

PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CỦA BẢN BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP TÍNH NĂNG SIÊU CAO

TS. TRẦN BÁ VIỆT, TS. LÊ MINH LONG

Viện KHCN Xây dựng

ThS. NGUYỄN TRUNG HÒA

Trường Đại học Vinh

Tóm tắt: Bê tông cốt sợi thép tính năng siêu cao là một loại vật liệu được đánh giá cao bởi nhiều tính năng hữu dụng. Bài báo này trình bày một số kết quả khảo sát thực nghiệm trên các bản bê tông cốt sợi thép tính năng siêu cao, các quan sát và phân tích tập trung vào: quan hệ tải trọng và độ võng; quan hệ tải trọng và biến dạng; sự hình thành vết nứt của bản bê tông cốt sợi thép tính năng siêu cao, nhằm mục đích sử dụng chế tạo bản mặt cầu treo.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay trên thế giới cũng như ở Việt Nam nhu cầu xây dựng ngày càng gia tăng, các công trình ngày càng có quy mô lớn nên đòi hỏi phải có loại bê tông tính năng cao. Các loại bê tông này phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật như cường độ cao, độ dẻo dai cao, ổn định kích thước, bám dính tốt, không phân tầng, không tách nước, không rạn nứt, chịu uốn, chịu cắt, chịu kéo. Bê tông tính năng siêu cao – UHPC (UHPC: Ultra - high performance concrete) là bê tông có cường độ trên 120MPa, modul đàn hồi trên 4,4GPa, với độ co thấp và khả năng kháng nứt cao, khả năng chống ăn mòn cốt thép cao do độ đặc chắc cao dẫn tới hệ số thấm clo thấp. Ngoài ra UHPC còn có tính công tác cao thường đạt tới mức độ bê tông tự chảy – SLC. Trên nền bê tông UHPC khi bổ sung sợi thép mảnh sẽ tạo ra bê tông cường độ siêu cao – UHPSFC (UHPSFC: Ultra - high performance steel fiber reinforced concrete) có tính chất còn tốt hơn UHPC đó là khả năng dẻo dai rất cao, cường độ uốn trên 30MPa, cường độ kéo trực tiếp trên 8MPa, khả

năng kháng nứt và hạn chế mở rộng vết nứt rất tốt. Trên thế giới việc ứng dụng UHPC và UHPSFC đã tiến hành khoảng 15 năm trước, đến nay đã được ứng dụng trong nhiều công trình và có các tiêu chuẩn ứng dụng của ACI Mỹ, Hội bê tông Anh, hội kỹ sư Nhật Bản JSCE, Viện kỹ thuật xây dựng quốc gia Hàn Quốc KICT,...

Mặc dù cũng đã có một số nghiên cứu về bê tông cốt sợi tính năng siêu cao cho các dạng kết cấu, nhưng các chỉ tiêu, tiêu chuẩn thiết kế đối với kết cấu dùng bê tông cốt sợi tính năng siêu cao còn chưa đầy đủ, nên việc nghiên cứu sâu hơn đến ứng xử của các dạng kết cấu bản mặt cầu treo cho miền núi được xem như là hướng nghiên cứu quan trọng hiện nay.

Bài báo này giới thiệu một số kết quả thực nghiệm về bản bê tông cốt thép tính năng siêu cao được thực nghiệm tại Phòng thí nghiệm công trình – Viện Khoa học công nghệ xây dựng. Các mẫu bản được thí nghiệm bao gồm bản đối chứng, bản bê tông cốt sợi chất lượng siêu cao. Thí nghiệm tập trung khảo sát quan hệ giữa độ võng và tải trọng; quan hệ giữa ứng suất và biến dạng; sự hình thành vết nứt của bản.

2. Vật liệu, mẫu thí nghiệm và quy trình thí nghiệm

2.1 Vật liệu

- Vật liệu: Sợi thép, xi măng, cát, cát nghiền, tro trấu, phụ gia siêu dẻo, silica fume, nước;

- Cấp phối bê tông dùng cho bản đối chứng và bản bê tông cốt sợi:

Vật liệu	Cấp phối bản đối chứng MT-01: CP-01	Cấp phối bản MT-02; MT-03; MT-04; MT-05: CP-02
Xi măng (kg)	1000	1000
Cát nghiền (kg)	300	300
Cát trắng (kg)	450	450
Tro bay (kg)	300	300
Silica Fume (kg)	100	100
Phụ gia siêu dẻo (kg)	30	30
Nước (kg)	215	215
Thép	Thép phi 6a100 theo 2 phương	Hàm lượng thép (3%)

- Đặc trưng cơ lý của mẫu chế tạo CP-02:

Mẫu thí nghiệm sau số ngày bảo dưỡng (ngày)	Cường độ chịu nén (MPa)	Cường độ chịu kéo khi uốn (MPa)	Cường độ kéo trực tiếp (MPa)
1	50	22	
3	127	35	7,0
7	160	45	9,2
28	190	50	12,0

- Mô đun đàn hồi: $E = 4,8 \text{ (GPa)}$

- Khối lượng riêng: $\gamma = 2450 \text{ kg/m}^3$

2.2 Mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm gồm 03 bản bê tông:

- Mẫu bản 1 bản đối chứng: MT-01: có kích thước $2,2 \times 0,4 \times 0,03 \text{ m}$; là bản dùng bê tông không có cốt sợi, được bố trí thêm lưới thép phi 6a100mm;

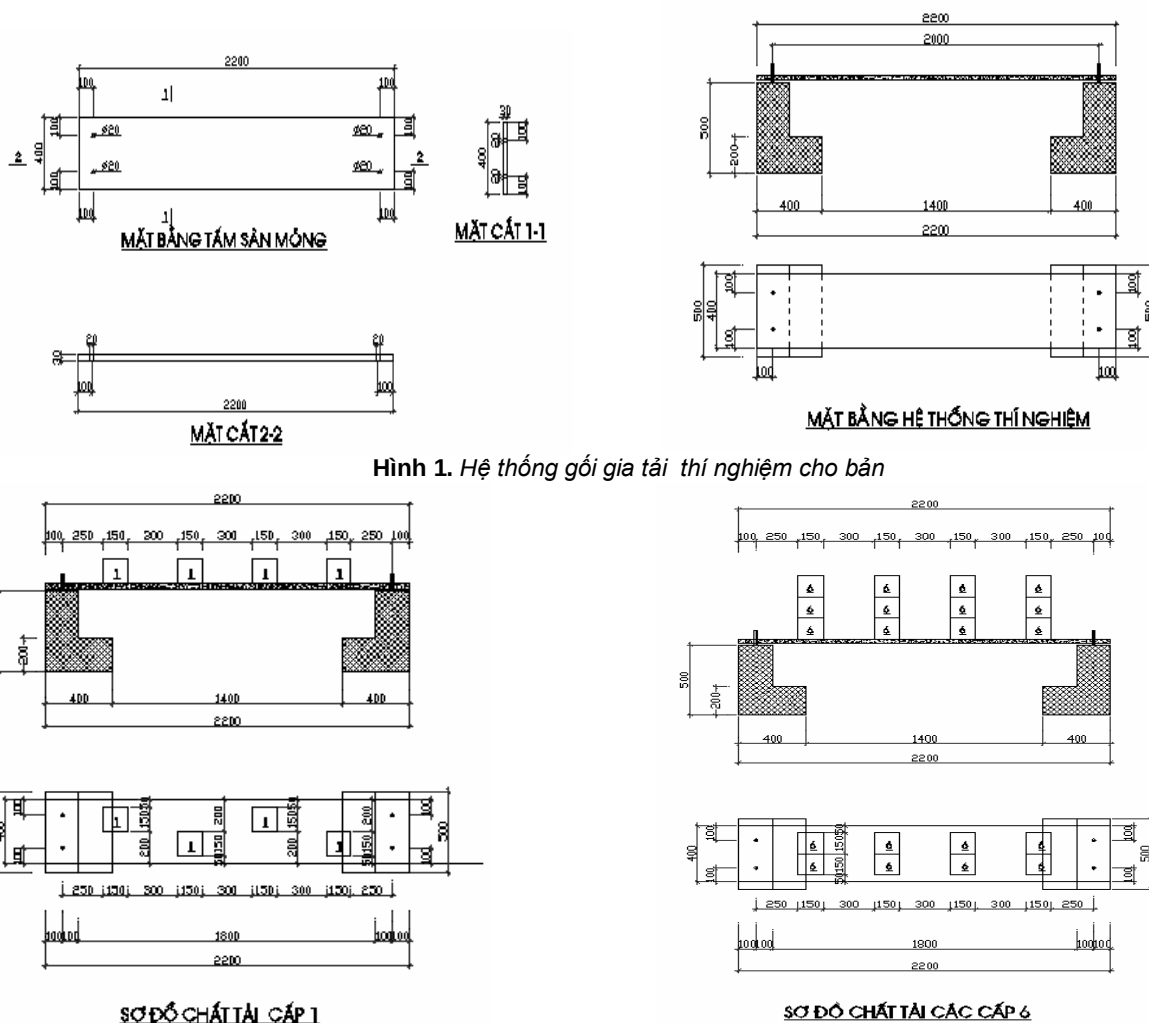
- Mẫu bản 2: MT - 02: có kích thước $2,2 \times 0,4 \times 0,03 \text{ m}$; là bản dùng bê tông cốt sợi;

- Mẫu bản 3: MT - 03: có kích thước $2,2 \times 0,4 \times 0,04 \text{ m}$; là bản dùng bê tông cốt sợi.

2.3 Thiết bị và quy trình thí nghiệm

- Thí nghiệm cho bản được thực hiện trên hệ thống gối như hình 1. Tải trọng được tạo ra bởi các quả gang, trọng lượng 1 quả gang nặng 25kg. Các cấp tải được đặt tại 4 vị trí trên bản bê tông như hình 2. Các thiết bị đo cơ bản được dùng cho thí nghiệm này: Cảm biến đo biến dạng được dùng để đo biến dạng bề mặt bản bê tông; tín hiệu được ghi nhận qua thiết bị đo. Đồng hồ chuyển vị kế được sử dụng để đo độ võng, được bố trí ở đáy bản và 2 bên gối. Quá trình gia tải được thực hiện bằng tay, mỗi cấp gia tải 4 quả gang, tổng trọng lượng 100kg. Các tín hiệu đo được đọc và ghi lại bởi người thí nghiệm.

- Trình tự thí nghiệm, bản đối chứng (MT - 01) được thí nghiệm đầu tiên, tiếp theo là bản MT- 02 và cuối cùng là bản MT- 03.



Hình 1. Hệ thống gối gia tải thí nghiệm cho bản

Hình 2. Sơ đồ các cấp tải thí nghiệm cho bản

3. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

3.1 Ứng xử của bản bê tông theo phương pháp tính lý thuyết

- Với kích thước bản là 2,2x0,4m và hệ thống gối tựa như hình 1 thì bản bê tông làm việc theo một phương. Ta có sơ đồ nhịp tính toán và tải trọng của bản như hình vẽ (hình 3);

- Độ võng tại điểm giữa của bản được xác định theo công thức:

$$f = f_1 = \frac{5}{384} \frac{q}{EI} l^4$$

trong đó:

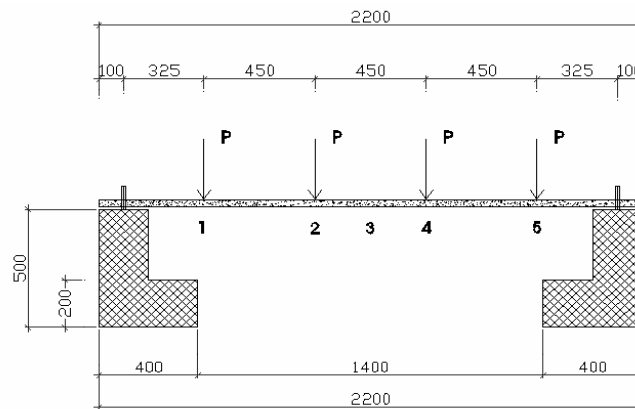
E - Mô đun đàn hồi của vật liệu;

I - Mô men kháng uốn;

q - Tải trọng phân bố;

l - nhịp của bản.

- Với cấu kiện tiết diện hình chữ nhật: $I = \frac{b \times h^3}{12}$



Hình 3. Sơ đồ xác định nhịp và tải trọng của bản

- Dựa vào các cấp tải trọng khi gia tải ta xác định được độ võng tại điểm giữa nhịp của bản, tải trọng phân bố có tính đến cả trọng lượng bản thân. Các giá trị độ võng được thể hiện trong bảng 1:

Bảng 1. Giá trị độ võng tại điểm giữa bản khi gia tải tính theo phương pháp lý thuyết

Cấp tải	Độ võng tại tiết diện giữa bản(mm)						
	Trọng lượng bản thân	Cấp 1 (100kg)	Cấp 2 (200kg)	Cấp 3 (300kg)	Cấp 4 (400kg)	Cấp 5 (500kg)	Cấp 6 (600kg)
Bản dày 3 cm (2x0,4x0,03)	1,39	4,04	6,70	9,35	12,00	14,65	17,30
Bản dày 4 cm (2x0,4x0,04)	0,78	1,90	3,02	4,14	5,26	6,38	7,50

3.2 Ứng xử của bản bê tông theo phương pháp tính tiêu chuẩn TCVN 5574:2012

- Độ võng của bản được xác định theo công thức:

$$f_m = \int_0^l \overline{M}_x \left(\frac{1}{r} \right)_x dx$$

trong đó:

$\overline{M}_x$ – mô men uốn tại tiết diện x do tác dụng lực đơn vị đặt theo hướng chuyển vị cần xác định của

cấu kiện tại tiết diện x trên chiều dài nhịp cần tìm độ võng;

$\left(\frac{1}{r} \right)_x$ – độ cong toàn phần tại tiết diện x do tải

trọng gây nên độ võng cần xác định.

- Dựa vào các cấp tải trọng khi gia tải ta xác định được độ võng tại giữa nhịp của bản, các giá trị độ võng được thể hiện trong bảng 2:

Bảng 2. Giá trị độ võng tại điểm giữa bản khi gia tải tính theo TCVN 5574-2012

Cấp tải	Độ võng tại tiết diện giữa bản(mm)						
	Trọng lượng bản thân	Cấp 1 (100kg)	Cấp 2 (200kg)	Cấp 3 (300kg)	Cấp 4 (400kg)	Cấp 5 (500kg)	Cấp 6 (600kg)
Bản dày 3 cm (2x0,4x0,03)	-	4,60	7,30	9,90	12,50	15,20	17,80
Bản dày 4 cm (2x0,4x0,04)	-	2,20	3,30	4,40	5,60	6,70	7,80

3.3 Kết quả thí nghiệm bản đối chứng MT- 01

- Ứng xử của bản đối chứng MT-01 tại cấp tải 1 (100kg): độ võng của bản là 4,39mm; Tại cấp tải 2 (200kg) độ võng tại giữa nhịp là 34,9mm; Tại cấp tải 3 (300kg) độ võng giữa nhịp là 46,08mm, bản bị phá hủy tại tải trọng cấp 3. Số liệu được thể hiện trong bảng 3. Kết quả biểu đồ tải trọng – Độ võng được thể hiện như hình 3;

- Kết quả thí nghiệm tải trọng và biến dạng của bản: Tại cấp tải 1 biến dạng 96 $\mu\epsilon$, tại cấp tải 2 biến dạng 2348 $\mu\epsilon$. Biểu đồ quan hệ ứng suất và biến dạng như hình 4;

- Tại vị trí bu lông neo giữa bản và gối, bu lông neo vẫn đảm bảo yêu cầu về chịu lực và cố định giữa bản bê tông và gối.

- Sơ đồ vết nứt:

+ Tại cấp tải 1 (100kg), bản xuất hiện 1 vết nứt rộng 0,1mm. Tại cấp tải 2, bản xuất hiện 8 vết nứt, vết nứt nhất 0,3mm. Tại cấp tải 3, bản xuất hiện 13 vết nứt, vết nứt nhất 0,8mm. Vị trí các vết nứt trải từ vị trí cách gối G1 khoảng 60cm đến vị trí cách gối G1 khoảng 170cm. Tại vị trí cách gối G1 khoảng 123cm vết nứt lớn nhất có độ rộng 0,8mm.

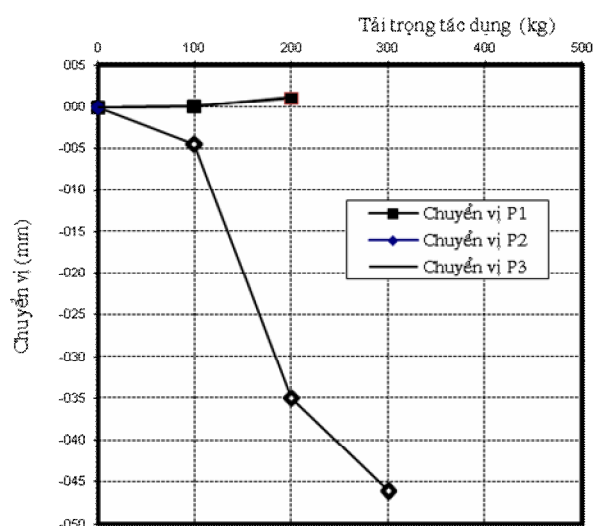
- Kết luận kết quả thí nghiệm bản đối chứng không cốt sợi, có cốt thép phi 6 MT-01:

+ Với cấp tải 2 (200kg), bản MT-01 có độ võng 34,9mm vượt quá giới hạn so với tiêu chuẩn. Tại cấp tải 3 (300kg) độ võng 46,08mm bản MT-01 bị phá hủy. Các vết nứt xuất hiện nhiều (13 vết nứt), vết nứt lớn nhất 0,8mm.

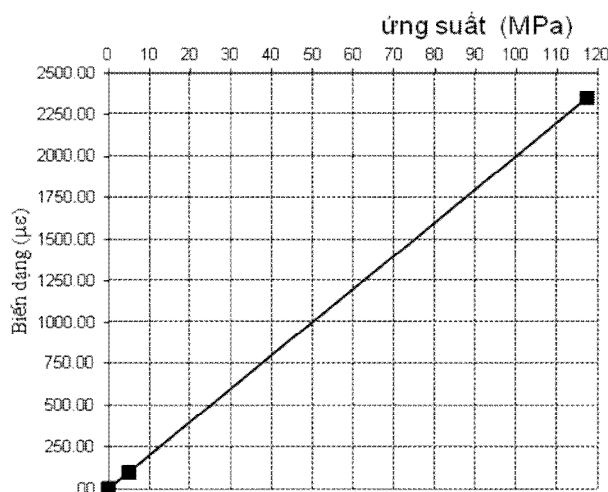
Bảng 3. Kết quả đo độ võng và biến dạng tại các vị trí

STT	Tải trọng thí nghiệm (kg)	Thời gian giữ tải (phút)	Chuyển vị tại các vị trí đo (mm)			Biến dạng tại các vị trí đo ($\mu\epsilon$)	Ghi chú	Ứng suất (MPa)
			D1 (gối 1)	D2 (giữa)	D3 (gối 2)			
1	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0
2	100	10,0	0,12	-4,39	0,10	96,00	01 vết nứt rộng 0,1mm	4,8
3	200	10,0	1,07	-34,90	1,18	2348,00	08 vết nứt rộng nhất 0,3mm	117,4
4	300	-	-	-46,08	-	-	13 vết nứt rộng nhất 0,8mm	-

Ghi chú: Dấu “-” biểu thị sự võng xuống.



Hình 3. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng của mẫu MT-01



Hình 4. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của mẫu MT-01

3.4 Kết quả thí nghiệm bản MT- 02

- Tại các cấp tải 1,2,3 tương ứng với lực đặt trên bản là 100kg, 200kg, 300kg bản làm việc trên miền

đàn hồi, tại cấp tải 3 độ võng tại giữa bản là 6,09mm. Tại các cấp tải 4,5,6 tương ứng với lực đặt trên bản là 400kg, 500kg, 600kg bản làm việc trên miền phá hoại dẻo. Độ võng tại cấp tải 6 là 44,43 mm, mẫu sau đó bị

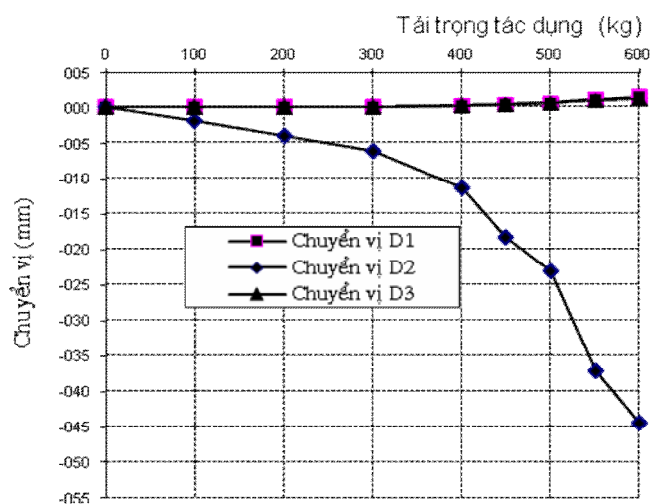
phá hoại. Số liệu được thể hiện trong bảng 4. Kết quả biểu đồ tải trọng – Độ võng được thể hiện như hình 6. Kết quả biểu đồ tải trọng – biến dạng được thể hiện như hình 7.

như hình 7; Kết quả biểu đồ ứng suất – độ võng được thể hiện như hình 8; Kết quả biểu đồ ứng suất – biến dạng được thể hiện như hình 9.

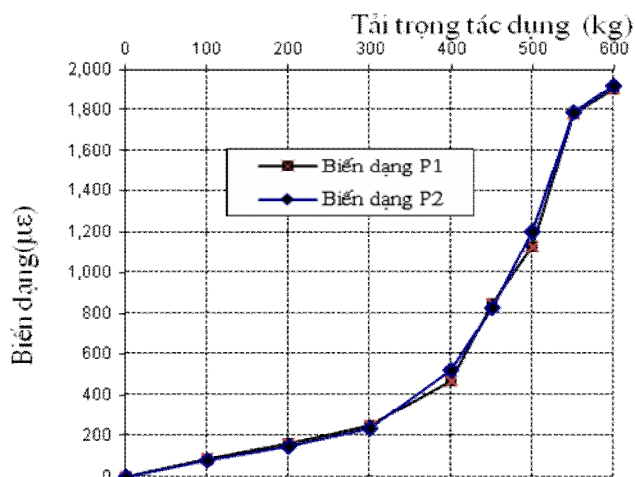
Bảng 4. Kết quả đo độ võng và biến dạng tại các vị trí

STT	Cấp tải	Tải trọng thí nghiệm (kg)	Thời gian giữ tải (phút)	Chuyển vị tại các vị trí đo (mm)			Biến dạng tại các vị trí đo ($\mu\epsilon$)		Ghi chú
				D1 (gối 1)	D2 (giữa)	D3 (gối 2)	P1	P2	
1	0	0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2	1	100	10,0	0,03	-1,93	0,06	85,00	82,00	-
3	2	200	10,0	0,08	-3,99	0,11	162,00	149,00	-
4	3	300	10,0	0,13	-6,09	0,16	246,00	231,00	-
5	4	400	10,0	0,21	-11,32	0,33	468,00	520,00	-
6	5	500	10	0,67	-23,12	0,66	1133,00	1207,00	Xuất hiện vết nứt đầu tiên (02 vết rộng 0,1mm)
7	6	600	-	1,57	-44,43	1,30	1901,00	1919,00	Mẫu bị phá hủy

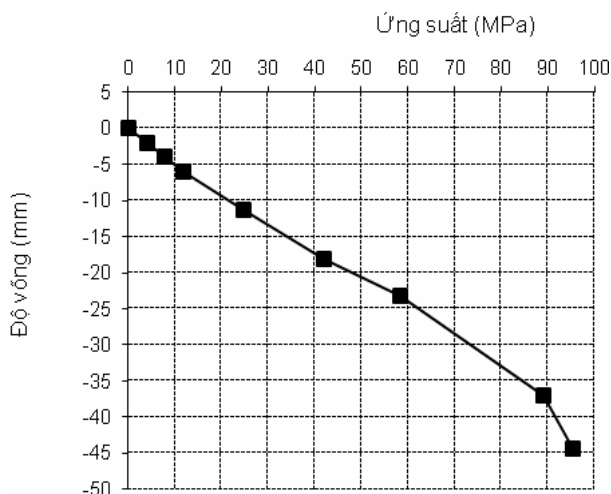
Ghi chú: Dấu “-” biểu thị sự võng xuống.



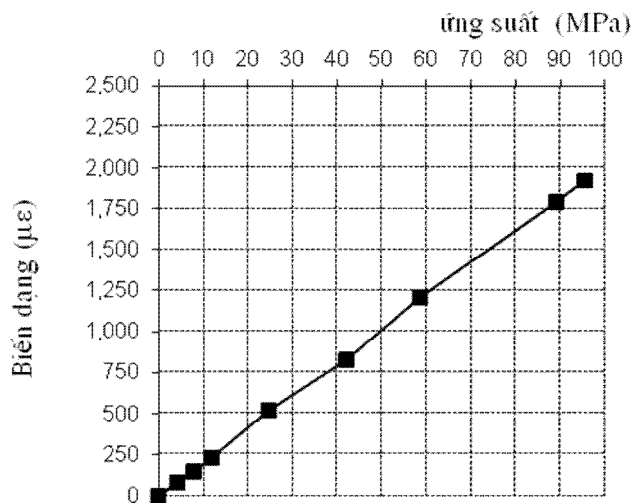
Hình 6. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng của mẫu MT-02



Hình 7. Quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của mẫu MT-02



Hình 8. Quan hệ giữa ứng suất và độ võng của mẫu MT-02



Hình 9. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của mẫu MT-02

- Tại vị trí bu lông neo giữa bản và gối, bu lông neo vẫn đảm bảo yêu cầu về chịu lực và cố định giữa bản bê tông và gối.

- Sơ đồ vết nứt:

+ Tại cấp tải 5 (500 kg), bản xuất hiện 2 vết nứt đầu tiên, 2 vết nứt rộng 0,1mm. Tại cấp tải 6, tại vị trí vết nứt 2 cách mép bản phía gối G1 khoảng 85 cm bản bị phá hủy.

Kết luận kết quả thí nghiệm bản MT-02

+ Tại các cấp tải 1,2,3 tương ứng với lực đặt lên bản là 100 kg, 200 kg, 300 kg bản làm việc trên miền đàn hồi, độ võng tại giữa bản là 6,09mm đạt yêu cầu về độ võng. Tại cấp tải 4 (400 kg) độ võng là 11,32mm nhưng không xuất hiện vết nứt. Tại cấp tải 5 xuất hiện 2 vết nứt có bề rộng là 0,1mm. Tại cấp 6 bản MT-03 bị phá hủy, vị trí phá hủy cách gối G1 khoảng 85cm.

3.5 Kết quả thí nghiệm bản MT- 03

- Tại các cấp tải 1, 2, 3, 4, 5, 6 tương ứng với lực đặt trên bản là 100 kg, 200 kg, 300 kg, 400 kg, 500 kg, 600 kg bản làm việc trên miền đàn hồi. Độ võng tại cấp tải 6 là 12,96mm. Số liệu được thể hiện trong bảng 5. Kết quả biểu đồ tải trọng – Độ võng được thể hiện như hình 10. Kết quả biểu đồ tải trọng – biến dạng được thể hiện như hình 11;

- Tại vị trí bu lông neo giữa bản và gối, bu lông neo vẫn đảm bảo yêu cầu về chịu lực và cố định giữa bản bê tông và gối;

- Sơ đồ vết nứt: không có vết nứt trong quá trình gia tải và lưu tải.

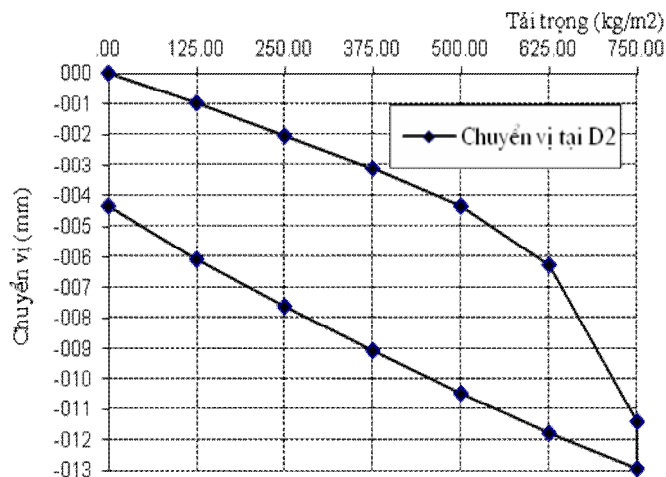
Kết luận kết quả thử nghiệm bản MT-03

+ Tại các cấp tải 1,2,3,4,5,6 tương ứng với lực đặt lên bản là 100 kg, 200 kg, 300 kg, 400 kg, 500 kg, 600 kg bản làm việc trên miền đàn hồi, độ võng tại giữa bản là 12,96mm đạt yêu cầu về độ võng. Tại cấp tải 6 (600 kg) sau khi lưu tải 24h và hạ tải nhưng không xuất hiện vết nứt.

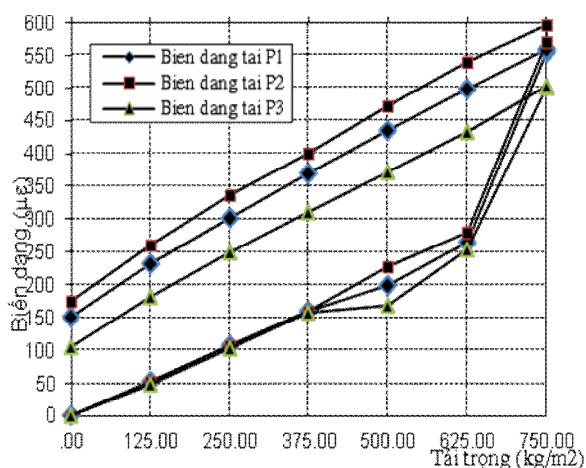
Bảng 5. Kết quả đo độ võng và biến dạng tại các vị trí

Cấp tải	Tải trọng chất lên vùng thử tải (kg/m^2)	Thời gian giữ tải (phút)	Chuyển vị tại các vị trí đo (mm)			Biến dạng tại các vị trí đo ($\mu\epsilon$)		
			D1 (gối)	D2	D3 (gối)	P1 (giữa)	P2	P3
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
1	125	10	0,07	-0,99	0,05	52	53	49
2	250	10	0,16	-2,06	0,10	107	108	103
3	375	10	0,26	-3,13	0,17	160	161	157
4	500	10	0,39	-4,33	0,25	199	227	168
5	625	10	0,51	-6,26	0,34	264	279	253
6	750	1200	1,02	-12,96	0,75	560	597	502

Ghi chú: Dấu “-” biểu thị sự võng xuống.



Hình 10. Quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị của mẫu MT-03



Hình 11. Quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của mẫu MT-03

4. Kết luận

- Từ các kết quả tính theo phương pháp lý thuyết, tiêu chuẩn TCVN: 5574-2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế và kết quả thí nghiệm ta có bảng kết quả (bảng 6):

Bảng 6. Kết quả độ võng theo các phương pháp lý thuyết và thí nghiệm

Cấp tải		Độ võng tại tiết diện giữa bản (mm)						Ghi chú
		Cấp 1 (100kg)	Cấp 2 (200kg)	Cấp 3 (300kg)	Cấp 4 (400kg)	Cấp 5 (500kg)	Cấp 6 (600kg)	
Độ võng theo lý thuyết	Bản MT-02	4,04	6,70	9,35	12,00	14,65	17,30	
	Bản MT-03	1,90	3,02	4,14	5,26	6,38	7,50	
Độ võng theo TCVN	Bản MT-02	4,60	7,30	9,90	12,50	15,20	17,80	
	Bản MT-03	2,20	3,30	4,40	5,60	6,70	7,80	
Độ võng theo thí nghiệm	Bản MT-01	4,39	34,90	46,08	-	-	-	
	Bản MT-02	1,93	3,99	6,09	11,32	23,12	44,43	
	Bản MT-03	0,99	2,06	3,13	4,33	6,26	12,96	

- Với bản đối chứng MT-01, khi gia tải lên cấp 2 (200 kg), bản không thỏa mãn về điều kiện độ võng (34,9mm) và vết nứt (08 vết nứt, vết rộng 0,3mm), khả năng chịu lực khoảng dưới $200/0,8 = 250\text{kg/m}^2$;

- Với bản MT - 02, tại cấp tải 6 (600 kg) bản có độ võng 44,43mm, sau đó bản bị phá hủy. Tại cấp tải 5 (500kg), bản xuất hiện 2 vết nứt có chiều rộng 0,1mm. Bản số MT-02 sau đó bị phá hủy, vị trí phá hủy tại vị trí gia tải, có thể khi gia tải tạo thành xung làm cho tại tiết diện đó yếu hơn và bị phá hủy tại tiết diện đó;

- Với bản MT- 03, khi gia tải lên cấp 6 (600kg), bản độ võng (12,69mm) và không có vết nứt, khả năng chịu lực tại cấp 6 là $600/0,8 = 750\text{ kg/m}^2$ tải trọng bản thân của bản 98 kg/m^2 . Tổng tải trọng bản chịu là 848 kg/m^2 ;

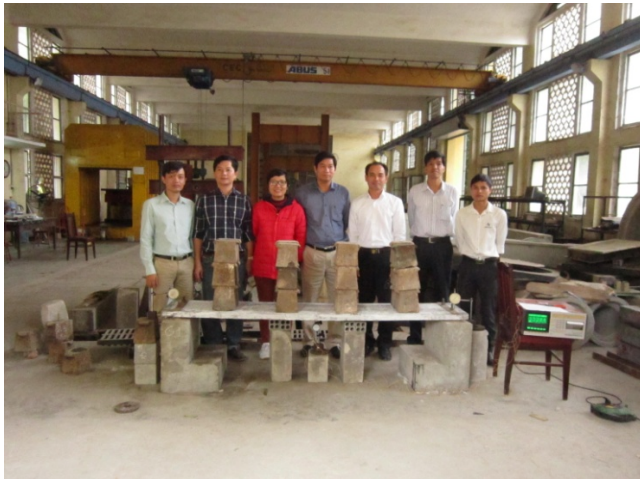
- Khả năng chịu tải của bản bê tông tính năng siêu cao – UHPSFC rất tốt, nhưng để phát huy hết khả năng chịu lực của bê tông này, cần chấp nhận độ võng cao hơn bê tông thông thường. Với bê tông

thông thường khi đạt đến độ võng giới hạn, bê tông sẽ bị phá hủy, nhưng với bê tông UHPSFC độ võng lớn nhưng bê tông vẫn chưa bị phá hủy;

- Khi gia tải bản bê tông tính năng siêu cao – UHPSFC, độ võng của bản xấp xỉ với độ võng khi tính toán theo lý thuyết nếu bản làm trong miền đàn hồi. Khi bản bị nứt môđul E của bản giảm nên độ võng của bản tăng mạnh;

- Khả năng chịu lực của bản bê tông cốt sợi gấp khoảng 3 lần so với bê tông thường có cốt thép; Bê tông sợi có độ võng lớn vượt quá giới hạn của tiêu chuẩn bê tông thông thường, nhưng sự hình thành vết nứt của bê tông cốt sợi thỏa mãn theo yêu cầu của tiêu chuẩn Việt Nam;

- Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-05, hoạt tải cho người đi bộ là $300 \times 1,75 = 525\text{ kg/m}^2$ thì với bản 40 mm bê tông cốt sợi cường độ siêu cao – UHPSFC đáp ứng được tiêu chuẩn đã yêu cầu.



Hình 12. Kết thúc quá trình gia tải tấm MT-03



Hình 13. Tấm MT-03 thử nghiệm 8 người đứng lên

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn 5574 : 2012, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế.
2. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN272-05.
3. NGUYỄN TIẾN BÌNH, TRẦN BÁ VIỆT, Vai trò của sợi polypropylene trong việc làm giảm biến dạng mềm của bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Viện Khoa học công nghệ xây dựng (IBST)*, pp.47-52, số 4/2007.
4. TRẦN BÁ VIỆT, NGUYỄN THANH BÌNH (2013), Nghiên cứu bê tông cốt sợi thép làm mặt đường cứng, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học – Kỷ niệm 50 năm thành lập Viện Khoa học công nghệ xây dựng (IBST)*, pp. 198-206, quyển 2: Vật liệu xây dựng và tu bổ kiến trúc.
5. TRẦN BÁ VIỆT, LÊ MINH LONG, NGUYỄN THANH BÌNH, NGUYỄN HỒNG SƠN, NGÔ MẠNH TOÀN, VŨ NGỌC LUYẾN và ctv (2013), Nghiên cứu chế tạo mương thủy lợi thành mỏng đúc sẵn bằng bê tông cốt sợi thép, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học – Kỷ niệm 50 năm thành lập Viện Khoa học công nghệ xây dựng (IBST)*, pp. 207-216, quyển 2: Vật liệu xây dựng và tu bổ kiến trúc.
6. ACI 544.1R-96, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete.
7. FRANCOIS TOUTLEMONDE, JACQUES RESPLENDINO, Designing and Building with UHPFRC – State-of-Art and Development, Wiley Inc, 2011.

Ngày nhận bài: 22/02/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 18/03/2015.