

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ UỐN CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP CHẾ TẠO BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢI POLYPROPYLENE

Dương Xuân Hải<sup>a</sup>, Nguyễn Đại Dương<sup>a</sup>, Bùi Đức Huy<sup>a</sup>, Hoàng Đức Huy<sup>a</sup>,  
Mai Phi Khanh<sup>a</sup>, Nguyễn Trung Hiếu<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 09/10/2024, Sửa xong 18/11/2024, Chấp nhận đăng 19/11/2024

## Tóm tắt

Nội dung bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc chịu uốn của dầm bê tông cốt thép (BTCT) chế tạo bằng bê tông cốt sợi polypropylene (PP). 5 mẫu dầm BTCT có cùng kích thước hình học, cấu tạo cốt thép được chế tạo. 1 dầm được chế tạo bằng bê tông nặng thông thường, không có cốt sợi PP là dầm đối chứng. 4 dầm còn lại được chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP, trong đó 2 dầm có hàm lượng cốt sợi bằng 0,5%, 2 dầm có hàm lượng cốt sợi bằng 1,0% (theo thể tích). Kết quả thí nghiệm uốn cho thấy: (1) ứng xử uốn của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP với hàm lượng bằng 0,5% và 1,0% không có sự khác biệt đáng kể; (2) cốt sợi PP có vai trò rõ rệt trong việc hạn chế sự phát triển vết nứt, qua đó tăng độ cứng và khả năng chịu lực của dầm.

*Từ khóa:* sợi polypropylene; dầm bê tông cốt thép; ứng xử uốn; nứt; độ cứng.

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS USING POLYPROPYLENE FIBRE-REINFORCED CONCRETE

### Abstract

This paper presents an experimental study on the flexural behavior of reinforced concrete (RC) beams using polypropylene fiber-reinforced concrete (PPRC). Five RC beam specimens with the same geometrical dimensions and reinforcement detailing were cast. One beam made with normal concrete is referred to as the control specimen. Four RC beams were made with PPRC: two RC beams had a polypropylene (PP) fiber content of 0.5%, and the other two had a PP fiber content of 1.0% (by volume). The results obtained from the bending tests on the RC beam specimens showed that: (1) the flexural behavior of RC beams made with PPRC with a fiber content of 0.5 and 1.0% exhibited no significant difference; (2) PP fibers play an important role in limiting crack development, thereby increasing the stiffness and load-bearing capacity of the beams.

*Keywords:* polypropylene fiber; RC beams; flexural behavior; cracking; stiffness.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(4V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(4V)-08) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Đặt vấn đề

Bê tông cốt sợi được tạo thành bằng cách bổ sung cốt sợi phân tán trong thành phần vật liệu chế tạo bê tông. Các nghiên cứu thu được đã cho thấy sử dụng cốt sợi phân tán góp phần cải thiện một số đặc trưng cơ học của bê tông và ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) chế tạo bằng bê tông cốt sợi. Có nhiều loại cốt sợi được sử dụng trong chế tạo bê tông như cốt sợi thép, sợi bazan, sợi thủy tinh, sợi polypropylene, ... trong đó các nghiên cứu tập trung chủ yếu vào bê tông cốt sợi thép [1–4] hoặc cốt sợi thép được trộn lẫn với các loại cốt sợi khác. Nhờ đặc tính của cốt sợi, bê tông cốt sợi cho thấy nhiều đặc điểm cơ học được cải thiện so với bê tông nặng thông thường như khả năng hạn chế

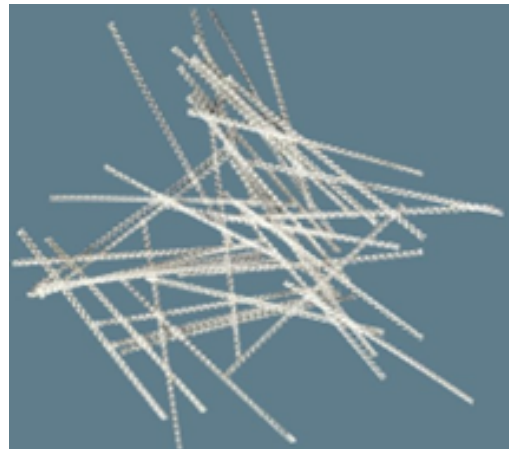
\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [hieunt@huce.edu.vn](mailto:hieunt@huce.edu.vn) (Hiếu, N. T.)

sự phát triển của vết nứt thông qua việc phân tán các vết nứt, sự làm việc sau khi bê tông bị nứt tốt hơn do cốt sợi có thể “truyền lực” qua vết nứt [1–5].

Sợi polypropylene (sợi PP) là một dạng chất nhựa polymer được hình thành qua phản ứng trùng hợp propylene. Sợi PP có các kích thước đường kính, chiều dài và hình dạng khác nhau như minh họa trên Hình 1 [5]. Sợi PP dạng tơ, mảnh thường được sử dụng trộn với vữa trát hoặc sử dụng trong các lớp bê tông mỏng để hạn chế tình trạng nứt. Sợi PP dạng thanh với chiều dài thay đổi từ 2 cm đến 6 cm thường được trộn cùng với bê tông trong chế tạo các cấu kiện BTCT. Các ứng dụng sợi PP dạng thanh trong chế tạo bê tông thường hướng tới hai mục tiêu: (1) hạn chế tình trạng nứt trên cấu kiện bê tông và (2) sử dụng sợi PP để tạo thành các đường thoát nhiệt trong bê tông khi xảy ra hỏa hoạn (sợi PP bị nóng chảy tạo thành các đường rỗng trong bê tông) qua đó hạn chế nguy cơ phá hủy bê tông do nhiệt.



(a) Sợi PP dạng tơ, mảnh



(b) Sợi PP dạng thanh

Hình 1. Một số dạng sợi PP điển hình

Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP là một nội dung nghiên cứu nhận được khá nhiều quan tâm. Yousefi và cs. [6] đã nghiên cứu sự làm việc chịu uốn của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy sự có mặt của sợi PP cải thiện khả năng chịu uốn của dầm. Wu [7] tiến hành thí nghiệm sự làm việc của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP với hàm lượng sợi bằng 0,2; 0,5; 1,0 và 1,5% theo thể tích. Kết quả thu được cho thấy hiệu quả của sợi PP góp phần cải thiện khả năng chịu uốn của dầm. Ababned và cs. [8] đã nghiên cứu sự làm việc chịu cắt của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông nhẹ có cốt sợi PP. Ba hàm lượng sợi PP được nghiên cứu, lần lượt bằng 0,33; 0,55 và 0,77%. Kết quả thu được cho thấy khả năng chịu cắt của dầm tăng tỷ lệ với mức độ tăng hàm lượng cốt sợi PP. Bên cạnh đó, độ cứng và độ dẻo của dầm cũng được cải thiện nhờ sự tham gia làm việc của sợi PP. Conforti và cs. [9] nghiên cứu ảnh hưởng của sợi PP đến khả năng chịu cắt của dầm bê tông BTCT với các tỷ số giữa nhịp chịu cắt và chiều cao làm việc của tiết diện dầm ( $a/d$ ) thay đổi. Những kết quả thu được cho thấy rõ ảnh hưởng của cốt sợi PP đến ứng xử cắt của dầm BTCT chế tạo bằng loại vật liệu này. Sasaki và cs. [10] nghiên cứu ứng xử uốn của mặt đường bê tông chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP. Với hàm lượng sợi PP sử dụng bằng 1,3% thể tích bê tông, sự có mặt của sợi PP cải thiện khả năng chịu uốn, hạn chế sự mở rộng vết nứt đồng thời tăng độ dẻo của mặt đường bê tông. Những kết quả nghiên cứu từ một số tác giả khác [11, 12] cho thấy các thông số như kích thước hình học, đặc trưng cơ lý và hàm lượng sợi PP là những thông số cần được quan tâm nghiên cứu khi áp dụng loại sợi này trong chế tạo bê tông.

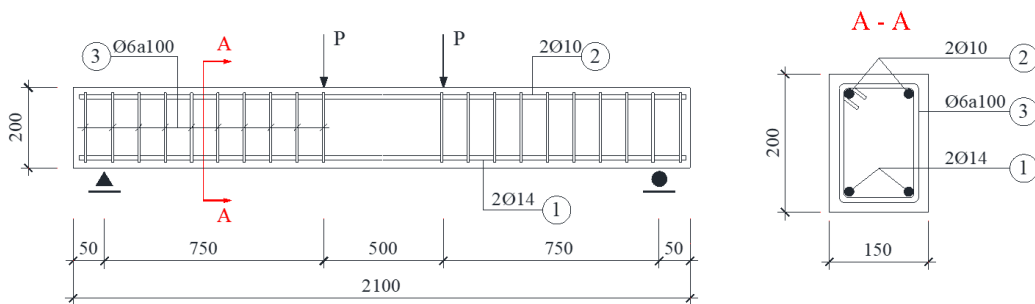
Hiện nay, những nghiên cứu về ứng dụng bê tông cốt sợi PP cho các cấu kiện BTCT còn hạn chế ở nước ta. Việc nghiên cứu đánh giá hiệu quả của dạng sợi này cho cấu kiện BTCT là cần thiết, làm cơ sở cho việc áp dụng trong thực tiễn xây dựng. Trong phạm vi bài báo này, sự làm việc chịu uốn của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP được nghiên cứu. Loại sợi PP sử dụng có dạng thẳng, chiều dài 60 mm với hàm lượng sử dụng bằng 0,5 và 1,0% (theo thể tích). Nghiên cứu tập trung vào đánh giá hiệu quả của sợi PP trong việc hạn chế sự hình thành và phát triển vết nứt, cải thiện khả năng chịu lực của dầm. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm và Kiểm định công trình, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

## 2. Nghiên cứu thực nghiệm

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

Trong nghiên cứu này, 5 mẫu dầm BTCT có cùng kích thước hình học được chế tạo. Các mẫu dầm có chiều dài 2100 mm, kích thước tiết diện ngang  $b \times h = 150 \times 200$  mm và được chế tạo với cùng một loại bê tông. Các mẫu dầm có cùng cấu tạo cốt thép, trong đó cốt thép dọc ở đáy dầm bố trí 2Ø14, ở vùng chịu nén bố trí 2Ø10, cốt thép đai Ø6a100 bố trí ở hai đầu dầm. Việc bố trí và cấu tạo cốt thép tuân thủ theo chỉ dẫn trong tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [13]. Chi tiết kích thước hình học và cấu tạo cốt thép của các mẫu dầm thí nghiệm được trình bày ở Hình 2.

Trong số 5 mẫu dầm thí nghiệm, 1 mẫu dầm chế tạo bằng bê tông nặng thông thường không có cốt sợi, ký hiệu B-C-0, là dầm đối chứng. 4 mẫu dầm còn lại được chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP với hàm lượng sợi PP sử dụng lần lượt là 0,5 và 1,0% theo thể tích. Hai dầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP hàm lượng 0,5% được ký hiệu là B-P-0.5-1 và B-P-0.5-2. Hai dầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP hàm lượng 1,0% được ký hiệu là B-P-1-1 và B-P-1-2. Việc lựa chọn hai hàm lượng sợi như trên dựa trên các nghiên cứu đã được thực hiện [14–17] trong đó việc giới hạn hàm lượng sợi không vượt quá 1,0% nhằm đảm bảo tính công tác của bê tông.



Hình 2. Chi tiết kích thước hình học và cấu tạo cốt thép các mẫu dầm thí nghiệm

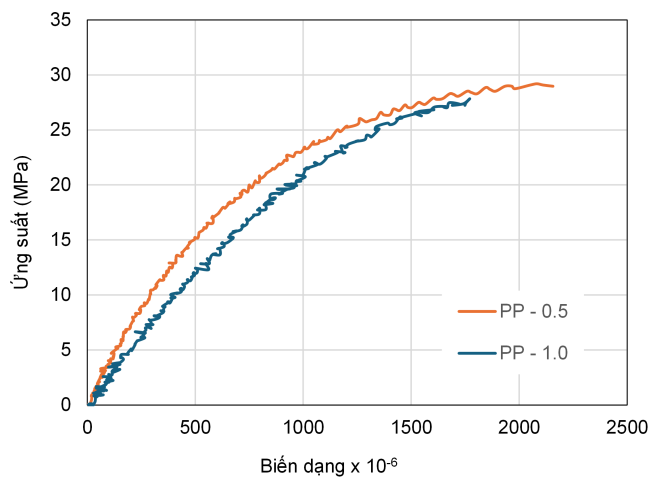
Trên Bảng 1 giới thiệu thành phần cấp phối vật liệu chế tạo bê tông dùng cho các mẫu dầm thí nghiệm. Cấp phối PP-0 dùng chế tạo mẫu dầm đối chứng, cấp phối PP-0.5 và PP-1.0 lần lượt sử dụng cho chế tạo các mẫu dầm với bê tông có hàm lượng sợi 0,5 và 1,0%.

Bảng 1. Thành phần cấp phối vật liệu chế tạo 1 m<sup>3</sup> bê tông

| Tên cấp phối | Xi măng<br>PCB 30 (kg) | Cát vàng<br>(kg) | Đá dăm 1 × 2<br>(kg) | Nước<br>(kg) | Sợi PP<br>(%) | Cường độ<br>chịu nén R28 (MPa) |
|--------------|------------------------|------------------|----------------------|--------------|---------------|--------------------------------|
| PP-0         | 390                    | 680              | 1210                 | 185          | 0             | 25,6                           |
| PP-0.5       | 390                    | 680              | 1210                 | 185          | 0,5           | 29,9                           |
| PP-1.0       | 390                    | 680              | 1210                 | 185          | 1,0           | 23,7                           |

Giá trị cường độ chịu nén của bê tông chế tạo theo 3 cấp phối nêu trên được xác định thông qua thí nghiệm nén xác định cường độ chịu nén của bê tông, thực hiện trên 3 mẫu thử hình trụ  $D \times H = 150 \times 300$  mm đối với mỗi cấp phối ở tuổi 28 ngày. Các mẫu này được đúc cùng với thời điểm tiến hành đổ bê tông các mẫu đầm. Giá trị cường độ chịu nén trình bày trong Bảng 1 là giá trị cường độ nén trung bình của 3 mẫu thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm trình bày ở Bảng 1 cho thấy khi hàm lượng sợi sử dụng bằng 1,0% thì cường độ chịu nén của bê tông giảm. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả thu được từ một số nghiên cứu khác [14, 16]. Khi hàm lượng sợi PP cao có thể dẫn đến làm tăng độ rỗng của bê tông, dẫn đến làm giảm cường độ chịu nén của mẫu thử bê tông.

Bên cạnh thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, đã tiến hành thí nghiệm xác định quan hệ ứng suất và biến dạng của bê tông cốt sợi PP. Các mẫu thí nghiệm có dạng hình trụ tiêu chuẩn  $150 \times 300$  mm, được đúc cùng với quá trình chế tạo các mẫu đầm. Trên Hình 3 trình bày quan hệ ứng suất - biến dạng thu được trên 2 loại bê tông sử dụng hàm lượng sợi 0,5 và 1,0%. Kết quả thu được trên Hình 3 là giá trị trung bình cộng của kết quả thí nghiệm được thực hiện trên 2 mẫu thí nghiệm đối với mỗi cấp phối bê tông. Với hàm lượng sợi PP bằng 0,5 và 1,0%, biến dạng cực hạn của bê tông cốt sợi PP lần lượt là  $2200 \times 10^{-6}$  và  $1700 \times 10^{-6}$ . Đồng thời, căn cứ vào độ dốc của hai biểu đồ có thể nhận thấy mô đun đàn hồi của bê tông với 1,0% sợi PP thấp hơn so với bê tông sử dụng hàm lượng sợi PP bằng 0,5%.



Hình 3. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông cốt sợi PP nghiên cứu

Đối với vật liệu sợi PP sử dụng trong nghiên cứu, các đặc trưng cơ lý của sợi được trình bày ở Bảng 2 (số liệu do nhà sản xuất cung cấp). Hình ảnh của sợi PP sử dụng trong nghiên cứu này được minh họa ở Hình 1(b).

Bảng 2. Đặc trưng cơ lý của sợi PP [18]

| Chiều dài<br>(mm) | Đường kính<br>(mm) | Cường độ chịu kéo<br>(MPa) | Mô đun đàn hồi<br>(MPa) | Dung trọng riêng<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| 60                | 0,6                | 550                        | 9000                    | 0,91                                     |

Cốt thép chịu lực  $\varnothing 14$  được tiến hành thí nghiệm kéo nhằm xác định cường độ chịu kéo. Kết quả thí nghiệm thu được từ 3 mẫu thép thí nghiệm cho thấy cốt thép  $\varnothing 14$  sử dụng trong nghiên cứu này có giới hạn chảy bằng 430 MPa.

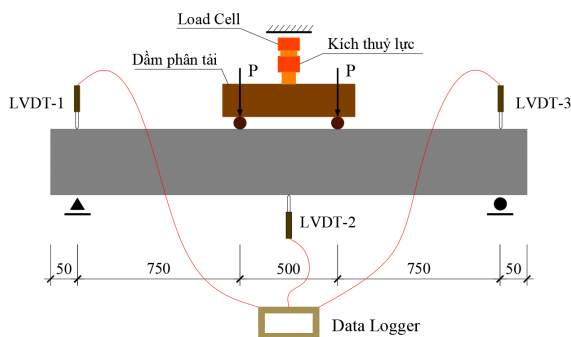
## 2.2. Sơ đồ thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

Trên Hình 4 trình bày sơ đồ thí nghiệm các mẫu đầm làm việc chịu uốn, với nhịp làm việc bằng 2000 mm. Các mẫu đầm chịu tác dụng của 2 tải trọng tập trung  $P$  đặt cách gối tựa mỗi bên bằng 750 mm. Khoảng cách giữa hai tải trọng tập trung (đoạn đầm chịu uốn thuần túy) bằng 500 mm. Sử dụng kích thủy lực, trạm bơm dầu và dầm phân tải để tạo ra 2 tải trọng tập trung  $P$  có cùng giá trị. Giá trị tải trọng do kích thủy lực tạo ra ( $2P$ ) tác dụng lên đầm được xác định thông qua dụng cụ đo lực điện tử (Load cell). Để đo chuyển vị của đầm dưới tác dụng của tải trọng, sử dụng 3 thiết bị đo chuyển vị điện tử, ký hiệu LVDT-1, LVDT-2 và LVDT-3, bố trí ở hai gối tựa và ở tiết diện giữa đầm. Từ số đo trên 3 thiết bị đo này cho phép xác định độ võng lớn nhất ở tiết diện giữa đầm, ký hiệu  $f$ , theo công thức sau đây:

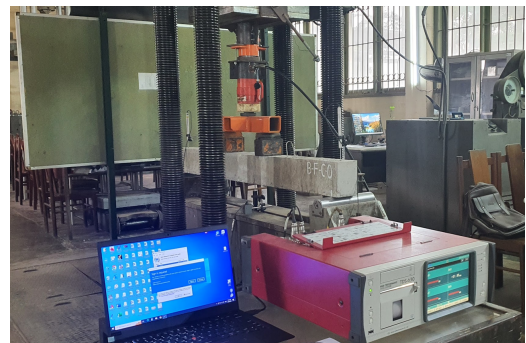
$$f = f_2 - \frac{f_1 + f_3}{2} \quad (1)$$

trong đó  $f_1, f_2$  và  $f_3$  lần lượt là giá trị chuyển vị đo được từ các dụng cụ đo LVDT-1, LVDT-2 và LVDT-3.

Các dụng cụ đo lực, đo chuyển vị được kết nối với bộ thu thập và xử lý số liệu TDS 630 (do hãng Tokyo Sokki của Nhật Bản sản xuất) cho phép ghi nhận tự động và đồng thời các số liệu thí nghiệm (01 giây/lần ghi).



Hình 4. Sơ đồ thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

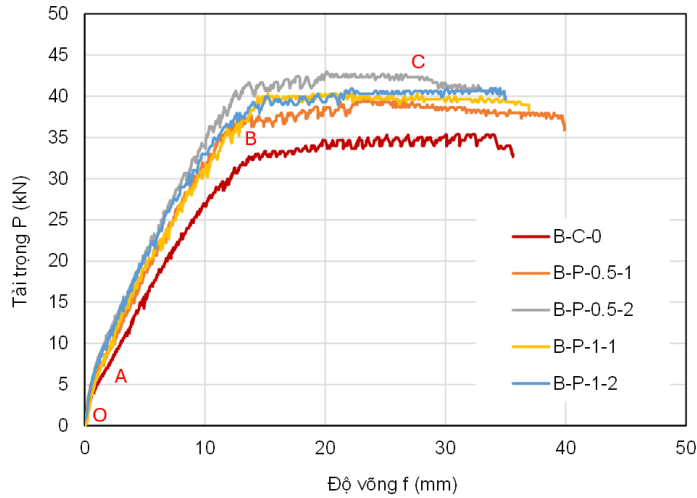


Hình 5. Hình ảnh thí nghiệm đang tiến hành

## 3. Phân tích và đánh giá kết quả

### 3.1. Quan hệ tải trọng - độ võng của các mẫu thí nghiệm

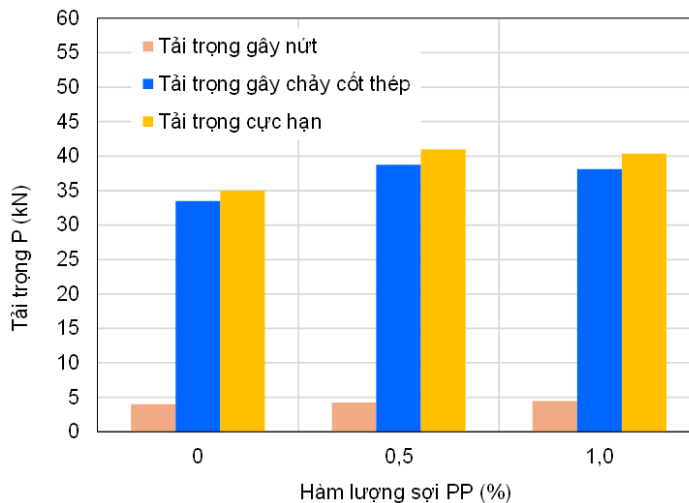
Trên Hình 6 trình bày biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng ( $P-f$ ) của 5 mẫu đầm thí nghiệm. Kết quả cho thấy, sự làm việc của mẫu đầm đối chứng và các mẫu đầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP đều gồm ba giai đoạn cơ bản: giai đoạn trước khi đầm xuất hiện vết nứt (O-A), giai đoạn phát triển vết nứt (A-B) và giai đoạn làm việc của bê tông vùng nén sau khi cốt thép bị chảy dẻo (B-C). Các giá trị tải trọng đặc trưng cho sự làm việc của các mẫu đầm như tải trọng gây nứt, tải trọng gây chảy cốt thép, tải trọng cực hạn (tải trọng lớn nhất) gây phá hoại đầm được xác định từ các biểu đồ trên Hình 6 và được trình bày tổng hợp ở Bảng 3. Hình 7 so sánh sự thay đổi các giá trị tải trọng đặc trưng của các mẫu đầm theo hàm lượng sợi PP. Tải trọng gây nứt  $P_n$  và gây chảy dẻo cốt thép  $P_{ch}$  lần lượt được xác định tương ứng với thời điểm thay đổi độ dốc lần thứ nhất (điểm A) và lần thứ hai (điểm B) của biểu đồ  $P-f$ . Tải trọng cực hạn  $P_{max}$  được xác định tại thời điểm bê tông vùng nén bị ép vỡ và tải trọng tác dụng lên đầm bắt đầu giảm.



Hình 6. Quan hệ tải trọng - độ võng của các mẫu thí nghiệm

Bảng 3. Các giá trị tải trọng đặc trưng của các mẫu đầm thí nghiệm

| Tên đầm   | Tải trọng gây nứt $P_n$ (kN) | Tải trọng gây chảy dẻo cốt thép $P_{ch}$ (kN) | Tải trọng phá hoại $P_{max}$ (kN) | Mức độ tăng tải trọng cực hạn (%) |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| B-C-0     | 4,0                          | 33,5                                          | 35,0                              | 0                                 |
| B-P-0.5-1 | 4,0                          | 37,0                                          | 40,0                              | 14,3%                             |
| B-P-0.5-2 | 4,5                          | 40,5                                          | 42,0                              | 20,0%                             |
| B-P-1-1   | 4,3                          | 37,8                                          | 40,2                              | 14,9%                             |
| B-P-1-2   | 4,6                          | 38,4                                          | 40,5                              | 15,7%                             |



Hình 7. Quan hệ giữa các giá trị tải trọng đặc trưng và hàm lượng cốt sợi PP

Dựa vào đồ thị quan hệ tải trọng - độ võng ở giai đoạn OA và giá trị tải trọng gây nứt được trình bày ở Bảng 3 cho thấy tải trọng gây nứt đầm sử dụng hàm lượng cốt sợi PP 0,5% và 1,0% lần lượt tăng 6,25% và 11,25% so với tải trọng gây nứt đầm đối chứng. Có thể thấy, sự có mặt của sợi PP góp phần làm chậm sự hình thành vết nứt trên các mẫu đầm. Ở giai đoạn làm việc sau khi xuất hiện vết



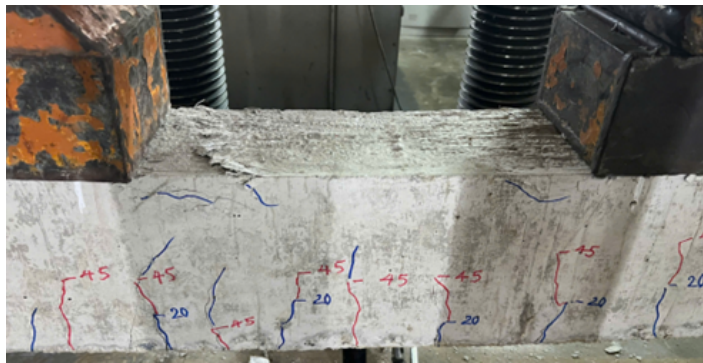
nút, cùng một giá trị tải trọng thì độ võng của dầm B-C-0 lớn hơn so với các mẫu dầm B-P. Dựa trên độ dốc của biểu đồ  $P-f$ , có thể thấy độ cứng của các mẫu dầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP cao hơn so với mẫu dầm đối chứng. Kết quả này cho thấy sự tham gia làm việc của sợi PP trong việc hạn chế độ võng của dầm.

Thông qua các biểu đồ  $P-f$  và các giá trị tải trọng đặc trưng nêu trên, có thể thấy sự làm việc chịu uốn của các mẫu đầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP với hàm lượng sợi 0,5 và 1,0% không có sự khác biệt đáng kể ở cả 3 giai đoạn làm việc trước khi xuất hiện vết nứt, giai đoạn vết nứt phát triển và sau khi cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo.

Bên cạnh đó, có thể thấy tải trọng gây chảy dẻo cốt thép của 2 mẫu dầm B-P-0.5-1 và B-P-0.5-2 có sự chênh lệch. Kết quả này một lần nữa cho thấy cần lưu ý trong việc đảm bảo sự phân tán đồng đều của sợi PP trong hỗn hợp bê tông.

### 3.2. Tình trạng nứt và cơ chế phá hoại

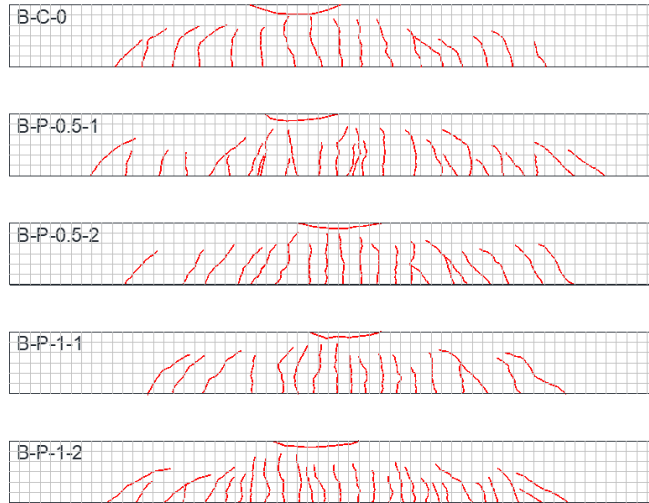
Trên Hình 8 trình bày minh họa hình ảnh khảo sát các vết nứt xuất hiện trên dầm bê tông cốt sợi PP ở vùng uốn thuần túy (nằm giữa hai tải trọng tập trung). Các vết nứt phát triển vuông góc với trục dầm và dầm bị phá hoại khi cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo và bê tông vùng nén bị ép vỡ.



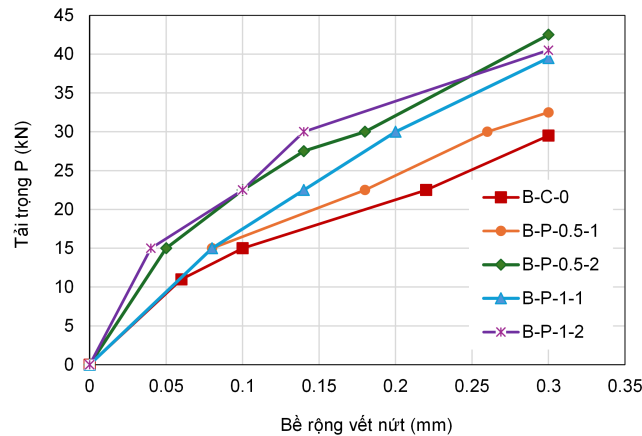
Hình 8. Hình ảnh minh họa tình trạng nứt trên dầm thí nghiệm B-P-0.5-1

Trên Hình 9 trình bày kết quả khảo sát tình trạng nứt trên 5 mẫu đầm thí nghiệm. Có thể nhận thấy với các đầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP, số lượng vết nứt nhiều hơn và khoảng cách vết nứt nhỏ hơn so với mẫu đầm đối chứng. Kết quả này phản ánh sự tham gia của sợi PP trong việc phân tán các vết nứt trên đầm. Như vậy, so với hiệu quả của sợi thép khi sử dụng cho cấu kiện chịu uốn thì sợi PP sử dụng trong nghiên cứu này cũng thể hiện rõ được hiệu quả trong việc hạn chế tình trạng nứt trên đầm.

Hình 10 trình bày biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và bề rộng vết nứt lớn nhất xuất hiện trên của các mẫu đầm thí nghiệm. Ở mỗi mẫu đầm thí nghiệm, lựa chọn 1 vết nứt xuất hiện đầu tiên và có bề rộng lớn nhất để theo dõi sự phát triển vết nứt khi có sự gia tăng tải trọng. Với cả 5 mẫu đầm thí nghiệm, vết nứt này đều nằm trong vùng uốn thuần tuý ở giữa hai tải trọng tập trung. Việc đo đạc bề rộng vết nứt được thực hiện bằng thiết bị đo quang học có độ khuếch đại 100 lần, cho phép đo được bề rộng vết nứt nhỏ nhất bằng 0,01 mm. Kết quả thu được cho thấy, với các mẫu đầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP, sự mở rộng vết nứt chậm hơn so với mẫu đầm đối chứng. Cùng một giá trị tải trọng thì bề rộng vết nứt trên đầm đối chứng có giá trị lớn hơn. Sự phát triển bề rộng của vết nứt trên các mẫu đầm bê tông cốt sợi PP cũng không cho thấy sự khác biệt về ảnh hưởng của hàm lượng sợi 0,5 và 1,0% đối với thông số này.



Hình 9. Sơ đồ vết nứt xuất hiện trên các mẫu đầm thí nghiệm



Hình 10. Quan hệ tải trọng - bề rộng vết nứt lớn nhất trên các mẫu đầm thí nghiệm

#### 4. Kết luận

Nội dung bài báo trình bày một nghiên cứu thực nghiệm về sử dụng sợi PP trong chế tạo bê tông sử dụng cho cấu kiện đầm BTCT làm việc chịu uốn. Dựa trên kết quả thu được có thể rút ra những kết luận như sau:

- Đầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP có khả năng chịu lực cao hơn so với đầm đối chứng. Sự có mặt của sợi PP làm tăng tải trọng gây chảy dẻo cốt thép, qua đó làm tăng tải trọng cực hạn gây phá hoại đầm.

- Sự làm việc chịu uốn của các mẫu đầm chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP, thể hiện qua hệ tải trọng - độ võng, các giá trị tải trọng đặc trưng, sự hình thành và phát triển vết nứt, cho thấy với hàm lượng sợi 0,5 và 1,0% không có sự khác biệt đáng kể ở cả ba giai đoạn làm việc: trước khi xuất hiện vết nứt, giai đoạn vết nứt phát triển và giai đoạn sau khi cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo. Để có thể làm rõ hơn ảnh hưởng của sợi PP đến sự làm việc chịu uốn của đầm BTCT, cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu với dải hàm lượng sợi PP nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0% và tăng số lượng các mẫu đầm thí nghiệm ứng với mỗi cấp phối vật liệu để có thêm các số liệu thống kê nhằm nâng cao hơn nữa độ tin cậy của các kết quả thí nghiệm.



- Tương tự như sợi thép, sợi PP thể hiện được vai trò trong việc phân tán và hạn chế sự mở rộng các vết nứt do mô men uốn gây ra. Kết quả này góp phần làm giảm sự suy giảm độ cứng và tăng khả năng chịu lực của dầm BTCT chế tạo bằng bê tông cốt sợi PP.

Những kết quả thu được từ nghiên cứu này cho thấy việc sử dụng bê tông cốt sợi PP phát huy được ưu điểm của cốt sợi PP trong việc hạn chế sự mở rộng vết nứt trên dầm BTCT. Đây là cơ sở cho việc nghiên cứu ứng dụng sợi PP cho các cấu kiện BTCT chịu uốn làm việc ở khu vực chịu xâm thực, trong đó việc hạn chế sự mở rộng vết nứt trên cấu kiện BTCT có ý nghĩa trong việc làm chậm, hạn chế tình trạng hư hỏng do ăn mòn cốt thép.

## Tài liệu tham khảo

- [1] ACI 544.1R (2002). *State of the art report on fiber reinforced concrete*. American Concrete Institute.
- [2] Bentur, A., Mindess, S. (2006). *Fibre reinforced cementitious composites*. Elsevier Applied Science.
- [3] Thomas, J., Ramaswamy, A. (2007). [Mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(5):385–392.
- [4] Hiếu, N. T. (2014). [Hiệu quả sử dụng cốt sợi thép trong việc hạn chế nứt kết cấu bê tông do biến dạng co ngót](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD)-ĐHXDHN*, 8(5):55–59.
- [5] Do-Dai, T., T. Tran, D., Nguyen-Minh, L. (2021). [Effect of fiber amount and stirrup ratio on shear resistance of steel fiber reinforced concrete deep beams](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE*, 15(2):1–13.
- [6] Yousefi, M., Khandestani, R., Gharaei-Moghaddam, N. (2022). [Flexural behavior of reinforced concrete beams made of normal and polypropylene fiber-reinforced concrete containing date palm leaf ash](#). *Structures*, 37:1053–1068.
- [7] Wu, Y. (2002). [Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams](#). *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 17(2):54–57.
- [8] Ababneh, A., Al-Rousan, R., Alhassan, M., Alqadami, M. (2017). [Influence of synthetic fibers on the shear behavior of lightweight concrete beams](#). *Advances in Structural Engineering*, 20(11):1671–1683.
- [9] Conforti, A., Minelli, F., Tinini, A., Plizzari, G. A. (2015). [Influence of polypropylene fibre reinforcement and width-to-effective depth ratio in wide-shallow beams](#). *Engineering Structures*, 88:12–21.
- [10] Sasaki, T., Higashiyama, H., Mizukoshi, M. (2023). [Flexural behavior and benefits of polypropylene fiber-reinforced concrete for concrete pavement](#). *ACI Materials Journal*, 120(1):219–230.
- [11] Kwak, Y. K., Eberhard, M. O., Kim, W. S., Kim, J. (2002). [Strength of steel fiber-reinforced concrete beams without stirrups](#). *ACI Structural Journal*, 99(4).
- [12] Adhikary, B. B., Mutsuyoshi, H. (2006). [Prediction of shear strength of steel fiber RC beams using neural networks](#). *Construction and Building Materials*, 20(9):801–811.
- [13] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [14] Blazy, J., Blazy, R. (2021). [Polypropylene fiber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces](#). *Case Studies in Construction Materials*, 14:e00549.
- [15] Hải, D. X., Dương, N. Đ., Huy, B. D., Huy, H. D., Khanh, M. P., Hiếu, N. T. (2024). Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử cắt của dầm bê tông cốt thép chế tạo bằng bê tông cốt sợi polypropylene. *Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc kỷ niệm 45 năm thành lập Viện Cơ học*, 88–93.
- [16] Mashrei, M. A., Sultan, A. A., Mahdi, A. M. (2018). Effects of polypropylene fibers on compressive and flexural strength of concrete material. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 9(11):2208–2217.
- [17] Mohebi, Z. H., Bahnamiri, A. B., Dehestani, M. (2019). [Effect of polypropylene fibers on bond performance of reinforcing bars in high strength concrete](#). *Construction and Building Materials*, 215: 401–409.
- [18] <https://gzdymf.en.made-in-china.com/Product-Catalogs/>.