

ỨNG XỬ CỦA DẦM BTCT GIA CƯỜNG BẰNG TẤM POLYME CỐT SỢI ARAMID CÓ KHỐI LƯỢNG THAY ĐỔI

BEHAVIORS OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH VARIOUS VOLUME ARAMID FIBER REINFORCED POLYME SHEETS

TS. Lê Huy Sinh

Khoa Xây dựng - Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Email: sinh.cpm@gmail.com

Điện thoại: 0983 145 428

Ngày nhận bài: 20/05/2023

Ngày gửi phản biện: 22/05/2023

Ngày chấp nhận đăng: 27/05/2023

Tóm tắt:

Bài báo này tập trung vào phương pháp dán tấm polyme cốt sợi aramid (AFRP) để nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng tấm đến khả năng chịu tải và chế độ phá hoại của dầm BTCT gia cường. Bốn dầm được gia cường với khối lượng tấm được thay đổi từ 280 đến 1660 g/m². Một dầm không gia cường cũng được thí nghiệm như một dầm tham chiếu để đánh giá hiệu quả của các dầm gia cường. Sau đây là những phát hiện của nghiên cứu này. (1) Kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu tải trọng của dầm gia cường tăng lên từ 20% đến 70% so với dầm không gia cường. (2) Dạng phá hoại của dầm BTCT gia cường uốn được phân thành hai loại: phá hoại do nén uốn và phá hoại do bong tấm, tùy thuộc vào tỷ số khả năng chịu mô men uốn tính toán M_y/M_u . Và (3) tất cả các dầm BTCT có/không gia cường đều thất bại với chế độ phá hoại uốn.

Từ khóa: Tấm polyme cốt sợi, Gia cường uốn, Tải trọng tĩnh, Dầm bê tông cốt thép, Chế độ phá hoại.

Abstract:

This paper focuses on the aramid fiber-reinforced polymer (AFRP) sheet bonding method to investigate the influences of the sheet volume on the loading carrying capacities and failure modes of strengthened RC beams. Four beams were strengthened with sheet volume varying from 280 to 1660 g/m². One unreinforced beam was also tested as a reference beam to evaluate the effectiveness of the reinforced beams. The following are the findings of this research. (1) The experimental results show that the load-carrying capacity of the reinforced beams increased from 20% to 70%, compared with the unreinforced beam. (2) The failure mode of flexural strengthened RC beams was classified into two types: flexural compression failure and debonding failure, depending on the calculated bending moment capacity ratio M_y/M_u . These results are in good agreement with the previous study. And (3) all RC beams with/without strengthening failed with flexural failure mode.

Keywords: Fiber-reinforced polymer sheet, Strengthened in flexure, Static loading, Reinforced concrete beam, Failure mode.

1. Giới thiệu

Các phương pháp truyền thống để gia cường hoặc gia cố thêm cho các kết cấu bê tông hiện có, chẳng hạn như dán bản thép, mở rộng tiết diện và dự ứng lực bên ngoài, đã được sử dụng. Tuy nhiên, những kỹ thuật này có nhược điểm là làm tăng trọng lượng kết cấu, khó lắp đặt, và vật liệu gia cố bị ăn mòn dẫn đến chi phí bảo trì cao hơn. Vật liệu polyme cốt sợi (FRP) có nhiều ưu điểm vượt trội, bao gồm khả năng chống ăn mòn, tỷ lệ cường độ trên trọng lượng cao và dễ lắp đặt. Do những tính năng này, vật liệu FRP đã được ứng dụng để gia cường cho dầm BTCT về uốn và/hoặc cắt chịu tải trọng tĩnh [1–2]. Các chỉ dẫn thiết kế để gia cường cho kết cấu bê tông bằng hệ thống FRP dán ngoài đã được phát triển và đang được áp dụng rộng rãi [3]. Các tấm FRP được dán bên ngoài và các thanh FRP gắn gần bề mặt được sử dụng để gia cường kết cấu. Tuy

nhien, Davood Mostofinejad et al. đã đề xuất các phương pháp gia cường mới dựa trên kỹ thuật gia cường dán ngoài (EBR), đó là kỹ thuật gia cường dán ngoài trong rãnh (EBRIG) và kỹ thuật gia cường dán ngoài trên rãnh (EBROG); những kỹ thuật này không chỉ cải thiện khả năng chịu tải của các cấu kiện BTCT mà còn có thể trì hoãn quá trình bong của các tấm FRP trong các dầm được gia cường so với các kỹ thuật EBR [4–5].

Mặc dù khả năng chịu tải uốn và đặc tính phá hoại của dầm BTCT gia cường chịu tải trọng tĩnh đã được nghiên cứu, nhưng ảnh hưởng của khối lượng FRP đối với sự đứt gãy/sự bong của các tấm FRP trong dầm gia cường vẫn chưa được nghiên cứu. Mặt khác, Kishi và những người khác [6] chỉ ra rằng chế độ phá hoại của dầm BTCT được gia cường uốn chịu tải trọng tĩnh phụ thuộc vào tỷ số khả năng chịu mô men uốn tính toán M_y/M_u ,

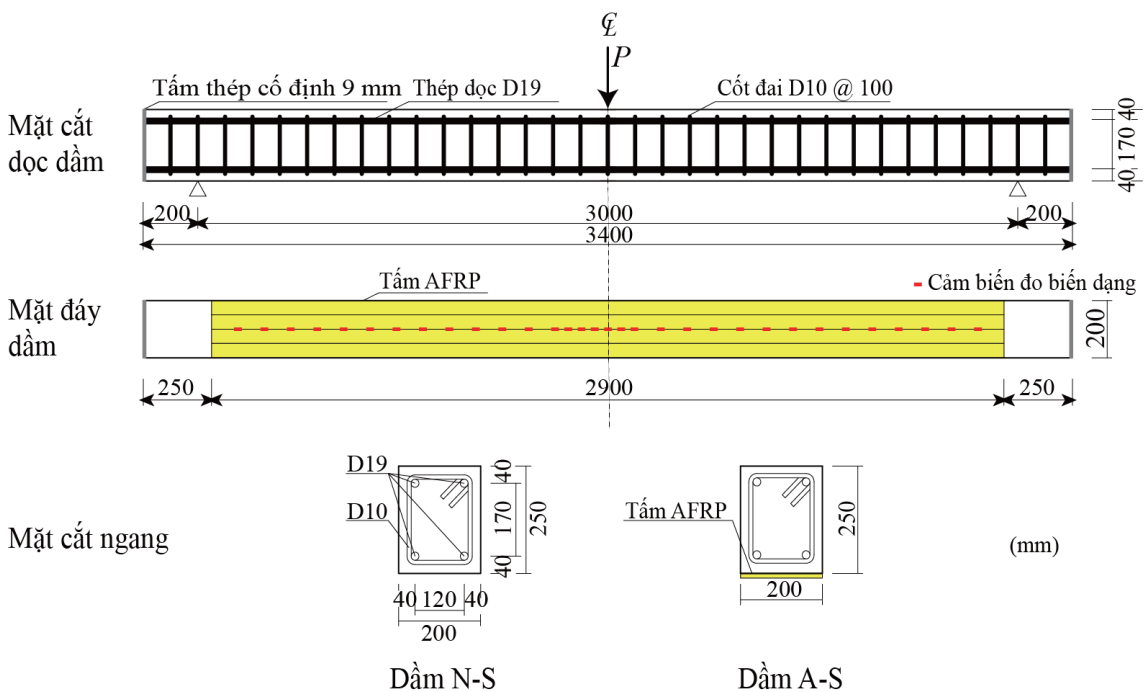
trong đó M_y và M_u lần lượt biểu thị mô men uốn tại điểm chảy dẻo của cốt thép và khả năng chịu mô men giới hạn của dầm BTCT được gia cường. Phá hoại do nén uốn, xảy ra khi dầm BTCT bị phá hoại do tấm bị bong ra sau khi đạt đến trạng thái nén tới hạn tính toán, đạt được khi M_y/M_u lớn hơn 0,70. Ngoài ra, phá hoại do bong tấm xảy ra khi dầm BTCT bị phá hoại do tấm bị bong trước khi đạt đến trạng thái nén tới hạn tính toán, đạt được khi M_y/M_u nhỏ hơn 0,65.

Từ đó, trong nghiên cứu này, các thí

nghiệm tải trọng tĩnh được thực hiện để nghiên cứu khả năng chịu tải, sự phân bố vết nứt và ứng xử phá hoại của dầm, so sánh kết quả thí nghiệm với kết quả tính toán và kiểm chứng các tiêu chí phá hoại của dầm gia cường so với kết quả nghiên cứu trước đây.

2. Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, tổng cộng 5 dầm BTCT đã được thử nghiệm, bao gồm 1 dầm không gia cường và 4 dầm được gia cường uốn bằng phương pháp dán ngoài tấm AFRP.



Hình 1. Kích thước mẫu thí nghiệm và bố trí cốt thép và tấm AFRP.

Hình 1 mô tả kích thước thí nghiệm, bố trí cốt thép dọc, cốt đai và tấm AFRP. Bê tông trộn sẵn được sử dụng để đúc dầm tại công trường với bảng tỷ lệ trộn như trong Bảng 1. Các tấm AFRP được

dán với các bề mặt chịu lực của dầm, để lại 50 mm giữa phần cuối của mỗi tấm và điểm gối tựa. Dầm gia cường có thể được dán bởi một tấm AFRP trên một lớp có khối lượng diện tích là 280 hoặc 415

hoặc 830 g/m² và/hoặc hai tấm AFRP trên hai lớp với tổng khối lượng diện tích là 1660 g/m² (830 g/m²/1 lớp). Bảng 1 liệt kê các thông số vật liệu của các tấm AFRP, do nhà sản xuất Fibrex cung cấp [7]. Thử nghiệm dựa trên JIS K 7165 [8] để xác định các tham số này. Chất kết dính được sử dụng để liên kết tấm với nền bê tông là nhựa epoxy có các đặc trưng cơ học được liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 1. Đặc trưng cơ học của các tấm AFRP

Khối lượng diện tích (g/m2)	Chiều dày (mm)	Cường độ kéo (GPa)	Mô đun đàn hồi Ef (Gpa)	Biến dạng phá hoại εfu (%)
280	0.193	2.06	118	1.75
415	0.286	2.06	118	1.75
830	0.572	2.06	118	1.75

Bảng 2. Đặc trưng cơ học của nhựa epoxy

Cường độ uốn (MPa)	Cường độ nén (MPa)	Cường độ cắt uốn (MPa)	Cường độ chất kết dính (MPa)
40	35	10	1.5

Bảng 3. Bảng tỷ lệ trộn bê tông

W/C (%)	S/a (%)	Trọng lượng đơn vị (kg/m3)				
		Nước W	Xi măng C	Cốt liệu nhỏ S	Cốt liệu lớn G	Phụ gia Ad
52.4	43.0	154	294	812	1064	2.940

Bảng 4 liệt kê các mẫu thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu này. Tên danh nghĩa của các mẫu thử được hiển thị trong bảng này với dấu gạch nối theo thứ tự vật liệu gia cường (N: không có, A: AFRP), loại tải trọng (S: tải trọng tĩnh). Cường độ chịu nén của bê tông, cường độ chảy của cốt thép dọc và của cốt đai cũng được liệt kê trong bảng này.

Bảng 4. Liệt kê mẫu thí nghiệm

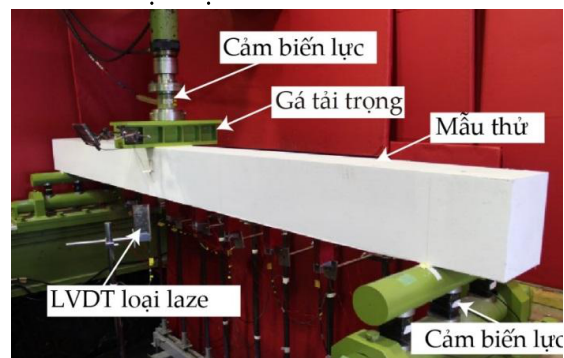
Mẫu thí nghiệm	Cường độ nén của bê tông f'_c (MPa)	Cường độ chảy của cốt dọc f_y (MPa)	Cường độ chảy của cốt đai f_{sy} (MPa)	Khả năng chịu tải uốn tính toán P_{usc} (kN)	Khả năng chịu tải cắt tính toán V_{usc} (kN)	Tỷ lệ khả năng chịu uốn-cắt α
N-S	32.4	382	462	55.0	329	5.98
A280-S	33.7	371	402	73.3	299	4.08
A415-S				81.0		3.69
A830-S				99.9		2.99
A1660-S				126.1		2.37

Khả năng chịu uốn và cắt tính toán của dầm được tính toán bằng cách sử dụng các thông số vật liệu của bê tông, thép dọc và tấm AFRP (Bảng 1) theo Chỉ dẫn Tiêu chuẩn cho Kết cấu Bê tông [9]. Khả năng chịu uốn là giá trị tải trọng lớn nhất được xác định từ đường cong quan hệ tải trọng-chuyển vị tính toán của mỗi dầm. Quy trình tính toán đường cong tải trọng-chuyển vị sẽ được thảo luận trong mục 3.1. Theo Bảng 4, các dầm BTCT được gia cường tĩnh sẽ đạt đến chế độ phá hoại uốn vì tỷ số khả năng chịu uốn-cắt $\alpha = V_{usc}/P_{usc}$ của tất cả các dầm có/không gia cường đều lớn hơn 1,0.

Các thử nghiệm tải tĩnh được tiến hành theo phương pháp thử tải ba điểm, như được chỉ ra trong Hình 2. Một gá tải trọng có chiều rộng 100 mm theo hướng nhịp được sử dụng để tăng tải tại nhịp giữa của dầm, trong đó một kích thủy lực có công suất 500 kN đã được sử dụng. Đối với dầm A-S, được gia cường bằng tấm AFRP, tải trọng được tác dụng cho đến khi tấm bị bong ra hoặc bị đứt. Đối với dầm N-S không được gia cố bằng tấm AFRP, tải trọng tăng dần sau khi cốt thép chảy dẻo do hiệu ứng biến cứng dẻo của cốt

thép; do đó, tải trọng được tác dụng cho đến khi dầm bị võng khoảng 90 mm.

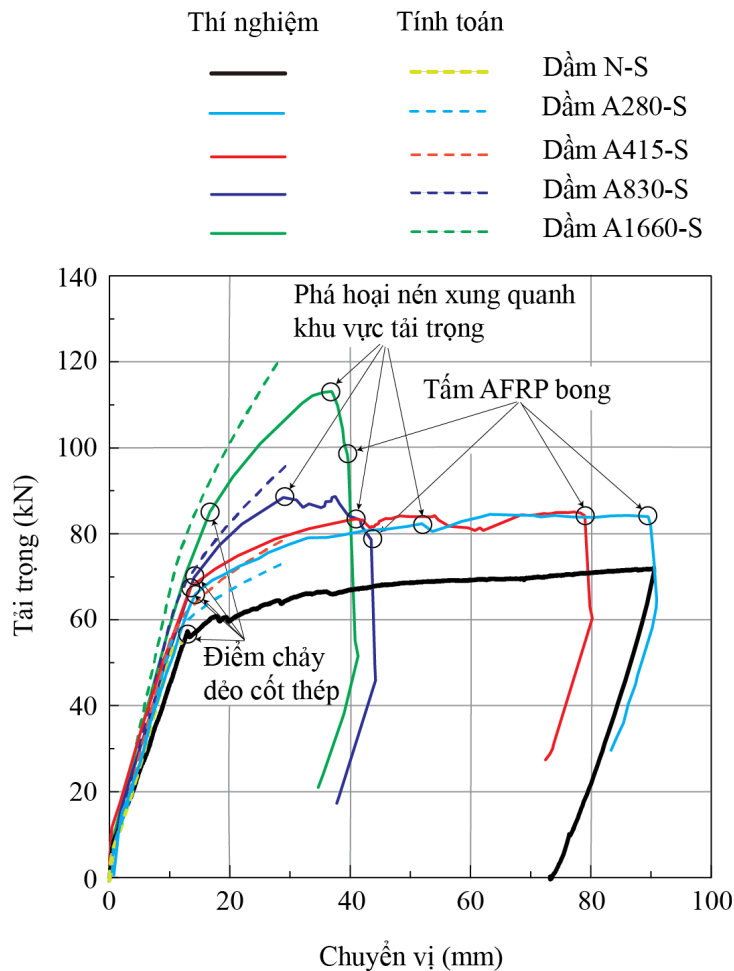
Tải trọng P , phản lực R , chuyển vị giữa nhịp D và phân bố biến dạng dọc trục của các tấm AFRP đều được đo trong quá trình thử nghiệm này. Đầu đo dịch chuyển biến đổi tuyến tính loại laze (Laser-type Linear Variable Displacement Transducers) được sử dụng để đo chuyển vị của dầm. Sau mỗi thử nghiệm là một bản phác thảo các mẫu vết nứt trên một mặt của dầm.

**Hình 2. Thiết lập thí nghiệm tải trọng tĩnh.**

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm đã sử dụng máy ghi dữ liệu kỹ thuật số để khuếch đại và ghi tín hiệu tương tự từ các cảm biến. Dữ liệu tương tự này được chuyển đổi thành dữ liệu số trong khoảng thời gian 0,1 giây.

3. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

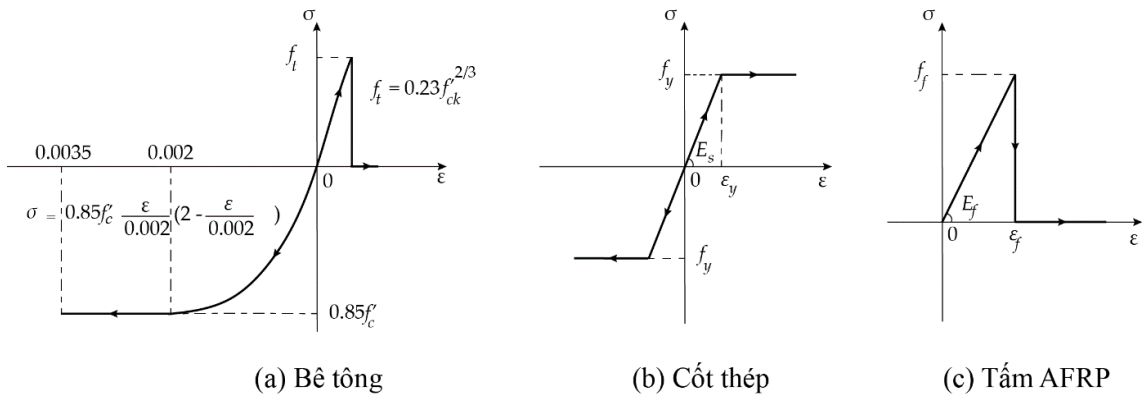
3.1. Đường cong quan hệ tải trọng-chuyển vị



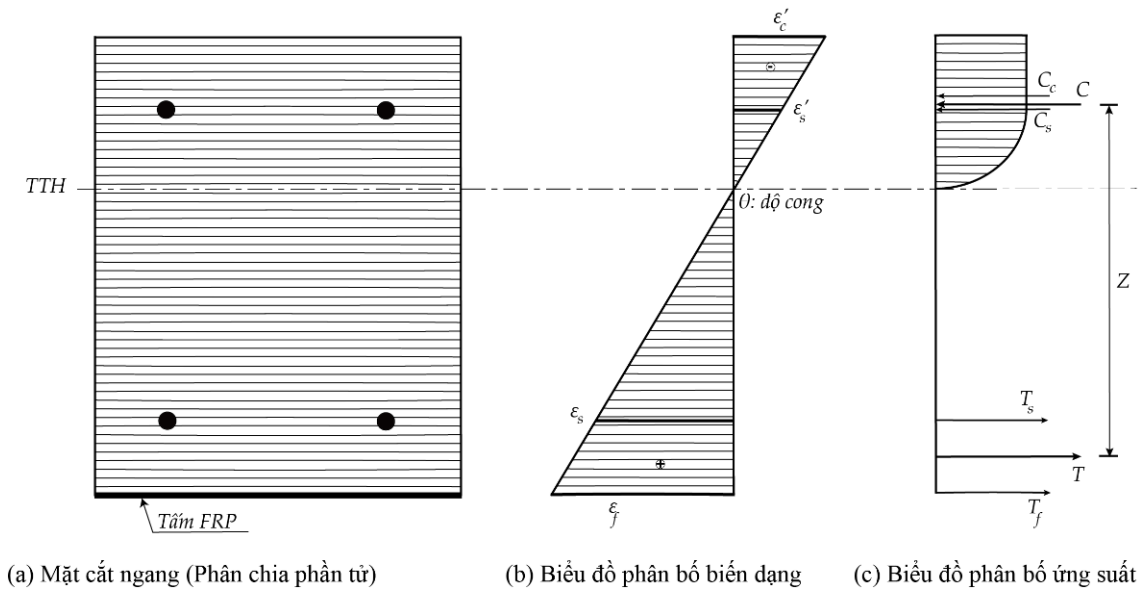
Hình 3. So sánh mối quan hệ tải trọng-chuyển vị cho tất cả các dầm

Hình 3 so sánh các kết quả thí nghiệm và tính toán của các đường cong chuyển vị-tải trọng tính cho dầm N-S và A-S. Phương pháp đa lớp [10], dựa trên các phương pháp về cường độ vật liệu thông thường, được sử dụng để xác định đường cong tải trọng-chuyển vị và phân bố biến dạng dọc trục của các tấm AFRP. Sau đây là các phương pháp và giả thiết được sử dụng: (1) Bê tông và cốt thép,

bao gồm cả tấm FRP, dự kiến sẽ có tiết diện phẳng và liên kết hoàn hảo. (2) Kỹ thuật tạo vết nứt mờ và (3) phương pháp phân lớp được sử dụng, (4) và mối quan hệ ứng suất-biến dạng được giả định cho từng vật liệu, như minh họa trong Hình 4, dựa trên Chỉ dẫn Tiêu chuẩn cho Kết cấu Bê tông ở Nhật Bản [9]. (5) Đối với mỗi lớp, mối quan hệ ứng suất-biến dạng liên tục được giả định.



Hình 4. Quan hệ ứng suất-biến dạng của từng vật liệu.



Hình 5. Tính toán đường cong tải trọng-chuyển vị.

Mặt cắt ngang của dầm được tách thành các lớp nằm ngang có độ dày 5 mm tương ứng với bê tông hoặc cốt thép, như minh họa trong Hình 5, để đánh giá chính xác mối quan hệ giữa độ cong và mô men uốn ứng với từng mức độ biến dạng. Dựa trên dữ liệu trước khi phân tích, độ dày của mỗi lớp được thiết lập. Bằng cách điều chỉnh

dẫn biến dạng thớ dưới và lấy cân bằng lực tổng hợp của tất cả các lớp, xác định được trục trung hòa và biến dạng thớ dưới tương ứng với biến dạng thớ trên tùy ý của mặt cắt ngang. Độ cong liên quan và mô men uốn mặt cắt có thể được tính toán bằng cách sử dụng các biến dạng thớ trên và dưới này. Biến dạng nén thớ trên của bê tông có thể

được tính toán bằng cách lặp lại các kỹ thuật trước đó từ 0 đến trạng thái tới hạn ($\varepsilon_{cu} = 0,35\%$) cho các mối quan hệ này. Kết quả là, đối với mỗi bước tải trọng, sự phân bố đường cong của dầm dọc theo nhịp tương ứng với biểu đồ mômen uốn. Cuối cùng, chuyển vị giữa nhịp được xác định bằng cách tính toán mômen tại giữa nhịp của dầm đơn giản chịu sự phân bố độ cong bằng kỹ thuật tích phân của Mohr.

Bảng 5 thể hiện kết quả thí nghiệm và tính toán ở tải trọng chảy dẻo cốt thép dọc và tải trọng lớn nhất đối với dầm N-S, A280-S, A415-S, A830-S, và A1660-S. Ở đây, tải trọng chảy dẻo được xác định từ điểm uốn thứ hai của mỗi đường cong quan hệ tải

trọng-chuyển vị trong Hình 3. Đối với dầm N-S, tải trọng tối đa được đánh giá bằng cách sử dụng chuyển vị giữa nhịp ở mức 40 mm do tải trọng tăng lên một cách đơn điệu do độ cứng dẻo của thanh cốt thép tác dụng. Kết quả thực nghiệm cho thấy tải trọng chảy và tải trọng lớn nhất của dầm A-S tăng lần lượt từ 1,2 đến 1,5 lần và 1,3 đến 1,7 lần so với dầm N-S. Ngoài ra, kết quả tính toán cho thấy dầm N-S đạt trạng thái tới hạn ngay sau khi thanh cốt thép chảy ra do biến dạng thớ trên đạt trạng thái nén tới hạn với $\varepsilon_{cu} = 0,35\%$, trong khi dầm A-S đạt trạng thái tới hạn với chế độ phá hoại bong tẩm vượt quá chuyển vị tính toán ở trạng thái tới hạn.

Bảng 5. Kết quả tính toán và thí nghiệm của dầm trong thí nghiệm tĩnh

	Mẫu thí nghiệm	Tải trọng chảy cốt thép (kN)		Tải trọng lớn nhất (kN)	
		Thí nghiệm	Tính toán	Thí nghiệm	Tính toán
1	N-S	57.0	53.3	66.7	55.0
2	A280-S	65.9	56.1	84.4	73.3
3	A415-S	67.8	57.9	84.8	81.0
4	A830-S	71.5	62.5	88.8	99.9
5	A1660-S	85.5	69.9	112.7	126.1

Từ Hình 3, bằng cách so sánh kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán cho dầm A280-S và A415-S, có thể thấy rằng kết quả tính toán gần tương ứng với kết quả thực nghiệm cho đến khi dầm đạt

đến trạng thái tới hạn tính toán. Người ta cho rằng vật liệu FPR được liên kết hoàn toàn với bê tông. Ngoài ra, trong thí nghiệm, tải trọng không giảm ngay cả khi đạt chuyển vị tính toán ở trạng

thái tới hạn, nghĩa là khả năng chịu tải của dầm được cải thiện đáng kể nhờ hiệu quả gia cường của tấm AFRP. Dầm A280-S và A415-S bị phá hoại do tấm AFRP bị bong với độ dịch chuyển lần lượt là khoảng 84 và 80 mm, sau khi đạt đến sự phá hoại nén xung quanh khu vực chất tải.

Đối với dầm A830-S và A1660-S, tải trọng lớn nhất đo được nhỏ hơn tải trọng tính toán (Bảng 5). Đối với dầm A830-S và A1660-S, người ta xác nhận rằng tấm bị bong từ từ sau khi thanh cốt thép chảy dẻo và/hoặc trước khi thanh cốt thép chảy dẻo, tương ứng (Hình 3). Ở đây, tấm bị bong do tác động bong tróc của các đầu vết nứt chéo tới hạn phát triển ở lớp bê tông dưới của dầm gần khu vực chất tải. Do đó, khi khối lượng tấm FRP tương đối lớn, các tấm có xu hướng bị bong ra sớm hơn so với tính toán.

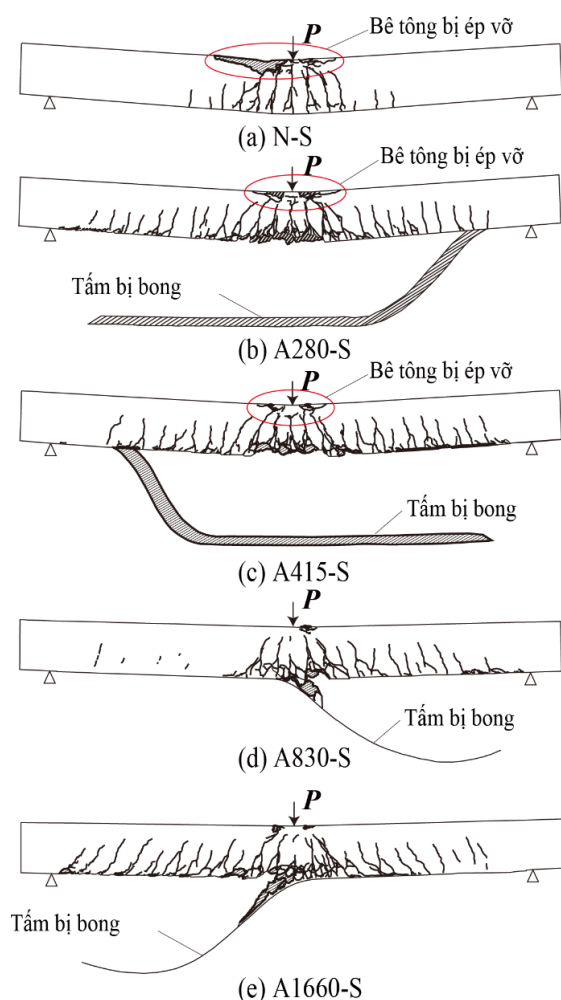
Các chế độ phá hoại của các kết quả thử nghiệm này có cùng xu hướng với nghiên cứu trước đó [6]. Dầm A280-S và A415-S được phân loại là "Phá hoại do nén uốn", khi nó đạt đến trạng thái tới hạn do tấm bị bong ra sau khi lớp phủ bê tông phía trên bị nghiền nát. Dầm A830-S và A1660-S được phân loại là "Phá hoại do bong tấm", khi chúng đạt đến trạng thái tới hạn do tấm bị bong mà không bị vỡ bê tông bên trên.

3.2. Các mẫu vết nứt của dầm sau khi thử tải tĩnh

Hình 6 so sánh các mẫu vết nứt của dầm N-S và Am-S (m: chỉ số khối lượng

trên một đơn vị diện tích của tấm FRP được dán cho mỗi dầm, $m = 280, 415, 830$ và 1660) sau các thử nghiệm tải trọng tĩnh. Các vết nứt uốn xảy ra từ lớp bê tông dưới xung quanh điểm chịu tải về phía điểm tải trọng cho tất cả các dầm, như thể hiện trong hình.

Dầm N-S xuất hiện nhiều vết nứt uốn xung quanh khu vực chất tải, lớp bê tông phía trên gần điểm chất tải bị hư hỏng nghiêm trọng và dầm bị biến dạng dài hạn gần vị trí này. Dầm N-S bị hư hỏng với chế độ phá hoại uốn. So với dầm N-S, các vết nứt uốn trong dầm Am-S được phân bố rộng rãi hơn trên toàn bộ dầm và dầm không bị biến dạng dài hạn do hiệu quả gia cường của các tấm AFRP. Tuy nhiên, dầm A280-S và A415-S đã bị hư hỏng đáng kể do lớp bê tông bao phủ bên trên xung quanh điểm tải trọng đã bị nghiền nát. Mặc dù lớp phủ bê tông phía trên của dầm A830/1660-S không bị nghiền nát xung quanh khu vực tải, nhưng mức độ hư hại của nó ít hơn dầm A280/A415-S. Các vết nứt uốn trong dầm A830-S chủ yếu được quan sát thấy ở phía bên phải của dầm và dầm A830-S ít bị biến dạng hơn Dầm A1660-S. Có thể là do tấm của dầm A1660-S bị bong nhiều hơn tấm của dầm A830-S. Do tác động bong tróc của đầu các vết nứt chéo tới hạn được tạo ra ở lớp bê tông dưới của dầm gần khu vực chất tải, tấm đã bị bong. Tất cả các dầm được gia cường đều bị hư hỏng do bong tấm với chế độ phá hoại uốn.



Hình 6. Phân bố vết nứt của dầm sau khi thử tải tĩnh.

3.3. So sánh chế độ phá hoại từ kết quả thí nghiệm với kết quả nghiên cứu trước

Trong Bảng 6, P_y và P_u lần lượt là tải trọng chảy và tải trọng tối đa tính toán. Từ bảng này, các phát hiện được tóm tắt như sau: 1) Các dạng phá hoại từ các kết quả thử nghiệm này có cùng xu hướng với nghiên cứu trước đó. 2) Dầm A280-S và A415-S được phân loại là "Phá hoại nén uốn", khi nó đạt đến

trạng thái tới hạn do tấm bị bong ra sau khi lớp bê tông phía trên bị nghiền nát. 3) Dầm A830-S và A1660-S được phân loại là "Phá hoại bong tấm", khi chúng đạt đến trạng thái tới hạn do tấm bị bong mà không vỡ bê tông bên trên.

Bảng 6. Danh sách các dạng phá hoại của từng dầm được gia cường uốn

Mẫu thí nghiệm	(kN)	(kN)		Dạng phá hoại
A280-S	56.1	73.3	0.76 (>0.7)	Phá hoại nén uốn
A415-S	57.9	81.0	0.71 (>0.7)	
A830-S	62.5	99.9	0.62 (<0.65)	Phá hoại bong tấm
A1660-S	69.9	126.1	0.55 (<0.65)	

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm tải trọng tĩnh được tiến hành bằng cách sử dụng khối lượng tấm để khảo sát các dạng phá hoại của dầm BTCT được gia cường uốn bằng tấm AFRP. Sau đây là tóm tắt các phát hiện:

1. Khả năng chịu tải của dầm gia cường được cải thiện đáng kể so với dầm không gia cường.
2. Dạng phá hoại của dầm BTCT gia cường uốn được phân thành hai loại: phá hoại do nén uốn và phá hoại do bong tấm, tùy thuộc vào tỷ số khả năng mô men uốn được tính toán M_y/M_u . Những kết quả này phù hợp tốt với nghiên cứu trước đó.
3. Dựa trên tỷ số khả năng chịu mô men uốn M_y/M_u tính toán, có thể dự đoán chế độ phá hoại của dầm BTCT gia cường.
4. Tất cả các dầm BTCT có/không gia cường đều hư hỏng với chế độ phá hoại uốn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. More, R.U.; Kulkarni, D.B. Flexural Behavioural Study on RC Beam with Externally Bonded Aramid Fiber Reinforced Polymer. *Int. J. Res. Eng. Technol.* July 2014, 3, 316–321.
- [2]. Raval, C.; Shah, S.; Machhi, C. Experimental Study on Shear Behaviour of RC Beam Strengthened by AFRP Sheet. *Int. J. Res. Writ.* 2020, 3, 62–68.
- [3]. American Concrete Institute; ACI Committee 440. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures; American Concrete Institute: Farmington Hills, Mich., 2017; ISBN 978-1-945487-59-0.
- [4]. Mostofinejad, D.; Shameli, M. Performance of EBROG Method under Multilayer FRP Sheets for Flexural Strengthening of Concrete Beams. *Procedia Eng.* 2011, 14, 3176–3182, doi:10.1016/j.proeng.2011.07.401.
- [5]. Mostofinejad, D.; Shameli, S.M. Externally Bonded Reinforcement in Grooves (EBRIG) Technique to Postpone Debonding of FRP Sheets in Strengthened Concrete Beams. *Constr. Build. Mater.* 2013, 38, 751–758, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.09.030.
- [6]. Kishi, N.; Mikami, H.; Matsuoka, K.G.; Kurihashi, Y. Failure Behavior of Flexural Strengthened RC Beams with AFRP Sheet. In *FRPRCS-5: Fibre-reinforced plastics for reinforced concrete structures Volume 1*; Thomas Telford Publishing, 2001; pp. 87–95 ISBN 978-0-7277-3647-5.
- [7]. Fibex. Material Properties for Unidirectional AFRP Sheets. 2014.
- [8]. JIS K 7165. Plastics—Determination of Tensile Properties - Part 5; Test Conditions for Unidirectional Fibre-Reinforced Plastic Composites. 2008.
- [9]. JSCE (Japan Society of Civil Engineers). Standard Specification for Concrete Structures-2007 Design; JSCE: Tokyo, Japan, 2007; ISBN ISBN 978-4-8106-0752-9.
- [10]. Kaklauskas, G.; Bacinskas, D.; Šitnkus, R. Deflection Estimates of Reinforced Concrete Beams by Different Methods. *Statyba* 1999, 5, doi:10.1080/13921525.1999.10531473.