

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI**

PHẠM DUY ANH

**NGHIÊN CỨU THÀNH PHẦN,
TÍNH CHẤT CƠ HỌC VẬT LIỆU VÀ ÚNG XỬ UỐN CỦA DÂY BÊ TÔNG
CƯỜNG ĐỘ CAO CỐT SỢI THÉP
ỨNG DỤNG TRONG KẾT CẤU CẦU**

CHUYÊN NGÀNH : XÂY DỰNG CẦU HẦM

MÃ SỐ : 62.58.25.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2010

Công trình được hoàn thành tại: Bộ môn Cầu Hầm – khoa Công trình – Trường Đại học Giao thông vận tải

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC : 1. GS.TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG
2. PGS.TS. NGUYỄN NGỌC LONG**

Phản biện 1: GS.TSKH. Đỗ Như Tráng

Học viện Kỹ thuật quân sự

Phản biện 2: GS.TS. Nguyễn Mạnh Kiểm

Bộ Xây dựng

Phản biện 3: PGS.TS. Phạm Duy Hòa

Trường Đại học Xây dựng

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp nhà nước họp tại :

.....

.....

vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Phạm Duy Hữu, Nguyễn Viết Trung, Hoàng Hà, Mai Đình Lộc, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh - Nghiên cứu giải pháp tăng cường cầu bằng tấm Polime cốt sợi cacbon (PCSC) - Thông tin Khoa học kỹ thuật trường ĐH GTVT - số 1-2002.
2. Phạm Duy Anh - Phân tích một số tính chất cơ bản của bê tông cốt sợi thép - Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải - Số 5 - tháng 11/2003.
3. PGS.TS. Nguyễn Viết Trung, TS. Nguyễn Ngọc Long, Ths. Phạm Duy Anh - Bê tông cốt sợi thép - NXB Xây Dựng - 2005.
4. Phạm Duy Anh - Bê tông cốt sợi thép cường độ cao và ứng dụng - Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải - Số 12 - tháng 11/2005.
5. GS.TS. Nguyễn Viết Trung, Phạm Duy Anh - Thí nghiệm và phân tích độ dai và cường độ chịu uốn của dầm BTCĐCCST - Tạp chí Cầu đường Việt Nam - Số 6 - 2009.
6. GS.TS. Nguyễn Viết Trung, Phạm Duy Anh - Xác định công thức và tính chất cơ học BTCĐCCST - Tạp chí Giao thông vận tải - số 7/2009.

A. GIỚI THIỆU CHUNG CỦA LUẬN ÁN

Hiện nay, nhiều công trình có qui mô lớn đã và đang được xây dựng, ứng dụng các vật liệu và công nghệ tiên tiến. Yêu cầu vật liệu và kết cấu công trình phải thỏa mãn các tính năng mới để đảm bảo cường độ, độ bền của công trình trong điều kiện chịu tác động của tải trọng phát triển và môi trường phức tạp.

Bê tông là vật liệu chịu nén tốt nhưng cường độ chịu kéo chưa cải thiện nhiều. Bê tông cường độ cao có cường độ chịu nén từ 60-100MPa đã ra đời, được dùng chủ yếu trong các công trình nhà cao tầng, cầu lớn và các công trình ngoài biển. Khi tăng cường độ, ngoài các tính năng tốt có được thì bê tông trở nên giòn và bị phá hoại đột ngột.

Bê tông cốt sợi thép ra đời nhằm tăng tính dẻo cho bê tông nhờ khả năng hút năng lượng của cốt sợi thép. Bê tông cốt sợi thép giúp cho kết cấu có ứng xử tốt hơn với các vết nứt bằng cơ chế khâu vết nứt, truyền ứng suất qua vết nứt. Các nghiên cứu và ứng dụng bê tông cốt sợi thép đã được phát triển trên thế giới. Ở Việt Nam, nghiên cứu và ứng dụng BTCĐCCST là một hướng nghiên cứu có tính thời sự và cấp bách để góp phần phát triển các công trình có độ bền cao (cầu, nhà cao tầng).

Xuất phát từ yêu cầu trên nên luận án có tên “*Nghiên cứu thành phần, tính chất cơ học vật liệu và ứng xử uốn của dầm bê tông cường độ cao cốt sợi thép ứng dụng trong kết cấu cầu*”. Kết quả nghiên cứu có thể dùng làm cơ sở phân tích ứng xử tĩnh kết cấu BTCĐCCST nhằm hỗ trợ cho thiết kế mới hoặc thiết kế sửa chữa kết cấu cầu, làm mặt cầu, đặc biệt kết cấu cầu liên hợp, cầu trên tuyến đường sắt cao tốc. Phương pháp nghiên cứu là phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Phân tích các tính năng cơ học, ứng suất uốn, kiến nghị nguyên lý thiết kế kết cấu cầu

Mục tiêu nghiên cứu của luận án:

Nghiên cứu thiết kế thành phần BTCĐCCST.

Nghiên cứu cường độ nén, cường độ kéo khi uốn, mô đun đàn hồi, độ dai và ứng xử uốn của BTCĐCCST.

Từ các kết quả thí nghiệm được tổng hợp và phân tích tìm ra các công thức thực nghiệm, mô hình cơ học và điều chỉnh các hệ số nhằm chuyển đổi phương pháp thiết kế kết cấu dầm BTCĐCCST thành phương pháp thiết kế BTCĐCCST ứng dụng trong kết cấu cầu.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là bê tông có cường độ nén 70MPa, cốt sợi thép $l=60\text{mm}$, $d=0,9\text{mm}$, giới hạn chảy 1100MPa. Luận án chỉ nghiên cứu các kết cấu dầm với ứng xử uốn tĩnh. Các nghiên cứu về tải trọng lặp và va chạm không xem xét trong luận án này.

Ý nghĩa khoa học của luận án

Thông qua các nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết luận án đã khẳng định được thành phần của BTCĐCCST đảm bảo các yêu cầu về cường độ và tính công tác. Các nghiên cứu về tính chất cơ học đã xác định được các công thức thực nghiệm về quan hệ giữa các tính chất cơ học với cường độ bê tông và hàm lượng cốt sợi thép. Mô hình cơ học vật liệu đã được thiết lập trên cơ sở các mô hình quốc tế, sau đó đã điều chỉnh một số hệ số để phù hợp với đặc tính của BTCĐCCST. Kết quả kiểm tra sai số giữa mô hình lý thuyết với mô hình thực nghiệm cho thấy các mô hình này có thể sử dụng để tính toán kết cấu BTCĐCCST nói chung và có thể ứng dụng tính toán kết cấu cầu từ BTCĐCCST. Xác lập nguyên tắc tính toán kết cấu dầm BTCĐCCST DUL chịu uốn.

Ý nghĩa thực tiễn

Các kết quả nghiên cứu về thành phần, tính chất cơ học, ứng xử uốn và phương pháp tính toán kết cấu BTCĐCCST bước đầu có thể dùng làm tài liệu phục vụ giảng dạy đại học, tài liệu tham khảo cho các nghiên cứu và nghiên cứu thiết kế sau này.

B. NỘI DUNG CỦA LUẬN ÁN

Nội dung luận án bao gồm phần Mở đầu, 4 chương và phần Kết luận:

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU, PHÁT TRIỂN BÊ TÔNG CỐT SỢI VÀ BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

1.1. TÓM TẮT NGHIÊN CỨU BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM

Những nghiên cứu đầu tiên về sợi thép phân tán là của Romualdi, Batson, Mandel [40],[41]. Những nghiên cứu tiếp theo được thực hiện bởi Shah, Swamy và những nghiên cứu khác ở Pháp, Mỹ, Anh và Nga [42], [43]. 1960, bê tông cốt sợi thép đã bắt đầu được sử dụng.

1989-1999, các tiêu chuẩn của ACI 544 [22], ASTM C1018-97, RILEM TC 162TDF [23] và DIN 1045 về bê tông cốt sợi được áp dụng.

Nawy (1996) công bố về tăng cường bê tông bằng cốt sợi [20]. Naaman (1992) thông báo về bê tông cốt sợi chất lượng cao[10]. Bayashi (1992) đã công bố về việc ứng dụng sợi cacbon trong công tác tăng cường sửa chữa kết cấu [11]. Richard (1992) [29] công bố về bê tông có độ bền cao sử dụng cốt sợi thép. F.De. Larrard và

J.M. Torrenti (1995-2000) công bố về bê tông chất lượng cao và bê tông cốt sợi thép [13]. Bernhard R. Maidl (1995), Đức, giới thiệu kiến thức căn bản về bê tông cốt sợi và các phương pháp phân tích trên quan hệ lực và độ võng [14]. Job Thomas (5/2007), Ấn Độ, trình bày nghiên cứu về tính chất cơ học của bê tông cốt sợi [26]. Jensen J.J. và Tomaszewicz A. (1998) công bố nghiên cứu phân tích va chạm của kết cấu bê tông cốt thép được gia cường bằng sợi thép [23]. Các nghiên cứu về bê tông siêu cường độ (150-800MPa) đã được công bố trên thế giới bởi các tác giả Mỹ, Trung Quốc, Nhật Bản, Hàn Quốc, Pháp, Đức tại hội nghị bê tông chất lượng cao thế giới (2005) [28].

Bê tông cốt sợi thép được ứng dụng trong hệ thống đường sân bay ở Bỉ, bến cảng ở Tây Ban Nha, Anh, hầm đường sắt ở Anh, Đức, tà vẹt bê tông cốt sợi thép ở Đức. Các ứng dụng trong cầu ở Mỹ, Đức, Pháp.

Tại Việt Nam, vấn đề bê tông cốt sợi và bê tông cốt sợi thép đã bước đầu được quan tâm và công bố. Sách bê tông cốt sợi thép do GS.TS. Nguyễn Việt Trung chủ biên (2003) [8]. Luận án tiến sĩ về bê tông cốt sợi polime của PGS.TS. Nguyễn Ngọc Long (2000) [4], Nguyễn Văn Chánh (2001) về bê tông nhẹ cốt sợi hữu cơ [5], Nguyễn Tiến Bình (2005) về bê tông cốt sợi polypropylen [12] và nhiều công trình nghiên cứu khoa học của Viện khoa học công nghệ giao thông vận tải [9]. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu và chế tạo bê tông cốt sợi chất lượng cao bằng cốt sợi nhân tạo [6] của Viện khoa học công nghệ xây dựng.

1.2. PHÂN LOẠI BÊ TÔNG CỐT SỢI

Theo cường độ: BT cốt sợi ($f_c=25-50\text{MPa}$); BT cốt sợi cường độ cao ($f_c=60-100\text{MPa}$); BT cốt sợi siêu cường độ ($f_c=120-800\text{MPa}$).

Theo thể tích sợi: BT cốt sợi (0,25-2,5%); BT nhiều sợi (10-25%)

Theo loại sợi: BT cốt sợi thép, BT cốt sợi tổng hợp, BT cốt sợi thủy tinh, BT cốt sợi cacbon, BT cốt sợi xơ dừa...

Theo chất kết dính (pha nền): BT xi măng cốt sợi, BT polime cốt sợi (Epoxy)

1.3. MÔ HÌNH LÀM VIỆC CỦA SỢI

Vấn đề này đã được nghiên cứu ở quy mô cấu trúc và quy mô kết cấu. Tác dụng chủ yếu là làm chậm quá trình hư hỏng và hạn chế sự hình thành và mở rộng vết nứt, tăng tính dẻo của vật liệu.

1.4. THÀNH PHẦN BÊ TÔNG CỐT SỢI

Lựa chọn thành phần đảm bảo tính chất cơ học và tính công tác theo chỉ tiêu quan trọng là tỷ lệ cốt liệu lớn/cốt liệu nhỏ và hàm lượng sợi.

CHƯƠNG 2 XÁC ĐỊNH THÀNH PHẦN VÀ TÍNH CHẤT CƠ HỌC BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO CỐT SỢI THÉP

2.1. MỞ ĐẦU

Mục tiêu của chương này là từ các vật liệu trong nước và sợi thép Dramix nghiên cứu và thí nghiệm xác thành phần và tính chất cơ học BTCĐCCST đảm bảo các yêu cầu về cường độ và tính công tác.

2.2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO BTCĐCCST

Xi măng: Sử dụng xi măng PC40 Bút Sơn- Ninh Bình với thành phần C3S- 51%, C2S-24%, C3A-8%, C4AF-11%. Loại xi măng này là xi măng loại A theo tiêu chuẩn Việt Nam và tiêu chuẩn Nga, theo tiêu chuẩn Mỹ là xi măng loại tiêu chuẩn I.

Các phụ gia hóa học: Trong thí nghiệm sử dụng chất siêu dẻo thế hệ ba:

- Sika Viscocrete 3000-10 - ASTM C494 nhóm G
- Sika Viscocrete 3400 - ASTM C494 nhóm G, ASTM C1017

Nước: Đảm bảo độ sạch hợp lý và không lẫn dầu, muối, a xít, chất kiềm, thực vật và các chất nào khác gây hư hỏng sản phẩm hoàn thiện

Các vật liệu khoáng siêu mịn: Trong thí nghiệm sử dụng loại muối silic Sikacrete PP1 được sản xuất theo ASTM C1240 9A có hàm lượng SiO₂ >85%.

Cốt liệu thô (đá dăm Kiện Khê): Kích thước tối đa của cốt liệu 12,5mm; Cường độ chịu nén của đá >120MPa; Thành phần hạt phải phù hợp với tiêu chuẩn TCVN7570-2006, ASTM D448, tiêu chuẩn Châu Âu N13043-2002.

Cốt liệu mịn (cát sông Lô): Mô đun độ mịn từ 2,6 đến 3,2.

Thành phần hạt phải phù hợp với tiêu chuẩn TCVN7570-2006 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.

Cốt sợi thép: Trên thế giới sử dụng nhiều loại cốt sợi. Thông kê các loại sợi thép Dramix được ghi ở bảng 2.10.

Bảng 2.10. Các loại sợi thép Dramix

Loại	l, mm	d, mm	Số lượng sợi/kg	Cường độ chịu kéo, N/mm ²
RC65/60BN	60	0,9	3200	1000
RC65/35BN	35	0,55	14500	1100
RC80/60CN	60	0,75	4600	1150

RC80/60BP	60	0,71	5000	2000
RC45/50BN	50	1,05	2800	1000
2P305	30	0,55	16750	1100

Cốt sợi thép được sử dụng là sợi Dramix được chế tạo theo ISO-9001, ASTM A820 (Mỹ), TC-07-0116-98 (Nga), Z-71.4-3 (Đức).



Hình 2.1. Sợi thép Dramix

2.3. XÁC ĐỊNH THÀNH PHẦN CỦA BTCĐCCST

Cường độ thiết kế cần thiết của bê tông, f_{cr} , đáp ứng cường độ thiết kế tối thiểu (chỉ định) f_c với xác suất là 1 hoặc 5% các kết quả thử có cường độ nhỏ hơn cường độ tối thiểu.

$$f_{cr} = f_c + 9,7, \text{ MPa} \quad (2.6)$$

Lựa chọn thành phần vật liệu vẫn theo nguyên tắc thể tích tuyệt đối, để đảm bảo tính công tác cần chọn kích thước tối đa của cốt liệu lớn là 12,5mm, tỷ lệ Đ/C được chọn để cấp phối phù hợp với cấp phối tiêu chuẩn theo ACI 544. Tỷ lệ Đ/C=1,17. (Bảng 2.10)

Bảng 2.10. Thành phần cấp phối BTCĐCCST

Cường độ thiết kế, MPa	Xi măng, kg	Nước, lít	Tỷ lệ N/CDK	Siêu dẻo, lít	MS, kg	Đá, kg	Cát, kg	Cốt sợi thép, kg	Đ/C	C/(C+Đ)
70	525	162	0,31	6,3	0	906	787	0	1,17	0,46
70	495	162	0,3	6,3	35	910	790	50	1,17	0,46
70	495	162	0,3	6,3	35	897	780	75	1,17	0,46
70	495	162	0,3	6,3	35	883	767	125	1,17	0,46

2.4. THỬ NGHIỆM CƯỜNG ĐỘ NÉN CỦA BTCĐCCST

▪ Mẫu thử

Tiến hành chế tạo các mẫu thử theo 4 thành phần bê tông với liều lượng cốt sợi thép RC - 65/60- BN biến đổi từ 0, 50, 75, 125 kg/m³ ứng với thể tích là 0; 0,63%; 1%; 1,5%. Hệ số RI và cường độ nén của bê tông được xem xét là 2 biến số chính để phân tích sự biến đổi tính chất BTCĐCCST.

$$RI = V_f l_f / d_f \quad (2.15)$$

Trong đó: V_f - hàm lượng sợi thép theo thể tích

l_f - chiều dài sợi thép, mm

d_f - đường kính của sợi thép, mm

$l_f=60\text{mm}$, $d_f=0,9\text{mm}$, $V_f=0; 0,63; 1; 1,5\%$; $RI=0; 0,42; 0,67$ và $1,0$

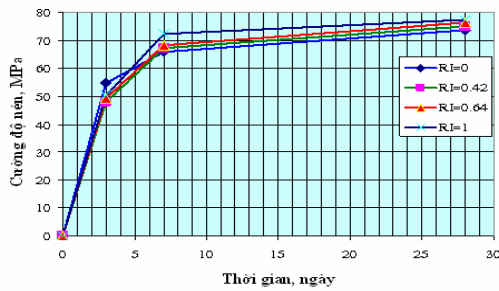
Mỗi lô mẫu gồm 36 mẫu, 18 mẫu đo cường độ, 18 mẫu đo mô đun đàn hồi. Số mẫu $4 \times 36 = 144$ mẫu. Mẫu hình trụ $D=150\text{mm}$, $h=300\text{mm}$.

▪ **Kết quả thử độ sụt của bê tông:** đạt từ 15 – 19cm, độ sụt sau 60 phút đạt tối thiểu 15cm và phụ thuộc hệ số RI

▪ **Thử nghiệm cường độ chịu nén bê tông:** kết quả thử nghiệm cường độ chịu nén của bê tông tuổi 3, 7, 28 ngày phát triển nhanh (bảng 2.19) và phụ thuộc hệ số RI (hình 2.8)

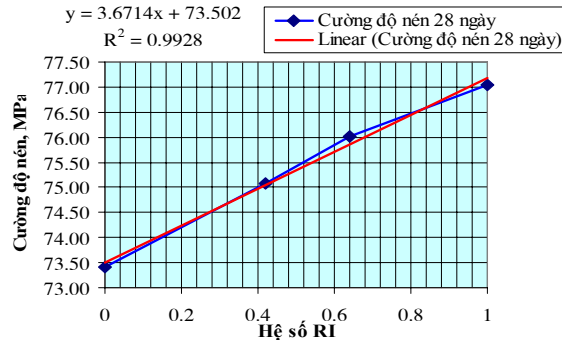
Bảng 2.19. Hệ số phát triển cường độ theo ngày

Loại bê tông	Cường độ chịu nén trung bình (MPa)			Tỷ lệ cường độ/ cường độ 28 ngày		
	3	7	28	3	7	28
0% sợi	54,6	65,86	73,42	0,74	0,897	1
50 kg sợi	47,99	67,24	75,08	0,64	0,896	1
75 kg sợi	49,22	68,18	76,02	0,65	0,896	1
125 kg sợi	50,46	72,20	77,05	0,65	0,935	1



Hình 2.8. Sự phát triển của cường độ nén theo thời gian

- Tốc độ phát triển cường độ nén tăng nhanh, sau 7 ngày tuổi cường độ nén đạt trung bình trên 85%.



Hình 2.9. Quan hệ giữa cường độ nén của BTCST với hệ số RI

Bảng 2.20. Đánh giá các công thức dự báo cường độ nén của BTCĐCCST

Công thức	f'_c	f'_{cf}	Sai số
$f'_{cf} = f'_c + 0,014f'_c RI + 1,02RI$, MPa Job Thomas (2007)	70	71,66 RI=0,825	0,99
$f'_{cf} = f'_c + 1,998RI$, MPa Padmarajaiyah (1999)	70	71,64 RI=0,825	0,99
$f'_{cf} = f'_c + 3,67RI$, MPa Luận án đề nghị (2009)	70	73,01 RI=0,825	1,01

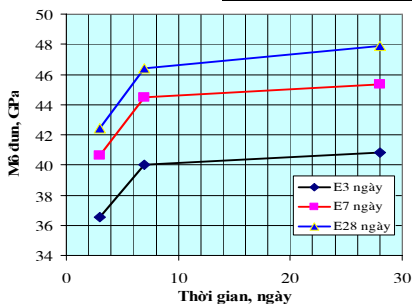
▪ **Xác định mô đun đàn hồi của bê tông**

Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi theo ASTM C469.

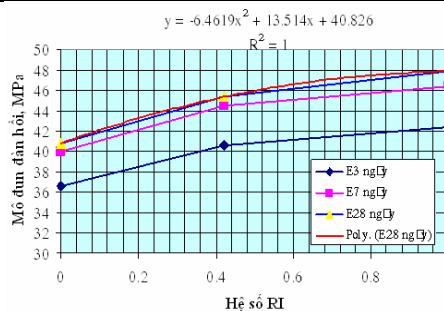
Các mẫu thử với hàm lượng sợi 0; 75 và 125kg sợi thép. RI=0; 0,67; 1. Tuổi của bê tông 3, 7, 28 ngày.

Bảng 2.21. Kết quả đo mô đun đàn hồi

STT	Tuổi mẫu	RI	Hàm lượng sợi thép, %	$E_{đh}$ TB (GPa)	Hệ số phát triển
1	3 ngày tuổi	0	0%	36,57	0,89
		0,67	1%	40,63	0,89
		1	1,5%	42,42	0,89
2	7 ngày tuổi	0	0%	40,03	0,98
		0,67	1%	44,50	0,98
		1	1,5%	46,39	0,97
3	28 ngày tuổi	0	0%	40,82	1
		0,67	1%	45,36	1
		1	1,5%	47,88	1



Hình 2.10. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và thời gian



Hình 2.11. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và RI

Phương trình tương quan giữa mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi với hệ số RI và mô đun đàn hồi của bê tông như sau:

$$E_{cf} = -6,4619RI^2 + 13,514RI + E_c \quad (2.20)$$

trong đó: E_{cf} - mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi, GPa

- E_c - mô đun đàn hồi của bê tông, GPa
 RI - Hệ số đặc trưng của cốt sợi

So sánh công thức 2.20 với các công thức quốc tế ghi ở bảng 2.23

Bảng 2.23. Tính toán sai số so với công thức khác

Công thức	E_c , MPa	E_{cf} , GPa	Sai số
$E_{cf}=4,58f_c^{0,5}+0,42f_c^{0,5}RI+0,39RI$, GPa Job Thomas (2007)	40,8	40,66 RI=0,6	0,92
$E_{cf}=E_c(1+0,173RI)$, GPa Gao(1997)	40,8	45,06 RI=0,6	1,02
$E_{cf}=E_c+13,51RI-6,46RI^2$, GPa Luận án đề nghị (2009)	40,8	46,58 RI=0,6	1,05

Qua các phân tích ở trên mô đun đàn hồi của BTCĐCCST chỉ lớn hơn mô đun đàn hồi của bê tông từ 5-10%, phụ thuộc vào mức độ tăng của hệ số RI. Tuy nhiên do mức độ tăng không lớn nên trong các tính toán kết cấu vẫn sử dụng mô đun đàn hồi của bê tông gốc để tính toán.

Với BTCĐCCST công thức của hiệp hội RILEM kiến nghị là:

$$E_{cf} = 9500(f_c)^{1/3}, \text{MPa} \quad (2.21) \text{ hoặc } E_{cf} = 5000(f_c)^{1/2}, \text{MPa} \quad (2.22)$$

Trị số này cho các kết quả mô đun đàn hồi đặc trưng thiên về an toàn. Nghiên cứu sinh cũng kiến nghị sử dụng công thức trên trong tính toán kết cấu. Tuy nhiên trị số của mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi thép phụ thuộc rất lớn vào công nghệ thi công, vì vậy với các công trình cụ thể để có kết quả chính xác nên làm lại thí nghiệm này.

CHƯƠNG 3 THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH ỨNG XỬ UỐN CỦA DẦM BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO CỐT SỢI THÉP

3.1. MỞ ĐẦU

Tiến hành thực nghiệm để xác định các đặc trưng về khả năng chịu kéo uốn của BTCĐCCST nhờ các thí nghiệm uốn.

Phân tích ứng xử uốn của kết cấu kiểu dầm theo lý thuyết về năng lượng phá hủy G_r với cấp độ võng 15mm.

Phân tích ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép và cường độ của bê tông đến độ dai của BTCĐCCST sau nứt.

3.2. THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

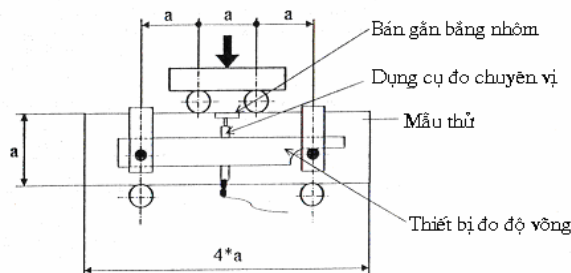
3.2.1. Mẫu thử

Thành phần bê tông đã được xác định và kiểm tra ở chương 2

Chế tạo 18 dầm có kích thước $a = 150\text{mm}$, $L = 600\text{mm}$

Tuổi bê tông 3, 7, 28 ngày dưỡng hộ trong nước ở nhiệt độ 25°C .

Thiết bị thí nghiệm là máy kéo nén có gắn thêm bộ phận để đo độ võng, gắn với máy tính có phần mềm trợ giúp để tự động xác lập biểu đồ quan hệ giữa lực và độ võng.



Hình 3.1. Mô hình thí nghiệm uốn 4 điểm.

Phân tích quan hệ giữa độ võng δ và độ mở rộng vết nứt w theo công thức sau:

$$\theta = \delta / (l/2) = w / (2 * (h-x)); \quad w = \delta * 4 * (h-x) / l$$

$$\text{Giả thiết } x=0,9h \text{ và } h=1/3L \text{ ta có: } w=1,2(\delta-0,05)$$

3.2.2. Thí nghiệm

Tốc độ nạp tải 0,075mm/ph cho đến khi đạt độ võng là 0,5mm và sau đó tốc độ 0,25mm/ph đến độ võng 15mm

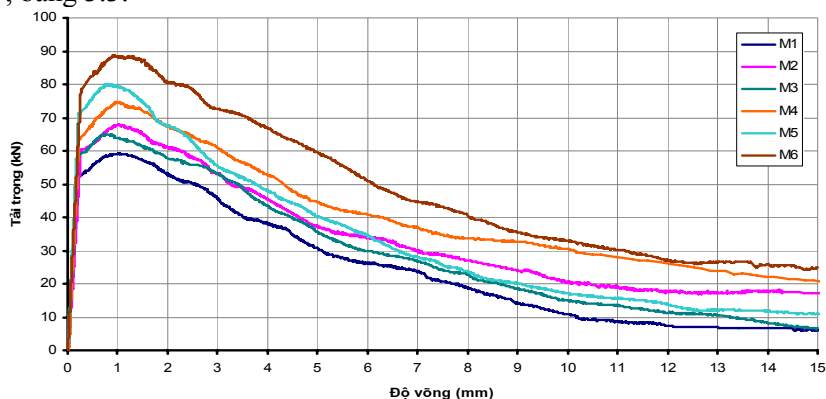
Tải được tác động bằng một máy nén 1500kN

Thiết bị đo độ võng được kết nối với máy tính để tự động xác lập đường cong đồ thị của tải trọng - độ võng ở giữa dầm

Số lượng các điểm ghi trên đồ thị là 1200 điểm và sau đó được lọc bớt để đường cong quan hệ này hợp lý hơn

3.2.3. Kết quả thí nghiệm

Đo quan hệ giữa tải trọng và độ võng với độ võng tối đa là 15mm trên mẫu thử tuổi 3, 7, 28 ngày. Kết quả biểu thị trên hình 3.9, bảng 3.3.



Hình 3.9. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng, BTCĐCCST tuổi 3, 7, 28 ngày

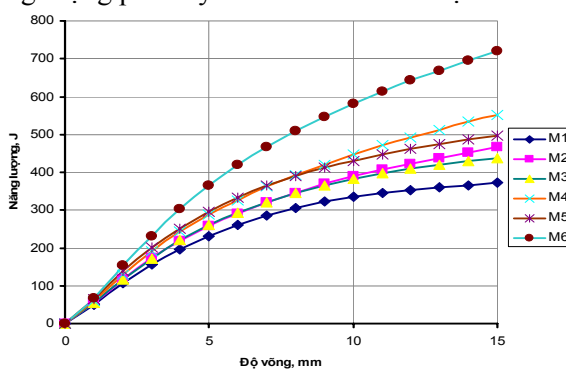
Bảng 3.3. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng

Độ võng (mm)	Tải trọng (kN)					
	P _{M1}	P _{M2}	P _{M3}	P _{M4}	P _{M5}	P _{M6}
0	0	0	0	0	0	0
0,2	54	54	58	59,2	60,2	65,1
0,22	54,6	55,8	60	60	62,5	66,2
0,24	55,6	58,4	61,5	65,7	67	67
0,5	56,6	61,8	62	67,5	71,6	77,3
1	60	63,46	66,95	74,1	78,8	88
2	52	57,6	59,7	64,1	67,2	80,62
3	45,1	50	54	57,1	59,6	72,22
5	30,4	35,2	36,8	40,42	43,5	59,33
10	10,56	14,76	17,14	18,8	25,35	32,81
15	6,52	6,05	11,32	14,71	17,34	24,83

Từ bảng 3.2. và hình 3.2. cho thấy khi cường độ bê tông tăng lên và hệ số RI tăng lên thì tải trọng cực đại cũng tăng đáng kể từ 60kN đến 88kN.

3.2.4. Năng lượng phá hủy và độ dai

Năng lượng phá hủy được ký hiệu, G,(J) được tính toán bằng diện tích phần nằm dưới của đường cong quan hệ giữa tải trọng và độ võng. Năng lượng phá hủy của các mẫu thử được vẽ ở hình 3.10



Hình 3.10. Quan hệ giữa độ võng và năng lượng

Biểu đồ trên cho thấy độ dai (năng lượng phá hủy) phụ thuộc hệ số RI.

Tuổi 3, 7, 28 ngày với RI tăng từ 0,42 đến 1 (50kg đến 125kg sợi thép) thì năng lượng phá hủy tăng được 25%, 26% và 45%.

Khi tăng cường độ của bê tông 50MPa (3 ngày), 60MPa (7 ngày) đến 70MPa (28 ngày)

RI=0,42 thì hệ số năng lượng là: 1; 1,17; 1,33

Với RI=1 thì hệ số năng lượng là: 1; 1,18; 1,54.

Như vậy năng lượng phá hủy kết cấu dầm bê tông cốt sợi thép phụ thuộc vào cường độ của bê tông và hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông (RI)

3.3. PHÂN TÍCH CÁC TRẠNG THÁI, ĐẶC TÍNH CỦA CÁC DẦM SAU VẾT NỨT ĐẦU TIÊN

3.3.1. Phân tích các trạng thái phá hủy

Dầm BTCĐCCST sau khi đạt mô men cực đại thì giảm dần khả năng chịu lực. Độ võng tiếp tục phát triển, tuy nhiên dầm không bị phá hoại đột ngột. Mối quan hệ tải trọng - độ võng không tỉ lệ thuận sau khi nứt (là đường cong lõm).

Có 2 kiểu phá hỏng dầm với sơ đồ tải trọng uốn 4 điểm:

Kiểu phá hỏng thứ nhất: Trước hết là phá hủy do uốn điển hình của một dầm có cốt sợi thép với hàm lượng cao, và các thanh sợi thép một số bị đứt hoặc các móc ở hai đầu đã bị duỗi thẳng.

Kiểu phá hỏng thứ hai: là một số vết nứt hình thành bên ngoài vùng uốn thuần túy. Các dầm này đã bị loại bỏ vì ứng xử đã chuyển sang dạng uốn cắt.



Hình 3.4. Dạng phá hỏng dầm.



Hình 3.5. Dạng phá hoại cốt sợi

3.3.2. Mô men uốn và cường độ chịu kéo uốn theo độ võng,

Mô men nứt và mô men lớn nhất của dầm, M , được tính theo công thức:

$$M = PL/6 \quad (3.5) \quad \text{Cường độ kéo khi uốn: } R_{ku} = 3P/a^2 \quad (3.6)$$

trong đó: $L = 450\text{mm}$, $a = 150\text{mm}$

Kết quả tính toán mô men theo độ võng được ghi ở bảng 3.5.

Bảng 3.5. Mô men ứng với các giá trị độ võng đặc trưng

Độ võng (mm)	Mô men (kNm)					
	M_{M1}	M_{M2}	M_{M3}	M_{M4}	M_{M5}	M_{M6}
0	0	0	0	0	0	0
0,1	4,10	4,67	4,54	4,94	4,99	5,48
0,4	3,96	4,51	4,36	4,77	5,06	5,64
3	2,96	3,35	3,43	3,83	3,78	5,13

Các giá trị cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở các tuổi với hệ số RI khác nhau sau khi chuyển từ kết quả thí nghiệm sang giá trị đặc trưng theo hướng dẫn của CEB-FIB được ghi ở bảng 3.6.

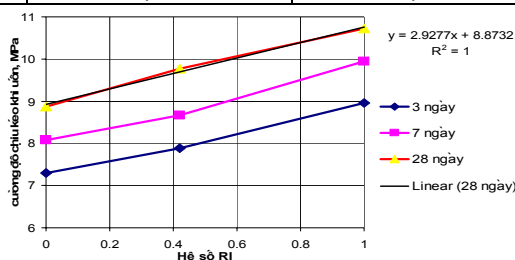
Bảng 3.6. Giá trị tải trọng (F , kN) và cường độ chịu kéo uốn f (N/mm^2) ứng với các giá trị độ mở rộng vết nứt đặc trưng MOD(mm)

CMOD	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	F	f	F	f	F	f	F	f	F	f	F	f
0,00	54,67	7,29	62,30	8,31	60,51	8,07	65,88	8,78	66,54	8,87	73,08	9,74
0,05	52,76	7,03	60,08	8,01	58,16	7,75	63,54	8,47	67,46	8,99	75,18	10,02
0,50	58,19	7,76	65,34	8,71	64,54	8,61	72,07	9,61	76,59	10,21	80,15	10,69
1,50	55,60	7,41	60,53	8,07	60,39	8,05	66,20	8,83	70,64	9,42	80,46	10,73
2,50	48,60	6,48	53,14	7,08	55,20	7,36	60,03	8,00	58,80	7,84	74,22	9,90
3,50	39,44	5,26	44,61	5,95	45,76	6,10	51,02	6,80	50,35	6,71	68,40	9,12

Phân tích quan hệ cường độ chịu kéo khi uốn của BTCĐCCST theo cường độ chịu nén của bê tông và hệ số RI theo bảng 3.7. và hình 3.14.

Bảng 3.7. Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông

Tuổi bê tông, ngày	Cường độ chịu nén của bê tông, MPa	Cường độ chịu kéo khi uốn bê tông RI=0, MPa	Cường độ chịu kéo khi uốn với RI=0,42, MPa	Cường độ chịu kéo khi uốn với RI=1, MPa
3	54,6	7,289	7,893	8,962
7	65,86	8,068	8,669	9,944
28	73,42	8,872	10,105	10,730



Hình 3.6. Quan hệ giữa cường độ chịu kéo khi uốn-thời gian-RI

Căn cứ vào kết quả bảng 3.6, 3.7, khi RI tăng từ 0,42 đến 1, ở tuổi 3 ngày thì cường độ chịu kéo khi uốn tăng 10 đến 23%, ở tuổi 7 tăng 10 đến 23%, ở tuổi 28 ngày tăng 20 đến 33%. Từ kết quả thí nghiệm thấy rằng

giá trị cường độ chịu kéo khi uốn phụ thuộc vào cường độ bê tông và hệ số RI. Các kết quả thí nghiệm cho tương quan như sau:

$$f'_{nf} = f'_{n} + 2,9277RI \quad (3.7)$$

trong đó: f'_{nf} - Cường độ chịu kéo khi uốn 28 ngày của BTCĐCCST

f'_{n} - Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông cường độ cao.

Bảng 3.8 đánh giá sai số so với các công thức khác

Bảng 3.8. Đánh giá các công thức dự báo cường độ chịu kéo khi uốn của BTCĐCCST.

Công thức	f'_c	f'_{nf}	Sai số
$F_{nf} = 0.97(f'_{cu})^{0.5} + 0.295(f'_{cu})^{0.5} RI + 1.117RI$ Job Thomas (2007)	70	11,288 RI=0,825	0,978
$f'_{nf} = f'_{cu} + 4,419RI$, MPa Padmarajaiah (1999)	70	12,051 RI=0,825	1,044
$f'_{nf} = f'_{cu} + 2,9277RI$, MPa Luận án đề nghị (2009)	70	11,287 RI=0,825	0,977

Như vậy công thức luận án đề nghị có kết quả gần với công thức Job Thomas (2007)

3.4. XÁC ĐỊNH MÔ HÌNH VẬT LIỆU CỦA DÀM SAU NÚT

3.4.1. Phân tích độ dai vật liệu theo Tiêu chuẩn ASTM C1018

Chỉ số dẻo quy định theo năng lượng I_5 , I_{10} và I_{20} được tính như sau:

Bảng 3.10. Phân tích tính dẻo và chỉ số dẻo theo tiêu chuẩn ASTM C1018

Ký hiệu mẫu	Tuổi mẫu	Tính dẻo dai (kN-mm)				Chỉ số dẻo dai		
		δ	3 δ	5,5 δ	10,5 δ	I5	I10	I20
M1	3 ngày	5,22	31,21	64,26	126,55	5,98	12,30	24,23
M2	3 ngày	8,00	42,67	87,99	167,57	5,34	11,00	20,96
M3	7 ngày	6,41	31,93	66,03	128,85	4,98	10,29	20,09
M4	7 ngày	7,27	39,46	83,74	162,31	5,43	11,52	22,33
M5	28 ngày	7,90	47,29	98,43	185,05	5,99	12,46	23,43
M6	28 ngày	9,18	51,21	109,17	217,07	5,58	11,90	23,65
Chuẩn đánh giá		Vật liệu đàn hồi dẻo				5	10	20

Căn cứ vào chỉ số dẻo cho thấy rằng ứng xử kéo uốn sau nứt của các mẫu thí nghiệm là đàn hồi dẻo.

3.4.2. Xác định mô hình cơ học vật liệu theo phương pháp ứng suất - biến dạng và phương pháp ứng suất - độ mở rộng vết nứt

Sử dụng phương pháp phân tích ứng suất biến dạng và phương pháp phân tích ứng suất độ mở rộng vết nứt theo lý thuyết mặt cắt và áp dụng Tiêu chuẩn RILEM TC 162TDF, 2002.

Từ biểu đồ P- δ hoặc P-CMOD (biến dạng hoặc độ mở rộng vết nứt danh định CMOD) được xác định qua thí nghiệm:

Giới hạn cường độ chịu kéo khi uốn đàn hồi ($w=0,05$) là $f_{ct,1}$

4 nhóm giá trị cường độ chịu kéo khi uốn của vật liệu được xác định theo biến dạng hoặc theo độ mở rộng vết nứt CMOD. Đó là f_{R1} (CMOD=0,5mm), f_{R2} (CMOD=1,5mm), f_{R3} (CMOD=2,5mm) và f_{R4} (CMOD=3,5mm).

Xác định giá trị CMOD, giả thiết độ mở rộng vết nứt đầu tiên 0,05mm.

$$CMOD = 1.2(\delta - 0.05) \quad (\text{uốn 4 điểm})$$

Giá trị biến dạng theo CMOD được tính theo công thức sau:

$$\varepsilon = w/2l_f \quad \text{với } l_f - \text{chiều dài sợi thép 60mm}$$

$$\varepsilon_1 = 0,42 \times 10^{-3}; \quad \varepsilon_2 = 4,2 \times 10^{-3} \quad \text{và} \quad \varepsilon_3 = 25 \times 10^{-3}$$

Xác lập quan hệ giữa ứng suất và độ mở rộng vết nứt và cường độ chịu kéo khi uốn 4 điểm theo các giá trị CMOD (độ mở rộng vết nứt (bảng 3.12.))

Bảng 3.12. Quan hệ giữa CMOD và cường độ chịu kéo uốn, f_{ku}

CMOD, w(mm)	Độ võng (mm)	f_{kuM1} (MPa)	f_{kuM2} (MPa)	f_{kuM3} (MPa)	f_{kuM4} (MPa)	f_{kuM5} (MPa)	f_{kuM6} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,092	8,06	8,06	8,52	8,52	10,50	10,50
0,50	0,467	7,72	8,75	8,65	9,53	10,58	11,49
1,50	1,300	7,60	8,59	8,11	9,53	9,85	11,52
2,50	2,133	6,76	7,85	7,46	8,71	8,56	10,56
3,50	2,967	5,74	6,70	6,77	7,82	7,10	9,57

Bảng 3.13. Quan hệ giữa $\sigma - \varepsilon$ và $\sigma - w$ (Mô hình vật liệu)

RILEM TC162TDF

Ký hiệu	Công thức	M1	M2	M3	M4	M5	M6
σ_1	$0,7 \times f_{ku} \times (1,6-d)$	5,64	5,64	5,97	5,97	7,35	7,35

σ_2	$0,45 \times f_{R1} \times K_H$	3,40	3,86	3,82	4,20	4,67	5,07
σ_3	$0,37 \times f_{R4} \times K_H$	2,08	2,43	2,45	2,84	2,57	3,47
f'_c	MPa	54,00	54,00	65,00	65,00	73,00	73,00
E	$E=9500 \times f'_c{}^{1/3}$	35907,75	35907,75	38196,89	38196,89	39703,72	39703,72
$\varepsilon_1 \times 10^{-3}$	σ_1/E_c	0,157	0,157	0,156	0,156	0,185	0,185
$\varepsilon_2 \times 10^{-3}$	$\varepsilon_1 + 0,1$	0,257	0,257	0,256	0,256	0,285	0,285
$\varepsilon_3 \times 10^{-3}$	25	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00

Với phương pháp σ -w, các giá trị $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ tính theo bảng 3.13 ứng với $\varepsilon_1 = w_1/120, \varepsilon_2 = w_2/120, \varepsilon_3 = 0,025$

3.4.3. Xác định sai số giữa tính toán lí thuyết và thí nghiệm, xác định mô hình vật liệu R-AA σ - ε và σ -w

Tính toán khả năng chịu uốn của dầm thí nghiệm bằng trị số P_{tn} với 3 giá trị $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ứng với 3 trạng thái: Xuất hiện vết nứt đầu tiên, trạng thái sử dụng và trạng thái cực hạn để khảo sát mức độ thích hợp của mô hình.

Phân tích sai số giữa tính toán và thí nghiệm

$$C_{RR} = \frac{|S_{tn} - S_{tt}|}{S_{tn}} \times 100, \% \leq 5\% \quad (4.26)$$

trong đó: - C_{RR} - Giá trị sai số giữa tính toán và thực nghiệm, %

- S_{tn} và S_{tt} là diện tích của phần dưới đường cong tải trọng và biến dạng theo thí nghiệm và tính toán (năng lượng).

Căn cứ vào kết quả tính toán theo mô hình RILEM TC162TDF σ - ε , hệ số C_{RR} biến đổi đến 21% khi biến dạng ε_1 , sai số trung bình 19,5% với biến dạng ε_2 , sai số trung bình 13% với biến dạng ε_3 . Khi tính với quan hệ σ -w so sánh với kết quả thí nghiệm sai số kết quả tính toán biến đổi từ 22,0% đến 1,98% (hình 3.21).

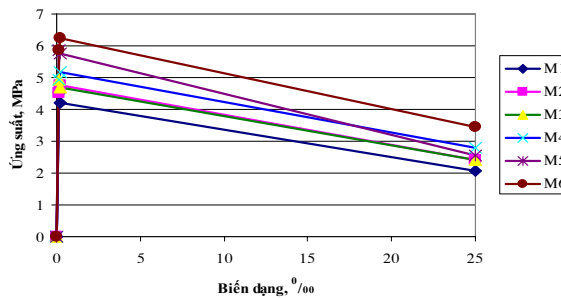
Như vậy cần điều chỉnh các hệ số của mô hình vật liệu để kết quả tính toán vật liệu cho sai số nhỏ hơn 5%.

Trong trường hợp BTCĐCST để xét đến mức độ chưa hoàn chỉnh về công nghệ trộn và xét ảnh hưởng của sợi thép trong bê tông, nghiên cứu sinh kiến nghị chọn $\alpha=0,8$ và $\gamma=1,3$. Hai hệ số này được sử dụng khi tính toán cường độ chịu kéo tính toán σ_1 và σ_2 , còn giá trị σ_3 lấy bằng cường độ chịu kéo dọc trục của BTCST với hệ số 0,37 như kiến nghị của RILEM.

Từ lý luận trên, kiến nghị mô hình vật liệu mới trên cơ sở điều chỉnh các hệ số của mô hình RILEM và đặt tên là mô hình R-AA

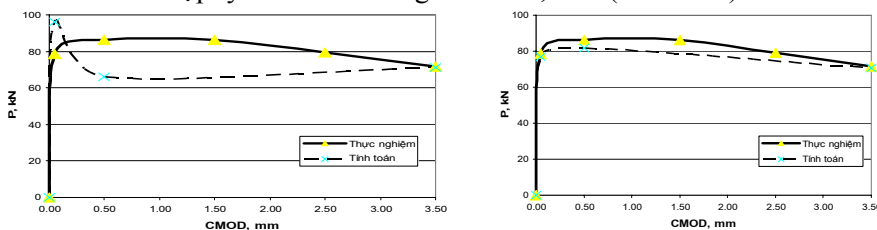
Bảng 3.18. Mô hình vật liệu R-AA σ - ε

Ký hiệu	Công thức	$\varepsilon \times 10^{-3}$
σ_1	$0,56 \times f_{ku} \times (1,6 - d)$	σ_1/E_c
σ_2	$0,56 \times f_{R1} \times KH$	$\varepsilon_1 + 0,1$
σ_3	$0,37 \times f_{R4} \times KH$	25
f'_c	54, 65, 73 MPa	
E	$E=9500 \times f'_c{}^{(1/3)}$	



Hình 3.22. Mô hình vật liệu R-AA (σ - ε)

Căn cứ vào kết quả tính toán theo mô hình R-AA, hệ số C_{RR} biến đổi đến 2,4% khi biến dạng ε_1 , sai số trung bình 3,937% với biến dạng ε_2 , sai số trung bình 3,68% với biến dạng ε_3 . Như vậy mô hình cơ học vật liệu đã điều chỉnh là hợp lý với sai số trung bình là 3,34% (hình 3.23)

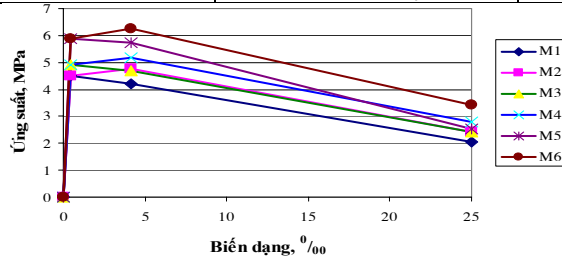


Hình 3.21. Quan hệ giữa σ - ε theo RILEM TC162TDF Hình 3.23. Biểu đồ quan hệ giữa σ - ε theo mô hình R-AA

Đề nghị mô hình R-AA (σ - w) như sau (bảng 3.28):

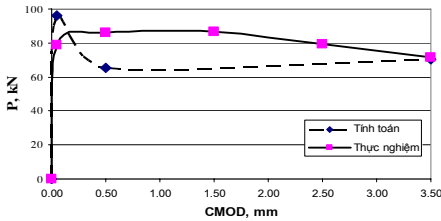
Bảng 3.28. Mô hình R-AA (σ - w)

Ký hiệu	Công thức	$\varepsilon \times 10^{-3}$
σ_1	$0,56 \times f_{ku}$	$W_1/120$
σ_2	$0,56 \times f_{R1} \times K_H$	$W_2/120$
σ_3	$0,37 \times f_{R4} \times K_H$	25
f_c	54, 65, 73 MPa	
E	$E=9500 \times f_c^{1/3}$	

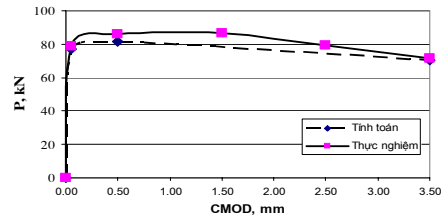


Hình 3.26. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng theo mô hình R-AA

Phân tích số đánh giá mô hình R-AA (σ - w) được ghi ở hình 3.25, 3.28.



Hình 3.25. Quan hệ giữa σ - w theo RILEM TC162TDF



Hình 3.28. Biểu đồ quan hệ giữa σ - w theo mô hình R-AA

Từ kết quả phân tích số cho thấy rằng với BTCĐCCST có thể sử dụng mô hình R-AA (σ - ε) hoặc mô hình R-AA (σ - w) đã được điều chỉnh các hệ số an toàn trên cơ sở mô hình RILEM để tính toán kết cấu. Sai số trung bình so với kết quả thực nghiệm uôn 4 điểm là 2,6% là chấp nhận được.

CHƯƠNG 4 LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU DẦM BTCĐCCST TRONG KẾT CẤU CẦU

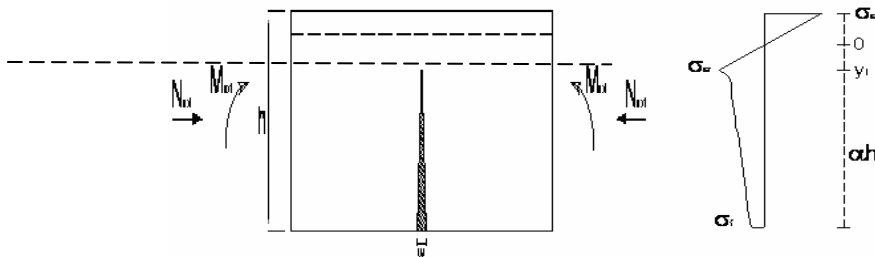
Trong chương này sẽ lựa chọn phương pháp tính toán kết cấu dầm BTCĐCCST theo phương pháp ứng suất biến dạng và áp dụng để tính toán dầm BTCĐCCST dự ứng lực.

4.1. TỔNG QUÁT VỀ PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU DẦM BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Mục đích của chương này là giới thiệu phương pháp thiết kế đơn giản hoá được phát triển để giúp thiết kế kết cấu ở mức độ an toàn tối đa.

Trường hợp bê tông cốt sợi thép có ứng xử sau nứt giảm

Xem xét một dầm bị nứt lớn. Mỗi mặt cắt trong số những mặt cắt bị nứt có thể được coi như một khớp dẻo. Cánh tay đòn là độ võng của dầm được thể hiện một cách đơn giản theo sự liên tiếp các vết nứt trên khớp và theo các biến dạng của những đoạn nứt. Cần xác định mối quan hệ giữa mô men và sự nối tiếp các vết nứt của một mặt cắt bị nứt.



Hình 4.2. Mô hình tính toán mặt cắt dầm

Sự cân bằng của mặt cắt kéo theo sự cân bằng giữa khả năng chịu mô men của tiết diện và mô men ngoại lực tác dụng lên mặt cắt.

$$N_b + N_f = N_{ext} \quad (4.1)$$

Trong đó: - N_b : lực tác dụng lên bê tông
 - N_f : lực tác dụng lên các sợi
 - N_{ext} : ngoại lực tác dụng lên mặt cắt

$$M_b + M_f = M_{ext} + M_{Next} \quad (4.2)$$

Trong đó: - M_b : mô men chịu tải của bê tông
 - M_f : mô men chịu tải của cốt sợi
 - M_{ext} : mô men bên ngoài
 - M_{Next} : mô men ngoại lực

Độ mở rộng vết nứt w được mô tả bằng tam giác cân với cạnh đáy bằng giá trị w và chiều cao αh

4.2. ĐẶC TRƯNG CƠ HỌC CỦA BTCST ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

Đặc tính chịu nén và Mô đun đàn hồi

BTCST có mô đun đàn hồi tăng không đáng kể so với bê tông không cốt sợi. Có thể áp dụng công thức sau:

$$E_{ij} = 9500 \cdot f_{cj}^{1/3} \quad (MPa)$$

Cường độ tính toán của bê tông chịu nén lấy bằng $0,8f_c$. Hệ số an toàn cho bê tông vùng nén lấy bằng 1,3

Ứng xử do kéo trước nứt

Với bê tông cường độ 70MPa, hàm lượng cốt sợi thép 1,5% theo thể tích, trị số ứng suất kéo uốn đã đạt đến 11,49MPa.

Ứng xử do kéo sau nứt

Cường độ chịu kéo khi uốn biến đổi theo loại cốt sợi, loại dầm và điều kiện thi công

4.3. NGUYÊN TẮC THIẾT KẾ

4.3.1. Tính bền chắc

Đó là khả năng chịu tải trọng gây nứt của dầm. Tính được tải trọng nứt M_f , N_f theo công thức

$$\frac{M_f}{N_f} = \frac{M_s}{N_s} \quad (4.10)$$

Biểu thức kiểm tra: $M_f \geq M_{r_{max f}}$ (4.11)

4.3.2. Trạng thái giới hạn sử dụng

Ở trạng thái giới hạn sử dụng ta cũng xác định độ mở tương đương w theo tính có hại của vết nứt.

Nứt không có hại : $w < 0,1 \text{ mm}$

Nứt có hại : $w \leq 0,2 \text{ mm}$

Nứt gây hại nhiều : $w \geq 0,3 \text{ mm}$

4.3.3. Trạng thái giới hạn cực hạn

Ở trạng thái cực hạn, vùng biến dạng của vật liệu do lực kéo được hạn chế bằng độ mở giới hạn w_u và trong trường hợp biến dạng do lực nén ε_{bu}

$$\varepsilon_{bu} = 3,5 \text{ ‰} \quad (4.13)$$

Trong trường hợp với lực kéo, độ mở giới hạn là:

$$W_u = \varepsilon_2 \times 2 \cdot l_f \quad ; \quad \varepsilon_2 \leq 0,025 \quad (4.14)$$

Hệ số an toàn $\gamma_{bf} = 1,3$

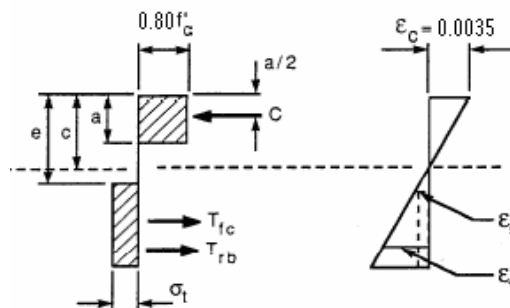
4.4. NGUYÊN LÝ THIẾT KẾ ĐỐI VỚI CÁC DẦM CẦU BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO CỐT SỢI THÉP

4.4.1. Giới thiệu

Nghiên cứu thực nghiệm và các phân tích tổng hợp đã thực hiện trong nghiên cứu ở trên cung cấp những thông tin quan trọng về ứng xử kết cấu của dầm bê tông cốt sợi cường độ cao.

Việc thiết kế các dầm I bê tông ứng suất trước từ bê tông tiêu chuẩn tập trung vào các ứng xử uốn và cắt.

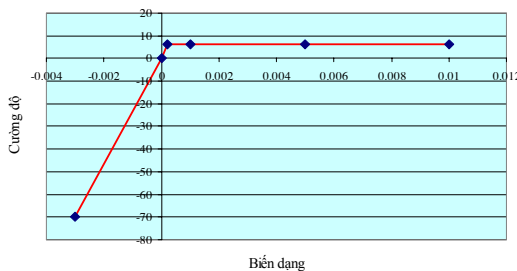
Thiết kế theo biến dạng tuyến tính các dầm I BTCĐCCST được dựa trên các cơ sở phân tích trên sơ đồ hình 4.13



Hình 4.13. Biểu đồ khối ứng suất của BTCĐCCST

4.4.2. Phân tích ứng xử uốn dầm cầu BTCĐCCST

Ứng xử uốn của một dầm BTCĐCCST tiết diện hình chữ nhật và chữ I đã được phân tích trong nghiên cứu này.



Hình 4.14. Biểu đồ ứng suất - biến dạng dọc trục để thiết kế uốn cho dầm I BTCST cường độ 70MPa

Biểu đồ này được lập với thí nghiệm bê tông cường độ chịu nén tối đa 70MPa, 1,5% cốt sợi thép. Biến dạng tối đa vùng nén là 0,0035. Cường độ chịu kéo khi uốn ở trạng thái khai thác với độ mở rộng vết nứt nhỏ hơn 0,2 là 6,24MPa với biến dạng 0,0016. Ở trạng thái giới hạn về cường độ với biến dạng quy ước là 0,01 (10^{0/100}) với ứng suất chịu kéo khi uốn là 6,24MPa. Trạng thái giới hạn cực hạn với biến dạng nhỏ hơn 0,025, ứng suất chịu kéo khi uốn 3,43MPa.

4.4.3. Ứng xử cắt

Ứng xử cắt của các dầm I bê tông cốt sợi cường độ cao dự ứng lực không được nghiên cứu trong đề tài này.

4.4.4. Sức kháng uốn

4.4.4.1. Sức kháng uốn tính toán

Sức kháng uốn tính toán M_r , phải lấy như sau:

$$M_r = \phi M_n \quad (4.19)$$

trong đó: M_n : Sức kháng uốn danh định

ϕ : hệ số sức kháng uốn quy định

4.4.4.2. Mặt cắt hình chữ I

Mặt cắt hình chữ I chịu uốn dọc trục và sự phân bố ứng suất lấy gần đúng theo hình 4.14 và mục 4.4.2, với bỏ dự ứng lực có dính bám và khi chiều dày bản cánh chịu nén nhỏ hơn c , phương trình sức kháng uốn danh định của mặt cắt có thể xác định như sau:

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s f'_y \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) + 0,8 f'_c (b - b_w) 0,65 h_r \left(\frac{a}{2} - \frac{h_r}{2} \right) + \sigma_t b'_w \left(\frac{h}{2} - \frac{e}{2} - \frac{a}{2} \right) \quad (4.20)$$

4.4.4.3. Mặt cắt hình chữ nhật

Đối với mặt cắt hình chữ nhật chịu uốn tính toán như mục 4.4.1.

4.5. PHÂN TÍCH SỐ SỨC KHÁNG UỐN CỦA DẦM CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP CƯỜNG ĐỘ CAO DỰ ỨNG LỰC CỐT SỢI THÉP

Hiện nay, ở Việt Nam đang sử dụng phổ biến loại dầm I có chiều dài $L = 33m$, được thiết kế theo tiêu chuẩn 22TCN 272-05. Tiến hành phân tích khả năng chịu uốn của 3 loại dầm cầu mặt cắt I, chiều dài 33m, đặc tính của các loại dầm theo bảng 4.2:

Bảng 4.2. Đặc tính dầm tính toán

Loại dầm	Ký hiệu	Chiều cao (mm)	Cường độ bê tông (MPa)	Cốt thép DUL (bó)	Hàm lượng cốt sợi thép (%)
1	D33-40	1650	40	5	0
2	D33-70F	1650	70	5	1,5
3	D33-100F	1650	100	5	1,5

4.5.1. Tải trọng thiết kế

Tải trọng áp dụng theo tiêu chuẩn 22TCN 272-05

4.5.2. Vật liệu

Bảng 4.4. Đặc tính vật liệu bê tông

Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Ký hiệu	D33-40	D33-70F	D33-100F
Tỷ trọng của bê tông	Kg/m ³	y_c	2400	2400	2400
CĐ chịu nén khi uốn	MPa	f'_c	40	70	100
Cường độ chịu kéo khi uốn	MPa	f_{ku}	0	5,88	8,23
Mô đun đàn hồi	MPa	E_c	26752,5	40000	44000

Bảng 4.5. Đặc tính vật liệu cốt thép cường độ cao

Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Ký hiệu	Cấp 15,2 mm, ASTM
-------------------	--------	---------	-------------------

Cường độ chịu kéo	MPa	f_{pu}	1860,0
Giới hạn chảy của cốt thép DƯ'L	MPa	f_{py}	1667,0
Số bó cáp CĐC	Bó		5
Số tao cable trong 1 bó	tao		7
Diện tích 1 tao cable	cm ²		1,4
Đường kính ống tạo lỗ	cm		6,5
Mô đun đàn hồi cable	MPa	E_p	197000

4.5.3. Phương pháp tính toán

Sử dụng phương pháp tính toán đã được trình bày tại phần 4.5 cho 3 loại dầm (bảng 4.2):

Kiểm tra sức kháng uốn danh định theo công thức:

$$M_u \leq \phi M_n$$

Trong đó:

ϕ - hệ số sức kháng, $\phi = 1$

Giá trị M_u tại mặt cắt L/2: $M_u = 6,034 \times 10^9$ (N.mm)

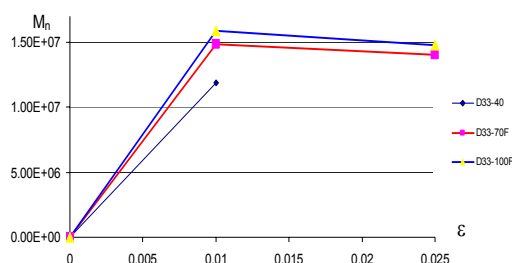
Tiến hành lập bảng Excel để tính toán cho 3 loại dầm trên.

Kết quả tính toán được ghi trong bảng 4.6.

Bảng 4.6. Giá trị sức kháng uốn danh định của dầm BTCĐCCST

Tham số	D33-40	D33-70F	D33-100F	22TCN 272-05	ACI 544
PP tính	22TCN 272-05	22TCN 272-05	ACI 544	22TCN 272-05	ACI 544
α	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8
Hệ số an toàn	1,43	1,3	1,3	1,3	1,3
f'_{cf}	28,00	53,85	53,85	76,92	76,92
f_{nF}	-	6,24	3,43	8,74	
$\epsilon_1 \times 10^{-3}$	3,5	3,50	3,50	3,50	3,50
$\epsilon_2 \times 10^{-3}$	10,00	10,00	25,00	25,00	25,00
β_1	0,75	0,65	0,65	0,65	0,65
b	2200	2200	2200	2200	2200
bw	200	200	200	200	200
h_r	209,700	209,700	209,700	209,700	209,700
f_{ps}	1750,264	1808,302	1808,302	1823,507	1823,507
k	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
c	305,323	143,842	143,842	101,536	101,536
a	228,993	93,497	93,497	65,999	65,999
e	-	435,977	206,515	435,977	435,977
ΦM_n	1,19E+10	1,48E+10	1,41E+10	1,59E+10	1,48E+10
M_u	6,03E+09	6,03E+09	6,03E+09	6,03E+09	6,03E+09
$\Phi M_n/M_u$	1,96	2,46	2,33	2,63	2,45
Hệ số ΦM_n	1,00	1,25	1,19	1,34	1,25

Quan hệ biến dạng - mô men của dầm I33 với sự thay đổi cường độ chịu nén và hàm lượng cốt sợi thép được trình bày trên hình 4.15



Hình 4.15. Quan hệ giữa biến dạng và mô men của dầm I33 với sự thay đổi cường độ chịu nén và hàm lượng cốt sợi thép

Khi gia cường dầm cầu được thiết kế theo 22TCN272-05 bằng cốt sợi thép 1,5% , cường độ bê tông 70 MPa, mô men lớn nhất tăng 25% ($\epsilon=0,01$); 19% ($\epsilon=0,025$). Khi cường độ bê tông 100MPa, cốt sợi thép 1,5% theo thể tích, sức kháng danh định tăng 34% ($\epsilon=0,01$); 25% ($\epsilon=0,025$). Như vậy ở trạng thái phá hủy sức kháng danh định của dầm BTCĐCCST vẫn lớn hơn sức kháng danh định của dầm bê tông không gia cường cốt sợi thép. Hệ số sức kháng 2,45 so với 1,96.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Sau khi nghiên cứu thành phần, tính chất cơ học, phân tích ứng xử uốn của BTCĐCCST, nghiên cứu phương pháp thiết kế kết cấu dầm và ứng dụng vào kết cấu dầm cầu có thể đưa ra các kết luận sau:

- 1.1. Thành phần bê tông cường độ đến 70MPa cốt sợi thép bao gồm: xi măng 495-525kg, nước 162 lít, siêu dẻo 6,3 lít, MS 35 kg, cốt sợi thép 50-125kg, tỷ lệ Đ/C 1,17, tỷ lệ N/CKD = 0,3
- 1.2. Độ sụt đạt từ 15 đến 19cm và giữ được tối thiểu 60 phút. Thành phần BTCST đảm bảo có thể thi công được
- 1.3. Các tính chất cơ học của BTCĐCCST:

- Cường độ chịu nén phát triển nhanh theo thời gian (sau 7 ngày lớn hơn 0,85 cường độ 28 ngày). Cường độ 28 ngày phụ thuộc vào cường độ của bê tông và hệ số RI theo công thức sau:

$$f'_{cf} = f'_c + 3,67RI \quad (\text{MPa})$$

Quan hệ giữa cường độ và biến dạng của BTCĐCCST phát triển tuyến tính, giá trị biến dạng tương đối giống bê tông. Giá trị cường độ lớn nhất ứng với biến dạng tương đối từ $2^0/_{00}$ đến $3,5^0/_{00}$.

- Mô đun đàn hồi chỉ tăng trung bình khoảng 5 đến 6%. Như vậy có thể sử dụng các công thức của bê tông cường độ cao để dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cốt sợi thép.
- 1.4. Tất cả các dầm thí nghiệm phân tích ứng xử uốn đều cho thấy cường độ chịu kéo lớn nhất khi uốn của bê tông đạt được từ 10,6 đến 11,8MPa, tăng khoảng 20-33% so với bê tông không cốt sợi.
 - Sau khi nứt cường độ chịu kéo khi uốn của BTCST phụ thuộc hệ số RI

$$f'_{nF} = f'_n + 2,9277RI \quad (\text{MPa})$$

- Năng lượng phá hủy của BTCĐCCST cấp 70 MPa với độ võng đến 15mm phụ thuộc vào cường độ bê tông và hàm lượng cốt sợi thép: Khi lượng cốt sợi thép tăng từ 50-125kg, năng lượng phá hủy tăng 25-33%.
 - Độ dai của dầm sau nứt theo ASTM C1018 cho thấy chỉ số dẻo I5, I10, I20 biến đổi phù hợp với chuẩn của vật liệu đàn hồi dẻo sau nứt. Điều đó cho phép sử dụng mô hình vật liệu theo mô hình đàn hồi dẻo sau nứt.
- 1.5. Mô hình vật liệu theo đề nghị của RILEM (cho bê tông thường), mô hình Barros (cho bê tông C50-60) cho kết quả sai số về tổng năng lượng vượt quá 15% so với kết quả thí nghiệm. Mô hình điều chỉnh ký hiệu là R-AA với các hệ số là: 0,56; 0,56; 0,37 thay thế cho các hệ số 0,7; 0,45; 0,37 của mô hình RILEM.
- 1.6. Có thể sử dụng phương pháp tính toán kết cấu dầm BTCĐCCST theo phương pháp (σ - ϵ) hoặc theo phương pháp (σ -w) RILEM TC 162TDF và ACI 544 với giả thiết ứng suất sau nứt giảm với mô hình R-AA.
- Phân tích số về sức kháng uốn ở trạng thái giới hạn cực hạn kết cấu dầm cầu mặt cắt chữ I, L = 33m, bê tông cường độ từ 70-100MPa, cốt sợi thép 1,5% cho thấy cốt sợi thép có đóng góp nhất định làm tăng sức kháng uốn của dầm (từ 19-25%).

2. KIẾN NGHỊ

- 2.1. Có thể ứng dụng BTCĐCCST vào toàn bộ kết cấu dầm cầu hoặc các khu vực cục bộ cần tăng cường khả năng đặc biệt cho kết cấu cầu.
- 2.2. Có thể sử dụng phương pháp thí nghiệm, mô hình tính toán và chương trình tính đã lập tính toán kết cấu dầm cầu.

Luận án đã nghiên cứu và đề nghị thành phần BTCĐCCST cấp 70MPa, thí nghiệm các tính chất của BTCĐCCST, phân tích ứng xử uốn sau nứt của kết cấu dầm và kiến nghị phương pháp tính toán kết cấu dầm. Có thể phát triển nghiên cứu trên theo hướng sau:

- Nghiên cứu phát triển bê tông cường độ siêu cao cốt sợi thép.
- Phân tích ứng xử của kết cấu chịu va chạm và tải trọng lặp.
- Về kết cấu, cần nghiên cứu ứng xử của bản và phương pháp tính toán kết cấu bản trên nền đàn hồi để phục vụ cho thiết kế các loại đường đặc biệt.