

# Ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông đến ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép

The effect of steel fiber percentage in concrete on the flexural behavior of the reinforced concrete beam

Lê Phước Lành<sup>(1)</sup>, Nguyễn Văn Quang<sup>(2)</sup>, Nguyễn Trung Hiếu<sup>(3)</sup>

## Tóm tắt

Bê tông cốt sợi thép là sự kết hợp của bê tông và sợi thép chịu lực, với những ưu điểm như tăng độ dẻo cho kết cấu bê tông, khâu lại các vết nứt, tăng cường khả năng chống mài mòn và cải thiện các đặc trưng cơ học của vật liệu sau giai đoạn nứt. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông đến ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng bê tông cốt sợi thép. 02 nhóm mẫu dầm BTCT (mỗi nhóm 02 dầm) có cùng kích thước hình học và cấp cường độ bê tông, được chế tạo với hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông lần lượt là 0.4%, 0.6% theo thể tích và được thí nghiệm uốn bốn điểm. Kết quả thực nghiệm thu được cho phép làm rõ ứng xử uốn của dầm BTCT sử dụng bê tông cốt sợi thép, cũng như vai trò của hàm lượng cốt sợi thép đến sự phân tán các vết nứt do uốn, hạn chế độ mở rộng của vết nứt và tăng cường độ cứng của dầm sau nứt.

**Từ khóa:** Bê tông cốt sợi thép, Sợi thép, Vết nứt, Độ võng, Biến dạng

## Abstract

Fiber reinforced concrete is the mixture of concrete and steel fiber, which has advantages such as increasing the ductility of concrete structure, sealing cracks, enhancing wear resistance, and improving the mechanical properties of the material after the cracking stage. The paper presents an experimental study of steel fiber percentage affecting on the flexural behavior of reinforced concrete (RC) beam using fiber reinforced concrete. 02 groups of RC beam samples (each one has 02 beams) have identical cross-sections and the strength of concrete, manufactured with the steel fiber percentage of 0.4% and 0.6% by volume, respectively, and tested in four-point bending. The obtained result of the experiment allows clarifying the flexural behavior of RC beam using fiber reinforced concrete and the vital role of steel fiber percentage in dispersing flexural cracks, limiting crack expansion, and enhancing the post-cracking beam stiffness.

**Key words:** Fiber reinforced concrete, Steel fiber, Cracks, Deflection, Strain

(1) ThS, khoa XDDD&CN, ĐH Xây dựng Hà Nội,

Email: lanhlp@huce.edu.vn

(2) ThS, khoa XDDD&CN, ĐH Xây dựng Hà Nội,

Email: quangnv@huce.edu.vn

(3) PGS.TS, khoa XDDD&CN, ĐH Xây dựng Hà Nội,

Email: hieunt@huce.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/03/2022

Ngày sửa bài: 19/04/2022

Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

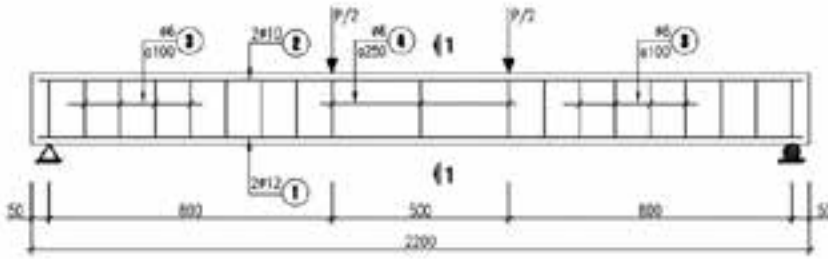
## 1. Tổng quan

Hiện tượng nứt trên kết cấu BTCT là nguyên nhân chủ yếu làm giảm tuổi thọ của công trình. Vết nứt trên bê tông do nhiều nguyên nhân gây ra (do tải trọng, do biến dạng nhiệt, do biến dạng co ngót của bê tông bị ngăn cản...) ảnh hưởng đến sự an toàn của kết cấu. Kết cấu BTCT là sự kết hợp giữa vật liệu bê tông và vật liệu cốt thép. Vật liệu bê tông nói riêng và các loại vật liệu gốc xi măng nói chung đều có điểm chung là khả năng chịu kéo và khả năng biến dạng kém. Do vậy, vấn đề nứt là hiện tượng khá phổ biến trong kết cấu bê tông và BTCT. Khe nứt được hình thành khi trong bê tông xuất hiện ứng suất kéo vượt qua khả năng chịu kéo của bê tông [1], làm ảnh hưởng đến độ cứng, năng lượng hấp thụ, chống thấm và độ bền lâu của kết cấu. Ngày nay, có nhiều phương án kết cấu và vật liệu được đưa ra để giảm thiểu những ảnh hưởng của vấn đề nứt như sử dụng chất phụ gia chống co ngót, sử dụng kết cấu bê tông ứng lực trước. Tuy nhiên, những phương pháp này không thể phát huy hết hiệu quả trong mọi trường hợp. Do đó, để khắc phục được những hạn chế bề rộng vết nứt trong kết cấu BTCT, thì vật liệu cốt sợi đã được nghiên cứu sử dụng trong các kết cấu BTCT sử dụng bê tông cốt sợi, nhằm tăng độ bền vững cho kết cấu. Theo định nghĩa của ACI 544.1R [2], bê tông cốt sợi là loại bê tông được sản xuất từ xi măng, cát, đá, nước và vật liệu cốt sợi. Hiện nay, trên thị trường có nhiều loại cốt sợi như sợi thép, sợi thủy tinh, sợi tổng hợp hay sợi tự nhiên, mỗi loại sợi sẽ quyết định đến một số tính chất riêng biệt của loại bê tông cốt sợi. Sản phẩm bê tông cốt sợi được ứng dụng rộng rãi trong nhiều công trình như nhà ở, nhà công nghiệp, đường hầm, cầu...

Các đặc trưng cơ học của vật liệu bê tông cốt sợi thép phụ thuộc vào đặc tính của bê tông, hình dạng, kích thước, sự phân bố của cốt sợi thép trong bê tông và sự tương tác của bê tông và cốt sợi thép... cũng như hàm lượng của cốt sợi thép trong bê tông. Trong đó, yếu tố hình dạng cốt sợi thép có ý nghĩa quan trọng, khi sử dụng cốt sợi thép uốn móc hai đầu sẽ làm tăng độ liên kết của cốt sợi thép và bê tông. Sự phân bố và hướng phân bố của cốt sợi thép ảnh hưởng đến khả năng khâu nối các vết nứt, tác động đến khả năng làm việc của kết cấu sau giai đoạn nứt.

Nghiên cứu thực nghiệm về bê tông cốt sợi thép đã được nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước tiến hành, trong đó một số nghiên cứu điển hình được trình bày trong các tài liệu [3], [4], [5]. Các kết quả thu được cho thấy, giải pháp sử dụng vật liệu cốt sợi thép có hiệu quả cải thiện các đặc trưng cơ học của vật liệu bê tông sau giai đoạn nứt. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông đến ứng xử làm việc của kết cấu là khác nhau. Theo Armon Bentur and Sidney Mindess [6], khi hàm lượng cốt sợi thép quá nhỏ (nhỏ hơn 0,1% theo thể tích) thì không có sự khác biệt lớn giữa bê tông cốt sợi thép và bê tông thường. Do vậy, tác giả đã lựa chọn hàm lượng cốt sợi thép trong nghiên cứu này là 0.4% và 0.6% theo thể tích.

Nội dung của bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm ứng xử uốn của dầm BTCT sử dụng bê tông cốt sợi thép, với các hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông thay đổi lần lượt là 0.4% và 0.6% theo thể tích. Nghiên cứu được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm và Kiểm định công trình - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội. Những kết quả thu được góp phần làm rõ ứng xử cũng như khả năng áp dụng



Hình 1. Chi tiết cấu tạo các mẫu dầm thí nghiệm



Hình 2. Hình ảnh về cốt sợi thép và bê tông cốt sợi thép

hàm lượng cốt sợi thép của vật liệu bê tông cốt sợi thép trên kết cấu công trình.

## 2. Nghiên cứu thực nghiệm

### 2.1. Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo

Trong nghiên cứu này, 02 nhóm mẫu dầm BTCT (mỗi nhóm 02 dầm) có cùng kích thước hình học, cấu tạo cốt thép và cường độ bê tông được chế tạo, khác nhau về hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông. Nhóm mẫu dầm 1 gồm 02 mẫu dầm, ký hiệu D1-1, D1-2, và nhóm mẫu dầm 2 gồm 02 mẫu dầm, ký hiệu D2-1, D2-2 sử dụng hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông lần lượt là 0.4%, 0.6% theo thể tích. Các mẫu dầm thí nghiệm có chiều dài  $L = 2200\text{mm}$ , kích thước tiết diện mặt cắt ngang của mẫu là  $b \times h = 150\text{mm} \times 200\text{mm}$ , cốt thép dọc chịu lực vùng kéo là  $2\Phi 12$  ( $A_s = 2.26\text{cm}^2$ ), cốt thép dọc vùng chịu nén là  $2\Phi 10$  ( $A'_s = 1.57\text{cm}^2$ ), và cốt thép đai là  $\Phi 6$  khoảng cách 100 mm ở vùng từ lực tập trung đến gối tựa. Cốt thép chế tạo các mẫu dầm thuộc mác thép CB300-V.

Bảng 1. Đặc trưng cơ lý của cốt sợi thép trong nghiên cứu

Đường kính sợi thép D	0.75mm
Chiều dài sợi thép l	50mm
Tỷ lệ l/D	67
Số lượng sợi thép trên 01 kg cốt sợi	5700
Cường độ chịu kéo $R_m$	> 1100 Mpa
Biến dạng cực hạn $\epsilon_u$	< 4%

Bảng 2. Cấp phối vật liệu chế tạo cho  $1\text{m}^3$  bê tông cốt sợi thép ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Xi măng PCB40 (kg)	Cát (kg)	Đá 1x2 (kg)	Nước (kg)	Phụ gia siêu dẻo (kg)	Cốt sợi thép (kg)		Cường độ chịu nén R28 (Mpa)	
					Hàm lượng cốt sợi thép 0.4%	Hàm lượng cốt sợi thép 0.6%	Hàm lượng cốt sợi thép 0.4%	Hàm lượng cốt sợi thép 0.6%
460	880	920	171	5	31.4	47.1	51	56

Bê tông cốt sợi thép chế tạo các mẫu dầm có mác M500 (B40). Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép dọc chịu lực là  $c = 20\text{mm}$ . Chi tiết cấu tạo các mẫu dầm thí nghiệm được trình bày trong Hình 1.

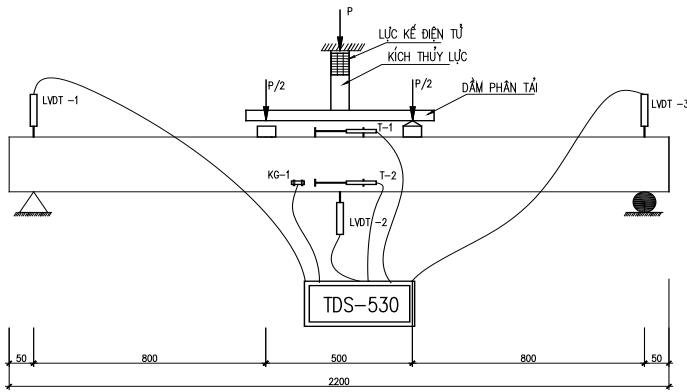
Vật liệu cốt sợi thép được sử dụng trong nghiên cứu do tập đoàn Maccaferri (Italia) sản xuất và được Công ty Cổ phần Getecco phân phối ở Việt Nam. Sợi thép có tiết diện tròn, chiều dài  $l = 50\text{mm}$ , có móc ở hai đầu để tăng độ bám dính với bê tông (Hình 2). Các đặc trưng cơ lý của cốt sợi thép được trình bày trong Bảng 1.

Trong phạm vi nghiên cứu tác giả đã lựa chọn cốt sợi thép không liên tục có chiều dài  $l = 50\text{mm}$ , cốt liệu đá lớn nhất trong cấp phối bê tông có đường kính  $D_{\text{max}} = 20\text{mm}$  [7-9]. Cấp phối vật liệu bê tông chế tạo hai nhóm mẫu dầm được trình bày trong Bảng 2. Kết quả thu được giới hạn chảy của cốt thép  $\Phi 12$ ,  $\Phi 10$  lần lượt là 330 Mpa và 320 Mpa. Các thí nghiệm đều được thực hiện trên các mẫu thử ở tuổi 28 ngày.

### 2.2. Tiến hành thí nghiệm

Trên Hình 4 trình bày sơ đồ thí nghiệm các mẫu dầm. Các mẫu dầm được thí nghiệm theo sơ đồ dầm đơn giản (kê mẫu thí nghiệm lên 01 gối tựa cố định và 01 gối tựa di động), chịu tác dụng của hai lực tập trung, mỗi lực tập trung có giá trị là  $P/2$ . Để tạo ra tải trọng tập trung tác dụng lên dầm trong khi thí nghiệm, sử dụng kích thủy lực (loại 20 tấn) kết hợp với hệ dầm phân tải, giá trị tải trọng tập trung đầu kích là  $P$  được đo bằng lực kế điện tử (load cell) được kết nối với bộ xử lý số liệu Data – Logger TDS - 530, thông qua hệ dầm phân tải sẽ phân thành hai lực tập trung, mỗi lực tập trung có giá trị là  $P/2$  tác dụng lên dầm thí nghiệm.

Độ võng của dầm thí nghiệm được đo bằng 03 thiết bị cảm biến chuyển vị LVDT. Hai cảm biến chuyển vị LVDT-1 và LVDT-3 được bố trí ở hai gối tựa của dầm để đo độ lún của gối tựa, và 01 cảm biến chuyển vị LVDT - 2 được bố trí ở vị trí giữa dầm. Dưới tác dụng của tải trọng, bề rộng vết nứt đầu tiên trên dầm xuất hiện được đo bằng thiết bị kính soi nứt quang học chuyên dụng nhãn hiệu JKC do Trung Quốc sản xuất, có độ chính xác 0.01mm. Sau khi đo vết nứt đầu tiên, tiến hành gắn thiết bị đo nứt chuyên dụng ký hiệu N1 (Hệ số khuếch đại  $K = 10^3$ ) do Nhật Bản sản xuất để đo bề rộng vết nứt một cách liên tục theo các cấp tải trọng. Biến dạng



Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm uốn 04 điểm các mẫu dầm

nén và biến dạng kéo của bê tông được đo bằng 02 thiết bị đo biến dạng lần lượt là T1 và T2, với chuẩn đo  $L_0=200\text{mm}$ , trong đó biến dạng kéo của bê tông được đo tại cao trình cốt thép, cách mép biên chịu kéo của bê tông là 25mm. Tất cả các thiết bị đo được kết nối với bộ xử lý số liệu Data – Logger TDS-530 và máy tính và được đo đạc tự động theo thời gian (Hình 3).

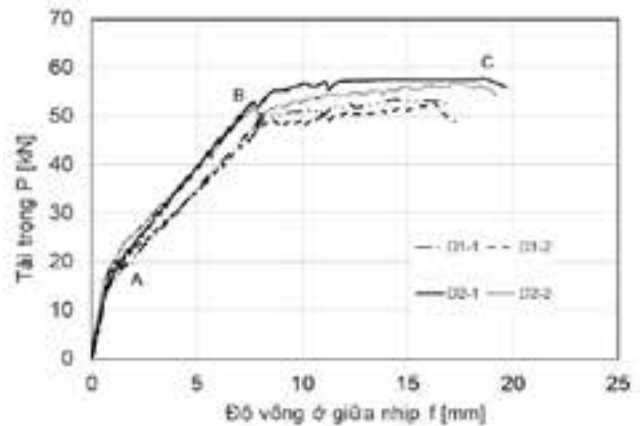
### 2.3. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

#### 2.3.1. Quan hệ tải trọng và độ võng của các mẫu dầm thí nghiệm

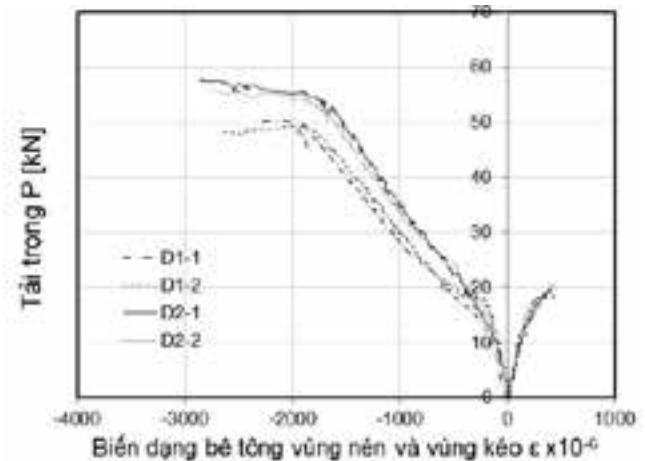
Trên Hình 4 trình bày các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng ( $P - f$ ) của 04 mẫu dầm thí nghiệm. Các giá trị tải trọng và độ võng đặc trưng của các mẫu dầm thí nghiệm được trình bày ở Bảng 3. Có thể nhận thấy, sự làm việc của các mẫu dầm BTCT đều có chung các giai đoạn sau:

Giai đoạn OA: Quan hệ tải trọng và độ võng của các mẫu dầm thí nghiệm gần như tuyến tính, bê tông và cốt thép cùng tham gia làm việc chung. Tại điểm A có sự thay đổi độ dốc đầu tiên của đường cong quan hệ tải trọng – độ võng cho phép xác định được tải trọng gây nứt đầu tiên trên các mẫu dầm thí nghiệm. Kết quả thu được cho thấy tải trọng gây vết nứt đầu tiên trên các dầm D1-1, D1-2, D2-1, D2-2 lần lượt là 16.4 kN, 17.6 kN, 18.1 kN và 17.8 kN. Như vậy, nhóm mẫu dầm 2 nứt chậm hơn so với nhóm mẫu dầm 1, điều này có thể được giải thích do sự có mặt của cốt sợi thép, hàm lượng cốt sợi thép càng tăng sẽ làm chậm lại sự xuất hiện của vết nứt đầu tiên trên dầm. Tuy nhiên sự chênh lệch tải trọng gây nứt đầu tiên của hai nhóm mẫu dầm nghiên cứu là không nhiều (tăng 5.6%), bởi hàm lượng cốt sợi thép không làm cải thiện ứng suất kéo trong bê tông (Hình 5).

Giai đoạn AB: Sau khi các mẫu dầm thí nghiệm xuất hiện vết nứt, độ dốc của biểu đồ ( $P - f$ ) thay đổi, cho thấy các dầm thay đổi độ cứng làm cho độ võng của các mẫu dầm tăng nhanh, với cùng một giá trị tải trọng thì độ võng của các mẫu dầm D2-1, dầm D2-2 nhỏ hơn các mẫu dầm D1-1, dầm D1-2. Tại độ võng cho phép của các dầm  $[f] = L/150 [10]$ , từ biểu đồ ( $P - f$ ) xác định được giá trị tải trọng tác dụng lên nhóm dầm 1 (D1-1, D1-2) lần lượt là 52.88 kN, 50.58 kN (có giá trị trung bình của tải trọng là 51.73 kN), nhóm dầm 2 (D2-1, D2-2) lần lượt là 57.58 kN, 55.48 kN (có giá trị trung bình của tải trọng là 56.53 kN), khi đó có tỷ số là 1.1 lần, điều này cho thấy hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông tăng lên làm tăng khả năng chịu lực của dầm; đồng thời tăng độ cứng của dầm, thông qua việc giảm độ võng của nhóm dầm 2 so với nhóm dầm 1. Điều này được giải thích bằng việc cốt sợi có nhiệm vụ làm giảm sự phát triển của bề rộng vết nứt, và phân tán ra nhiều vết nứt nhỏ, nên độ cứng của dầm sẽ tăng lên. Như vậy, hàm lượng cốt sợi trong bê tông sẽ tỷ thuận



Hình 4. Quan hệ tải trọng – độ võng của các mẫu dầm thí nghiệm

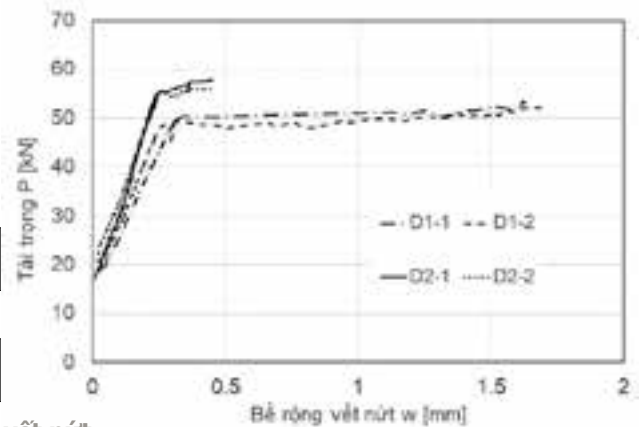
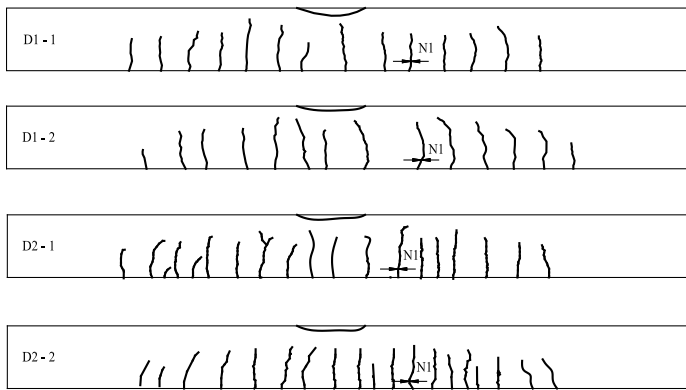


Hình 5. Quan hệ tải trọng và biến dạng của bê tông trên các mẫu dầm

với độ cứng của dầm.

Tại điểm B có sự thay đổi độ dốc của đường cong, là thời điểm cốt thép trong dầm bị chảy dẻo. Kết quả thu được tải trọng gây chảy dẻo cốt thép  $P_{pl}$  trên các mẫu dầm D1-1, D1-2, D2-1, D2-2 lần lượt là: 49.1 kN, 49.4 kN, 52.4 kN, 51.8 kN, khi đó tỷ số tải trọng trung bình của nhóm mẫu dầm 2 so với nhóm mẫu dầm 1 là 1.06 lần. Điều này cho thấy, vai trò của cốt sợi thép trong việc khâu lại các vết nứt, làm chậm sự chảy dẻo của cốt thép. Hàm lượng cốt sợi thép càng cao, càng làm tăng tải trọng gây ra chảy dẻo cốt thép.

Giai đoạn BC là giai đoạn bê tông vùng nén tham gia làm việc, tuy nhiên có thể nhận thấy sự tham gia làm việc



Hình 6. Phân bố vết nứt và quan hệ giữa tải trọng và bề rộng vết nứt

của bê tông vùng nén là không đáng kể. Từ đồ thị trên hình 4 nhận thấy, cùng một giá trị tải trọng thì độ võng của nhóm mẫu dầm 2 nhỏ hơn nhóm mẫu dầm 1. Điều này được giải thích, cốt sợi thép làm tăng khả năng làm việc chịu nén của bê tông càng nhỏ, được thể hiện trên đồ thị Hình 5. Ngoài ra, hàm lượng cốt sợi thép cao sẽ làm tăng độ dẻo cho kết cấu, điều này được thấy rõ miền làm việc BC của nhóm mẫu dầm 2 nhiều hơn so với nhóm mẫu dầm 1. Điểm C ứng với thời điểm bê tông vùng nén bị ép vỡ, cho phép xác định tải trọng cực hạn gây phá hoại dầm,  $P_{ul}$ .

Bảng 3. Đặc trưng cơ lý của cốt sợi thép trong nghiên cứu

Mẫu thí nghiệm	Tải trọng nứt đầu tiên $P_n$ (kN)	Tải trọng cốt thép bị chảy dẻo $P_{pl}$ (kN)	Tải trọng phá hủy mẫu $P_{ul}$ (kN)	Tải trọng ứng với độ võng cho phép $[f] = L/150$	Độ võng $f_{max}$ (mm)
D1-1	16.40	49.10	53.30	52.88	16.5
D1-2	17.60	49.40	52.68	50.58	16.3
D2-1	18.10	52.40	57.50	57.58	16.0
D2-2	17.80	51.80	56.10	55.48	15.1

### 2.3.2. Quan hệ tải trọng và biến dạng của bê tông trên các mẫu thí nghiệm

Trên Hình 5 trình bày các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của bê tông vùng kéo và vùng nén ( $P - \epsilon$ ) trên 04 mẫu dầm thí nghiệm. Có thể nhận thấy, trong giai đoạn đầu làm việc của dầm khi dầm chưa có vết nứt (ứng với tải trọng nhỏ), giá trị biến dạng nén của bê tông trên các mẫu dầm là không có sự thay đổi nhiều, giá trị biến dạng kéo của bê tông trên các mẫu dầm ứng với cùng một giá trị tải trọng là không có sự khác biệt lớn. Như vậy, hàm lượng cốt sợi thép tăng lên không ảnh hưởng nhiều đến ứng suất kéo trong bê tông của kết cấu BTCT. Khi dầm xuất hiện vết nứt, với cùng một giá trị tải trọng thì biến dạng nén của bê tông của các mẫu dầm D1-1, D1-2 nhiều hơn so với 02 mẫu dầm D2-1, D2-2. Tại thời điểm biến dạng nén của bê tông đạt 2‰, giá trị tải trọng tác dụng lên nhóm dầm 1 (D1-1, D1-2) lần lượt là 50kN, 49.4kN (có giá trị tải trọng trung bình là 49.7kN), nhóm dầm 2 (D2-1, D2-2) lần lượt là 55.3kN, 54.4kN (có giá trị tải trọng trung bình là 54.9kN), khi đó tỷ số tải trọng của nhóm dầm 2 so với nhóm dầm 1 là 1.11 lần, điều này cho thấy cốt sợi trong bê tông có hiệu quả đến sự làm việc của dầm sau

khí dầm bị nứt, khi hàm lượng cốt sợi trong bê tông tăng lên thì làm giảm biến dạng nén trong bê tông vùng nén, tăng khả năng chịu lực của kết cấu dầm BTCT.

### 2.3.3. Sự phân bố và phát triển vết nứt trên các mẫu dầm

Trên Hình 6, trình bày sơ đồ vết nứt trên các mẫu dầm thí nghiệm dưới tác dụng của tải trọng thí nghiệm. Nhận thấy số lượng vết nứt trên nhóm mẫu dầm 2 (D2-1, D2-2) nhiều hơn so với nhóm mẫu dầm 1 (D1-1, D1-2). Cơ chế hình thành vết nứt do có sự truyền lực từ thép sang bê tông, làm cho ứng suất trong bê tông tăng dần. Tại tiết diện mà ứng suất kéo trong bê tông vượt qua khả năng chịu kéo của bê tông thì vết nứt sẽ xuất hiện. Như vậy, đối với dầm BTCT sử dụng bê tông có hàm lượng cốt sợi thép lớn hơn sẽ phân tán vết nứt đều hơn.

Bề rộng vết nứt N1 trên các mẫu dầm thí nghiệm đã được tiến hành đo đạc dưới tác dụng của tải trọng (Hình 6). Trên Hình 6, trình bày các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và bề rộng vết nứt trên 02 nhóm mẫu dầm thí nghiệm. Từ đồ thị nhận thấy, tại một cấp tải trọng thì bề rộng vết nứt của nhóm mẫu dầm 2 (D2-1, D2-2) nhỏ hơn so với nhóm mẫu dầm 1 (D1-1, D1-2). Sau giai đoạn cốt thép chảy dẻo, bề rộng vết nứt của nhóm mẫu dầm 1 tăng lên rất nhanh so với nhóm mẫu dầm 2, điều này được giải thích cốt sợi có hiệu quả trong việc khâu lại các vết nứt, làm giảm sự phát triển của bề rộng vết nứt, nên khi hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông càng cao thì càng ngăn cản sự phát triển của bề rộng vết nứt. Tại tải trọng phá hủy mẫu ( $P_{ul}$ ) bề rộng vết nứt trung bình của nhóm mẫu 1 và nhóm mẫu 2 lần lượt là 1.67 mm và 0.46mm (có tỷ số là 3.63 lần). Tại bề rộng vết nứt cho phép  $acrc = 0.3mm$  [10], nhận thấy giá trị tải trọng tác dụng lên nhóm mẫu dầm 1 (D1-1, D1-2) lần lượt là 48.89kN, 49.00kN (có giá trị tải trọng trung bình là 48.95kN), nhóm dầm 2 (D2-1, D2-2) lần lượt là 56.0kN, 55.5kN (có giá trị trung bình 55.75kN), khi đó tỷ số tải trọng của nhóm mẫu dầm 2 so với nhóm mẫu dầm 1 là 1.14 lần. Như vậy, khi hàm lượng cốt sợi thép tăng lên thì có hiệu quả trong việc tăng khả năng chịu lực và hạn chế sự phát triển của bề rộng vết nứt trên các cấu kiện dầm BTCT chịu uốn.

## 3. Kết luận

Nội dung bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép đến ứng xử làm việc của dầm BTCT sử dụng bê tông cốt sợi thép. Dựa trên kết quả thu được từ nghiên cứu thực nghiệm trong phạm vi các mẫu dầm nghiên cứu cho phép rút ra các kết luận sau đây:

- Dầm BTCT sử dụng bê tông cốt sợi thép có hàm lượng cốt sợi thép tăng sẽ làm tăng độ cứng của dầm nên độ võng

(xem tiếp trang 74)

như giá trị cường độ chịu nén trung bình khi sử dụng súng bột nẩy 25.2MPa. Rõ ràng kết quả này có hệ số an toàn cao hơn các phương pháp khác.

#### 4. Kết luận

Kết hợp phương pháp khoan lấy mẫu đồng thời với phương pháp siêu âm xác định các vị trí có vận tốc xung siêu âm đạt gần giá trị thấp nhất, từ đó sử dụng súng bột nẩy và tiến hành khoan lấy mẫu bê tông tại các vị trí đó, sẽ giúp giảm thiểu số lượng lõi khoan xuống tối thiểu 3 mẫu. Đối kết cấu tường chắn ở trên, nếu như chỉ lấy kết quả 3 mẫu khoan M2, M3, M4 trên bản mặt cầu, hoàn toàn có xác định gần đúng cường độ chịu nén bê tông hiện trường của kết cấu với độ an toàn cao. Các bước thực hiện như vậy vừa tránh ảnh hưởng đến kết cấu vừa đánh giá đúng được cường độ bê tông. Tiêu chuẩn EN 13791:2020 có khuyến nghị nên xem

xét khoan 3 mẫu xác định cường độ chịu nén của bê tông trở lên, còn như đã phân tích lý thuyết độ tin cậy trong bảng 3.3 của bài báo [1] thì với số lượng mẫu từ 3 mẫu trở lên có thì độ tin cậy hay suất đảm bảo P của sê-ri mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông đạt giá trị từ 92.74%. Nếu không có sự nghi ngờ về kết quả thí nghiệm thì không nên khoan quá nhiều mẫu, bởi điều đó dễ dẫn đến giảm khả năng chịu lực và tuổi thọ của kết cấu.

Việc xác định cường độ chịu nén của bê tông theo tiêu chuẩn EN 13791:2020 có thể giúp hạn chế số lượng lõi khoan xuống mức thấp nhất, nhưng vẫn đảm bảo được các yêu cầu về tính an toàn với độ tin cậy cao, giúp cho việc kiểm soát chất lượng các công trình mới thi công được toàn diện. Vì vậy cần nghiên cứu xây dựng Tiêu chuẩn Việt Nam trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn EN 13791:2020./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Lê Văn Mạnh, Nguyễn Văn Vi, Phân tích đánh giá cường độ chịu nén hiện trường của bê tông có xét tới số lượng mẫu thí nghiệm phục vụ tính toán khả năng chịu lực của các công trình cầu cũ, Tạp chí Giao thông vận tải, số 8/2020, tr.71-76 ;
2. TCVN 12252: 2020, Phương pháp xác định cường độ bê tông trên mẫu lấy từ kết cấu.
3. TCVN 3118:1993, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén ;
4. TCVN 12252: 2020 – “Bê tông – Phương pháp xác định cường độ bê tông trên mẫu lấy từ kết cấu” ;
5. TCVN 9357: 2012 Bê tông nặng – Phương pháp thử không phá hủy - Đánh giá chất lượng bê tông bằng vận tốc xung siêu âm ;
6. TCVN 9334:2012 Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén bằng súng bột nẩy ;
7. ASTM C42/C42M-13, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete ;
8. EN 13791-2020, Assessment of in situ compressive strength in structures and precast concrete components. European Standard.

## Ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông...

(tiếp theo trang 51)

của dầm giảm, hạn chế độ mở rộng của bề rộng vết nứt, phân tán vết nứt nhiều hơn, góp phần đảm bảo phần nào tính liên tục của kết cấu thông qua việc truyền lực qua vết nứt trên dầm. Tỷ số giữa giá trị tải trọng tác dụng của nhóm mẫu dầm 2 so với nhóm mẫu dầm 1 tại thời điểm ứng với độ võng cho phép là 1.10 lần.

- Hàm lượng cốt sợi trong bê tông từ 0.4% tăng đến 0.6% theo thể tích, không làm cải thiện ứng suất kéo trong bê tông. Tuy nhiên góp phần tăng sự làm việc của bê tông vùng nén. Tỷ số giữa giá trị tải trọng tác dụng của nhóm mẫu dầm 2 so với nhóm mẫu dầm 1 tại thời điểm ứng với biến dạng nén trong bê tông đạt 2‰ là 1.11 lần;

- Khi thay đổi hàm lượng cốt sợi thép trong bê tông từ 0.4% lên 0.6% theo thể tích, thì có sự thay đổi về khả năng kháng nứt, tuy nhiên sự thay đổi là không nhiều. Tại bề rộng vết nứt cho phép trên dầm là  $a_{cr} = 0.3 \text{ mm}$ , thì tỷ số tải trọng tác dụng lên nhóm mẫu dầm 2 so với nhóm mẫu dầm 1 là 1.14 lần.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng ứng dụng của cốt sợi thép trong việc đảm bảo trạng thái giới hạn thứ 2 của kết cấu BTCT. Cần mở rộng nghiên cứu cho dầm bê tông cốt thép sử dụng hàm lượng cốt sợi thép cao hơn dưới tác dụng của tải trọng tĩnh cũng như chịu tác dụng của tải trọng môi (lập) để hiểu rõ thêm vai trò hiệu quả của cốt sợi thép trong thực tế./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Phan Quang Minh và các tác giả. Kết cấu Bê tông cốt thép. Phần cấu kiện cơ bản. Nhà xuất bản KHKT, Hà Nội, 2013.
2. ACI 544.1R. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American concrete Institute, ACI Committee 544, 2002.
3. Nguyễn Trung Hiếu. Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông cốt thép sử dụng bê tông cốt sợi thép. Tạp chí Xây dựng Việt Nam ISSN 0866 - 8762, 85-87, 2015.
4. Đặng Văn Phú. Nghiên cứu sự làm việc của bê tông cốt sợi. Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường ISSN 1859-3941, 98-105, 2018.
5. Vicente, Miguel A., Gonzalo Ruiz, Dorys C. González, Jesús Mínguez, Manuel Tarifa, and Xiaoxin Zhang. Ct-Scan Study of Crack Patterns of Fiber-Reinforced Concrete Loaded Monotonically and under Low-Cycle Fatigue. International Journal of Fatigue, 138-147, 2018.
6. Arnon Bentur and Sidney Mindess. Fiber reinforced cementitious Composites, Second edition, Taylor and Francis, London and New York, 2007.
7. C.D.Johnston. Steel fiber reinforced mortar and concrete, A review of mechanical properties. In fiber reinforced concrete ACI – SP 44 – Detroit, 1974.
8. EN:14651. Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength” (limit of proportionality (LOP), residual), 2005.
9. SFRC Consortium. Design guideline for structural applications of steel fiber reinforced concrete, 2014.
10. TCVN 5574. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, 2018.