NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT COMPOSITE POLYME ĐƯỢC GIA CƯỜNG BẰNG BÊ TÔNG CỐT LƯỚI DỆT

NUMERIAL STUDY ON SHEAR BEHAVIOR OF COMPOSITE POLYMER CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH TEXTILE REINFORCED CONCRETE

NGUYỄN HOÀNG QUÂN^{a,*}, NGUYỄN QUANG SĨ^b, LÊ ĐĂNG DŨNG^a ^aKhoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông Vận tải ^bPhân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông Vận tải ^Tác giả đại diện: *Email:* quanh_ktxd@utc.edu.vn Ngày nhận 7/3/2024, Ngày sửa 26/3/2024, Chấp nhận 30/03/2024 https://doi.org/10.59382/j-ibst.2024.vi.vol1-8

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). Các kết quả về dạng phá hoại, đường cong lực - chuyển vị tại vị trí đặt lực, 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.

Từ khóa: Mô phỏng số, dầm bê tông cốt composite polyme, dầm chịu cắt, bê tông cốt lưới dệt, gia cường bằng TRC.

Abstract: This paper presents the numerial simulation study using the finite element method to determine the shear behavioir of glass fiber polymer reinforced (GFRP) concrete beam strengthed with textile reinforced concrete (TRC). Numerical simulation results in terms of 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.

Keywords: Numerial, composite polymer beam, shear behavior, textile reinforced concrete, strengthening by TRC.

1. Đặt vấn đề

Dầm là một trong những cấu kiện phổ biến trong công trình xây dựng. Vật liệu làm dầm chiếm đa số

là bê tông cốt thép (BTCT) vì dầm BTCT có khả năng chịu lực lớn, giá thành rẻ và thi công dễ dàng. Tuy nhiên, vật liệu BTCT có nhược điểm lớn nhất là cốt thép bị ăn mòn sau một thời gian sử dụng. Vấn đề này cần đặc biệt lưu ý ở nước ta do Việt Nam có đường bờ biến dài hơn 3200 km nên các công trình ven biển chịu sự xâm thực mạnh từ môi trường. Ngoài ra, nước ta nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa. Đây là điều kiện thuận lợi cho quá trình ăn mòn cốt thép diễn ra nhanh hơn, từ đó làm bong tách lớp bê tông bảo vệ, dẫn đến kết cấu bị hư hỏng sớm, có thể gây ra các thiệt hại về người và tài sản. Mặt khác, các kết cấu được sử dụng trong thời gian dài có thể không còn đáp ứng tải trọng khi công trình thay đổi công năng. Từ đó, làm gia tăng chi phí để gia cường, sửa chữa các công trình bằng BTCT.

Những năm 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 có cốt thanh composite polyme, bê tông cốt lưới dệt... Trong đó, bê tông có cốt thanh composite polyme (FRP) là loại vật liệu có tiềm năng lớn để thay thế vật liệu bê tông cốt thép 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. Tuy nhiên, công nghệ này có một số nhược điểm như 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, thẩm thấu [1].

Giải pháp để cải thiện nhược điểm của kết cấu sử dụng FRP hiện nay đang được nghiên cứu và sử

dụng nhiều là thay thế chất kết dính polyme bằng bê tông hạt mịn. Từ đó, vật liệu bê tông cốt lưới dệt (Textile reinforced concrete – TRC) ra đời (hình 1). Lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn là hai loại vật liệu chính cấu thành nên TRC. 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].



Hình 1. Bê tông cốt lưới dệt

Trên thế giới, TRC đã được nghiên cứu và áp dụng nhiều trong tăng cường, sửa chữa kết cấu cũ ở nhiều nước như Pháp, Đức, Thụy Điển... Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, 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], [5], [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 áp dụng công nghệ này vào trong ngành xây dựng ([7], [8], [9]). Công nghệ TRC được áp dụng lần đầu tiên ở Việt Nam đế sửa chữa, tăng cường cho kết cấu sàn BTCT cho công trình nhà xưởng công nghiệp tại Vĩnh Yên, Vĩnh Phúc vào năm 2018.

Hiện nay, với sự hỗ trợ của máy vi tính và sự phát triển của lý thuyết phần tử hữu hạn (PTHH) đã cho phép phân tích được sự làm việc của các kết cấu 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 BTCT gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Đây 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 nnk [11].

Cấu trúc bài báo gồm các phần sau: phần 1 đặt vấn đề, phần 2 giới thiệu tóm tắt các kết quả thí nghiệm. Tiếp đó, phần 3 trình bày mô hình mô phỏng. Kết quả so sánh giữa kết quả thu được từ mô phỏng số và kết quả thí nghiệm được trình bày trong phần 4. 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 gia cường bê tông cốt lưới dệt

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

2.1 Bố trí thí nghiệm

Để xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt GFRP được gia cường bằng TRC, hai mẫu dầm có cùng chiều dài 1200 mm, kích thước mặt cắt ngang 200x300 mm được chế tạo và tiến hành thí nghiệm uốn ba điểm. Cả hai dầm được bố trí 3 thanh GFRP đường kính 20 mm ở thớ dưới, 2 thanh GFRP đường kính 16 mm ở thớ trên, cốt đai sử dụng trong hai dầm là các thanh GFRP có đường kính 6 mm với khoảng cách giữa các thanh cốt đai là 100 mm. Chiều dài chịu cắt của dầm được lựa chọn bằng 450 mm, với mục đích làm cho dầm bị phá hoại do cắt khống chế (tỷ lệ chiều dài chịu cắt/chiều cao có hiệu xấp xỉ bằng 1,7). Trong đó, dầm không được tăng cường (C-1.7) được sử dụng làm mẫu đối chứng để so sánh hiệu quả của việc tăng cường cho dầm bằng một lớp TRC (TRC.1-1.7). Cấu tạo chi tiết của các dầm được thể hiện ở Hình 2.

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG







a) Khung GFRP



b) Mẫu dầm sau khi đã đông cứng





a) Tạo nhám bề mặt dầm và vát các góc của dầm



c) Làm phẳng bề mặt dầm gia cường



b) Gia cường dầm bằng bê tông cốt lưới dệt



dầm gia cường d) Bảo dưỡng mẫu dầm gia cường **Hình 4.** *Gia cường mẫu dầm bê tông cốt GFRP bằng bê tông cốt lưới dệt*

Hình 3 giới thiệu quá trình tạo mẫu dầm bê tông cốt GFRP. Trước tiên, các thanh GFRP được gia công để tạo thành khung như hình 3a. Các cảm biến đo biến dạng được dán lên các thanh GFRP. Sau đó khung này được đặt vào trong ván khuôn và tiến hành đổ bê tông dầm. Mẫu dầm bê tông sau khi đông cứng được thể hiện trên hình 3b. Hình ảnh thi công lớp TRC gia cường cho mẫu dầm bê tông cốt GFRP được thể hiện trên hình 4. Trước tiên, bề mặt của mẫu dầm được tạo nhám bề mặt bằng máy mài (hình 4a). Mục đích của công việc này là làm tăng khả năng dính bám giữa bê tông dầm và bê tông hạt mịn. Các góc của dầm được vát tròn (với bán kính khoảng 20 mm) để hạn chế sự suy giảm cường độ của sợi tại các điểm uốn. Tiếp đó, lớp bê tông hạt mịn sẽ được trát vào 3 mặt của dầm, dọc theo chiều dài dầm để đảm bảo đủ chiều dài neo cho lưới sợi. Đầu tiên, trát một lớp bê tông hạt mịn dày 3 mm lên bề mặt của dầm sẽ gia cường, sau đó tiến hành đặt lưới sợi thủy tinh

vào và miết nhẹ cho đến khi bê tông hạt mịn trồi ra khỏi các ô lưới. Lớp bê tông hạt mịn thứ hai dày 3 mm tiếp tục được trát vào để bao bọc hoàn toàn lưới sợi (hình 4b). Như vậy, chiều dày lớp bê tông hạt mịn bằng 6mm. Sau khi trát xong, bề mặt các dầm được làm phẳng và tiến hành bảo dưỡng dầm (hình 4c, d).

Bảng 1 tóm tắt đặc trưng cơ học của bê tông dầm trong thí nghiệm, cường độ chịu nén của bê tông hạt mịn tăng cường của mẫu dầm là 30,8 MPa. Các thông số vật liệu cốt GFRP được trình bày trong Bảng 2. Lưới sợi dệt loại thủy tinh sử dụng trong nghiên cứu này là loại sợi thủy tinh kháng kiềm SITgird200KE, được sản xuất bởi hãng V.FRAAS (Đức). Lưới sợi có kích thước mắt lưới là 17,5x17,5 mm, trọng lượng riêng là 2,68 g/cm³, diện tích mỗi bó sợi là 105,67 mm²/m. Cấu trúc lưới được dệt với các bó sợi theo phương 0⁰/90⁰ như Hình 2. Thông số cường độ của lưới sợi được thể hiện trong Bảng 3.

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

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

Bang 2. Đặc trừng vật liệu của thành GFRP trong thi nghiệm [11]					
′ật liệu	Loại	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Diện tích tiết diện (mm ²)	
	Ø6	42,5	810,0	19,6	

42,5

42.5

Bảng 3. Thông số lưới sơi dêt thủy tinh trong thí nghiêm [11]	

	J	J		, , , ,	
	Kích thước			Bó sợi trần	
Loại lưới sợi	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)
SITgird200KE	17,5x17,5	2,68	105,67	1800	120



Ø16

Ø20

v

GFRP

Hình 5. Kích thước lưới sợi thủy tinh trong thí nghiệm [11]

Tạp chí KHCN Xây dựng - số 1/2024

2.2 Kết quả thí nghiệm

800,2

801.3

Hình 6 thể hiện mối quan hệ lực tác dụng và chuyển vị của hai mẫu dầm thí nghiệm và hình dạng phá hoại của các mẫu thí nghiệm được trình bày ở Hình 7.

165,0

240,4

Quan sát trên Hình 6, đường cong lực - chuyển vị của các mẫu dầm chia làm hai giai đoạn. Giai đoạn 1, các mẫu dầm có ứng xử đàn hồi tuyến tính, trong giai đoạn này trên các mẫu dầm chưa xuất hiện các vết nứt. Mẫu dầm đối chứng và mẫu dầm được gia cường có độ cứng như nhau trong giai đoạn này. Ở giai đoạn 2, khi hai mẫu dầm xuất hiện vết nứt. Đầu tiên, các vết nứt do uốn xuất hiện tại vị trí giữa dầm tại thời điểm lực có giá trị bằng 64 kN đối với mẫu C-1.7 và 67 kN đối với mẫu TRC.1-1.7. Khi tiếp tục tăng tải trọng, các vết nứt nghiêng xuất hiện và phát triển về biên chịu nén (Hình 7). Tuy nhiên, đối với mẫu dầm được gia cường, nhờ sự có mặt của lớp TRC, giá trị tải trọng khi vết nứt nghiêng đầu tiên xuất hiện là cao hơn so với mẫu không gia cường (150 kN đối với mẫu TRC.1-1.7 và 105 kN đối với mẫu C.1-7). Tại thời điểm này, độ cứng của các dầm bị giảm xuống và đường cong lực - chuyển vị có dạng đường thẳng đến khi đạt tới giá trị lực lớn nhất. Ở giai đoạn này, các mẫu dầm được gia cường thể hiện độ cứng và giá trị lực lớn nhất cao hơn so với các dầm không được tăng cường (hơn 33,7%). Tiếp đó, giá trị lực giảm đột ngột ứng với thời điểm các vết nứt nghiêng mở rộng. Tại thời điểm này, các mẫu dầm được coi là phá hoại.



Biến dạng trong cốt dọc dùng để khẳng định chắc chắn hơn các phá hoại do cắt trong các mẫu dầm thí nghiệm với các kiểu nứt đã quan sát trước đó. Hình 8 thể hiện biến dạng của các thanh cốt dọc theo tải trọng tác dụng. Đoạn đầu của đường cong phụ thuộc vào tải trọng gây nứt Pcr. Khi tải trọng nhỏ hơn tải trọng gây nứt, biến dạng trong thanh GFRP hầu như rất nhỏ. Biến dạng trong thanh GFRP trong cả hai dầm trong thí nghiệm tăng nhanh khi vết nứt xuất hiện. Tuy nhiên, biến dạng trong cốt dọc GFRP của dầm C-1.7 là 0,0156 và của dầm TRC.1-1.7 là 0,0164. Các giá trị này nhỏ hơn so với biến dạng cực hạn là 0,0188. Điều này chứng tỏ rằng, tất cả các dầm thí nghiệm đều bị phá hoại do cắt chứ không phải do uốn.



Hình 8. Biến dạng trong cốt dọc FRP

3. Mô hình mô phỏng

3.1 Xây dựng mô hình

Mẫu dầm thí nghiệm được tiến hành mô phỏng bằng phần mềm phần tử hữu hạn Cast3M [10]. Đây là phần mềm được phát triển bởi Viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử (CEA) của Cộng hòa Pháp. Nhờ vào tính đối xứng, việc mô hình hóa mẫu dầm được thực hiện trên 1/2 mô hình nhằm giảm nhẹ khối lượng tính toán. Hình 9 thể hiện mô hình phần tử hữu hạn của dầm gia cường TRC.1-1.7.



Hình 9. Mô hình phần tử hữu hạn

Phần tử lục diện 8 nút (CUB8), mỗi nút có ba bậc tự do là ba chuyển vị thẳng theo ba phương Ux, Uy, Uz được dùng để miêu tả cho các phần tử bê tông thường và bê tông hạt mịn của TRC. Cốt FRP 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 Ux, Uy, Uz. Lưới sợi dệt được dệt từ các bó sợi, mỗi bó sợi cũng được mô phỏng bằng phần tử thanh SEG2, diện tích của mỗi thanh được lấy bằng diện tích của một bó sợi. Gối bên trái được khống chế chuyển vị theo phương đứng và phương ngang (Ux = Uz = 0), gối bên phải được khống chế chuyển vị theo phương đứng (Uz = 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 (Uy = 0). Dầm mô phỏng được gia tải bằng chuyển vị với số gia chuyển vị $\Delta U = -0.01mm$. Hình 10 thể hiện các phần tử trong mô hình mô phỏng.



Hình 10. 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 có trong thư viện các mô hình vật liệu phần mềm Cast3M. Trong mô hình này, ứng xử hư hại của bê tông được miêu tả qua đại lượng vô hướng d, kí hiệu là hư hại có hiệu. Đại lượng vô hướng này nhận các giá trị trong khoảng từ 0 đến 1, tương ứng với trạng thái không hư hại (d = 0) và hư hại hoàn toàn của vật liệu bê tông (d=1). Biến d cho phép miêu tả sự suy giảm độ cứng của bê tông khi xuất hiện hư hại. Gọi Λ là ma trận độ cứng của vật liệu bị hư hại được miêu tả bởi phương trình sau:

$$\underline{\Lambda}_d = \underline{\Lambda}(1-d) \tag{1}$$

Các tham số của mô hình Mazars bao gồm: $A_c, B_c, A_t, B_t, \varepsilon_{do}, k$. Trong đó, ε_{do} là ngưỡng hư hại, được xác định từ cường độ chịu kéo nhận giá trị trong khoảng từ (0,5.10⁻⁴ đến 1,5.10⁻⁴). Các hệ số *A*, *B* liên quan đến giai đoạn đi xuống của đường cong ứng xử của bê tông. *A*, *B* nhận giá trị càng lớn thì giá trị ứng suất giảm càng nhanh. Trong đó, A_c tương ứng với ứng xử chịu nén nhận giá trị trong khoảng từ 1 – 2, A_t tương ứng với ứng xử chịu kéo nhận giá trị trong khoảng từ 0,7 đến 1. B_c tương ứng với ứng xử chịu nén nhận giá trị trong khoảng từ 1000 – 2000, B_t tương ứng với ứng xử chịu kéo nhận giá trị trong khoảng từ 9000 đến 21000. k là hê số liên quan đến ứng xử chịu cắt thuần túy của bê tông, giá trị này nên được lấy bằng 0,7. Các tham số trên được tự động xác định thông qua hàm số IDENTI trong CAST3M, với các thông số đầu vào gồm có mô đun đàn hồi (E_c) , cường độ chịu nén (f'_c) , cường độ chịu kéo (f_r) , hệ số nở ngang (ϑ) , biến dạng ứng với cường độ chịu nén của bê tông (ε_o) , ứng suất dư khi kéo $f_{residual}$ (giả thiết lấy bằng 0,1 cường độ chịu kéo của bê tông), chỉ số giòn lấy giá trị trong khoảng từ 0 – 1, (fragile), cụ thể " ε_{do} A_t B_t A_c B_c = *IDENTI Mazars* E_c ϑ f_r $f_{residual}$ f'_c ε_o ". Các đặc trưng cơ bản của bê tông được xác định thông qua cường độ chịu nén của bê tông theo tiêu chuẩn ACI 318-19 [13]:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \tag{2}$$

$$\varepsilon_o = \frac{2\sqrt{f_c'}}{E_c} \tag{3}$$

$$f_r = 0.623\sqrt{f_c'}$$
 (4)

Trong đó, E_c (MPa) là mô đun đàn hồi của bê tông, ε_o là biến dạng ứng với cường độ chịu nén của bê tông, f_r (Mpa) là cường độ chịu kéo uốn của bê tông, f'_c là cường độ chịu nén của bê tông. Các thông số của vật liệu bê tông đưa vào mô phỏng được lấy từ bảng 1. Giá trị các tham số được xác định từ mô hình được thể hiện ở bảng dưới đây:

Bảng 2. Các tham số của mô hình

STT	Bê tông	ε _{do}	A_t	B_t	A_c	B _c
1	Dầm đối chứng	0,727.10 ⁻⁴	0,9	13750	1,029	1122
2	Dầm gia cường	0,709.10 ⁻⁴	0,9	14100	1,08	1011
3	Bê tông hạt mịn	0,869. 10 ⁻⁴	0,9	11500	1,59	1202

Lưới sợi thủy tinh và cốt FRP được miêu tả bằng ứng xử đàn hồi - giòn. Ứng suất kéo tăng gần như tuyến tính, sau khi đạt ứng suất cực đại, FRP và lưới sợi dệt bị phá hoại ngay lập tức (Hình 11). Sự dính

bám giữa bê tông thường, cốt GFRP, bê tông hạt mịn TRC và lưới sợi dệt được giả thiết là dính bám tuyệt đối. Các thông số của lưới sợi thủy tinh và cốt GFTP đưa vào mô phỏng được lấy từ bảng 2, 3.



Hình 11. Quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu FRP và lưới sợi dệt

3.2 Kết quả mô phỏng

Nhằm lựa chọn kích thước phần tử hợp lý trong việc tiến hành mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method_ FEM), dầm được rời rạc hoá thành các phần tử có kích thước lần lượt bằng 25, 30 và 35 mm. Các mẫu dầm này được mô phỏng và thu được các đường cong lực –

chuyển vị thể hiện trên hình 12. Quan sát thấy rằng, đường cong lực chuyển vị hội tụ với kích thước phần tử 25mm. Bên cạnh đó, việc sử dụng các phần tử có kích thước nhỏ hơn 25mm sẽ dẫn tới thời gian tính toán lâu. Do đó, kích thước mắt lưới là 25 mm được lựa chọn để tiến hành cho toàn bộ nghiên cứu để vừa đảm bảo tính chính xác, vừa đảm bảo tiết kiệm thời gian tính toán máy tính.





Hình 13. So sánh lực – chuyển vị của các dầm mô phỏng với kết quả thí nghiệm

Hình 13 cho thấy biểu đồ thu được từ mô hình mô phỏng có sự tương đồng với kết quả thí nghiệm của cả hai mẫu dầm 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 3,2%.

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

Dầm	L	Lực lớn nhất P _u (kN)			
Dalli	Thí nghiệm	Mô phỏng	Sai số (%)		
C-1.7	296,55	295,31	0,4%		
TRC.1-1.7	396,64	383,96	3,2%		

Các vết nứt xuất hiện trong dầm thu được từ mô hình mô phỏng được thể hiện trên Hình 14. 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.



b) TRC.1-1.7 **Hình 15.** Biến dạng trong thanh GFRP

Đường cong quan hệ lực – biến dạng thanh GFRP lớp dưới ở giữa và biến dạng lớn nhất trong mô hình mô phỏng được thể hiện ở Hình 15. Các đường cong lực – biến dạng thu được từ thí nghiệm chia làm hai giai đoạn: giai đoạn trước khi bê tông nứt, biến dạng trong FRP là nhỏ, giai đoạn sau khi bê tông nứt, biến dạng trong FRP tăng nhanh đến giá trị lớn nhất. Các đường cong lực – biến dạng thu được từ mô phỏng lại cho thấy sự tăng tuyến tính của giá trị biến dạng đến giá trị lớn nhất. Điều này có thể giải thích do mô hình mô phỏng được xây dựng dựa trên giả thiết dính bám tuyệt đối giữa bê tông và cốt GFRP. Mặc dù vậy, các đường cong này cho thấy sự phù hợp về biến dạng cực đại trong thanh GFRP giữa thí nghiệm và mô hình mô phỏng.

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 - chuyển vị, 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 nhỏ hơn 4%.

Trong các nghiên cứu sắp tới chúng tôi sẽ tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một số tham số tới khả năng chịu lực của dầm như: hàm lượng GFRP, tỷ số chiều dài nhịp chịu cắt/chiều cao dầm, các giải pháp gia cường...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Q. S., Đặng V. T., và Tạ Q. V. (2023, "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] Trần Cao Thanh Ngọc, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Nghĩa Bình, Phạm Minh Hậu (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] Zulassung Z-31.10-182 (2015). Gegenstand: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton), Prüfstelle: DIBt, Antragsteller: TUDAG TU Dresden Aktiengesellschaft.
- [5] 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.
- [6] Brameshuber W. (2006), *Textile Reinforced Concrete*. State-of-the Art, Report of RILEM Technical Comittee 201-TRC, 1st ed. Bagneux, vol. 36: RILEM Publications S.A.R.L., ISBN 2-912143-99-3.
- [7] Ngô Đăng Quang, Nguyễn Huy Cường, Nguyễn Duy Tiến (2020), Nghiên cứu thực nghiệm và tính toán cột bê tông cốt thép chịu nén đúng 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.
- [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] 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.
- [10] CAST3M, http://www-cast3m.cea.fr/.
- [11] C. T. N. Tran, X. H. Nguyen, H. C. Nguyen, and D. D. Le (2021). "Shear performance of short-span FRPreinforced concrete beams strengthened with CFRP and TRC," Engineering Structures, vol. 242, p. 112548, Sep. doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112548.
- [12]Mazars J (1986). "A description of micro and macroscale damage of concrete structure". Eng Fract Mech 25:729–737.
- [13] ACI committee 318, building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary (318R-19), 2019.