

NGHIÊN CỨU BIỆN PHÁP TĂNG CƯỜNG HIỆU QUẢ GIA CƯỜNG DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG VẬT LIỆU COMPOSITE SỢI CARBON

RESEARCH ON EFFECTIVE MEASURES TO STRENGTHEN REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH CARBON FIBER COMPOSITE MATERIALS

Hoàng Phương Hoa, Phan Duy Minh

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: hphoa@dut.udn.vn

Tóm tắt: Nghiên cứu gia cường dầm bê tông cốt thép bằng cách dán các tấm vật liệu composite đã được các tác giả trên thế giới và Việt Nam áp dụng. Tuy nhiên, hầu hết các công trình đã được thi công cải tạo hoặc nâng cấp tải trọng đều tập trung vào đối tượng nghiên cứu là hoạt tải. Vật liệu composite (Fiber Reinforced Polymer-FRP) là loại vật liệu có tính năng cơ lý tốt như: cường độ cao, trọng lượng nhẹ, sức chống chịu sự tác động của môi trường và thi công đơn giản, nhanh chóng được áp dụng rộng rãi tại Việt Nam trong lĩnh vực cải tạo, nâng cấp tải trọng công trình. Trong bài báo, tác giả muốn giới thiệu biện pháp tính toán nhằm nâng cao hiệu quả việc gia cường, phát huy tối đa khả năng chịu lực của vật liệu composite bằng cách tính toán cho vật liệu gia cường chịu thêm một phần tải trọng do tĩnh tải. Bài báo đã đưa ra biện pháp tính toán gia tải ban đầu và áp dụng để tính toán nâng cao hiệu quả gia cường cầu Hòa Xuân thành phố Đà Nẵng.

Từ khóa: Tăng cường khả năng chịu lực; cải tạo công trình; nâng cấp tải trọng; hiệu quả gia cường; gia tải ban đầu.

Abstract: The study on concrete beams reinforced by pasting composite layers has been applied by many authors in the world and Vietnam as well. However, most of the construction works have been renovated or upgraded payload, in particularly most bridge works have been focused on the research object load. Composite materials (Fiber Reinforced Polymer-FRP) are materials with superior mechanical features such as high strength, light weight, high resistance to the effects of environment and simple fast construction, are being widely applied in Vietnam in the field of renovation and upgrading load of the works. In the paper, the author would like to introduce measures to improve the computing efficiency of reinforcement and maximize the bearing capacity of the composite materials by calculating the reinforcement material added as part of the cause of static load. The article gives a number of measures in the initial load calculation and applies one of the measures to improve the efficiency of reinforcing Hoa Xuan bridge of Danang City.

Key words: Strengthening resistance; renovation; upgrade load; effective reinforcement; initial load.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, vật liệu composite FRP áp dụng trong công nghệ sửa chữa, gia cố và nâng cấp tải trọng các công trình đã trở thành phổ biến. Loại vật liệu này được sử dụng rộng rãi vì những tính năng vượt trội của nó so với một số loại vật liệu truyền thống khác như: thép, bê tông... Những tính chất cơ học của vật liệu composite như: độ bền cao, trọng lượng nhẹ, độ bền chịu tác động của môi trường tốt đang là thế mạnh để các nhà thiết kế cải tạo công trình lựa chọn. Tại Mỹ, Canada, Châu Âu, Nhật và một số nước khác [1, 2, 3, 4] người ta đã ứng dụng FRP trong mọi lĩnh vực của cuộc sống như: công nghệ hàng không, công nghệ cơ khí, cải tạo các công trình nhà dân dụng, công trình cầu cống và công trình thủy lợi điện. Ở nước ta hiện nay, rất nhiều công trình đã áp dụng loại vật liệu này để nâng cấp cải tạo khả năng chịu lực của công trình [5, 6, 7, 8, 9]. Đặc biệt những công trình cầu tỏ ra rất hiệu quả khi áp dụng công nghệ sửa chữa này. Vì khi áp dụng triển khai thi công dán các tấm vật liệu composite, công trình vẫn có thể đảm bảo giao thông bình thường hoặc hạn chế không phải dừng thông xe như một số biện pháp gia cường cải tạo khác. Một số công trình cầu ở nước ta áp dụng công nghệ này như: Công trình cầu Ô Sông, tỉnh Quảng Ngãi; cầu Gián Khẩu, tỉnh Ninh Bình; cầu Thừa Lưu, thành phố Huế; công trình cầu Chà Là (Km1392+158-QL1A), tỉnh Khánh Hòa (ngoài việc gia cường kết cấu dầm người ta còn gia cường bằng cách dán dưới nước tăng cường kết cấu móng trụ cầu, xem Hình 1).



Hình 1. Gia cường cầu Chà Là Km1392+158 – QL1A, tỉnh Khánh Hòa (nguồn [5])

Thông thường, việc gia cường công trình bằng vật liệu composite còn mang tính chất “bị động” nghĩa là sau khi thi công gia cường vật liệu composite chỉ chịu hoạt tải và làm giảm độ võng của kết cấu. Tuy nhiên, để tăng hiệu quả gia cường phát huy tối đa những mặt tích cực của loại vật liệu này. Chúng ta cần đưa ra một biện pháp tính toán để

vật liệu có thể tham gia chịu một phần tĩnh tải. Như vậy, sẽ tăng hiệu quả gia cường giảm kinh phí khai thác công trình cầu. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu biện pháp tính toán khi thi công theo: 22TCN272-05 và ACI 440.2R-02 với mục đích nâng cao hiệu quả gia cường các dầm cầu bê tông cốt thép thường hay bê tông cốt thép ứng suất trước.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Cơ sở tính toán

Việc tạo ứng lực đối với các dầm là một trong những biện pháp làm cho các tấm composite tham gia chịu một phần tĩnh tải của kết cấu. Tuy nhiên, khi sử dụng biện pháp này cần chú ý không để dầm bị phá hoại khi có tác dụng của ngoại lực. Đặc biệt cần đảm bảo ứng suất tại thớ trên của dầm không vượt quá cường độ chịu kéo khi uốn cho phép của bê tông.

Tính toán mômen lớn nhất do ngoại lực tác dụng gây ra trước khi dán tấm FRP (Theo tiêu chuẩn 22TCN272-05) ta có cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông (f_r) được xác định như sau:

$$f_r = 0,63\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

trong đó:

f_r : Cường độ chịu kéo khi uốn cho phép của bê tông (KN/m^2);

f'_c : Cường độ chịu nén của bê tông (KN/m^2).

Ứng suất chịu kéo tại thớ trên của dầm khi có ngoại lực:

$$f = f_x + f_{DC+DW} \quad (2)$$

trong đó:

f_x : Ứng suất do ngoại lực tác dụng lên dầm, (KN/m^2).

f_{DC+DW} : Ứng suất do tải trọng tĩnh DC và DW, (KN/m^2) và được xác định theo công thức:

$$f_{DC+DW} = -\frac{M_{DC+DW}}{W'} \quad (3)$$

trong đó:

M_{DC+DW} : Mômen do tĩnh tải gây ra, (KN.m).

W' : Mômen kháng uốn thớ trên của tiết diện dầm, (m^3).

Để dầm không bị phá hoại do ứng suất kéo trong bê tông lớn hơn ứng suất kéo cho phép của loại bê tông ấy khi tác dụng lực trước khi dán tấm FRP thì điều kiện cần thỏa mãn được kiểm tra theo điều kiện:

$$f \leq f_r = 0,63\sqrt{f'_c} \quad (4)$$

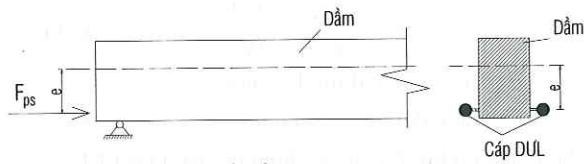
2.2. Đề xuất phương án thi công

Để tạo ứng lực trước trong bê tông, thông thường người ta thường dùng các phương án như sau:

- Sử dụng cáp dự ứng lực (DUL) căng ngoài để tạo độ võng ngược cho dầm, xem Hình 2;

- Tác dụng lực tập trung ngược chiều với tĩnh tải tại vị trí yêu cầu.

2.2.1. Sử dụng cáp DUL căng ngoài



Hình 2. Sơ đồ bố trí cáp DUL căng ngoài

Xác định diện tích Cáp DUL:

Ứng suất thớ trên của dầm sau khi căng cáp:

$$f = f_{ps} + f_{DC+DW} \quad (5)$$

với: f_{ps} : Ứng suất do cáp DUL gây ra tại thớ trên của dầm.

$$f_{ps} = -\frac{F_{ps}}{A} + \frac{F_{ps} \cdot e}{W'} \quad (6)$$

trong đó: A : Diện tích tiết diện dầm (m^2);

e : Khoảng cách từ trọng tâm cáp DUL đến trục trung hòa tiết diện (m);

W' : Mômen kháng uốn thớ trên của tiết diện dầm, (m^3).

F_{ps} : Lực căng cáp thực tế tác dụng lên dầm, (KN).

$$F_{ps} = A_{ps} \cdot (f_{pi} - \Delta f) \quad (7)$$

trong đó: A_{ps} : Diện tích cáp DUL, (m^2).

f_{pi} : Ứng suất trong bó cáp có dính kết. (KN/m^2), (22TCN272-05 mục 5.7.3.1.1).

Δf : Tổng mất mát ứng suất tức thời. (KN/m^2), (22TCN272-05 mục 5.9.5.1).

Mất mát tức thời gồm:

- Mất mát do ma sát Δf_{PF}

- Mất mát do thiết bị neo Δf_{PA}

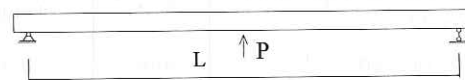
- Mất mát do co ngắn đàn hồi Δf_{PES}

$$\Rightarrow \Delta f = \Delta f_{PF} + \Delta f_{PA} + \Delta f_{PES} \quad (8)$$

Từ (7) ta có diện tích cáp DUL:

$$A_{ps} = \frac{0,63 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A \cdot W' + M_{DC+DW} \cdot A}{(A \cdot e - W') \cdot (f_{pi} - \Delta f)} \quad (9)$$

2.2.2. Sử dụng lực tập trung



Hình 3. Sơ đồ tạo lực ban đầu bằng lực tập trung

Xác định lực cần tác dụng lên dầm (P):

Ứng suất thớ trên của dầm sau khi tác dụng lực:

$$f = f_p + f_{DC+DW} \quad (10)$$

trong đó: f : Ứng suất tại thớ trên của dầm;

f_p : Ứng suất tại thớ trên của dầm do lực P gây ra.

$$f_p = \frac{M_p}{W'} = \frac{P.L}{4W'} \quad (11)$$

với: P : Lực cần tác dụng lên dầm;
 L : Chiều dài nhịp tính toán.

Từ (9) ta có lực P cần tác dụng để dán tấm FRP:

$$P = \frac{4.(0,63.\sqrt{f'_c}.W' + M_{DC+DW})}{L} \quad (12)$$

3. Kết quả tính toán áp dụng cho công trình cầu Hoà Xuân

Cầu Hoà Xuân được thiết kế theo tiêu chuẩn 22TCN272-05, công trình được xây dựng đảm bảo chất lượng theo thiết kế và đã được khánh thành đưa vào sử dụng từ năm 2008. Tuy nhiên, do nhu cầu tải trọng tăng và lớn hơn tải trọng thiết kế thường xuyên lưu thông trên cầu, Thành phố Đà Nẵng đã có chủ trương nâng cấp tải trọng cho công trình. Thông số về cầu được giới thiệu trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số cầu Hòa Xuân

Số liệu ban đầu	Đơn vị	Giá trị
1, Đặc trưng hình học		
- Chiều dài dầm	m	42
- Chiều cao dầm	mm	1900
- Chiều dày bản cánh	mm	2500
- Chiều rộng bản cánh	mm	200
- Chiều dày sườn dầm	mm	250
- Diện tích tiết diện dầm	mm ²	1,197+E6
- Mô men kháng uốn thứ trên	mm ³	927,68+E6
- Mô men kháng uốn thứ dưới	mm ³	477,70+E6
2, Đặc trưng Vật Liệu		
2.1 Bê tông		
- Tỷ trọng bê tông	Kg/m ³	2500
- Cường độ chịu nén của bê tông	Mpa	42
- Biến dạng cực hạn của bê tông		0.003
2.2. Cốt thép		
- Giới hạn chảy cốt thép	MPa	400
- Mô đun đàn hồi cốt thép	MPa	200000
- Biến dạng chảy của cốt thép		0.002
- Diện tích cốt thép thường	mm ²	1472
- Cường độ chịu kéo quy định của cốt thép DUL	MPa	1860
- Diện tích cốt thép DUL	mm ²	5040

Vì dầm cầu Hoà Xuân là dầm tiết diện dạng chữ I BTCT DUL nên khi nâng cấp thì vật liệu FRP chỉ chịu phần tĩnh tải giai đoạn 2. Theo (9) diện tích cốt thép DUL cần bố trí để căng ngoài:

$$A_{ps} = \frac{0,63.A.W'.\sqrt{f'_c} + M_{DW}.A}{(A.e - W').(f_{pi} - \Delta f)} \quad (13)$$

trong đó: A : Diện tích tiết diện dầm, (m²) ($A = 1,197m^2$).

e : Khoảng cách từ trọng tâm cấp DUL đến trục trung hòa tiết diện, (m) ($e = 1,486$ m).

W' : Mô men kháng uốn thứ trên của tiết diện dầm, (m³).

F_{ps} : Lực căng cáp tác dụng lên dầm, (KN).

A_{ps} : Diện tích cáp DUL, (m²).

f_{pi} : Ứng suất trong bó cáp, (KN/m²).

$$f_{pi} = 0,74.f_{pu} = 0,74.1860 = 1376,4 MPa$$

Δf Tổng mất mát ứng suất tức thời, (KN/m²). (bỏ qua mất mát ứng suất).

Tính mô men do tĩnh tải giai đoạn 2:

Tĩnh tải giai đoạn 2 gồm:

$$DW = DC_{bmc} + DC_{dngang} + DC_{lp} + DC_{lcrv+gc} = 22,12 \text{ KN/m}$$

$$M_{DW} = DW. \omega = 22,12. 220,2 = 4870,824 \text{ KN.m}$$

trong đó:

ω : Diện tích đường ảnh hưởng mô men tại tiết diện giữa nhịp, (m²).

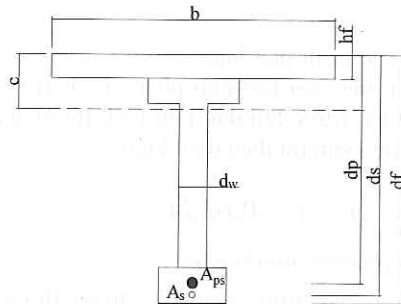
Thay vào (13) ta có:

$$A_{ps} = \frac{0,63.1,197.10^6.927,68.10^6.\sqrt{42} + 4870,842.10^6.1,197.10^6}{(1,197.10^6.1486 - 927,68.10^6).1376,4} = 8847,6mm^2$$

Chọn 64 tao loại 15,2 có diện tích 8960mm².

Bảng 2. Số liệu tấm sợi

Số liệu ban đầu	Đơn vị	Giá trị
Tấm sợi Carbon (CFRP)		
Biến dạng cực hạn của tấm sợi		0,015
Bề rộng tăng cường tấm CFRP	mm	600
Chiều dày tấm CFRP	mm	1,4
Cường độ chịu kéo	MPa	2800
Mô đun đàn hồi tấm sợi	MPa	165000
Số lớp	lớp	1
Diện tích tấm sợi	mm ²	840



Hình 5. Tiết diện ngang quy đổi cầu Hoà Xuân

Biến dạng có hiệu của tấm sợi tại thời điểm phá hoại là ϵ_{fe} , từ các số liệu số lớp, chiều dày t_f , mô đun đàn hồi E_f .

$$\varepsilon_{fe} = k_m \varepsilon_{fu} \leq 0.9 \quad (14)$$

Ta có

$$nE_f t_f = 2.165000.1,4 = 462000 \leq 1.200.000$$

$$k_m = 1 - \frac{nE_f t_f}{2.400.000} = 1 - \frac{462000}{2400000} = 0,81$$

$$\text{Từ (14) ta có: } \varepsilon_{fe} = 0,81.0,015 = 0,0122$$

Giả sử tấm sợi CFRP và bê tông cốt thép chịu nén phá hoại đồng thời. Ta có:

Lực nén

$$C_c = 0,85 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot [(b - b_w) \cdot h_f + \beta_1 \cdot c \cdot b_w]$$

Lực kéo:

$$+ T_s = \phi_s \cdot f_y \cdot A_s$$

$$+ T_f = \phi_{frp} \cdot E_{frp} \cdot \varepsilon_{fe} \cdot A_{frp} \text{ và}$$

$$+ T_p = \phi_{ps} \cdot E_{ps} \cdot A_{ps} \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{h_p - c}{c} \right)$$

Từ công thức: $T = C \Rightarrow$ ta có phương trình tính giá trị c . Với C là tổng lực nén trong bê tông và T là tổng hợp các lực do: cốt thép thường, tấm sợi gia cường và của cốt thép DUL.

$$0,85 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b_w \cdot c^2 + \left\{ \begin{array}{l} 0,85 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f - \\ \phi_s \cdot f_y \cdot A_s - \phi_{frp} \cdot E_{frp} \cdot \varepsilon_{fe} \cdot A_{frp} + \\ \phi_{ps} \cdot E_{ps} \cdot A_{ps} \cdot 0,003 \end{array} \right\} \cdot c - \phi_{ps} \cdot E_{ps} \cdot A_{ps} \cdot 0,003 \cdot h_p = 0 \quad (15)$$

Thay số vào (15) ta có:

$$693,75 \cdot c^2 + 15073000 \cdot c - 5,749 \cdot 10^9 = 0$$

$\Rightarrow c = 332,4 \text{ mm} > h_f = 200 \text{ mm}$. Hệ làm việc theo tiết diện chữ T

Lực nén:

$$C_c = 0,85 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot [(b - b_w) \cdot h_f + \beta_1 \cdot c \cdot b_w] = 18290 \text{ KN}$$

Lực kéo:

$$T_s = \phi_s \cdot f_y \cdot A_s = 1.400.1472 = 588800 \text{ N} = 588,8 \text{ KN}$$

$$T_f = \phi_{frp} \cdot E_{frp} \cdot \varepsilon_{fe} \cdot A_{frp} = 1.165000.0,0122.1680 = 3381840 \text{ N} = 3381,84 \text{ KN}$$

$$T_p = \phi_{ps} \cdot E_{ps} \cdot A_{ps} \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{h_p - c}{c} \right) = 13016,84 \text{ KN}$$

$$T = 588,8 + 3381,84 + 14316,11 = 18514 \text{ KN}$$

$$V C = 18290 \text{ KN} \approx T = 18287 \text{ KN}$$

Tính sức kháng uốn danh định. Mô men lấy đối với trục trung hòa:

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b_w \cdot c \cdot \left(c - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) + 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h \cdot \left(c - \frac{h}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot (c - d) + A_s \cdot f_s \cdot (d_s - c) + \psi \cdot A_{frp} \cdot f_{frp} \cdot (d_f - c) \quad (16)$$

Với $\psi = 0.85$

Thay các giá trị vào công thức (16) ta có: $M_n = 27251 \text{ KN.m}$

4. Kết luận

Sức kháng uốn danh định của dầm trước khi gia cường $M_n^r = 17932 \text{ KN.m}$

Sau khi gia cường bằng 02 tấm CFRP có diện tích $A = 1680 \text{ mm}^2$ thì sức kháng uốn của dầm tăng lên 52%.

Phương pháp gia cố này tận dụng được khả năng, ưu điểm làm việc của tấm sợi FRP. Tấm FRP cùng tham gia làm việc chịu thêm một phần tải trọng tĩnh cùng với vật liệu dầm. Tăng hiệu quả việc gia cường, phát huy tối đa những ưu điểm của loại vật liệu này.

Ngoài ra, phương pháp gia cố dầm bằng vật liệu FRP hầu như không làm gián đoạn giao thông trên cầu. Công tác thi công đơn giản, rút ngắn thời gian thi công. Không làm thay đổi khổ thông thuyền của cầu cũng như kích thước, hình dạng của dầm.

Tài liệu tham khảo

- [1] Hota V.S. Gangarao, Narendra Taly P.V. Vijay "Reinforced concrete design with FRP composites", CRC Press Taylor & Francis Group, 2007; p.382.
- [2] Lawrence C. Bank "Composites for construction", Structural Design with FRP materials, Published by John Wiley & Sons, Inc. 2006, p.551.
- [3] Gibson, R.F., 1994, "Principles of composite material mechanic", New York: Mc Graw-Hill, p.425.
- [4] ACI 440.2R-02, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", Reported by ACI Committee 440.
- [5] Tổng cục Đường bộ Việt Nam. "Báo cáo tình hình triển khai và đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ dán sợi cường độ cao trong công tác bảo trì công trình cầu ở Việt Nam", Hội thảo "Ứng dụng công nghệ tiên tiến trong sửa chữa tăng cường cầu", Hưng Yên, tháng 3 năm 2013 của Bộ Giao thông Vận tải.
- [6] Hoàng Phương Hoa, Nguyễn Đình Khanh. "Nghiên cứu giải pháp gia cường dầm bê tông cốt thép bằng tấm vật liệu composite sợi carbon" (phần 2) *Tạp chí Giao thông Vận tải*, tháng 8/2011, ISSN 0866-7012, trang 19-22 và 50.
- [7] Hoang, Phuong Hoa, Nguyen Dinh Khanh, Nguyen The Duong. "Research on solution to strengthen concrete T beams reinforced with carbon fiber reinforced polymer composites" Proceedings of the International Conference on Advances in Computational Mechanics, ACOME 2012, August 14-16, Ho Chi Minh City, Vietnam, ISBN-978-604-908-577-2, pp. 924-932, 2012.
- [8] Hoàng Phương Hoa, "Khai thác, sửa chữa, gia cố công trình cầu" Giấy phép xuất bản số 1046-2012/CXB/02-82/XD ngày 31/8/2012 của Cục xuất bản, Quyết định xuất bản số 316/QĐ-UBND ngày 17/9/2012.
- [9] 22TCN272-05, Tiêu chuẩn thiết kế cầu, "Quy trình thiết kế cầu theo trạng thái giới hạn", Bộ Giao thông Vận tải, 2005.