

Nghiên cứu mô phỏng xác định khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polyme sợi thủy tinh được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt

Bùi Thị Thanh Mai¹, Nguyễn Quang Sĩ^{2*}

¹ Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Giao Thông Vận Tải.

² Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao Thông Vận tải.

TỪ KHÓA

Mô phỏng số
Dầm bê tông cốt composite polyme
Dầm chịu cắt
Bê tông cốt lưới dệt
Gia cường bằng TRC

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn nhằm xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme sợi thủy tinh (GFRP) được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt (TRC). Hình dạng vết nứt, đường cong lực - chuyển vị, đường cong lực - biến dạng trong cốt dọc GFRP thu được từ kết quả mô phỏng số được so sánh với kết quả thí nghiệm. Kết quả cho thấy rằng, bê tông cốt lưới dệt mang lại hiệu quả cao trong việc gia cường khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme. Ngoài ra, hiệu quả của các hình thức gia cường (ba mặt, bốn mặt) đến ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme cũng được tiến hành khảo sát.

KEYWORDS

Numerical
Composite polymer beams
Beam under shear
Textile reinforced concrete
Strengthening by TRC

ABSTRACT

This paper presents the numerical simulation study using the finite element method to determine the shear behavior of glass fiber reinforced polymer (GFRP) concrete beam strengthened with textile reinforced concrete (TRC). Failure modes, displacement – force curve, strain – force curve in GFRP longitudinal reinforcement obtained from numerical simulation results is compared with experimental results. The results show that textile reinforced concrete is highly effective in strengthening the shear capacity of polymer composite reinforced concrete beams. Additionally, the effect of the TRC strengthening method on the shear behavior of GFRP beams strengthened with TRC was also investigated.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, các kỹ sư xây dựng luôn tìm kiếm các vật liệu mới để thay thế cho cốt thép trong các kết cấu bê tông cốt thép (BTCT). Vật liệu BTCT có ưu điểm là khả năng chịu lực lớn, giá thành rẻ và thi công dễ dàng. Tuy nhiên, vật liệu này có nhược điểm lớn nhất là cốt thép bị ăn mòn sau một thời gian sử dụng. Do đó, việc sử dụng vật liệu trong các kết cấu trong môi trường khắc nghiệt đang được tìm hiểu và nghiên cứu không ngừng. Thời gian gần đây, nhiều loại vật liệu mới được áp dụng vào kết cấu như bê tông cường độ siêu cao, thép cường độ cao, bê tông cốt thanh composite polyme, bê tông cốt lưới dệt... Trong đó, bê tông cốt thanh composite polyme (FRP) là loại vật liệu có tiềm năng lớn để thay thế vật liệu BTCT truyền thống, vì FRP có một số ưu điểm như trọng lượng nhỏ, cường độ cao, không dẫn điện, không nhiễm từ, có tính linh hoạt cao trong sử dụng, và đặc biệt là không bị gỉ.

Sau một thời gian đưa vào sử dụng và khai thác các dầm bê tông cốt FRP cũng giống như các dầm BTCT sẽ xuất hiện các vết nứt ở các vị trí khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm chịu lực của dầm. Đặc biệt là các vết nứt xiên do cắt xuất hiện ở vị trí gối, các vết nứt này làm cho dầm bị giảm khả năng chịu lực, thậm chí bị phá hoại. Ngoài ra, trong một số trường hợp, do yêu cầu thay đổi công năng sử dụng, tải trọng

tác dụng lên dầm có thể thay đổi... Những lý do này yêu cầu việc gia cường, sửa chữa nhằm phục hồi, nâng cao khả năng chịu tải trọng trong dầm bê tông cốt FRP là cần thiết. Trên thế giới, để gia cường cho các cấu kiện, phương pháp gia cố bằng tấm Fiber-Reinforced Polymer (FRP) đã được sử dụng. Tuy nhiên, công nghệ này có một số nhược điểm như tấm FRP liên kết vào kết cấu bằng chất kết dính polymer, chất nền này có độ bền không cao với môi trường, nhất là dễ bị suy thoái dưới tác dụng của nhiệt độ cao. Ngoài ra, chất lượng của phương pháp gia cường này phụ thuộc nhiều vào quá trình thi công, khó áp dụng cho các kết cấu trong môi trường ẩm ướt, thấm thấu [1].

Vật liệu bê tông cốt lưới dệt (Textile reinforced concrete – TRC) là giải pháp được nghiên cứu gần đây để cải thiện nhược điểm của kết cấu được gia cường bằng các dán các tấm FRP. Vì chất kết dính polyme có nhiều nhược điểm nên người ta thay thế chất kết dính polyme bằng bê tông hạt mịn. TRC được cấu tạo chính từ hai loại vật liệu là lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn. Lưới sợi dệt được làm từ các sợi nhỏ, có nguồn gốc từ các bon hoặc thủy tinh, được dệt thành tấm lưới và đặt vào bê tông hạt mịn, thay thế thép làm cốt. Vật liệu trong bê tông hạt mịn có kích thước thường nhỏ hơn 1 mm để đảm bảo tính dính bám tốt với lưới sợi [2].

Trên thế giới, nhiều quốc gia như Pháp, Đức, Thụy Điển... đã nghiên cứu và áp dụng TRC để tăng cường, sửa chữa kết cấu cũ. Các

*Liên hệ tác giả: sinq_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 15/07/2024, sửa xong ngày 05/08/2024, chấp nhận đăng ngày 14/10/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.759>

kết quả nghiên cứu cho thấy, TRC có thể sử dụng để tăng cường hiệu quả các kết cấu BTCT chịu uốn, cắt, nén và xoắn [3]. Ngoài ra, bê tông cốt lưới dệt rất phù hợp cho việc sửa chữa, tăng cường các kết cấu BTCT, đặc biệt là các công trình trong môi trường khắc nghiệt hoặc yêu cầu cao về chống ăn mòn ([4-6]). TRC có khả năng chịu lửa cao, giá thành rẻ, dễ dàng thi công theo phương pháp “trát”, tương thích với các vật liệu nền như bề mặt bê tông, có thể ứng dụng ở những bề mặt ẩm ướt hoặc khu vực có nhiệt độ thấp. Ở Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu và ứng dụng công nghệ này vào trong ngành xây dựng ([7-9]). Năm 2018, sàn bê tông cốt thép trong công trình nhà xưởng công nghiệp tại Vĩnh Phúc lần đầu tiên được gia cường, sửa chữa bằng công nghệ TRC.

Hiện nay, với sự hỗ trợ của máy vi tính và sự phát triển của lý thuyết phần tử hữu hạn (PTHH) việc phân tích được sự làm việc của các kết cấu đã được thực hiện một cách khá chính xác. Trong bài báo này, phần mềm PTHH Cast3M [10] được sử dụng để nghiên cứu ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt FRP không sử dụng cốt đai được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Cast3M là phần mềm có mã nguồn mở, được nghiên cứu và phát triển bởi viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử (CEA) của Cộng Hòa Pháp. Kết quả mô phỏng được kiểm chứng với kết quả thí nghiệm được thực hiện bởi C. T. N. Tran và cộng sự [11]. Từ mô hình đã được kiểm chứng bằng thí nghiệm, nghiên cứu tham số được thực hiện để xem xét ảnh hưởng của các giải pháp gia cường đến ứng xử của kết cấu dầm bê tông cốt FRP được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt.

Cấu trúc bài báo gồm các phần sau: phần 1 là đặt vấn đề, phần 2 giới thiệu tóm tắt các kết quả thí nghiệm. Tiếp đó, mô hình mô phỏng cũng như kết quả so sánh giữa kết quả thu được từ mô phỏng số và kết quả thí nghiệm được trình bày trong phần 3. Phần cuối của bài báo được dành cho kết luận và kiến nghị.

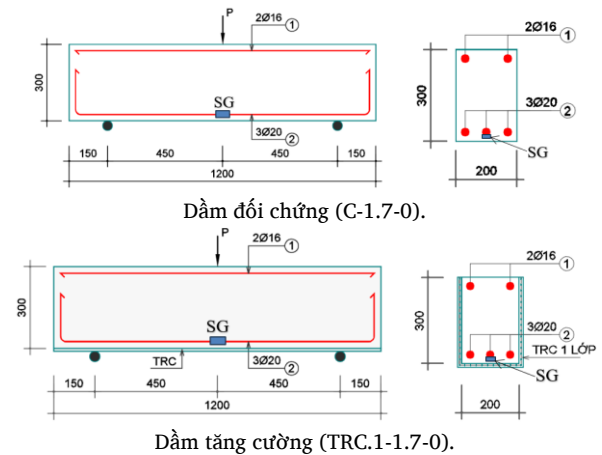
2. Thí nghiệm xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme sợi thủy tinh được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt

Phần dưới đây trình bày tóm tắt thí nghiệm về dầm bê tông cốt composite polyme sợi thủy tinh được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt được thực hiện bởi C. T. N. Tran và cộng sự [11].

2.1 Bố trí thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện trên hai dầm bê tông cốt GFRP có kích thước 200x300x1200 mm, được tiến hành thí nghiệm uốn 3 điểm (Hình 1). Ở thớ dưới dầm, 3 thanh GFRP đường kính 20 mm bố trí và ở thớ trên của dầm bố trí 2 thanh GFRP đường kính 16 mm. Cả hai mẫu dầm đều không được bố trí cốt thép đai. Để không chế dầm bị phá hoại do cắt, chiều dài chịu cắt của dầm được lựa chọn bằng 450 mm để tỷ lệ chiều dài chịu cắt / chiều dài có hiệu xấp xỉ 1,7. Mẫu dầm không được gia cường (C-1.7-0) được dùng làm mẫu đối chứng để so sánh hiệu quả gia cường dầm bằng việc tăng cường 1 lớp TRC (TRC.1-1.7-0) trên toàn bộ chiều dài của dầm. Cảm biến điện trở (Strain

gauge_SG) được đặt tại vị trí chính giữa của thanh GFRP ở giữa của lớp dưới để đo biến dạng dọc trục. Các cảm biến đo chuyển vị (LVDT) cũng được đặt tại vị trí giữa dầm để đo chuyển vị của dầm trong thí nghiệm.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết các dầm trong thí nghiệm [11].

Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông hạt mịn dùng trong nghiên cứu này là $f_c' = 30,8$ MPa. Đặc trưng cơ học của bê tông dầm trong thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1. Bảng 2 trình bày tóm tắt các đặc trưng của vật liệu cốt GFRP. Lưới sợi thủy tinh SITgird200KE được dùng trong thí nghiệm này. Đây là loại sợi thủy tinh kháng kiềm được sản xuất tại Đức. Kích thước mắt lưới là 17,5 x 17,5 mm, trọng lượng riêng là 2,68 g/cm³, diện tích mỗi bó sợi là 105,67 mm²/m. Lưới được dệt với các bó sợi theo phương 0⁰/90⁰ như trên Hình 2. Bảng 3 thể hiện các thông số hình học và cường độ của lưới sợi.

Bảng 1. Đặc trưng cơ học của bê tông dầm trong thí nghiệm [11].

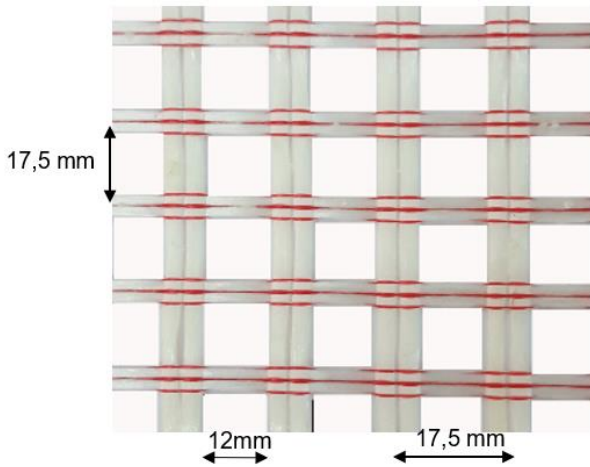
Tên mẫu	Cường độ chịu nén đặc trưng f_c' (MPa)	Mô đun đàn hồi E (GPa)
C-1.7	33,7	27,5
TRC.1-1.7	36,2	28,5

Bảng 2. Đặc trưng vật liệu của thanh GFRP trong thí nghiệm [11].

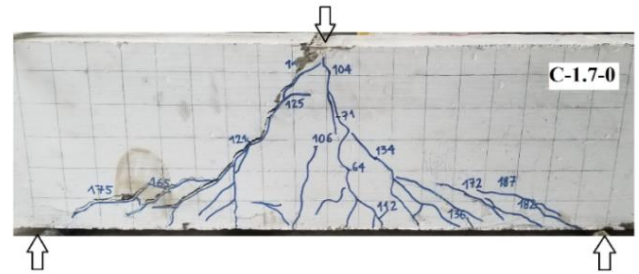
Vật liệu	Loại	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Diện tích tiết diện (mm ²)
GFRP	Ø16	42,5	800,2	165,0
	Ø20		801,3	240,4

Bảng 3. Thông số lưới sợi dệt trong thí nghiệm [11].

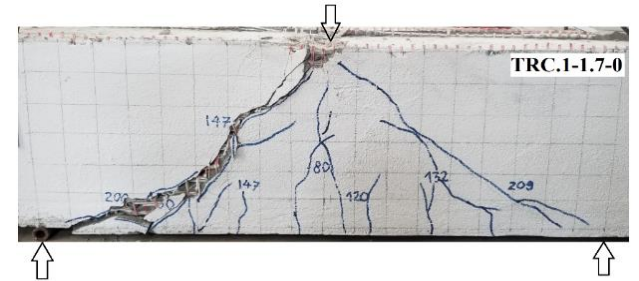
Loại lưới sợi	Kích thước			Bó sợi trần	
	Kích thước mắt lưới (mm)	Trọng lượng riêng (g/cm ³)	Diện tích bó sợi (mm ² /m)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (GPa)
SITgird200KE	17,5x17,5	2,68	105,67	1800	120



Hình 2. Hình ảnh cốt lưới dệt sử dụng trong thí nghiệm [11].



a) Dầm đối chứng (C-1.7).

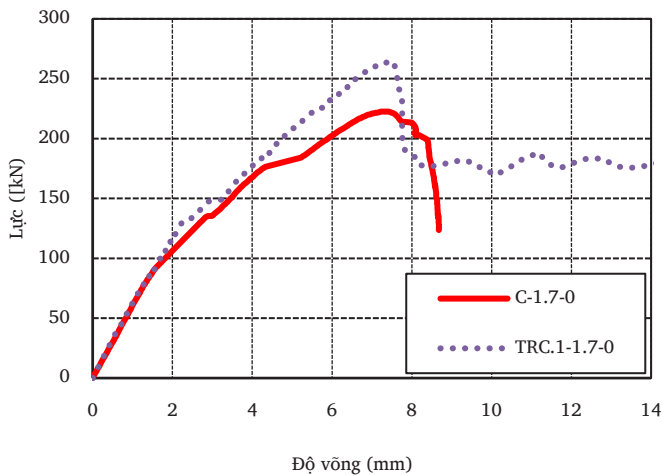


b) Dầm gia cường 1 lớp lưới sợi (TRC.1-1.7).

Hình 4. Cấu trúc vết nứt các dầm thí nghiệm.

2.2 Kết quả thí nghiệm

Hình 3 thể hiện mối quan hệ lực tác dụng và độ võng tại vị trí giữa dầm của hai mẫu dầm thí nghiệm. Hình dạng phá hoại của các mẫu thí nghiệm được trình bày ở Hình 4.

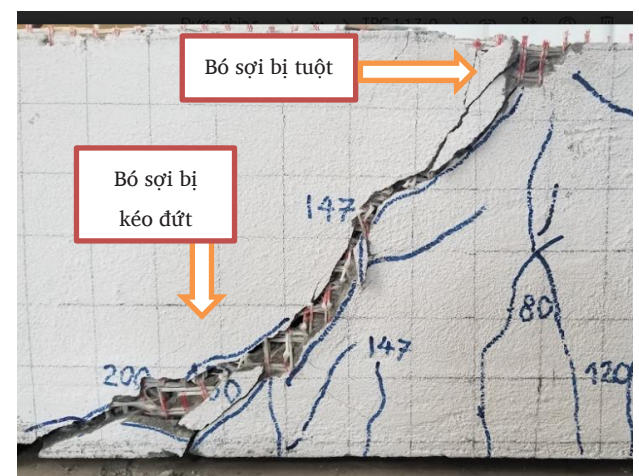


Hình 3. Quan hệ lực - độ võng tại vị trí giữa dầm của các dầm trong thí nghiệm [11].

Dầm đối chứng (C-1.7-0) và dầm được gia cường (TRC.1-1.7-0) trong giai đoạn đầu khi chịu tải trọng đều có ứng xử đàn hồi tuyến tính. Độ cứng của hai mẫu dầm là như nhau trong giai đoạn này. Khi tải trọng tăng lên, các vết nứt đầu tiên xuất hiện. Quan sát thấy rằng, tại thời điểm giá trị tải trọng bằng 64 kN, các vết nứt đầu tiên do uốn xuất hiện trên mẫu dầm đối chứng. Trong khi đó, vết nứt đầu tiên trên mẫu dầm gia cường là tại thời điểm giá trị tải trọng là 80 kN. Điều này cho thấy, TRC có hiệu quả tăng cường cho dầm trong giai đoạn đầu trước khi dầm bị nứt.

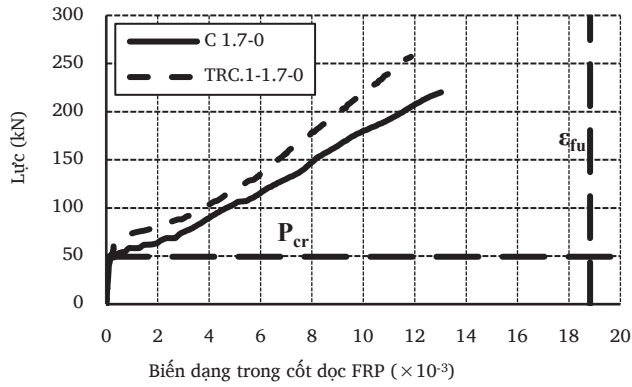
Khi tải trọng tiếp tục tăng lên, các vết nứt nghiêng xuất hiện và phát triển về biên chịu nén (Hình 4). Tuy nhiên, nhờ sự có mặt của lớp TRC trong mẫu dầm được gia cường, giá trị tải trọng khi vết nứt nghiêng đầu tiên xuất hiện là 147 kN, cao hơn so với mẫu không gia cường (121 kN). Tại thời điểm này, độ cứng của các dầm bị giảm xuống và đường cong lực - độ võng có dạng đường thẳng đến khi đạt tới giá trị lực lớn nhất. Ở giai đoạn này, độ cứng và giá trị lực lớn nhất của dầm TRC.1-1.7-0 là cao hơn so với các dầm không được tăng cường C-1.7-0 (hơn 18,8%). Cuối cùng, tại thời điểm dầm bị phá hoại, giá trị lực giảm đột ngột ứng với thời điểm các vết nứt nghiêng mở rộng.

Tại thời điểm bị phá hoại, quan sát trên mẫu dầm TRC.1-1.7-0, thấy rằng, bê tông bị ép vỡ tại vị trí đặt lực, các vết nứt nghiêng trên dầm được mở rộng, lưới sợi dệt bị kéo đứt tại vị trí gối và bị tuột tại vị trí gia tải (Hình 4b và Hình 5).



Hình 5. Bó sợi bị tuột và bị kéo đứt.

Các biến dạng trong cốt dọc cùng với các kiểu vết nứt đã được quan sát trước đó có thể giúp khẳng định chắc chắn hơn các phá hoại do cắt trong các mẫu đầm thí nghiệm. Biến dạng của các thanh cốt dọc theo tải trọng tác dụng được thể hiện trong Hình 6.



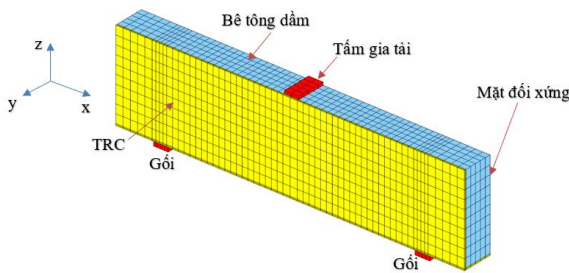
Hình 6. Biến dạng trong cốt dọc FRP.

Biến dạng trong thanh GFRP hầu như rất nhỏ khi tải trọng tác dụng nhỏ hơn so với tải trọng gây nứt P_{cr} . Khi vết nứt xuất hiện, biến dạng trong thanh GFRP của cả hai đầm trong thí nghiệm tăng nhanh. Tuy nhiên, biến dạng trong cốt dọc GFRP của các đầm thí nghiệm đều nhỏ hơn giá trị cực hạn là 0,0188 (0,0130 ứng với đầm C-1.7-0 và 0,0114 ứng với đầm TRC.1-1.7-0). Điều này góp phần chứng tỏ rằng, phá hoại trong các các đầm thí nghiệm đều không phải là do phá hoại trong thanh GFRP mà là do phá hoại do cắt. Ngoài ra, ứng với cùng một mức tải trọng, biến dạng trong thanh GFRP của mẫu đầm không được gia cường là lớn hơn so với mẫu đầm được gia cường. Điều này có thể giải thích là do tác dụng của lưới sợi ở mặt dưới của đầm sẽ chịu một phần lực, góp phần vào khả năng chống uốn của đầm mặc dù đầm được gia cường kháng cắt.

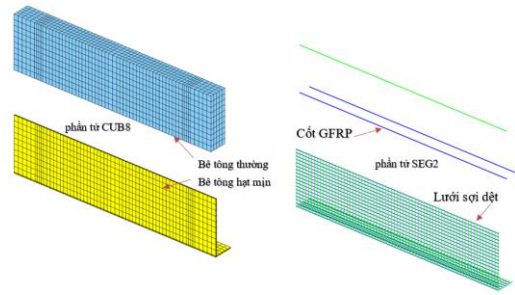
3. Mô hình mô phỏng

3.1 Xây dựng mô hình

Phần mềm phần tử hữu hạn (PTHH) Cast3M [10] được sử dụng để mô phỏng đầm thí nghiệm. Để giảm nhẹ khối lượng và thời gian tính toán, nhờ vào tính đối xứng, việc mô hình hóa mẫu đầm được thực hiện trên 1/2 mô hình. Mô hình phần tử hữu hạn của đầm gia cường TRC.1-1.7-0 được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Mô hình phần tử hữu hạn.

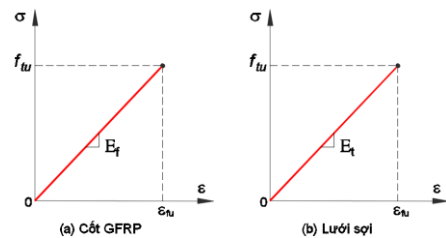


Hình 8. Các phần tử trong mô hình mô phỏng.

Các phần tử bê tông thường và bê tông hạt mịn trong mô hình được miêu tả bằng phần tử lục diện 8 nút (CUB8), mỗi nút có ba bậc tự do là ba chuyển vị thẳng theo ba phương U_x, U_y, U_z . Để đảm bảo điều kiện hội tụ của bài toán, kích thước của các phần tử trong mô hình được lựa chọn là 25 mm. Cốt FRP và lưới sợi dệt được mô hình bằng phần tử thanh 2 nút tuyến tính (SEG2), mỗi nút có ba bậc tự do là ba chuyển vị thẳng theo ba phương U_x, U_y, U_z . Diện tích của các thanh được lấy trong Bảng 2 và Bảng 3.

Gối bên trái được khống chế chuyển vị theo phương đứng và phương ngang ($U_x = U_z = 0$), gối bên phải được khống chế chuyển vị theo phương đứng ($U_z = 0$). Việc quy đổi về 1/2 mô hình được thực hiện thông qua việc khống chế chuyển vị thẳng theo phương vuông góc với mặt đối xứng bằng không ($U_y = 0$). Đầm mô phỏng được gia tải bằng chuyển vị với số gia chuyển vị $\Delta U = -0,01mm$. Hình 8 thể hiện các phần tử trong mô hình mô phỏng.

Ứng xử của bê tông được mô phỏng bằng cách sử dụng mô hình bê tông phá hoại của Mazars [12]. Mô hình này cho phép miêu tả các ứng xử phức tạp của vật liệu bê tông như ứng xử chịu nén một, hai, ba trục thông qua đại lượng hư hại có hiệu d . Đại lượng này cho phép mô tả sự suy giảm độ cứng của mẫu. Ở trạng thái mẫu bị nứt, đại lượng này cho phép mô tả sự phát triển của vết nứt đồng thời tránh cho các vết nứt bị xâm nhập vào nhau (unilateral contact). Bên cạnh đó, mô hình mô phỏng tương đối chính xác các loại tải trọng khác nhau: tải trọng động, tải trọng tĩnh, tải trọng lặp.



Hình 9. Quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu FRP và lưới sợi dệt.

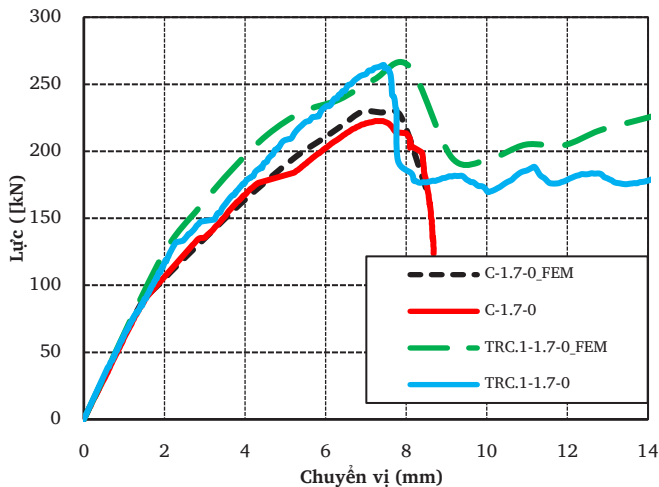
Hình 9 thể hiện quan hệ ứng suất - biến dạng của FRP và lưới sợi dệt, hai loại vật liệu này được mô tả bằng ứng xử đàn hồi - giòn. Ứng suất kéo tăng gần như tuyến tính. Sau khi đạt giá trị ứng suất cực đại, FRP và lưới sợi dệt bị phá hoại ngay lập tức.

Thực tế quan sát được trong thí nghiệm, sự phá hoại của các mẫu đầm không xảy ra ở bề mặt dính bám giữa bê tông hạt mịn và bê tông

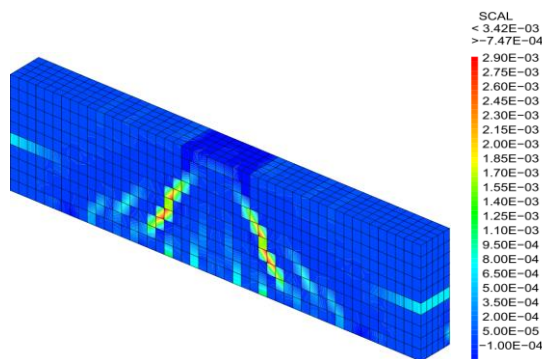
thường của dầm được gia cường, do đó, giả thuyết sự dính bám giữa bê tông thường và bê tông hạt mịn là tuyệt đối. Bám dính giữa cốt GFRP với bê tông dầm, giữa bê tông hạt mịn TRC và lưới sợi dệt cũng được giả thiết là dính bám tuyệt đối. Việc đơn giản hóa này cho phép làm giảm độ phức tạp của mô hình và tập trung vào ứng xử tổng thể của dầm bê tông cốt GFRP được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Tuy nhiên, để có thể thu được kết quả chính xác hơn và phản ánh đúng đắn các dạng phá hoại của dầm thì các mô hình có kể đến hiệu ứng dính bám giữa lưới sợi với bê tông của dầm, giữa bê tông hạt mịn với bê tông dầm cần được nghiên cứu, phát triển.

3.2 Kết quả mô phỏng

Hình 10 cho thấy biểu đồ thu được từ mô hình mô phỏng của cả hai mẫu dầm thí nghiệm có sự tương đồng với kết quả thí nghiệm. Đường cong mô phỏng cũng thể hiện được sự thay đổi độ cứng của dầm khi có vết nứt xuất hiện. Có thể thấy rằng, ở thời điểm phá hoại, giá trị lực lớn nhất không có sự khác biệt nhiều so với kết quả thí nghiệm (Bảng 4), với sai số chỉ là 3%.



Hình 10. So sánh lực – chuyển vị của các dầm mô phỏng với kết quả thí nghiệm.



a) C-1.7-0

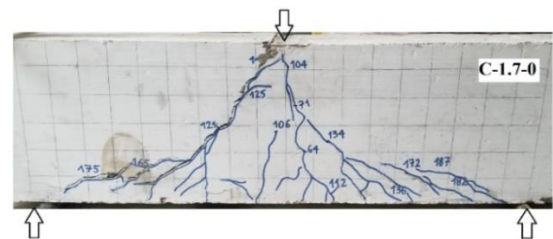
Bảng 4. So sánh kết quả của các dầm thí nghiệm và mô phỏng tăng cường sức kháng cắt.

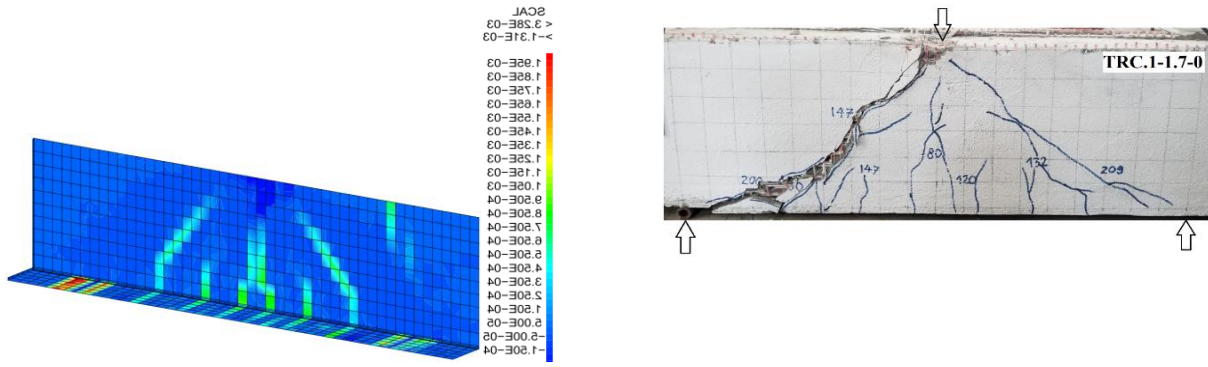
Dầm	Lực lớn nhất P_u (kN)		
	Thí nghiệm	Mô phỏng	Sai số (%)
C-1.7-0	222,54	229,38	3 %
TRC.1-1.7-0	264,38	268,49	1,5 %

Hình 11 thể hiện các vết nứt xuất hiện trong dầm thu được từ mô hình mô phỏng. Quan sát thấy rằng vị trí các vết nứt từ mô hình mô phỏng tương ứng với kết quả thí nghiệm khi trên mẫu có các vết nứt thẳng đứng do uốn và vết nứt nghiêng do cắt.

Đối với dầm TRC.1-1.7-0, sự phá hoại là do vết nứt nghiêng mở rộng và phát triển từ vị trí đặt tải đến gối đỡ. Ở giai đoạn đầu, độ mở rộng vết nứt nhỏ, dính bám giữa lưới sợi và bê tông hạt mịn có thể coi là tuyệt đối, do đó kết quả mô phỏng thu được khá phù hợp với kết quả thí nghiệm. Tuy nhiên, sau khi vết nứt mở rộng, một số lưới sợi ở vị trí tầm gia tải của dầm không đủ chiều dài neo sẽ bị tuột. Tại vị trí gối của dầm, vết nứt là tương đối lớn, một số lưới sợi bị đứt do sự suy giảm cường độ của sợi vì bị uốn góc 90°. Tuy nhiên, do mô hình mô phỏng có lựa chọn dính bám giữa sợi và bê tông hạt mịn là dính bám tuyệt đối, nên ở giai đoạn sau khi đạt đỉnh của lực và vết nứt mở rộng lớn thì mô hình đã không phản ánh được hiện tượng tuột của các sợi này, do đó kết quả mô phỏng và thực nghiệm ở giai đoạn này có sự chênh lệch khá lớn.

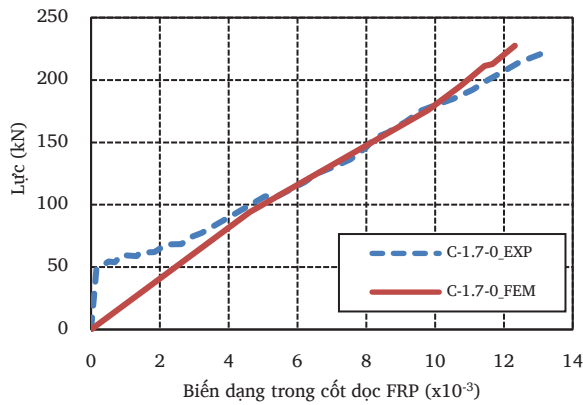
Đường cong quan hệ lực – biến dạng thanh GFRP ở giữa của lớp dưới và biến dạng lớn nhất trong mô hình mô phỏng được thể hiện ở Hình 12. Các đường cong lực – biến dạng thu được từ thí nghiệm chia làm hai giai đoạn: giai đoạn đầu trước khi bê tông nứt, biến dạng trong FRP là nhỏ, biến dạng trong FRP tăng nhanh đến giá trị lớn nhất ở giai đoạn sau khi bê tông nứt. Còn các đường cong lực – biến dạng thu được từ mô phỏng lại cho thấy biến dạng trong cốt GFRP lại tăng tuyến tính đến giá trị lớn nhất. Điều này có thể giải thích là do giả thiết dính bám tuyệt đối giữa bê tông và cốt GFRP trong mô hình mô phỏng. Tuy nhiên, biến dạng cực đại trong thanh GFRP vẫn cho thấy sự phù hợp giữa kết quả thí nghiệm và mô hình mô phỏng.



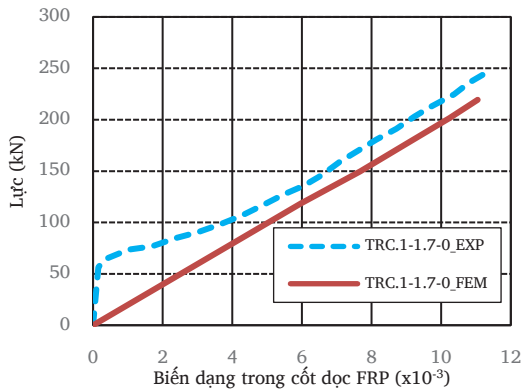


b) TRC.1-1.7-0

Hình 11. Hình ảnh phá hoại mẫu đầm từ mô hình mô phỏng.



a) C-1.7-0

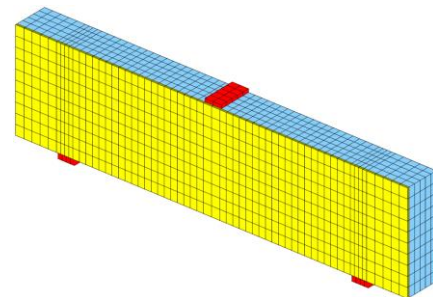


c) TRC.1-1.7-0

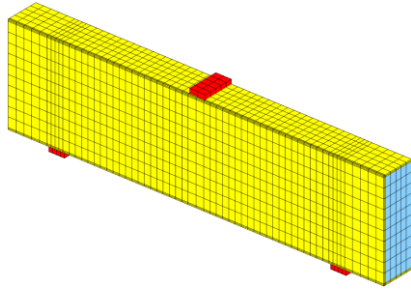
Hình 12. Biến dạng trong thanh GFRP.

3.2 Ảnh hưởng của phương pháp gia cường tới ứng xử chịu cắt của đầm bê tông cốt GFRP gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt.

Dựa trên mô hình mô phỏng đã thực hiện ở trên, tiến hành khảo sát ảnh hưởng phương pháp gia cường tới ứng xử chịu cắt của đầm bê tông cốt GFRP được gia cường bằng 1 lớp lưới sợi dệt (TRC.1-1.7-0). Hình 13 thể hiện mô hình hình học của đầm TRC.1-1.7-0: a) trát 2 mặt bên của đầm b) trát 4 mặt của đầm.



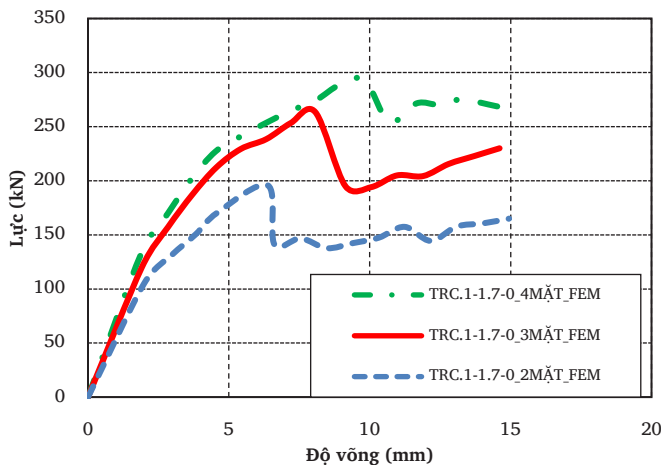
a) Trát 2 mặt đầm



b) Trát 4 mặt dầm

Hình 13. Mô hình PTHH dầm tăng cường trát 2 mặt và trát 4 mặt dầm.

Biểu đồ quan hệ lực – độ võng của các dầm tăng cường với cấu trúc gia cường khác nhau gồm gia cường 2 mặt dầm và gia cường 4 mặt dầm, thực hiện trên dầm bê tông cốt FRP có cốt đai gia cường 1 lớp lưới sợi (TRC.1-1.7-0), được thể hiện trên Hình 14. Có thể thấy rằng, độ cứng ban đầu của dầm gia cường 4 mặt là lớn hơn so với các dầm được gia cường 3 và 2 mặt dầm. Ngoài ra, việc tăng cường dầm bằng cách trát 4 mặt cho hiệu quả cao nhất, thể hiện ở giá trị lực cực hạn của dầm được trát 2 mặt, 3 mặt nhỏ hơn so với dầm được trát 4 mặt. Hiệu quả gia cường 3 mặt lớn hơn so với gia cường 2 mặt là 34,6 % và gia cường 4 mặt lớn hơn 49,6 % so với gia cường 2 mặt. Bên cạnh đó, dầm được trát 4 mặt có chuyển vị ứng với giá trị lực cực hạn lớn nhất, thể hiện tính dẻo trong bê tông được tăng lên.



Hình 14. Biểu đồ lực – độ võng của các dầm được tăng cường với cấu trúc tăng cường khác nhau.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày nghiên cứu mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Mô hình mô phỏng cho thấy sự tương đồng với kết quả thí nghiệm trên các phương diện như dạng vết nứt, mối quan hệ lực - độ võng giữa dầm, đường cong lực - biến dạng trong cốt dọc GFRP. Sai số giữa giá trị chịu lực lớn nhất của mô hình và thí nghiệm là 3 %.

Bên cạnh đó, dựa trên mô hình mô phỏng số, việc nghiên cứu các tham số được tiến hành để xác định ảnh hưởng của một số tham số tới ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt GFRP gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Các phân tích khảo sát cho thấy rằng dầm được tăng cường bằng cách trát 4 mặt dầm cho khả năng chịu cắt lớn nhất, hơn 11,2 % và 49,6 % so với trát 3 mặt và 2 mặt.

Hướng nghiên cứu tiếp theo là nghiên cứu mô hình mô phỏng có xét đến hiệu ứng dính bám giữa bê tông hạt mịn và lưới sợi dệt, dính bám giữa bê tông hạt mịn với bê tông dầm được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Q. S., Đặng V. T., and Tạ Q. V., “Nghiên cứu mô phỏng xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thép gia cường bê tông cốt lưới dệt,” Proceedings of the International Conference - 60 Years of IBST, pp. 143–149, Nov. 2023, doi: 10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-14.
- [2]. Tran Cao Thanh Ngoc, Nguyen Xuan Huy, Nguyen Nghia Binh, Pham Minh Hau (2021), “Ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt GFRP được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt”, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, Tập 72, Số 8 (10/2021), 932-944.
- [3]. Manfred Curbach (2002), SFB 528: “Textile Bewehrungen zur Bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung”, Arbeits- und Ergebnisbericht für die Periode II/1999 - I/2002.
- [4]. American Concrete Institute (2013). “ACI 549.4R-13: Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures”.
- [5]. Zulassung Z-31.10-182 (2015) Gegenstand: “Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)”, Prüfstelle: DIBt, Antragsteller: TUDAG TU Dresden Aktiengesellschaft.
- [6]. Brameshuber W. (2006), “Textile Reinforced Concrete”. State-of-the Art, Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, 1st ed. Bagnaux, vol. 36: RILEM Publications S.A.R.L., ISBN 2-912143-99-3.
- [7]. Nguyễn Huy Cường, Ngô Đăng Quang, Lê Minh Cường, Nguyễn Hoàng Quân (2016), “Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt sợi các bon”, Tạp chí Kết cấu và công nghệ xây dựng, số 23/2016.
- [8]. Nguyễn Xuân Huy, Lê Minh Cường, Nguyễn Thị Nhung (2019). “Phân tích sự phá hoại chọc thủng của bản bê tông cốt thép được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt”, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, số 69, 41-47.
- [9]. Ngô Đăng Quang, Nguyễn Huy Cường, Nguyễn Duy Tiến (2020), “Nghiên cứu thực nghiệm và tính toán cột bê tông cốt thép chịu nén đứng tâm được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt các bon”, Tạp chí Khoa học GTVT, Tập 71 số 5 (tháng 6/2020), 486-499.
- [10]. CAST3M, <http://www-cast3m.cea.fr/>.
- [11]. C. T. N. Tran, X. H. Nguyen, H. C. Nguyen, and D. D. Le, “Shear performance of short-span FRP-reinforced concrete beams strengthened with CFRP and TRC,” Engineering Structures, vol. 242, p. 112548, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112548.
- [12]. Mazars J, “A description of micro and macroscale damage of concrete structure”. Eng Fract Mech 25:729–737, 1986