

# Nghiên cứu thực nghiệm phân tích ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thép đã bị nứt được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt carbon

## Experimental investigation on shear behavior of cracked reinforced concrete beams strengthened with carbon textile reinforced concrete

Nguyễn Huy Cường, Vũ Văn Hiệp\*, Hồ Thị Hoài

Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Tác giả liên hệ: vvhiiep@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/6/2024; Ngày chấp nhận đăng: 15/7/2024

### Tóm tắt:

Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả sửa chữa và tăng cường của bê tông cốt lưới dệt (BTCLD) carbon đối với khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép (BTCT) đã bị nứt. Sáu dầm BTCT, mỗi dầm có tỷ lệ chiều dài chịu cắt trên chiều cao có hiệu là 1,6, được thí nghiệm uốn ba điểm, bao gồm hai mẫu đối chứng và bốn mẫu được gia cường. Trước khi bọc lớp BTCLD tiết diện chữ U, tất cả các dầm đều phải chịu tải trước để gây ra vết nứt do cắt. Quá trình tăng cường sử dụng hai hoặc ba lớp lưới dệt carbon. Các kết quả thực nghiệm cho thấy sự cải thiện đáng kể về khả năng chịu cắt của dầm được tăng cường BTCLD so với dầm đối chứng. Cụ thể, sức kháng cắt của các mẫu được gia cường bằng hai lớp lưới dệt carbon tăng 34,7%, trong khi các dầm được gia cường bằng ba lớp tăng 50,9% so với các mẫu đối chứng. Do đó, BTCLD đã khôi phục và nâng cao khả năng chịu cắt của các mẫu bị hư hỏng một cách hiệu quả.

**Từ khóa:** Tăng cường; Kháng cắt; Đã nứt; BTCLD; Carbon.

### Abstract:

This study examines the strengthening effects of carbon textile-reinforced concrete (CTRC) on the shear behavior of pre-cracked reinforced concrete beams. Six reinforced concrete beams, each with an aspect ratio of 1.6, underwent three-point bending tests, comprising two control specimens and four strengthened specimens. Prior to the application of U-wrapped carbon textile reinforcement, all beams were subjected to pre-loading to induce shear cracking. The strengthening process involved utilizing either two or three layers of carbon textile. The findings reveal a significant enhancement in the shear capacity of the CTRC-strengthened beams compared to the control beams. Notably, the shear strength of the specimens reinforced with two layers of carbon textile increased by 34.7%, whereas those reinforced with three layers increased by 50.9% compared to the control specimens. Thus, carbon TRC effectively restored and elevated the shear capacity of damaged specimens to levels akin to those of control beams.

**Keywords:** Shear; Strengthening; Pre-crack; TRC; Carbon.

### 1. Giới thiệu

Việc sửa chữa, tăng cường khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép là rất quan trọng trong nhiều trường hợp, ví dụ như kết cấu dầm không đủ cốt thép chịu cắt, cốt thép bị ăn mòn, cường độ của bê

tông nhỏ hoặc bị suy thoái, và tải trọng tác dụng lên kết cấu ngày càng tăng. Các phương pháp tăng cường phổ biến hiện nay ở Việt Nam bao gồm: Mở rộng tiết diện bằng lớp áo BTCT, dán bản thép, dự ứng lực ngoài, và sử dụng tấm polymer

cốt sợi (FRP). Mặc dù, phương pháp dán FRP đang khá phổ biến, nhưng phương pháp gặp phải một số hạn chế với lớp nhựa Epoxy. Điều này dẫn đến cần có sự cải tiến công nghệ mới đó là sử dụng bê tông cốt lưới dệt (BTCLD). BTCLD kết hợp lưới sợi có cường độ cao với bê tông hạt mịn, mang lại hiệu quả về chi phí, khả năng chịu nhiệt độ cao, khả năng chống cháy. Bên cạnh đó, BTCLD khắc phục những hạn chế của FRP khi hoạt động tốt trên bề mặt ẩm, ở nhiệt độ thấp hơn, có thể giám sát vết nứt sau khi gia cố (không bị che khuất như tấm dán FRP). BTCLD còn có thể đóng vai trò kép, vừa tăng cường khả năng chịu lực cho kết cấu, vừa cung cấp khả năng bảo vệ chống ăn mòn thông qua phương pháp bảo vệ cathode bằng dòng điện ngoài [1].

Các nguyên nhân thường gặp trong thực tế như hỏa hoạn, động đất, ăn mòn và mỏi có thể gây ra những hư hỏng nghiêm trọng cho các kết cấu BTCT, đòi hỏi chúng phải được sửa chữa, và tăng cường. Trong đó, các vết nứt do cắt thường làm suy yếu dầm BTCT, dẫn đến phá hoại giòn (phá hoại đột ngột, khi kết cấu có biến dạng nhỏ). Tuy nhiên, việc tăng cường bằng BTCLD có thể cải thiện khả năng chịu lực của chúng, qua đó, làm tăng độ bền lâu (tuổi thọ) của công trình. Điều này chứng minh cho việc nghiên cứu ứng xử chịu cắt sau khi tăng cường cho kết cấu đã bị nứt là rất quan trọng. BTCLD có khả năng phân tán các vết nứt nhờ dính bám tốt với bê tông nền, hiệu ứng cứng hóa khi chịu kéo (tension stiffening effect), đồng thời, hỗ trợ việc kiểm soát vết nứt, tăng tính dẻo và khả năng phân tán năng lượng cho kết cấu. Mặc dù nghiên cứu về ứng xử chịu cắt của BTCLD để tăng cường dầm BTCT đã được thực hiện khá nhiều [2], nhưng rất ít nghiên cứu tập trung vào đánh giá hiệu quả của nó trong việc khôi phục khả năng chịu lực của dầm BTCT bị hư hỏng, đã xuất hiện các vết nứt nghiêng do cắt [3]. Đây là một khoảng trống nghiên cứu lớn, bởi trong thực tế, hầu hết các kết cấu đòi hỏi sự tăng cường thường đã bị nứt. Triantafillou và cộng sự [4] chứng minh rằng BTCLD cải thiện khả năng chịu cắt lên đến 72% với một lớp lưới sợi,

trong khi FRP chỉ cải thiện được 25%. Blanksvärd và cộng sự [5] ghi nhận khả năng chịu cắt tăng 97% với BTCLD khi xảy ra phá hoại do lưới sợi carbon bị kéo đứt và tăng 104% với FRP khi phá hoại do bong tách lớp dính bám. Larbi và cộng sự [6] quan sát thấy mức tăng sức kháng 22% với FRP và lên tới 69% với BTCLD. Tetta và cộng sự [7] báo cáo các mẫu gia cường bằng FRP đạt tải trọng cao hơn từ 9% đến 132%, tùy vào cấu trúc tăng cường. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của số lượng cốt lưới dệt đều cho thấy rằng càng nhiều lớp thường mang lại mức tăng sức kháng cao, có nghĩa là hiệu quả được cải thiện khi sử dụng các hệ thống neo hỗ trợ.

Bài báo này trình bày một số kết quả thực nghiệm đánh giá hiệu quả tăng cường sức kháng cắt của dầm BTCT đã bị nứt bằng BTCLD carbon. Với sáu dầm, bao gồm hai dầm đối chứng, và bốn dầm đã bị nứt được tăng cường. Trước khi gia cường, cả bốn dầm được gia tải trước để tạo ra các vết nứt nghiêng do cắt. Sau đó, các dầm được sửa chữa bằng BTCLD theo cấu trúc tiết diện chữ U, sử dụng hai và ba lớp lưới sợi carbon.

## 2. Nghiên cứu thực nghiệm

### 2.1. Cấu tạo mẫu thí nghiệm

Tất cả các dầm có chiều dài 1500 mm với tiết diện 150 x 300 mm. Các dầm được thí nghiệm uốn ba điểm, với chiều dài nhịp 800 mm, trong đó, chiều dài nhịp chịu cắt bằng 400 mm, tương ứng với tỷ lệ  $a/d$  (chiều dài chịu cắt trên chiều cao có hiệu) là 1,6. Cốt thép dọc bao gồm hai thanh thép đường kính 14 mm chịu nén ở thớ trên và năm thanh thép đường kính 14 mm chịu kéo ở thớ dưới. Các thanh cốt thép đai đường kính 6 mm được đặt cách nhau 200 mm. Hình 1 mô tả kích thước hình học và cách bố trí cốt thép của các dầm. Việc thiết kế cấu tạo dầm nhằm đảm bảo kết cấu bị phá hoại do cắt, để tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá ứng xử chịu cắt và dạng phá hoại của dầm BTCT được gia cố bằng BTCLD. BTCLD được “trát” bên ngoài dạng các lớp bọc tiết diện chữ U kéo dài trên toàn bộ chiều dài dầm. Bảng 1 trình bày kích

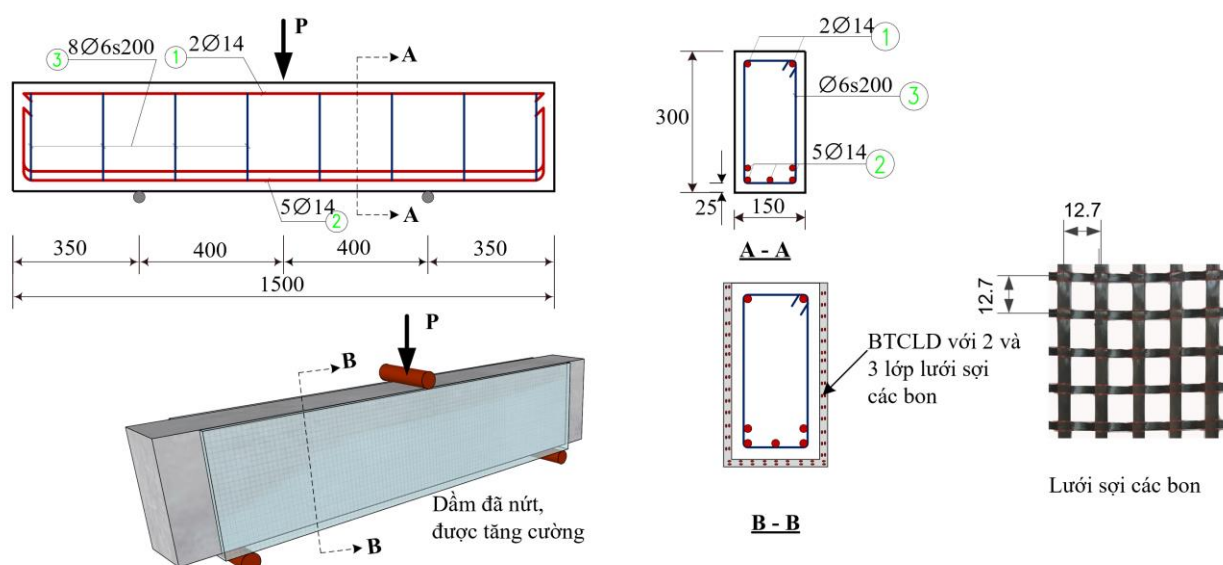
thước, cấu tạo của các mẫu dầm đối chứng và được tăng cường bằng BTCLD trong thí nghiệm.

Các mẫu dầm được chế tạo bằng bê tông thông thường, có cường độ nén trung bình là 43,5 MPa, được xác định qua các mẫu thí nghiệm dạng trụ tròn ở tuổi 28 ngày. Các thanh cốt thép dọc có cường độ chịu kéo chảy là 453,7 MPa, trong khi cốt thép đai giới hạn chảy là 372,1 MPa, tương ứng với biến dạng lúc cốt thép bị chảy dẻo lần lượt là 2,21% và 1,82%. Lớp gia cường BTCLD bao gồm cốt lưới dệt carbon và bê tông hạt mịn. Bê tông hạt mịn được chế tạo từ hỗn hợp xi măng Portland

PC40, cát hạt mịn có đường kính dưới 0,63 mm, tro bay, phụ gia siêu dẻo và nước. Sáu mẫu bê tông hạt mịn dạng lăng trụ  $40 \times 40 \times 160$  mm được sử dụng để đánh giá cường độ chịu nén và chịu kéo uốn sau 28 ngày, và thu được giá trị lần lượt là 52,2 MPa và 6,3 MPa. Lưới dệt carbon được sử dụng là lưới trục hướng dệt từ sợi carbon cường độ cao, có diện tích mặt cắt ngang là  $141,02 \text{ mm}^2/\text{m}$  và các bó sợi cách nhau  $12,7 \times 12,7$  mm. Lưới sợi được phủ bằng polymer gốc cao su styrene. Độ mịn của lưới là 3200 tex và trọng lượng của chúng là  $573 \text{ g/m}^2$ . Sợi carbon có mô đun đàn hồi khoảng 185 GPa và cường độ chịu kéo là 2700 MPa.

**Bảng 1.** Các dầm thí nghiệm.

Dầm	Kích thước			Số lớp lưới sợi	Mô tả
	a (mm)	b (mm)	a/d		
R1, R2	400	350	1,6	-	Đối chứng
L2-1, L2-2	400	350	1,6	2	Đã nứt, được tăng cường
L3-1, L3-2	400	350	1,6	3	Đã nứt, được tăng cường



**Hình 1.** Cấu tạo các mẫu thí nghiệm.

## 2.2. Quy trình thí nghiệm

Quy trình thí nghiệm bao gồm bốn giai đoạn chính (Hình 2). Trong giai đoạn đầu, lồng cốt thép được lắp dựng bên ngoài, với các lá điện trở đo biến dạng được gắn vào các thanh cốt thép dọc và cốt đai ở vị trí cụ thể (Hình 3). Sau đó, tất cả sáu dầm

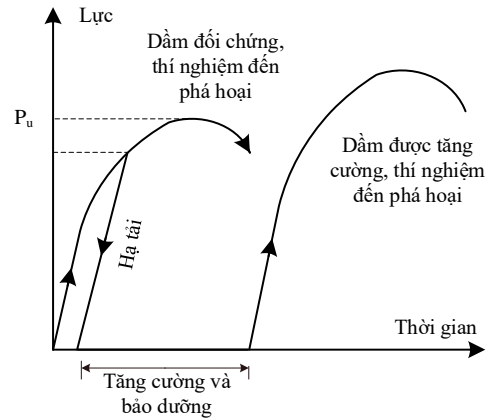
đều được đúc đồng thời và được bảo dưỡng ẩm trong 05 ngày (Hình 4).

Trong giai đoạn hai, tất cả các dầm đều được thí nghiệm gia tải gây nứt tại phòng thí nghiệm Vật liệu và Kết cấu của Trường Đại học Giao thông vận tải. Thí nghiệm uốn ba điểm được thực hiện bằng phương pháp kiểm soát lực, với tốc độ

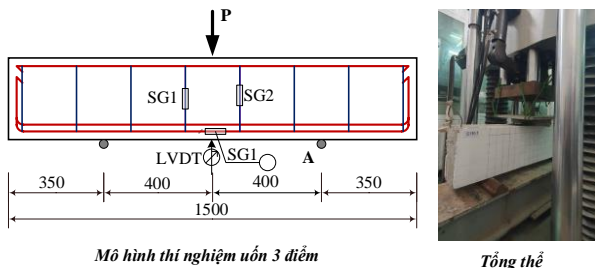
gia tải 0,5 kN/s, thực hiện trên máy nén kéo SANS 3000 kN. Hình 4 minh họa cách bố trí và thiết lập thí nghiệm. Một thiết bị đo chuyển vị (Linear Variable Differential Transformer - LVDT) và một thiết bị đo lực (loadcell) được kết hợp để ghi nhận độ võng giữa nhịp cùng tải trọng tác dụng lên dầm. Các lá điện trở đo biến dạng được sử dụng để ghi lại biến dạng của cốt thép dọc và cốt đai trong suốt quá trình thí nghiệm.

Hai dầm đối chứng R1 và R2 được gia tải đến khi phá hoại nhằm xác định sức kháng cắt của dầm, tương ứng với  $P_u$ . Giá trị này được sử dụng để thiết lập mức tải trọng cho việc gây nứt trước đối với bốn dầm còn lại (Hình 2). Mức tải trọng trước khi nứt được chọn là  $0,8 P_u$  nhằm đảm bảo

các vết nứt nghiêng đã xuất hiện và mở rộng đáng kể, đồng thời biến dạng kéo của cốt đai đã vượt quá giới hạn chảy của cốt thép (xem thêm Hình 9 về cấu trúc vết nứt của các dầm này).



**Hình 2.** Các giai đoạn thí nghiệm chính.



Mô hình thí nghiệm uốn 3 điểm

Tổng thể

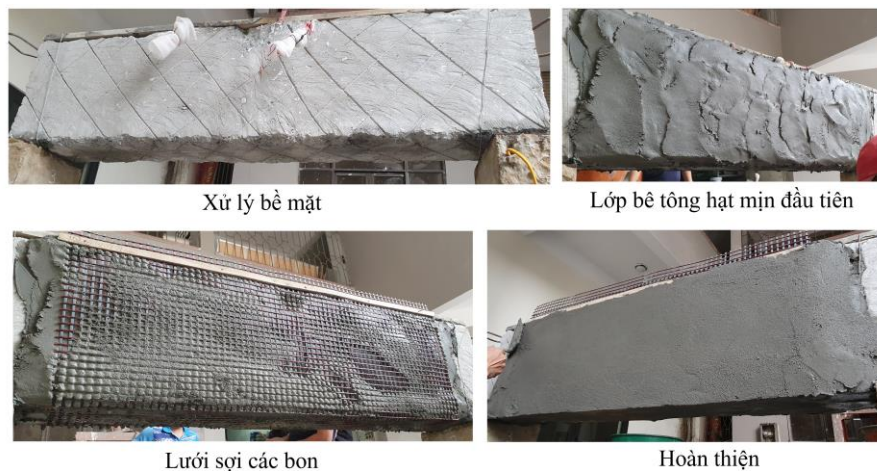


Thiết lập thí nghiệm



**Hình 4.** Chế tạo các mẫu dầm thí nghiệm.

**Hình 3.** Thiết lập thí nghiệm.



Xử lý bề mặt

Lớp bê tông hạt mịn đầu tiên

Lưới sợi cac bon

Hoàn thiện

**Hình 5.** Quá trình tăng cường BTCLD cho dầm đã bị nứt.

Sau giai đoạn gây nứt trước, các dầm được gia cường bằng hai hoặc ba lớp lưới sợi dệt, áp dụng

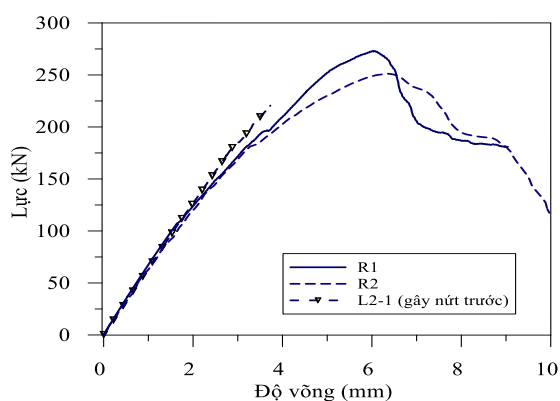
tăng cường BTCLD tuân thủ chỉ dẫn kỹ thuật được nêu trong ACI 549.4R-20 [1]. Việc chuẩn bị

bề mặt bao gồm loại bỏ bụi, tạo nhám để cải thiện dính bám giữa BTCLD và bê tông nền. Lớp BTCLD được “trát” lên các dầm đã bị nứt trước theo dạng tiết diện chữ U liên tục. Quá trình này bắt đầu từ trát lớp bê tông hạt mịn, đặt lưới sợi lên trên và miết nhẹ. Lớp bê tông hạt mịn thứ hai được phủ lên trong khi lớp thứ nhất vẫn ở trạng thái “tươi”. Quá trình này được lặp lại, tạo ra các lớp bê tông hạt mịn dày xấp xỉ 5 mm (Hình 5). Tiếp đến, xoa lớp phủ cuối cùng để đạt được bề mặt hoàn thiện. Sau đó, các dầm này được bảo dưỡng, và thí nghiệm cho đến khi phá hoại.

### 3. Kết quả thí nghiệm

#### 3.1. Dầm đối chứng và giai đoạn gây nứt trước

Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa tải trọng và độ võng giữa nhịp của hai dầm đối chứng. Hình 7 minh họa cấu trúc vết nứt của các dầm này. Như dự kiến, các dầm đối chứng bị phá hoại bởi cắt, không phát hiện bất kỳ dấu hiệu phá hoại do uốn. Trong quá trình thí nghiệm, các vết nứt thẳng góc được ghi nhận ở khu vực giữa nhịp; tuy nhiên, các vết nứt chính do lực cắt gây ra lan truyền theo đường chéo từ gối đỡ về phía điểm gia tải. Một vết nứt cắt lớn, kéo dài từ gối gia tải đến gối đỡ, mở rộng và gây ra phá hoại đột ngột cho hai dầm đối chứng này.



**Hình 6.** Quan hệ tải trọng – độ võng của hai dầm đối chứng và một dầm được gây nứt trước điển hình (L2-1).

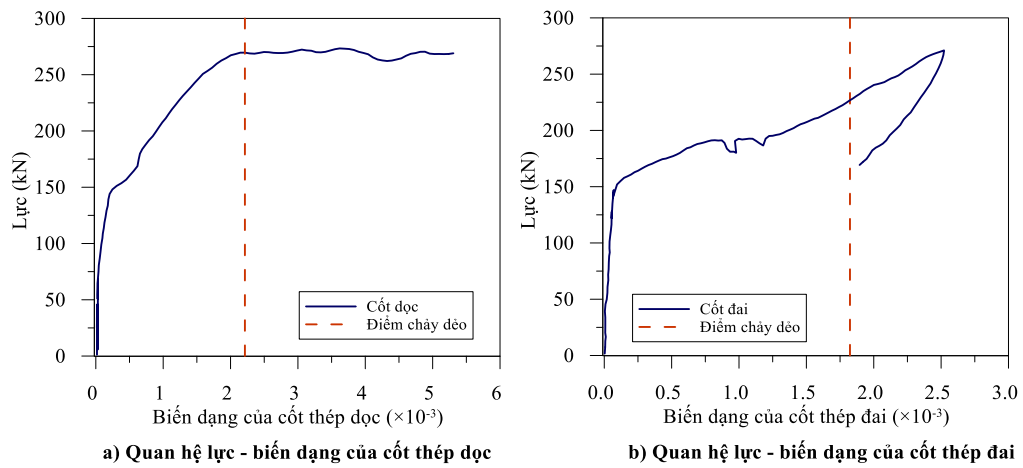
Trong các mẫu đối chứng (R1 và R2), các vết nứt do uốn và uốn cắt, đồng thời xuất hiện ở khu vực giữa nhịp, với mức tải xấp xỉ 100 kN. Tải trọng

ngày càng tăng, các vết nứt này mở rộng và phát triển về phía gối gia tải. Các vết nứt nghiêng do lực cắt dần xuất hiện rõ rệt ở mức tải trọng khoảng 150 kN (Hình 7). Sau đó, các vết nứt cắt lan truyền về phía các gối đỡ và gối gia tải. Lực phá hoại được ghi nhận trong quá trình thí nghiệm đối với dầm R1 và R2 lần lượt là 273,06 kN và 251,32 kN.

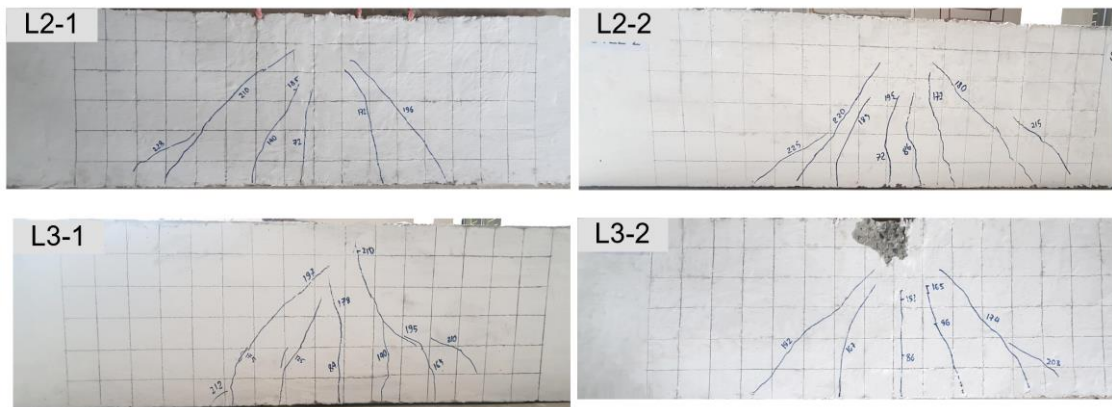


**Hình 7.** Cấu trúc vết nứt của dầm đối chứng.

Hình 8 thể hiện đường cong tải trọng, biến dạng trong các thanh thép dọc và cốt đai của mẫu đối chứng R1. Hình 8a cho thấy khi vết nứt bê tông bắt đầu ở khoảng 80 kN, biến dạng kéo trong cốt thép dọc tại vị trí giữa nhịp tăng đều đặn. Biến dạng của cốt thép dọc đo được khi mẫu R1 phá hoại nhỏ hơn biến dạng kéo chảy của cốt thép, ở mức xấp xỉ 0,002, cho thấy thanh cốt thép vẫn chưa bị chảy. Có thể quan sát được, các vết nứt thẳng góc ở dưới gối đỡ có bề rộng khá nhỏ. Hình 8b cho thấy, biến dạng trong các cốt đai của dầm khi bị phá hoại đã vượt quá giới hạn biến dạng chảy của cốt thép, vốn xấp xỉ 0,0017. Hình 9 thể hiện cấu trúc vết nứt của các dầm được gia tải gây nứt trước và sau đó, được tăng cường bằng BTCLD. Cấu trúc vết nứt quan sát được ở bốn dầm khá tương tự như ở các dầm đối chứng, vốn đã được thí nghiệm cho đến khi bị phá hoại. Tuy nhiên, các vết nứt nghiêng xuất hiện ít hơn và những vết nứt xuất hiện có bề rộng tương đối nhỏ. Cần lưu ý rằng mức tải trọng trước khi nứt được chọn ở khoảng 230 kN để đảm bảo biến dạng kéo của cốt đai vượt quá biến dạng chảy dẻo của cốt thép. Sau khi hạ tải, xuất hiện biến dạng dư đáng kể trong cốt thép đai của các dầm được gia tải gây nứt trước.



**Hình 8.** Quan hệ lực – biến dạng của cột thép ở mẫu R1.



**Hình 9.** Cấu trúc vết nứt của các dầm được gây nứt trước.

### 3.2. Các dầm được tăng cường

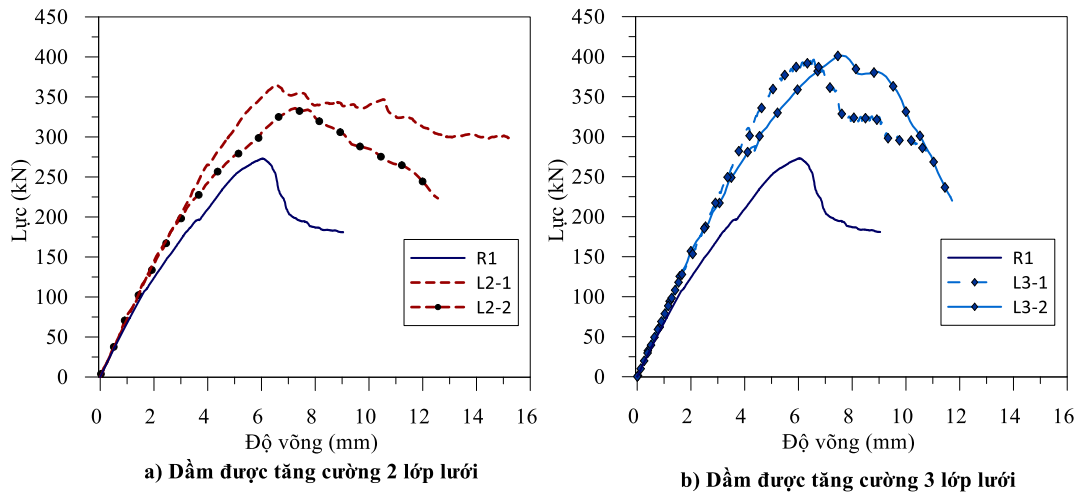
Hình 10 biểu diễn đường cong giữa tải trọng và độ võng giữa nhịp của mẫu dầm đối chứng và dầm được gia cường. Hình 11 thể hiện cấu trúc vết nứt quan sát được trong các mẫu dầm được gia cường.

**Bảng 2.** Sức kháng của các dầm được thí nghiệm.

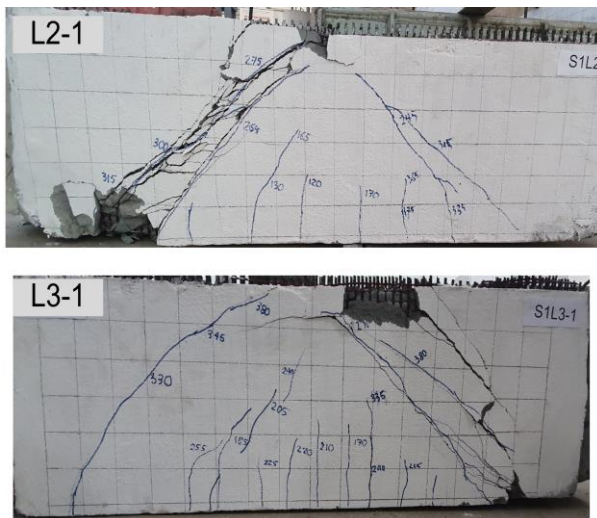
Dầm	Lực cực hạn (kN)	Trung bình (kN)	Hiệu quả tăng cường
R1	273,06		
R2	251,32	262,19	-
L2-1	366,40	353,19	1,347
L2-2	339,99		
L3-1	389,24		
L3-2	402,25	395,75	1,509

Dạng phá hoại của các dầm này đặc trưng bởi các vết nứt nghiêng mở rộng (phá hoại do cắt) và một số bó sợi bị kéo đứt. Nhìn chung, lớp BTCLD tiết diện chữ U đã cải thiện một cách đáng kể độ cứng

và khả năng chịu cắt của dầm BTCT bị nứt trước. Ban đầu, các vết nứt do uốn phát triển, hầu hết tại vị trí với vết nứt sẵn có trên dầm. Tuy nhiên, một số vết nứt mới xuất hiện, cho thấy dính bám giữa BTCLD với bê tông nền, cũng như dính bám giữa cốt lưới dệt với bê tông hạt mịn là khá tốt, mang lại hiệu quả phân tán vết nứt đáng kể. Các dầm được tăng cường có độ cứng ban đầu cao hơn các dầm đối chứng, do việc mở rộng tiết diện bằng BTCLD. Khi tải trọng tăng lên, các vết nứt do uốn - cắt bắt đầu phát triển, xảy ra ở mức tải trọng cao hơn so với dầm đối chứng. Dạng phá hoại xảy ra cuối cùng ở các mẫu dầm được gia cường bằng hai lớp lưới sợi là do các bó sợi bị kéo đứt, sau đó, hình thành các vết nứt nghiêng lớn. Dầm được bọc bằng hai lớp lưới sợi có tải trọng cực hạn tăng 34,7% so với mẫu đối chứng (Bảng 2). Sau khi phá hoại, các dầm được gia cố duy trì mức tải trọng cao hơn đáng kể so với các dầm đối chứng, bởi một số bó sợi vẫn tiếp tục làm việc, dù có những bó đang dần bị kéo tuột khỏi bê tông hạt mịn tại những vị trí có vết nứt nghiêng lớn.



Hình 10. Quan hệ lực - độ võng của các dầm được tăng cường.



Hình 11. Cấu trúc vết nứt điển hình của các dầm được tăng cường.

Tương tự, các dầm được gia cường bằng ba lớp cốt lưới dệt sợi carbon tiết diện chữ U có sức kháng cắt tăng 50,9% so với các mẫu đối chứng. Các mẫu dầm L2 và L3 có độ cứng tăng đáng kể do được gia cường bằng cốt lưới dệt sợi carbon và các lớp bê tông hạt mịn có cường độ khá cao.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã tóm tắt một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm đối với dầm BTCT đã bị nứt nghiêng, và được tăng cường bằng BTCLD sợi carbon. Việc sử dụng BTCLD carbon đã làm tăng khả năng chịu lực, cũng như độ cứng của các dầm đã bị nứt, qua đó, phục hồi khả năng sử dụng các dầm BTCT bị nứt. Cụ thể, các mẫu được gia cường bằng hai và ba lớp lưới sợi carbon đã cải thiện khả năng chịu cắt từ 34,7% đến 50,9% so với mẫu đối chứng. Đồng thời, các vết nứt sẵn có được phân

tán, duy trì đáng kể khả năng chịu cắt của dầm sau khi bị phá hoại. Điều này góp phần khẳng định BTCLD carbon là một giải pháp hiệu quả để khôi phục và nâng cao khả năng chịu cắt của các dầm bị hư hỏng.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông vận tải trong đề tài mã số DT2309.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] *Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures*, ACI 549.4R-20, American Concrete Institute, MI, USA, 2010.
- [2] L. N. Koutas, Z. Tetta, D. A. Bournas, and T. C. Triantafillou, "Strengthening of concrete structures with textile reinforced mortars: State-of-the-Art Review", *Journal of Composites for Construction*, vol. 23, no. 1, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000882.
- [3] D. Q. Ngo, H. C. Nguyen, H. T. Dinh, D. T. Nguyen, and D. L. Mai, "Effectiveness of carbon textile reinforced concrete in shear strengthening short-span corroded reinforced concrete beams," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Jun. 2022, Art. no. e00932, doi: 10.1016/j.cs cm.2022.e00932.
- [4] T. C. Triantafillou and C. G. Papanicolau, "Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRC)

- jackets”, *Materials and Structures*, vol. 39, pp 93-103, 2006, doi: 10.1007/s11527-005-9034-3.
- [5] T. Blänksvard, B. Täljsten and Carolin A, “Shear strengthening of concrete structures with the use of mineral based composites”, *Journal of Composites for Construction*, vol. 13, no. 1, 2009, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2009)13:1(25).
- [6] A. S. Larbi, R. Contamine, E. Ferrier and P. Hamelin, “Shear strengthening of RC beams with textile re-inforced concrete (TRC) plate”, *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 10, pp. 1928-1936, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.008.
- [7] Z. C. Tetta, L. N. Koutas and D. A. Bournas, “Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams” *Composites Part B: Engineering*, vol. 77, pp. 338-348, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2015.03.055.