

Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường dầm bê tông bị nứt bằng vật liệu tấm sợi các bon CFRP

Nguyễn Trung Hiếu*, Lý Trần Cường

Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 8/6/2018; ngày chuyển phản biện 15/6/2018; ngày nhận phản biện 6/8/2018; ngày chấp nhận đăng 24/8/2018

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu uốn bị nứt được gia cường bằng vật liệu tấm sợi các bon (CFRP). 6 mẫu dầm thí nghiệm có cùng kích thước hình học và cấu tạo cốt thép đã được chế tạo, trong đó 2 mẫu dầm không được gia cường, 2 mẫu dầm không bị nứt và 2 mẫu bị nứt trước được gia cường kháng uốn bằng tấm sợi CFRP. Kết quả thí nghiệm thu được về cơ chế phá hoại, tải trọng nứt... cho thấy hiệu quả của việc sử dụng tấm sợi CFRP trong gia cường kháng uốn kết cấu dầm BTCT bị nứt.

Từ khóa: dầm BTCT, gia cường, nứt, tấm sợi CFRP.

Chỉ số phân loại: 2.1

Đặt vấn đề

Kết cấu chịu lực bằng BTCT là dạng kết cấu được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng. Theo thời gian làm việc, kết cấu BTCT chịu nhiều tác động khác nhau như tác động cơ học, tác động của môi trường (nhiệt độ, độ ẩm...). Các tác động này có thể gây ra các hư hỏng trên kết cấu, hoặc làm suy giảm chất lượng vật liệu bê tông... làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu (hình 1). Bên cạnh đó, trong quá trình sử dụng có thể có sự thay đổi, gia tăng tải trọng tác dụng lên kết cấu do thay đổi công năng sử dụng, các tác động bất thường không được tính đến trong giai đoạn thiết kế.



Hình 1. Hình ảnh hư hỏng trên kết cấu BTCT.

Để đảm bảo khả năng làm việc của khung kết cấu BTCT, công tác sửa chữa gia cường được xem là một giải pháp hiệu quả, giúp khắc phục các kết cấu bị hư hỏng hoặc các kết cấu có sự thay đổi công năng làm việc so với thiết kế ban đầu.

Việc gia cường sửa chữa nhằm đảm bảo cho kết cấu đáp ứng tốt các yêu cầu về công năng sử dụng cũng như khả năng chịu lực, có thể áp dụng cho cả kết cấu cột làm việc chịu nén, kết cấu dầm, sàn làm việc chịu uốn...

Việc sử dụng tấm sợi composite cường độ cao (Fibre Reinforced Polymer - FRP) trong công tác gia cường kết cấu công trình BTCT được áp dụng phổ biến ở các nước tiên tiến trên thế giới. Các kết cấu công trình được gia cường có thể là kết cấu cột, dầm, sàn... Trong số các loại composite làm vật liệu gia cường, vật liệu composite gốc sợi các bon (ký hiệu CFRP), được sử dụng rất phổ biến nhất. Phương pháp gia cường bằng vật liệu CFRP tận dụng được những ưu điểm của loại vật liệu này như cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi cao, trọng lượng nhẹ, không bị ăn mòn dưới tác động của môi trường... Bên cạnh ưu điểm về đặc tính cơ học, gia cường bằng vật liệu CFRP còn cho thấy những tiện lợi trong quá trình thi công gia cường như nhanh chóng, đơn giản, không cần nhiều máy móc thiết bị, thời gian thi công nhanh.

Ở nước ta hiện nay, vật liệu CFRP đã được sử dụng cho việc gia cường một số công trình cầu và nhà dân dụng. Tuy nhiên, việc áp dụng còn nhiều hạn chế, chưa được phổ biến, trong đó nguyên nhân chính là giá thành cao và chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng cho công tác thiết kế, thi công gia cường kết cấu BTCT sử dụng vật liệu CFRP. Việc tính toán thiết kế được thực hiện theo một số tài liệu và tiêu chuẩn nước ngoài như ACI 440.2R-08 [1], FIP-Bulletin No14 [2], ISI M04 [3].

*Tác giả liên hệ: Email: hieunt@nuce.edu.vn

Experimental research on flexural strengthening efficiency of pre-cracked reinforced concrete beam using CFRP composite sheets

Trung Hieu Nguyen*, Tran Cuong Ly

Faculty of Building and Industrial Construction,
National University of Civil Engineering

Received 8 June 2018; accepted 24 August 2018

Abstract:

This paper presents an experimental study on the flexural behavior of pre-cracked reinforced concrete (RC) beams strengthened with externally bonded carbon fiber reinforced polymer (CFRP) sheets. Six identical specimens were cast. The concrete grade and steel reinforcement ratio were kept constant for all specimens. Two beams were not strengthened as control specimens, and two un-cracked beams and two pre-cracked beams were strengthened with CFRP composite wraps. In the experimental findings, the failure mode, the ultimate load, etc of tested specimens were presented. The obtained results from this research clarified the flexural behavior of cracked beams strengthened by CFRP and the strengthening effectiveness for flexural capacity of RC beam using this material.

Keywords: CFRP sheet, cracking, RC beam, strengthening.

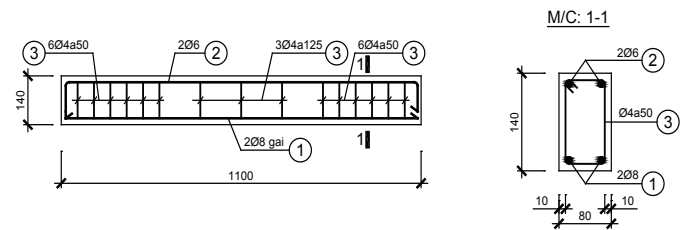
Classification number: 2.1

Trong bài báo này, các tác giả trình bày kết quả nghiên cứu hiệu quả của việc sử dụng vật liệu CFRP trong việc gia cường kết cấu dầm BTCT đã bị nứt trước. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm và Kiểm định công trình, Trường Đại học Xây dựng.

Nghiên cứu thực nghiệm

Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo

Trong nghiên cứu này, 6 mẫu dầm BTCT giống nhau, kích thước tiết diện ngang $b \times h = 80 \times 100$ mm, chiều dài 1100 mm được chế tạo. Chi tiết kích thước hình học và cấu tạo cốt thép của các mẫu dầm được trình bày ở hình 2. Cốt thép dọc chịu lực $\varnothing 8$ gai thuộc nhóm CII. Cốt thép trơn $\varnothing 4$ và $\varnothing 6$ thuộc nhóm CI.



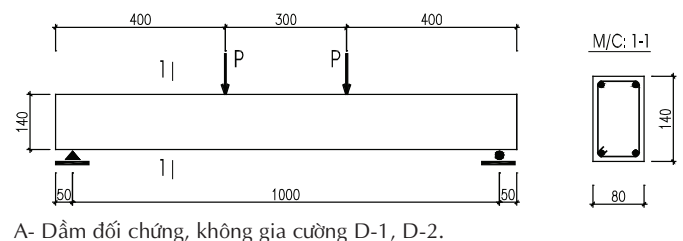
Hình 2. Cấu tạo của các mẫu dầm thí nghiệm

Các mẫu dầm thí nghiệm được chia thành 3 nhóm như sau (hình 3):

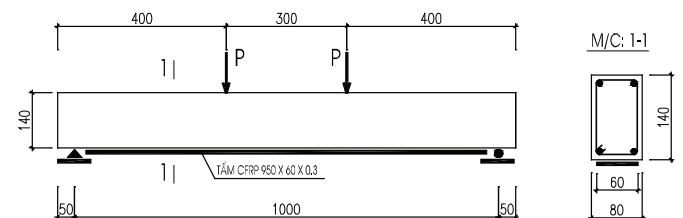
- Nhóm 1: 2 mẫu dầm đối chứng không được gia cường, ký hiệu D1 và D2.

- Nhóm 2: 2 mẫu dầm không bị nứt được gia cường kháng uốn bằng tấm sợi CFRP được ký hiệu là D3 và D4.

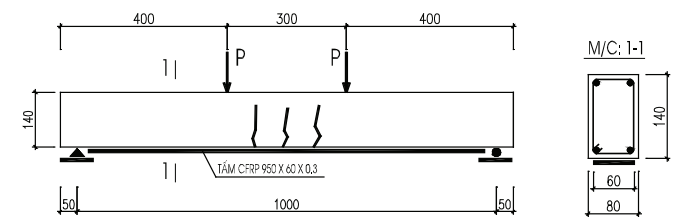
- Nhóm 3: 2 dầm bị nứt trước, được gia cường tương tự như các dầm nhóm 2, ký hiệu là D5 và D6.



A- Dầm đối chứng, không gia cường D-1, D-2.



B- Dầm gia cường, không nứt D-3, D-4.



C- Dầm gia cường, có vết nứt trước D-5, D-6.

Hình 3. Cấu tạo 6 mẫu dầm thí nghiệm.

4 mẫu dầm D3, D4, D5 và D6 đều được gia cường kháng uốn bằng tấm sợi CFRP có kích thước $1000 \times 60 \times 0,4$ mm. Đối với 2 mẫu dầm D5 và D6 có vết nứt trước, các vết nứt này được tạo ra bằng cách tác dụng tải trọng lên dầm theo sơ đồ dầm chịu uốn bốn điểm như minh họa trên hình 3. Các vết nứt do mô men uốn sẽ xuất hiện trong vùng giữa hai

tải trọng tập trung (vùng chịu uốn thuần túy). Tải trọng sẽ được tác dụng cho đến khi bề rộng vết nứt lớn nhất trên dầm đạt giá trị 0,3 mm, là bề rộng vết nứt cho phép với kết cấu BTCT làm việc chịu uốn theo TCVN 5574:2012 [4].

Cấp phối vật liệu bê tông chế tạo mẫu thí nghiệm được trình bày trong bảng 1. Giá trị cường độ chịu nén của bê tông được xác định bằng giá trị cường độ nén trung bình của 3 mẫu thí nghiệm hình trụ $D \times H = 150 \times 300$ mm ở tuổi 28 ngày. Cốt thép $\varnothing 6$ và $\varnothing 8$ có giới hạn chảy xác định qua thí nghiệm kéo lần lượt là 240 và 305 MPa.

Bảng 1. Cấp phối vật liệu chế tạo bê tông.

Xi măng PCB40 (kg)	Cát vàng (kg)	Đá dăm 1x2 (kg)	Nước (lít)	Cường độ chịu nén R_{28} (MPa)
305	680	1260	175	23,5

Vật liệu CFRP sử dụng gia cường dầm do hãng TORAY (Nhật Bản) sản xuất. Các thông số đặc trưng của vật liệu được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Các đặc trưng của vật liệu CFRP sử dụng gia cường.

STT	Thông số	Giá trị
1	Chiều dày tấm t_f	0,3 mm
2	Cường độ chịu kéo f_{tu}	1778 MPa
3	Mô đun đàn hồi E_f	96,9 GPa
4	Biến dạng cực hạn ϵ_{fu}	1,85%

Hình 4 minh họa các mẫu thí nghiệm sau khi đã được gia cường bằng tấm CFRP. Sử dụng keo epoxy chuyên dụng để dán tấm composite lên bề mặt bê tông. Thời gian cần thiết để lớp keo epoxy đóng rắn là 48h sau khi dán. Trong công tác gia cường, việc chuẩn bị, làm phẳng bề mặt bê tông (hình 4A) đóng vai trò quan trọng, giúp đảm bảo độ bền liên kết giữa bê tông và tấm CFRP.



A- Vệ sinh, làm phẳng bề mặt mẫu trước khi dán gia cường.



B- Thi công dán tấm CFRP.

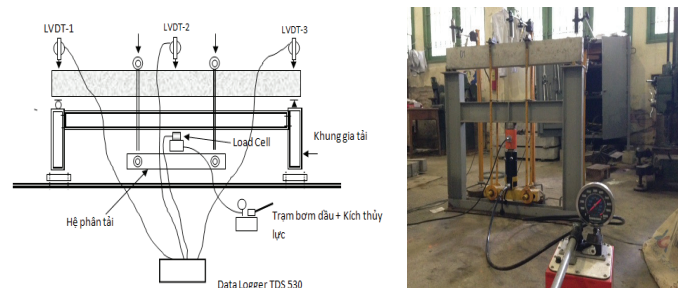
Hình 4. Minh họa thi công gia cường dầm trong phòng thí nghiệm.

Sơ đồ thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

Hình 5 trình bày sơ đồ thí nghiệm các mẫu dầm BTCT. Các dầm được thí nghiệm theo sơ đồ dầm đơn giản chịu tác dụng của 2 tải trọng tập trung có giá trị bằng nhau và cách gối tựa một khoảng là 350 mm. Tải trọng tập trung tác dụng lên dầm được tạo ra bằng kích thủy lực và hệ bơm dầu, tập trung đầu kích thông qua hệ phân tải tạo thành 2 lực tập trung có giá trị bằng nhau và bằng một nửa tải trọng tập trung đầu kích. Giá trị của tải trọng tập trung được đo bằng dụng cụ đo lực điện từ (Load-Cell). Bố trí 3 dụng cụ đo chuyển vị điện từ LVDT-1, LVDT-2 và LVDT-3 để đo chuyển vị của dầm tại các gối tựa và tại tiết diện giữa dầm. Giá trị độ võng của dầm được xác định từ số liệu đo chuyển vị trên các dụng cụ đo theo công thức sau:

$$f = f_2 - 0,5 * (f_1 + f_3)$$

Trong đó, f_1 , f_2 , f_3 lần lượt là giá trị chuyển vị được xác định qua các dụng cụ đo LVDT-1, LVDT-2 và LVDT-3. Các dụng cụ đo lực và đo chuyển vị được kết nối với một bộ thu thập và xử lý số liệu (Data-Logger) cho phép ghi nhận tự động và đồng thời các giá trị đo.

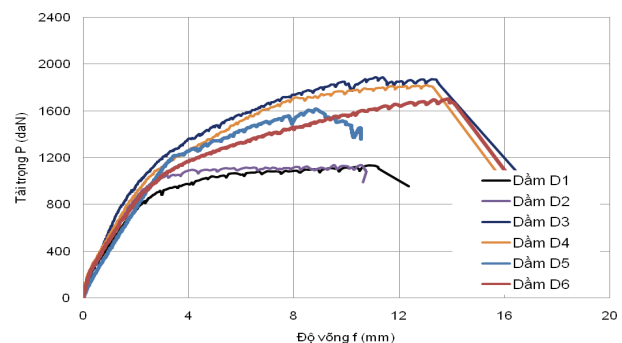


Hình 5. Sơ đồ thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo.

Phân tích và đánh giá kết quả

Quan hệ giữa tải trọng và độ võng của các mẫu thí nghiệm

Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ võng của 6 mẫu dầm thí nghiệm được trình bày ở hình 6.



Hình 6. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng của các mẫu thí nghiệm.

Có thể nhận thấy, trong giai đoạn ban đầu khi tải trọng còn nhỏ (thấp hơn 400 daN) thì quan hệ giữa tải trọng và độ võng của các mẫu thí nghiệm gần như không có sự chênh lệch. Điều

này cho thấy tấm sợi CFRP chưa tham gia làm việc. Các giá trị tải trọng đặc trưng cho sự làm việc của các mẫu đầm thí nghiệm được thể hiện trong bảng 3.

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

Mẫu thí nghiệm	Tải trọng gây nứt P_{cr} (daN)	Tải trọng gây chảy cốt thép P_{yt} (daN)	Tải trọng phá hoại P_{ult} (daN)
D1	240	820	1130
D2	280	870	1140
D3	260	1180	1870
D4	240	1150	1800
D5	-	1140	1700
D6	-	1100	1620

Kết quả cho thấy, ứng xử của đầm BTCT có gia cường khi không bị nứt và bị nứt cũng tương tự như ứng xử của đầm BTCT không gia cường. Sự làm việc của các mẫu đầm thí nghiệm có thể chia thành các giai đoạn chính như sau: giai đoạn trước khi xuất hiện vết nứt (quan hệ tải trọng - độ võng là tuyến tính); giai đoạn sau khi nứt và cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo; giai đoạn sau khi cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo và sự làm việc của bê tông vùng nén.

Từ kết quả trình bày trên hình 6 và trong bảng 3 cho thấy, tải trọng gây nứt trên các mẫu đầm không gia cường (D1, D2) và mẫu đầm được gia cường (D3 và D4) không có sự chênh lệch đáng kể. Điều này được giải thích là khi tải trọng tác dụng còn nhỏ thì tấm CFRP hầu như chưa làm việc. Sau khi các đầm BTCT bị nứt, sự làm việc của tấm vật liệu gia cường được thể hiện rõ qua việc tải trọng gây chảy dẻo cốt thép trong các mẫu đầm được gia cường tăng đáng kể so với giá trị tải trọng tương ứng trên các mẫu đầm đối chứng. Sự tham gia chịu lực của tấm CFRP gia cường làm giảm ứng suất kéo trong cốt thép chịu kéo. Đối với tải trọng cực hạn gây phá hoại các mẫu thí nghiệm, kết quả thí nghiệm thu được cho thấy, với mẫu đầm gia cường không bị nứt D3, D4, tải trọng cực hạn tăng 61,7% so với mẫu đầm đối chứng và với mẫu đầm gia cường nhưng bị nứt trước D5, D6, độ tăng này là 46,3%. Bên cạnh đó, dựa trên các biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng của các mẫu thí nghiệm trên hình 6 có thể nhận thấy, việc gia cường đầm BTCT bị nứt bằng tấm CFRP làm tăng đáng kể độ cứng của đầm so với trường hợp không được gia cường.

Những kết quả này cho thấy, trong trường hợp đầm BTCT bị nứt, việc gia cường bằng tấm sợi CFRP là một giải pháp phù hợp, làm tăng độ cứng cũng như tăng khả năng chịu lực của đầm.

Cơ chế phá hoại các mẫu đầm được gia cường

Hình 7 cho thấy sự phá hoại của các mẫu đầm được gia cường, với đầm chưa bị nứt và đầm bị nứt, cơ chế phá hoại đều do nứt vỡ lớp bê tông bề mặt gia cường dẫn đến bong tấm gia cường CFRP. Theo [1, 5], đây là một trong những cơ chế phá hoại điển hình của kết cấu BTCT được gia cường kháng uốn



Hình 7. Hình ảnh phá hủy mẫu đầm được gia cường bằng tấm CFRP.

bằng vật liệu tấm sợi composite. Khác với mẫu đầm không gia cường bị phá hoại dẻo (cốt thép chịu kéo bị chảy dẻo và bê tông vùng nén bị ép vỡ), sự phá hoại của 4 đầm BTCT được gia cường xảy ra khi cốt thép chịu kéo đã bị chảy dẻo nhưng bê tông vùng nén chưa bị ép vỡ. Tấm CFRP làm việc chịu kéo sau khi cốt thép chịu kéo đã bị chảy dẻo hạn chế sự phát triển của vết nứt trong kết cấu dẫn đến làm chậm sự phá hoại của bê tông vùng nén. Kết quả này cũng cho thấy, để tăng hiệu quả gia cường cần phải có biện pháp loại bỏ lớp bê tông kém chất lượng ở vùng bề mặt liên kết.

Kết luận

Dựa trên các kết quả nghiên cứu thu được, cho phép rút ra một số kết luận sau:

- Gia cường kết cấu đầm BTCT bị nứt bằng vật liệu CFRP là một giải pháp phù hợp giúp tăng độ cứng và tăng khả năng chịu lực của kết cấu. Đồng thời, sự làm việc của kết cấu đầm BTCT bị nứt sau khi gia cường cũng tuân thủ theo sơ đồ làm việc của đầm BTCT không bị nứt.

- Dạng phá hoại điển hình của kết cấu đầm BTCT được gia cường kháng uốn trong nghiên cứu này là phá hoại lớp bê tông vùng bề mặt liên kết dẫn đến bong, tách tấm vật liệu CFRP khỏi kết cấu bê tông. Đây là một trong những dạng phá hoại điển hình của các kết cấu được gia cường bằng vật liệu này.

- Cần có những nghiên cứu tiếp theo liên quan đến độ bền vững lâu dài của giải pháp gia cường kết cấu BTCT sử dụng tấm sợi composite, nhất là trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ACI 440.2R-08 (2008), *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, ACI Committee 440.
- [2] FIP-Bulletin No14 (2001), *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures*, Comité Euro- International du Béton.
- [3] ISIS M04 (2001), *Externally Bonded FRP for Strengthening Reinforced Concrete Structures*, The Canadian Network of Center of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, Winnipeg, Canada.
- [4] TCVN 5574:2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [5] Nguyễn Trung Hiếu (2015), "Nghiên cứu hiệu quả gia cường kháng uốn cho đầm BTCT bằng vật liệu tấm sợi các bon", *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, **1(168)**, tr.3-9.