

Nghiên cứu mô phỏng ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt

Hồ Thị Hoài^{1*}

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

TỪ KHÓA

Dầm bê tông cốt thanh GFRP
Ứng xử chịu cắt
Cốt lưới dệt
Mô phỏng số

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh (GFRP) sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt bằng phần mềm ATENA. Mô hình được xây dựng cho kết quả tương đồng về đường cong tải trọng - chuyển vị, khả năng chịu lực, dạng phá hoại, và sự phân bố các vết nứt so với kết quả thí nghiệm. Từ mô hình được xây dựng, ảnh hưởng của loại lưới sợi đến khả năng chịu lực của dầm bê tông GFRP đã được khảo sát với hai loại lưới sợi các bon và thủy tinh. Kết quả cho thấy, khả năng chịu lực của các mẫu dầm có cốt đai là lưới sợi các bon tăng lên tương ứng là 7,08 % và 17,03 % so với dầm sử dụng sợi thủy tinh.

KEYWORDS

GFRP reinforced concrete beam
Shear behavior
Textile fabric
Numerical

ABSTRACT

This paper presents a numerical study on the shear behavior of GFRP-reinforced concrete beams using a textile grid as shear reinforcement, conducted with ATENA software. The results of the finite element model demonstrate good agreement with experimental findings regarding the load-displacement curve, load-bearing capacity, failure modes, and crack distribution. Based on the proposed model, the influence of the type of textile grid on the load capacity of GFRP-reinforced concrete beams was investigated using two types of fiber: carbon and glass. The results indicate that the load capacity of GFRP beams with carbon fiber increased by 7.08% and 17.03% compared to those with glass fiber.

1. Đặt vấn đề

Đối với các công trình bê tông cốt thép được xây dựng ở khu vực ven biển hoặc nhiễm mặn, hiện tượng ăn mòn cốt thép là một trong những nguyên nhân gây ra sự suy giảm khả năng chịu lực và độ bền, cũng như tính nguyên vẹn của kết cấu bê tông. Nhu cầu thực tế đặt ra là cần phải phát triển thêm những công nghệ xây dựng mới và vật liệu phù hợp để giảm thiểu ảnh hưởng của môi trường đối với kết cấu công trình trong giai đoạn khai thác. Những năm gần đây, vật liệu Composite Polymer (Fiber reinforced polymer- FRP) là một trong những lựa chọn lý tưởng được sử dụng để thay thế cho cốt thép. Cốt thanh polymer là một dạng vật liệu composite chứa sợi như thủy tinh, các bon, aramid,...vv được gắn kết bởi chất nền là nhựa polymer như epoxy, vinylester...vv. Ưu điểm nổi bật của vật liệu FRP là có cường độ chịu kéo lớn, trọng lượng nhẹ, không nhiễm từ và không bị ăn mòn trong điều kiện khắc nghiệt.

Trong những năm qua, một số nghiên cứu về khả năng chịu cắt của kết cấu dầm bê tông có cốt dọc và cốt cốt đai bằng thanh polymer đã được thực hiện [1-4]. Các tác giả này đều chỉ ra rằng tỷ số chiều dài nhịp chịu cắt và chiều cao dầm có hiệu a/d là thông số có ảnh hưởng lớn hơn đến ứng xử cắt của các dầm này khi so sánh với khoảng cách giữa các cốt đai. Phá hoại do uốn hoặc do cắt có thể xảy ra trong các mẫu dầm thí nghiệm, tùy thuộc vào khoảng cách giữa các mắt lưới và tỷ số a/d. Mặc dù thanh FRP có nhiều ưu điểm hơn so với cốt thép, việc

sử dụng vật liệu này làm cốt đai chịu cắt trong kết cấu dầm bê tông trong thực tế vẫn còn hạn chế. Nguyên nhân chính là do khó khăn trong việc tạo ra thanh cốt FRP có hình dạng cong. So sánh với thanh polymer chịu uốn, cốt đai polymer đòi hỏi hình dạng phức tạp hơn và phụ thuộc vào các mẫu thanh có sẵn từ các nhà sản xuất. Điều này gây trở ngại cho việc sử dụng thanh FRP làm cốt đai cắt trong các kết cấu bê tông, mặc dù vật liệu này cung cấp độ bền cao hơn nhiều so với thép.

Ngày nay, bê tông cốt lưới dệt (Textile reinforced concrete-TRC) là một loại vật liệu mới đang thu hút sự quan tâm của nhiều trung tâm nghiên cứu trên thế giới. TRC là bê tông hạt mịn có cốt dạng lưới sợi dệt từ sợi các bon hay sợi thủy tinh kháng kiềm. Hiện nay, TRC chủ yếu được sử dụng như một lớp áo gia cường cho kết cấu bê tông cốt thép, trong đó có ứng dụng tăng cường khả năng chịu cắt cho dầm BTCT [5]. Với cấu tạo mỏng nhẹ, vật liệu lưới sợi dệt rất phù hợp làm cốt đai chịu cắt trong các cấu kiện đúc sẵn có kích thước mỏng, kiến trúc đẹp như dầm chữ I, chữ T, dầm chữ U thành mỏng...vv. Loại vật liệu này thừa hưởng các tính chất độ bền cao của vật liệu FRP, có thể uốn cong dễ dàng và phù hợp để tạo ra bất kỳ hình dạng phức tạp. Do đó, lưới sợi dệt được đề xuất là phương án thay thế cho cốt thanh FRP làm cốt đai chịu cắt trong kết cấu dầm bê tông cốt phi kim loại trong nhiều nghiên cứu [6-9]. Preinstorfer và các cộng sự [6] đã tiến hành nghiên cứu về hiệu quả sử dụng của lưới sợi dệt các bon làm cốt đai chịu cắt cho 9 dầm chữ T. Kết quả chỉ ra rằng cường độ chịu cắt của dầm phụ thuộc vào chiều dày của cánh và bụng của mẫu dầm thí nghiệm. Bielak và các

*Liên hệ tác giả: hoaiho@utc.edu.vn

Nhận ngày 01/08/2024, sửa xong ngày 30/09/2024, chấp nhận đăng ngày 03/10/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.778>

cộng sự [7] kiểm tra ứng xử của dầm chữ I có cốt dọc bằng thanh CFRP và cốt đai bằng lưới sợi dệt. Kết quả cho thấy lưới sợi dệt làm tăng sức kháng cắt của dầm với tỷ số chiều dài nhịp chịu cắt và chiều cao dầm có hiệu phù hợp. Huy Cuong Nguyen và các cộng sự [8] đã tiến hành thí nghiệm uốn ba điểm với 8 dầm mặt cắt hình chữ nhật có tỷ số a/d lần lượt là 2.3 và 2.8 để khảo sát khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polymer với cốt đai là cốt lưới dệt thủy tinh. Nghiên cứu của Mai Chi Trung Nguyen và các cộng sự [9] cũng khảo sát với các mẫu dầm ngắn cốt GFRP với cốt đai là lưới dệt thủy tinh có tỷ số a/d bằng 1.1 và 1.7. Kết quả thí nghiệm về sức kháng cắt của dầm được so sánh với kết quả tính toán theo chỉ dẫn trong tiêu chuẩn.

Có thể thấy rằng, nhiều tác giả đã chứng minh lưới sợi dệt là vật liệu tiềm năng để làm cốt đai trong các dầm cốt thanh polymer, tuy nhiên các nghiên cứu này hầu hết là các nghiên cứu thực nghiệm. Cơ chế kháng cắt của loại vật liệu này trong dầm bê tông vẫn chưa được làm rõ. Do đó, cần phải tiến hành thêm các nghiên cứu mô phỏng nhằm xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polymer sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt. Từ mô hình đã được kiểm chứng bằng thí nghiệm, nghiên cứu tham số được thực hiện để xem xét ảnh hưởng của loại lưới sợi đến khả năng chịu lực của kết cấu dầm bê tông GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt.

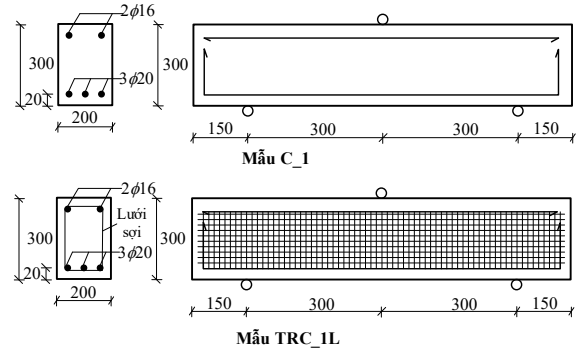
2. Xây dựng mô hình mô phỏng ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt

2.1 Mô hình mẫu dầm thí nghiệm

Trong bài báo này, các mẫu dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh (GFRP) có cốt đai là lưới sợi dệt trong nghiên cứu thực nghiệm của tác giả Mai Chi Trung Nguyen và các cộng sự [9] được sử dụng là mẫu đối chứng cho mô hình mô phỏng. Mẫu dầm bê tông GFRP có kích thước 200 mm x 300 mm x 900 mm được tiến hành thí nghiệm uốn ba điểm. Trong mặt cắt dầm thí nghiệm có ba thanh GFRP có đường kính 20 mm được bố trí ở thớ dưới và hai thanh GFRP có đường kính 16 mm được bố trí ở thớ trên. Các mẫu thí nghiệm được chia thành dầm không có cốt thép đai (C_1) và dầm sử dụng 1 và 2 lớp lưới sợi dệt làm cốt đai trên toàn bộ chiều dài (TRC_1L và TRC_2L). Chiều dài chịu cắt của dầm trong nghiên cứu thực nghiệm bằng 300 mm, tương ứng với tỷ lệ giữa chiều dài chịu cắt và chiều dài có hiệu xấp xỉ 1,1. Trong thí nghiệm, các tác giả sử dụng một cảm biến điện trở và một cảm biến đo chuyển vị (LVDT) lắp đặt tại vị trí chính giữa lớp cốt dọc phía dưới để đo biến dạng của cốt dọc polymer thủy tinh và độ võng của dầm thực nghiệm. Hình 1 thể hiện chi tiết cấu tạo và kích thước của hai mẫu dầm trong thí nghiệm.

Các mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng bê tông hạt mịn có cường độ chịu nén là 64,9 MPa. Các đặc trưng cơ học của cốt thanh polymer thủy tinh đường kính 20 mm và 16 mm được trình bày như trong Bảng 1. Cốt đai của dầm là lưới sợi dệt thủy tinh kháng kiềm SITgrid200KE được sản xuất bởi công ty V. FRAAS (Đức). Lưới sợi có kích thước mắt lưới là 17,5 x 17,5 mm được dệt với các bó sợi theo phương vuông góc 0°/90° (Hình 2). Trọng lượng riêng của sợi là 2,68 g/cm³ và diện

tích mỗi bó sợi là 105,67 mm²/m. Bảng 2 thể hiện các tính chất hình học và cơ học đặc trưng của của lưới sợi thủy tinh.



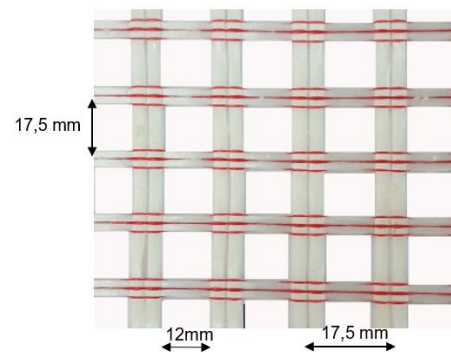
Hình 1. Kích thước dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh trong thí nghiệm (đơn vị mm) [9].

Bảng 1. Đặc trưng cơ học của thanh GFRP trong thí nghiệm [9].

Đường kính (mm)	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Diện tích tiết diện (mm²)
16	42,5	800,2	165,0
20	42,5	801,3	240,4

Bảng 2. Tính chất hình học và cơ học của lưới sợi dệt SITgrid200KE [9].

Kích thước		Tính chất cơ học		
Kích thước mắt lưới (mm)	Trọng lượng riêng (g/cm³)	Diện tích bó sợi (mm²/m)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (GPa)
17,5 x 17,5	2,68	105,67	1740	118

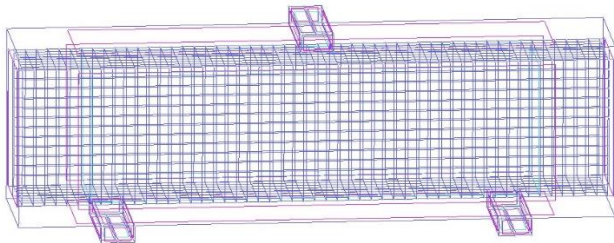


Hình 2. Cốt lưới dệt SITgrid200KE sử dụng trong thí nghiệm [9].

2.2 Xây dựng mô hình mô phỏng

Trong nghiên cứu này, các mô hình dầm GFRP được xây dựng bằng phần mềm phân tích phi tuyến phần tử hữu hạn ATENA do công ty Cervenka phát triển. Mô hình hình học của các dầm GFRP bao gồm khối thể tích đại diện cho phần vật liệu bê tông hạt mịn và các phần tử đường thẳng rời rạc được sử dụng để mô phỏng cho các thanh cốt thanh polymer thủy tinh và lưới sợi dệt. Ngoài ra, các khối thể tích khác bằng

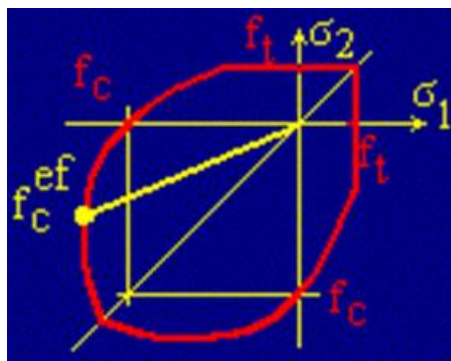
thép cũng được xây dựng để mô phỏng tải trọng tại chính giữa khi tác dụng tải trọng lên dầm và các gối ở hai đầu dầm trong thí nghiệm (Hình 3). Trong mô hình phần tử hữu hạn, gối bên trái của dầm được khống chế chuyển vị theo phương đứng và phương ngang ($U_x = U_z = 0$) trong khi đó gối bên phải của dầm được có chuyển vị theo phương đứng bằng 0.



Hình 3. Mô hình phần tử hữu hạn của dầm bê tông GFRP.

Trong thí nghiệm, tải trọng tập trung được tác dụng vuông góc tại vị trí chính giữa của dầm. Trong mô hình phần tử hữu hạn, dầm mô phỏng được gia tải bằng cách khống chế chuyển vị tại điểm chính giữa của tấm gia tải với số gia chuyển vị là 0.0001 m. Ngoài ra, nghiên cứu mô phỏng này sử dụng phương pháp "Newton-Raphson", một trong những phương pháp số nhằm giải các bài toán phân tích tĩnh phi tuyến của phần mềm ATENA. Trong quá trình mô phỏng, các "điểm đo" được đặt ở những trùng với vị trí của các cảm biến như trong thí nghiệm để đo tải trọng và chuyển vị trên dầm GFRP.

Trong nghiên cứu này, bê tông hạt mịn được mô phỏng bằng mô hình vật liệu có sẵn trong phần mềm ATENA, "CC3DnonLinCementitious2". Mô hình này có khả năng mô tả toàn bộ các giai đoạn của bê tông, từ sự xuất hiện và phát triển của vết nứt, quá trình nứt vỡ của bê tông, cho đến giai đoạn phá hoại dẻo. Các thông số đầu vào của vật liệu bê tông hạt mịn được lấy từ kết quả thí nghiệm và các giá trị mặc định tương ứng trong phần mềm ATENA. Trong khi đó, cốt thép polymer thủy tinh và lưới sợi dệt được mô phỏng bằng mô hình song tuyến tính "3D Bilinear Steel Von Mises", với cường độ chảy và mô đun đàn hồi được cung cấp ở trong Bảng 1. Hình 4 thể hiện mô hình vật liệu của cốt thép GFRP và lưới sợi dệt trong phần mềm ATENA[10]. Quan hệ dính bám giữa bê tông hạt mịn, cốt thép GFRP, và lưới sợi dệt được giả thiết là tuyệt đối trong mô hình dầm mô phỏng.

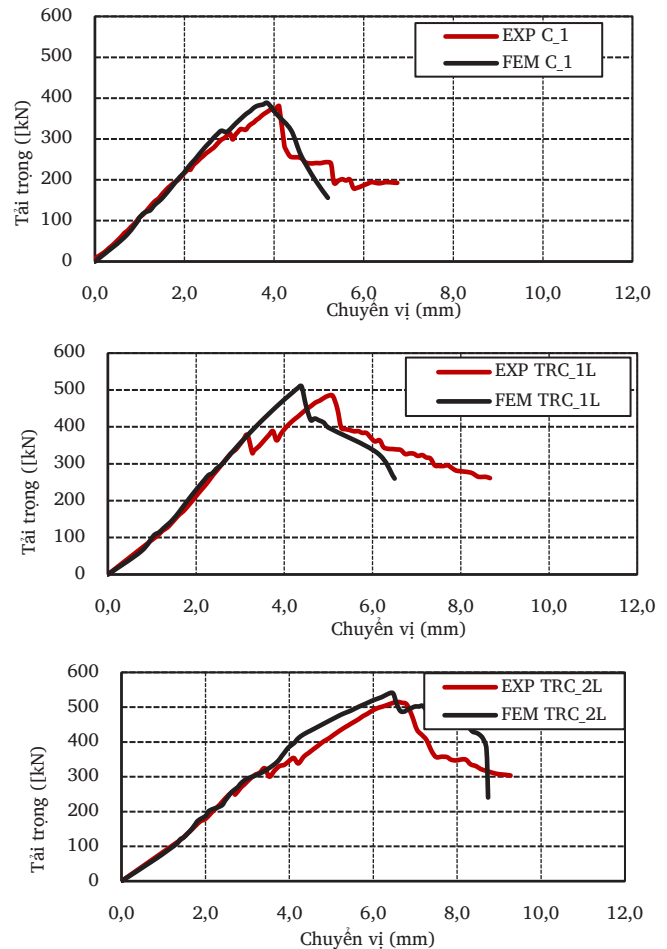


Hình 4. Mô hình vật liệu của cốt thép GFRP và lưới sợi dệt thủy tinh [10].

3. Nghiên cứu mô phỏng ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thép GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt

3.1 Kết quả mô phỏng

Để kiểm chứng độ chính xác của các mô hình phần tử hữu hạn, đường cong tải trọng – chuyển vị tại chính giữa nhịp dầm trong nghiên cứu mô phỏng được so sánh với kết quả thí nghiệm (Hình 5).

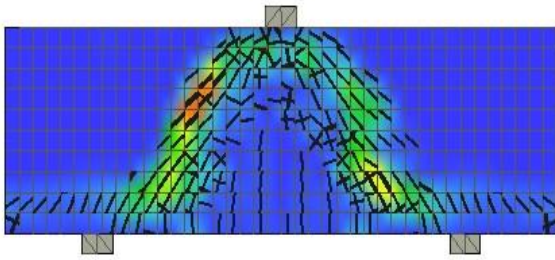


Hình 5. So sánh đường cong tải trọng – chuyển vị của các dầm mô phỏng với kết quả thí nghiệm.

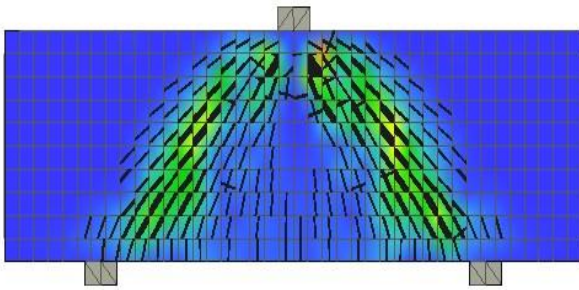
Có thể thấy rằng biểu đồ thu được từ mô hình phần tử hữu hạn có sự tương đồng với kết quả thí nghiệm của các mẫu dầm không có cốt đai và có cốt đai là một lớp và hai lớp lưới sợi dệt. Ngoài ra, các dạng phá hoại của các dầm bê tông GFRP thu được trong mô hình mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm cũng tương tự nhau. Các vết nứt xuất hiện trong khoảng giữa hai gối, bao gồm cả vết nứt thẳng do uốn ở giữa dầm và các vết nứt nghiêng từ điểm đặt tải trọng đến hai gối do cắt. Kết quả mô phỏng cho thấy, các vết nứt trong mẫu dầm không có cốt đai C_1 có khoảng cách xa và độ rộng lớn. Trong khi đó, các vết nứt trong các mẫu dầm TRC_1L và TRC_2L xuất hiện nhiều với khoảng cách gần nhau hơn so với dầm GFRP không có cốt đai (Hình 6). Như vậy, sự xuất hiện của cốt lưới dệt đã phân bố lại vết nứt trong các mẫu dầm.

Tuy nhiên, phá hoại của các mẫu dầm mô phỏng và thí nghiệm đều xảy ra do sự mở rộng của các vết nứt nghiêng. Có thể nói rằng, mô hình

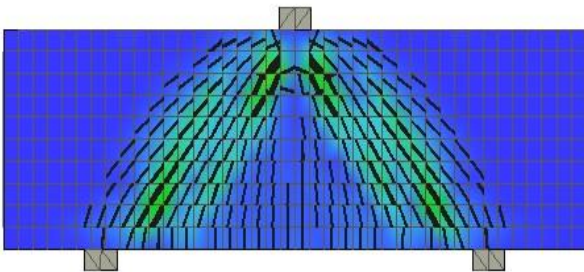
phần tử hữu hạn đã mô phỏng chính xác được sự phân bố vết nứt cũng như dạng phá hoại trong các mẫu dầm GFRP thí nghiệm.



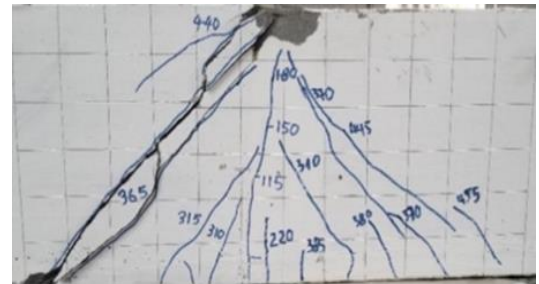
a) Mẫu C_1



b) Mẫu TRC_1L



c) Mẫu TRC_2L



Hình 6. So sánh dạng phá hoại của dầm GFRP trong mô hình mô phỏng và thí nghiệm.

Bảng 3 so sánh giá trị tải trọng lớn nhất tác dụng lên các dầm bê tông GFRP tính toán được từ mô hình phần tử hữu hạn và trong thí nghiệm. Có thể thấy rằng, tương tự như trong kết quả thu thực nghiệm, khả năng chịu lực của các mẫu dầm GFRP tăng lên khi sử dụng cốt lưới dệt làm cốt đai. Ở thời điểm phá hoại, giá trị tải trọng lớn nhất của tất cả các mẫu dầm mô phỏng tương đồng với kết quả thí nghiệm với sai số bé hơn 5%. Như vậy mô hình phần tử hữu hạn cho kết quả về khả năng chịu lực đúng với kết quả trong thí nghiệm.

Bảng 3. So sánh kết quả tải trọng lớn nhất thu được của các dầm GFRP trong thí nghiệm và mô hình mô phỏng.

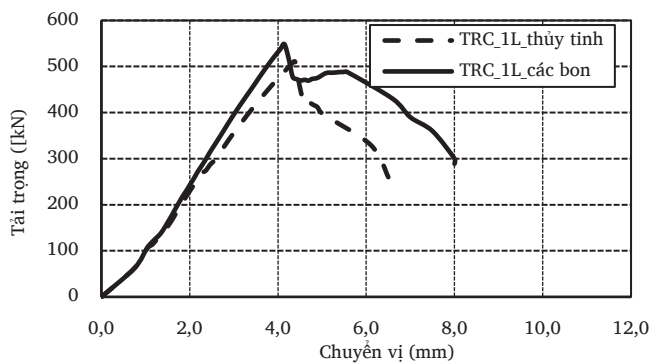
Mẫu dầm	Tải trọng lớn nhất P_u (kN)		Sai số (%)
	Thí nghiệm	Mô phỏng	
C_1	380,53	387,85	1,9
TRC_1L	484,45	503,93	4,0
TRC_2L	515,21	540,29	4,9

3.2 Ảnh hưởng của loại lưới sợi dệt tới ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt.

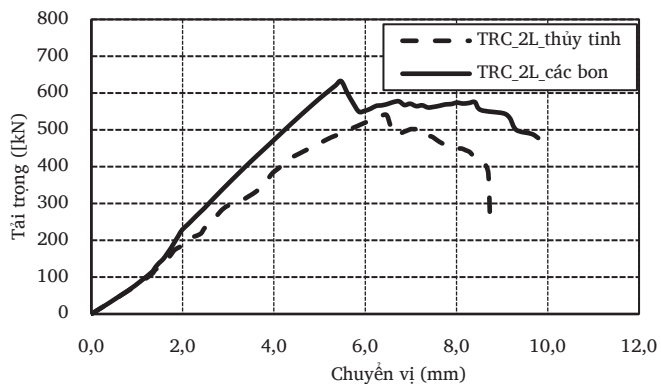
Từ mô hình mô phỏng được đề xuất và kiểm chứng ở trên, tiến hành khảo sát ảnh hưởng của loại lưới dệt tới ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh. Các loại lưới dệt khác nhau được khảo sát bao gồm lưới sợi dệt thủy tinh và lưới sợi dệt các bon. Lưới sợi dệt các bon được mô phỏng trong nghiên cứu này là lưới sợi có mã SITgrid017, được dệt từ hai phương vuông góc với khoảng cách các bó sợi là 12,7 mm. Diện tích của mỗi bó sợi các bon là 1,8 mm². Cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của bó sợi lần lượt là 2890 MPa và 18,5 GPa. Việc xây dựng mô hình dầm bê tông GFRP có cốt đai là lưới sợi dệt các bon được thực hiện theo các bước như được trình bày ở mục 2.2.

Hình 7 so sánh đường cong tải trọng và độ võng tại vị trí giữa nhịp của các dầm GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt thủy tinh và các bon. Ở giai đoạn ban đầu, khi các dầm chưa nứt, đường cong tải trọng-

chuyển vị của các dầm sử dụng các loại cốt đai lưới sợi khác nhau có sự tương đồng. Tuy nhiên khi gia tăng tải trọng, đường cong của dầm bê tông GFRP có cốt đai là lưới sợi các bon dốc hơn, thể hiện độ cứng lớn hơn so với trường hợp còn lại. Ngoài ra, ở cả hai trường hợp sử dụng một và hai lớp lưới sợi dệt, giá trị tải trọng lớn nhất thu được ở các mẫu dầm GFRP có cốt đai là lưới sợi các bon có giá trị lần lượt là 548,56 kN và 632,31 kN. Có thể thấy, khả năng chịu lực của dầm cốt đai sợi các bon tăng lên 7,08 % và 17,03 % so với dầm có cốt đai là lưới dệt thủy tinh. Khả năng kháng cắt tăng lên có thể được giải thích là do cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của lưới sợi các bon lớn hơn so với lưới sợi thủy tinh.



a) Dầm có cốt đai là một lớp lưới sợi dệt



b) Dầm có cốt đai là hai lớp lưới sợi dệt

Hình 7. Đường cong tải trọng- chuyển vị của các dầm bê tông GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt thủy tinh và các bon.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng được một mô hình phần tử hữu hạn xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông GFRP sử dụng cốt đai là lưới sợi dệt. Kết quả tính toán từ mô hình mô phỏng được đề xuất tương đồng với kết quả thực nghiệm về đường cong tải trọng-chuyển vị, khả năng chịu lực, sự phân bố vết nứt, và dạng phá hoại của các dầm bê tông cốt thanh polymer thủy tinh. Từ mô hình được xây dựng, ảnh

hưởng của loại lưới sợi đến khả năng chịu lực của dầm đã được khảo sát với hai loại sợi các bon và thủy tinh. Kết quả cho thấy, dầm GFRP sử dụng lưới sợi các bon làm cốt đai có khả năng chịu lực cao hơn dầm sử dụng lưới sợi thủy tinh. Cụ thể, giá trị tải trọng lớn nhất thu được ở các mẫu dầm tăng lên tương ứng là 7,08 % và 17,03 % khi thay loại cốt đai từ lưới sợi thủy tinh thành sợi các bon. Mô hình mô phỏng được đề xuất trong bài báo này là cơ sở để xây dựng các mô hình tính toán, thiết kế kết cấu dầm bê tông cốt phi kim loại, từ đó xây dựng quy trình thiết kế và thi công phù hợp với hệ thống tiêu chuẩn hiện hành và hiện trạng trình độ công nghệ ở Việt Nam.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài có mã số T2024-XD-KDN-005.

Tài liệu tham khảo

- [1]. A. G. Razaqpur, S. Spadea, Shear strength of FRP reinforced concrete members with stirrups, *Journal of Composites for Construction*, 19(2015), 04014025.
- [2]. X. Fan, Z. Zhou, W. Tu, M. Zhang, Shear behaviour of inorganic polymer concrete beams reinforced with basalt FRP bars and stirrups, *Composite Structures*, 255(2021), 112901.
- [3]. S. K. Jeong, S. S. Lee, C. Kim, D. M. Ok, S. J. Yoon, Flexural behavior of GFRP reinforced concrete members with CFRP grid shear reinforcements, *Key Engineering Materials*, 306(2006), 1361-1366.
- [4]. C. H. Kim, H. S. Jang, Concrete shear strength of normal and lightweight concrete beams reinforced with FRP bars, *Journal of Composites for Construction*, 18(2014), 04013038.
- [5]. L. N. Koutas, Z. Tetta, D. A. Bournas, T. C. Triantafyllou, Strengthening of concrete structures with textile reinforced mortars: State-of-the-art review, *Journal of Composites for Construction*, 23(2019), 03118001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000882](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000882)
- [6]. P. Preinstorfer, P. Huber, T. Huber, B. Kromoser, J. Kollegger, Experimental investigation and analytical modelling of shear strength of thin walled textile-reinforced UHPC beams, *Engineering Structures*, 231(2021), 111735.
- [7]. J. Bielak, M. Schmidt, J. Hegger, F. Jesse, Structural behavior of large-scale I-beams with combined textile and CFRP reinforcement, *Applied Sciences*, 10(2020), 4625.
- [8]. H. C. Nguyen, X. H. Nguyen, C. T. N. Tran, M. C. T. Nguyen, D. D. Le, T. T. Pham, Contribution of glass textile to the shear behavior of concrete beams reinforced with GFRP rebars, *International Journal of Civil Engineering*, 20(2022), 907-917.
- [9]. M. C. T. Nguyen, C. T. N. Tran, H. C. Nguyen, D. D. Le, X. H. Nguyen, Experimental investigation on shear behaviours of textile reinforced concrete beams, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, (2023), 1-17.
- [10]. J. Červenka, V. K. Papanikolaou, Three dimensional combined fracture-plastic material model for concrete, *International journal of plasticity*, 24(2008), 2192-2220.