

PHÂN TÍCH MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI HIỆU QUẢ GIA CƯỜNG DẦM BTCT BẰNG TẤM CHẤT DẼO CÓ CỐT SỢI

ThS. NGUYỄN HỮU TUÂN, ThS. ĐOÀN NHƯ HOẠT, ThS. TRẦN ĐÌNH HOÀNG

Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải II

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu về một số yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn của dầm BTCT bằng tấm chất dẻo có cốt sợi. Thực tế hiện nay đã có một số công trình cầu áp dụng phương pháp gia cường này và cho kết quả tốt, tuy vậy trong quá trình áp dụng chưa xét đến ảnh hưởng của các yếu tố như: Chất lượng bê tông dầm, điều kiện môi trường, không chế và hiệu chỉnh ứng suất trong vật liệu, chiều dài gia cường có hiệu quả, chiều cao mặt cắt..., trong khi các yếu tố này có tác động không nhỏ tới hiệu quả gia cường dầm.

Từ khóa: Gia cường cầu, cầu BTCT, vật liệu mới, FRP, tăng cường khả năng chịu uốn, Tyfo®.

1. Đặt vấn đề

Trong khoảng thời gian qua ngành cầu của Việt Nam đã đạt được những thành tựu vượt bậc, nhiều công trình cầu nhịp lớn, hiện đại được thiết kế và xây dựng khắp cả nước. Song, có một thực tế dễ thấy là hệ thống hạ tầng của nước ta còn chưa đồng bộ, số lượng cầu cũ, cầu yếu vẫn còn khá nhiều mà chưa được thay thế hoặc nâng cấp. Điều đó đặt ra những đòi hỏi bức thiết đối với nước ta, là một nước đang phát triển, ngân sách đầu tư còn hạn hẹp, do đó cần phải có những giải pháp trước mắt để giải quyết vấn đề này. Đó là cải tạo, nâng cấp các bộ phận của kết cấu nhịp cầu cũ, để tăng sức chịu tải, kéo dài tuổi thọ của cây cầu.

Gần đây một giải pháp gia cường cho kết cấu BTCT đã được ứng dụng để nâng cấp tải trọng cho công trình cầu tổ ra khá hiệu quả, cho phép cầu tiếp tục kéo dài thời gian khai thác cầu mà giá thành thi công thấp, đó là dán vật liệu gia cường dạng tấm chất dẻo có cốt sợi (Fiber Reinforced polymer - FRP).

Vật liệu FRP là một dạng vật liệu composite, được chế tạo từ các cốt liệu sợi kết hợp với chất kết dính (chất nền), trong đó có ba loại cốt liệu sợi thường được sử dụng là sợi carbon CFRP, sợi thủy tinh GFRP và sợi aramid AFRP; chất kết dính thường là Epoxy, Polyeste hoặc vinyl ester. Sự kết hợp trên tạo thành một loại vật liệu hoàn chỉnh có cường độ chịu kéo cao, trọng lượng nhỏ, cách điện, chịu nhiệt tốt.

Theo khả năng của vật liệu, trong lĩnh vực xây dựng nói chung chúng ta có thể sử dụng vật liệu FRP để gia cường cho kết cấu trong những trường hợp sau:

- Tăng cường khả năng chịu uốn và chịu cắt của dầm BTCT để sửa chữa và gia cường khả năng chịu tải;
- Tăng cường khả năng chịu uốn của sàn BTCT tại vùng có mô men dương và mô men âm;
- Tăng cường khả năng chịu uốn và chịu nén ở cột BTCT để gia cường khả năng chịu tải [4].

Trên thực tế hiện nay đã có một số công trình cầu áp dụng phương pháp gia cường này và cho kết quả ban đầu khá tốt. Tuy vậy, trong quá trình áp dụng các kỹ sư chưa xét đến ảnh hưởng của nhiều yếu tố có thể tác động tới hiệu quả gia cường như: Đặc điểm của bê tông bề mặt, điều kiện môi trường, quan hệ ứng suất - biến dạng trong sự làm việc đồng thời của vật liệu FRP với các vật liệu của kết cấu (bê tông, cốt thép)... Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu có xét đến ảnh hưởng của một số yếu tố tác động tới hiệu quả tăng cường khả năng kháng uốn cho dầm BTCT, từ đó áp dụng để tính toán gia cường cho một dầm cầu BTCT DƯ'L cụ thể.

2. Phương pháp tính toán gia cường khả năng chịu uốn của dầm bằng tấm FRP

Nguyên tắc tính toán gia cường dầm bằng tấm FRP phải được thực hiện dựa trên cơ sở các nguyên tắc tính toán kết cấu BTCT như tiêu chuẩn ACI 318, ACI 440.2R và tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-272-05 [1], [2], [7].

2.1 Mô hình phá hoại

Theo [2], [3], [5] thì khả năng chịu uốn của dầm phụ thuộc vào mô hình phá hoại, khi tăng cường khả năng chịu uốn của kết cấu BTCT bằng tấm FRP có thể có các dạng phá hoại sau:

- Sự phá hoại của bê tông trong vùng nén trước khi cốt thép chịu kéo bị chảy;
- Sự chảy dẻo của thép chịu kéo ngay sau khi xảy ra sự phá hoại của tấm vật liệu FRP;

- Sự chảy dẻo của thép trong vùng chịu kéo sau khi có sự phá hoại của bê tông vùng chịu nén (phá hoại đồng thời).

Đặc biệt, theo [1] rất cần thiết phải xét đến 2 dạng phá hoại khác, đó là:

- Sự bóc tách do lực cắt hoặc kéo tác động lên lớp bê tông bảo vệ;

- Sự bóc tách của lớp vật liệu gia cường khỏi bề mặt bê tông.

Khi tính toán gia cường, trước tiên cần xác định mô hình phá hoại của dầm, đó là cơ sở để tính ứng suất, biến dạng trong mỗi loại vật liệu, nói chung khi thiết kế gia cường dầm cần tính toán sao cho dầm ở trạng thái phá hoại đồng thời là hợp lý nhất, tức là lúc đó cả bê tông chịu nén, cốt thép kéo và tấm FRP bị phá hoại cùng lúc.

2.2 Tính khả năng chịu uốn của mặt cắt dầm sau khi gia cường

Muốn tính khả năng chịu uốn của dầm sau khi được gia cường cần xác định vị trí của trục trung hòa (TTH). Giả sử xét dầm BTCT DU'L tiết diện chữ T được gia cường bằng tấm FRP ở đáy dầm.

Với giả thiết TTH đi qua sườn dầm. Khi đó vị trí của TTH được tính theo công thức sau:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f - \alpha_1 f_c \beta_1 (b_f - b) h_f}{\alpha_1 f_c \beta_1 b} \geq h_f \quad (1)$$

với h_f là chiều dày bản cánh dầm.

Nếu $c < h_f$ thì chứng tỏ TTH đi qua cánh dầm, ta cần tính lại c theo dạng mặt cắt hình chữ nhật với bề rộng bằng bề rộng cánh dầm, khi đó (1) trở thành:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_f} \quad (2)$$

Khả năng chịu uốn danh định của dầm sau khi gia cường khi TTH đi qua sườn dầm ($c \geq h_f$) là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \alpha_1 f_c \beta_1 (b_f - b) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (3)$$

Trường hợp TTH đi qua cánh dầm khả năng chịu uốn danh định của dầm sau khi gia cường là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (4)$$

Khả năng chịu uốn tính toán của tiết diện dầm:

$$M_r = \phi M_n \quad (5)$$

trong đó:

A_f là diện tích của FRP trên tiết diện dầm;

f_{ps} , f_s và f_{fe} là ứng suất trong cốt thép DU'L, cốt thép thường chịu kéo và trong vật liệu FRP;

h là chiều cao dầm;

b là chiều rộng sườn dầm;

b_f là chiều rộng cánh dầm;

d_p là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DU'L đến đỉnh dầm;

d là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường đến đỉnh dầm;

A_s là diện tích cốt thép thường chịu kéo;

A_{ps} là diện tích cốt thép DU'L;

ψ_f là hệ số chiết giảm cường độ của vật liệu FRP lấy bằng 0,85;

ϕ là hệ số chiết giảm khả năng chịu uốn của dầm.

Như vậy để tính được khả năng chịu uốn danh định M_n , cũng như khả năng chịu uốn tính toán M_r của dầm sau khi gia cường cần xác định được ứng suất (biến dạng) trong cốt thép, bê tông và vật liệu gia cường FRP, các yếu tố này có thể xác định dựa vào biểu đồ ứng suất - biến dạng của dầm sau khi gia cường.

Đối với cốt thép DU'L cấp 270 (có $f_{pu}=1860\text{MPa}$) sau khi dầm được gia cường, ứng suất được tính theo công thức (6):

$$f_{ps} = \begin{cases} 196500 \varepsilon_{ps} & \text{khi } \varepsilon_{ps} \leq 0,0086 \\ 1860 - \frac{0,276}{\varepsilon_{ps} - 0,007} & \text{khi } \varepsilon_{ps} > 0,0086 \end{cases} \quad (6)$$

Biến dạng trong cốt thép DU'L sau khi gia cường sẽ được tính theo (7):

$$\varepsilon_{ps} = \varepsilon_{pe} + \frac{P_e}{E_c A_{cg}} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \varepsilon_{p(net)} \quad (7)$$

trong đó:

ε_{pe} là biến dạng ban đầu trong cốt thép DU'L,

$$\varepsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_p};$$

f_{pe} , E_p là ứng suất ban đầu và mô đun đàn hồi của cốt thép DU'L;

P_e là lực kéo ban đầu trong cốt thép DU'L, $P_e = A_{ps}f_{pe}$;

e là độ lệch tâm của lực kéo ban đầu trong cốt thép DU'L (P_e);

A_{cg} là diện tích mặt cắt nguyên của dầm;

r là bán kính quán tính của tiết diện nguyên,

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_{cg}}};$$

I_g là mô men quán tính nguyên của mặt cắt dầm;

E_c là mô đun đàn hồi của bê tông;

$\varepsilon_{p(net)}$ là biến dạng thực trong cốt thép DU'L, đại lượng này phụ thuộc vào mô hình phá hoại của cấu kiện.

$\varepsilon_{p(net)}$ được tính theo công thức (8) khi vật liệu FRP phá hoại trước hoặc phá hoại đồng thời và tính theo công thức (9) khi bê tông vùng nén bị phá hoại trước:

$$\varepsilon_{p(net)} = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \frac{d_p - c}{h - c} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{p(net)} = 0,003 \frac{d_p - c}{c} \quad (9)$$

Đối với vật liệu FRP, biến dạng của vật liệu là:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \frac{h - c}{c} - \varepsilon_{bi} \quad (10)$$

Ứng suất trong tấm FRP sẽ là: $f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$ (11)

trong đó: ε_{bi} là biến dạng ban đầu của bê tông ở đáy dầm, được tính theo công thức:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{-P_e}{E_c A_{cg}} \left(1 + \frac{e y_b}{r^2}\right) + \frac{M_{DL} y_b}{E_c I_g} \quad (12)$$

trong đó:

M_{DL} là mô men uốn do tải tiêu chuẩn gây ra tại mặt cắt đang xét;

E_f là mô đun đàn hồi của vật liệu FRP;

y_b là khoảng cách từ đáy dầm đến trọng tâm tiết diện;

ε_{cu} là biến dạng cực hạn của bê tông.

Lưu ý là khi tính toán để tìm vị trí TTH, do các yếu tố ứng suất biến dạng ban đầu của các vật liệu là chưa xác định được nên cần tiến hành tính thử dần cho đến khi c hội tụ về một giá trị, có thể bắt đầu với $c = 0,1h$, sau đó tính lặp dần.

Khi tính c cần giả định trước mô hình phá hoại, thường là giả định bê tông vùng nén bị phá hoại trước (đạt cực hạn) khi đó sẽ có $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0,003$, sử dụng trị số này để xác định các trị số biến dạng khác, quá trình này sẽ cho phép kiểm tra xác định xem vật liệu nào sẽ điều khiển quá trình phá hoại (vật liệu bị phá hoại trước).

3. Một số yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường dầm

3.1 Xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường

Trong tính toán gia cường kết cấu BTCT bằng tấm sợi FRP, mặc dù các tấm sợi có mô đun đàn hồi tốt, song có thể sẽ bị lão hóa theo thời gian sử dụng, mức độ sẽ càng tăng khi ở điều kiện môi trường khắc nghiệt, vì vậy cũng cần phải quan tâm đến điều kiện môi trường. Có thể phân điều kiện môi trường thành 3 loại: Môi trường được bảo quản, che chắn tốt (môi trường kín); môi trường không được che chắn, song ít nguy hiểm (môi trường không kín) và loại thứ 3 là môi trường bị xâm thực mạnh (khắc nghiệt), tùy theo từng điều kiện môi trường cụ thể để tính toán gia cường cho hợp lý.

Theo khuyến nghị của [1] có thể xét tới ảnh hưởng của môi trường làm việc bằng cách chiết giảm ứng suất và biến dạng của vật liệu theo từng điều kiện môi trường cụ thể.

Thực tế hiện nay cho thấy, nhiều tính toán đã không xem xét tới vấn đề này, do đó kết quả tính toán vô tình đã có sự sai khác đáng kể.

3.2 Xét tới ảnh hưởng của chất lượng bê tông bề mặt

Sự bóc tách của lớp bê tông bảo vệ bề mặt (hoặc của lớp vật liệu gia cường) xảy ra nếu ứng suất trong lớp vật liệu gia cường vượt quá khả năng chịu đựng của các vật liệu bề mặt (bê tông), khi đó bê tông bề mặt sẽ bị bong, bóc tách làm phá hoại dầm. Nhiều nghiên cứu cho thấy, khi mặt cắt được gia cường mặt ngoài bằng vật liệu FRP thì sự phá hoại dầm do sự bóc tách của vật liệu bề mặt có thể là chủ yếu (mặc dù tấm FRP chưa phá hoại).

Để tránh những dạng phá hoại do hiện tượng bóc tách vật liệu bề mặt, biến dạng trong vật liệu FRP cần nhỏ hơn giới hạn biến dạng mà sự bóc tách có thể xảy ra, nghĩa là người kỹ sư cần phải khống chế ứng suất, biến dạng trong lớp vật liệu FRP, chứ không thể đơn giản là lấy ứng suất và biến dạng của vật liệu này bằng với ứng suất cực hạn của nó, điều này cũng đã được đề cập đến trong tiêu chuẩn ACI 440.2R.

3.3 Xét tới ứng suất trong bê tông vùng chịu nén

Theo ACI 318 thì ứng suất trong bê tông vùng chịu nén được xác định trên một phạm vi hình chữ nhật có bề rộng là $\alpha_1 f'_c$ và chiều cao là $a = \beta_1 c$. Trong đó, hệ số α_1 lấy trung bình là 0,85 và c là vị trí của TTH (xác định theo công thức (1) hoặc (2)). Hệ số của khối ứng suất hình chữ nhật β_1 khi bê tông bị nén vỡ (đạt cực hạn) được xác định như sau:

$$\beta_1 = \begin{cases} 0,85 \text{ khi } f'_c \leq 28\text{MPa} \\ 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \text{ khi } 28\text{MPa} < f'_c \leq 56\text{MPa} \\ 0,65 \text{ khi } f'_c > 56\text{MPa} \end{cases} \quad (13)$$

Tuy nhiên, thực tế sẽ có trường hợp bê tông chưa đạt tới trạng thái cực hạn mà cốt thép chịu kéo đã chảy dẻo, lúc này biến dạng của bê tông vùng nén chưa đạt đến giá trị cực hạn (ϵ_{cu}) nên ứng suất chịu

Hoặc theo quan điểm của tác giả Todeschini (1964) thì:

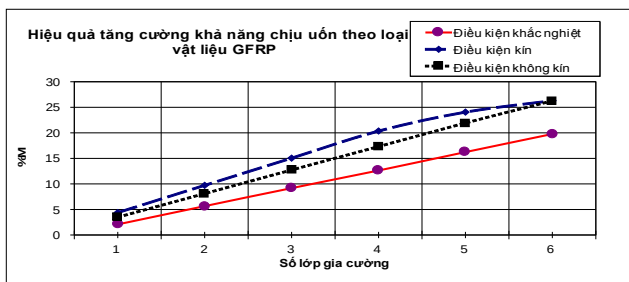
$$\beta_1 = 2 - \frac{4[(\epsilon'_c / \epsilon_c) - \tan^{-1}(\epsilon'_c / \epsilon_c)]}{(\epsilon_c / \epsilon'_c) \ln[1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2]} \text{ và } \alpha_1 = \frac{0,9 \ln[1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2]}{\beta_1 (\epsilon_c / \epsilon'_c)} \quad (16)$$

Thực tế cho thấy, để đơn giản nhiều tác giả đã không hiệu chỉnh hai giá trị α_1 và β_1 mà thường cố định chúng trong tính toán gia cường, điều này đã vô tình làm cho khả năng chịu uốn của dầm gia cường có sự sai lệch đáng kể.

Để làm sáng tỏ các vấn đề trên, mục dưới đây sẽ đi phân tích trên một số kết cấu dầm và thu được các kết quả khá thú vị.

3.4 Phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố tới hiệu quả gia cường dầm

Để xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường tới hiệu quả gia cường dầm ta tiến hành phân tích trên mẫu dầm chữ T có chiều dài $L=33\text{m}$, chiều cao $H=1,5\text{m}$ (dầm TH1) được gia cường vật liệu FRP rộng 500mm, dày 0,5mm/lớp với số lớp gia cường biến đổi từ 1 đến 6 lớp, theo 3 loại vật liệu gia cường là GFRP, CFRP và AFRP, hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện trên hình 1 đến hình 3.



Hình 1. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu GFRP

nén của bê tông với hệ số β_1 theo công thức (13) là không thích hợp. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra điều đó, chẳng hạn theo Viện Bê tông Hoa kỳ các hệ số β_1 và α_1 cần được tính toán hiệu chỉnh lại theo công thức sau:

$$\beta_1 = \frac{4\epsilon'_c - \epsilon_c}{6\epsilon'_c - 2\epsilon_c} \text{ và } \alpha_1 = \frac{3\epsilon'_c \epsilon_c - \epsilon_c^2}{3\beta_1 \epsilon_c^2} \quad (14)$$

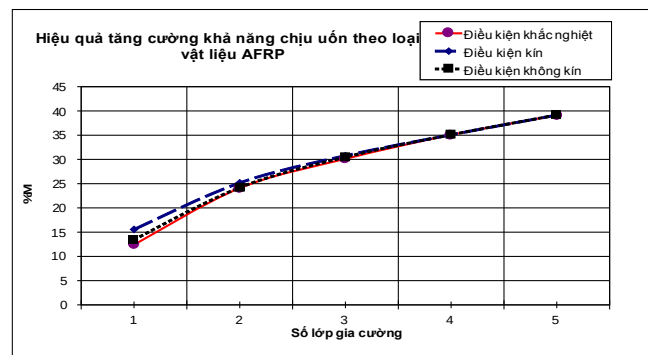
trong đó:

$$\epsilon'_c = \frac{1,7f'_c}{E_c}; \quad (15)$$

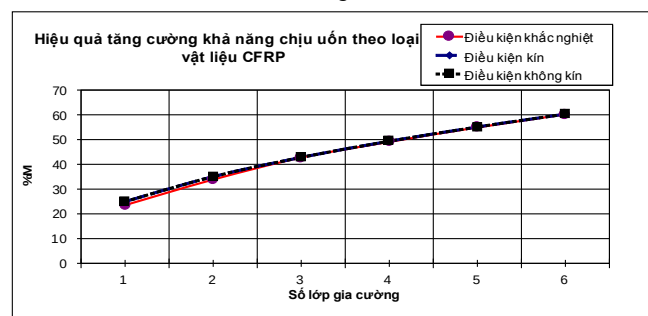
E_c là mô đun đàn hồi của bê tông dầm;

f'_c là cường độ chịu nén của bê tông dầm;

ϵ_c là biến dạng của bê tông ở vùng chịu nén.



Hình 2. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu AFRP

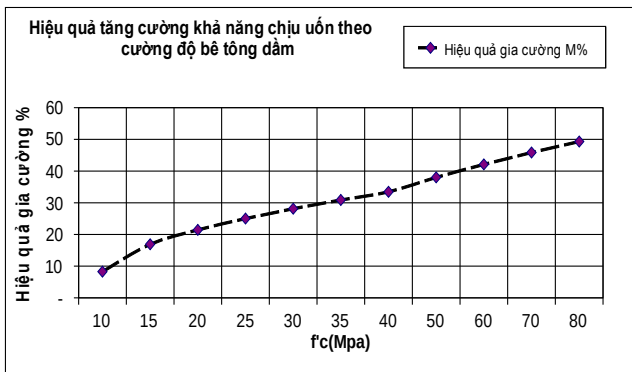


Hình 3. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu CFRP

Các biểu đồ trên hình 1 đến hình 3 cho thấy điều kiện môi trường có ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường, đặc biệt là đối với 2 nhóm GFRP và AFRP. Tuy nhiên khi số lớp gia cường tăng lên thì sẽ khắc phục được các ảnh hưởng này do các lớp nằm phía ngoài sẽ góp phần bảo vệ các lớp bên trong, riêng với

nhóm tấm sợi CFRP thì hiệu quả gia cường ít bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường hơn cả do có mô đun đàn hồi rất cao và trong khi chế tạo đã được xử lý nhiệt theo nhiều quá trình, tuy nhiên giá thành cũng rất cao.

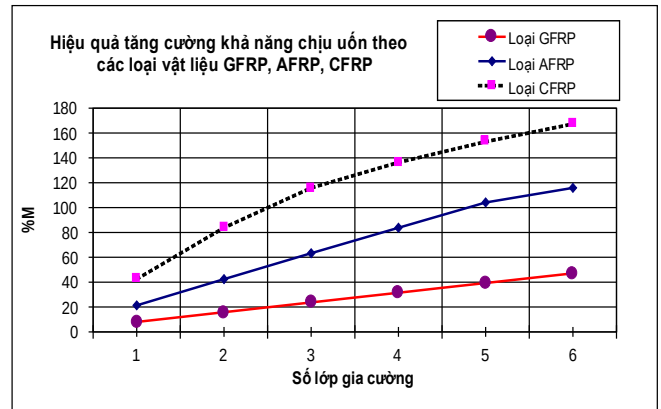
Để phân tích ảnh hưởng chất lượng bê tông, đặc biệt là bê tông bề mặt tới hiệu quả gia cường dầm, ta tiến hành khảo sát trên kết cấu dầm có $H=1,5m$, $L=33m$ (dầm TH2) ở điều kiện môi trường kín và được gia cường bằng 2 lớp vật AFRP rộng 500mm, dày 0,28mm/lớp, kết quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo chất lượng bê tông dầm

Đồ thị trên hình 4 đã cho thấy hiệu quả gia cường sẽ tốt hơn khi bê tông dầm có cường độ cao và ngược lại nếu bê tông có cường độ thấp dưới 15MPa thì hiệu quả là không cao (<16%), vì vậy khi bề mặt kết cấu có chất lượng bê tông quá kém (nứt nhiều, suy giảm cường độ...) thì nên thay thế bằng bê tông có chất lượng tốt hơn, sau đó mới dán các lớp vật liệu gia cường vào dầm (tức là cần xử lý bề mặt trước). Đối với các dầm với bê tông có cường độ từ 20 MPa đến 35MPa thì hiệu quả gia cường có thể đạt trên 30% tùy theo vật liệu gia cường.

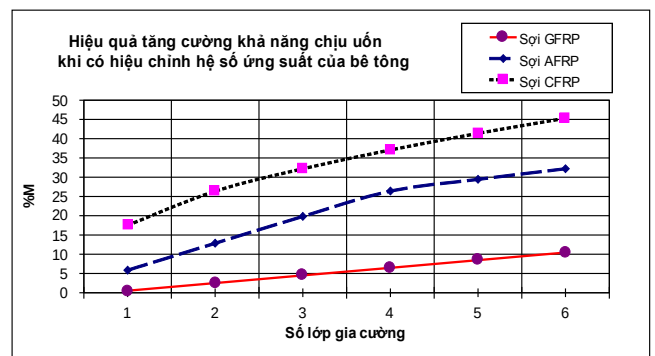
Nếu không xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường và không xét tới việc khống chế ứng suất trong vật liệu FRP nhằm tránh phá hoại do bóc tách bê tông bề mặt thì kết quả gia cường sẽ cao hơn nhiều. Cụ thể khi phân tích trên dầm TH1, với các loại vật liệu gia cường như trên, hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện trên hình 5.



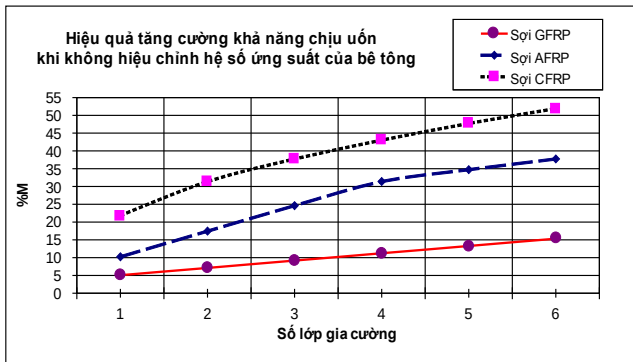
Hình 5. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi không xét ảnh hưởng của chất lượng bê tông bề mặt và điều kiện môi trường

Kết quả trên hình 5 cho thấy, hiệu quả gia cường sẽ tăng rất cao khi bỏ qua yếu tố môi trường và khống chế ứng suất kéo trong tấm sợi, chẳng hạn nếu chỉ xét trường hợp gia cường dầm bằng 2 lớp FRP thì đối với loại vật liệu CFRP có thể đạt tới 83,85%, trong khi nếu có xét tới các yếu tố trên thì chỉ đạt 35,07% (ở điều kiện môi trường kín). Hoặc đối với loại sợi AFRP tương ứng sẽ là: 42,46% và 25,19%. Do đó, khi tính toán gia cường dầm bằng vật liệu FRP thì rất cần thiết phải xét đến điều kiện môi trường và điều kiện khống chế ứng suất trong tấm sợi nhằm đảm bảo việc thiết kế có đủ an toàn và tin cậy.

Để xét tới ảnh hưởng của việc hiệu chỉnh hệ số ứng suất trong bê tông chịu nén (α_1, β_1), ta tiến hành khảo sát trên dầm TH2 với các vật liệu gia cường như trên và ở điều kiện môi trường khắc nghiệt nhất, kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 6 và hình 7.



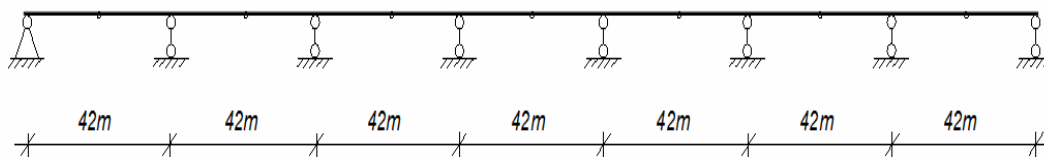
Hình 6. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi hiệu chỉnh hệ số ứng suất



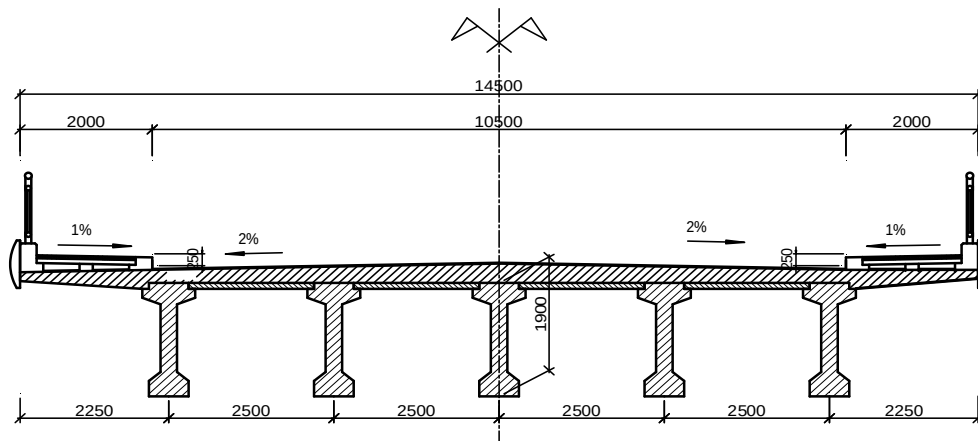
Hình 7. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi không hiệu chỉnh hệ số ứng suất

Kết quả ở hình 6 và hình 7 đã cho thấy, nếu có sự hiệu chỉnh hệ số ứng suất của bê tông chịu nén thì hiệu quả gia cường sẽ thấp hơn so với việc không hiệu chỉnh, mức độ sai lệch giữa hai trường hợp là khá lớn, chẳng hạn nếu gia cường bằng 2 lớp CFRP thì khi có hiệu chỉnh kết quả khả năng chịu uốn tăng được 26%, trong khi đó nếu không hiệu chỉnh thì đạt tới 32%.

Sơ đồ tính toán cầu và mặt cắt ngang cầu thể hiện như hình 8 và hình 9.



Hình 8. Sơ đồ tính toán cầu Hòa Xuân



Hình 9. Mặt cắt ngang cầu Hòa Xuân

4.2 Kết quả tính toán

Qua phân tích nội lực của dầm biên và dầm trong, kết quả cho thấy dầm biên làm việc bất lợi hơn so với các dầm nằm trong, do đó trong tính toán này chỉ xét tới sự làm việc của dầm biên.

Căn cứ vào hồ sơ thiết kế dầm và các đặc trưng cơ học của vật liệu: Bê tông dầm, bản mặt cầu, cốt thép DU'L, cốt thép thường, tính toán khả năng chịu uốn của dầm biên sau khi gia cường được thể hiện ở bảng 1.

4. Áp dụng tính toán nâng cấp dầm cầu Hòa Xuân

4.1 Các số liệu cơ bản về kết cấu và tải trọng

Cầu Hoà Xuân gồm 7 nhịp dầm BTCT DU'L, sơ đồ 7x42m, kết cấu nhịp được toàn khối hoá. Tổng chiều dài toàn cầu 303,55m, mặt cắt ngang gồm 5 dầm chủ BTCT DU'L, bê tông có cường độ 40MPa, mặt cắt dạng chữ I, khoảng cách giữa các dầm là 2,5m. Chiều cao dầm chủ $H = 1,9\text{m}$, bản mặt cầu bằng BTCT 35MPa, dày trung bình 0,2m.

Trọng lượng tính đổi của bản mặt cầu, các lớp phủ mặt cầu, hệ dầm ngang trên 1m dài dầm theo phương dọc cầu là $q = 50,25\text{kN/m}$. Diện tích mặt cắt liên hợp $A_{cg} = 1436500\text{mm}^2$, mômen quán tính $I_g = 6,73 \times 10^{11}\text{mm}^4$. Dầm được xét ở điều kiện không được che chắn bảo vệ. Vật liệu gia cường là loại AFRP, chiều dày $t_f = 0,5\text{mm}$, chiều rộng $b_f = 600\text{mm}$, mô đun đàn hồi $E_f = 1,2 \cdot 10^5\text{MPa}$, ứng suất cực hạn $f_{tu}^* = 2400\text{MPa}$, biến dạng cực hạn $\varepsilon_{fu}^* = 0,015$.

Bảng 1. Bảng tính khả năng chịu uốn của dầm sau khi gia cường

TT	Đại lượng tính toán	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
I	SỐ LIỆU ĐẦU VÀO			
1	Cường độ bê tông của dầm	f'_c	40	MPa
2	Cường độ bê tông của bản	f'_c	35	MPa
3	Diện tích cốt thép DU'L	A_{ps}	6300	mm ²
4	Giới hạn bền của thép DU'L	f_{pu}	1860	MPa
5	Mô đun đàn hồi của thép DU'L	E_{ps}	197000	MPa
6	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DU'L tới biên chịu nén	d_p	1924	mm
7	Diện tích cốt thép thường	A_s	2840	mm ²
8	Mô đun đàn hồi của thép thường	E_s	200000	MPa
9	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường tới biên chịu nén	d	1995	mm
10	Giới hạn chảy của cốt thép thường	f_y	400	MPa
11	Loại vật liệu gia cường		AFRP	
12	Số lớp vật liệu FRP gia cường	n_f	2	lớp
13	Chiều dày một lớp FRP	t_f	0,5	mm
15	Bề rộng gia cường ở đáy dầm	b	600	mm
16	Diện tích FRP gia cường	A_f	600	mm ²
17	Cường độ chịu kéo danh định của FRP	f_{fu}^*	2400	MPa
18	Mô đun đàn hồi của FRP	E_f	100000	MPa
19	Biến dạng cực hạn danh định của FRP	e_{fu}^*	0,015	-
II	KẾT QUẢ TÍNH TOÁN			
20	Hệ số của khối ứng suất hình chữ nhật ban đầu	β_1	0,76	-
21	Biến dạng ban đầu của bê tông đáy dầm	ϵ_{bi}	0,00012	-
22	Vật liệu quyết định quá trình phá hoại dầm		FRP	-
23	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm trước khi được gia cường	M_{r0}	20297	kN.m
24	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm sau khi gia cường (có xét tới các yếu tố ảnh hưởng)	M_{r1}	23884	kN.m
25	Hiệu quả gia cường theo M_{r1}	$\%M_1$	17,67	%
26	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm sau khi gia cường (bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng)	M_{r2}	253400	kN.m
27	Hiệu quả gia cường theo M_{r2}	$\%M_2$	25,14	%

Kết quả trên được tính toán theo hai trường hợp và đã cho thấy khả năng chịu uốn của dầm tăng lên đáng kể so với trước khi dầm được gia cường, nếu bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng đã trình bày ở phần 3 thì hiệu quả gia cường sẽ là $\%M_2 = 25,14\%$, nếu xét tới các yếu tố đó thì hiệu quả gia cường thực tế chỉ đạt $\%M_2 = 17,67\%$, như vậy đã có sự sai khác đáng kể giữa hai kết quả.

5. Kết luận

Qua nghiên cứu này nhóm nghiên cứu có một số kết luận sau:

Việc sử dụng các tấm FRP để tăng cường khả năng chịu uốn, kháng cắt cho các kết cấu dầm sẽ đem lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật tốt cho công trình.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, điều kiện môi trường có tác động đáng kể tới hiệu quả gia cường, đặc biệt là khi sử dụng loại sợi thủy tinh và sợi aramid, vì vậy khi thiết kế nâng cấp cầu bằng vật liệu FRP cần lưu ý từng điều kiện môi trường cụ thể để có tính toán cho phù hợp.

Hiệu quả gia cường phụ thuộc rất lớn vào đặc tính cơ học của vật liệu gia cường và chất lượng bê tông bề mặt của cầu kiện được gia cường. Điều này cho thấy, trong công tác gia cường dầm bằng vật liệu FRP, cần lưu ý việc xử lý bề mặt liên kết, nói chung khi gia cường dầm bằng vật liệu FRP thì cường độ bê tông nên lớn hơn 15MPa thì mới có hiệu quả. Mặt khác cũng cần phải lựa chọn loại vật liệu FRP phù hợp với đặc điểm chịu lực của dầm.

Khi sử dụng vật liệu FRP để gia cường kết cấu BTCT, cần lưu ý sự làm việc đồng thời của các loại vật liệu để xác định hiệu quả gia cường hợp lý. Việc xem xét đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng sẽ cho kết quả tính toán gia cường đảm bảo đủ độ tin cậy và đảm

bảo hiệu quả sử dụng công trình, tránh tình trạng phải gia cố lại nhiều lần sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ACI, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", *Report by ACI Committee 440*, American Concrete Institute, July 2008.
- [2]. ACI 318-05 by American Concrete Institute, 2005.
- [3]. Nguyễn Văn Mọi, Nguyễn Tấn Dũng, Hoàng Phương Hoa (2011), "Nghiên cứu giải pháp gia cường dầm bê tông cốt thép bằng các tấm vật liệu composite sợi carbon", *Tạp chí khoa học công nghệ, Đại học Đà Nẵng*.
- [4]. Hoàng Phương Hoa (2012), "*Khai thác, sửa chữa-gia cố công trình cầu*", Nhà xuất bản Xây dựng.
- [5]. Nguyễn Chí Thanh, Lê Mạnh Hùng, Phạm Ngọc Khánh (2011), "Phân tích hiệu quả kỹ thuật giải pháp gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng vật liệu cốt sợi tổng hợp", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*. Số Đặc biệt (11/2011), trang 12-17.
- [6]. Nguyễn Hữu Tuấn, Trần Đình Hoàng (2014), "*Nghiên cứu phương pháp tính toán tăng cường khả năng chịu tải của kết cấu nhịp cầu BTCT giản đơn bằng cách dán tấm vật liệu composite*", Đề tài KH và CN cấp Trường, mã số ĐT14-05, Trường Cao Đẳng Giao thông Vận tải II.
- [7]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05 (2005), Bộ Giao thông Vận tải.

Ngày nhận bài: 07/5/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 17/11/2015.

NGHIÊN CỨU CHI TIẾT SỰ LÀM VIỆC CỦA CẦU DÂY VĂNG KHI LỰC CĂNG CÁP VĂNG THAY ĐỔI

TS. NGUYỄN HỮU HƯNG

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Trong cầu dây văng, cáp văng là một bộ phận quan trọng góp phần tạo ra sự ưu việt của dạng kết cấu này. Hơn nữa, lực căng trong cáp văng là một thành phần quan trọng trong việc phát huy hết các tính ưu việt của cầu dây văng. Các nghiên cứu trước đây thường tập trung nghiên cứu tối ưu hóa lực căng cáp văng. Để làm rõ hơn ảnh hưởng của việc tối ưu hóa lực căng trong cáp văng, bài báo này đi phân tích ảnh hưởng của sự thay đổi lực căng cáp văng đến nội lực, ứng suất và chuyển vị của các bộ phận trong cầu dây văng. Bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong phân tích kết cấu một công trình cầu dây văng cụ thể. Các kết quả đưa ra trong bài báo cho thấy chi tiết hơn ảnh hưởng của lực căng trong cáp văng đến nội lực, ứng suất và chuyển vị của các bộ phận khi tăng giảm lực căng cáp.

Từ khóa: Cầu dây văng, lực căng của cáp văng, tối ưu lực căng.

1. Giới thiệu

Trạng thái ứng suất và chuyển vị trong dầm, tháp cầu dây văng dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên chịu ảnh hưởng lớn từ lực căng trong các cáp văng. Lực căng trong các cáp văng thường được đưa ra để giảm mô men uốn trong dầm chủ và phản lực gối. Lực căng cáp nên được chọn bằng cách khử hoặc giảm mô men uốn trong dầm và tháp. Như vậy, trong trường hợp đó dầm cầu và tháp sẽ chủ yếu chịu lực nén dưới tác dụng của tĩnh tải. Trong trường hợp dầm bê tông, lực nén này giảm độ võng do từ biến và những sự bất lợi trong kết cấu bê tông. Hơn nữa, những hiệu ứng thứ cấp sẽ được giảm [1].

Người thiết kế thông thường đầu tiên lựa chọn điều kiện của giai đoạn cuối cùng và sau đó xác định lực cáp ban đầu. Các lực cáp ban đầu được xác định bằng phân tích các giai đoạn thi công sau đó được sử dụng cho những cáp văng ở thời điểm lắp đặt. Để ước tính các lực cáp, phương pháp đơn giản nhất là giả sử các đoạn dầm như là dầm giản đơn được đỡ bởi các dây cáp như minh họa trong hình 1.

Phương pháp dầm giản đơn có thể sử dụng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ để ước tính diện tích cáp. Phương pháp đơn giản khác đó là giả sử dưới tác dụng của tải trọng tĩnh tải, dầm chủ làm việc giống như dầm liên tục và cáp văng cung cấp gối cứng cho dầm. Những thành phần thẳng đứng của lực trong cáp văng tương đương với những phản ứng gối. Virlogeux [2] miêu tả thủ tục thứ nhất bằng phương pháp quả lắc: Lực căng cáp được đánh giá từ mặt cắt neo tới tháp bằng cân bằng tải trọng. Sự phân bố tải trọng của mỗi đoạn ở giữa hai cáp được minh họa như hình 1.

$$S_i \cdot \sin \alpha_i = \frac{1}{2} \cdot (P_i + P_{i+1}) \quad (1)$$

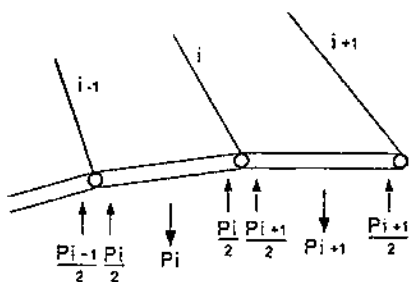
và cân bằng lực nằm ngang, lực dọc N_i

$$N_i \cdot \cos \beta_i = N_{i+1} \cdot \cos \beta_{i+1} + S_i \cdot \cos \alpha_i \quad (2)$$

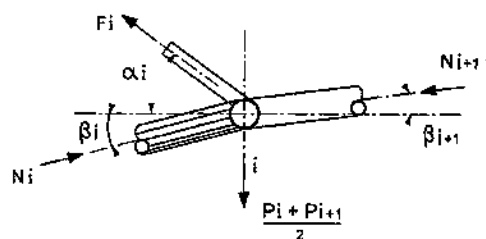
Lực cáp S_i và lực dọc N_i xác định như sau:

$$S_i = \frac{1}{2 \cdot \sin \alpha_i} \cdot (P_i + P_{i+1}) \quad (3)$$

$$N_i = \frac{1}{\cos \beta_i} \left[N_{i+1} \cdot \cos \beta_{i+1} + \frac{P_i + P_{i+1}}{2 \cdot \tan \alpha_i} \right]$$



Hình 1. Minh họa quy luật quả lắc [3]



Để nhận mô men uốn nhỏ nhất trong tháp, lực căng cáp chiếu xuống hướng ngang phải được cân bằng.

$$S'_i \cdot \cos \alpha'_i = S_i \cdot \cos \alpha_i \quad (4)$$

Ở đây S_i và S'_i là các cáp đối xứng qua tháp; α_i và α'_i là các góc nghiêng của cáp tương ứng.

Bên cạnh các công thức đơn giản trên, Gimsing [4] phát triển công thức để xác định lực cáp có đưa thêm vào độ cứng của dầm và tháp.

Ngày nay cùng với sự phát triển của máy tính, nhiều chương trình phân tích sử dụng phương pháp tối ưu để xác định lực cáp. Dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, hàm mục tiêu được chọn theo cách có nội lực (mô men uốn) được phân bố đều và nhỏ hoặc độ võng của kết cấu được giới hạn với sai số cho phép.

Do kết cấu dây văng là hệ thống phức tạp, nên không thể có lời giải duy nhất cho việc tính toán trực tiếp lực căng cáp ban đầu. Thông thường đây là quá trình lặp đi lặp lại để tìm ra lời giải tối ưu nhất [5]. Việc chứng minh sự tối ưu, sự hội tụ của lực căng cáp là rất cần thiết đối với các nhà nghiên cứu cũng như các kỹ sư thiết kế.

Để thấy rõ hơn được sự tối ưu của lực căng cáp được xác định thông qua giải bài toán tối ưu, bài báo thông qua một ví dụ cụ thể đi phân tích chi tiết ảnh hưởng của lực căng cáp đối với nội lực, ứng suất và chuyển vị trong dầm, tháp và cáp văng.

2. Lý thuyết cơ bản xác định lực cáp văng tối ưu

Như đã trình bày ở trên, sự phân bố mô men và chuyển vị của dầm và tháp có thể đạt được trạng thái lý tưởng thông qua điều chỉnh lực căng cáp. Thông qua sử dụng véc tơ và ma trận, mô men hoặc chuyển vị của trạng thái lý tưởng I có thể được viết như sau:

$$I = [i_1 \ i_2 \ \dots \ i_n]^T \quad (5)$$

Ở đây: n là tổng số mục tiêu cần thỏa mãn và T là kí hiệu chuyển đổi của ma trận hoặc véc tơ. Tiệm cận với kết quả lý tưởng như miêu tả trong phương trình (5), kết quả lực căng cáp văng S có thể được viết như sau:

$$S = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]^T \quad (6)$$

trong đó: m là số cáp văng được điều chỉnh.

Bằng phân tích phản ứng của lực căng đơn vị áp dụng với cáp văng điều chỉnh, những giá trị của toàn bộ mục tiêu trên có thể nhận được. Khi thực hiện m

vòng phân tích được hoàn thành, ma trận ảnh hưởng T có thể nhận được:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ở đây t_{nm} là phản ứng của mục tiêu thứ n do lực đơn vị của cáp m gây ra. Như vậy, quan hệ của mô men (chuyển vị) có thể được viết như sau:

$$T \cdot S = I \quad (8)$$

Nếu số cáp điều chỉnh tương tự số mục tiêu, tập hợp I với giá trị mục tiêu đã chỉ định, các lực căng cáp S có thể nhận được bởi giải phương trình tuyến tính (8). Trong trường hợp này, kinh nghiệm kỹ thuật là rất cần thiết để lựa chọn các giá trị mục tiêu thích hợp. Trong phương pháp này giá trị m không thể lớn hơn giá trị n . Nếu như trong phần lớn trường hợp, m nhỏ hơn n , lực căng cáp có thể được tối ưu nên sai số của giá trị mục tiêu và trạng thái chỉ định được giữ ở mức tối thiểu. Phương pháp bình phương sai số tối thiểu là cách hiệu quả để tối ưu I . Giả sử A là giá trị điều chỉnh có dạng tương tự I . E là sai số giữa A và I , như vậy, có thể được viết được phương trình như sau:

$$E = A - I \quad (9)$$

Tối ưu lực căng cáp là tối thiểu Ω , bình phương của E . Với định nghĩa này, Ω có thể được viết như sau:

$$\Omega = (A - I)^T \cdot (A - I) \quad (10)$$

Điều kiện để tối thiểu Ω là:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial s_i} = 0, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (11)$$

Thay Ω vào phương trình trên có thể nhận được phương trình sau:

$$T^T T \cdot S = T^T A \quad (12)$$

Sau khi tính toán S từ phương trình (12), giá trị mục tiêu tối ưu có thể được tính bằng phương trình (8). Phương pháp tương tự như trên cũng có thể được áp dụng để điều chỉnh sai số trong quá trình lặp đặt. Để thấy rõ hơn thuật toán trên, trong mục sau sẽ trình bày một ví dụ cụ thể được.

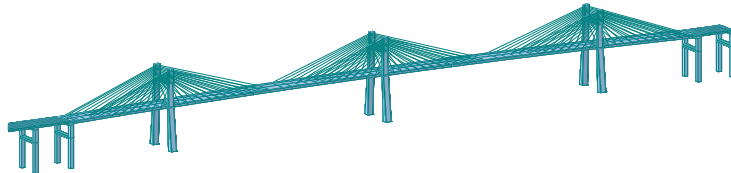
Sau khi nhận được giá trị tối ưu của lực căng trong cáp, lần lượt coi các lực căng trong cáp là ẩn có thể xây dựng được hàm quan hệ giữa lực căng của cáp tương ứng đối với các ứng xử của các bộ phận trong cầu dây văng.

3. Kết quả mô phỏng số và đánh giá

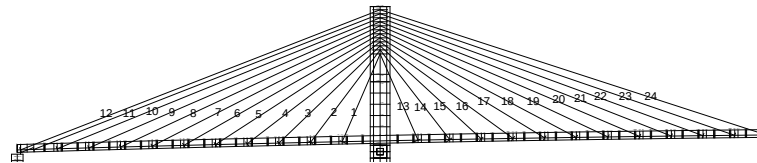
Để phân tích ảnh hưởng của lực căng cáp đến nội lực, ứng suất và chuyển vị của dầm, tháp và cáp văng bài báo đi phân tích một công trình cụ thể với các thông tin cơ bản sau:

Kết cấu cầu dây văng 2 mặt phẳng dây với sơ đồ nhịp: (110+2x240+110)m, 3 trụ tháp cao chữ H; kết cấu nhịp cầu dây văng dạng dầm chữ II bằng BTCT

DUL với chiều cao dầm không đổi trên toàn bộ chiều dài cầu là 2.35m, khoảng cách giữa hai sườn dầm là 23m, bề rộng cầu $B = 25\text{m}$, chiều dày bản mặt cầu là 0.25m; tháp cầu gồm 3 trụ tháp cao chữ H; mặt cắt ngang tháp dạng chữ nhật rỗng có kích thước thay đổi theo chiều cao tháp từ 2.5×4.5 trên đỉnh tháp và $6.0 \times 6.6\text{m}$ chân tháp; trên mỗi tháp bố trí 48 bó cáp văng (24 bó cáp văng trên một mặt phẳng dây). Tổng số 3 tháp là $3 \times 48 \text{ cáp} = 144 \text{ cáp văng}$.



Hình 2. Mô hình cầu bằng phương pháp phần tử hữu hạn

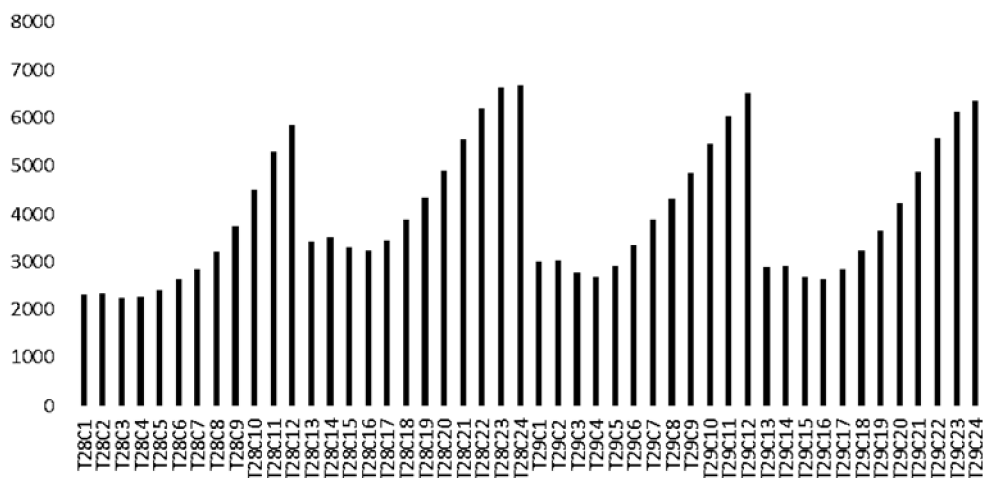


Hình 3. Thứ tự đánh số cáp văng trong mỗi tháp

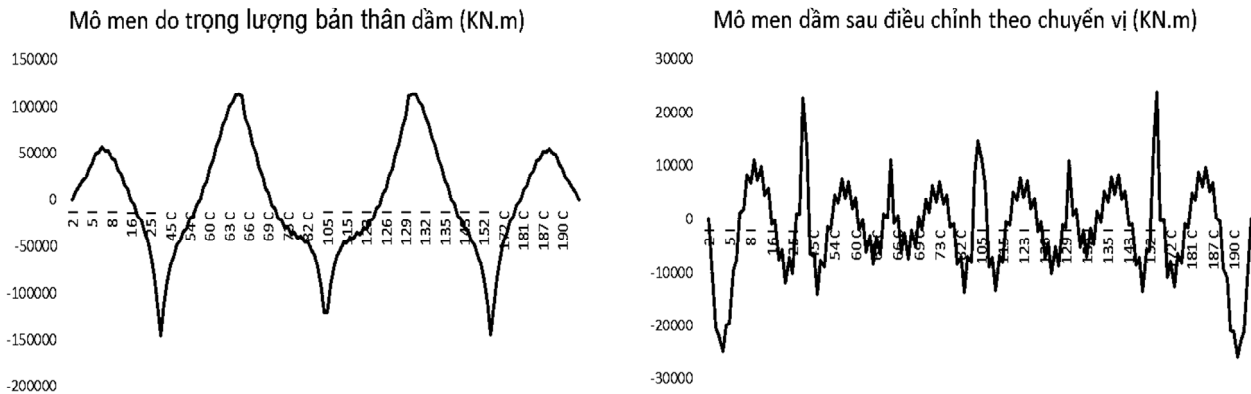
3.1 Kết quả nội lực với lực căng cáp tối ưu

Như lý thuyết trình bày ở trên, trong trường hợp này sử dụng hàm mục tiêu là chuyển vị để xác định lực căng ban đầu trong cáp văng. Do kết cấu cầu đối xứng nên chỉ quan tâm đến kết quả lực căng tại hai tháp đầu tiên. Trong các hình minh họa dưới đây (trừ hình 4, hình 16 trực hoành thể hiện các cáp văng) trực hoành thể hiện vị trí dọc theo dầm và tháp, trực tung thể hiện giá trị tương ứng với các hình. Kết quả tính toán nội lực, ứng suất và chuyển vị được thể hiện như sau:

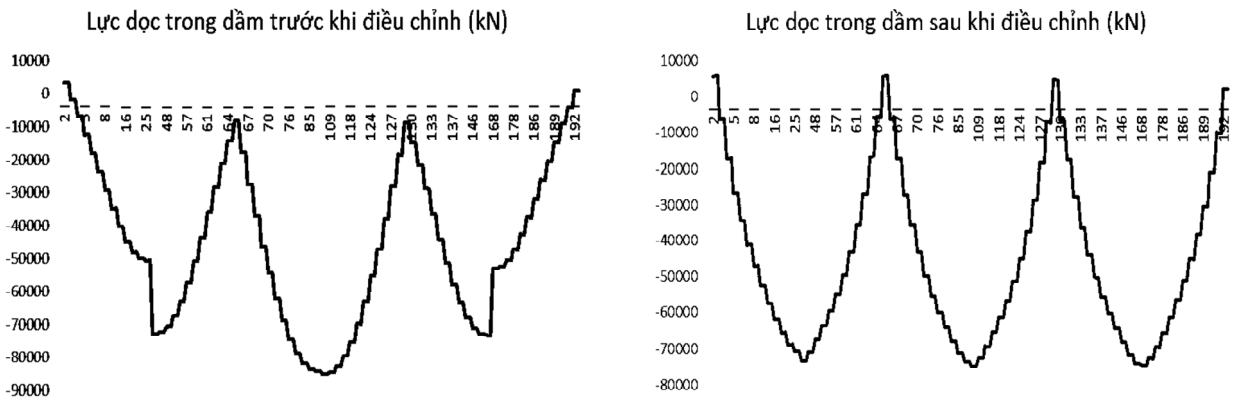
Lực căng trong cáp tại tháp thứ nhất và thứ hai (KN)



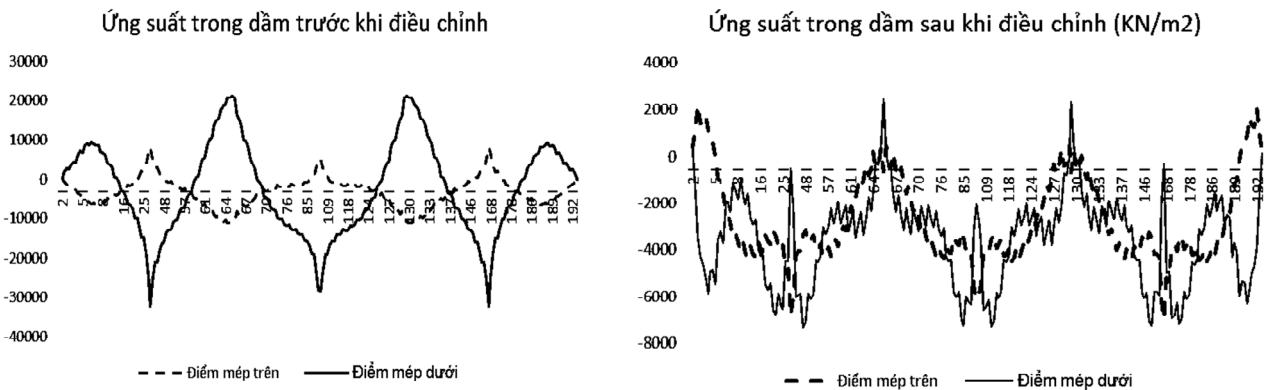
Hình 4. Lực căng trong cáp văng



Hình 5. Mô men dầm trước và sau điều chỉnh



Hình 6. Lực dọc trong dầm trước và sau khi điều chỉnh



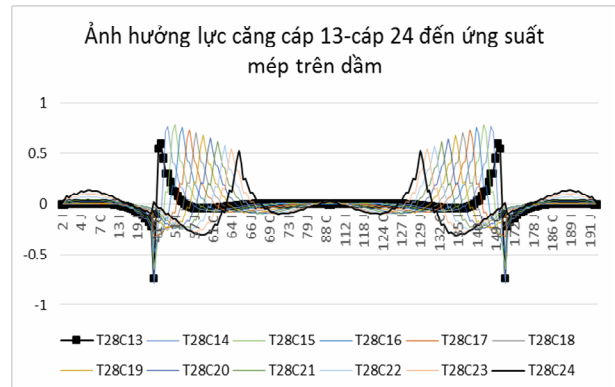
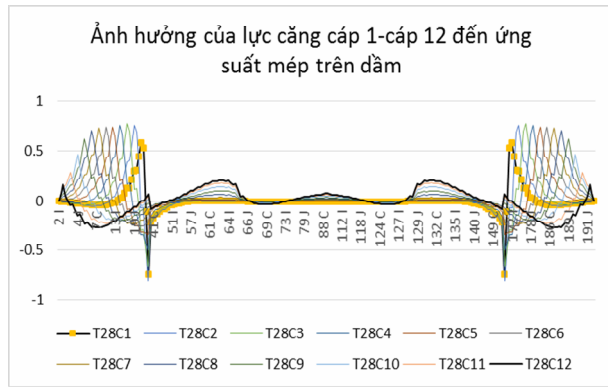
Hình 7. Ứng suất trong dầm trước và sau khi điều chỉnh

Sau khi điều chỉnh, kết quả ứng suất bất lợi (kéo) trong dầm chủ giảm rõ rệt, chỉ còn vị trí nhịp biên và vị trí trên đỉnh trụ còn xuất hiện ứng suất kéo lớn nhưng vẫn nằm trong giới hạn ứng suất kéo cho phép của bê tông. Từ hình 7 cho thấy ứng suất kéo của mép trên và ứng suất kéo ở mép dưới tương đối bằng nhau, kết quả này phần nào khẳng định được lực căng trong cáp gần như tiệm cận tới giá trị tối ưu. Phần 3.2 sẽ đi phân tích chi tiết xu hướng tăng giảm ứng suất

trong dầm do việc tăng giảm lực căng so với lực căng hiện tại.

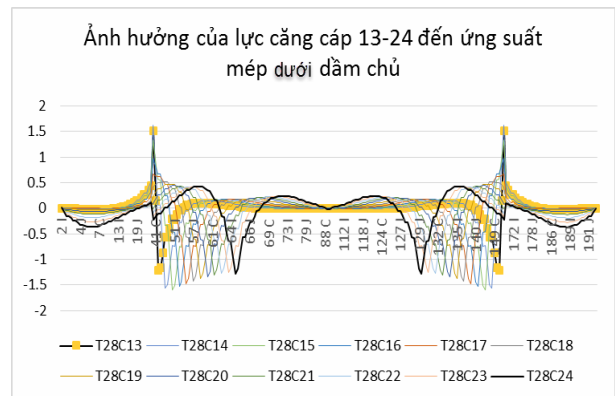
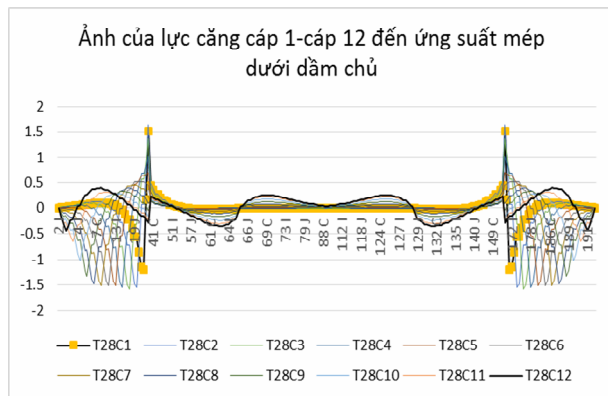
3.2 Xét ảnh hưởng của lực cáp văng tới dầm chủ

Để thấy rõ hơn ảnh hưởng của lực căng cáp đến ứng suất trong dầm chủ, bài báo đi phân tích ảnh hưởng của 24 cáp văng đến ứng suất mép trên và mép dưới của dầm.



Hình 8. Ảnh hưởng của lực căng cáp vắng tới ứng suất mép trên dầm

Qua biểu trên cho thấy ảnh hưởng của cáp 1 – cáp 12 đến ứng suất của mép trên dầm nhịp biên lớn hơn ảnh hưởng của cáp 13 - cáp 24 đến ứng suất mép trên dầm. Phần ảnh hưởng dương có nghĩa là khi tăng lực căng cáp thì ứng suất cũng tăng theo. Như theo hình 8 lực căng cáp C10, C22, C11, C23 và C12, C24 cần được giảm.



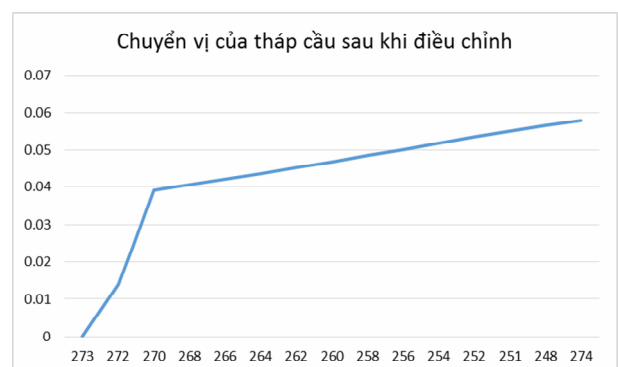
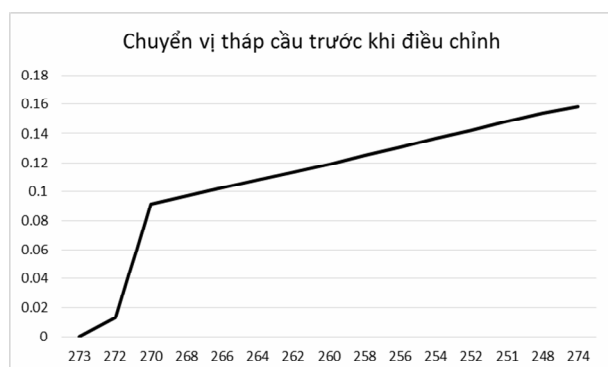
Hình 9. Ảnh hưởng của lực căng cáp vắng tới ứng suất mép dưới dầm

Từ hình trên có thể thấy khu vực dầm cần giảm ứng suất kéo chịu ảnh hưởng âm của các lực căng cáp C10, C22, C11, C23 và C12, C24 như vậy nếu muốn giảm ứng suất kéo trong dầm cần phải tăng lực căng trong cáp C10, C22, C11, C23 và C12, C24. Bên cạnh đó cũng nhận thấy ảnh hưởng của các cáp còn lại tới đoạn dầm cần giảm ứng suất là ít ảnh hưởng hơn các cáp liệt kê trên.

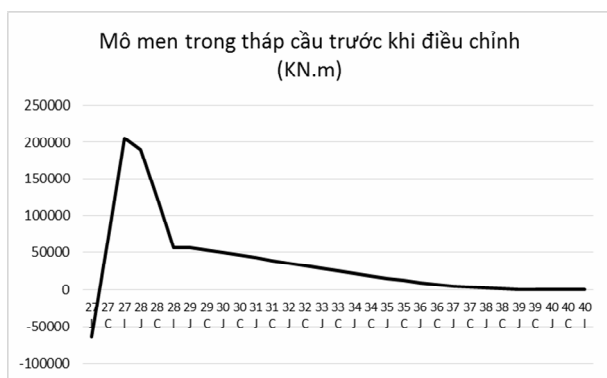
Kết hợp biểu đồ trong hình 8, 9 và 10 có thể thấy việc giải lực cáp theo phương pháp đưa ra ở trên hoàn toàn có thể thu được sự tối ưu cần thiết.

3.3 Xét ảnh hưởng của lực cáp vắng tới tháp cầu

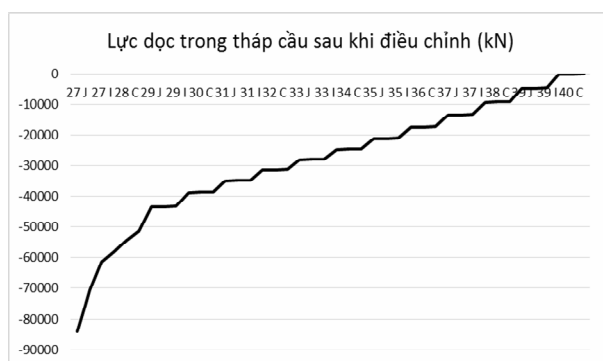
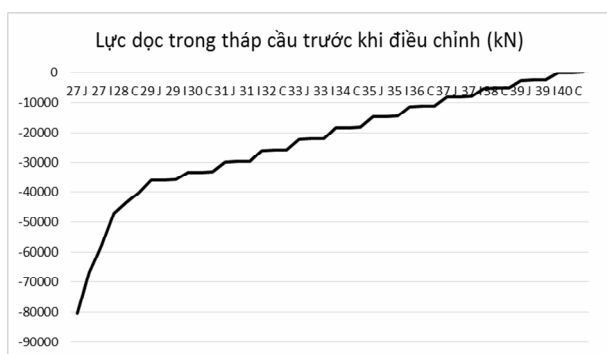
Để thấy rõ được sự tối ưu trong trường hợp này sẽ đi xét ảnh hưởng của lực căng cáp đến tháp thứ nhất. Các phân tích về chuyển vị, ứng suất và nội lực sẽ được thể hiện trường hợp trước và sau khi điều chỉnh nội lực, kết quả thể hiện thông qua các biểu đồ dưới đây. Trong các biểu đồ dưới đây trục hoành (nằm ngang) thể hiện trục dọc tháp cầu.



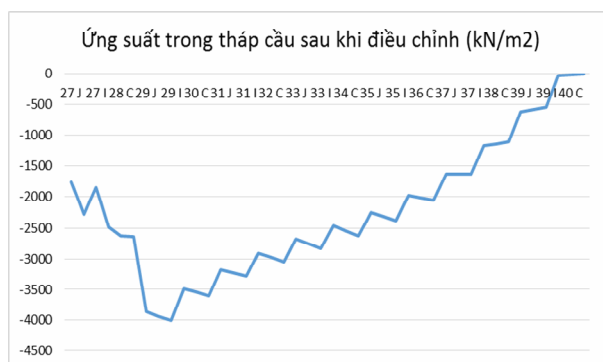
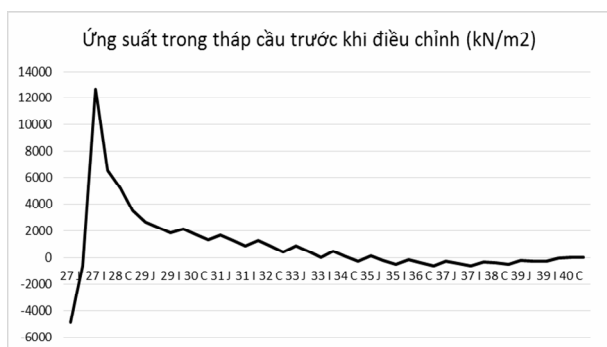
Hình 10. Chuyển vị theo phương dọc cầu của tháp cầu trước và sau khi điều chỉnh nội lực



Hình 11. Mô men trong tháp cầu trước và sau khi điều chỉnh nội lực

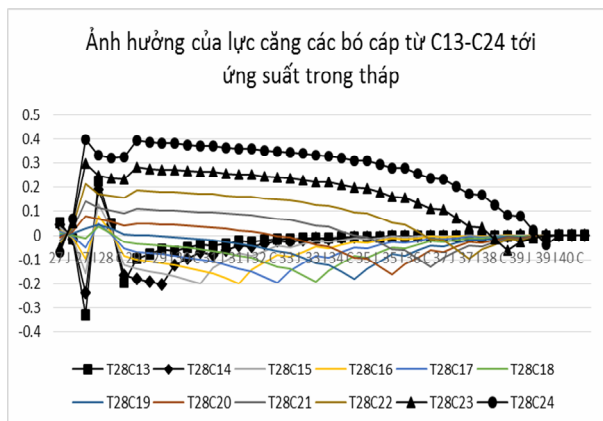
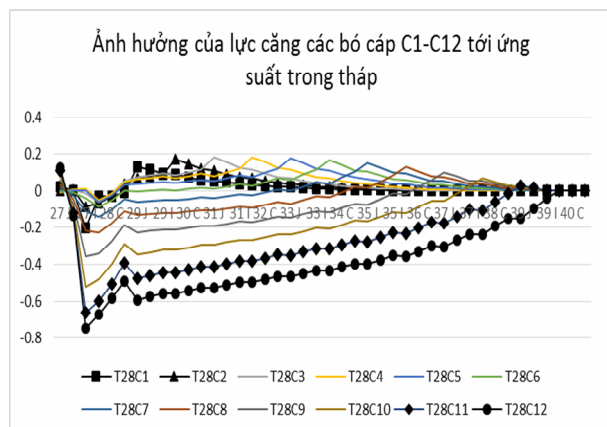


Hình 12. Lực dọc trong tháp cầu trước và sau khi điều chỉnh nội lực

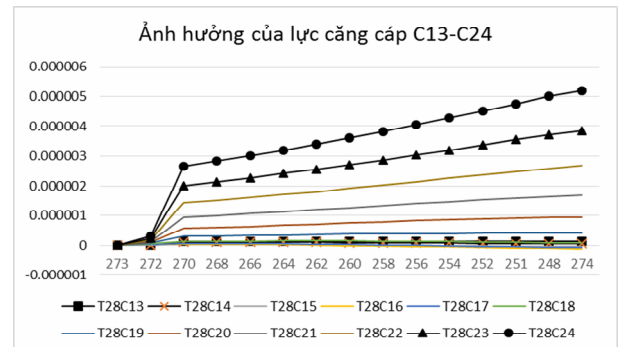
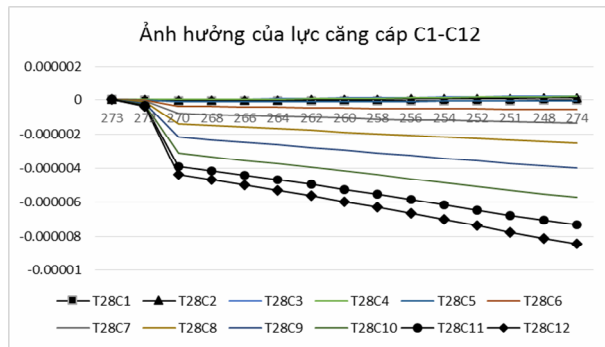


Hình 13. Ứng suất trong tháp cầu trước và sau khi điều chỉnh nội lực

Kết quả của các hình 10, 11, 12 và 13 cho thấy hiệu quả của việc điều chỉnh nội lực, ứng suất kéo trong tháp gần như được triệt tiêu, chuyển vị đỉnh tháp theo phương dọc cầu giảm đáng kể. Thành phần nội lực có lợi trong tháp cầu (lực dọc) gần như được duy trì, thành phần nội lực bất lợi trong tháp cầu (mô men uốn) được giảm đáng kể.



Hình 14. Ảnh hưởng của lực căng đến ứng suất trong tháp

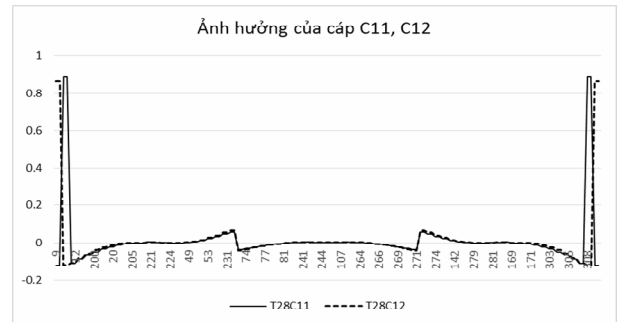
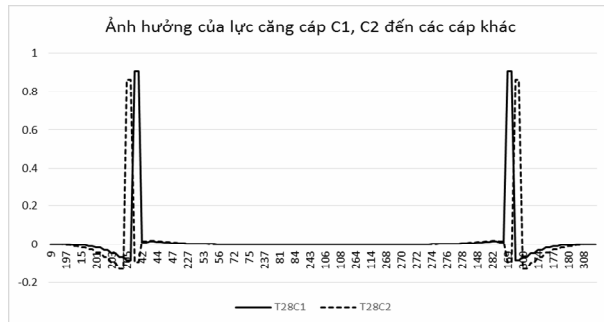


Hình 15. Ảnh hưởng của lực căng đến chuyển vị tháp

Kết quả phân tích trên cho thấy ảnh hưởng của các cáp văng ngoài (xa tháp cầu) là rất lớn đối với ứng suất và chuyển vị trong tháp cầu. Các cáp văng trong (gần tháp) có ảnh hưởng không đáng kể đến chuyển vị và ứng suất của tháp cầu.

3.4 Xét ảnh hưởng của lực cáp văng tới các cáp văng khác

Phân tích ảnh hưởng của cáp văng đến cáp văng khác giúp chỉ ra được xu hướng biến đổi lực căng cáp văng khi thay đổi lực căng trong mỗi cáp văng. Trong bài báo phân tích ảnh hưởng của cáp văng C1, C2, C11, C12 tại tháp 1 và tháp 3 đến các cáp văng khác. Kết quả tính toán được thể hiện trong hình dưới đây:



Hình 16. Phân tích ảnh hưởng giữa các cáp văng

Biểu đồ trên hình 16 cho thấy ảnh hưởng đến chính bản thân cáp văng đó là lớn nhất (hệ số ảnh hưởng gần đạt đến giá trị bằng 1), ảnh hưởng qua lại giữa các cáp văng có xu hướng ngược chiều nhau (biểu đồ có giá trị âm), có nghĩa là khi cáp văng thay đổi có xu hướng giảm lực căng thì các cáp văng xung quanh có xu hướng tăng lực căng và ngược lại.

4. Kết luận

Bài báo đã phân tích chi tiết phương pháp xác định lực căng tối ưu trong cáp của một cầu dây văng cụ thể. Các phân tích chi tiết ở trên cho thấy sự ảnh hưởng của việc tăng giảm lực căng trong cáp đến nội lực, chuyển vị và ứng suất trong dầm, tháp và cáp văng. Phân tích trên góp phần làm sáng tỏ hơn việc tối ưu hóa lực căng trong cáp cầu dây văng.

Qua phân tích ở trên có thể thấy ảnh hưởng của cáp văng C1, C2, C23, C24 là rất lớn đến sự làm việc của dầm và tháp. Khi thiết kế cần có những theo dõi đặc biệt đối với những cáp nêu trên.

Nghiên cứu trên góp phần giúp ích cho nhà quản lý, các cơ quan nghiên cứu lựa chọn vị trí tối ưu khi lắp đặt các thiết bị theo dõi sự làm việc tổng thể của kết cấu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Walther, R. (1990). "Cable-stayed bridges". 2nd edition, Thomas Telford, London.
- [2]. Virlogeux, M. (1994). "Erection of cable-stayed bridges – The control of the designed geometry". International Conference A.I.P.C.– F.I.P.–Cable-stayed and suspension bridges, Volume 2, pp 321-350, Deauville.
- [3]. Marko Justus Grabow (2004). "Construction Stage Analysis of Cable-Stayed Bridges", Thesis submitted to the Faculty of the Technical University of Hamburg, Hamburg, Germany.
- [4]. Gimsing, N.J. (1994). "Cable Supported Bridges - Concept and Design". 2nd edition, John Wiley & Sons, London.
- [5]. B. Asgari, S. A. Osman, and A. Adna (2014). "A New Multi-constraint Method for Determining the Optimal Cable Stresses in Cable-Stayed Bridges". the Scientific World Journal, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2014, pp 1-9.

Ngày nhận bài: 15/11/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 25/11/2015.