

THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIA CƯỜNG UỐN BẰNG PHƯƠNG PHÁP DÁN CFRP DẠNG VẢI SỢI CHO TẤM BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG DO VA CHẠM

EXPERIMENTAL EVALUATION OF FLEXURAL STRENGTHENING WITH EXTERNALLY BONDED CARBON FIBER REINFORCED POLYMER FABRIC FOR REINFORCED CONCRETE SLABS UNDER IMPACT LOADING

LÊ SỸ HÀ^a, NGÔ NGỌC THỦY^{b*}, NGUYỄN CÔNG NGHỊ^b, TRẦN VĂN HANH^c

^aTrường sỹ quan Công binh

^bHọc viện Kỹ thuật quân sự

^cBinh chủng Công binh

*Tác giả đại diện: Email: ngocthuy.ngo@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận 18/09/2025, Ngày sửa 23/10/2025, Chấp nhận 26/10/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol4-4>

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu về khả năng ứng dụng của vật liệu nhựa gia cố bằng sợi (FRP) trong việc gia cường cho kết cấu công trình nói chung và kết cấu bằng bê tông cốt thép nói riêng, cũng như việc ứng dụng giải pháp sử dụng tấm dán FRP dạng vải sợi để gia cường cho kết cấu công trình bằng bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng động dạng va chạm. Nội dung nghiên cứu của bài báo đã góp phần làm sáng tỏ hơn hiệu quả gia cường khả năng chống uốn của vật liệu nhựa gia cường sợi carbon (CFRP) cho tấm bê tông cốt thép làm việc một phương, thông qua phương pháp thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. Kết quả thực nghiệm trên tấm thí nghiệm cho thấy giải pháp gia cường làm giảm đáng kể nội lực trong kết cấu thông qua sự giảm rõ rệt chuyển vị và biến dạng giữa tấm, sự phá hoại nứt trên kết cấu tấm dưới tác dụng va chạm động. Kết quả nghiên cứu của bài báo là một đóng góp nhỏ trong nghiên cứu hiệu quả và tiềm năng ứng dụng của giải pháp gia cường tấm dán FRP dạng vải sợi cho kết cấu công trình chịu tác dụng bởi tải trọng động.

Từ khóa: Vật liệu FRP, tấm BTCT, thí nghiệm, va chạm, tải trọng động.

Abstract: This paper presents a study on the applicability of fiber-reinforced polymer (FRP) materials for strengthening structural works in general and reinforced concrete (RC) structures in particular, as well as the application of a solution that uses externally bonded FRP fabric sheets to strengthen RC structural works subjected to impact-type dynamic loading. The study clarifies the effectiveness of flexural strengthening using carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) for one-way reinforced concrete slabs through laboratory experiments. Test results on the slab specimens show that the strengthening solution significantly

reduces the internal forces in the structure, as reflected by clear reductions in mid-slab displacement and strain, and mitigates cracking damage in the slab under dynamic impact. The results constitute a modest contribution to research on the effectiveness and application potential of FRP fabric sheet bonding for structural works subjected to dynamic loads.

Keywords: FRP materials, RC slab, experiment, impact, dynamic load.

1. Mở đầu

Tấm dán FRP (Fiber Reinforced Polymer) dạng vải sợi là một giải pháp gia cường hiệu quả cho các kết cấu chịu lực trong công trình xây dựng và cầu đường. Hệ thống này bao gồm sợi cường lực (carbon, thủy tinh, aramid) ngâm tẩm trong nhựa polymer, tạo thành lớp vật liệu có khả năng chịu kéo cao, nhẹ và chống ăn mòn [1, 2].

Ứng dụng chính của FRP gồm tăng cường khả năng chịu uốn, cắt và chịu tải trọng cho dầm, cột, sàn và tường bê tông [3, 4]. Công nghệ này đặc biệt hữu ích trong sửa chữa, nâng cấp kết cấu cũ bị suy giảm do tải trọng gia tăng, môi trường khắc nghiệt hoặc động đất. So với các phương pháp truyền thống như bọc thép hay đổ bê tông cốt thép bổ sung, tấm dán FRP có ưu điểm là thi công nhanh, không làm tăng đáng kể trọng lượng kết cấu và đạt được khả năng chịu lực trong thời gian ngắn [5]. Bên cạnh đó tấm FRP vải sợi có khả năng chống ăn mòn cao và khả năng chịu kéo vượt trội nên là giải pháp hiệu quả để gia cường cho kết cấu bê tông thường có tính giòn [6, 7]. Tuy nhiên hiện nay ở trong nước việc sử dụng tấm dán FRP vẫn chỉ chủ yếu áp dụng cho kết cấu công trình chịu tải trọng tĩnh và tải trọng di động (kết cấu

cầu) mà mới có một số ít nghiên cứu hay ứng dụng với tải trọng xung ngắn hạn như va chạm hoặc tải trọng nổ (các tải trọng cực hạn) [8].

Trọng tâm của bài báo là nghiên cứu sức chịu tải của tấm bê tông cốt thép làm việc một phương (tấm BTCT) trước và sau khi gia cường bằng vật liệu CFRP khi chịu tác động của tải trọng động do va chạm. Cụ thể, thí nghiệm này sử dụng một quả nặng rơi tự do va chạm lên tấm BTCT. Qua đó, ta có thể đánh giá được sự khác biệt về khả năng chịu lực của tấm BTCT trước và sau khi gia cường bằng CFRP, giúp tối ưu hóa ứng dụng của vật liệu này trong thực tế. Ngoài ra nghiên cứu cũng đóng góp thêm vào việc phát triển phương pháp bảo vệ kết cấu công trình chịu tác động của tải trọng cực hạn, giúp giảm thiểu thiệt hại của tải trọng cực hạn và đảm bảo an toàn cho con người.

2. Vật liệu FRP và phương pháp gia cường kết cấu công trình

2.1 Đặc tính của vật liệu FRP

Vật liệu FRP là một loại composite, gồm hai thành phần chính: chất nền polymer và sợi gia cường. Chất nền thường là nhựa như epoxy hoặc polyester, trong khi sợi gia cường có thể là sợi thủy tinh (GFRP), sợi carbon (CFRP), sợi aramid (AFRP) hoặc sợi tự nhiên [9]. FRP nổi bật với ưu điểm như trọng lượng nhẹ, khả năng chống ăn mòn và cách điện tốt, làm cho nó

phù hợp với các ứng dụng trong xây dựng, giao thông, hàng không, điện tử hay thể thao [9, 10].



Hình 1. Vật liệu FRP sợi carbon (CFRP) dạng vải sợi

FRP giúp giảm trọng lượng và gia tăng đáng kể độ cứng cho các công trình khi gia cường, đồng thời chống ăn mòn tốt, đặc biệt trong môi trường khắc nghiệt. Tuy nhiên, chi phí sản xuất cao và việc tái chế vật liệu gặp khó khăn. Dù vậy, FRP vẫn đang được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau cũng như gia cường cho các công trình xây dựng, giao thông bị xuống cấp nhờ vào ưu điểm vượt trội về hiệu suất và khả năng tùy chỉnh hình dáng, trong đó vật liệu CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) chiếm đến hơn 80% các ứng dụng [11, 12].



Hình 2. Sử dụng CFRP gia cường kết cấu công trình [11]

Vật liệu FRP có khối lượng riêng trong khoảng từ 1,2 tới 2,1 g/cm³, nhỏ hơn thép từ 4 đến 6 lần tùy thuộc vào loại cốt sợi hoặc chất độn. Vật liệu tổng hợp FRP là vật liệu dị hướng, có tính chất thay đổi theo hướng sợi. Các tính chất cơ học của vật liệu phụ thuộc vào cấu tạo hỗn hợp như hướng phân bố cốt sợi, độ dày, số lượng các lớp sợi gia cố cũng như khối lượng hỗn hợp. Cường độ chịu kéo của FRP thường rất lớn, với CFRP trên thị trường hiện nay có

giá trị khoảng 3200 ÷ 3400 MPa và mô đun đàn hồi khoảng 220 ÷ 240 GPa [11, 12, 13].

2.2 Phương pháp gia cường

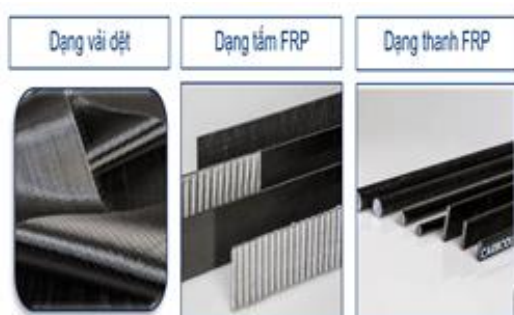
Gia cường kết cấu BTCT bằng vật liệu FRP trong điều kiện chịu tải trọng động là một giải pháp khả thi nhờ vào các ưu điểm nổi bật của FRP, như độ bền kéo cao, khối lượng nhẹ, và khả năng chống ăn mòn. Việc sử dụng FRP giúp tăng cường khả năng chịu

lực, kiểm soát vết nứt và hấp thụ năng lượng, từ đó giảm thiểu thiệt hại khi chịu tải trọng động [11, 14].

Các phương pháp gia cường như dán bề mặt (Externally Bonded), bao bọc (Wrapping) và gắn rãnh (Near -Surface Mounted) mang lại hiệu quả khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm kết cấu [12, 14, 15]. Đặc biệt, phương pháp bao bọc thích hợp để tăng khả năng chịu nén và chống phá hủy cục bộ cho các cấu kiện chịu áp lực nổ mạnh. Tuy nhiên, hạn chế lớn là chi phí vật liệu và yêu cầu kỹ thuật thi công cao.

Ngoài ra, FRP kém hiệu quả trong môi trường nhiệt độ cao, nên trong trường hợp này cần biện pháp bổ sung để đảm bảo an toàn.

Với những kết cấu công trình có hình dáng đặc thù hoặc những công trình có không gian sử dụng nhỏ hẹp thì việc áp dụng các vật liệu FRP dạng tấm cứng để bao bọc hoặc dạng thanh để gắn rãnh là khó khả thi. Do đó trong nghiên cứu này chỉ tập trung đánh giá phương pháp sử dụng vật liệu FRP dạng vải sợi để dán lên bề mặt của kết cấu.



a. Một số dạng vật liệu FRP



b. Gia cường dạng vải sợi



c. Gia cường tấm cứng



d. Gia cường thanh gắn rãnh

Hình 3. Các phương pháp gia cường bằng vật liệu FRP [12]

2.3 Nghiên cứu ứng dụng FRP gia cường kết cấu chịu tải trọng động

Đối với các kết cấu hiện hữu thông thường được thiết kế với các loại tải trọng tiêu chuẩn nên khi xuất hiện tác động của tải trọng cực hạn như đâm va hay áp lực từ vụ nổ sẽ khó đảm bảo khả năng chịu lực. Do đó cần có các giải pháp để bảo vệ và tăng cường thêm khả năng chống tải trọng động cho kết cấu. Sợi polyme gia cố (FRP) là vật liệu tổng hợp được làm từ cấu trúc cao phân tử và được dệt bằng các sợi có các đặc tính cơ học và hình học khác nhau. Khi kết cấu BTCT thông thường được bổ sung thêm lớp gia cố sợi polyme làm cho đặc tính cơ học được cải thiện và khả năng hấp thụ năng lượng được nâng cao, nên các tấm FRP được sử dụng trong các hệ thống chống nổ [16]. Các thử nghiệm nổ và va chạm khác nhau đã được thực hiện trên các kết cấu BTCT thông

thường được gia cố thêm FRP mang lại hiệu quả khá tích cực.

Trong nước, GS.TS Vũ Đình Lợi và các cộng sự đã có một số nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường để đánh giá khả năng chống nổ của kết cấu chịu tác dụng nổ khi được gia cường các tấm polyme sợi carbon (CFRP) và tấm polyme sợi thủy tinh (GFRP) [16]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng chống nổ của tấm BTCT tăng đáng kể so với không được gia cường, đặc biệt khi tăng lượng nổ hiện tượng chấn sục trên các tấm BTCT có gia cường không xuất hiện trên cùng một khối lượng nổ và khoảng cách so với tấm BTCT không được gia cường. Một số kết quả nghiên cứu khác trong nước trên dầm và bản BTCT sử dụng FRP cũng ghi nhận xu hướng giảm độ võng, kiểm soát nứt và cải thiện ứng xử dưới tác động ngắn hạn [9, 10, 17, 18].

Trên thế giới, có nhiều tác giả đã và đang nghiên cứu giải pháp gia cường cho kết cấu BTCT chịu tác động vụ nổ bằng tấm dán FRP [5, 6]. Thông qua các nghiên cứu cho thấy hiệu quả tăng cường của giải pháp dao động từ 20 đến 40% so với các mẫu BTCT thông thường [19, 20].

3. Thí nghiệm đánh giá hiệu quả gia cường tấm bê tông cốt thép chịu tải trọng động do va chạm bằng vật liệu CFRP dạng vải sợi

Các phương pháp thực nghiệm hiện trường là biện pháp hữu hiệu và chính xác để đánh giá khả năng gia cường của vật liệu FRP nói chung và CFRP nói riêng cho kết cấu dưới tác động tải trọng động do va chạm. Bài báo đã lựa chọn phương án thí nghiệm bằng việc thả rơi quả nặng tự do để tạo ra lực va chạm động lên tấm BTCT.

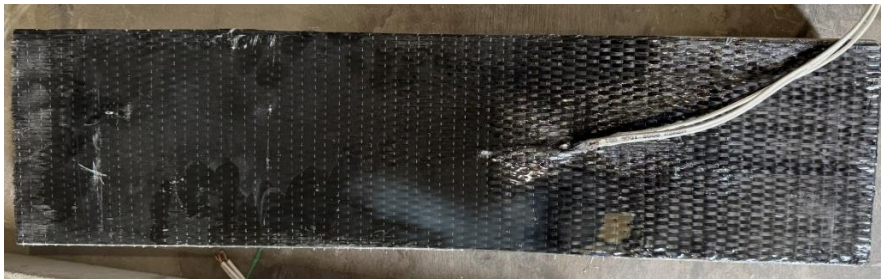
3.1 Mô tả thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện nhằm đánh giá khả năng chịu va đập của tấm BTCT trước và sau khi gia cường bằng vật liệu CFRP. Một hệ thống thử nghiệm được thiết kế bao gồm một khung thép chắc chắn, trong đó tấm BTCT được cố định theo phương ngang. Một quả nặng có khối lượng xác định được thả rơi tự do từ một độ cao nhất định để va chạm trực tiếp vào bề mặt tấm BTCT. Các cảm biến chuyển vị

và biến dạng được lắp đặt tại vị trí giữa tấm để thu thập dữ liệu về phản ứng của tấm BTCT khi chịu tác động. Thí nghiệm được thực hiện trên hai nhóm mẫu: một nhóm tấm BTCT thông thường và một nhóm tấm BTCT đã được gia cường bằng CFRP. Kết quả thu được sẽ giúp đánh giá hiệu quả của vật liệu CFRP trong việc nâng cao khả năng chịu tải và giảm thiểu hư hỏng do va đập.

Để đảm bảo tính thống nhất tấm BTCT có kích thước 60x15x5cm, được chế tạo với bê tông đá 1x2, mác 300, sử dụng hệ cốt thép một lớp đường kính 6mm với hai thanh cốt dọc chịu lực chính và 5 thanh thép ngang với khoảng cách 12,5cm, chiều dày lớp bê tông bảo vệ 1cm.

Sử dụng tấm dán CFRP dạng vải sợi dệt một phương với loại tấm dày 0,333mm, để đánh giá khả năng làm việc theo phương tiến hành gia cường với 02 loại: Mẫu gia cường thứ nhất: dán hai lớp với phương dệt của tấm CFRP cùng theo phương cạnh dài của tấm BTCT (phương án gia cường thứ nhất – PA01). Mẫu gia cường thứ hai: dán hai lớp với một lớp có phương dệt của tấm CFRP theo phương cạnh dài, kết hợp một lớp có phương dệt theo phương cạnh ngắn của tấm BTCT (phương án gia cường thứ 2 – PA02).



a. Phương án gia cường thứ nhất – PA01



b. Phương án gia cường thứ hai – PA02

Hình 4. Các phương án gia cường vật liệu CFRP cho tấm BTCT thí nghiệm

Để đánh giá hiệu quả khi sử dụng vật liệu CFRP dạng vải sợi gia cường cho kết cấu tấm BTCT chịu tác dụng của tải trọng động, tiến hành thí nghiệm so sánh tấm BTCT hai đầu giữ cố định (sử dụng hai bu

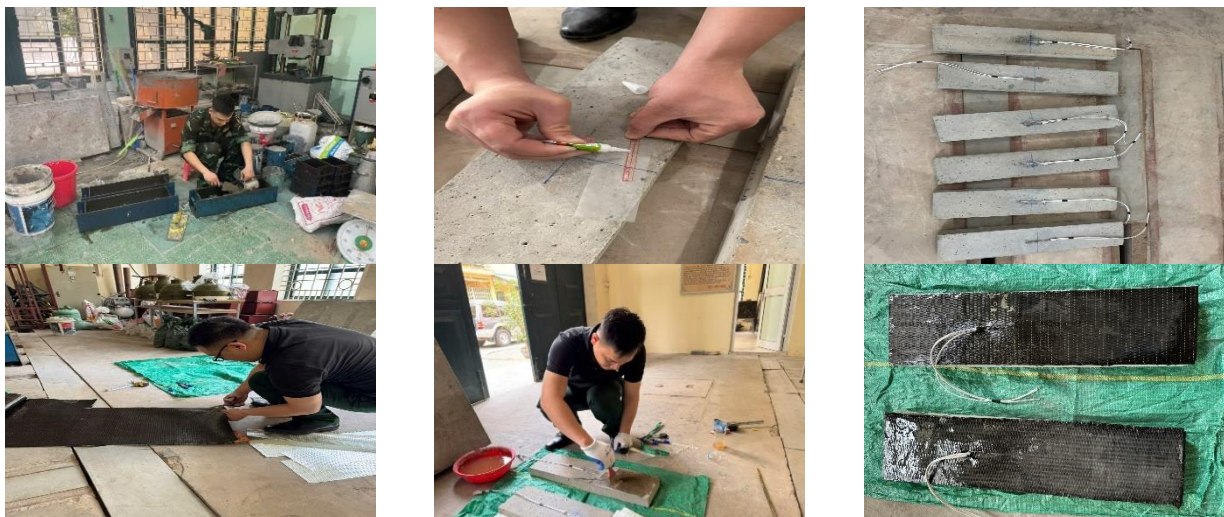
lông và thanh thép dày 1cm, rộng 2cm giữ chắc chắn) trên gối kê bằng thép cố định trên nền sàn cứng thí nghiệm chuyên dụng, chịu tác dụng của quả nặng thép được thả rơi tự do từ độ cao 65cm.

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Quả nặng thép (7,44kg) cao 15cm, đường kính 10cm, tạo hình côn phía dưới chiều cao côn 5cm, đỉnh côn đường kính 2cm. Sử dụng 02 gối kê bằng thép chữ U kích thước bao với chiều cao 10cm, rộng 10cm, dày 1cm, khoảng cách giữa hai gối 50cm (chiều dài làm việc của tấm thí nghiệm).

3.2 Tiến hành thí nghiệm

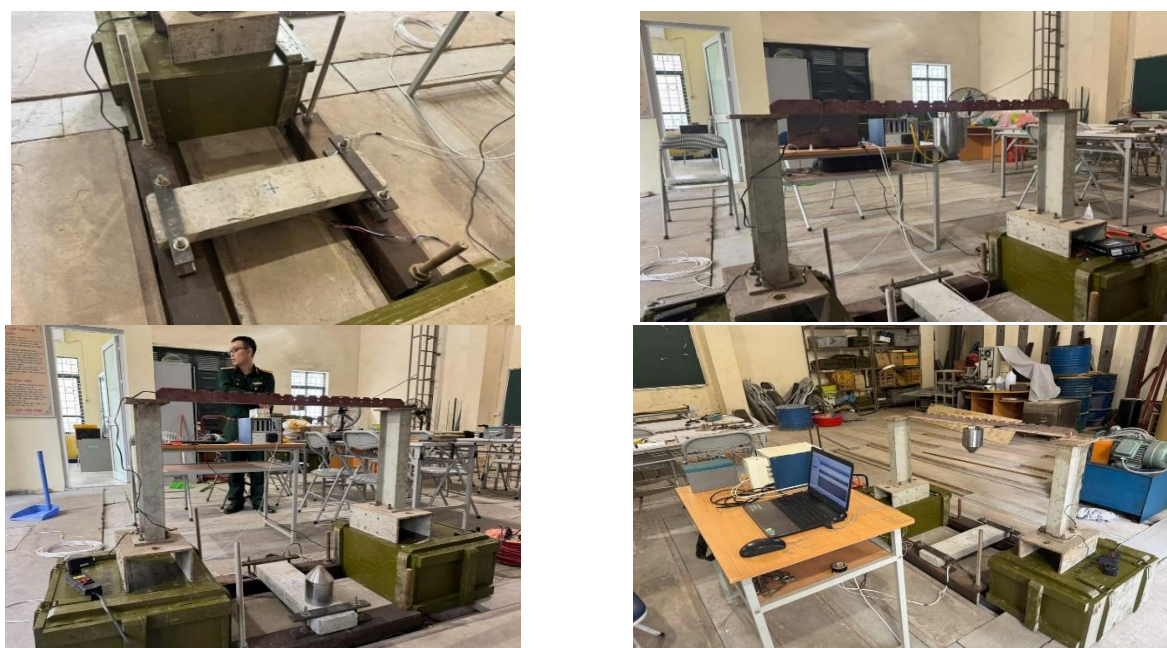
Thí nghiệm được thiết kế để đánh giá khả năng chịu va đập của tấm BTCT trước và sau khi dán CFRP. Hai nhóm mẫu được chuẩn bị là tấm BTCT không gia cường và tấm BTCT đã gia cường bằng tấm CFRP, mục tiêu là đối chiếu sự khác biệt về ứng xử động khi có gia cường và không có gia cường vật liệu CFRP dưới cùng điều kiện va chạm tự do.



Hình 5. Chuẩn bị các mẫu thí nghiệm

Để đánh giá hiệu quả gia cường tiến hành dán cảm biến điện trở hãng TML mã PL-60-11 dài 60mm tại vị trí giữa tấm theo phương chịu lực chính (theo phương cạnh dài), sử dụng cảm biến hồng ngoại SHARP GP2Y0A21YK0F với điện áp sử dụng 4,5 ~ 5,5VDC để đo chuyển vị điểm giữa tấm, sử dụng hệ

thống đo NI SCXI 1000DC có khả năng lấy mẫu tổng thể lên đến 200kHz. Quả nặng được cố định trên giá treo bằng nam châm điện, sử dụng cơ chế đóng và ngắt nguồn điện để thả rơi quả nặng tạo lực tác động va chạm lên tấm thí nghiệm, điểm va chạm tại vị trí giữa tấm.



Hình 6. Công tác thí nghiệm và đo ghi dữ liệu

4. Kết quả thí nghiệm và đánh giá

4.1 Kết quả thí nghiệm

Tiến hành công tác thí nghiệm, phân tích và xử lý các dữ liệu đo biến dạng và chuyển vị tại giữa tấm,

quan sát trạng thái phá hoại của tấm thí nghiệm trong hai trường hợp gia cường và không gia cường cho các kết quả mang tính định lượng cao về hiệu quả gia cường tấm BTCT chịu uốn của vật liệu CFRP.



a. Thả quả nặng rơi xuống tấm bê tông

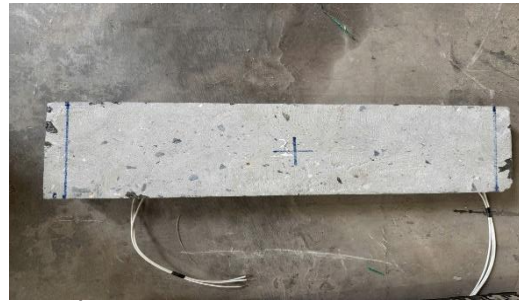


b. Tấm bê tông sau khi va đập bị nứt

Hình 7. Thí nghiệm và hình thái phá hoại của tấm BTCT không gia cường

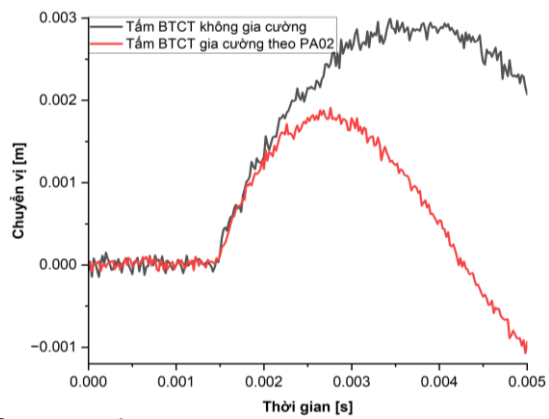
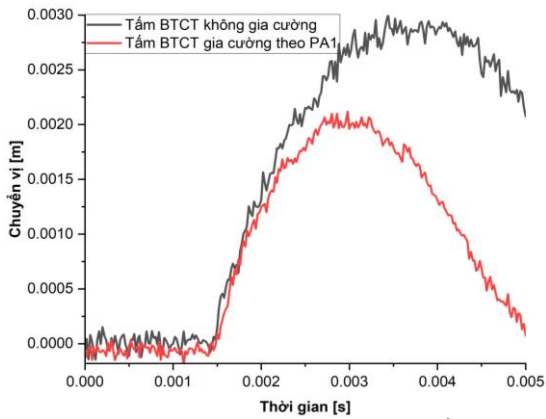


a. Tấm BTCT không gia cường (nứt mặt trên)

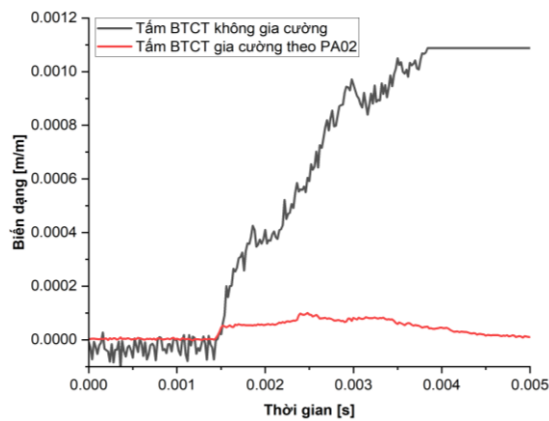
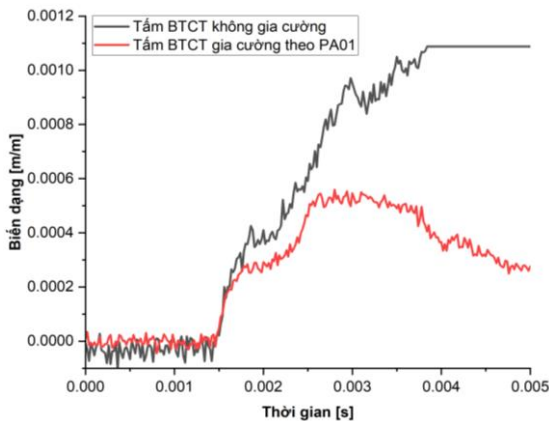


b. Tấm bê tông gia cường CFRP (không nứt)

Hình 8. Hình thái mặt trên của tấm BTCT sau thí nghiệm



Hình 9. Kết quả chuyển vị giữa tấm BTCT



Hình 10. Kết quả biến dạng giữa tấm BTCT

Bảng 1. Tổng hợp kết quả thí nghiệm

TT	Tham số	Nội dung	Giá trị	Chênh lệch (%)
1	Chuyển vị tại giữa tấm (mm)	Tấm BTCT không gia cường	2,96	-
		Tấm BTCT gia cường theo PA01	2,06	30
		Tấm BTCT gia cường theo PA02	1,82	38,2
2	Biến dạng tương đối tại giữa tấm	Tấm BTCT không gia cường	1,09e-3	-
		Tấm BTCT gia cường theo PA01	5,45e-4	49,9
		Tấm BTCT gia cường theo PA02	1,01e-4	90,7

4.2 Đánh giá hiệu quả gia cường bằng CFRP

Dưới tác động va chạm rơi tự do, các mẫu tấm BTCT gia cường CFRP thể hiện khả năng làm việc vượt trội so với mẫu tấm BTCT không gia cường. Tấm BTCT gia cường chịu được xung va chạm mạnh mà không xuất hiện phá hoại nghiêm trọng. Hình thái hư hỏng chủ yếu là các vết nứt nhỏ, cục bộ tại vùng chịu tác động, trong khi hình dạng tổng thể và khả năng làm việc sau va chạm vẫn được duy trì. Đáng chú ý, không ghi nhận bóc tách giữa lớp CFRP và nền bê tông, cho thấy mối liên kết dán đạt chất lượng và ổn định trong điều kiện tải động.

Về cơ chế, lớp CFRP góp phần phân tán xung lực và kiểm soát biến dạng tại thời điểm va chạm, nhờ đó giảm chuyển vị tổng thể và hạn chế tập trung ứng suất tại vùng chịu tác động. Hiệu ứng gia tăng độ cứng cục bộ và “gánh” một phần năng lượng va chạm của lớp CFRP giúp cấu kiện chậm tiến tới trạng thái hư hỏng nặng, đồng thời giảm rủi ro sụp đổ cục bộ. Kết quả quan sát cho thấy vai trò của CFRP không chỉ ở việc tăng cường sức kháng tức thời mà còn ở khả năng ổn định đáp ứng động sau va chạm.

Từ góc độ ứng dụng, giải pháp dán CFRP chứng tỏ tính khả thi và hiệu quả cho các kết cấu BTCT cần yêu cầu chống va đập cao, bao gồm cả công trình quân sự. Để đạt hiệu quả tối ưu, cần tuân thủ chặt chẽ quy trình xử lý bề mặt, trộn, thi công keo và bố trí sợi theo hướng chịu lực chính, trong trường hợp yêu cầu khắc khe hơn về va chạm, có thể cân nhắc bổ sung các lớp chống xé.

Bên cạnh đó thí nghiệm cũng cho thấy mặc dù tấm dán CFRP dùng trong thí nghiệm được dẹt để làm việc một phương, nhưng khi dán hai tấm theo phương dẹt vuông góc với nhau lại cho hiệu quả gia cường tăng đáng kể so với hai tấm khi dán cùng phương dẹt. Đây cũng là một trong những gợi mở ý nghĩa cho những nghiên cứu chuyên sâu hơn phương án bố trí vật liệu gia cường.

5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu và khảo sát của bài báo cho phép rút ra một số nhận định như sau:

Từ kết quả thí nghiệm về khả năng bị phá hoại khi so sánh giữa kết cấu tấm BTCT thường và kết cấu tấm BTCT có gia cố khi chịu tải trọng động do va chạm cho thấy giải pháp gia cường làm giảm khả năng kết cấu bị phá hoại cục bộ, giảm sự hình thành vết nứt khi kết cấu được gia cường.

Kết quả khảo sát chuyển vị điểm giữa tấm BTCT cho thấy kết quả phù hợp với quy luật ứng xử của kết cấu tấm BTCT khi gia cường sẽ được tăng cứng hơn và làm giảm chuyển vị. Kết quả khảo sát cho thấy chuyển vị có thể giảm 30% đến 38,2%, điều này thể hiện hiệu quả kháng uốn của tấm BTCT thí nghiệm được gia tăng đáng kể.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cũng cho thấy: với phương án dán hai tấm vuông góc phương dẹt với nhau (PA02) thu được hiệu quả giảm chuyển vị và biến dạng tăng cao hơn phương án dán hai tấm cùng phương dẹt (PA01) lần lượt là 38,2% (so với 30%) và 90,7% (so với 49,9%), điều này góp phần cho thấy độ cứng của kết cấu tấm BTCT được gia tăng đáng kể khi có phương án gia cố phù hợp.

Kết quả nghiên cứu cũng gợi mở thêm các nghiên cứu sâu hơn về ứng dụng giải pháp gia cường FRP với các dạng vật liệu nền khác nhau, cũng như phương án gia cường và các dạng tải trọng động khác nhau, đặc biệt cần có những nghiên cứu và thử nghiệm về kết cấu chịu tác động động cực hạn như va chạm tốc độ cao hay áp lực xung kích từ vụ nổ gây ra.

Kết quả nghiên cứu của bài báo có đóng góp một phần nhỏ cho tham khảo của các nghiên cứu tiếp sau về gia cường kết cấu BTCT bằng vật liệu FRP dạng vãi dẹt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hamoush, S., & Abu-Lebdeh, T. (2018). *Analytical study of reinforced concrete beams strengthened by FRP bars subjected to impact loading conditions*. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(2), 407–424.
- [2] Ye, Z., et al. (2020). *Behaviors of large-rupture-strain fiber-reinforced polymer strengthened RC beams under static and impact loads*. Frontiers in Materials, 7, 578749.
- [3] Kawarai, T., et al. (2025). *Low-velocity impact-load-carrying behavior of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates*. Buildings, 15(10), 1713.
- [4] Si, Z., et al. (2022). *Research on impact resistance of reinforced concrete members strengthened with FRP grid reinforced ECC*. Materials, 15(11), 3956.
- [5] Author(s) (2024). *Review of concrete structures strengthened with FRP against impact loading*. Journal/Conference name (in press).
- [6] Hùng, H. M., Phạm, V. T., Nguyễn, H. N. (2021). Thực nghiệm gia cường sức kháng uốn cho dầm BTCT sử dụng tấm CFRP ứng suất trước. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng – ĐHXD*, 15(3), 35–44.
- [7] Võ, B. H., Đoàn, V. Đ., Cao, V. H. (2022). *Sử dụng FRP để phục hồi khả năng chịu tải của sàn bê tông cốt thép bị cháy*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 11(05), 86–91.
- [8] Vinh, T. X. (2023). *Khảo sát ảnh hưởng của cường độ bê tông đến bám dính của tấm CFRP trên kết cấu bê tông cốt thép*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng – ĐHXD, 17(2), 21–30.
- [9] Đặng Vũ Hiệp, Vũ Ngọc Anh, Trần Văn Thái. (2018). *Theo dõi độ võng của bản sàn bê tông cốt sợi thủy tinh (G-FRP) trong thời gian 90 ngày*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), số 1, 2.
- [10] Trần Thị Ngọc Hoa, Đặng Vũ Hiệp, Phạm Thanh Thế (2021). *Nghiên cứu thực nghiệm khảo sát độ võng, vết nứt của dầm bê tông chịu uốn sử dụng cốt sợi GFRP dạng thanh*. Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng (IBST), số 4-2020 (xuất bản 10-01-2021).
- [11] JVTEK. (n.d.). *Công nghệ gia cường kết cấu bê tông FRP*. <https://jvtek.com.vn/san-pham-dich-vu/cong-nghe-gia-cuong-ket-cau-be-tong-frp>
- [12] Minh Đức Corp. (n.d.). *Vật liệu FRP trong sửa chữa, gia cường kết cấu*. <https://minhduccorp.com.vn/vat-lieu-frp-trong-sua-chua-gia-cuong-ket-cau>
- [13] Nguyễn Minh Long (2019). *Gia cường kết cấu bê tông cốt thép sử dụng vật liệu FRP – Thiết kế và thi công*. NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [14] Nguyễn Trung Hiếu, Lý Trần Cường. (2020). *Giáo trình gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng vật liệu tấm sợi composite*. NXB Xây dựng.
- [15] Brandt, A. M. (2008). *Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering*. Composite Structures, 86, 3–9.
- [16] Vũ Đình Lợi (2019). *Nghiên cứu ứng dụng vật liệu mới trong xây dựng công trình quốc phòng và nâng cấp kháng lực công trình quốc phòng đã có trên quần đảo Trường Sa*. Đề tài độc lập cấp quốc gia.
- [17] Phạm Thị Thanh Thủy, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Quang Sĩ, Nguyễn Mai Chí Trung (2022). *Phân tích ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt phi kim loại*. Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng (IBST), số 1.
- [18] Lê Đăng Dũng, Nguyễn Quang Sĩ, Nguyễn Huy Cường, Nguyễn Thành Tâm (2022). *Nghiên cứu ứng xử chịu xoắn của dầm bê tông cốt thanh composite polymer sợi thủy tinh*. Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng (IBST), số 3.
- [19] Muszynski, L. C., Purcell, M. R (2003). *Composite reinforcement to strengthen existing concrete structures against air blast*. Journal of Composites for Construction, 7, 93–97.
- [20] Razaqpur, A. G., Tolba, A., Contestabile, E. (2007). *Blast loading response of reinforced concrete panels reinforced with externally bonded GFRP laminates*. Composites Part B: Engineering, 38, 535–546.