

## NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP GIA CƯỜNG DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG TẤM VẬT LIỆU COMPOSITE SỢI CARBON (PHẦN 1)

### AN INVESTIGATION INTO REINFORCED CONCRETE BEAM WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES LAYER (PART 1)

**Nguyễn Tấn Dũng**

*Công ty Cổ phần Đầu tư  
Xây dựng & Khai thác  
Công trình 537*

**Nguyễn Văn Mọi**

*Trường Đại học Xây dựng  
Hà Nội*

**Hoàng Phương Hoa**

*Trường Đại học Bách Khoa,  
Đại học Đà Nẵng*

#### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu một giải pháp gia cường sức kháng cắt của các dầm cầu khi sử dụng các tấm vật liệu composite sợi carbon (CFRP). Để tăng hiệu quả của việc gia cường sức kháng cắt của dầm bằng cách dán các tấm vật liệu composite (FRP) chúng ta phải xác định được hướng phá hủy (vết nứt) của kết cấu dầm. Thông thường, vết nứt do nguyên nhân lực cắt thường xuất hiện gần gối và có hướng nghiêng  $45^{\circ}$  so với phương dọc của dầm. Từ đó các tấm gia cường FRP được sử dụng có 2 dạng chính đó là: hướng  $45^{\circ}$  (tấm gia cường bố trí thẳng đứng) và  $90^{\circ}$  (tấm gia cường xiên thường  $45^{\circ}$ ) so với hướng vết nứt của dầm. Mô hình tính toán lý thuyết sẽ được áp dụng để tính toán tăng cường sức kháng cắt. Kết quả tính toán trên công trình thực tế đã chứng minh được rằng kết cấu dầm tăng được khả năng chịu lực đến 40% so với kết cấu trước khi dùng giải pháp dán tấm gia cường FRP.

#### ABSTRACT

This paper provides details of an investigation into the strengthening efficiency of carbon fiber reinforced polymer composites layer (CFRP) in rehabilitating the nominal shear strength of a concrete bridge beams. The shear strength provided by the fiber reinforced polymer (FRP) wrap can be evaluated from the forces resulting from the tensile stress in the FRP wrap, which depends on the fiber and crack orientation ( $\alpha$ ) angle with reference to the longitudinal axis of a concrete beam. For analysis simplification, the inclination of the crack is assumed to be  $45^{\circ}$ . The fibers oriented at  $45^{\circ}$  (vertical strip) to the crack or at  $90^{\circ}$  (inclined strip) will be introduced in this paper. Available analytical models and design guidelines are used to predict the response and capacity of such field representative bridge beams. The calculation results validate the efficiency of the FRP strengthening and demonstrate the feasibility of rehabilitation for the model of intended response.

#### 1. Đặt vấn đề

Sử dụng công nghệ dán tấm chất dẻo sợi cacbon để sửa chữa và tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu đã được nghiên cứu và ứng dụng ở nhiều nước tiên tiến như Mỹ, Canada, Châu Âu, Nhật [2, 3, 4, 5, 6 và 7]. Phương pháp này tận dụng được những ưu điểm của vật liệu CFRP (tấm vật liệu sợi carbon viết tắt là CFRP, tấm vật liệu sợi thủy tinh viết tắt là GFRP...) như: cường độ chịu kéo cao, mô đun đàn hồi cao, trọng lượng nhẹ, có tính chống ăn mòn cao. Vật liệu CFRP có sức đề kháng rất tốt đối với các chất xâm thực và ô nhiễm có trong các kết cấu. Bên cạnh ưu điểm về vật liệu, phương pháp sửa chữa, gia cố

công trình bằng cách sử dụng vật liệu CFRP còn có tiện lợi trong thi công: thi công nhanh chóng đơn giản, không cần nhiều thiết bị máy móc và ít tổn nhân công, giữ nguyên hình dạng kết cấu cũ không cần phải đập phá kết cấu, thi công không cần sử dụng coffa, công trình sau khi được sửa chữa và tăng cường có tính mỹ thuật cao, không cần bảo dưỡng chống rỉ trong quá trình khai thác. Kết hợp ưu điểm về vật liệu và những tiện lợi trong thi công nên phương pháp dán tấm sợi carbon đang trở thành những giải pháp tốt để sửa chữa và tăng cường kết cấu bê tông cốt thép. Trong hình 1 giới thiệu một số dạng gia cường nhịp cầu khi sử dụng công nghệ dán tấm vật liệu composite. Tuy nhiên, đây là phương pháp sửa chữa, tăng cường kết cấu hiện đại nhưng còn khá mới mẻ ở Việt Nam.



**Hình 1.** Gia cường dầm cầu Bê tông cốt thép  
a) gia cường sức kháng cắt và b) gia cường sức kháng uốn

Đối với Việt Nam tại khu vực Miền Trung chúng ta đã tiến hành thi công gia cường cầu Ô Sông tỉnh Quảng Ngãi, kết quả công trình sau khi gia cường đã tăng cường khả năng chịu lực từ 20-40% [1 và 8]. Hiện nay, chúng ta cũng đang áp dụng biện pháp gia cường bằng các tấm vật liệu composite sợi carbon vào cầu Lầm tỉnh Khánh Hoà và sử dụng loại vật liệu composite để thi công công trình cảng Cái Mép nhằm chống xâm thực của môi trường nhất là khi công trình nằm ở khu vực có nước mặn... Trong khuôn khổ phần 1 của loạt bài báo về việc sử dụng tấm vật liệu composite gia cường các công trình xây dựng, chúng tôi muốn giới thiệu một phương pháp tính toán gia cường sức kháng cắt của loại vật liệu này đối với các công trình xây dựng.

## 2. Tính toán gia cường sức kháng cắt cho công trình bằng FRP

### 2.1 Mô hình tính toán sức kháng cắt

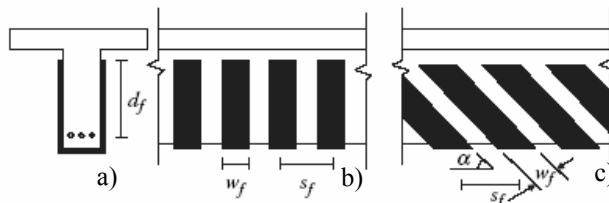
Phương trình tổng quát sức kháng cắt của một kết cấu công trình sau khi sử dụng tấm vật liệu FRP phải thỏa mãn điều kiện:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (1)$$

trong đó:  $\phi$  là hệ số giảm cường độ của vật liệu hay còn gọi là hệ số sức kháng cắt: theo ACI 440.2R-02 thì  $\phi = 0.85$  và theo ACI 318-02 có thể lấy  $\phi = 0.75$ .

$V_n$  là sức kháng cắt của kết cấu có kể đến sự gia cường của tấm FRP và  $V_u$  là giới hạn sức kháng cắt của kết cấu.

Trong thực tế cấu tạo, người ta thường gia cường sức kháng cắt của dầm theo 2 dạng chính (xem Hình 2).



**Hình 2.** Các dạng gia cường sức kháng cắt của dầm tiết diện chữ T

a) tiết diện ngang dầm, b) gia cường tấm FRP đứng và c) gia cường tấm FRP xiên

Khi đó sức kháng cắt tổng cộng do: bê tông, cốt thép và do tấm FRP sẽ là:

$$\phi.V_n = (V_c + V_s + \psi.V_f) \quad (2)$$

trong đó :  $V_c$ ,  $V_s$  và  $V_f$  tuần tự là: sức kháng cắt danh định của bê tông, sức kháng cắt của cốt thép đai và sức kháng cắt của các tấm FRP gia cường và  $\psi$  là hệ số giảm cường độ của vật liệu của tấm FRP. Theo ACI 440.2R-02 thì  $\psi = 0.95$  nếu gia cường cả 4 mặt quanh tiết diện ngang của dầm và  $\psi = 0.85$  nếu gia cường 3 mặt

Theo ACI 318-02 chúng ta có sức kháng cắt danh định của bê tông được tính bằng công thức:

$$V_c = 2.\lambda.b_w.d\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

ở đây:  $\lambda = 1$  đối với bê tông có tỷ trọng thông thường,  $b_w$  là bề rộng bụng dầm có hiệu lấy bằng chiều rộng nhỏ nhất trong phạm vi chiều cao  $d$ ,  $d$  là chiều cao có hiệu được lấy bằng cự ly được đo thẳng góc với trục trung hoà giữa hợp lực kéo và lực nén do uốn và  $f'_c$  là cường độ quy định của bê tông ở tuổi 28 ngày.

Sức kháng cắt của cốt thép đai được biểu diễn dưới dạng:

$$V_s = \frac{A_v f_y (\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1) d}{s} \quad (4)$$

trong đó:  $A_v$  là diện tích cốt thép chịu cắt trong cự ly  $s$ ,  $f_y$  là giới hạn chảy quy định của cốt thép,  $\alpha_1$  là góc nghiêng của cốt thép lấy đối với trục dọc và  $s$  là cự ly của cốt thép đai.

Theo [3 và 4] sức kháng cắt danh định của các tấm FRP được xác định bằng biểu thức:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} \quad (5)$$

với  $s_f$  và  $\alpha$  đã được giới thiệu trong Hình vẽ 2,  $d_f$  là chiều cao có hiệu của tấm gia cường,  $A_{fv}$  là diện tích cắt ngang của tấm FRP và  $f_{fe}$  là cường độ của vật liệu tấm FRP. Trong công thức (5) các tham số  $A_{fv}$  và  $f_{fe}$  được tính như sau:

$$A_{fv} = n(2 \cdot t_f \cdot w_f) \quad (6)$$

trong đó:  $n$  là số tấm FRP gia cường (thông thường khi gia cường lực cắt người ta chỉ gia cường một đoạn gần gối),  $t_f$  là chiều dày của một tấm gia cường và  $w_f$  là chiều rộng của một tấm gia cường.

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_f \quad (7)$$

với  $E_f$  là mô đun đàn hồi của tấm FRP và  $\varepsilon_{fe}$  là biến dạng có hiệu của tấm FRP.

Từ công thức (5) theo ACI 440.2R-02 ta có điều kiện để kiểm tra khoảng cách giữa các dải FRP được tính theo công thức:

$$s_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha)}{V_f} < s_{f \max} = w_f + \frac{d_f}{4} \quad (8)$$

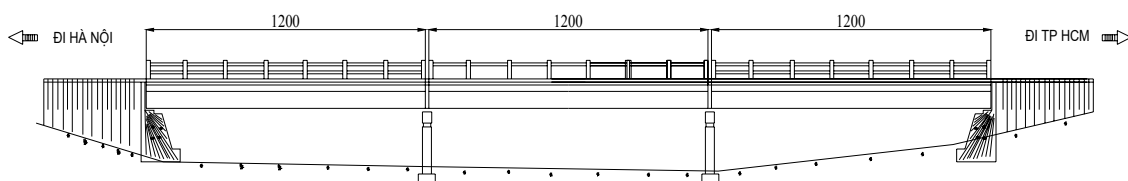
Theo tiêu chuẩn ACI 318-02 kiểm tra điều kiện giới hạn của lực cắt bằng biểu thức:

$$V_s + \psi \cdot V_f = \frac{V_u}{\phi} - V_c \leq 8 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (9)$$

## 2.2 Kết quả áp dụng

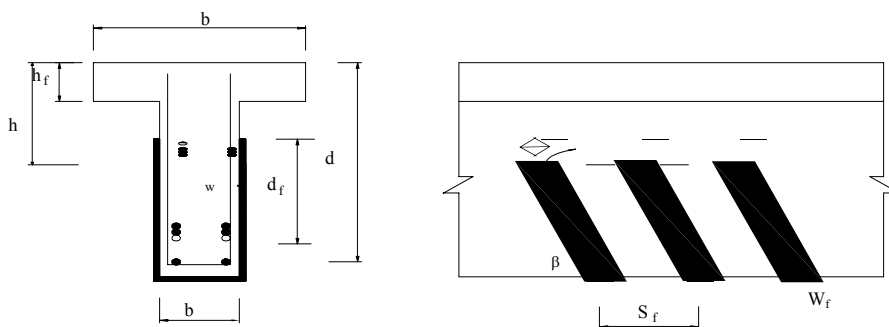
Dựa trên những phân tích lý thuyết như đã trình bày ở trên, tiến hành tính toán gia cường cầu Ô Sông thuộc tỉnh Quảng Ngãi.

Cầu Ô Sông nằm trên Quốc lộ số 1 tại Km1038 + 813, cầu được xây dựng trước năm 1975. Sơ đồ cầu có thể xem trong Hình vẽ 3.



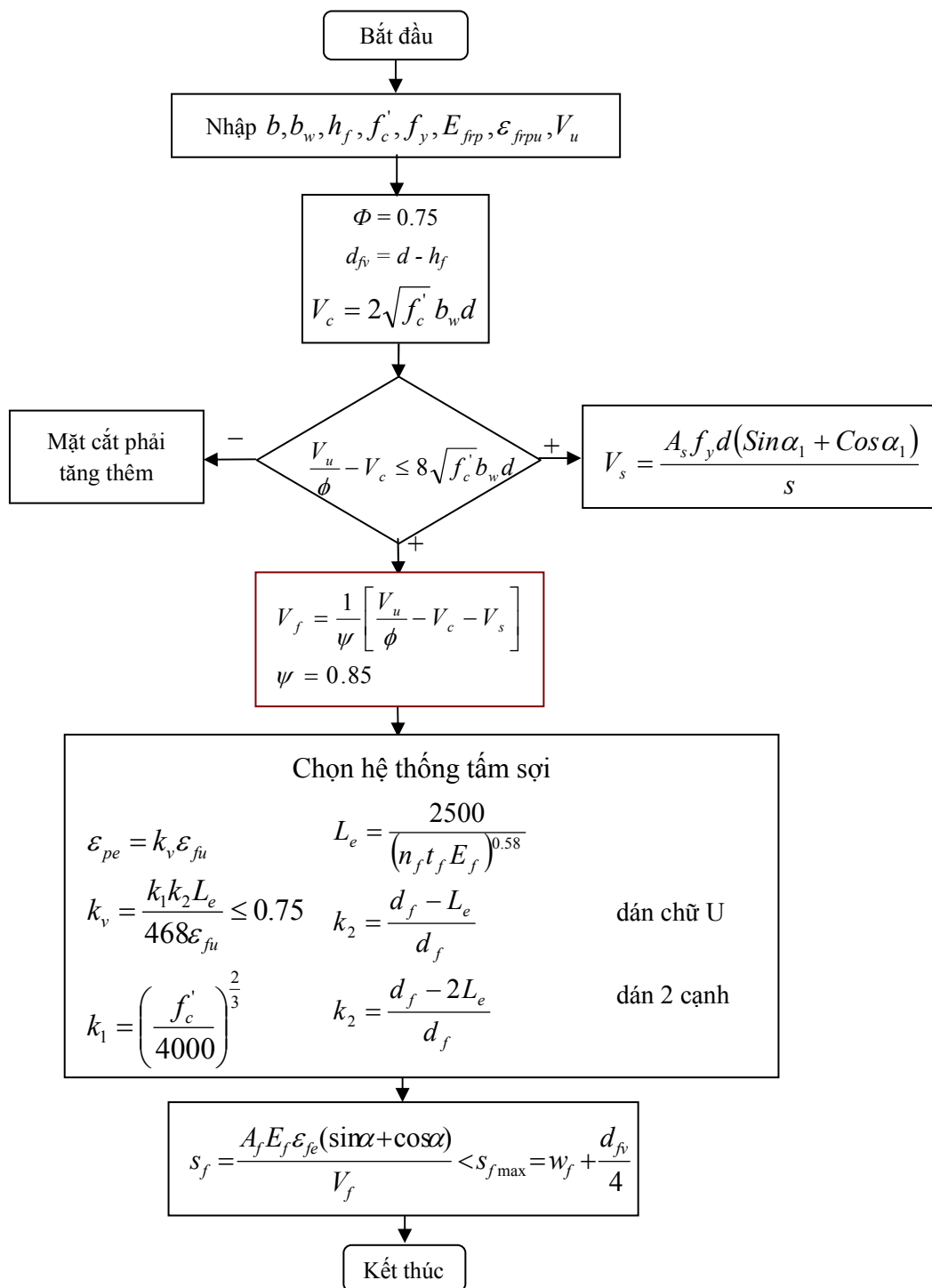
**Hình 3.** Chính diện cầu Ô Sông Km1038+813 tỉnh Quảng Ngãi

Để gia cường sức kháng cắt cho các dầm đã xuống cấp, người ta dùng các tấm Sika Carbodure S612, bề rộng của dải CFRP bằng 60mm, chiều dày tấm bằng 1.4mm, gia cường theo dạng chữ U, các tấm gia cường nghiêng một góc  $45^\circ$  so với phương dọc của dầm (Hình vẽ 4).



**Hình 4.** Bố trí tấm CFRP tăng cường sức kháng cắt dầm cầu Ô Sông

Hình vẽ 5 giới thiệu sơ đồ khối tính toán kiểm tra khả năng gia cường sức kháng cắt bằng các tấm CFRP của kết cấu dầm cầu tiết diện chữ T.



**Hình 5.** Sơ đồ khối tính toán gia cường sức kháng cắt dầm cầu bằng tấm CFRP

Kết quả tính toán và hiệu quả của việc gia cường sức kháng cắt của dầm [8] được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Kết quả tính toán gia cường sức kháng cắt cầu Ô Sông

Số liệu ban đầu và kết quả tính toán	Đơn vị	cầu Ô Sông
<b>1. Kích thước hình học của dầm</b>		
Bề rộng cánh dầm	mm	2.040
Bề rộng bản cánh	mm	130
Bề dày sườn dầm	mm	190
Chiều cao có hiệu của dầm (d)	mm	962
Chiều cao của dầm	mm	1.100
<b>2. Đặc trưng vật liệu</b>		
Tỷ trọng của bê tông	kg/m <sup>3</sup>	2.300
Cường độ chịu nén của bê tông	MPa	30
Mô đun đàn hồi của bê tông	MPa	25.979
Cốt thép đai ( $\phi$ , khoảng cách)	mm	$\phi 8a200$
Giới hạn chảy của cốt thép	MPa	400
Mô đun đàn hồi của cốt thép	MPa	200.000
Mô đun đàn hồi của tấm sợi	MPa	165.000
Biến dạng cực hạn của tấm sợi		0.017
Bề rộng tăng cường của tấm sợi	mm	60
Chiều dày tấm sợi CFRP	mm	1.4
Chiều cao của tấm sợi CFRP	mm	832
Góc nghiêng của tấm sợi	độ	45
Khoảng cách giữa các tấm sợi	mm	240
<b>3. Kết quả tính toán</b>		
Sức kháng cắt trước tăng cường	KN	329,70
Sức kháng cắt sau tăng cường	KN	467,6
Hiệu quả tăng cường	%	41,83

### 3. Kết luận và kiến nghị

#### Kết luận

- Việc nghiên cứu sử dụng các tấm FRP để gia cường các công trình xây dựng đã đem lại hiệu quả kinh tế nhất định như thi công cải tạo đơn giản, không ảnh hưởng đến hình dạng ban đầu của kết cấu.
- Tính toán gia cường sức kháng cắt của cầu Ô Sông trên Quốc lộ 1 thuộc tỉnh Quảng Ngãi cho chúng ta hiệu quả sau khi gia cường sức kháng cắt của dầm tăng khoảng 41.8% so với trước khi tăng cường.

**Kiến nghị :**

- Nghiên cứu tiếp tục các dạng cấu tạo tấm CFRP gia cường sức kháng cắt cho kết cấu công trình xây dựng.
- Nghiên cứu khả năng chống mối của công trình sau khi gia cường.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05, 2005. Nhà xuất bản Bộ Giao thông Vận tải.
- [2] ACI 440.2R-02 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.
- [3] ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- [4] Hota V.S. GangaRao, Narendra Taly, P.V. Vijay, 2006. *Reinforced Concrete Design with FRP Composites*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [5] Kumar K. Ghosh, Vistasp M. Karbhari, 2007. *Evaluation of strengthening through laboratory testing of FRP rehabilitated bridge decks after in-service loading*, Composite Structures, Vol. 77, pp. 206-222.
- [6] Pham H.B., Al-Mahaidi R., Saouma V., 2006. *Modelling of CFRP-Concrete bond using smeared and discrete cracks*, Composite Structures, Vol. 75, pp. 145-150.
- [7] Riyadh Al-Amery, Riyadh Al-Mahaidi, 2006. *Numerical analysis of multilayered CFRP retrofitted RC beams with partial interaction*, Composite Structures, Vol. 75, pp. 479-488.
- [8] Nguyễn Tấn Dũng, *Nghiên cứu công nghệ dán tấm chất dẻo sợi cacbon để sửa chữa và tăng cường khả năng chịu lực kết cấu nhịp giản đơn cầu dầm bê tông cốt thép*. Luận văn Thạc sỹ Kỹ thuật, 2010.

(BBT nhận bài: 26/02/2011, phản biện xong: 14/03/2011)