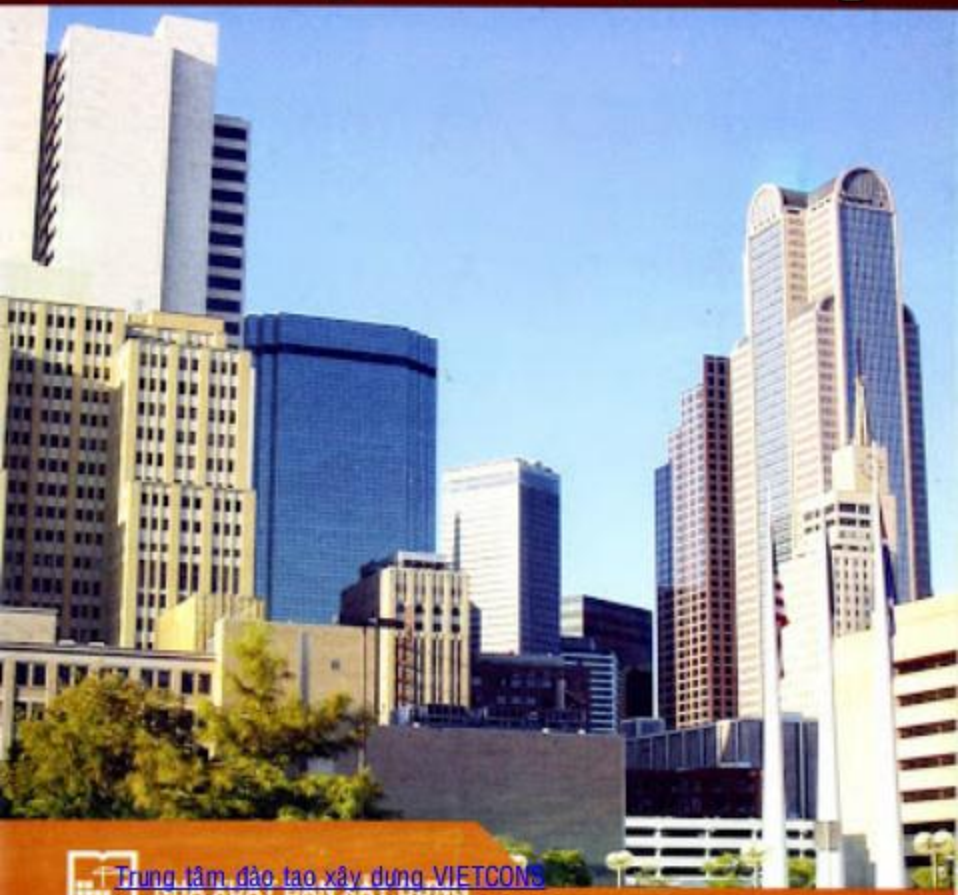
VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

Chủ biên: PGS. TS. NGUYỄN VIẾT TRUNG
TS. NGUYỄN NGỌC LONG
ThS. PHẠM DUY ANH

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

Bê tông cốt sợi thép



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

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

PGS. TS. NGUYỄN VIẾT TRUNG *(Chủ biên)*
TS. NGUYỄN NGỌC LONG - ThS. PHẠM DUY ANH

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

(Tái bản)

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2010

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

MỞ ĐẦU

Trong điều kiện công nghệ, vật liệu xây dựng và điều kiện môi trường ở Việt Nam hiện nay, nhiều công trình hoặc bộ phận kết cấu đã phát sinh vết nứt ngay trong giai đoạn thi công hoặc chỉ sau một thời gian sử dụng ngắn. Như vậy có một nhu cầu rất quan trọng là phòng tránh và xử lí các dạng vết nứt phát sinh trong quá trình thi công và khai thác các công trình bê tông cốt thép. Có rất nhiều nguyên nhân gây ra vết nứt đối với các cấu kiện bê tông như do cường độ chịu kéo kém của bê tông, co ngót, từ biến hoặc tại các vị trí đặc biệt trong kết cấu chịu ứng suất rất phức tạp làm cho vật liệu bê tông thông thường không đủ khả năng chịu lực, ví dụ như bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép, ụ neo cáp của cầu dây văng; các mối nối quan trọng giữa các đốt lầm trong các cầu ứng dụng công nghệ đúc hẫng hoặc lắp hẫng...

Để giải quyết vấn đề này, người ta đã sử dụng rất nhiều biện pháp như căng kéo cốt thép dự ứng lực, dùng các chất phụ gia chống co ngót, hay bố trí các loại cốt thép đặc biệt tại các vị trí cần thiết..., tuy nhiên các giải pháp này không phải trường hợp nào cũng có thể phát huy được tác dụng của nó. Bên cạnh đó các nhà khoa học còn tìm các giải pháp để tăng cường khả năng chịu lực của bê tông thông qua việc thay đổi một số tính chất của vật liệu này như cho thêm vào bê tông một số cốt liệu muội silic, các loại sợi...

Trong các giải pháp trên, giải pháp tăng cường bê tông bằng các vật liệu dạng sợi là một ý tưởng được các nhà nghiên cứu quan tâm trên thế giới. Riêng đối với ngành xây dựng dân dụng nói chung hay ngành xây dựng cầu đường nói riêng ở Việt Nam thì đây là một vấn đề khá mới mẻ.

Sợi được dùng để gia cường bê tông có rất nhiều loại như sợi thép, sợi cacbon, sợi thuỷ tinh, sợi chất dẻo, sợi thực vật... trong đó sợi thép là một chọn lựa khá hợp lí vì giá thành rẻ hơn so với sợi cacbon, sợi thuỷ tinh và khả năng chịu lực lớn hơn so với sợi chất dẻo, sợi thực vật.

Bên cạnh đó, bê tông và thép là hai loại vật liệu đã được ứng dụng rất rộng rãi, khả năng làm việc chung với nhau của chúng rất hợp lí và đã được nghiên cứu khá đầy đủ. Sợi thép có thể thay thế phần nào các thanh cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép và đem lại một số tính chất ưu việt. Cuốn sách này chỉ giới thiệu về bê tông cốt sợi thép là dạng bê tông cốt sợi có triển vọng áp dụng rộng rãi nhất.

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

Chương 1
CẤU TẠO CHUNG CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI

Việc dùng sợi để tăng cường khả năng chịu lực cho bê tông xi măng là một ý tưởng được đề ra từ rất lâu. Bê tông cốt sợi đã được bắt đầu nghiên cứu từ đầu những năm 1960. Ngày nay các dạng kết cấu như: dầm, bản, vỏ bằng bê tông xi măng hoặc bê tông cốt thép có gia cường bằng sợi thép nhỏ, sợi polyme, sợi thủy tinh bền kiềm, sợi cacbon, sợi gỗ, sợi thực vật đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi trên thế giới cũng như bước đầu được quan tâm ở nước ta.

1.1. CÁC ỨNG DỤNG CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Mặc dù có nhiều ưu điểm nhưng trong một số trường hợp, bê tông cốt sợi thép không thể thay thế hoàn toàn bê tông cốt thép thường, ví dụ như trong trường hợp chịu ứng suất kéo lớn. Bê tông cốt sợi thép cũng không thể thay thế được bê tông cốt thép dự ứng lực nhưng lại có thể kết hợp để tạo thành kết cấu bê tông cốt thép dự ứng lực pha sợi thép với những tính năng chịu lực đặc biệt.

Việc sử dụng cốt thép sợi sẽ làm cải thiện đáng kể các đặc tính chịu lực của bê tông. Trong những trường hợp có yêu cầu riêng về độ ổn định, về hạn chế sử dụng cốt thép hoặc những công trình cần phải gia cường (ví dụ bê tông phun làm vỏ hầm, vỏ tầu thuỷ), bê tông cốt sợi thép có thể là một giải pháp hợp lý.

Những ưu điểm khác của bê tông cốt sợi thép:

+ Giảm biến dạng do từ biến và biến dạng do co ngót.

+ Tăng khả năng chống cắt.

+ Cải thiện vấn đề nứt.

Ngoài ra, bê tông cốt sợi thép sẽ là sự chọn lựa rất hợp lí khi ứng dụng cho các cấu kiện chịu lực tập trung lớn.

Cộng hoà Liên bang Đức là nước có rất nhiều dự án đã và đang sử dụng bê tông cốt sợi thép từ năm 1989 (đã sản xuất và sử dụng 1.000 - 1.200 tấn bê tông cốt sợi thép). Cho đến nay, Đức là nước sản xuất và sử dụng phần lớn loại vật liệu này. Với số lượng lớn và các công trình nghiên cứu về các dự án xây dựng, các nước thuộc Scandinavia như Na Uy, Thụy Điển đã là những nước đi tiên phong trong việc sử dụng loại vật liệu này, đồng thời giữ vai trò quan trọng trong lĩnh vực này.

Bê tông cốt sợi thép cũng đã được sử dụng ở các nước Tây Âu từ cuối những năm 70. Tuy nhiên, cho đến nay Mỹ và Nhật Bản mới là những nước đi tiên phong trong việc sử dụng rộng rãi loại bê tông này.

1.1.1. Tổng quan về sử dụng bê tông cốt sợi thép trong ngành công trình

1.1.1.1. Kết cấu và cấu kiện đúc sẵn

Bê tông cốt sợi thép là một giải pháp hợp lý đối với nhiều dạng kết cấu.

Có thể ứng dụng cả hai loại vật liệu:

+ Gia cường bê tông bằng sợi thép;

+ Gia cường bê tông kết hợp sợi thép và cốt thép thanh.

Cho dù là dùng loại vật liệu nào thì kết quả đạt được đều rất khả quan. Và việc ứng dụng cốt sợi thép để gia cường bê tông đã đưa giải pháp cho nhiều trường hợp.

+ Có tải trọng gây uốn diện tích không lớn;

+ Những chỗ không thể phân bố co ngót hoặc bố trí cốt thép.

Bê tông cốt sợi thép đã được ứng dụng để sản xuất nhiều dạng cấu kiện như :

+ Cấu kiện thanh đúc sẵn.

+ Ống đúc sẵn.

+ Vỏ garage.

+ Tường bê tông đúc sẵn.

Sử dụng bê tông cốt sợi thép cho các cấu kiện trên dẫn đến việc giảm đáng kể cốt thép, đồng thời đáp ứng đủ các yêu cầu về gia cường cấu kiện khi chịu các ứng suất lớn nhất.

Các cấu kiện được đúc trong xưởng, tránh được sự ảnh hưởng của thời tiết, cùng với sự giám sát chặt chẽ quá trình sản xuất nên tạo được khả năng sử dụng lý tưởng của bê tông cốt sợi thép.

Những ưu điểm của bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp với việc sản xuất các tấm mỏng, các cấu kiện nhỏ và vừa.

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

Ứng dụng bê tông cốt sợi thép đã làm giảm kích thước cấu kiện dẫn đến giảm khối lượng các cấu kiện trên.

Bê tông cốt sợi thép có cường độ sớm lớn nên rất phù hợp với quá trình sản xuất hàng loạt.

Bê tông cốt sợi thép có khả năng chống cắt lớn nên có thể giảm hoặc thậm chí loại bỏ cốt xiên trong các cấu kiện không chịu lực lớn.

Gia cường cốt sợi thép trong bê tông đã làm tăng độ bền của bê tông cốt sợi thép.

Giảm co ngót và giảm nứt đáng kể nên bảo vệ cốt thép tốt hơn khi chịu tác động của điều kiện môi trường.

Giảm các thanh thép ở các vùng chịu trọng tải tập trung dẫn đến tiết kiệm thời gian và tiền bạc cho các kết cấu cốt thép phức tạp.

1.1.1.2. Kết cấu mặt đường và tấm sàn công nghiệp

Khi sử dụng bê tông cốt sợi thép cho loại kết cấu này, cốt thép thanh thông thường chỉ cần thiết khi khoảng cách giữa các dầm quá lớn hay tấm sàn chịu ứng suất lớn.

Khi sử dụng bê tông cốt sợi thép do không phải đặt các lưới cốt thép nên có thể giảm thiểu chiều dày lớp bê tông bảo vệ, dẫn đến chiều dày tấm bản có thể giảm đi đáng kể so với kết cấu bê tông cốt thép thường. Sử dụng bê tông cốt sợi thép thì độ dày trung bình của tấm sàn từ 15 - 25 cm. Với diện tích sử dụng lớn, chịu được cả tác động của tải trọng rất lớn vì thế đã được ứng dụng rộng rãi để làm các tấm sàn cho các bãi chứa hàng, bãi chứa container hạng nặng có sử dụng các loại xe vận chuyển và cần cẩu hạng nặng.

Để giảm hiện tượng nứt trong các tấm sàn gây ra bởi sự thay đổi thời tiết chẳng hạn thì phải dùng một lượng tương đối lớn cốt thép, nhưng nếu sử dụng bê tông cốt sợi thép thì các vấn đề này đã được giải quyết ổn thoả.

Với những đặc tính cơ học đặc biệt: độ nhám, khả năng chống va chạm và khả năng chống ăn mòn bề mặt, bê tông cốt sợi thép đưa ra một giải pháp thực tế hơn so với bê tông cốt thép.

Khả năng chống va chạm, chống ăn mòn bề mặt đang được khai thác trong việc thi công, xây dựng sàn bê tông. Mặc dù chịu tác động của nhiệt độ, biến dạng do co ngót và tải trọng của các phương tiện vận tải lớn, những sàn bê tông có sử dụng bê tông cốt sợi thép trong một số công trình đã không xuất hiện bất cứ hiện tượng nứt nào sau khoảng gần một năm sử dụng.

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

Bê tông cốt sợi thép cũng có nhiều ưu điểm để bảo vệ cạnh của các tấm sàn khi có tải trọng tập trung, tấm sàn làm bằng bê tông có thể nứt trong trường hợp này.

1.1.1.3. Móng chịu tác dụng của tải trọng động

Trong hầu hết các vật liệu xây dựng thì khả năng chịu tải trọng động nhỏ hơn khả năng chịu tĩnh tải. Với khả năng chống va chạm và đặc tính biến dạng cao, bê tông cốt sợi thép có nhiều ưu điểm khi sử dụng để thi công các móng chịu tác động của tải trọng động.

1.1.1.4. Đường ống bằng bê tông cốt sợi thép

- Từ những năm 70, những đường ống có đường kính 1000 - 1500 mm sản xuất hàng loạt tại Hungary. Gia cường sợi thép có thể giảm các vết nứt sinh ra do ảnh hưởng của nhiệt độ và co ngót.

- Các ưu điểm của bê tông cốt sợi thép được khai thác, sử dụng là:

+ Cường độ sớm cao;

+ Cải thiện khả năng chịu uốn;

+ Không cần sử dụng cốt thép;

+ Giảm lỗi chế tạo.

- Khả năng chống phá hoại bề mặt và độ bền kéo của bê tông cốt sợi thép đã được dùng để sửa chữa và bảo dưỡng kết cấu.

1.1.1.5. Ổn định mái dốc

Như chúng ta đã biết, khi sử dụng tường chắn xây dựng bằng đá trong một thời gian lâu dài, dưới tác động của môi trường và điều kiện tự nhiên sẽ dẫn đến hiện tượng phong hóa.

Vấn đề đặt ra ở đây là tường chắn phải luôn ổn định và bền vững trong các trường hợp chịu tác động của môi trường và như vậy đòi hỏi phải sử dụng một loại vật liệu có khả năng chịu lực hợp lí và đồng thời phải có độ bền cao.

Chính vì lí do đó, bê tông cốt sợi thép đã và đang được dùng cho ổn định mái dốc và nó được chứng minh là một giải pháp khả thi cả về kỹ thuật lẫn kinh tế.

Khi ứng dụng bê tông cốt sợi thép cho loại kết cấu này, người ta thấy rằng bê tông cốt sợi thép thực sự thuận lợi cho mọi địa hình thi công.

Ngoài ra, bê tông cốt sợi thép còn làm cho tăng độ dính bám, liên kết giữa bê tông và đá.

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

- Khả năng chống va chạm và chống phá huỷ bề mặt cao làm cho bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp để bảo vệ đá khỏi sự ảnh hưởng của nước mưa, lũ đồng thời tăng tính liền khối và giảm sự phong hoá của đá.

1.1.2. Dùng bê tông cốt sợi thép trong việc sửa chữa và gia cố công trình

Mọi công trình đều chịu các tác động của điều kiện môi trường và các tác nhân bên ngoài như :

- Tác động cơ học tự nhiên
- Tuổi thọ công trình
- Điều kiện môi trường
- Điều kiện sử dụng thay đổi dẫn đến thay đổi về tải trọng công trình. Do đó, các công trình có thể bị phá hoại và hư hỏng.

Những tác động này cần phải được tính toán và dự đoán nhằm có biện pháp tăng cường và sửa chữa hợp lí.

Bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp cho công việc duy tu và sửa chữa các công trình. Có thể ứng dụng dưới hai dạng:

- Bê tông phun.
- Bê tông thông thường.

Bê tông phun sử dụng cốt sợi có ưu điểm về chất lượng, tiết kiệm nguyên liệu, đảm bảo tốc độ phụt cao, dễ dàng an toàn trong thi công.

Đồng thời bê tông cốt sợi thép cũng có thể dùng kết hợp với bê tông cốt thép thông thường để duy tu, sửa chữa trong trường hợp cần thiết.

Bên cạnh đó, do sử dụng cốt sợi thép nên loại vật liệu này vừa mạng tính chất của bê tông cốt thép thông thường, tức là vật liệu có cốt, đồng thời lại có những tính chất rất đặc biệt và dễ dàng sử dụng trong quá trình duy tu và sửa chữa và giúp cho công việc này được thi công đơn giản hơn.

Với lí do đó, việc ứng dụng bê tông cốt sợi thép trong duy tu và sửa chữa sẽ giúp cho chất lượng công trình đảm bảo, giá thành công trình hạ (do biện pháp thi công đơn giản hơn rất nhiều).

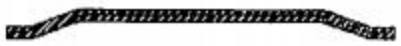
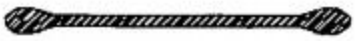
1.2. CÁC LOẠI SỢI

1.2.1. Sợi thép

Sợi thép được sản xuất từ thép cacbon hay thép không gỉ, cường độ chịu kéo trong khoảng 345 - 1380 MPa. môđun đàn hồi khoảng 200 GPa, tiết diện sợi thép có thể là tròn, vuông, chiều dài sợi thép thường nhỏ hơn 75mm. Tỉ số chiều dài sợi trên đường kính sợi từ 30 - 100 thường hay sử dụng để gia cường cho bê tông xi măng.

Sợi thép nhỏ hạn chế được tính giòn và đã gia tăng tính dẻo dai của bê tông xi măng đã được sử dụng để sản xuất các tấm sàn phẳng cho sân bã: và các lớp mặt trong đường hầm.

Một số loại sợi thép được sử dụng trên thế giới

Hình dạng sợi	Công nghệ chế tạo	Công ty sản xuất	Tên sợi
	Cán hay dập bằng máy	Trefil ARBED	Wirex Eurosteel
	Cắt hoặc bào từ phôi thép	Australien Wire	Fibresteel
	Cán hay dập bằng máy	Bekaert	Dramix
	Cán hay dập bằng máy	National-standard	Duoform
	Cán hay nghiền bằng máy	Harex Stahlfaser-technik	Harex
	Cán hay dập bằng máy	Stax	
	Cắt và xoắn bằng máy	National-standard	Melt-extracted
	Cán hay dập bằng máy	Thibo	
	Cắt hoặc bào từ phôi thép	US - Steel	Steel sheet fibres

Đầu tiên các nhà khoa học chỉ dùng những sợi thép nhỏ và thẳng để tăng khả năng chịu uốn và chống nứt cho bê tông.

Shah và Rangan đã nghiên cứu bê tông sợi thép nhỏ với đường kính 0,25 - 075 mm, để chế tạo cấp phối hỗn hợp bê tông dẻo. Lượng sợi sử dụng và tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi của sợi thép thẳng là yếu tố chính để thí nghiệm kiểm tra các tính chất của bê tông cốt sợi thép. Khối lượng sợi thép dùng trong khoảng từ 90 - 120 kg/m^3 bê tông. Với mật độ sợi cao, khó khăn chính gặp phải là sợi sẽ cuộn lại thành cục trong quá trình trộn, nhất là khi dùng sợi dài.

Việc sử dụng sợi thép làm cho độ dẻo của hỗn hợp bê tông giảm. Khuynh hướng này ảnh hưởng đến chất lượng của bê tông, đặc biệt, với một số lượng cao. Để khắc phục hiện tượng này Ramakrishman và các cộng sự của ông đã dùng các loại phụ gia dẻo giảm nước cho với một lượng nhỏ để điều chỉnh tính dẻo của hỗn hợp bê tông.

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

1.2.2. Sợi thuỷ tinh

Sợi thủy tinh được sử dụng chủ yếu để sản xuất các tấm bê tông phẳng cốt sợi. Những loại sợi thủy tinh E sử dụng trong bê tông đều bị phân hủy trong môi trường kiềm của xi măng poóclăng. Chính vì vậy, một loại sợi thủy tinh bền kiềm được sản xuất để thay thế có sợi thủy tinh E trong bê tông cốt sợi thủy tinh.

1.2.3. Sợi tổng hợp polyme

Sợi tổng hợp polyme được sản xuất từ các sản phẩm của công nghệ dầu mỏ và công nghệ dệt. Những loại sợi polyme đã sử dụng với vật liệu nền xi măng gồm: acrylic, aramid, nylon, polyester, polyethylen và polypropylen.

Chúng có cường độ chịu kéo cao, nhưng hầu hết các sợi này có môđun đàn hồi thấp. Đường kính của sợi rất nhỏ nên tỉ số chiều dài trên đường kính sợi là cao, như vậy, chúng rất có ích đối với sự gia cường bê tông.

Những thuận lợi của các loại sợi polyme là khả năng bền trong môi trường kiềm của xi măng. Tuy nhiên, bất lợi là môđun đàn hồi thấp, tính bám dính với vật liệu nền kém, nhạy cảm với bức xạ mặt trời và bị oxy hóa.

Hạn chế cơ bản của các loại sợi này là giá thành cao hơn so với một số sợi khác.

Các tác giả Balaguru, Bohra, Khajuria đã nghiên cứu độ bền sau 10 năm của các tấm xi măng gia cường bằng các sợi polypropylen, nylon, polyester. Mẫu thử được chế tạo với sợi có độ dài 19 mm, hàm lượng xi măng 307 kg/m^3 và tỉ số N/X 0,57, bảo dưỡng sau 28 ngày và sau đó thử độ bền theo các chu kỳ 0; 4; 8; 16; 32; 52 tuần lễ, điều kiện mẫu thử ngâm trong nước vôi bão hòa ở nhiệt độ 50°C. Cường độ chịu uốn tối đa của bê tông cốt sợi tổng hợp theo các chu kỳ thử độ bền, được giới thiệu trong bảng 1.1.

Bảng 1.1

Chu kỳ thử (tuần lễ)	Cường độ chịu uốn tối đa (psi)		
	Nylon	Polypropylen	Polyester
0	313	262	450
4	309	274	282
8	438	381	356
16	350	431	378
32	406	400	456
52	543	444	481

Như vậy sau khi thí nghiệm cường độ của bê tông với các loại cốt sợi khác nhau đều tăng.

1.2.4. Sợi cacbon

Sợi cacbon có giá thành cao hơn sợi polyme nên việc sử dụng chúng để gia cường cho vật liệu nền xi măng bị hạn chế. Sợi cacbon có môđun đàn hồi cao như sợi thép, chúng rất nhẹ, tỉ trọng khoảng 1,9 và đặc biệt là bền vững trong hầu hết các môi trường hóa học. Sợi cacbon được sản xuất thành bó sợi, có trên 12.000 sợi nhỏ riêng biệt. Sợi cacbon có cường độ và môđun đàn hồi cao hơn so với các loại sợi polyme.

Một số công trình tại Nhật đã dùng các tấm bê tông sợi cacbon làm vật liệu bao che cho các tòa nhà cao tầng.

Tuy nhiên, sợi cacbon nhào trộn thường khó khăn, chúng có khuynh hướng cuộn tròn và phân tán không đồng nhất, đặc biệt khi hàm lượng theo thể tích sợi lớn hơn 3%. Cường độ chịu uốn của bê tông cốt sợi cacbon được giới thiệu trong bảng 1.2.

Bảng 1.2

Sợi cácbon (% thể tích sợi)	Tải trọng ở giới hạn đàn hồi (N)	Tải trọng tối đa (N)	Độ dẻo dai (N /mm)	Cường độ chịu uốn ở giới hạn đàn hồi (Mpa)	Cường độ chịu uốn tối đa (MPa)
0	79	79	3	4.6	4.6
1	197	272	102	11.4	15.7
3	285	365	229	16.5	21.1
5	296	525	686	17.1	30.3

1.2.5. Sợi bazan

Theo Tiến sĩ Djcgiric và Makhôva, sợi bazan và các vật liệu từ sợi bazan có tính cách ẩm, cách nhiệt, tính kết cấu cao. Sợi bazan hơn hẳn sợi thủy tinh và các loại sợi khác về độ bền nhiệt. Giới hạn nhiệt sử dụng của sợi bazan từ 269^{o}C - 900^{o}C, trong khi đó sợi thủy tinh là 60^{o}C - 450^{o}C. Độ hút ẩm của sợi bazan nhỏ hơn 1 %, còn của sợi thuy tinh tới 10 - 20 %. Về tính bền thủy phân sợi bazan được xếp vào nhóm đầu, còn về tính bền xít, bazơ và hơi nước, sợi bazan hơn hẳn sợi thủy tinh và các sợi khác.

Do những tính chất cơ lý cao, sợi bazan dùng để sản xuất các loại bê tông sẽ đem lại hiệu quả cao.

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

1.2.6. Sợi xenlulô

Sợi thực vật được chú ý sử dụng là sợi xenlulô. Qua nghiên cứu sử dụng dạng sợi xenlulô đã gặp phải khó khăn là sự thay đổi độ ẩm trong sợi xenlulô. Trong những năm 1970, ở Na Uy và Phần Lan, những nhà sản xuất đã thành công trong việc sử dụng sợi xenlulô cùng với một lượng nhỏ sợi polypropylen.

P. Soroushian và S. Marikunte đã tiến hành nghiên cứu xi măng - xenlulô (sử dụng 2% khối lượng bột kraft). Thí nghiệm cường độ chịu uốn được thực hiện tại các chu kỳ nhiệt ẩm khác nhau. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng, các chu kỳ ẩm nhiệt được lặp đi lặp lại có ảnh hưởng không đáng kể đến cường độ chịu uốn của xi măng - bột giấy kraft, nhưng lại làm giảm tính dẻo và làm vật liệu trở nên giòn hơn.

Chương 2
TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Việc bổ sung sợi thép vào trong bê tông có thể thay đổi tính chất của bê tông đáng kể vì chúng ảnh hưởng đến tính chất của bê tông cả ở trạng thái tươi lẫn trạng thái rắn. Đóng góp chính của các sợi thép là sự cải thiện tính chất của bê tông đông cứng. Tuy nhiên, sự cải thiện đạt được khi sử dụng cốt sợi thép đã kéo theo một số công việc bổ sung khi xử lý nó. Phạm vi cải thiện bởi việc thêm cốt sợi làm thay đổi tính chất của bê tông bị phụ thuộc kiểu sợi, đặc trưng hình học của sợi, hàm lượng sợi trong bê tông và sự định hướng sợi trong bê tông cũng như bởi sự liên kết giữa nền bê tông và cốt sợi.

2.1. TƯƠNG TÁC GIỮA SỢI VÀ VẬT LIỆU NỀN

2.1.1. Đặt vấn đề

Sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền là vấn đề cơ bản tạo ra chất lượng của bê tông cốt sợi. Hiểu biết về sự tương tác này sẽ đánh giá được chất lượng của vật liệu nền, vai trò của sợi và dự đoán khả năng cơ học của bê tông cốt sợi. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền:

- Điều kiện, trạng thái của vật liệu nền: khi chưa nứt hay đã nứt.
- Hỗn hợp: thành phần vật liệu nền.
- Hình dạng, loại sợi, đặc điểm bề mặt, độ cứng và tính chất của sợi.
- Hướng sợi: đẳng hướng hay bố trí ngẫu nhiên.
- Tỉ lệ thể tích sợi sử dụng.
- Tính bền của sợi khi làm việc lâu dài trong bê tông cốt sợi.

Hiệu quả của sợi là nâng cao tính chất cơ học trong vật liệu nền xi măng trong hai quá trình:

- Quá trình truyền tải trọng từ vật liệu nền sang sợi.
- Sự ảnh hưởng bắc cầu của sợi qua vết nứt xuất hiện khi tăng tải trọng của vật liệu nền.

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

- Cơ chế truyền ứng suất sẽ cho phép dự đoán đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông cốt sợi và dạng phá hủy dẻo hay phá hủy giòn và cũng là đặt nền tảng cho sự phát triển vật liệu bê tông cốt sợi. Việc cải biến các khả năng cơ học của bê tông cốt sợi đều thông qua sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền.

2.1.2. Sự tương tác giữa sợi - vật liệu nền

Bê tông đặc là hỗn hợp không đồng nhất của:

- Xi măng
- Nước
- Cốt liệu thô
- Cốt liệu mịn
- Cốt thép

Phản ứng thuỷ hoá giữa xi măng và nước dẫn đến sự co ngót rõ rệt của hồ xi măng đông cứng. Hàm lượng cốt liệu thô hợp lí mang tính hai mặt vừa tiết kiệm được khối lượng hồ xi măng, vừa là một thành phần chống lại sự co ngót do thuỷ hoá.

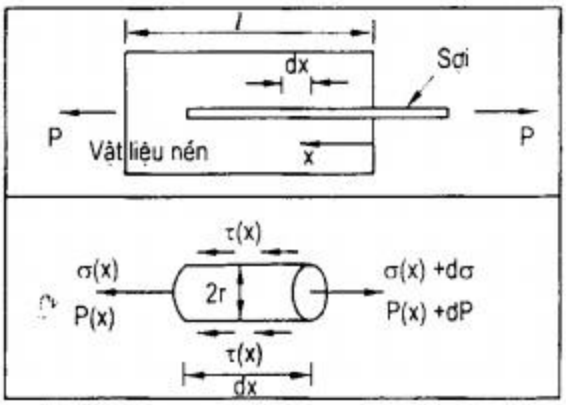
Hsu, Slate, Sturman & Winter trong bài viết "Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress- Strain Curve" [Journal of the ACI tháng 2/1963 trang 209] đã chỉ ra rằng có những vết nứt vi mô tại bề mặt của các phần tử cốt liệu thô kích thước lớn. Các vết nứt này tồn tại ở trạng thái không tải.

Khi bê tông bị kéo dưới các tải trọng khác nhau, bao gồm cả quá trình mỏi, các vết nứt vi mô sẽ lan rộng theo bề mặt của cốt liệu và một phần ở khối bê tông xung quanh cốt liệu.

Vì khối bê tông chứa hồ xi măng và các cốt liệu nhỏ hơn nên trong đó các sợi thép được trộn và sắp xếp thẳng hàng một cách ngẫu nhiên dù chúng có thể bị thay đổi bởi vị trí tương đối của cốt liệu thô.

Khối bê tông trở thành hỗn hợp được tăng cường bởi sợi thép. Các sợi thép tăng cường giới hạn chịu kéo có thể gây ra nứt ban đầu trong hỗn hợp tuy nhiên mức độ tăng cường còn phụ thuộc số lượng và sự hiệu quả của sợi thép tại vùng có thể xuất hiện đỉnh vết nứt.

Mô phỏng sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền dựa trên hình dạng của lực kéo tuột đơn giản (hình 2.1).



Hình 2.1: *Mô hình sự kéo tuột sợi tại bề mặt liên kết sợi vật liệu nền của bê tông cốt sợi*

Các quá trình liên quan đến sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền chủ yếu xảy ra trong vùng tương đối nhỏ xung quanh sợi và vật liệu nền.

Vật liệu nền là giòn nên ảnh hưởng sự truyền ứng suất sẽ được nghiên cứu cho cả hai trường hợp: trước khi nứt và sau khi nứt, vì thế các quá trình cũng hoàn toàn khác nhau tương ứng với hai trường hợp.

Trước khi xảy ra bất cứ vết nứt nào, sự truyền ứng suất đàn hồi là một cơ chế quan trọng đầu tiên, sự chuyển vị theo phương dọc giữa sợi và vật liệu nền tại mặt phân cách được thể hiện rõ rệt. Sự truyền ứng suất trượt đàn hồi là cơ chế chính, được dùng để dự đoán giá trị: ứng suất tại vết nứt đầu tiên. Sự phân bố ứng suất trượt đàn hồi dọc theo mặt phân cách giữa sợi và vật liệu nền là không đồng nhất.

2.1.2.1. Tương tác giữa sợi - vật liệu nền chưa nứt

Dạng tương tác này xảy ra trong hầu hết bê tông cốt sợi suốt giai đoạn tác dụng tải trọng ban đầu. Trong một số trường hợp, chẳng hạn các dạng tấm mỏng, bê tông cốt sợi vẫn chưa nứt suốt quá trình đưa vào sử dụng, còn trong hầu hết các trường hợp vật liệu nền sẽ nứt trong quá trình sử dụng.

Sự tương tác sợi - vật liệu nền chưa nứt có giới hạn trong ứng dụng thực tế. Một hệ sợi - vật liệu nền đơn giản có chứa một sợi đơn được biểu diễn ở hình 2.2.

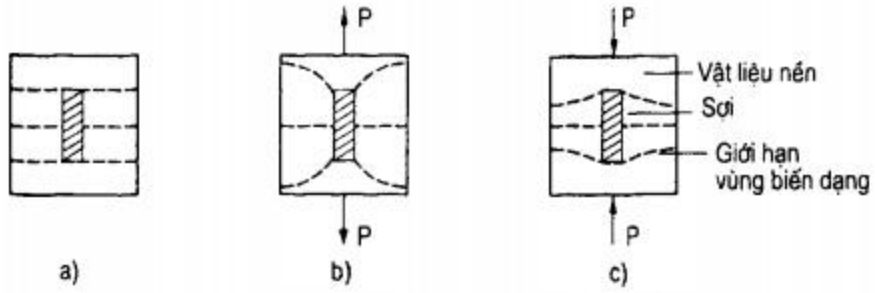
Trong giai đoạn không có tải trọng, ứng suất trong cả sợi và vật liệu nền được giả thiết bằng không. Đặt tải gây kéo hay nén lên bê tông cốt sợi dẫn đến tăng ứng suất và mất liên kết.

Trong vật liệu nền xi măng, sự hydrat hóa của xi măng sẽ gây ra tăng ứng suất trong sợi - vật liệu nền. Khi vật liệu nền chịu tải trọng, một phần tải trọng được truyền qua sợi. Bởi vì sợi và vật liệu nền có độ cứng khác nhau nên ứng suất trượt phát triển dọc theo bề mặt sợi. Nếu sợi có độ cứng lớn

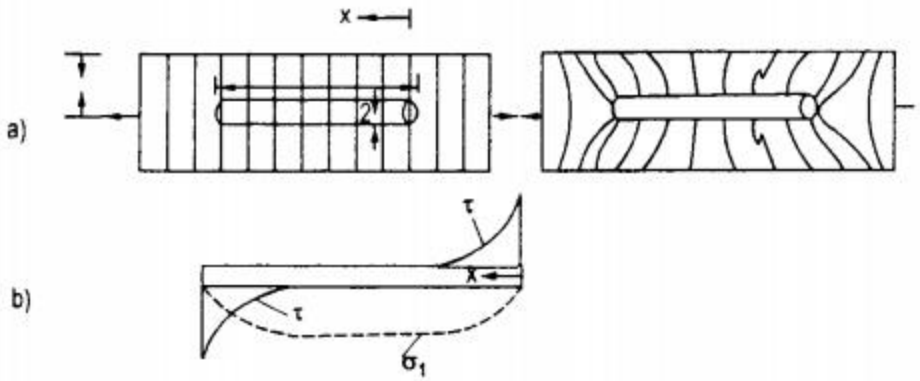
hơn độ cứng của vật liệu nền thì sự mất liên kết trên bề mặt sợi và xung quanh sợi sẽ nhỏ như trên hình 2.2a, 2.2b, 2.2c. Trường hợp này chỉ xảy ra với thép và sợi khoáng vật. Nếu mô đun của sợi nhỏ hơn mô đun của vật liệu nền, sự mất liên kết xung quanh sợi sẽ cao hơn, điều này xảy ra đối với sợi polyme và sợi thiên nhiên.

Sự truyền ứng suất đàn hồi hiện diện trong bê tông cốt sợi chưa nứt cũng như có trong vật liệu nền và sợi trong giai đoạn đàn hồi. Hiệu ứng, ứng suất - biến dạng đối với vật liệu nền có thể đưa ra khả năng phi đàn hồi và phi tuyến tính trước khi vật liệu phá hỏng. Phương trình toán học đã phát triển cho cả ứng suất trượt tại mặt phân cách τ và ứng suất dọc σ_f theo chiều dài sợi. Dựa vào một số giả thuyết để đơn giản hóa vấn đề là:

1. Vật liệu nền và sợi cả hai đều ở giai đoạn đàn hồi
2. Mặt phân cách giữa vật liệu nền và sợi là mỏng
3. Bề mặt phân cách được xem như là liên kết hoàn hảo
4. Sợi được sắp xếp có quy luật
5. Biến dạng kéo của vật liệu nền ε_m tại vùng bám dính chứa sợi là tương đương biến dạng kéo của bê tông cốt sợi



Hình 2.2: *Mặt phân cách của vật liệu nền - sợi khi vật liệu nền chưa nứt: a) Chưa chất tải; b) Vật liệu nền chịu kéo; c) Vật liệu nền chịu nén*



Hình 2.3*: Mô tả sợi trong vật liệu nền - biến dạng và ứng suất xung quanh sợi: a) Dạng hình học biến dạng của vật liệu nền xung quanh sợi trước và sau khi tải tác dụng; b) Phân bố ứng suất trượt đàn hồi tại mặt phân cách và phân bố ứng suất kéo.*

Sự phân bố ứng suất trượt τ tại khoảng cách x tính từ đầu sợi được diễn tả:

$$\tau(x) = E_f \varepsilon_m \left[\frac{G_m}{2E_f \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{\sin\beta_1 \left(\frac{1}{2} - x\right)}{\cos\beta_1 \frac{1}{2}}$$

$$\beta_1 = \left[\frac{2G_m}{2E_f r^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó:

E_m, E_f: Mô đun đàn hồi của vật liệu nền, sợi.

G_m: Mô đun đàn hồi trượt của vật liệu nền tại mặt phân cách.

l : Chiều dài sợi.

R: Bán kính của vật liệu nền xung quanh sợi.

r : Bán kính của sợi.

ε_m: Biến dạng kéo của vật liệu nền.

Tỉ số giữa R/r tùy thuộc vào tỉ lệ thể tích sợi và sự sắp xếp sợi (hình 2.4).

Phân bố sợi 1 và 2 phương: $\ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\pi}{V_f}\right)$ (1)

Phân bố sợi 3 phương: $\ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{2\pi}{\sqrt{3V_f}}\right)$ (2)

Ứng suất dọc trục trong sợi $\sigma_f(x)$ được tính theo công thức:

$$\sigma_f(x) = E_f \varepsilon_m \left[\frac{1 - \cos\beta_1 \left(\frac{1}{2} - x\right)}{\cos\left(\beta_1 \frac{1}{2}\right)} \right] \quad (3)$$

Phân bố ứng suất dọc trục $\sigma_f(x)$ và ứng suất trượt $\tau(x)$ đều là phi tuyến dọc theo chiều dài sợi.

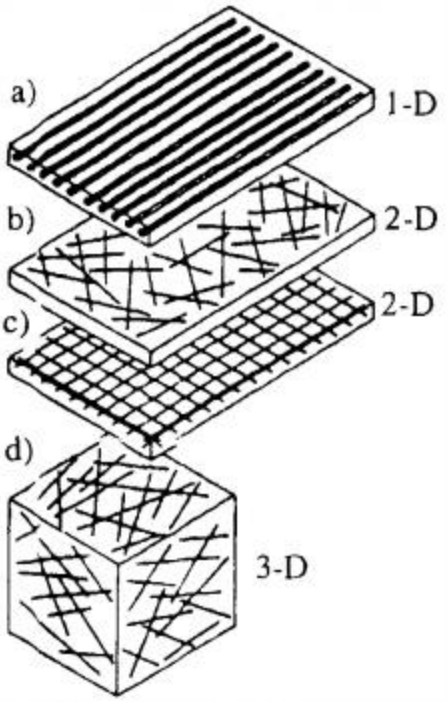
Việc thiết lập phương trình (l), (2), (3) đều dựa vào các giả thuyết nêu ở trên. Các phương trình này cho phép ta tính được ứng suất trong sợi và sự đóng góp của sợi trong bê tông cốt sợi.

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

Trong trường hợp có nhiều sợi, người ta sắp xếp chúng theo một dạng được dự đoán trước mà giữa chúng không có sự tương tác (hình 2.4).

Tại giai đoạn đủ tải trọng xảy ra sự mất liên kết dọc theo mặt phân cách, nên quá trình truyền ứng suất sẽ trở thành quá trình trượt ma sát (τ_{fu}). Trong trường hợp này sẽ có chuyển vị tương đối giữa sợi và vật liệu nền, và có ứng suất trượt ma sát.

Những thông số như ứng suất và biến dạng của bê tông cốt sợi có liên quan đến quá trình truyền ứng suất này.



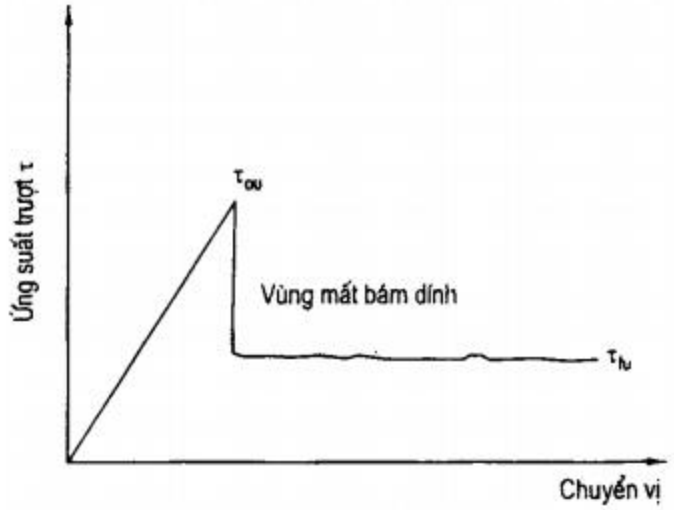
a) Sợi dài phân bố liên tục 1phương,
b), c) Sợi phân bố theo 2 phương,
d) Sợi phân bố theo 3 phương

Hình 2.4: *Sự phân bố của sợi trong bê tông.*

Ứng suất trượt bám dính (τ_{au}) được đề cập đến, nếu vượt quá giới hạn thì bắt đầu xảy ra mất tính bám dính giữa sợi và vật liệu nền, khi đó ứng suất trượt ma sát cực đại τ_{fu} xuất hiện trong vùng bị mất liên kết. Giá trị τ_{fu} và τ_{au} là không bằng nhau, giá trị τ_{fu} rất nhạy với ứng suất và biến dạng.

Giả thiết rằng lực kéo tuột là hằng số thì đường cong tải trọng - chuyển vị là lý tưởng. Tuy nhiên, trong thực tế τ_{fu} giảm khi gia tải (hình 2.5).

Chuyển đổi từ sự truyền ứng suất đàn hồi trước khi mất liên kết sang sự truyền ứng suất ma sát sau khi mất liên kết là một quá trình diễn ra chậm và hai quá trình trên cùng có ảnh hưởng lẫn nhau. Sự mất liên kết có thể xảy ra trước kh có vết nứt đầu tiên của vật liệu nền và vì vậy ảnh hưởng kết hợp của hai quá trình này tác động đến hình dạng của đường cong ứng suất - biến dạng trước khi vật liệu nền nứt.



***Hình 2.5**: Sơ đồ biểu diễn ứng suất trượt - chuyển vị.*
Sự chuyển đổi của ứng suất đàn hồi sang ứng suất trượt ma sát.

Một loạt hiện tượng tiếp diễn đều phụ thuộc vào ứng suất trượt bám dính và ứng suất kéo của vật liệu nền: nếu ứng suất kéo lớn thì việc mất liên kết có thể xảy ra trước khi vật liệu nền nứt, nếu ứng suất kéo nhỏ thì quá trình nứt vật liệu nền sẽ xảy ra trước khi mất liên kết.

Như vậy, mọi vấn đề truyền ứng suất đều bị ảnh hưởng của các hiện tượng: truyền ứng suất trượt đàn hồi, ứng suất trượt ma sát, sự mất liên kết và ứng suất biến dạng bình thường.

2.1.2.2. Tương tác giữa sợi - vật liệu nền đã nứt

Tác dụng chủ yếu của sợi trong bê tông cốt sợi sau khi vật liệu nền nứt là sợi sẽ bắc cầu qua vết nứt và vì vậy ngăn ngừa được sự phá hủy.

Sự bắc cầu của sợi xuyên qua vết nứt để truyền tải trọng thông thường được đánh giá bởi thí nghiệm về kéo tuột nhằm mục đích:

1. Làm nền tảng cho dự đoán tính chất của bê tông cốt sợi trong vùng đã nứt.

2. Phân tích cơ chế bám dính và xác định sự liên quan của cơ chế truyền ứng suất trượt ma sát và đàn hồi.

Khi bê tông cốt sợi có chứa sợi chịu kéo (hình 2.6; 2.7), ở trạng thái vật liệu nền nứt. Ngay sau khi vật liệu nền nứt, sợi bắc cầu qua vết nứt, truyền tải trọng qua vết nứt. Giai đoạn tăng tải này được gọi là giai đoạn phát triển vết nứt.

Ứng suất trượt đàn hồi được xác định bằng công thức:

$$\tau(x) = \frac{P\beta_2}{2\pi r}\left[\sin\beta_2 x - \cot g(\beta_2 l)\cos(\beta_2 x)\right]$$

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

$$\beta_2 = \left[\frac{2G_m}{b_i r E_f}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó:

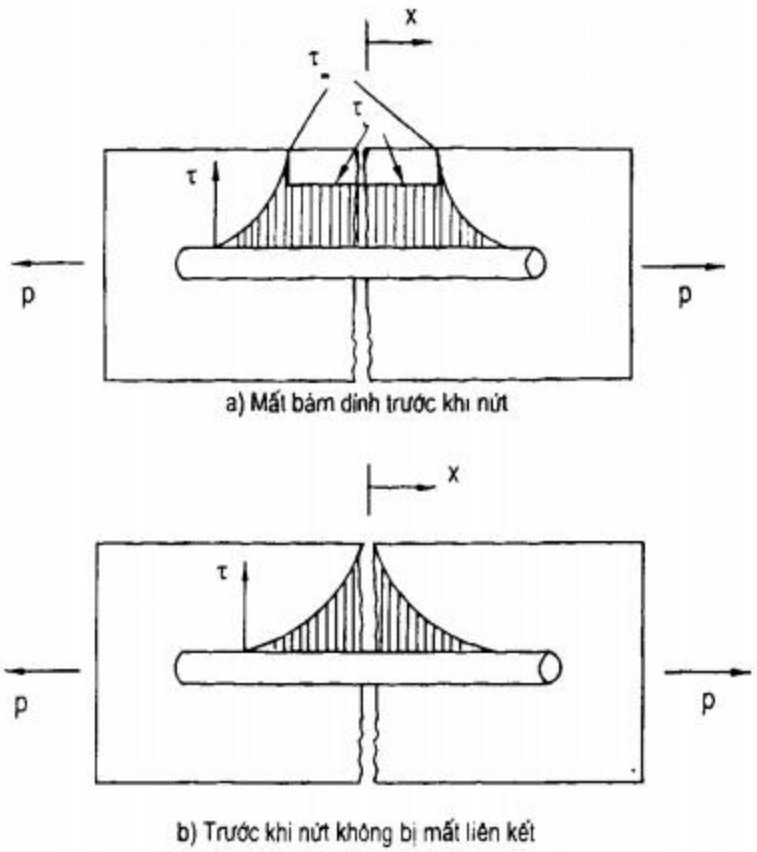
r : Bán kính của sợi.

b_i: Bề rộng của vùng ảnh hưởng.

E_f: Mô đun đàn hồi của sợi.

G_m: Mô đun trượt của vật liệu nền ở mặt phân cách.

l: Chiều dài sợi nằm trong vật liệu nền.



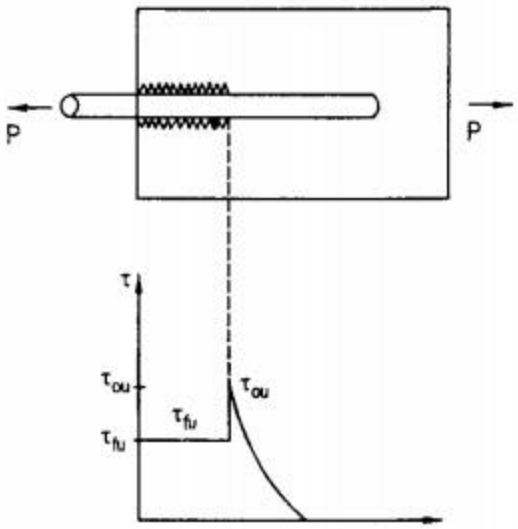
***Hình 2.6**: Phân bố ứng suất trượt tại mặt phân cách dọc theo giao điểm của vết nứt với sợi ngay sau khi nứt.*

Ứng suất trượt đàn hồi lớn nhất:

$$\tau(\max) = \tau(x = 0) = \frac{P\beta_2}{2\pi r}\cot g(\beta_2 l)$$

Ứng suất trượt đàn hồi trung bình:

$$\bar{\tau} = \frac{P}{2\pi r l}$$



Hình 2.7: Hình dạng sợi bị mất bám dính một phần và ứng suất trượt tại mặt phân cách.

2.1.3. Quá trình phát triển vết nứt

Trong bê tông cốt sợi vai trò chính của sợi được thể hiện trong vùng có vết nứt, trong đó sợi là cầu nối qua vết nứt của vật liệu nền. Sợi có hai chức năng trong vùng có vết nứt:

- Làm tăng cường độ của bê tông cốt sợi qua vật liệu nền bằng cách truyền ứng suất và tải trọng qua vết nứt đến sợi.

- Sợi làm tăng độ dẻo dai của bê tông cốt sợi bằng việc hấp thụ năng lượng mà sinh ra trong quá trình mất liên kết và kéo tuột của sợi.

Việc xuất hiện vết nứt đầu tiên trong bê tông cốt sợi có ảnh hưởng lớn đến cường độ và độ dẻo dai. Nếu muốn ngăn chặn sự phá hoại trong giai đoạn này thì khả năng chịu tải của sợi $\sigma_{fu}V_f$ (trong trường hợp sợi liên tục và đẳng hướng) phải cao hơn tải trọng tác dụng lên bê tông cốt sợi tại vết nứt đầu tiên:

$$\sigma_{fu}V_f > E_m\varepsilon_{mu}V_m + E_f\varepsilon_{mu}V_f \qquad (2.1)$$

Trong đó:

V_m: Thể tích của vật liệu nền

V_f: Thể tích của sợi sử dụng

E_m: Môđun đàn hồi của vật liệu nền

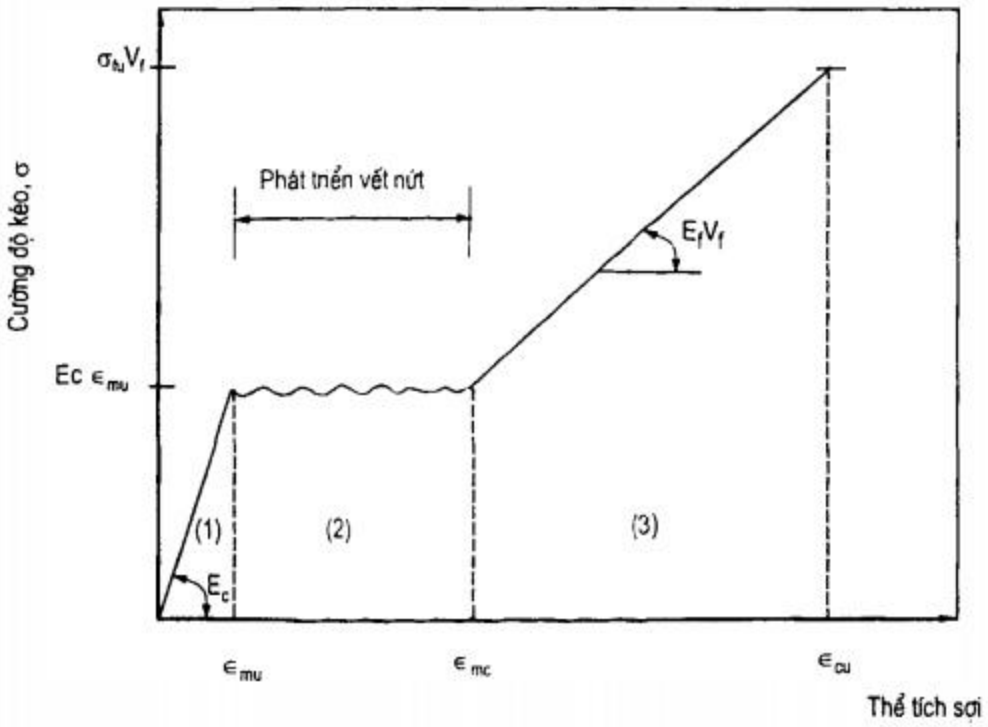
E_f: Môđun đàn hồi của sợi

σ_{fu}: Cường độ kéo tới hạn của sợi

ε_{mu}: Biến dạng cực đại của vật liệu nền

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

Khi phương trình (2.1) được thỏa mãn (nghĩa là hàm lượng sợi V_f đủ lớn), vết nứt đầu tiên xảy ra trong bê tông cốt sợi sẽ không dẫn đến phá hoại và sẽ có một sự phân phối lại tải trọng tác dụng lên sợi và vật liệu nền, có nghĩa là tải trọng tác dụng lên vật liệu nền trong vùng có vết nứt sẽ chuyển qua sợi, và ngay tại mép vết nứt vật liệu nền sẽ không có ứng suất. Tiếp tục tăng tải sẽ làm cho vết nứt tăng dần cho đến khi vật liệu nền bị phân thành nhiều mảnh. Quá trình này được coi là quá trình phát triển vết nứt. Vùng đường cong ứng suất - biến dạng này xấp xỉ nằm ngang hay hơi dốc lên (hình 2.8).



Hình 2.8: *Sơ đồ ứng suất biến dạng của bê tông cốt sợi.*

Khi quá trình phát triển vết nứt không tăng nữa, vật liệu nền bị chia bằng nhiều vết nứt song song thì bất kỳ lực kéo nào thêm vào sẽ gây ra kéo giãn hay kéo tuột sợi. Tại giai đoạn này, độ cứng của dãy cốt sợi gia cường là nguyên nhân làm cho đường cong ứng suất biến dạng dốc lên trong vùng có vết nứt. Giả sử rằng bê tông cốt sợi gồm những sợi liên tục và đẳng hướng được kéo giãn khi chịu tải trọng, độ dốc trong khoảng này là E_fV_f, và sự phá hủy sẽ xảy ra khi sợi đạt đến khả năng chịu tải của nó, tại ứng suất $\sigma_{fu}V_f$ (hình 2. 8).

Vì vậy khả năng cơ học của bê tông cốt sợi thường được mô tả ở 3 trạng thái của đường cong ứng suất - biến dạng hình 2.8.

(l) Giới hạn đàn hồi, đạt đến điểm nứt đầu tiên: vật liệu nền và sợi là đàn hồi tuyến tính.

(2) Quá trình phát triển vết nứt mà biến dạng trong bê tông cốt sợi vượt qua biến dạng cho phép của vật liệu nền.

(3) Giai đoạn sau vết nứt, trong suốt giai đoạn này sợi bị kéo giãn hay kéo tuột ra khỏi vật liệu nền.

Để có thể mô tả đặc tính và khả năng cơ học của bê tông cốt sợi cần áp dụng những biện pháp mô tả dạng tổng quát của đường cong ứng suất - biến dạng và dự đoán điểm lồi của đường cong: trong vùng đàn hồi E_c ở vết nứt đầu tiên (σ_u, ε_{mu}), biến dạng tại điểm cuối vùng có vết nứt (ε_{mc}), và ứng suất - biến dạng cực đại của bê tông cốt sợi là σ_{cu}; ε_{cu}.

2.2. MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI

2.2.1. Kiểu sợi

Các loại sợi rất đa dạng và phong phú. Tuỳ thuộc vào quá trình sử dụng mà người ta đã sản xuất ra các loại sợi có sự khác về cường độ kéo, hình dạng và đặc tính bề mặt.

Vì vết nứt phát triển qua khối, như đã trình bày ở trên, bề rộng các vết nứt sẽ tăng. Đối với các sợi thép đi qua và chống lại sự mở rộng của vết nứt, sự phát triển của ứng suất trong sợi được hình thành bởi hai yếu tố:

- Liên kết bề mặt giữa hồ xi măng và cốt sợi

- Sự neo cơ học do hình dạng của sợi thép làm tăng cường liên kết giữa xi măng và sợi thép có tác động khi ứng suất trong bê tông lớn hơn sức liên kết bề mặt được đánh giá vào khoảng 3MPa.

Với các sợi thẳng, chiều dài cần thiết của sợi thép để cung cấp đủ diện tích tiếp xúc phát triển ứng suất kéo trong sợi thép có thể trở nên quá lớn. Điều này có dẫn đến các sợi thép bị rối và khó bố trí trong bê tông cũng như các khó khăn khi đổ và đầm bê tông.

Những nhà sản xuất sợi cũng cố gắng cải thiện hiệu ứng của sợi, tạo các cơ cấu neo cơ học khác nhau thông qua những tính chất đặc biệt, có thể xếp thành hai loại: uốn cong (dập lượn sóng) liên tục và loại có neo (bẻ móc) ở đầu và cuối sợi.

Ví dụ công ty Radmix đã nghiên cứu cả hai loại trên và đã lựa chọn hướng phát triển các sợi uốn cong liên tục. Dạng này được lựa chọn vì khả năng xuất hiện vết nứt ban đầu ở vùng chính giữa của phần tử sợi là thấp như vậy thì khoảng cách từ vết nứt đến cuối sợi trong nhiều trường hợp là rất ngắn, điều này gây ra sự giảm ứng suất do mất mát ở mặt tiếp xúc và sợi bị kéo tụt ra ngoài.

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

Sợi uốn cong liên tục cung cấp một cơ cấu neo cơ học rõ ràng quanh vị trí phát triển vết nứt, dẫn đến một sức kháng lớn hơn và sự phân bố lại ứng suất trong khối bê tông bao quanh.

Những hiệu ứng như trên ảnh hưởng đáng kể đến những đặc trưng của bê tông gia cường cốt sợi thép và cần phải được tính đến khi lựa chọn kiểu sợi.

2.2.1.1. Tỷ lệ giữa chiều dài sợi và đường kính sợi (l /d)

Tỷ lệ này là tham số tiêu biểu của mỗi kiểu sợi và có một ảnh hưởng quan trọng đối với sự làm việc của sợi trong bê tông. Nhìn chung, tỷ lệ *l*/d ngày càng cải thiện sự có hiệu lực của sợi nhưng làm cho việc trộn bê tông tươi khó khăn hơn. Thông thường, tỷ lệ *l*/d nằm trong khoảng 50 - 100 là thích hợp.

2.2.1.2. Tính chất liên kết

Tải trọng kéo tuột sợi hoặc đứt gãy trực tiếp bị ảnh hưởng bởi sự truyền ứng suất liên kết từ vật liệu nền đến sợi và độ dài neo của sợi. Như vậy, ứng suất liên kết ảnh hưởng đến qua trình xuất hiện vết nứt đầu tiên và sự làm việc của bê tông cốt sợi thép trong cơ chế phá huỷ.

Khả năng chịu ứng suất liên kết của sợi phụ thuộc vào trạng thái tự nhiên của bề mặt sợi. Bề mặt sợi xù xì (nhám) làm tăng khả năng liên kết giữa sợi và nền bê tông. Các nhà sản xuất cốt sợi thép đã nghiên cứu và làm tăng tính chất liên kết giữa sợi và vật liệu nền bằng cách tạo nhám bề mặt sợi. Sợi làm chậm sự hình thành vết nứt và ngăn chặn quá trình mở rộng vết nứt.

2.2.1.3. Uốn móc hai đầu và thay đổi đường kính sợi

Một giải pháp khác để làm tăng khả năng làm việc của sợi là việc uốn móc đầu sợi hoặc thay đổi đường kính sợi trong kết cấu. Giải pháp này đã làm tăng khả năng làm việc ở trạng thái biến dạng dẻo của sợi khi chịu lực kéo.

Việc uốn móc đầu sợi không làm chậm quá trình hình thành vết nứt. Tác dụng của việc uốn móc đầu sợi không bắt đầu cho đến khi cường độ liên kết vượt quá giới hạn cho phép và xuất hiện sự chuyển dịch giữa nền bê tông và sợi. Như vậy, việc uốn móc đầu sợi có thể tăng thêm đáng kể tính dẻo của bê tông cốt sợi thép.

2.2.1.4. Cơ chế phá huỷ

Sự phá huỷ sợi trong một nền bê tông xuất hiện từ hai quá trình khác nhau về cơ bản:

1. Phá huỷ vì sợi bị kéo đứt;

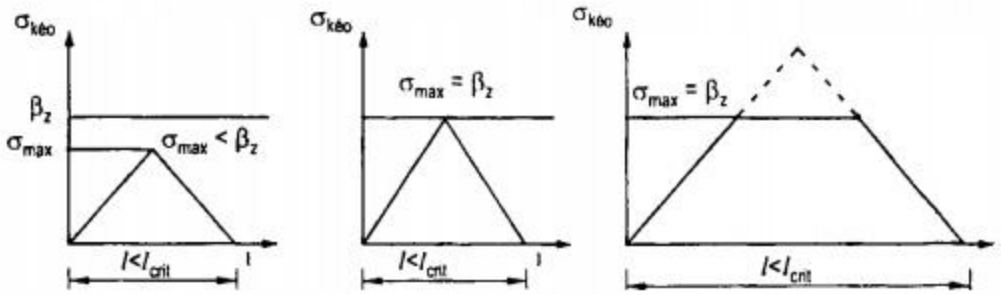
2. Phá huỷ vì sợi bị cắt đứt.

Cơ cấu phá huỷ phụ thuộc vào những yếu tố sau:

- Tỷ lệ l/d;
- Khả năng dính bám;
- Cường độ chịu kéo của sợi;
- Cường độ liên kết.

Ba yếu tố đầu phụ thuộc hoàn toàn vào chủng loại của sợi. Mức độ của cường độ liên kết phụ thuộc vào cả chất lượng bề mặt của sợi và cường độ của vật liệu nền bê tông bao quanh. Như vậy, với cùng một loại sợi có thể diễn ra những cơ chế phá huỷ khác nhau hoàn toàn trong những bê tông khác nhau.

Cần thiết phải xác định chiều dài tới hạn của sợi (l_{crit}) trên cơ sở của những quá trình tính toán cân bằng. Đó là khi mà cường độ liên kết cực đại trên nửa độ dài sợi cân bằng tải trọng kéo dọc sợi cực đại. Khi chiều dài sợi chưa đạt tới chiều dài tới hạn, sợi sẽ không tận dụng được hết khả năng chịu lực của sợi. Trong trường hợp sợi quá dài, sợi có thể bị cắt đứt trước khi bị kéo đứt, đó là do sợi bị uốn vì chiều dài quá lớn.



***Hình 2.9**: Mối tương quan giữa chiều dài sợi và ứng suất kéo*

Ta có công thức tính chiều dài sợi tới hạn:

$$l_{crit} = \frac{d.\beta_Z}{2.\tau_m}$$

Trong đó:

β_Z: Cường độ chịu kéo của cốt sợi

τ_m: Ứng suất dính trung bình

d: Đường kính cốt sợi

Trên hình 2.9, bê tông với τ_m = 1.47 N/mm^2, đường kính sợi, d = 0.4 mm và cường độ kéo β_z = 1000 N/mm^2 thì sợi sẽ có chiều dài tới hạn l_{crit} = 136mm.

Kiểu sợi thẳng có tỷ lệ *l*/d là 340 là không khả thi. Chiều dài tới hạn này hợp lí khi sử dụng loại sợi có sự biến dạng bề mặt sợi hoặc loại sợi có bẻ móc ở đầu sợi.

Sợi thép tiêu chuẩn với tỉ lệ *l*/d trong khoảng 50 - 100 và có chiều dài chưa đạt đến chiều dài tới hạn thì phá huỷ thông thường là sợi bị kéo đứt chứ không bị cắt đứt. Chúng có thể chịu tải ngay cả khi biến dạng lớn và vết nứt mở rộng, sự phá huỷ đột ngột sẽ không diễn ra. Ngoài ra nó còn làm tăng tính đặc chắc của bê tông, và độ mở rộng vết nứt sẽ rất nhỏ và phân tán.

2.2.2. Hàm lượng sợi

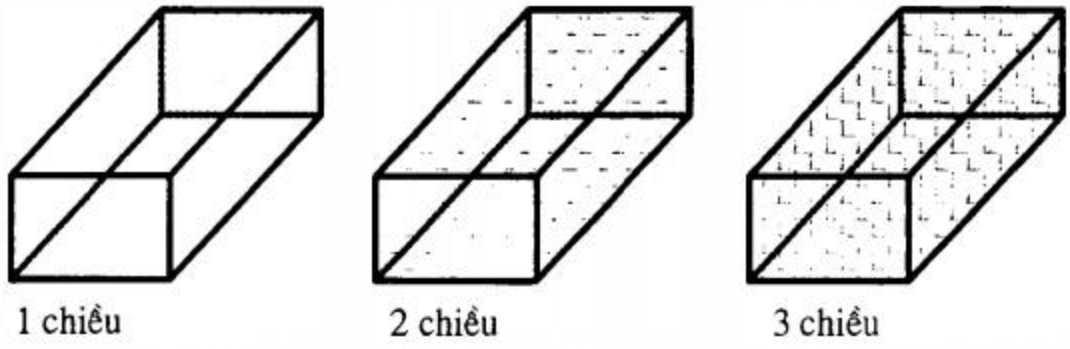
Hàm lượng sợi thép khoảng 25 kg/m^3 là hàm lượng hợp lí đối với bê tông nặng (xấp xỉ 1% trọng lượng, hoặc 0.33% thể tích). Hiệu quả của sợi tăng tỉ lệ thuận với hàm lượng sợi. Tuy nhiên, cần phải có một giới hạn trên về hàm lượng sợi khi nó ảnh hưởng đến tính công tác của bê tông và những khó khăn khi tính công tác của bê tông không được đảm bảo, làm thay đổi các tính chất khác của bê tông đông cứng. Giới hạn hàm lượng sợi trong những ứng dụng phổ biên là vào khoảng 50 - 100 kg/m^3 phụ thuộc vào phương pháp thi công và kiểu sợi.

Tuy nhiên, một quá trình đặc biệt cho phép sử dụng hàm lượng sợi cao hơn mức thông thường. Quá trình này chính là việc trộn sợi vào trong một hợp chất đặc biệt sau đó trộn với hồ xi măng. Hợp chất này gọi là SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber CONCRETE). Phụ thuộc vào kiểu sợi, quá trình này có thể sử dụng để đạt được một hàm lượng sợi lên trên tới 20% thể tích. Tuy nhiên, hợp chất này chỉ được sử dụng đối với những kết cấu đặc biệt, ví dụ như cho những ứng dụng quân sự, do chi phí cho phương pháp này rất tốn kém vì hàm lượng sợi cao.

2.2.3. Sự định hướng sợi

Các sợi thép có nhiệm vụ ngăn ngừa sự hình thành và phát triển vết nứt. Nguyên nhân của vết nứt là do tác động của tải trọng (kéo, nén hoặc cắt) và đặc trưng hình học của các thành phần kết cấu. Tương tự như cốt thép, sợi sẽ phát huy tối đa khả năng chịu lực của chúng nếu chúng nằm dọc theo phương ứng suất kéo tại vị trí vết nứt.

Nếu sợi chéo qua vết nứt ở tại một góc xiên thì sợi thép ít có hiệu quả hơn. Sự mất mát này được xét đến trong quá trình tính toán thông qua các điều kiện sử dụng và hệ số định hướng.



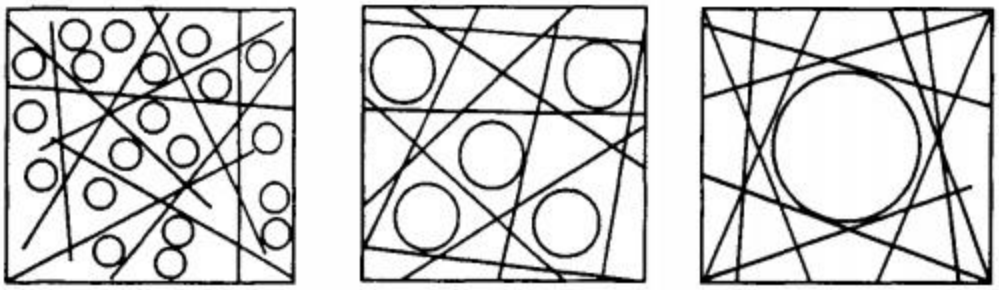
***Hình 2.10**: Sự định hướng sợi*

Chúng ta biết rằng trong quá trình tăng cường bê tông thì vị trí và phương hướng của sự tăng cường phải phụ thuộc vào lực tác động và khả năng chịu lực của sợi thép. Tuy nhiên, làm cách nào để sắp xếp các sợi và định hướng sợi thì chưa có phương pháp nào hợp lí. Người ta có thể giả thiết rằng các sợi thì phân tán hoàn toàn ngẫu nhiên trong kết cấu, những kết quả thí nghiệm trên một cấu kiện này có thể là áp dụng cho những cấu kiện khác. Tuy nhiên, điều đó là không đúng. Sự định hướng sợi (cũng là tính chất bê tông cốt sợi thép) bị ảnh hưởng bởi những điều kiện ngoài. Như vậy, những sợi ở cạnh và mép những mẫu thí nghiệm có thể chỉ định hướng theo một hoặc hai chiều. Tương tự, vị trí và điều kiện sử dụng có thể cũng ảnh hưởng sự định hướng sợi.

Như vậy, sự định hướng sợi là không giống nhau giữa những mẫu thử và cấu kiện thực. Do đó, nhiều tác giả khuyên rằng trong điều kiện cho phép nên tiến hành thí nghiệm với những mẫu thử tương tự kết cấu để ảnh hưởng của hướng sợi có thể được xác định gián tiếp và miêu tả chính xác. Sự giống nhau không chỉ là đặc trưng hình học mà còn trong cả quá trình sản xuất và sử dụng. Nếu không thể thực hiện những thí nghiệm như vậy thì ảnh hưởng của sự định hướng sợi có thể được xét đến trong tính toán bằng những hệ số định hướng.

2.2.4. Cốt liệu lớn nhất

Kích thước của những hạt cốt liệu ảnh hưởng đến sự phân phối của sợi và sự định hướng sợi. Như vậy, sợi trong vữa chỉ được phân ra bởi vật liệu mịn có thể di chuyển tự do giữa các sợi. Trong bê tông, tất cả các hạt cốt liệu lớn hơn khoảng cách trung bình giữa những sợi sẽ làm cho sợi bị vón cục và là nguyên nhân gây ra sự phân bố không đều của sợi. Hiệu ứng này tăng tỉ lệ trực tiếp với kích thước hạt và gây tác động không tốt đối với tính chất của cả bê tông tươi lẫn bê tông rắn.



Hình 2.11: Ảnh hưởng của cỡ hạt đo đối với sự định hướng sợi và tính công tác của sợi

Khoảng 55% thành phần bê tông tiêu chuẩn là những cỡ hạt nhỏ hơn 5 mm. Đây là thành phần duy nhất trong bê tông có thể di chuyển tự do trong thời gian đầm chặt. Những thí nghiệm đã chỉ ra rằng, để sử dụng sợi hợp lí, thể tích vữa trong bê tông cần phải xấp xỉ là 70%; còn lại 30% thể tích bao gồm những cỡ hạt trong khoảng 5 - 10 mm. Nên tránh việc sử dụng quá nhiều cỡ hạt trong loại bê tông này.

2.2.5. Tính chất của bê tông tươi (có trộn sợi thép)

Hiểu rõ tính chất của quá trình trộn bê tông là rất quan trọng và tạo điều kiện thuận lợi trong các công tác liên quan trong quá trình sử dụng bê tông. Bê tông cốt sợi khó trộn lẫn và khó đổ hơn bê tông thường. Tuy nhiên, chúng ta dễ dàng khắc phục bằng nhiều phương pháp. Tuy nhiên các phương pháp vẫn phải đảm bảo tính chất của bê tông cốt sợi thép. Sự sai lầm có thể dẫn đến kết quả là phá hoại thành phần bê tông và như vậy sẽ gây mất mát cường độ và tính dẻo của bê tông. Những tham số ảnh hưởng tới sự thay đổi trong tính chất của quá trình trộn bê tông tươi:

- Kiểu sợi
- Hàm lượng sợi
- Cốt liệu lớn nhất
- Phương pháp đưa sợi vào quá trình trộn

Các tham số này được xác định bằng thực nghiệm và có thể điều chỉnh bằng cách thêm vào bê tông phụ gia hóa dẻo hoặc phụ gia siêu dẻo.

2.2.5.1. Tính công tác

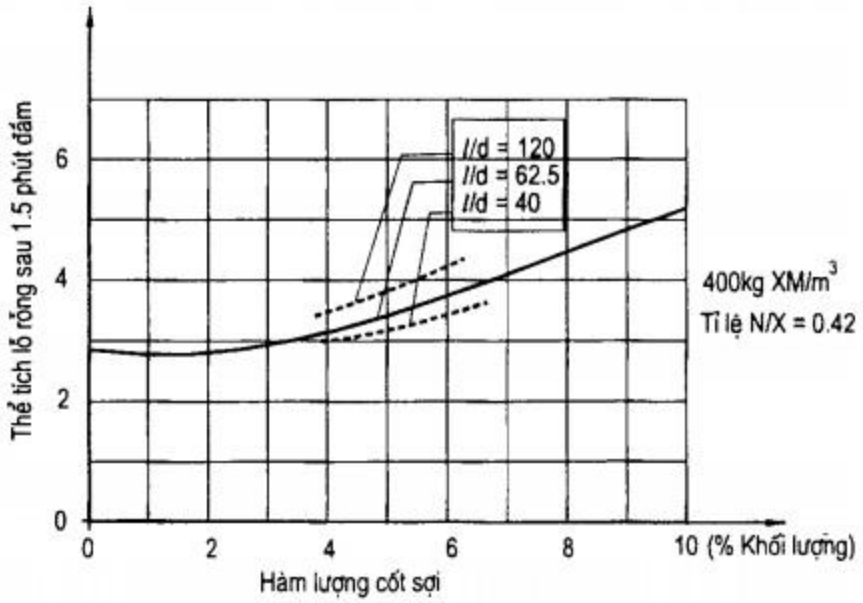
Tính công tác của bê tông cốt sợi thép là rất quan trọng trong quá trình trộn, đổ và đầm chặt bê tông. Đặc trưng hình học của các sợi thép và lượng nước cần thiết là một vấn đề ảnh hưởng mật thiết tới tính công tác của bê tông cốt sợi. Phần này sẽ giải quyết vấn đề làm giảm độ sệt của bê tông thông qua một khái niệm quen thuộc là độ sụt của bê tông.

Độ sệt giảm bớt với hàm lượng sợi ngày càng tăng thì đến một giới hạn nào đó sự phân phối sợi trong bê tông trong quá trình trộn sẽ không đạt được kết quả như mong muốn. Ngoài ra, nhiều sợi sẽ bị vón cục và tạo thành những khối cầu nếu quá trình trộn không liên tục, hoặc sợi hoặc hàm lượng cốt liệu thô trong quá trình trộn cao quá. Đối với bê tông phun và bê tông bơm bằng vòi, hiện tượng này sẽ làm tắc nghẽn vòi phun, vòi bơm gây hậu quả nghiêm trọng và gián tiếp ảnh hưởng đến chất lượng của công trình Một vấn đề còn quan trọng hơn là nếu cốt sợi bị vón cục trong quá trình đổ hỉ sẽ gây ra hiện tượng không đồng nhất vật liệu, gây những hậu quả không lường trước được. Vì vậy, tính công tác của bê tông cốt sợi thép có vị trí rất quan trọng đối với chất lượng của vật liệu này.

Những nhà sản xuất sợi cung cấp những nguyên tắc chủ đạo đối vớ tính công tác. Dù vậy, trong quá trình sử dụng vẫn cần phải được thí nghiệm để phù hợp với từng công trình cụ thể.

2.2.5.2. Khả năng đầm chặt

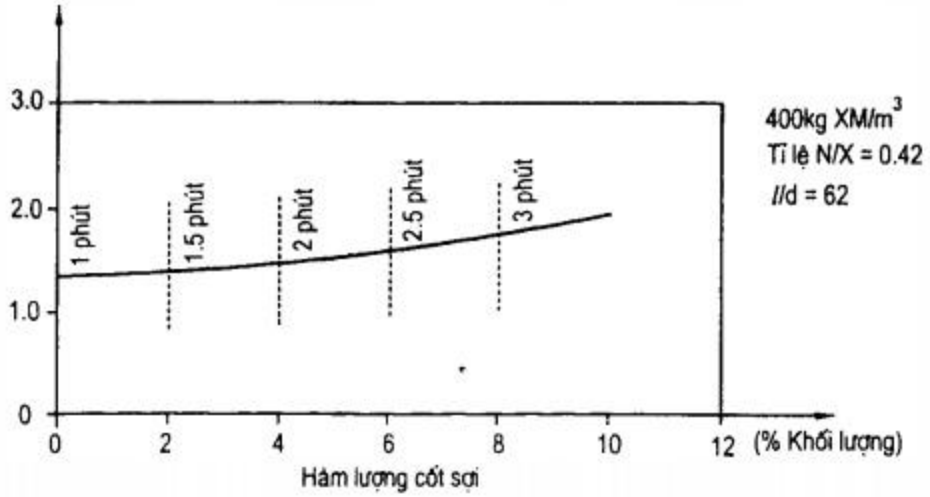
Bê tông cốt sợi thép yêu cầu nhiều năng lượng đầm chặt hơn bê tông thông thường. Nếu cùng một thời gian đầm chặt, người ta thay đổi hàm lượng sợi, thì số lượng lỗ rỗng tăng tỉ lệ với hàm lượng sợi ngày càng tăng (Hình 2.12). Để làm giảm lượng lỗ rỗng do không khí trong bê tông thời gian đầm nén phải tăng tỉ lệ thuận với hàm lượng sợi (Hình 2.13). Tuy nhiên, thậm chí khi được đầm chặt, hàm lượng lỗ rỗng khí trong bê tông cốt sợi thép vẫn cao hơn so với bê tông thông thường.



***Hình 2.12**: Tương quan giữa thể tích lỗ rỗng khí và hàm lượng cốisợi*

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

Cần phải ghi nhớ rằng những quá trình đầm nén có thể ảnh hưởng sự định hướng sợi. Ví dụ, nếu sử dụng đầm dùi thì sẽ làm cho cốt sợi bị chìm xuống bên dưới. Như vậy, tránh áp dụng loại đầm này cho những cấu kiện nhỏ, hẹp. Cũng không nên để thời giam đầm quá lâu vì như vậy sẽ làm cho vật liệu bị tách lớp và làm chìm sợi.



***Hình 2.13**: Thời gian đầm cần thiết đối với bê tông cốt sợi thép*

Khi bê tông cốt sợi thép được sử dụng quá trình phun bê tông, quá trình đầm nén đạt được thông qua năng lượng tác động. Có một sự khác biệt nhỏ là hàm lượng lỗ rỗng khí giảm đi khoảng 1% so với bê tông cốt sợi thép được đầm bằng phương pháp thông thường.

2.2.6. Tính chất của bê tông cốt sợi thép đã hoá cứng

Các sợi thép đem lại cho bê tông nhiều tính chất quý giá. Một hệ thống 2 pha của bê tông và sợi thép là một hệ thống đàn hồi – dẻo. Ưu điểm chính của hệ này là sự phát triển của khả năng chịu tải trước và sau khi hình thành vết nứt trong cấu kiện bê tông, khác hẳn so với tình trạng của bê tông thường sau khi đã có vết nứt đầu tiên.

Trong các ứng dụng làm mặt đường, mặt sàn, làm cấu kiện đúc sẵn, làm bê tông phun, các ứng suất trong bê tông được phân bố ngẫu nhiên và bị ảnh hưởng bởi các điều kiện đặt tải động học. Do đó không thể xác định trường ứng suất thực tế và đặt một hay hai lớp cốt thép ở những vị trí cố định trong khi ứng suất thay đổi từ trên đỉnh đến đáy cấu kiện. Các điều kiện đặt tải như tải trọng chu kỳ, biến đổi nhiệt độ, lực cắt, lực xung kích, co ngót đã phát triển sự phân bố ngẫu nhiên ứng suất trong bê tông.

Sự phân bố ngẫu nhiên các sợi thép trong bê tông đảm bảo rằng ứng suất được phân bố lại trong toàn khối vật liệu nền bê tông. Các vi vết nứt mà có

thể phát triển thêm do ứng suất sẽ bị các sợi thép ngăn chặn lại trong toàn thể tích vật liệu bê tông cốt sợi thép của cấu kiện. Như vậy các vết nứt nhỏ bị khâu lại trước khi phát triển thành các vết nứt lớn hơn mà có thể gây hư hại cho kết cấu.

Tuy nhiên cần lưu ý rằng việc thiết kế sợi thép hợp lý là yếu tố rất quan trọng. Ví dụ sợi thép kiểu Radmix là kiểu sợi được gia công uốn lượn sóng đặc biệt. Nhờ vậy chúng truyền tải trọng một cách êm thuận cho vật liệu nền bê tông xung quanh và tạo ra tính dẻo cho bê tông cốt sợi thép cao hơn nhiều so với bê tông thông thường.

Mỗi công ty sản xuất sợi thép làm cốt cho bê tông đều có những thí nghiệm nghiên cứu sự cải thiện tính năng bê tông của các loại sợi thép đã được sản xuất và bán trên thị trường. Tuỳ theo tiêu chuẩn của bê tông và hàm lượng sợi thép mà các tính chất vật lý của bê tông sẽ khác nhau. Có thể tham khảo bảng sau.

***Bảng 2.1**: Các tính chất vật lý của bê tông cốt sợi thép dùng loại sợi Radmix*

Các tính chất vật lý	Hiệu quả thu được
Mô đun phá hoại (gây nứt)	bằng gấp 1 đến 2 lần so với BT thường
Cường độ chống cắt	bằng gấp 1,25 đến 2 lần so với BT thường
Cường độ chống xoắn	bằng gấp 1,25 đến 2 lần so với BT thường
Khả năng hấp thụ năng lượng va chạm	bằng gấp 2 đến 15 lần so với BT thường
Độ bền chịu mỏi	bằng gấp 1,2 đến 2 lần so với BT thường
Độ bền chịu mài mòn	bằng gấp 1 đến 1,4 lần so với BT thường
Các vết nứt do co ngót bị kiềm chế	giảm bề rộng vết nứt
Độ bền chống gỉ	không phát hiện ăn mòn catot

Tính chất của bê tông đông cứng được cải thiện một cách đáng kể thông qua việc thêm một thể tích thích hợp sợi thép. Sợi sẽ làm việc có hiệu quả nếu chúng được liên kết theo phương của ứng suất kéo chủ và nếu khoảng cách giữa các sợi càng nhỏ càng tốt. Nhân tố quan trọng nhất đối với sự hình thành vết nứt chính là khoảng cách cực đại thực tế giữa các sợi. Như vậy, phân phối và định hướng sợi phải càng đồng dạng càng tốt bởi vì như vậy sẽ sản sinh tính đồng nhất vĩ mô và tính chất đẳng hướng trong vật liệu. Đấy chính là ảnh hưởng của các sợi thép có thể được khai thác trong thực hành, trong khi thực tế không thể thực hiện được việc kiểm tra toàn diện một kết cấu xây dựng.

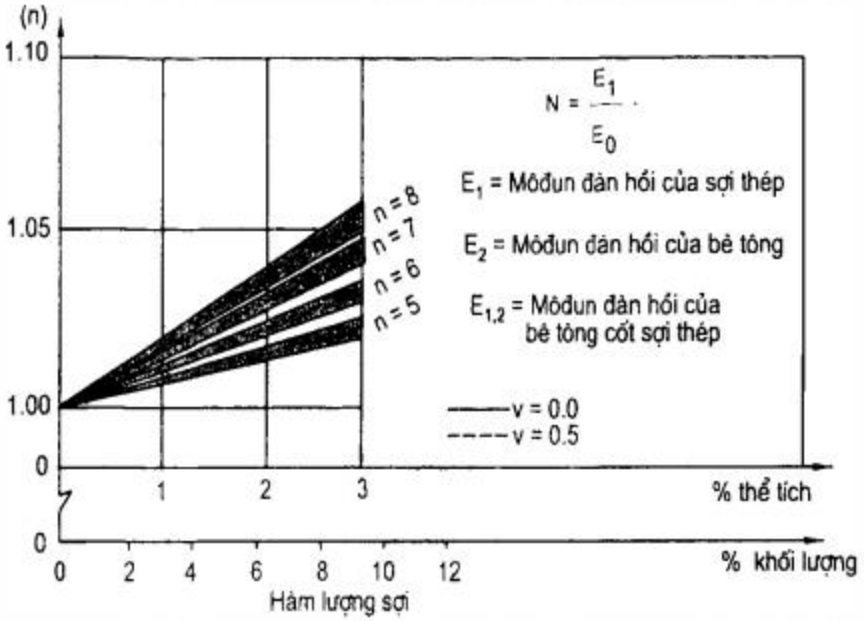
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các sợi thép ảnh hưởng đến cường độ kéo, cường độ cắt và nén, tính chất của vết nứt và quá trình biến dạng của bê tông. Những sự biến đổi những thành phần khác trong quá trình trộn bê tông hoặc quá trình sử dụng bê tông có thể có ảnh hưởng quan trọng đối với tính chất này. Đặc trưng hình học của những cấu kiện và điều kiện thí nghiệm cũng có một ảnh hưởng quan trọng và phải được tính đến bằng các hệ số tính toán.

Như bê tông thông thường, những ảnh hưởng của môi trường ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của bê tông đông cứng. Ảnh hưởng này có thể xuất hiện do sự bốc hơi nước bề mặt, do quá trình rửa trôi bề mặt ngoài, do tải trọng xung kích, tải trọng lặp hay các tác động hóa học khác. Nếu bỏ qua quá trình bảo dưỡng bê tông dưới những tác động trên có thể rất làm suy yếu tính chất của bê tông đông cứng. Như vậy, bảo dưỡng có một vị trí rất quan trọng để đảm bảo chất lượng bê tông.

2.2.6.1. Sự biến dạng đàn hồi

Trong trạng thái đàn hồi không nứt nẻ, tác dụng của sợi trong quá trình biến dạng là cực tiểu. Trong trường hợp hàm lượng sợi thông thường (thường không lớn hơn 1% thể tích), hàm lượng cốt sợi thép trong mặt cắt ngang không đáng kể để tạo nên một ảnh hưởng quan trọng đến tính chất bê tông dù mô đun đàn hồi của thép cao hơn. Hình 2.14 miêu tả mối quan hệ giữa hàm lượng sợi và mô đun đàn hồi của sợi với $l = l_{crit.}$



***Hình 2.14**: Ảnh hưởng của sợi thép dựa vào mô đun đàn hồi, $l = l_{crit}$*

Khi hàm lượng sợi là 8% trọng lượng, mô đun đàn hồi sẽ tăng nhiều nhất khoảng 5%. Đối với chiều dài sợi chưa đạt độ dài giới hạn, thì mô đun đàn hồi sẽ tăng thấp hơn. Như vậy, những tiêu chuẩn về mô đun đàn hồi và hệ số

Poisson của bê tông có cốt sẽ được tìm thấy trong những tiêu chuẩn có thể cũng được áp dụng trong tính toán những cấu kiện xây dựng sử dụng bê tông cốt sợi thép.

2.2.6.2. Nứt

Ảnh hưởng quan trọng nhất của sự tồn tại các sợi thép trong vật liệu này chúng có thể điều khiển quá trình phát triển vết nứt. Chúng làm chậm quá trình phát triển vết nứt và khi vết nứt mở rộng, chúng có trách nhiệm phân phối lại tải trọng trong vùng nứt nẻ. Như vậy, các sợi thép ảnh hưởng đáng kể đến trạng thái biến dạng của một cấu kiện bê tông đã xuất hiện vết nứt. Phạm vi của sự biến dạng phụ thuộc hình dạng kiểu sợi và hàm lượng sợi, mặt khác còn phụ thuộc vào tính chất của tải trọng, ví dụ ứng suất uốn sẽ gây ra biến dạng dẻo trong khi mà dưới cùng điều kiện đó ứng suất đúng tâm sẽ gây ra sự phá huỷ đột ngột.

Các sợi thép cũng cải thiện quá trình phân phối vết nứt. Số lượng vết nứt tăng thêm nhưng chiều rộng và khoảng cách giữa các vết nứt sẽ giảm đi. Trong trường hợp chịu tác động của ứng suất uốn, sự phân phối vết nứt trong bê tông cốt sợi thép tốt hơn bê tông cốt thép thông thường nếu hàm lượng sợi đủ. Việc tăng cường cốt sợi chủ yếu làm tăng thêm cường độ sau nứt của bê tông còn đối với cường độ trước khi nứt thì không đáng kể. Cường độ trước khi nứt chủ yếu được xác định bởi số lượng của sợi chứ không phải bởi kiểu sợi.

Trạng thái sau phá huỷ của bê tông cũng được cải thiện một cách đáng kể. Biến dạng khi phá huỷ tăng lên tới 10 lần đối với vật liệu nền thông thường. Như vậy sẽ làm cho khả năng làm việc của cấu kiện bê tông có sợi thép tăng thêm đáng kể.

2.2.6.3. Ứng suất kéo

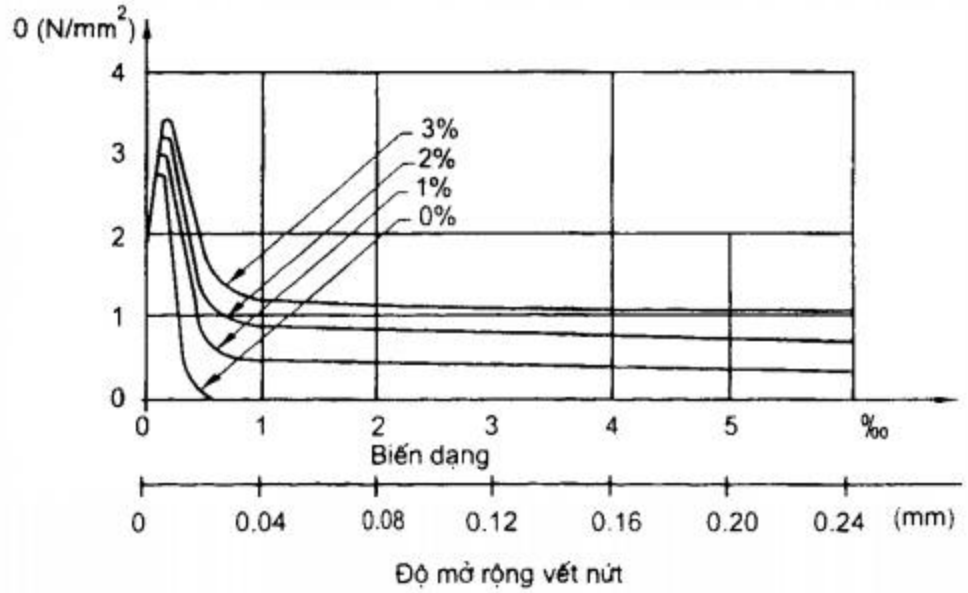
Vì khả năng đặc biệt của các sợi thép có thể chống lại sự hình thành và mở rộng vết nứt, sự khác nhau trong quá trình chịu ứng suất kéo giữa bê tông cốt thép thường và bê tông cốt sợi thép là hiển nhiên nhất. Tuy nhiên, quan trọng là cần phân biệt sự khác nhau những kiểu ứng suất kéo ứng suất đúng tâm, ứng suất uốn, ứng suất chẻ) từ đó sẽ dẫn tới trạng thái biến dạng khác nhau.

Để mô tả trạng thái của bê tông cốt sợi thép dưới tác dụng của ứng suất kéo, người ta cần phải tiến hành các thí nghiệm. Thông qua các thí nghiệm, người ta mới có thể đánh giá các tính chất vật liệu được trực tiếp ứng dụng trong cấu kiện, chú ý phải xét đến ảnh hưởng của những điều kiện ngoại vi.

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

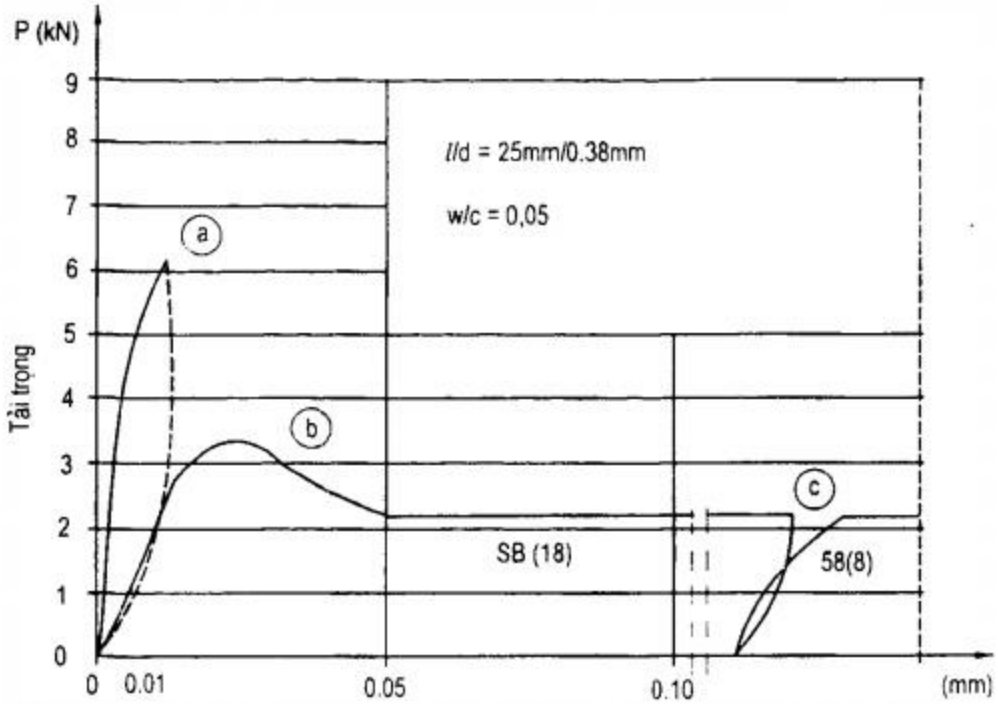
2.2.6.3.1. Ứng suất kéo đúng tâm

Thật không dễ dàng định rõ trạng thái của bê tông cốt sợi thép dưới tác dụng của ứng suất kéo đúng tâm. Khó khăn ở đây chính là quá trình đặt tải lên mẫu. Xác định trạng thái sau phá huỷ càng khó khăn hơn.



***Hình 2.15**: Quan hệ giữa ứng suất kéo và biến dạng hoặc bề rộng vết nứt*

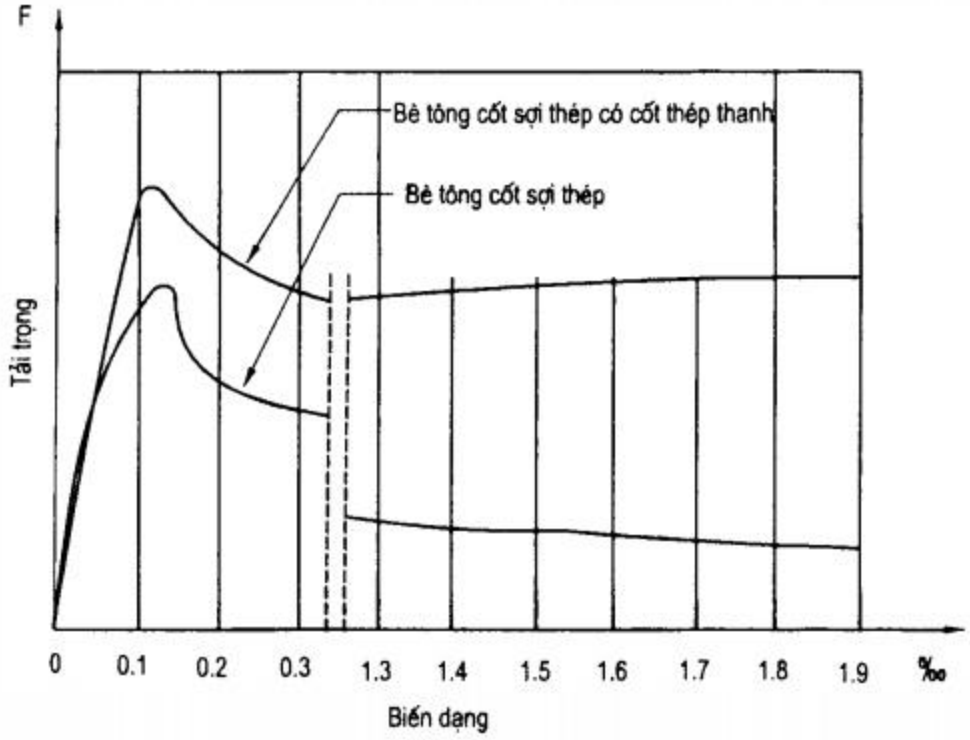
Ban đầu, bê tông cốt sợi thép chịu tác động của ứng suất kéo đúng tâm mang tính chất đàn hồi tuyến tính. Với sự hình thành những vết nứt vi mô ứng suất được tập trung trên sợi trong nền vật liệu.



***Hình 2.16**: Đặc trưng tải trọng - biến dạng uốn trong thí nghiệm kéo đúng tâm với tải trọng phân kỳ*

a) Đường cong trước khi nứt; b) Đường cong sau khi nứt;
c) Sự giảm bớt và sự xét lại tải trọng khi vết nứt xuất hiện

Cơ chế chuyển đổi này có thể được thông qua quá trình tăng biến dạng tải trọng đạt tới giá trị cực đại. Khi tải trọng cực đại làm cho biến dạng tăng thêm xấp xỉ 0.1‰, làm vết nứt hình thành và cường độ kéo suy giảm.



***Hình 2.17**: Ví dụ trong thí nghiệm kéo đúng tâm đối với bê tông cốt sợi thép với tải trọng phân kỳ*

Công thức sau đây dùng để tính toán cường độ kéo trước và sau khi hình thành vết nứt:

$$\beta^{I}_{fb,Z} = \left[K_1 + K_2 V_f \frac{L_f}{d_f} \right] \beta_{b,Z}$$

$$\beta^{II}_{fb,Z} = \left[K_3 \frac{L_f}{d_f} + K_4 \right] V_f \beta_{WN}$$

Trong đó:

$\beta^{I}_{fb,Z}$: Cường độ kéo trước khi hình thành vết nứt.

$\beta^{II}_{fb,Z}$: Cường độ kéo sau khi hình thành vết nứt.

$\beta_{b,Z}$: Cường độ kéo của bê tông thông thường.

β_{WN} : Cường độ danh định trong thí nghiệm mẫu lập phương.

K_1: Hệ số giảm khả năng ép (nén) vì sự có mặt của các sợi thép. Giá trị này giữa 0.9 và 1.0 cho loại sợi thẳng và nhẵn.

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

K_2: Hệ số cho trạng thái định hướng và liên kết sợi. Giá trị này khoảng 0.20 đến 0.30 cho loại sợi thẳng và nhẵn.

K_3: Hệ số cho tính chất liên kết sợi, sự định hướng sợi và tính cứng cáp của sợi.

K_4: Hệ số neo.

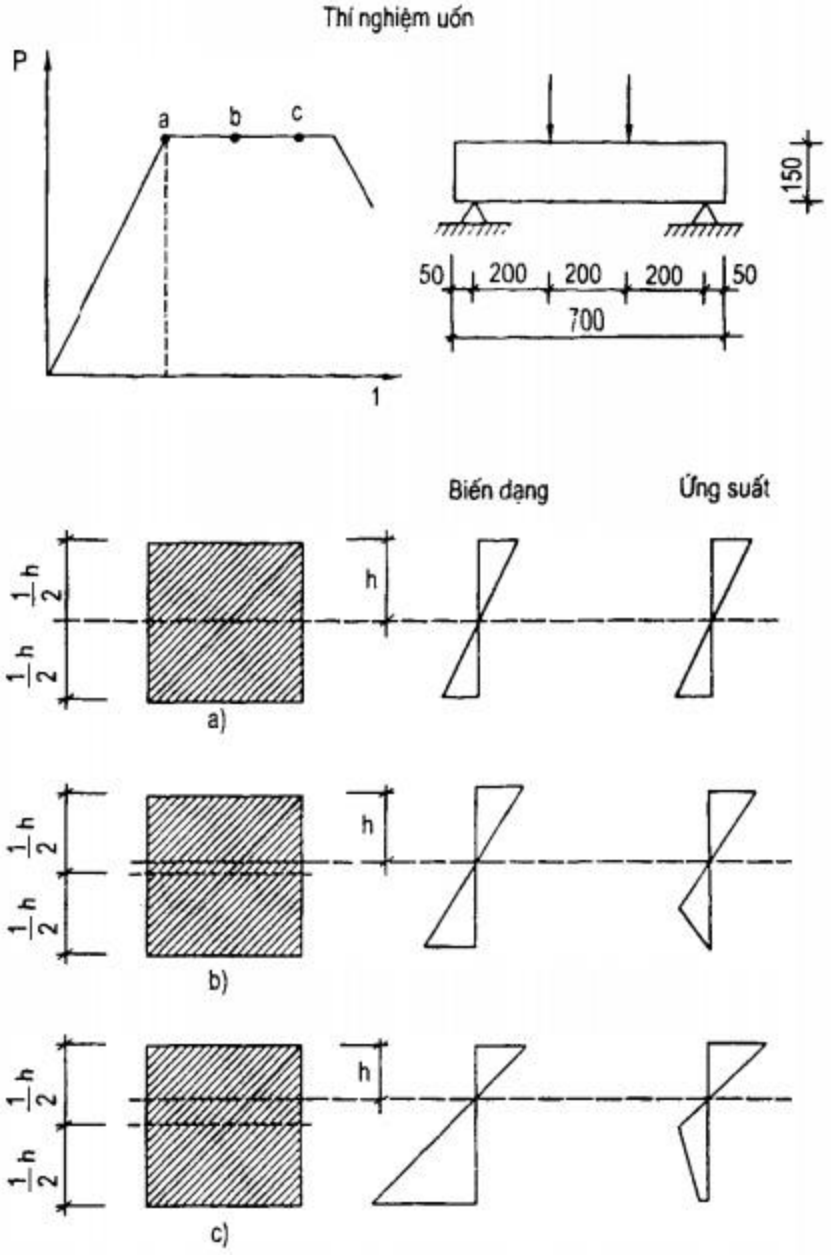
V_f: Hàm lượng sợi tính theo tỉ lệ thể tích.

L_f: Độ dài sợi.

d_f: Đường kính sợi.

Các hệ số K được xác định bằng thí nghiệm.

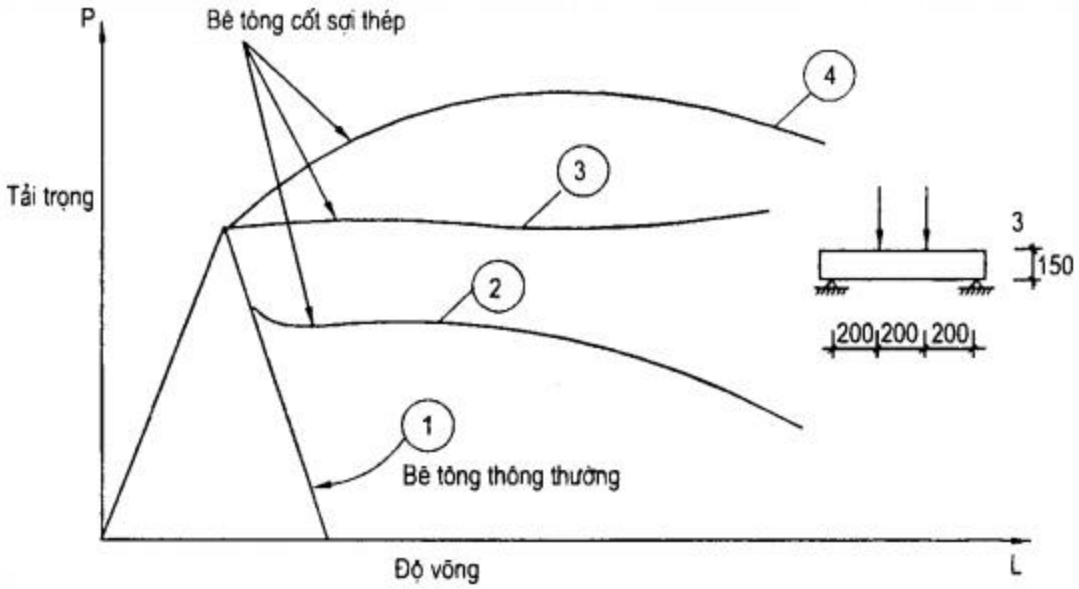
2.2.6.3.2. Ứng suất uốn



***Hình 2.18**: Sự phân phối lại ứng suất trong bê tông cốt sợi thép khi chịu tải trọng uốn*

Ứng suất uốn khác ứng suất đúng tâm về quá trình biến dạng. Khi chịu ứng suất đúng tâm, toàn bộ mặt cắt tiết diện cùng tham gia chịu lực, biểu đồ biểu diễn quá trình biến dạng là một hình chữ nhật, trong trường hợp chịu ứng suất uốn, mặt cắt ngang tiết diện phân làm 2 vùng kéo và nén. Như vậy biểu đồ biến dạng cũng phân làm 2 vùng kéo và nén (Hình 2.18).

Từ đó chúng ta có thể thấy rằng bê tông cốt sợi thép sẽ phát huy tác dụng trong trường hợp kết cấu chịu uốn. Trong trường hợp thông thường, khi cường độ ứng suất uốn tăng lên, trục trung hoà của tiết diện sẽ nâng dần lên, diện tích tiết diện chịu nén sẽ giảm dần, trong thớ chịu kéo, ứng suất kéo đạt đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông và vết nứt hình thành, mở rộng đến giá trị cực đại và kết cấu bị phá hoại. Nhưng đối với bê tông cốt sợi thép, khi ứng suất kéo trong thớ bê tông chịu kéo đạt đến giá trị cực đại, vết nứt xuất hiện thì cốt sợi thép sẽ không cho vết nứt mở rộng, cốt sợi sẽ làm tăng khả năng chịu kéo của tiết diện, và lúc này một sự cân bằng mới được thiết lập.



***Hình 2.19**: Thí nghiệm ứng suất uốn của bê tông cốt sợi thép*

Trên cơ sở của cơ chế này, không giống bê tông thông thường, bê tông cốt sợi thép có khả năng chịu tải trọng tốt hơn. Hình 2.19 chỉ ra sự khác nhau khi chịu tải trọng uốn giữa bê tông thường và bê tông cốt sợi thép. Đường (1) cho thấy sự phá huỷ của bê tông thông thường, trong đó sự phá huỷ xuất hiện sau khi cường độ vết nứt vượt quá giới hạn cho phép. Các đường còn lại chỉ ra sự phá huỷ của bê tông cốt sợi thép và cho thấy sự khác nhau giữa các mẫu thử bê tông cốt sợi thép khác nhau về thể tích sợi và kiểu

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

sợi. Sự giảm sức chịu tải khi cường độ vết nứt vượt quá giới hạn cực đại của loại mẫu thử biểu diễn trên đường (2) là do:

- Hàm lượng sợi nhỏ, xấp xỉ 0.7 % thể tích;
- Khả năng liên kết của sợi với nền vật liệu kém;
- Độ dài sợi quá lớn làm cho sợi bị cắt đứt trước khi sợi phát huy hết khả năng chịu kéo của nó.

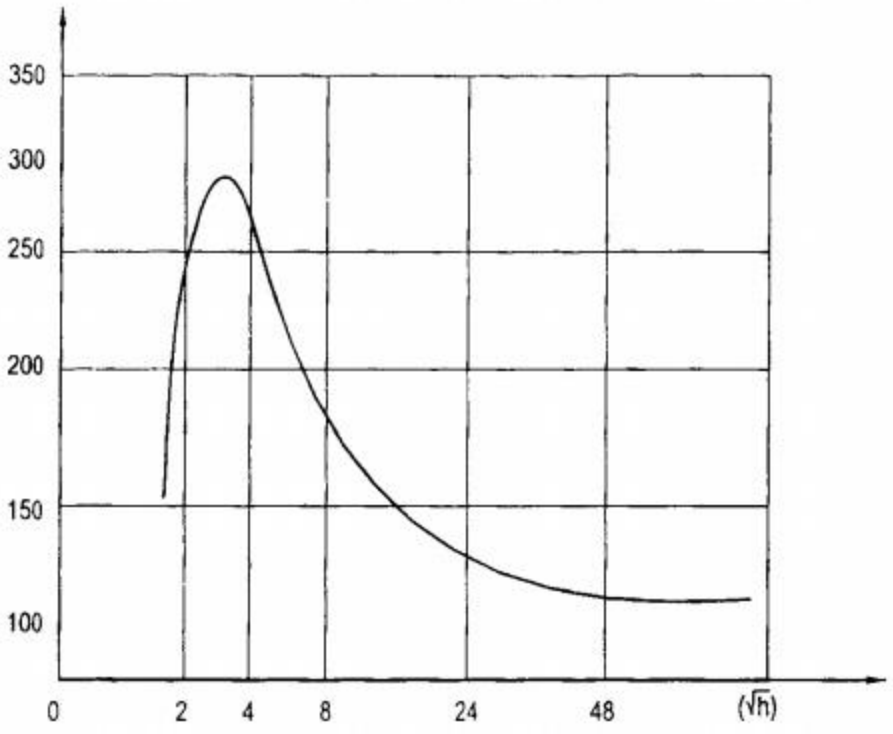
Đường (3) và (4) đạt được với các loại sợi có tính liên kết tốt và khả năng chịu kéo cao do được bẻ hai đầu hoặc uốn móc.

2.2.6.3.3. Ứng suất chẻ

Gia cường sợi thép trong bê tông làm cho cường độ nứt bị phân chia khi kết cấu chịu cường độ kéo đúng tâm. Cường độ vết nứt được cải thiện khoảng 30 % khi hàm lượng sợi khoảng 8 % trọng lượng. Những giá trị này đạt được đối với cả mẫu lập phương lẫn mẫu hình trụ. Thí nghiệm chẻ phần lớn cho thấy khả năng chịu tải của mẫu thử giảm mạnh khi ứng suất chẻ vượt quá giới hạn cho phép, trong khi những thí nghiệm với cường độ uốn cho thấy một trạng thái mềm dẻo vật liệu.

2.2.6.4. Ứng suất nén

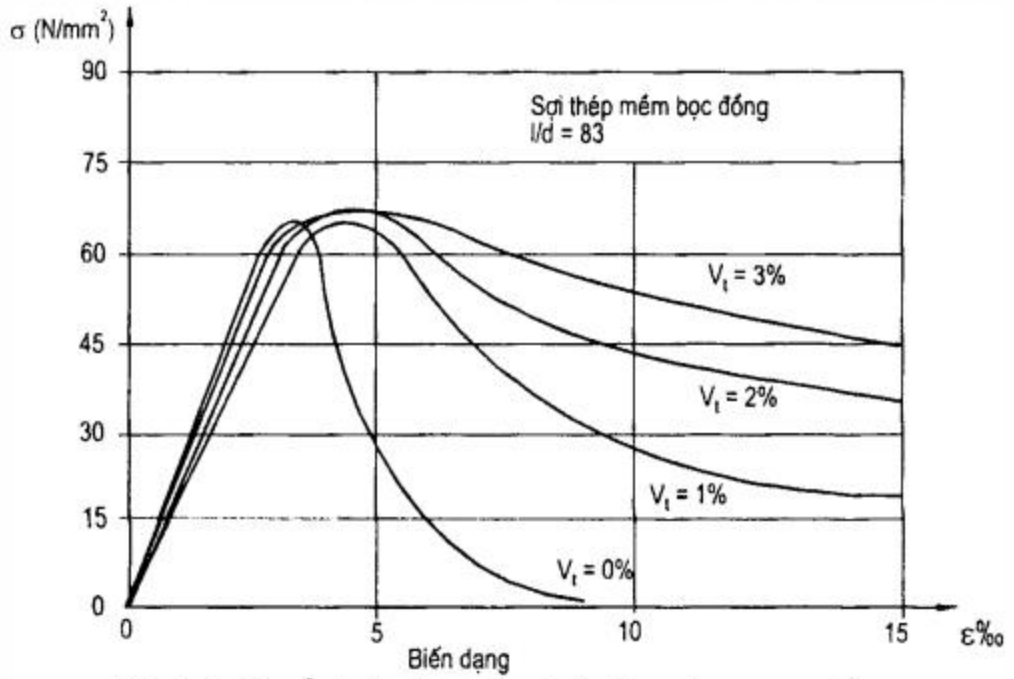
2.2.6.4.1. Cường độ ban đầu



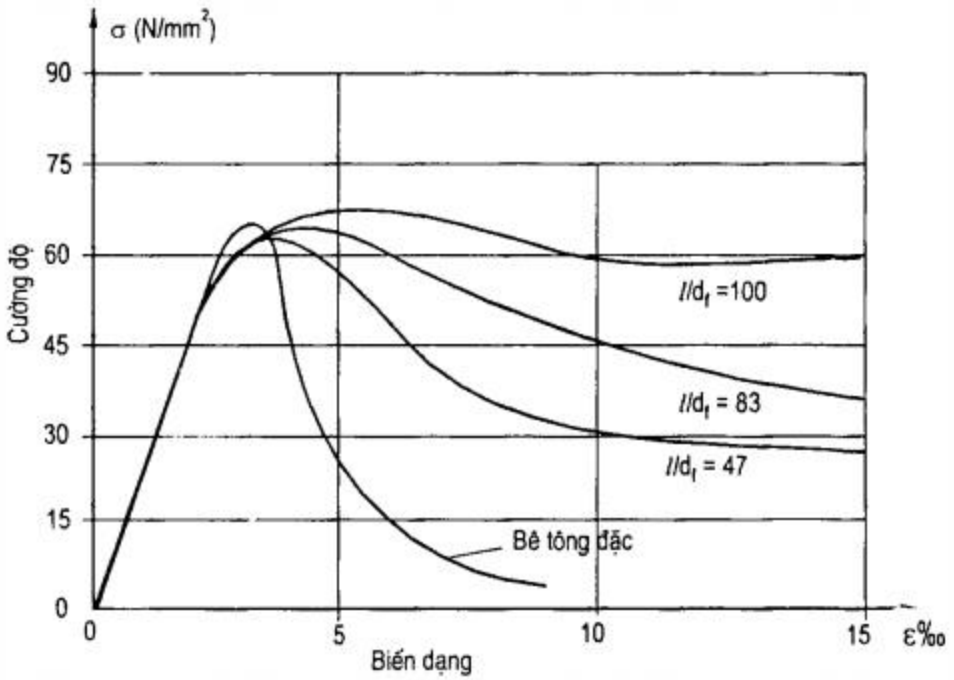
***Hình 2.20**: Cường độ ban đầu của bê tông cốt sợi thép*

Ngay sau quá trình sản xuất, bê tông đã có thể chịu lực. Trong trạng thái này, xuất hiện sự tăng tương đối trong cường độ vào giai đoạn đầu. Trong khi bê tông vẫn còn phát triển cường độ của nó, các sợi thép đã chống lại sự biến đổi cấu trúc và làm tăng khả năng chịu lực ban đầu của vật liệu. Hình 2.20 biểu diễn sự phát triển cường độ của bê tông phun cốt sợi thép, có thể nhận thấy rằng cường độ sớm tăng thêm 300%.

2.2.6.4.2. Bê tông đông cứng



***Hình 2.21**: Ảnh hưởng của thể tích sợi trong mối quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của mẫu thử bê tông cốt sợi thép*



***Hình 2.22**: Ảnh hưởng của (l/d) trong mối quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của mẫu thử bê tông cốt sợi thép*

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

Ứng suất nén cực đại của bê tông cốt sợi thép ở trạng thái rắn không tăng nhiều so với bê tông thông thường. Cường độ chỉ có thể tăng nhiều nhất khoảng 30 %. Hình 2.21 và 2.22 cho thấy mối quan hệ giữa bê tông cốt sợi thép với tỷ lệ hàm lượng sợi và tỉ lệ (l/d).

Hiệu ứng của cốt sợi thép đối với vết nứt đặt cơ sở chủ yếu về việc ngăn ngừa quá trình mở rộng vết nứt hơn là làm tăng khả năng chịu ứng suất nén. Chúng cũng cho thấy những cải tiến quan trọng đối với trạng thái sau phá huỷ, tính dẻo của bê tông cốt sợi thép cũng được tăng đáng kể so với trong bê tông thông thường. Điều đó rất có lợi trong trường hợp chịu tải trọng động và tải trọng xung kích.

2.2.6.5. Ứng suất cắt

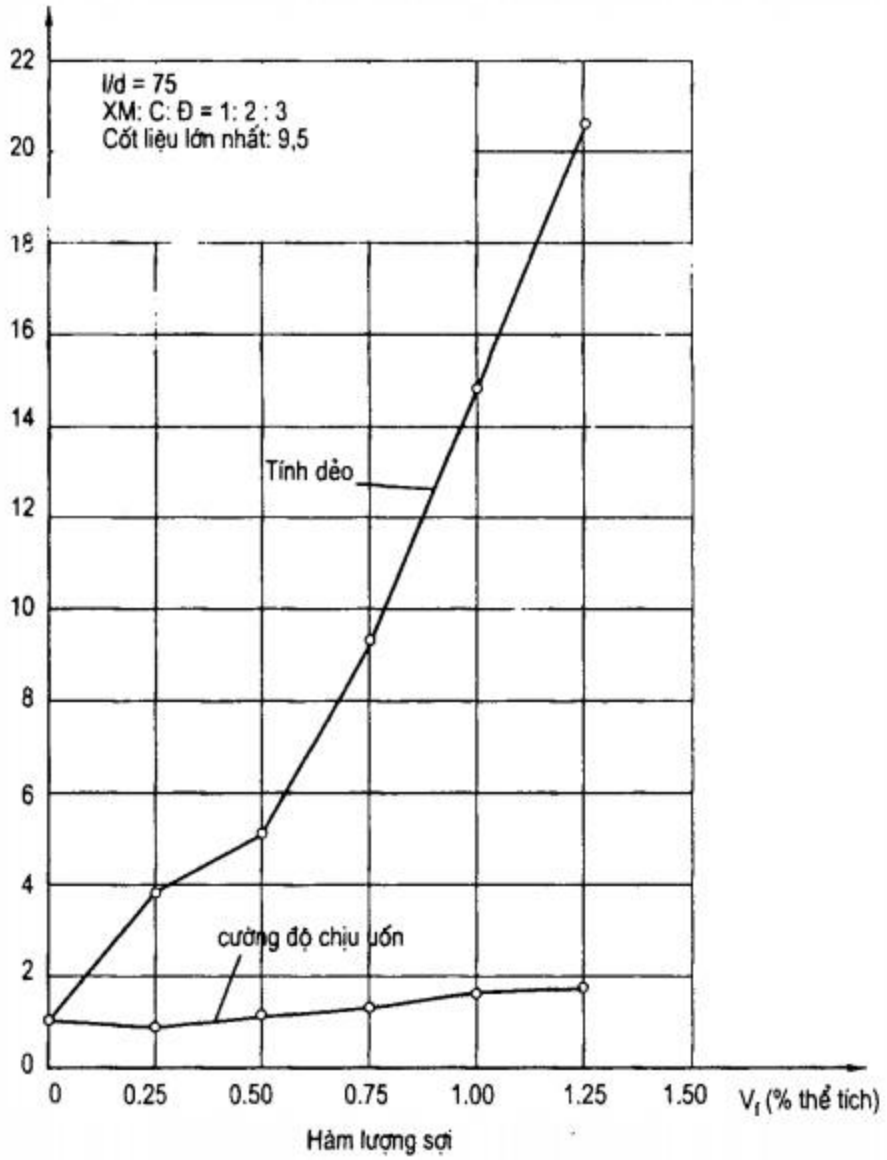
Cũng như đối với bê tông thông thường, cường độ cắt của bê tông cốt sợi thép cũng chính là cường độ kéo của vật liệu. Những cấu kiện bê tông cốt sợi thép không tăng cường cốt thép thanh cũng rất khó bị phá huỷ dưới tác dụng của ứng suất cắt thông thường mà thực chất sức căng hoặc ứng suất uốn thông thường là chìa khóa gây ra sự phá huỷ. Một số thí nghiệm đã chỉ ra rằng sự có mặt của cốt sợi thép đã làm tăng đáng kể khả năng chống cắt cho vật liệu. Khả năng tăng sức chống cắt có thể được giải thích bởi những nhân tố sau:

- Các sợi thép phân tán ngẫu nhiên trong nền vật liệu bê tông và phân bố dày đặc trong kết cấu hơn cốt thép thanh thông thường. Như vậy, chúng có thể trực tiếp làm chậm quá trình phát triển vết nứt;
- Các sợi thép làm việc ngay từ vết nứt đầu tiên và tăng cường cường độ kéo tới hạn của bê tông;
- Chiều rộng vết nứt giảm xuống.

Cơ sở của quá trình phát triển vết nứt còn do nhiều nguyên nhân khác, tuy nhiên, đây cũng là một sự cải tiến quan trọng đối với quá trình phân phối vết nứt. Như vậy, cường độ vết nứt đầu tiên của bê tông cốt sợi thép cao hơn so với bê tông cốt thép thông thường. Thông qua một số thí nghiệm, hàm lượng sợi thép vào khoảng 1% thể tích có thể tránh được sự phá huỷ đột ngột của ứng suất cắt. Tuy nhiên không thể hoàn toàn tránh sự phá huỷ cắt dù thể tích của những sợi được tăng. Như vậy, chúng ta có thể thấy rằng việc tăng cường bê tông bằng cốt sợi thép có tác dụng làm tăng khả năng chống cắt của bê tông, đồng thời có thể tránh được sự phá huỷ đột ngột của ứng suất cắt.

2.2.6.6. Tính dẻo

Trong khi bê tông thông thường thì rất giòn và rất nhanh phá huỷ, trong nhiều trường hợp của ứng suất, thậm chí sau khi đã vượt khỏi tải cực đại và sự biến dạng ngày càng tăng, khả năng chịu tải của bê tông cốt sợi thép vẫn chưa dừng hẳn. Tính chất này có thể được định nghĩa bởi tính dẻo, tương ứng với đoạn sau của đồ thị tải trọng - biến dạng. Như vậy, tính dẻo là một tham số cơ bản đối với tính chất của bê tông cốt sợi thép. Vì vậy, tính dẻo là một tính chất rất quan trọng của vật liệu trong những trường hợp kết cấu chịu tải trọng động, tác động của sóng, v.v...

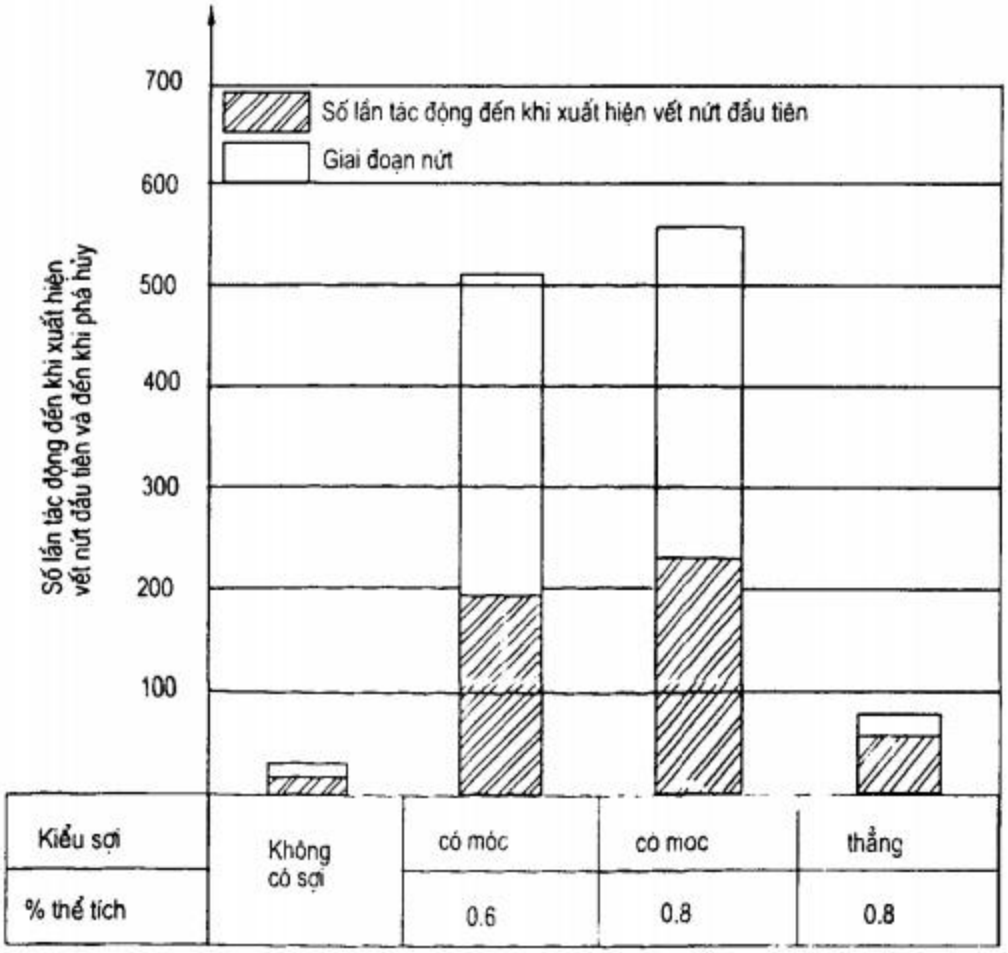


***Hình 2.23**: Minh họa sự phát triển tính dẻo phụ thuộc hàm lượng sợi*

Đặc biệt, tính dẻo trong dầm chịu uốn rất nổi bật. Các thí nghiệm đối với mẫu dầm chịu uốn cho thấy tính dẻo bộc lộ khá cụ thể, các dầm khi chịu uốn sẽ không bị phá huỷ đột ngột, vết nứt phát triển chậm hơn rất nhiều và

mẫu không phá huỷ hoàn toàn, ngược lại, đối với mẫu đối chứng không có cốt sợi thép, phá huỷ rất đột ngột, mẫu thử bị phá huỷ hoàn toàn.

2.2.6.7. Độ bền chịu va đập



***Hình 2.24**: Mối tương quan giữa hình dạng, hàm lượng sợi với cường độ tác động của bê tông cốt sợi thép.*

Khả năng chịu tác động xung kích va đập của bê tông cốt sợi thép cao hơn đáng kể so với bê tông thông thường. Nguyên nhân là do khả năng chịu kéo và khả năng liên kết giữa cốt sợi thép và nền vật liệu của sợi. Khi lực xung kích tác động, chúng sẽ được phân nhỏ đến các phần vật liệu. Những thí nghiệm kiểm chứng cho thấy rằng khả năng này phụ thuộc vào cấu trúc của vật liệu, tức là phụ thuộc vào hình dạng của sợi và hàm lượng sợi trong vật liệu.

Thí nghiệm với những bản bê tông kê bốn cạnh (4×4×0.15m) dùng bê tông cốt sợi, tải trọng tác dụng là một quả nặng nặng 1.3 tấn, kéo lên độ cao 20 m rồi thả rơi tự do. Đối với bản bê tông thường, sự phá huỷ diễn ra đột ngột, còn đối với bản bê tông cốt sợi thép, sự phá huỷ giảm một cách đáng kể, các sợi thép giữ cho cấu trúc của vật liệu làm việc cùng nhau.

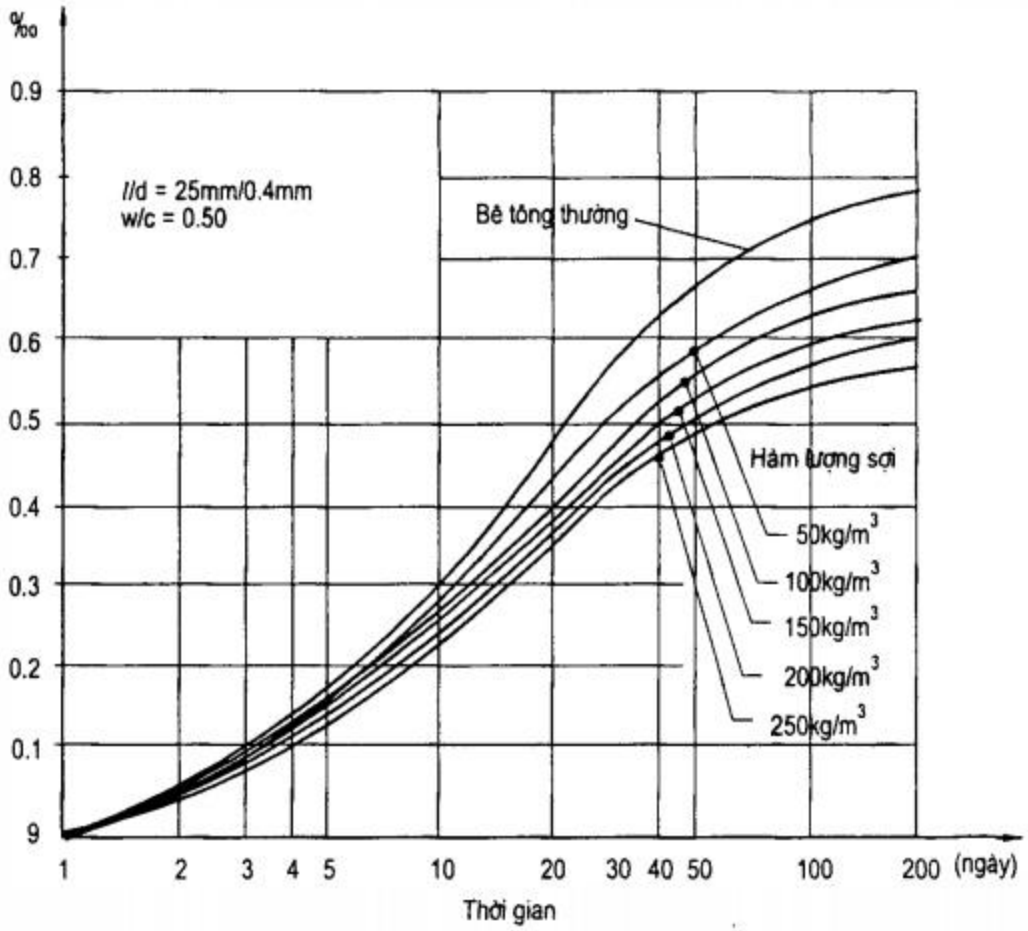
2.2.6.8. Tác dụng của nhiệt độ cao

Sự có mặt của sợi thép trong bê tông ảnh hưởng đến tính dẫn nhiệt của vật liệu, và có thể làm tăng tính dẫn nhiệt của vật liệu lên tới 40 %, mặc dù bê tông cốt sợi thép có thể tích lỗ rỗng cao hơn. Tuy nhiên hệ số nở dài vì nhiệt chưa bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của sợi.

Dưới tác động của nhiệt độ cao, bê tông cốt thép thường chỉ chịu được đến một giới hạn nhất định khi lớp bê tông bảo vệ bị phá huỷ, còn đối với bê tông cốt sợi thép, đo được phân tán trong toàn bộ kết cấu nên được bảo vệ tốt hơn.

2.2.6.9. Co ngót

Bê tông khi đông kết trong không khí sẽ có xu hướng co lại. Nguyên nhân là do các phản ứng thuỷ hoá trong khi hình thành cường độ của bê tông. Đối với bê tông cốt sợi, trong quá trình diễn ra sự co ngót, các sợi thép sẽ hạn chế đáng kể quá trình này.



***Hình 2.25**: Biểu đồ so sánh biến dạng co ngót của các loại bê tông cốt sợi thép*

2.2.6.10. Ăn mòn sợi thép

Sự ăn mòn thép là một quá trình xuất hiện khi môi trường hồ xi măng bảo vệ sợi bị phá hủy dưới tác dụng hoá học hoặc nếu các sợi thép tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài tại vị trí vết nứt.

2.3. MỘT SỐ NGHIÊN CỨU VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA CỐT SỢI ĐẾN ĐẶC TÍNH CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI NÓI CHUNG

2.3.1. Đặt vấn đề

Trong phần này trình bầy một số nghiên cứu cơ học của bê tông cốt sợi nói chung, trong đó kể cả cốt sợi thép và các cốt sợi khác.

Bê tông cốt sợi là loại vật liệu hỗn hợp của hai hay nhiều thành phần khác nhau, có các tính chất đặc biệt mà các vật liệu thành phần không có và giữ nguyên một số tính chất có ích khác của chúng.

Trong lĩnh vực bê tông cốt sợi, các vật liệu nền có chất kết đính từ vữa xi măng được gia cường bằng vật liệu cốt (dạng sợi, dạng hạt...), gọi là vật liệu composit hay vật liệu tổ hợp. Sự kết hợp đó nhằm hạn chế khuyết điểm của vật liệu này bằng ưu điểm của vật liệu kia, tạo ra sản phẩm mới có tính năng cơ lí hơn hẳn vật liệu ban đầu và ngoài ra còn có thể hạ giá thành sản phẩm khi sử dụng vật liệu truyền thống có tính năng cơ học tương đương.

Thông thường vật liệu cốt có các tính chất cơ, hoá và lí cao hơn vật liệu nền. Vì vậy việc đưa vật liệu cốt vào nền nhằm mục đích phân tán các điểm chịu ứng suất tập trung trên nền sang cho cốt, làm tăng khả năng chịu lực của vật liệu. Còn vật liệu nền bê tông đóng vai trò chất liên kết các cốt liệu độn, chuyển chất độn từ dạng rời rạc thành vật liệu liên tục, làm tăng tính năng sử dụng.

Sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền là tính chất cơ bản có ảnh hưởng đến sự hoàn thiện cho vật liệu nền của bê tông cốt sợi. Phân tích về sự tương tác giữa chúng sẽ đánh giá sự tham gia, gia cường của sợi và để dự đoán khả năng cơ học của bê tông cốt sợi. Một số nhà khoa học đã nghiên cứu trên các khía cạnh của sự tương tác này. Nhiều yếu tố có ảnh hưởng đến sự tương tác giữa sợi với vật liệu nền:

- Điều kiện, trạng thái của vật liệu nền: khi chưa nứt hay đã nứt;
- Hỗn hợp: thành phần vật liệu nền;
- Hình dạng sợi, chiều dài sợi, loại sợi;
- Hướng sợi: đẳng hướng hay phân bố ngẫu nhiên;
- Tỷ lệ thể tích sợi sử dụng.
- Hiệu quả của sợi là nâng cao tính chất cơ học trong vật liệu nền được thông qua 2 quá trình:
- Quá trình truyền tải trọng từ vật liệu nền sang sợi.

- Sự ảnh hưởng bắc cầu của sợi qua vết nứt của vật liệu nền phát sinh khi tăng tải trọng.

Nghiên cứu, đánh giá mối quan hệ tương tác giữa vật liệu cốt và vật liệu nền là cơ sở để tìm kiếm tỉ lệ pha trộn vật liệu hợp lý và các đặc trưng cơ lý của vật liệu composit phục vụ cho việc sử dụng cũng như tính toán sự làm việc của vật liệu này.

Trong việc sử dụng bê tông cốt sợi, tùy theo trạng thái chịu lực và tính chất làm việc của kết cấu mà người ta phân ra làm hai loại chính đó là bê tông cốt sợi đồng phương hay bê tông cốt sợi phân tán.

2.3.2. Xác định các đặc tính của bê tông cốt sợi đồng phương

Ta biết rằng, việc xác định các đặc tính của bê tông cốt sợi đồng phương thực chất chính là bài toán xác định các mô đun đàn hồi của một vật liệu composit đồng phương, gồm việc xây dựng các biểu thức của các mô đun độc lập khi đã biết các đặc trưng cơ học và hình học của các vật liệu thành phần: mô đun đàn hồi của sợi, chất kết dính vữa xi măng, tỷ lệ khối lượng sợi, độ dài sợi...

Cơ tính của sợi và chất kết dính nền được đặc trưng bởi các mô đun đàn hồi và hệ số poisson, ký hiệu tương ứng là E_s, ν_s, và E_n, ν_n.

Tuỳ theo chiều dài của cốt sợi, phân ra các trường hợp sợi có chiều dài vô tận (liên tục), và sợi ngắn.

2.3.2.1. Trường hợp sợi có chiều dài liên tục

Để xác định mô đun đàn hồi, ta giả thiết bê tông cốt sợi liên tục được khảo sát thỏa mãn một số điều kiện sau:

- Sợi cốt dài vô tận, phân bố đều và định hướng theo một chiều song song với nhau.

-Thành phần và tổ chức của vật liệu làm nền được đảm bảo hoàn toàn đồng nhất. Đối với vật liệu làm cốt điều kiện này cũng được thoả mãn.

- Liên kết nền - cốt được thực hiện một cách hoàn hảo, đảm bảo sự biến dạng của cốt và nền xảy ra đồng thời, khi đó biến dạng của bê tông ε_c bằng biến dạng của sợi ε_s và bằng biến dạng của nền ε_n:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_n = \varepsilon_s$$

Như vậy, khi đặt tải trọng theo chiều song song với trục sợi (hình 2.26), từ điều kiện liên kết hoàn hảo giữa nền và cốt ta có:

$$P_c = P_n + P_s$$

$$\text{hoặc } \sigma_c . F_c = \sigma_b . F_n + \sigma_s . F_s ;$$

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

biến đổi theo thể tích ta được:

$$\sigma_c . Fc = \sigma_s . V_s + \sigma_n . (1-V_s);$$

Trong đó:

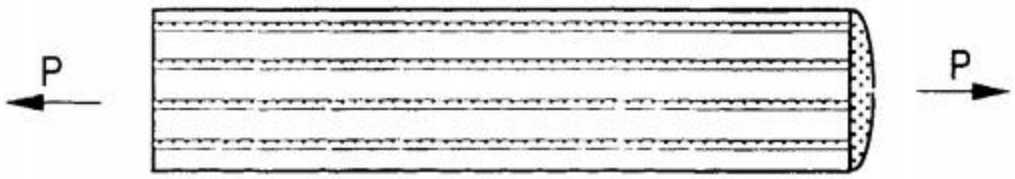
P_c, P_n, P_s: lực tác dụng lên bê tông cốt sợi, lên nền và sợi;

F_c, F_n, F_s: diện tích tiết diện ngang tổng cộng tương ứng của bê tông cốt sợi, nền và cốt sợi;

V_n, V_s: thể tích của vật liệu nền và cốt sợi;

σ_c, σ_n, σ_s: ứng suất trong bê tông, nền và cốt sợi tại thời điểm cốt sợi bị đứt. Theo định luật Hook $\sigma = \varepsilon . E$, ta có:

$$E_c = V_s . E_s + (1 - V_s) . d\sigma_n / d\varepsilon_n \qquad (2\text{-}1)$$



***Hình 2.26**: Bê tông cốt sợi đồng phương*

Trong đó: $d\sigma_n / d\varepsilon_n$ là độ nghiêng của đường cong biến dạng kéo của nền được xác định tại giá trị σ_n. Khi giá trị σ_n nằm trong vùng đàn hồi của đường cong kéo, $d\sigma_n / d\varepsilon_n$ có giá trị bằng mô đun đàn hồi của nền E_n.

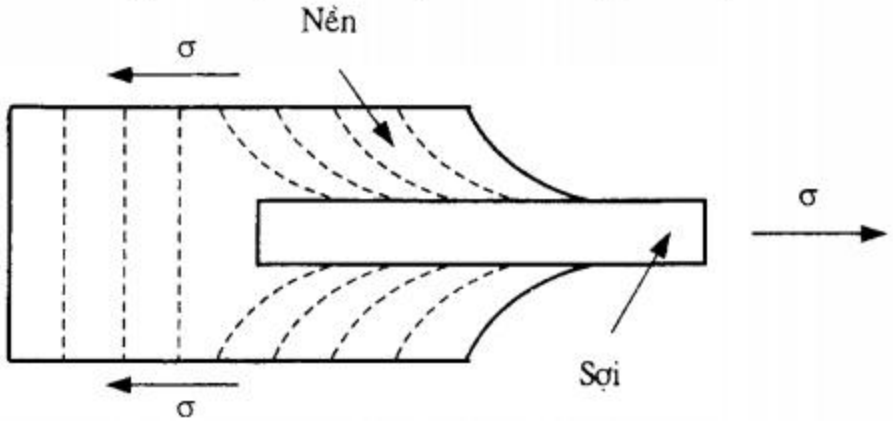
Như vậy, trong vùng đàn hồi thuần tuý biểu thức (2-1) có dạng:

$$E_c = E_s . V_s + E_n . (1- V_s) \qquad (2\text{-}2)$$

2.3.2.2. Trường hợp sợi có chiều dài giới hạn (chiều dài ngắn)

2.3.2.2.1. Tính toán chiều dài sợi giới hạn và môđun đàn hồi

Trong thực tế các sợi cốt thường có chiều dài giới hạn, do vậy cần phải tính đến "hiệu ứng đầu mút". Đó là hiệu ứng phụ thuộc vào yếu tố hình học sợi cốt, gây ảnh hưởng rất mạnh đến độ bền bê tông cốt sợi.

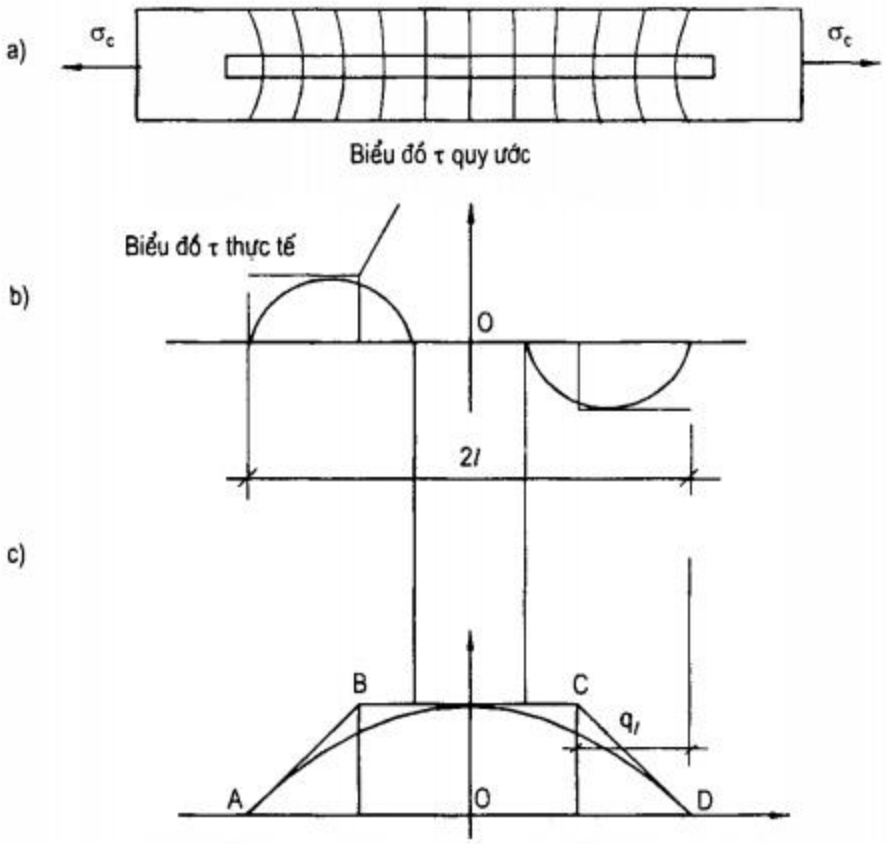


***Hình 2.27**: Sơ đồ biến dạng nền khi đặt tải vào bê tông cốt sợi ngắn*

Trên hình 2.27 ta thấy dưới tác dụng của ứng suất, sự biến dạng của nền dừng lại ở mút sợi. Điều này cũng có nghĩa là tại vùng đầu mút sợi, hiện tượng truyền tải trọng từ nền sang cốt không xảy ra.

Nếu sợi ngắn quá, tức là chiều dài nhỏ hơn chiều dài tới hạn (Lth), thì khi cường độ của lực tác dụng lên mẫu composit tăng lên sẽ không xảy ra hiện tượng đứt sợi mà lúc này chỉ có thể xảy ra khả năng là khi cường độ lực tác dụng đủ lớn, vượt quá một giá trị cho phép, sợi cốt sẽ bị kéo tuột ra khỏi nền. Như vậy độ bền của cốt sợi không được tận dụng và kết quả là composit rất kém bền. Chỉ trong trường hợp chiều dài sợi vượt quá chiều dài giới hạn, thì nó mới bị phá huỷ trong mẫu composit khi lực tác dụng vượt quá giá trị cho phép và lúc này vai trò của sợi cốt mới được phát huy và làm tăng độ bền của vật liệu composit.

Hình 2.28 chỉ rõ sự chuyển dịch biến dạng và ứng suất từ nền sang cốt trong mẫu composit có một sợi có độ dài $L = 2l$. Khi đặt vào mẫu ứng suất σ_c, lập tức một phần giá trị ứng suất này (σ_s) được chuyển sang cốt do sự truyền tải xảy ra ở vùng ranh giới nền - cốt thực hiện nhờ ứng suất tiếp τ.



Hình 2.28: *Sợi cốt dài 2l trong nền dẻo: a) Hiệu ứng đầu mút khi compozit chịu tải; b) Phân bố ứng suất tiếp trên ranh giới cốt - nền; c) Phân bố ứng suất kéo trong sợi.*

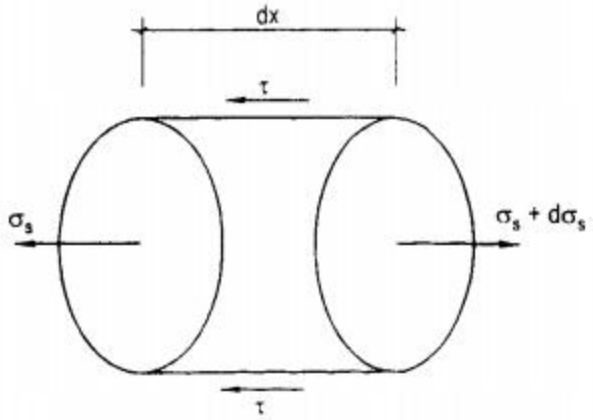
Ứng suất tác dụng trong nền tăng theo sự tăng của σ_c. Đến khi đạt giới hạn chảy, biến dạng dẻo nền bắt đầu xảy ra trước hết tại các vùng đầu mút

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

sợi (hình 2.28a). Theo mức độ tăng thêm σ_c, biến dạng dẻo trong nền cũng tăng theo và phần tải truyền sang cốt càng lớn. Quá trình tiếp tục cho đến khi ứng suất trong cốt sợi đạt σ_s thì sợi đứt.

Trên hình 2.28c chỉ rõ ứng suất truyền từ nền sang cốt tăng dần từ hai đầu mút sợi cốt (các đoạn AB và CD) đạt giá trị cực đại và không đổi (đoạn BC). Để đơn giản ta giả thiết biểu đồ của τ và σ_s có dạng như đường đứt nét.

Xét 1 mẩu cốt sợi có chiều dài dx, được cắt trong vùng AB nằm cân bằng dưới tác dụng của ứng suất như hình 2.29.



***Hình 2.29**: Cân bằng ứng suất trong đoạn cốt chiều dài dx.*

Từ điều kiện cân bằng ta có:

$$\Pi r^2 d\sigma_s = - 2\Pi r \tau dx \qquad (2\text{-}3)$$

Để đơn giản và rút gọn, có thể viết:

$$d\sigma_s / dx = - 2 \tau / r \qquad (2\text{-}4)$$

Tích phân phương trình này và chú ý điều kiện biên ($\sigma_s = 0$ khi $x = l$), ta có:

$$\sigma_s = 2(\tau / r)(l-x) \qquad (2\text{-}5)$$

Tại đoạn trung tâm BC thoả mãn điều kiện:

$$- l (1 - q) \leq x \leq l (1 - q) \text{ (hình 2.29c),}$$

Ứng suất kéo σ_s trong sợi đạt max khi:

$$\sigma_s \max = 2q.S\tau \qquad (2\text{-}6);$$

Trong đó: $q = L_{th}/L$, đại lượng đặc trưng cho hiệu ứng đầu mút trong composit cốt sợi có chiều dài giới hạn.

Gọi: $S = L/d = l/r$ - là yếu tố hình học của sợi.

r - là bán kính của sợi.

Trong thực tế, mẫu bê tông không chỉ chứa một cốt sợi như mô hình vừa nêu, mà tập hợp rất nhiều các sợi xếp song song với nhau. Nếu ta cắt bằng

một mặt phẳng P nào đó vuông góc với trục mẫu composit, thì nó sẽ cắt vuông góc với các sợi cốt theo những vị trí khác nhau (so với đầu mút các sợi cốt) hoặc ở gần đầu mút (trên các đoạn AB và CD) hoặc ở vùng trung tâm (trên đoạn BC). Do vậy ứng suất tác dụng lên cốt của mẫu tại tiết diện ứng với mặt phẳng P được ký hiệu bằng σ_s^{th} là đại lượng trung bình của các giá trị ứng suất trên tiết diện của từng sợi cốt với chính mặt phẳng đó.

Giá trị ứng suất này được xác định theo phương pháp trung bình, tức là lấy diện tích hình thang ABCD chia cho chiều dài sợi $2l$ (hình 2.30a).

Như vậy ta có:

$$\sigma_s^{tb} = \sigma_s^{max} (1 - q/2) \qquad (2\text{-}7)$$

Áp dụng quy tắc hỗn hợp, có thể viết:

$$\sigma_c = V_s \sigma_s^{th} + (1 - V_s) \sigma_n^{th} \qquad (2\text{-}8)$$

Trong đó: σ_s^{th}: ứng suất trung bình tác dụng lên nền.

Kết hợp (2-7) và (2-8) ta được:

$$\sigma_c = V_s \sigma_s^{max}(1 - q/2) + (1 - V_s) \sigma_n^{th} \qquad (2\text{-}9)$$

Khi giả thiết là nền còn đang trong vùng biến dạng đàn hồi, tức là σ_n^{th} nhỏ hơn giới hạn tỷ lệ của vật liệu nền, thì tại vùng trung tâm của sợi biến dạng của nền và cốt luôn bằng nhau, tức là:

$$\varepsilon = \sigma_s^{max} / E_s = \sigma_n^{th} / En \qquad (2\text{-}10)$$

Kết hợp (2-6) với (2-9) và (2-10) ta có:

$$\sigma_c = \left[V_s E_s + (1 - V_s) E_n\right] \varepsilon - \frac{V_s E_s^2 \varepsilon^2}{4\tau S} \qquad (2\text{-}11)$$

Khi q = 1 (hình 2.30b), ứng suất tại trung điểm của sợi đạt cực đại σ_s^{max}. Đây chính là trường hợp tới hạn, sợi bắt đầu phát huy vai trò tăng bền trong composit.

Giả thiết $\sigma_s^{max} = (\sigma_b)_s$, từ (2-6) ta rút ra trị số tới hạn của yếu tố hình học của sợi:

Đặt: $$S^* = (\sigma_b)_s / 2\tau \qquad (2\text{-}12)$$

Độ dài tới hạn của sợi:

$$L_{th} = S^* ds = [(\sigma_b)_s / 2\tau].ds \qquad (2\text{-}13)$$

Khi $S \geq 10S^*$, ta có $\sigma_s^{th} = 0{,}95\ (\sigma_b)_s$, tức là tính chất của bê tông cốt sợi trong trường hợp này đạt gần như bê tông cốt sợi liên tục. Do vậy nếu bê

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

tông cốt sợi thoả mãn điều kiện $S \geq 10S^*$, thì nó được coi là bê tông cốt sợi liên tục, ngược lại coi như là bê tông cốt sợi ngắn.

Dưới đây xét 2 trường hợp đặc trưng:

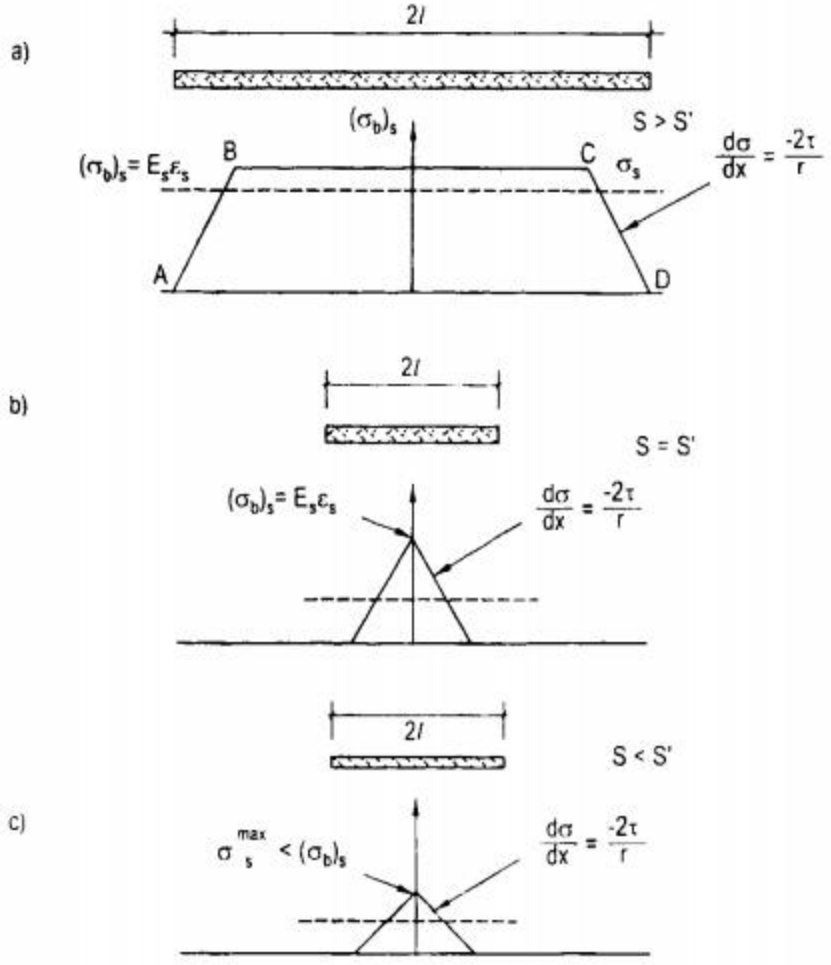
- Trường hợp 1: $q < 1$ và $S > S^*$

Nếu S có giá trị rất lớn, tức là sợi rất dài và đường kính của nó nhỏ, từ (2-11) ta có:

$$\sigma_c=[V_sE_s +(1-V_s)E_n]\varepsilon_c \qquad (2\text{-}14)$$

từ đó rút ra:

$$E_c = \sigma_c / \varepsilon = V_s E_s + (1 - V_s) E_n \qquad (2\text{-}15)$$



***Hình 2.31**: Ba trường hợp đặc trưng phân bố ứng suất trong sợi gián đoạn khi composit bị kéo*

a) $S > S'$ - sợi bị đứt khi $\sigma_s = (\sigma_b)_s$;

b) $S = S'$- sợi bị đứt khi $\sigma_s = (\sigma_b)_s$;

c) $S < S'$ - sợi không bị đứt

Như vậy mô đun đàn hồi E_c của composit cốt sợi có độ dài lớn, đường kính nhỏ phù hợp với quy tắc hỗn hợp.

Khi S tiến tới giá trị vô cùng lớn, sợi sẽ đứt tại giá trị $\sigma_s^{max} = (\sigma_b)_s$ và độ giãn dài phá huỷ của mẫu bê tông cốt sợi ε_c bằng giá trị độ giãn dài phá huỷ của sợi ε_s.

Lúc này từ (2-11) ta có:

$$\sigma_c = V_s\sigma_s + (1 - V_s) E_n \varepsilon_s \qquad (2\text{-}16)$$

Vì $E_n \varepsilon_s = E_n \varepsilon_n = \sigma_n$, nên công thức (2-16) chính là công thức xác định $(\sigma_b)_c$ của sợi có chiều dài liên tục, nghĩa là:

$$\sigma_c = V_s\sigma_s + (1 - V_s) \sigma_n$$

Trường hợp S không lớn lắm, giới hạn bền của bê tông cốt sợi tuân theo biểu thức (2-11), nghĩa là quan hệ phụ thuộc giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu bê tông cốt sợi không còn tuyến tính và đường cong $\sigma = f(\varepsilon)$ sẽ càng hạ thấp, khi S càng nhỏ.

- Trường hợp 2: q>1 và S <S*

Nếu S = l/d < S*, thì độ dài của sợi cốt quá ngắn, nên giá trị cực đại của ứng suất chuyển sang cốt không thể đạt tới giới hạn bền của sợi $(\sigma_b)_s$.

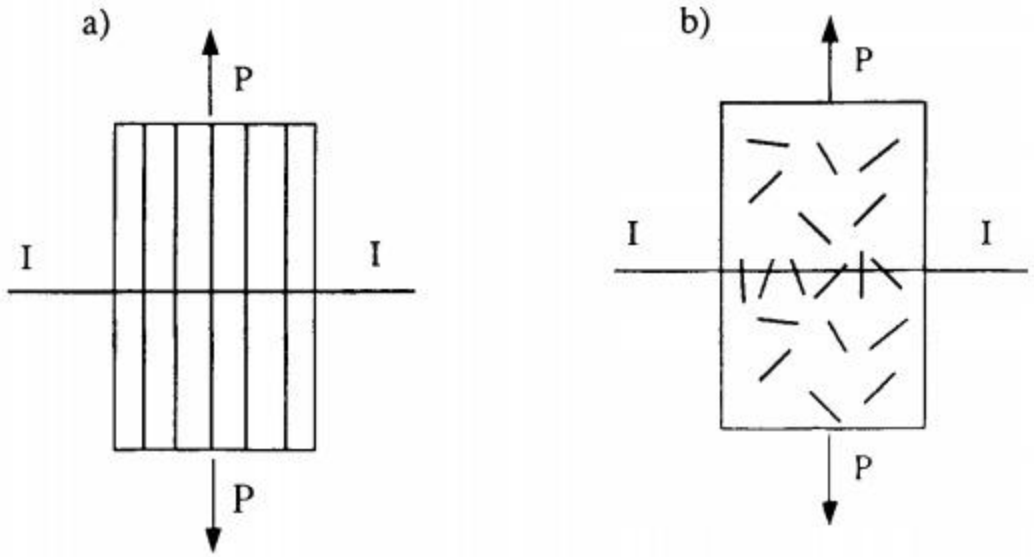
Với giá trị q = 1, kết hợp biểu thức (2-6), (2-7),(2-9), (2-10) ta có:

$$\sigma_c = V_s S \tau + (1 - V_s) E_n \varepsilon \qquad (2\text{-}17)$$

hoặc:
$$\sigma_c = V_s S \tau + (1 - V_s) \sigma_n \qquad (2\text{-}18)$$

Đây là biểu thức biểu diễn quan hệ phụ thuộc giữa σ_n của bê tông với hàm lượng và đặc tính của cốt nền khi $L \le L_{th}$.

2.3.3. Xác định các đặc tính của bê tông cốt sợi phân tán



Cốt sợi liên tục, đồng phương Cốt sợi ngắn phân tán

Hình 2.32

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

Ở trên đã khảo sát độ bền, cũng như mô đun đàn hồi của vật liệu tổ hợp khi các sợi ngắn xếp song song đều đặn theo một chiều thống nhất trùng với chiều của ứng suất (hình 2.32a). Trong trường hợp cốt sợi ngắn (cốt sợi phân tán) phân bố hoàn toàn ngẫu nhiên không theo một phương và không theo một quy luật nào cả (hình 2.32b), để xác định mối quan hệ giữa đặc trưng hình học sợi đến tính chất của vật liệu tổ hợp, ta phải xác định được chiều dài tới hạn của sợi cũng như mô đun đàn hồi (mô đun hiệu quả) của vật liệu tổ hợp.

Trong trường hợp cốt sợi có chiều dài liên tục như đã trình bày ở phần trên, dưới tác dụng của lực kéo P đủ lớn, kết cấu sẽ bị nứt tại mặt cắt I-I, tất cả các cốt sợi đặt song song, liên tục trong kết cấu sẽ chịu lực là $P = \sigma_s.F_s$. Nếu như $P \leq R_s.F_s$, kết cấu vẫn còn khả năng làm việc. Khi $P > R_s.F_s$, các sợi này sẽ bị đứt và kết cấu sẽ bị phá hoại.

Tuy nhiên, trong trường hợp cốt sợi phân tán (có chiều dài xác định) khi chịu lực thì không phải tất cả các sợi đều tham gia chịu lực mà chỉ có một số các sợi bị cắt bởi mặt phẳng phá hoại (vết nứt) mới tham gia chịu lực, các sợi này khi tính toán tham gia chịu lực phải xét đến xác suất giao nhau của sợi với mặt phẳng tính toán (mặt phẳng phá hoại), và hướng của các sợi do bố trí hỗn độn, nên phải được quy đổi theo hướng tương đương với mặt phẳng tính toán. Dù mặt phẳng tính toán có cắt một cốt sợi nào đó, nhưng nếu chiều dài neo giữ các cốt sợi này không đủ, thì khi chịu lực tác dụng vẫn có thể bị kéo tuột ra khỏi nền và khi đó các cốt sợi này vẫn không tham gia chịu lực. Vì vậy cần phải xét tới chiều dài tối thiểu của sợi neo trong nền.

Như vậy, khi tính toán các cấu kiện với việc bố trí cốt sợi phân tán, ta phải quy đổi các cốt sợi theo hướng tương đương, và phải xét các phân tử cốt phân tán theo từng giai đoạn xếp tải khác nhau của chúng.

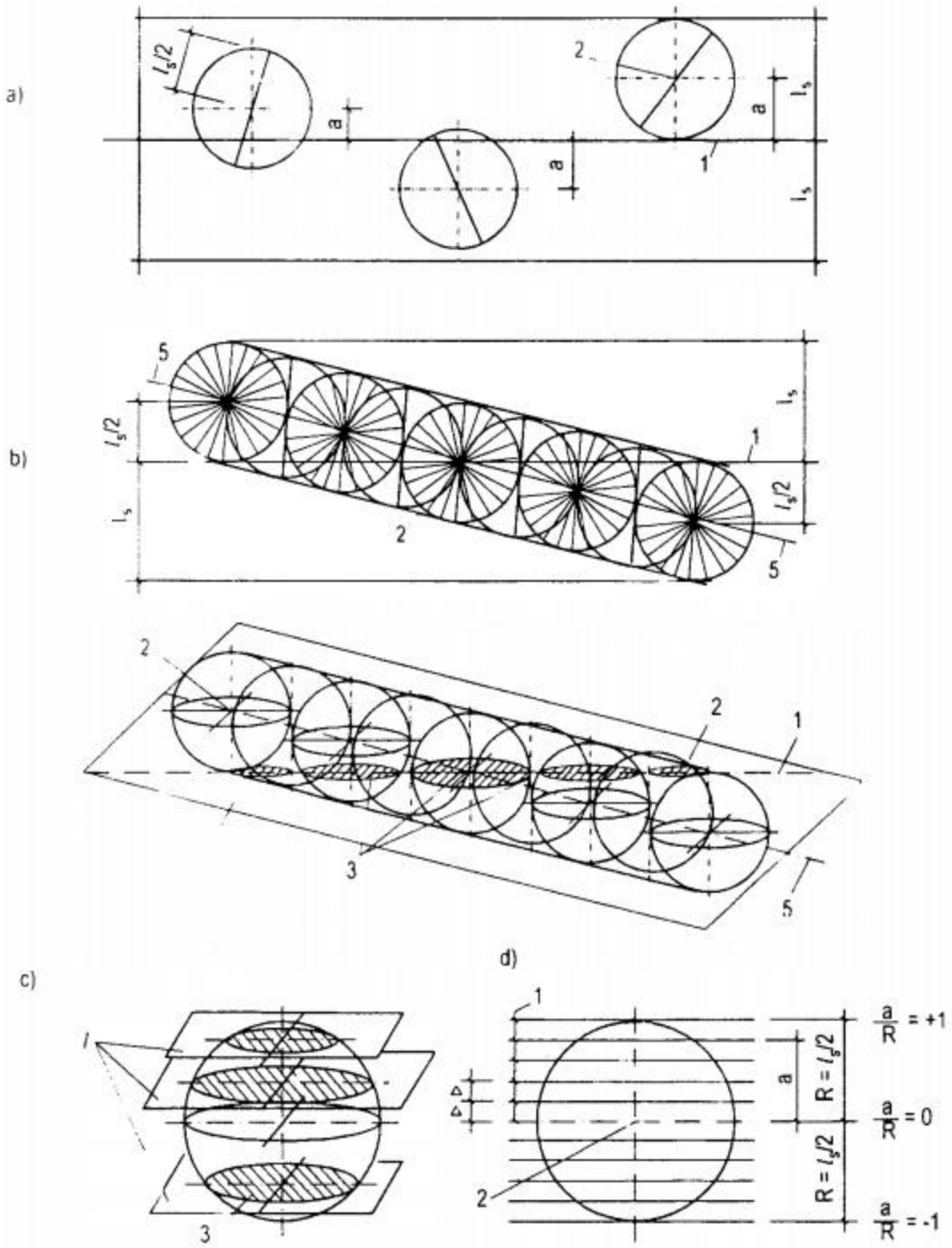
Sự quy đổi cốt sợi theo hướng tương đương được đưa ra bởi hệ số tương đương λ_{td}. Như vậy nội lực trong cốt sợi khi bị cắt bởi mặt phẳng tính toán sẽ là $\sigma_S.V_s.\lambda_{td}$ (với $\lambda_{td} \leq 1$). Hệ số λ_{td} lấy bằng $\lambda_{td} = \lambda_c.\lambda_{dh}.\lambda_n$.

Trong đó:

λ_c: là hệ số tương ứng khi xét tới xác suất giao nhau của mặt phẳng tính toán với cốt sợi;

λ_{dh}: là hệ số kể đến xác suất lệch hướng của các sợi, nay chuyển theo hướng của lực tác dụng trong mặt phẳng tính toán;

λ_n : là hệ số xét đến xác suất của các sợi được neo giữ trong nền.



***Hình 2.33**: Dạng hình học phân bố sợi cắt qua mặt phẳng tính toán:*
1) Mặt phẳng tính toán; 2) Trọng tâm sợi; 3) Mặt phẳng cắt qua;
4) Bề mặt tiết diện cầu; 5) Đường cắt qua trọng tâm sợi.

Qua các thí nghiệm, để tìm ra được quy luật chung phân bố sợi, xác định tìm các giá trị λ_c, λ_{dh}, λ_n và trên cơ sở phân tích mẫu xác định, có tính đến sự định hướng của các sợi phẳng và hình khối không gian một cách tự do. Ta coi sự bố trí các sợi là định hướng phẳng tự do khi các sợi nằm trong cùng một mặt phẳng, trong mặt phẳng này chúng phân bố theo các hướng khác nhau và sắp xếp với cùng một độ dày đặc và không bị uốn cong. Ta coi sự bố trí các sợi là định hướng hình khối tự do khi chúng tạo ra các

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

phương bằng nhau, được bố trí như nhau trong thể tích, trên cùng một mặt phẳng khi không bị uốn cong. Giả thiết trên cũng được áp dụng khi các sợi có hướng trong không gian (trong thành phần thể tích). Để có thể kết luận về mối quan hệ giữa các hệ số đưa ra, chúng ta cần lưu ý tới các sợi mà trọng tâm hình học của chúng đặt trong khoảng cách a từ mặt phẳng tính toán khi $a \le l_s/2$ (hình 2.33a), khi $a > l_s/2$, các sợi có định hướng tự do sẽ đi qua mặt phẳng.

Người ta cho rằng số lượng các sợi chạy qua mặt phẳng tính toán là không có giới hạn và các sợi giữ nguyên độ dài của chúng (không bị uốn cong) trong bất kỳ tình huống nào. Việc đặt sợi là tuỳ ý, tuy nhiên chúng cũng theo các quy luật nhất định. Chúng ta tập hợp và chia nhóm tất cả các sợi phân bố trong khoảng cách a từ mặt phẳng tính toán, do các sợi được định hướng bằng nhau về tất cả các phía với việc định hướng hình khối tuỳ ý, chúng ta sẽ có được những hình cầu. Ta đặt những khối cầu này theo một trật tự nhất định, phụ thuộc vào khoảng cách tới mặt phẳng tính toán, như đã chỉ ra ở hình 2.33b. Số lượng các hình cầu là lớn không giới hạn. Các trọng tâm của chúng được đặt trên một đường thẳng để đảm bảo sự phân bố sợi như nhau (với cùng một độ dày đặc). Mặt phẳng tính toán sẽ cắt mỗi hình tròn (hình cầu) một lần (hình 2.33c). Nói chung, ta có thể tưởng tượng điều này dưới dạng một hình cầu có bán kính $R = l_s/2$ bị các mặt phẳng song song cắt ngang. Các mặt phẳng này bố trí bằng nhau với cùng một khoảng cách theo chiều dài đường kính của hình cầu (hình 2.33d).

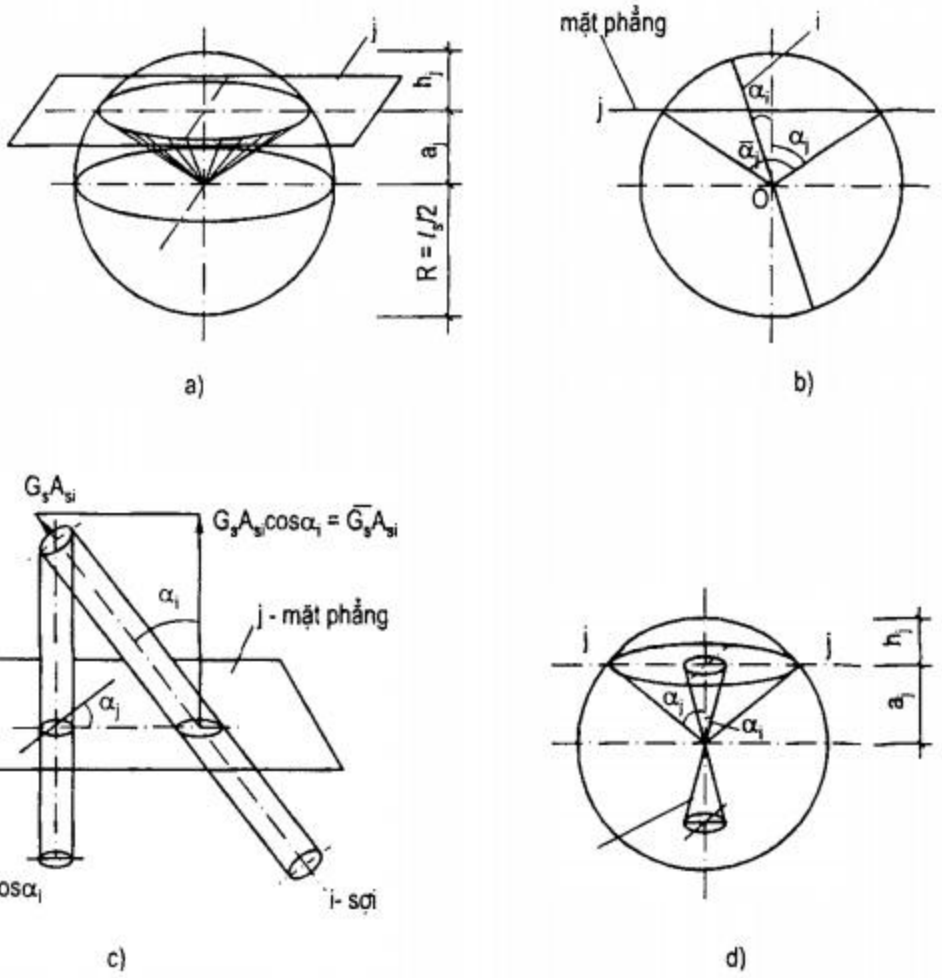
Trong hình cầu này số lượng các sợi chạy qua mặt phẳng j-j so với số lượng chung các sợi (hình 2.33a) bằng tỷ số giữa thể tích của hình quạt cầu với thể tích một nửa hình cầu v.v...Đối với định hướng hình khối tuỳ ý, ta có:

$$\eta_c = \frac{V_{hình quạt}}{V_{1/2 cầu}} = \frac{\frac{2\Pi R^2 h_j}{3}}{\frac{2\Pi R^3}{3}} = \frac{h_j}{R} = \frac{R - a_j}{R} \qquad (2\text{-}19)$$

Các số liệu thường dùng trong (2-19) được biểu thị trong hình 2.34a. Để xác định hệ số xét đến sự định hướng của cốt sợi, ta cắt các sợi bởi mặt phẳng tính toán j-j, góc a_i giữa sợi với đường vuông góc qua mặt phẳng tính toán lấy trong giới hạn $0 < a_i < a_j$. Hình chiếu của diện tích mặt cắt ngang

mỗi sợi chiếu lên mặt phẳng tính toán $A_{si} = A_{si}\cos a_i$. Hình chiếu của diện tích mặt cắt tất cả các sợi n_i cắt bởi mặt phẳng này:

$$\bar{A}_{si} = \sum_{i=0}^{n_i} A_{si}\cos a_i = n_i A_{si}\sum_{i=0}^{n}\cos a_i \frac{1}{n_i} = A_s \sum_{i=0}^{n_i}\cos a_i \frac{1}{n_i}$$



Hình 2.34: *Đưa ra các hệ số giao cắt λ_c và hệ số định hướng λ_{dh}:*
a) Tổ hợp sợi đặt dưới góc a_j với đường pháp tuyến của mặt phẳng tính toán.

Như vậy sự thay đổi diện tích sợi khi chiếu lên mặt phẳng tính toán chính là trị số $\sum_{i=0}^{n_i}\cos a_i . \frac{1}{n_i}$ lấy giá trị trung bình của $\cos a_i$. Khi thay đổi a_i trong giới hạn ban đầu, thì $n_i \to \infty$, và $\frac{1}{n_i} \to 0$.

Vậy:
$$\lambda_{dh} = \int_0^{ai} \frac{\cos a_i da}{a_i} = \frac{\sin a_i}{a_i} \qquad (2\text{-}20)$$

Công thức (2-20) không chỉ đúng với định hướng phẳng, mà còn đúng với định hướng tuỳ ý. Điều này được xem xét trong trường hợp thứ 2 đối với tất

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

cả các sợi đặt dưới góc a_i, chúng tạo thành bề mặt hình côn (hình 2.8d) và hình chiếu diện tích mặt cắt bất kỳ từ các sợi này bằng $Af_i\cos a_i$, tương ứng lấy dưới dạng sau:

$$\lambda_c = \frac{1}{n}\sum_{j=0}^{n}\lambda c_j ; \quad \lambda_{dh} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}\lambda_{dhi} \tag{2-21}$$

Đối với sự định hướng tuỳ ý khi h_i=R.j/n, ta có:

$$\lambda_c = \frac{1}{n}\sum_{j=0}^{n} h_j / R = \sum_{j=0}^{n}\frac{j}{n}\frac{1}{n}$$

Đặt x=j/n, Δx=1/n, khi cho n→ ∞ chúng ta nhận được:

$$\lambda_c = \int_0^1 x d_x = \frac{x^2}{2}\Big|_0^1 = \frac{1}{2} \tag{2-22}$$

Tương ứng với công thức (2-20) và (2-21) khi xác định giá trị hệ số λ_c chúng ta nhận được:

$$\lambda_{dh} = \int_0^1 \frac{\sin \arccos x dx}{\arccos x}$$

Chúng ta biến đổi đại lượng trên đưa y = arccosx; y' = 1/(cosy)' = -1/siny; từ đây ta có:

$$\lambda_{dh} \int_0^{\Pi/2} \frac{\sin^2 y}{y} dy = \int_0^{\Pi/2} \frac{1-\cos 2y}{2y} dy;$$

Khai triển theo chuỗi Mac Laurin →

$$\frac{1-\cos 2y}{2y} = [1 - 1 + \frac{(2y)^2}{2!} - \frac{(2y)^4}{4!} + \frac{(2y)^6}{6!} - \frac{(2y)^8}{8!} .....]/2y;$$

Khi tích phân thì biểu thức này tăng lên một bậc, ta được:

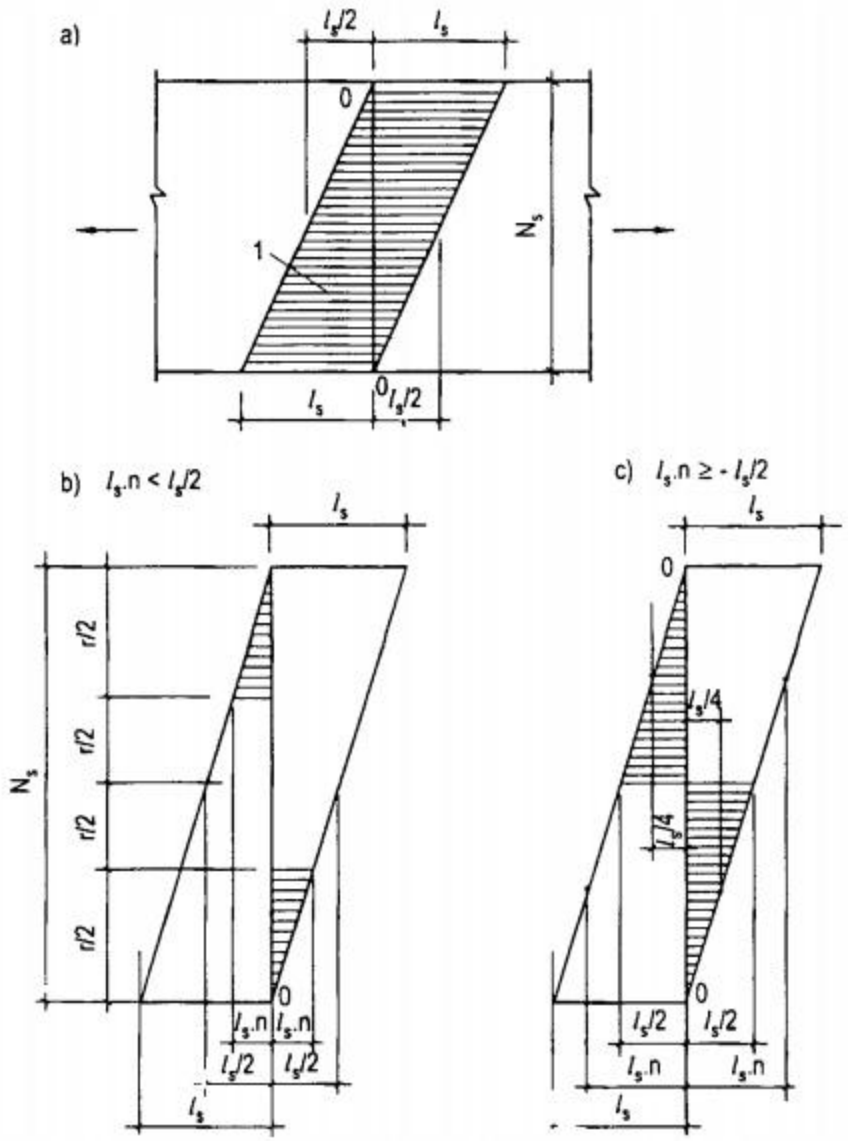
$$\lambda_{dh} = [\frac{y^2}{2} - \frac{y^4}{12} + \frac{y^6}{135} - \frac{y^8}{2520}] \Big|_0^{\Pi/2} = 0.82 \tag{2-23}$$

Để xác định biểu thức của hệ số λ_n chúng ta xuất phát từ phương trình cân bằng lực ở trạng thái giới hạn khi kéo các phần tử cốt sợi từ bê tông tại điểm gián đoạn của nó có dạng:

$$\frac{R_s \Pi d_s^2}{4} = \tau_u \Pi d_s l_n$$

Từ đây trị số chiều dài neo tới hạn l_n của các phần tử trong thành phần bê tông là:

$$l_n = \frac{0.25 d_s R_s}{\tau_u} \qquad (2\text{-}24)$$



***Hình 2.35**: Các dạng hình học tại nơi giao cắt giữa sợi và vết nứt tiêu chuẩn*
a) Các dạng chung; b) và c) tương ứng khi: $l_s < l_s/2$ và $l_s.n \geq l_s/2$;
0-0: mặt đường nứt; 1- Sợi quy ước.

Trong hình 2.35 chỉ ra đoạn phần tử cốt bị đứt do chịu tác động của lực kéo. Trong sơ đồ đường nứt nhận các sợi có hướng dọc theo tác động của lực kéo. Khi đó, chiều dài đoạn neo của các sợi biến đổi theo đoạn thẳng của chiều cao cấu kiện từ trị số giới hạn đến 0. Rõ ràng rằng, các sợi đi qua khe nứt đối xứng có trị số neo giới hạn với chiều dài theo hướng từ cạnh vết nứt bằng $l_s/2$. Khi $l_n < l_s/2$, quá trình phá huỷ bê tông cốt sợi phải đi theo phần ứng với việc đứt gẫy sợi và bê tông bị kéo từ phần khác. Khi l_n $l_s/2$, các loại

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

vết nứt cắt qua cốt sợi, khi $l_s/2 > l_n$ được chỉ ra trên hình 2.35b và khi $l_s/2 \le l_n$ trên hình 2.35c. Khi $l_s/2 > l_n$, số lượng chung của các sợi đi qua mặt phẳng tính toán là $N_s = n' + n''$ tương ứng:

$$n'/N_s + n''/N_s = 1 \qquad (2\text{-}25)$$

Trong đó:

n': phần sợi mà ứng suất trong đó đạt tới giá trị kéo giới hạn R_s, và các sợi này bị đứt khi bê tông bị phá huỷ;

n'': phần cốt sợi bị kéo tuột khi phá huỷ.

Sử dụng sơ đồ (hình 2.35b) có thể biểu diễn mối quan hệ giữa các sợi bị đứt với số lượng chung của chúng như sau:

$$\frac{n'}{N_s} = \frac{\frac{1}{2l_s} - l_n}{\frac{1}{2l_s}} = 1 - \frac{2l_n}{l_s} \qquad (2\text{-}26)$$

Tương tự, có thể có được biểu thức xác định số lượng tương đối các sợi bị kéo như sau:

$$\frac{n''}{N_s} = 2\frac{l_n}{l_s}$$

Chiều dài neo của các sợi bị kéo thay đổi từ l_n đến 0 như trong hình 2.35b có nghĩa là trị số trung bình của chiều dài phần sợi neo lại trong trường hợp trên là $1/2l_n$. Do vậy, phần sợi bị kéo khi đặt cốt bê tông sẽ tỷ lệ với biểu thức:

$$1/2(2l_n/l_s) = l_n/l_s \qquad (2\text{-}27)$$

Giá trị hệ số λ_n được xác định bằng tổng của (2-26) và (2-27):

$$\lambda_n = \left(1 - \frac{2l_n}{l_s}\right) + \frac{l_n}{l_s} = 1 - \frac{l_n}{l_s} \qquad (2\text{-}28)$$

Khi đó giá trị trung bình của các ứng suất trong các sợi sẽ là:

$$\bar{\sigma}_s = R_s\left(1 - \frac{l_n}{l_s}\right)$$

Khi $l_s/2 \le l_{san}$ (xem hình 2.35c),việc phá huỷ phải đi cùng với việc tất cả các sợi chịu kéo từ bê tông và giá trị λ_n có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\lambda_n = \frac{l_s}{4l_n} \qquad (2\text{-}29)$$

Khi đó các giá trị trung bình của ứng suất trong sợi sẽ là:

$$\overline{\sigma} = \frac{R_s l_s}{4 l_n}$$

Để đạt được các giá trị giới hạn về độ bền của cốt sợi thì việc tuân theo đẳng thức trong biểu thức $l_s/d_s = R_s/4\tau_u$ là cần thiết trong các điều kiện khác nhau. Từ đó có thể thấy rằng tính nguyên vẹn của bê tông cốt sợi phân tán sẽ bị phá vỡ theo dạng thứ nhất của sự phá huỷ, có nghĩa nó là hậu quả do các cốt sợi bị đứt. Trong trường hợp này, nếu như tỉ số giữa chiều dài các sợi với đường kính của chúng làm tăng các giá trị $R_s/4\tau_u$ rõ ràng là độ bền dính bám của các thành phần cốt với nền bê tông phụ thuộc nhiều vào chính nền đó. Khi đó mức độ phụ thuộc là: $l_n/d = m_n R_s/R_n$;

Trong đó:

m_n - hệ số điều kiện làm việc của phần cốt, giá trị của nó đối với cốt truyền thống được lấy theo quy trình;

R_n- cường độ bê tông xi măng (nền).

Công thức (2-24) có thể viết theo dạng:

$$\frac{l_n}{d} = \frac{R_s}{4\tau_n} = \frac{m_n R_s}{R_n} \qquad (2\text{-}30)$$

Từ đó chúng ta lấy biểu thức đối với độ bền dính bám của phân tử cốt sợi với bê tông:

$$\tau_u = \frac{R_n}{4 m_n} = \frac{R_n}{\beta} \qquad (2\text{-}31)$$

Trong đó:

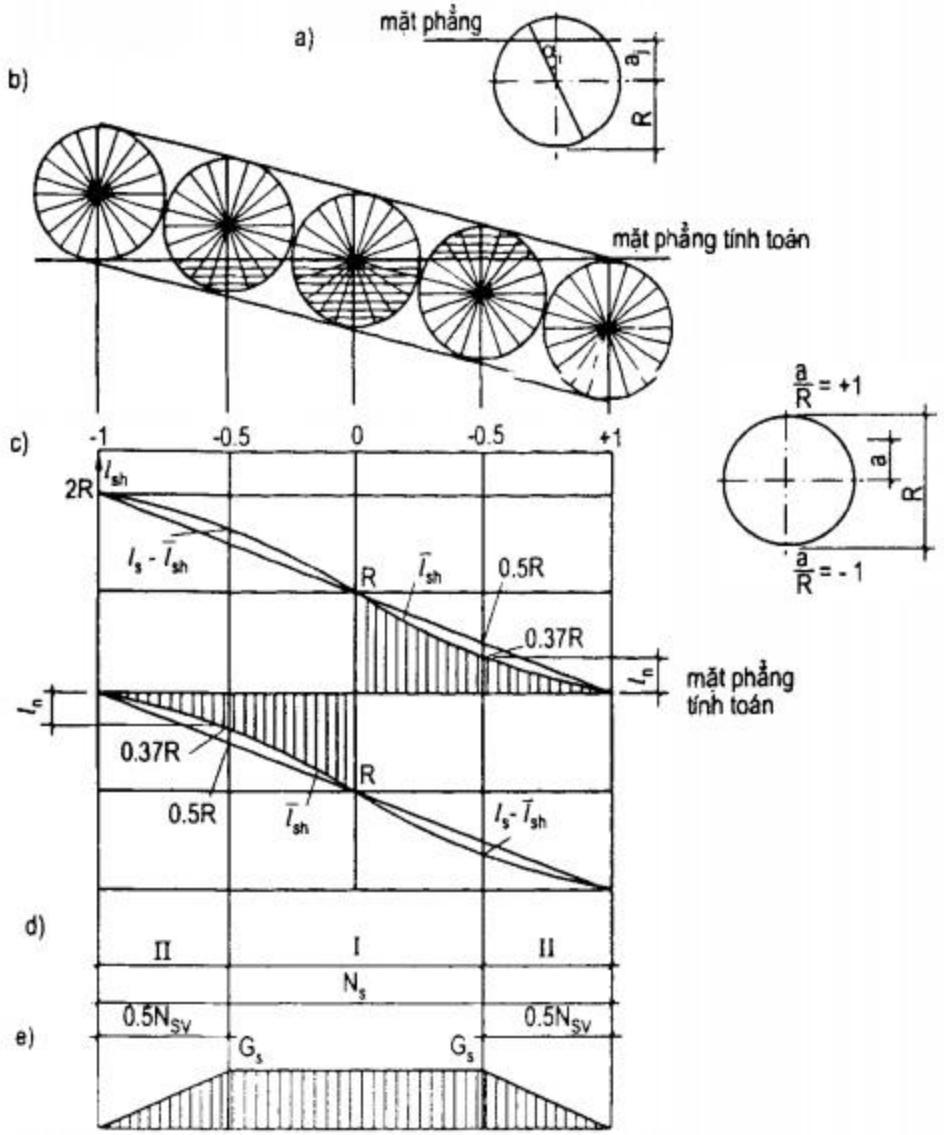
$\beta = 4m_n$ - hệ số được xác định bằng thực nghiệm và phụ thuộc vào chất lượng bề mặt sợi được sử dụng. Khi có cùng điều kiện để tính toán neo của các sợi có vị trí tự do, cần biết chiều sâu ngàm trong bê tông. Sợi bị cắt bởi mặt phẳng j-j (ngàm trong bê tông theo hướng khác) trên chiều dài $l_s = Ra_j/cosa_j$, (hình 2.36a). Xác định chiều dài trung bình l^{tb}_s của các sợi cắt bởi mặt phẳng đã cho, ta có:

$$L_s^{tb} = R\frac{a_j}{a_i}\left[\ln tg\left(\frac{a_i}{2} + \frac{\Pi}{4}\right)\right] \qquad (2\text{-}32)$$

Để xác định phần của các sợi neo với ứng suất (trong trường hợp chung $\sigma_s \le R_s$) và phần của các sợi bị kéo khi có các ứng suất này, chúng ta đặt các

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

khối cầu theo một trật tự nhất định, tuỳ thuộc vào khoảng cách a từ các trọng tâm của chúng tới mặt phẳng tính toán. Khi thay đổi a/R từ -1 đến +1 hình cầu sẽ được phân chia như hình 2.36b. Giá trị xác định l^{th}_s được tính toán theo công thức (2-32) thoả mãn với các tỉ số a/R. Trên hình 2.36c đưa ra quan hệ khác với quan hệ bậc nhất (tuyến tính) đã được nêu trong hình 2.35. Phạm vi a/R = -1 ÷ +1 chứa đựng tất cả các sợi mà mặt phẳng tính toán đi qua nó. Trên các phần bị cắt khi $l^{tb}_s < l_n$, các sợi bị kéo, trong đó khi $l_s \geq l_n$ đầu của chúng không bị dịch chuyển trong bê tông do lực tác dụng σ_s,F_s lên chúng.



***Hình 2.36**: Xác định hệ số λ_n: a, b, c: Các dạng giao cắt sợi bởi mặt phẳng tính toán; d,e: Biểu đồ ứng suất lấy với sợi.*

Phần sợi mà nó chịu kéo có thể bố trí tương ứng với phần chiều dài với $l^{tb}_s < l_n$ (trên hình 2.36c phần được gạch nét hoàn toàn) trên chiều dài toàn bộ

phạm vi a/R. Tương ứng với điều này, từ biểu thức (2-32) giá trị nhận được phụ thuộc vào tỉ số l_n/l_s được tra trong bảng 2-1. Ở đây N_{sv}: số sợi chịu kéo; N_s: tổng số các sợi cắt qua mặt phẳng tính toán.

Bảng 2-1

l_n/l_s	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
$\chi = N_{sv}/N_s$	0.15	0.27	0.41	0.52	0.62	0.71	0.79	0.87	0.95	1

Tại chỗ mà các sợi được neo giữ chắc chắn, ứng suất trong chúng = σ_s; tại phần mà nó chịu kéo ứng suất bằng khoảng $\frac{\sigma_s l_s}{l_n}$ tức là thay đổi theo quy luật đường thẳng (hình 2.36e). Tương ứng với các lực này, các phần tử sợi chịu kéo của các sợi nhận được bằng:

$$P = \sigma_s \bar{A}_s \frac{N_s - N_{sv}}{N_s} + \frac{\sigma_s \bar{A}_s}{2} \frac{N_{sv}}{N_s} = \sigma_s \bar{A}_s (1 - 0.5\chi)$$

Từ đó hệ số tính đến các sợi không được neo giữ đầy đủ lấy bằng:

$$\lambda_n = 1 - 0.5\chi$$

Trong đó χ xác định theo bảng 2-1.

Khi so sánh giá trị của hệ số nhận được với giá trị nhận được từ các tác giả khác, thấy rằng giá trị hệ số định hướng cao hơn $\chi_{dh} = 0.82$. Điều này được lý giải rằng các trọng tâm của các sợi có thể cắt qua mặt phẳng tính toán được bố trí từ mặt phẳng trong khoảng cách $a = (0...0,5)l_s$ lấy trung bình $a = 1/4l_s$. Khi đó vị trí trọng tâm khối cầu của mặt phẳng tính toán tới các sợi được bố trí dưới góc $\alpha = 0...60$ với đường pháp tuyến của mặt phẳng này. Dựa vào công thức (2-20), trong trường hợp này thì $\lambda_{dh} = 0.82$. Hệ số $\lambda_{dh} = 2/\Pi$ tương ứng vị trí khi trọng tâm của tất cả các sợi cắt qua mặt phẳng đã được chỉ ra nằm trên mặt phẳng đó là không thể xảy ra có dạng hình côn (xem 2.34d).

Bằng cách như vậy, dạng mô hình hình học của việc phân bố sợi được xem xét ở trên cho phép xác định giá trị ở vị trí duy nhất của hệ số khi cắt các sợi bởi mặt phẳng tính toán, định hướng chúng và neo chúng trong bê tông. Các hệ số đó chứng tỏ chúng không phụ thuộc vào nhau và do đó chúng được nhân lên trong tính toán. Như trước đây, để xác định hệ số quy đổi của cốt sợi người ta thực hiện chủ yếu từ ý nghĩa hình học của chúng, mà không tính đến trạng thái ứng suất biến dạng trong giai đoạn hình thành và

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

phát triển vết nứt (chỉ xét trong giai đoạn phá huỷ). Trong nghiên cứu hiện nay các trường hợp chung được xem xét bao gồm cả giai đoạn khai thác cấu kiện, mà ở đó tất cả các sợi hay một phần của chúng làm việc với ứng suất $\sigma_s \leq R_s$ ảnh hưởng tới giá trị của hệ số quy đổi đã được phản ánh ở trên khi đưa nó vào thành phần làm việc của sợi. Việc phân tích mô hình quy đổi trên chứng tỏ rằng hệ số cắt bởi các mặt phẳng tính toán sợi λ_c là "hoàn toàn" thuộc về đặc trưng hình học, không phụ thuộc vào tải trọng (trạng thái ứng suất biến dạng của nó). Hệ số định hướng λ_{dh} khác với λ_c phụ thuộc vào việc xác định mức độ trạng thái ứng suất biến dạng của phân tố cốt. Việc xác định hệ số λ_{dh} qua hình chiếu l_s hoặc F_s trên trục toạ độ hoặc trên mặt phẳng (tiếp cận hình học) là điều kiện không chỉ phản ánh hoàn toàn ý nghĩa vật lý của hệ số này.

Ở dạng biểu diễn chung đối với λ_{dh} có thể được kí hiệu ở dạng tỉ số giữa giá trị trung bình của hình chiếu lực trong sợi cắt qua mặt phẳng tính toán hoặc giá trị trung bình của hình chiếu ứng suất trong các sợi với lực (ứng suất) trong sợi.

Chiếu lực tác dụng lên hướng song song:

$$\lambda_{dh} = \frac{\overline{P}_s(a)}{P_s(a=0)} = \frac{\overline{\sigma}_s(a)}{\sigma_s(a=0)}$$

Vì vật liệu nền giòn nên ảnh hưởng của sự truyền ứng suất sẽ được xem xét cho cả hai trường hợp: trước khi nứt và sau khi nứt, tức là xét theo 3 giai đoạn làm việc của cấu kiện gồm giai đoạn đàn hồi, giai đoạn hình thành và xuất hiện vết nứt, giai đoạn cân bằng giới hạn.

Bảng 2-2

Giai đoạn làm việc của cấu kiện	λ_{dh}	Giá trị của biểu thức
Đàn hồi	$\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=k} \cos^3 a_i$	0.656(≈0.66)
Nứt	$\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=k} \cos^{1.5} a_i$	0.764(≈0.76)
Cân bằng giới hạn	$\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=k} \cos a_i$	0.818(≈0.82)

Trong đó: a_i là góc nghiêng của sợi theo phương nằm ngang.

Bảng 2-3

Giai đoạn làm việc của cấu kiện	λ_n
Đàn hồi	1
Nứt	$\left[1-\frac{l_n}{l_s}\frac{\sigma_s}{R_s}\right]=1-0.5\frac{l_n}{l_s}$
Cân bằng giới hạn	$1-0.5\frac{l_n}{l_s}$

Khi tính các hệ số λ_{dh} và λ_n theo 3 giai đoạn làm việc trên, theo thí nghiệm tính toán của tác giả Ф.И.РАБЙНОВИЧ, ta có thể lấy chúng theo bảng 2-2 và bảng 2-3.

Như vậy sau khi xác định được các hệ số λ_c, λ_{dh}, λ_n ta tính được trị số xét sự chuyển đổi cốt sợi từ phân tán (lộn xộn) sang hướng tương đương (hướng dọc) λ_{td}. Trên cơ sở đó ta có thể áp dụng công thức (2-2) để tính mô đun đàn hồi của vật liệu bê tông xi măng theo công thức sau:

$$E_c = \lambda_{td}.E_s.V_s + E_n.(1 - V_s) \qquad (2\text{-}33)$$

2.3.4. Xác định mô đun đàn hồi bê tông cốt sợi phân tán bằng phương pháp giải tích

Vật liệu bê tông, bê tông cốt sợi là vật liệu tổ hợp, về mặt vi mô được cấu tạo từ các thành phần vật liệu khác nhau, nhưng về mặt vĩ mô là đồng nhất và có đặc trưng cơ học tổng thể (mô đun đàn hồi), nói chung khác với đặc trưng của các thành phần cấu thành. Khi các thành phần cấu thành phân bố hỗn độn theo nhiều hướng trong không gian, ta có vật liệu tổ hợp đẳng hướng vĩ mô. Các kích thước vĩ mô là đủ lớn so với các kích thước phân tử để có thể được coi là môi trường liên tục. Xuất phát từ đó ta giả thiết vật liệu làm việc trong các điều kiện được mô tả bởi các phương trình có quan hệ tuyến tính, liên kết giữa các pha là lý tưởng (các điều kiện liên tục được thoả mãn).

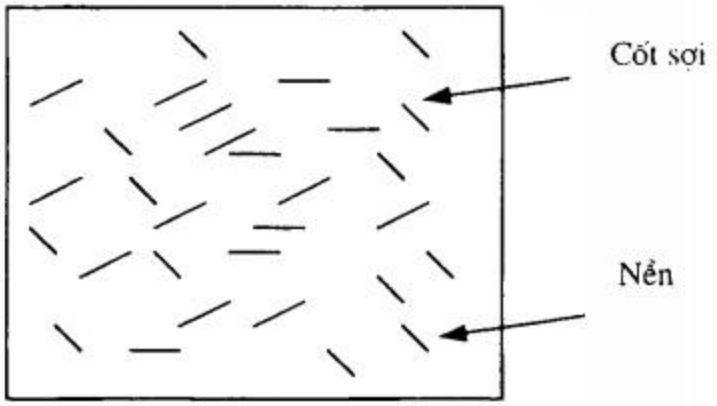
Việc xác định cơ lý tính hiệu quả (tức là cơ lý tính thể hiện ở phạm vi vĩ mô) của vật liệu tổ hợp là một vấn đề chủ yếu của khoa học vật liệu. Các tính chất này phụ thuộc vào tính chất các thành phần cấu thành cũng như dạng hình học vi mô của vật liệu.

Xét phần tử đặc trưng V của vật liệu tổ hợp (hình 2.37).

Điều kiện là phần tử đặc trưng này phải đủ lớn so với cấu trúc vi mô để có thể được coi thực sự đại diện cho vật liệu được xem xét nhưng phải đủ nhỏ

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

so với các kích thước vĩ mô của vật thể được sử dụng để việc xác định các tính chất hiệu quả thực sự có ý nghĩa.



Hình 2.37: *Phần tử đặc trưng V của vật liệu tổ hợp 2 thành phần*

Phần tử đặc trưng V được cấu thành bởi hai thành phần chiếm các không gian V1, V2 $\subset$ V và có hệ số đàn hồi K_1, K_2 (mô đun đàn hồi thể tích), G_1, G_2 (mô đun đàn hồi trượt), V_1, V_2 ký hiệu thể tích của V1, V2 trong V (thể tích của V coi bằng 1). Phần tử đặc trưng V được gắn với hệ toạ độ Đề cac (x_1, x_2, x_3).

Trong điều kiện chịu lực của vật thể, trạng thái ứng suất σ_{ij} (là tenxơ ứng suất bậc 2) cần phải thỏa mãn phương trình cân bằng:

$$\sum_{j=1}^{3} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0;$$

Trong đó: i = 1,2,3.

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_3} = 0 \\ &\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_3} = 0 \\ &\frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} = 0 \end{aligned} \qquad (2\text{-}34)$$

(được hiểu một cách đương nhiên là bao gồm cả các điều kiện cân bằng trên mặt ngăn cách giữa 2 pha cốt sợi và nền) và quan hệ với trạng thái biến dạng ε_{ij} thông qua định luật Hook.

$$\sigma_{ij}(\vec{x}) = \sum_{k,l=1}^{3} C^{\alpha}_{ijkl} \varepsilon_{kl}(\vec{x}) \quad \text{với } x \in V \qquad (2\text{-}35)$$

Trong đó: i, j, k, l = 1, 2; α =1 và 2.

Các thành phần ε_{ij} của ten xơ biến dạng ε được biểu diễn tuyến tính qua các thành phần U_i của các vectơ chuyển vị $\vec{U}$ liên tục trên V:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \tag{2-36}$$

C^{α}_{ijkl} là các thành phần của ten xơ đàn hồi đẳng hướng bậc 4 với các thành phần:

$$C^{\alpha}_{ijkl} = T_{ijkl}(K_\alpha, G_\alpha) = K_\alpha \sigma_{ij}\sigma_{kl} + G_\alpha(\sigma_{ik}\sigma_{jl} + \sigma_{il}\sigma_{jk} - \frac{2}{3}\sigma_{ij}\sigma_{kl}) \tag{2-37}$$

Trong đó: σ_{ij} là ký hiệu krônecker (ký hiệu đường chéo chính). Thông thường giá trị trung bình của ứng suất và biến dạng trên V được xác định như sau:

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \int_v \sigma_{ij} dx \tag{2-38}$$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \int_v \varepsilon_{ij} đx$$

Quan hệ giữa các giá trị trung bình của ứng suất và biến dạng trên V của vật liệu tổ hợp đẳng hướng được thể hiện thông qua tenxơ đàn hồi hiệu quả C:

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \sum_{kl=1}^{3} C^{c}_{ijkl} \varepsilon_{kl} \tag{2-39}$$

($C_{ijkl} = T_{ijkl}(K_c, G_c)$ với vật liệu tổ hợp là đẳng hướng).

Một khi các giá trị của ε_{ij} và σ_{ij} trên V được xác định, từ công thức (2-39) ta có K_c và G_c. Các phương trình và quan hệ trong các biểu thức từ (2-34) đến (2-36) chưa đủ để xác định ε_{ij} và σ_{ij}. Để xác định được nó, cần phải có điều kiện trên biên ∂v của V. Chú ý rằng phần tử đặc trưng V là nhỏ so với các kích thước vĩ mô của vật thể chịu lực, điều kiện biên đồng nhất cho chuyển vị được đưa ra là:

$$U_i = \sum_{j=1}^{3} \varepsilon^0_{ij} x_j \text{ trên } \partial v \ \varepsilon^0 = \text{const} \tag{2-40}$$

$$i=1,2,3$$

Do các chuyển vị được sinh ra là do có lực tác dụng, nên ta cũng có thể thay điều kiện biên về chuyển vị (2-40) bằng điều kiện biên về ứng suất đồng nhất sau:

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

$$\sum_{j=1}^{3}\sigma_{ij}n_j = \sum_{j=1}^{3}\sigma_{ij}^{0}n_j \text{ trên } \partial v \qquad (2\text{-}41)$$

$$\sigma^{0} = \text{const};$$

Trong đó: n là vectơ đơn vị vuông góc trên ∂v.

Việc xác định các hệ số đàn hồi hiệu quả thông qua việc giải trực tiếp các phương trình của cơ học môi trường liên tục như đã trình bày ở trên (gọi tắt là đường hướng giải phương trình). Đây là một bài toán rất phức tạp tương đương với việc giải các phương trình cân bằng và tương thích trên miền không đồng nhất V với cấu tạo hình học pha phức tạp, tuỳ ý, mà trong thực tế người ta cũng khó có được một thông tin đầy đủ về hình học pha của vật liệu tổ hợp được sử dụng. Thay vào việc tìm cực trị của ε ta có thể đi bằng cách khác thông qua việc tìm cực trị của các hàm năng lượng trên V (gọi tắt là đường hướng năng lượng hay đường hướng biến phân). Chẳng hạn như:

$$\sum_{ijkl=1}^{3}\varepsilon_{ij}^{0}C_{ijkl}^{0}\varepsilon_{kl}^{0} = \inf\sum_{\alpha=1}^{3}\int_{v_\alpha}\sum_{ijkl=1}^{3}\varepsilon_{ij}C_{ijkl}^{\alpha}\varepsilon_{kl}dv \qquad (2\text{-}42)$$

Trong đó: tenxơ biến dạng ε_{ij} biểu diễn qua vectơ chuyển vị U_i bởi biểu thức (2-36), còn U_i thì thỏa mãn điều kiện biên đồng nhất (2-40).

Có thể chỉ ra rằng điểm cực trị của (2-42) với các ràng buộc (2-36) và (2-40) cũng sẽ thỏa mãn phương trình cân bằng trong biểu thức (2-34).

Một cách khác, thay cho điều kiện biên đồng nhất đối với chuyển vị (2-40) ta có thể lấy ràng buộc trung bình biến dạng trên V.

$$\left\langle\varepsilon_{ij}\right\rangle = \varepsilon_{ij}^{0} \qquad (2\text{-}43)$$

Có thể thấy rằng điểm cực trị của biểu thức (2-42) với các ràng buộc (2-36), (2-40) sẽ thỏa mãn phương trình cân bằng (2-34) trong khi trạng thái lực tương ứng là đồng nhất trên biên ∂v. Ta cũng có thể xác định C^c từ nguyên lý đối ngẫu của nó (2-42).

$$\sum_{ijkl=1}^{3}\sigma_{ij}^{0}(\bar{C}^{c})_{ijkl}^{-1}\sigma_{kl}^{0} = \inf\sum_{\alpha=1}^{2}\int_{v}\sum_{ijkl=1}^{3}\sigma_{ij}(\bar{C}^{\alpha})_{ijkl}^{-1}\sigma_{kl}^{0}dx \qquad (2\text{-}44)$$

ở đây:

$$(\bar{C}^{c})_{ijkl}^{-1} = T_{ijkl}\left(\frac{1}{3k_c}, \frac{1}{2G_c}\right)$$

Trong đó: tenxơ ứng suất σ thỏa mãn phương trình cân bằng (2-34) và điều kiện biên đồng nhất (2-41).

Như vậy điểm cực trị của (2-44) đảm bảo các ràng buộc (2-34), (2-41) sẽ thoả mãn các phương trình tương thích biến dạng (nghĩa là thoả mãn với biểu thức (2-35) tồn tại qua quan hệ (2-36).

Nói một cách khác, thay cho điều kiện biên đồng nhất (2-41), ta có thể lấy ràng buộc ứng suất trên V.

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \sigma_{ij}^{0} \tag{2-45}$$

Như vậy, có thể thấy rằng điểm cực tiểu của (2-44) với các ràng buộc (2-34), (2-45) sẽ thoả mãn các phương trình tương thích biến dạng (với biểu thức (2-36) tồn tại ràng buộc (2-36) trong khi trạng thái chuyển vị tương ứng là đồng nhất trên biên ∂v.

Trong điều kiện làm việc của vật thể (kết cấu), các trạng thái ứng suất và chuyển vị thực nói chung không thoả mãn chính xác các điều kiện biên đồng nhất như (2-40) và (2-41), cho dù V là nhỏ so với kích thước vĩ mô của vật thể mà thay đổi xung quanh các giá trị này do cấu trúc vi mô không đồng nhất của V. Tuy nhiên điều này chỉ có ảnh hưởng ở vùng gần miền ∂V, trong khi đó, khi tính toán các mô đun hiệu quả ta lại tính với tổng tích phân các giá trị của trạng thái trên toàn miền V, thì các sai số này không đáng kể. Khi ta giả thiết là các mô đun hiệu quả được tính với tổng tích phân các giá trị của trạng thái trên toàn miền V, thì các sai số này là không đáng kể khi ta giả thiết là các mô đun hiệu quả C^* trùng nhau về mặt tiệm cận khi kích thước V đủ lớn so với các kích thước vi mô. C^* cũng phải không phụ thuộc vào việc chọn phần tử đặc trưng cụ thể V của vật liệu cũng như hình dạng V với điều kiện các kích thước của V đều lớn hơn nhiều so với các kích thước vi mô. Do vậy V có thể lấy là hình cầu hay khối lập phương để tiện cho việc tính toán.

Tính phức tạp của bài toán chủ yếu nằm ở chỗ sự phân bố của sợi trong nền theo những khả năng khác nhau. Sợi phân bố có thể đều, có thể không đều, chỗ này các sợi cách xa nhau, chỗ khác chúng tiếp xúc với nhau v.v. Kết quả là rất khó chọn các "tế bào" cơ sở làm thể tích vi mô đặc trưng cho vật liệu. Chính vì lẽ đó trong tính toán lý thuyết để đơn giản và được sai số nhỏ khi ta tích phân toàn miền trên thể tích kết cấu (thể tích V), ta coi sợi phân tố ngẫu nhiên mang tính đều có xét tới hệ số lệch lạc nói trên.

Các phương pháp nghiên cứu lý thuyết có thể được xếp theo 2 loại là:

1. Đường hướng giải trực tiếp các phương trình vi tích phân mô tả sự làm việc của vật thể.

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

2. Đường hướng năng lượng (giải gần đúng theo phương pháp biến phân) tìm lời giải bài toán thông qua việc tìm cực trị của các phiến hàm năng lượng.

2.3.4.1. Phương pháp giải phương trình (phương pháp chính xác)

Như đã trình bày ở trên, nội dung các phương pháp này là để xác định các mô đun đàn hồi hiệu quả có thể giải trực tiếp các phương trình từ (2-34) đến (2-40) để tìm các trạng thái ứng suất và biến dạng trên V và từ đó có được các mô đun hiệu quả. Các lời giải xấp xỉ giải tích đã được tìm trong trong trường hợp tỉ lệ thể tích của cốt sợi là nhỏ và các hạt cốt liệu có dạng hình học lý tưởng. Từ bài toán về hạt cốt liệu ellipsoid trong pha nền, Eshelby đã nhận được lời giải thích chính xác. Các công thức nhận được rất phức tạp và thể hiện qua các tích phân elliptic. Tuy nhiên các công thức này được đơn giản đi rất nhiều do một số trường hợp cụ thể.

Đối với cốt dạng ellipsoid tròn xoay có một trục được kéo dài ra vô hạn so với hai trục còn lại, ta nhận được dạng cốt sợi. Cụ thể đối với vật liệu tổ hợp với pha nền (V_n, k_n, G_n) chứa đựng tỉ lệ nhỏ thể tích pha cốt liệu dạng sợi (V_s, k_s, G_s), $V_s<<1$) phân tố hỗn độn trong không gian, ta có vật liệu tổ hợp đẳng hướng với các biểu thức xấp xỉ giải tích như sau cho các mô đun đàn hồi hiệu quả:

- Xác định mô đun đàn hồi thể tích:

$$K_c = K_n + V_s(K_s - K_n)A + O(V_s^2) \qquad (2\text{-}46)$$

Trong đó:
$$A = \frac{K_n + G_n + \frac{1}{3}G_s}{K_S + G_n + \frac{1}{3}G_s}$$

- Xác định mô đun đàn hồi trượt:

$$G_c = G_n + V_s(G_s - G_n)B + O(V_s^2) \qquad (2\text{-}47)$$

Trong đó:

$$B = \frac{1}{5}\left(\frac{4G_n}{G_n + G_s} + 2\frac{G_n + G_n\frac{3K_n + G_n}{3K_n + 7G_n}}{G_s + G_n\frac{3K_n + G_n}{3K_n + 7G_n}} + \frac{K_s + \frac{4}{3}G_n}{K_s + G_n + \frac{1}{3}G_s} \right)$$

Sau khi xác định được các mô đun đàn hồi K_c, G_c ta xác định các mô đun đàn hồi E_c theo công thức:

$$E_c = \frac{9K_cG_c}{3K_c + G_c} \text{ và } \nu_c = \frac{3K_c - 2G_c}{6K_c + 2G_c} \quad (2\text{-}48)$$

Ở đây E_c và ν_c là mô đun đàn hồi và hệ số poisson của vật liệu tổ hợp. Như vậy theo công thức (2-46), (2-47), (2-48) ta có được quan hệ giữa mô đun đàn hồi của vật liệu tổ hợp với các đặc trưng của vật liệu và thể tích của vật liệu thành phần.

Phương pháp này được coi là chính xác, có ưu điểm là cho biểu thức tường minh (2-46), (2-47) của các mô đun hiệu quả. Tuy nhiên, các công thức chỉ đúng với điều kiện khi thể tích cốt sợi nhỏ ($V_s << 1$). Với tỷ lệ thể tích lớn hơn của các pha cốt sợi ta có thể sử dụng đường lối biến phân được trình bày như sau:

2.3.4.2. Phương pháp biến phân năng lượng

Trong phương pháp biến phân năng lượng, người ta không giải trực tiếp các phương trình từ (2-34) đến (2-40) như phương pháp chính xác mà ta đánh giá mô đun hiệu quả thông qua việc tìm cực trị của các phiến hàm năng lượng (2-42) hoặc (2-44). Điểm cực trị của phiến hàm cũng sẽ cho lời giải chính xác của bài toán. Việc tìm điểm cực trị chính xác cũng khó như việc giải trực tiếp các phương trình theo phương pháp trình bày ở trên.

Tuy nhiên với các trạng thái biến dạng và ứng suất khả dĩ gần đúng ta có thể nhận được các đánh giá trên và đánh giá dưới đối với các mô đun hiệu quả từ (2-42) và (2-44). Trạng thái khả dĩ gần đúng được xây dựng càng tốt (có nghĩa là càng gần với trạng thái chính xác) thì nhận được các đánh giá càng hẹp và càng gần với giá trị thực của mô đun hiệu quả.

Đối với vật liệu tổ hợp có chứa tỷ lệ thể tích bất kỳ pha sợi V_s với các pha sợi phân bố đẳng hướng trong không gian ta có thể tính như sau:

Nếu ta gọi các đánh giá trên và dưới của hệ số đàn hồi là K^+, G^+ và K^-, G^- ta có:

Đối với vật liệu tổ hợp:

$$K^- \le K_c \le K^+ ; \quad K_c \approx \frac{K^+ + K^-}{2}$$

$$G^- \le G_c \le G^- ; \quad G_c \approx \frac{G^+ + G^-}{2} \quad (2.49)$$

Trong đó:

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

$$K^+ = \left(\frac{v_s}{k_s + k_*^+} + \frac{v_n}{k_n + k_*^+} \right)^{-1} - k_*^+$$

$$K^- = \left(\frac{v_s}{k_s + k_*^-} + \frac{v_n}{k_n + k_*^-} \right)^{-1} - k_*^-$$

$$G^+ = \left(\frac{v_s}{G_s + G_*^+} + \frac{v_n}{G_n + G_*^+} \right)^{-1} - G_*^+$$

$$G^- = \left(\frac{v_s}{G_s + G_*^-} + \frac{v_n}{G_n + G_*^-} \right)^{-1} - G_*^-$$

Với: $K_*^+ = \frac{4}{3} G_0^+$; $\quad G_0^+ = \frac{v_n G_s + (3 + v_s) G_n}{4}$

$K_*^- = \frac{4}{3} G_0^-$; $\quad G_0^- = \frac{4}{\frac{v_n}{G_s} + \frac{3 + v_s}{G_n}}$

$$G_*^+ = G_0^+ \frac{9K_0^+ + 8G_0^+}{6K_0^+ + 12G_0^+}; \qquad G_*^- = G_0^- \frac{9K_0^- + 8G_0^-}{6K_0^- + 12G_0^-}$$

Phương pháp xác định mô đun đàn hồi của vật liệu bê tông cốt sợi theo phương pháp biến phân năng lượng có ưu điểm là chỉ có một giá trị duy nhất, không phụ thuộc vào các giai đoạn làm việc của kết cấu. Tuy nhiên phương pháp này chỉ xét với điều kiện là cốt sợi phân tán đều, điều này là khó xảy ra trong thực tế. Mặt khác muốn xác định được giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu bê tông cốt sợi phân tán (vật liệu tổ hợp) theo công thức (2-48) ta vẫn phải biết giá trị của mô đun đàn hồi thể tích (K_n) và mô đun đàn hồi trượt (G_n) của nền. Mà giá trị này phải xác định bằng thực nghiệm nên cũng rất khó khăn và phức tạp.

2.3.5. Kết luận

Qua các nghiên cứu trên cho thấy, tuỳ theo cách bố trí cốt sợi mà mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi có thể xác định theo các công thức (2-2); (2-33); hoặc (2-48) và (2-49). Công thức (2-2) chính là một trường hợp đặc biệt của công thức (2-33) (khi $\lambda_{td} = 1$), công thức này rất phù hợp khi tính toán mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi phân tán vì mô hình tương tác giữa

vật liệu nền (bê tông xi măng) với cốt sợi được miêu tả tương đối gần với mô hình làm việc thực tế của vật liệu, còn công thức (2-48) và (2-49) muốn xác định mô đun đàn hồi ta phải tìm được giá trị của mô đun đàn hồi trượt và mô đun đàn hồi thể tích của nền theo con đường thí nghiệm mẫu, điều này là rất khó khăn trong quá trình thực hành thí nghiệm. Vậy phương pháp tính toán mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi phân tán tốt nhất là sử dụng theo phương pháp biến đổi cốt sợi từ phân bố hỗn độn sang hướng tương đương theo phương dọc trục, sau đó sử dụng công thức 2-33 để tính. Đây là cơ sở cho việc tính toán khả năng chịu lực của kết cấu khi có sự tham gia của tiết diện bê tông cốt sợi, từ đó giúp cho việc lựa chọn lượng thể tích cốt sợi cần thiết khi thiết kế thành phần cấp phối vật liệu. Cùng một lượng thể tích phối hợp cốt sợi nhất định, nếu số lượng cốt sợi tham gia càng lớn thì mức độ phân tán của cốt sợi trong bê tông cũng càng lớn và dĩ nhiên khả năng hoá bền của vật liệu bê tông cốt sợi sẽ càng được cải thiện. Như vậy, việc xác định chiều dài cốt sợi ở mức độ tối thiểu là cần thiết để tăng mức độ phân tán của cốt sợi trong nền. Các công thức 2-24, 2-29, 2-30 và 2-31 cho phép ta xác định chiều dài neo giữ cần thiết của cốt sợi, từ đó làm cơ sở để xác định chiều dài sợi cần thiết khi tham gia chịu lực.

Tuy nhiên việc xác định mô đun đàn hồi cũng như là hàm lượng thể tích và chiều dài sợi như đã trình bày ở trên chỉ mang tính lý thuyết, vì trong thực tế dù chế tạo bằng phương pháp nào đi chăng nữa thì cốt sợi cũng không thể bố trí phân tán đều như giả thiết. Ngoài việc nghiên cứu về mặt lý thuyết như đã thực hiện ở trên, còn cần thiết phải tiến hành nghiên cứu các đặc tính của bê tông cốt sợi phân tán bằng phương pháp thực nghiệm. Đây là một việc làm cần thiết và không thể thiếu được khi nghiên cứu bất cứ một loại vật liệu nào nói chung và vật liệu bê tông cốt sợi nói riêng.

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

Chương 3

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VỀ BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

3.1. MỤC TIÊU CỦA NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu về tính chất của bê tông cốt sợi thép, tại phòng thí nghiệm Công trình Đại học Giao thông Vận tải đã tiến hành một số thí nghiệm để kiểm chứng một số tính chất của bê tông cốt sợi thép, từ đó đưa ra các nhận định về vật liệu địa phương khi sử dụng bê tông cốt sợi thép trong thiết kế và xây dựng cầu ở Việt Nam.

3.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Phương pháp nghiên cứu là phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Trên cơ sở lý thuyết về bê tông, bê tông cốt sợi thép và lý thuyết quy hoạch thực nghiệm đã tiến hành chế tạo các mẫu thử và xác định cường độ, độ sụt của bê tông cốt sợi thép.

3.2.1. Lý thuyết Quy hoạch thực nghiệm

Việc nghiên cứu thực nghiệm về mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như: tỷ lệ nước trên xi măng N/X, hàm lượng cốt sợi đến các tính chất cơ học của bê tông nếu tiến hành thí nghiệm theo những phương pháp bị động thì số lượng thí nghiệm rất lớn: $N = p^k$ (trong đó p là mức thí nghiệm, k là số yếu tố ảnh hưởng) và số lượng thí nghiệm sẽ tăng nhanh nếu số yếu tố ảnh hưởng tăng.

Theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm, các thí nghiệm được mã hoá ở các mức trên, mức dưới và mức cơ bản. Sau khi có bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm sẽ tiến hành các thí nghiệm tương ứng. Từ kết quả thu được xây dựng mô hình toán học biểu thị quan hệ giữa đối tượng nghiên cứu và các yếu tố ảnh hưởng.

Mô hình có dạng: $Y = Y(X_1, X_2, X_3, ..., X_k)$

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

Trong đó:

Y: Hàm mô tả hệ (hàm mục tiêu)

$X_1, X_2, X_3,..., X_k$: Các biến số (yếu tố ảnh hưởng)

Hàm mô tả hệ là hàm nhiều biến có thể phân tích thành dãy Taylor, tức là hàm mục tiêu lý thuyết:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j . X_j + \sum_{u<j}^{k} \beta_{ju} . X_j . X_u + \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} . X_j^2 + ... \qquad (3\text{-}1)$$

Muốn xác định các hệ số hồi quy lý thuyết β cần phải có vô số thực nghiệm. Nhưng trong thực tế chỉ có số liệu nhất định của các giá trị $X_1, X_2, X_3,..., X_k$ và qua đó xác định được giá trị $b_1, b_2, b_3,.., b_n$ của các hệ số hồi quy $\beta_o, \beta_1, \beta_2,..., \beta_n$. Vì vậy bề mặt tương ứng của khoảng lân cận điểm M sẽ không biểu diễn theo đa thức lý thuyết mà bằng giá trị phương trình thống kê:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^{k} b_j . X_j + \sum_{u<j}^{k} b_{ju} . X_j . X_u + \sum_{j=1}^{k} b_{jj} . X_j^2 + ... \qquad (3\text{-}2)$$

Đây là dạng tổng quát của mô hình thống kê mô tả đối tượng nghiên cứu (phương trình 3-2).

Sau khi đã chọn được mô hình tiến hành xác định các thông số của mô hình thống kê:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ii} . X_i}{\sum_{i=1}^{k} x_{ji}^2} ; \forall j = 0 \div k$$

$$b_{ju} = \frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ji} . X_{ui} . Y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_{jui}^2} ; \forall j, u = 0 \div k, j \neq u$$

Để đơn giản, hàm phụ thuộc có thể viết dưới dạng thay thế:

$$Y = b_o + \sum_{j=1}^{n} b_j . f_j(X_1, X_2, ..., X_k)$$

Khi đó các hệ số của hàm thay thế được xác định dưới dạng ma trận:

$$[b_j] = (F^T . F)^{-1} . F^T . [Y]$$

Trong đó:

$[b_j]$: Ma trận các hệ số của hàm thay thế

F: Ma trận thay thế.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & f_1(X_1) & . & f_k(X_1) \\ 1 & f_2(X_2) & . & f_k(X_2) \\ . & . & . & . \\ 1 & f_n(X_k) & . & f_n(X_k) \end{bmatrix}$$

Trong đó: [Y]: Ma trận kết quả thực nghiệm.

3.2.2. Đánh giá kết quả nhận được bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất

- Kiểm tra sự bằng nhau của phương sai:

$$C_t = \frac{\max S_i^2}{\sum_{i=1}^{n} S_i^2} < C(r\text{-}1, n, 1\text{-}\alpha)$$

Trong đó: S_i^2: Phương sai của r lần lặp lại thực nghiệm i.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{r} \left(Y_{ij} - \overline{Y}_i \right)^2}{r - 1}$$

Trong đó:

Y_{ij}: Giá trị thực nghiệm của hàm mục tiêu tại thực nghiệm i, lần lặp j.

$\overline{Y}_i$: Giá trị trung bình thực nghiệm của hàm mục tiêu tại thực nghiệm i.

r: Số lần lặp lại thực nghiệm.

C(r-1, n, 1-α): Phân vị Cochran với bậc tự do $f_1 = r - 1$, $f_2 = n$ và độ tin cậy 1 - α (hay có mức ý nghĩa α)

- Kiểm tra tính tương thích của mô hình theo tiêu chuẩn Fisher:

$$F_t \le F(f_1, f_2, 1\text{-}\alpha)$$

Trong đó:

$F(f_1, f_2, 1\text{-}\alpha)$: Các giá trị của chuẩn số Fisher ở mức có nghĩa α và bậc tự do lặp $f_2 = n.(r - 1)$, bậc tự do dư:

$$f_1 = n - m - 1$$

F_t: Chuẩn số Fisher được xác định theo công thức:

$$F_t = \frac{S_{du}^2}{S_{t.s}^2}$$

Trong đó:

$S^2_{dư}$: Phương sai dư, được tính theo công thức:

$$S^2_{dư} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \overline{Y}_i\right)}{n-m}$$

$S^2_{t.s}$: Phương sai tái sinh của hàm mục tiêu với số lần lặp lại là r:

$$S^2_{t.s} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i^2 = \frac{1}{n(r-1)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{r}\left(Y_{ij} - \overline{Y}_i\right)$$

m: Số hệ số cần xác định trong phương trình hồi quy.

Y_i: Giá trị tính toán của hàm mục tiêu.

- Kiểm tra tính tương thích của các hệ số hồi quy theo tiêu chuẩn Student:

$$t_{hj} < t(f_2, 1 - \alpha/2)$$

Trong đó:

t_{hj}: Chuẩn số Student của hệ số b_j được xác định theo công thức:

$$t_{bj} = \frac{|b_j|}{S_{t.s}}$$

$t(f_2, 1- \alpha/2)$: Phân vị của phân bố Student ở mức có nghĩa α và bậc tự do $f_2 = n - m$.

3.2.3. Chọn hàm mục tiêu và các biến độc lập

Trên cơ sở mục đích nghiên cứu nói trên, chọn hàm mục tiêu là các tính chất cơ học của bê tông: cường độ bê tông ở các tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày, mô đun đàn hồi của bê tông.

Chọn các biến độc lập:

X_1: Tỷ lệ N/X

X_2: Hàm lượng sợi thép

3.3. VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM

Nghiên cứu thực nghiệm về bê tông cốt sợi thép xây dựng cầu được tiến hành tại Phòng Thí nghiệm Vật liệu Xây dựng - Khoa Công trình và Phòng Thí nghiệm Công trình - Trường Đại học Giao thông Vận tải với các vật liệu thí nghiệm hiện có ở Việt Nam:

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

3.3.1. Xi măng

Xi măng sử dụng loại xi măng Poóc-lăng PCB40 do nhà máy xi măng Nghi Sơn sản xuất.

Các tính chất cơ lý của xi măng:

- Khối lượng riêng: $\rho = 3.10$ (g/cm^2).
- Lượng nước tiêu chuẩn: 29%.
- Thời gian bắt đầu ninh kết: 75 (phút)
- Thời gian kết thúc ninh kết: 225 (phút).
- Độ mịn: Lượng sót trên sàng 0.08mm: <15%

Tỷ diện tích bề mặt: > 2500 cm^2/g

- Cường độ nén: Sau 3 ngày R_n>21 (N/mm^2)
  Sau 28 ngày R_n>40 (N/mm^2)
- Độ ổn định thể tích (theo phương pháp Le Satalia) >10Mm.
- Hàm lượng anhidrit sunfurric (SO_3) >3%.
- Lượng mất khi nung > 5MKN.

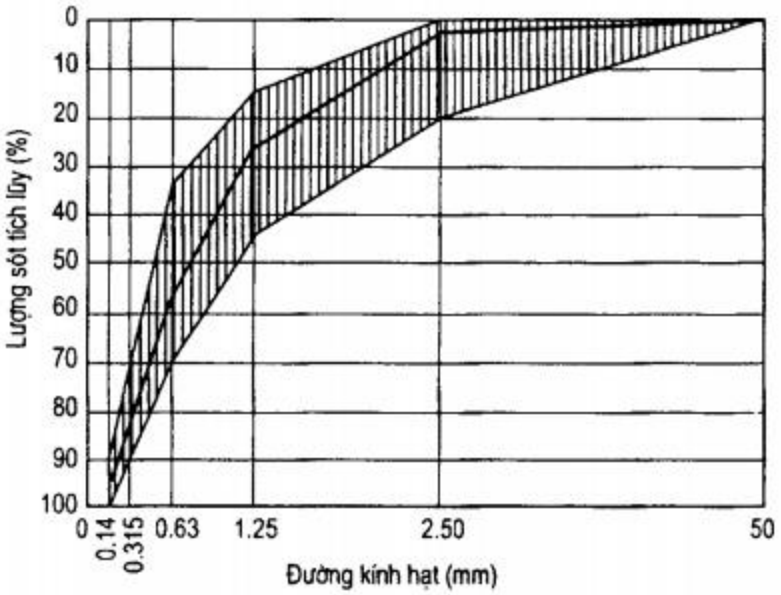
3.3.2. Cốt liệu nhỏ - Cát

Cát vàng lấy từ Sông Lô, có các chỉ tiêu kỹ thuật như sau:

- Khối lượng riêng: $\rho = 2.602$ (g/cm^3)
- Khối lượng thể tích: $\gamma = 1.43$ (g/cm^3)
- Độ ẩm: W = 5.48 %
- Thành phần hạt: thí nghiệm phân tích 2 kg cát cho kết quả như sau:

Bảng 3.1: *Kết quả phân tích thành phần hạt của cát thí nghiệm*

Kích thước lỗ sàng	Lượng sót trên sàng(g)	Lượng sót tích luỹ %
5	0	0
2,5	42	2,1
1,25	483	26,25
0,63	630	57,75
0,315	525	84
0,14	210	94,5
Đáy	105	100



***Hình 3.1**: Biểu đồ cấp phối hạt của cát*

- Mô đun độ lớn: $M_K = 2.65$

Nhận xét: Cát thí nghiệm là cát hạt to có cấp phối hạt phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đối với cát để chế tạo bê tông theo TCVN 177-86.

3.3.3. Cốt liệu lớn - Đá dăm

Đá dăm sử dụng đá Kiện Khê, Phủ Lý, có các chỉ tiêu kỹ thuật như sau:

- Khối lượng riêng: $\rho_d = 2.55$ (g/cm^3)
- Khối lượng thể tích: $\gamma_d = 1.54$ (g/cm^3)
- Độ ẩm: W = 0.5 %.
- $D_{max} = 12.5$mm.
- Thành phần hạt: thí nghiệm phân tích thành phần hạt của 5 kg đá cho kết quả như sau:

Bảng 3.2: *Kết quả phân tích thành phần hạt của đá dăm thí nghiệm*

Kích thước lỗ sàng	Lượng sót trên sàng(kg)	Lượng sót tích luỹ %
19	0	0
12,5	0	0
9.5	2,8	56
4.75	2	96
đáy	0.2	100

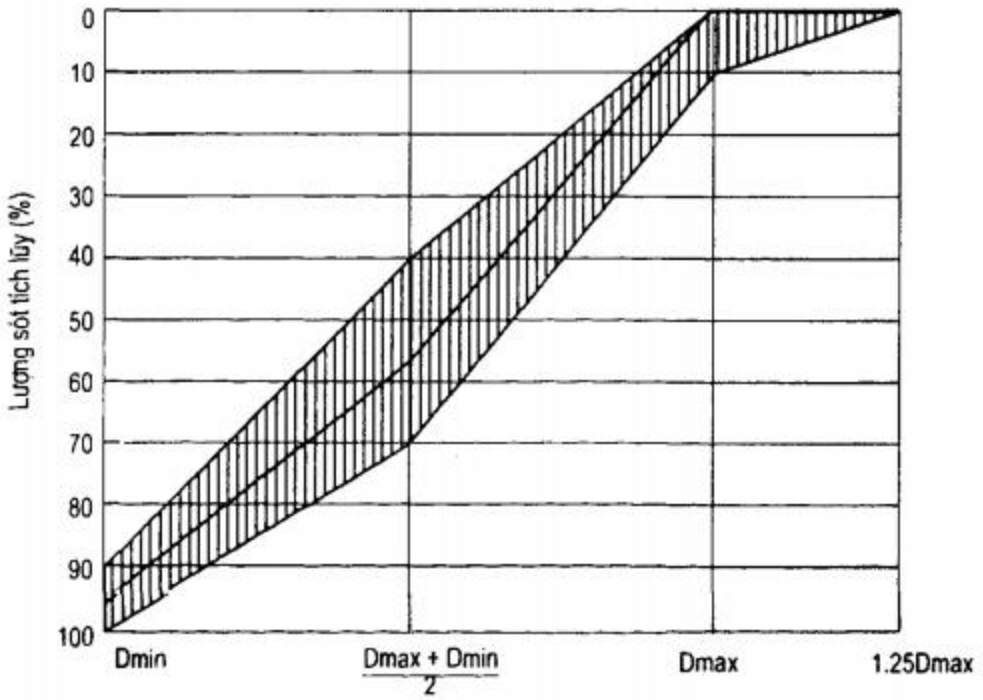
Nhận xét: Đá dăm thí nghiệm có thành phần hạt phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đối với đá dăm để chế tạo bê tông.

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

3.3.4. Phụ gia siêu dẻo

Phụ gia siêu dẻo Sikament R4 do hãng Sika sản xuất.

- Gốc Linosulfonatte, phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 loại D và G.
- Loại: Chất tổng hợp phân tán.
- Màu: Nâu đậm.



***Hình 3.2**: Biểu đồ cấp phối hạt của đá dăm thí nghiệm*

- Khối lượng riêng:1.15-1.18 kg/l.
- Điều kiện tồn: Tránh sương giá.
- Tuổi thọ: 3 năm trước khi đóng kín.
- Đóng gói: Thùng 5 lít.

3.3.5. Cốt sợi thép

Sử dụng 2 loại sợi Dramix của hãng BEKAERT.

a) RC-65/35-BN

- Cường độ chịu kéo đứt: > 1100N/mm^2
- Chiều dài của sợi: l = 35 (mm)
- Đường kính sợi: d = 0.55 (mm)
- Nhóm sản phẩm: 65
- Tỉ lệ giữa chiều dài và đường kính sợi: l/d = 64
- Số lượng sợi trong một kg cốt sợi: 14,500 sợi/kg

b) Sợi thẳng dẹt 0.4 ×0.6 ×18 (mm)

- Cường độ chịu kéo đứt: > 1100N/mm^2
- Chiều dài của sợi: l = 18 (mm)
- Kích thước mặt cắt sợi: 0.4 × 0.6 (mm)

3.4. QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Các thí nghiệm được quy hoạch theo phương pháp quy hoạch hoá thực nghiệm tâm trực giao với hai yếu tố ảnh hưởng X_1 và X_2.

Trong đó:

X_1: Tỷ lệ N/X

X_2: Hàm lượng CST.

Quy hoạch thí nghiệm trong bảng sau:

Quy hoạch thí nghiệm bê tông cốt sợi thép

Loại sợi:	RC-65/35-BN										
1. Thí nghiệm nén											
Loại mẫu:	Khối lập phương										
Ngày tuổi	Số lượng mẫu			$V_{1\,mẫu}$	Tổng thể tích mẫu			Trọng lượng sợi 1 mẫu		Trọng lượng sợi	
	0%	2%	5%	(m^3)	0% sợi	2% sợi	5% sợi	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)
3 ngày tuổi	3	2	3	0.003	0.010	0.007	0.010	0.169	0.422	0.338	1.266
7 ngày tuổi	3	3	3	0.003	0.010	0.010	0.010	0.169	0.422	0.506	1.266
28 ngày tuổi	3	3	3	0.003	0.010	0.010	0.010	0.169	0.422	0.506	1.266
Tổng	9	8	9	0.09	0.030	0.027	0.030	0.506	1.266	1.350	3.797
2. Thí nghiệm uốn											
Loại mẫu:	dầm										
Ngày tuổi	Số lượng mẫu			$V_{1\,mẫu}$	Tổng thể tích mẫu			Trọng lượng sợi 1 mẫu		Trọng lượng sợi	
	0%	2%	5%	(m^3)	0% sợi	2% sợi	5% sợi	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)
7 ngày tuổi	3	3	3	0.014	0.041	0.041	0.041	0.675	1.688	2.025	5.063
28 ngày tuổi	3	3	3	0.014	0.041	0.041	0.041	0.675	1.688	2.025	5.063
Tổng	6	6	6	0.028	0.082	0.082	0.082	1.350	3.376	4.050	10.126

Quy hoạch thí nghiệm Bê tông cốt sợi thép

Loại sợi:	Sợi dẹt, trơn - chiều dài 18mm										
1. Thí nghiệm nén											
Loại mẫu:	Khối lập phương										
Ngày tuổi	Số lượng mẫu			$V_{1mẫu}$	Tổng thể tích mẫu			Trọng lượng sợi 1 mẫu		Trọng lượng sợi	
	0%	2%	5%	(m^3)	0% sợi	2% sợi	5% sợi	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)
3 ngày tuổi	3	3	3	0.003	0.010	0.010	0.010	0.169	0.422	0.506	1.266
7 ngày tuổi	3	3	3	0.003	0.010	0.010	0.010	0.169	0.422	0.506	1.266
28 ngày tuổi	3	3	3	0.003	0.010	0.010	0.010	0.169	0.422	0.506	1.266
Tổng	9	9	9	0.010	0.030	0.030	0.030	0.506	1.266	1.519	3.797
2. Thí nghiệm uốn											
Loại mẫu:	dầm										
Ngày tuổi	Số lượng mẫu			$V_{1mẫu}$	Tổng thể tích mẫu			Trọng lượng sợi 1 mẫu		Trọng lượng sợi	
	0%	2%	5%	(m^3)	0% sợi	2% sợi	5% sợi	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)	2% (50kg/m^3)	5% (125kg/m^3)
7 ngày tuổi	3	3	3	0.014	0.041	0.041	0.041	0.675	1.688	2.025	5.063
28 ngày tuổi	3	3	3	0.014	0.041	0.041	0.041	0.675	1.688	2.025	5.063
Tổng	6	6	6	0.027	0.081	0.081	0.081	1.350	3.376	4.050	10.125

3.5. LỰA CHỌN THÀNH PHẦN BÊ TÔNG THÍ NGHIỆM

Mác bê tông tính toán là mác 400 (kg/cm^2)

- Đối với bê tông cốt sợi thép thì tỷ lệ N/X được sử dụng 0.42 - 0.55.

Trong thí nghiệm này sử dụng tỉ lệ N/X = 0.42

- Theo kết quả nghiên cứu của nước ngoài thì hàm lượng cốt sợi thép sử dụng khoảng 1% đến 8% khối lượng hoặc 0,33% đến 2% thể tích bê tông

Trong thí nghiệm này sử dụng hai loại hàm lượng sợi: 2% và 5%.

- Căn cứ vào tỷ lệ N/X và hàm lượng sợi thép được chọn theo quy hoạch, thành phần bê tông được tính toán như sau:

- Lượng đá dăm cho 1 m^3 bê tông được tính như sau:

$$Đ = V_đ.\gamma_đ = 0.68 \times 1540 = 1050 \text{ (kg/m}^3\text{bt)}.$$

Trong đó:

$V_đ$: Xác định theo giáo trình Vật liệu xây dựng, với đá dăm có D_{max} = 12.5 thì: $V_đ = 0.68$ (m^3/m^3 bê tông);

$\gamma_đ$: Khối lượng thể tích đá, $\gamma_đ = 1.54$ (g/cm^3) = 1540 (kg/m^3).

- Lượng xi măng cho 1m^3 bê tông: X = 410 (kg/m^{3}bt).

- Lượng phụ gia siêu dẻo R4 được chọn với hàm lượng từ 0.8 ÷ 1.5 lít/100kg CKD đảm bảo độ sụt cho bê tông từ 10 ÷ 12 cm.

Trong thí nghiệm này chọn hàm lượng phụ gia siêu dẻo 1.5lít/100 kg XM.

- Lượng cát cho 1m^3 bê tông:

$$C = \rho_c \cdot \left(1000 - \frac{Đ}{\rho_d} - \frac{X}{\rho_x} - \frac{MS}{\rho_{MS}} - N - R_4 \right) (kg/m^3bt)$$

Kết quả tính toán thành phần bê tông cốt sợi thép theo quy hoạch cho trong bảng sau:

Thành phần bê tông cốt sợi thép (Đối với 1m^3 bê tông)

Loại mẫu	Tỉ lệ N/X	Nước (lít/m^3)	Xi măng (kg/m^3)	Đá (kg/m^3)	Cát (kg/m^3)	R4 (lít/m^3)	Cốt sợi	
							%	(kg/m^3)
Mẫu đối chứng	0.42	172.20	410	1050	472.17	6.15	0	0.00
Mẫu loại I	0.42	172.20	410	1050	472.17	6.15	2	50.00
Mẫu loại II	0.42	172.20	410	1050	472.17	6.15	5	125.00

Thành phần bê tông cốt sợi thép
(Đối với 1 mẫu bê tông khối lập phương 15cm × 15cm)

Loại mẫu	Tỉ lệ N/X	Nước (lít)	Xi măng (kg)	Đá (kg)	Cát (kg)	R4 (lít)	Cốt sợi	
							% khối lượng	(kg)
Mẫu đối chứng	0.42	0.58	1.38	3.54	1.59	0.02	0	0.00
Mẫu loại I	0.42	0.58	1.38	3.54	1.59	0.02	2	0.17
Mẫu loại II	0.42	0.58	1.38	3.54	1.59	0.02	5	0.42

Thành phần bê tông cốt sợi thép
(Đối với 1 mẫu bê tông dầm 15cm × 15cm × 60cm)

Loại mẫu	Tỉ lệ N/X	Nước (lít)	Xi măng (kg)	Đá (kg)	Cát (kg)	R4 (lít)	Cốt sợi	
							% khối lượng	(kg)
Mẫu đối chứng	0.42	2.32	5.54	14.18	6.37	0.08	0	0.00
Mẫu loại I	0.42	2.32	5.54	14.18	6.37	0.08	2	0.68
Mẫu loại II	0.42	2.32	5.54	14.18	6.37	0.08	5	1.69

3.6. MÁY MÓC, DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng và phòng thí nghiệm Công trình - Trường Đại học Giao Thông Vận Tải.

3.6.1. Máy thí nghiệm

- Máy trộn bê tông mini dung tích 30 lít/mẻ trộn

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

- Đầm dùi
- Đầm bàn
- Máy nén thuỷ lực ELE 1500

3.6.2. Dụng cụ thí nghiệm

- Sử dụng các thiết bị thí nghiệm của phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng và phòng thí nghiệm Công trình - Trường Đại học Giao thông Vận tải.
- Ván khuôn: sử dụng 2 loại ván khuôn
  + Ván khuôn thép kích thước 15 × 15 × 15 (cm)
  + Ván khuôn thép kích thước 15 × 15 × 60 (cm)

3.7. TIẾN HÀNH THÍ NGHIỆM

- Tiến hành đúc các mẫu thí nghiệm theo quy hoạch đã đề ra.
- Sau khi đúc mẫu, bảo dưỡng theo đúng quy trình thí nghiệm.
- Sau khi các mẫu thí nghiệm đủ ngày tuổi tiến hành nén thử mẫu.

3.8. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Sau khi các mẫu thí nghiệm đủ ngày tuổi tiến hành nén thử mẫu. Các mẫu thử được nén tại phòng thí nghiệm Công trình - Trường Đại học Giao thông Vận tải.

3.8.1. Kết quả thử độ sụt của bê tông

Với dung tích thùng trộn 30 lít, chỉ có thể đúc 6 mẫu lập phương hoặc 2 mẫu dầm đối với một mẻ trộn, vì vậy tiến hành đo độ sụt của bê tông đối với từng mẻ trộn và thu được kết quả như sau:

Kết quả đo độ sụt

Loại mẫu	Lượng siêu dẻo R4		Kết quả đo (cm)	Trung bình (cm)
	% (lít/100 kg ximăng)	lít/mẫu lập phương		
Mẫu 0% sợi	1.5	0.02	19.00	18.17
	1.5	0.02	17.50	
	1.5	0.02	18.00	
Mẫu 2% sợi	1.5	0.02	12.00	11.00
	1.5	0.02	11.00	
	1.5	0.02	10.00	
Mẫu 5% sợi	1.5	0.02	7.00	7.00
	1.5	0.02	7.50	
	1.5	0.02	6.50	

3.8.2. Kết quả nén mẫu của bê tông

1. Mẫu lập phương 15 × 15 × 15 (cm)

- Loại sợi:	RC-65/35-BN											
Ngày tuổi	3 ngày tuổi				7 ngày tuổi				28 ngày tuổi			
	Số liệu nén		Trung bình		Số liệu nén		Trung bình		Số liệu nén		Trung bình	
	P(kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)
Mẫu 0% sợi	874.20	38.85	858.37	38.15	1019.00	45.29	1037.67	46.12	1105.00	49.11	1127.00	50.09
	857.30	38.10			1059.00	47.07			1116.00	49.60		
	843.60	37.49			1035.00	46.00			1160.00	51.56		
Mẫu 2% sợi	891.00	39.60	903.38	40.15	827.00	36.76	828.00	36.80	1235.95	54.93	1229.62	54.65
	912.13	40.54			812.00	36.09			1220.75	54.26		
	907.00	40.31			845.00	37.56			1232.15	54.76		
Mẫu 5% sợi	986.70	43.85	960.67	42.70	1230.00	54.67	1213.33	53.93	1258.66	55.94	1291.96	57.42
	953.70	42.39			1213.00	53.91			1323.55	58.82		
	941.60	41.85			1197.00	53.20			1293.68	57.50		
Loại sợi:	Sợi dẹt, trơn- chiều dài 18mm											
Ngày tuổi	3 ngày tuổi				7 ngày tuổi				28 ngày tuổi			
	Số liệu nén		Trung bình		Số liệu nén		Trung bình		Số liệu nén		Trung bình	
	P(kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)	P (kN)	R (MPa)
Mẫu 0% sợi	874.20	38.85	858.37	38.15	1019.00	45.29	1037.67	46.12	1105.00	49.11	1127.00	50.09
	857.30	38.10			1059.00	47.07			1116.00	49.60		
	843.60	37.49			1035.00	46.00			1160.00	51.56		
Mẫu 2% sợi	992.30	44.10	986.00	43.82	1204.00	53.51	1193.67	53.05	1297.00	57.64	1298.67	57.72
	986.90	43.86			1198.00	53.24			1289.00	57.29		
	978.80	43.50			1179.00	52.40			1310.00	58.22		
Mẫu 5% sợi	1019.00	45.29	1021.83	45.41	1290.00	57.33	1272.00	56.53	1364.75	60.66	1397.71	62.12
	997.50	44.33			1251.00	55.60			1431.70	63.63		
	1049.00	46.62			1275.00	56.67			1396.68	62.07		

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

2. Mẫu dầm 15 ×15 ×60 (cm)

- Loại sợi:	RC-65/35-BN							
Ngày tuổi	7 ngày tuổi				28 ngày tuổi			
	Số liệu		Trung bình		Số liệu		Trung bình	
	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)
Mẫu 0% sợi	34.60	4.613	33.53	4.471	36.70	4.893	35.87	4.782
	32.50	4.333			35.00	4.667		
	33.50	4.467			35.90	4.787		
Mẫu 2% sợi	45.00	6.000	43.67	5.822	51.70	6.893	52.23	6.964
	44.00	5.867			54.50	7.267		
	42.00	5.600			50.50	6.733		
Mẫu 5% sợi	55.00	7.333	55.33	7.378	60.40	8.053	61.23	8.164
	57.00	7.600			63.30	8.440		
	54.00	7.200			60.00	8.000		
- Loại sợi:	Sợi dệt, tròn- chiều dài 18mm							
Ngày tuổi	7 ngày tuổi				28 ngày tuổi			
	Số liệu		Trung bình		Số liệu		Trung bình	
	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)	P (kN)	Rku (MPa)
Mẫu 0%sợi	34.60	4.613	33.53	4.471	36.70	4.893	35.87	4.782
	32.50	4.333			35.00	4.667		
	33.50	4.467			35.90	4.787		
Mẫu 2% sợi	38.90	5.187	38.80	5.173	44.30	5.907	43.90	5.853
	39.10	5.213			43.40	5.787		
	38.40	5.120			44.00	5.867		
Mẫu 5% sợi	49.80	6.640	50.43	6.724	56.10	7.480	55.87	7.449
	50.10	6.680			55.90	7.453		
	51.40	6.853			55.60	7.413		

3.8.3. Các biểu đồ kết quả thí nghiệm

Từ các số liệu trên, dùng chương trình Matlab để vẽ các biểu đồ.

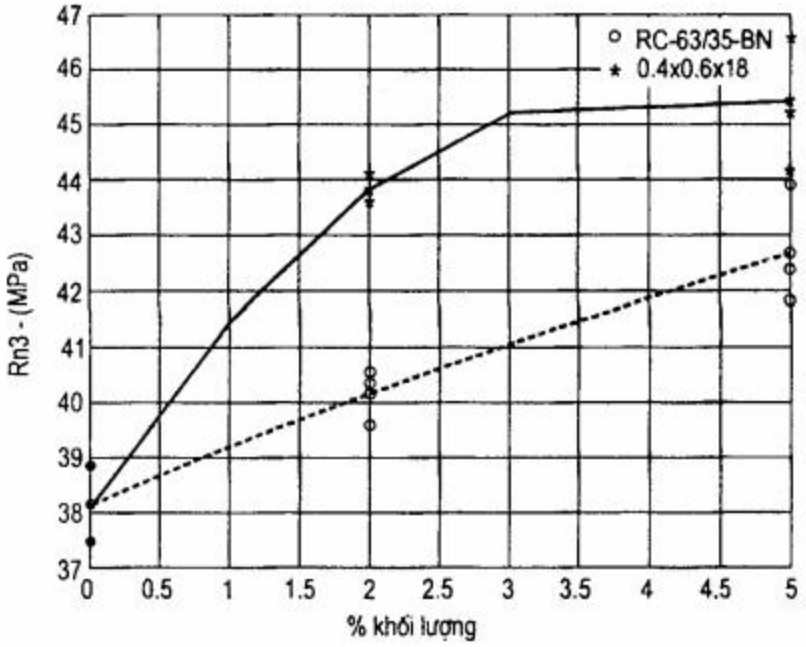
3.8.3.1. Biểu đồ quan hệ giữa cường độ chịu nén R và hàm lượng cốt sợi thép theo nhóm ngày tuổi

a) Nhóm 3 ngày tuổi

- Số liệu thí nghiệm

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

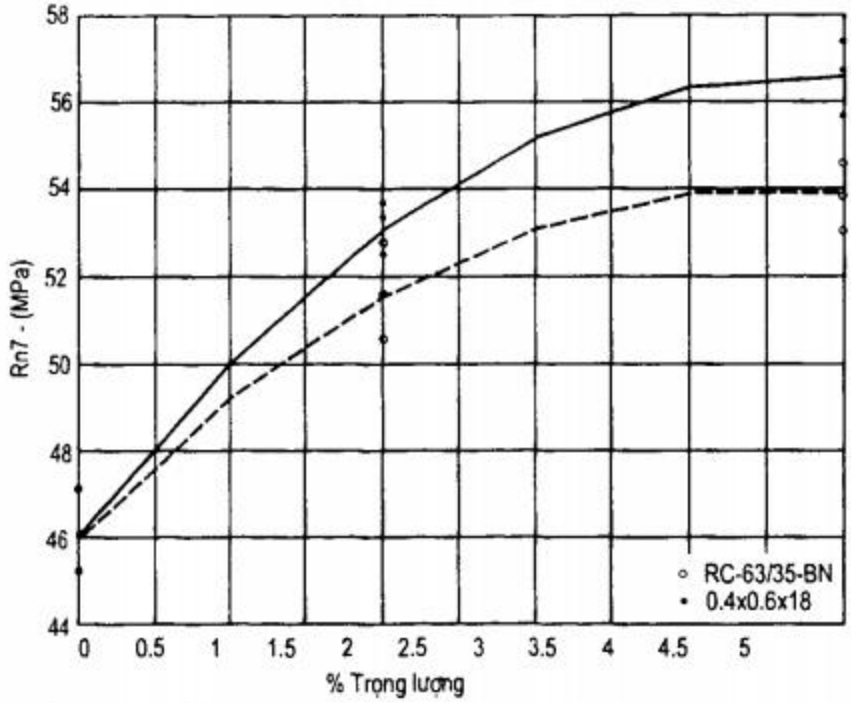
Loại mẫu phụ thuộc loại sợi	Cường độ chịu nén R phụ thuộc hàm lượng sợi (Mpa)		
	0%	2%	5%
RC-65/35-BN	38.85	39.60	43.85
	38.10	40.54	42.39
	37.49	40.31	41.85
Trung bình	38.15	40.15	42.70
Sợi dẹt, trơn-chiều dài 18mm	38.85	44.10	45.29
	38.10	43.86	44.33
	37.49	43.50	46.62
Trung bình	38.15	43.82	45.41



b) Nhóm 7 ngày tuổi

- Số liệu thí nghiệm

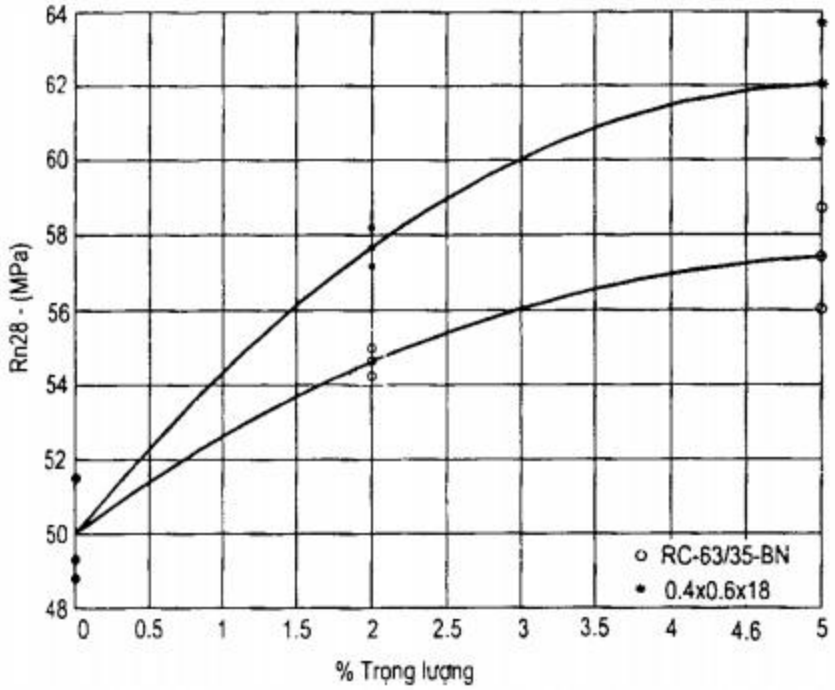
Loại mẫu phụ thuộc loại sợi	Cường độ chịu nén R phụ thuộc hàm lượng sợi (Mpa)		
	0%	2%	5%
RC-65/35-BN	45.29	51.46	54.67
	47.07	50.52	53.91
	46.00	52.58	53.20
Trung bình	46.12	51.52	53.93
Sợi dẹt, trơn-chiều dài 18mm	45.29	53.51	57.33
	47.07	53.24	55.60
	46.00	52.40	56.67
Trung bình	46.12	53.05	56.53



c) Nhóm 28 ngày tuổi.

- Số liệu thí nghiệm

Loại mẫu phụ thuộc loại sợi	Cường độ chịu nén R phụ thuộc hàm lượng sợi (Mpa)		
	0%	2%	5%
RC-65/35-BN	49.11	54.93	55.94
	49.60	54.26	58.82
	51.56	54.76	57.50
Trung bình	50.09	54.65	57.42
Sợi dẹt, trơn- chiều dài 18mm	49.11	57.64	60.66
	49.60	57.29	63.63
	51.56	58.22	62.07
Trung bình	50.09	57.72	62.12

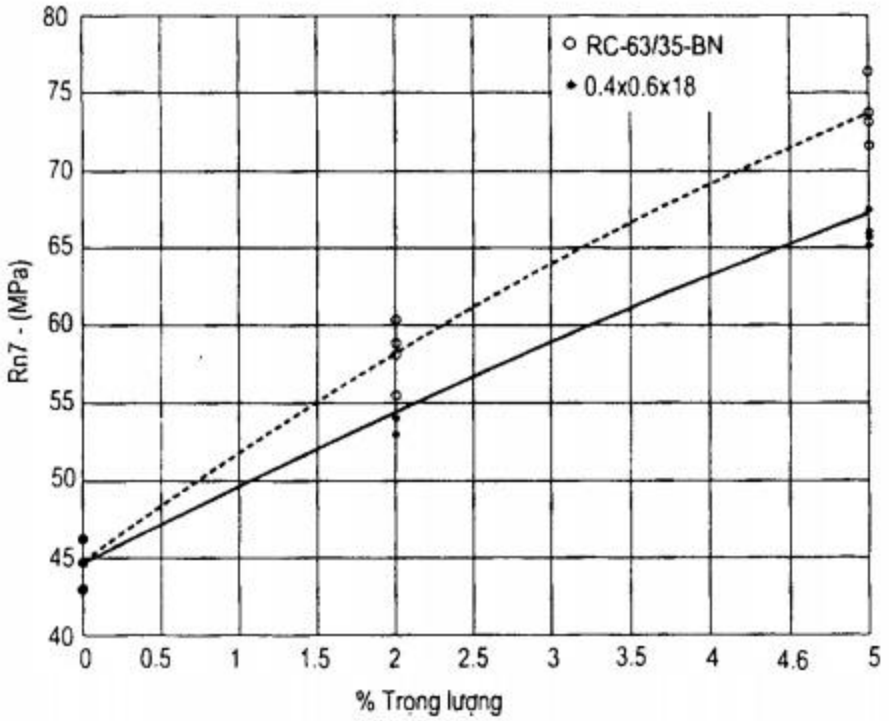


3.8.3.2. Biểu đồ quan hệ giữa cường độ chịu kéo khi uốn R_{ku} và hàm lượng CST theo nhóm ngày tuổi

a) Nhóm 7 ngày tuổi

- Số liệu thí nghiệm

Loại mẫu phụ thuộc loại sợi	Cường độ chịu kéo khi uốn R_{ku} phụ thuộc hàm lượng sợi		
	0%	2%	5%
RC-65/35-BN	46.13	60.00	73.33
	43.33	58.67	76.00
	44.67	56.00	72.00
Trung bình	44.71	58.22	73.78
Sợi dẹt, trơn- chiều dài 18mm	46.13	54.46	66.40
	43.33	54.74	66.80
	44.67	53.76	68.53
Trung bình	44.71	54.32	67.24

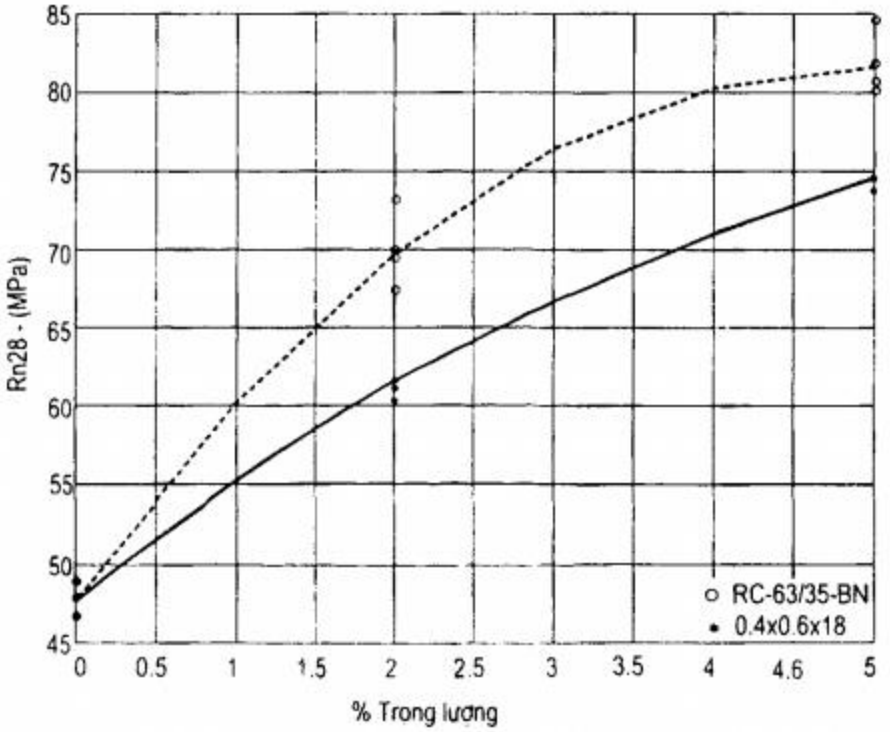


b) Nhóm 28 ngày tuổi

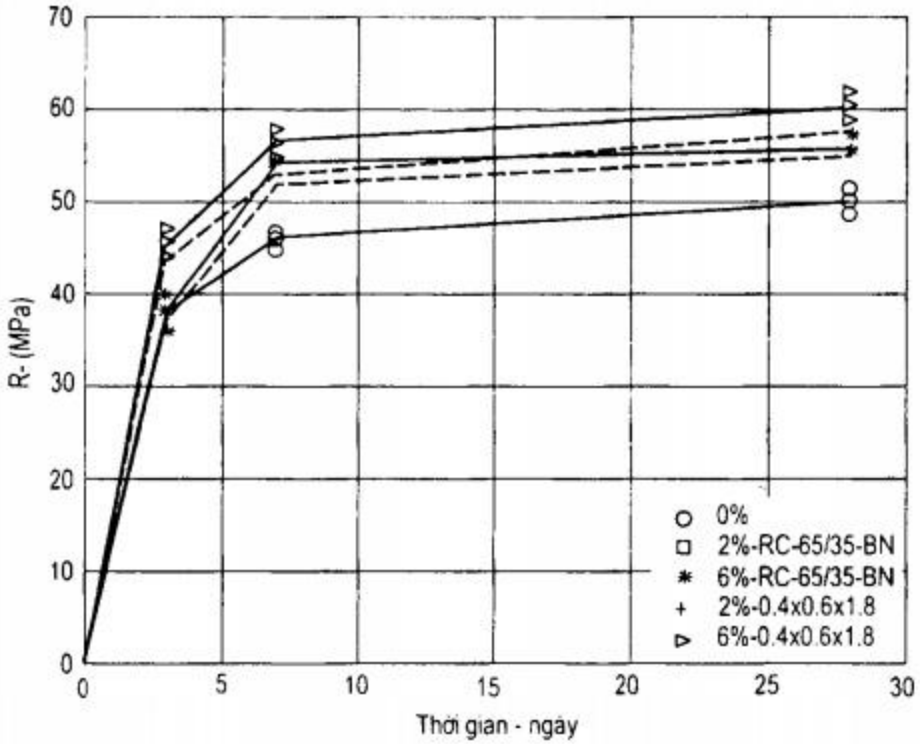
- Số liệu thí nghiệm

Loại mẫu phụ thuộc loại sợi	Cường độ chịu kéo khi uốn R_{ku} phụ thuộc hàm lượng sợi		
	0%	2%	5%
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*
RC-65/35-BN	48.93	68.93	80.53
	46.67	72.67	84.40
	47.87	67.33	80.00

(1)	(2)	(3)	(4)
Trung bình	47.82	69.64	81.64
Sợi dẹt, trơn- chiều dài 18mm	48.93	62.02	74.80
	46.67	60.76	74.53
	47.87	61.60	74.13
Trung bình	47.82	61.46	74.49



3.8.3.3. Biểu đồ quan hệ giữa cường độ chịu nén R và ngày tuổi



3.9. SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM NƯỚC NGOÀI

Nhiều tác giả nước ngoài đã công bố các kết quả thí nghiệm của họ. Sau đây nêu tóm tắt một số kết quả thí nghiệm tham khảo của nước ngoài.

3.9.1. Thí nghiệm dầm bê tông cốt sợi thép

Thí nghiệm được tiến hành tại University of Western Sydney - Austraia.

3.9.1.1. Thí nghiệm

Các nhà nghiên cứu tiến hành đúc 10 mẫu dầm bằng bê tông cốt sợi thép.

- Kích thước dầm: 150 × 150 × 550 (mmm)
- Chiều dài tính toán của dầm: l = 450 mm
- Thí nghiệm được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM C-1018
- Mẫu thí nghiệm được bảo dưỡng với nhiệt độ 23^{0}C, luôn được giữ ẩm trong thời gian tối thiểu 60 ngày.
- Loại sợi: thí nghiệm sử dụng 2 loại sợi

+ Bekaert RC 80/65

+ Bekaert RC 60/65

- Hàm lượng sợi

+ Bekaert RC 80/65: 15 kg/m^3

+ Bekaert RC 60/65: 20 kg/m^3

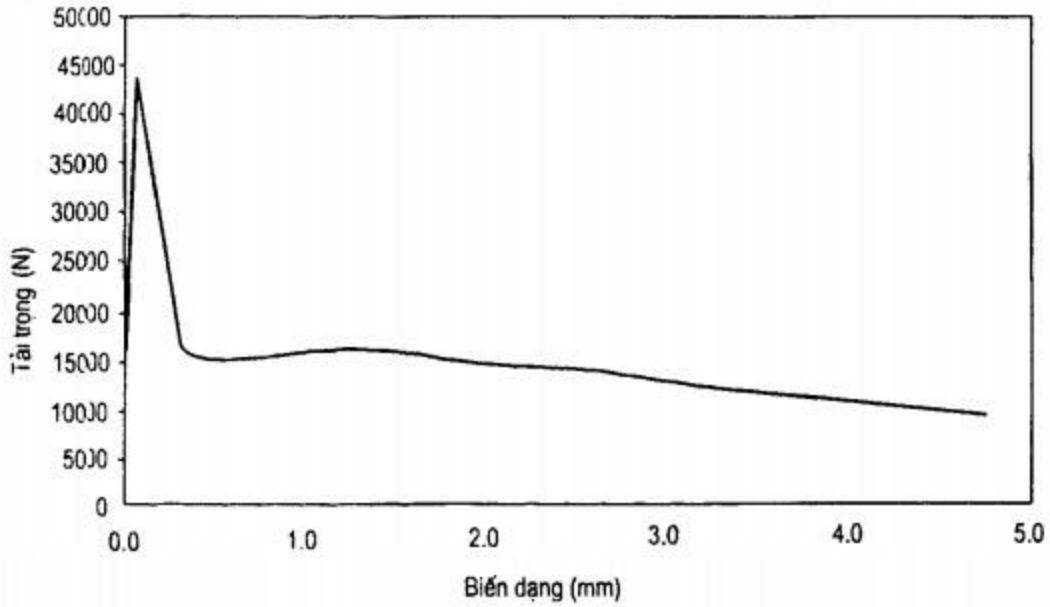
3.9.1.2. Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm

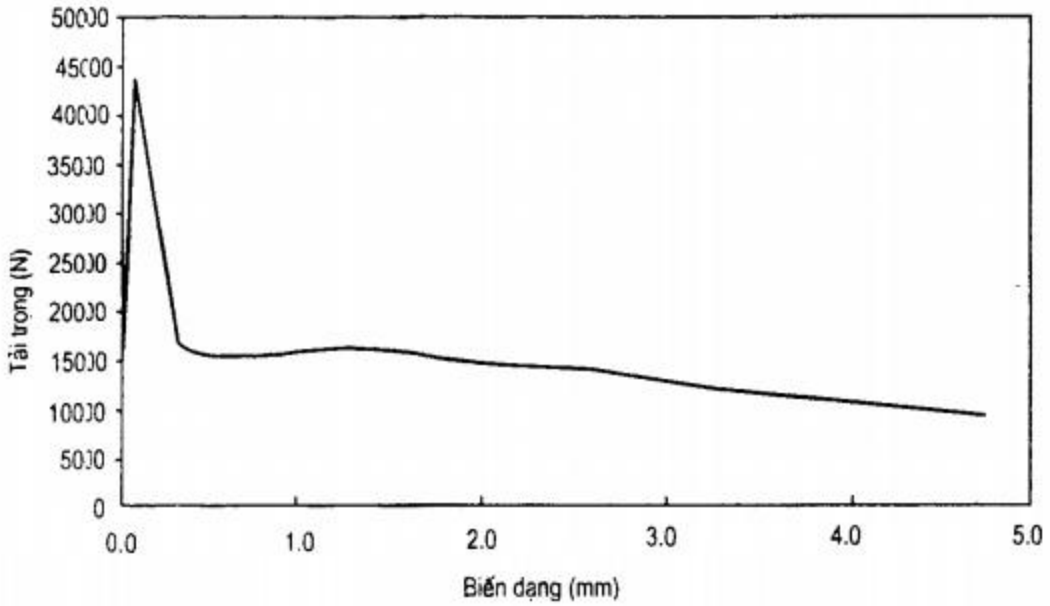
Mẫu		Tuổi (ngày)	Môđun phá huỷ (MPa)	Cường độ sau khi vết nứt mở rộng		Số lượng sợi trên mặt cắt
				0.5 mm (MPa)	3.0 mm (MPa)	
Bekaert RC 80/65 (15kg/m^3)	A	68	5.85	2.02	1.62	23.5)
	B	68	5.89	2.88	2.36	31.5)
	C	68	5.41	1.91	1.94	28.5)
	D	68	5.76	2.49	2.18	25.5)
	E	68	6.09	2.60	2.24	22.0)
Trung bình			5.80	2.38	2.07	26.2)

Mẫu		Tuổi (ngày)	Môđun phá huỷ (MPa)	Cường độ sau khi vết nứt mở rộng		Số lượng sợi trên mặt cắt
				0.5 mm (MPa)	3.0 mm (MPa)	
Bekaert RC 60/65 20kg/m3)	A	68	6.15	2.24	1.73	22.00
	B	68	5.50	2.23	2.06	21.50
	C	68	5.23	1.85	1.91	28.00
	D	68	5.26	2.67	2.34	29.00
	E	68	5.78	1.70	1.50	20.00
Trung bình			5.58	2.14	1.91	24.10

3.9.1.3. Biểu đồ quan hệ ứng giữa tải trọng và biến dạng



Mẫu A – sử dụng loại sợi Bekaert RC 80/65 (15kg/m³)



Mẫu A – sử dụng loại sợi Bekaert RC 60/65 (20kg/m3)

3.10. NHẬN XÉT

Việc bổ sung sợi thép vào trong bê tông thông thường có thể thay đổi tính chất của bê tông đáng kể khi chúng ảnh hưởng đến tính chất của bê tông cả khi còn trạng thái tươi lẫn trạng thái rắn. Đóng góp chính của các sợi thép là sự cải thiện tính chất của bê tông đóng rắn. Tuy nhiên, sự cải thiện đạt được khi sử dụng cốt sợi thép đã kéo theo một số công việc bổ sung khi xử lý nó. Phạm vi cải thiện bởi việc thêm cốt sợi làm thay đổi tính chất của bê tông bị ảnh hưởng bởi kiểu sợi, đặc trưng hình học của sợi, hàm lượng sợi và sự định hướng sợi trong bê tông cũng như bởi sự liên kết giữa nền bê tông và cốt sợi.

3.10.1. Kiểu sợi

Trong thí nghiệm tại Trường Đại học Giao Thông Vận Tải đã sử dụng 2 loại sợi khác nhau:

- RC-65/35-BN
- Sợi thẳng dẹt 0.4 × 0.6 × 18 (mm)

Đối với mẫu thử lập phương dùng loại sợi RC-65/35-BN:

- Cường độ chịu nén tăng không nhiều:

Loại sợi	Khả năng tăng cường độ nén (%)	
	Mẫu 2% sợi	Mẫu 5% sợi
Loại sợi RC-65/35-BN	9.11	14.64
Loại sợi trơn-dẹt-thẳng	15.23	24.02

- Cường độ chịu kéo khi uốn tăng đáng kể:

Loại sợi	Khả năng tăng cường độ kéo khi uốn (%)	
	Mẫu 2% sợi	Mẫu 5% sợi
Loại sợi RC-65/35-BN	45.63	70.72
Loại sợi trơn-dẹt-thẳng	22.40	55.76

3.10.2. Hình dạng sợi

Để kiểm chứng tính chất này, đề tài đã sử dụng hai loại sợi khác nhau, kết quả thí nghiệm đã cho thấy rằng loại sợi RC-65/35-BN, được bẻ hai đầu đã phát huy tác dụng đáng kể khi vết nứt xuất hiện, bên cạnh đó cường độ chịu kéo khi uốn cũng tăng đáng kể.

3.10.3. Cơ chế phá huỷ sợi

Với hai loại sợi được sử dụng, sợi đã phá huỷ vì sợi bị cắt đứt, điều này chứng tỏ khi phá huỷ, mẫu thử phụ thuộc hoàn toàn vào khả năng chịu kéo của cốt sợi.

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

3.10.4. Hàm lượng sợi

Trong thí nghiệm, áp dụng 2 thành phần sợi thép

- 50 kg/m^3 (2 % trọng lượng, hay 0.66 % thể tích)

-125 kg/m^3 (5 % trọng lượng, hay 1.65 % thể tích)

Từ kết quả thí nghiệm, chúng ta nhận thấy rằng:

- Cường độ chịu nén của bê tông cốt sợi thép phụ thuộc vào hàm lượng sợi, hàm lượng càng cao thì cường độ càng tăng, tuy nhiên, cường độ nén không tăng nhiều. Vì vậy, để tăng cường độ nén thì giải pháp dùng cốt sợi thép chưa phải là giải pháp tối ưu.

- Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông cốt sợi thép phụ thuộc vào hàm lượng sợi và kiểu sợi, và kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng sợi tăng đã làm tăng khả năng chịu kéo khi uốn của mẫu thử.

- Tuy nhiên, nếu hàm lượng cốt sợi thép tăng lên, tính công tác của bê tông đã bị ảnh hưởng đáng kể, làm cho bê tông khó trộn hơn và khó đổ hơn. Tuy nhiên, vấn đề này có thể khắc phục bằng cách sử dụng loại phụ gia tăng dẻo mạnh hơn.

3.10.5. Vết nứt

Ảnh hưởng quan trọng nhất của sự tồn tại các sợi thép trong vật liệu này là chúng có thể điều khiển quá trình phát triển vết nứt.

Trong thí nghiệm, mẫu đối chứng phá huỷ rất nhanh sau khi tải trọng đạt đến trị số giới hạn, còn đối với mẫu thử có cốt sợi, vết nứt hình thành chậm, vết nứt mở rộng từ từ và mẫu thử không bị gãy rời. Điều này chứng tỏ cốt sợi đã phát huy khả năng làm việc của chúng đúng như đã nêu ở phần lý thuyết.

Trạng thái sau phá huỷ của bê tông cũng được cải thiện một cách đáng kể. Biến dạng khi phá huỷ tăng lên tới 10 lần đối với vật liệu nền thông thường. Như vậy sẽ làm cho khả năng làm việc của cấu kiện bê tông cốt sợi thép tăng thêm đáng kể.

3.10.6. Ứng suất uốn

So sánh giữa mẫu thông thường và mẫu có cốt sợi thép, không giống bê tông thông thường, bê tông cốt sợi thép có khả năng chịu tốt hơn. Sự phá huỷ của bê tông thông thường diễn ra rất đột ngột, tải trọng bé, trong khi đó, sự phá huỷ của bê tông cốt sợi thép diễn ra chậm hơn rất nhiều, mẫu thử bị phá hoại từ từ.

Trong thí nghiệm này, sự phá huỷ của bê tông cốt sợi thép và cho thấy sự khác nhau giữa các mẫu thử bê tông cốt sợi thép khác nhau về hàm lượng sợi và kiểu sợi. Với loại sợi thẳng, kết quả đạt được kém hơn so với loại sợi được bẻ hai đầu, và hàm lượng sợi tăng cũng làm tăng đáng kể khả năng chịu lực cũng như tính dẻo của mẫu thử.

Chương 4
CƠ SỞ TÍNH TOÁN KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Các tính chất của bê tông cốt sợi thép phần lớn đã được xác định từ các kết quả thí nghiệm và cũng đã được chứng minh bằng lí thuyết. Tuy nhiên, những quy tắc chung cho quá trình tính toán thiết kế vẫn chưa được thiết lập trong các Tiêu chuẩn thiết kế xây dựng. Lý do chính là nó không đơn giản chỉ là việc làm thích nghi những quy tắc hiện hữu giữa việc gia cường cốt sợi thép và bê tông thông thường. Những khái niệm về bê tông cốt sợi thép phải được xem xét với những khái niệm mới hoàn toàn.

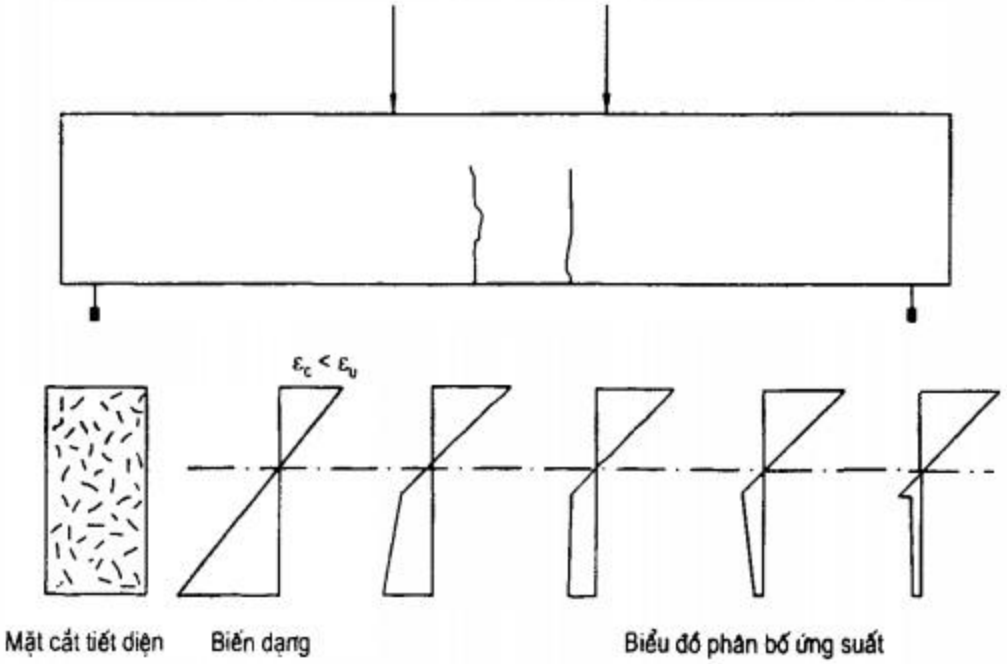
Quá trình tăng cường các sợi thép vào bê tông đã làm cho bê tông "mềm dẻo" hơn. Do đó, khác các vật liệu khác, một số thí nghiệm không thể xác định được giới hạn phá huỷ. Trạng thái sau phá huỷ của kết cấu tùy thuộc vào kiểu sợi, hàm lượng sợi và công nghệ trộn bê tông, vì vậy không thể định ra một quy tắc tổng thể cho quá trình tính toán. Hơn nữa, vấn đề an toàn cần phải được xem xét nghiêm túc.

Từ quan điểm này, cần phải tránh sự mâu thuẫn với những Tiêu chuẩn hiện hữu cho đến khi phát triển một khái niệm thiết kế chính xác cho loại vật liệu này. Tính chất của bê tông cốt sợi thép cần phải được tính đến trong quá trình tính toán nhưng vẫn trong khuôn khổ tính toán kết cấu bê tông thông thường.

Ứng suất kéo trong bê tông đã không được chú ý tới trong những lý thuyết chung về trạng thái chịu uốn của kết cấu bê tông. Nhưng trong trường hợp này thì cần phải được xem xét với sự có mặt của các sợi thép. Trong bê tông cốt sợi thép, ứng suất kéo xuất hiện thậm chí ở những vùng nứt nẻ và khả năng làm việc của nó phụ thuộc chủ yếu vào kiểu sợi và hàm lượng sợi. Hình 4.1 là các dạng biểu đồ ứng suất kéo trong mẫu thí nghiệm, trong đó, hình 4.1c mô tả biểu đồ ứng suất của mẫu thí nghiệm sử dụng bê tông cốt sợi thuỷ tinh với hàm lượng sợi cực đại và cường độ chịu kéo ở thớ chịu kéo vẫn

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

còn làm việc sau khi vết nứt hình thành. Những mẫu thí nghiệm trên hình 4.1d, e, f biểu diễn ứng suất của các loại sợi thép.



***Hình 4.1**: Biểu đồ phân bố ứng suất khi nứt trên mặt cắt ngang của bê tông cốt sợi thép*

Như vậy chúng ta thấy rằng có thể áp dụng nguyên lý thông thường tính toán cấu kiện bê tông để tính toán cho bê tông cốt sợi thép. Tuy nhiên, hiệu ứng làm việc của sợi thép cần được tính đến trong quá trình tính toán bằng cách sử dụng cường độ thiết kế B_R cao hơn và có xét đến vấn đề tăng khả năng chịu biến dạng.

Trong tất cả các trường hợp khó có thể xác định chính xác ứng suất vì nó bị giới hạn biến dạng và phụ thuộc vào biến dạng, chính vì vậy trong thiết kế cần phải tính đến vấn đề về nứt.

Vấn đề chống ăn mòn cũng phải được xem xét đến trong quá trình tính toán vì kết cấu sẽ bị phá huỷ nếu cốt sợi bị ăn mòn do nhiều nguyên nhân thông qua các đường vết nứt.

4.1. KHÁI NIỆM THIẾT KẾ TỔNG QUAN

Từ những năm 1960, hàng loạt thí nghiệm đã được tiến hành như các thí nghiệm kéo, thí nghiệm ép chẻ, thí nghiệm uốn và thí nghiệm nén, với một mục tiêu để giải thích và mô tả chính xác cơ chế làm việc của vật liệu này, đặc biệt đối với sự tương tác giữa sợi và nền bê tông. Với những thí nghiệm đã tiến hành, các nhà nghiên cứu đã đưa ra các nhận xét quan trọng, nhất là

đối với trạng thái phá huỷ và khả năng chịu tải của vật liệu, và có hai vấn đề chính như sau:

4.1.1. Khái niệm về không gian

Khái niệm không gian dựa vào tiền đề là các sợi thép làm chậm trễ sự mở rộng vết nứt vi mô dưới tác dụng ứng suất và như vậy cải thiện khả năng chịu lực của vật liệu. Vật liệu được coi như một phần tử, khả năng làm việc của sợi cũng chính là khả năng làm việc của toàn bộ vật liệu.

Mô hình này là mô hình cơ cấu phá huỷ của vật liệu xét đến tính không liên tục của vật liệu, được phát triển bởi Griffith vào 1921. Ý tưởng cơ bản của mô hình này là tải trọng tác dụng đến những "điểm yếu" trong vật liệu, gây nên sự tập trung ứng suất và dẫn tới sự hình thành vết nứt và cuối cùng là sự phá huỷ vật liệu.

Romualdi và Batson đã sử dụng mô mình này và mô tả trạng thái cơ học của bê tông cốt sợi thép vào năm 1961. Ngoài cơ cấu phá huỷ của Griffith, họ cũng áp dụng một số nguyên lí liên kết trong vùng lân cận vết nứt, mối quan hệ phi tuyến giữa nứt và tải trọng mỏi được tính đến mối quan hệ ứng suất - biến dạng.

Griffith đã đưa ra khái niệm về năng lượng và năng lượng biến dạng trong mô hình tính toán của ông. Tỷ lệ năng lượng tới hạn G được Romualdi và Batson bổ sung hệ số K_I, được mô tả trong phương trình sau:

$$G = \frac{\pi . K_I^2}{E}$$

Trong đó:

G: năng lượng tới hạn [N/mm]

E: mô đun đàn hồi [N/mm^2]

K_I: hệ số ứng suất tới hạn [$N/mm^{-3/2}$]

Biểu thức chung đối với ứng suất chống nứt của vật liệu giòn:

$$\sigma_{cr} = \frac{K_I}{\sqrt{(1+\upsilon^2).a}}$$

Trong đó: σ_{cr}: ứng suất nứt tới hạn

K_I: hệ số ứng suất tới hạn [$N / mm^{-3/2}$]

ν: hệ số Poisson

a: bán kính nứt [mm]

Hệ số ứng suất tới hạn cần phải được giải thích như một đặc tính của vật liệu. Việc gia cường sợi trong nền bê tông đã được tính đến trong mô hình cơ cấu phá huỷ bằng việc nâng ứng suất tới hạn khi tính toán thông qua việc đưa vào công thức hệ số K_f. Biến dạng tại vết nứt được giảm bớt bởi sự có mặt của sợi trong vùng này. Biểu thức chung ở trên có thể áp dụng trong trường hợp sợi ngắn, phân tán không gian và những sợi không định hướng.

4.1.2. Khái niệm Composite

Trong khái niệm composite, hay "Cơ cấu vật liệu composite", bê tông cốt sợi thép được xem xét như một vật liệu composite gồm có hai thành phần (bê tông và các sợi thép). Các sợi thép được coi như sự tăng cường phân tán. Mỗi thành phần chịu một tỷ lệ nhất định tải trọng, phụ thuộc vào tỉ lệ của chúng đối với toàn bộ thể tích và sự đồng chất. Độ dài, sự định hướng của sợi và sự liên kết giữa những nền bê tông và sợi có một vai trò quan trọng trong mô hình này.

Ứng suất trong vùng đàn hồi có thể được mô tả như sau:

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \eta_\varphi \sigma_f V_f$$

Và ứng suất nứt khi phá huỷ:

$$\sigma_{cr} = \sigma_m V_m + \eta_\varphi \eta_l E_f \varepsilon_{mu} V_f$$

Trong đó:

σ_c: ứng suất của vật liệu composite trong vùng đàn hồi tuyến tính

σ_{cr}: ứng suất tới hạn của vật liệu composite

σ_m: ứng suất của bê tông

σ_{mu}: ứng suất mỏi của bê tông

σ_f: ứng suất của cốt sợi thép

V_m: thể tích của bê tông

V_f: thể tích của cốt sợi thép

E_f: mô đun đàn hồi của cốt sợi thép

ε_{mu}: biến dạng vết nứt của bê tông

η_φ: hệ số định hướng của cốt sợi

η_l: hệ số ảnh hưởng của chiều dài cốt sợi

Sự hình thành vết nứt trong nền vật liệu khi chịu tải chỉ do cốt sợi chịu. Ứng suất mỏi của vật liệu composite được mô tả bằng công thức sau:

$$\beta_{cu} = 2\eta_\varphi \eta_l a^{-1} \tau_m V_f$$

Trong đó:

β_{cu}: cường độ mỏi của vật liệu composite

σ_{cr}: ứng suất nứt của vật liệu composite

a: 1/2 bề rộng vết nứt

τ_m: ứng suất liên kết của vật liệu composite

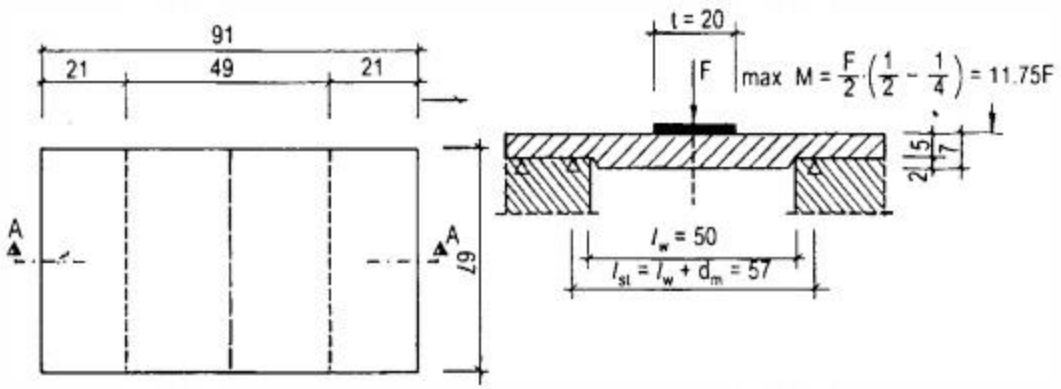
4.1.3. Ứng dụng

Những khái niệm về cơ cấu phá huỷ đã được sửa đổi cho bê tông cốt sợi thép trên cơ sở các kết quả thực nghiệm. Mô hình cơ cấu mô tả trong phần trước có thể được sử dụng làm cơ sở cho những sự phát biểu về trạng thái của bê tông cốt sợi thép khi chịu tải, về cường độ bê tông, về kiểu và thể tích sợi. Các đặc tính của vật liệu cũng là cơ sở cho tính toán và thiết kế, tuy nhiên, chúng phải cũng được chứng minh bằng công tác thực nghiệm.

4.2. VÍ DỤ THIẾT KẾ

Bản bê tông cốt sợi thép kê hai cạnh

Sơ đồ tính toán



4.2.1. Giả thiết tính toán

Để đơn giản trong quá trình tính toán, các nhà nghiên cứu đã đưa ra các giả thiết sau:

a) Giả thiết Bernoulli.

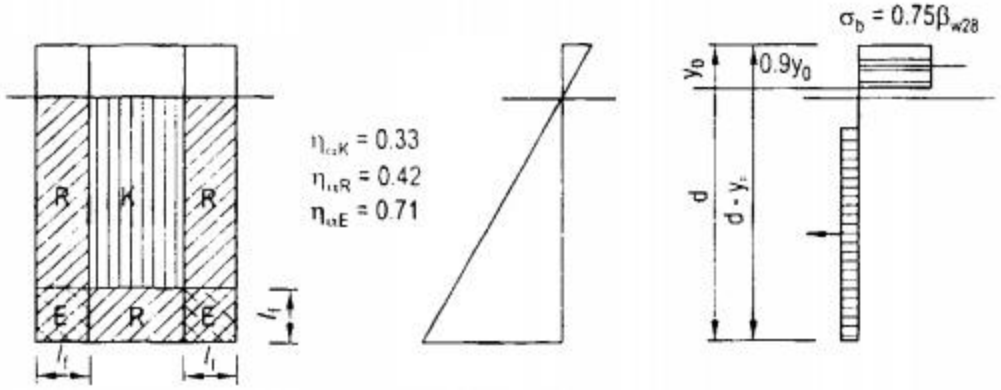
b) Độ dài sợi chưa tới hạn (Kiểu sợi: DRAMIX ZCX 60/80).

c) Ứng suất khối trong khu vực nén được giả thiết như vật liệu hoàn toàn đàn hồi.

d) Ứng suất kéo được áp dụng như ứng suất khối.

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

e) Hình dạng sợi và sự định hướng sợi khác nhau ở khu vực bên trong và khu vực gần bên ngoài bề mặt cấu kiện được tính đến trong quá trình tính toán thông qua các hệ số.



***Hình 4.3:** Đơn giản hóa phân phối ứng suất của một mặt cắt thẳng góc sử dụng bê tông cốt sợi thép ở trạng thái phá huỷ*

4.2.2. Xác định khả năng chịu tải

Để định ra tải trọng, tải trọng mỏi, trong ví dụ này sử dụng loại bê tông B30. Loại bê tông này sử dụng hàm lượng sợi thép 90 Kg/m^3, loại sợi DRAMIX ZCX 60/80 của hãng Bekaert. Để xác định cường độ kéo của bê tông cốt sợi thép, người ta tiến hành khoan một số mẫu thử rồi tiến hành xác định thông qua thực nghiệm. Sự định hướng sợi được tính đến trong quá trình tính toán bằng hệ số định hướng:

$$\eta_\varphi = \frac{\sum \eta_{\varphi i} A_i}{A}$$

$$\eta_\varphi = \frac{0.71(2\times 7\times 6) + 0.42(7\times 37)}{7\times 49} = 0.49$$

Cường độ kéo khi phá huỷ xác định bằng thực nghiệm ở vùng biên của mặt cắt ($\eta_\varphi = 0.42$): $\sigma_{sfb}^{(Z)} = 3.41$

Cường độ kéo trung bình tại mặt cắt lí thuyết của tấm bản:

$$\sigma_{sfb}^{(Z)} = 3.41\frac{0.49}{0.42} = 3.98 \ (\text{N/mm}^2)$$

Vị trí trục trọng tâm:

$$y_0 = d\frac{\sigma_{fb}^{(z)}}{0.75\beta_{W28} + \sigma_{fb}^{(z)}} = \frac{3.98}{0.7530 + 3.98} = 1.05 \ (\text{cm})$$

Cánh tay đòn nội lực:

$$q = d - 0.5 \times 0.9 (d - y_0) - 0.5\ 0.9\ y_0 = 0.55d - 0.05y_0$$

Phương trình cân bằng mômen

$$M^* = Z.q$$

$$= 0.9 (d - y_0).b.\sigma^{(z)}_{fb}.(0.55\ d - 0.05\ y_0)$$

$$= 0.9 \times (7.0 - 1.05)\ 49 \times 0.398 \times (0.55 \times 7.0 - 0.05 \times 1.05)$$

$$= 395.6\ [kNm]$$

Khả năng chịu tải giới hạn của tấm bản:

$$F_{max} = \frac{M^*}{11.75} = \frac{395.6}{11.75} = 33.7\ [kN]$$

Một số kết quả khác biểu diễn trong bảng sau:

Loại bê tông cốt sợi thép	Kích thước hình học của bản bê tông cốt sợi thép Bề rộng/chiều dày [cm/m]	Lực gây nứt [kN]	Lực gây nứt trung bình [kN]	Lực gây mỏi [kN]	Lực gây mỏi trung bình [kN]	Loại bê tông	Trọng lượng [kg]
SFB I (7)/1	49.0/7.3	33.0		38.2			67.30
SFB I (7)/2	49.0/7.4	21.5		26.3		B 400	66.15
SFB I (7)/3	48.9/7.3	29.0	27.92	35.9	32.95		66.45
SFB II (7)/1	48.9/7.2	30.0		37.3			61.75
SFB II (7)/2	49.0/7.2	29.0		33.1		B 300	63.35
SFB 11 (7)/3	492/ 7.2	25.0		26.9			63.18

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

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Ích Thịnh. *Vật liệu compozit cơ học và tính toán kết cấu*. Nhà xuất bản Giáo dục.1994.
2. N. Balaguru. Fiber reinforced cement composites.1992.
3. VK Raina. *Concrete Bridges " In spection, Repair, Strengthening, Testing and Load Capacity Evaluation*. 1994.
4. *Z*. Hashin. *The Elastic modul of heterogeneons Material*. J.Appl. Mech. 1962.
5. Phạm Đức Chính. *Đánh giá các tính chất cơ lý của vật liệu tổ hợp dẳng hướng và đa tinh thể*. Luận án tiến sĩ khoa học toán lý. 1996.
6. Nguyễn Ngọc Long- Nguyễn Viết Trung. *Ứng dụng bê tông, bê tông polime cốt sợi trong sửa chữa và tăng cường cầu*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ. 1998.
7. *Steel Fibre Reinforced Concrete*. Bernhard R. Maidl.
8. *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*. AFGC Groupe de travail BFUP.
9. *Les bétons de firbes métalliques*. Paris 1998.
10. *Stress Analysis of fiber-Reinforced Materials*. M. W. Hyer. 1998.
11. *Tập san công nghiệp bê tông Việt Nam 5-2003*. Bài số 2.
12. *Luận án tiến sĩ "Bê tông nhẹ trên cơ sở xi măng và sợi hữu cơ cho công trình xây dựng trên nền đất yếu vùng đồng bằng sông Cửu Long"*. Nguyen Văn Chánh. 2002.

MỤC LỤC

	Trang
Mở đầu	3
Chương 1. Cấu tạo chung của bê tông cốt sợi	5
1.1. Các ứng dụng của bê tông cốt sợi thép	
1.2. Các loại sợi	9
Chương 2. Tính chất của bê tông cốt sợi thép	14
2.1. Tương tác giữa sợi và vật liệu nền	14
2.2. Một số tính chất của bê tông cốt sợi thép	24
2.3. Một số nghiên cứu về ảnh hưởng của cốt sợi đến đặc tính của bê tông cốt sợi nói chung	45
Chương 3. Nghiên cứu thực nghiệm về bê tông cốt sợi thép	73
3.1. Mục đích của nghiên cứu thực nghiệm	73
3.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm	73
3.3. Vật liệu thí nghiệm	76
3.4. Quy hoạch thực nghiệm	80
3.5. Lựa chọn thành phần bê tông thí nghiệm	81
3.6. Máy móc, dụng cụ thí nghiệm	82
3.7. Tiến hành thí nghiệm	83
3.8. Kết quả thí nghiệm	83
3.9. Số liệu thí nghiệm nước ngoài	90
3.10. Nhận xét	92
Chương 4. Cơ sở tính toán kết cấu bê tông cốt sợi thép	94
4.1. Khái niệm thiết kế tổng quan	95
4.2. Ví dụ thiết kế	98
Tài liệu tham khảo	

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

BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

(Tái bản)

Chịu trách nhiệm xuất bản :
TRINH XUÂN SƠN

Biên tập: NGUYỄN THU DUNG
Chế bản: ĐINH THỊ PHƯỢNG
Sửa bản in: NGUYỄN THU DUNG
Trình bày bìa: HS. NGUYỄN HỮU TÙNG

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