

## Ứng xử cắt của dầm bê tông cốt thép gia cường TRC

Trần Cao Thanh Ngọc<sup>1</sup>, Lê Huỳnh Quang Hậu<sup>2</sup>, Ngô Hữu Cường<sup>2</sup>, Nguyễn Hoàng Phương<sup>1</sup>, Lê Hữu Huy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại Học Quốc Tế, Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup> Trường Đại Học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh

**TỪ KHOẢ**

Dầm bê tông cốt thép gia cường TRC  
Khả năng kháng cắt

**TÓM TẮT**

Bài báo xác định độ nghiêng của thanh chống nén của mô hình giàn góc thay đổi cho dầm bê tông cốt thép gia cường bê tông cốt sợi dệt (**textile reinforced concrete – TRC**) chịu uốn thông qua phương pháp bán phân tích được đề xuất. Một đơn vị giàn được sử dụng để phân tích dầm bê tông cốt thép gia cường TRC theo nguyên lý công ảo. Sáu dầm bê tông cốt thép có tỷ lệ  $a/d = 3.18$  và được gia cường TRC theo nhiều cách khác nhau. So sánh kết quả thu được từ mô hình giàn ảo đề xuất với kết quả thí nghiệm của sáu dầm để khảo sát độ tin cậy của mô hình giàn ảo. Kết quả cho thấy góc nghiêng của thanh chống nén trong mô hình giàn góc khá giống góc nứt trong thí nghiệm.

**KEYWORDS**

RC beams strengthened with TRC  
Shear strength

**ABSTRACT**

The paper determines the inclination of the compression strut of variable angle truss model for RC beams strengthened with TRC (textile reinforced concrete) under bending through a proposed semi-analytical approach. A truss unit is used to analyze a reinforced concrete beam strengthened by TRC by the principle of virtual work. Six RC beams, which have an  $a/d$  ratio of 3.18, are strengthened by TRC in shear with various schemes. Comparisons are made between the predicted and published experimental results of the six RC beams strengthened with TRC with respect to the inclined angle of the compression strut at this state to investigate the reliability of the proposed semi-analytical approach. The results show that the inclination of the compression strut in the truss models is rather similar to the crack angle in the experiment.

**1. Giới thiệu**

Hiện tại trên thế giới nghiên cứu ứng xử cắt của dầm RC gia cường TRC chưa được nhiều. Tuy nhiên, tương tự như dầm RC, dầm RC gia cường TRC cũng áp dụng mô hình giàn ảo như là cơ sở của hầu hết các quy trình thiết kế cắt cho dầm.

Khi xét đơn vị giàn ảo, tỷ lệ gia cường cắt và độ nghiêng của thanh chống nén  $\theta$  là hai đại lượng quan trọng ảnh hưởng khả năng chịu cắt của dầm RC gia cường TRC. Để đơn giản hóa tính toán, ta có thể giả định các thanh chống nén nghiêng  $45^\circ$  tương ứng với góc nứt cắt đầu tiên tương tự dầm RC. Giả định này có thể dẫn đến sự đánh giá thấp sự đóng góp của cốt thép cắt, đặc biệt là TRC vì TRC tham gia vào chịu cắt là chủ yếu. Phương pháp này sử dụng một góc của thanh chịu nén liên tục trên toàn bộ khoảng thời gian cắt của dầm. Tuy nhiên, tất cả các kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng các vết nứt hình thành ở các vùng khác nhau thì khác nhau. Do đó, một góc nghiêng thay đổi sẽ thực tế hơn. Trên cơ sở này, các mô hình giàn góc thay đổi nên được phát triển.

Bài báo đề xuất một mô hình giàn góc biến thiên khác biệt để phát triển lý thuyết toàn diện cho mô hình cắt không đàn hồi và ứng xử uốn. Các sơ đồ tích hợp số đã được giới thiệu để tính toán độ cứng và sau đó được triển khai trên mô hình giàn để xác định vị trí của các nút giằng và kích thước của các thanh chống chịu nén. Phân tích ứng

xử cắt và uốn được thực hiện trên một vài mô hình giàn góc thay đổi để xác định độ nghiêng của thanh chống.

Bài báo được chia làm hai phần. Trong phần đầu, mô hình giàn ảo đề xuất được đề cập để tính toán góc cắt. Kết quả tính toán từ mô hình giàn ảo được trình bày ở phần kế tiếp của bài báo, kết quả góc cắt sẽ được so sánh với các kết quả của các bài báo khoa học được đề cập.

**2. Mô hình giàn ảo có góc thay đổi cho dầm bê tông cốt thép gia cường TRC**

**2.1. Phân tích các thành phần của mô hình giàn ảo**

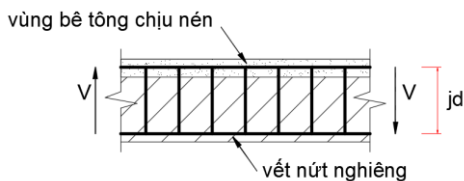
Phát triển từ mô hình giàn ảo có góc thay đổi cho dầm bê tông cốt thép của Bing Li và Cao Thanh Ngọc Tran [1]. Tương tự như dầm bê tông cốt thép, cơ chế truyền tải cắt cho một vùng điển hình dọc theo dầm bê tông cốt thép gia cường TRC (Hình 1) là những đường chéo có góc nghiêng thay đổi theo vết nứt của dầm. Cơ chế truyền tải này tương tự như giàn được mô tả dọc theo nhịp cắt của dầm bị nứt (Hình 2) nhưng có thêm thành phần TRC đóng góp vào khả năng chịu cắt. Trong mỗi đơn vị giàn, thanh chống chéo nghiêng truyền lực cắt sang nút giằng chịu kéo. Các thanh thép biên trên và dưới chịu uốn là chủ yếu. Độ bền và độ cứng của mỗi đơn vị giàn được xác định bằng cách phân tích cấu trúc nhịp cắt dầm gồm có năm thành phần: thanh chống bê tông, nút giằng, thanh thép trên, thanh thép dưới và TRC.

\*Liên hệ tác giả: tctngoc@hmcui.edu.vn

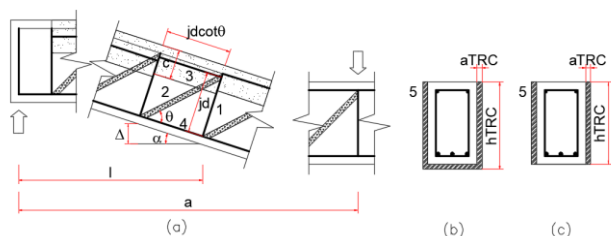
Nhận ngày 15/11/2021, sửa xong ngày 20/02/2022, chấp nhận đăng 05/06/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2022.309>

Độ cứng của đơn vị giàn là tổng của tất cả các thành phần đơn vị. Sử dụng độ cứng này, công ngoại được thực hiện bởi mỗi đơn vị giàn có thể được xác định. Điều này cho phép kiểm tra góc nghiêng của thanh chống bằng cách giảm thiểu công ngoại.



Hình 1. Cơ chế truyền cắt cho một vùng điển hình dọc theo dầm RC.



Hình 2. Đơn vị giàn điển hình được phân tích theo nguyên lý công ảo. (a) Bốn thành phần đơn vị giàn điển hình (b) Thành phần 5: lớp gia cường TRC hình chữ U (c) Thành phần 5: lớp gia cường TRC hai bên.

Nguyên lý của công ảo được sử dụng trong phân tích từng đơn vị giàn trong đó độ cứng dọc trục của mỗi thành phần đơn vị giàn là phần quan trọng nhất và phải được nghiên cứu cẩn thận. Xét một đơn vị giàn chịu lực cắt V như trong Hình 2, giả định rằng cốt thép cắt được phân bố đồng đều theo chiều dài của dầm. Độ cứng dọc trục của nút giằng (thành phần 1) là:

$$(EA)_t = \cot\theta \rho_w n E_c A_{sa} \quad (1)$$

Trong đó  $(EA)_t$  là độ cứng dọc trục của nút giằng,  $\theta$  là độ nghiêng của thanh chống nén,  $\rho_w$  là tỷ lệ cốt thép cắt,  $n$  là tỷ lệ mô đun của  $E_s / E_c$ ,  $E_s$  là mô đun đàn hồi cho thép,  $E_c$  là mô đun đàn hồi cho bê tông,  $A_{sa}$  là khu vực cắt hiệu quả để cắt dầm RC.

Đối với thanh chống nghiêng, diện tích mặt cắt ngang được xác định bằng hình học. Thông thường:

$$A_{strut} = b_w j d \cos\theta \quad (2)$$

Trong đó  $A_{strut}$  là diện tích mặt cắt của thanh chống nghiêng,  $b_w$  là chiều rộng tiết diện dầm,  $jd$  là cánh tay đòn uốn. Thì độ cứng dọc trục của thanh chống (thành phần 2) là:

$$(EA)_s = b_w j d \cos\theta E_c = \cos\theta E_c A_{sa} \quad (3)$$

Trong đó  $(EA)_s$  là độ cứng dọc trục của thanh chống.

Đối với các thành phần chịu uốn, thành phần chịu kéo phía dưới được giả định tâm đặt tại tâm của thanh dọc dưới, trong khi thành phần chịu nén bên trên được giả định tâm nằm ở tâm của khối ứng suất cụ thể. Có sự khác biệt về độ cứng dọc trục giữa thành phần chịu kéo phía dưới và thành phần chịu nén bên trên. Đối với thành phần chịu kéo, bê tông trong khu vực thường bị nứt và không đóng góp đáng kể vào độ cứng dọc trục so với cốt thép. Đối với thành phần

chịu nén, ngoài độ cứng bê tông, có sự đóng góp độ cứng từ cốt thép nén nằm ở thành phần nén bên trên. Thông thường, trọng tâm của cốt thép nén khác với khối ứng suất bê tông. Để đơn giản, trọng tâm cốt thép nén được giả định là ở tâm của khối ứng suất bê tông. Độ cứng dọc trục của thành phần chịu kéo (thành phần 4) là:

$$(EA)_T = E_s A_s = \rho_s n E_c A_g \quad (4)$$

Trong đó  $(EA)_T$  là độ cứng của thành phần chịu kéo dưới,  $A_s$  là diện tích của cốt thép dọc phía dưới,  $\rho_s$  là tỷ lệ cốt thép dọc phía dưới,  $A_g / (b_w h)$ ,  $A_g$  là tổng diện tích của dầm bê tông cốt thép.

Đối với thành phần chịu nén bên trên, độ cứng dọc trục của thành phần chịu nén (thành phần 3) được lấy là:

$$(EA)_c = (c b_w - A'_s) E_c + A'_s E_c = c b_w E_c + (n - 1) A'_s E_c = \left(\frac{c}{h} + \rho'_s (n - 1)\right) E_c A_g \quad (5)$$

Trong đó  $(EA)_c$  là độ cứng dọc trục của thành phần chịu nén,  $c$  là chiều cao của khối ứng suất bê tông tại ứng suất mô men cuối cùng của tiết diện dầm,  $h$  là chiều cao tiết diện của dầm,  $A'_s$  là diện tích của cốt thép dọc trên cùng,  $\rho'_s$  là tỷ lệ cốt thép dọc trên cùng,  $\rho'_s = A'_s / (b_w h)$ .

Độ cứng của lớp gia cường TRC (thành phần 5):

$$(EA)_{TRC} = A_{TRC} E_{TRC} \cos\theta \frac{a_{TRC} h_{TRC} w_{TRC}}{s_{TRC}} \quad (6)$$

Trong đó  $(EA)_{TRC}$  là độ cứng của lớp gia cường TRC,  $A_{TRC}$  là diện tích mặt cắt ngang lớp gia cường,  $E_{TRC}$  là module đàn hồi của TRC,  $a_{TRC}$  là độ dày của lớp gia cường TRC,  $h_{TRC}$  là chiều cao lớp gia cường TRC,  $w_{TRC}$  là độ rộng cái tấm TRC,  $s_{TRC}$  là khoảng cách các tấm gia cường TRC.

Đặt  $f_{TRC} = \frac{a_{TRC} h_{TRC} w_{TRC}}{s_{TRC}}$  nếu gia cường TRC loại liên tục thì ta sẽ không xét  $f_{TRC}$  trong các công thức.

Các lực thành phần của giàn được tìm thấy bằng cách áp dụng các điều kiện cân bằng tĩnh. Như được trình bày trong Bảng 1, nguyên tắc của công ảo được áp dụng để xác định biến dạng của đơn vị giàn.

Bảng 1. Chi tiết các thành phần của giàn ảo dầm RC gia cường TRC.

Thành phần	Thành phần lực F	Đơn vị tải f	Chiều dài L	Độ cứng dọc trục (EA)
1	V	1	jd	$\cot\theta \rho_w n E_c A_{sa}$
2	$-\frac{V}{\sin\theta}$	$-\frac{1}{\sin\theta}$	$\frac{jd}{\sin\theta}$	$\cot\theta E_c A_{sa}$
3	$\left(\frac{1}{jd} - \cot\theta\right)V$	$\frac{1}{jd} - \cot\theta$	jd cot θ	$\left(\frac{c}{h} + \rho'_s (n - 1)\right) E_c A_g$
4	$\frac{1}{jd}V$	$\frac{1}{jd}$	jd cot θ	$\rho_s n E_c A_g$
5	V	1	$H_{TRC}$	$A_{TRC} E_{TRC} \cos\theta f_{TRC}$

## 2.2. Độ nghiêng của thanh chống trong mô hình giàn góc thay đổi

Biến dạng của đơn vị giàn là tổng của các biến dạng thành phần, do đó:

$$\Delta = \sum_1^5 \frac{F f l}{EA} = \frac{1 + \frac{\rho_w n}{\sin^2 \theta}}{\rho_w n \cot \theta E_c A_{sa}} j d V + \left( \frac{\left(\frac{1}{jd} - \cot \theta\right)^2 \cot \theta}{\left(\frac{c}{h} + \rho'_s (n - 1)\right) E_c A_g} j d V + \frac{\left(\frac{1}{jd}\right)^2 \cot \theta}{\rho_s n E_c A_g} j d V \right) + \frac{H_{TRC}}{\cot \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} V \quad (7)$$

$H_{TRC} = h + a_{TRC}$  nếu tấm gia cường hình chữ U và  $H_{TRC} = h$  nếu gia cường hai bên.

Trong đó  $l$  là chiều dài nhịp cắt điều chỉnh,  $V$  là lực cắt.

Phương trình (7) có phần đầu tiên là sự đóng góp biến dạng từ các thành phần cốt (thanh chống và nút giằng), phần thứ hai là các thành phần uốn (cốt thép dọc chịu uốn và kéo) và phần thứ ba là các thành phần cắt của vật liệu TRC. Góc dịch chuyển là xác định bằng cách chia biến dạng cho chiều dài của đơn vị giằng, do đó:

$$\alpha = \frac{\Delta}{jd \cot \theta} = \frac{1 + \frac{\rho_w n}{\sin^2 \theta}}{\rho_w n \cot^2 \theta E_c A_{sa}} V + \left( \frac{(\frac{1}{jd} \cot \theta)^2}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g} + \frac{(\frac{1}{jd})^2}{\rho_s n E_c A_g})} V + \frac{H_{TRC}}{jd \cot^2 \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} V \right) + \frac{H_{TRC}}{jd \cot^2 \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} V \quad (8)$$

Do đó, độ cứng của một đơn vị giằng điển hình về góc dịch chuyển là:

$$K = \frac{V}{\alpha} = \frac{1}{\frac{1 + \frac{\rho_w n}{\sin^2 \theta}}{\rho_w n \cot^2 \theta E_c A_{sa}} + \left( \frac{(\frac{1}{jd} \cot \theta)^2}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g} + \frac{(\frac{1}{jd})^2}{\rho_s n E_c A_g})} + \frac{H_{TRC}}{jd \cot^2 \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} \right)} \quad (9)$$

Như đã lưu ý trước đây, độ nghiêng của thanh chống nén (8) rất quan trọng vì nó ảnh hưởng đến khả năng cắt cũng như độ cứng của dầm RC gia cường TRC. Một lý thuyết xác định góc  $\theta$  là cần thiết. Từ các phân tích trên, công ngoại cho một lực cắt đơn vị trên đơn vị giằng điển hình là tổng biến dạng thu được. Như vậy:

$$EWD = \Delta x1 = \frac{1 + \frac{\rho_w n}{\sin^2 \theta}}{\rho_w n \cot \theta E_c A_{sa}} jd + \left( \frac{(\frac{1}{jd} \cot \theta)^2 \cot \theta}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g} + \frac{(\frac{1}{jd})^2 \cot \theta}{\rho_s n E_c A_g})} jd + \frac{H_{TRC}}{\cot \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} \right) jd + \frac{H_{TRC}}{\cot \theta E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} \quad (10)$$

Với mỗi dầm khi chịu cắt sẽ có nhiều mô hình giằng ảo khác nhau dựa trên điều kiện cân bằng nội lực nhưng mô hình giằng ảo tối ưu nhất sẽ là mô hình giằng ảo có công ngoại nhỏ nhất. Cụ thể thanh xiên giằng chịu nén được giả định là phát triển theo hướng có công ngoại nhỏ nhất. Do đó, góc  $\theta$  làm phương trình (10) đạt cực trị nhỏ nhất là độ nghiêng của thanh chống. Bằng cách lấy đạo hàm phương trình (10) theo góc  $\theta$  để tìm công ngoại nhỏ nhất, độ nghiêng của thanh chống được tìm thấy:

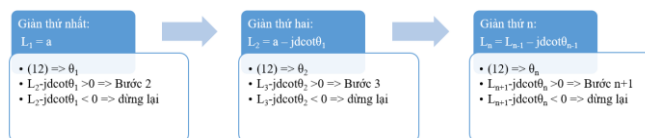
$$\frac{d(EWD)}{d\theta} = 0 \quad (11)$$

Triển khai phương trình (11) để xác định góc  $\theta$  cần tìm:

$$\left( \frac{1}{\rho_w n E_c A_{sa}} + \frac{1}{E_c A_{sa}} + \frac{H_{TRC}}{E_{TRC} A_{TRC} f_{TRC}} \right) \tan^4 \theta - \left( \frac{2}{E_c A_{sa}} + \frac{(\frac{1}{jd})^2}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g)} \right) \tan^2 \theta + \frac{4(\frac{1}{jd})}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g)} \tan \theta - \left( \frac{3}{(\frac{c}{h} + \rho_s (n-1) E_c A_g)} + \frac{3}{E_c A_{sa}} \right) = 0 \quad (12)$$

Phương trình (12) là một phương trình bậc bốn của  $\theta$ . Để giải phương trình này có thể sử dụng phương pháp “Thử và Sai”.

Các nghiệm của  $\theta$  khác nhau dọc theo nhịp cắt của dầm là biến  $l$ , đại diện cho chiều dài nhịp cắt có sẵn, là khác nhau cho mỗi đơn vị giằng. Đối với một mức cắt cụ thể, quy trình chia nhịp cắt bắt đầu từ điểm tải và di chuyển về phía gối tựa trong một khoảng cắt. Đơn vị giằng đầu tiên có thể xác định bằng cách thay thế tổng chiều dài nhịp cắt  $a$  thành biến  $l$ . Với giá trị này, có thể thực hiện kiểm tra  $jd \cot \theta$  đại diện cho chiều dài của giằng đơn vị này. Nếu kết quả cho thấy  $jd \cot \theta$  nhỏ hơn  $a$ , quy trình giải pháp sẽ tiếp tục cho đơn vị giằng tiếp theo bằng cách cập nhật biến  $l$  với giá trị mới ( $a - jd \cot \theta$ ). Sau đó, cho đơn vị giằng tiếp theo có thể thu được với biểu thức (12) một lần nữa. Quá trình sẽ bị dừng lại khi kiểm tra cho thấy biến  $l$  được sử dụng để tính cho một đơn vị giằng mới nhỏ hơn chiều dài ( $jd \cot \theta$ ) của đơn vị giằng mới được hình thành này (nghĩa là chiều dài nhịp cắt có sẵn không đủ cho một giằng mới đơn vị). Các bước được thể hiện thông qua lưu đồ tính toán (Hình 3).



Hình 3. Lưu đồ tính toán góc cắt cho dầm.

Tóm lại, phương pháp lý thuyết này có hai đặc điểm riêng biệt để đánh giá. Thứ nhất, độ nghiêng của các thanh chống được tính toán từ phương pháp này là khác nhau dọc theo khoảng cách từ điểm tải đến điểm gối tựa. Thứ hai, độ nghiêng của các thanh chống có thể thay đổi khi tăng lực cắt. Do đó, có thể thấy sự thay đổi hướng trong sự phát triển của thanh xiên giằng.

### 3. Kiểm chứng mô hình giằng ảo cho dầm RC gia cường TRC để tính góc chuyển vị

Thông số tính toán của dầm được lấy theo thí nghiệm được thực hiện bởi R. Contamine, A. Si Larbi, P. Hamelin [2]. Sáu dầm được xem xét để so sánh kết quả góc cắt.

#### 3.1. Thông số tính toán

##### 3.1.1. Chi tiết dầm RC

Dầm RC dài 2,0m với tiết diện chữ nhật 150 mm x 250 mm. Dầm có cốt đai không đối xứng để xác định phá hoại ở một bên của dầm và do đó làm giảm trang thiết bị.

##### 3.1.2. Bê tông

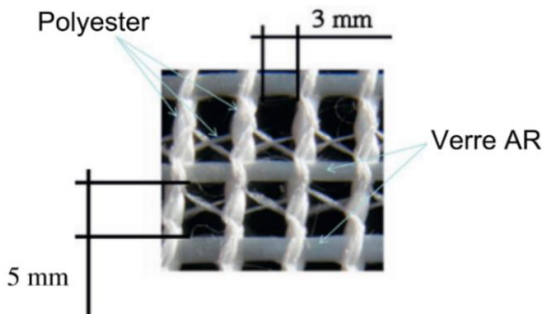
Cường độ bê tông được chỉ định sau 28 ngày là 30 MPa (dầm R30) và 40 MPa (dầm R40). Bê tông R30 có khả năng chịu nén là 30,8 ± 2,5 Mpa sau 28 ngày. Bê tông R40 có khả năng chịu nén là 42,4 ± 3 MPa sau 28 ngày.

##### 3.1.3. Thép

Tất cả các cốt thép đều có độ bám dính cao S500. Ứng suất trung bình của là 570 ± 13 MPa, với mô đun đàn hồi là 210.000 ± 5750 MPa và biến dạng chảy dẻo là 2,7 ± 0,04 %.

##### 3.1.4. Bê tông cốt dẹt (TRC)

Bê tông cốt dẹt (TRC) là một loại vật liệu tổng hợp vữa và cốt dẹt được phát triển cho ứng dụng gia cường cấu kiện bê tông cốt thép. Vữa Portland bao gồm một chất kết dính có kích thước hạt nhỏ hơn 1 mm được ghép với cốt thép dẹt thủy tinh AR (vải dẹt kim sợi dọc, với sợi dọc được làm bằng polyester một cách có hệ thống để tạo sự ổn định hình học cho vải dẹt) (Hình 4)

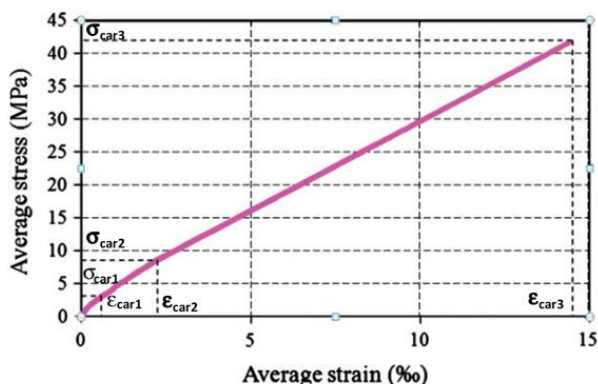


Hình 4. Cấu trúc bê tông cốt dệt (TRC) [2].

Theo các tiêu chuẩn hiện có để gia cường dầm bê tông cốt thép, ứng xử giới hạn được ưu tiên [4-5]. Với mục đích này, một chất lỏng ngậm tằm LATEX đã được sử dụng cho cốt thép dệt ngay trước khi thi công [6-7].

Ba độ dày trung bình của bê tông cốt dệt đã được sử dụng (1.7 mm, 5 mm, 10 mm). Ba độ dày này được liên kết với cùng tỷ lệ cốt thép (4,36 %), chỉ liên quan đến sợi thủy tinh và không bao gồm sợi polyester, cung cấp sự ổn định hình học chủ yếu.

Lớp bê tông cốt dệt (TRC) độ dày 10 mm được thí nghiệm kéo trực tiếp để khảo sát các thuộc tính, kết quả trình bày trong Hình 5 và Bảng 2.



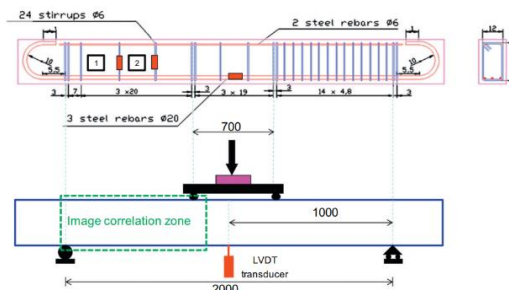
Hình 5. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông cốt dệt (TRC) [3].

Bảng 2. Các thuộc tính của bê tông cốt dệt (TRC) [3].

$\sigma_{car1}$	2,2 Mpa
$E_1$	6470 Mpa
$\epsilon_{car1}$	0,034 %
$\sigma_{car2}$	8,2 Mpa
$\epsilon_{car2}$	0,21 %
$\sigma_{car3}$	41 Mpa
$E_3$	2720 Mpa
$\epsilon_{car3}$	1,4 %
Khoảng cách nứt trung bình $\chi_f$	4 mm
Độ rộng khe nứt trung bình $\Omega$	0,006 mm

### 3.2. Mô hình thí nghiệm

Thí nghiệm uốn bốn điểm (Hình 6).

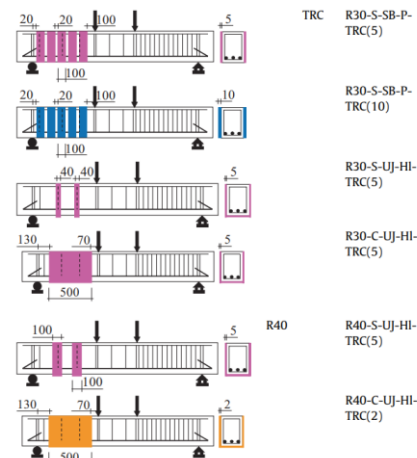


Hình 6. Mô hình thí nghiệm chung [2].

Các dầm gia cường trong thí nghiệm được ký hiệu (Bảng 3), cụ thể các mẫu được trình bày trong Hình 7.

Bảng 3. Cách ký hiệu của các dầm thí nghiệm [2]

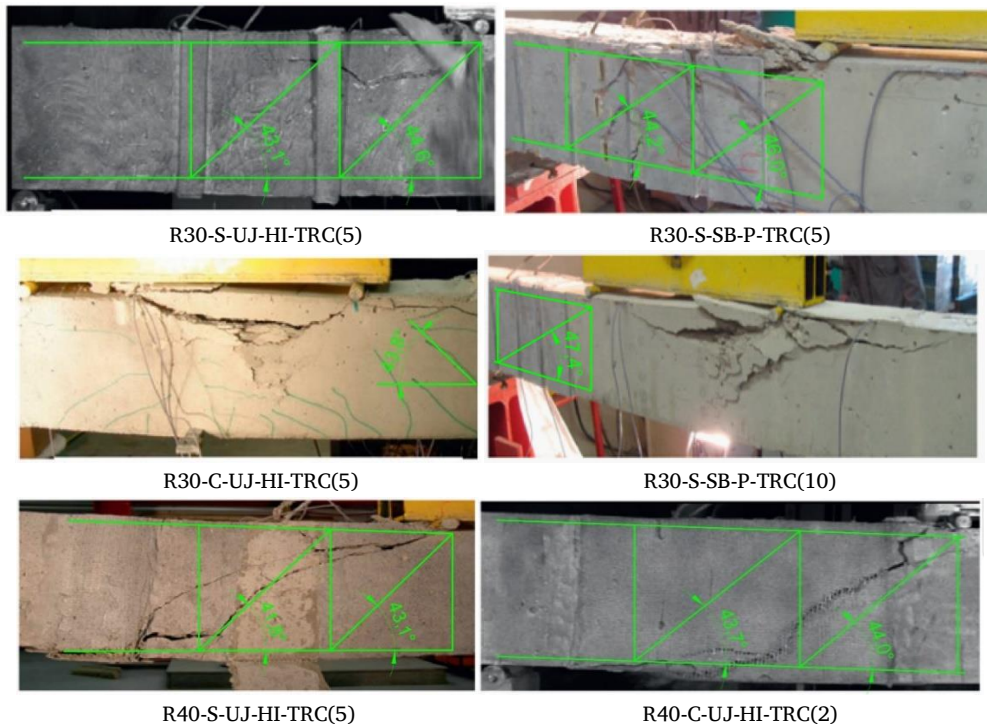
P1		P2		P3		P4		P5
Cường độ chịu nén bê tông	Cách bố trí tấm gia cường	Dải	Liên tục	Hình dạng tấm gia cường	Quy trình thực hiện	Tấm đúc sẵn	Lắp bằng tay	Composite được sử dụng và độ dày
30 MPa	40 MPa	S	C	2 bên	Chữ U	P	HI	
R30	R40			SB	UJ			



Hình 7. Cách bố trí và kích thước của vật liệu gia cường để thí nghiệm [2].

### 3.3. So sánh kết quả

Dựa vào góc nứt của thí nghiệm ta dựng lên được góc nghiêng của mô hình giàn ảo (Hình 8), sau đó ta so sánh góc nghiêng tính được từ mô hình giàn ảo để xuất so với góc nghiêng của thí nghiệm (Bảng 4).



Hình 8. Góc nghiêng của mô hình giàn ảo dựa trên góc nứt.

Bảng 4. Kết quả so sánh góc cắt theo thực tế và mô hình giàn ảo đề xuất.

Mẫu dầm thí nghiệm	Đơn vị giàn ảo thứ	Góc cắt tính toán bằng mô hình giàn ảo đề xuất (°)	Góc cắt theo quan sát mẫu thí nghiệm (°)	Sai số (%)
R30-S-UJ-HI-TRC(5)	1	43,9	44,6	1,595
	2	42,9	43,1	0,466
R30-S-SB-P-TRC(5)	1	43,8	46,0	5,023
	2	43,1	44,2	2,552
R30-C-UJ-HI-TRC(5)	1	44,0	43,8	0,457
R30-S-SB-P-TRC(10)	1	44,0	47,4	7,727
R40-S-UJ-HI-TRC(5)	1	44,1	43,1	2,320
	2	42,9	41,8	2,632
R40-C-UJ-HI-TRC(2)	1	43,9	44,0	0,002
	2	43,0	43,7	1,628

#### 4. Kết luận

Kết quả tính toán từ mô hình giàn ảo đề xuất cho dầm bê tông cốt thép gia cường bê tông cốt dẹt TRC cho kết quả phù hợp với thực nghiệm, vì vậy mô hình giàn ảo đề xuất có thể hỗ trợ hiệu quả cho nghiên cứu và đánh giá ứng xử cắt của dầm bê tông gia cường bê tông cốt dẹt TRC, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí.

Góc nghiêng tính toán từ mô hình giàn ảo đề xuất khá sát với góc nghiêng 45° được đề xuất trong tiêu chuẩn [8], để đơn giản tính toán người ta thường sử dụng góc 45°, tuy nhiên mô hình giàn ảo với góc nghiêng thay đổi giúp ta tính toán chính xác hơn.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.01-2019.304.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. B. Li, C. T. N. Tran, "Determination of inclination of strut and shear strength using variable angle truss model for shear-critical RC beams," *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 41, no. 4, pp. 459-477, 2012.

- [2]. R. Contamine, A. Si Larbi, and P. Hamelin, "Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams," *Engineering Structures*, vol. 46, pp. 447-458, 2013.
- [3]. R. Contamine, A. S. Larbi, P. J. M. S. Hamelin, and E. A., "Contribution to direct tensile testing of textile reinforced concrete (TRC) composites," vol. 528, no. 29-30, pp. 8589-8598, 2011.
- [4]. T. Triantafillou *et al.*, "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures," vol. 14, ed: International Federation for Structural Concrete (fib), 2001.
- [5]. C. E. Bakis *et al.*, "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures," vol. 440, no. 2002, 2002.
- [6]. Y. J. C. Ohama and c. composites, "Polymer-based admixtures," vol. 20, no. 2-3, pp. 189-212, 1998.
- [7]. P. Nicot, "Interactions mortier-support: éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier," Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2008.
- [8]. A. Nanni, "Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1 R-03)," *Structures Congress 2005: Metropolis and Beyond*, 2005, pp. 1-6.