



## Experimental research to assess strengthening capacity of TRC for 4 point bending beam

### Article info

#### Type of article:

Original research paper

#### \*Corresponding author:

E-mail address:

[quyencm@utt.edu.vn](mailto:quyencm@utt.edu.vn)

#### Received:

November 24, 2021

#### Accepted:

February 08, 2022

#### Published:

February 15, 2022

Cao Minh Quyen\*, Trinh Hoang Son, Nguyen Huu Anh, Nguyen Huu Giang, Vu Dinh Phien

University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Ha Noi 100000, Viet Nam

**Abstract:** This paper presents an experimental procedure to determine the basic mechanical properties of the component materials of Textile Reinforced Concrete (TRC) using materials available in Vietnam. Besides that, the study performed experiments to verify the reinforcement efficiency of TRC for Reinforced Concrete Beams (RCB) under 4-point bending load as well as to evaluate suitability of TRC in reinforcing the beam. The study also considered the efficiency of the contact surface between the fine-grained concrete and the RCB. Research results shows that the capacity of the beam reinforced by TRC increases about 16%. Research results can be used as a reference to specify the basic mechanical properties of TRC and input parameters for numerical model study.

**Keywords:** TRC, strengthening beam, textile, 4-point bending

## Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng gia cường dầm chịu uốn 4 điểm bằng vật liệu TRC

Cao Minh Quyền\*, Trịnh Hoàng Sơn, Nguyễn Hữu Anh, Nguyễn Hữu Giang, Vũ Đình Phiên

Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, 54 Triều Khúc, Hà Nội, Việt Nam

### Thông tin bài viết

#### Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

#### Tác giả liên hệ:

Địa chỉ E-mail:

[quyenm@utt.edu.vn](mailto:quyenm@utt.edu.vn)

#### Ngày nộp bài:

24/11/2021

#### Ngày chấp nhận:

08/02/2022

#### Ngày đăng bài:

15/02/2022

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày quy trình thực nghiệm xác định các tính chất cơ học cơ bản của các loại vật liệu thành phần của bê tông cốt lưới sợi (Textile Reinforced Concrete – TRC) sử dụng các loại vật liệu có sẵn tại Việt Nam. Bên cạnh đó nghiên cứu tiến hành thí nghiệm kiểm tra hiệu quả gia cường của TRC cho dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu uốn 4 điểm để đánh giá hiệu quả và tính phù hợp của TRC trong việc gia cường kết cấu dầm có xét đến ảnh hưởng của bề mặt tiếp xúc giữa bê tông hạt mịn (BTHM) và bê tông dầm gia cường. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng chịu lực của dầm gia cường TRC tăng lên khoảng 16%. Kết quả nghiên cứu cũng có thể được sử dụng như một tài liệu tham khảo để xây dựng quy trình thí nghiệm xác định các tính chất cơ học cơ bản của vật liệu TRC làm cơ sở cho việc tính toán gia cường cũng như nghiên cứu mô hình số.

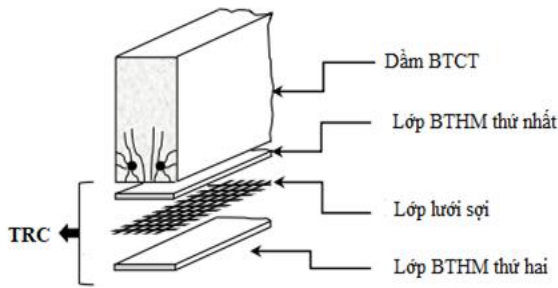
**Từ khóa:** TRC, gia cường dầm, lưới sợi dệt, dầm chịu uốn 4 điểm

### 1. Đặt vấn đề

Bê tông cốt thép (BTCT) được đưa vào sử dụng từ giữa thế kỷ 19 và các công trình xây dựng, giao thông bằng BTCT đầu tiên được xây dựng ở Việt Nam là từ những năm cuối thế kỷ 19. Cho đến ngày nay, BTCT vẫn là loại vật liệu được sử dụng phổ biến nhất hiện nay. Nhiều công trình trong đó có những công trình mang tính lịch sử, văn hóa sau hơn một thế kỷ sử dụng đã bị hư hại, suy giảm khả năng chịu tải. Ngoài ra việc sự gia tăng tải trọng trong quá trình sử dụng khiến các kết cấu cũ trở nên thiếu an toàn. Xuất phát từ thực tế đó đòi hỏi phải có các giải pháp gia cường kết cấu phù hợp, ứng dụng những loại vật liệu tiên tiến, có tính năng ưu việt và phù hợp với điều kiện khí hậu nóng ẩm ở Việt Nam.

Đã có nhiều công nghệ sửa chữa, gia cường kết cấu BTCT được ứng dụng ở Việt Nam như

công nghệ áo BTCT (Reinforced Concrete Jacket), công nghệ dự ứng lực ngoài, công nghệ dán bản thép ngoài, công nghệ sử dụng vật liệu Polymer cốt sợi (Fiber Reinforced Polymer - FRP) ... Trong đó, vật liệu composite, đặc biệt là carbon epoxy, được phát triển như là loại vật liệu dùng để sửa chữa và gia cường các kết cấu BTCT. Lý do chủ yếu là vì đặc tính cơ học rất tốt của chúng cũng như khả năng thi công dễ dàng, nhanh chóng và không ảnh hưởng đến kiến trúc. Giải pháp gia cường sử dụng BTHM kết hợp với lưới sợi được gọi là TRC (Textile Reinforced Concrete), TRM (Textile Reinforced Mortar), FRCM (Fabric Reinforced Cement Matrix). Trong phạm vi nghiên cứu này sử dụng thuật ngữ TRC. Đây là loại vật liệu gia cường có ưu điểm nổi bật là chịu nhiệt tốt, chống ăn mòn tốt, thân thiện với môi trường do sử dụng BTHM làm chất kết dính giữa vật liệu gia cường và vật liệu của kết cấu.



**Hình 1.** Sơ đồ cấu tạo hệ thống gia cường kết cấu dầm bằng TRC

Các nghiên cứu trên thế giới về sử dụng TRC gia cường kết cấu cũ nói chung đã có những bước phát triển, tuy nhiên ở mỗi nước lại sử dụng các vật liệu khác nhau tùy theo điều kiện thực tế do vậy việc ứng dụng TRC lại tuân thủ theo các khuyến nghị hay tiêu chuẩn khác nhau vì vậy chưa thực sự thống nhất [1,2]... Tại Việt Nam cũng đã có những nghiên cứu về TRC ở quy mô vật liệu sử dụng các loại vật liệu địa phương như cát Quartz hoặc cát biển ứng dụng cho các kết cấu vùng biển, hải đảo [3,4] hoặc nghiên cứu mô hình [5]. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi của việc sử dụng TRC gia cường cho kết cấu cũ nhưng giá thành tương đối cao khi sử dụng cốt liệu là cát Quartz, bột Quartz để chế tạo BTHM.

Nghiên cứu này sử dụng cốt liệu là các loại cát có giá thành rẻ hơn là cát Phong Điền và cát Móng Cái có giá thành rẻ hơn so với cát Quartz và bột Quartz mà vẫn đảm bảo các tính chất cơ học cơ bản cần có của lớp BTHM cũng như sự làm việc chung giữa các thành phần vật liệu của hệ thống gia cường TRC. Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, nhóm nghiên cứu tiến hành thí nghiệm xác định tính chất cơ học cơ bản của TRC gồm: cường độ chịu nén, kéo uốn, mô đun đàn hồi của BTHM. Ngoài ra nghiên cứu còn tiến hành thí nghiệm cường độ chịu kéo của bó sợi trần; cường độ dính bám giữa bó sợi và BTHM. Bên cạnh đó để đánh giá ảnh hưởng của bề mặt tiếp xúc giữa BTHM và kết cấu cũ tới hiệu quả gia cường, nghiên cứu tiến hành thí nghiệm uốn cho 3 dầm BTCT trong đó có 1 dầm đối chứng, 2 dầm gia cường 1 lớp TRC được tạo nhám bề mặt và không tạo nhám bề mặt. Mô hình thí nghiệm là dầm chịu uốn 4 điểm nhằm phù hợp với khả năng của thiết bị thí nghiệm tại phòng thí nghiệm công trình giao

thông LAS-XD 72 trực thuộc trường ĐH Công nghệ GTVT.

**2. Nghiên cứu thực nghiệm**

**2.1. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, kéo uốn, mô đun đàn hồi của BTHM**

Đối với bê tông xi măng thường, mẫu bê tông tiêu chuẩn để xác định cường độ chịu nén là mẫu trụ tròn  $d \times h = 15 \times 30$  (cm); cường độ chịu kéo uốn là mẫu lăng trụ  $15 \times 15 \times 60$  (cm) theo tiêu chuẩn ASTM C192 [6]. Tuy nhiên, BTHM đều sử dụng cốt liệu có  $D_{max} = 0,6$  mm hoặc 1 mm để đảm bảo độ đặc chắc và khả năng xâm nhập vào các mắt lưới tăng cường độ dính bám với lưới sợi dệt [2] nên xét về mặt vật liệu có thể được coi như một loại vữa xi măng.

**Bảng 1.** Thành phần cấp phối BTHM sử dụng trong nghiên cứu

Vật liệu	Loại/Mác	Hàm lượng (kg/m <sup>3</sup> )
Cát Móng Cái		626
Cát Phong Điền		942
Xi măng	PC40 (OPC) $R_{n28} = 43$ (Mpa) $R_{u28} = 7$ (Mpa)	600
Tro bay	F	110
Nước		233
Phụ gia siêu dẻo	Polycarboxylate R-209	2,4

Theo Báo cáo [2], các nhà nghiên cứu về tính chất cơ học của BTHM ở Đức đã sử dụng mẫu lăng trụ có kích thước  $40 \times 40 \times 160$  mm dùng cho vật liệu vữa để xác định cường độ chịu kéo uốn và chịu nén của BTHM theo tiêu chuẩn DIN 1015-11:2007-05 [7]. Các kết quả về cường độ khi sử dụng mẫu thí nghiệm kích thước nhỏ này cho giá trị đáng tin cậy và tương đồng khi sử dụng các mẫu trụ tròn vì vậy nhóm nghiên cứu cũng tiến hành xác định cường độ kéo uốn, cường độ chịu nén của BTHM có cấp phối như Bảng 1 với các mẫu lăng trụ có kích thước  $40 \times 40 \times 160$  mm. Các

mẫu thí nghiệm sau khi tháo ván khuôn được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn ( $t = 27 \pm 2^\circ\text{C}$ ) đến tuổi thí nghiệm 28 ngày.

Tiến hành thí nghiệm với 30 tổ mẫu, mỗi tổ mẫu gồm 3 mẫu như Hình 2. Với từng mẫu thí nghiệm đơn lẻ, thí nghiệm xác định cường độ kéo

uốn đc thực hiện trước, các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén sẽ được thực hiện trên 2 nửa mẫu thu được từ thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn. Kết quả cường độ chịu nén của mẫu đơn lẻ sẽ là giá trị trung bình kết quả cường độ chịu nén của 2 nửa mẫu.



a) Mẫu thí nghiệm



b) Bảo dưỡng mẫu



c) Thí nghiệm nén

**Hình 2.** Thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn và cường độ nén của BTM



**Hình 3.** Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của BTM

Đối với thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của bê tông ( $E_c$ ), các mẫu trụ tròn có kích thước 10 x 20 (cm) có thể được chấp nhận tuy nhiên theo ACI 363.2R-11 [8] khuyến nghị nên sử dụng mẫu trụ tròn tiêu chuẩn (15 x 30 cm). ACI 363.2R [8] cũng khuyến nghị sử dụng các thiết bị có khả năng ghi dữ liệu ứng suất – biến dạng một cách liên tục trong quá trình thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi như lá điện trở hơn là sử dụng các đồng hồ cơ học.

Tuy nhiên để tận dụng các thiết bị có sẵn và vẫn đảm bảo độ chính xác của thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi, trong phạm vi nghiên cứu sử dụng 9 mẫu trụ tròn tiêu chuẩn 15 x 30 cm và 2 đồng hồ cơ học được gắn vào hệ vòng đo như **Error! Reference source not found.** Các mẫu thí nghiệm sau khi dỡ ván khuôn được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn ( $t = 27 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $W \geq 90\%$ ) đến 28 ngày tuổi. Tất cả các mẫu được capping bề mặt theo tiêu chuẩn ASTM C617 [9] trước khi tiến hành thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi bằng máy kéo nén vạn năng sức tải 2000 KN. Kết quả thí nghiệm xác định các đặc trưng cơ học của BTM sau khi loại bỏ các sai số thô, tiến hành phân tích thống kê và đánh giá theo các chỉ dẫn [8,10-12] được tổng hợp như Bảng 2.

**Bảng 2.** Các đặc trưng cơ học của BTM

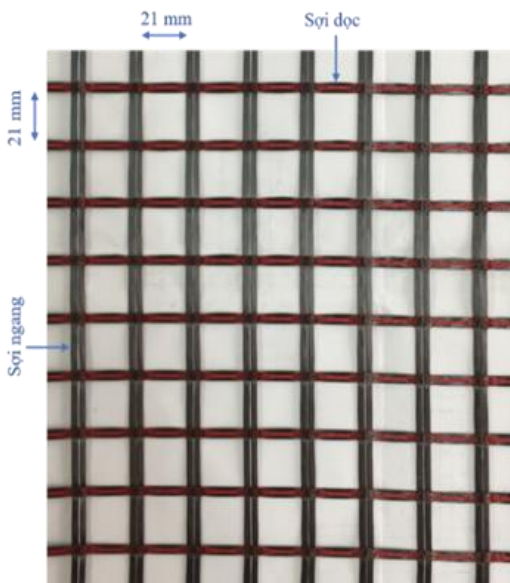
Cường độ kéo uốn (Mpa)	Cường độ nén (Mpa)	Mô đun đàn hồi (Mpa)
9,59	57,04	33210

Từ kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của BTM thấp hơn khá nhiều so với mô đun đàn hồi của bê tông thường có cường độ chịu nén tương đương. Nguyên nhân là do trong BTM gần như không có cốt liệu thô mà chỉ có cốt liệu mịn hoặc các hạt siêu mịn như xi măng, tro bay, muối silic.

Mặc dù vậy cường độ chịu kéo uốn của BTHM cao hơn so với cường độ chịu kéo uốn của bê tông thường có cường độ nén tương đương, điều này góp phần giúp TRC phù hợp với vai trò của vật liệu gia cường.

**2.2. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, kéo uốn, mô đun đàn hồi của lưới sợi**

Lưới sợi sử dụng trong nghiên cứu là lưới các bon được sản xuất bởi hãng V.FRAAS (Đức) với mã Sigratex Grid 350, mỗi tấm có kích thước 2 x 1,25 m. Kích thước mắt lưới 21 x 21 mm (Hình 4), trọng lượng riêng 1,82 g/cm<sup>3</sup>, độ mịn 1600 tex (1 tex = 1 g/1000 m). Các bó sợi được phủ lớp bọc polymer gốc styrene butadine với hàm lượng phủ 15% giúp dễ dàng cố định phương của các bó sợi và khiến các sợi cơ bản được liên kết với nhau cùng chịu lực. Cấu trúc lưới sợi với các bó sợi theo phương 0<sup>o</sup>/90<sup>o</sup>.



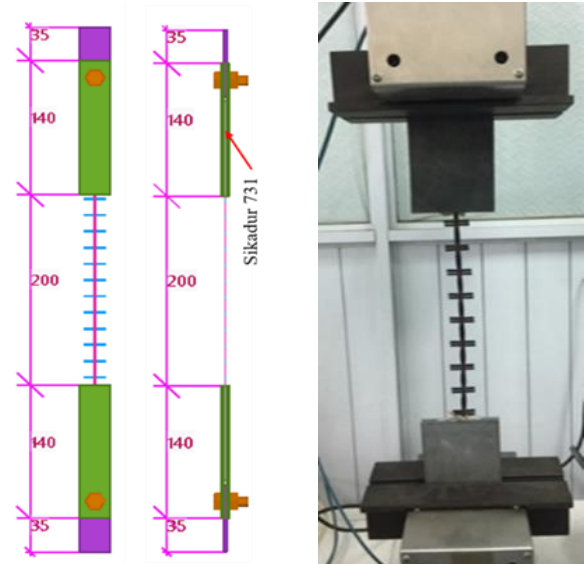
Hình 4. Lưới sợi Sigratex Grid 350

Đối với thí nghiệm kéo lưới sợi trần, một bó sợi dọc có 2 đầu được dán vào 2 tấm thép bằng chất kết dính Sikadur 731 để tránh việc lưới sợi được kẹp trực tiếp vào hệ thống kẹp của máy kéo làm đứt các sợi cơ bản ở 2 đầu bó sợi.

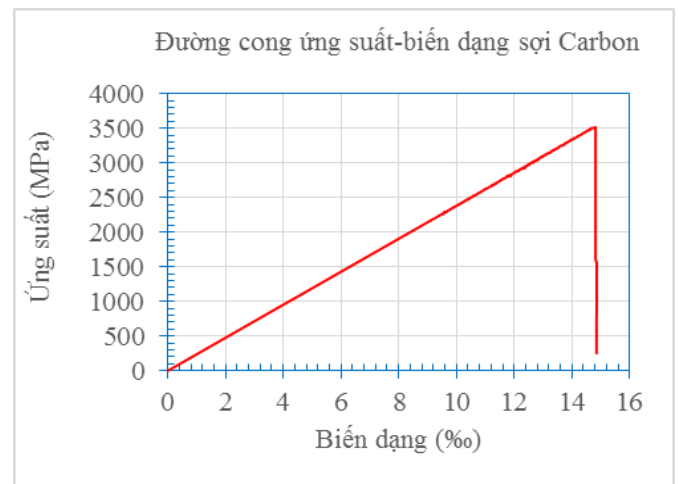
Độ giãn dài của lưới sợi được ghi lại bởi hệ thống được tích hợp sẵn trong máy kéo trong suốt quá trình thí nghiệm.

Các mẫu thí nghiệm được gia tải dọc trục với tốc độ gia tải 1mm/phút cho đến khi đạt đến giới hạn cường độ chịu kéo đứt, rồi giảm đột ngột về

không (=0). Từ các đường cong ứng suất – biến dạng khi kéo của lưới sợi có thể thấy ứng suất kéo tăng gần như tuyến tính cho đến khi đạt đến cường độ chịu kéo đứt, sau đó đột ngột giảm về không. Kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của lưới sợi trần được tổng hợp trong Bảng 3.



Hình 5. Mô hình thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo bó sợi trần



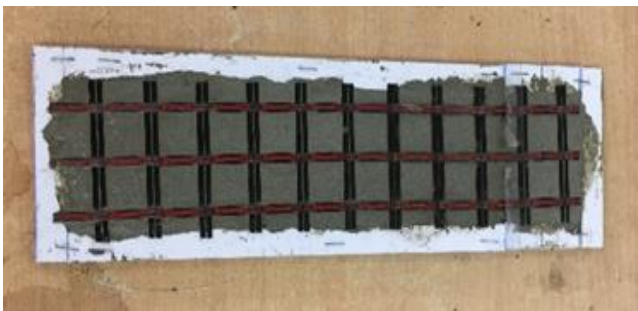
Hình 6. Đường cong ứng suất – biến dạng của bó sợi trần khi kéo

**Bảng 3.** Cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của bó sợi trần

Cường độ bó sợi trần (MPa)	Biến dạng tại đỉnh ứng suất (%)	Mô đun đàn hồi (GPa)
3515	14,82	235

**2.3. Thí nghiệm xác định khả năng dính bám và chiều dài neo có hiệu của lưới sợi trong BTHM**

Bên cạnh những tính chất cơ học cơ bản của BTHM và lưới sợi thì khả năng làm việc chung giữa các thành phần này của TRC cũng đặc biệt quan trọng. Trong đó ứng xử dính bám giữa BTHM với lưới sợi dệt sẽ quyết định chiều dài neo của lưới sợi trong BTHM, đảm bảo tận dụng tối đa khả năng làm việc của cốt lưới sợi trước khi chúng bị kéo tuột khỏi BTHM. Các nghiên cứu trên thế giới đã sử dụng nhiều mô hình thí nghiệm khác nhau để xác định chỉ tiêu cơ lý này [13–16] nhưng đều còn tồn tại các điểm hạn chế. Thông qua việc đánh giá ưu nhược điểm của các mô hình thí nghiệm, nhóm nghiên cứu quyết định lựa chọn mô hình kéo tuột (pull-out) sợi ra khỏi BTHM được Lorenz và cộng sự [17] phát triển và công bố. Các mẫu thí nghiệm là các tấm TRC có kích thước 300 x 70 x 10 mm nhằm phù hợp với kích thước mắt lưới của mỗi loại lưới.

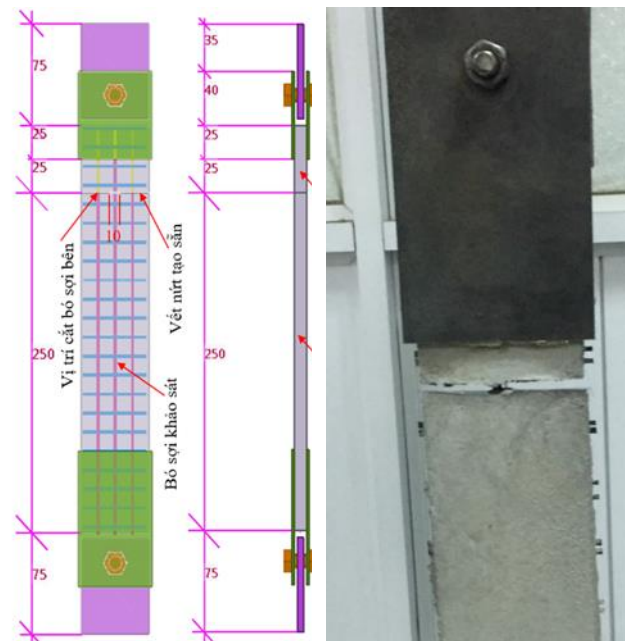


**Hình 7.** Mẫu thí nghiệm dính bám giữa lưới sợi và BTHM

Tấm TRC được chia làm 2 phần (phần trên và phần dưới) bởi vết cắt trước nhằm định vị trước vị trí vết nứt. Phần trên dài 50 mm, phần dưới dài 250 mm để đảm bảo việc lưới sợi sẽ bị kéo tuột khỏi phần trên tấm TRC. Một tấm lưới sợi gồm 3 bó sợi dọc được đặt vào giữa tấm TRC chạy dọc theo chiều dài tấm nhưng chỉ có 1 bó sợi duy nhất (nằm giữa) chạy dọc từ phần dưới lên phần trên và neo vào phần trên một đoạn 25 mm. Hai bó sợi bên ngoài được cắt đứt tại vị trí vị trí vết cắt trước. Mô hình thí nghiệm này có ưu điểm nổi bật là đồng thời xét đến ảnh hưởng của các bó sợi ngang đến ứng xử dính bám giữa lưới sợi và BTHM.

Để việc neo kẹp tấm TRC không ảnh hưởng đến cường độ dính bám của lưới sợi, tiến hành

dán tấm TRC vào các tấm thép bằng keo Sikadur 731 trong đoạn 25 mm đầu mút phần trên tấm TRC, đoạn phía dưới được dán các tấm thép trong khoảng 150 mm. Các mẫu thí nghiệm được kẹp vào má kẹp của máy kéo và được gia tải tĩnh, khống chế chuyển vị với tốc độ 0,1 mm/phút cho đến khi phá hoại xảy ra tương ứng với bó sợi bị trượt đáng kể trong BTHM (Hình 8). Tải tác dụng và dịch chuyển tương đối giữa bó sợi và BTHM được đo bởi thiết bị đo lực và LVDT gắn sẵn trong thiết bị gia tải. Tiến hành thí nghiệm với 6 mẫu tương ứng được chế tạo và bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm. Kết quả được tổng hợp trong Bảng 4.



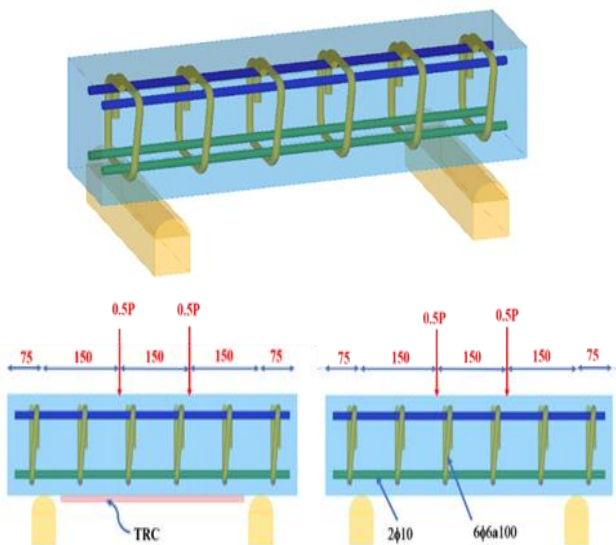
**Hình 8.** Thí nghiệm xác định cường độ dính bám và chiều dài neo có hiệu giữa lưới sợi và BTHM

**Bảng 4.** Cường độ dính bám và chiều dài neo có hiệu của lưới sợi trong BTHM

Chiều rộng bó sợi (mm)	Chiều dài neo sợi trong BTHM (mm)	Lực kéo tuột trung bình (N)	Cường độ dính bám trung bình (MPa)	Chiều dài neo có hiệu (mm)
4,1	25	493	2,4	150

**2.4. Thí nghiệm xác định khả năng chịu uốn của dầm gia cường TRC**

Ba dầm BTCT có kích thước 150 × 150 × 600 mm được tiến hành thí nghiệm theo mô hình uốn 4 điểm. Các dầm được bố trí 2 thanh cốt thép Ø10 ở lớp trên, 2 thanh Ø10 ở lớp dưới, với cốt đai Ø6 được đặt với khoảng cách 100 mm ở trên toàn bộ chiều dài dầm (Hình 9). Chiều dày lớp bê tông bảo vệ 15 mm. Dầm không gia cường (BF0) được sử dụng làm mẫu đối chứng để so sánh hiệu quả của việc tăng cường bằng TRC. Hai dầm được tăng cường bằng 1 lớp lưới sợi (BF1\_1 và BF1\_2) trong đó dầm BF1\_1 được xử lý bằng cách mài tạo rãnh ở mặt dưới dầm trong khi dầm BF1\_2 không được xử lý bề mặt để xem xét ảnh hưởng của việc xử lý bề mặt kết cấu cần gia cường tới hiệu quả gia cường TRC.



**Hình 9.** Mô hình thí nghiệm dầm chịu uốn 4 điểm

Các dầm được gia tải bởi máy kéo nén tại phòng thí nghiệm công trình giao thông LAS-XD 72 trực thuộc Trường ĐH CN GTVT. Các dầm được tiến hành thí nghiệm uốn 4 điểm, bằng phương pháp khống chế chuyển vị với tốc độ 1 mm/phút cho đến khi phá hoại.

Kết quả thí nghiệm (Bảng 5) cho thấy dầm đối chứng xuất hiện vết nứt khi tải trọng đạt 55 Tấn. Cấu trúc vết nứt trên các dầm cho thấy các dầm bị phá hoại trên tiết diện nghiêng xuất phát từ dưới vị trí gối gia tải. Điều này có thể được lý giải do nhịp dầm nhỏ nên phá hoại uốn đã không xảy ra, thay vào đó là phá hoại do cắt. Các vết nứt xuất hiện làm giảm độ cứng của dầm nhưng lực vẫn có thể truyền qua các vết nứt nhờ hiệu ứng cài khóa

cốt liệu và lực chốt trong các thanh thép dọc. Tuy nhiên, như được thể hiện như Hình 11, vết nứt nghiêng ở một bên dầm có xu hướng mở rộng nhanh, phía còn lại mở rộng chậm hơn. Đồng thời, một số vết nứt thẳng góc do uốn và vết nứt do uốn – cắt đã có thể quan sát được rõ ràng ở dầm BF0 và BF1\_2 và bề rộng vết nứt ở 2 dầm này cũng lớn hơn hẳn so với bề rộng vết nứt ở dầm BF1\_1. Ở thời điểm này, bê tông đã không còn tham gia chịu tải, sức kháng cắt hoàn toàn do cốt thép chịu. Một điều đáng lưu ý là sự khác nhau tại thời điểm phá hoại của dầm BF1\_1 và BF1\_2 ở lân cận vị trí gia cường TRC, trong khi dầm BF1\_1 bị bong tách tại vị trí tiếp xúc giữa cốt thép dọc và bê tông thường và vết nứt đã cắt qua TRC thì dầm BF1\_2 bị bong tách tại mặt tiếp xúc giữa bê tông thường và TRC ngay khi chưa xuất hiện vết nứt nào đáng kể tại lớp TRC.

Điều này một lần nữa khẳng định vai trò quan trọng của công tác xử lý bề mặt kết cấu gia cường để tăng khả năng dính bám giữa hệ thống TRC và kết cấu, phát huy tối đa hiệu quả gia cường. Việc kiểm tra tình trạng lớp TRC sau khi dỡ tải không ghi nhận trường hợp sợi nào bị đứt. Những dấu hiệu này chứng tỏ rằng hệ thống thí nghiệm chưa kích hoạt hết khả năng làm việc của cốt thép cũng như TRC.



**Hình 10.** Công tác chế tạo mẫu thí nghiệm



a) Dầm đối chứng BF0



b) Dầm gia cường 1 lớp TRC được xử lý bề mặt BF1\_1



c) Dầm gia cường 1 lớp TRC không được xử lý bề mặt BF1\_2

**Hình 11.** Dạng phá hoại của các dầm thí nghiệm

**Bảng 5.** Tổng hợp kết quả thí nghiệm uốn dầm

Dầm	Tải trọng $P_{max}$ (KN)	Mức tăng khả năng chịu lực (%)	Dạng phá hoại
-----	--------------------------	--------------------------------	---------------

BF0	136,16	-	Phá hoại trên tiết diện nghiêng, không ghi nhận sự phá hoại của thép dọc và thép đai.  Phá hoại trên tiết diện nghiêng, không ghi nhận sự phá hoại của thép dọc, thép đai và lưới sợi. Bê tông nền bị bong tách tại bề mặt tiếp xúc với thép dọc, TRC không bị bong tách khỏi bê tông nền.
BF1_1	158,98	16,76%	Phá hoại trên tiết diện nghiêng, không ghi nhận sự phá hoại của thép dọc, thép đai và lưới sợi. TRC bị bong tách khỏi bê tông nền.
BF1_2	144,56	6,17%	Phá hoại trên tiết diện nghiêng, không ghi nhận sự phá hoại của thép dọc, thép đai và lưới sợi. TRC bị bong tách khỏi bê tông nền.

### 3. Kết luận và kiến nghị

Từ những kết quả nghiên cứu có thể rút ra các kết luận và kiến nghị sau:

- Với những tính chất cơ học đã được xác định của TRC cho thấy tính phù hợp để ứng dụng vào công tác sửa chữa/tăng cường khả năng chịu lực cho kết cấu dầm, đồng thời không ảnh hưởng đến sức khỏe con người cũng như môi trường;

- Đối với dầm được xử lý bề mặt, khả năng chịu lực của dầm tăng lên xấp xỉ 17% dù chỉ với 1 lớp gia cường cho thấy hiệu quả gia cường TRC cho kết cấu dầm rất cao;

- Trước khi tiến hành gia cường TRC cho kết cấu cần đặc biệt quan tâm đến công tác xử lý bề



mặt (làm sạch, tạo nhám...) để đạt được hiệu quả gia cường cao;

- Cần có thêm các nghiên cứu với đối tượng đầm có kích thước nhịp đầm lớn hơn để quan sát rõ cơ chế phá hoại do uốn và kích hoạt được toàn bộ sự làm việc của hệ thống gia cường TRC;

- Cần tiến hành thêm các nghiên cứu thực nghiệm sử dụng các mô hình có độ tin cậy cao để xác định cường độ chịu kéo của bó sợi hoặc tấm lưới sợi trong BTHM vì trong quá trình thi công trát có thể xảy ra hiện tượng đứt trước các sợi cơ bản phía bên ngoài của mỗi bó sợi dẫn đến sự suy giảm cường độ chung;

- Kết quả nghiên cứu ở quy mô vật liệu có thể là tài liệu hữu ích cho những nghiên cứu mô phỏng số liên quan đến TRC.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải (ĐHCNGTVT) trong đề tài mã số ĐTTĐ2021-27- ĐTTĐUTT.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] ACI Committee 549 (2013). ACI 549.4R-13 (2013), Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures.
- [2] W. Brameshuber W (2006). Report 36: Textile Reinforced Concrete State-of-the-Art. Report of RILEM TC 201-TRC, RILEM Publications.
- [3] H.C Nguyễn, Đ.Q Ngô, V.H Vũ. (2017). 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 GTVT số 59.
- [4] M.C Lê, các cộng sự. (2018). 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 khoa học và công nghệ cấp Bộ mã số: CTB2014-04-03,.
- [5] N.K Lê, M.Q Cao, X.H Nguyễn, S.L Amir. (2018). Giải pháp lai gia cường bê tông cốt lưới sợi dệt nhằm nâng cao khả năng chịu lực của đầm bê tông cốt thép. Tạp chí KHCN XD số 3, 44-51.
- [6] ASTM. (2002). ASTM C192 (2002), Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- [7] DIN. (2007). DIN EN 1015-11:2007-05 (2007), Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel (Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar), in German Standard, Beuth Verlag GmbH.
- [8] ACI. (2011). ACI 363.2R-11 (2011), Guide to quality control and assurance of high-strength concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [9] ASTM. (2009). C09 Committee ASTM C617 (2009), Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International.
- [10] ACI. (2011). ACI 214R-11 (2011), Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [11] ACI. (2019). ACI 318-19 (2019), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [12] ACI. (2010). ACI 363.2R-10 (2010), Report on High-Strength Concrete. American Concrete Institute., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [13] A. Peled. (2004). A comparison of processing technologies for the manufacture of textile cement-base composites. The International

- RILEM Symposium on Concrete Science and Engineering: A Tribute to Arnon Bentur, pp. 187–202.
- [14] R. Ortlepp. (2011). Anchorage Length for Textile Reinforced Concrete. *International Journal of Environmental Protection* 1, 43-48.
- [15] R. Ortlepp. (2018). Efficient Adaptive Test Method for Textile Development Length in TRC. *Advances in Civil Engineering* 2018, 1–14.
- [16] M. Krüger, Reinhardt, Fichtlscherer. (2001). Bond behaviour of textile reinforcement in reinforced and prestressed concrete. *Otto-Graf-Journal* 2001, 33–50.
- [17] E. Lorenz, R. Ortlepp. (2011). Bond Behavior of Textile Reinforcements - Development of a Pull-Out Test and Modeling of the Respective Bond versus Slip Relation. *The Conference: High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC)*, pp 479-486.