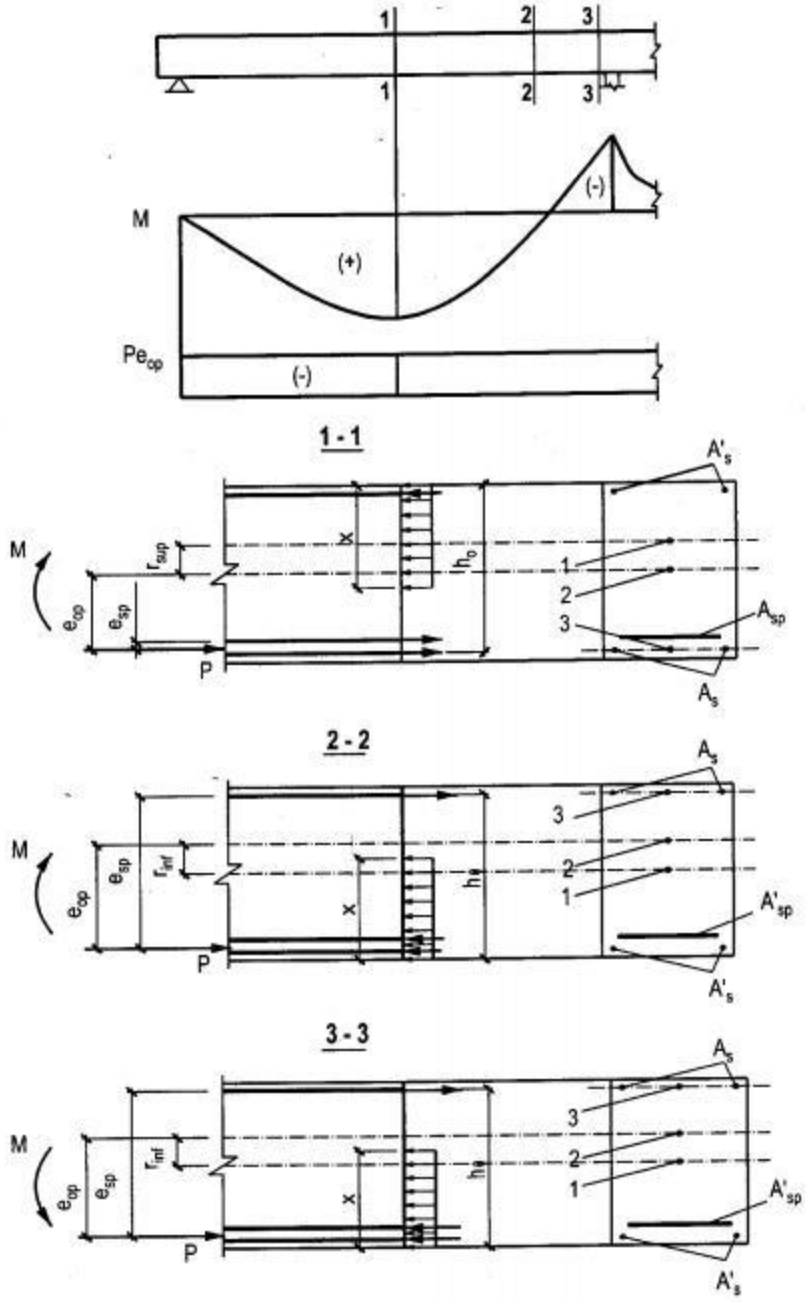
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

z - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến điểm đặt hợp lực trong vùng nén của tiết diện nằm trên vết nứt;

N_{tot} - hợp lực của lực dọc N và lực nén trước P :

$$N_{tot} = P \pm N \tag{10.16}$$



Hình 10.1: *Xác định mômen thay thế M_s và hệ số ϕ_m đối với cấu kiện chịu uốn*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công thức (10.16) trường hợp chịu kéo N được lấy với dấu "-", trường hợp chịu nén lấy dấu "+".

Từ phương trình (10.15), ta có:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{M_s \psi_s}{\left(A_{sp} + A_s\right) E_s z} - \frac{N_{tot} \psi_s}{\left(A_{sp} + A_s\right) E_s} \qquad (10.17)$$

Tương tự cách tính M_s như trên, ta có:

$$M_s = A_{bc} \sigma_b z = A_{bc} \frac{\varepsilon_{bm}}{\psi_b} \nu E_b z \qquad (10.18)$$

Từ đây, ta có:

$$\varepsilon_{bm} = \frac{M_s \psi_b}{A_{bc} \nu E_b z} \qquad (10.19)$$

Trong đó: A_{bc} là diện tích quy đổi của phần bêtông chịu nén trên tiết diện.

Công thức tính toán độ cong của cấu kiện được thiết lập từ các phương trình (10.8), (10.17) và (10.19) và có dạng:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s}{h_o z}\left[\frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} + \frac{\psi_b}{A_{bc} E_b \nu}\right] - \frac{N_{tot}}{h_o} \frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} \qquad (10.20)$$

Để sử dụng công thức (10.20), Tiêu chuẩn TCXDVN 356 : 2005 đưa ra cách tích diện tích quy đổi của phần bêtông chịu nén trên tiết diện A_{bc} cũng như công thức xác định khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến điểm đặt hợp lực trong vùng nén của tiết diện nằm trên vết nứt đối với các cấu kiện có tiết diện chữ nhật, chữ T hoặc chữ I chịu uốn, nén lệch tâm hoặc chịu kéo lệch tâm. Từ đó dẫn đến công thức xác định độ cong của đoạn có hình thành vết nứt ở vùng kéo thẳng góc với trục dọc của cấu kiện chịu uốn, nén lệch tâm, kéo lệch tâm có $e_{o,tot} \geq 0{,}8h_o$, tiết diện chữ nhật, chữ T và chữ I như sau:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s}{h_o z}\left[\frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\left(\varphi_f + \xi\right) b h_o E_b \nu}\right] - \frac{N_{tot}}{h_o} \frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} \qquad (10.21)$$

Trong đó:

φ_f - hệ số được xác định theo công thức (10.27);

$\xi = x/h_0$ - được xác định theo công thức (10.24);

ν - hệ số đặc trưng trạng thái đàn hồi - dẻo của bêtông vùng nén và được lấy theo bảng 10.2.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 10.2. Bảng giá trị của hệ số ν

Tải trọng	Hệ số ν đối với bêtông :			
	Nặng và nhẹ	Nhóm bêtông cốt liệu nhỏ		
		A	B	C
1. Tác dụng ngắn hạn	0,45	0,45	0,45	0,45
2. Tác dụng dài hạn với độ ẩm môi trường bằng:				
a) 40-75 (%)	0,15	0,10	0,08	0,15
b) Thấp hơn 40 (%)	0,10	0,07	0,05	0,10

Khi tính toán độ cong của cấu kiện tại đoạn có vết nứt ban đầu trong vùng nén phải xét đến ảnh hưởng của các vết nứt này đến biến dạng của cấu kiện; có thể thực hiện bằng cách giảm giá trị của lực nén trước bằng cách nhân P với hệ số θ được xác định theo công thức (9.17).

Đối với trường hợp cấu kiện chịu nén lệch tâm có vết nứt tương đối nhỏ, nghĩa là mômen uốn không vượt quá nhiều so với mômen chống nứt của tiết diện thì trong tính toán độ cong của cấu kiện cần kể đến sự làm việc của phần bêtông chịu kéo phía trên vết nứt. Theo chỉ dẫn trong [7] thì đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm làm từ bêtông nặng, khi $M_r < M_o$ độ cong cho phép được xác định có xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo trên vết nứt theo công thức:

$$\frac{1}{r} = \left\{\left(\frac{1}{r}\right)_{crc} + \left[\left(\frac{1}{r}\right)_o + \left(\frac{1}{r}\right)_{crc}\right]\frac{M_r - M_{crc}}{M_o - M_{crc}}\right\}\frac{M - Pe_{op}}{M_{tot} - Pe_{op}} \qquad (10.22)$$

và được lấy không lớn hơn độ cong xác định theo công thức (10.21),

Ở đây:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{crc} = \frac{(M_{crc} + Nr)\varphi_{b2} - Pe_{op}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} \qquad (10.23)$$

$\left(\frac{1}{r}\right)_o$ - độ cong được xác định theo (10.21) khi mô men M_s được lấy như sau:

Đối với cấu kiện chịu uốn: $M_s = M_o + Pe_{sp}$;

Đối với cấu kiện nén lệch tâm: $M_s = M_o + Ny_{sr} + Pe_{sp}$;

Trong đó:

$y_{sr} = y_o - a + r$ là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép chịu kéo đến trục đi qua điểm lõi xa nhất;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

M_r - mô men xác định theo mục 9.2.1 chương 9 do toàn bộ tải trọng (thường xuyên, tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn);

M_o - mô men ở trạng thái bêtông chịu kéo trên vết nứt không tham gia làm việc, được xác định theo công thức (9.30), Trong đó ψ được giảm đi hai lần khi tính toán tác dụng dài hạn của tải trọng thường xuyên và tải trọng dài hạn;

M_{crc} - mômen kháng nứt, được xác định theo chỉ dẫn ở mục 9.2.1 chương 9;

M, M_{tot} lần lượt là mô men ngoại lực đối với trục đi qua trọng tâm tiết diện ứng với tải trọng đang xét và toàn bộ tải trọng,

Giá trị ξ được tính theo công thức:

$$\xi = \frac{1}{\beta + \dfrac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} \pm \frac{1,5+\varphi_f}{11,5\dfrac{e_{s,tot}}{h_o} \mp 5} \le 1 \qquad (10.24)$$

Đối với số hạng thứ hai của phần bên phải công thức (10.24) dấu ở trên được dùng khi nén, còn ở dưới được dùng khi kéo bởi lực N_{tot}.

Trong công thức (10.24):

β được lấy giá trị $\beta = 1,8$ đối với bêtông nặng;

$$\delta = \frac{M_s}{bh_o^2 R_{b,ser}} \qquad (10.25)$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{h'_f}{2h_o}\right) \qquad (10.26)$$

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \dfrac{\alpha A'_{sp} + \alpha A'_s}{2v}}{bh_o} \qquad (10.27)$$

$$\mu\alpha = \frac{\alpha A_{sp} + \alpha A_s}{bh_o} \qquad (10.28)$$

$e_{s,tot}$ - độ lệch tâm của lực N_{tot} đối với trọng tâm diện tích cốt thép S, tương ứng với mômen M_s, được xác định theo công thức:

$$e_{s,tot} = \left|\frac{M_s}{N_{tot}}\right| \qquad (10.29)$$

Khi N_{tot} - nén thì giá trị $e_{s,tot}/h_o$ trong công thức (10.24) được lấy không nhỏ hơn 0,5.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Giá trị z (khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến điểm đặt hợp lực trong vùng nén của tiết diện nằm trên vết nứt) được tính theo công thức:

$$z = h_o\left[1 - \frac{\frac{h'_f}{h_o}\varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)}\right] \qquad (10.30)$$

Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm, giá trị z được lấy không lớn hơn $0{,}97e_{s,tot}$.

Đối với tiết diện chữ nhật, chữ T có cánh trong vùng kéo, trong công thức (10.26) và (10.30) đại lượng h'_f được thay bằng 2a' hoặc $h'_f = 0$ tương ứng với khi có hoặc không có cốt thép S'.

Việc tính toán tiết diện có cánh trong vùng nén khi $\xi < h'_f/h_o$ được tiến hành như với tiết diện chữ nhật có chiều rộng b'_f và lấy:

$$\varphi_f = 0; \qquad \mu\alpha = \frac{\alpha A_{sp} + \alpha A_s}{b'_f h_o}; \; \delta = \frac{M_s}{b'_f h_o^2 R_{b,ser}}$$

Khi $\xi < a'/h_o$, giá trị ϕ_f, ξ, z và 1/r được xác định không kể đến cốt thép S'.

Hệ số ψ_s được xác định theo công thức:

$$\psi_s = 1{,}25 - \varphi_{ls}\varphi_m - \frac{1-\varphi_m^2}{(3{,}5 - 1{,}8\varphi_m)e_{s,tot}/h_o} \qquad (10.31)$$

Nhưng không lớn hơn 1; thêm vào đó cần lấy lấy $e_{s,tot}/h_o \geq 1{,}2/\varphi_{ls}$.

Trong công thức (10.31):

φ_{ls} là hệ số xét đến ảnh hưởng dài hạn của tải trọng tác dụng và được lấy bằng:

- Đối với tải trọng tác dụng ngắn hạn: dùng cốt thanh lấy $\varphi_{ls} = 1{,}1$; dùng cốt sợi lấy $\varphi_{ls} = 1$;
- Đối với tải trọng tác dụng dài hạn lấy $\varphi_{ls} = 0{,}8$ cho mọi loại cốt thép.

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,scr} W_{pl}}{|\pm M_r \mp M_{rp}|} \leq 1 \qquad (10.32)$$

Ở đây:

W_{pl} - mômen kháng dẻo của tiết diện quy đổi đối với thớ chịu kéo ngoài cùng có xét đến biến dạng không đàn hồi của bêtông vùng kéo, với giả thiết không có lực dọc N và lực nén trước P; được xác định theo chỉ dẫn tại mục 9.2.1 chương 9;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

M_r - mômen ngoại lực đặt ở một phía của tiết diện đang xét, lấy đối với trục song song với trục trung hòa và đi qua điểm lõi cách xa vùng chịu kéo nhất, được xác định theo chỉ dẫn tại mục 9.2.1 chương 9;

M_{rp} - mômen của lực P đối với trục dùng để xác định M_r, được xác định theo chỉ dẫn tại mục 9.2.1 chương 9;

Các mômen M_r, M_{rp} được coi là dương nếu gây kéo trong cốt thép S.

Độ cong của đoạn cấu kiện có vết nứt khi $e_{s,tot} < 0,8h_o$ và $N > P$ được tính toán như sau [7] :

* Nếu lực dọc N_{tot} đặt giữa trọng tâm diện tích cốt thép S và S' (tức là $e_{o,tot} < y_{so}$; ở đây y_{so} là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cốt thép S đến trọng tâm tiết diện quy đổi, thì độ cong được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{r} = \frac{N_{tot}\psi_s}{z_s\left(E_sA_{sp} + E_sA_s\right)} - \frac{N_{tot}e_{s,tot}}{z_s^2}\left(\frac{\psi_s}{E_sA_{sp} + E_sA_s} + \frac{\psi'_s}{E_sA'_{sp} + E_sA'_s}\right) \qquad (10.33)$$

Trong đó:

$z_s = h_o - a'$, là khoảng cách giữa trọng tâm diện tích cốt thép S và S';

$e_{s,tot} = y_{so} - e_{o,tot}$;

ψ_s, ψ'_s lần lượt là các hệ số xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo đối với cốt thép S và S', được xác định theo các công thức:

$$\psi_s = 1 - \varphi_{ls}\, N_{crc}/N_{tot} \qquad (10.34)$$

$$\psi'_s = 1 - \varphi_{ls}\, N'_{crc}/N_{tot} \qquad (10.35)$$

φ_{ls} - hệ số lấy như sau:

- Đối với tải trọng tác dụng ngắn hạn, lấy $\varphi_{ls} = 0,7$;
- Đối với tải trọng tác dụng dài hạn, lấy $\varphi_{ls} = 0,35$;

N_{crc},N'_{crc} lần lượt là nội lực đặt tại điểm đặt của lực N_{tot} tại thời điểm hình thành vết nứt trong vùng kéo nhiều hơn và trong vùng nén ít hơn của tiết diện, được xác định theo công thức:

$$N_{crc} = \frac{R_{bt,ser}W_{pl}}{e_{o,tot} + r}; \qquad (10.36)$$

$$N'_{crc} = \frac{R_{bt,ser}W'_{pl}}{r' - e_{o,tot}} \qquad (10.37)$$

và được lấy không lớn hơn N_{tot}. Ngoài ra, khi $r' < e_{o,tot}$ giá trị N'_{crc} được lấy bằng N_{tot}.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong các công thức (10.36) và (10.37):

W_{pl}, W'_{pl} lần lượt là các giá trị mômen kháng được xác định theo mục 9.2.1 chương 9 đối với cạnh tiết diện chịu kéo nhiều hơn và cạnh chịu kéo ít hơn.

r, r' lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến điểm lõi xa mép chịu kéo nhiều hơn và mép chịu kéo ít hơn của tiết diện, được xác định theo công thức (9.13);

* Nếu lực dọc N_{tot} đặt ngoài khoảng giữa trọng tâm tiết diện cốt thép S và thì độ cong của đoạn cấu kiện được xác định theo cách nội suy tuyến tính giữa độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_I$ được xác định theo công thức (10.33) với $e_{s,tot} = 0$ (tức là khi $e_{o,tot} = y_{so}$), và độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_{II}$ được xác định theo công thức (10.21) khi $M_s = |N_{tot}|(0{,}8h_o - y_{so})$ (tức là khi $e_{o,tot} = 0{,}8h_0$). Khi đó độ cong được tính theo công thức nội suy như sau:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_I + \left[\left(\frac{1}{r}\right)_{II} - \left(\frac{1}{r}\right)_I\right]\frac{e_{o,tot} - y_{so}}{0{,}8h_0 - y_{so}} \qquad (10.38)$$

Độ cong toàn phần 1/r đối với đoạn có vết nứt trong vùng kéo cần được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \qquad (10.39)$$

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ - độ cong do tác dụng ngắn hạn của toàn bộ tải trọng;

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ - độ cong do tác dụng ngắn hạn của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn;

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$ - độ cong do tác dụng dài hạn của tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn;

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ - độ cong vồng lên của cấu kiện do co ngót và từ biến của bêtông được sinh ra bởi ứng suất trước, xác định theo công thức (10.5) có kể đến ảnh hưởng của vết nứt ban đầu ở vùng nén.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_1$, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$, $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ được xác định theo công thức (10.21); Trong đó $\left(\frac{1}{r}\right)_1$, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ được tính với ψ_s và ν tương ứng với tác dụng ngắn hạn của tải trọng, còn $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ được tính với ψ_s và ν tương ứng với tác dụng dài hạn của tải trọng. Nếu khi tính với tải trọng ngắn hạn, $\left(\frac{1}{r}\right)_2$ hoặc $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ có giá trị âm thì được lấy bằng không,

Nếu mômen do ngoại lực và do lực P đối với trọng tâm tiết diện cốt thép S cùng hướng quay (ví dụ: tại gối tựa ngàm của dầm liên tục), độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ đưa vào công thức (10.39) với dấu "+",

Nếu độ cong tính được trên đây mà có giá trị âm thì cần tính lại như đối với vùng cấu kiện không hình thành vết nứt, không phụ thuộc việc có đảm bảo điều kiện (9.45) và (9.46) hay không.

10.4. TÍNH TOÁN ĐỘ VÕNG CỦA CẤU KIỆN

Độ võng f_m do biến dạng uốn, được xác định theo công thức sau:

$$f_m = \int_o^l \overline{M_x}\left(\frac{1}{r}\right)_x dx \qquad (10.40)$$

Trong đó:

$\overline{M_x}$ - mô men uốn tại tiết diện x, do tác dụng của lực đơn vị đặt theo hướng của chuyển vị cần tìm tại tiết diện cần xác định độ võng;

$\left(\frac{1}{r}\right)_x$ - độ cong toàn phần tại tiết diện x do tải trọng gây nên độ võng cần xác định.

Tích phân (10.40) có thể được tính gần đúng bằng phương pháp cộng diện tích. Khi xác định độ võng tại tiết diện ở giữa nhịp dầm, tích phân (10.40) có thể được tính như sau:

$$f_m = \frac{l^2}{12n^2}\left\{\left(\frac{1}{r}\right)_{(l)o} + \left(\frac{1}{r}\right)_{(r)o} + 6\sum_{i=1}^{n/2-1} i\left[\left(\frac{1}{r}\right)_{(l)i} + \left(\frac{1}{r}\right)_{(r)i} + (3n-2)\left(\frac{1}{r}\right)_m\right]\right\} \qquad (10.41)$$

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_{(l)i}$, $\left(\frac{1}{r}\right)_{(r)i}$ lần lượt là độ cong của cấu kiện tại tiết diện i và tại tiết diện đối xứng i' (hình 10.2);

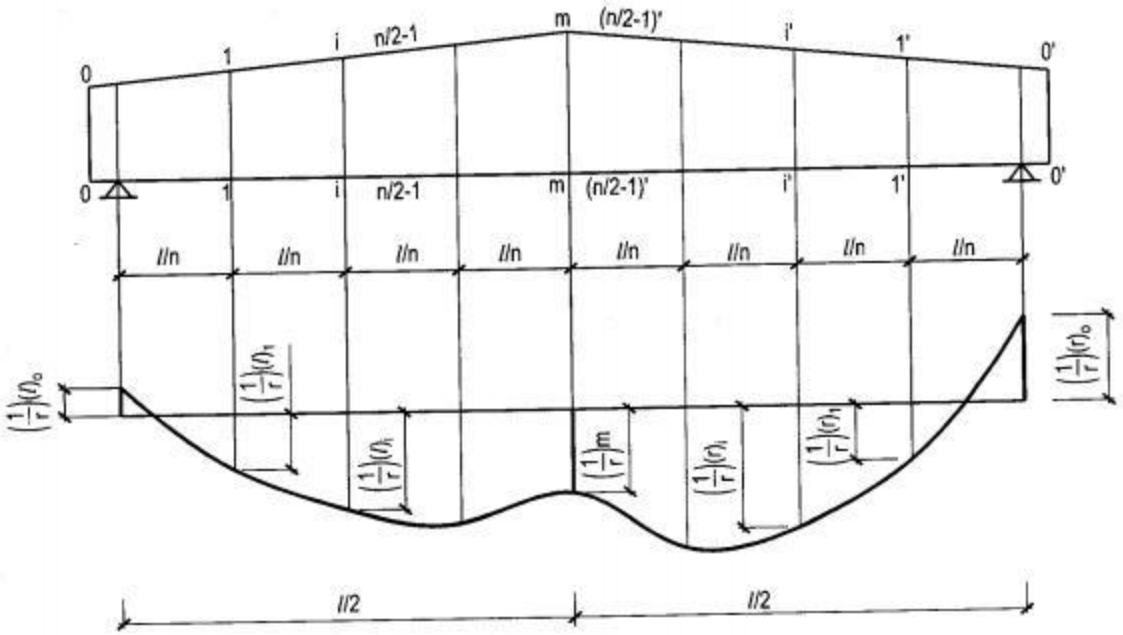
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$\left(\frac{1}{r}\right)_m$ - độ cong của cấu kiện tại giữa nhịp;

$\left(\frac{1}{r}\right)_{(l)o}, \left(\frac{1}{r}\right)_{(r)o}$ lần lượt là độ cong của cấu kiện tại gối tựa bên trái và gối tựa bên phải;

n - số chẵn của các phần bằng nhau dùng để chia nhịp dầm, n nên lấy ≥ 6.

Trong công thức (10.40) và (10.41) giá trị 1/r được xác định theo công thức (10.39) hoặc (10.1) tương ứng cho đoạn có vết nứt hoặc không có vết nứt; dấu của 1/r được lấy như dấu của biểu đồ độ cong,



Hình 10.2: *Biểu đồ độ cong của cấu kiện*

Đối với cấu kiện chịu uốn khi *l*/h < 10 cần kể đến ảnh hưởng của lực cắt đến độ võng. Trong trường hợp này, độ võng toàn phần f_{tot} bằng tổng độ võng do uốn f_m và độ võng do biến dạng trượt f_q.

Độ võng f_q do biến dạng trượt được xác định theo công thức:

$$f_q = \int_0^l \overline{Q}_x \gamma_x dx \qquad (10.42)$$

Trong đó:

$\overline{Q}_x$ - lực cắt trong tiết diện x do lực đơn vị tác dụng theo hướng chuyển vị cần xác định và đặt tại tiết diện cần xác định độ võng;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

γ_x - biến dạng trượt, được xác định theo công thức:

$$\gamma_x = \frac{1,5Q_x\varphi_{b2}}{Gbh_0}\varphi_{crc} \qquad (10.43)$$

Ở đây:

Q_x - lực cắt tại tiết diện x do tác dụng của ngoại lực;

G - môđun trượt của bêtông;

φ_{b2} - hệ số xét đến ảnh hưởng của từ biến dài hạn của bêtông, lấy theo bảng 6.1;

φ_{crc} - hệ số xét đến ảnh hưởng của vết nứt lên biến dạng trượt, lấy như sau:

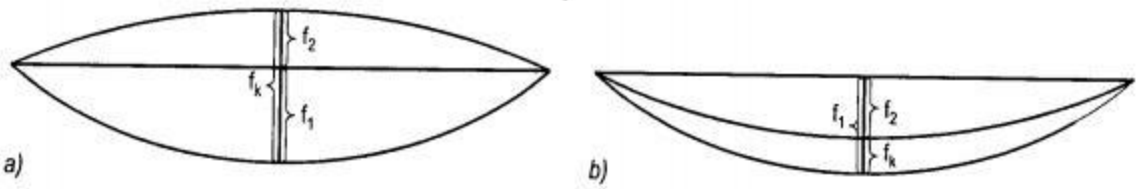
- Trên các đoạn dọc theo chiều dài cấu kiện không có vết nứt thẳng góc và vết nứt xiên với trục dọc cấu kiện: lấy bằng 1,0;

- Trên các đoạn chỉ có vết nứt xiên với trục dọc cấu kiện: lấy bằng 4,8;

- Trên các đoạn chỉ có vết nứt thẳng góc hoặc có đồng thời vết nứt thẳng góc và vết nứt xiên với trục dọc cấu kiện, lấy theo công thức:

$$\varphi_{crc} = \frac{3E_bI_{red}}{M_x}\left(\frac{1}{r}\right) \qquad (10.44)$$

Ở đây: $M_x, \left(\frac{1}{r}\right)_x$ - tương ứng là mô men do ngoại lực và độ cong toàn phần tại tiết diện x do tải trọng gây ra.



Hình 10.3: *Sơ đồ xác định độ võng của cấu kiện*
a – Trường hợp có độ vồng trước; b – Trường hợp có độ võng trước

Giá trị độ võng dùng để đánh giá độ cứng của kết cấu, được xác định theo công thức:

$$f_k = f_1 \pm f_2 \qquad (10.45)$$

Trong đó:

f_1 - độ võng toàn phần của cấu kiện do tác dụng của toàn bộ ngoại tải (bao gồm cả tải trọng kiểm tra và trọng lượng kết cấu) và ứng lực nén trước;

f_2 - độ vồng (lấy với dấu dương, hình 10.3a) hoặc võng (lấy với dấu âm, hình 10.3b) do trọng lượng bản thân và lực nén trước; khi đó, nếu trong vùng phía

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

trên của cấu kiện có vết nứt ban đầu, thì giá trị f_2 được xác định như đối với cấu kiện có vết nứt ở vùng phía trên (nghĩa là, cấu kiện được xét ở vị trí ngược lại).

Giá trị f_1 và f_2 được xác định ứng với tác dụng ngắn hạn của tải trọng, do đó độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)$ không được kể đến.

Nếu khi có tác dụng của ngoại lực, các vết nứt trong vùng chịu kéo không hình thành và ngoài ra, trong vùng chịu nén không có vết nứt ban đầu, thì độ võng kiểm tra f_k có thể được xác định theo công thức :

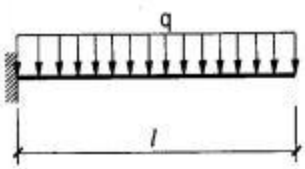
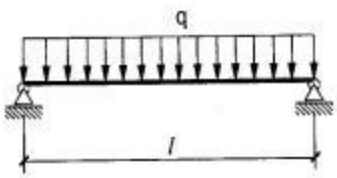
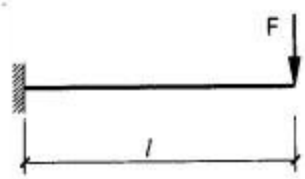
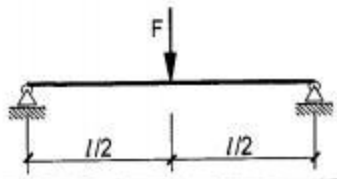
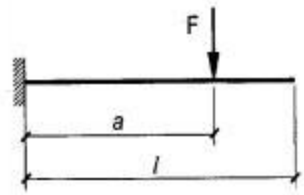
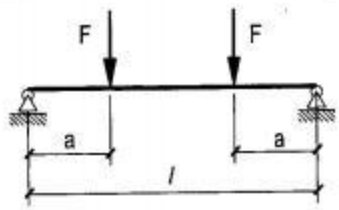
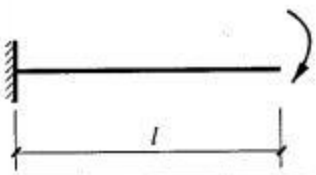
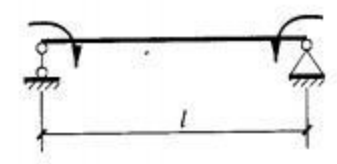
$$f_k = \frac{M_{com}}{\varphi_{b1} E_b I_{red}} \rho_m l^2 \qquad (10.46)$$

Trong đó :

M_{con} - mômen do tải trọng kiểm tra (ngoại lực không bao gồm tải trọng bản thân);

ρ_m - hệ số lấy theo bảng 10.3.

Bảng 10.3. Giá trị hệ số ρ_m

Sơ đồ tải trọng của dầm công xôn	Hệ số ρ_m	S Sơ đồ tải trọng của dầm tựa tự do	Hệ số ρ_m
	$\frac{1}{4}$		$\frac{5}{48}$
	$\frac{1}{3}$		$\frac{1}{12}$
	$\frac{a}{6l}\left(3-\frac{a}{l}\right)$		$\frac{1}{8}-\frac{a^2}{6l^2}$
	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{8}$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

10.5. PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG TÍNH TOÁN BIẾN DẠNG CỦA CẤU KIỆN BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

10.5.1. Nguyên tắc chung

Để làm giảm bớt tính toán cho một số trường hợp thường gặp trong thực tế, trong [7] đã giới phương pháp gần đúng tính biến dạng của cấu kiện bêtông ứng suất trước. Theo phương pháp gần đúng trong [7] thì độ võng của cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn tiết diện không đổi trong điều kiện độ ẩm không khí của môi trường xung quanh cao hơn 40 %, được coi là nhỏ hơn giới hạn cho phép nếu thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{l}{h_0} \le \lambda_{lim} \tag{10.47}$$

Trong đó:

λ_{lim} - tỉ số giới hạn giữa chiều dài nhịp và chiều cao làm việc của tiết diện.

Khi $\frac{l}{h} < 10$, độ võng được coi là nhỏ hơn giới hạn cho phép nếu đảm bảo điều kiện (10.48) có xét đến ảnh hưởng của lực cắt đến biến dạng của cấu kiện:

$$\frac{l}{h_0} + \frac{18}{l/h_0} \le \lambda_{lim} \tag{10.48}$$

Giá trị λ_{lim} cho trong phụ lục 22 ứng với tác dụng kéo dài của tải trọng phân bố đều trên dầm tựa tự do với độ võng giới hạn bằng $\frac{l}{200}$. Trong đó, cốt thép căng lấy với giá trị lớn nhất của σ_{sp} thỏa mãn các chỉ dẫn trong mục 3.2 chương 3, với tất cả các hao tổn ứng suất có thể.

Nếu độ võng giới hạn cho phép $\left[\frac{f}{l}\right]$ nhỏ hơn $\left[\frac{1}{200}\right]$, thì giá trị λ_{lim} trong phụ lục 22 cần được giảm đi $\left\{\frac{1}{200} / \left[\frac{f}{l}\right]\right\}$ lần (ví dụ khi $\left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{300}$ cần được giảm 1,5 lần).

Trường hợp tải trọng không phải là tải phân bố đều, thì giá trị λ_{lim} có thể tăng lên bằng cách nhân giá trị λ_{lim} trong phụ lục 22 với tỉ số $\frac{5}{48}\rho_m$ ở đây ρ_m là hệ số được lấy theo bảng 10.3 tùy thuộc vào sơ đồ chất tải.

10.5.2. Tính toán độ cong

Đối với cấu kiện chịu uốn và chịu nén lệch tâm, tiết diện chữ nhật, chữ T, chữ I (hình hộp) được sử dụng trong điều kiện độ ẩm lớn hơn 40 %, thì độ cong $\frac{1}{r}$ trên

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

những đoạn có vết nứt ($M_r > M_{crc}$) trong vùng chịu kéo cho phép được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s - \varphi_2 bh^2 R_{bt,set} - \varphi_3 N_{tot}(y_{so} + r)}{\varphi_1 (E_s A_{sp} + E_s A_s) h_0^2} \quad (10.49)$$

Trong đó:

M_s, N_{tot} như trong mục 10.3;

r - khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện quy đổi đến điểm mép của lõi được xác định theo chỉ dẫn trong mục 9.1.2 chương 9;

y_{s0} - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến trọng tâm cốt thép S;

φ_1, φ_2, φ_3 - các hệ số xác định theo phụ lục 23 và phụ lục 24.

Độ cong toàn phần đối với các cấu kiện nêu trên cho phép được xác định theo công thức:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{(E_s A_{sp} + E_s A_s) h_0^2} \times \left[\frac{M_{s,sh}}{\varphi_{1,sh}} + \frac{M_{s,l} - \varphi_{2l} bh^2 R_{bt,ser} - \varphi_{3l} N_{tot}(y_{so} - r)}{\varphi_{1l}} \right] - \left(\frac{1}{r}\right)_4 \quad (10.50)$$

Trong đó:

$M_{s,sh}$, $M_{s,l}$ lần lượt là mômen đối với trục vuông góc với mặt phẳng tác dụng của mômen và đi qua trọng tâm diện tích tiết diện cốt thépS do tác dụng của tải trọng tạm thời ngắn hạn và do tác dụng dài hạn của tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn;

φ_{1sh} - hệ số φ_1 với tác dụng ngắn hạn của tải trọng;

φ_{1l}, φ_{2l} φ_{3l} - hệ số φ_1 , φ_2 và φ_3 khi tác dụng dài hạn của tải trọng;

$\left(\frac{1}{r}\right)_4$ - độ cong vồng lên do co ngót và từ biến của bêtông dưới tác dụng của lực nén trước P, được xác định theo công thức (10.5) có xét đến ảnh hưởng của các vết nứt ban đầu trong vùng nén (nếu có).

Khi tính toán độ cong của cấu kiện tại đoạn có vết nứt ban đầu trong vùng nén, nội lực $N_{tot} = P + N$ được xác định có xét đến độ giảm giá trị của P bằng cách nhân với hệ số θ (hệ số θ xác định theo mục 9.2.1 chương 9).

10.5.3. Tính toán độ võng

Trong thực tế các cấu kiện bêtông ứng suất trước chịu uốn thường có tỷ số giữa độ dài và chiều cao không nhỏ hơn $10\left(\frac{l}{h} \geq 10\right)$. Đối với cấu kiện chịu uốn như vậy, độ võng f được xác định như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

a) Trường hợp cấu kiện có tiết diện không đổi, làm việc như dầm tựa tự do hoặc dầm côngxon , độ võng được xác định theo công thức:

$$f = \left(\frac{1}{r}\right)_m \rho_m l^2 \qquad (10.51)$$

Trong đó:

ρ_m - hệ số được lấy theo Bảng 10.3;

$\left(\frac{1}{r}\right)$ - độ cong được xác định theo các công thức (10.39) hoặc (10.50) khi có vết nứt trong vùng chịu kéo và theo công thức (10.1) khi không có vết nứt;

Khi sơ đồ chất tải trên cấu kiện khác với các dạng cho trong Bảng 10.3, độ võng được xác định theo các công thức cơ học kết cấu với độ cứng không đổi bằng tỉ số $\frac{M_{max}}{(1/r)_m}$.

Bảng 10.4. Giá trị hệ số ρ_1 trường hợp dầm đơn giản

$\frac{M_{crc}}{M_{tot}}$	ρ_1	$\frac{M_{crc}}{M_{tot}}$	ρ_1
1,00	0,104	0,75	0,036
0,99	0,088	0,70	0,032
0,98	0,082	0,60	0,024
0,96	0,073	0,50	0,018
0,94	0,067	0,40	0,013
0,92	0,062	0,30	0,008
0,90	0,058	0,20	0,005
0,85	0,049	0,10	0,002
0,80	0,042	0,00	0,000
Ghi chú: $\rho_1 = \frac{\lambda_{crc}(1+3\lambda_{crc})}{12}$; $\lambda_{crc} = \frac{1-\sqrt{1-M_{crc}/M_{tot}}}{2}$			

Giá trị độ võng có thể được tính chính xác hơn nếu xét đến độ cứng thay đổi theo chiều dài cấu kiện. Trường hợp cấu kiện chịu tải trọng phân bố đều (hình 10.4), thì độ võng có thể được tính theo công thức:

$$f = \left\{\left(\frac{1}{r}\right)_m \rho_m - \left[\left(\frac{1}{r}\right)_m - \left(\frac{1}{r}\right)_{m,el}\right]\rho_1 - \left[\left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4\right]\rho_2\right\} l^2 \qquad (10.52)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_{m,el}$ - độ cong tại tiết diện có mômen lớn nhất, được xác định như với vật thể đàn hồi theo các công thức (10.2) và (10.3) do tải trọng dùng để xác định độ võng;

ρ_1 - hệ số được xác định như sau:

- Đối với dầm tựa tự do: lấy theo bảng 10.4 tùy thuộc vào tỉ số M_{crc}/M_{tot} (Trong đó M_{tot} – mômen uốn lớn nhất do tải trọng thường xuyên, tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn gây ra;

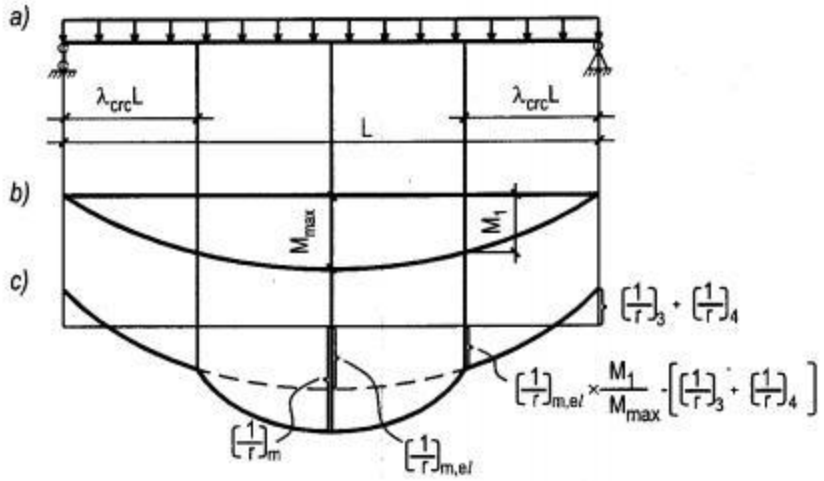
- Đối với côngxon: $\rho_1 = 0,25 M_{crc} / M_{tot}$;

ρ_2 - hệ số, lấy bằng:

- Đối với dầm tựa tự do: 1/48;

- Đối với côngxon : 1/4;

$\left(\frac{1}{r}\right)_3$, $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ như trong mục 10.2 với giá trị P ứng với tiết diện có mômen uốn lớn nhất.



Hình 10.4: *Sơ đồ tính độ võng của cấu kiện chịu tải trọng phân bố đều theo công thức (10.52)*

Đối với sơ đồ chất tải khác, độ võng f xác định theo công thức (10.54) .

b) Đối với cấu kiện chịu uốn có liên kết ngàm, độ võng ở giữa nhịp được xác định theo công thức:

$$f = \left[\left(\frac{1}{r}\right)_m \rho_m - \frac{(1/r)_{0,l} + (1/r)_{0,r}}{2}\left(\frac{1}{8} - \rho_m\right)\right] l^2 \qquad (10.53)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_m, \left(\frac{1}{r}\right)_{o,l}, \left(\frac{1}{r}\right)_{o,r}$ - lần lượt là độ cong ở giữa nhịp, tại gối trái và gối phải;

ρ_m – hệ số, xác định theo Bảng 10.3 như đối với dầm tựa tự do;

c) Đối với cấu kiện có tiết diện thay đổi, cũng như đối với các trường hợp yêu cầu chính xác hơn các công thức (10.51) và (10.53), việc xác định độ võng khi cấu kiện chịu tải trọng đối xứng qua điểm giữa nhịp được xác định theo công thức sau:

$$f = \frac{l^2}{216}\left[\left(\frac{1}{r}\right)_o + 6\left(\frac{1}{r}\right)_1 + 12\left(\frac{1}{r}\right)_2 + 8\left(\frac{1}{r}\right)_m\right] \qquad (10.54)$$

Trong đó:

$\left(\frac{1}{r}\right)_o, \left(\frac{1}{r}\right)_1, \left(\frac{1}{r}\right)_2, \left(\frac{1}{r}\right)_m$ - lần lượt là độ cong ở gối, tại khoảng cách $\frac{1}{6}l$ tính từ gối tựa, tại khoảng cách $\frac{1}{3}l$ tính từ gối tựa và ở giữa nhịp; giá trị độ cong tính được lấy với dấu theo dấu của biểu đồ độ cong.

Trong các công thức (10.53) và (10.54), các giá trị độ cong được xác định theo công thức (10.39) và (10.50) khi có vết nứt trong vùng chịu kéo và theo công thức (10.1) khi không có vết nứt đó.

Khi tải trọng đặt không đối xứng, thì độ võng được xác định theo công thức (10.41).

Đối với cấu kiện ngắn ($l/h < 10$), có tiết diện không đổi, làm việc như dầm tựa tự do, độ võng được tính theo chỉ dẫn trong mục này rồi nhân với hệ số ρ_q xét đến ảnh hưởng của biến dạng trượt. Hệ số ρ_q được xác định theo công thức

$$\rho_q = 1 + \frac{\varphi_q (h/l)^2}{\rho_m} \qquad (10.55)$$

Trong đó:

$\varphi_q = 0,5$ - khi không có vết nứt thẳng góc cũng như vết nứt xiên, tức là đảm bảo điều kiện (9.1), (9.3) và (9.20);

$\varphi_q = 1,5$ - khi có vết nứt thẳng góc hoặc vết nứt xiên;

10.6. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

VÍ DỤ 35:

Số liệu:

Bản sàn nhiều lỗ có tiết diện tương đương trên hình 10.5 (xác định tiết diện tương đương xem ví dụ 32); nhịp tính toán l = 8,86m; bêtông nặng cấp B30

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

($E_b = 2,9.10^4 MPa$; $R_{bt,ser} = 1,8MPa$; $R_{b,scr} = 22MPa$); tải trọng dài hạn thường xuyên $q_l = 12,74kN/m$; tải trọng toàn bộ q = 14,37kN/m; mômen quán tính của tiết diện quy đổi $I_{red} = 1147,2.10^6 mm^4$; mômen kháng đối với mép dưới $W_{pl} = 1690.10^4 mm^3$; tổn hao ứng suất trước do co ngót và từ biến tại cao trình cốt thép căng $\sigma_{sb} = 80,1MPa$, cũng vậy, tại cao trình mép trên $\sigma'_{sb} = 43,5MPa$; ứng lực nén có xét đến mọi tổn hao P = 807kN; độ lệch tâm của nó đối với trọng tâm tiết diện $e_{0p} = 78mm$; mômen do ứng lực nén $M_{rp} = 108kNm$; mômen hình thành vết nứt $M_{crc} = 138,4kNm$; độ võng hạn chế do yêu cầu mỹ thuật.

Yêu cầu:

Tính toán bản theo biến dạng.

Tính toán:

Vì độ võng hạn chế do yêu cầu mỹ thuật, ta xác định độ võng do tác động của tải trọng thường xuyên và dài hạn. Mômen ở giữa nhịp do các tải trọng này bằng:

$$M_l = \frac{q_l l^2}{8} = \frac{12,74.8,86^2}{8} = 125kNm$$

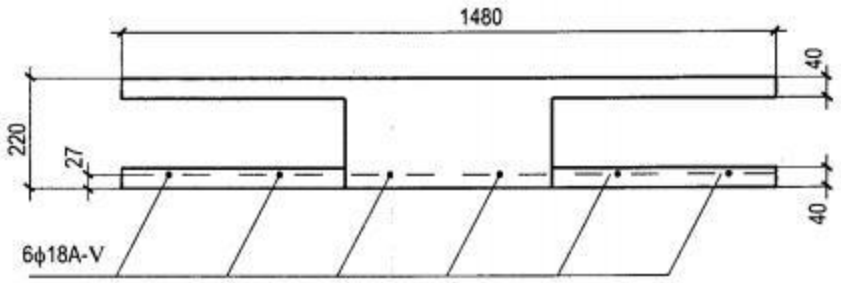
Mômen do toàn bộ tải trọng bằng:

$$M_{tot} = \frac{ql^2}{8} = \frac{14,37.8,86^2}{8} = 141kNm$$

Vì $M_{tot} = 141kNm > M_{crc} = 138,4kNm$; độ cong của bản ở giữa nhịp xác định có xét đến vết nứt theo công thức ở mục 10.3 khi $M = M_l = 125kNm$.

$$h_0 = h - a = 220 - 27 = 193mm \text{ (hình 10.5)}$$

Bởi vì M_{tot} lớn hơn M_{crc} không đáng kể nên độ cong $\frac{1}{r}$ có thể xác định theo công thức (10.22), có xét đến sự làm việc của bêtông chịu kéo khi có vết nứt.



Hình 10.5: *Hình vẽ cho ví dụ 35*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Xác định trị số M_0 theo công thức (9.29). Để làm việc đó, ta tính $\bar{\mu}$; lấy từ hình 10.5: $A_{sp} = 1608mm^2$ (6ϕ18A-V), b_f = 1480mm, b = 470mm, $h_f = h'_f = 40mm > a = 27mm$;

$$\bar{\mu} = \frac{A_{sp}}{bh_0 + (b_f - b)(h_f - a)} = \frac{1608}{470.193 + (1480 - 470)(40 - 27)} = 0,0155;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{19.10^4}{29.10^3} = 6,55;\ \eta = 1,0;\ \psi = \frac{15\bar{\mu}\alpha}{\eta} = 15.0,0155.6,55 = 1,523 > 0,6.$$

Ta lấy $\psi = 0,6$. Vì tác động tải trọng liên tục, ta giảm ψ hai lần, tức là ψ =0,3. Khi đó:

$$M_0 = M_{crc} + \psi bh^2 R_{bt,ser} = 138,4.10^6 + 0,3.470.220^2.1,8 = 150,7.10^6 Nmm$$

Xác định độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_{crc}$ theo công thức (10.23) khi lấy $\varphi_{b1} = 0,85$ và $\varphi_{b2} = 2$:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{crc} = \frac{M_{crc}\varphi_{b2} - Pe_{0p}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}} = \frac{138,4.10^6.2 - 807.10^3.78}{0,85.2,9.10^4.1147,2.10^6} = 0,756.10^{-5}1/mm.$$

Xác định độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_0$ theo mục 10.3, khi lấy $M_s = M_0 = 150,7.10^6 Nmm$:

$$N_{tot} = P = 807kN;$$

Trị số ξ và z xác định theo mục 10.3:

$$\delta = \frac{M_s}{bh_0^2 R_{b,ser}} = \frac{150,7.10^6}{470.193^2.22} = 0,39;$$

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0} = \frac{(1480 - 470)40}{470.193} = 0,445;$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{h'_f}{2h_0}\right) = 0,445\left(1 - \frac{40}{2.193}\right) = 0,4;$$

$$\mu\alpha = \frac{A_{sp}}{bh_0}\alpha = \frac{1608}{470.193}6,55 = 0,116;$$

$$\frac{e_{s,tot}}{h_0} = \frac{M_s}{N_{tot}h_0} = \frac{150,7.10^6}{807.10^3.193} = 0,968;$$

$$\beta = 1,8;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} + \frac{1,5+\varphi_f}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} - 5}$$

$$= \frac{1}{1,8 + \frac{1+5(0,39+0,4)}{10.0,116}} + \frac{1,5+0,445}{11,5.0,968-5} = 0,482 < 1$$

$$z = h_0\left[1 - \frac{\frac{h'_f}{h_0}\varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)}\right]$$

$$= 193\left[1 - \frac{\frac{40}{193}0,445 + 0,482^2}{2(0,445+0,482)}\right] = 146mm$$

Xác định giá trị ψ_s theo mục 10.3. Để làm việc đó, theo công thức (10.32), ta xác định hệ số φ_m, khi lấy $M_r = M_0 = 150,7.10^6 Nmm$:

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,ser}W_{pl}}{M_r - M_{rp}} = \frac{1,8.1690.10^4}{150,7.10^6 - 108.10^6} = 0,71 < 1,0;\ \varphi_{ls} = 0,8.$$

Vì $\frac{e_{s,tot}}{h_0} = 0,968 < \frac{1,2}{\varphi_{ls}} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5$, ta lấy $\frac{e_{s,tot}}{h_0} = 1,5$.

$$\psi_s = 1,25 - \varphi_{ls}\varphi_m - \frac{1-\varphi_m^2}{(3,5-1,8\varphi_m)e_{s,tot}/h_o}$$

$$= -1,25 - 0,8.0,71 - \frac{1-0,71^2}{(3,5-1,8.0,71)1,5} = 0,53 < 1,0$$

Lấy $\nu = 0,15$ và $\psi_b = 0,9$. Khi đó:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_0 = \frac{M_s}{h_0 z}\left[\frac{\psi_s}{E_s A_{sp}} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f+\xi)bh_0E_b\nu}\right] - \frac{N_{tot}\psi_s}{h_0E_sA_{sp}} =$$

$$= \frac{150,7.10^6}{193.162}\left[\frac{0,53}{1,9.10^5.1608} + \frac{0,9}{(0,445+0,482)470.193.2,9.10^4.0,15}\right] - \frac{807.10^3.0,53}{193.1,9.10^5.1608} =$$

$$= 1,28.10^{-5} 1/mm$$

Ta lấy $M_r = M_{tot} = 141kNm$, xác định độ cong ở giữa nhịp theo công thức (10.22):

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\frac{1}{r}=\left\{\left(\frac{1}{r}\right)_{crc}+\left[\left(\frac{1}{r}\right)_{o}+\left(\frac{1}{r}\right)_{crc}\right]\frac{M_r-M_{crc}}{M_o-M_{crc}}\right\}\frac{M-Pe_{op}}{M_{tot}-Pe_{op}}=$$

$$=\left[0,756+(1,28-0,756)\frac{141-138,4}{150,7-138,4}\right]10^{-5}\frac{125-807.0,078}{141-807.0,078}=0,69.10^{-5}\ 1/mm.$$

Xác định độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ theo mục 10.2:

$$\varepsilon_b=\frac{\sigma_{sb}}{2.10^5}=\frac{80,1}{2.10^5}=40,05.10^{-5};$$

$$\varepsilon'_b=\frac{\sigma'_{sb}}{2.10^5}=\frac{43,5}{2.10^5}=21,75.10^{-5};$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4=\frac{\varepsilon_b-\varepsilon'_b}{h_o}=\frac{40,05-21,78}{193}=0,0948.10^{-5}1/mm.$$

Độ cong toàn bộ ở giữa nhịp bằng:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_m=\frac{1}{r}-\left(\frac{1}{r}\right)_4=0,69.10^{-5}-0,095.10^{-5}=0,595.10^{-5}1/mm.$$

Độ võng xác định theo công thức (10.51), khi lấy $\rho_m=\frac{5}{48}$ theo bảng 10.3.

$$f=\left(\frac{1}{r}\right)_m\rho_m l^2=0,595.10^{-5}\frac{5}{48}8860^2=48,6mm>[f]=\frac{l}{250}=\frac{8860}{250}=35,4mm$$

($[f]=\frac{l}{250}$ - phụ lục 17).

Vì độ võng tính được lớn hơn độ võng cho phép giới hạn, ta xác định nó chính xác hơn theo công thức (10.52). Để làm việc đó, ta tìm độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_{m,el}$ và $\left(\frac{1}{r}\right)_3$ theo mục 10.2:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3=\frac{Pe_{op}}{\varphi_{b1}E_bI_{red}}=\frac{807.10^3.78}{0,85.2,9.10^4.1147,2.10^6}=0,223.10^{-5}1/mm.$$

Vì $\left(\frac{1}{r}\right)_3+\left(\frac{1}{r}\right)_4=(0,223+0,0948)10^{-5}$

$$=0,318.10^{-5}1/mm<\left(\frac{1}{r}\right)_3\varphi_{b2}=0,223.10^{-5}.2=0,446.10^{-5}\ 1/mm,$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ta lấy $\left[\left(\frac{1}{r}\right)_3+\left(\frac{1}{r}\right)_4\right]$=0,446.10^{-5} 1/mm.

Khi đó $\left(\frac{1}{r}\right)_{m,cl}=\frac{M_l\varphi_{b2}}{\varphi_{bl}E_bI_{red}}-\left[\left(\frac{1}{r}\right)_3+\left(\frac{1}{r}\right)_4\right]=$

$$=\frac{125.10^6.2}{0,85.2,9.10^4.1147,2.10^6}-0,446.10^{-5}=0,438.10^{-5}1/mm$$

Theo bảng 10.4, khi $\frac{M_{crc}}{M_{tot}}=\frac{138,4}{141}=0,982$; ta tìm được $\rho_1=0,083$.

Khi đó:

$$f=\left\{\left(\frac{1}{r}\right)_m\rho_m-\left[\left(\frac{1}{r}\right)_m-\left(\frac{1}{r}\right)_{m,cl}\right]\rho_1-\left[\left(\frac{1}{r}\right)_3-\left(\frac{1}{r}\right)_4\right]\rho_2\right\}l^2=$$

$$\left[0,595\frac{5}{48}-(0,595-0,438)0,083-0,446\frac{1}{48}\right].10^{-5}8860^2=31,4mm<[f]=35,4mm.$$

Vậy, độ võng của bản nhỏ hơn độ võng cho phép.

VÍ DỤ 36:

Số liệu:

Bản sàn như trong ví dụ 33 (và 34) có nhịp tính toán của bản l = 5,7m; tải trọng phân bố đều; mômen giữa nhịp do toàn bộ tải trọng $M_{tot}=66kNm$, do tải trọng thường xuyên và dài hạn $M_l=63,8kNm$; lực nén trước có xét đến mọi tổn hao và ảnh hưởng của vết nứt phía trên $P_2=109kN$; tổn hao ứng suất do co ngót và từ biến của bêtông tại cao trình của cốt thép căng $\sigma_{sb}=168MPa$; độ ẩm không khí trong phạm vi 40 - 75%, độ võng được hạn chế do yêu cầu mỹ thuật; các số liệu còn lại theo ví dụ 33.

Yêu cầu:

Yêu cầu tính toán bản theo biến dạng.

Tính toán:

Xác định sự cần thiết tính toán độ võng của bản theo mục 10.5.1. Để làm việc đó, ta tìm giá trị l/h_0, φ_f, $\mu\alpha$.

$$\frac{l}{h_0}=\frac{5700}{300}=19;$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{1,9.10^5}{2,7.10^4} = 7;$$

$$\mu\alpha = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_0}\alpha = \frac{491+79}{95.300}7 = 0,14;$$

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \frac{\alpha A'_s}{2\nu}}{bh_0} = \frac{(475-95)50 + \frac{7.50,3}{2.0,15}}{95.300} = 0,71$$

($\nu = 0,15$ vì độ ẩm không khí giới hạn trong 40-75% và tính toán theo tác động liên tục của tải trọng).

Khi $\mu\alpha = 0,14$; $\varphi_f = 0,71$ và $\varphi_{ft} = 0$, theo phụ lục 23, ta tìm được $\lambda_{lim} = 12,5 < l/h_0 = 19$; tức là cần phải tính toán theo biến dạng.

Độ cong cấu kiện $\frac{1}{r}$ ở giữa nhịp xác định theo công thức đơn giản (10.49), để tính toán, ta cũng sử dụng trị số đã tìm được $\mu\alpha$ và φ_f. Theo trị số cho trong phụ lục 23 và phụ lục 24, $\mu\alpha$ và φ_f, ta tìm trị số của các hệ số $\varphi_1 = 0,42$; $\varphi_2 = 0,085$; $\varphi_3 = 0,82$.

$$M_s = M + P_2 e_{sp} = 63,8.10^6 + 109.10^3.5 = 64,3\text{kNm}$$

$$(e_{sp} = y_0 - e_{0p} - a = 220 - 165 - 50 = 5\text{mm});$$

$$y_s = y_0 - a = 220 - 50 = 170\text{mm};$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s - \varphi_2 bh^2 R_{bt,ser} - \varphi_3 P_2(y_s + r)}{\varphi_1 E_s(A_{sp} + A_s)h_0^2} =$$

$$= \frac{64,3.10^6 - 0,085.95.350^2.1,6 - 0,82.109.10^3(170+58,7)}{0,42.1,9.10^5.(491+79).300^2} = 1,03.10^{-5}1/\text{mm}.$$

Xác định độ cong $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ theo công thức (10.5):

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_{sb}}{2.10^5} = \frac{168}{2.10^5} = 84.10^{-5}.$$

$\varepsilon'_b = 0$, vì trong vùng trên của cấu kiện có vết nứt do ép.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\varepsilon_b}{h_o}1,25 = \frac{84.10^{-5}}{300}1,25 = 0,35.10^{-5}1/\text{mm}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

(hệ số 1,25 kể đến việc tăng lên của $\left(\frac{1}{r}\right)_4$ gắn liền với sự có mặt của khe nứt bên trên).

Độ cong toàn bộ ở giữa nhịp bằng

$$\left(\frac{1}{r}\right)_m = \left(\frac{1}{r}\right) - \left(\frac{1}{r}\right)_4 = (1,03 - 0,35).10^{-5} = 0,68.10^{-5} 1/mm$$

Độ võng của bản xác định theo công thức (10.51):

$$f = \left(\frac{1}{r}\right)_m \rho_m l^2 = 0,68.10^{-5} \frac{5}{48} 5700^2 = 23mm < [f] = 25mm$$

([f] = 25mm lấy theo phụ lục 17), tức là độ võng của bản nhỏ hơn giá trị giới hạn cho phép.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1: QUY ĐỊNH VỀ SỬ DỤNG CẤP VÀ MÁC BÊTÔNG THEO TCXDVN 356 : 2005

Cách phân loại	Loại bêtông		Cấp hoặc mác
1	*2*		*3*
Theo cấp độ bền chịu nén	Bêtông nặng		B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60
	Bêtông tự ứng suất		B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60
	Bêtông hạt nhỏ	nhóm A: đóng rắn tự nhiên hoặc được dưỡng hộ trong điều kiện áp suất khí quyển, cốt liệu cát có mô đun độ lớn > 2,0	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40
		nhóm B: đóng rắn tự nhiên hoặc được dưỡng hộ trong điều kiện áp suất khí quyển, cốt liệu cát có mô đun độ lớn ≤ 2,0	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35
		nhóm C: được chưng áp	B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60
	Bêtông cốt liệu nhẹ ứng với mác theo khối lượng riêng trung bình	D800, D900	B2,5; B3,5; B5; B7,5;
		D1000, D1100	B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5
		D1200, D1300	B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15
		D1400, D1500	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30
		D1600, D1700	B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35
		D1800, D1900	B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40
		D2000	B20; B25; B30; B35; B40

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

<table>
<tr><td>1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td rowspan="9">Theo cấp độ bền chịu nén</td><td rowspan="8">Bêtông tổ ong ứng với mác theo khối lượng riêng trung bình</td><td></td><td>chưng áp</td><td>không chưng áp</td></tr>
<tr><td>D500</td><td>B1; B1,5</td><td></td></tr>
<tr><td>D600</td><td>B1; B1,5; B2</td><td>B1,5; B2; B2,5</td></tr>
<tr><td>D700</td><td>B1,5; B2; B2,5; B3,5</td><td>B1,5; B2; B2,5</td></tr>
<tr><td>D800</td><td>B2,5; B3,5; B5</td><td>B2; B2,5; B3,5</td></tr>
<tr><td>D900</td><td>B3,5; B5; B7,5</td><td>B3,5; B5</td></tr>
<tr><td>D1000</td><td>B5; B7,5; B10</td><td>B5; B7,5</td></tr>
<tr><td>D1100</td><td>B7,5; B10;B12,5; B15</td><td>B7,5; B10</td></tr>
<tr><td>D1200</td><td>B10; B12,5; B15</td><td>B10; B12,5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Bêtông rỗng ứng với mác theo khối lượng riêng trung bình:</td><td>D800, D900, D1000</td><td colspan="2">B2,5; B3,5; B5</td></tr>
<tr><td>D1100, D1200, D1300</td><td colspan="2">B7,5</td></tr>
<tr><td>D1400</td><td colspan="2">B3,5; B5; B7,5</td></tr>
<tr><td>Cấp độ bền chịu kéo dọc trục</td><td colspan="2">Bêtông nặng, bêtông tự ứng suất, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ</td><td colspan="2">$B_t0,8$; $B_t1,2$; $B_t1,6$; B_t2; $B_t2,4$; $B_t2,8$; $B_t3,2$</td></tr>
<tr><td>Mác chống thấm</td><td colspan="2">Bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ</td><td colspan="2">W2; W4; W6; W8; W10; W12</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Mác theo khối lượng riêng trung bình</td><td colspan="2">Bêtông nhẹ</td><td colspan="2">D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bêtông tổ ong</td><td colspan="2">D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bêtông rỗng</td><td colspan="2">D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400</td></tr>
<tr><td>Mác bêtông theo khả năng tự gây ứng suất</td><td colspan="2">Bêtông tự ứng suất</td><td colspan="2">$S_p0,6$; $S_p0,8$; S_p1; $S_p1,2$; $S_p1,5$; S_p2; S_p3; S_p4.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Chú thích: 1. Trong Tiêu chuẩn này, thuật ngữ "bêtông nhẹ" và "bêtông rỗng" dùng để ký hiệu tương ứng cho bêtông nhẹ có cấu trúc đặc chắc và bêtông nhẹ có cấu trúc lỗ rỗng (với tỷ lệ phần trăm lỗ rỗng lớn hơn 6%).
2. Nhóm bêtông hạt nhỏ A, B, C cần được chỉ rõ trong bản vẽ thiết kế.</td></tr>
</table>

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 2: CƯỜNG ĐỘ TIÊU CHUẨN VÀ CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN CỦA BÊTÔNG KHI TÍNH TOÁN THEO CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ HAI, MPa

Trạng thái	Loại bêtông		Cấp độ bền chịu nén của bêtông												
			B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Nén dọc trục (cường độ lăng trụ) R_{bn}, $R_{b,ser}$	Bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ		5,5	7,5	9,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0
	Bêtông nhẹ		5,5	7,5	9,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	–	–	–	–
	Bêtông tổ ong		6,9	9,0	10,5	11,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kéo dọc trục R_{btn}, $R_{bt,ser}$	Bêtông nặng		0,70	0,85	1,00	1,15	1,40	1,60	1,80	1,95	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
	Bêtông hạt nhỏ	nhóm A	0,70	0,85	1,00	1,15	1,40	1,60	1,80	1,95	2,10	–	–	–	–
		nhóm B	0,60	0,70	0,85	0,95	1,15	1,35	1,50	–	–	–	–	–	–
		nhóm C	–	–	–	1,15	1,40	1,60	1,80	1,95	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
	Bêtông nhẹ	cốt liệu đặc	0,70	0,85	1,00	1,15	1,40	1,60	1,80	1,95	2,10	–	–	–	–
		cốt liệu rỗng	0,70	0,85	1,00	1,10	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	–	–	–	–
	Bêtông tổ ong		0,63	0,89	1,00	1,05	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ghi chú :

1. Các giá trị cường độ của bêtông tổ ong trong bảng ứng với bêtông tổ ong có độ ẩm là 10%.
2. Đối với bêtông Keramzit – Perlit có cốt liệu bằng cát Perlit, giá trị R_{btn} và $R_{bt,ser}$ lấy bằng giá trị của bêtông nhẹ cốt liệu xốp nhân với 0,85.
3. Đối với bêtông rỗng, giá trị R_{bn} vµ $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nhẹ; còn giá trị R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 0,7.
4. Đối với bêtông tự ứng suất, giá trị R_{bn} và $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nặng, còn giá trị R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 1,2.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.edu

PHỤ LỤC 3: CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN CỦA BÊTÔNG KHI TÍNH THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ NHẤT, MPa

Trạng thái	Loại bêtông		Cấp độ bền chịu nén của bêtông												
			B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Nén dọc trục (cường độ lăng trụ) R_b	Bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ		4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0
	Bêtông nhẹ		4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	–	–	–	–
	Bêtông tổ ong		4,6	6,0	7,0	7,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kéo dọc trục R_{bt}	Bêtông nặng		0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65
	Bêtông hạt nhỏ	nhóm A	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	–	–	–	–
		nhóm B	0,40	0,45	0,51	0,64	0,77	0,90	1,00	–	–	–	–	–	–
		nhóm C	–	–	–	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65
	Bêtông nhẹ	cốt liệu đặc	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	–	–	–	–
		cốt liệu rỗng	0,48	0,57	0,66	0,74	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	–	–	–	–
	Bêtông tổ ong		0,28	0,39	0,44	0,46	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ghi chú:

1. Các giá trị cường độ của bêtông tổ ong trong bảng ứng với bêtông tổ ong có độ ẩm là 10%.
2. Đối với bêtông Keramzit – Perlit có cốt liệu bằng cát Perlit, giá trị R_{btn} vµ $R_{bt,ser}$ lấy bằng giá trị của bêtông nhẹ có cốt liệu xốp nhân với 0,85.
3. Đối với bêtông rỗng, giá trị R_{bn} và $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nhẹ; còn giá trị R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 0,7.
4. Đối với bêtông tự ứng suất, giá trị R_{bn} và $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nặng, còn giá trÞ R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 1,2.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.edu

PHỤ LỤC 4 : MÔĐUN ĐÀN HỒI BAN ĐẦU CỦA BÊTÔNG, $E_b \times 10^{-3}$, MPa

Loại bêtông			Cấp độ bền chịu nén và mác tương ứng												
			B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Bêtông nặng		đóng rắn tự nhiên	16,0	18,0	21,0	23,0	27,0	30,0	32,5	34,5	36,0	37,5	39,0	39,5	40,0
		dưỡng hộ nhiệt ở áp suất khí quyển	14,5	16,0	19,0	20,5	24,0	27,0	29,0	31,0	32,5	34,0	35,0	35,5	36,0
		chưng áp	12,0	13,5	16,0	17,0	20,0	22,5	24,5	26,0	27,0	28,0	29,0	29,5	30,0
Bêtông hạt nhỏ nhóm	A	đóng rắn tự nhiên	13,5	15,5	17,5	19,5	22,0	24,0	26,0	27,5	28,5	—	–	–	–
		dưỡng hộ nhiệt ở áp suất khí quyển	12,5	14,0	15,5	17,0	20,0	21,5	23,0	24,0	24,5	–	–	–	–
	B	đóng rắn tự nhiên	12,5	14,0	15,5	17,0	20,0	21,5	23,0	–	–	–	–	–	–
		dưỡng hộ nhiệt ở áp suất khí quyển	11,5	13,0	14,5	15,5	17,5	19,0	20,5	–	–	–	–	–	–
	C	chưng áp	–	–	–	16,5	18,0	19,5	21,0	22,0	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0
Bêtông nhẹ và bêtông rỗng, có mác theo khối lượng riêng trung bình		D800	5,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		D1000	7,2	8,0	8,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		D1200	8,7	9,5	10,0	10,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		D1400	10,0	11,0	11,7	12,5	13,5	14,5	15,5	–	–	–	–	–	–
		D1600	11,5	12,5	13,2	14,0	15,5	16,5	17,5	18,0	–	–	–	–	–
		D1800	13,0	14,0	14,7	15,5	17,0	18,5	19,5	20,5	21,0	–	–	–	–
		D2000	14,5	16,0	17,0	18,0	19,5	21,0	22,0	23,0	23,5	–	–	–	–

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Loại bêtông		Cấp độ bền chịu nén và mác tương ứng												
		B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Bêtông nhẹ và bêtông tổ ong chưng áp, có mác theo khối lượng riêng trung bình	D500	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D700	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D900	5,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D1000	6,0	7,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D1100	6,8	7,9	8,3	8,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	D1200	–	8,4	8,8	9,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ghi chú:

1. Các giá trị cường độ của bêtông tổ ong trong bảng ứng với bêtông tổ ong có độ ẩm là 10%.
2. Đối với bêtông Keramzit – Perlit có cốt liệu bằng cát Perlit, giá trị R_{btn} vµ $R_{bt,ser}$ lấy bằng giá trị của bêtông nhẹ có cốt liệu cát hạt xốp nhân với 0,85.
3. Đối với bêtông rỗng, giá trị R_{bn} vµ $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nhẹ; còn giá trị R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 0,7.
4. Đối với bêtông tự ứng suất, giá trị R_{bn} và $R_{b,ser}$ lấy như đối với bêtông nặng, còn giá trÞ R_{btn}, $R_{bt,ser}$ nhân với 1,2.

PHỤ LỤC 5
HỆ SỐ ĐIỀU KIỆN LÀM VIỆC CỦA BÊTÔNG γ_{bi}

Các yếu tố cần kể đến hệ số điều kiện làm việc của bêtông	Hệ số điều kiện làm việc của bêtông	
	Ký hiệu	Giá trị
1	*2*	*3*
1. Tải trọng lặp	γ_{b1}	Xem TCXDVN 356 : 2005
2. Tính chất tác dụng dài hạn của tải trọng:	γ_{b2}	
a) Khi kể đến tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn, ngoại trừ tải trọng tác dụng ngắn hạn mà tổng thời gian tác dụng của chúng trong thời gian sử dụng nhỏ (ví dụ: tải trọng do cầu trục, tải trọng do thiết bị băng tải; tải trọng gió; tải trọng xuất hiện trong quá trình sản xuất, vận chuyển và lắp dựng, v.v...); cũng như khi kể đến tải trọng đặc biệt gây biến dạng lún không đều, v.v...		
- Đối với bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ đóng rắn tự nhiên và bêtông được dưỡng hộ nhiệt trong điều kiện môi trường:		
+ Đảm bảo cho bêtông được tiếp tục tăng cường độ theo thời gian (ví dụ: môi trường nước, đất ẩm hoặc không khí có độ ẩm trên 75%)		1,00
+ Không đảm bảo cho bêtông được tiếp tục tăng cường độ theo thời gian (khô hanh)		0,90
- Đối với bêtông tổ ong, bêtông rỗng không phụ thuộc vào điều kiện sử dụng		0,85
b) Khi kể đến tải trọng tạm thời ngắn hạn (tác dụng ngắn hạn) trong tổ hợp đang xét hay tải trọng đặc biệt * không nêu trong mục 2a, đối với các loại bêtông.		1,10
3. Đổ bêtông theo phương đứng, mỗi lớp dày trên 1,5m đối với:	γ_{b3}	
- Bêtông năng, bêtông nhẹ và bêtông hạt nhỏ		
- Bêtông tổ ong và bêtông rỗng		
4. Ảnh hưởng của trạng thái ứng suất hai trục "nén–kéo" đến cường độ bêtông	γ_{b4}	Xem phần tính nứt nghiêng
5. Đổ bêtông cột theo phương đứng, kích thước lớn nhất của tiết diện cột nhỏ hơn 30 cm	γ_{b5}	0,85

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*
6. Giai đoạn ứng lực trước kết cấu a) khi dùng thép sợi + đối với bêtông nhẹ + đối với các loại bêtông khác b) dùng thép thanh + đối với bêtông nhẹ + đối với các loại bêtông khác	γ_{b6}	 1,10 1,20
7. Kết cấu bêtông	γ_{b7}	0,90
8. Kết cấu bêtông làm từ bêtông cường độ cao khi kể đến hệ số γ_{b7}	γ_{b8}	$0,3 + \omega \leq 1$ Giá trị ω xem TCXDVN 356 : 2005
9. Độ ẩm của bêtông tổ ong + 10% và nhỏ hơn + lớn hơn 25% + lớn hơn 10% và nhỏ hơn hoặc bằng 25%	γ_{b9}	 1,00 0,85 Nội suy tuyến tính
10. Bêtông đổ chèn mối nối cấu kiện lắp ghép khi chiều rộng mối nối nhỏ hơn 1/5 kích thước của cấu kiện và nhỏ hơn 10 cm.	γ_{b10}	1,15

* Khi đưa thêm hệ số điều kiện làm việc bổ sung trong trường hợp kể đến tải trọng đặc biệt theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn tương ứng (ví dụ: khi kể đến tải trọng động đất) thì lấy $\gamma_{b2} = 1$;

Chú thích:

1. Hệ số điều kiện làm việc:
   + lấy theo mục 1, 2, 7, 9: cần được kể đến khi xác định cường độ tính toán R_b và R_{bt};
   + lấy theo mục 4: cần được kể đến khi xác định cường độ tính toán $R_{bt,ser}$;
   + còn theo các mục khác: chỉ kể đến khi xác định R_b.
2. Đối với kết cấu chịu tải trọng lặp, hệ số γ_{b2} được kể đến khi tính toán theo độ bền, còn γ_{b1} khi tính toán theo độ bền mỏi và theo điều kiện hình thành vết nứt.
3. Khi tính toán kết cấu chịu tải trọng trong giai đoạn ứng suất trước, hệ số γ_{b2} không cần kể đến.
4. Các hệ số điều kiện làm việc của bêtông được kể đến khi tính toán không phụ thuộc lẫn nhau, nhưng tích của chúng không được nhỏ hơn 0,45.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 6
CÁC LOẠI CỐT THÉP CƯỜNG ĐỘ CAO THÔNG DỤNG

Loại thép	Hình dáng	Ký hiệu	Nước sản xuất và tiêu chuẩn sản xuất	Giới hạn chảy - MPa	Giới hạn bền - MPa
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Thép thanh cacbon cán nóng	Thanh có gờ	SBPR 785/1030	Nhật (JIS G 3109-94)	785 min.	1030 min.
		A-V	Nga (GOST 5781-82*)	788 min.	1000 min.
		RE (RR) -1030	Anh (BS 4486 :1980)	835 min.	1030 min.
		SBPR 930/1080	Nhật (JIS G 3109 -94)	930 min.	1080 min.
		SBPR 930/1180	Nhật (JIS G 3109 -94)	930 min.	1180 min.
		A-VI	Nga (GOST 5781-82*)	980 min.	1250 min.
		SBPR 1080/1230	Nhật (JIS G 3109-94)	1080 min.	1230 min.
		AT-VII	Nga (GOST 10884-94)	1175 min.	1400 min.
Thép sợi	Sợi	wire - 1570 - 7 wire - 1670 - 7	Anh (BS 5896 :1980)	1300 min. 1390 min.	1570 min. 1670 min.
		wire - 1670 - 6 wire - 1770 - 6		1390 min. 1470 min.	1670 min. 1770 min.
		wire - 1670 - 5 wire - 1770 - 5		1390 min. 1470 min.	1670 min. 1770 min.
		wire - 1620 - 4.5		1350 min.	1620 min.
		wire - 1670 - 4 wire - 1770 - 4		1390 min. 1470 min.	1670 min. 1770 min.
		3Bp1200	Nga (GOST 7348-81*)	1200 min.	1470 min.
		4Bp1300		1300 min.	1570 min.
		5Bp1400		1400 min.	1670 min.
		6Bp1400		1400 min.	1670 min.
		7Bp1400		1400 min.	1670 min.
		8Bp1500		1500 min.	1780 min.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Thép xoắn	Tao 7 sợi	7-wire standard-1670-15.2	Anh (BS 5896 :1980)	1420 min.	1670 min.
		7-wire standard-1770-12.5		1500 min.	1770 min.
		7-wire standard -1770 - 11		1490 min.	1770 min.
		7-wire standard -1770 - 9.3		1500 min.	1770 min.
		7-wire supe -1770 - 15.7		1550 min.	1770 min.
		7-wire supe -1860 - 12.9		1580 min.	1860 min.
		7-wire supe -1860 - 1.3		1570 min.	1860 min.
		7-wire supe -1860 - 9.6		1580 min.	1860 min.
		7-wire supe -1860 - 8.0		1550 min.	1860 min.
		7-wire drawn -1700 - 8.0		1450 min.	1700 min.
		7-wire drawn -1820 - 5.2		1550 min.	1820 min.
		7-wire drawn -1860 - 2.7		1560 min.	1860 min.
		K7-1400	Nga (GOST 13840-81)	1400 min.	1670 min.
		K7-1500		1500 min.	1770 min.
	Tao 19 sợi	K19-1500	Nga (TU 14–4–22-71)	1500 min.	1770 min.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 7
CÁC LOẠI CỐT THÉP THƯỜNG THÔNG DỤNG

Loại thép	Hình dáng	Ký hiệu thép	Nước sản xuất và tiêu chuẩn sản xuất	Giới hạn chảy- MPa	Giới hạn bền –MPa
Thép cacbon cán nóng	Tròn trơn	CI A-I	VN (TCVN 1651 : 1985) Nga (GOST 5781-82*)	235 min.	380 min.
		SR235	Nhật (JIS G 3112 -1991)	235 min.	380 ÷ 520
		BS 4449 :97 gr.250	Anh (BS 4449 : 1997)	250 min.	287,5 min.
		AS 1302–250R	Úc (AS 1302-1991)	250 min.	–
		AS 1302–250S		250 min.	–
		SR295	Nhật (JIS G 3112 -1991)	295 min.	380 ÷ 520
	Có gờ	SD295A	Nhật (JIS G 3112 -1991)	295 min.	440 ÷ 600
		SD295B	Nhật (JIS G 3112 -1991)	295 ÷ 390	440 ÷ 600
		CII A-II	VN(TCVN 1651 : 1985) Nga (GOST 5781-82*)	300 min.	500 min.
		A615M gr. 300	Mỹ (ASTM A615M-96a)	300 min.	500 min.
		RL335	TQ (GB 1499-91)	335 ÷ 460	510 min.
		SD345	Nhật (JIS G 3112 -1991)	345 ÷ 440	490 min.
		SD390	Nhật (JIS G 3112 -1991)	390 ÷ 510	560 min.
		CIII A-III	VN (TCVN 1651 : 1985) Nga (GOST 5781-82*)	600 min.	600 min.
		AS 1302–400Y	Úc (AS 1302-1991)	400 min.	–
		A615M gr. 420	Mỹ (ASTM A615M-96a)	420 min.	620 min.
		BS 4449 : 97gr.460A	Anh (BS 4449 : 1997)	460 min.	483 min.
		BS 4449 :97gr.460B			497 min.
		SD490	Nhật (JIS G 3112 -1991)	490 ÷ 625	620 min.
		A615M gr. 520	Mỹ (ASTM A615M-96a)	520 min.	690 min.
		A-IIIB	Nga (GOST 5781-82*)	540 min.	–
		RL540	TQ (GB 1499-91)	540 min.	835 min.
		RL590	T Q (GB 1499-91)	590 min.	885 min.
		CIV A-IV	VN(TCVN 1651 : 1985) Nga (GOST 5781-82*)	590 min.	900 min.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 8
CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TIÊU CHUẨN VÀ CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TÍNH TOÁN CỦA CỐT THÉP THANH KHI TÍNH TOÁN THEO CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ HAI

Nhóm thộp thanh	Giỏ trị R_{sn} và $R_{s,ser}$, MPa
CI, A-I	235
CII, A-II	295
CIII, A-III	390
CIV, A-IV	590
A-V	788
A-VI	980
AT-VII	1175
A-IIIB	540

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 9
CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TIÊU CHUẨN VÀ CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TÍNH TOÁN CỦA CỐT THÉP SỢI KHI TÍNH TOÁN THEO CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ HAI

Nhóm thép sợi	Cấp độ bền	Đường kính, mm	Giá trị R_{sn} và $R_{s,ser}$, MPa
Bp-I	–	3; 4; 5	490
B-II	1500	3	1500
	1400	4; 5	1400
	1300	6	1300
	1200	7	1200
	1100	8	1100
Bp-II	1500	3	1500
	1400	4; 5	1400
	1200	6	1200
	1100	7	1100
	1000	8	1000
K-7	1500	6; 9; 12	1500
	1400	15	1400
K-19	1500	14	1500

Ghi chú:

1. Cấp độ bền của thép sợi là giá trị của giới hạn chảy quy ước, tính bằng MMPa.
2. Đối với thép sợi nhóm B-II; Bp-II, K-7 và K-19 được ký hiệu:
   - –Thép sợi nhóm B-II có đường kính 3 mm: ϕ3B1500
   - – Thép sợi nhóm Bp-II có đường kính 5 mm: ϕ5Bp1400
   - – Thép cáp nhóm K-7 có đường kính 12 mm: ϕ12K7-1500

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 10
CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TÍNH TOÁN CỦA CỐT THÉP THANH KHI TÍNH TOÁN THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ NHẤT

Nhóm thép thanh		Cường độ chịu kéo, MPa		Cường độ chịu nén R_{sc}
		Cốt thép dọc R_s	Cốt thép ngang R_{sw}	
CI, A-I		225	175	225
CII, A-II		280	225	280
A-III có đường kính, mm	6 ÷ 8	355	285*	355
CIII, A-III có đường kính, mm	10 ÷ 40	365	290*	365
CIV, A-IV		510	405	450**
A-V		680	545	500**
A-VI		815	650	500**
AT-VII		980	785	500**
A-IIIB	có kiểm soát độ giãn dài và ứng suất	490	390	200
	chỉ kiểm soát độ giãn dài	450	360	200

* Trong khung thép hàn, đối với cốt thép đai dùng thép nhóm CIII, A-III có đường kính nhỏ hơn 1/3 đường kính cốt thép dọc thì giá trị R_{sw} = 255 MPa.

** Các giá trị R_{sc} nêu trên được lấy cho kết cấu làm từ bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ khi kể đến trong tính toán các tải trọng lấy theo mục 2a trong Bảng 15; khi kể đến các tải trọng lấy theo mục 2b trong Bảng 15 thì giá trị R_{sc} = 400 MPa. Đối với các kết cấu làm từ bêtông tổ ong và bêtông rỗng, trong mọi trường hợp lấy R_{sc} = 400 MPa.

Ghi chú: Trong mọi trường hợp, khi vì lý do nào đó, cốt thép không căng nhóm CIII, A-III trở lên được dùng làm cốt thép ngang (cốt thép đai, hoặc cốt thép xiên), giá trị cường độ tính toán R_{sw} lấy như đối với nhóm CIII, A-III.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 11
CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO TÍNH TOÁN CỦA CỐT THÉP SỢI KHI TÍNH TOÁN THEO TRẠNG THÁI GIỚI HẠN THỨ NHẤT

Nhóm thép sợi	Đường kính thép sợi, mm	Cường độ chịu kéo tính toán		Cường độ chịu nén tính toán R_{sc}
		Cốt thép dọc R_s	Cốt thép ngang (cốt thép đai, cốt thép xiên) R_{sw}	
Bp-I	3; 4; 5	410	290*	375**
B-II có cấp độ bền				
1500	3	1250	1000	
1400	4; 5	1170	940	
1300	6	1050	835	
1200	7	1000	785	
1100	8	915	730	
Bp-II có cấp độ bền				
1500	3	1250	1000	500**
1400	4; 5	1170	940	
1200	6	1000	785	
1100	7	915	730	
1000	8	850	680	
K-7 có cấp độ bền				
1500	6; 9; 12	1250	1000	
1400	15	1160	945	
K-19	14	1250	1000	

* Khi sử dụng thép sợi trong khung thép buộc, giá trị R_{sw} cần lấy bằng 325 MPa.

** Các giá trị R_{sc} nêu trên được lấy khi tính toán kết cấu làm từ bêtông nặng, bêtông hạt nhỏ, bêtông nhẹ chịu các tải trọng lấy theo mục 2a trong Bảng 15; khi tính toán kết cấu chịu các tải trọng lấy theo mục 2b trong Bảng 15 thì giá trị R_{sc} = 400 MPa cũng như khi tính toán các kết cấu làm từ bêtông tổ ong và bêtông rỗng chịu mọi loại tải trọng, giá trị R_{sc} lấy như sau: đối với sợi thép Bp-I lấy bằng 340 MPa, đối với B-II, Bp-II, K-7 và K-19: lấy bằng 400 MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 12
MÔĐUN ĐÀN HỒI CỦA MỘT SỐ LOẠI CỐT THÉP

Nhóm cốt thép	$E_s.10^4$ MPa
CI, A-I, CII, A-II	21
CIII, A-III	20
CIV, A-IV, A-V, A-VI, AT-VII	19
A-IIIB	18
B-II, Bp-II	20
K-7, K-19	18
Bp-I	17

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 13
HỆ SỐ ĐIỀU KIỆN LÀM VIỆC CỦA CỐT THÉP γ_{si}

Các yếu tố cần kể đến hệ số điều kiện làm việc của cốt thép	Đặc trưng của cốt thép	Nhóm cốt thép	Các giá trị γ_{si}		
			Ký hiệu	Giá trị	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	
1. Cốt thép chịu lực cắt	Cốt thép ngang	Tất cả các nhóm cốt thép	γ_{s1}	Xem quy định chi tiết về cốt thép ngang	
2. Có nối hàn cốt thép khi chịu lực cắt	Cốt thép ngang	CIII, A-III; BP-I	γ_{s2}	Xem quy định chi tiết về cốt thép ngang	
3. Tải trọng lặp	Cốt thép dọc và cốt thép ngang	Tất cả các nhóm cốt thép	γ_{s3}	Xem TCXDVN 356 : 2005	
4. Có nối hàn khi chịu tải trọng lặp	Cốt thép dọc và cốt thép ngang khi có liên kết hàn	CI, A-I, CII, A-II, CIII, A-III, CIV, A-IV; A-V	γ_{s4}	Xem TCXDVN 356 : 2005	
5. Đoạn truyền ứng suất đối với cốt thép không neo và đoạn neo cốt thép không căng	Cốt thép dọc căng	Tất cả các nhóm cốt thép	γ_{s5}	l_x/l_p	trong đó: l_x là khoảng cách kể từ đầu đoạn truyền ứng suất đến tiết diện tính toán; l_p, l_{an} tương ứng là chiều dài đoạn truyền ứng suất và vùng neo cốt thép.
	Cốt thép dọc không căng			l_x/l_{an}	
6. Cốt thép cường độ cao làm việc trong điều kiện ứng suất lớn hơn giới hạn chảy quy ước	Cốt thép dọc chịu kéo	CIV, A-IV; A-V; A-VI; AT-VII; B-II; K-7; K-19	γ_{s6}	Xem quy định chi tiết cho cốt thép cường độ cao	
7. Cấu kiện làm từ bêtông nhẹ cấp B7,5 và thấp hơn	Cốt thép ngang	CI, A-I; BP-I	γ_{s7}	0,8	

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*
8. Cấu kiện làm từ bêtông tổ ong cấp B7,5 và thấp hơn	Cốt thép dọc chịu nén	Tất cả các nhóm cốt thép	γ_{s8}	$\frac{190+40B}{R_{sc}} \le 1$
	Cốt thép ngang			$\frac{25B}{R_{sw}} \le 1$
9. Lớp bảo vệ cốt thép trong cấu kiện làm từ bêtông tổ ong	Cốt thép dọc chịu nén	Tất cả các nhóm cốt thép	γ_{s9}	Xem TCXDVN 356 : 2005

Ghi chú:

1. Các hệ số γ_{s3} và γ_{s4} theo mục 3 và 4 trong bảng này chỉ kể đến trong tính toán chịu mỏi; đối với cốt thép có nối bằng liên kết hàn, các hệ số trên được kể đến đồng thời.

2. Hệ số γ_{s5} theo mục 5 trong bảng này dùng cho cả cường độ tính toán R_s và ứng suất trước trong cốt thép σ_{sp}.

3. Trong các công thức ở mục 8 trong bảng này, các giá trị R_{sc} và R_{sw} tính bằng MPa; giá trị B tương ứng với cấp độ bền chịu nén của bêtông tính bằng MPa.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 14
TẢI TRỌNG VÀ HỆ SỐ ĐỘ TIN CẬY VỀ TẢI TRỌNG ĐỂ TÍNH THEO SỰ HÌNH HÀNH VÀ MỞ RỘNG VẾT NỨT

Cấp chống nứt của kết cấu bêtông cốt thép	Tải trọng và hệ số độ tin cậy khi tính toán theo điều kiện			
	Hình thành vết nứt	Mở rộng vết nứt		Khép kín vết nứt
		Ngắn hạn	Dài hạn	
1	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn với $\gamma_f > 1,0$*	–	–	–
2	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn với $\gamma_f > 1,0$* (tính toán để làm rõ sự cần thiết phải kiểm tra theo điều kiện không mở rộng vết nứt ngắn hạn và khép kín chúng)	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn với $\gamma_f = 1,0$*	–	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn với $\gamma_f = 1,0$*
3	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn với $\gamma_f = 1,0$* (tính toán để làm rõ sự cần thiết phải kiểm tra theo điều kiện mở rộng vết nứt)	Như trên	Tải trọng thường xuyên; tải trọng tạm thời dài hạn với $\gamma_f = 1,0$*	–

* Hệ số độ tin cậy được lấy như khi tính toán theo độ bền.

Ghi chú:

Tải trọng đặc biệt phải được kể đến khi tính toán theo điều kiện hình thành vết nứt trong trường hợp sự có mặt của vết nứt dẫn đến tình trạng nguy hiểm (nổ, cháy, v.v...).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 15
CẤP CHỐNG NỨT CỦA KẾT CẤU VÀ GIÁ TRỊ BỀ RỘNG VẾT NỨT GIỚI HẠN ĐỂ ĐẢM BẢO HẠN CHẾ THẤM

Điều kiện làm việc của kết cấu		Cấp chống nứt và giá trị bề rộng vết nứt giới hạn để đảm bảo hạn chế thấm (mm)	
1. Kết cấu chịu áp lực của chất lỏng hoặc hơi	khi toàn bộ tiết diện chịu kéo	Cấp 1*	$a_{crc1} = 0,3$ $a_{crc2} = 0,2$
	khi một phần tiết diện chịu nén	Cấp 3	
2. Kết cấu chịu áp lực của vật liệu rời		Cấp 3	$a_{crc1} = 0,3$ $a_{crc2} = 0,2$
* Cần ưu tiên dùng kết cấu ứng lực trước. Chỉ khi có cơ sở chắc chắn mới cho phép dùng kết cấu không ứng lực trước với cấp chống nứt yêu cầu là cấp 3.			

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 16
CẤP CHỐNG NỨT CỦA KẾT CẤU VÀ GIÁ TRỊ BỀ RỘNG VẾT NỨT GIỚI HẠN NHẰM BẢO VỆ CỐT THÉP

Điều kiện làm việc của kết cấu	Cấp chống nứt và các giá trị a_{crc1} và a_{crc2}, mm		
	Thép thanh nhóm CI, A-I, CII, A-II, CIII, A-III, A-IIIB, CIV A-IV	Thép thanh nhóm A-V, A-VI	Thép thanh nhóm AT-VII
	Thép sợi nhóm B-I và Bp-I	Thép sợi nhóm B-II và Bp-II, K-7, K-19 có đường kính không nhỏ hơn 3,5 mm	Thép sợi nhóm B-II, Bp-II và K-7 có đường kính không lớn hơn 3,0 mm
1. Ở nơi được che phủ	Cấp 3	Cấp 3	Cấp 3
	$a_{crc1} = 0,4$ $a_{crc2} = 0,3$	$a_{crc1} = 0,3$ $a_{crc2} = 0,2$	$a_{crc1} = 0,2$ $a_{crc2} = 0,1$
2. Ở ngoài trời hoặc trong đất, ở trên hoặc dưới mực nước ngầm	Cấp 3	Cấp 3	Cấp 2
	$a_{crc1} = 0,4$ $a_{crc2} = 0,3$	$a_{crc1} = 0,2$ $a_{crc2} = 0,1$	$a_{crc1} = 0,2$
3. Ở trong đất có mực nước ngầm thay thay đổi	Cấp 3	Cấp 2	Cấp 2
	$a_{crc1} = 0,3$ $a_{crc2} = 0,2$	$a_{crc1} = 0,2$	$a_{crc1} = 0,1$

Ghi chú:

1. Ký hiệu nhóm thép xem điều 5.2.1.1 và 5.2.1.9.
2. Đối với thép cáp, các quy định trong bảng này được áp dụng đối với sợi thép ngoài cùng.
3. Đối với kết cấu sử dụng cốt thép dạng thanh nhóm A-V, làm việc ở nơi được che phủ hoặc ngoài trời, khi đã có kinh nghiệm thiết kế và sử dụng các kết cấu đó, thì cho phép tăng giá trị a_{crc1} và a_{crc2} lên 0,1 mm so với các giá trị trong bảng này.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 17
ĐỘ VÕNG GIỚI HẠN CỦA CÁC CẤU KIỆN THÔNG DỤNG

Loại cấu kiện	Giới hạn độ võng
1. Dầm cầu trục với:	
a) cầu trục quay tay	1/500L
b) cầu trục chạy điện	1/600L
2. Sàn có trần phẳng, cấu kiện của mái và tấm tường treo (khi tính tấm tường ngoài mặt phẳng)	
a) khi L < 6 m	(1/200) L
b) khi 6 m ≤ L ≤ 7,5 m	3 cm
c) khi L > 7,5m	(1/250)L
3. Sàn với trần có sườn và cầu thang	
a) khi L < 5 m	(1/200)L
b) khi 5 m ≤ L ≤ 10 m	2,5 cm
c) khi L > 10 m	(1/400)L

Ghi chú:

L là nhịp của dầm hoặc bản kê lên 2 gối; đối với công xôn L = 2L1 với L1 là chiều dài vươn của công xôn.

Chú thích:

1. Khi thiết kế kết cấu có độ vồng trước thì lúc tính toán kiểm tra độ võng cho phép trừ đi độ vồng đó nếu không có những hạn chế gì đặc biệt.

2. Khi chịu tác dụng của tải trọng thường xuyên, tải trọng tạm thời dài hạn và tạm thời ngắn hạn, độ võng của dầm hay bản trong mọi trường hợp không được vượt quá 1/150 nhịp hoặc 1/75 chiều dài vươn của công xôn.

3. Khi độ võng giới hạn không bị ràng buộc bởi yêu cầu về công nghệ sản xuất và cấu tạo mà chỉ bởi yêu cầu về thẩm mỹ, thì để tính toán độ võng chỉ lấy các tải trọng tác dụng dài hạn. Trong trường hợp này lấy $\gamma_f = 1$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 18
GIÁ TRỊ ξ_R ĐỐI VỚI BÊTÔNG NẶNG

Hệ số điều kiện làm việc γ_{b2}	Nhóm cốt thép kéo chịu kéo	$\frac{\sigma_{sp} + \Delta\sigma_{sp}}{R_s}$	Giá trị ξ_R đối với bêtông có cấp độ bền				
			B15	B20	B25	B30	B35
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
0,9	A-IIIв	1,0	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71
		0,8	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66
		0,6	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62
	A-IV	1,4	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62
		1,2	0,67	0,65	0,63	0,60	0,59
		1,0	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55
		0,8	0,61	0,59	0,56	0,54	0,52
		0,6	0,59	0,56	0,54	0,51	0,50
	A-V	1,2	-	0,66	0,64	0,62	0,60
		1,0	-	0,62	0,59	0,57	0,55
		0,8	-	0,58	0,55	0,53	0,51
		0,6	-	0,54	0,52	0,50	0,48
	A-VI	1,2	-	0,67	0,65	0,63	0,61
		1,0	-	0,62	0,59	0,57	0,55
		0,8	-	0,57	0,55	0,53	0,51
		0,6	-	0,53	0,51	0,49	0,47
	K-7 (∅ 12;15)	1,0	-	0,62	0,59	0,57	0,55
	B-II (∅ 5; 6)	0,8	-	0,56	0,53	0,51	0,49
	Bp-II (∅ 4; 5)	0,6	-	0,51	0,48	0,46	0,45
1,0; 1,1	A-IIIв	1,0	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68
		0,8	0,72	0,70	0,67	0,64	0,62
		0,6	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57
	A-IV	1,4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57
		1,2	0,64	0,61	0,57	0,55	0,53
		1,0	0,60	0,57	0,54	0,51	0,49
		0,8	0,57	0,54	0,59	0,48	0,46
		0,6	0,54	0,51	0,48	0,45	0,43

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
	A-V	1,2	-	0,62	0,59	0,56	0,54
		1,0	-	0,57	0,54	0,51	0,49
		0,8	-	0,53	0,49	0,47	0,45
		0,6	-	0,49	0,46	0,43	0,41
	A-VI	1,2	-	0,63	0,60	0,57	0,55
		1,0	-	0,57	0,54	0,51	0,49
		0,8	-	0,54	0,50	0,48	0,44
		0,6	-	0,51	0,48	0,45	0,40
	K-7 (∅ 12; 15)	1,0	-	0,57	0,54	0,51	0,49
	B-II (∅ 5; 6)	0,8	-	0,50	0,47	0,45	0,43
	Bp-II (∅ 4; 5)	0,6	-	0,45	0,42	0,39	0,38
0,9	A-IIIв	1,0	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61
		0,8	0,64	0,62	0,60	0,59	0,56
		0,6	0,60	0,58	0,56	0,5 4	0,52
	A-IV	1,4	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52
		1,2	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49
		1,0	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
		0,8	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43
		0,6	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
	A-V	1,2	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50
		1,0	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
		0,8	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42
		0,6	0,46	0,44	0,42	0,40	0,39
	A-VI	1,2	0,59	0,57	0,54	0,53	0,51
		1,0	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
		0,8	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
		0,6	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37
	K-7 (∅ 12;15)	1,0	0,53	0,51	0,49	0,48	0,45
	B-II (∅ 5; 6)	0,8	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40
	Bp-II (∅ 4; 5)	0,6	0,42	0,40	0,39	0,37	0,35

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1,0; 1,1	A-IIIв	1,0	0,66	0,63	0,62	0,59	0,56
		0,8	0,60	0,57	0,56	0,53	0,50
		0,6	0,55	0,52	0,51	0,48	0,45
	A-IV	1,4	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46
		1,2	0,51	0,48	0,45	0,44	0,42
		1,0	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39
		0,8	0,44	0,41	0,39	0,37	0,36
		0,6	0,41	0,38	0,36	0,34	0,33
	A-V	1,2	0,52	0,49	0,47	0,45	0,42
		1,0	0,47	0,44	0,42	0,37	0,37
		0,8	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34
		0,6	0,39	0,37	0,35	0,32	0,31
	A-VI	1,2	0,53	0,50	0,48	0,46	0,43
		1,0	0,47	0,44	0,42	0,40	0,37
		0,8	0,42	0,41	0,38	0,35	0,33
		0,6	0,38	0,38	0,33	0,32	0,29
	K-7 (∅ 12; 15)	1,0	0,47	0,44	0,42	0,40	0,37
	B-II (∅ 5; 6)	0,8	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32
	Bp-II (∅ 4; 5)	0,6	0,36	0,33	0,31	0,30	0,27

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 19
BẢNG CÁC GIÁ TRỊ ξ, ζ, α_m

ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m
0,01	0,995	0,010	0,26	0,870	0,226	0,51	0,745	0,380
0,02	0,990	0,020	0,27	0,865	0,234	0,52	0,740	0,385
0,03	0,985	0,030	0,28	0,860	0,241	0,53	0,735	0,390
0,04	0,980	0,039	0,29	0,855	0,243	0,54	0,730	0,394
0,05	0,975	0,049	0,30	0,850	0.255	0,55	0,725	0,399
0,06	0,970	0,058	0,31	0,845	0,262	0,56	0,720	0,403
0,07	0,965	0,068	0,32	0,840	0,269	0,57	0,715	0,407
0,08	0,960	0,077	0,33	0,835	0,276	0,58	0,710	0,412
0,09	0,955	0,086	0,34	0,830	0,282	0,59	0,705	0,416
0,10	0,950	0,095	0,35	0,825	0,289	0,60	0,700	0,420
0,11	0,945	0,104	0,36	0,820	0,295	0,62	0,690	0,428
0,12	0,940	0,113	0,37	0,815	0,302	0,64	0,680	0,435
0,13	0,935	0,122	0,38	0,810	0,308	0,66	0,670	0,442
0,14	0,930	0,130	0,39	0,805	0,314	0,68	0,660	0,449
0,15	0,925	0,139	0,40	0,800	0,320	0,70	0,650	0,455
0,16	0,920	0,147	0,41	0,795	0,326	0,72	0,640	0,461
0,17	0,915	0,156	0,42	0,790	0,332	0,74	0,630	0,466
0,18	0,910	0,164	0,43	0,785	0,338	0,76	0,620	0,471
0,19	0,905	0,172	0,44	0,780	0,343	0,78	0,610	0,476
0,20	0,900	0,180	0,45	0,775	0,349	0,80	0,600	0,480
0,21	0,895	0,188	0,46	0,770	0,354	0,85	0,575	0,489
0,22	0,890	0,196	0,47	0,765	0,360	0,90	0,550	0,495
0,23	0,885	0,204	0,48	0,760	0,365	0,95	0,525	0,499
0,24	0,880	0,211	0,49	0,755	0,370	1,00	0,500	0,500
0,25	0,875	0,219	0,50	0,750	0,375	—	—	—

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 20
Bảng các giá trị ω, $\bar{R}_s$, ξ_{el}

Hệ số điều kiện làm việc của bêtông γ_{b2}	Loại cốt thép căng	Ký hiệu	$\frac{\sigma_{sp}}{R_s}$	Giá trị ω, $\bar{R}_s$ và ξ_{el} cho bêtông nặng cấp				
				B15	B20	B25	B30	B35
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
0,9	Bất kỳ	$\frac{\omega}{R_s}$	Bất kỳ	0,788 1761	0,766 1645	0,746 1553	0,726 1471	0,710 1409
	A-IV	ξ_{el}	1,0	0,84	0,82	0,80	0,78	0,77
			0,8	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71
			0,6	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66
			0,4	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62
	A-V		1,0	-	0,83	0,82	0,80	0,79
			0,8	-	0,77	0,75	0,73	0,71
			0,6	-	0,71	0,69	0,66	0,65
			0,4	-	0,66	0,63	0,61	0,60
	A-VI		1,0	-	0,85	0,83	0,82	0,80
			0,8	-	0,77	0,75	0,73	0,71
			0,6	-	0,70	0,68	0,65	0,64
			0,4	-	0,64	0,62	0,59	0,58
	K-7 (ϕ12, ϕ15); B-II (ϕ5, ϕ6); Bp-II (ϕ4, ϕ5)		1,0	-	0,88	0,87	0,85	0,84
			0,8	-	0,77	0,75	0,73	0,71
			0,6	-	0,68	0,65	0,63	0,61
			0,4	-	0,60	0,58	0,56	0,54
1,0; 1,1	bất kỳ	$\frac{\omega}{R_s}$	bất kỳ	0,775 1351	0,750 1254	0,722 1163	0,698 1093	0,698 1042
	A-IV	ξ_{el}	1,0	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75
			0,8	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68
			0,6	0,72	0,69	0,66	0,64	0,62
			0,4	0,67	0,64	0,61	0,69	0,67

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
	A-V	ξ_{el}	1,0	-	0,84	0,82	0,80	0,78
			0,8	-	0,75	0,72	0,70	0,68
			0,6	-	0,68	0,65	0,62	0,60
			0,4	-	0,62	0,59	0,56	0,54
	A-VI		1,0	-	0,86	0,84	0,82	0,80
			0,8	-	0,75	0,72	0,70	0,68
			0,6	-	0,66	0,63	0,61	0,59
			0,4	-	0,60	0,56	0,54	0,52
	K-7 (ϕ9, ϕ12, ϕ15); B-II (ϕ5, ϕ6); Bp-II (ϕ4, ϕ5)		1,0	-	0,91	0,89	0,87	0,86
			0,8	-	0,75	0,72	0,70	0,68
			0,6	-	0,64	0,61	0,58	0,56
			0,4	-	0,56	0,52	0,50	0,48
0,9	Bất kỳ	$\frac{\omega}{R_s}$	Bất kỳ	0,690 1341	0,670 1279	0,650 1220	0,634 1179	0,614 1131
	A-IV	ξ_{el}	1,0	0,75	0,73	0,72	0,71	0,69
			0,8	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63
			0,6	0,64	0,62	0,61	0,60	0,58
			0,4	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52
	A-V		1,0	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72
			0,8	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63
			0,6	0,63	0,61	0,60	0,58	0,57
			0,4	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50
	A-VI		1,0	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74
			0,8	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63
			0,6	0,62	0,59	0,59	0,57	0,56
			0,4	0,56	0,53	0,51	0,50	0,48
	K-7 (ϕ12, ϕ15); B-II (ϕ5, ϕ6); Bp-II (ϕ4, ϕ5)		1,0	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78
			0,8	0,69	0,67	0,60	0,65	0,63
			0,6	0,59	0,57	0,56	0,55	0,53
			0,4	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1,0; 1,1	bất kỳ	$\frac{\omega}{R_s}$	bất kỳ	0,658 995	0,630 935	0,606 889	0,586 855	0,558 811
	A-IV	ξ_{el}	1,0	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67
			0,8	0,66	0,63	0,62	0,60	0,69
			0,6	0,60	0,57	0,56	0,54	0,52
			0,4	0,55	0,52	0,49	0,47	0,45
	A-V		1,0	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70
			0,8	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59
			0,6	0,58	0,55	0,54	0,52	0,51
			0,4	0,52	0,49	0,46	0,45	0,42
	A-VI		1,0	0,79	0,76	0,76	0,74	0,72
			0,8	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59
			0,6	0,57	0,54	0,53	0,51	0,49
			0,4	0,50	0,47	0,44	0,42	0,40
	K-7 (ϕ9, ϕ12, ϕ15); B-II (ϕ5, ϕ6); Bp-II (ϕ4, ϕ5)		1,0	0,84	0,82	0,82	0,80	0,79
			0,8	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59
			0,6	0,54	0,51	0,50	0,48	0,47
			0,4	0,46	0,43	0,41	0,39	0,36

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 21
BẢNG GIÁ TRỊ CỦA HỆ SỐ ϕ_{crc}

φ_f	$\frac{e_{s,tot}}{h_0}$	Hệ số φ_{crc} khi các giá trị $\mu\alpha$ bằng										
		0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
0,0	0,7	-	-	0,11	0,16	0,18	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27
	0,8	-	0,10	0,14	0,17	0,19	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27
	0,9	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31
	1,0	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
	1,1	0,28	0,30	0,30	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41
	1,2	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45
0,1	0,7	-	-	-	-	0,11	0,14	0,17	0,18	0,19	0,21	0,21
	0,8	-	-	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21
	0,9	-	0,12	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26
	1,0	0,18	0,20	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32
	1,1	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37
	1,2	0,31	0,33	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42
0,2	0,7	-	-	-	-	-	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17
	0,8	-	-	-	0,07	0,09	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
	0,9	-	0,10	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23
	1,0	-	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
	1,1	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35
	1,2	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40
0,3	0,7	-	-	-	-	-	-	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
	0,8	-	-	-	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
	0,9	-	-	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21
	1,0	-	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27
	1,1	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33
	1,2	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39
0,4	0,7	-	-	-	-	0,00	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,12
	0,8	-	-	-	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13
	0,9	-	-	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19
	1,0	-	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26
	1,1	-	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32
	1,2	-	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37

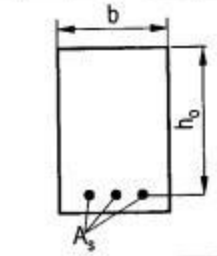
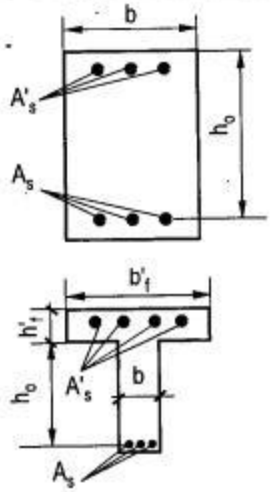
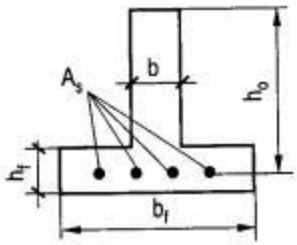
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
0,5	0,8	-	-	-	-	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
	0,9	-	-	-	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18
	1,0	-	-	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25
	1,1	-	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31
	1,2	-	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37
≥ 0,7	0,8	-	-	-	-	-	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
	0,9	-	-	-	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
	1,0	-	-	0,17	0,17	0,18	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,23
	1,1	-	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30
	1,2	-	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36

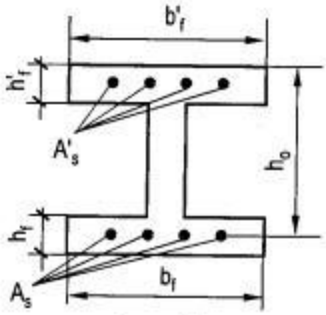
$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \frac{\alpha A'_{sp} + \alpha A'_s}{0,9}}{bh_0}; \quad e_{s,tot} = \frac{M_s}{P_2}; \quad \mu\alpha = \frac{E_s A_{sp} + E_s A'_s}{E_b bh_0}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 22
BẢNG CÁC GIÁ TRỊ λ_{lim}

Tiết diện	φ_f	φ_{ft}	Giá trị λ_{lim} khi giá trị $\mu\alpha$ bằng:					
			0,02	0,04	0,07	0,10	0,15	0,20
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
	0,0	0,0	38 20	14 16	11 13	12 15	15 18	18 20
	0,2	0,0	50 28	17 12	12 9	11 11	13 13	17 15
	0,4	0,0	50 50	21 12	14 8	12 9	13 11	16 13
	0,6	0,0	50 50	27 11	14 8	12 9	13 11	16 13
	0,8	0,0	50 50	38 13	18 9	15 8	13 19	14 11
	1,0	0,0	50 50	50 14	21 9	16 8	14 9	13 10
	0,0	0,2	39 48	24 46	17 50	22 50	25 50	30 50
	0,0	0,4	50 50	26 50	24 50	36 50	50 50	50 50
	0,0	0,6	50 50	27 50	30 50	47 50	50 50	50 50
	0,0	0,8	50 50	27 50	28 50	50 50	50 50	50 50
	0,0	1,0	50 50	27 50	23 50	50 50	50 50	50 50

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
 $A_s = A'_s$	0,2	0,2	50 50	38 17	15 19	15 18	17 20	18 23
	0,4	0,4	50 50	45 42	23 19	16 18	16 21	18 23
	0,6	0,6	50 50	50 50	35 20	18 28	15 21	18 23
	0,8	0,8	50 50	50 50	42 32	30 19	17 21	18 23
	1,0	1,0	50 50	50 50	47 50	33 20	18 22	17 24

Ghi chú:

Giá trị λ_{lim} nằm trên dấu gạch ngang được dùng khi tính toán cấu kiện đặt cốt bằng thép loại AIIIB, A-IV, A-V; dưới dấu gạch ngang - loại A-VI và thép sợi.

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \frac{\alpha A'_{sp} + \alpha A'_s}{2v}}{bh_o}; \quad \varphi_{ft} = \frac{(b_f - b)h_f}{bh_o}; \quad \mu\alpha = \frac{A_{sp} + A_s}{bh_o} \cdot \frac{E_s}{E_b}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 23: BẢNG CÁC GIÁ TRỊ CÁC HỆ SỐ φ_1 VÀ φ_2

Hệ số		Hệ số φ1 khi giỏ trị μα bằng																			Hệ số φ2 khi giỏ trị μα bằng				
φft	φf	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	<0,04	0,04-0,08	0,08-0,15	0,15-0,30	0,30-0,50
Tốc dụng kộo d i của tải trọng																								
0,0	0,0	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,07	0,04	0,00	0,00
0,0	0,2	0,49	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,35	0,31	0,29	0,27	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,09	0,05	0,00	0,00
0,0	0,4	0,52	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17	0,13	0,10	0,06	0,02	0,00
0,0	0,6	0,54	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,39	0,37	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,20	0,13	0,11	0,08	0,02	0,00
0,0	0,8	0,56	0,53	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,14	0,12	0,09	0,04	0,00
0,0	1,0	0,57	0,54	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,15	0,13	0,10	0,06	0,00
0,2	0,0	0,47	0,40	0,36	0,33	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,11	0,10	0,15	0,12	0,08	0,03	0,00
0,4	0,0	-	0,42	0,36	0,33	0,31	0,30	0,28	0,26	0,22	0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,10	0,18	0,16	0,13	0,06	0,02
0,6	0,0	-	0,43	0,37	0,33	0,31	0,30	0,27	0,25	0,22	0,21	0,20	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,20	0,19	0,17	0,09	0,03
0,8	0,0	-	-	0,38	0,33	0,30	0,29	0,27	0,24	0,22	0,21	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,23	0,22	0,20	0,12	0,05
1,0	0,0	-	-	0,40	0;33	0,30	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,25	0,24	0,23	0,14	0,06
0,2	0,2	0,51	0,45	0,43	0,40	0,38	0,37	0,36	0,34	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,16	0,13	0,08	0,04	0,00
0,4	0,4	-	0,53	0,49	0,47	0,45	0,43	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,20	0,19	0,14	0,07	0,03
0,6	0,6	-	-	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,41	0,39	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,20	0,24	0,22	0,20	0,12	0,04
0,8	0,8	-	-	-	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,41	0,39	0,38	0,37	0,34	0,31	0,29	0,26	0,25	0,23	-	0,25	0,24	0,19	0,08
1,0	1,0	-	-	-	0,61	0,53	0,50	0,48	0,45	0,43	0,40	0,39	0,38	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	-	0,26	0,25	0,20	0,12

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Phụ lục 23 (tiếp theo)

Hệ số		Hệ số φ_f khi giá trị $\mu\alpha$ bằng																			Hệ số φ_2 khi giỏ trị $\mu\alpha$ bằng				
φ_{ft}	φ_f	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	<0,04	0,04-0,08	0,08-0,15	0,15-0,30	0,30-0,50
Tác dụng không kéo dài của tải trọng																								
0,0	0,0	0,64	0,59	0,56	0,53	0,51	0,50	0,49	0,46	0,43	0,41	0,40	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,17	0,14	0,09	0,02	0,00
0,0	0,2	0,72	0,66	0,63	0,61	0,59	0,58	0,57	0,56	0,53	0,51	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,21	0,18	0,11	0,03	0,00
0,0	0,4	0,76	0,69	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,56	0,53	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39	0,37	0,23	0,20	0,14	0,04	0,00
0,0	0,6	0,79	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42	0,25	0,21	0,16	0,05	0,00
0,0	0,8	0,82	0,73	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,61	0,58	0,56	0,53	0,50	0,48	0,46	0,26	0,23	0,17	0,06	0,00
0,0	1,0	0,84	0,74	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54	0,52	0,50	0,27	0,24	0,18,	0,07	0,00
0,2	0,0	0,74	0,60	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,28	0,23	0,16	0,07	0,00
0,4	0,0	-	0,63	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,35	0,31	0,25	0,14	0,03
0,6	0,0	-	0,81	0,59	0,54	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,36	0,39	0,32	0,20	0,08
0,8	0,0	-	-	0,63	0,55	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,45	0,40	0,38	0,25	0,12
1,0	0,0	-	-	0,84	0,57	0,52	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,50	0,46	0,44	0,29	0,15
0,2	0,2	0,79	0,67	0,63	0,61	0,59	0,58	0,56	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,27	0,24	0,17	0,08	0,00
0,4	0,4	-	0,77	0,69	0,66	0,64	0,62	0,61	0,58	0,56	0,55	0,54	0,52	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,37	0,39	0,37	0,30	0,16	0,04
0,6	0,6	-	-	0,76	0,70	0,67	0,65	0,64	0,61	0,58	0,57	0,56	0,55	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41	0,50	0,46	0,44	0,28	0,11
0,8	0,8	-	-	-	0,76	0,71	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,58	0,57	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	-	0,60	0,57	0,41	0,21
1,0	1,0	-	-	-	0,92	0,76	0,71	0,69	0,66	0,63	0,61	0,60	0,58	0,57	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	-	0,72	0,70	0,55	0,31

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f + \frac{\alpha A'_{sp} + \alpha A'_s}{2\nu}}{bh_o}; \quad \varphi_{ft} = \frac{(b_f - b)h_f}{bh_o}; \quad \mu\alpha = \frac{E_s A_{sp} + E_s A_s}{bh_o E_b}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PHỤ LỤC 24 : BẢNG CÁC GIÁ TRỊ CỦA HỆ SỐ φ_3

φ_{ft}	φ_f	Hệ số φ_3 với $\mu\alpha$ bằng:																	
		0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
		Tác dụng kéo dài của tải trọng																	
0,0	0,0	1,12	1,08	0,99	0,91	0,87	0,83	0,79	0,75	0,70	0,66	0,63	0,59	0,54	0,50	0,47	0,45	0,42	0,41
0,0	0,2	1,19	1,14	1,07	0,99	0,95	0,88	0,84	0,79	0,74	0,69	0,66	0,62	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42
0,0	0,4	1,25	1,19	1,15	1,07	0,99	0,93	0,89	0,84	0,79	0,73	0,69	0,65	0,61	0,57	0,54	0,49	0,46	0,43
0,0	0,6	1,29	1,24	1,20	1,12	1,05	0,97	0,93	0,89	0,83	0,77	0,73	0,69	0,65	0,60	0,57	0,52	0,47	0,44
0,0	0,8	1,32	1,27	1,23	1,15	1,09	1,02	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,72	0,68	0,63	0,59	0,54	0,49	0,45
0,0	1,0	1,34	1,30	1,25	1,19	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,80	0,74	0,70	0,65	0,61	0,56	0,51	0,46
0,2	0,0	1,20	1,10	1,00	0,92	0,88	0,84	0,80	0,77	0,73	0,70	0,66	0,62	0,56	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42
0,4	0,0	-	1,14	1,02	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,76	0,72	0,69	0,64	0,58	0,54	0,50	0,47	0,45	0,43
0,6	0,0	-	1,18	1,06	0,98	0,94	0,90	0,87	0,83	0,79	0,75	0,71	0,66	0,59	0,55	0,51	0,48	0,46	0,44
0,8	0,0	-	-	1,08	1,02	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,77	0,73	0,68	0,61	0,56	0,52	0,49	0,47	0,45
1,0	0,0	-	-	1,13	1,05	0,99	0,95	0,92	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,63	0,58	0,54	0,50	0,48	0,46
0,2	0,2	1,38	1,21	1,08	0,97	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,71	0,66	0,62	0,57	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41
0,4	0,4	-	1,40	1,26	1,17	1,08	0,99	0,90	0,84	0,78	0,73	0,68	0,64	0,59	0,55	0,51	0,48	0,45	0,43
0,6	0,6	-	-	1,39	1,28	1,19	1,10	0,99	0,91	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,57	0,53	0,50	0,48	0,45
0,8	0,8	-	-	-	1,39	1,29	1,19	1,08	0,98	0,87	0,81	0,76	0,71	0,65	0,59	0,55	0,52	0,50	0,47
1,0	1,0	-	-	-	1,51	1,41	1,30	1,19	1,06	0,94	0,87	0,82	0,76	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52	0,49

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Phụ lục 24 (tiếp theo)

φ_{ft}	φ_f	Hệ số φ_3 với $\mu\alpha$ bằng:																	
		0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
		Tác dụng không kéo dài của tải trọng																	
0,0	0,0	1,15	1,11	1,07	1,04	1,01	0,99	0,97	0,94	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,78	0,75	0,73	0,70	0,68
0,0	0,2	1,17	1,14	1,09	1,06	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77	0,74	0,72
0,0	0,4	1,19	1,16	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	0,98	0,95	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76
0,0	0,6	1,20	1,17	1,12	1,09	1,07	1,05	1,03	1,00	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79
0,0	0,8	1,21	1,18	1,13	1,10	1,08	1,06	1,04	1,02	0,99	0,97	0,96	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81
0,0	1,0	1,23	1,19	1,14	1,11	1,09	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,97	0,95	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83
0,2	0,0	1,19	1,16	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	0,97	0,93	0,91	0,88	0,86	0,82	0,78	0,75	0,73	0,70	0,68
0,4	0,0	-	1,22	1,19	1,15	1,11	1,07	1,04	0,99	0,95	0,92	0,90	0,87	0,83	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69
0,6	0,0	-	1,27	1,24	1,20	1,16	1,12	1,08	1,03	0,98	0,94	0,92	0,88	0,84	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69
0,8	0,0	-	-	1,31	1,26	1,22	1,16	1,12	1,06	1,00	0,97	0,94	0,90	0,85	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70
1,0	0,0	-	-	1,35	1,31	1,27	1,21	1,17	1,10	1,02	0,99	0,96	0,92	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72	0,70
0,2	0,2	1,28	1,21	1,14	1,10	1,07	1,04	1,02	0,99	0,95	0,93	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74
0,4	0,4	-	1,29	1,22	1,16	1,12	1,09	1,07	1,03	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,79
0,6	0,6	-	-	1,30	1,23	1,18	1,14	1,11	1,07	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
0,8	0,8	-	-	-	1,28	1,23	1,19	1,15	1,10	1,06	1,03	1,01	0,99	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,85
1,0	1,0	-	-	-	1,34	1,29	1,23	1,19	1,14	1,08	1,06	1,04	1,01	0,98	0,95	0,92	0,90	0,88	0,87

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCXDVN 356 : 2005 : Kết cấu bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2005.

[2] Bộ Xây dựng. *Kết cấu bê tông ứng suất trước - Chỉ dẫn thiết kế theo TCXDVN 356 : 2005.* NXB Xây dựng, Hà Nội, 2010. Nguyễn Tiến Chương chủ biên.

[3] Bộ Xây dựng. *Báo cáo kết quả đề tài KHCN "Ứng dụng công nghệ bê tông ứng lực trước cho sàn nhà và silô - P01.96".* Hà Nội, 1998. Nguyễn Tiến Chương chủ trì.

[4] Bộ Xây dựng. *Báo cáo kết quả đề tài KHCN "Dầm sàn bê tông ứng lực trước không bám dính".* Hà Nội, 2005. Nguyễn Tiến Chương chủ trì.

[5] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Cống. *Kết cấu bê tông cốt thép.* Nhà XB KHKT, Hà Nội, 2006.

[6] СНиП 2.03.01 – 84: *Бетонные и железобетонные конструкции.* ЦПП, Москва, 1998.

[7] ПОСОБИЕ по проектированию предварительно-напряженных железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов (к СНиП 2.03.01 – 84). ЦИТП, Москва, 1988.

[8] Бондаренко В. М., Суворкин Д. Г.: *Железобетонные и каменные конструкции. Изд.* "Высшая школа", Москва, 1987.

[9] Михаилов В. В. : *Предварительно-напряженные железобетонные конструкции.* Строиздат, Москва, 1978.

[10] Маноилов Л. : Стоманобетон. Изд. "ТЕХНИКА" , София, 1977.

[11] BS 8110 - 1997: *Structural use of concrete - Part 1: Code of practice for design and construction.* British Standard, British Standards Institution.

[12] ACI 318 – 2002M: *Building Code Requirements for Structural Concrete.* American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2002.

[13] EC02: *Design of Concrete Structures - Part 1: General Rules and Rules for Buildings.* ENV, 2002.

[14] CEB – FIP: Model Code – 1990. Thomas Telford, 1993.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

[15] AASHTO LRFD – 1998: *Bridge Design Spcifications.*

[16] PCI Handbook – 2002. PCI, 2002.

[17] Lin T.Y., Burn N.H.: *Design of Prestressed Concrete Structures.* John Wiley & Sons, 1981.

[18] Macgregor J. G.: *Reinforced Concrete Mechanics and Design (3rd ed.).* Prentice Hall, 1997.

[19] Nawy E. G. : *Prestressed Concrete – A Fundamental Approach (4^{th} ed.).* Prentice Hall, 2002.

[20] Kong F.K., Evans R.H.: *Concrete and Prestressed Structures (3^{rd} ed.).* Chapman & Hall, 1995.

[21] Martin L.H., Jurkiss J.A.: *Concrete design to EN 1992 (2^{nd} ed.).* ELSEVIERl, 2006.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Thuật ngữ, đơn vị và ký hiệu	5
Mở đầu	11
Chương 1. Khái niệm cơ bản	
1.1. Khái niệm về kết cấu bêtông ứng suất trước	19
1.2. Phân loại bêtông ứng suất trước	24
1.3. Các phương pháp căng cốt thép	28
1.4. Neo cốt thép căng	30
Chương 2. Vật liệu và cấu tạo bêtông ứng suất trước	
2.1. Khái quát chung về sử dụng vật liệu	38
2.2. Bêtông	40
2.3. Cốt thép	55
2.4. Cấu tạo bêtông ứng suất trước	65
Chương 3. Ứng suất trước và tổn hao ứng suất trước	
3.1. Khái quát chung	75
3.2. Ứng suất trước trong cốt thép căng	76
3.3. Ứng suất trước trong bêtông	77
3.4. Tổn hao ứng suất trước	81
3.5. Ví dụ tính toán	91
Chương 4. Phương pháp tính toán kết cấu bêtông ứng suất trước theo trạng thái giới hạn	
4.1. Trạng thái ứng suất của cấu kiện chịu uốn	103
4.2. Phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn	107
4.3. Tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất	115
4.4. Tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai	121
Chương 5. Cấu kiện chịu uốn – tính toán cường độ theo tiết diện thẳng góc	
5.1. Mở đầu	125

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

5.2. Cấu kiện có tiết diện đối xứng chịu uốn phẳng 126
5.3. Cấu kiện có tiết diện chữ nhật 129
5.4. Cấu kiện cể tiết diện chữ T và chữ I 138
5.5. Trường hợp tổng quát 146

Chương 6. Cấu kiện chịu uốn – tính toán cường độ theo tiết diện nghiêng
6.1. Khái quát chung 153
6.2. Tính toán cường độ theo các dải nén xiên 155
6.3. Tính toán tiết diện nghiấng theo lực cắt 156
6.4. Tính toán tiết diện nghiấng chịu mômen uốn 165
6.5. Khoảng cách lớn nhất của cốt ngang 169
6.6. Ví dụ tính toán 170

Chương 7. Cấu kiện chịu nén - tính toán theo cường độ
7.1. Khái quát chung 182
7.2. Ảnh hưởng của uốn dọc 183
7.3. Cấu kiện có tiết diện chữ nhật và tiết diện chữ I cốt thép đối xứng 185
7.4. Cấu kiện cể tiết diện vành khuyên 192
7.5. Cấu kiện chịu lực nén trước 196

Chương 8. Cấu kiện chịu kéo – tính toán theo cường độ
8.1. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm 203
8.2. Cấu kiện tiết diện chữ nhật khi lực dọc đặt trong mặt phẳng đối xứng 203
8.3. Trường hợp tổng quát tính toán tiết diện thẳng góc của cấu kiện chịu kéo lệch tâm 206
8.4. Tính toán theo tiết diện nghiêng đối với trường hợp cấu kiện chịu kéo 207
8.5. Ví dụ tính toán 208

Chương 9. Tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước theo sự hình thành, mở rộng và khép kín vết nứt
9.1. Khái quát chung 214
9.2. Tính toán theo sự hình thành vết nứt 215
9.3. Tính toán theo sự mở rộng vết nứt. 237
9.4. Tính toán theo sự khép kín vết nứt 262

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Chương 10. Tính toán cấu kiện bêtông ứng suất trước theo biến dạng 266

10.1. Khái quát chung 266

10.2. Tính toán độ cong của cấu kiện tại đoạn không nứt 269

10.3. Tính toán độ cong của cấu kiện tại đoạn có vết nứt trong vùng kéo 278

10.4. Tính toán độ võng của cấu kiện 282

10.5. Phương pháp gần đúng tính biến dạng của cấu kiện bêtông ứng suất trước 286

10.6. Ví dụ tính toán 294

Phụ lục 331

Tài liệu tham khảo 335

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

KẾT CẤU BÊTÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Trịnh Xuân Sơn

Biên tập:	TẠ HẢI PHONG
Chế bản:	TRẦN KIM ANH
Sửa bản in:	TẠ HẢI PHONG
Vẽ bìa:	VŨ BÌNH MINH

In 500 cuốn khổ 19 × 27cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng kí kế hoạch xuất bản số 345-2010/CXB/15-29/XD ngày 13/4/2010. Quyết định xuất bản số 416/QĐ-XBXD ngày 20/12/2010. In xong và nộp lưu chiểu tháng 12-2010.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org