

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

NGUYỄN LỘC KHA

**NGHIÊN CỨU THÀNH PHẦN, TÍNH CHẤT CƠ HỌC
BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO VÀ ỨNG DỤNG
TRONG KẾT CẤU CẦU**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2013

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

NGUYỄN LỘC KHA

**NGHIÊN CỨU THÀNH PHẦN, TÍNH CHẤT CƠ HỌC
BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO VÀ ỨNG DỤNG
TRONG KẾT CẤU CẦU**

**CHUYÊN NGÀNH: XÂY DỰNG CẦU HẦM
MÃ SỐ: 62.58.25.01**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- 1. GS-TS. Phạm Duy Hữu**
- 2. PGS-TS. Nguyễn Ngọc Long**

HÀ NỘI - 2013

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án

Nguyễn Lộc Kha

LỜI CẢM ƠN

Sau thời gian học tập, nghiên cứu, với sự giúp đỡ của các thầy, cô Trường Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội, tôi đã hoàn thành luận án Tiến sĩ Kỹ thuật “Nghiên cứu thành phần, tính chất cơ học của bê tông cường độ siêu cao và ứng dụng trong kết cấu cầu”;

Với tình cảm chân thành, tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn đến Ban giám hiệu, Phòng đào tạo sau đại học, Khoa Cầu hầm - Trường đại học Giao thông vận tải Hà Nội, các cán bộ quản lý và toàn thể quý thầy cô tham gia giảng dạy lớp Nghiên cứu sinh niên khóa 2010 – 2014 đã tận tình giúp đỡ, tạo điều kiện cho tôi trong quá trình học tập và hoàn thành luận án này;

Đặc biệt, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến GS.TS Phạm Duy Hữu, PGS.TS Nguyễn Ngọc Long đã tận tình giúp đỡ, hướng dẫn tôi nghiên cứu đề tài, hiệu chỉnh và hoàn thiện luận văn.

Hà Nội, ngày tháng 12 năm 2013

Tác giả

Nguyễn Lộc Kha

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH	x
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	xiii
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ CÁC NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM.....	4
1.1. Các công trình nghiên cứu liên quan mật thiết đến đề tài luận án đã được công bố trên thế giới.....	4
1.1.1. Mở đầu:	4
1.1.2. Các nghiên cứu về bê tông cường độ siêu cao ở Hoa Kỳ [45]; [48]; [49].....	5
1.1.3. Các nghiên cứu và ứng dụng về bê tông cường độ siêu cao ở Châu Âu và Châu Á.....	9
1.1.4. Các vật liệu chế tạo của bê tông cường độ siêu cao.....	13
1.1.5. Các ứng xử cơ học của bê tông cường độ siêu cao	17
1.1.6. Độ đặc và độ khuếch tán Ion Clo của bê tông cường độ siêu cao.....	20
1.1.7. Co ngót và từ biến của bê tông cường độ siêu cao.....	22
1.1.7.1. Co ngót.....	22
1.1.7.2. Từ biến:	23
1.2. Các công trình nghiên cứu liên quan mật thiết đến đề tài luận án đã được công bố ở Việt Nam	23
1.3. Mục tiêu của đề tài	24
1.4. Nội dung và phương pháp nghiên cứu.....	24
1.5. Kết luận chương 1	25
CHƯƠNG 2 VẬT LIỆU CHẾ TẠO VÀ THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO	27
2.1. Tổng quát về thiết kế thành phần bê tông cường độ siêu cao	27

2.2. Vật liệu chế tạo.....	27
2.2.1. Xi măng.....	27
2.2.2. Các phụ gia hóa học	29
2.2.3. Muội silic	31
2.2.4. Cốt liệu lớn.....	34
2.2.5. Bột.....	37
2.2.6. Sợi thép	39
2.3. Chế tạo bê tông cường độ siêu cao theo lý thuyết tối ưu về độ đặc	40
2.3.1. Mở đầu	40
2.3.2. Tối ưu hóa cường độ siêu cao bằng việc sử dụng mô hình độ đặc.....	41
2.3.3. Các nguyên tắc chính để tạo ra thành phần bê tông cường độ siêu cao	43
2.3.4. Thành phần hạt đảm bảo độ đặc cao phù hợp cấp phối hạt tối ưu	44
2.4. Thiết kế thành phần bê tông cường độ siêu cao.....	45
2.4.1. Mở đầu	45
2.4.2. Tính toán lựa chọn hỗn hợp bê tông	46
2.4.3. Kết quả thiết kế.....	49
2.4.4. Kiểm tra cấp phối	51
2.5. Kết luận chương 2	51
CHƯƠNG 3 THÍ NGHIỆM CƯỜNG ĐỘ NÉN, UỐN VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO	52
3.1. Mở đầu	52
3.1.1. Cường độ chịu nén	52
3.1.2. Ứng xử kéo khi uốn.....	53
3.1.3. Quy trình thí nghiệm uốn mẫu lăng trụ và phân tích	54
3.1.4. Kích thước mẫu (theo tiêu chuẩn Châu Âu)	54
3.2. Chế tạo các mẻ trộn thử.....	57
3.2.1. Kế hoạch thí nghiệm.....	57
3.2.2. Hỗn hợp bê tông thử nghiệm	58
3.3. Các kết quả thí nghiệm.....	60

3.3.1. Kết quả thử nghiệm độ chảy lan, cường độ chịu nén theo bảng 3.6; 3.7; 3.8 và các hình 3.3; 3.4; 3.5; 3.6.....	60
3.3.2. Kết quả thử nghiệm cường độ chịu kéo - uốn.....	63
3.3.3. Thử nghiệm Mô đun đàn hồi	70
3.3.4. Kết luận về khả năng chịu nén, kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của bê tông cường độ siêu cao	73
3.4. Quy trình chế tạo bê tông cường độ siêu cao.....	73
3.4.1. Giới thiệu.....	73
3.4.2. Trình tự và thời gian trộn.....	74
3.4.3. Vận chuyển bê tông cường độ siêu cao	76
3.4.4. Đổ và đầm chắc	76
3.4.5. Dưỡng hộ bê tông.....	77
3.5. Kết luận chương 3	78
CHƯƠNG 4 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH ỨNG XỬ UỐN CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP VÀ DÀM CẦU SỬ DỤNG BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO	79
4.1. Đặt vấn đề nghiên cứu.....	79
4.2. Cơ sở nghiên cứu khả năng chịu uốn của dầm bê tông cốt thép với bê tông cường độ siêu cao.	80
4.2.1. Phương pháp nghiên cứu	80
4.2.2. Mục đích nghiên cứu	81
4.3. Chuẩn bị mẫu dầm thí nghiệm.....	82
4.3.1. Tính toán hỗn hợp cấp phối	82
4.3.2. Sản xuất mẫu dầm để thí nghiệm.....	82
4.4. Phương pháp và trình tự thí nghiệm dầm.....	85
4.4.1. Thiết bị thí nghiệm	85
4.4.2. Phương pháp thí nghiệm.....	85
4.4.3. Sơ đồ tính của dầm thí nghiệm[23],[43]	85
4.4.4. Quá trình thí nghiệm:.....	86

4.5. Thu thập kết quả thí nghiệm	87
4.5.1. Số liệu kết quả thí nghiệm của các tổ hợp dầm.....	87
4.5.2. Tổng hợp tải trọng – độ võng của các dầm thí nghiệm tại 3 thời điểm đặc biệt	91
4.5.3. Giá trị Mô men uốn thí nghiệm (M _{tn}) và cường độ kéo khi uốn của các tổ hợp dầm thí nghiệm theo công thức 4.3 và 4.4	92
4.6. Nhận xét kết quả thí nghiệm:.....	92
4.7. Tính toán và phân tích kết quả thí nghiệm.....	94
4.7.1. Xác định mối quan hệ giữa độ võng và độ mở rộng vết nứt (δ -w) theo hướng dẫn của SETRA/AFGC[42]	94
4.7.2. Xác định các mối quan hệ ứng suất – độ mở rộng vết nứt(σ -w); ứng suất – biến dạng (σ - ϵ) và quan hệ giữa mở rộng vết nứt và biến dạng (w- ϵ).....	96
4.8. Phân tích công thức tính cường độ chịu kéo khi uốn của dầm (σ_{τ}).....	101
4.8.1. Sơ đồ tính toán:	101
4.8.2. Tính toán các hệ số của công thức tính khả năng chịu uốn của dầm (công thức 4-1)	103
4.8.3. Tính toán kết quả theo ACI-544 [23] và Imam et al [43], [49]	104
4.8.4. So sánh khả năng chịu uốn của dầm thí nghiệm với khả năng chịu uốn của dầm khi tính theo ACI-544 [23] và Imam et al [43], [49]	105
4.8.5. Tính toán lại hệ số K trong công thức 4-1 từ kết quả thí nghiệm.....	105
4.9. Xây dựng các biểu đồ ($\sigma - \epsilon$) ; (σ - δ) ; ($\sigma - w$) từ kết quả thí nghiệm theo các hướng dẫn của SETRA / AFGC[42].....	109
4.9.1. Xây dựng biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng ($\sigma - \epsilon$) bê tông vùng nén của các dầm thí nghiệm, hình 4.10.....	109
4.9.2. Xây dựng biểu đồ quan hệ giữa ứng suất – biến dạng vùng kéo ($\sigma - \epsilon$) của các dầm thí nghiệm, hình 4.11	110
4.9.3. Xây dựng biểu đồ quan hệ giữa ứng suất – độ võng ($\sigma - \delta$) của các dầm thí nghiệm, hình 4.12	110
4.9.4. Xây dựng biểu đồ quan hệ giữa ứng suất – độ mở rộng vết nứt (σ -w) của các dầm thí nghiệm, hình 4.13	111

4.10. Phân tích ứng xử uốn của dầm cầu dự ứng lực sử dụng bê tông cường độ siêu cao.	112
4.10.1. Các tiêu chuẩn viện dẫn.....	112
4.10.2. Các phương pháp phân tích ứng xử uốn dầm cầu bằng bê tông cường độ siêu cao trên thế giới	113
4.10.3. Các số liệu từ thực nghiệm phục vụ cho việc phân tích ứng xử uốn của dầm cầu dự ứng lực bằng bê tông cốt sợi thép cường độ siêu cao	121
4.10.4. Khả năng chống cắt của bê tông cốt sợi thép cường độ siêu cao	122
4.10.5. Phân tích sức kháng uốn của dầm cầu bê tông cốt sợi thép cường độ siêu cao dự ứng lực cấp 130MPa.....	123
4.10.6. Mô tả mặt cắt ngang dầm I (theo bảng 4.14 và 4.15).....	125
4.10.7. Vật liệu chế tạo dầm(bảng 4.16).....	126
4.11. Kết luận chương 4	133
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	134
1. KẾT LUẬN.....	134
2. KIẾN NGHỊ	136
3. CÁC HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	136
CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ.....	137
TÀI LIỆU THAM KHẢO	

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Thành phần BTCĐSC điển hình của một số nước Châu Âu	15
Bảng 1.2 Thành phần BTCĐSC điển hình theo Cục đường bộ Hoa Kỳ	15
Bảng 1.3: Độ rỗng chứa nước của các loại bê tông	22
Bảng 1.4: Hệ số khuếch tán Ion Clo của các loại bê tông	22
Bảng 2.1: Thành phần khoáng vật của xi măng (%) theo ASTM	28
Bảng 2.2: Thành phần khoáng vật của xi măng PC40 Việt Nam	28
Bảng 2.3: Các tính năng của phụ gia	31
Bảng 2.4: Tiêu chuẩn ASTM về muối silic	32
Bảng 2.5: Thành phần hóa học của đá Quartz	35
Bảng 2.6: Cấp phối của cốt liệu cát Quartz (% lọt sàng)	36
Bảng 2.7: Thành phần cấp phối hạt của cát Quartz	36
Bảng 2.8: Thành phần hóa học của bột Quartz	38
Bảng 2.9: Lượng lọt sàng (%) của bột Quartz nghiền	39
Bảng 2.10: Các đặc tính độ đặc của vật liệu	45
Bảng 2.11: Tính toán độ đặc của hỗn hợp	48
Bảng 2.12: Công thức thiết kế bê tông cường độ siêu cao	49
Bảng 3.1: Độ vồng đạt được khi tiến hành thí nghiệm	56
Bảng 3.2: Kế hoạch thí nghiệm	57
Bảng 3.3: Số mẫu cho mẻ trộn thử	58
Bảng 3.4: Thành phần vật liệu chế tạo	58
Bảng 3.5: Thành phần trộn mẫu thí nghiệm	59
Bảng 3.6: Kết quả thí nghiệm độ chảy lan	60
Bảng 3.7: Kết quả cường độ chịu nén	61
Bảng 3.8: Cường độ trung bình của các nhóm mẫu	62
Bảng 3.9: Quan hệ giữa tải trọng và độ vồng	65
Bảng 3.10: Cường độ chịu kéo khi uốn khi xuất hiện các vết nứt đầu tiên	66
Bảng 3.11: Cường độ chịu kéo khi uốn lớn nhất	67
Bảng 3.12: Cường độ chịu kéo khi uốn ứng với độ vồng 10mm	68