

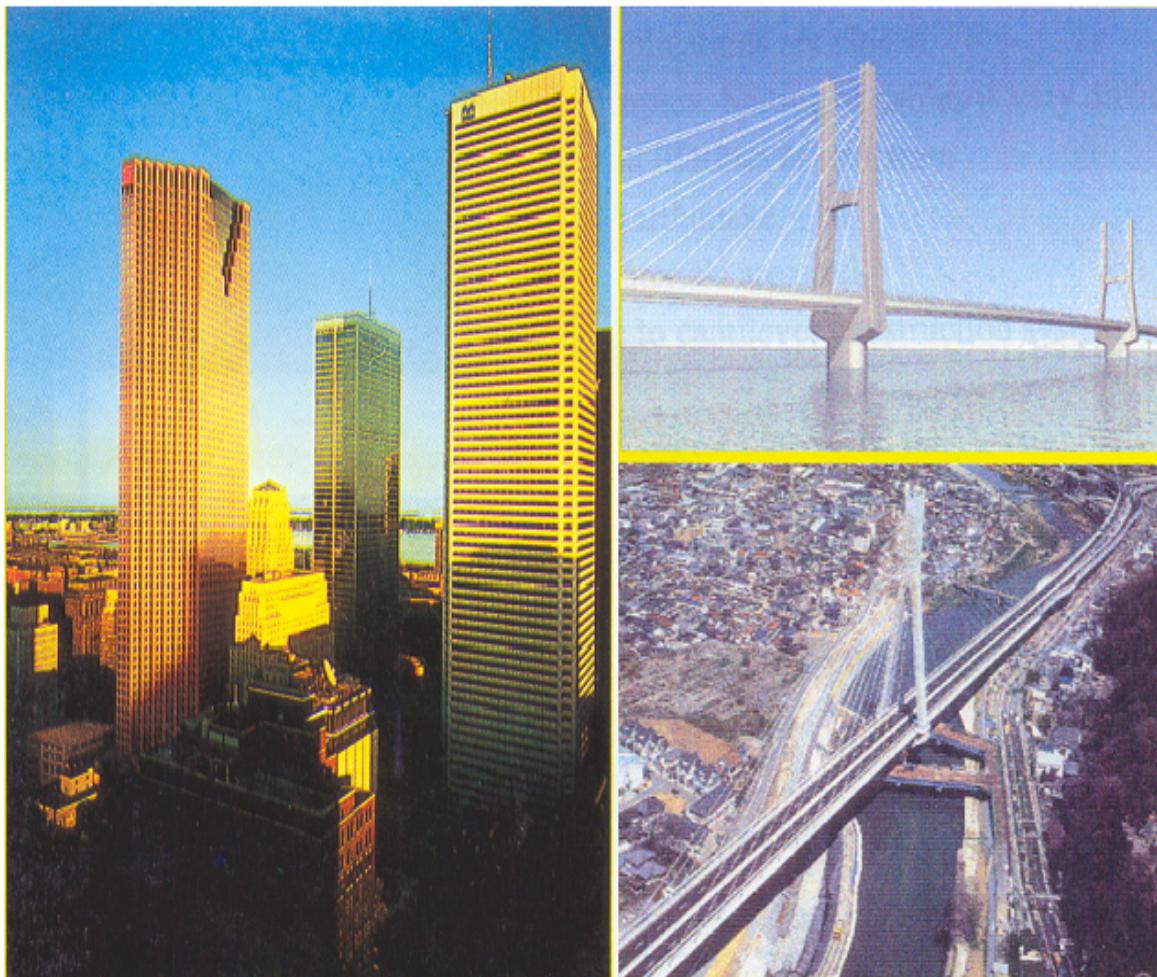
GS.TS.PHẠM DUY HỮU (CHỦ BIÊN)

PGS.TS. NGUYỄN NGỌC LONG

TS. ĐÀO VĂN ĐÔNG

THS. PHẠM DUY ANH

BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO



HÀ NỘI, 2008

MỤC LỤC

	Trang
Mục lục.....	1
Lời nói đầu.....	3
Chương 1 Các khái quát về bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	4
1. Về bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao.....	4
2. Định nghĩa bê tông cường độ cao.....	5
3. Phân loại bê tông cường độ cao.....	7
Chương 2 Cấu trúc bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	9
1. Mở đầu.....	9
2. Nguyên tắc phối hợp và công thức thành phần	9
3. Cấu trúc của vữa xi măng	10
4. Cấu trúc của bê tông cường độ rất cao.....	16
5. Các kết quả thực nghiệm về cải tiến cấu trúc bê tông	16
Chương 3 Các tính chất của bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	18
1. Mở đầu.....	18
2. Cường độ chịu nén bê tông cường độ cao.....	18
3. Mô đun đàn hồi tĩnh	26
4. Mô đun đàn hồi động.....	29
5. Hệ số Poisson.....	29
6. Cường độ mỏi.....	30
7. Khối lượng đơn vị.....	29
8. Các đặc tính về nhiệt.....	30
9. Co ngót	30
10. Từ biến.....	34
11. Sự dính kết với thép thụ động.....	41
12. Các tính chất khác.....	42
13. Mô hình hoá để áp dụng cho người thiết kế các kết cấu.....	42
14. Tính công tác.....	45
15. Bê tông trong giai đoạn mềm.....	47
16. Sự tỏa nhiệt khi đông kết.....	48
Chương 4 Thiết kế thành phần bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	49
1. Mở đầu.....	49

2. Các yêu cầu khi thiết kế bê tông chất lượng cao liệu	50
3. Lựa chọn vật liệu.....	53
4. Thiết kế hỗn hợp bê tông HPC.....	62
5. Kết quả thiết kế.....	76
6. Kiểm tra chất lượng bê tông.....	76
7. Thiết kế thành phần bê tông CĐC với thí nghiệm vữa lỏng.....	77
Chương 5 Độ bền của bê tông CĐC và CLC.....	82
1. Mở đầu.....	82
2. Tính thấm và tính lọc.....	82
3. Phản ứng cacbonat hóa.....	88
4. Độ thấm Clo.....	89
5. Thủ nghiệm độ thấm Clo bê tông chất lượng cao 60, 80MPa từ vật liệu Việt nam (Đại học GTVT).....	92
Chương 6 Nghiên cứu ứng dụng bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	96
1. Một số đặc tính được cải tiến của bê tông CĐC và chất lượng cao.....	96
2. Tổng quát ứng dụng bê tông cường độ cao và chất lượng cao.....	97
3. Lợi ích cơ bản của bê tông HPC- tăng khả năng chịu lực và tuổi thọ khai thác của kết cấu xây dựng.....	100
4. Các thiết kế hiệu quả về mặt chi phí	100
5. Các đặc tính vật liệu.....	101
6. Các ứng dụng bê tông chất lượng cao.....	103
7. Nghiên cứu lựa chọn mặt cắt ngang hợp lý cầu sử dụng bê tông HPC ở Việt Nam.....	114
Chương 7 Bê tông cốt sợi cường độ cao.....	124
1. Lịch sử phát triển.....	124
2. Đặc điểm chung về cốt sợi.....	124
3. Tỷ lệ hỗn hợp – công thức của composit.....	128
4. Công nghệ chế tạo.....	130
5. Các đặc tính cơ học của cốt sợi.....	130
6. Đánh giá đặc tính của bê tông được tăng cứng bằng thép sợi.....	136
7. Bê tông nhiều sợi composites.....	137
Tài liệu tham khảo.....	140
Phụ lục.....	142



Viện khoa học và công nghệ xây dựng giao thông
Trường đại học GTVT
Huuphamduy@gmail.com

LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây bê tông cường độ cao và chất lượng cao đã được sử dụng trong các công trình xây dựng cầu, đường, nhà và công trình thuỷ có quy mô lớn và yêu cầu độ bền khai thác đến 100 năm.

Cuốn sách này giới thiệu các kết quả nghiên cứu của Việt Nam và thế giới về bê tông cường độ cao và chất lượng cao.

Cuốn giáo trình này trình bày về định nghĩa, cấu trúc, cường độ, biến dạng, độ bền, phương pháp thiết kế, khả năng ứng dụng bê tông cường độ cao, bê tông chất lượng cao và bê tông cốt sợi trong xây dựng.

Sách được dùng làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên, học viên cao học, nghiên cứu sinh và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư xây dựng và cán bộ nghiên cứu.

Giáo trình gồm 7 chương do nhóm tác giả của trường đại học GTVT biên soạn.

GS.TS. Phạm Duy Hữu - Chủ biên và viết các chương 1, 2, 4,5.

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Long viết chương 6

TS. Đào Văn Đông viết chương 3.

ThS. Phạm Duy Anh viết chương 7.

Các tác giả xin cảm ơn sự đóng góp ý kiến quý báu của các chuyên gia xây dựng và giao thông trong quá trình biên soạn cuốn sách này. Xin đặc biệt cảm ơn Trường cầu đường Paris và Trường đại học Tokyo đã cung cấp nhiều cho chúng tôi nhiều tài liệu quý báu về bê tông tiên tiến.

Cuốn sách được viết lần đầu rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của người đọc.

Các tác giả

CHƯƠNG 1

CÁC KHÁI QUÁT VỀ BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO

Các từ khóa: Bê tông cường độ cao, chất lượng cao, cấu trúc, cường độ, độ bền, ứng xử cơ học, ứng dụng, phát triển.

1. Về bê tông cường độ cao và chất lượng cao

Bê tông là một loại vật liệu chủ yếu của thế kỷ 20 được chế tạo từ hỗn hợp vật liệu được lựa chọn hợp lý gồm các thành phần: Cốt liệu lớn (đá dăm hoặc sỏi), cốt liệu nhỏ (cát), chất kết dính (ximăng...), nước và phụ gia. Cát và đá dăm là thành phần vật liệu khoáng, đóng vai trò bộ khung chịu lực. Hỗn hợp xi măng và nước (hồ ximăng) là thành phần hoạt tính trong bê tông, nó bao bọc xung quanh cốt liệu, lấp đầy lỗ rỗng giữa các cốt liệu và khi hồ xi măng rắn chắc, nó dính kết cốt liệu thành một khối đá và được gọi là bê tông. Các chất phụ gia rất phong phú và chúng làm tính chất của bê tông trở nên đa dạng và đáp ứng được các yêu cầu ngày càng phát triển của bê tông và kết cấu bê tông.

Ngày nay bê tông là một trong những loại vật liệu đang được sử dụng rất rộng rãi trong xây dựng, xây dựng cầu, đường. Tỷ lệ sử dụng bê tông trong xây dựng nhà chiếm khoảng 40%, xây dựng cầu đường khoảng 15% tổng khối lượng bê tông.

Bê tông có cường độ chịu nén cao, mô đun đàn hồi phù hợp với kết cấu bê tông cốt thép và bê tông cốt thép dự ứng lực.

Bê tông bền nước và ổn định với các tác động của môi trường

Công nghệ bê tông ổn định ngày càng phát triển.

Giá thành của bê tông hợp lý do tận dụng được các nguyên vật liệu địa phương, vì vậy kết cấu bê tông chiếm 60% các kết cấu xây dựng.

Nhược điểm cơ bản của bê tông là có cường độ chịu kéo chưa cao và khối lượng công trình bê tông cốt thép còn lớn. Cường độ chịu nén của bê tông thường chỉ đạt tối đa 50 MPa và độ sụt tối đa 7 cm.

Con đường phát triển của bê tông là cải tiến hệ thống cấu trúc, thành phần, công nghệ bằng cách sử dụng các phụ gia, các chất hỗ trợ công nghệ (bảo dưỡng, trộn bơm...) và các phương pháp công nghệ mới để tìm ra các bê tông chất lượng cao. Các bê tông chất lượng cao phải đáp ứng các yêu cầu về cường độ, độ bền, tính dễ đổ và tính kinh tế. Những tính chất được cải tiến làm chất lượng hơn hẳn bê tông truyền thống (cường độ, biến dạng, dễ đổ...). Những tính chất đặc biệt này tạo ra khả năng sáng tạo ra các kết cấu xây dựng và công nghệ xây dựng mới. Tổng quát về hệ thống phát triển HPC sẽ bao gồm ba bộ phận là vật liệu mới có tính năng mới, công nghệ mới tạo ra kết cấu mới.

Bê tông chất lượng cao bao gồm 5 loại bê tông như sau:

- Bê tông cường độ cao siêu dẻo: là loại bê tông có thành phần cốt liệu và xi măng truyền thống và phụ gia siêu dẻo. Loại bê tông này có tỷ lệ N/X khoảng 0,35-0,40, độ sụt đạt đến 15 - 20 cm, giữ được ít nhất 60 phút. Cường độ đạt đến 70 MPa và có cường độ sớm ($R_7 = 0,85R_{28}$). Đây là loại bê tông được sử dụng chủ yếu trong các kết cấu cầu đường ở Việt Nam.
- Bê tông chất lượng cao (HPC): có sử dụng N/X gần đến 0,25, phụ gia siêu mịn là tro nhẹ hoặc muội silic siêu mịn. Đây là loại bê tông có cường độ chịu nén đến 80 hoặc 100 MPa và có các đặc tính vật lý và cơ học được cải tiến dẫn đến độ bền cao và tuổi thọ khai thác đến 100 năm.
- Bê tông siêu nhẹ: có cường độ tương tự như bê tông thường, khối lượng đơn vị thấp đến $0,8 \text{ g/cm}^3$
- Bê tông tự đầm: thành phần cốt liệu lớn ít, tăng thêm các chất bột và sử dụng phụ gia siêu dẻo đặc biệt. Bê tông có khả năng tự đầm, trong quá trình thi công không cần sử dụng các thiết bị đầm. Loại bê tông này cho phép thi công các công trình có khối lượng rất lớn (20.000 m^3 trở lên) không cần bố trí mối nối, không cần đầm. Sử dụng bê tông tự đầm tiết kiệm được nhân công, thời gian và không gây ôn.
- Bê tông cốt sợi: trong thành phần có thêm sợi (kim loại, polymé, các sợi khác). Bê tông cốt sợi cải thiện độ dẻo của bê tông, tăng cường khả năng chống nứt cho bê tông ở trạng thái mềm và trạng thái chịu lực.

Bê tông HPC được phát triển trên thế giới từ những năm 70. Từ năm 2000 HPC đã được nghiên cứu tại các trường đại học và các Viện nghiên cứu ở Việt Nam.

2. Định nghĩa bê tông cường độ cao và chất lượng cao

2.1. Định nghĩa bê tông chất lượng cao

Bê tông chất lượng cao là một thế hệ bê tông mới có thêm các phẩm chất được cải thiện thể hiện sự tiến bộ trong công nghệ vật liệu và kết cấu xây dựng. Xét về cường độ chịu nén thì đó là bê tông cường độ cao.(High Strength concrete), xét tổng thể các tính năng thì gọi là bê tông chất lượng cao.

Bê tông chất lượng cao được gọi tắt theo người Anh là HPC (High Performace concretes), theo người Pháp là BHP (BETONS A HAUTE PERORMANCES). Bê tông cường độ cao (High Strength concrete) là loại bê tông có cường độ chịu nén tuổi 28 ngày, lớn hơn 60 MPa, với mẫu thử hình trụ có D = 15 cm , H = 30cm. Cường độ chịu nén sau 24 giờ $\geq 35 \text{ MPa}$, cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày $\geq 60 \text{ MPa}$. Mẫu thử được chế tạo, dưỡng hộ, thử, theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Thành phần bê tông cường độ cao có thể dùng hoặc không dùng muội silic hoặc dùng kết hợp với tro bay. Khi sử dụng muội silic chất lượng bê tông được nâng cao hơn.

Tiêu chuẩn của Bắc Mỹ qui định bê tông cường độ cao là loại bê tông có cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày \geq 42 MPa.

Theo CEB.FIP qui định bê tông chất lượng cao có cường độ nén sau 28 ngày tối thiểu là 60 MPa và có các tính năng vật lý và cơ học cao.

Ngày nay trình độ kiến thức về loại bê tông này đã cho phép ứng dụng bê tông chất lượng cao trong công trình lớn, chủ yếu ở ba lĩnh vực: các ngôi nhà nhiều tầng, các công trình biển và các công trình giao thông (cầu, đường, hầm). Các đặc tính cơ học mới của bê tông cường độ cao cho phép người thiết kế sáng tạo ra loại kết cấu mới có chất lượng cao hơn.

2.2. Các nghiên cứu về bê tông cường độ cao và chất lượng cao

Trong khoảng 15 năm gần đây các sản phẩm bê tông có cường độ ngày càng cao hơn, đạt cường độ từ 60 đến 140 MPa. Đặc biệt bê tông cường độ siêu cao (Ultra High Strength Concrete) với cường độ lên đến 300MPa (40.000 psi) đã được chế tạo trong phòng thí nghiệm.

Bê tông cường độ cao bắt đầu được sử dụng vào thập kỷ 70, khi đó một loại bê tông có cường độ chịu nén cao hơn hẳn các loại bê tông trước đó được dùng làm cột trong một số tòa nhà cao tầng tại Mỹ. Các công trình ngoài biển từ bê tông chất lượng cao đã được xây dựng tại Na Uy. Các công trình cầu đường tại Pháp, Nga, Nhật Bản từ bê tông chất lượng cao đã đạt được các thành công nổi bật. Gần đây bê tông chất lượng cao được sử dụng rộng rãi trong xây dựng cầu với nhiều đặc tính quan trọng như: cường độ cao, độ bền cao..., giúp tạo ra các kết cấu nhịp lớn hơn. Hiện nay, bê tông với cường độ 98 đến 112 MPa đã được sản xuất công nghiệp và được sử dụng trong ngành công nghiệp xây dựng ở Mỹ, Nga, Na Uy, Pháp. Các nước như Anh, Đức, Thụy Điển, Italia, Nhật Bản, Trung Quốc và Việt Nam đã bắt đầu áp dụng bê tông chất lượng cao trong xây dựng nhà, cầu, đường, thuỷ lợi.

Trong những năm gần đây, đã có rất nhiều chương trình tâm cõi quốc gia nghiên cứu các tính chất cơ học của bê tông HPC tại nhiều nước trên thế giới. Trong đó những chương trình nghiên cứu đáng chú ý gồm có: nghiên cứu của Trung tâm khoa học kỹ thuật về vật liệu xi măng chất lượng cao (ACBM – Mỹ), Chương trình nghiên cứu đường ôtô (SHRP); Mạng lưới trung tâm chuyên gia của CANADA với Chương trình về bê tông tính năng cao; Hội đồng Hoàng gia Nauy với chương trình nghiên cứu khoa học và công nghiệp bê tông; Chương trình quốc gia Thụy Điển về

HPC; Chương trình quốc gia Pháp tên là “Những con đường mới cho bê tông”; và Chương trình bêtông mới của Nhật Bản.

Các nghiên cứu về bê tông chất lượng cao đã khẳng định việc sử dụng bê tông chất lượng cao cho phép tạo ra các sản phẩm có tính kinh tế hơn, cung cấp khả năng giải quyết được nhiều vấn đề kỹ thuật hơn hoặc vừa đảm bảo cả hai yếu tố trên do khi sử dụng bê tông chất lượng cao có các ưu điểm sau:

- Giảm kích thước cấu kiện, kết quả là tăng không gian sử dụng và giảm khối lượng bê tông sử dụng, kèm theo rút ngắn thời gian thi công;
- Giảm khối lượng bản thân và các tĩnh tải phụ thêm làm giảm được kích thước móng;
- Tăng chiều dài nhịp và giảm số lượng dầm với cùng yêu cầu chịu tải;
- Giảm số lượng trụ đỡ và móng do tăng chiều dài nhịp;
- Giảm chiều dày bản, giảm chiều cao dầm;

Cần tiếp tục nghiên cứu về cường độ chịu kéo, cắt và biến dạng của bê tông chất lượng cao trong điều kiện khí hậu Việt Nam.

3. Phân loại bê tông cường độ cao và chất lượng cao

Có thể phân loại bê tông chất lượng cao theo cường độ, thành phần vật liệu chế tạo và theo tính dễ đổ.

3.1. Phân loại theo cường độ nén

Căn cứ vào cường độ nén ở ngày 28 mẫu hình trụ D=15 cm, H=30 cm có thể chia bê tông thành 4 loại sau:

Bảng 1: Phân loại bê tông theo cường độ chịu nén

Cường độ nén, MPa	Loại bê tông
15 ÷ 25	Bê tông truyền thống
30 ÷ 50	Bê tông thường
60 ÷ 80	Bê tông cường độ cao
100 ÷ 150	Bê tông cường độ rất cao

Bê tông truyền thống và bêtông thường được áp dụng chủ yếu trong xây dựng cầu đường ở Việt Nam. Bêtông cường độ cao đã được nghiên cứu và có đủ điều kiện để phát triển ở Việt Nam.

3.2. Phân loại theo thành phần vật liệu chế tạo

- Bêtông cường độ cao không sử dụng muội silic: là loại bêtông không sử dụng silic siêu mịn, chỉ cần giảm tỷ lệ N/X và sử dụng các chất siêu dẻo tăng tính công tác.
- Bêtông chất lượng cao sử dụng muội silic: trong thành phần có lượng muội silic từ (5 ÷ 15) % so với lượng xi măng và chất siêu dẻo.

- Bê tông chất lượng cao sử dụng tro bay: loại bê tông này sử dụng tro bay với liều lượng từ (15 ÷ 30) % so với lượng xi măng để tăng độ bền nước, giảm nhiệt độ của bê tông tươi và giảm giá thành của bê tông.

- Bê tông chất lượng cao hỗn hợp: để đảm bảo chất lượng của bê tông và giảm giá thành có thể sử dụng kết hợp cả tro bay và muội silic với các liều lượng tối ưu.

- Bê tông cường độ cao cốt sợi: là bê tông cường độ cao có hoặc không có muội silic nhưng có thành phần cốt sợi. Cốt sợi có thể là kim loại, sợi thủy tinh, sợi carbon hoặc các loại sợi khác tùy theo yêu cầu về tính năng và giá thành.

Các loại bê tông trên được sử dụng trong các kết cấu khác nhau và cho các tính năng khác nhau. Tuy nhiên, khi tính toán thiết kế kết cấu và thiết kế thi công cũng có những lưu ý khác nhau.

Trong thực tế các quy luật về bê tông chất lượng cao thường được thành lập trên cơ sở các quy luật của bê tông cường độ thấp. Vì vậy cần lưu ý khi sử dụng các công thức này, nếu cần thiết thì phải tiến hành các thử nghiệm thích hợp với vật liệu và phạm vi sử dụng.

Câu hỏi:

1. Phân biệt bê tông thường và bê tông cường độ cao?
2. Các khác biệt giữa bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao?
3. Phạm vi sử dụng của 3 loại bê tông trên?

CHƯƠNG 2

THÀNH PHẦN VÀ CẤU TRÚC

BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO

1. Mở đầu

Bê tông chất lượng cao (HPC) là một trong những loại bê tông mới. Theo qui ước bê tông HPC là bê tông có cường độ nén ở 28 ngày > 60 MPa. Bê tông HPC có thành phần hỗn hợp cốt liệu và vữa chất kết dính được cải thiện bằng cách dùng một vài sản phẩm mới có phẩm chất đặc biệt như chất siêu dẻo và muội silic hoặc các khoáng siêu mịn khác.

Chương này trình bày một cách tổng quan về các nguyên tắc phối hợp, logic công thức, cấu trúc của bê tông HPC.

2. Nguyên tắc phối hợp và công thức thành phần

Trong thực tế bê tông cần có độ đặc rất cao, vì đó là đặc điểm chính của cấu tạo bê tông. Ý kiến đầu tiên của vật liệu bê tông là cố gắng tái tạo lại một khối đá đi từ các loại cốt liệu. Độ đặc chắc của hỗn hợp như vậy được tạo nên sẽ được điều hoà bởi dải cấp phối của nó, nghĩa là phụ thuộc đối với độ lớn cực đại và cực tiểu của cốt liệu. Kích thước lớn nhất của cốt liệu lớn khoảng 20 - 25 mm. Các hạt nhỏ do đặc tính vật lý bề mặt gây nên sự vón tụ tự nhiên của các hạt xi măng. Sự vón tụ hạt xi măng càng ít chất lượng bê tông càng cao.

Từ ý tưởng đó những nghiên cứu đầu tiên là sử dụng một vài sản phẩm hữu cơ để khôi phục xi măng lơ lửng trong nước ở thành phần hạt ban đầu của bê tông (bao gồm từ 1- 80 μm). Sau đó có thể làm cho các tinh thể của hỗn hợp dài ra bằng cách thêm vào một sản phẩm cực mịn, có phản ứng hoá học, nó tiến tới lấp đầy các khe của hỗn hợp hạt mà xi măng không lọt được.

Việc áp dụng các nguyên tắc đơn giản nêu trên cho phép đưa ra công thức bê tông HPC. Công thức thành phần tổng quát của bê tông HPC là:

$\bar{D} = 1000 - 1200 \text{ kg}$; $C = 600 - 700 \text{ kg}$; $X = 400 - 520 \text{ kg}$; $MS = 5 - 15\%$; tỷ lệ N/X = 0,22 - 0,35; chất siêu dẻo từ 0,8 - 2,0 lít/100 kg xi măng và một phân chất làm chậm (\bar{D} - đá; X - xi măng; C - cát; N - nước; MS - muội silic).

Các thành phần truyền thống (cốt liệu, xi măng và nước) phải có phẩm chất tốt, có sự lựa chọn chặt chẽ cần thiết nếu muốn vượt qua cường độ trung bình ở 28 ngày là 100 MPa. Ngoài ra do sự giảm tỷ lệ N/X mà có thể chuyển bê tông xi măng cường độ cao (cường độ nén từ 50 đến 100 MPa) sang bê tông cường độ rất cao đến 300 MPa.

Mục tiêu của các nghiên cứu hiện đại là cải thiện cấu trúc của hồ xi măng để đạt đến độ rỗng đá xi măng nhỏ nhất, đồng thời cải thiện cấu trúc chung để bê tông có độ rỗng nhỏ nhất, khi đó bê tông sẽ có cường độ chịu nén là lớn nhất. Con đường đó chỉ cho phép tăng cường độ nén và chất lượng của bê tông, tuy nhiên cường độ kéo được tăng chậm hơn. Để cải thiện khả năng chịu kéo của bê tông phải sử dụng các vật liệu mới là cốt sợi kim loại, cốt sợi pôlime hoặc cốt sợi carbon.

Về mặt cấu trúc, bê tông xi măng poóc lăng là một vật liệu không đồng nhất và rỗng. Lực liên kết các cốt liệu (cát và đá) được tạo ra do hồ xi măng cứng. Cấu trúc của hồ xi măng là những hydrat khác nhau trong đó nhiều nhất là các silicát thủy hóa C-S-H dạng sợi và $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kết tinh dạng tấm lục giác khối, chồng lên nhau và các hạt xi măng chưa được thủy hóa. Độ rỗng của vữa xi măng poóc lăng là 25 đến 30% về thể tích với $N/X = 0,5$. Thể tích rỗng này gồm hai loại: (a) lỗ rỗng của cấu trúc C-S-H, kích thước của nó khoảng vài μm , (b) lỗ rỗng mao quản giữa các hydrat, bọt khí, khe rỗng; kích thước của chúng khoảng vài μm đến vài mm. Khi bê tông chịu lực trong cấu trúc xuất hiện vết nứt cũng làm tăng độ rỗng của bê tông.

Sự yếu về đặc tính cơ học của bê tông là do độ rỗng mao quản và nước cho thêm vào bê tông để tạo tính công tác của bê tông tươi. Sự cải thiện cường độ có thể đạt được nhờ nhiều phương pháp làm giảm độ rỗng (nén, ép, rung), giảm tỉ lệ N/X (phụ gia) và sử dụng sản phẩm mới là xi măng không có lỗ rỗng lớn và xi măng có hạt siêu mịn đồng nhất. Loại thứ nhất chứa pôlime, loại thứ hai chứa muội silic.

Mối quan hệ trên có thể tạo ra những loại bê tông cường độ cao bằng cách cải tiến cấu trúc của vữa xi măng làm đặc vữa xi măng, cải thiện độ dính kết của xi măng - cốt liệu và các giải pháp công nghệ khác.

3. Cấu trúc của bê tông chất lượng cao

Bê tông là một vật liệu composit không đồng nhất, các tính chất của nó phụ thuộc vào ba cấp cấu trúc sau:

- Cấu trúc vĩ mô (macro): là tỷ lệ lớn, xét các ứng xử cơ học để suy ra cường độ của vật liệu. Bê tông được xem là hệ 3pha: cốt liệu, hồ xi măng và cấu trúc vùng chuyển tiếp (theo lý thuyết đa cấu trúc của V.I.Xalomatov, Larad). Khi tính toán theo mô hình cấu trúc này có thể giả thiết bê tông là vật liệu đàn hồi và tính toán theo các công thức của sức bền vật liệu.

- Cấu trúc Meso: là tỷ lệ mili mét trong đó các hạt cát được phân biệt với các hạt xi măng và hạt cốt liệu. Việc quan sát trên kính hiển vi hoặc kính hiển vi điện tử quét với độ phóng đại nhỏ ($300 \div 1000$ lần) cho thấy các khuyết tật của cấu trúc là các vết nứt và các vùng bị phá hủy. Theo mô hình Meso bê tông được tính toán như các vật liệu phi tuyến.

- Cấu trúc vi mô (micro): là tỷ lệ 1/100 mm để quan sát các hydrat (CSH, CH, CH Sulfo – aluminat), các hạt bụi, các hạt clinke chưa thủy hóa, các vết nứt vi mô, sự định hướng của các hạt CH trong vùng chuyển tiếp, mặt tiếp xúc giữa xi măng và cốt liệu, sự biến đổi của các hydrat trong môi trường xâm thực (etrigit thứ cấp, phản ứng kiềm cốt liệu).

3.1. Cấu trúc của hồ xi măng

Để cải tiến cấu trúc của bê tông đầu tiên cải tiến cấu trúc của vữa xi măng. Có thể cải tiến cấu trúc vữa xi măng bằng cách làm đặc vữa xi măng, giảm lượng nước thừa (tỷ lệ N/X nhỏ) sử dụng phụ gia siêu dẻo và các biện pháp công nghệ rung ép đặc biệt.

Lỗ rỗng luôn tồn tại trong cấu trúc của hồ xi măng và ảnh hưởng rất lớn tới tính bền của cấu trúc này. Các lỗ rỗng tồn tại dưới hai dạng: lỗ rỗng mao dẫn và lỗ rỗng trong khoảng giữa các hạt xi măng.

Lỗ rỗng mao dẫn tạo ra do lượng nước dư thừa để lại các khoảng không trong hồ xi măng. Để hạn chế độ rỗng trong bê tông thì tỷ lệ N/X thích hợp là một vấn đề quan trọng. Trong bê tông cường độ cao tỷ lệ N/X được hạn chế dưới 0,35 mà kết hợp sử dụng phụ gia siêu dẻo để giải quyết tính công tác cho bê tông. Kết quả là tăng khối lượng các sản phẩm hydrat trong quá trình thuỷ hoá xi măng, đồng thời giảm đáng kể tỷ lệ các lỗ rỗng mao quản trong bê tông.

Hiện tượng vón cục các hạt xi măng và bản thân kích thước hạt xi măng vẫn lớn và tạo ra độ rỗng đáng kể cho bê tông. Một sản phẩm siêu mịn, ít có phản ứng hoá học (muội silic, tro bay) được bổ sung vào thành phần của bê tông cường độ cao. Lượng hạt này sẽ lấp đầy lỗ rỗng mà hạt xi măng không lọt vào được. Đồng thời với kích thước nhỏ hơn hạt xi măng nhiều, nó bao bọc quanh hạt xi măng tạo thành lớp ngăn cách không cho các hạt xi măng vón tụ lại với nhau.

Dưới đây xin trình bày một số loại hồ xi măng cải tiến

3.1.1. Hồ xi măng cường độ cao

Làm nghẽn lỗ rỗng mao quản hay loại bớt nước nhờ đầm chặt hoặc giảm tỉ lệ X/N nhờ phụ gia là các phương pháp làm đặc vữa xi măng, làm cho nó đồng nhất hơn và có cấu trúc đặc biệt hơn vữa xi măng thông thường. Vữa xi măng cường độ cao cũng có thể đạt được bằng cách sử dụng xi măng có cường độ cao hơn.

3.1.2. Hồ xi măng với tỉ lệ N/X nhỏ

Féret, năm 1897, đã biểu thị cường độ nén của vữa xi măng bằng công thức sau:

$$R_b = A \cdot \{X/(X + N + K)\}^2$$

Với X, N, K tương ứng là thể tích của xi măng, nước và không khí. Theo công thức này, sự giảm tỉ lệ N/X dẫn đến tăng cường độ vữa xi măng. Tuy nhiên có

một giới hạn của tỉ lệ này, liên quan tính công tác của bê tông tươi. Vì nếu dùng lượng nước quá thấp sẽ khó tạo ra độ dẻo đủ cho vữa xi măng. Cấu trúc của loại vữa xi măng này sẽ có độ rỗng nhỏ hơn và lượng nước thừa ít hơn. Như vậy, khả năng tách nước khi rắn chắc là thấp (không tách nước trên mặt bê tông).

3.1.3. Hồ xi măng có phụ gia giảm nước:

Phụ gia siêu dẻo gốc napthalene sulphonate, mélamine, lignosulphonate hoặc viseo sử dụng để phân bố tốt hơn các hạt cốt liệu cho phép giảm nước đến 30% và tỉ lệ N/X = 0.21. Những nghiên cứu về cộng hưởng từ tính hạt nhân proton đã chứng minh rằng phụ gia hấp thụ trên các hạt xi măng tạo thành những màng, trong đó các phân tử nước vẫn chuyển động mạnh. Dưới tác động của màng cộng với sự phân tán của các hạt rắn hạt xi măng tạo ra một độ lưu biến tốt hơn. Cường độ nén 200 MPa nhận được trong các loại vữa dùng phụ gia siêu dẻo. Độ rỗng là 5% về thể tích, vữa đồng nhất và bề mặt vô định hình. Độ sụt bê tông đo bằng côn Abram có thể đạt tối đa đến 20 cm, trung bình là 10 - 12 cm.

3.1.4. Hồ xi măng chịu ép lớn và rung động

Vữa xi măng có cường độ nén 600 MPa đã đạt được nhờ lực ép lớn ở nhiệt độ cao (1020 MPa, 150°C). Tổng lỗ rỗng chỉ còn 2%. Phần lớn các hydrat được chuyển thành là gen. Độ thủy hóa của xi măng là 30% và silicát C-S-H gồm cả hạt xi măng, anhydrit như một chất keo giữa các hạt cốt liệu. Các hydrat của xi măng và các hạt clinke đồng thời tạo ra cường độ cao cho vữa đồng cứng. Sự rung động loại bỏ các bọt khí tạo ra khi nhào trộn.

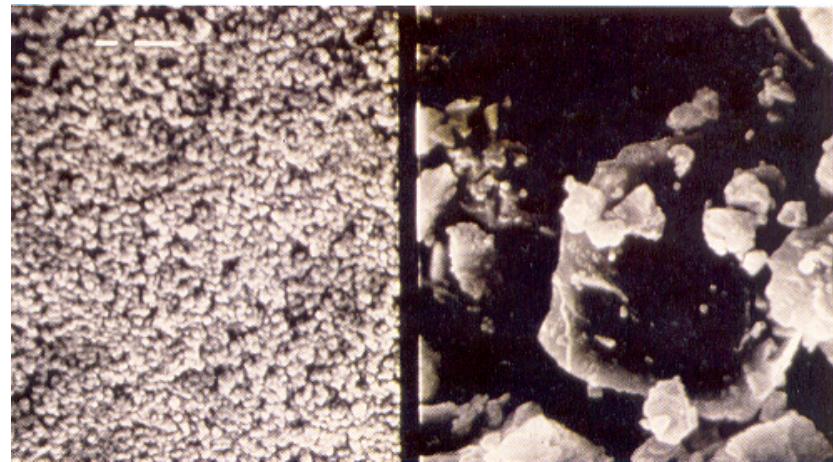
3.1.5. Hồ xi măng sử dụng các hạt siêu mịn

Hệ thống hạt siêu mịn được người Đan - Mạch đề xuất đầu tiên. Hệ thống này gồm xi măng pooclăng, muội silic và phụ gia tạo ra cường độ cao tới 270 MPa. Muội silic là những hạt cầu kích thước trung bình 0.5 μm, chui vào trong các không gian rỗng kích thước từ 30 - 100 μm để lại bởi các hạt xi măng. Trước hết, muội silic đóng vai trò vật lý, là các hạt mịn. Mặt khác chúng chống vón cục hạt xi măng, phân tán hạt xi măng làm xi măng dễ thủy hóa, làm tăng tỉ lệ hạt xi măng được thủy hóa.

Trong quá trình thủy hóa, muội silic tạo ra những vùng hạt nhân cho sản phẩm thủy hóa xi măng (Mehta) và sau một thời gian dài, phản ứng như một pu - zô - lan, tạo thành một silicát thủy hóa C-S-H có độ rỗng nhỏ hơn là C-S-H của xi măng pooclăng và có cấu trúc vô định hình.

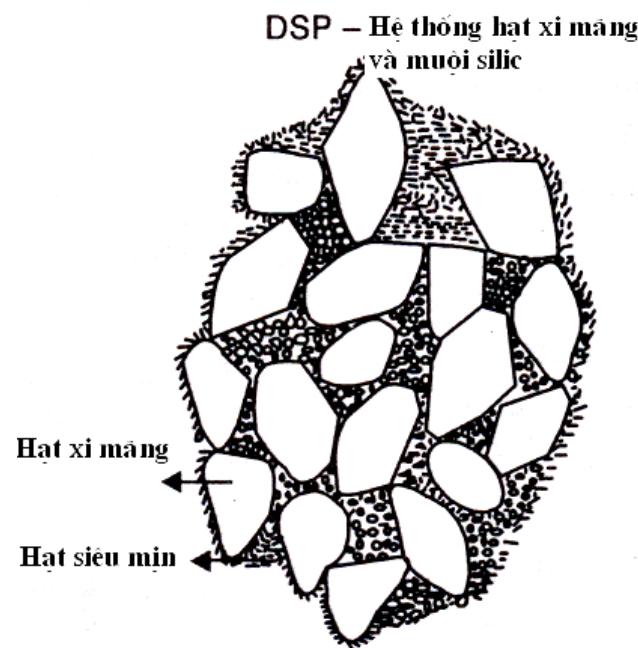
Cấu trúc vữa xi măng pooclăng có N/X = 0,5 bao gồm (1) C-S-H sợi, (2) Ca(OH)₂, (3) lỗ rỗng mao quản .

Cấu trúc vữa xi măng có muội silic bao gồm (1) Ca(OH)₂, (2) C-S-H vô định hình, (3) lỗ rỗng rất ít.



a. Cấu trúc của muội silic b. Cấu trúc của hồ xi măng

Hình 2.1. Cấu trúc của muội silic và xi măng



Hình 2.2. Sơ đồ hệ thống hạt xi măng-Hạt siêu mịn

3.1.6. Hồ xi măng pôlime

Khi làm đặc vữa xi măng, tạo ra khả năng tăng cường độ nén của bê tông bằng cách bít các lỗ rỗng bằng vật liệu pôlime thích hợp.

Trong vữa xi măng độ rỗng thấp, một pôlyme tan trong nước (xenlulô hyđrô propylmethyl hoặc polyvinylacetat thủy phân) phân tán và bôi trơn các hạt xi măng trong vữa xi măng. Pôlyme tạo thành một gen cứng. Khi ninh kết và rắn chắc, pôlyme không thủy hoá trong khi đó, ximăng thủy hoá. Trong vật liệu đông cứng, pôlyme vẫn liên kết tốt với các hạt xi măng và độ rỗng cuối cùng dưới 1% về thể tích.

Hỗn hợp vữa xi măng pôlyme gồm: 100 phần xi măng (về khối lượng), 7 phần pôlyme và 10 phần nước.

Cấu trúc vi mô gần với cấu trúc vữa xi măng có tỉ lệ N/X thấp. Tính chất chủ yếu là một gen đặc và vô định hình bao quanh các hạt clinke. Các tinh thể Ca(OH)_2 ở dạng lá mỏng phân tán trong vữa, trái với các tinh thể lớn chất đống trong vữa xi măng poóc lăng thường. Khoảng không gian rất hẹp dành cho sự tạo thành các tinh thể lớn tránh được sự hình thành các sợi dài theo mặt thoáng của các tấm Ca(OH)_2 chồng lên nhau. Cường độ là 150 MPa ứng với sự vắng mặt của các lỗ rỗng mao quản và vết nứt.

Vữa xi măng pôlyme có thể được đổ khuôn, ép, định hình như các vật liệu dẻo. Nó có thể đưa vào trong các vật liệu composit chứa cát, bột kim loại, sợi để tăng độ bền và cường độ chống mài mòn.

3.2. Cấu trúc của cốt liệu bê tông cường độ cao.

Cấu trúc của cốt liệu lớn tạo nên khung chịu lực cho bê tông, nó phụ thuộc vào cường độ bản thân cốt liệu lớn, tính chất cấu trúc (diện tiếp xúc giữa các hạt cốt liệu) và cường độ liên kết giữa các hạt. Thông thường, cường độ bản thân cốt liệu có cấp phối hạt hợp lý đã giải quyết được các lỗ rỗng trong bê tông và tăng diện tiếp xúc giữa các hạt cốt liệu (giữa các hạt với nhau và các hạt xung quanh một hạt). Trong bê tông chất lượng cao nên sử dụng các cốt liệu có nguồn gốc đá vôi, đá granit, đá quarc, đá bazan. Các loại đá đó có cường độ cao và cho các tính năng cơ học và vật lý ổn định. Cấp phối hạt của đá cần phù hợp với các tiêu chuẩn hiện hành. Đường kính lớn nhất của đá, D, quyết định cường độ và độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông. Nên chọn D từ 19-25mm cho bê tông có cường độ yêu cầu không lớn hơn 62MPa và D từ 9.5-12.5mm cho bê tông có cường độ nén yêu cầu >62MPa.

3.3. Cấu trúc vùng tiếp xúc hồ xi măng – cốt liệu

Cấu trúc của vùng tiếp xúc hồ xi măng - cốt liệu có ý nghĩa quyết định cho loại bê tông cường độ cao. Cấu trúc thông thường của bê tông gồm ba vùng: cấu trúc cốt liệu, cấu trúc hồ xi măng và cấu trúc vùng tiếp xúc hồ xi măng - cốt liệu. Vùng tiếp xúc hồ xi măng - cốt liệu trong bê tông thường, gọi là “vùng chuyển tiếp”, vùng này có cấu trúc kết tinh, rỗng nhiều hơn và cường độ nhỏ hơn vùng hồ do ở vùng này chứa nước tách ra khi hồ xi măng rắn chắc. Ở vùng này còn chứa các hạt xi măng chưa thủy hóa và các hạt CaO tự do.

Các đặc tính của vùng liên kết hồ xi măng - cốt liệu trong bê tông thường gồm mặt nứt, vết nứt, cấu trúc C-S-H và bề mặt các hydrat. Ví dụ các vết nứt xuất hiện bao quanh các hạt silic và phát triển vượt qua hồ xi măng. Trên mặt trượt của cốt liệu, các hydrat gồm tấm Ca(OH)_2 và các sợi silicát (sợi C-S-H). Chúng chỉ

được liên kết rất yếu vào cốt liệu và tách ra dễ dàng. Sự kết tinh có định hướng Ca(OH)_2 cũng quan sát thấy trên các hạt cốt liệu silic.

Vùng liên kết giữa hồ ximăng - cốt liệu có độ rỗng lớn và đã được cải thiện nhờ muội silic. Biến đổi cấu trúc của bê tông theo cường độ phát triển theo ba cấp độ sau:

Trong bê tông thường vùng liên kết xi măng - cốt liệu là vùng tiếp xúc rỗng có các mặt nứt và các vết nứt. Cấu trúc C - H - H có dạng sợi.

Vùng tiếp xúc hồ xi măng - cốt liệu ở bê tông cường độ cao có cấu trúc C-S-H vô định hình và tinh thể Ca(OH)_2 định hướng (P) trên các hạt cứng, các vết nứt giảm rõ ràng .

Vùng tiếp xúc của bê tông cường độ cao tỉ lệ $N/X \leq 0,3$, do tỉ diện tích hạt muội silic rất cao nên vùng này không chứa nước, không tồn tại CaO tự do, vữa xi măng có độ đặc rất lớn và lực dính bám với cốt liệu cao.

Bê tông cường độ rất cao vùng liên kết chuyển thành đá, hồ xi măng - cốt liệu đồng nhất. Không có vết nứt trên bề mặt.

Hiện nay, khi quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (MEB) một vài mảnh bê tông cường độ cao đã cứng rắn, thấy rằng bê tông CĐC và CĐRC có cấu trúc rất đặc, chủ yếu vô định hình và bao gồm một thể tích không bình thường của các hạt không có nước, đó là phần còn lại của xi măng chưa liên kết do thiếu nước sử dụng được. Ngoài ra, các mặt tiếp xúc vữa xi măng/cốt liệu rất ít rỗng và không thể hiện sự tích tụ thông thường của các tinh thể vôi. Điều đó là do hoạt động của muội silic bắt nguồn từ phản ứng pôzulan giữa silic và vôi tự do sinh ra bởi xi măng khi thủy hoá. Việc đo độ xốp bằng thủy ngân chỉ ra sự mất đi của độ xốp mao quản. Cuối cùng người ta có thể đo được độ ẩm của môi trường trong các lỗ rỗng của bê tông theo tuổi của vật liệu. Trong khi đối với bê tông thông thường luôn luôn bằng 100% (khi không có sự trao đổi với môi trường xung quanh), nó giảm tới 75% ở tuổi 28 ngày đối với bê tông cường độ cao.

Cuối cùng, từ các nhận định khác nhau cho phép trình bày về cấu trúc của bê tông cường độ cao như sau:

- Tỉ lệ phân hồ xi măng trong bê tông giảm đi, các hạt không được thủy hoá được bổ sung vào thành phần cốt liệu của bê tông đã cứng rắn. Như vậy trong bê tông cường độ cao không nhất thiết phải dùng lượng xi măng cao ($X = 380 - 450 \text{ kg/m}^3$ với cường độ nén của xi măng từ $400 - 500 \text{ daN/cm}^2$).

- Hồ xi măng có độ rỗng tổng cộng nhỏ

- Rất ít nước tự do, các lỗ rỗng nhỏ nhất cũng bị bão hòa nước.

- Các mặt tiếp giáp hồ xi măng - cốt liệu đã được cải thiện và hóa đá, từ đó mất đi một vùng thường yếu về cơ học của bê tông. Cường độ bê tông tăng lên. Vết nứt của bê tông khi phá hoại sẽ đi qua các hạt cốt liệu.

- Hàm lượng vôi tự do nhỏ

- Trong bê tông xuất hiện trạng thái ứng suất mới được minh họa một cách ví mô bằng co ngót nội tại và chắc chắn nó sinh ra một sự siết chặt mạnh vào các cốt liệu, làm tăng lực dính giữa cốt liệu và hồ xi măng, cải tiến cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi cho bê tông cường độ cao.

4. Cấu trúc của bê tông cường độ rất cao (CDRC)

Bê tông cường độ rất cao, cường độ nén từ $100 \div 150$ MPa tạo thành từ:

- 400 - 500 kg xi măng poóc lăng mác 55 + (15 ÷ 20)% muội silic

- 1 ÷ 4 % phụ gia siêu dẻo , 0,3 - 0,4 % chất làm chậm.

- $N/X = 0,16 - 0,18$; $N = 100$ lít/m³

Sự phá hủy của bê tông CDRC cho thấy vữa xi măng đã chuyển thành đá do sự đông đặc rất cao của vữa xi măng khác với vữa xi măng có độ rỗng xung quanh cốt liệu của bê tông thường. Điều này được thể hiện qua nghiên cứu [4], trong đó ta không thể quan sát được vết nứt cũng như sự định hướng tinh thể Ca(OH)_2 ở mặt tiếp xúc. Nứt vi mô và nứt vi mô cơ học của bê tông CDRC có thể được đánh giá bằng kính hiển vi và thường ít hơn so với bê tông truyền thống.

Đặc tính cấu trúc rất quan trọng là vữa xi măng có cấu trúc vô định hình và đồng nhất. Vữa xi măng có độ rỗng nhỏ hơn bê tông xi măng poóc lăng, do tăng được mức hoạt tính pu zô lan của muội silic. Muội silic phản ứng lý học nhờ dạng hạt cực mịn và phản ứng hoá học nhờ độ hoạt tính của muội si líc với vôi. Độ rỗng của bê tông dùng muội silic được đo bằng rỗng kế thuỷ ngân có thể thấy độ rỗng giảm từ 50-60%...

Lượng tối ưu của muội silic là 15 ÷ 20% khối lượng xi măng. Với số lượng lớn hơn, ví dụ 40%, bê tông trở nên giòn và các hạt silic vẫn chưa thủy hoá.

5. Các kết quả thực nghiệm về cải tiến cấu trúc bê tông

Các kết quả nghiên cứu trong năm gần đây ở Pháp và ở trường Đại học GTVT Hà Nội đã đạt được các kết quả về bê tông cường độ cao có cải tiến cấu trúc bằng cách dùng muội si lic, chất siêu dẻo, lượng nước rất ít và cốt liệu địa phương.

Các kết quả nghiên cứu đã đạt được các bê tông có mác từ M60, M70, M100 ghi ở bảng dưới đây:

Bảng 2.1. Bê tông M70 (mẫu hình trụ D = 15cm) có độ dẻo lớn

Thành phần	C70 Pháp (NICE)	Việt Nam (ĐHGTVT)
Nước	160 lít	160 lít
Xi măng C50	425 Kg	480 kg
Cát	767 Kg	670 kg
Đá (5-20 mm)	1107 Kg	1150 kg
Cường độ, MPa	78 MPa	75 MPa
Muội silic, kg	40	48
Chất siêu dẻo, lít	9,08 t	6,75

Bảng 2.2. Bê tông M80, M100.

Thành phần	M90	M100 (Đức)	M80 ĐHGTVT
Đá (5-20 mm) , Kg	1020	1265	1150
Cát 0.5 , Kg	698	652	660
XM , Kg	456	421	520
Muội silic , Kg	36	42.1	52
Nước , lít	121	112	135
Siêu dẻo R _B , lít	8.5	7.59	6.75
Chất làm chậm , lít	1.7	1.8	1,4
Tỷ lệ N/CKD	0.25	0.24	0.28
Cường độ 28 ngày ,MPa	94	101	73,5
Tỷ lệ Đ/C	1.46	2.02	1.74

Câu hỏi:

1. Phân loại cấu trúc bê tông?
2. Cấu trúc cốt liệu, hồ xi măng và cấu trúc của vùng tiếp giáp?
3. Ảnh hưởng của cấu trúc đến cường độ và độ bền của bê tông?

CHƯƠNG 3

CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO

1. Mở đầu

Bêtông cường độ cao và bêtông chất lượng cao có cường độ chịu nén từ 60-100MPa và lớn hơn.

Tính chất của bê tông cường độ cao và chất lượng cao ở trạng thái tươi là tính dẽ đổ (độ sụt) hoặc còn gọi là tính công tác. Tuy sử dụng lượng xi măng cao, tỷ lệ N/X thấp nhưng độ sụt của bê tông cường độ cao vẫn đạt từ 10-20 cm, giữ được ít nhất là 60 phút. Ở trạng thái mềm co ngót dẻo lớn và ổn định thể tích cao so với bê tông thường.

Các tính chất của bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao khi rắn chắc như cường độ nén, cường độ ép chẻ, biến dạng, mô đun đàn hồi được thể hiện theo tỷ số với cường độ nén đơn trực của mẫu thử hình trụ có kích thước 15x30 cm hoặc mẫu thử hình lập phương 15x15x15 cm (theo tiêu chuẩn Anh) tuổi 28 ngày.

Các tính chất khác như cường độ chịu kéo, co ngót, từ biến, sự dính bám với cốt thép cũng được cải tiến khi cường độ nén tăng lên.

2. Cường độ bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao

2.1. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén của bê tông là tính chất quan trọng để đánh giá chất lượng của bê tông mặc dù trong một số trường hợp thì độ bền và tính chống thấm còn quan trọng hơn. Cường độ của bê tông liên quan trực tiếp đến cấu trúc của hồ xi măng đã đóng cứng, cấu trúc của bê tông. Cường độ nén của bê tông phụ thuộc rất lớn vào tỷ lệ nước/xi măng trong bê tông. Có nhiều công thức để dự báo cường độ nén của bê tông ở các tuổi 3, 7, 28, 56 ngày theo tỷ lệ N/X hoặc N/CKD hoặc X/N.

Công thức Bôlômây-Ckramtaep cải tiến.

Công thức B-K đã được lập để dự báo cường độ của bê tông thường.

$$R_b = AR_x (X/N + 0.5)$$

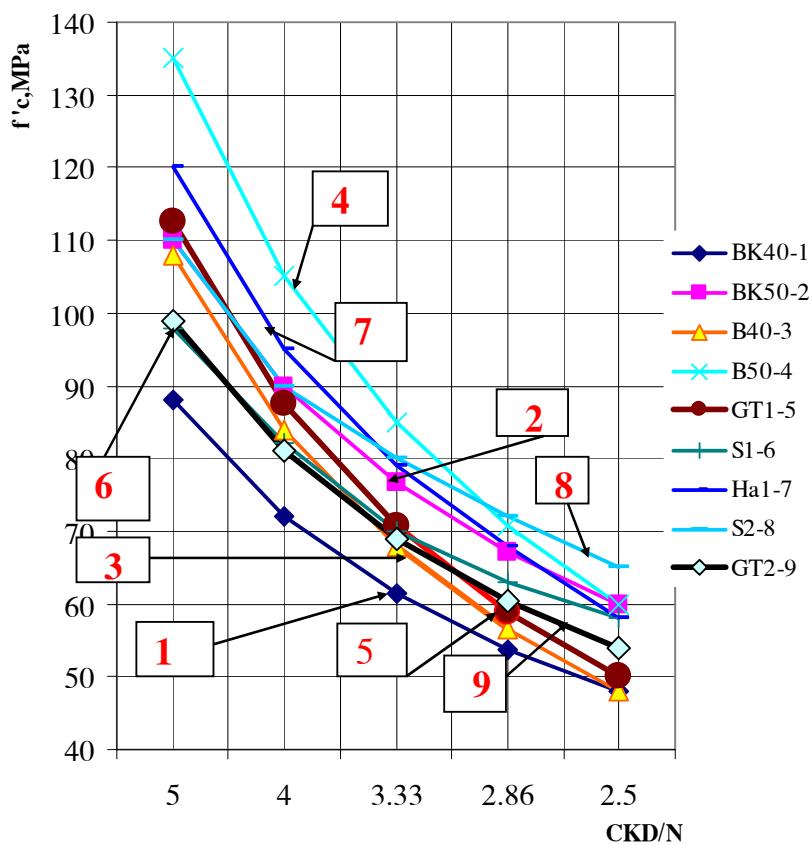
Chúng tôi đề nghị cải tiến bằng cách dùng các trị số hệ số A là: 0.4 thay cho 0.45 cho bê tông thường.

Ở Pháp thường lựa chọn tỷ lệ N/CDK theo phương pháp của Faury hoặc theo công thức của Feret.

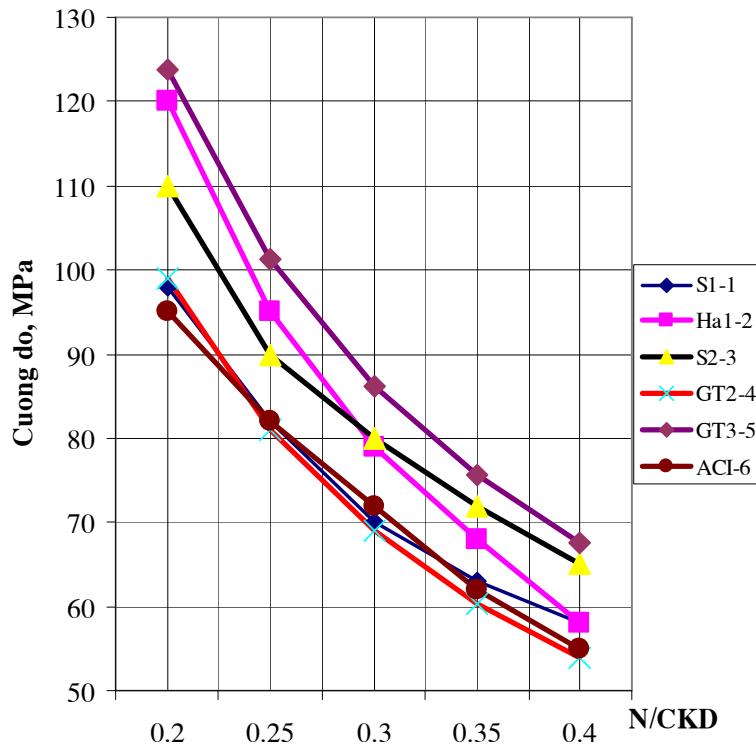
Ngoài ra còn có công thức của Suzuki1 và Suzuki 2, công thức Hatori.

Tổng hợp các công thức trên với 2 loại xi măng thường (PC40) và xi măng cường độ cao (PC50) được ghi ở bảng 3.1.

BK40	0.4*40*(X/N+0.5)	88.00	72.00	61.33	53.71	48.00	(1)
BK50	0.4*50*(X/N+0.5)	110.00	90.00	76.67	67.14	60.00	(2)
B40	0.6*40*(X/N-0.5)	108.00	84.00	68.00	56.57	48.00	(3)
B50	0.6*50*(X/N-0.5)	135.00	105.00	85.00	70.71	60.00	(4)
GT1	0.50*50*(X/N-0.5)	112.50	87.50	70.83	58.93	50.00	(5)
S1	Suzuki 1	98.00	82.00	70.00	63.00	58.00	(6)
Ha1	Hatori	120.00	95.00	79.00	68.00	58.00	(7)
S2	Suzuki 2	110.00	90.00	80.00	72.00	65.00	(8)
GT2	0.45*40*(X/N+0.5)	99.00	81.00	69.00	60.43	54.00	(9)



Hình 3.1. Quan hệ giữa cường độ bê tông với tỷ lệ CKD/N



Hình 3.2. Quan hệ giữa cường độ bê tông và tỷ lệ N/X với xi măng tiêu chuẩn
Ghi chú: S1= Biểu đồ Suzuki 1

S2= Biểu đồ Suzuki 2

Ha- Công thức Hatori

GT2=0.45x50x(X/N-0.5)

GT3=0.45x40x(X/N+0.5)

ACI= đường biểu diễn quan hệ trên theo bảng tra của ACI

Nhận xét: Các kết quả theo ACI và công thức GT3 và S1 rất gần nhau vì vậy khi lựa chọn tỷ lệ X/N có thể tra theo bảng của ACI hoặc tính theo công thức sau:

$$R_b = AR_X \left(\frac{X}{N} + 0.5 \right)$$

$$R_b = 0.45 \times 40 \left(\frac{X}{N} + 0.5 \right)$$

Tỷ lệ nước/ximăng lại ảnh hưởng rất lớn đến các độ bền, độ ổn định thể tích và nhiều tính chất khác liên quan đến độ rỗng của bê tông. Do đó cường độ chịu nén của bê tông được qui định sử dụng trong thiết kế, hướng dẫn công nghệ và đánh giá chất lượng bê tông.

Cường độ nén của bê tông phụ thuộc vào nhiều yếu tố như:

Loại, chất lượng và hàm lượng của các vật liệu chế tạo bê tông: cốt liệu, xi măng và các phụ gia, phương pháp thiết kế thành phần và thời gian nhào trộn hỗn hợp vật liệu, môi trường sản xuất và khai thác bê tông.

Các tính chất của các vật liệu thành phần ảnh hưởng đến cường độ bê tông là: Loại, chất lượng của cốt liệu nhỏ và cốt liệu lớn, hồ xi măng và tính dính bám của hồ xi măng với cốt liệu (tính chất của vùng chuyển tiếp).

Cường độ nén là tính chất sử dụng quan trọng nhất của vật liệu. Đó cũng là tính chất mà sự cải thiện của nó là kỳ vọng nhất: người ta đã có thể thực hiện ở phòng thí nghiệm, sử dụng thành phần tối ưu bê tông có thể đạt cường độ bê tông vượt quá 200 MPa. Tuy nhiên trong thực tế không yêu cầu về cường độ quá cao và giá thành của bê tông là quá đắt (do sử dụng nhiều muội silic và chất siêu dẻo). Chế tạo loại bê tông dễ đổ với các cốt liệu thông thường, giá thành không quá cao, cường độ nằm trong khoảng từ 60 đến 120 MPa, sẽ có ý nghĩa thực tế cao hơn, điều đó cũng thể hiện một bước tiến lớn so với bê tông thường (bảng 3.2.).

Bảng 3.2. Sự biến đổi của các tính chất cơ học của bê tông cường độ cao

	1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	90 ngày	1 năm
Cường độ nén trung bình (MPa)	27,2	72,2	85,6	85,6	92,6	101,0	114,1
Cường độ búa (MPa)	2,2	5,4	6,4	6,4	6,1		
Module Young (GPa)	34,9	48,7	52,4	52,4	53,4	53,6	56,8

Cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao được xác định trên mẫu bê tông tiêu chuẩn, được bảo dưỡng 28 ngày trong điều kiện tiêu chuẩn, theo tiêu chuẩn Việt Nam hoặc Quốc Tế thích hợp.

Theo tiêu chuẩn của Việt Nam, mẫu tiêu chuẩn để xác định cường độ bê tông là mẫu hình hộp lập phương có cạnh 150x150x150 mm, bảo dưỡng trong điều kiện $t = 20-25^\circ\text{C}$, $W = 90 - 100\%$. Hoặc mẫu hình trụ $D = 15$, $H = 30$ cm, lấy mẫu và bảo dưỡng theo TCVN

Theo ACI thì mẫu tiêu chuẩn để xác định cường độ bê tông cường độ cao là mẫu hình trụ tròn có kích thước: $d = 6$ in và $h = 12$ in (150x300 mm), và được bảo dưỡng ẩm.

2.2. Tốc độ tăng cường độ chịu nén theo thời gian

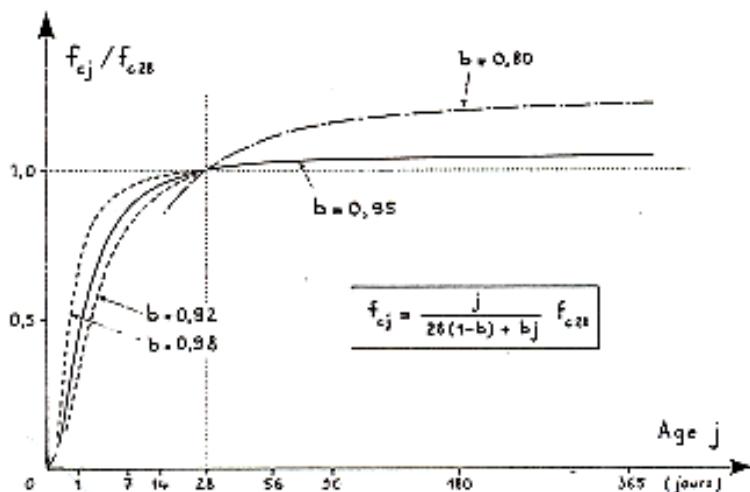
Bê tông cường độ cao có tốc độ tăng cường độ ở các giai đoạn đầu cao hơn so với bê tông thường nhưng ở các giai đoạn sau sự khác nhau là không đáng kể. Parrott đã báo cáo các tỉ số điển hình của cường độ sau 7 ngày đến 28 ngày là 0,8 - 0,9 đối với bê tông có cường độ cao, từ 0,7 - 0,75 đối với bê tông thường, trong khi đó Carrasquillo, Nilson và Slate đã tìm ra được tỉ số điển hình của cường độ sau 7 ngày là 0,6 đối với bê tông có cường độ thấp, 0,65 đối với bê tông có cường độ trung bình và 0,73 đối với bê tông có cường độ cao. Tốc độ cao hơn của sự hình thành cường độ của bê tông cường độ cao ở các giai đoạn đầu là do sự tăng nhiệt độ xử lý trong mẫu bê tông vì nhiệt của quá trình hidrát hoá, khoảng cách giữa các hạt đã được hidrát hoá trong bê tông cường độ cao đã được thu lại và tỉ số nước/xi măng thấp nên lỗ rỗng do nước thuỷ trong bê tông cường độ cao là thấp hơn.

Sự tăng cường độ nhanh hơn nhiều so với bê tông cổ điển (bảng 3.1.), là do sự xích gần sorman của các hạt bê tông tươi, cũng như là vai trò làm đông cứng của muối silic. Sự phát triển sớm của cường độ trong thực tế phụ thuộc vào bản chất (hàm lượng Aluminat, độ mịn) và lượng dùng xi măng, hàm lượng có thể có của chất làm chậm ninh kết, cũng như là đặc chất phụ thuộc vào nhiệt độ của bê tông.

Quan hệ giữa bê tông chịu nén ở ngày thứ j (f_{cj}) và cường độ bê tông ngày 28 (f_{c28}) có thể sử dụng công thức BAEL và BPEL (Pháp) như sau:

$$f_{cj} = 0,685 \log(j+1)f_{c28}$$

Hoặc công thức ở dạng tuyến tính như sau:



Hình 3.3. Quan hệ giữa cường độ và thời gian

$$f_{cj} = \frac{j}{a + bj} f_{c28}$$

Trong đó:

$$a = 28(1-b)$$

$$0 < j < 28$$

$$f_{cj} = \frac{j}{28(1-b) + bj} f_{c28}$$

Trong đó: $b = 0,95$

Vậy $f_{cj} = \frac{j}{1,4 + 0,95j} f_{c28}$

Khi j tiến tới ∞ cường độ bê tông cũng chỉ tăng theo công thức sau:

$$f_{c\infty} = 1,2 f_{c28}$$

Cường độ chịu kéo tại ngày j cũng có qua hệ với cường độ chịu nén tại ngày j như sau:

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj}$$

Hoặc $f_{tj} = k_k (f_{cj})^{2/3}$

Hệ số $k_k = 0,3$ theo BAEL-BPEL

$$k_k = 0,24 \text{ theo CEBIT}$$

2.3. Biểu đồ ứng suất biến dạng.

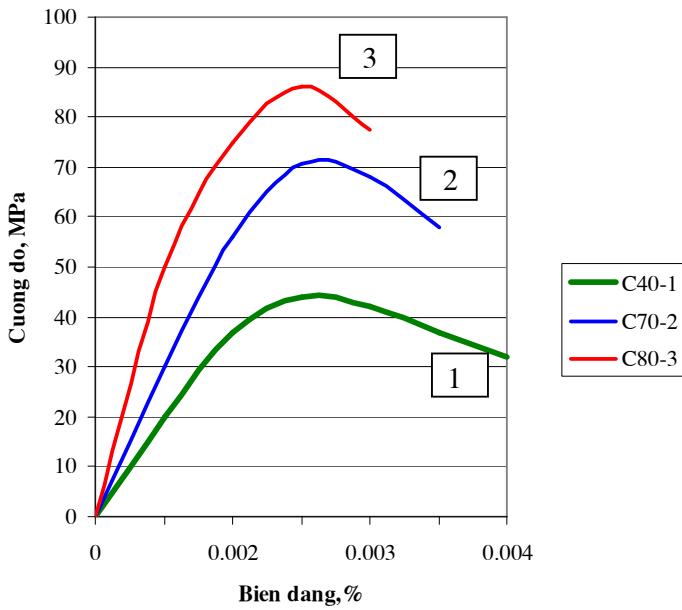
Mô đun đàn hồi (độ cứng) được thể hiện ở độ dốc của đường cong quan hệ ứng suất biến dạng trước khi đạt cường độ lớn nhất.

Độ dai được thể hiện ở độ dốc của đường cong quan hệ ứng suất biến dạng sau khi đạt cường độ lướn nhất.

Bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao có mô đun đàn hồi và độ dai khác biệt so với bê tông thường

Trên hình 3.4. là quan hệ giữa ứng suất theo chiều trực và biến dạng đối với bê tông có cường độ nén lên tới 100 MPa. Dạng đồ thị ở phần đầu của đường ứng suất – biến dạng khá tuyến tính và dốc hơn đối với bê tông thường. Như vậy bê tông chất lượng cao có mô đun đàn hồi cao hơn hẳn so với bê tông thường (đến 45MPa). Biến dạng tương đương ứng với điểm ứng suất lớn nhất thường từ 0.02-0.03 (với bê tông thường từ 0.02-0.035).

Đối với bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao độ dốc ở phía giảm trở nên dốc hơn. Điều đó chứng tỏ bê tông cường độ cao sẽ bị phá hoại đột ngột hơn so với bê tông thường (ròn). Điều này cũng cho thấy độ dai của bê tông cường độ cao thấp hơn so với bê tông truyền thống.



Hình 3.4. Quan hệ ứng suất biến dạng của 3 loại bê tông

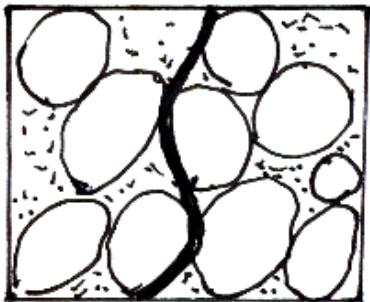
Độ ròn của bê tông cường độ cao

Đối với kim loại và đặc biệt là thép, sự phát triển cường độ luôn luôn đi đôi với độ ròn lớn hơn. Điều đó được thể hiện bằng các dạng phá hoại đặc biệt và bằng độ dai (đại lượng biểu thị khả năng của vật liệu chống lại sự lan truyền của vết nứt) và tốc độ phá hoại. Chúng ta quan sát các dạng này đối với bê tông chất lượng cao và rất cao.

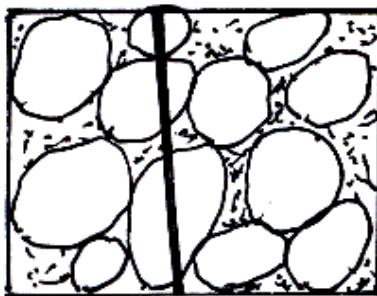
Các dạng phá hoại:

Các bề mặt vỡ của bê tông bê tông cường độ cao là đặc trưng tiêu biểu của vật liệu. Các vết nứt đi qua không phân biệt hồ và cốt liệu (hình 3.5). Như vậy sự phá huỷ của bê tông cường độ cao có quan hệ gần gũi với dạng chẻ theo thớ của kim loại ròn. Với bê tông thường vết nứt có đi qua biên cốt liệu không đi qua cốt liệu.

Không phải là giống nhau khi người ta quan tâm đến độ dai hoặc nhân tố độ mạnh của ứng suất cực hạn. Khi đo thông số này trên ba loại bê tông, là bê tông thường, bê tông cường độ cao không có muội silic và bê tông cường độ cao. Các giá trị tìm được lần lượt bằng 2,16; 2,55; 2,85 MPa trong khi đó năng lượng phá vỡ được xác định ở mức độ 131; 135; 152 J/m². Điều đó có nghĩa là để lan truyền trong bê tông cường độ cao một vết nứt có chiều dài và môi trường xung quanh đã cho cần thiết năng lượng gia tải lớn hơn so với bê tông thông thường. Nguyên nhân cơ bản là sự tăng mật độ của hồ và cải thiện liên kết giữa hai pha hồ và cốt liệu.



a. Vết nứt của bê tông thường



b. Vết nứt của bê tông cường độ cao

Hình 3.5. Các dạng vết nứt

2.4. Cường độ chịu kéo:

2.4.1. Tổng quát

Cường độ chịu kéo của bê tông khống chế vết nứt và ảnh hưởng đến các tính chất khác của bê tông như: độ cứng, khả năng dính bám với cốt thép, độ bền. Cường độ chịu kéo còn liên quan đến ứng xử của bê tông dưới tác dụng của lực cắt.

Bê tông có cường độ cao thì cường độ chịu kéo cũng cao hơn. Tất cả các thử nghiệm mẫu đều xác nhận điều đó từ 30 - 60% tùy theo thành phần của bê tông cường độ cao. Việc cải thiện chất lượng của vùng chuyển tiếp giữa hồ xi măng và cốt liệu có thể đóng vai trò quan trọng trong việc gia tăng này.

Tuy nhiên cường độ chịu kéo của bê tông cường độ cao tăng chậm hơn so với tốc độ tăng cường độ chịu nén. ($f_t/f_c = 1/15 \text{--} 1/20$) trị số chịu kéo khi biến dạng đến 6 MPa là có ý nghĩa sử dụng có lợi cho kết cấu.

Cường độ chịu kéo của bê tông được xác định bằng thí nghiệm kéo dọc trực hoặc thí nghiệm gián tiếp như kéo uốn, kéo bửa.

2.4.2. Cường độ chịu kéo dọc trực:

Cường độ chịu kéo dọc trực của bê tông rất khó xác định, do đó các số liệu rất hạn chế và thường rất khác nhau. Nhưng người ta cho rằng cường độ chịu kéo dọc trực của bê tông bằng khoảng 10% cường độ chịu nén.

Các nghiên cứu của trường đại học Delft trên mẫu đường kính 120mm (4.7 inch), chiều dài 300mm (11.8 inch), có cùng cường độ với điều kiện bảo dưỡng khác nhau. Kết quả cho thấy cường độ chịu kéo của mẫu được bảo dưỡng ẩm cho kết quả cao hơn khoảng 18% so với mẫu bảo dưỡng khô. Các nghiên cứu khác tại Trường Đại học Northwestern với các loại bê tông khác nhau có cường độ đến 48MPa cho thấy cường độ chịu kéo dọc trực có thể biểu diễn theo cường độ chịu nén như sau:

$$f'_t = 6.5 \sqrt{f_c} \quad (\text{psi})$$

$$\text{Hay: } f'_t = 0.54 \sqrt{f_c} \quad (\text{Mpa})$$

Theo tiêu chuẩn Anh (BS 8007: 1987) thì:

$$f'_t = 0.12 (f'_c)^{0.7}$$

Chưa có số liệu nào về cường độ chịu kéo dọc trực của bê tông có cường độ chịu nén đạt 55Mpa.

2.4.3. Cường độ chịu kéo gián tiếp

Cường độ chịu kéo gián tiếp được xác định thông qua thí nghiệm kéo bửa (splitting tension - ASTM C496) hoặc thí nghiệm kéo uốn (ASTM C78).

- Cường độ kéo bửa (f_{ct})

Theo ACI 363, cường độ kéo bửa của bê tông nặng có quan hệ với cường độ chịu nén theo công thức [6]:

$$f_{ct} = 7.4 \sqrt{f'_c} \quad (\text{psi}) \text{ với bê tông có cường độ } 3000 - 12000 \text{ psi}$$

$$\text{Hay: } f_{ct} = 0.59 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \text{ với bê tông có cường độ } 21 - 83 \text{ MPa}$$

Theo Shah và Ahmad thì công thức là:

$$f_{ct} = 4.34(f'_c)^{0.55} \quad (\text{psi}) \text{ với bê tông có cường độ } < 1200 \text{ (psi)}$$

$$\text{Hay: } f_{ct} = 0.462(f'_c)^{0.55} \quad (\text{MPa}) \text{ với bê tông có cường độ } < 83 \text{ MPa.}$$

Cường độ chịu kéo của bê tông dùng muội silíc cũng có quan hệ với cường độ chịu nén như đối với các loại bê tông khác.

- Cường độ kéo uốn (mô đun gãy):

Cường độ chịu kéo uốn được xác định bằng thí nghiệm uốn mẫu dầm tiêu chuẩn. Các kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ kéo uốn bằng khoảng 15% cường độ chịu nén của bê tông. Đối với bê tông cường độ cao ACI kiến nghị:

$$f_r = k \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{psi}) \quad (\text{ACI 363})$$

Hệ số k từ 7,5-12

$$f_r = 11.7 \sqrt{f'_c} \quad (\text{psi})$$

$$\text{Hay: } f_r = 0.94 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \text{ với bê tông có cường độ chịu nén } \leq 83 \text{ MPa}$$

Các kết quả thí nghiệm uốn một trục và hai trục cho thấy cường độ chịu kéo uốn một trục cao hơn cường độ chịu uốn hai trục khoảng 38%.

Đối với bê tông dùng muội silic, tỉ lệ giữa cường độ chịu kéo và cường độ chịu nén cũng tương tự như các loại bê tông cường độ cao khác.

3. Mô đun đàn hồi tĩnh:

Khi tính toán biến dạng đàn hồi tuyến tính của kết cấu bê tông đều phải chọn một giá trị của mô đun đàn hồi. Như vậy, mô đun đàn hồi chính là một đặc tính chỉ dẫn trực tiếp về độ cứng của kết cấu bê tông. Mô đun đàn hồi lớn thì độ cứng kết cấu lớn và kết cấu càng ít bị biến dạng. Với kết cấu dầm khi sử dụng bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao có thể giảm được độ võng.

Mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao lớn hơn so với bê tông thường, tuy nhiên, mô đun đàn hồi chịu kéo tăng yếu hơn. Thật vậy, người ta có thể trông đợi vào những mô đun cao hơn $20 \div 40\%$ đối với bê tông cường độ cao tuỳ theo thành phần của nó và bản chất của loại cốt liệu.

Mô đun đàn hồi của bê tông chịu ảnh hưởng lớn của các vật liệu thành phần và tỷ lệ phối hợp các vật liệu. Việc tăng cường độ chịu nén kèm theo mô đun đàn hồi cũng tăng, độ dốc của biểu đồ $\sigma-\epsilon$ tăng lên. Đối với bê tông có khối lượng thể tích (γ) từ 1440 đến 2320 kg/m³, và cường độ $< 42\text{MPa}$ (6000psi) thì quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ có thể biểu diễn theo công thức:

$$E_c = 0,0143 \times \gamma^{1.5} \times \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa})$$

Đối với bê tông có cường độ $> 42\text{MPa}$. ACI 363 kiến nghị công thức quan hệ $E_c \sim f'_c$ được biểu diễn theo công thức:

$$E_c = (3,32 \sqrt{f'_c} + 6895) \times \left(\frac{\gamma}{2320} \right)^{1.5} \quad (\text{MPa})$$

Theo Shah và Ahmad thì công thức biểu diễn là:

$$E_c = \gamma^{2.5} (\sqrt{f'_c})^{0.65} \quad (\text{psi})$$

$$E_c = \gamma^{2.5} (\sqrt{f'_c})^{0.315} \quad (\text{psi})$$

Cook kiến nghị công thức:

$$E_c = \gamma^{2.5} (\sqrt{f'_c})^{0.315} \quad (\text{psi})$$

$$E_c = 0.0125 \cdot \gamma^{2.5} (\sqrt{f'_c})^{0.315} \quad (\text{MPa})$$

Biểu đồ quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao với cường độ bê tông đến 117 MPa.

Thoman và Raeder cho biết các giá trị môđun đàn hồi được xác định như là độ dốc của đường tiếp tuyến với đường cong ứng suất - sức căng trong nén đơn trực ở 25% của ứng suất tối đa từ 4.2×10^6 đến 5.2×10^6 psi (29 đến 39 GPa) đối với bê tông có cường độ nén nằm trong phạm vi từ 10,000 psi (69 MPa) tới 11,000 psi (76 MPa).

Mối tương quan giữa mô đun đàn hồi E_c và cường độ nén f'_c đối với bê tông có trọng lượng thông thường.

Theo ACI 318 là $E_c = 33w_c(f'_c)^{3/2}$ psi

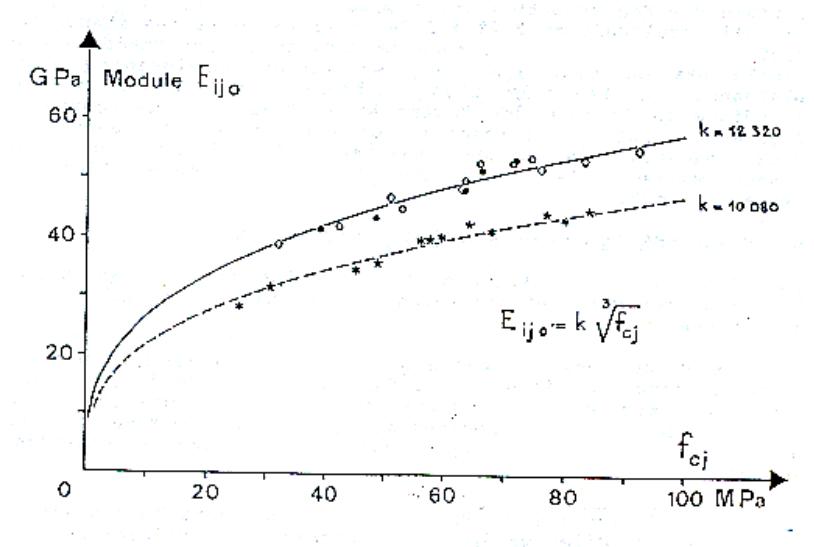
Hoặc $E_c = 40,000 \sqrt{f'_c} + 1.0 \times 10^6$ psi

Đối với: $3000 \text{ psi} < f'_c < 12,000 \text{ psi}$

$$(E_c = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \text{ MPa})$$

Đối với: $21 \text{ MPa} < f'_c < 83 \text{ MPa}$)

Các phương trình thực nghiệm khác để dự đoán mô đun đàn hồi đã được đề xuất. Sai số từ các giá trị dự đoán phụ thuộc rất nhiều vào các đặc tính và các tỉ lệ của cốt liệu thô.



Biểu đồ 3.6. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén của bê tông cường độ cao

Khi tốc độ biến dạng tăng thì kết quả mô đun đàn hồi cũng tăng. Trên cơ sở các kết quả thực nghiệm đối với bê tông có cường độ đến 48 MPa, Shah và Ahmad kiến nghị công thức xác định mô đun đàn hồi dưới khi tốc độ biến dạng nhanh như sau:

$$(E_c)_{\varepsilon'} = E_c [0.96 + 0.38(\log \varepsilon / \log \varepsilon_s)]$$

Với ε' là tốc độ biến dạng ($\mu\text{e}/\text{s}$).

- * Các yếu tố ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao:
 - *Cốt liệu*

Trong các nhân tố của cốt liệu ảnh hưởng tới mô đun đàn hồi của bê tông thì lỗ rỗng dường như là nhân tố quan trọng nhất bởi vì lỗ rỗng của cốt liệu quyết định sự rắn chắc của nó. Cốt liệu có độ chật cao sẽ có mô đun đàn hồi cao. Nói chung đối với bê tông sử dụng cốt liệu có mô đun đàn hồi cao thì sự ảnh hưởng của nó tới mô đun đàn hồi của bê tông là đáng kể hơn cả.

Các nhân tố khác của cốt liệu ảnh hưởng tới mô đun đàn hồi của bê tông là: kích thước hạt max, hình dáng, cấu trúc bề mặt, cấp phối hạt, và mô đun đàn hồi của đá gốc. Chúng có thể ảnh hưởng tới những vết nứt vi mô ở khu vực chuyển tiếp và vì vậy ảnh hưởng tới hình dạng của đường cong biến dạng - ứng suất.

- *Dá xi măng.*

Mô đun đàn hồi của đá xi măng bị ảnh hưởng bởi chính lỗ rỗng của nó. Các nhân tố có thể điều chỉnh lỗ rỗng trong xi măng là: tỉ lệ Nước/ xi măng, hàm lượng khí, phụ gia khoáng, và mức độ thuỷ hoá của xi măng.

- Vùng chuyển tiếp.

Nói chung, vùng lỗ rỗng, vết nứt vi mô, và xu thế kết tinh calcium hydroxide là tương đối phổ biến ở vùng chuyển tiếp hơn so với chất kết dính xi măng rời vì vậy chúng giữ một vai trò quan trọng trong việc xác định mối quan hệ ứng suất – biến dạng trong bê tông.

4. Mô đun đàn hồi động

Giá trị của mô đun động lớn hơn giá trị của mô đun tĩnh khoảng từ 20-40% và phụ thuộc vào cường độ và tuổi của mẫu thử.

Theo nghiên cứu của Phillo thì tỷ số giữa mô đun đàn hồi tĩnh và động là 0,4-0,8 biến đổi trong thời gian từ 1-6 tháng và sau đó giữ nguyên tỷ lệ 0,8.

Pacovic cho rằng mô đun đàn hồi tĩnh lớn hơn mô đun đàn hồi động

Có thể tính mô đun đàn hồi động theo công thức sau:

$$Ec=1,25Ed-19, \text{ Gpa}$$

HJoặc khi lượng xi măng vượt quá 500kg/m^3

$$Ec=1,04Ed-4,1, \text{ Gpa}$$

5. Hệ số Poisson

Các số liệu thực nghiệm về các giá trị của tỉ số Poisson đối với bê tông cường độ cao là rất hạn chế. Shideler và Carrasquillo đã báo cáo các giá trị của tỉ số Poisson đối với bê tông cường độ cao dùng cốt liệu nhẹ có cường độ nén tới 10,570 psi (73 MPa) sau 28 ngày là 0,2 không tính đến tuổi cường độ nén và hàm lượng ẩm.

Mặt khác, Perenchio và Klieger đã báo cáo các giá trị tỉ số Poisson của bê tông có trọng lượng thông thường với cường độ nén nằm trong phạm vi từ 8000 đến 116000 psi (55 - 80 MPa) là từ 0,20- 0,28. Họ kết luận rằng hệ số Poisson có khuynh hướng giảm khi tỉ lệ nước - xi măng tăng. Kaplan đã tìm ra các giá trị cho tỉ số Poisson của bê tông từ 0,23 đến 0,32 được xác định bằng cách dùng phép đo động học là không phụ thuộc vào cường độ nén cốt liệu thô, đối với bê tông có cường độ đến 11500 psi (79 MPa).

Trên cơ sở các thông tin có sẵn, hệ số Poisson của bê tông cường độ cao trong phạm vi đàn hồi đường như có thể tương đương với giá trị của bê tông truyền thống.

6. Cường độ mỏi (độ bền mỏi)

Các số liệu về quan hệ mỏi của bê tông cường độ cao là rất hạn chế. Bennett và Muir đã nghiên cứu cường độ mỏi bằng cách nén đồng trục một khối bê tông cường độ cao có kích thước 4" (102 mm) có cường độ nén tới 11.155 psi (76.9 MPa) và

nhận ra rằng sau một triệu chu trình cường độ của mẫu thử chịu tải trọng lặp lại khác nhau từ 66 - 71% so với cường độ tĩnh cho một mức ứng suất tối thiểu là 1250 psi (8.6 MPa). Giá trị thấp hơn được tìm thấy đối với bê tông cường độ cao và đối với bê tông được làm bằng cốt liệu thô có kích thước nhỏ, nhưng phần tăng thực tế của sự khác nhau là rất nhỏ.

7. Khối lượng đơn vị

Giá trị đo được của khối lượng đơn vị của bê tông có cường độ cao lớn hơn chút ít so với bê tông có cường độ thấp được cùng làm từ một loại nguyên vật liệu. ($\gamma = 2,4 \div 2,6 \text{ g/m}^3$)

8. Các đặc tính về nhiệt

Các đặc tính về nhiệt của bê tông cường độ cao nằm trong phạm vi đúng đắn với bê tông có cường độ thấp. Các đại lượng đo được là nhiệt lượng riêng, tính dẫn nhiệt, độ dẫn nhiệt, hệ số giãn nở nhiệt, hệ số khuyếch tán.

Các thí nghiệm gần đây cho thấy rằng tốc độ giảm cường độ của bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao nhanh hơn so với bê tông thường. Điểm bắt đầu giảm cường độ thấp hơn (ở nhiệt độ 300°C). Tính ổn định thể tích ở nhiệt độ cao cũng kém hơn. Bê tông cường độ cao thường dễ bị nứt và phá hủy do nhiệt độ cao nhanh hơn bê tông thường.

9. Co ngót:

Các biến dạng tự do của bê tông (co ngót và nở) là những tính chất quan trọng nhất đối với người xây dựng. Việc kiểm tra chính xác công trình đòi hỏi tính đến các biến dạng này. Hơn nữa, các biến dạng tự do không đồng nhất trong các khối thường dẫn đến các vết nứt, các rãnh đặc biệt thẩm nhập các tác nhân gây hại. Do đó, việc thiết kế công trình có độ bền cao cần làm chủ được các biến dạng tự do và các ảnh hưởng cơ học của chúng.

Trước hết cần nhắc lại các cơ cấu chính của co ngót bê tông. Sau đó rút ra xu hướng chung của co ngót ở bê tông cường độ cao từ thành phần của chúng. Tiếp đó xem xét một số các bê tông cường độ cao và rất cao có thành phần khác nhau được thí nghiệm gần đây ở LCPC. Cuối cùng rút ra kết luận về việc không có quan hệ trực tiếp giữa co ngót và cường độ bê tông: giữa bê tông thường và bê tông cường độ cao, tồn tại một lựa chọn tự do cho người thiết kế, cùng một cường độ có thể có nhiều tổ hợp chất kết dính (xi măng, muội silic, phụ gia ...)

Cơ chế lý – hóa của co ngót bê tông thường

Hai chỉ tiêu nội tại kiểm soát các biến dạng tự do của bê tông: nhiệt độ và hàm lượng nước tự do.

Ta biết rằng nhiệt độ bê tông có thể biến đổi theo thời gian, hoặc do thủy hóa (các phản ứng thường tỏa nhiệt và đóng vai trò là nguồn gây nhiệt nội tại), hoặc do

trao đổi nhiệt với phần còn lại của cấu kiện hay môi trường. Sự biến đổi nhiệt độ này dẫn đến các biến dạng tự do tỉ lệ với chúng theo một hệ số quen thuộc (hệ số giãn nở nhiệt, giảm dần khi tăng phản ứng thủy hóa).

Cũng như vậy, hàm lượng nước tự do có thể thay đổi bên trong do thủy hóa mất một phần nước, hay bên ngoài do biến đổi độ ẩm. Cũng như vậy, một hằng số vật lý (hệ số giảm nước) cho phép tính toán biến dạng tự do liên quan. Ở tỉ lệ cấu trúc vi mô, lý thuyết mao dẫn cho phép hiểu được làm thế nào sự lấp đầy một phần của nước trong môi trường rỗng với độ phân bố rộng có thể dẫn tới một trạng thái nội ứng suất. Từ ái lực của nước với bề mặt rắn (hấp phụ), các lỗ rỗng nhỏ nhất được lấp đầy trước tiên. Do đó, với một lượng nước cho trước, tồn tại một kích thước lỗ rỗng giới hạn, mà vượt qua đó các khoang rỗng không bão hòa. Bên trong mỗi khoang, bề mặt phân chia pha lỏng và khí chịu kéo tức thời và ứng suất càng lớn khi độ cong càng lớn, tương ứng với lỗ rỗng nhỏ. Cũng như vậy, khi lượng nước tự do giảm, kích thước lỗ rỗng, liên quan tới sức căng mao quản, cũng giảm, và kết quả vĩ mô của hiện tượng (co cấu trúc rắn dưới ảnh hưởng của một loại “tiền ứng suất ẩm”) tăng. Ứng xử của hệ thay đổi phụ thuộc không chỉ vào sự phân bố kích thước lỗ rỗng mà còn vào khả năng biến dạng tổng thể, liên quan tới độ rỗng tổng cộng.

Do sự thiếu hụt thể tích của phản ứng thủy hóa, vữa xi măng trở thành một cấu trúc ba pha (rắn – lỏng – khí) trong suốt quá trình thủy hóa.

Có thể chia (không chính xác lắm) co ngót thành 3 giai đoạn sau: Trước khi nín kết- co ngót dẻo; trong khi nín kết và rắn chắc – các hiện tượng nhiệt và co ngót nội tại; ở tuổi muộn – co ngót do mất nước.

Chính sự co ngót do khô là đáng quan tâm và lo lắng. Đó là sự co ngót của một mẫu được tháo khuôn ở 24 giờ sau khi được làm khô ở trong phòng với độ ẩm tương đối $50\pm10\%$ và nhiệt độ $20\pm1^{\circ}\text{C}$ được khống chế. Độ co ngót do khô được lấy một cách quy ước bằng hiệu số giữa độ co tổng cộng và độ co của cùng một mẫu không bị mất nước chút nào.

Trong khi độ co ngót nội sinh cuối cùng gần gấp đôi, độ co khô giảm đi, vật liệu chỉ bao gồm rất ít nước tự do sau khi thuỷ hoá. Độ co tổng cộng của bê tông cường độ cao được đo trên các mẫu $\phi 16$ cm, vào khoảng hai lần nhỏ hơn trên những mẫu bê tông đối chứng. Chú ý đến những động học đặc biệt nhanh của độ co của bê tông bê tông cường độ cao, nó có thể tạo ra các sai số trong trường hợp so sánh trên các thí nghiệm ngắn ngày.

Có nên lo ngại ảnh hưởng của độ co nội tại của bê tông cường độ cao đối với qui mô của kết cấu không? Đối với các công trình cầu hầm, phần lớn của biến dạng này xảy ra sau khi tháo ván khuôn và khi đó các ảnh hưởng của nó giống như ảnh

hưởng của một biến dạng thuần nhất do nhiệt. Các điểm tiếp xúc của kết cấu với nền được dự kiến để loại biến dạng đó không cần cấu tạo đặc biệt.

Bảng 3.3. Các số liệu thí nghiệm co ngót bê tông thường và bê tông cường độ cao.

Độ co ngót tổng cộng ($\mu\text{m}/\text{m}$)	Bê tông đối chứng	Bê tông cường độ cao
- Lúc kết thúc thí nghiệm	470	320
- Trong thời hạn dài	650	340
Độ co ngót nội tại		
- Lúc kết thúc thí nghiệm	120	200
- Trong thời hạn dài	120	220
Độ co ngót do mất nước		
- Lúc kết thúc thí nghiệm	350	120
- Trong thời hạn dài	530	120

Tính toán co ngót

Từ khi bê tông rắn chắc (đóng đặc lại), sự co bê tông được hiểu là sự tự nhiên của vật liệu mà chưa chịu tải. Có hai loại co:

- Sự co nội sinh hay co do khô tự nhiên, gây ra do việc bê tông cứng dần lên.
- Sự co do sự sấy khô, gây ra do sự trao đổi nước giữa chất liệu trong bê tông và môi trường bên ngoài. Chú ý rằng, độ co do bị sấy khô này có thể là số âm (trong trường hợp này bê tông bị phồng lên).

Như vậy, tổng độ co là phép cộng của hai loại độ co nói trên.

Trong trường hợp các khối bê tông đặc, nhiệt cũng có thể ảnh hưởng đáng kể đến độ co nội sinh hay độ co do khô.

Tính động của độ co nội sinh phụ thuộc vào tốc độ phản ứng hydrat hoá. Khi tính toán mức độ co, trước tiên, người ta dựa vào tốc độ cứng của vật liệu và như vậy phải tính đến các đặc tính của từng loại bê tông. Tỷ số $f_c(t) / f_{c28}$, tuổi của bê tông non, được coi là biến kiểm tra trước 28 ngày. Vì vậy, đối với khối bê tông đặc có độ đóng cứng nhanh hơn thì tuổi bê tông có ảnh hưởng lớn đến độ co nội sinh. Sau 28 ngày, độ co nội sinh được tính căn cứ vào thời gian.

- Nếu $f_c(t) / f_{c28} \geq 0,1$ thì có thể tính độ co theo đề nghị của Pháp như sau:

$$\varepsilon_{rd}(t, f_{c28}) = (f_{c28} - 20)(2,2 \frac{f_{c(t)}}{f_{c28}} - 0,2) \cdot 10^{-5}$$

Trong đó, ε_{rd} là độ co nội sinh tính từ khi bê tông đặc (kết dính đến một thời điểm nào đó tính bằng ngày). f_{c28} là đặc tính ứng suất vào cùng thời điểm.

Để có thể miêu tả rõ hơn tính động của độ co nội sinh trước 28 ngày, ta có thể chấp nhận qui luật hyperbôn về độ cứng được phân chia dựa theo các dữ liệu thực nghiệm về ứng suất đang hiện hành.

- Với $t > 28$ ngày thì,

$$\varepsilon_{r0}(t, f_{c28}) = (f_{c28} - 20) [2,8 - 1,1\exp(-1/96)].10^6$$

Trong trường hợp ứng suất thực tế đến 28 ngày rõ ràng cao hơn đặc tính ứng suất yêu cầu, sẽ chỉ cho phép ước tính độ co nội sinh.

Bê tông cường độ cao và chất lượng cao chịu sự sấy khô tự nhiên. Độ ẩm trong của nó, nếu không có sự trao đổi nước với môi trường bên ngoài, sẽ giảm dần theo thời gian và trong vòng vài tuần sẽ ổn định ở giá trị thấp (trong khi mà ứng suất nén đến 28 ngày thì tăng). Sự co do khô sấy thường có tính động chậm hơn và phụ thuộc vào sự chênh lệch giữa độ ẩm trong và độ ẩm ngoài môi trường,

Sự co do khô sẽ nhanh hơn nếu bê tông có kích thích của silic. Các công thức cho phép tính toán theo đề nghị của Pháp như sau:

*Bê tông không có kích thích của silic.

$$E_{uv}(t, t_{uv}, t_{280} p_u, p_b) = \frac{K(f_{c28}) [720xp(0,046f_{c28} + 75 \cdot p_h)]}{t + 0,1 \frac{t_m^2}{(t - t_0)}} \cdot 10^{-3}$$

* Bê tông có kích thích của silic.

$$E_{uv}(t + t_0 + t_{c28} + p_h) = \frac{K(t_{c28}) [720xp(0n046f_{c28}) + 75 + p_h]}{t + 2,8 \frac{t_m^2}{(t - t_0)}} \cdot 10^{-3}$$

Với $K(f_{c28}) = 18$ nếu $40 \text{ MPa} < f_{c28} < 57 \text{ MPa}$

$K(f_{c28}) = 30 - 0,21 f_{c28}$ nếu $f_{c28} = 57 \text{ MPa}$.

Trong các trường hợp thông thường người ta dự tính độ giảm của sự co ngót có các khung thép gắn liền. Tổng độ co được tính trong khoảng thời gian từ khi đổ bê tông đến một thời điểm xác định nào đó.

Trong đó $n = 15$ khi $40 \leq f_{c28} < 60 \text{ MPa}$.

Và $n = 9$ khi $60 \leq f_{c28} \leq 80 \text{ MPa}$.

Tuy nhiên trong các kết cấu mà cốt thép không cân đối, có thể cần thiết phải tính toán độ co theo vùng, căn cứ vào vị trí của các khung thép.

Độ co giữa hai ngày t và t' bằng với sự chênh lệch của tổng độ co tính toán vào cho từng ngày.

$$E_{cd} = \frac{E + E_{cd}}{1 + np_0}$$

Trong trường hợp tính gần đúng có thể tham khảo số liệu sau:

$\varepsilon_{co\ ngot} = 2 \cdot 10^{-4}$ với khí hậu rất ẩm;

$\varepsilon_{co\ ngót} = 4 \cdot 10^{-4}$ với khí hậu nóng và khô;
Với điều kiện Việt Nam có thể $\varepsilon_{co\ ngót} = 3 \cdot 10^{-4}$

10. Từ biến:

10.1. Cơ chế của từ biến

Nếu đặt tải trọng không đổi theo thời gian lên một mẫu bê tông thường (thí nghiệm từ biến), thì nhận được biến dạng gấp đôi sau vài tuần, gấp ba sau vài tháng và có thể gấp năm sau vài năm trong những điều kiện cực đại. Có thể nhận thấy một hiện tượng tương tự khi đặt tải trọng kéo, hoặc uốn. Từ biến của bê tông phụ thuộc vào nhiều thông số sau: bản chất của bê tông, tuổi đặt tải và nhất là các điều kiện môi trường.

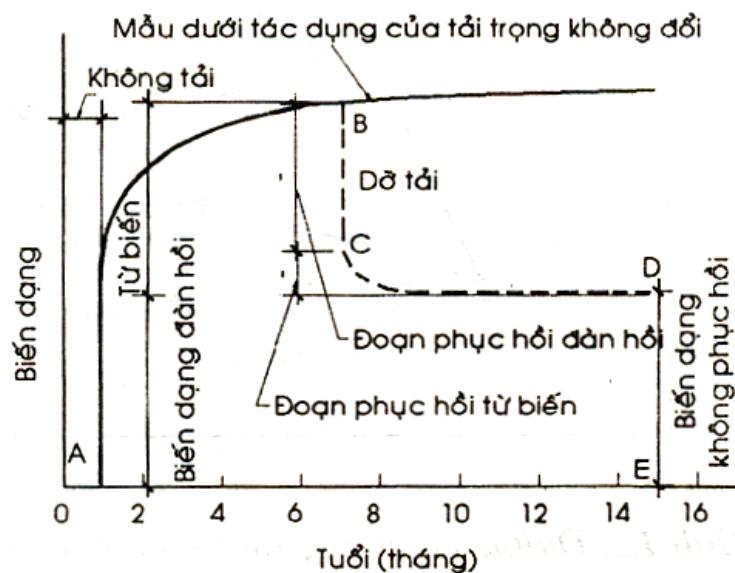
Trong trường hợp bỏ tải, ta quan sát thấy sự giảm tức thời của biến dạng (giá trị tuyệt đối rất gần với biến dạng dạng của một mẫu tham khảo chịu tải ở tuổi này), gọi là biến dạng phục hồi. Tuy nhiên biến dạng này nhỏ hơn nhiều từ biến tương ứng, xét về giá trị tuyệt đối, và ổn định sau vài tuần.

10.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến từ biến.

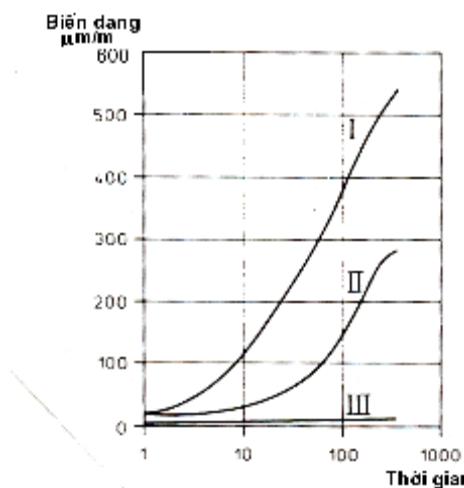
Tải trọng: Với các tải trọng thay đổi, người ta có thể xét rằng từ biến tỉ lệ với tải trọng đặt vào, tuy nhiên từ 50% tải trọng phá hủy, nó tăng nhanh hơn ứng suất (quan hệ phi tuyến).

Bản chất bê tông: Từ biến biến đổi giống biến dạng tức thời, trừ các loại bê tông đặc biệt có các đặc trưng riêng với chỉ số động học về quá trình mất nước khác biệt: đó là trường hợp bê tông nhẹ có cốt liệu rỗng, chứa nước, từ biến nhỏ hơn bê tông thường có cùng cường độ;

Các điều kiện môi trường: khi không có sự trao đổi nước với bên ngoài, từ biến, khi đó gọi là từ biến riêng, gần tỉ lệ với lượng nước có thể bay hơi, và một loại bê tông sấy khô ở 105°C thường không có hiện tượng từ biến, nhưng trên thực tế, bê tông bị mất nước ít nhiều tùy theo khí hậu và sự thay đổi này dẫn đến từ biến lớn, hơn hai đến ba lần từ biến riêng: ta có thể giải thích hiện tượng từ biến do mất nước này bằng ảnh hưởng của cấu trúc liên quan đến co ngót do mất nước: trong một mẫu không chịu tải, quá trình mất nước dẫn đến các biến dạng tự do trên bề mặt nhanh hơn và lớn hơn so với ở tâm, điều này dẫn đến bề mặt chịu kéo và có vết nứt; trong một mẫu chịu tải nén, ta làm giảm nứt và sự mất nước thể hiện bởi các biến dạng lớn hơn; hiệu ứng này không hoàn toàn được định lượng nhưng chắc chắn giải thích một phần quan trọng hiện tượng từ biến do mất nước; ngoài ra nó cho phép giải thích rõ ràng hiệu ứng tỉ lệ vì trong các cấu kiện dày, sự mất nước bị giới hạn ở bề mặt và do đó gần với từ biến riêng, chịu kéo và nứt bề mặt.



Hình 3.7. Biến dạng đàn hồi và từ biến của bê tông



Hình 3.8. Biến dạng từ biến của bê tông thường trong các điều kiện độ ẩm khác nhau

I – Mẫu mất nước tự nhiên

II – Mẫu có bề mặt được bôi một lớp nhựa cách nước ngay sau khi tháo khuôn

III – Mẫu được sấy khô ở 40°C trong 35 ngày, sau đó bôi một lớp nhựa cách nước.

10.3. Bản chất của từ biến

Từ biến và phục hồi từ biến là hiện tượng liên quan, nhưng bản chất của chúng thì không rõ ràng. Sự thực là từ biến chỉ phục hồi một phần do đó phần này có thể gồm có một phần chuyển động đàn hồi-dẻo có thể phục hồi (gồm có pha nhớt thuần tuý và pha dẻo thuần tuý) và có thể là do biến dạng dẻo không phục hồi.

Biến dạng đàn hồi thường được phục hồi khi dỡ tải. Biến dạng dẻo không phục hồi được, có thể phụ thuộc vào thời gian, và không có tỷ lệ giữa biến dạng dẻo và ứng suất tác dụng, hay giữa ứng suất và tốc độ biến dạng. Biến dạng nhớt không bao giờ phục hồi khi dỡ tải, nó luôn luôn phụ thuộc vào thời gian và có tỷ lệ giữa tốc độ biến dạng nhớt và ứng suất tác dụng, và do đó giữa ứng suất và biến dạng tại một thời điểm cụ thể. Những loại biến dạng khác nhau này có thể được tổng kết như trong bảng 3.4.

Bảng 3.4. Các loại biến dạng

Loại biến dạng	Tức thời	Phụ thuộc vào thời gian
Có thể phục hồi	Đàn hồi	Đàn hồi-muộn
Không thể phục hồi	Dẻo	Nhớt

Một cách xử lý hợp lý phần phục hồi từ biến quan sát được bằng cách sử dụng nguyên tắc tổng hợp biến dạng, được phát triển bởi McHenry. Những trạng thái này có biến dạng được tạo ra trong bê tông tại thời điểm t bất kỳ bởi sự tăng lên của ứng suất tại thời điểm bất kỳ t_0 và độc lập với những tác động của bất kỳ ứng suất tác dụng sớm hơn hay muộn hơn t_0 . Sự tăng lên của ứng suất được hiểu là tăng lên của ứng suất nén hoặc ứng suất kéo, cũng có thể là sự giảm nhẹ của tải trọng. Sau đó nếu ứng suất nén trên mẫu thử được loại bỏ tại thời điểm t_1 , sự phục hồi từ biến sẽ giống như từ biến của mẫu thử tương tự chịu cùng tải trọng ứng suất nén tại thời điểm t_1 . Phục hồi từ biến là sự khác nhau của biến dạng thực tại thời điểm bất kỳ và biến dạng dự kiến nếu mẫu thử tiếp tục chịu ứng suất ban đầu.

So sánh của biến dạng thực và biến dạng tính toán (giá trị tính toán thực tế là sự khác nhau giữa hai đường cong thực nghiệm) đối với “bê tông bị bịt kín”, chỉ có từ biến gốc. Dường như, trong mọi trường hợp, biến dạng thực sau khi dỡ tải cao hơn biến dạng dư được dự đoán theo nguyên tắc tổng hợp từ biến. Do đó từ biến thực nhỏ hơn giá trị tính toán. Sai sót tương tự cũng được tìm thấy khi nguyên tắc này áp dụng cho mẫu thử chịu ứng thay đổi. Dường như nguyên tắc này không hoàn toàn thoả mãn hiện tượng từ biến và phục hồi từ biến.

Tuy nhiên nguyên tắc tổng hợp biến dạng, có vẻ thuận tiện. Nó ngụ ý rằng từ biến là hiện tượng đàn hồi chậm mà sự phục hồi hoàn toàn nói chung bị ngăn cản bởi quá trình hydrat hoá của xi măng. Bởi vì đặc tính của bê tông ở tuổi muộn thay đổi rất ít theo thời gian, từ biến của bê tông do tải trọng lâu dài tác dụng lên ở thời điểm sau khoảng vài năm có thể phục hồi hoàn toàn, điều này vẫn chưa được thực nghiệm khẳng định. Cần nhớ rằng nguyên tắc tổng hợp này gây ra sai sót nhỏ có thể bỏ qua trong điều kiện bảo dưỡng dạng khói, nơi mà chỉ có từ biến gốc. Khi từ biến khô xảy ra, sai sót lớn hơn và phục hồi từ biến bị đánh giá sai đáng kể.

Vấn đề về bản chất của từ biến vẫn còn đang được tranh luận và không thể bàn thêm ở đây. Vị trí từ biến xảy ra là vữa xi măng đã thuỷ hoá, và từ biến gắn liền với sự dịch chuyển bên trong do dính bám hay kết tinh của nước, ví dụ quá trình thấm hay rò rỉ nước. Các thí nghiệm của Glucklich đã chứng tỏ rằng bê tông không có sự bay hơi của nước thì thực tế là không có từ biến. Tuy nhiên, sự thay đổi mức độ từ biến tại nhiệt độ cho thấy trong hoàn cảnh đó, nước ngừng ảnh hưởng và bản thân chất gel gây ra biến dạng từ biến.

Bởi vì từ biến có thể xảy ra trong khối bê tông, và sự rò rỉ nước ra bên ngoài đóng vai trò không quan trọng đến quá trình từ biến gốc, mặc dù những quá trình như vậy có thể cũng diễn ra trong từ biến khô. Tuy nhiên, sự rò rỉ nước bên trong từ các lớp chứa nước sang lỗ rỗng như là lỗ rỗng mao dẫn là có thể xảy ra. Một chứng cứ gián tiếp thể hiện vai trò của lỗ rỗng như vậy là mối liên hệ giữa từ biến và cường độ của vữa xi măng đã thuỷ hoá: nên có công thức liên hệ giữa từ biến và số lượng tương đối của lỗ rỗng tự do, và có thể thấy rằng lỗ rỗng trong cấu trúc gel có thể ảnh hưởng đến cường độ và từ biến; ở tuổi muộn lỗ rỗng có thể gắn liền với hiện tượng rò rỉ nước. Thể tích của lỗ rỗng là hàm số của tỷ lệ nước/xi măng và bị ảnh hưởng của mức độ thuỷ hoá.

Lỗ rỗng mao quản không thể chứa đầy nước ngay cả khi chịu áp lực thuỷ tĩnh như trong bể nước. Do vậy, sự rò rỉ nước bên trong là có thể dưới bất kì điều kiện lưu trữ nào. Hiện tượng từ biến của mẫu thử không co ngót không bị ảnh hưởng của độ ẩm tương đối của môi trường cho thấy nguyên nhân cơ bản gây ra từ biến “trong không khí” và “trong nước” là giống nhau.

Đường cong từ biến theo thời gian cho thấy sự giảm từ biến là không xác định theo độ dốc của nó, và có một câu hỏi là liệu có hay không một sự giảm từ từ, theo cơ chế của từ biến. Có thể hiểu rằng tốc độ giảm với cơ chế giống nhau liên tục và rộng kháp, nhưng có lý để tin rằng sau nhiều năm dưới tác dụng của tải trọng, chiều dày của lớp có thể bị thấm nước có thể giảm đến một giá trị giới hạn và mới chỉ có thí nghiệm ghi lại từ biến sau nhiều nhất là 30 năm. Do đó, có thể rằng phần từ biến chậm, dài hạn là do nguyên nhân khác chứ không phải do rò rỉ nước nhưng biến dạng có thể phát triển chỉ khi có sự tồn tại của một số nước có thể bay hơi. Nguyên nhân này có thể là chảy nhớt hay trượt giữa các phân gel. Cơ chế như vậy phù hợp với ảnh hưởng của nhiệt độ đối với từ biến và cũng có thể giải thích phần từ biến lớn không thể phục hồi ở tuổi muộn.

Các quan sát về từ biến dưới tác dụng của tải trọng thay đổi, và đặc biệt là khi tăng nhiệt độ dưới điều kiện tải trọng như vậy, đã dẫn đến một giả thuyết sửa đổi về từ biến. Như đã đề cập, từ biến dưới ứng suất thay đổi lớn hơn từ biến dưới ứng suất tĩnh mà có cùng giá trị so với giá trị trung bình của ứng suất thay đổi. Ứng suất thay

đổi cũng làm tăng phần từ biến không thể phục hồi và làm tăng tốc độ từ biến do làm tăng sự trượt nhớt của cấu trúc gel, và làm tăng từ biến do số lượng giới hạn các vết nứt nhỏ tại tuổi sớm trong quá trình rắn chắc của bê tông. Số liệu thực nghiệm khác về từ biến khi kéo và khi nén gợi ý rằng các biến đổi được giải thích tốt nhất bởi sự tổng hợp của các lý thuyết về rò rỉ nước và chảy nhớt của bê tông.

Nói chung, vai trò của vết nứt nhỏ là thấp, không kể từ biến dưới tác dụng của tải trọng thay đổi là có giới hạn, từ biến do các vết nứt nhỏ hầu như có giới hạn đối với bê tông được chất tải ở tuổi sớm hoặc được chất tải với tỷ số ứng suất/cường độ vượt quá 0.6.

Nói tóm lại, chúng ta phải chấp nhận rằng cơ chế thực của từ biến vẫn chưa được xác định.

10.4. Các ảnh hưởng của từ biến đến kết cấu bê tông

Từ biến làm ảnh hưởng đến biến dạng, độ vỡng và sự phân bố ứng suất, nhưng các ảnh hưởng thay đổi tùy thuộc vào loại kết cấu.

Từ biến của bê tông dạng khối thực chất không ảnh hưởng đến cường độ, mặc dù dưới ứng suất rất cao từ biến đẩy nhanh quá trình đạt đến biến dạng giới hạn mà tại đó sự phá huỷ xảy ra; điều này xảy ra khi tải trọng dài hạn vượt quá 85 hay 95% tải trọng tĩnh giới hạn gia tải nhanh. Dưới ứng suất dài hạn nhỏ, thể tích của bê tông giảm (như theo từ biến có hệ số Poisson nhỏ hơn 0.5) và điều này có thể làm tăng cường độ của bê tông. Tuy nhiên tác động này rất nhỏ.

Từ biến có ảnh hưởng lớn đến tính chất và cường độ của kết cấu bê tông cốt thép và bê tông ứng suất trước. Từ biến gây ra hiện tượng truyền dần tải trọng từ bê tông sang cốt thép. Khi cốt thép biến dạng lớn, phần tăng lên của tải trọng lại truyền sang bê tông, do đó cường độ tối đa của cả thép và bê tông tăng trước khi bị phá hoại - đã có công thức thiết kế về vấn đề này. Tuy nhiên, trong kết cấu cột lệch tâm, từ biến tăng tạo ra sự mất ổn định và có thể dẫn đến oằn gãy. Trong kết cấu siêu tĩnh, từ biến có thể làm giảm sự tập trung ứng suất gây ra bởi co ngót, nhiệt độ thay đổi, hay sự dịch chuyển gối. Trong tất cả các kết cấu bê tông, từ biến làm giảm nội ứng suất do co ngót không đều của các bộ phận kết cấu, do đó làm giảm nứt. Khi tính toán ảnh hưởng của từ biến đến kết cấu, cần nhận thấy rằng biến dạng thực theo thời gian không phải là từ biến “tự do” của bê tông và giá trị của từ biến bị ảnh hưởng bởi số lượng và vị trí các thanh thép.

Mặt khác, trong khối bê tông, từ biến, có thể là nguyên nhân gây ra nứt khi trong khối bê tông chịu sự thay đổi theo chu kỳ của nhiệt độ gây ra bởi sự tăng nhiệt độ của phản ứng thuỷ hoá và sự giảm nhiệt từ từ. Sẽ có ứng suất nén gây ra bởi sự tăng nhanh nhiệt độ của khối bê tông bên trong. Ứng suất này thấp vì mô đun đàn hồi của bê tông ở tuổi sớm thấp. Cường độ của bê tông ở tuổi rất sớm cũng

thấp do đó từ biến rất cao; điều này giảm nhẹ ứng suất nén và ứng suất nén biến mất ngay khi sự làm lạnh xảy ra. Trong quá trình làm lạnh tiếp theo, ứng suất kéo phát triển và bởi vì tốc độ từ biến giảm theo thời gian, các vết nứt có thể xảy ra thậm chí trước khi nhiệt độ giảm xuống tới nhiệt độ ban đầu (khi thi công). Vì lý do này, sự tăng lên của nhiệt độ bên trong của khối lớn bê tông phải được kiểm soát.

Từ biến có thể dẫn đến sự mất ổn định của kết cấu và gây ra các vấn đề khác khi sử dụng, đặc biệt là trong các công trình nhà cao tầng và cầu lớn.

Sự mất mát dự ứng lực do từ biến đã được biết đến rất nhiều và thực vậy, nó dùng để tính toán ứng suất phá hoại khi dự ứng lực.

Ảnh hưởng của từ biến có thể nguy hiểm nhưng nói chung từ biến không giống như co ngót, từ biến có thể làm giảm tập trung ứng và nó góp phần đáng kể vào sự thành công của bê tông với vai trò là vật liệu xây dựng kết cấu.

Các phương pháp thiết kế hợp lý đối với bê tông có xét đến từ biến trong các loại kết cấu khác nhau cần được phát triển.

Ta có thể thấy các biến dạng của mẫu theo thời gian, các biến dạng của mẫu giống với co ngót. Từ biến riêng về nguyên tắc đạt được theo sự chênh lệch giữa biến dạng của mẫu gia tải được quét nhựa và biến dạng của mẫu tương đương nhưng không được gia tải. Đối với mẫu không gia tải (được giữ dưới một lớp polyme cho đến 28 ngày sau đó...) trong môi trường được khống chế cùng một tính toán cho một từ biến tổng cộng, tổng cộng của một từ biến riêng và một biến dạng phụ gọi theo quy ước là từ biến do khô, ngay cả khi nó thể hiện một phần co ngót do khô, mà tác dụng vi mô của nó rất rõ đối với mẫu chịu tải, vì khi đó sự nứt nẻ lớp mặt do khô bị hạn chế bởi sự nén bên ngoài.

Trong các thí nghiệm này cái chấn độ ẩm cũng không hiệu quả như trong các phép đo co ngót, vì không có một lá nhôm đặt ở giữa hai lớp nhựa. Từ biến riêng của đối chứng như vậy có thể được đánh giá hơi quá mức tuy nhiên bê tông cường độ cao thể hiện một từ biến giống nhau trên hai mẫu. Như vậy nó không bị ảnh hưởng bởi giả tượng trên đây.

Từ biến của bê tông cường độ cao được đặc trưng cuối cùng bởi:

- Một động học nhanh (ở 7 ngày gia tải, một tỷ lệ 67% của biến dạng ở một năm đã được thực hiện trong khi đối chứng chỉ có 41%).
- Một biên độ rất yếu ($Kn \leq 0,60$, hai ngày gia tải). Điều này có thể là ít thuận lợi đối với các gia tải ở tuổi ít ngày.
- Một sự độc lập với các tác dụng của độ ẩm và của dạng hình học của kết cấu, một cái lợi thực tế đối với người thiết kế các kết cấu sử dụng các vật liệu, tạo sự tin cậy vào sự hợp thức cho tính toán của họ.

Tính toán từ biến.

Từ biến là các biến dạng theo thời gian dài (muộn) của bê tông dưới ảnh hưởng của các ứng lực.

Nếu bê tông chưa chịu tải ở tuổi t chịu một ứng lực liên tục, có thể chấp nhận biến dạng do từ biến ở một thời điểm xác định tỷ lệ với ứng lực (thấp hơn khoảng 0,6). Từ biến có thể được chia làm 2 phần:

- Từ biến tự nhiên xuất hiện khi bê tông không trao đổi ẩm với môi trường bên ngoài. Hiện tượng này về mặt nguyên tắc độc lập với kích cỡ của kết cấu.

- Từ biến khô trong khi bê tông chịu tải, phụ thuộc vào kích cỡ của kết cấu.

Biên độ từ biến tự nhiên cuối cùng phụ thuộc vào ứng lực tác dụng, vào modun đàn hồi đến 28 ngày của bê tông E_{i28} , và đối với các bê tông có kích thích của silic, nó còn phụ thuộc vào ứng suất của bê tông vào thời điểm chịu tải t chịu tải lúc còn non và có kích thích của silic thì tính động càng nhanh. Biến dạng từ biến tự nhiên xuất hiện trong khoảng thời gian (t_1, t), t_1 có thể được tính toán bởi các biểu thức sau:

- Đối với bê tông không có kích thích của silic.

$$\varepsilon_{tp}(t, t_1, t_{c28}, E_{i2b}, \sigma) = 1,4 \frac{\sigma \sqrt{(t - t_1)}}{E_{i2} \left[\sqrt{t - t_1} + 0,10 \exp \left(3,1 \frac{f_c(t_1)}{f_{c28}} \right) \right]}$$

- Đối với bê tông có kích thích của silic:

$$\varepsilon_{tp}(t, t_1, t_{c28}, E_{i2b}, \sigma) = \frac{3,6}{f_0(t_1)^{0,37}} \cdot \frac{\sigma \sqrt{(t - t_1)}}{E_{i28} \left[\sqrt{t - t_1} + 0,37 \exp \left(2,8 \frac{f_c(t_1)}{f_{c28}} \right) \right]}$$

Từ biến do khô được xác định bằng cách tham chiếu độ co do khô xảy ra quá trình chịu tải. Ta nhận thấy là các bê tông sức bền cao có kích thích của silic từ biến khô không đáng kể. Được tính như sau:

$$\varepsilon_{fd} = [\varepsilon_{nd}(t) - \varepsilon_{nt}(t_1)] \frac{\sigma}{E_{i28}} \times 10^3$$

Cũng như độ co, tổng từ biến là phép cộng của hai biến dạng thành phần, và có tính đến lực cản của các khung thép. Thành phần muội silic:

$$\varepsilon_{fin} = \frac{\varepsilon_{tp} + \varepsilon_{fd}}{1 + nfs}$$

Trong đó $n = 15$ khi $40 \leq f_{c28} < 60$ MPa

$n = 9$ khi $60 \leq f_{c28} \leq 80$ MPa

Tuy nhiên trong các kết cấu mà mật độ cốt thép trong các vùng là rất khác nhau thì cần thiết phải tính độ rỗng của từng vùng và có tính đến vị trí của các khung thép.

Trị số E_{i28} – Mô đun biến dạng sau được tính như sau:

$$E_{i28} = \frac{11000}{1 + \phi} \times R_{28}^{1/3}$$

Nếu $R_{28} < 60$ MPa thì $\phi = 2$ (không có muội silic)

Nếu $R_{28} > 60$ MPa thì có muội silic : $\phi = 0,8$

Biểu đồ ứng suất biến dạng hình chữ nhật với trị số cường độ bê tông và biến dạng cuối cùng được điều chỉnh có thể áp dụng cho việc tính toán cường độ kết cấu bê tông cốt thép sử dụng bê tông cường độ cao đến 80 MPa. Các trị số tính toán co ngót từ biến, modun đàn hồi có thể áp dụng trong tính toán về cường độ, về nứt, biến dạng cho kết cấu bê tông cốt thép và bê tông cốt thép dự ứng lực sử dụng bê tông có cường độ chịu nén cao.

11. Sự dính kết với thép thụ động:

Về vấn đề này tài liệu còn chưa có nhiều lăm. Rosenberg và những người khác trình bày các kết quả thí nghiệm nhô lên (ống tuýp có thành phần nhẵn đặt vào trong một hình trụ bằng bê tông cường độ cao) trên hai loại bê tông có và không muội silic. Sự dính kết trung bình tăng lên 40%, đối với một tăng thêm cường độ nén khoảng 50% Burger đã so sánh sự dính kết của vật liệu với tỷ lệ nước/xi măng không đổi. Khi đó cũng vậy có và không có muội silic. Sự dính kết biến đổi trong một tỷ số 3,2 và 1,5 lần lượt đối với các thí nghiệm trên hồ tinh ($N/X=0,20$) trên vữa ($N/X=0,30$) và trên bê tông ($N/X=0,35$). Wecharatana và những người khác cũng tiến hành những thí nghiệm trên một loại bê tông BHP có cường độ trung bình năm vào khoảng 75 và 80 MPa, nhưng không có bê tông đối chứng, so sánh với các thí nghiệm tìm thấy trong tài liệu, chúng ghi lại sự hoạt động của mối liên hệ rất kém tức là những sự trượt yếu hơn trước khi giảm lực dính kể. Cuối cùng Lorran và những người khác là tác giả của các tài liệu hoàn chỉnh hơn lớp phủ bằng một mẫu được đổ trong một hình trụ bằng kim loại làm nhiệm vụ của ván khuôn và thí nghiệm kéo, trong đó người ta rút trên cốt thép được gắn trong một hình trụ bằng bê tông bởi hai đầu của chúng. Sự dính kết thể hiện mối tương quan tốt với cường độ kéo của bê tông. Các thông số lực cực đại, độ cứng, tính hồi phục hoạt động theo một hướng có lợi khi tuổi của bê tông, chiều dài tiếp xúc của bê tông cốt thép hoặc các tỉ số chất dính kết/nước tăng lên.

Những lực cắt đạt được trong đầm bằng bê tông cường độ cao lớn hơn nhiều so với các lực cắt đạt được trong đầm đối chứng. Thể hiện một hiệu ứng tỉ lệ khá lớn có lẽ có thể giải thích được bằng co ngót nội tại, nó tạo nên một sự xiết chặt càng lớn khi tỉ lệ % của thép trong đầm càng nhỏ.

Với sự dính kết của các cốt thép lớn là thấp hơn sự dính kết của các cốt thép nhỏ, tuy nhiên người ta có thể ghi nhận với sự gần đúng đầu tiên là tỉ số các lực cắt

trung bình (giá trị trung bình của các ứng suất đối với sự trượt bằng 10 và 100 μm , đối với các tập hợp các đường kính thử) là như tỉ số của cường độ kéo, đó còn là kết quả cổ điển của các loại bê tông thông thường, có thể nội suy được cho bê tông cường độ cao.

Một hiệu quả tức thì của sự cải thiện lực dính kết là giảm tương quan các chiều dài neo. Ngoài ra một tác dụng thuận lợi phát sinh từ đó để định kích thước các đầm bê tông cốt thép bị uốn, khi sự nứt nẻ được đánh giá là có hại hoặc rất có hại. Thật vậy trong các trường hợp như vậy người thiết kế tiến tới giảm ứng suất làm việc của cốt thép để hạn chế độ mở của các vết nứt của bê tông thường. Một tính toán so sánh khi đó chỉ ra là trong một tấm đan bị uốn theo một hướng được định kích thước để chịu được tải trọng đã cho, đối với tấm đan bằng bê tông cường độ cao, cho cốt thép làm việc ở cực đại vẫn đạt được độ mở rộng lý thuyết của vết nứt nhỏ hơn vết nứt của kết cấu tương tự bằng bê tông thường.

Việc sử dụng bê tông cường độ cao đồng thời thể hiện bằng việc giảm chiều dày của tấm đan và giảm tiết diện thép để có được tổng giá cả vật liệu tại chỗ rẻ hơn.

12. Các tính chất khác:

Cường độ mài mòn là đối tượng của một vài tài liệu xuất bản liên quan đến cách cải thiện khả năng của mặt bê tông chống lại sự xâm thực cơ học cục bộ. Như vậy Holland đã nghiên cứu một vật liệu dùng cho bể tràn của đập (đập Kinzua - USA) trong trường hợp nước lên nó bị chảy rất mạnh có chức phù sa và các mảnh khác. Bê tông có sợi đã tỏ ra không có phẩm chất tốt hơn bê tông thường, cuối cùng đã chọn bê tông cường độ cao, theo chủ nhiệm công trình thì bê tông này đạt mọi yêu cầu. Gjover đã quan tâm đến loại vật liệu này dùng cho lớp phủ mặt đường và đã thử một loại tổ hợp có đường độ khác nhau trên một vòng quay thử độ mỏi. Chuẩn mực về phẩm chất là bê dày của phần vật liệu được nhổ từ vật liệu theo số chu kỳ, sự tương quan, (ngược lại) của yếu tố này với cường độ nén là khá tốt, với bê tông cường độ cao có cường độ 150 MPa, hoạt động của nó so sánh được với khối đá Granit, do chất lượng liên kết tốt hơn giữa hồ và cốt liệu.

Như đã nêu ở trên, các kết cấu bằng bê tông có cường độ rất cao tiến gần đến các kết cấu bằng kim loại một cách logic bởi hình thể, tính nhẹ nhàng và mềm dẻo của chúng. Khi đó có thể là các ván đê về mỗi xuất hiện, một vài tài liệu nói về vấn đề này, được nghiên cứu đặc biệt để áp dụng trong xây dựng khai thác dầu khí ngoài khơi. Về mặt kéo cũng như nén phẩm chất của bê tông cường độ cao hình như không khác bê tông cổ điển, đối với các tỉ lệ ứng suất làm việc/ứng suất phá hoại có thể tương đương.

13. Mô hình hóa vật liệu để áp dụng cho thiết kế các kết cấu

Trong phần này mô tả tổng hợp các tính chất của bê tông cường độ cao gắn với

tinh thần của những qui tắc của BAEL/BPEL, các qui tắc đó đã được mở rộng cho bê tông cường độ cao ($f_c \geq 60$ MPa), làm cơ sở cho các tính toán kết cấu bê tông cốt thép và bê tông cốt thép DUL sử dụng bê tông cường độ cao.

Mô hình vật liệu

Về biến dạng cần xem xét đến việc tính toán các biến dạng tức thời và biến dạng về sau bởi sự co, từ biến của các bê tông có cường độ chịu nén cao từ 60 đến 80 MPa.

Khi tính toán giới hạn sử dụng, thông thường chỉ cần chọn mô hình đàn hồi và tuyến tính. Đối với bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao, mô đun và mô đun tiếp tiếp tuyến ban đầu được coi là như nhau do đường biến dạng có độ dốc lớn.

Khi tính toán giới hạn biến dạng cuối (ε_{b2}), bê tông chịu biến dạng lớn thì ứng lực phải chịu sẽ đạt tối đa bằng ứng suất nén của bê tông và rồi giảm cho tới khi bị ngắt cường độ nén (điều này phụ thuộc vào građien của biến dạng và việc có hay không có cốt thép đai). Kể từ thời điểm lực tác dụng, trường của biến dạng không còn đồng nhất nữa. Bề mặt của bê tông bị bóc ở chỗ biến dạng lớn nhất và việc ngắt diễn ra bởi việc định vị các biến dạng trong các bề mặt trơn. Sau đó, khả năng chịu tải của kết cấu không còn phụ thuộc vào ứng suất ban đầu của bê tông nữa.

Để đơn giản, ta coi rằng ứng xử của vật liệu có thể được mô tả qua biểu thức ứng suất - biến dạng, ngay cả sau khi cho lực tác dụng. Trong trường hợp thông thường, nếu không cần tính toán cụ thể, chi tiết các biến dạng, ta có thể chấp nhận biểu đồ parabol - tứ giác trong đó phần nằm ngang trải dài trên các hoành độ từ ε_{b1} đến ε_{b2} với (Hình 3.6.).

$$\varepsilon_{b1} = 2 \cdot 10^{-3}$$

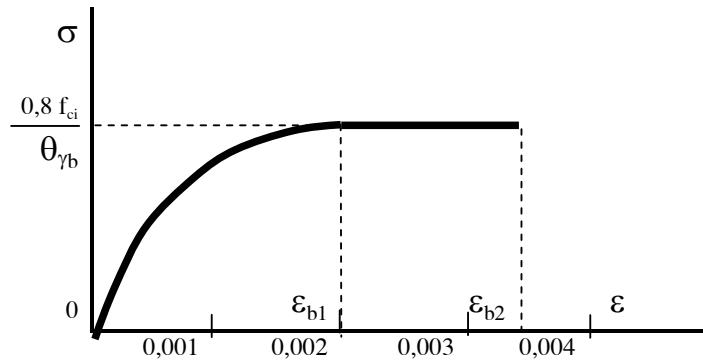
$$\varepsilon_{b2} = (4,5 - 0,025 f_{cj}) 10^{-3}$$

Khi cần tính toán chính xác các biến dạng, nhất là trong các tính toán độ bền vững về hình dạng, thì mô hình parabol - tứ giác chưa đủ. Lúc này cần xét đến tính không đàn hồi của BCĐC và sử dụng các mô hình phi tuyến.

Trị số cường độ tính toán của bê tông cường độ cao và chất lượng cao được ký hiệu là f'_{ct} và được tính như sau:

$$f'_{ct} = 0,8 \frac{f'_c}{\theta \cdot \gamma_b}$$

Trong đó: cường độ chịu nén f'_{ct} được thí nghiệm ở ngày t (3,7, 14, 28 ngày hoặc lớn hơn)



Hình 3.9. Biểu đồ quan hệ cường độ – biến dạng theo đề nghị BAEL

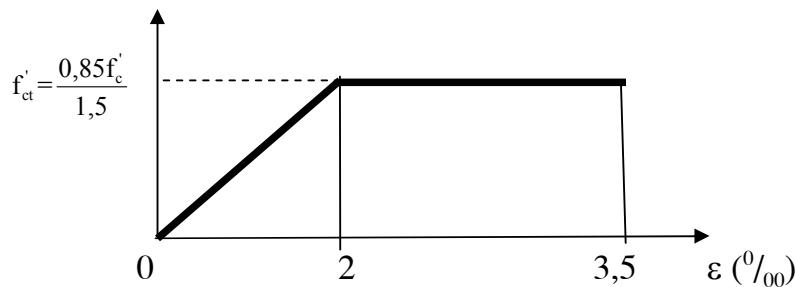
Theo đề nghị của Pháp

$$\gamma_b = 1,5; \theta = 0,8 \text{ hoặc } 1$$

Hiện nay đã được thống nhất hệ số 0,8 được thay bằng hệ số 0,75, hệ số $\gamma_b = 1,5; \theta = 1$. Như vậy:

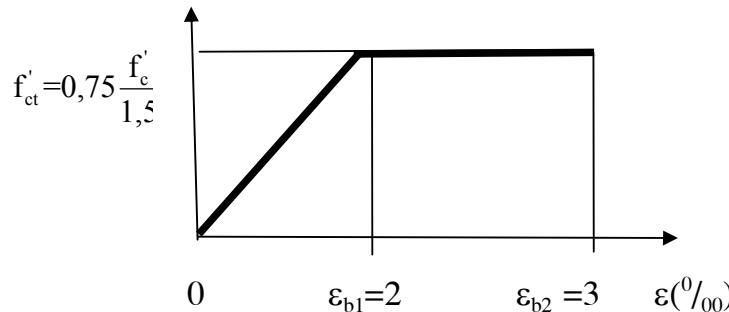
$$f'_{ct} = 0,75 \frac{f'_c}{1,5}$$

Trong trường hợp đơn giản hóa biểu đồ Parabol-tứ giác có thể chuyển biểu đồ đường thẳng cho bê tông thường (hình 3.10.) thành biểu đồ đường thẳng cho bê tông cường độ cao (hình 3.11.) như sau:



Hình 3.10. Biểu đồ ứng suất biến dạng cho bê tông thường

Cường độ tính toán của bê tông cường độ cao ký hiệu f'_c được tính theo hệ số 0,75.



Hình 3.11. Biểu đồ ứng suất biến dạng hình chữ nhật cho bê tông CĐC

Trị số ε_{b2} theo BAEL lấy theo bảng 3.5.

Bảng 3.5.

R_{bt}	40	50	60	708	80
$\varepsilon_{b2} \cdot 10^{-3}$	3,5	3,25	3	2,75	2,5

Trị số λ theo BAEL lấy theo bảng 3.6.

Bảng 3.6.

R_{bt}	40	50	60	70	80
λ	0,8	0,78	0,77	0,75	0,78

Khi xem xét mô hình vật liệu có thể tham khảo hai mô hình sau:

Mô hình của Larrard		Mô hình của GS Phạm Duy Hữu	
Vật liệu	Bê tông B90	Vật liệu	Bê tông B70
Mô đun tính năng, MPa		Mô đun tính năng, MPa	
f'_c 1 ngày	20	f'_c 3 ngày	57
f_t 1 ngày	2	f_t 3 ngày	4
E 1 ngày	35.000	E 3 ngày	38.000
f'_c 7 ngày	75	f'_c 7 ngày	62
f_t 7 ngày	5.5	f_t 7 ngày	4.6
E 7 ngày	51.000	E 7 ngày	42.000
f'_c 28 ngày	90	f'_c 28 ngày	77
f_t 28 ngày	6.0	f_t 28 ngày	5.7
E 28 ngày	53.000	E 28 ngày	43.500
Biểu đồ ứng suất biến dạng qui ước		Biểu đồ ứng suất biến dạng qui ước	
Co ngót:	$2-3 \cdot 10^{-4}$	Co ngót:	$2-3 \cdot 10^{-4}$
Hệ số từ biến:	0.8	Hệ số từ biến:	0.8

14. Tính công tác

Sau khi nhào trộn, bê tông cần có độ dẻo nhất định để đảm bảo việc vận

chuyển, đổ khuôn, đầm chặt dễ dàng không bị phân tầng tạo ra được bê tông có độ đặc cần thiết. Độ dẻo của hỗn hợp bê tông cường độ cao được xác định bằng độ sụt, đo bằng côn Abram.

Bê tông cường độ cao yêu cầu có độ đặc cao, do đó hỗn hợp bê tông cần có tính công tác thích hợp. Độ sụt 10÷12 cm có thể cung cấp đầy đủ tính công tác cho hỗn hợp bê tông mặc dù có nhiều loại bê tông cường độ cao sử dụng độ sụt 20÷25 cm.

Bê tông cường độ cao có tỷ lệ N/X thấp (từ 0,35- 0,25), do đó để đảm bảo tính công tác phải sử dụng phụ gia siêu dẻo. Ngoài yêu cầu về độ sụt cao (15 ÷ 20 cm), hỗn hợp bê tông cường độ cao cần giữ được độ sụt trong khoảng thời gian tối thiểu 45 ÷ 60 phút.

Mặc dù lượng nước dùng rất thấp so với liều lượng thông thường (khoảng 100 – 170 lít/m³), các bê tông cường độ cao luôn cho độ sụt côn Abram vào khoảng 20cm khi ra khỏi máy trộn. Sự cách ly các hạt có được bởi các chất siêu dẻo, từ đó có được một loại bê tông chảy dưới tác dụng của trọng lực, với một tốc độ phụ thuộc độ nhớt của hỗn hợp. Đối với tỷ lệ nước/xi măng dưới 0,3 độ sệt mặc dù rất cao bê tông vẫn nhớt và “dính”. Bê tông được đổ tốt, nhưng để được như vậy cần chấn động như bê tông thông thường có độ sệt được gọi là “dẻo”. Khi tháo ván khuôn đôi khi có bọt xuất hiện là hậu quả của độ nhớt của vật liệu tươi.

Tính dẽ đổ có thể chỉ giữ được trong thời gian ngắn, nếu thực tế cần xét trước vấn đề này khi định ra công thức bê tông. Tuy nhiên việc đạt được một thời gian thực tế sử dụng cao hơn một giờ hoàn toàn có thể đạt được, bằng cách dùng một chất làm chậm ninh kết. Trong bê tông M 70 khi dùng chất siêu dẻo có thể giữ được độ dẻo sau 40-60 phút khoảng 0,7 độ so với ban đầu (8-14cm).

Yêu cầu phụ gia siêu dẻo phải hạn chế được sự mất mát độ sụt, đồng thời tăng được độ bền và khả năng chịu ăn mòn sun-phát của bê tông. Hiện nay một loại phụ gia siêu dẻo mới gốc Cacboxyl Acrylic Ester (CAE) có khả năng đạt được yêu cầu này.

Các yếu tố ảnh hưởng đến tính công tác của hỗn hợp bê tông:

- Lượng nước nhào trộn: là nhân tố quan trọng tạo ra tính dẻo của hỗn hợp bê tông. Khi lượng nước đủ lớn xuất hiện một lượng nước tự do thì lượng nước này sẽ lấp đầy các lỗ rỗng giữa các hạt vật liệu, và đẩy xa các hạt tạo điều kiện cho các hạt vật liệu dịch chuyển dễ dàng. Khi lượng nước tăng thì độ dẻo của hỗn hợp bê tông cũng tăng lên nhanh chóng. Tuy nhiên với bê tông cường độ cao, tỷ lệ X/N lớn, nếu lượng nước nhào trộn lớn sẽ yêu cầu lượng xi măng lớn. Do đó lượng nước nhào trộn chỉ dùng để tạo ra tính dẻo cho hỗn hợp bê tông, còn để có tính dẻo cao

thì phải sử dụng phụ gia tăng dẻo. ACI kiến nghị độ sút của hỗn hợp bê tông do nước nhào trộn < 5cm.

– Xi măng: Nếu hỗn hợp bê tông có đủ xi măng để cùng với nước lấp đầy lỗ rỗng của cốt liệu, bọc và bôi trơn bề mặt của chúng thì độ lưu động sẽ tăng lên. Nhưng khi lượng xi măng quá lớn thì độ dẻo của hỗn hợp bê tông lại giảm xuống do nồng độ xi măng tăng làm thay đổi các đặc trưng lưu biến của hồ xi măng.

Xi măng có lượng nước tiêu chuẩn cao sẽ cho hỗn hợp bê tông có tính công tác thấp hơn, với cùng một thành phần vật liệu.

– Vữa xi măng: Nếu vữa xi măng (hồ xi măng + cốt liệu nhỏ) chỉ đủ để lấp đầy lỗ rỗng của cốt liệu lớn thì hỗn hợp bê tông rất cứng. Để tạo cho hỗn hợp có độ lưu động thì phải đẩy xa các hạt cốt liệu lớn và bọc xung quanh chúng một lớp vữa xi măng.

– Cốt liệu:

Độ lớn của cốt liệu: cốt liệu càng lớn thì tổng diện tích bề mặt giảm, lượng nước hấp thụ nhỏ, lượng nước tự do lớn thì độ dẻo tăng.

– Phụ gia tăng dẻo: Đây là yếu tố quan trọng để có được hỗn hợp bê tông có độ dẻo cao. Khi dùng với một lượng phụ gia hợp lý sẽ tăng được đáng kể độ lưu động của hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên khi sử dụng phụ gia tăng dẻo cần phải tuân thủ các chỉ dẫn của nhà sản xuất.

– Chấn động: dưới tác động của ngoại lực (rung động), độ dẻo của hỗn hợp bê tông tăng. Tuy nhiên nếu thời gian rung động lớn sẽ làm khuấy động hỗn hợp bê tông gây phân tầng và mất tính đồng nhất.

15. Tính chất của bê tông trong giai đoạn mềm(ngủ):

Giai đoạn ngủ là thời gian giữa khi đổ và khi kết thúc đông kết. Thời gian này có thể biến đổi nhiều từ một bê tông cường độ cao này sang bê tông cường độ cao khác. Phản ứng thuỷ hoá là một loại tự hoạt hoá, cần phải có một sự tăng nhiệt độ nhỏ để khơi mào. Ngược lại khí hậu lạnh và hoặc một lượng nhỏ chất phụ gia không hợp lý có thể làm chậm sự nín kết đến 48 giờ thậm chí đến 72 giờ và lâu hơn.

Sự có mặt của các hạt cực mịn, nếu có số lượng đủ (trong thực tế khoảng 7 - 10% của trọng lượng xi măng), cho phép sự ổn định của bê tông ở trạng thái ướt. Dung dịch bê tông đông lại và có dạng “gen” sau một thời gian sau khi trộn. Độ chảy sau khi trộn (khi không xét hiệu quả của chất tăng dẻo) có kết quả ngược lại với hồ xi măng cổ điển; Dưới tác dụng của trọng lực làm chặt cấu trúc hạt bằng cách đẩy nước thừa (hiện tượng tiết nước) nhưng trong bê tông cường độ cao không thấy tiết nước trên các bề mặt tự do của các bê tông cường độ cao.

Các hiện tượng phân tầng hầm như ít xuất hiện với bê tông cường độ cao và bê tông cường độ rất cao do liên kết mạnh hơn giữa các hạt của chất dính kết.

Tuy nhiên sự ổn định cũng có hai mặt kém thuận lợi. Sự không tiết nước của bê tông làm cho bê tông khô sớm, điều quan trọng là phải bảo dưỡng tốt bê tông nếu không sẽ có nguy cơ nứt nẻ do co缩 (sự do diễn ra trước khi bê tông ninh kết).

16. Sự tỏa nhiệt khi đông kết:

Sự tỏa nhiệt khi đông kết phụ thuộc vào tổng lượng chất dính kết trong bê tông. Trong đó phần xi măng là quan trọng (trong trường hợp các bê tông cấu trúc cổ điển). Muội silic tác dụng trong phản ứng như là chất xúc tác, làm cho sự tăng nhiệt độ ban đầu khá “mạnh”. Kết quả là một sự tăng nhiệt độ nhiều ngày trong những cấu kiện mỏng (chúng ta có thể đo được tới 8°C độ tăng nhiệt trong các hình trụ đường kính $\phi 16\text{cm}$). Laplante và những người khác kể lại một sự tăng nhiệt độ 40°C trong các cột có cạnh bằng 1m. Như vậy nhiệt độ trong các cấu kiện bê tông cường độ cao có thể đạt đến $60 - 70^{\circ}\text{C}$.

Trong những cấu kiện lớn như vậy, nguy cơ nứt nẻ do nguồn nhiệt không tỏa được tăng lên mạnh, có tính đến sự xuất hiện nhanh cường độ kéo. Những trường hợp có thể được nghiên cứu bằng cách giả thuyết về trường nhiệt độ và biến dạng bị ngăn cản trong thời gian ninh kết.

Câu hỏi:

1. Cường độ, mô đun gãy, cường độ kéo uốn và mô đun đàn hồi của HSC?
2. Co ngót, từ biến của bê tông HPC?
3. Các đặc trưng cơ học và độ bền được cải tiến của bê tông HSC và HPC?

CHƯƠNG 4

THIẾT KẾ BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO

1. Mở đầu

Mục đích chính của thiết kế là xác định thành phần, tính chất bê tông chất lượng cao và cung cấp thông tin cho các kỹ sư thiết kế kết cấu để thiết kế và xây dựng các cầu và các kết cấu có liên quan sử dụng bê tông và bê tông chất lượng cao (HPC).

Nghiên cứu này sẽ được cập nhập với những phát triển mới nhất trong ngành bê tông cầu; các thông báo của Hiệp hội các Kỹ sư Giao thông và Đường cao tốc Bang của Hoa kỳ (AASHTO) và Viện Bê tông Hoa kỳ (ACI), Viện Bê tông Dự ứng lực và Đức sǎn (PCI), Hội Cầu Đường Việt Nam, tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam-2006. Hội nghị bê tông chất lượng cao châu Á năm 2008

Tài liệu nghiên cứu này cung cấp các hướng dẫn về thiết kế bê tông HPC dùng cho các kết cấu cầu, đường, nhà cao tầng và các công trình khác.

Bê tông được nhắc đến trong báo cáo này là bê tông có cường độ nén tối thiểu từ 60-100MPa.

Phạm vi của nghiên cứu hướng dẫn này đề cập đến các vấn đề cơ bản của việc phát triển và sản xuất HPC với những đặc tính mong muốn và có lợi cho kết cấu xây dựng mới trên cơ sở vật liệu cát, đá, xi măng, phụ gia ở Việt Nam.

Hơn 10 năm qua, cộng đồng quốc tế đã có những tiến bộ vượt bậc trong việc triển khai công nghệ Bê tông chất lượng cao (HPC) với cố gắng để tăng tuổi thọ phục vụ của các cây cầu, đường, nhà và công trình biển. Một vài Cơ quan Giao thông Hoa Kỳ đã tiến hành các dự án sử dụng bê tông có tính năng cao trong các kết cấu cầu. Ở Nga, Pháp và đặc biệt là Nhật Bản đã sử dụng bê tông tính năng cao trong các kết cấu cầu. Theo TCVN đã quy định các vấn đề về độ bền dưới tác dụng của không khí và nước biển với kết cấu cầu. Thực chất bê tông kết cấu cầu đã được chính phủ Việt Nam coi là bê tông chất lượng cao. Điều này có thể hiểu là bê tông kết cấu cầu phải đảm bảo cả các tính năng về cường độ và độ bền dưới tác động của môi trường và có tuổi thọ cao. Khi sử dụng bê tông thường (cường độ nén đến 50MPa) tuổi thọ khai thác của kết cấu bê tông cốt thép chỉ đạt được đến 50 năm.

Khái niệm HPC được sử dụng để mô tả bê tông được sản xuất với các thành phần nguyên liệu có chất lượng cao, được lựa chọn cẩn thận, tỉ lệ hỗn hợp được thiết kế tối ưu, sau đó được trộn, đổ, đóng rắn và xử lý với những tiêu chuẩn kỹ thuật cao nhất. Điển hình, HPC sẽ có tỉ lệ nước/vật liệu kết dính (w/cm) là 0,4 hoặc

ít hơn. Tỉ lệ này phụ thuộc rất nhiều vào việc sử dụng có hiệu quả các hợp chất để đạt được khả năng làm việc cao và các tính chất thông dụng khác của hỗn hợp HPC. Bê tông chất lượng cao đã được nghiên cứu tại Hà Nội trên cơ sở các vật liệu từ Quảng Ninh đến Quảng Bình, ở các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long (Nam Bộ) [1, 2] với vật liệu đại phương là cần thiết. Loại bê tông này chủ yếu để xây dựng các cầu lớn và các ngôi nhà cao tầng, công trình ngoài biển và các công trình đặc biệt khác. Nhóm tác giả hy vọng nó sẽ là một tài liệu tham khảo cho các kỹ sư và các nhà nghiên cứu áp dụng trong các dự án xây dựng các công trình đòi hỏi cường độ, độ bền cao đáp ứng tuổi thọ khai thác từ 75-100 năm.

2. Các yêu cầu khi thiết kế bê tông chất lượng cao (HPC)

2.1. Các yêu cầu chung

Để đáp ứng nhu cầu tăng tuổi thọ phục vụ với chi phí hợp lý các kết cấu xây dựng mới, cần sử dụng bê tông chất lượng cao - gọi tắt là HPC. Định nghĩa về HPC dựa trên cơ sở các tiêu chuẩn về tính năng tuổi thọ.

HPC là bê tông chất lượng cao đáp ứng các tổ hợp tính năng về cường độ và độ bền và những yêu cầu khác. Bê tông sử dụng các thành phần nguyên liệu, áp dụng các công nghệ trộn, đổ, bảo dưỡng đặc biệt. HPC còn có cường độ sớm, $f'_{c3} \geq 0,85f'_{c28}$. Cường độ chịu nén tối thiểu tuổi 28 ngày $\geq 60.0 - 100\text{MPa}$ (theo viện bê tông Hoa Kỳ). Độ bền cao hơn bê tông thường tùy theo yêu cầu được kiến nghị sử dụng.

Các tính chất khác nhau của bê tông HPC ở trạng tươi, trạng thái mềm và trạng thái đã đóng rắn ảnh hưởng lên tính năng kết cấu cầu, nhà và công trình biển.

Nhiệt độ bê tông tươi $t_B < 20^\circ\text{C}$ nhiệt độ này đảm bảo bê tông khối lớn không bị nứt do nhiệt độ trong giai đoạn đầu (1-10 ngày). Mức chênh nhiệt độ bên ngoài và trong lõi khối bê tông không vượt quá mức chênh nhiệt độ gây nứt.

Nói chung bê tông chất lượng cao nên được đổ có độ sụt thấp nhất mà vẫn đảm bảo việc vận chuyển và đổ khuôn dễ dàng. Độ sụt từ 5-10cm là phổ biến. Tuy nhiên các kết cấu cầu và nhà cao tầng do có mật độ cốt thép và khoảng cách giữa các cốt thép là rất nhỏ nên độ sụt của bê tông từ 15-20cm. Thời gian giữ độ sụt khoảng 1-2 giờ.

Vì hàm lượng chất kết dính và cốt liệu thô lớn, tỷ lệ N/X thấp nên hỗn hợp sẽ rất khô. Bê tông chất lượng cao cần sử dụng các chất giảm nước cao (HRWR) với hàm lượng từ 0.7-2.0lit/100kgXM. Các chất HRWR còn có thể giúp bê tông chất lượng cao tăng cường độ ở các tuổi (3,7,28 ngày). Việc sử dụng HRWR còn đặc biệt thích hợp với việc đổ bê tông trong điều kiện khí hậu nóng.

Ở trạng thái tươi khả năng chảy (độ sụt) là một đặc tính quan trọng, nó thể hiện trạng thái dễ dàng hoặc khó khăn của việc đổ bê tông phụ thuộc vào các thiết bị hiện có. Độ sụt được xác định bằng dụng cụ đo độ sụt (côn Abrams) tại trạng thái trước khi đổ bê tông. Độ sụt yêu cầu 18 ± 2 cm và phải giữ được tối thiểu là 1 giờ. Yêu cầu thời gian giữ độ sụt lớn hơn thời gian thi công hoàn thiện kết cấu.

Mức độ thích hợp của dòng chảy đối với một hạng mục nhất định sẽ ảnh hưởng đến chất lượng của hạng mục sau khi đã hoàn thành, đảm bảo khả năng bê tông sẽ lấp đầy được các lỗ rỗng giữ các cốt liệu và cốt thép. Dòng chảy lan của bê tông được xác định bằng thí nghiệm đo độ chảy lan của bê tông. Trị số này không nhỏ hơn 550mm.

Bê tông với khả năng chảy cao thì dễ dàng cho công việc đổ và thuận lợi trong việc loại bỏ các lỗ khí không mong muốn trong bê tông. Bê tông cần cho phần kết cấu nên có độ sụt 18-20cm và phần mặt cầu nên từ 6 - 10cm. Căn cứ vào tính công tác yêu cầu và đặc tính của cốt liệu và đặc tính của kết cấu bê tông người thiết kế quyết định lượng nước cho bê tông.

Cường độ và đặc tính cơ học bao gồm: cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ kéo bửa, mô đun đàn hồi, hệ số Poisson. biến dạng dài hồi và biến dạng tối đa.

Cường độ chịu nén HPC làm cầu thường yêu cầu từ 60-100MPa, mô đun đàn hồi vượt qua trị số 38-42GPa

Cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ kéo bửa HPC đã vượt quá trị số 5 MPa và là cơ sở cho các kỹ sư kết cấu phát triển các kết cấu mới.

Độ bền bao gồm: khả năng chống thấm khí, nước, chống xâm nhập ion clorua, phản ứng kiềm silic, chịu sulphát, chống tia vật lý, phản ứng cacbon nát hóa.

Với bê tông thường độ thấm ion Clo được đo bằng điện lượng (từ 2000-4000culông). Với bê tông HPC độ thấm này thường nhỏ hơn 1500culông. Nhóm nghiên cứu đã làm các thực nghiệm cho thấy rằng bê tông HPC 80 có độ thấm ion Clo rất thấp (<1000 culông). Các chỉ tiêu về độ chống thấm và bền sulfat của HPC đều cao hơn so với bê tông thường. Độ bền là yếu tố quan trọng nhất đối với các loại kết cấu để lộ ra ngoài môi trường để đảm bảo tuổi thọ khai thác của kết cấu cầu có thể đến 100 năm.

Các đặc tính được xác định bằng cách tiến hành thí nghiệm tiêu chuẩn và xác định cấp độ tính năng được đề xuất cho mỗi đặc tính. Bê tông dùng cho mỗi loại kết cấu có thể cần đến một hoặc nhiều các đặc tính này. Với bê tông làm cầu tính năng về cường độ chịu nén theo tuổi, cường độ chịu kéo khi uốn, môđun đàn hồi là

quan trọng. Các tính chất và cấp độ của vật liệu cần phải được lựa chọn theo ứng dụng mong muốn và môi trường của bê tông.

Các cấp độ của tính năng đối với bê tông kết cấu chất lượng cao có thể tham khảo trong bảng 4.1 và 4.2. Có thể hiện cấp độ tính năng quyết định cấp về tuổi thọ kết cấu (có thể là 75, 100 năm).

Ở Việt Nam bê tông kết cấu cầu đã xét đến cường độ, mô đun đàn hồi, co ngót, từ biến đề cập đến trong 22TCN272-05 và được áp dụng trong các dự án cầu lớn.

Bảng 4.1. Các tiêu chuẩn thí nghiệm

TT	Các đặc tính về tính năng	Phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn
1	Cường độ chịu nén, f'_c , MPa	ASTM C39 TCXD 225-98
2	Cường độ chịu nén cho bê tông DUL bản mặt cầu, MPa	ASTM C39 TCXD 225-98
5	Hệ số giãn nở nhiệt,	22TCN272-05
6	Co ngót, mm/mm	22TCN272-05 CEB-FIP; ACI 209
7	Từ biến, mm/mm	22TCN272-05 CEB-FIP; ACI 209
8	Mô đun đàn hồi	ASTM C469-94
9	Hệ số Poisson	ASTM C469-94
10	Cường độ chịu kéo khi uốn	ASTM C78-02
11	Cường độ chịu kéo bửa	ASTM C496
12	Nhiệt độ hỗn hợp bê tông	C1064M

**Bảng 4.2. Các cấp độ đặc tính về tính năng theo tiêu chuẩn LRFD-05
đối với bê tông kết cấu chất lượng cao**

Bảng 4.2.

TT	Các đặc tính về tính năng	PP thí nghiệm tiêu chuẩn	Cấp độ tính năng theo FHWA HPC		
			1	2	3
1	Khả năng chịu mài mòn (AR = độ sâu trung bình của vết sứt, mm)	ASTM C 944	$2.0 \geq AR > 1.0$	$1.0 \geq AR > 0.5$	$0.5 \geq AR$
2	Độ thấm clorua (CP = số culông)	AASHTO T 277 ASTM C 1022	$2500 \geq CP > 1500$	$1500 \geq CP > 500$	$500 \geq CP$
3	Khả năng phản ứng kiềm - silic (ASR = độ)	ASTM C 441	$0.20 \geq ASR > 0.15$	$0.15 \geq ASR > 0.10$	$0.10 \geq ASR$

	dãn nở tại 56d) %				
4	Khả năng chịu sulphat (SR = độ dãn nở) %	ASTM C 1012	SR≤0.10 tại 6 tháng	SR≤0.10 tại 12 tháng	SR≤0.10 tại 18 tháng
5	Khả năng chảy (SL = độ sụt, SF = dòng chảy độ sụt)	AASHTO T 199 ASTM C 143, và thí nghiệm dòng chảy độ sụt để xuất	SL>190mm (SL>7-1/2 in),and SF<500 mm (SF< 20 in)	500≤SF≤600 mm (20≤SF≤24 in)	600 mm<SF (24 in<SF)
6	Cường độ (f_c = cường độ nén)	AASHTO T 22 ASTM C 39	55≤ f_c <69 MPa (8≤ f_c <10ksi)	69≤ f_c <79 MPa (10≤ f_c <14ksi)	79 MPa≤ f_c (14ksi≤ f_c)
7	Độ đàn hồi (E_c = mô đun đàn hồi)	ASTM C 469	34≤ E_c <41 GPa (5≤ E_c <6x10 ⁶ psi)	41≤ E_c <48 GPa (6≤ E_c <6x10 ⁶ psi)	48 GPa≤ E_c (7x10 ⁶ psi≤ E_c)
8	Độ co rút (S = biến dạng vì mô) (mm/mmx10 ⁻⁶)	AASHTO T 160 ASTM C 157	800> S ≥600	600> S ≥400	400> S
9	Tù biến (C = biến dạng vì mô/đơn vị ứng suất)	ASTM C 512	75≥ C >55/MPa (0.52≥ C >0.38/psi)	55≥ C >30/MPa (0.38≥ C >0.21/psi)	30/MPa≥ C (0.21/psi≥ C)
	Hệ số nhiệt	Hình trụ 4x8	$2,8 \times 10^{-6}$ mm/mm/0°C		

2.2. Các yêu cầu kỹ thuật bê tông HPC

Các yêu cầu chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông HPC như sau:

1. Độ sụt, cm >19-20
2. Độ sụt sau 60phút >14-15cm
3. Cường độ nén tối thiểu: 60-80MPa
4. Độ thẩm ion Clo: <1500CL
5. Độ chảy lan ≥ 550mm

Trong nghiên cứu về HPC cần chế tạo khoảng 30 mẫu cho từng chỉ tiêu trên để có thể đánh giá giá trị đặc trưng theo lý thuyết xác suất- thống kê, đảm bảo độ tin cậy của thí nghiệm

3. Lựa chọn vật liệu chế tạo bê tông (HPC)

Bê tông HPC yêu cầu về các chỉ tiêu vật liệu chặt chẽ hơn so với bê tông thường được qui định theo tiêu chuẩn ASTM. Các vật liệu chính là: xi măng, các hợp chất hóa học, các vật liệu khoáng siêu mịn, nước, cốt liệu, các chất tăng dẻo, các chất làm chậm

3.1. Xi măng

Tất cả các loại xi măng được sử dụng phải là xi măng Portland thường (ASTM C150) hoặc TCVN 2682-1992 đối với xi măng PC40 và PC50. Cần có các thí nghiệm xác nhận mức độ ảnh hưởng của chất bột khi sử dụng xi măng PCB40.

Khi không cần thiết thì hạn chế sử dụng xi măng kiểu III theo ASTM.

Lượng xi măng cao có thể dẫn đến nhiệt độ tăng cao trong khối bê tông vì vậy cần quy định lượng xi măng tối đa là 525kg/1m³ bê tông. Trong trường hợp cần có cường độ cao hơn nên sử dụng tỷ lệ N/X thấp (từ 0,35-0,26) để vẫn đảm bảo được cường độ mà lượng xi măng dùng không quá lớn gây các hiệu ứng phụ không có lợi cho bê tông (toả nhiệt, từ biến và co ngót lớn).

Ở Việt Nam có nhiều nhà máy xi măng ký hiệu là PCB40, PCB50 với thành phần khoáng vật được ghi ở bảng 4.3.

Bảng 4.3. Thành phần khoáng vật xi măng Việt nam

Loại	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Hoàng Thạch	56	18	10	10
Bỉm Sơn	67	8	5	15
Chinfon	51	23	8	10
Bút Sơn	51	24	8.5	11
Nghi Sơn	52	29	6	10

Khi chế tạo các bê tông có cường độ nén từ 80-120MPa thì cần thiết sử dụng xi măng có cường độ nén đến 60MPa và lớn hơn.

Ở Mỹ chế tạo 5 loại xi măng như sau:

- + Loại I: xi măng tiêu chuẩn.
- + Loại II: xi măng bền sulphate và nhiệt thủy hóa trung bình.
- + Loại III: xi măng cường độ sớm cao.
- + Loại IV: xi măng nhiệt thủy hóa thấp.
- + Loại V: xi măng bền sulphat.

Bảng 4.4. Thành phần khoáng vật xi măng Mỹ và Canada

USA	Canada	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	10	50	24	11	8
II	20	42	33	5	13
III	30	60	13	9	8
IV	40	26	50	5	12
V	50	40	40	4	9

Thời gian bắt đầu đông kết không nhỏ hơn 60 phút, thời gian kết thúc đông kết không nhỏ hơn 8 giờ.

Ở châu Âu để chế tạo bê tông chất lượng cao thường dùng xi măng có phụ gia muội silic với liều lượng từ 5-10% có cường độ nén từ 88-205MPa.

3.2. Các phụ gia hóa học:

Các hợp chất hóa học nói chung đều được sản xuất từ lignin sunphonat, các axit cacboniclic (phenol cao phân tử) được hydrat hóa, các nhóm hydrat – cacbon, Melamin, Napthalin, các chất gia tốc vô cơ và hữu cơ dưới các dạng công thức khác nhau. Việc chọn loại và liều lượng cần tiến hành bằng các thực nghiệm. Các hợp chất hóa học góp phần tăng đáng kể cường độ nén, kiểm soát tốc độ đóng rắn, thúc đẩy nhanh cường độ, cải thiện khả năng làm việc và độ bền lâu.

Chất làm chậm góp phần kiểm soát quá trình hydrat hóa ban đầu vì vậy nó mang lại tốc độ đóng rắn mong muốn trong các điều kiện thời tiết được dự kiến trước.

Các chất khử nước thông thường ASTM C494 kiểu A có tác dụng làm tăng cường độ làm kéo dài thời gian đóng rắn, độ sụt của bê tông tăng khoảng 2 lần.

Chất khử nước cao ASTM C494 kiểu F và G mang lại cường độ cao hơn và sớm (24 giờ). Cần lưu ý sự tương thích với xi măng về kiểu và tỷ lệ về lượng.

Chất khử nước cao nhằm mục đích tăng cường độ nếu giữ nguyên độ sụt hoặc tăng độ sụt từ 3-4 lần nếu giữ nguyên cường độ. Cần lưu ý đến việc trộn đồng đều và kiểm soát ảnh hưởng trong quá trình thi công. ở Việt Nam các chất này gọi là các phụ gia siêu dẻo đã được dùng phổ biến trong các công trình cầu lớn với liều lượng từ 0.5-3 lít/100kgXM.

Chất gia tốc ASTM C494 kiểu C và E được sử dụng làm tăng tốc độ đóng rắn ở giai đoạn đầu nhưng làm giảm cường độ trong giai đoạn lâu dài.

Việc kết hợp các chất khử nước cao thông thường chất làm chậm đã trở nên phổ biến để đạt được những tính năng tối ưu với chi phí thấp nhất. Khi sử dụng kết hợp với hợp chất chúng nên được pha chế theo một cách riêng do nhà sản xuất cung cấp

Phụ gia siêu dẻo

Có 5 loại phụ gia siêu dẻo: Thế hệ 1 là A và thế hệ 2: B thế hệ 3 là C.

A1- Ligno Sulphonates (LS)

Là phụ gia siêu dẻo thế hệ 1 từ các chất cao phân tử tự nhiên Lignin (từ gỗ và senlulo) độ giảm nước tối đa là 10%, có thể làm chậm ninh kết, độ sụt giảm 30% sau 30 phút. Lượng dùng 2,5% xi măng

B1-Polime gốc sulphonated melamine (MFS)

Phụ gia siêu dẻo gốc URE và Phormadehyde có tác dụng giảm nước tối đa đến 25% lượng dùng 1,5-2,5 Xi măng giảm độ sụt đến 50% sau 40 phút và cho cường độ sớm ($R_3 = 0,85R_{28}$), thời gian thi công ngắn, tỷ lệ $N/X < 0,4$ và phù hợp với khí hậu nóng.

B2 – Naphthalene Sulphonate Polycondesate : BMS

Nguồn gốc từ than đá, giảm nước tối đa 25% - Lượng dùng 1,5-2,5%X, giảm độ sụt đến 50% sau 50 phút.

B3 – Chất siêu dẻo thế hệ thứ hai: Vinylcopolymers VC

Thành phần chính là : Sunfonated Vinylcopolymers (dầu thô)

Giảm nước tối đa đến 30% lượng dùng 1,5-2% Xi măng (lít). giảm độ sụt ban đầu đến 50% sau 100 phút, tạo ra độ sụt đến 22 cm, kéo dài thời gian thi công

C – Chất siêu dẻo thế hệ ba: PolyCarboxylates – (PC)

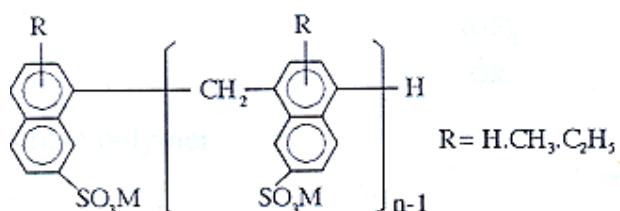
Gốc Polyme cao phân tử tổng hợp, giảm muội tối 40 % (tỷ lệ N/X có thể đến 0,27), bê tông có thể đạt đến độ sụt 22cm, cho cường độ cao. Duy trì được tính công tác trong thời gian dài.

Loại phụ gia đặc biệt này có thể thay đổi cấu tạo phân tử để phụ gia phù hợp với các yêu cầu đặc biệt. Với bê tông cường độ cao thường dùng chất siêu dẻo, loại PC, với bê tông tự đầm có thể dùng loại cải tiến là: Polyme Viscocrete (PV)

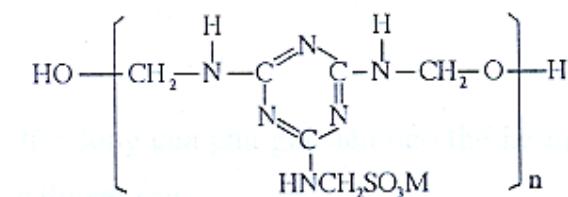
Các phụ gia siêu dẻo có thể thí nghiệm theo tiêu chuẩn Anh – BS 5075, ASTM – C494. ở Việt Nam có thể chọn các chất siêu dẻo chế tạo trong nước và các sản phẩm của Sika, của Đức, ý, của Mỹ. Cần tổ chức tuyển chọn với số lượng các chất siêu dẻo ít nhất là 3 loại để có một chất siêu dẻo tối ưu.

Một số phụ gia siêu dẻo thế hệ mới và cấu tạo của chúng

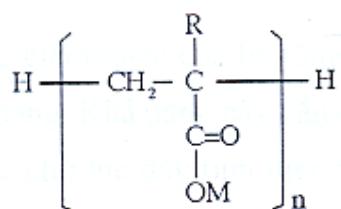
(1) Naphtalene Formandehyde Sunfonatede- NFS



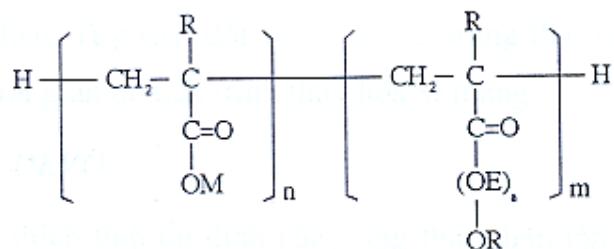
(2) Melamine Formandehyde Sunfonatede – MFS



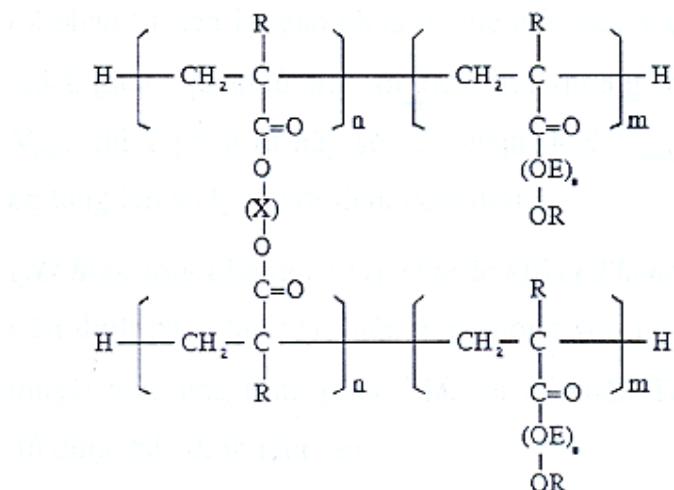
(3) Polycarboxylate (Arcrylate 1)



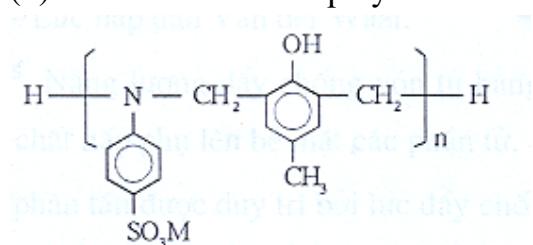
(4) Polycarboxylate Ether (Arcrylate 2)



(5) Cross-linked polymer (Arcrylate 3) Polyme liên kết chéo



(6) Amino –sunfonate polymer



3.3. Nước:

Các loại nước sử dụng trong bê tông HPC cho việc trộn, bảo dưỡng hoặc các ứng dụng khác phải là nước uống được, ngoài ra chúng có thể phải đảm bảo độ sạch hợp lý và không lẩn dâu, muối, a xít, chất kiềm, thực vật và bất kỳ chất nào khác gây hư hỏng đối với sản phẩm hoàn thiện. Phải tiến hành so sánh các thí nghiệm xi măng tiêu chuẩn về độ giảm thời gian nín kết và cường độ. Nếu biểu hiện về chất lượng không hoàn chỉnh, hoặc thay đổi thời gian nín kết trên hoặc dưới 30 phút hoặc giảm cường độ 10% so với nước cất thì cần loại bỏ nước đang thí nghiệm đó.

3.4. Các vật liệu khoáng siêu mịn

Các vật liệu khoáng siêu mịn bao gồm chủ yếu là tro nhẹ, muội silic, xi măng xỉ, mê ta cao lanh và tro trấu

Tro nhẹ: được chia làm 2 cấp: tro nhẹ cấp S được sản xuất bằng cách thiêu kết than antrixit hoặc bitum và có đặc tính Pozzolanic nhưng có ít hoặc không có tính dính kết; tro nhẹ cấp C được sản xuất bằng cách đốt cháy than non hoặc than bitum và có tính pozzolanic và một chút chất kết dính tự sinh. Đặc tính kỹ thuật của tro nhẹ được qui định trong ASTM C618 và được hướng dẫn sử dụng trong ACI 212-2R. Tro nhẹ có thể sản xuất từ các chất thải từ nhà máy nhiệt điện. Tro nhẹ có tác dụng tăng cường độ và độ bền của bê tông HPC. Tro nhẹ có thể sử dụng kết hợp với muội silic.

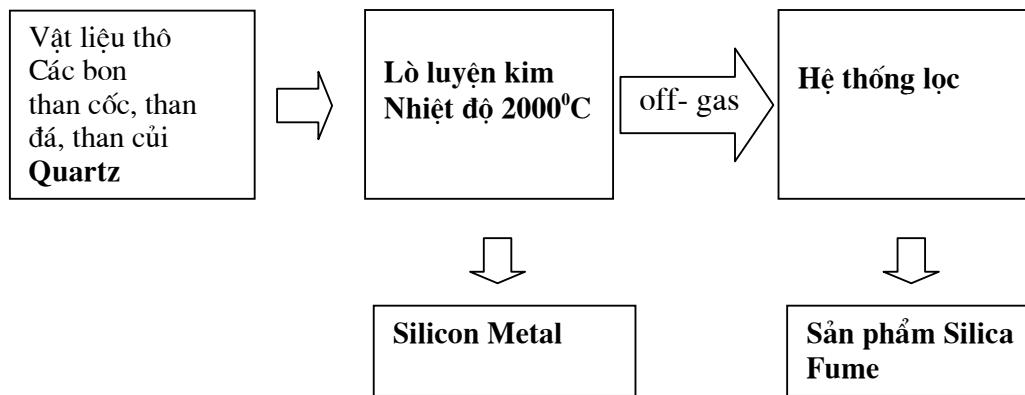
Liều lượng tro nhẹ dùng trong bê tông từ 10-25% lượng xi măng. Ở tuổi 28 ngày do tác dụng của tro nhẹ với cường độ bê tông là chậm nên liều lượng tro nhẹ chỉ được tính với hệ số 0.4 khi tính toán lượng xi măng hay nói khác đi lượng xi măng chỉ bớt đi từ 4-10% khi dùng tro nhẹ.

Muội silic là một sản phẩm phụ được lấy ra từ quá trình nung thạch anh với than đá trong các lò hồ quang điện trong ngành sản xuất silicon và các hợp kim thép silicon khói này có hàm lượng dioxit silicon vô định hình cao và chứa các tinh thể hình cầu rất mịn thu được từ khí thoát ra khỏi lò.

Khói oxit silic bao gồm các hạt thủy tinh rất mịn với một diện tích bề mặt lên tới $20.000\text{m}^2/\text{kg}$ khi được đo bằng kỹ thuật hấp thụ ni tơ. Sự phân bố bề mặt kích thước hạt của một loại khói oxit silic điển hình cho thấy hầu hết các hạt đều nhỏ hơn 1μ với đường kính trung bình khoảng 0.1μ nhỏ hơn kích thước của hạt xi măng gấp 100 lần. Trọng lượng riêng của khói oxit silic phổ biến là 2.2 nhưng cũng có thể cao hơn 2.5. Độ tơi xốp được tuyển chọn là từ 10 đến 20 lb/ft^3 ($160-320\text{kg}/\text{m}^3$); tuy nhiên nó cũng có thể ở dưới dạng đặc hoặc bột nhão dùng cho các ứng dụng thương phẩm.

Khói oxit silic vì có hàm lượng oxit silic và độ mịn cực cao nên là vật liệu có hiệu quả tính Pozzolanic cao. Khói oxit silic phản ứng với đá vôi trong quá trình hydrat hóa xi măng để tạo ra hợp chất kết dính bền vững-CSH (can xi oxit silic hydrat). Tính sẵn có của hỗn hợp khử nước phạm vi cao đã làm thuận tiện việc sử dụng khói oxit silic như là một vật liệu kết dính trong bê tông để tạo ra cường độ cao. Hàm lượng khói oxit silic thông thường nằm trong phạm vi từ 5-15% lượng xi măng.

Sơ đồ phản ứng hóa học
 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$



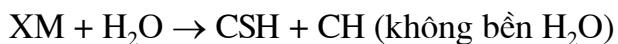
Hình 4.1. Sơ đồ sản xuất Silica Fume
Bảng 4.5. Tiêu chuẩn ASTM về muội silic

(Các qui định sau đây được lấy nguyên văn từ ASTM C1240-93)

Các chỉ tiêu kỹ thuật	ASTM C1240	EN 13263
Hàm lượng SiO_2	≥ 85.0	> 85.0
Hàm lượng SiO_3		< 2.0
Hàm lượng Cl (%)		< 0.3
Free CaO (%)		< 1.0
Free Si (%)		< 0.4
Độ ẩm (%)	< 3.0	
Lượng mất khi nung (%)	< 6.0	< 4.0
Diện tích bề mặt rỗng	> 15	$> 15 \& < 35$
Độ hoạt hóa Pozzolan với xi măng pooclan ở tuổi 7 ngày (%)	> 105	
Độ hoạt hóa Pozzolan với xi măng poocland ở tuổi 28 ngày (%)		> 100
Độ mịn lượng sót tích lũy trên sàng $45\mu\text{m}$ (%)	< 10	
Độ dao động của các hạt nhỏ hơn $45\mu\text{m}$ (%)	< 5	
Khối lượng riêng (kg/m^3)	2200	

Cơ chế hoạt động của khoáng siêu mịn với xi măng và nước.

Hai loại phản ứng hóa học là hydraulic và puzolan

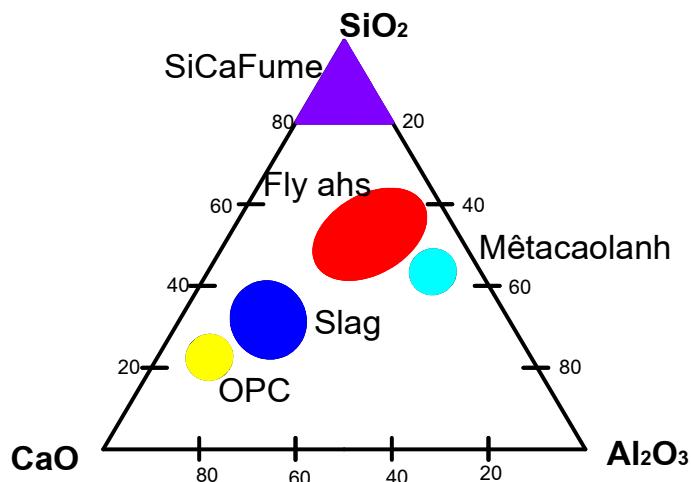


Khả năng tham gia vào hai phản ứng hóa học H và P của các chất khoáng siêu mịn được tổng hợp ở bảng 4.6.

Bảng 4.6. Mức hoạt tính của các loại khoáng siêu mịn

Loại khoáng siêu mịn	Đường kính hạt (μm)	Puzolan mức (P)	Hydraulic mức (H)
SilicaFume	0.1	5P (mạnh)	
Fly Ash	10	4P	1H (yếu)
Fly Ash nhiều SiO ₂	10	3P	2H
xỉ lò cao(Slag)	10	1P (yếu)	3H

Phân tích thành phần hóa học của các khoáng siêu mịn



Hình 4.2. Phân tích thành phần hóa học các khoáng siêu mịn

Cơ chế lấp đầy lỗ rỗng của hạt xi măng và độ rỗng trong các gel đá xi măng thể hiện qua đường kính hạt của phụ gia khoáng siêu mịn. Ở đây có đường kính hạt nhỏ $d < 0.1\mu\text{m}$ Microsilica có hiệu quả nhất.

Các hỗn hợp khoáng chất và xi măng cần được đánh giá thông qua các mẻ trộn trong phòng thí nghiệm để xác định các đường cong dùng cho việc lựa chọn khối lượng xi măng và hỗn hợp khoáng chất cần thiết để đạt được... mong muốn

3.6. Cốt liệu khô (đá dăm)

Cốt liệu khô thường được sử dụng là đá dăm. Một số hướng dẫn tổng quát được xem xét khi lựa chọn một loại cốt liệu khô để sử dụng trong sản xuất HPC.

- Kích thước tối đa của cốt liệu không lớn hơn 25mm để đảm bảo cường độ chịu nén.

- Sử dụng cốt liệu khô với % lỗ rỗng thấp để sản xuất bê tông cường độ nén cao bởi vì nước dùng để trộn có thể giảm mà vẫn giữ được khả năng làm việc.

- Các cốt liệu có kích thước nhỏ hơn thường cần thiết để bảo đảm mối liên kết lớn giữa vữa và cốt liệu. Cốt liệu có kích thước nhỏ còn cho phép khoảng cách gần hơn giữa các thép tăng cứng.

Hướng dẫn do Uỷ ban ACI 211 đưa ra cho rằng đối với bê tông có cường độ nén nhỏ hơn 9000 psi (62 MPa), sử dụng cốt liệu có kích thước tối đa là 3/4 đến 1". Đối với bê tông có cường độ nén lớn hơn 9000 psi, sử dụng các loại cốt liệu có kích thước 3/8 đến 1/2".

- Thể tích cốt liệu thô lớn thường tạo ra bê tông cường độ nén cao hơn do có thể dùng lượng nước để trộn ít hơn trong khi vẫn đảm bảo khả năng làm việc. Thể tích đá lèn chặt của đá cho bê tông HPC thường từ 0.65-0.72m³/m³.

Sự tăng thêm về cường độ nén có thể trở thành hiện thực bằng các kiểu cốt liệu trong hỗn hợp. Ví dụ, các cốt liệu được đập thường tốt hơn các cốt liệu tự nhiên vì các bề mặt góc cạnh được tạo ra nhờ quá trình đập. Bề mặt góc cạnh thô hình thành một liên kết mạnh tại các giao diện cốt liệu - vữa xi măng. Ngoài ra, một cốt liệu tốt sẽ thường tác động lên các đặc tính của bê tông đã đóng rắn, đặc biệt là cường độ, mô đun đàn hồi, độ dão và độ co ngót.

Với bê tông có cường độ nén nhỏ hơn 60MPa thì cường độ tối thiểu của đá gốc phải lớn hơn 100MPa. Với bê tông có cường độ nén từ 62-100MPa (D=19.5-12.5mm) cường độ chịu nén tối thiểu của đá từ 100-120MPa. Như vậy cường độ chịu nén của đá để chế tạo bê tông chất lượng cao tại phía Bắc và phía Nam Việt Nam đều đảm bảo có cường độ thích hợp cho việc chế tạo bê tông chất lượng cao (đá gốc lớn hơn 120MPa). Cốt liệu lý tưởng là cốt liệu sạch dạng khối có cạnh và có ít nhất lượng các hạt dẹt và dài, có cường độ cao.

Thành phần hạt của cốt liệu lớn phải phù hợp với thành phần hạt của tiêu chuẩn được ghi trong TCVN7570-2006, ASTM D448, tiêu chuẩn Châu Âu N13043-2002.

Lượng ngậm các chất có hại và khả năng phản ứng kiềm cốt liệu trong sỏi hoặc đá dăm nhỏ hơn các quy định của tiêu chuẩn 7572-2006.

3.7. Cốt liệu mịn

Cốt liệu mịn cũng là một phần rất quan trọng của hỗn hợp bê tông mà nó ảnh hưởng lên khả năng làm việc trong quá trình đổ. Nói chung, HPC có thể được sản xuất khi sử dụng một loại cát tròn tự nhiên hoặc nghiền từ đá vôi với mô đun độ mịn từ 2,6 đến 3,2. Thành phần cốt liệu mịn phù hợp với yêu cầu tiêu chuẩn AASHTO:

- Cốt liệu mịn phải có hạt bền, cứng và sạch, không lẩn bụi, bùn, sét, chất hữu cơ và những tạp chất khác.

Việc phân tích thành phần hạt của cốt liệu mịn phải thực hiện theo TCVN 7570-2006 (Phương pháp thí nghiệm sàng phân tích thành phần hạt cốt liệu) hoặc AASHTO - T27.

- Hàm lượng các tạp chất có hại trong cốt liệu mịn không được vượt quá giới hạn quy định trong TCVN7572-14-06.

4. Thiết kế hỗn hợp bê tông (HPC)

4.1. Giới thiệu

Nội dung của phần này là nhằm cung cấp những hướng dẫn cho việc thiết kế hỗn hợp bê tông HPC hiệu quả và xác định tỉ lệ nguyên vật liệu thành phần bê tông.

Chủ đề được nêu ra trong phần này bao gồm tổng thể về những ưu điểm của HPC, các tỉ lệ hỗn hợp (cả khái niệm cơ bản và khái niệm tiên tiến), sự lựa chọn các tỉ lệ hỗn hợp, các yêu cầu tính năng kỹ thuật đối với cường độ và độ bền bê tông. Lựa chọn tối ưu hóa vật liệu để bảo đảm tính năng bê tông được đảm bảo liên tục theo thời gian (đảm bảo tuổi thọ khai thác). Các tỷ lệ pha trộn bê tông HPC rất đa dạng và phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Mức cường độ yêu cầu của giai đoạn kiểm tra các tính chất của vật liệu và kiểu kết cấu ứng dụng, tính kinh tế, điều kiện môi trường và thời tiết trong năm ảnh hưởng đến sự lựa chọn tỷ lệ hỗn hợp bê tông.

Tiêu chuẩn ACI 211, ACI SP46 và ACI 363R-92 là những tài liệu tham khảo tốt. Ngoài ra có thể sử dụng phương pháp Bolomay-Ckramtaep đã được sử dụng quen thuộc vào Việt Nam để tính toán thiết kế với sự điều chỉnh chút ít. Thiết kế thành phần bê tông cường độ cao yêu cầu chặt chẽ hơn so với thiết kế thành phần bê tông thông thường. Trong thiết kế cần xét đến cường độ yêu cầu, các yếu tố dự trữ cường độ để đảm bảo xác suất 1 hoặc 5% các giá trị cường độ nhỏ hơn giá trị cường độ nhỏ nhất mà tiêu chuẩn kỹ thuật của dự án qui định. Như vậy để đạt được một thành phần bê tông tối ưu cần tiến hành nhiều thí nghiệm với số lượng mẫu thử lớn.

4.2. Xác định thành phần của bê tông HPC

4.2.1. Các khái niệm cơ bản

Định tỉ lệ hỗn hợp bê tông liên quan đến việc xác định các lượng thích hợp của những thành phần khác nhau để tạo ra một hỗn hợp đáp ứng được các yêu cầu về thiết kế và kinh tế. Để định tỉ lệ bê tông chất lượng cao, người thiết kế nên tuân thủ theo những quy tắc chung. Ngày nay, bê tông sẽ được định tỉ lệ để có độ bền và thể hiện các tính năng mong muốn trong thời gian phục vụ lâu dài. Kinh nghiệm và những nguyên tắc cơ bản về bê tông là cần thiết, và cần phải tối ưu hóa vật liệu. Sự tương tác giữa các loại nguyên vật liệu thành phần là khá quan trọng. Điều quan trọng là phải có những ý tưởng thí nghiệm trong các quá trình trộn thử.

4.2.2. Cường độ yêu cầu

Phân này sẽ tập trung vào các khái niệm tiên tiến để định tỉ lệ hỗn hợp, tối ưu hoá các nguyên vật liệu và kiểm soát chất lượng đối với bê tông tính năng cao. Các kết quả thí nghiệm, và ảnh hưởng của nhiệt độ lên độ dẻo và bê tông đã đóng rắn cũng sẽ được xem xét.

Các tiêu chuẩn kỹ thuật về xây dựng cầu của AASHTO LRFD cũng như 22TCN 272- 05 của Việt Nam đã khuyên sử dụng tài liệu của Viện Bê tông Hoa Kỳ (ACI) làm tài liệu để xác định tỉ lệ hỗn hợp bê tông, thiết kế hỗn hợp được chuẩn bị theo phương pháp thể tích tuyệt đối (xem ACI 211.1).

Cường độ thiết kế cần thiết của bê tông, f'_{cr} , được sử dụng để đáp ứng cường độ thiết kế tối thiểu (chỉ định) f'_c với xác suất là 1 hoặc 5%.

Những yêu cầu này được định nghĩa trong tiêu chuẩn ACI 318 và dựa trên cơ sở kinh nghiệm sử dụng bê tông cường độ thông thường.

a. Sản phẩm bê tông đã được sản xuất và có đủ số liệu về cường độ (>30 số liệu thử nghiệm) và xác định được hệ số độ lệch chuẩn s thì tính f'_{cr} như sau:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34s,$$

Trong đó: s độ lệch chuẩn, s = 645 Psi (4.4 MPa)

$$\text{Hoặc } f'_{cr} = f'_c + 2,33s - 500 \text{ (Psi)}$$

b. Khi các số liệu không đủ để tính hệ số s thì tính cường độ thiết kế yêu cầu của bê tông thiết kế tại phòng thí nghiệm theo công thức kinh nghiệm sau:

$$f'_{cr} = (f'_c + 1400)/0.9, \text{ (Psi)}$$

$$f'_{cr} = (f'_c + 9,7)/0.9, \text{ (MPa)}$$

c. Cường độ yêu cầu của bê tông tại công trường :

$$f'_{crc} = (f'_c + 1400), \text{ (Psi)}$$

$$f'_{crc} = (f'_c + 9,7), \text{ (MPa)}$$

4.3. Các bước lựa chọn các tỉ lệ vật liệu

Bước 1. Chọn độ sụt

Đầu tiên chọn độ sụt gốc từ 2-5cm trước khi cho thêm chất HRWR. Độ sụt sử dụng được quyết định bởi tính chất của bê tông, tính chất của kết cấu và điều kiện khí hậu. Thí dụ có thể chọn độ sụt gốc là 5cm để quyết định lượng nước. Tiến hành các thí nghiệm để xác định các hàm lượng và loại chất HRWR đảm bảo độ sụt cuối cùng (có thể là 20cm)

Bước 2. Lựa chọn kích thước tối đa của cốt liệu

Trên cơ sở yêu cầu về cường độ, kích thước tối đa của cốt liệu nên từ 19-25mm nếu cường độ yêu cầu nhỏ hơn 62MPa.

Kích thước tối đa của cốt liệu nên từ 9.5-12.5mm nếu cường độ yêu cầu lớn hơn 62MPa

Về mặt kết cấu kích thước tối đa của cốt liệu không nên vượt quá 1/5 kích thước bê mặt, không nên vượt quá 1/3 chiều dày của các tấm, không vượt qua 3/4 khe hở nhỏ nhất giữa các thanh cốt thép, các bó hoặc các ống DUL.

Khi chọn đường kính lớn nhất của cốt liệu (D) càng nhỏ thì tăng độ đồng nhất của bê tông, năng lượng nhào trộn nhỏ nhất và đạt được cường độ cao hơn khi dùng cốt liệu có đường kính D lớn hơn.

Bước 3. Xác định khối lượng nước và hàm lượng không khí

Khối lượng nước trên một đơn vị thể tích bê tông xác định phụ thuộc vào kích thước tối đa D_{max} , hình dáng hạt và cấp, loại của đá, lượng xi măng và loại phụ gia làm giảm nước cần thiết. Nếu chất PGSD được sử dụng thì hàm lượng nước trong hỗn hợp trộn này được dùng để tính toán tỷ lệ N/CKD .

Độ dẻo của gốc bê tông cường độ cao (nhỏ nhất độ sụt gốc bằng 2,5 cm; cao nhất độ sụt gốc bằng 7,5 cm). Khi cần có độ sụt lớn hơn từ 15-20 cm cần có những thiết kế thực nghiệm để xác định hàm lượng chất phụ gi siêu dẻo hoặc không cần tăng lượng nước mà phải sử dụng các chất siêu dẻo tăng độ sụt.

Bảng 4.7. đưa ra cách ước tính lượng nước trộn cần thiết cho việc sản xuất bê tông cường độ cao với các loại đá có kích thước tối đa từ 9,5 đến 25 mm trước khi cho thêm bất kỳ một phụ gia hóa học nào.(theo độ sụt gốc)

Bảng 4.7 - Dự tính lượng nước trộn cần thiết và hàm lượng không khí của bê tông tươi trên cơ sở sử dụng cát có độ rỗng 35%

Độ sụt, cm	Lượng nước trộn lít /m ³ bê tông			
	Kích thước tối đa của đá ,mm			
	9,5	12,5	19	25
2,5 đến 5 cm	183	174	168	165
5 đến 7,5 cm	189	183	174	171
7,5 đến 10 cm	195	189	180	177
Hàm lượng không khí lọt vào*, %	3 (2.5) ⁺	2.5 (2.0) ⁺	2 (1.5) ⁺	1.5 (1.0) ⁺

Ghi chú : * Các giá trị trong bảng đã cho phải được điều chỉnh đối với cát có lỗ rỗng khác 35% theo công thức sau : $N_{d/c} = (r_c - 35) \times 4,7 \text{ l/m}^3$

Trong đó : r_c là độ rỗng của cát

Bước 4. Lựa chọn tỷ lệ N/CDK

Việc kiểm soát tỉ lệ nước/vật liệu kết dính luôn luôn là yếu tố then chốt trong những cố gắng để thiết kế và sản xuất bê tông HPC. Những thông tin gần đây cho thấy để sản xuất ra HPC có độ bền và hiệu quả kinh tế, người thiết kế cần có cái

nhìn tổng quát tới tất cả các thành phần vật liệu. Như đã mô tả ở trên, bê tông được trộn với tro nhẹ sẽ cho một loại bê tông có độ bền cao. Khi một hỗn hợp tương tự được chuẩn bị với tỉ lệ nước/vật liệu kết dính thấp và chất làm giảm nước ở phạm vi cao, thì cường độ và khả năng xâm nhập của bê tông có thể được cải thiện đáng kể.

Việc thiết kế hỗn hợp HPC nằm ngoài quy tắc cũ. Mặc dù những nguyên tắc cơ bản của bê tông vẫn được duy trì, nhưng tiêu điểm của thiết kế hỗn hợp là tối ưu hoá toàn bộ nguyên vật liệu. Điều quan trọng là có sự sáng tạo và sử dụng tốt các mẻ trộn thử nghiệm.

Khái niệm về tỉ lệ nước/xi măng hoặc nước/vật liệu kết dính là một khái niệm mới khi thiết kế thành phần bê tông HPC.

Mối quan hệ giữa tỉ lệ nước/xi măng và cường độ nén đã được khám phá trong bê tông cường độ thông thường và khám phá này cũng có giá trị với bê tông cường độ cao. Hàm lượng xi măng cao hơn và hàm lượng nước thấp hơn để tạo ra cường độ cao hơn. Tuy nhiên khi định tỉ lệ khối lượng lớn xi măng vào trong hỗn hợp bê tông cũng có nghĩa làm tăng nhu cầu nước của hỗn hợp. Sự tăng xi măng tới một điểm nào đó sẽ không phải luôn luôn làm tăng cường độ nén. Khi các vật liệu Pozzolan được sử dụng trong bê tông một tỉ lệ nước- xi măng + chất pozzolan về trọng lượng cần được cân nhắc để thay thế cho tỉ lệ về trọng lượng của nước và xi măng theo truyền thống.

Tất nhiên, độ sụt của bê tông có liên quan đến tỉ lệ nước/vật liệu kết dính và tổng lượng nước trong bê tông. Trong khi bê tông có độ sụt từ 0 - 2" được sản xuất trong các hoạt động đúc sẵn, thì những cống gắng liên kết là cần thiết. Các độ sụt xác định đối với bê tông đổ tại chỗ không chứa chất khử nước phạm vi cao nằm trong phạm vi từ $2\frac{1}{2}$ đến $4\frac{1}{2}$ " (64 - 114mm). Các bê tông không được làm dẻo ngoài hiện trường có độ sụt đo được trung bình là $4\frac{3}{4}$ " (121mm).

Việc sử dụng chất khử nước phạm vi cao tạo ra tỉ lệ nước/vật liệu kết dính thấp và độ sụt cao

Tỉ lệ nước/vật liệu kết dính về trọng lượng đối với bê tông cường độ cao phổ biến nằm trong phạm vi từ 0,23 - 0,4. Khối lượng của các hỗn hợp lỏng đặc biệt là chất khử nước phạm vi cao đôi khi được tính vào tỉ lệ nước/vật liệu kết dính.

Khi vật liệu bột khoáng được sử dụng trong bê tông thì tỉ lệ Nước so với tổng lượng xi măng và chất bột khoáng theo trọng lượng cần được dùng để thay thế cho tỉ lệ nước với xi măng theo truyền thống. Tổng lượng xi măng và bột khoáng được qui định là lượng chất dính kết (CDK).

Bê tông chất lượng cao sử dụng chất phụ gia siêu dẻo có tỉ lệ N/CKD = 0,22-0,35 và độ sụt cao từ 18 - 20 cm. Với bê tông có cường độ nén nhỏ hơn 62MPa thì tỉ lệ

$N/CKD=0.35-0.3$. Với bê tông có cường độ nén lớn hơn 62MPa thì tỷ lệ này từ 0.22-0.3.

a). Công thức để xác định quan hệ giữa cường độ nén và tỷ lệ N/CKD .

Có thể lựa chọn tỷ lệ X/CKD theo các phương pháp lý thuyết khác. Có thể áp dụng phương pháp Bôlômây-Ckramtaep cải tiến hoặc ở Pháp thường lựa chọn tỷ lệ N/CDK theo phương pháp của Faury hoặc theo công thức của Feret. (xem chương 3).

b) Xác định tỷ lệ N/CDK bằng các bảng tra của các tiêu chuẩn

Tỷ lệ N/CDK theo phương pháp 22TCN GTVT, và ACI được chọn phụ thuộc vào cường độ nén ngoài thực địa f'_{crc} . Các giá trị tối đa của N/CDK tham khảo bảng 4.8.

Trong thiết kế thành phần bê tông chất lượng cao sử dụng khái niệm chất kết dính (CDK)

$$CDK=X+MS \text{ hoặc } CDK=X+MS+FA$$

Trong đó: MS- lượng muội silic, kg; FA- lượng tro bay, kg

**Bảng 4.8. Giá trị tối đa N/CDK khuyên dùng đối với bê tông
được sản xuất có chất giảm nước cao (HRWR)**

Cường độ 28 ngày ngoài công trường f'_{crc} , MPa		Tỉ lệ N/CDK			
		Kích thước tối đa của cốt liệu khô, tính bằng D, mm			
		9,5	12,5	19	25
54	28 ngày	0,44	0,42	0,40	0,43
	56 ngày	0,48	0,45	0,42	0,46
62,5	28 ngày	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 ngày	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 ngày	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 ngày	0,37	0,35	0,33	0,32
76	28 ngày	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 ngày	0,33	0,31	0,29	0,29
83	28 ngày	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 ngày	0,30	0,28	0,27	0,26
96*	28 ngày	0,24	0,24	0,23	0,22

Ghi chú: * là các trị số do nhóm nghiên cứu của trường Đại học GTVT Hà Nội đề nghị.

Bước 5. Tính toán hàm lượng vật liệu kết dính

Khối lượng của vật liệu kết dính cần thiết trên m^3 bê tông có thể xác định được bằng cách chia lượng nước cho N/CDK .

Từ hàm lượng chất kết dính xác định lượng xi măng tối ưu dùng cho bê tông. Khối lượng xi măng hợp lý được dùng ở các hỗn hợp cường độ cao được xác định thông qua các mẻ trộn thử nghiệm.

Cần đánh giá đúng tính năng của xi măng, muội silic, hỗn hợp hóa chất và cốt liệu ở các tỷ lệ khác nhau để chỉ ra hàm lượng tối ưu của xi măng và sự kết hợp tối ưu của các vật liệu.

Có 3 trường hợp sử dụng chất kết dính

a). Chất kết dính chỉ có xi măng

$X=N/tỷ\%_tỷ$ nước trên chất kết dính.

Lượng xi măng để đảm bảo cường độ rất lớn nhưng không được quá 550kg.

b). Chất kết dính bao gồm xi măng và muội silic

Xác định lượng muội silic:

Thành phần muội silic trong bê tông chiếm từ 5 -15 % theo khối lượng xi măng.

Tổng khối lượng chất kết dính:

$$CDK = X + MS$$

Chọn tỷ lệ muội silic ban đầu theo hướng dẫn của nhà sản xuất và theo các kết quả nghiên cứu ở các công trình tương tự. Các hỗn hợp thử tại phòng thí nghiệm với hai tỷ lệ muội silic cách nhau khoảng 1% - 2% để xác định hàm lượng muội silic thích hợp (% MS)

$$MS = \% MS \times CDK \text{ kg/m}^3 \text{ bê tông}$$

$$\text{Vậy } X = CDK - MS \text{ kg/m}^3 \text{ bê tông}$$

Vì muội silic có khối lượng riêng khác xi măng nên khi tính thể tích đặc của cát cần tính riêng thể tích xi măng và thể tích của muội silic ($\rho_X=3,1$; $\rho_{MS}=2,2$).

c). Chất kết dính bao gồm xi măng và tro bay

Xác định tỉ lệ tro bay :

Việc sử dụng tro trong sản xuất bê tông mặc dù là M60 có thể giảm nhu cầu nước trong bê tông, giảm nhiệt độ bê tông và giảm được chi phí. Tuy nhiên, vì sự thay đổi về các đặc tính hóa học của tro, nên các tính chất cường độ cao đạt được của bê tông có thể bị ảnh hưởng. Do đó, ít nhất cần sử dụng hai hàm lượng tro khác nhau cho các hỗn hợp trộn thử nghiệm đồng dạng.

Lượng tro bay phụ thuộc vào loại tro được sử dụng. Lượng tro bay khuyên dùng được cho trong bảng 4.9. áp dụng đối với hai loại tro.

Khi đã chọn được phần trăm của tro dùng cho mỗi hỗn hợp thử nghiệm đồng dạng có thể tính lượng tro bằng cách nhân tổng trọng lượng của các vật liệu kết dính với phần trăm thay thế được lựa chọn trước đó.

**Bảng 4.9. - Các giá trị khuyên dùng cho phần thay thế
tro của xi măng Poóc lăng**

Loại tro	Giá trị thay thế (% khối lượng)
Tro cấp F	15 đến 25
Tro cấp C	20 đến 35

Khi thiết kế bê tông ở tuổi 28 ngày sử dụng tro bay, do tro bay tác dụng với nước chậm nên có một số tác giả khuyên sử dụng hệ số hiệu quả của tro là 0.4, lượng xi măng sử dụng sẽ là:

$$X=CDK-0.4FA$$

Thiết kế bê tông ở tuổi 56 ngày lượng xi măng sử dụng là:

$$X=CDK-FA$$

Trong đó: FA- tỷ lệ phần trăm của tro bay so với lượng xi măng (xem ở bảng 10.)

d). Chất kết dính là xi măng +MS+FA

Để giảm giá thành của bê tông và tăng độ bền trong môi trường nước biển có thể sử dụng 5-7% muội silic và 10-15%FA trong bê tông.

Trong trường hợp này lượng xi măng:

$$X=CDK-MS-FA$$

Hàm lượng muội silic và tro bay được tính như các trường hợp ở trên

Bước 6. Xác định thành phần cốt liệu thô (đá)

Việc tối ưu tỉ lệ nước/vật liệu kết dính là một hàm của cường độ yêu cầu, thời điểm thí nghiệm nhất định và sử dụng các hợp chất hoá học như HRWR để giảm lượng nước và cường độ và độ bền. Điều này được thể hiện trong các bảng của ACI 211 và xác nhận rằng việc lựa chọn tỉ lệ nước/vật liệu kết dính dựa trên cơ sở kích thước của cốt liệu và cường độ yêu cầu tại một thời điểm thí nghiệm nhất định.

Tối ưu hoá cốt liệu thô có nghĩa là tăng khối lượng cốt liệu thô đối với cốt liệu mịn trong hỗn hợp bê tông, trái ngược với tỉ lệ cốt liệu điểm hình trong bê tông thông thường. Đó là do cốt liệu thô đóng một vai trò chính trong sự hình thành mó đun đàn hồi (MOE) và kiểm soát từ biến, độ co của HPC. Như mô tả trong ACI 211 việc sản xuất HPC sẽ tập trung vào kích thước tối đa của cốt liệu thô. Như vậy, khả năng làm việc có mó đun đàn hồi phụ thuộc vào cường độ nén của bê tông, phụ thuộc vào kiểu và lượng cốt liệu thô trong hỗn hợp. Ví dụ, nếu hai loại cốt liệu thô khác nhau được sử dụng để sản xuất bê tông, loại đá cứng hơn, chắc hơn sẽ hình thành các mó đun đàn hồi chỉ định ngay tại giai đoạn đầu hơn là loại cốt liệu nhẹ hơn, ít đặc hơn.

Một sự trùng hợp ngẫu nhiên, sự hình thành đồng thời cường độ và mó đun đàn hồi có thể rất được tán thưởng.

Lưu ý có giá trị về mặt quan điểm khác đó là nghiên cứu đã được xác nhận rằng mô đun đàn hồi là độc lập với các điều kiện xử lý bê tông. Thành phần ban đầu của hỗn hợp ảnh hưởng giá trị mô đun đàn hồi là cốt liệu thô.

Trong quá trình định thành phần bê tông cường độ cao, cốt liệu được xem là rất quan trọng vì nó chiếm thể tích lớn nhất so với bất kỳ một thành phần nào khác trong bê tông (65-75%).

Số lượng và kích thước tối ưu của cốt liệu thô khi được sử dụng với một loại cát sẽ phụ thuộc rất lớn vào các tính chất của cát. Đặc biệt nó sẽ phụ thuộc vào độ lớn của cát.

Kích thước tối đa của cốt liệu thô được chọn theo số liệu cho trong bảng 4.10.

Bảng 4.10. Đường kính lớn nhất của cốt liệu thô (đá)

Cường độ bê tông yêu cầu tuổi 28 ngày, cường độ trụ, MPa	Kích thước tối đa của cốt liệu thô, (đá), mm
Nhỏ hơn 62	Từ 19 đến 25
Không nhỏ hơn 62	Từ 9,5 đến 12,5

Hàm lượng tối ưu của cốt liệu thô phụ thuộc vào các đặc tính cường độ của chính nó và phụ thuộc vào kích thước tối đa của cốt liệu thô. Hàm lượng cốt liệu thô tối ưu khuyên dùng được cho trong bảng 4.11. và được chọn tùy thuộc vào kích thước tối đa của cốt liệu thô (đá).

Lượng đá (kg/m^3) cho 1m^3 bê tông được tính như sau:

$$Đ = V_d \cdot ρ_{dc} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

trong đó : V_d - Xác định theo bảng 4.11.

$ρ_{dc}$ - Khối lượng thể tích đá ở trạng thái đầm chặt được xác định bằng thí nghiệm ASTM 39. $ρ_{dc}=1.602-1.634\text{g}/\text{cm}^2$

Bảng 4.11 - Thể tích của đá được đầm chặt trên một đơn vị thể tích bê tông , m^3/m^3 bê tông (V_d)

Thể tích đá tối ưu ở các đường kính lớn nhất (với cát có môđun độ lớn từ 2,5 đến 3,2)				
Đường kính lớn nhất của đá, mm	9,5	12,5	19	25
Thể tích của đá đầm trong 1m^3 bê tông, m^3 (V_d)	0,65	0,68	0,72	0,75

Theo ACI 211-4R-93

V_d - Thể tích đầm chặt của đá được thí nghiệm theo ASTM C39.

Bước 7. Cốt liệu mìn- Hàm lượng cát

Hàm lượng cốt liệu nhỏ thấp hơn so với hàm lượng cốt liệu thô có thể làm giảm yêu cầu về hồ xi măng và thường kinh tế hơn. Tuy nhiên, nếu tỉ lệ cát quá thấp thì sẽ gặp khó khăn về tính công tác của bê tông nhất là việc hoàn thiện bê tông cường độ cao. Tỷ lệ Đ/C nên từ 1.5-1.9

Hàm lượng cát trong bê tông cường độ cao được tính toán theo nguyên lý thể tích tuyệt đối, nghĩa là $V_{ac} = 1000 - V_{ad} - V_{an} - V_{kk} - V_{ax} - V_{ak}$

Trong đó : V_{ad} , V_{an} , V_{kk} , V_{ax} , V_{ak} là thể tích đặc của đá, nước, không khí, xi măng và vật liệu khoáng. Lượng cát (kg/m^3 bê tông) được tính như sau:

$$C = V_{ac} \cdot \rho_c,$$

Trong đó: ρ_c - Khối lượng riêng của cát.

Bước 8: Định tỷ lệ các phụ gia hóa học:

- Các chất giảm nước mạnh (PGSD):

Cần sử dụng các chất giảm nước mạnh (PGSD) trong hỗn hợp bê tông cường độ cao. Khi dùng PGSD lượng nước giảm từ 12 - 20%. Tương ứng, cần phải tăng hàm lượng cát để bù lại tổn thất về thể tích do giảm nước trong hỗn hợp.

Có thể sử dụng PGSD vào các hỗn hợp hiện có mà không cần điều chỉnh các tỉ lệ pha trộn để cải thiện khả năng làm việc của bê tông đó.

Trong bê tông HPC thường sử dụng PGSD để hạ thấp tỉ lệ nước/chất kết dính. Các hỗn hợp này có tác dụng để hạ thấp tỉ lệ nước/chất kết dính cũng như làm tăng độ sụt của bê tông. Vì khối lượng tương đối lớn chất lỏng được cho thêm vào hỗn hợp bê tông dưới dạng hợp chất làm dẻo, nên trọng lượng của những hợp chất này được gộp vào trong tính toán tỉ lệ nước/chất kết dính.

Liều lượng phụ gia được xác định thông qua các khuyến cáo của các nhà sản xuất và các thí nghiệm. Lượng chất phụ gia siêu dẻo thông thường từ 0.5-3lit/100kgXM tùy theo yêu cầu về độ sụt và đặc tính của kết cấu.

Khi sử dụng các chất khử nước thông thường và các chất làm chậm thì lượng nước có thể giảm từ 5-10%. Khối lượng của các chất này thường từ 0.5-2lit/100kgXM tùy theo yêu cầu về tính công tác và đặc tính kết cấu.

Hầu hết nhưng không phải tất cả bê tông HPC đều chứa các hợp chất hóa học và các hợp chất khoáng. Cần có một sự kết hợp hợp lý các loại chất nói trên để thỏa mãn tính công tác và đặc tính của bê tông.

Bước 9. Các hỗn hợp thử nghiệm

Các hỗn hợp thử nghiệm theo tỷ lệ đã định trước của các bước trên cần tạo ra một tập hợp của các thử nghiệm để xác định khả năng làm việc và các tính chất của hỗn hợp và bê tông. Số lượng các mẫu thử phải đủ lớn để có thể xác định được các giá trị đặc trưng theo lý thuyết thống kê xác suất. Các trọng lượng của vật liệu nước

phải điều chỉnh cho phù hợp với độ ẩm của cốt liệu sử dụng. Nếu kết quả thí nghiệm không đạt yêu cầu thì cần điều chỉnh lại theo hướng dẫn sau để tạo ra các tính năng mong muốn.

- Nếu độ sụt ban đầu của hỗn hợp không nằm trong phạm vi mong muốn thì cần điều chỉnh lại lượng nước trộn và hàm lượng chất kết dính để duy trì tỷ lệ N/CDK (bê tông không dùng HRWR).

- Nếu chất HRWR được sử dụng thì nên thử lại các liều lượng khác nhau để xác định ảnh hưởng của nó đến cường độ và khả năng làm việc của bê tông.

- Điều chỉnh hàm lượng cốt liệu thô có thể giảm hàm lượng cốt liệu thô xuống để có được tính công tác tốt hơn nhưng phải lưu ý là cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông không được nhỏ hơn trị số quy định

- Điều chỉnh hàm lượng không khí nếu hàm lượng không khí đo được là khác với các trị số mong muốn thì cũng điều chỉnh lại các thành phần.

- Nếu cường độ nén của bê tông không đạt cần giảm tỷ lệ N/CDK. Nếu vẫn không làm tăng cường độ nén cần xem xét lại mức độ thích hợp của các vật liệu sử dụng.

Bước 10. Lựa chọn các tỷ lệ trộn tối ưu

Khi các tỷ lệ trộn đã được điều chỉnh để tạo ra khả năng làm việc mong muốn và các đặc tính về cường độ thì các mẫu thử cường độ nên được lấy từ các mẻ trộn thử nghiệm tiến hành gần giống với điều kiện thực tế theo các bước quy định. Thực tế sản xuất và các thao tác kiểm tra chất lượng sẽ được đánh giá tốt hơn khi các mẻ trộn thử nghiệm với quy mô sản xuất được tiến hành bằng cách sử dụng các thiết bị và nhân công mà nó đã từng được sử dụng trong thực tế. Các kết quả của việc đo cường độ nên được trình bày theo cùng một cách để cho phép lựa chọn các tỷ lệ có thể chấp nhận đối với công việc được dựa trên cơ sở các yêu cầu về cường độ và chi phí.

Bước 11. Công thức bê tông HPC

Công thức bê tông HPC được lập trên cơ sở tỷ lệ về mặt khối lượng của các vật liệu tạo nên bê tông với lượng xi măng làm đơn vị sau khi đã hoàn tất các điều chỉnh và các mẻ trộn thử.

4.4. Thí dụ tính toán thành phần bê tông HPC

Tính toán thành phần bê tông $f'_c=70$

Cường độ thiết kế $f'_{cr} = (f'_c + 9.7) / 0.9 = 88.5 \text{ MPa}$.

$$f'_{crc} = 70 + 9.7 = 79.7 \text{ MPa}$$

$$f'_{crc} = 79.7; D = 12.5; \text{Độ sụt gốc từ } 2.5-5\text{cm}; \text{Lượng nước } 174 \text{ lít}$$

Do sử dụng chất siêu dẻo nên lượng nước sử dụng giảm 14% còn 150 lít.

Lựa chọn tỷ lệ N/CDK. $f'_{crc} = 79.7$ chọn tỷ lệ N/CDK = 0.29.

Tổng lượng chất kết dính: $CDK=150/0.29=517\text{kg}$,
Muội silic 7% XM = 36kg
Xi măng : $517-36=481\text{kg}$,
Thể tích lèn chặt của đá ứng với $D=12.5\text{mm}$ là 0.68
 $D=0.68*1.61=1100\text{kg}$, $C=715\text{kg}$.
Khối lượng của bê tông tươi 2482kg/m^3
Tỷ lệ C/D= 1.54
Khối lượng chất siêu dẻo: $SD=481*1.5=7.21\text{ lít/m}^3$ bê tông

4.5. Thí nghiệm xác định thành phần bê tông HPC

4.5.1. Lựa chọn tiêu chuẩn và vật liệu

Các mẻ trộn thử trong phòng thí nghiệm được chuẩn bị theo "Phương pháp tiêu chuẩn để tiến hành và xử lý các mẫu kiểm tra bê tông trong phòng thí nghiệm" ASTM C 192 hoặc TCVN 3105 - 93 (Lấy mẫu chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử bê tông nặng).

Lựa chọn các nguồn vật liệu đã qua sơ chế bằng cách tiến hành kiểm tra so sánh với tất cả các thông số, ngoại trừ vật liệu đó đã được sử dụng liên tục. Bằng cách kiểm tra có thể tìm được các khối lượng tối ưu của các vật liệu tối ưu, xác định được sự kết hợp tốt nhất và các tỉ lệ tốt nhất của vật liệu được sử dụng.

4.5.2. Thí nghiệm

Khi một hỗn hợp có triển vọng đã được thiết lập, các mẻ trộn thử nghiệm trong phòng thí nghiệm cần phải xác định được các tính chất của những hỗn hợp đó. Phải xác định được cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ chịu kéo khi ép chẻ, mô đun đàn hồi, độ co ngót và từ biến của bê tông ở các tuổi 3, 7, 28 ngày. Cần đánh giá nhu cầu về nước, tốc độ mất độ sụt, lượng nước chảy ra ngoài, sự phân ly, khối lượng đơn vị. Về tính công tác cần xác định độ sụt, thời gian giữ độ sụt, độ chảy lan và nhiệt độ của bê tông tươi, dự báo kết quả theo phương pháp chuyên gia. Khi các kết quả không đạt, cần điều chỉnh lại thiết kế và thử lại cho đến khi đạt yêu cầu. Số lượng các mẫu thí nghiệm cho từng chỉ tiêu phải đủ để có thể đánh giá được độ phân tán của kết quả và các giá trị đặc trưng của từng chỉ tiêu theo xác suất mà tiêu chuẩn của dự án qui định.

Cần tiến hành các mẻ trộn với quy mô sản xuất tại công trường. Các mẻ trộn thử trong phòng thí nghiệm thường thể hiện mức cường độ tương đối cao hơn là nó có thể đạt được trong sản xuất thực tế. Nhu cầu về nước trong thực tế, sản lượng của bê tông có thể khác với thiết kế trong phòng thí nghiệm. Nhiệt độ môi trường và các điều kiện về thời tiết có ảnh hưởng đến tính năng của bê tông. Thực tế sản xuất và các thao tác kiểm tra chất lượng sẽ được đánh giá tốt hơn khi các mẻ trộn

thử nghiệm với quy mô sản xuất được chuẩn bị bằng cách sử dụng các máy móc thiết bị và con người mà nó đã từng được sử dụng trong công việc thực tế.

Kết quả thí nghiệm được ghi theo chỉ tiêu thứ tự ở bảng 4.12.

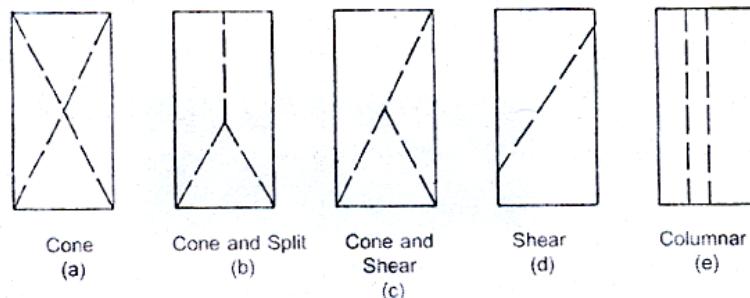
Bảng 4.12. Mẫu ghi kết quả thí nghiệm

TT	Thành phần	1	2	n
1	Độ chảy lan, cm			
2	Độ sụt			
3	Độ sụt, 60phút			
4	R, 3 ngày			
5	Tỷ lệ R3/R28			
6	R, 7 ngày			
7	Tỷ lệ R7/R28			
8	R, 28 ngày			
9	Kiểu phá hoại			
10	Rku, 28 ngày			
11	Kiểu phá hoại			
12	Mô đun đàn hồi, 28 ngày, MPa			
13	Độ thấm ion Clo, Culông			
14	Hệ số co ngót			
15	Biến dạng từ biến			

Ghi chú:

- 1, 2, n là ký hiệu các kết quả lần thí nghiệm cho một loại bê tông 1, 2, n đang nghiên cứu. Trị số n tối thiểu là 15 mẫu, trung bình là 30 mẫu để có đủ số liệu đánh giá độ phân tán của kết quả thí nghiệm. Nếu độ phân tán của một chỉ tiêu nhỏ hơn 0.12 thì kết quả thí nghiệm đó được chấp nhận.

- Các dạng phá hoại tiêu chuẩn xem ở hình dưới. Nếu các dạng phá hoại khác các kiểu dưới thì phải xem lại kế hoạch thí nghiệm



Hình 4.5. Các dạng phá hoại mẫu thử chuẩn

4.5.3. Kiểm tra về tính năng kỹ thuật đối với cường độ và độ bền

Các tính năng kỹ thuật theo yêu cầu của chủ đầu tư tới nhà thầu và nhà sản xuất bê tông. Chúng là cực kỳ quan trọng trong HPC vì các yêu cầu là cần thiết cho cả các đặc tính của bê tông tươi và bê tông đóng rắn. Các đặc tính kỹ thuật bao gồm sự nhận biết các đặc tính của bê tông tươi và bê tông đóng rắn, hàm lượng không khí, tỉ lệ nước/vật liệu kết dính, tuổi bê tông khi làm thí nghiệm và kích thước của cốt liệu. Nhiệt độ của bê tông khi đổ nên thấp hơn 85°F (29.4°C). Các thí nghiệm phụ nên được cân nhắc về tính năng của HPC là khả năng làm việc, chảy, phân ly, khả năng đổ, khả năng hoàn thiện, khả năng chịu rung động, và thời gian lắng của bê tông. Mặc dù những thí nghiệm này mang lại cho chủ đầu tư một sự hiểu thị rất tốt về các đặc tính của bê tông nhưng chúng thường không bao hàm trong bộ tiêu chuẩn kỹ thuật đi kèm với các tài liệu hợp đồng.

Bê tông đóng rắn cần sử dụng các phương pháp thí nghiệm khác để đảm bảo một loại vật liệu có độ bền và phù hợp. Các thí nghiệm có thể bao gồm nhưng không giới hạn cường độ nén, cường độ chịu kéo khi uốn, mô đun đàn hồi, sự tăng trưởng cường độ, sự co rút và khả năng bền với quá trình đóng băng - tan băng, khả năng chịu đựng sự tấn công của sulphat, khả năng chịu clo. Một thông số khác được nêu ra là tuổi làm thí nghiệm để xác định cường độ nén và các thí nghiệm độ bền khác. Nên chấp nhận các thí nghiệm ở tuổi 3, 7, 28 ngày. Đây là những yêu cầu kỹ thuật cho phép chọn thời gian tối thiểu để chuyển bước thi công (thí dụ thời gian kéo thép DUL). Các thí nghiệm có thể tin cậy đối với HPC, đặc biệt khi bê tông sẽ được sử dụng trong các ứng dụng dự ứng lực, là mô đun đàn hồi (MOE) và mô đun gãy (MOR). Ngoài ra, cường độ nào là cần cho việc kéo và cho phép neo làm việc. Các câu hỏi này chỉ có thể được giải đáp thông qua các mẻ trộn thử nghiệm và sau đó là làm thí nghiệm với bê tông. Người thiết kế cần phải sử dụng kinh nghiệm trên cơ sở các số liệu hiện nay và các tài liệu xuất bản để phát triển một thiết kế hoàn chỉnh, định mẻ trộn, và thí nghiệm bê tông trên cả hai đặc tính là dẻo và đóng rắn.

Yêu cầu về cường độ:

- Chuẩn bị mẫu:

Cường độ chịu nén giới hạn của bê tông được xác định dựa trên các mẫu thử và quy định thí nghiệm theo tiêu chuẩn AASHTO T141 (ASTM C172) và AASHTO T23 (ASTM C31). Các mẫu thử hình trụ trong phòng thí nghiệm tuân theo tiêu chuẩn AASHTO T126 (ASTM C39).

Thí nghiệm ép mẫu hình trụ được thực hiện theo các yêu cầu kỹ thuật của AASHTO T22 (ASTM C39)

- Cường độ chịu nén và chịu uốn

Giá trị cường độ tại hiện trường là trung bình của 4 kết quả liên tiếp lấy từ thí nghiệm cường độ bê tông tuổi 28 ngày, trong đó không có kết quả nào thấp hơn cường độ tối thiểu quy định. Trong trường hợp không phù hợp với yêu cầu này thì tất cả các lượt trộn được đại diện bởi các mẫu này được xem như không đạt cường độ yêu cầu.

- Cường độ đặc trưng

Cường độ đặc trưng của loại bê tông được xác định ngay sau khi có 30 kết quả thí nghiệm đầu tiên của mỗi loại bê tông.

Cường độ đặc trưng được tính theo công thức sau:

$$X_o = \bar{X} - k.S$$

Trong đó: X_o – Cường độ đặc trưng.

\bar{X} - Giá trị trung bình hoặc mức trung bình của hàng loạt các kết quả

k – Hệ số, phụ thuộc vào tỷ lệ % các kết quả đạt được dưới cường độ đặc trưng.

S – Hệ số độ lệch tiêu chuẩn tính theo phương trình sau:

$$S = \left[\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

X_i – Kết quả cá biệt

N – Số kết quả.

Bảng 4.13. Các giá trị của hệ số k

Tỷ lệ % các kết quả đạt dưới giá trị tối thiểu	Giá trị của hệ số k
0.1	3.09
0.6	2.50
1.0	2.33
2.5	1.96
5.0	1.64

Nếu cường độ đặc trưng đã được xác định thấp hơn cường độ chịu lực tối thiểu tại công trường. Theo TCVN giá trị cường độ tương đương được quy định là cấp của bê tông với xác suất 5% được ký hiệu là B.

Trong trường hợp các kết quả về cường độ chịu nén không đạt các yêu cầu hoặc trong trường hợp có kết quả nghi ngờ, Kỹ sư phải tiến hành kiểm tra cường độ chịu nén của mẫu bằng các thí nghiệm nén mẫu đã tiến hành trên các mẫu thí nghiệm được lấy bằng cách khoan lõi ở những điểm phù hợp do Kỹ sư chỉ định trên kết cấu đã thi công.

- Bảo quản các mẫu thí nghiệm

Chi phí lấy mẫu thí nghiệm và thực hiện các thí nghiệm gồm chi phí đóng kiện, chi phí vận chuyển từ công trường đến phòng thí nghiệm là một phần trong giá dự thầu. Nhà thầu phải chịu trách nhiệm phòng tránh các hư hỏng mẫu thí nghiệm trong quá trình bốc xếp và vận chuyển.

- **Ghi chép**

Các ghi chép kết quả thí nghiệm phải được Kỹ sư lưu giữ nhưng Nhà thầu có thể yêu cầu cho biết kết quả đó vào bất kỳ thời điểm nào. Nhà thầu chịu trách nhiệm thực hiện các điều chỉnh cần thiết để tạo ra bê tông đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật và kết quả thí nghiệm phải chứng minh bê tông có thể đáp ứng hoặc không đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật.

5. Kết quả thiết kế

Việc thiết kế HPC là đáp ứng khi các loại vật liệu được tối ưu hoá để tạo ra một loại bê tông có độ bền mạnh. Nước, vật liệu kết dính, cốt liệu và các hợp chất hoá học cần được định tỉ lệ một cách có hiệu quả để có được hỗn hợp với những đặc tính mong muốn nhất cho quá trình đổ, hoàn thiện, xử lý, và điều kiện đóng rắn. Việc thiết kế không phải là một quyển sách dạy nấu ăn và trong hầu hết các trường hợp cần có mẻ trộn thử để so sánh các đặc tính của bê tông tươi và bê tông đã đóng rắn. Như đã nói đến ở phần đầu, người thiết kế cần có sự sáng tạo với những loại vật liệu mà mình có cùng với việc định tỉ lệ những loại vật liệu này. Một khi, hỗn hợp đã được thiết kế và chuẩn bị, đảm bảo rằng có đủ vật liệu sẵn có để làm thêm các thí nghiệm phụ cho độ bền. Chỉ làm thí nghiệm mà người thiết kế tin tưởng là bêtông sẽ có thể đáp ứng những chức năng mong muốn của nó.

6. Kiểm tra chất lượng bê tông

Công tác kiểm tra chất lượng bê tông được tiến hành trong thời gian xây dựng và khi kết thúc quá trình xây dựng

6.1. Kiểm tra trong quá trình xây dựng

- Đo độ sụt của bê tông và độ chảy lan của bê tông trước khi đổ bê tông. Yêu cầu độ sụt $\geq 18\text{cm}$ và độ chảy lan $\geq 50\text{cm}$.
 - Lấy mẫu bê tông theo quy định.
 - Kiểm tra độ đồng nhất của bê tông.
 - Tuỳ theo công nghệ xác định thời gian giữ độ sụt từ 1-10 giờ
 - Đo nhiệt độ bê tông trước khi đổ. Yêu cầu nhiệt độ của bê tông không lớn hơn 20°C .
 - Đo nhiệt độ trong lòng khối bê tông.
 - Kiểm tra cường độ bê tông tuổi 3 ngày hoặc 7 ngày theo yêu cầu dự án để quyết định điều chỉnh công thức bê tông và quyết định các bước thi công tiếp theo

- Kiểm tra cường độ đặc trưng của bê tông ở tuổi 3, 7, 14 và 28 ngày sau khi có lớn hơn 30 kết quả thí nghiệm để đánh giá độ phân tán và xác định cường độ đặc trưng. Nếu cường độ đặc trưng nhỏ hơn giá trị của cường độ nén tối thiểu mà dự án quy định phải điều chỉnh lại thành phần bê tông và công nghệ bê tông.

Cường độ bê tông đạt yêu cầu nếu cường độ đặc trưng đã được xác định cao hơn cường độ chịu nén tối thiểu mà tiêu chuẩn kỹ thuật của dự án qui định. Trong trường hợp không đạt cần điều chỉnh lại thiết kế thành phần bê tông HPC.

6.2. Kiểm tra khi kết thúc quá trình xây dựng

Thống kê toàn bộ các kết quả thử nghiệm tại thời điểm thi công và thời điểm kết thúc quá trình xây dựng về các đặc tính vật lý và cơ học. Phân tích các kết quả và đánh giá theo các quy định hiện hành.

7. Thiết kế thành phần bê tông CĐC với thí nghiệm vữa lỏng :

Do bê tông HPC có thêm thành phần phụ gia siêu dẻo, phụ gia khoáng siêu mịn và các chất khác nên việc thiết kế phức tạp hơn nhìn từ số lượng lớn hơn các tham số thực nghiệm. Có tới 4 thành phần phụ có khả năng tham gia vào vật liệu (phụ gia siêu dẻo, tác nhân làm chậm, muối silic và các hạt mịn khác như tro bay...). Sự tối ưu hoá trực tiếp dẫn đến hàng trăm hỗn hợp bê tông. Ngoài ra, trong vữa có các thành phần đặc biệt của bê tông HPC, từ đó xuất hiện ý tưởng tiến hành các thí nghiệm trên vữa lỏng, các thí nghiệm trên bê tông hoàn toàn bình thường để kiểm tra các vấn đề trên. Còn về khung cốt liệu không thay đổi bản chất cũng như tỉ lệ, so với cốt liệu bê tông thường. Do đó, trong phương pháp này người ta chọn cách giữ nguyên và lấy thành phần cốt liệu đã được sử dụng có độ tin cậy cao trước đây.

- Khi lượng MS tăng từ 8 – 12 % hàm lượng xi măng giảm để hàm lượng X + MS = const. Tuy nhiên khi đó hàm lượng phụ gia siêu dẻo cũng phải tăng lên để độ dẻo của vữa là không đổi. Sau đó dùng loại vữa dẻo để trộn với cốt liệu để có bê tông có độ công tác không đổi. Trong trường hợp cần điều chỉnh độ công tác có thể tăng lượng nước một chút và tăng cả lượng X để đảm bảo tỷ lệ N/X .

Người ta có thể làm việc trên một thang vữa có cùng độ chảy; những vữa chảy này được đưa vào khung cốt liệu, tạo cho bê tông tính công tác tốt. Từ đó xác định thành phần và tính chất của một loại vữa cố định phù hợp.

Vùng thay đổi có thể của thể tích vữa là rất nhỏ, nếu ta muốn tránh độ phân tầng do thiếu hoặc thừa vữa.

Độ dẻo của vữa lỏng được đo bằng thí nghiệm côn Marsch sửa đổi, theo các bước được mô tả trong phụ lục 1. Sự cần thiết phải thay đổi một vài bước của thí nghiệm - đã được áp dụng trên vữa lỏng bơm ứng suất trước - là do vữa bê tông

HPC thường nhớt hơn. Trọng lượng thường chưa đủ để chảy hoàn toàn ra khỏi côn, bị tắc, do đó nó vẫn chứa vữa lỏng.

Sau đây là các chi tiết khác nhau của phương pháp.

7.1. Chuẩn bị

Từ mẫu bê tông địa phương của kết cấu, thiết kế bê tông HPC với độ dẻo và cường độ nén yêu cầu (cường độ nén trung bình ngày 28 từ 60 đến 100 MPa).

Máy móc sử dụng trong phòng thí nghiệm bê tông (cân, máy nhào vữa và bê tông, côn Abrams, nhớt kế LCL, máy nén cho các thí nghiệm cơ học trên bê tông).

Côn Marsch có sửa đổi khác nhau

Bình từ 100 đến 200 cm³.

7.2. Thành phần vật liệu

Dùng cốt liệu địa phương, hai hoặc ba loại xi măng HPC hoặc P55, một số phụ gia siêu dẻo trong số đó, nếu có thể, có naftalen sunfat, nhựa melamin và chất làm chậm khi nhà sản xuất phụ gia khuyên dùng. Quan trọng nhất là lựa chọn cặp xi măng/ phụ gia siêu dẻo, thực hiện bằng thực nghiệm.

7.3. Thiết kế bê tông HPC “0” để làm chuẩn

Tù thành phần của cốt liệu đã lựa chọn: 425 kg xi măng (cho đường kính lớn nhất, D bằng 20 đến 25 mm), 1,5% phụ gia dẻo dạng khô và tìm lượng nước để nhận được một bê tông chảy (độ sụt côn ≈ 20 cm, thời gian của nhớt kế LCL hơn 10s). Trong giai đoạn này, việc chọn một cặp xi măng/phụ gia siêu dẻo là tương đối quan trọng.

7.4. Vữa chảy chuẩn

Nhào trộn thành phần tương ứng vữa bê tông HPC “0”, với lượng nước nhỏ hơn khoảng 10 lít/ 1 m³ dành cho cốt liệu thông thường. Đo thời gian chảy trên côn Marsch.

7.5. Thành phần khoáng của vữa lỏng HPC

Lựa chọn thành phần khoáng của n vữa lỏng, trong đó cuối cùng ta sẽ chọn ra vữa bê tông HPC yêu cầu với các vật liệu thay đổi như sau:

- Loại xi măng có thành phần khoáng vật khác nhau (cường độ như nhau, tỉ lệ C₃A nhỏ nhất thường tốt nhất)

Tỉ lệ muội silic (thường từ 5 đến 10% khối lượng xi măng, tối đa là 20%)

- Dự báo một phần hạt mịn (“bụi vôi” hoặc tro bay thì tốt hơn) trong trường hợp người ta muốn giảm thiểu nhiệt lượng tỏa ra của bê tông HPC.

7.6. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo vữa lỏng

Với mỗi vữa lỏng HPC, tìm một hàm lượng nước, với 0,3%*** phụ gia siêu dẻo theo khối lượng xi măng (khối lượng khô), độ công tác đạt chảy, nhưng “chậm” (ví dụ 20s ở côn Marsch). Sau đó, đo sự tăng thời gian chảy theo độ tăng hàm lượng phụ gia (với tổng lượng nước không đổi và chế tạo sẵn với mỗi một lần đo vữa lỏng mới, lượng phụ gia lớn hơn lần trước).

Đường cong nhận được qua một tối thiểu và tăng nhẹ với những hàm lượng rất lớn phụ gia. Lượng bão hòa nhỏ nhất để thời gian chảy là nhỏ nhất được chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

a. Hàm lượng nước trong vữa lỏng HPC

Với mỗi vữa lỏng HPC khi có mặt của chất phụ gia, xác định lượng nước thêm vào để nhận được thời gian chảy tiêu chuẩn. m vữa lỏng được so sánh xem chúng có cho phép thực hiện m bê tông HPC với cùng một thể tích vữa và cùng độ công tác.

b. Hàm lượng chất làm chậm

Đo sự biến đổi của thời gian chảy của mỗi vữa lỏng trong thời gian sử dụng dự báo của bê tông HPC (ví dụ, 1 hoặc 2h). Nếu thời gian tăng một cách đáng lưu ý, làm lại thao tác với sự có mặt của chất làm chậm, khi dùng lượng cần thiết để ổn định thời gian chảy trong khoảng thời gian lựa chọn. Ở mức độ của nghiên cứu này, ta cũng có thể làm tương tự đổ bê tông bằng nhiệt độ cao, khi làm nóng các thành phần và bảo quản vữa lỏng trong thiết bị cách nhiệt. Người ta thấy một xu thế đồng cứng đáng chú ý hơn (nhất là với nhựa melamin). Ta cũng có thể thiết lập một quan hệ thực nghiệm tỉ lệ chất làm chậm/nhiệt độ của bê tông, phục vụ cho việc áp dụng thiết kế bê tông HPC trong điều kiện áp suất không khí. Cũng với cách như vậy, việc đổ bê tông khi nhiệt độ thấp có thể làm tương tự, một vài phụ gia rõ ràng kém hiệu quả hơn khi ở 10 thậm chí 20°C.

c. Lựa chọn thành phần vữa lỏng HPC

Tính thành phần lý thuyết của m bê tông HPC, có cùng một thể tích với vữa lỏng với bê tông “0”, vữa này được một mặt tạo thành từ nước làm ướt cốt liệu và mặt khác từ vữa lỏng HPC tương ứng. Nhóm xi măng/phụ gia tốt sẽ là nhóm mà nhờ đó tỉ lệ N/X là nhỏ nhất. Định luật Feret thường cho phép đánh giá cường độ nén và lựa chọn thành phần vữa lỏng nhận được.

d. Xác định các tính chất của bê tông HPC nhận được

Các thí nghiệm lưu biến trên bê tông tươi và các thí nghiệm cơ học cho phép nói rằng nếu người ta đạt được cường độ tìm kiếm. Trong trường hợp ngược lại, quay lại giai đoạn trên.

Các loại bê tông được thiết kế với cùng loại cốt liệu và cùng loại xi măng. Người ta thấy rằng tỉ lệ tối ưu hoàn toàn tương tự, điều đó chứng tỏ giá trị của việc chọn cách giữ nguyên khung cốt liệu khi vượt qua việc thiết kế thành phần bê tông địa phương thông thường với thành phần mới của BT HPC.

Cách tạo thành BT HPC “0” (giai đoạn 1 của phương pháp) dẫn đến một loại bê tông cuối cùng có thể tích vữa tương đối nhỏ, nhưng lượng lớn không bình thường của phụ gia siêu dẻo.

Cuối cùng, liên quan đến sự mất mát nhanh của tính công tác, người ta có thể nhận được, khi thi công theo phương pháp vữa lỏng, một loại bê tông có xu hướng đông cứng rất đáng chú ý. Trong một trường hợp nào đó, có thể sự hấp thụ nước bởi cốt liệu được viện dẫn để giải thích hiện tượng này, đã từng biết đến trong bê tông cốt liệu nhẹ. Do đó sự thêm vào của chất làm chậm, hoặc phụ gia chảy sẽ không có ảnh hưởng. Tốt hơn là nếu có thể, làm ướt cốt liệu trước khi dùng.

e. Ví dụ ứng dụng

Thiết kế bê tông HPC cường độ nén ở 28 ngày là 90 MPa. BT HPC “0” nhận được từ một thành phần địa phương của bê tông thường, chứa cốt liệu đá vôi nghiền, cát chảy và xi măng CPA 55, từ thành phần đó thêm phụ gia siêu dẻo họ naftalen sunfat.

Thời gian chảy ở côn Marsch của vữa lỏng tiêu chuẩn là 5s. 3 vữa lỏng HPC được thiết kế chứa tương ứng 5, 10 và 15 % muội silic theo tỉ lệ khối lượng xi măng. Tiếp đó xác định hàm lượng phụ gia bão hòa - thấy rằng nó tăng lên một cách lô gic với lượng muội silic – độ cần nước được đo để nhận được thời gian chảy là 5s. Ảnh hưởng của việc lấp đầy muội silic được minh họa bằng độ tăng của độ cần nước này vào lượng hạt mịn (tối ưu dao động quanh 20 đến 25%).

Khôi phục lại tất cả các thành phần của vữa lỏng ở một thể tích tổng là 257,6l hay thể tích vữa BT HPC “0” nhỏ hơn 10l nước nhào làm ướt. Khi thêm vào khung cốt liệu cùng loại BT HPC “0” này, ta có thành phần lý thuyết của 3 loại bê tông chủ yếu, mà trong đó ta đánh giá cường độ từ định luật Feret mở rộng. Cường độ đặc trưng yêu cầu một cường độ trung bình khoảng 100 MPa, do đó ta chọn giai đoạn vữa lỏng HPC số 2, hàm lượng muội silic 10%. Khi chế tạo loại bê tông này, độ dẻo được điều chỉnh một chút bằng “chất keo”. Do đó, dẫn đến thêm vào một

chút nước trong thành phần cuối cùng. Các thí nghiệm ở ngày 28 đưa ra cường độ dự kiến.

Trong thí nghiệm này, người ta đã đạt đến tổng cộng khoảng 5 mẻ bê tông 25l/1 mẻ, với khoảng 20 vữa lỏng. Chúng đương nhiên được nhân lên nếu ta thay đổi bản chất của xi măng và phụ gia chảy.

Sự tối ưu của thành phần BT HPC yêu cầu tiến hành nghiêm chỉnh, với lượng lớn các tham số. Mô hình lý thuyết và một thành phần nửa thực nghiệm được giới thiệu, dựa trên các giả thiết sau:

- Cường độ bê tông bị ảnh hưởng chủ yếu bởi bản chất của vữa kết dính
- Độ công tác của nó, khi mà cấp phối là cố định, xuất hiện như là một sản phẩm của hai yếu tố: một phụ thuộc vào nồng độ vữa, hai là điều kiện chảy nội tại của loại vữa này.

Từ những ý tưởng này, một phương pháp thiết kế thành phần được đề xuất. Nó cho phép xác định thành phần của bê tông có cường độ và tính công tác cho trước, sau một số lượng khá nhỏ thí nghiệm, tất cả khai thác các tham số quan trọng nhất. Các kiểm tra dùng trong phương pháp đơn giản và cổ điển; nó có thể được thực hiện trong tất cả các phòng thí nghiệm vật liệu. Ngoài ra, đây là một phương pháp chủ yếu thực nghiệm: không có nghiệm, hay bảng cố định như hàm lượng phụ gia nhận được nhờ các tính chất cho trước.

Câu hỏi:

1. Lựa chọn vật liệu chế tạo bê tông HSC và HPC?
2. Khái niệm về cường độ yêu cầu?
3. Phương pháp chung để thiết kế thành phần theo ACI?
4. Phương pháp đánh giá chất lượng của bê tông HPC?

CHƯƠNG 5

ĐỘ BỀN CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO

1. Mở đầu

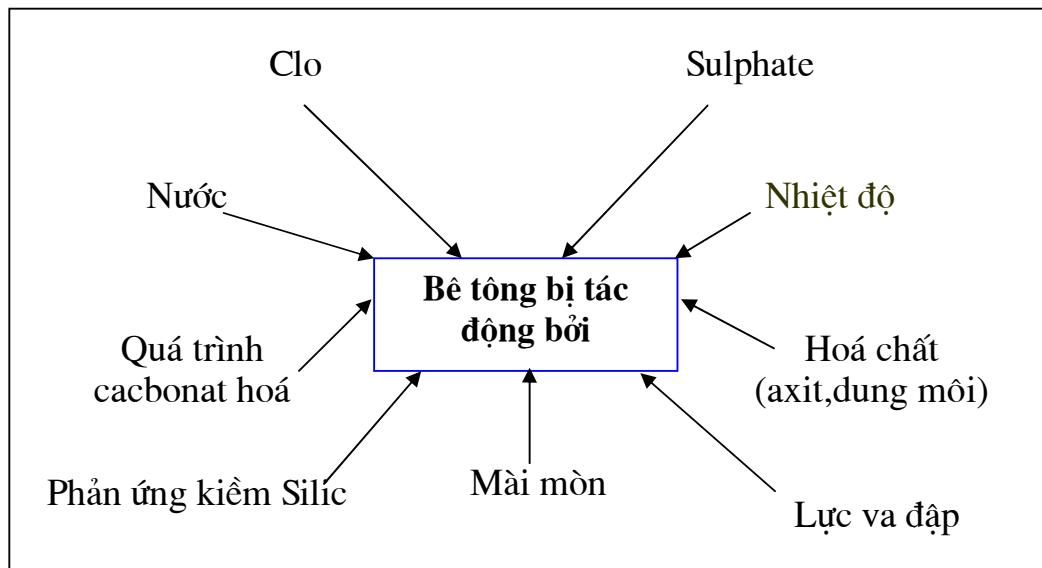
Bê tông là một vật liệu composit rất không đồng nhất mà độ bền của nó được nghiên cứu ở 4 điểm đặc biệt. Đó là phản ứng kiềm – cốt liệu, tính thấm nước, phản ứng cacbonát hoá và độ chống thấm ion Clo.

Tổng quan về nguyên nhân phá hoại bê tông (xem hình 5.1.)

Bê tông và kết cấu bê tông thường bị phá hoại do nhiều nguyên nhân. Tuỳ theo mức độ hư hỏng có thể chia ra làm 3 cấp do các tác động khác nhau:

- **Sai sót:** Thường do thiết kế, lựa chọn vật liệu và sai sót trong thi công.
- **Hư hỏng:** Thường do tác động của khai thác, thời tiết, sự tăng tải không được xét đến, các tác động đặc biệt do nước, gió, động đất.
- **Phá hoại:** Thường xảy ra trong quá trình thi công, khai thác và khi kết thúc tuổi thọ khai thác.

Dưới đây là các tác động làm giảm độ bền khai thác của bê tông và kết cấu bê tông



Hình 5.1. Sơ đồ về các tác động đến độ bền của bê tông

1. Tính thấm nước

Tính thấm hay tính chất của một vật để cho một chất lỏng chảy qua thường được xem là một tiêu chuẩn về độ bền. Các tác động tương hỗ lỏng – rắn có thể là hóa học (biến đổi khối lượng), vật lý (nở), cơ học (phá hủy). Trong các phản ứng hóa

học, các tác động tương hỗ lỏng - rắn ở khoảng cách gần, can thiệp vào liên kết ion của dung dịch, chuyển động của các chất trao đổi và các chuyển dời.

Các khuyết tật của cấu trúc như lỗ rỗng mao quản hay các vết nứt đóng vai trò quyết định độ thấm của bê tông. Các lỗ rỗng có thể liên tục hay đứt quãng. Các vết nứt tạo thành các vùng phá hủy với các phân nhánh ít nhiều. Các đặc tính này của cấu trúc vi mô của vật liệu không đồng nhất tạo thành do thấm lọc chất lỏng. Lý thuyết lọc mô tả sự biến đổi khả năng thấm trong các môi trường nứt hoặc rỗng. Một vật liệu bị nứt có thể có một độ rỗng nhỏ, sự chuyển động của chất lỏng thực hiện bởi một số lượng hạn chế các vết nứt. Nó tồn tại một mạng lưới ngầm lọc và các nhánh chết. Trong môi trường rỗng và nứt, không thông nhau, chất lỏng không thấm. Nguồn thấm phân biệt vùng thấm và vùng không thấm.

Lý thuyết thấm, đầu tiên áp dụng với đá, được sử dụng trong việc xác định độ thấm k của vữa xi măng với công thức:

$$k = c \cdot d_c^2 / F$$

Trong đó: $c = 1/226$

d_c = Đường kính tiêu chuẩn của lỗ rỗng

F = Tác nhân cấu tạo

- F, tỉ lệ giữa khả năng truyền dẫn của bê tông bão hòa và của dung dịch lỗ rỗng được xác định hoặc từ phép đo độ khuyếch tán (ví dụ ion clo) hoặc khả năng dẫn điện;

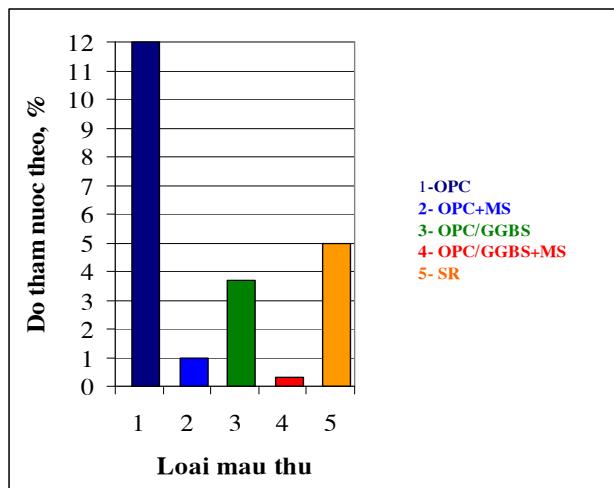
- d_c được đo bằng đường cong lỗ rỗng thủy ngân. Đó là điểm uốn của đường cong thể tích tích luỹ. Điểm này cũng ứng với sự tăng đột ngột của khả năng dẫn điện, cho thấy sự liên tục của đường đi của chất lỏng trong chất rắn.

Từ ví dụ, một loại vữa xi măng:

- Tỉ lệ N/X = 0,4, đường kính tiêu chuẩn $d_c = 38$ nm, độ khuyếch tán clo D = $26.0 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$, có một hệ số thấm tính toán k = $11 \times 10^{-21} \text{ m}^2$. Giá trị D₀ ứng với độ khuyếch tán clo trong nước bằng $1,484 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Khi đó, tác nhân cấu tạo F: D₀/D bằng 570.

- Tỉ lệ N/X = 0,2, chứa 10% muội silic, đường kính tiêu chuẩn $d_c = 10$ nm, D_{c1} = $8 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$, có độ thấm tính toán là $0,2 \times 10^{-21} \text{ m}^2/\text{s}$.

Trong ví dụ này, muội silic và sự giảm tỉ lệ N/X làm giảm độ thấm 55 lần. T.C. Powers đã đo nguồn thấm trong vữa xi măng, hoàn toàn hydrat hoá, tỉ lệ N/X là 0,7. Ảnh hưởng của sự giảm lượng nước và sự có mặt của muội silic trên nguồn tiếp xúc trong của các lỗ rỗng mao quản vừa được chứng tỏ bởi D.P. Bentz và E.J. Carboczy. Với tỉ lệ nước cho trước, muội silic làm đứt quãng sự liên kết giữa các lỗ rỗng với một độ thủy hóa nhỏ hơn.



Hình 5.2. Quan hệ giữa hệ số thấm nước với các loại phụ gia khác nhau

Độ thấm nước của bê tông phụ thuộc cấu trúc lỗ rỗng của vật liệu và các phản ứng nước – vật rắn. Nước trong bê tông có nhiều dạng: tự do, hấp phụ, hỗn hợp.

Sự chuyển dời nước về các lỗ rỗng xét như các hình trụ có thể được mô tả bằng 3 cơ chế:

- Sự chuyển dời pha hơi mô tả qua định luật Fick và qua k_{vv} ;
- Sự chuyển dời pha hấp phụ như một màng nhớt, đặc trưng bởi áp lực ngắn (*disjunction*) và k_{va} (thấm bề mặt);
- Sự chuyển dời trong pha ngưng tụ theo định luật Hagen – Poiseuille (không trượt trên bề mặt) và xác định bởi K_{vv} (độ thấm hơi tương đương).

Ba loại dòng chảy này có thể quan sát được khi độ ẩm tương đối tăng. Pha hơi và pha ngưng tụ có thể đồng thời tồn tại. Độ thấm hàm số của bán kính lỗ rỗng và độ ẩm tương đối có một “đặc trưng rất không tuyến tính” (hình 2). Khi độ ẩm tương đối tăng, từ 60%, độ thấm hơi tăng do tạo thành các chùm rỗng ngưng tụ trong mạng lưới. Các đám này liên kết với ngưỡng thấm. Hai loại lỗ rỗng có thể được định nghĩa bằng kích thước của chúng:

- Lỗ rỗng ngưng tụ được: $r < 100 \text{ nm}$
- Lỗ rỗng không ngưng tụ được: $r > 100 \text{ nm}$.

Giá trị 100 nm gần bằng đường đi tự do trung bình của phân tử nước. Các BTCDC chứa một phân lớn các lỗ rỗng bên trong nhỏ hơn 100 nm.

Độ thấm nước khó đo được trong bê tông có tỉ lệ N/X nhỏ hơn 0,4 . Không có hiện tượng thấm với các tỉ lệ N/X 0,22 đến 0,27.

2. *Phản ứng kiềm – cốt liệu(Silic)*

3.1. *Tổng quát*

Sự xuống cấp của bê tông do phản ứng kiềm – cốt liệu đã được quan sát lần đầu vào năm 1940 ở Hoa Kỳ. Từ đó, các kết cấu bị hư hỏng do các phản ứng này đã

được ghi nhận ở nhiều nước và ở Pháp gần đây. Đó là các đập, cầu, đường, nhà. Các hư hỏng xuất hiện ở các kỳ hạn khác nhau, hai đến mươi năm (hoặc hơn nữa). Chúng gồm:

- *Các vết nứt bê mặt.* Các vết nứt phát triển, độ mở rộng của chúng có thể đạt đến 0.5 mm/năm và chiều sâu có thể vượt quá vài mm;
- *Các biến màu hoặc mất màu* dọc theo các vết nứt chính;
- *Sự “đổ mô hôi”* tạo thành từ của canxit và gen silicát kiềm;
- *Các mụn hay hốc* do cốt liệu phản ứng bê mặt.

Môi trường ẩm ướt, hàm lượng kiềm cao của pha lỏng trong bê tông và các khoáng hoạt tính như silic vô định hình hay ẩn tinh (opan, canxêdoan, tridymit, thạch anh phong hóa mạnh) là các tác nhân chính dẫn tới phản ứng. Phản ứng này rất phức tạp và không đồng nhất. Nó xảy ra giữa một chất lỏng trong lỗ rỗng và các hạt rắn phân bố không đều trong vật liệu. Cơ chế của nó được chia thành nhiều loại:

- **Tấn công cốt liệu:**
 - *Sự di chuyển* của các ion Na^+ , K^+ , OH^- của pha lỏng bên trong về phía hạt silic hoạt tính: quá trình vật lý;
 - *Phản ứng* với cốt liệu và tạo một gen (chất rắn nhận được do kết bông dung dịch keo) và silicát kiềm: quá trình hóa học.
- **Nở:**
 - *Thuỷ hóa* gen và nở cục bộ do hấp thụ hoặc hấp phụ lý học chất lỏng bởi một gen. Sự nở không phải luôn trực tiếp liên quan đến số lượng gen tạo thành. Gen tạo thành ở hiện trường bị nở;
 - *Sự biến mất* của các gen phụ thuộc vào độ nhớt của gen và tỉ lệ kiềm – silic. Gen có thể thẩm vữa xi măng và lấp đầy lỗ rỗng.

3.2. Sản phẩm của phản ứng kiềm – silic

Phản ứng kiềm – silic tạo thành các gen và các tinh thể mà ta có thể tìm thấy trong tất cả các kết cấu bê tông xuống cấp, xung quanh cốt liệu, trong các vết nứt và lỗ rỗng của vữa xi măng, trong các mạch hay các mặt nghiêng của cốt liệu, ở bề mặt bê tông dưới dạng đổ mô hôi.

Các gen vô định hình và khối là các silicát kiềm chứa khoáng:

56 - 86 % SiO_2 , 2 - 8 % K_2O , 0,4 - 30 % Na_2O , 1 - 28 % CaO , 10 - 30 % H_2O .

Theo thời gian, gen có thể phát triển thành dạng cấu trúc hạt, bột hoặc lá.

Các tinh thể dạng hoa hồng, bản, sợi, hay hình kim. Đó là các tinh thể dạng hoa hồng mà thành phần tương đối ổn định:

56 – 63 % SiO_2 , 20 – 27 % Al_2O_3 , 8 – 11 % K_2O , 6 – 8 % CaO .

Các tinh thể giàu kiềm hơn các gen. Các ion Al có thể đến từ vữa xi măng hay các phenospát và clorit của cốt liệu.

Các sản phẩm thứ cấp là các cacbonát và hydroxycacbonát. Sự xuống cấp thứ cấp của bê tông liên quan tới sự tạo thành các etringit thay thế các gen silicát – kiềm. Các etringit có thể nằm cục bộ trong các lỗ rỗng của vữa xi măng nơi mà nó không nở nhưng quan sát được nhiều nhất trong các lỗ hở của cốt liệu, ở đó có thể dẫn tới nở vật liệu. Thaumasit cũng được tìm thấy.

Vai trò của ion canxi

Canxi được tìm thấy trong tất cả các sản phẩm của phản ứng, gen hay tinh thể. Ngoài ra, dung dịch bên trong của bê tông chỉ chứa các dấu vết của canxi. Theo S. Diamond, độ pH của silicát kali tạo thành của phản ứng kiềm – cốt liệu nằm trong khoảng 11,3 – 12,1. Độ pH này nhỏ hơn của bê tông, có thể đạt tới 13,6. Độ pH thấp có thể hoà tan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Các ion canxi khi đó có thể khuyếch tán tới nơi có silic hoạt tính. Giả thiết này được khẳng định bởi sự vắng mặt của tinh thể $\text{Ca}(\text{OH})_2$ định hướng trên các hạt cát hoạt tính. S. Chatterji gần đây đã chứng tỏ rằng sự có mặt của $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

- Là cần thiết cho các phản ứng kiềm – cốt liệu, tức là cho sự khuyếch tán của các ion Na^+ và K^+ và cho sự tạo gen.
- Ngăn cản sự khuyếch tán của silic. Các sản phẩm của phản ứng nằm xung quanh các hạt cốt liệu và có thể trương nở.

R. Davies và R.E. Oberholster cũng đã chứng minh rằng trong các gen và tinh thể, các ion canxi có thể thay thế cho ion natri và kali. Do đó, kiềm bị hấp thụ hon hồn hợp. Sự thay thế Ca^{2+} bằng Na^+, K^+ dẫn đến sự tạo thành kiềm hydroxyt. Trong khi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ có mặt, NaOH và KOH tái tạo và có thể phản ứng với silic.

Sự phát triển của pha lỏng bên trong

Tâm quan trọng của thành phần của dung dịch chứa trong các lỗ rỗng của bê tông được đưa ra bởi S. Diamond. Dung dịch từ xi măng, vữa và bê tông có thể được xét như một dung dịch natri và kali hydroxyt chứa những vết tích của canxi, sunphát và silic. Thành phần này $(\text{Na}, \text{K})^+, \text{OH}^-$ không đổi theo thời gian. Một xi măng pooclăng chứa trung bình 70% kiềm trong dung dịch bên trong.

Do không có sự cân bằng $(\text{Na}^+, \text{K}^+) = \text{OH}^-$, nồng độ OH^- là một tiêu chuẩn định lượng độ hoà tan của kiềm và độ hoạt động của dung dịch kiềm với silic nhờ quá trình trung hòa các nhóm axit silanon và phá vỡ các cầu siloxane.

Khi bấy các kim loại kiềm và phản ứng với $\text{Ca}(\text{OH})_2$, muội silic đóng vai trò như một puzolan hoạt tính (bảng 5.1).

S. Diamond đã đề xuất rằng nồng độ 0,25N của Na^+, K^+ hay OH^- có thể là một giới hạn chấp nhận được để hạn chế phản ứng kiềm – cốt liệu. Trong giả thiết này, 10% muội silic, làm giảm 70% nồng độ hydroxyt tan (theo bảng 5.1), có thể xem như một biện pháp ngăn ngừa phản ứng kiềm – cốt liệu.

Bảng 5.1: Nồng độ ion OH⁻ trong dung dịch bên trong của vữa xi măng với tỉ lệ N/X = 0,5 ở 79 ngày.

% muội silic	0	5	10	20	30
ion OH ⁻ EQ/L	0,50	0,30	0,15	0,10	0,02

Khuyếch tán ion

Sự khuyếch tán ion trong vữa xi măng và vữa đã được xem xét trong nghiên cứu về sự ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép. Có ít giá trị về sự khuyếch tán ion Na⁺ và K⁺ được công bố. Các giá trị này nhận được khi dùng các tế bào khuyếch tán có một khoang ban đầu chứa dung dịch natri clorua, một đĩa vữa xi măng, vữa hay bê tông và một khoang sau chứa một dung dịch bão hòa vôi. S. Goto và D. M. Roy đã chứng tỏ $D_{Na} = 15 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ với xi măng poóc lăng có tỉ lệ N/X = 0,40.

R. Bakker đã dùng dung dịch NaOH và KOH trong tế bào khuyếch tán và một đĩa vữa có tỉ lệ N/X = 0,50 và tỉ lệ C/X = 2. Sau 3 ngày thủy hóa, các hệ số khuếch tán với vữa xi măng poóc lăng là $D_{Na} = 7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ và $D_K = 11 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Sau 7 ngày, các giá trị tương ứng là 2 và 4. Các giá trị này vẫn nhỏ hơn các giá trị nhận được khi có mặt NaCl. Nixon và al. [28] đã khẳng định rằng NaCl thúc đẩy phản ứng kiềm – cốt liệu khi tạo thành NaOH. Xu hướng trên cũng quan sát thấy trong môi trường biển.

H. Uchikawa và al. xét rằng trong xi măng puzôlan, sự khuyếch tán ion natri bị chậm lại lực đẩy điện từ của ion dương sinh ra bởi sự hấp thụ kiềm của C-S-H có tỉ lệ Ca/Si nhỏ. Trong bê tông, sự khuyếch tán kiềm bị giảm khi vùng chuyển tiếp vữa – cốt liệu được phong phú hơn do phản ứng puzôlan như trong bê tông dùng muội silic.

3.3. Ứng xử của bê tông dùng muội silic

Phản ứng kiềm – cốt liệu được thúc đẩy do độ thấm lớn liên quan đến mạng lõi rỗng liên tục và dung dịch bên trong có kiềm tính cao, tất cả các đặc trưng này giảm đi trong bê tông cường độ rất cao.

Ứng xử của bê tông chứa muội silic ứng với phản ứng kiềm – cốt liệu được tổng kết trong các hội thảo quốc tế. Sự tương nở giảm có thể thay đổi từ muội silic đến thành phần khác và cần một tiền nghiên cứu. Aixolen có kinh nghiệm lâu nhất trong sử dụng muội silic với xi măng poóc lăng hàm lượng kiềm cao và cốt liệu hoạt tính. Một xi măng chứa 5% muội silic đã được sản xuất ở nước này từ năm 1979. Canada cũng thêm vào 6% muội silic cho xi măng poóc lăng năm 1982 nhưng có thể sử dụng tới 10% theo tiêu chuẩn CAN 3 – A362 từ năm 1983. Muội silic có thể đưa vào bê tông bằng cách thế chõ xi măng, hoặc thêm vào xi măng.

Hàm lượng tối ưu làm giảm hoặc triệt tiêu sự trương nở do phản ứng kiềm – cốt liệu nằm trong khoảng 7 – 25%. Ví dụ một cốt liệu hoạt tính và xi măng có 1,1% Na₂O tương đương, phản ứng kiềm – cốt liệu luôn luôn nằm dưới sự kiểm soát nhờ thêm muội silic. Trong trường hợp hàm lượng không khả quan đồng phún xuất (bronzite andésite) và dung dịch kiềm tương ứng với 2% Na₂Otd, không quan sát thấy một dấu hiệu xuống cấp nào khi lượng muội silic đạt đến 25%.

3. Phản ứng cacbonát hóa

Quá trình cacbonát hóa do ion CO₃²⁻ của không khí là một phản ứng hóa học ban đầu tấn công vào Ca(OH)₂ và cuối cùng là các thành phần canxit của vữa xi măng như C-S-H.

Sự kết tủa các tinh thể canxit cũng làm giảm độ pH của dung dịch bên trong. Trên bề mặt bị cacbonát hóa, độ pH có thể nhỏ hơn 8 trong khi vẫn lớn hơn 12 ở vùng khuất.

Trên thực tế, các phản ứng cacbonát hóa khá phức tạp, nó tồn tại ở các dạng cacbonát khác nhau hiện nay đã được nghiên cứu bởi sự phân chia đồng vị của Oxy 18 và Cacbon 13. Nó có thể tách rời các sản phẩm cacbonát do hấp thụ CO₂ tan ônг nước và các cacbonát của đá trầm tích chứa bụi vôi hoặc cốt liệu.

Quá trình cacbonát hóa phụ thuộc vào loại xi măng, tỉ lệ N/X, hàm lượng xi măng, thời gian bảo dưỡng, độ ẩm. Nếu các ion CO₃²⁻ tới được cốt thép trong bê tông, chúng sẽ ăn mòn kim loại. Tỉ lệ ăn mòn cốt thép khi đó phụ thuộc điện trở của bê tông.

Trong một loại bê tông chất lượng tốt phủ ngoài cốt thép trên một chiều dày lớn hơn 20 mm, phản ứng cacbonát hóa xảy ra chậm. Nếu bê tông chỉ có các vết nứt rộng hơn 0,4 mm, quá trình cacbonát hóa có thể tạo ra một lớp bề mặt bảo vệ. Sự giảm độ pH do cacbonát hóa và do giảm lượng Ca(OH)₂ trong xi măng có phụ gia có thể làm khả năng chống ăn mòn cốt thép của bê tông kém hơn, khi so sánh với bê tông dùng xi măng poóc lăng. Trong các điều kiện này, sự bảo dưỡng đóng vai trò quyết định. Chiều sâu ảnh hưởng của quá trình cacbonát hóa có thể được dự báo bằng cường độ chịu nén ở 28 ngày.

Các kết quả trái ngược nhau đã về khả năng chống cacbonát hóa của bê tông dùng muội silic đã được công bố. Tuy nhiên, từ các nghiên cứu này, ta thấy rằng việc bảo dưỡng bê tông quyết định chiều sâu ảnh hưởng của quá trình cacbonát hóa. Với cường độ chịu nén cùng ở ngày 28, bê tông càng bị cacbonát hóa khi hàm lượng muội silic càng cao (giảm độ pH và mức độ tiêu thụ Ca(OH)₂). Nếu muội silic làm giảm chiều sâu cacbonát hóa một cách đáng kể, dù vậy nó cũng làm tăng điện trở của vật liệu, khi so với một kết cấu rỗng gồm các lỗ rỗng không liên tục. Điện trở lớn giới hạn dòng điện và do đó giới hạn sự ăn mòn cốt thép.

5. Độ thấm Clo

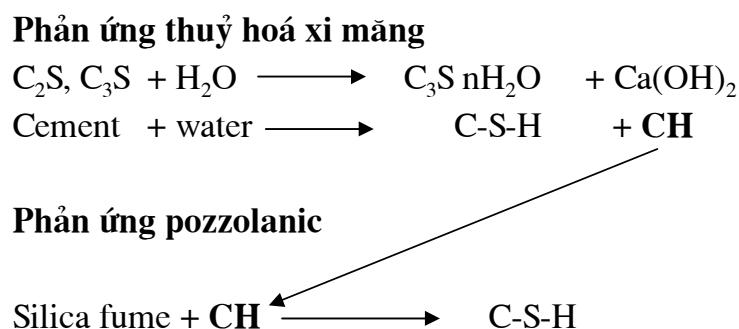
Mức độ thấm Clo qua vùng bê tông bảo vệ và gây ra sự ăn mòn cốt thép hệ số khuyết tật Clo ký hiệu là D và được tính theo công thức sau:

Với bê tông thường: $D = 6,3..10^{-12} \text{ m}^2 / \text{s}$

Với bê tông 8% SF (MS) thì: $D = 1,2.10^{-12} \text{ m}^2 / \text{s}$

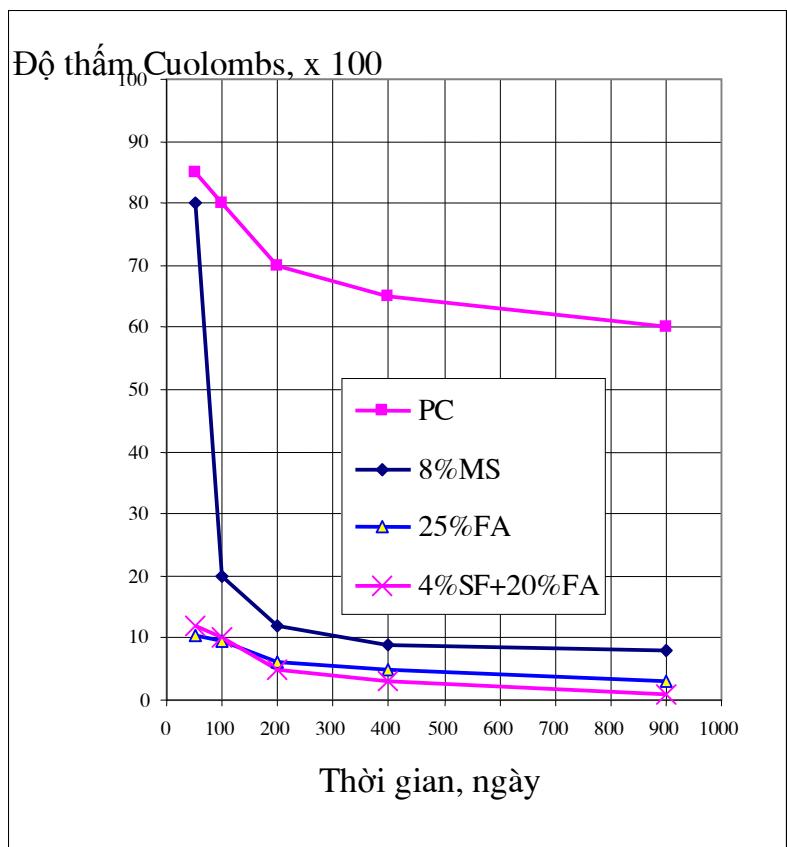
Mức độ thấm Clo phụ thuộc vào thời gian, chất lượng bê tông và chiều dày lớp bê tông và nồng độ Clorit.

Bê tông sử dụng tro nhẹ, muội silic hoặc kết hợp giữa muội silic với tro bay cho khả năng chống thấm nước, chống thấm Clo và chống ăn mòn sulphat tăng lên khác nhau. Hai cơ chế để tăng cường khả năng chống thấm nước và tăng độ bền của bê tông là: Cơ chế bịt kín lỗ rỗng trong cấu trúc vùng đá xi măng và phản ứng Pyzolan trong quá trình chuyển hoá. Sơ đồ của phản ứng Pyzolan hoá được trình bày trên hình 5.3. như sau:

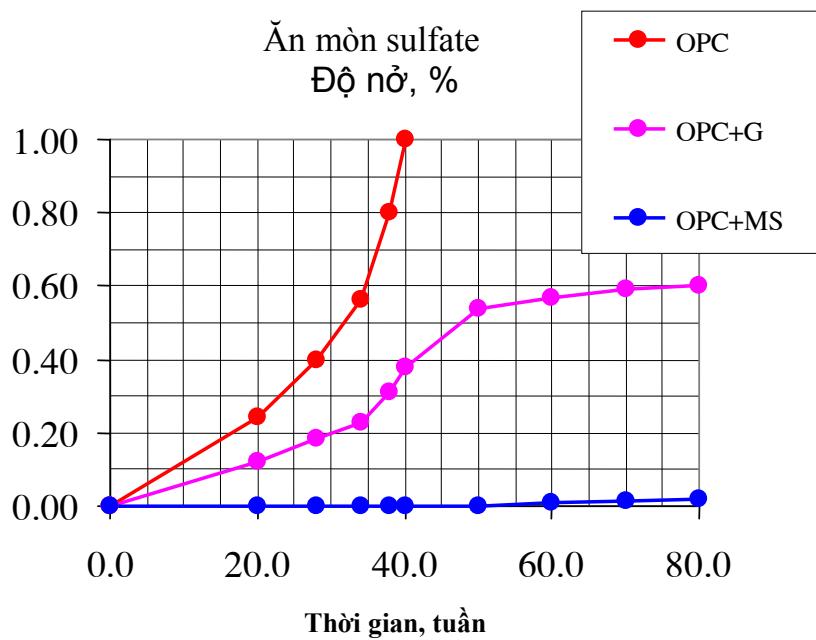


Hình 5.3. Quá trình thuỷ hoá và pozzolanic của xi măng Portland

Phản ứng Pozzoland hoá làm giảm thành phần CH trong đá xi măng làm tăng độ bền của bê tông.

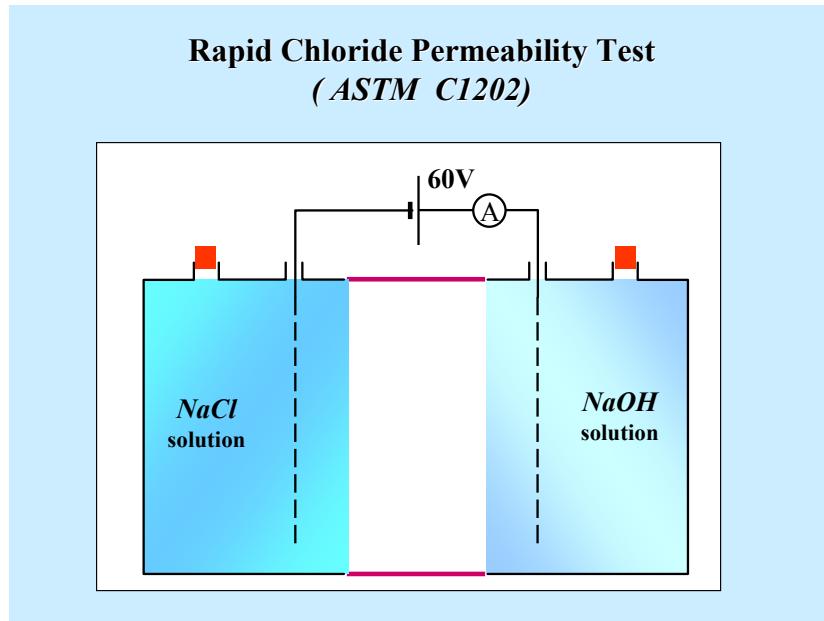


Hình 5.4. Hiệu quả của MS và Fly với độ chống thấm Clo

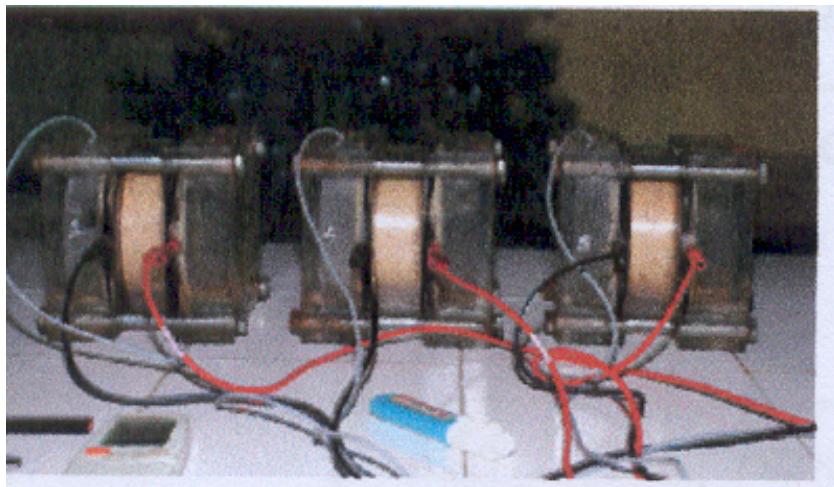


Hình 5.5. Hiệu quả chống ăn mòn sulphat khi sử dụng tro bay và MS

Sơ đồ thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM1202



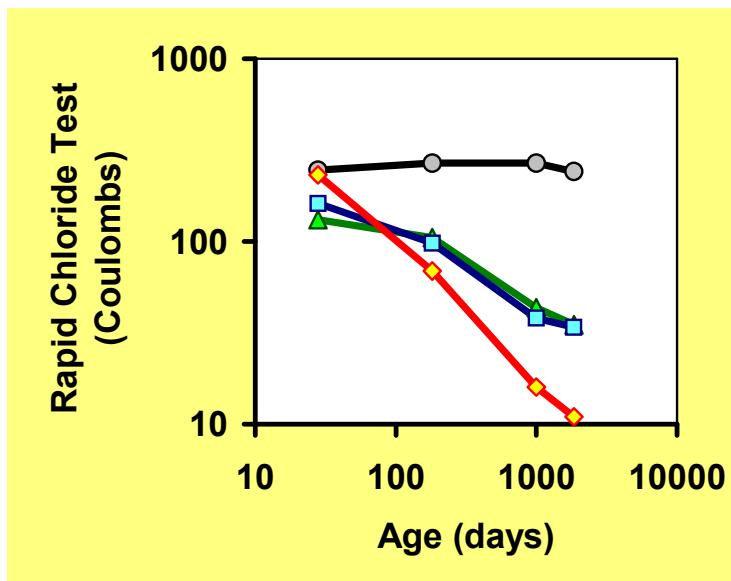
Hình 5.6. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 5.7. Thiết bị thí nghiệm

Tuy nhiên, những hỗn hợp muội silic và tro nhẹ cho hiệu quả chống thấm cao và giá thành rẻ nhất. Các thí nghiệm tại Na Uy cho thấy cốt thép không bị rỉ sau 50 năm nếu lớp phòng hộ là 7,5 cm, với bê tông không phụ gia chống thấm. Để xác định mức thấm ion Clo qua bê tông có thể áp dụng thí nghiệm theo ASTM C1202

Nếu các bê tông có trị số dưới 1000 Culông là chống thấm ion Clo tốt. Các kết quả nghiên cứu ở nước ngoài cho thấy nếu hàm lượng MS >7% hoặc tro bay trên 20% xi măng thì trị số RCPT từ 800 đến 1000 Culông sau 100 ngày.



Hình 5.8. Độ thấm Clo các bê tông khác nhau

1. Bê tông 10% SF; 2. 25% FA ; 3. 40% FA; 4. 56% FA

Ghi chú: kết quả thử nghiệm trên do GS. Michael Thomas (CANADA) thí nghiệm.

Độ bền chống lại các tác động hóa học của bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao nhìn chung lớn hơn bê tông thường. Đặc biệt trong trường hợp phản ứng kiềm – cốt liệu. Sự cải thiện này liên quan tới:

- Kết cấu có độ rỗng nhỏ và không liên tục làm giảm độ thấm, độ lọc, độ khuyếch tán ion về phía vữa và bê mặt vữa – cốt liệu.
- Sự giảm hàm lượng $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do hiệu ứng puzôlan của muội silic.
- Sự giảm ion OH^- trong dung dịch bên trong, cũng nhờ hiệu ứng puzôlan.

Quá trình cacbonát hóa khá phức tạp. Chiều sâu ảnh hưởng của nó lớn hơn hoặc bằng của bê tông và đặc biệt khi thời gian bảo dưỡng ngắn. Tuy vậy, sự cacbonát hóa một mặt tỉ lệ nghịch với cường độ chịu nén, mặt khác điện trở của bê tông dùng muội silic, lớn hơn của bê tông thường đã ngăn cản sự ăn mòn cốt thép ngay cả khi cốt thép đã bị tấn công.

6. Thủ nghiệm độ thấm Clo bê tông chất lượng cao 60, 80MPa từ vật liệu Việt Nam (Đại học GTVT)

Các mẫu thử được chế tạo từ xi măng PC40, cát, đá theo TCVN với hàm lượng nghiên cứu biến đổi từ 6-12%, tỷ lệ N/X=0,4-0,25. Thành phần bê tông thí nghiệm: Đá=1050kg, C=700kg, X=450kg, MS=6-12%, Siêu dẻo=3.15lít.

Hiệu quả của MS đến độ thấm Clorit được thí nghiệm thông qua phương pháp đo tổng điện tích truyền qua mẫu thử. Kết quả thí nghiệm cho thấy mức độ thấm sau 28 ngày ở mức nhỏ hơn 1000 culông (thử nghiệm năm 2002).

Các thí nghiệm của Bộ giao thông vận tải cũng cho các kết quả tương tự.

Thành phần của bê tông chất lượng cao (thử nghiệm năm 2007)

Bê tông chất lượng cao có thành phần như sau:

Cốt liệu: Cát và đá Đồng Nai

Nước sạch: phù hợp với TCXDVN

Chất siêu dẻo: Sika Viscocrete 3000-10, tro nhẹ Sài Gòn

Xi măng: Nghi Sơn PCB-40

Phương pháp thí nghiệm: Sử dụng phương pháp ASTM C1202

Thành phần và cơ tính của bê tông 60 được ghi ở bảng 5.2.

Bảng 5.2. Thành phần

Thành phần	N/CKD	X	MS	Tro	D	C	N	SD
60	0.30	450	24	71	1150	645	160	4.5

Kết quả thí nghiệm về cơ tính được ghi ở bảng 5.3.

Bảng 5.3. Cơ tính

Các chỉ tiêu cơ học	Đơn vị	Cường độ bê tông theo tuổi, ngày		
		3	7	28
Cường độ nén bê tông	Mpa	42	55	68
Cường độ kéo uốn bê tông	MPa	5.8	7.5	8.5
Mô đun đàn hồi bê tông	GPa	35.5	36.5	38.5

Thành phần và cơ tính của bê tông 80B được ghi ở bảng 5.4.

Bảng 5.4.Thành phần

Thành phần	N/CKD	X	MS	Tro	D	C	N	SD
80C	0.26	500	35	75	1100	715	140	6.0

Bảng 5.5. Cơ tính

Các chỉ tiêu cơ học	Đơn vị	Cường độ bê tông theo tuổi, ngày		
		3	7	28
Cường độ nén bê tông	Mpa	55	70	88
Cường độ kéo uốn bê tông	MPa	6.5	7.5	9.0
Mô đun đàn hồi bê tông	GPa	39	40	43.7

Kết quả thí nghiệm độ thấm Clo với bê tông 60 và 80 được thực hiện tại Viện khoa học công nghệ Bộ xây dựng ngày 27/01/2008 được ghi ở bảng 5.6.

Với bê tông 60 tuổi 28 ngày thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C1202, thời gian thí nghiệm 6 giờ

Độ thấm Clo đo bằng giá trị điện lượng là từ 600-764 culông

Độ thấm trung bình 718.3 culông nhỏ hơn 1000 culông

Như vậy độ thấm Clo ở mức độ rất thấp chúng tỏ bê tông 60 có 7% muội silic và 15% tro bay có độ bền chịu nước biển cao.

Với bê tông 80 tuổi 28 ngày thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C1202, thời gian thí nghiệm 6 giờ

Độ thấm Clo đo bằng giá trị điện lượng là từ 181-224 culông

Độ thấm trung bình 205 culông nhỏ hơn 1000 culông

Như vậy độ thấm Clo ở mức độ rất thấp chúng tỏ bê tông 80 có 7% muội silic và 15% tro bay có độ bền chịu nước biển cao.

Bảng 5.6. Kết quả thí nghiệm độ thấm Clo

TT	Tên mẫu	Ký hiệu	điện lượng truyền qua mẫu thử (Culông)		Mức độ thấm Clo
			Từng viên	Trung bình	
1	Bê tông 60C	Mẫu 1	692	718.3	Rất thấp
		Mẫu 2	600		
		Mẫu 3	764		
2	Bê tông 80C	Mẫu 1	224	205	Rất thấp
		Mẫu 2	181		
		Mẫu 3	210		

So sánh kết quả đo độ thấm Clo cho thấy độ thấm Clo thấp hơn từ 10-15 lần so với bê tông 40 không dùng muội silic hoặc tro bay hoặc kết hợp giữa muội silic với tro bay.

Khả năng chống lại các tác động hóa học và thấm của bê tông chất lượng cao lớn hơn bê tông thường. Với bê tông có cường độ chịu nén tuổi 28 ngày, mẫu hình trụ, từ 60 đến 80 có phụ gia MS 7% và tro bay Nam Bộ 15% theo khối lượng xi có độ thấm Clorit thấp. Khả năng chống lại tác động thấm nước và thấm clorít cao đảm bảo độ bền nước và nước biển cao. Loại bê tông này có tỷ lệ N/X từ 0.31-0.26, lượng X = 471 - 490Kg.

Đối với các công trình cầu và cảng biển, các công trình xây dựng ở biển và ven biển nên dùng loại bê tông có muội silic từ 5-6% và khoảng 15-20% tro bay. Nếu mức độ ăn mòn thấp để tăng độ bền có thể dùng bê tông có muội silic từ 5-7% và không cần dùng tro bay.

Bê tông sử dụng cốt liệu Nam Bộ với phụ gia muội silic, tro bay trong thí nghiệm đã chứng tỏ đảm bảo độ bền dưới tác dụng của ion Clo.

Câu hỏi:

1. Phản ứng kiềm cốt liệu?
2. Hiện tượng cacbon nát hóa?
3. Độ bền sulphat và độ bền thấm Clorít?
4. Ảnh hưởng của tỷ lệ N/X và thành phần khoáng siêu mịn đến độ bền của bê tông HPC?

CHƯƠNG 6

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG

BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO VÀ CHẤT LƯỢNG CAO

1. Một số đặc tính được cải tiến của bê tông cường độ cao và chất lượng cao

Bê tông chất lượng cao có cường độ chịu nén và nhiều tính chất khác được cải thiện như: mô đun đàn hồi cao hơn, cường độ chịu kéo cao, từ biến thấp hơn bê tông thường.

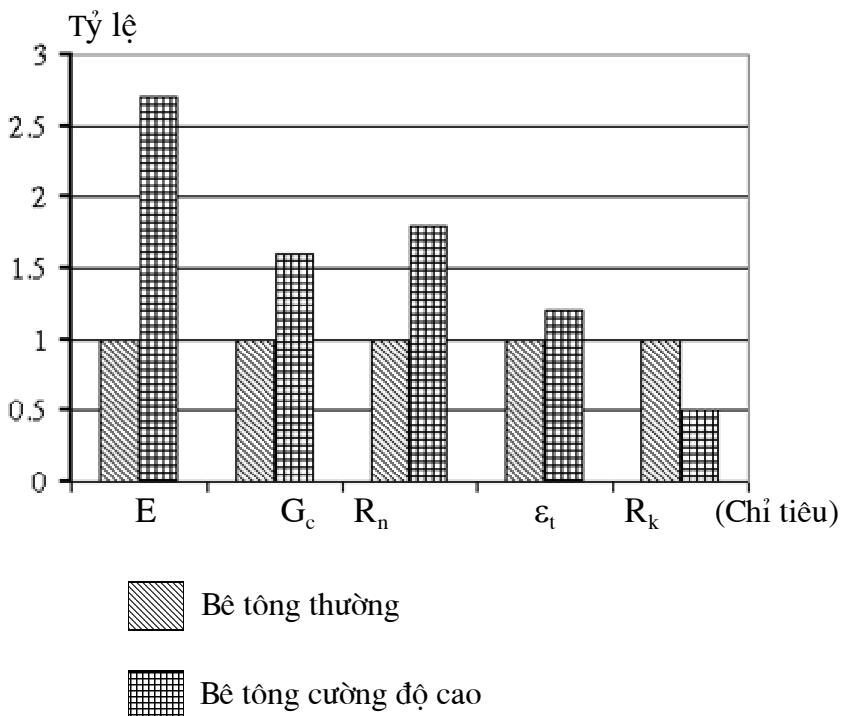
Cường độ chịu nén của bê tông là một trong những tính chất quan trọng nhất của bê tông. Cường độ chịu nén tuổi 28 ngày được dùng là chỉ tiêu để đánh giá chất lượng của bê tông. Cường độ chịu nén của bê tông chất lượng cao hiện nay đã sử dụng từ 42MPa (6000 psi) đến 138 MPa (20'000 psi) và thường dùng bê tông có cường độ khoảng 84 MPa. Theo tiêu chuẩn Mỹ và Anh, cường độ chịu nén được xác định bằng mẫu tiêu chuẩn hình trụ tròn 150x300mm (6x12 inh-sơ). Theo tiêu chuẩn Việt Nam, cường độ chịu nén được xác định trên mẫu hình hộp lập phương 150x150x150mm.

Cường độ chịu kéo không chế vết nứt của bê tông, đồng thời còn ảnh hưởng đến một số tính chất khác như: độ cứng, độ bền của bê tông, khả năng dính bám với cốt thép... Bê tông có chất lượng cao thì cường độ chịu kéo cũng cao hơn từ 30 ÷ 60% tuỳ theo thành phần của bê tông cường độ cao, nhưng tốc độ tăng cường độ chịu kéo chậm hơn cường độ chịu nén. Thông thường cường độ chịu kéo của bê tông chất lượng cao bằng khoảng 10%. Cường độ chịu kéo có thể được xác định trực tiếp hoặc gián tiếp (qua cường độ chịu kéo bửa (ASTM C496) hoặc kéo uốn (ASTM C78).

Các nghiên cứu cũng cho thấy cường độ bê tông tăng thì mô đun đàn hồi tăng đáng kể từ 20 ÷ 40% tuỳ theo thành phần của nó và bản chất của loại cốt liệu. Biến dạng dài hạn cuối cùng giảm đáng kể (ϵ_v) chỉ còn khoảng 0,4 - 0,5 biến dạng theo thời gian của bê tông thường. Tuy nhiên môđun chống cắt G_c tăng không nhiều (xem hình 6.1.).

Tốc độ phát triển cường độ của bê tông chất lượng cao nhanh hơn bê tông thường. Các loại bê tông truyền thống thường 7 ngày đạt 50% cường độ (tuổi 28 ngày), 14 ngày đạt 70-80% cường độ. Nhưng đối với bê tông chất lượng cao thì 7 ngày đã đạt 70-80% cường độ, 14 ngày đạt > 90% cường độ tuổi 28 ngày.

Các tính chất cơ học được cải tiến như vậy dẫn đến khả năng ứng dụng bê tông chất lượng cao (hình 6.1; bảng 6.1.). Những ứng dụng chính là các công trình lớn đòi hỏi cường độ nén cao và các kết cấu bê tông DUL (cầu, hầm, nhà, cảng lớn).



Hình 6.1- Các đặc tính cơ học của bê tông chất lượng cao so với bê tông thường

Bảng 6.1. Các đặc tính cơ học của bê tông quy định trong các tiêu chuẩn

Loại bê tông					
CEB	C30	C40	C50	C60	C80
EC2	C30/37	C40/55	C50/60	C60/70	C80/90
TCVN	M30	M40	M50	M60	M80
R _b , MPa	30	40	50	60	80
R _k , MPa	2,8	3,2	3,6	4,0	4,7
E _b , KN/mm ²	33	35	37	39	42

2. Tông quát ứng dụng bê tông cường độ cao và chất lượng cao

Hiện nay bê tông chất lượng cao được ứng dụng trong các lĩnh vực sau:

- Cột của các tòa nhà cao tầng: việc sử dụng cột bê tông chất lượng cao sẽ chịu được tải trọng lớn hơn, cho phép giảm kích thước mặt cắt cột, yêu cầu lượng cốt thép và ván khuôn sử dụng ít hơn (Mỹ và Đức).
- Trong xây dựng cầu: bê tông chất lượng cao thường được sử dụng cho các dầm cầu bê tông dự ứng lực với mục đích giảm tải trọng bản thân dầm và tăng chiều dài kết cấu nhịp. Cường độ bê tông đã được sử dụng trong khoảng 60 - 100MPa (Mỹ, Nhật Bản, Trung Quốc và Pháp). Các cầu của Đức, Hà Lan vào năm 1992 - 1995 đã dùng bê tông 60 - 80MPa.

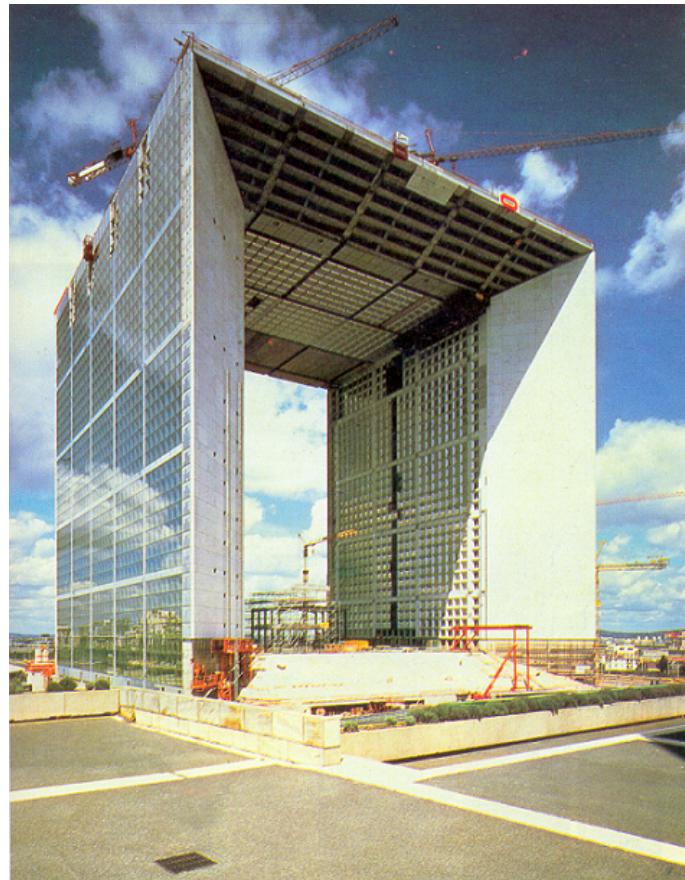
Trong các công trình ngoài khơi: dùng bê tông chất lượng cao giảm được trọng lượng bản thân, tăng độ bền cho kết cấu (Na Uy, Thụy Điển, Anh, Úc).

Bê tông cường độ cao được dùng chủ yếu ở Mỹ cho các nhà cao tầng bắt đầu từ năm 1975 đến nay. Các ngôi nhà từ 43- 76 tầng vào năm 1975- 1976 đều dùng bê tông 62MPa. Các ngôi nhà ở Chicago 1976 - 1990, số tầng 50 - 70 cường độ bê tông đến 80 MPa. Các ngôi nhà ở Tôkiô, Cleveland vào năm 88 - 90 - 95 cường độ bê tông đến 97 MPa. Sự phân phôi cường độ bê tông theo tầng như sau: Tầng 0 đến tầng 25 bê tông 75 - 90 MPa, kích thước cột 48 x 48 in, 18 x 54 in. Tầng 25 - 40 bê tông 60MPa. Tầng 60 - 75 bê tông 40, kích thước cột 18 x 24in. Các ngôi nhà ở Pháp, Đức khoảng 40 tầng đều dùng bê tông M70 - M90 ở những tầng từ 0 đến 20.

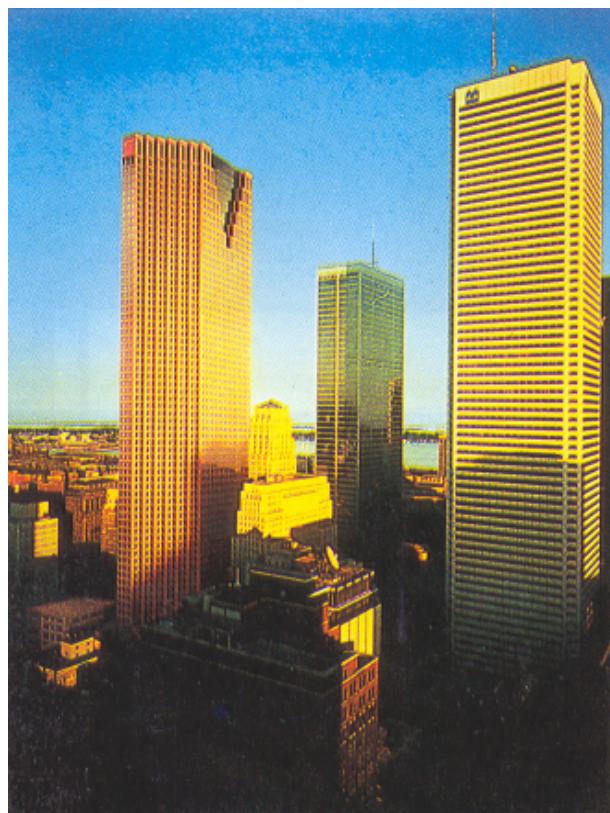
Công trình hầm và Metro thường sử dụng bê tông chất lượng cao và bê tông cường độ cao cốt sợi để tăng độ bền trong môi trường làm việc phức tạp và tăng tuổi thọ của công trình. Tiêu biểu là các công trình hầm qua eo biển Măng-sơ và hầm qua đèo Hải Vân.

Các công trình nhà ở Trung Đông, Các công trình cầu mới được xây dựng trong năm 2001-2008 đều sử dụng bê tông chất lượng cao với tuổi thọ khai thác trên 100 năm.

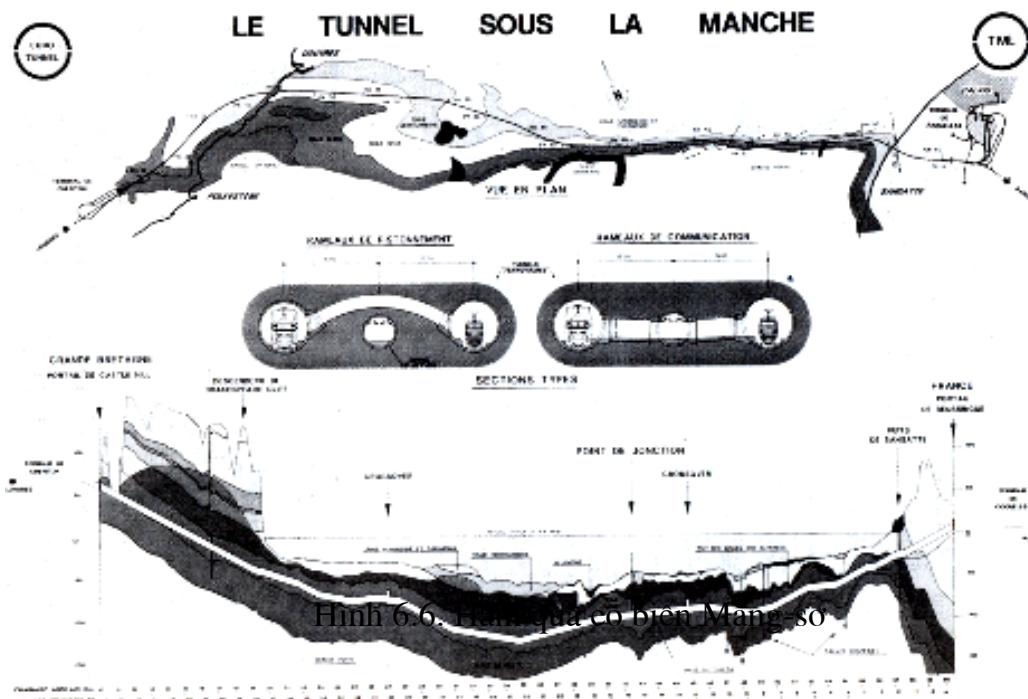
Bê tông chất lượng cao đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới chứng tỏ các ưu thế nổi bật của loại bê tông này và đang được áp dụng tại Việt Nam.



Hình 6.2 Nhà La Défense (Paris)



Hình 6.3. NovaScotia, Toronto (Canada)



Hình 6.4. Đường hầm qua eo biển Manche

3. Lợi ích cơ bản của bê tông HPC-Tăng khả năng chịu lực và tuổi thọ khai thác của kết cấu xây dựng.

Lợi ích về mặt tính năng lâu dài và tăng cường độ có thể đạt được trong các kết cấu cầu khi sử dụng bê tông tính năng cao (HPC). Những giải pháp chính để sử dụng HPC trong các kết cấu cầu là kéo dài chiều dài khẩu độ cầu với những kiểu dầm được chế tạo thông thường, giảm chiều cao kết cấu và loại bỏ các tuyến dầm không cần thiết để mang lại hiệu quả kinh tế cao (bớt đi một hoặc hai tuyến dầm). Trong các trường hợp đặc biệt (cầu rất lớn, cầu ở biển) độ bền cao chính là lợi ích của bê tông cường độ cao.

Hiện tại các nghiên cứu đang tiến hành nhằm giải quyết các vấn đề liên quan đến thiết kế chống cắt, các yếu tố chịu uốn và nén; và nghiên cứu, phát triển và lắp ghép theo chiều dài cho các kết cấu dự ứng lực và không dự ứng lực có cường độ khác nhau.

4. Các thiết kế hiệu quả về mặt chi phí

Các giả thiết với tính hiệu quả kinh tế cao hơn là có thể đạt được với HPC. Đó là vì tăng cường được các đặc tính về mặt cơ học và cải thiện các tính chất về độ bền của HPC. Những lợi ích về mặt tính năng mang lại cho người thiết kế sự

linh hoạt hơn trong việc lựa chọn kiểu và kích thước của một cây cầu và các bộ phận của cầu. Người thiết kế có thể sử dụng ít vật liệu hơn, ít dầm hơn và khẩu độ dài hơn cho các dự án HPC của họ. Độ bền lâu của HPC dẫn đến chi phí bảo dưỡng và sửa chữa thấp. Tất cả những yếu tố này làm cho chi phí xây dựng và chi phí tuổi thọ thấp hơn. 3 yếu tố chi phí cơ bản của một kết cấu bê tông là vật liệu, nhân công, và giá thành. Từng yếu tố chi phí bị ảnh hưởng khi sử dụng HPC.

Các loại vật liệu ban đầu trong một kết cấu bê tông là bê tông, thép tăng cứng dự ứng lực và không dự ứng lực. Để có tính năng cao hơn tất yếu đòi hỏi các chi phí vật liệu phải cao hơn:

a) Vật liệu

(1) *Bê tông*: Một hỗn hợp bê tông tính năng cao (HPC) cần chi phí cao hơn từ 30 - 40% so với hỗn hợp bê tông thông thường. Đó là vì hàm lượng phụ gia và vật liệu kết dính cao hơn. Điều quan trọng với người thiết kế là phải xác định được cường độ bê tông cần thiết tối thiểu ở từng giai đoạn thi công như giai đoạn giải phóng ứng suất dư, giai đoạn vận chuyển, tháo bỏ ván khuôn, và đưa vào sử dụng. Điều này cho phép nhà thầu và nhà sản xuất lựa chọn được hỗn hợp với chi phí thấp nhưng đạt các mục tiêu thiết kế và giảm các rủi ro liên quan đến các cường độ bê tông cao.

(2) *Thép dự ứng lực*: Cần nhiều thép dự ứng lực hơn để phát triển các mức ứng suất dư cao hơn có thể. Thường cần phải sử dụng các bó dây thép có đường kính 0,6 "(15 mm) để có được các mức ứng suất cao hơn. Hiện nay, các bó dây với đường kính 0,6' có chi phí cao hơn chút ít so với bó dây với đường kính 0,5" (12,7 mm) tính trên cơ sở một đơn vị trọng lượng. Tuy nhiên, vì cần ít bó dây hơn khi sử dụng bó dây có đường kính 15 mm, nên chi phí tổng thể có thể không khác biệt nhiều lắm. Người thiết kế có thể cân nhắc đến tiết diện dầm tối ưu để có hiệu quả kinh tế hơn.

(3) *Cốt thép không có dự ứng lực*: Việc sử dụng các thanh thép thường trong các dầm dự ứng lực là không đáng kể. Do vậy không có sự tăng lên đáng kể về chi phí. Thiết bị chế tạo và nhà máy do việc sử dụng được các thiết bị truyền thống nên chi phí tăng không đáng kể.

b) Nhân công

Nhân công cần thiết để thi công và chế tạo một kết cấu HPC không khác biệt nhiều lắm so với các kết cấu bê tông thông thường. Đối với các nhà máy chế tạo chưa sản xuất HPC, chi phí nhân công ban đầu có thể tăng lên đôi chút vì một số thay đổi trong dụng cụ tiêu chuẩn, ví dụ, sự thay đổi từ bó dây 0,5" (12.7mm) sang 0,6" (15mm).

Giá thành bao gồm tổng chi phí, lợi nhuận, và rủi ro ban đầu có thể cao hơn đối với HPC. HPC được xem là có độ rủi ro cao hơn, đặc biệt là đối với các nhà thầu và nhà chế tạo không am hiểu về nó. Người thiết kế cần giúp đỡ để giảm thiểu những yếu tố rủi ro bằng cách chỉ ra cường độ bê tông tối thiểu cần thiết khi thiết kế và bằng cách liên lạc với các nhà chế tạo trước khi thiết kế.

Khi tất cả 3 yếu tố chi phí được gộp lại với nhau, thì chi phí hiện tại của một dầm HPC sẽ tăng lên khoảng từ 10 - 15% so với một rầm tiêu chuẩn. Phần chi phí tăng này có thể bù đắp lại bằng cách dùng ít hơn dầm hoặc trụ trong các kết cấu. Thông thường trên mặt cắt ngang cầu có thể giảm đi một giây dầm để giảm chi phí chung toàn cầu không đổi.

5. Các đặc tính vật liệu

Các đặc tính ban đầu của vật liệu ảnh hưởng lên thiết kế kết cấu của bê tông gồm: cường độ nén, mô đun đàn hồi, khối lượng riêng, mô đun mỏi, độ dão, và các hệ số co rút.

Đường cong ứng suất – biến dạng và mô hình vật liệu

Đường cong ứng suất – biến dạng đối với HPC là hoàn khác với bê tông thông thường. Điều này có ảnh hưởng các thông số của khối ứng suất hình chữ nhật tương đương, các giới hạn về cốt thép và cường độ của mặt cắt cấu tạo.

Kiểu đồ thị ứng suất vùng nén trong kết cấu bê tông chất lượng cao được cải tiến như sau:

Đối với bê tông cường độ thông thường (PC), kiểu đồ thị ứng suất nén là đường barabol. Miền ứng suất tương đương là lý tưởng khi nó là một khối ứng suất hình chữ nhật. Cường độ nén lớn nhất được nhân với hệ số 0,85 để cho cường độ ứng suất thiết kế và chiều cao trực tự nhiên được nhân với một hệ số β_1 , hệ số này biến thiên từ 0,85 đối với các cường độ bê tông = 4ksi đến 0,65 (25 MPa) đối các cường độ bê tông $\geq 8\text{ksi}$ (55 MPa), để xác định chiều sâu của khối hình chữ nhật (được quy định và hướng dẫn sử dụng rất rõ ràng trong TCN272-05).

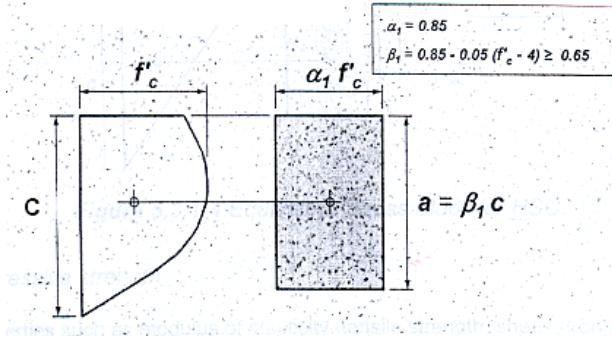
- Bê tông cường độ thông thường:

$$\alpha_1 = 0,85 \beta_1 = 0,85 - 0,05(f'_c - 4) \geq 0,65$$

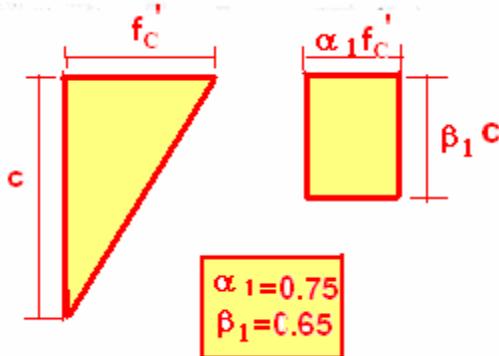
Bê tông chất lượng cao, đường cong ứng suất – biến dạng lý tưởng sẽ là phần đường đồ thị đi lên và biến dạng cuối cùng là 0,003. Do đó khối ứng suất bê tông lý tưởng là phần có hình tam giác. Ứng suất tối đa xuất hiện ở тор trên cùng và bằng 0 tại vị trí trục trung hoà của mặt cắt.

Khối ứng suất tương đương là lý tưởng khi khối ứng suất là hình chữ nhật cho trên hình 6. Nếu hệ số β_1 của chiều sâu khối ứng suất tương đương được lập là 0,65, hệ số α_1 lấy bằng 0,75 để duy trì một mức lực tương đương giữa các khối ứng suất hình tam giác và hình chữ nhật. Để duy trì mức lực tương đương giữa hình tam

giác và hình chữ nhật, hệ số α_1 nên là 0,75 thay cho 0,85 như thông thường (trị số này theo đề nghị của Pháp từ 0.75-0.78). Hệ số $\beta_1=0.65$



Hình 6.5. Biểu đồ khối ứng suất của bê tông thường



Hình 6.6. Biểu đồ khối ứng suất của bê tông chất lượng cao

6. Các ứng dụng bê tông chất lượng cao (HPC)

6.1. Ứng dụng vào cầu đường cao tốc ở Hoa Kỳ

Phần này giới thiệu các ứng dụng của Hoa Kỳ về bê tông chất lượng cao cho kết cấu cầu. Nhóm nghiên cứu hy vọng chúng ta có thể tham khảo về vật liệu, kết cấu, dạng kết cấu, giá thành trên các số liệu về các cây cầu đã xây dựng.

Các thông tin về cầu HPC được bố trí ở một số báo cáo về kỹ thuật đã xuất bản và chưa xuất bản, các bài báo ở các tạp chí kỹ thuật, các hội nghị chuyên đề.

Sau đây là những điểm phác thảo tóm tắt:

- Mô tả: Những nhận biết nếu cầu được thông cho các phương tiện giao thông và cung cấp một tóm tắt về các đặc tính của cầu, bao gồm vị trí, chiều dài cầu, chiều dài nhịp, khoảng cách rầm, các kết cấu HPC, kiểu môi trường.
- Những lợi ích: Nhấn mạnh tại sao HPC được sử dụng.
- Kinh phí: Cung cấp các thông tin về giá thành (tổng giá thành, đơn giá/ft², hoặc đơn giá/ft) của kết cấu.
- Các hợp chất hóa học: bao gồm các hạng mục được yêu cầu bởi HPC.

- Các hợp chất hóa học được sử dụng: nhận biết các hợp chất thực tế được sử dụng bởi nhà thầu để đáp ứng các yêu cầu về tiêu chuẩn kỹ thuật.
- Các yêu cầu HPC: nhận biết các thông số HPC như khả năng chống thấm, cường độ thiết kế, (cao hơn 8 ksi), cường độ cao ban đầu, SCC/đổ, cốt liệu nhẹ, mô đun đàn hồi, và các đặc tính khác.
- Các bài học rút ra (khi có sẵn): xây dựng trên những lợi ích của việc sử dụng HPC và nhấn mạnh vào những khó khăn nào đã từng trải qua và cách giải quyết.

Các tóm tắt nghiên cứu ban đầu là dành cho 18 cây cầu bao gồm chương trình quốc gia được khởi xướng năm 1993 bởi FHWA để tiến hành việc sử dụng HPC. Chương trình bao gồm việc thi công các cây cầu trình diễn ở từng khu vực FHWA trước đây và phổ biến công nghệ và các kết quả tại các cuộc hội thảo. 18 cây cầu đã được xây ở 13 bang khác nhau. Các bang khác đã tiến hành việc sử dụng HPC ở những bộ phận cầu khác nhau. Các tóm tắt nghiên cứu sẽ hoàn tất về những cải tiến tốt nhất, với mục tiêu là cố gắng ít nhất có được một tóm tắt nghiên cứu cho từng bang tiến hành HPC.

Có một số bài học đã được rút ra từ các dự án HPC. Nghiên cứu và các dự án HPC do FHWA thể hiện đã khẳng định rằng HPC có thể được thi công và có thể được sử dụng một cách kinh tế trong các công trình cầu cao tốc. HPC đã làm tăng cường các tính chất về độ bền và các thông số về cường độ mà thông thường không thể đạt được khi sử dụng các hỗn hợp bê tông thông thường.

Sử dụng HPC trong các cây cầu cho thấy HPC tiết kiệm được chi phí thi công ban đầu và chi phí cho bảo dưỡng lâu dài do:

- Giảm trọng lượng và sử dụng ít các dầm
- Sử dụng các dầm có chiều cao thấp để giải quyết vấn đề đất đắp và chiều cao kiến trúc
- Tăng chiều dài nhịp
- Tăng độ bền trong thời gian ngắn và độ bền lâu dài.

Ngày càng có nhiều các nhà chế tạo và nhà thầu quan tâm đến sản xuất, chế tạo và thi công HPC. Họ đã rút ra được những bài học có giá trị để cải thiện khả năng sản xuất và chất lượng và đạt được một sản phẩm tốt. Các dầm bê tông dự ứng lực đúc sẵn sử dụng bê tông có cường độ từ 10.000psi(69MPa) và cường độ giải phóng ứng suất (cắt dự ứng lực) ở phạm vi từ 7.000 đến 8.000 psi (48-55MPa) có thể được đúc ở một chu kỳ ban ngày bình thường với chi phí chỉ hơi cao hơn bê tông thông thường một chút. Ví dụ, bê tông HPC thường có giá thành cao hơn bê tông thông thường khoảng 20% cho một m³. Bê tông HPC sử dụng tro nhẹ và xỉ có giá thành gần như bằng với bê tông thông thường.

Một sản phẩm có chất lượng tốt thì tiết kiệm được chi phí cho quá trình vận hành lâu dài. Các bước được thực hiện bởi chủ đầu tư và nhà sản xuất nhằm đảm bảo sự thành công và chất lượng trong quá trình sản xuất là vấn đề sống còn để tiết kiệm chi phí và khả năng lợi nhuận.

Đối những người sử dụng HPC lần đầu tiên, một kết cấu thí nghiệm được thi công trước khi bắt đầu sản xuất đã chứng minh là rất có lợi ích. Các bài học rút ra từ các mặt cắt thí nghiệm này có thể đưa vào thực hành để đảm bảo chất lượng và sản xuất.

HPC sở hữu tất cả các bộ phận cần thiết cho các ứng dụng kết cấu để kéo dài tuổi thọ phục vụ và giảm chi phí chu kỳ tuổi thọ. Ứng dụng thành công phụ thuộc lớn vào việc kỹ sư thiết kế phối hợp chặt chẽ với các nhà chế tạo và nhà thầu địa phương để tiến tới các giải pháp có hiệu quả kinh tế.

Tóm tắt các nghiên cứu

Alabama	Đường cao tốc 199 trên nhánh sông Uphapee, Hạt Macon
California	New San Francisco - Cầu qua vịnh Oakland: đường trên không
Colorado	Đường liên bang 25 trên đại lộ Yale, Denver
Georgia	Tuyến Bang 920 (Đường bộ Jonesboro) trên I-75
Louisiana	LA 87 trên kênh Charenton ở St. Mary Parish
Nebraska	Cầu đường bộ trên phố 120 và Giles, Hạt Sarpy
New Hampshire	Tuyến đường 104 trên sông Newfound, Bristol
	Tuyến đường 3A trên sông Newfound, Bristol
New Mexico	Tuyến cũ 66 trên Rio Puerco
North Carolina	U.S.401 trên sông Neuse, hạt Wake
Ohio	Tuyến 22 U.S trên sông nhánh tại Mile Post 6.57 gần Cambridge ở hạt Guernsey
South Dakota	I-29 Northbound trên đường sắt tại hạt Minnehaha, số kết cấu 50-181-155
	I-29 Northbound trên đường sắt tại hạt Minnehaha, số kết cấu 50-180-155
Tennessee	Đường Hickman trên tuyến 840, hạt Dickson đường bộ Porter trên tuyến 840 bang, Dickson
Texas	Đường Louetta giao lộ, SH 249, Houston Tuyến US 67 trên sông Bắc Concho, tuyến 87 US và đường sắt South Orient, San Angelo
Virginia	Tuyến 40 trên sông Falling, Brookneal ở quận Lynchburg đại lộ Virginia trên sông Clinch, Richlands

Các làn đường Eastbound của tuyến đường bang 18 trên Washington tuyến bang 516, hạt Kinh

- **Cầu Alabama dầm chữ T, 34m**

Đường cao tốc số 199 qua nhánh sông Uphapee, hạt Macon. Được thông xe vào tháng 4 năm 2000, bắc trên đường cao tốc số 199 qua nhánh sông Uphapee là một cây cầu dài 798ft (243m). Nó bao gồm 7 nhịp có độ dài mỗi nhịp là 114ft (34m) với 54 dầm hình chữ T cách nhau 10ft (3m). Môi trường được coi là một cây cầu bình thường bắc qua sông. Các bộ phận có sử dụng bê tông HPC là các kết cấu phụ, dầm và phiến lát. Dầm hình chữ T có đơn giá là \$120/ft dài (393.7USD/md), kết cấu phụ có đơn giá là \$24.72/ft² (286USD/m²) cho diện tích bề mặt phiến lát và đơn giá của siêu kết cấu là \$16.93/ft² (184USD/m²) của diện tích bề mặt phiến lát.

Việc thiết kế của các dầm cho một bê tông có cường độ nén tới 10000psi (69MPa) tại thời điểm 28 ngày cho phép sử dụng 5 tuyến dầm. Nếu sử dụng bê tông thông thường phải cần đến 6 tuyến dầm. Nhờ bỏ được một tuyến rầm nên tiết kiệm trong kinh phí dự tính là \$100.000. Hơn nữa, việc sử dụng HPC còn tiết kiệm được \$100.000 do dùng ít hơn 1 trụ cầu. Trong khi những lợi ích dự đoán với việc sử dụng HPC tăng lên gấp đôi. Một là tiết kiệm được chi phí thi công ban đầu do sử dụng ít hơn 1 tuyến dầm và 1 trụ cầu. Thứ hai là sự mong đợi ở một kết cấu bê tông có độ bền hơn nhờ đó giảm được chi phí bảo dưỡng và kéo dài tuổi thọ phục vụ.

Đối với các dầm, chủ đầu tư cho phép sử dụng tro nhẹ cấp C ít hơn 35% và muội silic ít hơn 15% về trọng lượng vật liệu kết dính. Đối với phiến lát, dùng tro nhẹ cấp C ít hơn 30% và muội silic ít hơn 15% về trọng lượng vật liệu kết dính đã được chỉ định. Các ngưỡng về khả năng thẩm clo không yêu cầu. Phiến lát được yêu cầu xử lý ướt trong vòng 7 ngày.

Đối với các dầm, nhà thầu đã sử dụng 753lb/yd³ xi măng (445kg/XM) và 133lb/yd³ tro nhẹ (79kg). Ở 28 ngày tuổi, thí nghiệm cường độ nén trên dầm đo được là 9920 psi (68MPa). Đối với các phiến lát, cường độ nén đo được trung bình là 7370 psi (50MPa) ở 28 ngày tuổi khi sử dụng 658lb/yd³ về xi măng và 165lb/yd³ về tro nhẹ.

- **Cầu California hình hộp 162m**

Cầu qua vịnh Oakland: đường bộ trên không, San Francisco

Cây cầu mới trên vịnh Oakland - San Francisco được cấu tạo gồm nhịp Signature, các nhịp Skyway và nhịp tiếp cận. Cây cầu này, hiện đang được thi công, được bố trí ở môi trường biển phía trên vịnh San Francisco ở giao lộ 80. Tuổi thọ thiết kế của cây cầu này là 150 năm.

Skyway là một dầm hình hộp đúc sẵn nhiều nhịp với chiều dài mỗi nhịp là 540 feet (162m). Dầm hình hộp được cấu tạo từ hai dầm "chính" cách nhau gần 26ft (7.8m).

Trong khi tất cả các thành phần của cây cầu vịnh mới này có các yêu cầu về tính năng nghiêm ngặt, bản tóm tắt này chỉ tập trung vào các bộ phận siêu kết cấu của Skyway. HPC, kết hợp với thi công phân đoạn, nhờ đó tăng được đáng kể chiều dài nhịp thiết kế.

Cường độ được sử dụng trong khi thiết kế các dầm đúc sẵn của Skyway là 8000 psi (55MPa). Tuy nhiên, chủ đầu tư đã yêu cầu mô đun tối thiểu là 5.200.000 psi (40GPa). Ngoài ra, giới hạn độ co rút là 0,045% ở 180 ngày theo tiêu chuẩn ASTM C157 (7 xử lý nước) và giới hạn độ dão là 0,5 mils/psi @20 - 40% f_c' (28 ngày) cũng được nêu ra. Việc sử dụng các hợp chất hóa học (tro nhẹ/muội silic)/metakaolin cũng được yêu cầu.

Nhà thầu sử dụng 25% tro nhẹ, các hợp chất làm giảm co rút, chất làm chậm (kiểu B) và chất làm giảm nước ở phạm vi cao (kiểu G). Cường độ bê tông đạt được vượt 10.000 psi(>69MPa).

- **Cầu I-25 trên đại lộ Yale, Denver dầm hình hộp cao 1.7m, L=65m**

Được thông đường vào tháng 6 năm 1998, cầu I-25 trên đại lộ Yale là một cây cầu dài 214 ft (65m) mặt đường rộng 38ft (11.3m). Kết cấu hai nhịp sử dụng các dầm hình hộp chiều cao 1700mm x chiều rộng 750mm cách nhau 1720mm. Môi trường được xem là một cây cầu bắc qua đường bộ. Các bộ phận có sử dụng HPC bao gồm trụ cầu, dầm và phiến lát cầu.

Bê tông tính năng cao được chỉ định cho dầm hình hộp để đáp ứng các yêu cầu nhịp dài với chiều sâu siêu kết cấu nông. Để cung cấp thêm không gian phụ cho một làn đường quay đầu xe, cầu đã giảm từ thiết kế 4 nhịp ban đầu thành 2 nhịp. Cây cầu mới đã có một trụ với 4 cột so với cây cầu trước được có 3 trực với tổng cộng 45 cột. Việc giảm số nhịp và số cột đã cải thiện đáng kể tính thẩm mỹ và tầm nhìn. Dầm có đơn giá là \$188,29/ft dài (627USD/md).

Chủ đầu tư đã chỉ định tỉ lệ phần trăm tối đa tro nhẹ là 25% đối với dầm và 10% đối với phiến lát. Cường độ nén được chỉ định là 10.000 psi (69MPa) ở 56 ngày tuổi cho dầm và 5076 psi (35MPa) ở 28 ngày tuổi cho phiến lát. Không có chỉ định về các yêu cầu khả năng thẩm clo. Phụ thuộc vào thời điểm của năm, xử lý bằng màng tiếp theo là xử lý bằng nước 5 ngày hoặc xử lý bằng màng tiếp theo là xử lý là mền chăn cách nhiệt 5 ngày được sử dụng cho phiến lát.

Đối với dầm, nhà thầu sử dụng 730lb/yd³ xi măng (430kg) và 35lb/yd³ muội silic (20kg) và cường độ nén đạt được nằm trong phạm vi từ 7.800 (54) đến 14.000 psi (95) ở 56 ngày tuổi. Đối với phiến lát, nhà thầu sử dụng 712lb/yd³ xi măng (420) và không có tro nhẹ hoặc muội silic và đạt được cường độ nén trung bình là 5945 psi (40) ở 56 ngày tuổi.

- **Cầu Georgia (sơ đồ cầu 16+38.7+38.7+13.7m, I75cm**

Cầu SR 920 (đường bộ Jonesboro) cầu I-75, hạt Henry. Được thông đường vào tháng 2 năm 2003, cầu I-75 bắc qua đường bộ SR 920 là một cây cầu có chiều dài 352ft (107m) và rộng 90ft (27.4m). Kết cấu được bố trí gồm 4 nhịp có khẩu độ là 53ft (16m), 127ft (38.7m), 127ft (38.7m), và 45ft (13.7m). Các nhịp 127ft (38.7m) sử dụng dầm kiểu IV theo tiêu chuẩn AASHTO cách nhau 7,6ft (2.286m). Các nhịp ngắn hơn sử dụng dầm kiểu II theo AASHTO và cũng cách nhau 7,6ft (2.286m). Môi trường ở đây được xem là một cây cầu bình thường bắc qua sông. Các bộ phận cầu có sử dụng HPC là dầm và phiến lát.

Sử dụng HPC là cần thiết với dự án vì nó cho phép Cục Giao thông Georgia sử dụng dầm kiểu IV theo tiêu chuẩn AASHTO dài 127ft. Điều này giảm được tối đa chiều cao tổng thể của kết cấu và tránh phải tăng cấp độ của cầu. HPC còn được sử dụng để tối ưu hoá khoảng cách dầm.

- **Cầu dầm Louisiana L=21m khoảng cách dầm 3m**

Cầu LA87 bắc qua kênh Charenton ở St. Mary Parish. Được thông xe vào tháng 11 năm 1999, cầu LA87 bắc qua kênh Chareton, đó là một cây cầu dài 365 ft (111.25m) và rộng 46ft 10' (14m). Cầu có 5 nhịp dài 71ft (21.6m) với dầm kiểu II AASHTO cách nhau 10ft (3.0m). Môi trường ở đây được xem là một cầu bình thường bắc qua nước. Các bộ phận cầu có sử dụng HPC là cọc, đầu bịt cọc, dầm, phiến lát, lan can bảo vệ. Dầm kiểu II có giá thành là \$82/ft dài (3.3triệu/m), các cọc 30' có giá thành là \$105/ft dài (4.2triệu/m), và bê tông cấp AA (HPC) có giá thành là \$540/yd³(5.4triệu).

- **Nebraska nhịp 22.8m, dầm cách nhau 3.8m**
- **Cầu New Hampshire nhịp 19.8m, cách nhau 3.65m**
- **Cầu New Mexico 4 dầm chữ T cao 1.57m, cách nhau 3.84m**
- **Cầu thành phố hình hộp Ohio, L=35.5m, H=1.05m**
- **Cầu Texas nhịp 41m, a=4.87m**

Cầu vượt đường bộ Louetta, Houston

Cầu vượt đường bộ Louetta là một cây cầu đa nhịp trên đường cao tốc số 249 và được bố trí ở môi trường bình thường. Các nhịp của nó được đỡ một cách đơn giản (chiều dài nhịp lớn nhất là 135,5ft (41m)) và bao gồm 6 dầm US 54 Texas đúc sẵn với khoảng cách giữa các dầm khác nhau từ 11 ft (3.35m) tới hơn 16ft (4.87m). Các bộ phận cầu có sử dụng HPC là các trụ cầu đúc sẵn, dầm cầu đúc sẵn, các pannel phiến lát và phiến lát đỡ tại chỗ.

Việc sử dụng HPC làm tăng độ bền của cầu và được các nhà thầu đề xuất để sử dụng các phương pháp tân tiến hơn cho việc thi công cầu. Đơn giá cầu là

\$24,09/ft² phiến lát (4.2trVND/m²) (bê tông thông thường là \$23,61/ft²) (4.19trVND). Cầu được thông xe vào năm 1998.

Có hai yêu cầu chính đó là cường độ thiết kế cao (9.800 psi tới 13.100 psi ở 56 ngày(67-90MPa)) và cường độ sớm cao (tối thiểu 6.000 psi tới 8.800 psi khi tháo ván khuôn(41-60MPa)) cho dầm. Cả khả năng thấm cho phiến lát hoặc hợp chất hoá học đều không được chỉ định một cách rõ ràng.

Đối với dầm, nhà thầu sử dụng xi măng kiểu III (671 lb/yd³) (395kg) kết hợp với 315 lb/yd³ tro nhẹ kiểu C(185kg), ở tỉ lệ nước/vật liệu kết dính là 0,25. Tro nhẹ kiểu C còn được sử dụng cho các pannel phiến lát và phiến lát đổ tại chỗ. Cường độ bê tông ở 56 ngày đạt được là từ 12.170 psi (84) đến 14.440 psi (99.5MPa).

Tổng hợp thành phần vật liệu và giá thành/m dầm được ghi ở bảng 6.2.

Bảng 6.2.

Tên cầu	L, m	a, m	Số dầm	XM,kg	MS, %	Tro nhẹ, %	Cường độ, MPa	Giá thành/m, US
Alabama	34	3	6	450	10	35	69	493
California	162	7	2	440	0	25	55	525
I-25	32.5	1.7	2 hộp	430	5	25	69	627
Georgia	38.7	2.28	4	478	10	15		600
Lousiana	21.6	3	5	442	10	15	62	600

Các cầu ở Mỹ thường sử dụng bê tông HPC với kết cấu dầm khâu độ nhịp từ 28-35m và kéo dài khoảng cách đặt dầm từ 3.5 đến 4.5m nhằm tiết kiệm từ một đến hai dải dầm. Cường độ của bê tông từ 69-99MPa. Tỷ lệ N/CDK từ 0.25-0.3. Sử dụng kết hợp muội silic và tro nhẹ. Dự kiến tuổi thọ khai thác từ 100-150năm. Lượng xi măng thường từ 390-450kg/m³ bê tông với xi măng kiểu I (tiêu chuẩn) và kiểu III (xi măng toả nhiệt ít). Gần đây các kết cấu cầu hình hộp có khâu độ lớn cũng đã được ứng dụng L=162m.

6.2. Các ứng dụng bê tông chất lượng cao từ năm 2000-2007

TROLL PLATFORM

Cao: 472m,

Thể tích bê tông: 245.000m³

Tuổi thọ thiết kế: 100 năm



Hình 6.7.

PSING MA Bridge- Hồng Kông

Tuổi thọ thiết kế: 120 năm

Độ thẩm Clo: nhỏ hơn 1.000 coulombs

Cường độ cao: 80 MPa

Thành phần: 390-450 kg OPC.

5% Silica fume



Hình 6.8. Cầu Psingma (Hồng Kông)

CẢNG DUNG QUẤT - VIỆT NAM

Thành phần bê tông, kg	
Xi măng: PC40	460
Microsilica:	46
Cát:	670
Đá, 20mm:	1085
Chất siêu dẻo:	4.6

CẢNG HỒNG KÔNG – HIT. T9

Xi măng: PC40	400	340
Microsilica:	40	30
Fly Ash	0	70
Độ sụt, mm	20	20
Lượng nước	165	130
Cát:	670	680
Đá, 20mm:	1085	1050
Chất siêu dẻo:	4.6	4.6
RCP coulombs	369	610 (42 ngày)

EASTSEA BRIDGE – TRUNG QUỐC

Tuổi thọ thiết kế: 100 năm; Chiều dài : 32.5km; Thượng Hải; Cầu nhiều nhịp; Bề rộng mặt cầu: 31.5m, 6 làn xe; Tốc độ: 80 km/h; Cường độ: bê tông 50MPa, Xi măng: 470; Tỷ lệ N/X=0.32; Độ thẩm Clo: nhỏ hơn 1000 cuolombs (ASTM C1202); Tuổi thọ tính toán: 132 năm

PRAI RIVER BRIDGE, MALAYSIA

Cường độ bê tông : 80MPa; RCP: 500 cuolombs; Hàm lượng muội silic: 7%

CẦU NỐI SINGAPO- MALAYSIA

Bê tông: G 80; 10% microsilica; RCP: 500 cuolombs

SLOLMA BRIDGE ,

Khẩu độ nhịp:	301m
Xi măng LC60-	420kg
Microsilica	35
Nước:	160 lít
Cát:	700 kg
Đá 4-12mm:	600 kg

(Bê tông tự đầm)

WRA	1
HRWRA	4.5

GREAT BELT HIGH BRIDGE

Cầu treo; Chiều dài: 1624 m; Cột: 254 m; Khối lượng bê tông: 380.000 m³; Tỷ lệ N/X=0.35; Fly Ash + SF: 25% (4 - 8% SF)

6.3. *Ứng dụng về cầu bê tông DUL chất lượng cao ở Nhật Bản*

Ở Nhật Bản hàng loạt công nghệ mới đã được phát triển để tăng cường tính năng cơ học và độ bền lâu dài của kết cấu cầu. Sự phát triển hệ thống kết cấu mới như DUL ngoài, bó cáp DUL ngoài xa trọng tâm, DUL tăng cường EXTRADOSE và các bó cáp có vỏ bọc Polyme

Trong những năm gần đây nhiều cầu cầu DUL ở Nhật Bản, Việt Nam và Châu Âu đã và đang bị hư hỏng trước tuổi thọ khai thác thiết kế do tác động của sự ăn mòn và môi trường. Vì vậy độ bền lâu dài trở thành mối quan tâm đặc biệt và được đề cập trong việc thiết kế và xây dựng cầu bê tông ứng suất trước.

Cầu DUL ngoài xa trọng tâm

Cầu Buukei-Hokkaido gồm 2 nhịp liên tục tổng chiều dài là 57m có các bộ cáp DUL ngoài

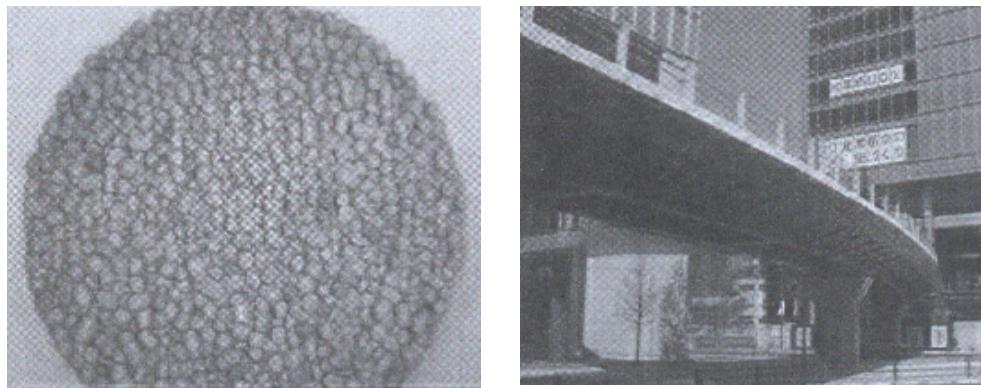
Cầu bê tông DUL tăng cường

Xuất phát từ ý tưởng của ông Mathivat (Pháp) ở Nhật Bản đã xây dựng nhiều cầu loại cầu này bê tông dùng chất lượng cao. Loại cầu này cho phép dầm cầu có chiều cao thấp 1/30L so với cầu dầm truyền thống 1/15L. Chiều cao của các cột tháp thấp hơn khoảng 3-4 lần.

Cầu Odawara được xây dựng vào năm 1994 có nhịp chính dài 122m chiều cao của tháp là 10.5m, chiều cao dầm tại gối 3.5m.

Bê tông siêu cường độ trong cầu bê tông DUL (UHSC)

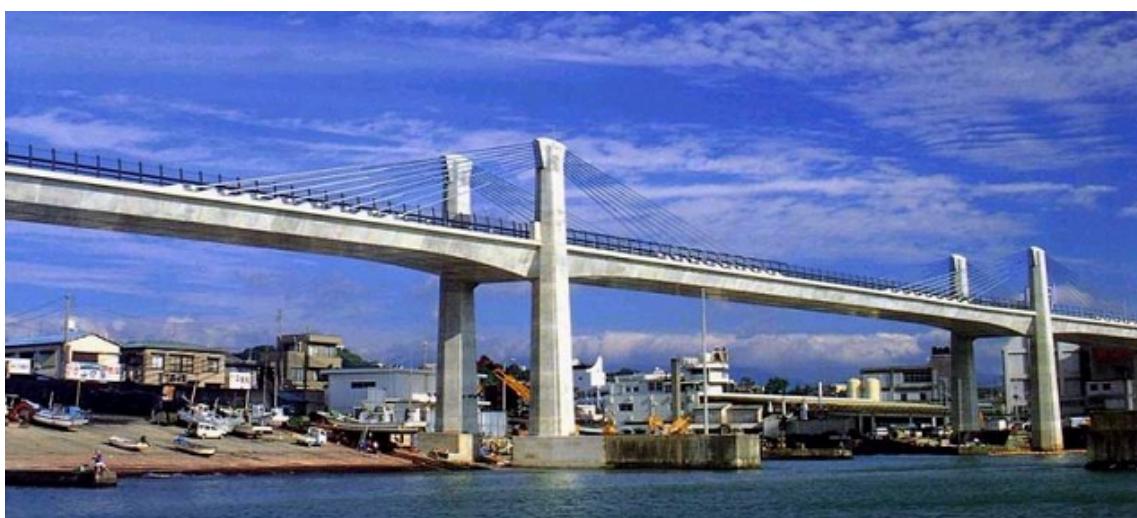
Loại cầu này sử dụng cốt liệu nhẹ “J-lite” được sản xuất từ tro than và có cường độ cao gấp 2 lần cường độ cốt liệu nhẹ thông thường, có cường độ nén đạt đến 120MPa và không co ngót và thích hợp với thi công đổ tại chỗ. Cầu đã được xây dựng Akihabara- Tokyo. Chiều dài nhịp là 170m và chiều rộng 8m cầu có sử dụng DUL ngoài



Hình 6.9. Cầu Akihabara- Tokyo



Hình 6.10. Cầu IBI River



Hình 6.11. Cầu ODAWARA

6.4. Ứng dụng về cầu bê tông DUL chất lượng cao ở Pháp

Vào năm 1987 đã nghiên cứu chế tạo thử cầu DUL ngoài Joigny với bê tông mác 60MPa không dùng phụ gia muội silic. cầu liên tục 3 nhịp sơ đồ 34+46+34 bề rộng cầu 15m chiều cao dầm không đổi $h=2.2m$. Trong nghiên cứu này kết hợp việc nghiên cứu nhiệt độ bê tông, độ vồng, góc quay, từ biến của cầu. đây là cây cầu đầu tiên làm cơ sở cho các cây cầu sau này.

Người ta đã xây dựng cây cầu lớn trên sông Rance người ta đã xây dựng cầu vòm khẩu độ 260m với bê tông được chế tạo từ xi măng CPA HP (xi măng có sử dụng phụ gia muội silic) và ứng dụng bê tông chất lượng cao trong dự án xây dựng tunnel ở vịnh Măgxơ nối liền giữa Pháp và Anh. Ngoài ra ở Pháp còn chế tạo giàn thép kết hợp với bản bê tông chất lượng cao.



Hình 6.12. Cầu Joigny



Hình 6.13. cầu trên sông Res

7. Nghiên cứu lựa chọn mặt cắt ngang hợp lí cầu sủi dụng bê tông HPC ở việt Nam

7.1. Giới thiệu

Trong năm 2007-2008 nhóm nghiên cứu thuộc đại học GTVT Hà Nội đã tiến hành khảo sát khả năng chịu lực của cầu dầm giản đơn hình chữ I theo thiết kế thông thường ở Việt Nam với sự cải tiến bằng cách tăng cường độ chịu nén của bê tông từ 60-70MPa.

Trên cơ sở tính toán với các giả thiết phù hợp với bê tông HPC và các qui định khác theo TCN272-05 nhóm nghiên cứu dự định tìm ra khoảng cách đặt dầm để bót đi 1 đến 2 giải dầm trên mặt cắt ngang cầu từ 11-21m.

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy rằng hướng nghiên cứu là khả thi.

Trình tự nghiên cứu là:

- Phân tích kết cấu theo giả thiết của bê tông HPC
- Lập các phần mềm phân tích kết cấu
- Tính toán phân tích khả năng chịu lực với dầm đặt cách nhau là 3m và 3.6m

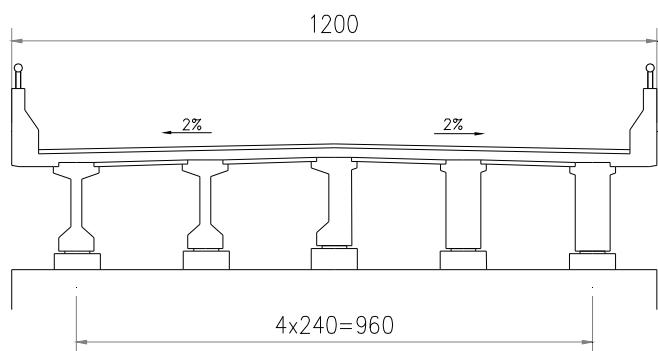
7.2. Phân tích kết cấu cầu dầm chữ I truyền thống với cường độ bê tông từ 40-70MPa

Dựa vào bản tính và sơ đồ tính trong mục 3 và mục 4 áp dụng vào tính kết cấu cho dầm I bê tông cốt thép dự ứng lực kéo trước thông thường, các thông số và kích thước hình học như sau:

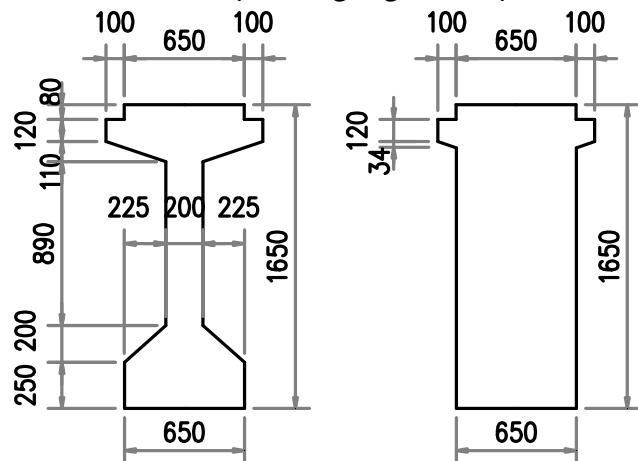
- + Chiều dài toàn dầm: $L = 33m$
- + Chiều cao dầm: $H = 1,65m$
- + Bê tông dầm: có cường độ chịu nén $f_c = 40MPa$
- + Bê tông mặt cầu: có cường độ chịu nén $f_{c2} = 30MPa$
- + Tỷ trọng bê tông: $\rho = 2500kg/m^3$
- + Tải trọng thiết kế: hoạt tải: HL 93, tải trọng người đi: $3 \cdot 10^{-3}MPa$
- + Loại cốt thép DUL: tao thép 12 sợi T đường kính 12,7mm
- + Giới hạn chảy 1670MPa, giới hạn bền 1860MPa
- + Lực kéo cho mỗi bó 1540kN
- + Quy trình áp dụng: 22TCN 272 – 05

Với kích thước dầm không đổi (không thay đổi kích thước dầm) Khi ta lần lượt tăng cường độ chịu nén của bê tông dầm lên: $f_c = 50MPa; 60MPa; 70MPa$. Ta có bảng tổng hợp nội lực trong dầm như sau:

MẶT CẮT HIỆN TẠI



Hình 6.14. Mặt cắt ngang cầu hiện hành



Hình 6.15. Tiết diện của dầm bê tông dự ứng lực

Bảng 6.3. Mô men tính toán dầm I

f'_c , MPa	H,m	Mô men uốn, $\times 10^3$	Sức kháng uốn, $\times 10^3$ kN.m	Mức thay đổi %
40	1.65	9.912	14.20	0
50	1.65	9.943	14.86	5
60	1.65	9.981	15.27	7.5
70	1.65	10.01	15.52	9.3

Nhận xét: Khi giữ nguyên chiều cao dầm, thay đổi cường độ chịu nén của bê tông sức kháng uốn tính toán tăng không đáng kể, mức thay đổi max 9.3% so với dầm sử dụng bê tông có cường độ nén 40MPa

Bảng 6.4. Lực cắt tính toán dầm I

f'_c , MPa	H,m	Lực cắt tính toán max, $\times 10^3$	Sức kháng cắt, $\times 10^3$ kN	Mức thay đổi %
40	1.65	1.142	1.706	0
50	1.65	1.142	1.897	11.2

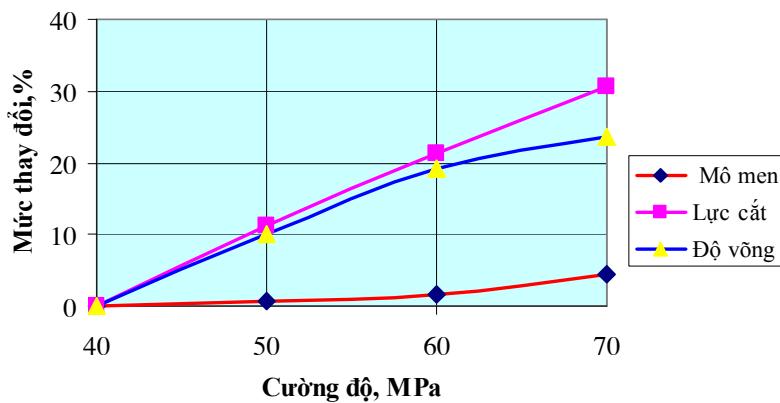
60	1.65	1.142	2.069	21.28
70	1.65	1.142	2.228	30.59

Nhận xét: Khi thay đổi cường độ của bê tông sức kháng cắt thay đổi đáng kể mức thay đổi max đạt đến 30.59% ứng với cường độ nén của bê tông 70MPa so với cường độ nén của bê tông 40MPa

Bảng 6.5. Phân tích độ võng dầm chữ I

f_c , MPa	H,m	Độ võng, mm	Độ võng, mm	Tổng độ võng +độ võng	Mức giảm độ võng,%
40	1.65	-110	111	1	0
50	1.65	-99	99	0	10
60	1.65	-89	91	2	19.1
70	1.65	-84	84	0	23.7

Nhận xét: Mức giảm độ võng thay đổi đáng kể với dầm dùng bê tông có cường độ chịu nén 60MPa (HPC) đến 70MPa mức giảm độ võng từ 19-23.7% so với dầm bê tông thông thường



Hình 6.17 Quan hệ giữa cường độ và mức thay đổi tính năng

Nhận xét: Với dầm chữ I truyền thống khi thay đổi cường độ chịu nén bê tông thì sức kháng uốn thay đổi không đáng kể, sức kháng cắt tăng khoảng 20-30% Độ võng giảm khoảng 20%

7.3. Phân tích nội lực, xác định chiều cao dầm nhỏ nhất

Mức biến thiên của chiều cao 1.65- 1.50m

Mức biến thiên của cường độ chịu nén bê tông 40, 50, 60 và 70MPa

Sức kháng uốn và sức kháng cắt tính toán được ghi ở bảng 6.6.

Bảng 6.6. Tổng hợp nội lực với chiều cao dầm thay đổi

f'_c , MPa	H,m	Mô men tính toán max, $\times 10^3$ kN.m	Lực cắt tính toán max, $\times 10^3$ kN	Sức kháng uốn tính toán, kNm	Hệ số an toàn, 5/3	Cường độ kháng cắt tính toán, kN	Mức tăng sức kháng cắt tính toán, %
1	2	3	4	5	6	7	8
40	1.65	9.912	1.142	14.20	1.43	1.706	0
	1.65	9.943	1.142	14.86	1.49	1.897	11.20
50	1.50	9.808	1.129	13.20	1.34	1.840	10.78
	1.65	9.981	1.142	15.27	1.53	2.069	21.28
60	1.50	9.808	1.129	13.60	1.39	2.00	17.20
	1.65	10.01	1.142	15.52	1.55	2.228	30.59
70	1.50	9.836	1.129	13.846	1.41	2.16	26.60
	1.47	9.782	1.125	13.50	1.38	2.138	24.73

Nhận xét: Phân tích theo sự kháng uốn chiều cao tối thiểu của dầm như sau:

Khi cường độ chịu nén của bê tông 60MPa chiều cao tối thiểu dầm là 1.50m

Khi cường độ chịu nén của bê tông 70MPa, chiều cao tối thiểu của dầm là 1.47m

Bảng 6.7. Phân tích độ võng

f'_c , MPa	H,m	Độ võng, mm	Độ vòng, mm	Tổng độ võng + độ vòng, mm	Mức độ giảm độ võng, %
40	1.65	110	-111	-1	0
50	1.65	99	-99	0	10
	1.50	114	-108	6	-3.6
60	1.65	89	-91	-1	19.1
	1.50	103	-98	5	6.4
70	1.65	84	-84	0	23.7
	1.50	98	-91	7	10.91
	1.47	103	-93	10	6.36

Nhận xét: Phân tích theo độ võng và độ vòng của dầm:

Khi cường độ chịu nén tối thiểu của bê tông 60MPa theo không chê về độ võng chiều cao tối thiểu của dầm 1.50m

Khi cường độ chịu nén tối thiểu bê tông 70MPa thì chiều cao tối thiểu của dầm là 1.47m

Phân tích ứng suất trong đầm chữ I khi cường độ chịu nén của bê tông từ 60-70MPa, chiều cao đầm từ 1.50-1.47m cho thấy ứng suất nén biến đổi từ 22.86-23.32 (ứng suất nén giới hạn từ 36-42). Ứng suất kéo max 3.433MPa (4.18MPa)

Bảng 6.8. Phân tích ứng suất trong đầm I

f'_c , MPa	H,m	Ứng suất thó trên đầm, MPa	Giới hạn ứng suất nén thó trên đầm, MPa	Ứng suất kéo thó dưới đầm, MPa	Giới hạn ứng suất kéo thó dưới đầm, MPa
40	1.65	19.20	24	-1.845	-3.16
50	1.65	20.12	30	-1.978	-3.54
	1.50	22.04		-3.268	
60	1.65	20.14	36	-2.113	-3.87
	1.50	23.86		-3.433	
70	1.65	21.97	42	-2.245	-4.18
	1.50	22.56		-3.433	
	1.47	23.32		-3.592	

7.4. Lựa chọn mặt cắt ngang tối ưu cho kết cấu cầu sử dụng bê tông chất lượng cao:

Trong phần này đối tượng nghiên cứu là đầm I bê tông cốt thép dự ứng lực kéo trước. Dựa vào các thiết kế định hình, dựa vào thiết kế kinh nghiệm, dựa vào các dự án đã và đang sử dụng, từ đó Tôi đưa ra mặt cắt ngang cho cầu đầm giản đơn kéo trước như sau:

- + Chiều dài toàn đầm: $L = 33\text{m}$
- + Mặt cắt ngang sử dụng 4 đầm. Lý do lựa chọn: theo các nghiên cứu của Mỹ ở phần trên thường chuyển mặt cắt ngang sử dụng 6 đầm sang dạng 5 đầm giữ nguyên kết cấu cũ, các nghiên cứu đó đã được kiểm nghiệm thông qua việc sử dụng vào công trình cầu và những bài học kinh nghiệm rút ra. Ngoài ra muốn nghiên cứu giới hạn lớn nhất khoảng cách giữa các đầm khi sử dụng bê tông chất lượng cao.
- + Khoảng cách đặt đầm: $S = 3,2\text{m}$
- + Chiều cao đầm: $H = 1,65\text{m}$.
- + Bê tông đầm: có cường độ chịu nén $f'_c = 70\text{MPa}$
- + Bê tông mặt cầu: có cường độ chịu nén $f'_{c2} = 35\text{MPa}$
- + Tải trọng thiết kế: hoạt tải: HL 93, tải trọng người đi: $3 \cdot 10^{-3}\text{MPa}$
- + Tỷ trọng bê tông: $\rho = 2500\text{kg/m}^3$
- + Loại cốt thép DUL: tao thép 12 sợi đường kính 12,7mm

+ Quy trình áp dụng: 22TCN 272 – 05+HPC

Bảng 6.9. Phân tích M, Q trong dầm I, H=1.65m, $f_c = 70 \text{ MPa}$, $a=3.2\text{m}$

Cường độ chịu nén f_c (MPa)	Chiều cao dầm (m)	Mômen uốn tính toán lớn nhất (kN.m)	Lực cắt tính toán lớn nhất (kN)	Sức kháng uốn tính toán (kN.m)	
				Nhỏ nhất, $K_1=5/3$	Lớn nhất, $K_2=6/3$
1	2	3	4	5	6
70	1,65	$14,29 \times 10^3$	$1,588 \times 10^3$	$18,84 \times 10^3$	$20,61 \times 10^3$

Bảng 6.10. Phân tích độ võng dầm I, H=1.65m, $f_c = 70 \text{ MPa}$, $a=3.2\text{m}$

Cường độ chịu nén f_c (MPa)	Chiều cao dầm (m)	Độ võng (do tải trọng bản thân+cầu kiện) (mm)	Độ võng do hoạt tải + người đi (mm)	Độ võng do DUL (mm)	Tổng độ võng (mm)	Tổng (độ võng+độ võng) (mm)
70	1,65	-81	-15	103	-87	16

Bảng 6.11. Phân tích ứng suất dầm I, H=1.65m, $f_c = 70 \text{ MPa}$, $a=3.2\text{m}$

Cường độ chịu nén (MPa)	Ứng suất nén lớn nhất (MPa)			Ứng suất kéo Max trong khai thác (MPa)	Giới hạn ứng suất kéo (MPa)
	Do DUL+tải trọng thường xuyên	Do Hoạt tải+1/2 tải trọng thường xuyên	Do DUL+tải trọng thường xuyên+tải trọng nhất thời		
70	19,76	14,14	24,02	-3,523	-4,18

Trên mặt cắt ngang cầu dầm giản đơn nhịp dài 33m, bê tông cốt thép dự ứng lực kéo trước, với bê tông có cường độ chịu nén $f_c = 70 \text{ MPa}$, ta sử dụng cầu dầm có các thông số như sau:

- + Chiều cao dầm: $h = 1,65\text{m}$
- + Khoảng cách dầm: $a = 3,2\text{m}$

Với việc sử dụng khoảng cách dầm như trên ta có thể tiết kiệm được 1 phiến dầm, như vậy có thể tiết kiệm được vật liệu, có thể tiết kiệm được kinh phí chế tạo dầm.

7.5. Tính kinh phí của kết cấu sử dụng bê tông chất lượng cao:

Sử dụng phần mềm dự toán 2007 để tính giá trị cho kết cấu

Mức tăng vật liệu: Giá thành của 1 m^3 bê tông HPC 70 tăng 47% so với giá thành của 1 m^3 bê tông 40MPa ($1.414.000\text{đ}$ so với 959.000đ). Chủ yếu do tăng hàm lượng chất siêu dẻo và phụ gia MS.

Mức tăng giá thành của 1dầm cầu 33m: 47%

Giá trị của 1 m^3 bê tông dầm: $959.000.000\text{đ}$ (bê tông 40)

Giá thành 1 m^3 bê tông HPC70 dầm: $1.414.000\text{đ}$

Như vậy khi sử dụng bê tông HPC70 giá thành của phần bê tông dầm cầu do trên mặt cắt ngang đã bớt đi 1 dải dầm nên tổng giá thành bê tông chỉ tăng 19%.

Kết quả được tổng hợp theo bảng 6.12.

Bảng 6.12. Giá thành cầu HPC70

TT	Giá trị	Kết cấu sử dụng bê tông M40	Kết cấu sử dụng bê tông M70	Giá trị chênh lệch, %
		1	2	3
1	Giá trị tính cho 1 m^3 BT dầm chủ (VNĐ)	959.000	1.414.000	47
2	Giá trị tính cho 1 dầm cầu (VNĐ)	23.399.600	34.500.000	47
3	Giá trị tính cho toàn cầu (VNĐ)	116.995.000	138.000.000	19
4	Giá lắp ráp dầm 46USD/ 1mdầm	24.288.000	19.430.400	-20
5	Cộng bê tông và lắp ráp	141.283.000	157.430.000	11

Ghi chú: MS: 0.7USD/kg , chất siêu dẻo: V 3000-10: 1.65USD/lít

Cát: 140.000 đ/m^3 ; đá: 280.000đ/m^3 (nguồn: dự án cầu Nam Sông Hậu)

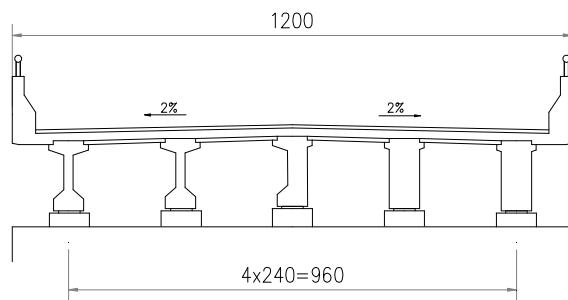
7.6. Các mẫu mặt cắt ngang cầu đường bộ sử dụng HPC70

Do kết quả tính toán kinh tế kỹ thuật ở trên chúng tôi kiến nghị 4 mẫu mặt cắt ngang cầu đường bộ từ bê tông HPC70.

Mẫu 1. ký hiệu HT1

Chiều dài của nhịp là 33m, bề rộng cầu $B=12.0\text{m}$, 5 dầm $H=1.50\text{m}$, khoảng cách dầm 2.4m , bê tông HPC70.

MẶT CẮT KIỂU 4X2.4M,H=1.5M

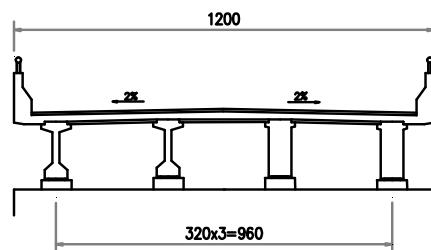


Hình 6.18. Mặt cắt ngang cầu có chiều cao dầm thấp

Mẫu 2. ký hiệu HT2

Chiều dài của nhịp là 33m, bề rộng cầu $B=12.0m$, 4 dầm $H=1.65m$, khoảng cách dầm 3.2m, bờ tụng HPC70.

MẶT CẮT KIỂU 3X3.2M

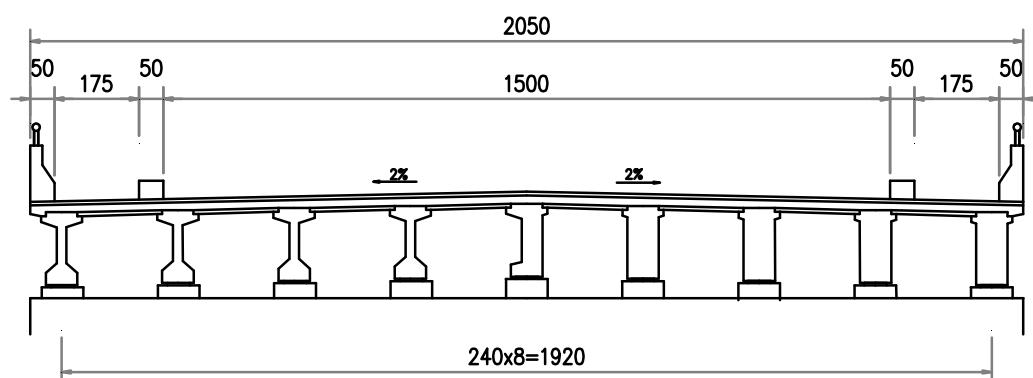


Hình 6.19. Mặt cắt ngang cầu bê tông HPC

Mẫu 3. ký hiệu HT3

Chiều dài của nhịp là 33m, bề rộng cầu $B=20.5m$, 9 dầm $H=1.50m$, khoảng cách dầm 2.4m, bờ tụng HPC70.

MẶT CẮT KIỂU 8X2.4M,H=1.5M

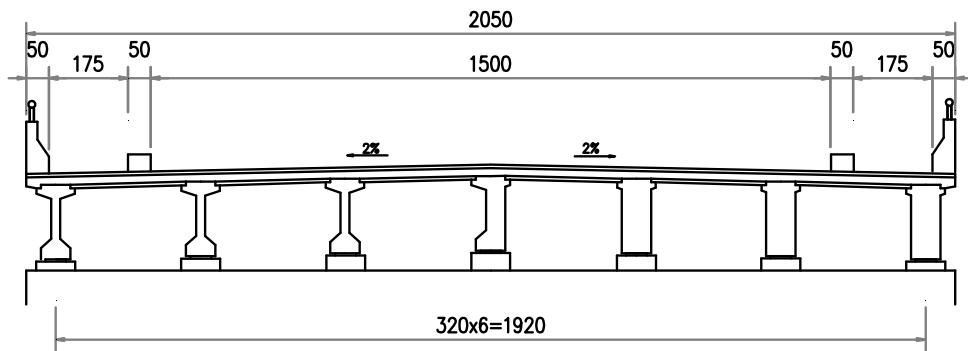


Hình 6.20. Mặt cắt ngang cầu kiểu cũ

Mẫu 4. ký hiệu HT4

Chiều dài của nhịp là 33m, bề rộng cầu $B=20.5m$, 7 dầm $H=1.65m$, khoảng cách dầm 3.2m, bờ tụng HPC70.

MẶT CẮT KIỂU 6X3.2M



Hình 6.21. Mặt cắt ngang cầu bê tông HPC

Qua nghiên cứu chúng ta có một số nhận xét như sau:

1. Cấp độ về tính năng của bê tông HPC làm cầu: Cấp độ về tính năng phải phù hợp với cấp độ I về bê tông HPC làm cầu theo tiêu chuẩn AASHTO-LRFD 2005 như sau: Cường độ chịu nén từ 55-69 MPa; Mô đun đàn hồi: từ 34-41GPa; Độ thấm Clorua: <1500culông; Độ chảy lan: >50cm; Độ sụt: >190mm; Khả năng phản ứng kiềm silic <0.15%; Độ co ngót: <800; Từ biến: <75/MPa.
2. Biểu đồ ứng suất biến dạng là khối chữ nhật tương đương với $\alpha_1=0.75$; $\beta_1=0.65$. Giá trị cường độ bê tông tính toán: $0.75f'_c$.
3. Các tính toán phân tích kết cấu dựa vào các phân tích cơ học theo 272-05 với các hệ số lấy theo đặc tính của HPC
4. Các hướng ứng dụng kết cấu: Cải tiến bố trí kết cấu bằng cách bớt đi 01 đến 02 dải dầm; Sử dụng kết cấu DUL ngoài, sử dụng bê tông chất lượng rất cao.
5. Các phân tích kết cấu cầu dầm chữ I với $f_c=70\text{MPa}$ cho thấy:
 - Nếu giữ nguyên khoảng cách đặt dầm là 2.4m thì chiều cao của dầm chỉ cần 1.50m
 - Nếu sử dụng khoảng cách dầm là 3.2m và giữ nguyên chiều cao dầm thì có thể bớt được 1 dải dầm với cầu rộng 11m và bớt được 2 dải dầm nếu cầu rộng 21m.
6. Kiến nghị về kết cấu mới: đã kiến nghị về 4 kiểu kết cấu mới cho cầu đường bộ với bê tông HPC 70.
7. Giá thành 1m^3 bê tông HPC tăng 30% so với bê tông HC40

Câu hỏi:

1. Lợi ích cản bản mà HPC mang lại cho kết cấu xây dựng?
2. Giá thành của bê tông HPC?
3. Các hướng chính để phát triển HPC trong kết cấu cầu?

4. Các thành tựu ứng dụng HPC trên thế giới và dự kiến ứng dụng ở Việt Nam?

CHƯƠNG 7

BÊ TÔNG CỐT SỢI CƯỜNG ĐỘ CAO

1. Lịch sử phát triển

Từ cổ xưa những loại sợi đã được sử dụng để tăng cường cho những vật liệu ròn, quay trở lại thời kỳ Ai Cập và Babylonian nếu không nói là sớm hơn. Châu Á trước kia vẫn thường sử dụng những loại sợi hoặc rơm rạ để tăng cường cho những bức tường bằng bùn, thạch cao. Với vữa ximăng pooclăng người ta sử dụng sợi amiăng. Những nghiên cứu đầu tiên về sợi thép phân tán là của Romualdi, Batson và Mandel. Vào cuối những năm 1950 và đầu những năm 1960 đã sử dụng sợi composite vào trong bêtông. Những nghiên cứu tiếp theo được thực hiện bởi Shah và Swamy và một vài những nghiên cứu khác ở Mỹ, Anh và Nga. Vào năm 1960, bêtông cốt sợi thép đường kính nhỏ đã bắt đầu được sử dụng vào kết cấu mặt đường và mặt cầu.

Giữa năm 1960, Nawy và cộng sự của ông ta đã chỉ đạo nghiên cứu về sự làm việc lâu dài của những bó có nhiều thanh nhỏ, lưới thủy tinh và những thanh bị biến dạng như là thanh tăng cường chính trong kết cấu. Thời nay quá trình sử dụng những sợi tăng cường vào bêtông cường độ cao được nghiên cứu rất nhiều nhằm mục đích cải thiện một số thuộc tính cơ học của bêtông, nhưng nó không thay thế cho những thanh thép tăng cường chính trong kết cấu bêtông cốt thép. Khoa học của bêtông cốt sợi và sợi composites đã được phát triển mạnh hiện nay. Trong những năm 2000 bê tông cốt sợi chất lượng cao và siêu cao, bê tông cốt sợi carbon đang được tập trung nghiên cứu.

Phân loại bê tông cốt sợi.

Theo cường độ có 3 loại bê tông cốt sợi: Bê tông cốt sợi ($R_n=25-50\text{ MPa}$); Bê tông cốt sợi cường độ cao ($R_n=60-100\text{ MPa}$); Bê tông cốt sợi siêu cường độ ($R_n=120-800\text{ MPa}$)

Theo thể tích sợi: Bê tông cốt sợi (0,25-2,5%); Bê tông nhiều cốt sợi (10-25%)

Theo loại sợi: Bê tông cốt sợi thép, bê tông cốt sợi tổng hợp, bê tông cốt sợi thủy tinh, bê tông cốt sợi cacbon, bê tông cốt sợi xơ dừa, vải và các cốt sợi tự nhiên khác.

Theo chất kết dính (pha nền): Bê tông xi măng cốt sợi, bê tông polyme cốt sợi (Epoxy)

2. Đặc điểm chung về cốt sợi

Khả năng chịu kéo của bêtông rất kém. Những vết nứt bắt đầu xuất hiện trong khối bêtông khi tải trọng tác dụng bằng (20÷40)% tải trọng cơ bản. Còn khi tải trọng vào khoảng (40÷60) % tải trọng cơ bản thì những vết nứt lớn bắt đầu xuất hiện. Những thành phần chính của bêtông thường không thể chống đỡ được tải trọng kéo mặc dù chúng được tăng cường những thanh liên tục ở vùng chịu kéo của kết cấu dầm. Những thanh tăng cường liên tục vẫn không thể hạn chế được sự phát triển những vết nứt lớn và những vết nứt nhỏ. Chức năng của những cốt tăng cường là thay thế chức năng của vùng chịu kéo. Sự tăng cường thêm vào những cốt sợi phân tán sẽ hạn chế sự phát triển những vết nứt nhỏ (vi vết nứt). Những sợi được tăng cường cho vật liệu giòn đã được ứng dụng từ rất sớm và ngày một phát triển, những loại sợi được sử dụng phổ biến hiện nay gồm: sợi thép, sợi thủy tinh, sợi polypropylene và những mộc sắt, chúng đã được chứng minh về khả năng cải thiện thuộc tính cơ học của bêtông và của cả kết cấu được tăng cường. Hỗn hợp bêtông cốt sợi được sản xuất từ quá trình nhào trộn hỗn hợp gồm: xi măng, cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ và những sợi nhỏ từ thép, thủy tinh, hoặc những sản phẩm polyme, sợi đay hoặc sợi sơ dừa.

Những cốt sợi thép chiều dài thay đổi từ 0.5 ÷ 2.5 in (12.7 mm ÷ 63.5 mm), có đường kính là 0.017 ÷ 0.040 in (0.45 ÷ 1.0 mm), hoặc những thanh có chiều dày từ 0.01 - 0.035 in (0.25-0.9 mm) và chiều rộng từ 0.006 ÷ 0.016 in (0.15 ÷ 0.41mm). Phần lớn những thanh thép thường được uốn quăn, làm méo mó hoặc làm cho đầu thanh nhỏ để đảm bảo dính bám tốt hơn với bêtông được tăng cường, đôi khi những sợi có dạng lưỡi liềm. Hàm lượng sợi trong hỗn hợp, thường biến đổi từ 0.25 ÷ 2% theo thể tích. Theo khối lượng là từ 33 ÷ 365lb/yd³ (20 ÷ 165 kg/m³).

Những sợi thủy tinh thường có tuổi thọ cao. Chúng là những sợi nhân tạo được sản xuất từ nylon hoặc polypropylene. Gần đây những sợi được làm từ vải địa kỹ thuật dệt cũng đã được ứng dụng và hiệu quả đạt được cũng rất cao. Việc đưa thêm các

loại sợi vào trong bêtông từ đầu những năm 1900 chủ yếu để nâng cao cường độ chịu kéo của bêtông.

Các loại sợi, mặt khác, được phân bố không liên tục và ngẫu nhiên trong đá ximăng cả ở những vùng chịu nén và chịu kéo của một bộ phận kết cấu. Chúng có thể nâng cao độ cứng và điều chỉnh vết nứt thông qua việc ngăn chặn các vi vết nứt lan truyền và mở rộng và còn tăng độ dai do khả năng hấp thụ năng lượng của chúng. Các ứng dụng phổ biến của bêtông tăng cường cốt sợi bao gồm các lớp phủ trong bản mặt cầu, các loại sàn công nghiệp, các ứng dụng cho bêtông phun, các loại mặt đường cao tốc và đường sân bay, các loại kết cấu vỏ mỏng, các loại kết cấu chống động đất và chống nổ, các loại bản có bề mặt rất phẳng trong kho chứa để giảm thiểu các loại khe giãn nở.

Bảng 7.1, tổng hợp từ một số những nguồn tài liệu bao gồm các báo cáo của ACI, mô tả các tính chất hình học và cơ học của các loại sợi khác nhau được sử dụng như là những sợi phân tán ngẫu nhiên trong đá ximăng. Do có một phạm vi khá rộng về các loại sợi nên người thiết kế có thể phải sử dụng các số liệu của nhà sản xuất cho mỗi loại sản phẩm và kinh nghiệm đã có trước khi quyết định lựa chọn một loại sản phẩm.

Bảng 7.1: Thuộc tính của những loại sợi khác nhau

Loại sợi	Đường kính, $\times 10^3$ (mm)	Khối lượng riêng	Cường độ chịu kéo $\times 10^3$ (GPa)	Môđun dàn hồi $\times 10^3$ (GPa)	Độ dãn dài tương đối (%)
Acrylic	(0.02-0.35)	1.1	30 - 60	0.3	1.1
Asbeslos	(0.0015-0.02)	3.2	(0.6 - 1.0)	(83 - 138)	1-2
Cotton	(0.2-0.6)	1.5	(0.4 - 0.7)	(4.8)	3-10
Thuỷ tinh	(0.005-0.15)	2.5	(1.0 – 2.6)	(70 - 80)	1.5 – 3.5
Graphite	(0.008 – 0.009)	1.9	(1.0 – 2.6)	(230 - 415)	0.5-1.0
Kevlar	(0.01)	1.45	(3.5 - 3.6)	(65 - 133)	2.1 - 4.0
Nylon	(0.02-0.4)	1.1	(0.76 - 0.82)	(4.1)	16-20
Polyester	(0.02-0.4)	1.4	(0.72 - 0.86)	(8.3)	11-13
Polypropylene	(0.02-0.4)	0.95	(0.55 - 0.76)	(3.5)	15-25
Rayon	(0.02-0.38)	1.5	(0.4 - 0.6)	(6.9)	10-25
Rock wool	(0.01-0.8)	2.7	(0.5 - 0.76)	0.6	0.5-0.7
Sisal	(0.01 – 0.1)	1.5	(0.8)	-	3.0
Thép	(0.1-1.0)	7.84	(0.3 – 2.0)	(200)	0.5-3.5

Các loại sợi thép

Tiêu chuẩn của Liên minh châu Âu và Pháp

Các kết quả thí nghiệm cho thấy các loại thép sợi có đầu được mộc vào nhau là loại thép sợi có tính năng tốt nhất. Cường độ vật liệu là yếu tố duy nhất ảnh hưởng lên chất lượng của thép sợi. Thép sợi có cường độ kéo cao BHP EE256 được sản xuất từ thép có cường độ 1000MPa có tính năng cao hơn rất nhiều so với thép sợi tương tự được sản xuất từ thép có cường độ 800MPa.

Thép sợi đã và đang được sử dụng rộng rãi để tăng cứng cho bê tông trên khắp thế giới và ở Australia trong nhiều năm nay. Thép sợi có ký hiệu "EE" hay còn gọi là thép sợi "đầu loe" bắt đầu được sản xuất từ năm 1976 và chỉ có duy nhất một kích thước là 18mm theo chiều dài. Người ta thừa nhận rằng các đặc tính của thép sợi tăng lên khi tăng tỷ số kích thước - tỷ số của chiều dài so với đường kính. Trong năm 1993 hãng BHP đã bắt đầu sản xuất thép sợi dài 25mm từ loại thép có cùng cường độ 800MPa được sử dụng để sản xuất thép sợi dài 18mm. Sau đó trong năm 1995 hãng này đã bắt đầu sản xuất loại thép sợi dài 25mm từ các loại thép có cường độ cao hơn (khoảng 1000MPa).

Ngày nay trên thị trường Australia có nhiều loại thép sợi khác nhau. Các nhà sản xuất đưa ra những đặc tính khác nhau và chú dồn một vài tỷ lệ phối trộn khác nhau cho từng tính năng cụ thể.

7 loại thép sợi có kích thước hình học và chất lượng vật liệu được liệt kê trong bảng 7.2.

Bảng 7.2. Các thông số về cốt sợi thép

Kiểu thép	Chiều dài	Kích thước mặt cắt	Tỉ số kích thước	Cường độ vật liệu	Kiểu néo
EE186	18 mm	0.6 x 0.4 mm	38	800	Tấm cắt loe ở đầu
EE256	25 mm	0.6 x 0.4 mm	45	800	
EE266HT	25 mm	0.6 x 0.4 mm	45	1000	
Dramix	30 mm	Φ 0.5 mm	60	1200	Dây kéo dài khoá ở đầu
Xorex	38 mm	1.35 x 0.5 mm	43	800	
Horte	30 mm	Φ 0.5 mm	60	700	Thép cán gấp mép
Harex	25 mm	2.75 x 0.5 mm	45	800	

Thép lưỡi F82	Dây dài 8mm tại tâm 200mm mỗi chiều	-	550	Lưỡi hàn
Thép lưỡi F41	Dây dài 4mm tại tâm 100mm mỗi chiều	-	550	Lưỡi hàn
	Hình thoi kích thước 4mm x 100 mm 100 x 1200 mm	-	550	Dây xích

Các thông số kỹ thuật của sợi là: hình dáng, tính chất cơ học và hóa học, khối lượng, chiều dài và đường kính hợp lý.

Căn cứ vào 4 thông số trên để lựa chọn loại sợi sử dụng vào các công trình.

Mô hình làm việc của sợi.

Sợi có thể hoạt động ở hai quy mô trong quá trình nứt của pha hồ xi măng. Trước tiên ở quy mô vi cấu trúc do các hiện tượng hóa lý xảy ra trong quá trình thủy hóa, xuất hiện một mạng vết nứt cực nhỏ. Nếu lượng sợi có đầy đủ trong thể tích của phần hồ thì mỗi vi nứt có thể vắt qua một hoặc nhiều sợi. Tác dụng của các sợi làm ổn định các vết nứt cực nhỏ, làm chậm quá trình hư hỏng của vật liệu và hạn chế sự hình thành của vết nứt lớn hơn.

Ở quy mô kết cấu các sợi hoạt động như các vi cốt thép cho phép chánh được sự mở rộng vết nứt bằng cách chuyển các tải trọng từ mép nẹp sang mép kia của vết nứt, ở quy mô này sợi cải biến khả năng hút năng lượng của kết cấu bởi vậy thay đổi quá trình phá hủy làm cho vật liệu chuyển từ phá hoại giòn sang phá hoại dẻo. Sợi có tác dụng khâu các vết nứt ở mức độ vật liệu và kết cấu rõ ràng. Rõ ràng tỷ lệ sợi càng cao thì tác dụng càng lớn. Tuy nhiên, sợi sẽ làm rối loạn cấu tạo hồ xi măng và ảnh hưởng đến tính dẻo của bê tông. Việc chọn chiều dài sợi phải đảm bảo sự gia cường về mặt cơ học và tính dẻo của bê tông. Phẩm chất của composit phụ thuộc vào hoạt động của tổ hợp sợi hồ và sự phân bố của sợi trong pha xi măng. Phân tích tổ hợp của sợi và pha xi măng cần tính đến các tác động sau:

- Ứng suất kết dính ở mặt tiếp giáp, tính đàn hồi trước khi bong và ma sát sau khi bong;

- Sự đứt của sợi;

- Các tác dụng chịu uốn của sợi nếu sợi không thẳng góc với vết nứt;

- Ứng suất pháp ở mặt tiếp giáp nếu sợi có hình học phức tạp (sợi có các cấu tạo neo);

- Sự ép vỡ cục bộ của pha hồ xi măng.

Như vậy, khả năng làm việc của bê tông cốt sợi phụ thuộc vào loại, dạng, đặc tính, cơ tính của sợi và cường độ của bê tông. Lực phát sinh trong từng sợi riêng lẻ

không chỉ phụ thuộc vào cường độ sợi và khả năng neo chặt mà còn phụ thuộc vào cường độ của bê tông bao bọc nó.

Khả năng chuyển tải trọng của các sợi phụ thuộc vào mô đun đàn hồi của sợi. Nếu mô đun đàn hồi của sợi lớn hơn mô đun đàn hồi của hồ lúc nứt nẻ, khi đó sợi có tác dụng hạn chế biến dạng tương ứng với một độ mở rộng vết nứt nhỏ. Ngược lại nếu mô đun đàn hồi của sợi nhỏ hơn mô đun đàn hồi của phần hồ thì việc hạn chế các vết nứt không chấp nhận được. Như vậy, khi lựa chọn các loại sợi thì tùy theo mục đích sử dụng việc xem xét mô đun đàn hồi của sợi là rất quan trọng.

3. Tỷ lệ hỗn hợp – Công thức của composit

Công thức của composit xi măng cốt sợi được xây dựng từ những kinh nghiệm trên cơ sở thành phần bê tông đã được lựa chọn tối ưu theo các phương pháp đã trình bày ở Chương 4. Khi đó phải xem sợi như một thành phần phụ cần thiết và tiến hành các thí nghiệm để tối ưu hóa các thành phần để đạt được các tính chất mong muốn.

Ảnh hưởng đầu tiên của sợi trong composit là tính dẽ đổ, sợi có khuynh hướng làm cho phần hồ trở nên cứng hơn. Việc sử dụng các chất siêu dẻo với hàm lượng cao hơn là thích hợp. Tính dẽ đổ của bê tông cốt sợi được xác định trong thí nghiệm côn Abrams và nhót kế Vebe. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng để duy trì tính dẽ đổ cần xem xét tối ưu (giảm) bộ xương của cốt liệu và tỷ lệ giữa sợi và cốt liệu. Sự tương tác giữa sợi và cốt liệu dẫn tới giảm lượng cốt liệu lớn (có thể sử dụng phương pháp Baron – Lesage).

Việc nhào trộn các loại sợi với các thành phần hỗn hợp khác có thể được thực hiện bằng một vài phương pháp. Phương pháp được lựa chọn tuỳ thuộc vào các điều kiện sẵn có và các yêu cầu của công việc gồm: trộn trong nhà máy, bêtông trộn sẵn hay trộn bằng tay trong phòng thí nghiệm. Thông số quan trọng nhất là phải đảm bảo sự phân tán đồng đều của các sợi và ngăn chặn sự phân tầng hay vón cục của các sợi trong quá trình nhào trộn. Sự phân tầng hay vón cục trong quá trình nhào trộn chịu tác động của rất nhiều yếu tố và có thể được tổng hợp như sau:

1. Hệ số hình dạng l/d_f – là quan trọng nhất;
2. Tỷ lệ thể tích của sợi;
3. Đường kính cốt liệu lớn, cấp phối và khối lượng;
4. Tỷ lệ nước/chất kết dính, phương pháp nhào trộn.

Khi hình dạng sợi quá lớn l/d_f và một hàm lượng sợi thép vượt quá 2% theo thể tích thì hỗn hợp rất khó đồng nhất. Khi các phương pháp nhào trộn truyền thống được nhào trộn thì nên sử dụng cốt liệu lớn có cỡ hạt 3/8 in (9.7mm). Lượng nước yêu cầu thay đổi so với bêtông không dùng các loại sợi và còn tuỳ thuộc vào loại

các chất kết dính puzolan thay thế ximăng và tỷ lệ phần trăm của chúng theo thể tích của hỗn hợp. Các Bảng 7.3 và 7.4 đưa ra các tỷ lệ hỗn hợp điển hình cho bêtông tăng cường cốt sợi có khối lượng thường và các hỗn hợp bêtông cốt sợi – tro bay.

Bảng 7.3. Tỷ lệ các thành phần của bêtông cốt sợi

Ximăng	550-950 lb/yd ³ (320-560)Kg/m ³
Tỷ lệ N/X	0.4 – 0.6
Phần trăm cốt liệu cát	(50-100)%
Cốt liệu lớn nhất	3/8 in
Lượng không khí	(6-9)%
Lượng sợi	0.5-2.5% thép: 1% = 132 lb/yd ³ thủy tinh: 1% = 42 lb/yd ³ nylon: 1% = 19 lb/yd ³

$$1 \text{ lb/yd}^3 = 0.5933 \text{ kg/m}^3.$$

Bảng 7.4: Loại bêtông tro bay được tăng cường cốt sợi

Ximăng	490 lb/yd ³
Tro bay	225 lb/yd ³
Tỷ lệ N/X	0.54
Phần trăm cốt liệu cát	50%
Đường kính cốt liệu lớn nhất	3/8 in
Hàm lượng sợi thép	1.5%
Phụ gia cuốn khí	Theo khuyến cáo của nhà sản xuất
Phụ gia siêu dẻo	Theo khuyến cáo của nhà sản xuất
Độ sụt	5-6 in

4. Công nghệ chế tạo

Nhào trộn theo từng bước có thể được tổng hợp như sau:

- Trộn một phần sợi và cốt liệu trước khi đổ vào máy trộn;
- Trộn cốt liệu lớn với cốt liệu nhỏ trong máy trộn sau đó cho tiếp sợi trong quá trình trộn. Cuối cùng, thêm đồng thời ximăng và nước hoặc ximăng được cho vào ngay sau khi cho nước và phụ gia;
- Thêm lượng sợi bằng với lượng sợi đã được cho vào cùng với các thành phần đã cho vào máy trộn trước đó. Thêm các vật liệu chất kết dính còn lại và nước;
- Tiếp tục trộn theo yêu cầu như với kinh nghiệm thực tế bình thường;
- Đổ bêtông cốt sợi vào ván khuôn. Bêtông cốt sợi cần rung nhiều hơn bêtông không cốt sợi. Việc rung phía trong nếu được thực hiện một cách cẩn thận thì cũng

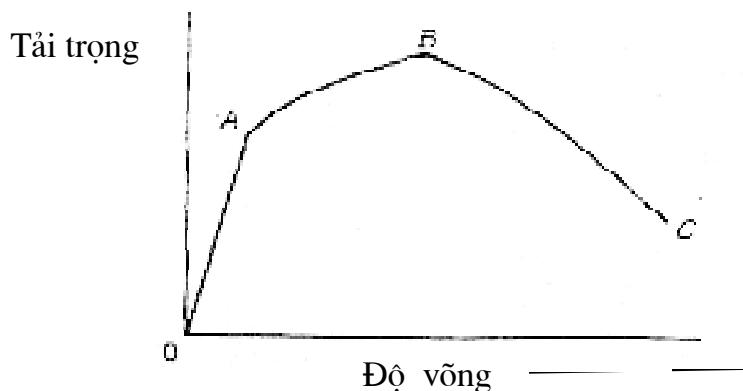
có thể được chấp nhận, việc đầm rung mặt ngoài của ván khuôn và bề mặt của bêtông là thích hợp hơn do nó ngăn chặn được sự phân tầng của cốt sợi.

5. Các đặc tính cơ học của cốt sợi

5.1. *Khả năng chịu tải trọng gây nứt ban đầu*

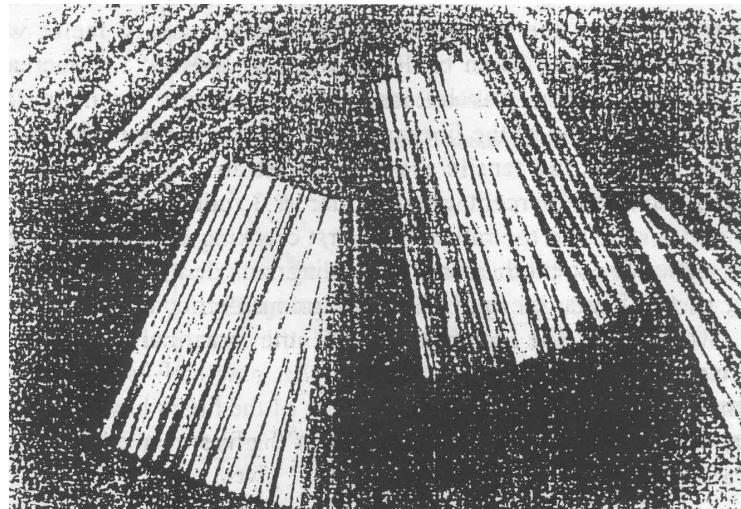
Bêtông tăng cường cốt sợi khi chịu uốn về cơ bản tham gia vào một ứng suất biến dạng tuyến tính gồm 3 phần như được chỉ ra ở **Hình 7.1**. Điểm A trên biểu đồ tải trọng - độ võng chỉ ra tải trọng gây nứt ban đầu và có thể được xem như cường độ chống nứt ban đầu. Thông thường điểm A này bằng với mức độ tải trọng gây ra vết nứt của các bộ phận không được tăng cường cốt, do đó đoạn OA trên biểu đồ có thể là tương tự và về cơ bản có cùng độ dốc cho cả bêtông thường và bêtông cốt sợi.

Khi đá ximăng bị nứt, thì tải trọng đặt vào được truyền cho các cốt sợi và khi đó cốt sợi đóng vai trò là cầu nối và hạn chế việc mở rộng vết nứt. Do các sợi bị biến dạng nên các vết nứt nhỏ tiếp tục phát triển và các vết nứt liên tục trong đá ximăng tiếp tục diễn ra cho đến khi tải trọng lớn nhất đạt đến điểm B trong biểu đồ độ võng tải trọng. Trong giai đoạn này thì sự mất mát dính bám và sự kéo tuột của một vài loại sợi sẽ xảy ra. Nhưng cường độ đứt trong hầu hết các sợi vẫn chưa đạt đến.



Hình 7.1: Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ võng của bêtông cốt sợi

Trong nhánh BC của biểu đồ độ võng tải trọng, thì các vết nứt của đá ximăng và sự kéo tuột của sợi tiếp tục diễn ra. Nếu các sợi đủ dài và có thể duy trì được lực dính với gel xung quanh. Chúng có thể bị phá hoại do đứt hoặc do nứt của các bộ phận sợi tuỳ thuộc vào kích thước và khoảng chống giữa các sợi.



Hình 7.2: Sợi thuỷ tinh (Viện bêtông Hoa Kỳ)

5.2. Chiều dài sợi tiêu chuẩn: Thông số chiều dài

Nếu l_c là chiều dài tiêu chuẩn của một sợi bị đứt và không bị kéo tuột khi vết nứt chia cắt sợi ở điểm giữa của nó thì nó có thể được tính gần đúng bằng

$$l_c = \frac{d_f}{2 \cdot v_b} \cdot \sigma_f \quad [7.1]$$

Trong đó:

d_f - đường kính sợi;

v_b – cường độ dính bám bề mặt;

σ_f – cường độ sợi.

Bentur và Mindess đã phát triển mối quan hệ giữa khả năng kéo đứt trung bình và cường độ dính bám bề mặt với đá ximăng của sợi theo chiều dài sợi tiêu chuẩn, và chứng minh rằng cường độ của vật liệu tăng liên tục theo chiều dài sợi. Sự tăng này là đáng kể do khả năng chịu kéo tuột có thể đạt đến giá trị lớn nhất sau đó giảm xuống do cường độ dính bám tăng vượt quá một giá trị tiêu chuẩn. Sự mất mát khả năng kéo tuột có thể giảm đến một giá trị khoảng 1 =10 mm trong hỗn hợp đá ximăng.

5.3. Khoảng cách sợi tiêu chuẩn

Khoảng cách của các sợi ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển vết nứt của đá ximăng. Khoảng cách càng gần thì tải trọng nứt ban đầu của đá ximăng càng cao. Điều này là do các sợi giảm hệ số nhạy cảm ứng suất và hệ số này ảnh hưởng đến sự xuất hiện vết nứt. Giải pháp được thực hiện bởi Romualdi và Batson để tăng cường độ chịu kéo của phần vữa bằng cách tăng hệ số nhạy cảm ứng suất thông qua việc giảm khoảng cách giữa các sợi giống như là việc kìm hãm vết nứt. Romualdi và Batson mô tả ứng suất gây nứt do kéo với khoảng cách giữa các sợi cho các tỷ lệ phần trăm thể tích khác nhau, so sánh các giá trị lý thuyết và thực nghiệm đối với

tỷ lệ giữa tải trọng gây nứt ban đầu và cường độ chống nứt của bê tông thường (tỷ lệ cường độ). Các tác giả đã chứng minh rằng khoảng cách giữa các sợi càng gần thì cường độ càng cao, cụ thể là cường độ chịu kéo của bê tông càng cao, và tuỳ thuộc vào tính công tác thực tế và những giới hạn chi phí về giá thành.

Một số nghiên cứu xác định khoảng cách giữa các sợi đã được tiến hành. Nếu s là khoảng cách giữa các sợi thì nó có thể được tính theo công thức:

$$s = 13.8.d_f \cdot \sqrt{\frac{1.0}{\rho}} \quad [7.2]$$

Trong đó:

d_f - đường kính của các sợi;

ρ - phần trăm các sợi;

Một công thức khác do Mckee đưa ra:

$$s = 3 \sqrt{\frac{V}{\rho}} \quad [7.3]$$

5.4. Hướng của sợi tăng cường

Hướng của sợi tăng cường sẽ liên quan đến tải trọng quyết định tính hiệu quả mà sợi được định hướng một cách ngẫu nhiên có thể chống lại sức căng theo hướng của nó. Điều đó đồng nghĩa với sự đóng góp của các thanh cốt thép uốn và lực cắt thẳng đứng trong các đầm được cung cấp để chống lại ứng suất kéo xiên nghiêng. Nếu chọn ngẫu nhiên, hệ số hiệu quả = 0,411, tuy nhiên có thể dao động giữa 0,331 và 0,651 gần với bề mặt của vật mẫu khi trát bằng tay hoặc san bằng có thể làm thay đổi hướng của thớ sợi.

5.5. Tính chất cơ học của kết cấu bê tông cốt sợi

5.5.1. Các yếu tố ảnh hưởng

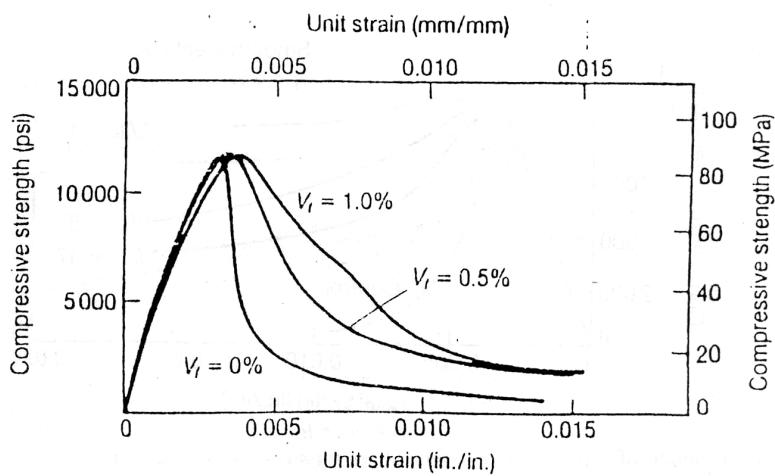
Các thuộc tính cơ học của bê tông cốt sợi chịu ảnh hưởng của một số yếu chủ yếu là:

1. Loại sợi, cụ thể là chất liệu sợi và hình dạng của nó;
2. Tỉ lệ cạnh l/d_f , cụ thể là tỉ lệ giữa chiều dài của thớ sợi/đường kính;
3. Khối lượng sợi tính theo khối lượng thể tích;
4. Khoảng cách giữa các sợi s ;
5. Độ bền của khối vữa hoặc bê tông;
6. Kích cỡ, hình dạng của bản mẫu.

Các sợi có ảnh hưởng đến hiệu quả của việc chống các lực uốn, cắt, căng trực tiếp và lực va chạm nên cần phải đánh giá các mẫu kiểm tra liên quan đến các thông số này.

5.5.2. Cường độ chịu nén

Tác động của sự tham gia của các sợi tăng cường đối với độ bền nén của bê tông dường như không đáng kể. Thể hiện ở Hình 7.3 trong các mẫu kiểm tra sử dụng các sợi thép. Tuy nhiên, độ dẻo được tăng cường một cách đáng kể do sự tăng thể tích và tỉ lệ của các sợi đã được sử dụng. Hình 7.4 và 7.5 của Fanella và Naaman mô tả một xu hướng tương tự với cả tỉ lệ thể tích lên tới 3% và tỉ lệ bê ngoài 47-100. Shah cũng thể hiện sự ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng thớ sợi tới độ dẻo liên quan của cấu kiện bê tông cốt thép.



Hình 7.3: Ảnh hưởng của tỷ lệ cốt sợi đến cường độ chịu nén với bê tông 90 MPa

Độ dẻo là số đo khả năng hấp thụ năng lượng trong thời gian biến dạng. Nó có thể được ước tính từ diện tích bên dưới đồ thị biến dạng tải trọng. Chỉ số độ dẻo (TI) thể hiện ở Hsu được tính theo công thức sau:

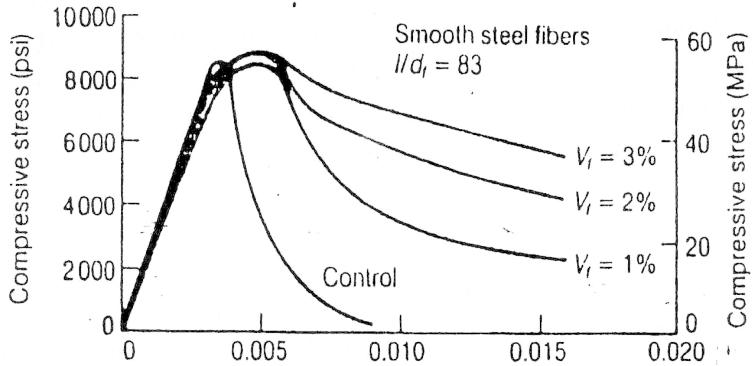
$$TI = 1,421 RI + 1,035 \quad [7.8]$$

Trong đó:

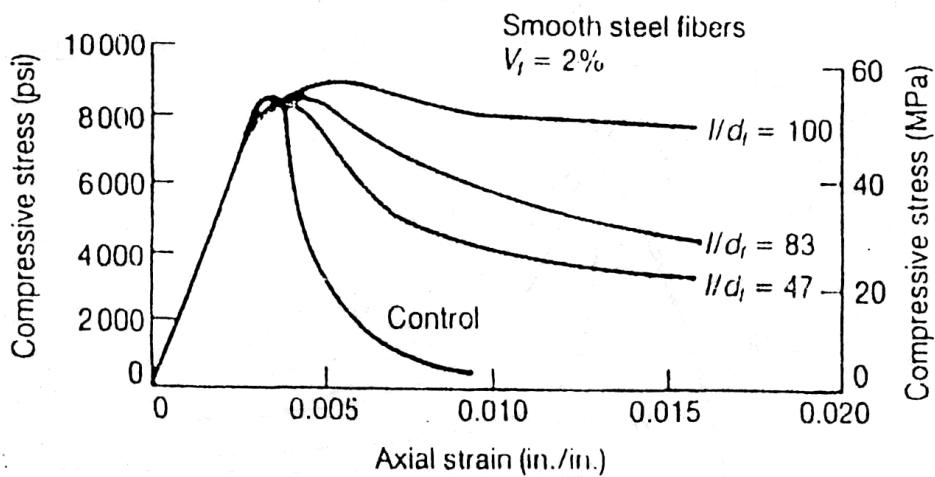
R_f - chỉ số cốt thép = $Vf(l/d_f)$;

V_f - tỉ lệ thể tích;

l/d_f - hệ số tỷ lệ kích thước.



Hình 7.4: Ảnh hưởng của tỉ lệ thể tích của sợi thép đến ứng suất kéo đối với bê tông 9000 psi



Hình 7.5: Ảnh hưởng của hệ số l/d_f tới cường độ chịu nén

5.5.3. Cường độ chịu kéo

Khi thể tích của sợi tăng lên từ $0.25 \div 1.25\%$ cường độ chịu kéo của bê tông cốt sợi tăng lên đáng kể.

5.5.4. Cường độ chịu uốn

Các sợi tăng cường dường như tác động đến độ lớn của cường độ chịu uốn của bê tông. Giai đoạn đầu tiên là giai đoạn tải trọng gây nứt trong đồ thị độ vồng tải trọng và giai đoạn kiểm soát thứ 2 là giai đoạn tải trọng cực hạn. Cả tải trọng gây nứt đầu tiên và tải trọng chịu uốn cực hạn đều bị ảnh hưởng do chức năng của sản phẩm tập trung thể tích sợi p và tỉ lệ bên ngoài l/d_f . Tập trung thớ sợi ít hơn $0,5\%$ thể tích khối vữa và tỉ lệ bên ngoài ít hơn 50 dường như có ảnh hưởng

nhỏ hơn đến cường độ chịu uốn mặc dù chúng vẫn có thể có ảnh hưởng đến độ dẻo của bê tông.

Đối với các dầm kết cấu cốt thép với bê tông cốt thép thông thường và cả bê tông có thêm các sợi, việc thay đổi công thức chuẩn đổi với sức chịu mô men danh định $M_n = A_s f_y (d - a/2)$ phải được tiến hành để tính toán sự tương tác ma sát cắt của thớ sợi để ngăn chặn vết nứt lớn. Giá thiết tiêu chuẩn của diện tích bê tông bị bỏ qua trong vùng kéo được sửa đổi để lực chịu kéo cân bằng T_{fc} được thêm vào mặt cắt. Điều này làm di chuyển trục trung hòa xuống phía dưới, dẫn đến sức chịu mô men danh định cao hơn.

Các kết quả nghiên cứu ở trường Đại học giao thông vận tải trên kết cấu dầm bê tông cốt sợi thép cho thấy cường độ chịu kéo khi uốn tăng lên từ 15-20 %.

5.5.5 \square Độ bền cắt

Do sợi phân bố ngẫu nhiên trong khối vữa tăng cường ứng suất chủ của dầm bê tông. Williamson cho thấy khi sử dụng 1,66% sợi thép thẳng thay cho bàn đạp, khả năng chịu cắt tăng lên 45%. Khi sử dụng các sợi thép với đầu biến dạng ở tỉ lệ thể tích 1,1%, khả năng chịu cắt tăng lên 45-67% và các dầm bị hỏng do uốn. Sử dụng các sợi 1 đầu uốn cong làm tăng khả năng chịu cắt gần như 100%.

5.5.6. Co ngót và từ biến

Không có tiến triển nào trong việc làm co ngót và từ biến bê tông xảy ra khi cho thêm thớ sợi nhưng có lẽ có một sự giảm nhẹ do nhu cầu về vữa dính trong hỗn hợp khi thớ sợi được sử dụng. Gãy nứt do co ngót khô trong các nhân tố giới hạn có thể được tăng nhẹ bởi vì các vết gãy nứt bị hạn chế phát sinh do ảnh hưởng bắc cầu của các thớ sợi phân bố ngẫu nhiên.

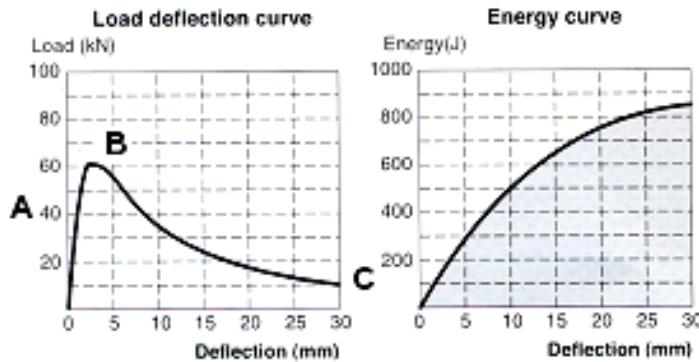
5.5.7. Khả năng chịu tải trọng động

Trạng thái của các cấu kiện bê tông cốt sợi chịu tải trọng động thường như gấp 3-10 lần bê tông không có cốt thép. Có thể thấy rằng tổng số năng lượng hấp thụ bởi dầm bê tông cốt sợi có thể gấp 40-100 lần so với bê tông không có cốt thép tùy thuộc vào loại hình, hình dạng biến dạng và phần trăm thể tích của sợi.

6. Đánh giá đặc tính của bê tông được tăng cứng bằng thép sợi

6.1 Biểu đồ độ võng tương ứng với tải trọng

Đồ thị độ võng tương ứng với tải trọng khác về căn bản so với dạng đồ thị có kết quả từ các thí nghiệm dầm bê tông nói chung vì có thêm đoạn BC. Hàm lượng các cốt sợi khác nhau sẽ làm cho đoạn BC đi xuống hoặc đi lên.



Hình 7.6: Mối quan hệ ứng suất –biến dạng
với biến dạng gãy khoảng 0,45in/in.

6.2 Độ bền dai

Vùng nằm phía dưới đồ thị độ võng theo tải trọng là đại lượng năng lượng được hấp thụ trong từng thí nghiệm. Đại lượng này có tên gọi là "độ bền dai".

Trong quá trình phân tích sự tăng cứng bằng thép sợi giá trị độ bền dai là vấn đề cần quan tâm vì nó cho chúng ta biết đặc tính của vết nứt do vật liệu gây nên. Từ trước đến nay người ta vẫn có thói quen sử dụng nó để xác định cường độ uốn cho các loại vật liệu được tăng cứng nhờ thép sợi. Đây chỉ là một đại lượng để đo các đặc tính của vật liệu khi có vết nứt đầu tiên mà không nói lên điều gì về tính chất của vết nứt.

Có thể nhận thấy điều này từ các kết quả được minh họa rằng vết nứt đầu tiên khi đạt đến tải trọng là như nhau trong tất cả các thí nghiệm không bị ảnh hưởng bởi chất lượng hay tỷ lệ thép sợi.

Do đó, việc đánh giá từng loại thép sợi được tiến hành bằng cách so sánh phần năng lượng được hấp thụ (độ bền dai) bởi từng tấm bê tông bơm khi đạt tới độ võng 25mm.

7. Bê tông nhiều sợi composites

7.1. Đặc điểm chung

Bê tông cốt sợi được thiết kế chứa tối đa 2% sợi, sử dụng thiết kế cấp phối tương tự và bố trí như bê tông không cốt sợi.

Hỗn hợp bê tông nhiều cốt sợi có thể chứa từ 8-25%. Thiết kế hỗn hợp cũng như chất liệu cấu thành vừa có thể giống với thành phần của bê tông cốt sợi hoặc không cốt sợi nhưng chỉ dùng cốt liệu nhỏ hoặc cát được sử dụng trong hỗn hợp mà không có cốt liệu thô để đạt được độ bền và độ dẻo cao như sản phẩm được mong đợi.

Ngoài ra, những năm 1980 cho thấy sự phát triển của hỗn hợp bê tông gọi là bê tông không có khuyết tật lớn (MDF) có cường độ chịu uốn và mô đun cao lên đến gần như 30.000 psi (~200 MPa); và xi măng DSP có kích cỡ hạt 0,5 μ m ít hơn 1/20 của xi măng pooc lăng. Hàm lượng khí trong hỗn hợp có thể được giảm bằng cách thêm puzolan, muội silic với tỉ lệ không đáng kể.

Với những bước tiến này, ngày nay các hỗn hợp bêtông cốt sợi composite sau đây đang được nghiên cứu:

1. Bê tông cốt sợi thấm hồ xi măng (SIFCON) và hỗn hợp bê tông chịu lửa (SIFCA)
2. Hệ thống hạt nhỏ kết đặc (DSP)
3. Hỗn hợp composite nén chặt (CRC)
4. Hỗn hợp gốc xi măng sợi các bon
5. Bê tông siêu bền (RPC)

Những hỗn hợp bêtông này có thể có cường độ nén vượt 44.000 psi (300 MPa) và khả năng hấp thu năng lượng, cụ thể là độ dẻo có thể lên tới 1000 lần so với bê tông không có cốt thép.

7.2. Bê tông cốt sợi thấm hồ xi măng (SIFCON)

Do tỉ lệ sợi thép cao (8-25%), hỗn hợp các cấu kiện kết cấu được hình thành bằng rải các thớ sợi trong ván khuôn hoặc lên trên móng. Móng được chất đầy các sợi đến độ cao quy định hoặc khuôn được hình thành toàn bộ hoặc 1 phần với các sợi, tùy thuộc vào yêu cầu của thiết kế. Sau khi các sợi được sắp đặt lớp vữa xi măng có độ nhót thấp được rót hoặc bơm vào lớp móng rãnh thớ sợi hoặc ván khuôn, thâm nhập vào khoảng trống giữa các sợi. Tỉ lệ xi măng/tro bay/cát cụ thể có thể thay đổi từ 90/10/0 đến 30/20/50 theo khối lượng. Tỉ lệ nước/xi măng (W/C+FA) có thể từ 0,45 đến 0,20 tính theo khối lượng.

7.3. Hỗn hợp xi măng MDF và DSP

Các hạt nhỏ kết đặc (DSP) và hỗn hợp bêtông cốt sợi composites nén chặt (CRC) phụ thuộc vào việc thu được độ bền siêu cao phần lớn là trên các loại xi măng đóng chặt sử dụng cho hỗn hợp gốc xi măng và tỉ lệ thích hợp để giảm một cách đáng kể hoặc loại bỏ hầu hết các chõ trống trong chất tạo dính.

7.4. Hỗn hợp gốc xi măng cốt sợi composite

Đường kính của chúng thay đổi từ 10-18 μ m (0,0004-0,0007 in) và chiều dài thay đổi từ 1/8 đến 1/2 in (3-12mm). Hỗn hợp này có độ bền kéo 60-110 ksi (400-750 MPa). Bởi vì chiều dài nhỏ và đường kính nhỏ của các sợi composite

nên tỉ lệ theo thể tích là 0,5-3%^{9.25}. Khoảng cách giữa các thớ sợi xấp xỉ 0,004 in (0,1mm) ở tỉ lệ sợi 3%. Chức năng của chúng tương tự với chức năng của các sợi thép ngăn chặn các vết gãy nứt to từ lúc mới bắt đầu và phát triển.

7.5. Bê tông siêu bền

Bê tông siêu bền có cường độ chịu nén từ 30.000-120.000 psi (200-800 MPa). Loại cường độ chịu nén thấp ngày nay được sử dụng để xây dựng các cầu kiên kết cầu. Loại cường độ chịu nén cao được sử dụng trong ứng dụng phi kết cầu như là lát sàn, bảo vệ và kho chứa chất thải hạt nhân. Những loại này được gọi là bê tông có độ bền siêu cao và có độ dẻo cao cần thiết cho ứng dụng trong hệ thống kết cầu.

Đặc điểm chính của những loại bê tông này là sử dụng bê tông bột mà trong đó cốt liệu và cát truyền thống được thay thế bởi thạch anh đất kích cỡ dưới 300 μm . Dưới góc độ này, sự đồng nhất của hỗn hợp được cải thiện đáng kể và do đó phân bố kích cỡ các loại hạt được giảm đi bằng 2 bậc chiều dài. Một sự cải thiện lớn khác trong thuộc tính của bê tông đồng cứng là tăng giá trị mô đun đàn hồi của vữa để giá trị của nó có thể đạt 6×10^6 đến 11×10^6 psi (55-75GPa). Richard và Cheyrezy đã phát triển đặc tính cơ học sau đây của bê tông RPC:

1. Nâng cao tính đồng nhất làm cho mô đun đàn hồi tăng lên 11×10^6 psi (75Gpa).
2. Tăng mật độ nén khô của các chất rắn khô. Trong khi muội silic với kích thước hạt nhỏ 0,1-0,5 μm và hàm lượng hỗn hợp tối ưu là 25% ximăng tính theo khối lượng.
3. Tăng khối lượng thể tích khô bằng cách duy trì bê tông tươi dưới áp suất ở giai đoạn mới đổ và trong cả thời gian đúc. Điều này dẫn đến việc loại bỏ các bọt khí, nước thải và giảm một phần hao hụt nhựa trong thời gian kết thúc nín kết.
4. Tăng cường kết cấu nhỏ qua bảo dưỡng nóng trong 2 ngày ở nhiệt độ 194°F (90°C) để đẩy mạnh hoạt hóa của phản ứng puzolan của muội silic dẫn đến thu được cường độ chịu nén 30%.
5. Tăng độ dẻo bằng cách thêm một tỉ lệ thể tích thích hợp các thớ sợi thép nhỏ.

Bảng 7.5. Thành phần hỗn hợp
và các đặc tính cơ học của bê tông độ bền siêu cao (PRC)

	Bê tông RPC 200	Bê tông RPC 800
(1)	(2)	(3)
Xi măng portland, loại V, kg/m ³	955	1000
Cát mịn (150-400μm), kg/m ³	1051	500
Thạch anh đá (4μm), kg/m ³	-	390
Muội silíc (18 m ² /g), kg/m ³	229	230
Silíc kết tủa (35m ² /g), kg/m ³	10	-
Chất siêu dẻo, kg/m ³	13	18
Cốt sợi thép, kg/m ³	191	630
Tổng lượng nước, m ³	153	180
Cường độ chịu nén lăng trụ, MPa	170-230	490-680
Cường độ chịu uốn, MPa	25-60	45-102
Năng lượng phá hủy, (J/m ²)	15000-40000	1200-2000
Mô đun Young, GPa	54-60	65-75

Bảng 7.5. trình bày các kết quả nghiên cứu của Richard và Cheyrezy đưa ra tỉ lệ trộn bê tông RPC loại 200 và loại 800. Nó cũng liệt kê những đặc tính cơ học của những loại bê tông này, Xi măng kháng sulfate loại V đã được sử dụng trong tất cả các hỗn hợp.

Các loại bê tông mô tả ở các phần trên đã thể hiện được độ bền, dẻo và hiệu suất bê tông và các hỗn hợp gốc bê tông thu được và sẽ tiếp tục có được tính ổn định cao hơn. Một kỷ nguyên mới trong công nghệ vật liệu xây dựng đã bắt đầu. Nó hứa hẹn một cuộc cách mạng trên lĩnh vực này mà ở đó hệ thống xây dựng sẽ nổi lên ở thế kỷ 21.

Các công trình lớn cần được tiến hành để tăng tính khả thi trong việc áp dụng những vật liệu này và làm cho chúng có khả năng sinh lợi cao. Chỉ với tính đơn giản và tính khả thi trong ứng dụng và thu được các sản phẩm cuối cùng, những bước phát triển này trong khoa học công nghệ vật liệu có thể nhận được sự chấp nhận trên toàn cầu.

Câu hỏi:

1. Định nghĩa và phân loại bê tông cốt sợi?
2. Ứng xử của cốt sợi trong bê tông?
3. Bê tông cốt sợi thép?
4. Các compuzit bê tông cốt sợi siêu cường độ?

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn Việt Nam 7075-2006
2. Công nghệ bê tông và bê tông đặc biệt-GS.TS. Phạm Duy Hữu-2005
3. Vật liệu mới-GS.TS - Phạm Duy Hữu-2002
4. Giáo trình vật liệu xây dựng (tái bản)- Phạm Duy Hữu-2005
5. Sổ tay ACI về thực hành bê tông, phần 4
6. Phạm Duy Hữu N/c bê tông cường độ cao (Đề tài NCKH1999-Bộ GD&ĐT)
7. Phạm Duy Hữu Bê tông HPC từ vật liệu Nam Bộ (Đề tài NCKH 2008-Bộ GD&ĐT)
8. Thiết kế và Kiểm soát các hỗn hợp bê tông, xuất bản lần thứ 13 do Hiệp hội Xi măng Portland.
9. Cục Thi công Giao thông Bang và các Tiêu chuẩn kỹ thuật Vật liệu Hoa Kỳ.
10. Proceedings of the internation workshop onself compacting concrete-JSCT-Ozawoa- Tokyo
11. Proceedings of the cecond international symposium on self compacting concrete-Kazumasa u Masahiro
12. Carrasquilo, Ramon và Miller, Richard; " Định tỉ lệ hỗn hợp phần 1 và 2" Ghi chép Trưng bày Câu làm Bê tông Tính năng cao SHRP; New Hampshire DOT và FHWA, 9/1997.
13. Hover, Kenneth: Sổ ghi chép Khoa học Thiết kế Hỗn hợp Xi măng Portland; FHWA 2000.
14. AASHTO (2004), AASHTO LRFD - *Tiêu chuẩn thiết kế cầu, Xuất bản lần thứ 3*, Hiệp hội Đường cao tốc Hoa kỳ và Văn phòng Giao thông tải, Washington, D.C, tr.1450.
15. Tadros, M.K., Huo, X., và Ma, Z. (1999). "Thiết kế kết cấu các cây cầu Bê tông Tính năng cao", "Bê tông Tính năng cao": *Nghiên cứu để thực hành* (SP-189), Viện Bê tông Mỹ, Farmington Hill, MI, tr.9-36.
16. Stanton, J.F., Barr, P., và Eberhard, M.O. (1999). "Các tính chất của rầm cầu bê tông tính năng cao cường độ cao, "Bê tông tính năng cao: Nghiên cứu để thực hành" (SP-189), Viện Bê tông Mỹ, Farmington Hills, MI, tr. 71-92.

17. Shehata, I.A.E.M., Shehata, L.C.D., và Garcia, S.L.G (2002), "Tăng cứng tối thiểu trong các rầm bê tông cường độ cao", "*Bê tông cường độ cao*: Tính năng và chất lượng của các kết cấu bê tông, Hội nghị quốc tế lần thứ 3, PE, Brazil (SP - 207), Viện nghiên cứu Bê tông Hoa kỳ, Farmington Hills, MI, tr.279-295.
18. Serra, G.G, và de-Campos, P.E.F (2002). "Bê tông Tính năng cao Đúc sẵn", *Bê tông Tính năng cao: Hội nghị quốc tế lần thứ 3, PE, Brazil* (SP - 207), Viện nghiên cứu Bê tông Hoa kỳ, Farmington Hills, MI, tr.327 - 338.
19. Rangan, B.V. (2002), "Một số tiêu chuẩn của Australia trong Thiết kế các kết cấu Bê tông", "*Bê tông: Khoa học Vật liệu ứng dụng, Một dự báo của Surendra P. Shah*(SP-206), Viện nghiên cứu Bê tông Hoa kỳ, Farmington Hills, MI, tr.123 - 133.
20. Ibrahim, H.H.H., và MacGregor,J.G. (1997), "Sự thay đổi của khối ứng suất bê tông hình chữ nhật theo ACI đối với bê tông cường độ cao". *Tạp chí kết cấu ACI*, tập 94, số 1. tr.40 - 48.
21. Frosch, R.J. (2001), "Kiểm soát nứt uốn trong bê tông tăng cứng", *Thiết kế và thực hành thi công để giảm bớt quá trình nứt* (SP-204), Viện nghiên cứu Bê tông Hoa kỳ, Farmington Hills, MI, tr.135 - 153.
22. Tạp chí cầu HPC, xuất bản 2 số một tháng do Văn phòng Đường cao tốc Liên bang và Hội đồng cầu bê tông quốc gia phát hành.
(http://www.cement.org/bridges/br_newsletter.asp).
23. Ghosh, S.K., Azizinami, A.Stark, M.,và Roller, J.J., "Đặc tính liên kết của các thanh tăng cứng trong Bê tông cường độ cao", Tạp chí Kết cấu ACI, số tháng 9 - 10 năm 1993.
24. Tiêu chuẩn AASHTO 2005:
25. Malier- LES BETONS A HAUTES PERFORMANCES- PARIS-1992.
26. PGS.TS. Phạm Duy Hữu- ThS. Nguyễn Long- **BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO- NXB XD -2004.**
27. Harry G.Harris and Gajanan M.Sabnis- **STRUCTURAL MODELING AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES – USA-1999.**
28. Michael Thomas – **Durability HPC** – Hà Nội 2006.
29. Tiêu chuẩn ACI 383R, ACI 318
30. Elkem Materials – **Using silica Fume in various concrete structures** – Hà Nội 5/3/2008
31. M.S. Shetty - **Concrete Technology** – London 2003

PHỤ LỤC
BẢNG CHUYỂN ĐỔI CÁC ĐƠN VỊ LIÊN QUAN

Chuyển từ hệ inch- pound	Sang hệ SI (hệ mét)	Hệ số chuyển đổi
inch(in .)	mm	25,4
inch(in .)	m	0,0254
foot (ft)	m	0,3048
square inch(sq.in.)	mm ²	645,2
square inch(sq.in.)	m ²	0,0006452

square foot (sq.ft.)	m^2	0,0929
kip	N	4448,0
kip	kgf	453,6
pound (lb)	N	4,448
pound(lb)	kgf	0,4536
kip/ square inch(ksi)	MPa	6,895
pound/ square foot (psf)	kPa	0,04788
pound/ square inch(psi)	kPa	6,895
pound	kg	0,4536
ton(200lb)	kg	907,2
tonne(t)	kg	1.000
kip/ linear foot(klf)	kg/m	1488
pound/ linear foot(plf)	kg/m	1,488
pound/ linear foot(plf)	N/m	14,593
inch – pound (in.-lb)	N.m	0,1130
foot-pound(ft.-lb)	N.m	1,356
foot – kip (ft.- k)	N.m	1356
degree(deg F)	Celsius (C)	$t_c = (t_F - 32)/1,8$
Section modulus(in. ³)	mm ³	16.387
Moment of innertia(in. ⁴)	mm ⁴	416.231
Modulus of elasticity (psi)	MPa	0,006895