

Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh

Experimental and numerical investigation of tensile behaviour of glass textile-reinforced concrete composite

Phạm Đức Thọ^{1,*}, Hoàng Đình Phúc¹, Trần Mạnh Tiến¹, Cao Minh Quyền²

¹Nhóm nghiên cứu mạnh Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững, Trường Đại học Mở – Địa chất

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email liên hệ: phamductho@humg.edu.vn

Tóm tắt:

Bê tông cốt sợi dệt ngày càng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật xây dựng hạ tầng cơ sở. Trong lĩnh vực gia cường kết cấu xuống cấp, bê tông cốt sợi dệt đảm bảo được nhiều tiêu chí về phát triển bền vững, thân thiện môi trường hơn so với vật liệu polymer cốt sợi (Composite FRP). Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử kéo của bê tông cốt sợi thủy tinh. Cốt sợi dệt và bê tông hạt mịn được thí nghiệm riêng để xác định các cường độ kéo hoặc nén và mô đun đàn hồi. Các đặc trưng cơ học cũng là tham số đầu vào cho mô hình phân tử hữu hạn để dự báo ứng xử kéo của mẫu bê tông cốt lưới dệt. Mô hình dựa trên mô hình phá hủy vật liệu bởi nứt một chiều cho lớp bê tông hạt mịn và mô hình đàn hồi tuyến tính cho cốt lưới dệt. Kết quả mô hình số được đối chứng với kết quả thực nghiệm thu được từ mẫu bê tông hạt mịn, hai kết quả này được phân tích và thảo luận để thấy tính phù hợp của mô hình số.

Từ khóa: Bê tông cốt sợi dệt; Lưới sợi thủy tinh; Độ bền kéo; Mô hình phân tử hữu hạn.

Abstract:

Textile-reinforced concrete (TRC) composite is increasingly used in infrastructure engineering. In the case of reinforcing/strengthening degraded structures, this composite material ensures more sustainable and environmentally friendly development criteria than fibre-reinforced polymer (FRP) composite materials. This paper presents experimental and numerical results of the tensile behaviour of glass textile-reinforced concrete. Glass textile and fine-grained concrete were tested separately to identify the tensile or compressive strengths and Young's modulus. These mechanical characteristics were also used as the input parameters for the finite element model to predict the tensile behaviour of glass TRC samples. This model was based on the cracking failure model for fine-grained concrete and the linear elastic model for the glass textile. The numerical model results were compared with the experiment obtained from the TRC samples. Experimental results and the numerical model were analyzed and discussed to find the agreement of the numerical model.

Keywords: Textile-reinforced concrete; Glass textile; Tensile strength; Numerical modeling.

1. Giới thiệu

Ở trên thế giới, bê tông cốt sợi dệt (Composite TRC – Textile Reinforced Concrete) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật xây dựng hạ tầng cơ sở. Đó là một bước chuyển mình mới đối với kỹ thuật vật liệu, có tính đột phá và mang lại nhiều hiệu quả kinh tế - kỹ thuật. Ngoài ra, vật liệu này còn đảm bảo được nhiều tiêu chí về phát

triển bền vững, thân thiện môi trường hơn so với vật liệu polymer cốt sợi (Composite FRP – Fiber Reinforced Polymer). Bê tông cốt lưới sợi dệt là sự kết hợp giữa một lớp nền bằng bê tông hạt mịn (Cementitious matrix) và được gia cường thêm bởi các lưới sợi dệt công nghiệp (Reinforcement Textile) có nguồn gốc khác nhau như sợi các bon, thủy tinh, ba zan,... Lớp nền bê tông hạt mịn

(BTHM) có vai trò vừa là lớp bảo vệ khỏi sự tác động của môi trường, vừa là lớp đệm để chuyển tiếp và phân bố nội lực trong lưới sợi dệt. Ngược lại, độ bền cơ học cao của lưới sợi dệt đảm bảo về mặt cường độ cho bê tông cốt sợi dệt. Nó mang đến nhiều lợi thế hơn so với bê tông cốt thép (BTCT) thông thường về cường độ chịu kéo cao, ít bị ăn mòn, nhẹ, dễ thi công. Do đó, nó còn có thể được ứng dụng để gia cường kết cấu xuống cấp cũng như làm kết cấu mới chịu lực trong công trình cầu, nhà cao tầng, vỏ hầm giao thông và được coi là vật liệu của tương lai trong ngành xây dựng hạ tầng cơ sở [1].

Ở trên thế giới, nghiên cứu về vật liệu bê tông cốt sợi dệt tương đối đầy đủ ở cả cấp độ vật liệu và kết cấu [2], [3]. Vật liệu này đã thử nghiệm gia cường cho các loại kết cấu bê tông cốt thép và chịu nhiều trường hợp tải trọng khác nhau như tải trọng động đất, nhiệt độ cao, tải trọng lặp, ... Kết quả cho thấy, hiệu quả gia cường của bê tông cốt sợi dệt thấp hơn so với polymer cốt sợi trong điều kiện thường, nhưng ở các điều kiện đặc biệt như nhiệt độ cao, bê tông cốt sợi dệt lại hiệu quả hơn hẳn [4]-[6]. Bên cạnh đó, bê tông cốt sợi dệt cho thấy hiệu quả tốt hơn trong việc tăng cường khả năng chịu uốn và chịu cắt của dầm BTCT. Kết cấu gia cường giữ lại được 55% giá trị so với cường độ ở nhiệt độ thường, trong khi vật liệu gia cường FRP mất đi gần như toàn bộ hiệu quả của nó. Kết quả này có thể hiểu được qua dạng phá hủy của dầm sau thí nghiệm. Sự bóc tách hẳn của lớp FRP gia cường, quan sát thấy rõ ràng trên mẫu thí nghiệm, được giải thích bởi sự yếu kém của lớp keo liên kết giữa FRP và dầm dưới sự tác động của nhiệt độ cao [2], [3]. Kết quả này cho thấy sự ưu việt hơn hẳn của bê tông cốt sợi dệt so với polymer cốt sợi.

Tại Việt Nam, bê tông cốt sợi đã được nghiên cứu và ứng dụng vào công tác phát triển hạ tầng kỹ thuật trong gần một thập kỷ trở lại đây. Nhưng các loại sợi được sử dụng là sợi công nghiệp như sợi các bon, sợi thủy tinh, sợi polypropylene, ... có cường độ cao, giá thành tương đối và được sử dụng ở những công trình có tính đặc thù vốn bê tông thường không thể đáp ứng được cường độ

yêu cầu. Ngoài ra, bê tông cốt sợi là một giải pháp bền vững để gia cường các loại kết cấu hạ tầng bị suy giảm độ bền theo thời gian hoặc do ăn mòn, hỏa hoạn, động đất, ...

Hiện nay, một số nghiên cứu thực nghiệm ở cấp độ vật liệu đã được thực hiện nhằm xác định các đặc trưng cơ học của BTHM cốt lưới sợi dệt theo thí nghiệm kéo trực tiếp hoặc uốn tại ba điểm [7]-[9]. Cao Minh Quyền [7] đã nghiên cứu so sánh hai loại thành phần cấp phối BTHM về cường độ cũng như tính dính bám với lưới cốt sợi thủy tinh. Kết quả cho thấy, thành phần cấp phối sử dụng cát và bột Quartz có bổ sung thêm thành phần tro bay để thay thế chất kết dính bằng xi măng cho cường độ và mô đun đàn hồi cao hơn xấp xỉ 1,3 lần so với thành phần cấp phối sử dụng cát sông tự nhiên. Lê Minh Cường và cộng sự [8] đã chế tạo và xác định các đặc trưng cơ học và độ bền kéo của BTHM tính năng cao kết hợp với cốt lưới dệt ứng dụng trong công trình cầu. Các kết quả thực nghiệm đều cho thấy độ bền kéo tương đối cao của bê tông lưới cốt sợi dệt, có thể sử dụng để gia cường lên kết cấu.

Ở cấp độ kết cấu, một số tác giả đã thử nghiệm xác định hiệu quả gia cường của bê tông cốt lưới sợi dệt khi gia cường kết cấu chịu uốn, chịu cắt, chịu nén, chịu chọc thủng [10]-[14]. Nguyễn Huy Cường và cộng sự [11] đã mô phỏng sự phá hủy do uốn của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt. Kết quả mô phỏng được đối chứng với kết quả thực nghiệm trước đó, cho thấy hiệu quả gia cường đáng kể lên đến 180% so với dầm đối chứng không được gia cường. Bùi Thị Loan [13] đã nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của kết cấu sandwich tường gạch với bê tông cốt lưới dệt dưới tác dụng của tải trọng trong mặt phẳng. Kết quả cho thấy các lớp gia cường làm tăng độ cứng của kết cấu tường gạch đất nung ở pha thứ hai. Ngoài ra, nó làm tăng sức chịu tải của tường lên 36% cũng như gia tăng khả năng biến dạng của kết cấu đến 25% so với tường không gia cường. Ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi dệt thường được xác định thông qua thí nghiệm kéo dọc trực tiếp hoặc uốn thuần túy. Phần lớn các kết quả nghiên cứu đều chỉ ra những

đường cong ứng suất-biến dạng với nhiều giai đoạn làm việc khác nhau và phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố đến từ đặc trưng cơ học của các vật liệu thành phần cũng như sự làm việc chung giữa các lớp vật liệu này. Ngoài ra, các yếu tố con người cũng ảnh hưởng lớn đến kết quả thực nghiệm thu được. Vì vậy, để đạt được sự hội tụ của kết quả thực nghiệm cũng như nghiên cứu sự ảnh hưởng của các tham số vật liệu đến ứng xử chung của bê tông cốt sợi dệt, cần số lượng lớn các thí nghiệm và dẫn tới sự tốn kém. Do đó, phương pháp nghiên cứu bằng mô phỏng số rõ ràng là phù hợp để xem xét ảnh hưởng của các tham số (vật liệu, kích thước, môi trường, ...), vừa giảm thời gian và các chi phí nghiên cứu, vừa đảm bảo độ tin cậy cao.

Nghiên cứu này giới thiệu những kết quả thực nghiệm và mô phỏng số liên quan đến ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh. BTHM được thiết kế thành phần cấp phối nhằm phù hợp với lưới sợi dệt thủy tinh để tạo thành bê tông cốt lưới dệt. Các kết quả thực nghiệm về cường độ của lưới sợi dệt thủy tinh, BTHM và bê tông cốt sợi dệt được sử dụng để đối chứng kết quả của mô hình số. Nghiên cứu này mong muốn có thể bổ sung thêm những thông tin cần thiết, góp phần củng cố nguồn tài liệu cho nghiên cứu, ứng dụng bê tông cốt sợi dệt trong xây dựng hạ tầng cơ sở.

2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

2.1. Lưới sợi dệt thủy tinh

Lưới sợi dệt được sử dụng trong nghiên cứu này là SITgrid200, lưới sợi có nguồn gốc thủy tinh, với mắt lưới đều 12 x 12 mm cả sợi dọc và sợi ngang (warp and weft). Mỗi bó sợi cơ bản này (yarn) đều được cấu tạo từ 2400 sợi nano (filament) có kích thước rất bé từ 7 đến 27 μm . Lưới sợi dệt được xử lý bề mặt bằng một lớp polymer có nguồn gốc styrene butadine để tăng cường độ cho bó sợi cũng như tăng khả năng dính bám với BTHM. Diện tích một bó sợi là 1.76 mm^2 , cho cả sợi dọc và sợi ngang. Cường độ kéo đứt và mô đun đàn hồi của một bó sợi trần được xác định thông qua thí nghiệm kéo trực tiếp theo tiêu chuẩn ASTM D6637 [15]. Bảng 1 dưới đây

giới thiệu kết quả thực nghiệm thu được cho lưới sợi dệt thủy tinh.

Bảng 1. Cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của lưới sợi dệt thủy tinh.

Loại lưới sợi	Cường độ bó sợi trần (MPa)	Biến	Mô đun đàn hồi (GPa)
		dạng tại đỉnh ứng suất (%)	
SITgrid200	2120.28	16.07	129

2.2. Bê tông hạt mịn

Thành phần cấp phối BTHM được sử dụng trong nghiên cứu này được thiết kế dựa trên những nghiên cứu của các tác giả trước đây [9], [14]. Thành phần cốt liệu chủ yếu trong BTHM là cát Móng Cái và cát Phong Điền có bổ sung một lượng vừa đủ tro bay Phả Lại để làm giảm lượng xi măng sử dụng. Phụ gia siêu dẻo Polycarboxylate R-209 dạng bột được sử dụng để làm tăng tính công tác của BTHM, tăng khả năng thấm nhập vào lưới sợi dệt thủy tinh. Thành phần cấp phối của BTHM được giới thiệu trong bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Thành phần cấp phối BTHM sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu	Nguồn gốc	Loại vật liệu	Hàm lượng (kg/m^3)
Cát Móng Cái			626
Cát Phong Điền			942
Xi măng	Bút Sơn	PC40 (OPC)	600
Tro bay	Phả Lại	F	110
Nước	Nước máy		233
Phụ gia siêu dẻo	Sika	Polycarboxylate R-209	2,4

Các mẫu thử nghiệm để xác định cường độ nén và kéo uốn của BTHM được chế tạo trong phòng thí nghiệm, kích thước 40 x 40 x 160 mm theo

tiêu chuẩn châu Âu BS EN 196-1 (hình 1 a, b) [16]. Để xác định mô đun đàn hồi của BTHM, các mẫu hình trụ tròn kích thước tiêu chuẩn 15 x 30 cm được sử dụng.

Để đo biến dạng của mẫu, thiết bị cảm biến chuyển vị được thiết kế sao cho phù hợp với kích

thước mẫu (LVDT vòng) (hình 1 c,d). Các mẫu BTHM được bảo quản theo điều kiện tiêu chuẩn và tiến hành thử nghiệm ở 28 ngày tuổi. Hình 1 giới thiệu phương pháp đúc mẫu và thí nghiệm xác định cường độ của BTHM.



(a) Mẫu 40 x 40 x 160 mm



(b) Thí nghiệm nén mẫu



(c) Mẫu hình trụ



(d) Thí nghiệm đo mô đun đàn hồi

Hình 1. Phương pháp thực nghiệm xác định cường độ và mô đun đàn hồi của BTHM.

Kết quả thực nghiệm liên quan đến cường độ kéo uốn và nén đặc trưng được giới thiệu trong bảng 2. Cường độ kéo uốn đặc trưng của BTHM là 9.57 Mpa, trong khi cường độ nén đặc trưng là 57.91 MPa. Mô đun đàn hồi khi nén của BTHM là 31.6 GPa.

Độ lệch chuẩn của các giá trị đặc trưng cơ học trên đều nằm trong giới hạn cho phép, đảm bảo kết quả thực nghiệm có tính hội tụ.

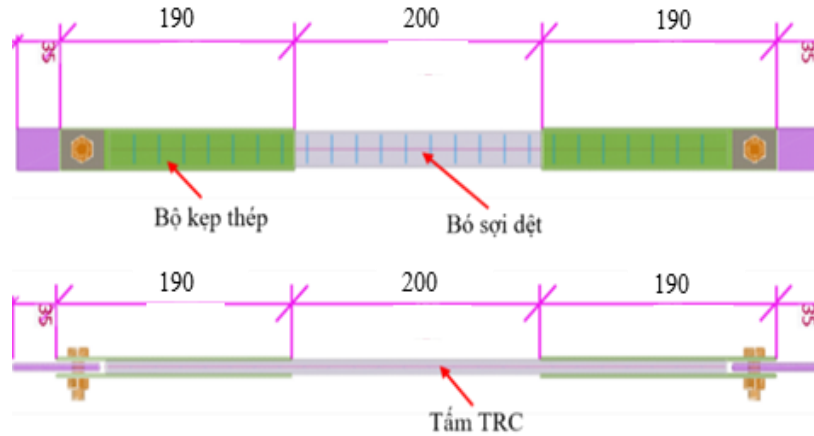
Bảng 3. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo uốn và cường độ nén của BTHM.

Cường độ kéo uốn f_{rtb} (MPa)	Độ lệch chuẩn cường độ kéo uốn (MPa)	Cường độ nén f_{ctb} (MPa)	Độ lệch chuẩn cường độ nén (MPa)	Mô đun đàn hồi (Gpa)
9.57	0.85	57.91	3.46	31.6

2.3. Bê tông cốt sợi dệt thủy tinh

Mẫu bê tông cốt sợi dệt thủy tinh được chế tạo trong phòng thí nghiệm với kích thước mẫu là 600 x 25 x 10 mm (dài x rộng x dày), bao gồm một bó sợi dệt thủy tinh ở trong – được cắt ra từ lưới dệt và bao gồm cả các sợi ngang (hình 2). Nếu chỉ tính đến các sợi dọc chịu lực kéo, hàm lượng gia cường (reinforcement ratio) được xác

định bằng tỉ số giữa mặt cắt một bó sợi trần với diện tích mặt cắt ngang BTHM là 0.704%. Để tránh hiện tượng tập trung ứng suất hai đầu của mẫu khi kéo, nhóm tác giả đã tiến hành gia cường hai đầu bằng cách dán các tấm thép ốp dài 150 mm vào mẫu. Trong quá trình thí nghiệm, lực kéo được tạo ra nhờ dịch chuyển cưỡng bức của đầu kéo, với tốc độ 1mm/phút.



Hình 2. Mẫu bê tông cốt sợi dệt thủy tinh chịu kéo.

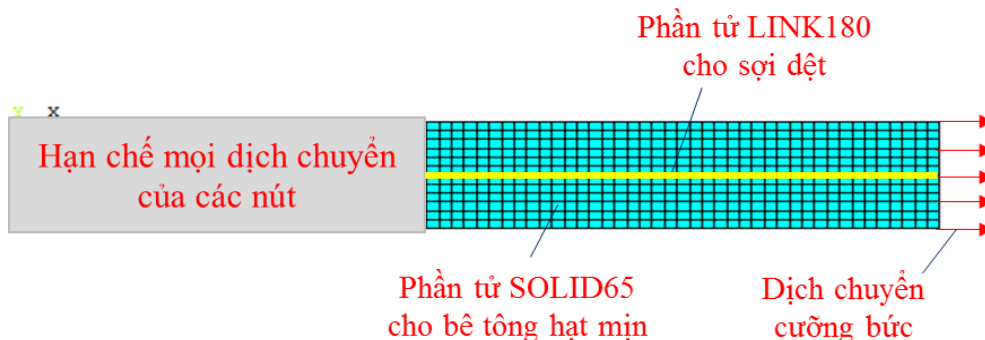
Kết quả thực nghiệm thu được ứng suất kéo đứt của mẫu bê tông cốt sợi dệt thủy tinh là $\sigma_{max} = 12.71$ MPa.

3. Mô hình phần tử hữu hạn

3.1. Xây dựng mô hình số

Mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) được xây dựng trong phần mềm Ansys Mechanical, có kích thước hình học tương tự với mẫu bê tông cốt lưới dệt trên thực nghiệm. Một số điểm đáng lưu ý với mô hình mẫu liên quan đến phần tử, mô hình vật

liệu, chia lưới và điều kiện biên như sau: BTHM được chia thành phần tử dạng khối hộp chữ nhật cho phép kết hợp với phần tử lưới dệt để tạo thành phần tử composite; mô hình phá hủy vật liệu do nứt theo một phương được sử dụng cho BTHM; hai đầu mẫu được gia cường bằng tấm kim loại, cố định mọi dịch chuyển; lực kéo được tạo ra bằng chuyển vị cưỡng bức được áp dụng vào cho một đầu của mẫu. Hình 3 giới thiệu mô hình mẫu được xây dựng trong Ansys Mechanical.



Hình 3. Mô hình phần tử hữu hạn cho bê tông cốt sợi dệt thủy tinh.

3.2. Số liệu đầu vào

Số liệu đầu vào cho mô hình số là kết quả thực nghiệm đã được xác định ở phần trên. Bảng 4

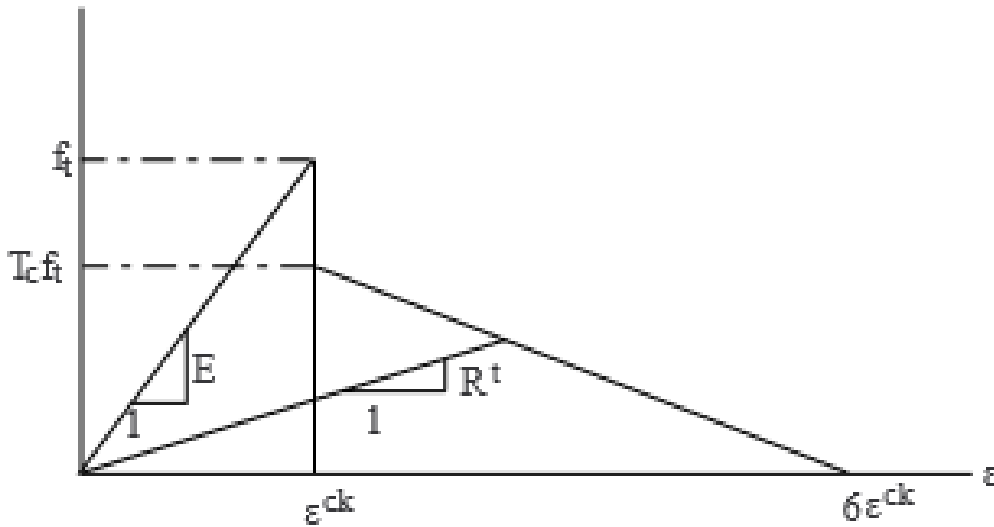
trình bày các thông số đầu vào cho mô hình vật liệu bê tông cốt sợi dệt thủy tinh.

Bảng 4. Các thông số đầu vào cho mô hình PTHH.

Lưới sợi dệt thủy tinh		Bê tông hạt mịn			
E_f (GPa)	σ_f (MPa)	E_m (GPa)	f_t (MPa)	ϵ_{ck}	T_c
129	2120.3	31.6	4.11	1.3×10^{-4}	0,8

Trong đó: E_f và σ_f lần lượt là mô đun đàn hồi và cường độ kéo của lưới sợi dệt thủy tinh, được lấy từ bảng 1; E_m , f_t , ϵ_{ck} và T_c lần lượt là các hệ số

trong mô hình vật liệu phá hủy do nứt theo một phương cho bê tông hạt mịn, được định nghĩa theo hình 4. Giá trị của các tham số này được lấy và tính toán từ bảng 4.



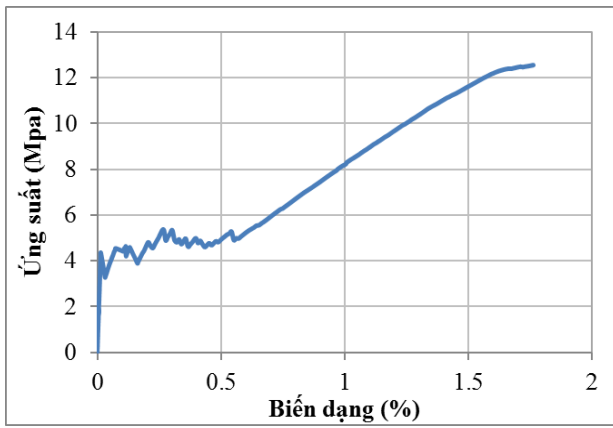
Hình 4. Mô hình vật liệu phá hủy do nứt theo một phương cho bê tông hạt mịn.

3.3. Kết quả mô hình số

Mô hình số có thể dự báo được ứng xử và các đặc trưng cơ học khi kéo của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh. Hình 5 thể hiện quan hệ ứng suất biến dạng của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh bao gồm các giai đoạn làm việc khác nhau. Giai đoạn ban đầu là tuyến tính khi mà BTHM chưa bị nứt, mô đun đàn hồi của vật liệu lúc này có giá trị tương đương với lớp nền BTHM sử dụng. Giai đoạn hai được đặc trưng bởi những đường lên xuống do có sự xuất hiện vết nứt trong lớp BTHM. Ứng suất tổng thể tăng không đáng kể trong khi biến dạng mẫu tăng lên rất nhiều lần. Giai đoạn này kết thúc khi lớp BTHM bị nứt hoàn toàn và chuyển sang giai đoạn tái bền, chỉ còn các bó sợi thủy tinh chịu lực kéo nên quan hệ ứng suất biến dạng là tương

đối tuyến tính. Khi đạt đến biến dạng phá hủy của sợi thủy tinh, mẫu bị kéo đứt và đạt trạng thái giới hạn về ứng suất.

Các đặc trưng cơ học của bê tông lưới sợi dệt thủy tinh được xác định thông qua các giá trị ứng suất biến dạng tại các điểm chuyển tiếp giữa các giai đoạn làm việc. Ứng với giai đoạn tuyến tính, các giá trị σ_I , ϵ_I và E_I lần lượt là 4.35 MPa, 0.014 %, và 31.15 GPa. Ứng với giai đoạn hai, các giá trị đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh lần lượt là $\sigma_{II} = 4.90$ MPa, $\epsilon_{II} = 0.552$ % và $E_{II} = 0.10$ GPa. Các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh ở trạng thái giới hạn được xác định (điểm UTS - ultimate tensile strength) lần lượt là $\sigma_{UTS} = 12.48$ MPa, $\epsilon_{UTS} = 1.730$ % và $E_{III} = 0.76$ GPa.



Hình 5. Quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông cốt lưới dệt thủy tinh.

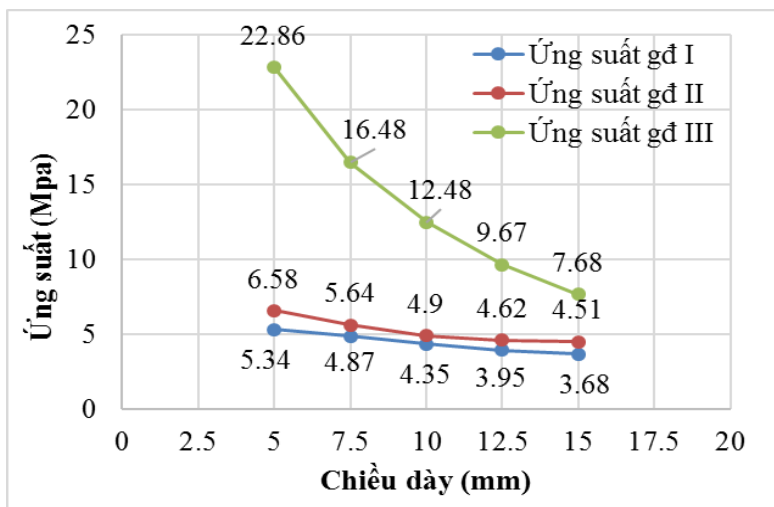
Khi so sánh kết quả từ mô hình số với kết quả thực nghiệm thu được trước đó, có thể thấy rằng đây là một kết quả tương đối phù hợp. Ứng suất tới hạn từ mô hình là $\sigma_{UTS} = 12.48$ MPa so với ứng suất lớn nhất từ thực nghiệm $\sigma_{max} = 12.71$ MPa (sai lệch kết quả dưới 2%). Biến dạng dài lớn nhất của bê tông cốt lưới dệt thủy tinh là $e_{UTS} = 1.730$ % so với kết quả thực nghiệm của bó sợi trần là 1.607 %. Sự sai khác về biến dạng có thể được giải thích bởi biến dạng của lớp BTHM làm tăng biến dạng tổng thể của toàn bộ mẫu bê tông cốt sợi dệt thủy tinh.

4. Thảo luận

Cường độ kéo tổng thể của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh bị ảnh hưởng bởi các tham số về kích thước hình học. Việc lựa chọn chiều dày phù hợp của lớp BTHM xung quanh lưới sợi dệt cho phép làm tăng hiệu quả tương tác giữa hai lớp vật liệu,

nâng cao khả năng chịu lực. Trong phần thảo luận, chiều dày mẫu được thay đổi từ 5 mm đến 15 mm (theo các mức thay đổi 2.5 mm) để xem xét ảnh hưởng của tham số này đến các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi dệt. Về mặt bản chất, khi tăng chiều dày của lớp BTHM, tỉ lệ gia cường giữa diện tích cốt sợi dệt với diện tích mặt cắt bê tông sẽ giảm xuống, dẫn đến các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi dệt giảm xuống.

Kết quả mô phỏng số cho các trường hợp chiều dày cho thấy, dạng ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh thay đổi không đáng kể. Chúng đều là các đường cong ứng suất biến dạng phi tuyến, có xuất hiện vết nứt rồi tái bền, tuy nhiên ở các mức độ khác nhau. Các giá trị đặc trưng cơ học tại các giai đoạn làm việc bị thay đổi theo chiều dày của lớp BTHM. Hình 6 cho thấy sự ảnh hưởng của chiều dày lớp BTHM đến các đặc trưng cường độ qua các giai đoạn làm việc của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh. Từ đó có thể nhận thấy, sự thay đổi chiều dày của lớp bê tông hạt mịn có làm thay đổi giá trị ứng suất σ , σ_{II} nhưng không đáng kể. Tuy nhiên, việc thay đổi hệ số gia cường thông qua tỉ số giữa diện tích cốt sợi dệt với diện tích mặt cắt bê tông đã làm thay đổi rất lớn đến ứng suất giới hạn của bê tông cốt sợi dệt. Sự biến thiên này không là tuyến tính mà theo dạng đường cong lõm, có xu hướng tiệm cận với đường nằm ngang. Khi chiều dày lớp BTHM quá lớn, hệ số gia cường nhỏ hơn giá trị tới hạn, hiệu quả gia cường bằng không.



Hình 6: Ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông hạt mịn đến đặc trưng cường độ ở các giai đoạn làm việc của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh.

5. Kết luận và kiến nghị

Bài báo giới thiệu những kết quả thực nghiệm và mô phỏng số liên quan đến ứng xử và các đặc trưng cơ học khi kéo của bê tông cốt lưới sợi dệt thủy tinh. Từ kết quả thu được, một số kết luận có thể được rút ra cho nghiên cứu này như sau:

- Bê tông cốt sợi dệt thủy tinh sử dụng lớp nền bằng BTHM có cấp phối chủ yếu là cát Phong Điền và cát Móng Cái, bổ sung một lượng tro bay Phả Lại để giảm lượng xi măng, cho cường độ kháng nén danh định 57.91 MPa và kéo uốn 9.57 MPa. Kết quả cường độ đạt được và các tính chất vật lý khác là tốt, đảm bảo để tiến hành tổng hợp bê tông cốt sợi dệt.

- Khi kết hợp với lưới sợi dệt thủy tinh với hàm lượng gia cường 0.704%, bê tông cốt sợi dệt cho cường độ kéo đứt là 12.71 Mpa;

- Mô hình số dựa trên Ansys Mechanical có thể dự báo ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi dệt thủy tinh nói trên, các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi dệt ở các giai đoạn làm việc được xác định dựa vào đường cong ứng suất – biến dạng;

- Dựa vào mô hình, ảnh hưởng của chiều dày lớp BTHM đến các đặc trưng cơ học đã được khảo sát. Kết quả cho thấy, khi giảm chiều dày lớp BTHM, các đặc trưng về ứng suất tại các điểm chuyển tiếp I và II có thay đổi không đáng kể, tuy nhiên ứng suất giới hạn tại điểm UTS (ultimate tensile strength) tăng lên đáng kể, tuy nhiên không theo quy luật tuyến tính.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số “B2022-MDA-08”: Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn tính năng cao kết hợp với lưới sợi dệt phục vụ xây dựng công trình hạ tầng cơ sở

Tài liệu tham khảo

[1] M. T. Tran; “Caractérisation expérimentale et modélisation numérique du comportement thermomécanique à haute température des matériaux composites renforcés par des fibres”. Ph.D dissertation; Université de Lyon, Lyon,

France, 2019. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02341216>.

- [2] Z. C. Tetta and D. A. Bournas; “TRM vs FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures”. *Composites Part B: Engineering*. 2016; 106:190–205. DOI:10.1016/j.compositesb.2016.09.026.
- [3] S. M. Raoof and D. A. Bournas; “TRM versus FRP in flexural strengthening of RC beams: Behaviour at high temperatures”. *Construction and Building Materials*. 2017; 154:424–437. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.07.195.
- [4] S. M. Raoof, L. N. Koutas, and D. A. Bournas; “Textile-reinforced mortar (TRM) versus fibre-reinforced polymers (FRP) in flexural strengthening of RC beams”. *Construction and Building Materials*. 2017; 151:279–291. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.05.023.
- [5] T. Li, M. Deng, M. Jin, Z. Dong, and Y. Zhang; “Performance of axially loaded masonry columns confined using textile reinforced concrete (TRC) added with short fibers”. *Construction and Building Materials*. 2021; vol. 279. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122413.
- [6] Z. C. Tetta, L. N. Koutas, and D. A. Bournas; “Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams”. *Composites Part B: Engineering*. 2015; 77:338–348. DOI:10.1016/j.compositesb.2015.03.055.
- [7] C. M. Quyên; “Chuyên đề 1: Nghiên cứu thực nghiệm xác định một số tính chất cơ học của bê tông cốt lưới sợi”. Báo cáo tại Hội thảo chuyên đề Nghiên cứu sinh; Hà Nội, Việt Nam: Trường Đại học Giao thông; 2021.
- [8] L. M. Cường et al.; “Nghiên cứu chế tạo và xác định các đặc tính cơ học và độ bền của bê tông hạt mịn tính năng cao cốt lưới dệt ứng dụng trong công trình cầu”. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ; Hà Nội, Việt Nam: Bộ GD&ĐT; CTB 2014-04-03; 2018.
- [9] N. H. Cường, N. Đ. Quang và V. V. Hiệp; “Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử dính bám giữa lưới sợi các-bon với các loại bê tông

- hạt mịn sử dụng cát quartz và cát biển”. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải. 2017; số 59.
- [10] N. T. C. Thanh, H. N. Xuân, B. N. Nghĩa, và H. P. Minh, “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. 2021; 72(8):932–944.
- [11] N. H. Cường, V. V. Hiệp và L. Đ. Dũng; “Nghiên cứu ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt”. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. 2015; 48: 70-76.
- [12] N. T. Nhung, N. X. Huy và L. M. Cường; “Phân tích sự phá hoại chọc thủng của bản bê tông cốt thép được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt,” Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Trường Giao thông vận tải; Hà Nội, Việt Nam: Trường Đại học Giao thông vận tải; T2019-CT-032; 2019.
- [13] B. T. Loan; “Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của kết cấu sandwich tường gạch-bê tông cốt lưới dệt dưới tác dụng của tải trọng trong mặt phẳng”. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Trường; Hà Nội, Việt Nam: Trường Đại học Giao thông vận tải; T2018-XD-005; 2018.
- [14] N. Đ. Quang et al.; “Nghiên cứu ứng dụng bê tông cốt lưới dệt trong tăng cường kết cấu bê tông cốt thép ở vùng biển và hải đảo”. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ; Hà Nội, Việt Nam: Bộ GD&ĐT; B2018-GHA-16; 2019.
- [15] ASTM International; “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method”; ASTM D6637-11; West Conshohocken, Pennsylvania, USA; 2010.
- [16] British Standards (BSI); “Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength”; BS EN 196-1:2005; UK; 2005.