

Xác định sức kháng uốn danh định của dầm bê tông cốt thép dự ứng lực tiết diện chữ "I" liên hợp bản mặt cầu bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn hiện hành

■ PHAN TẤN DUY; TS. NGUYỄN DUY LIÊM; TS. NGUYỄN HUỲNH TẤN TÀI

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-5:2017 mới ban hành được biên soạn dựa trên tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO, LRFD Bridge Design, Hoa Kỳ. Tiêu chuẩn này trình bày cách xác định sức kháng uốn danh định của dầm bê tông cốt thép (BTCT) dự ứng lực cho trường hợp tiết diện chữ nhật và chữ "I" dùng chỉ một loại bê tông. Điều này thường không phù hợp cho loại dầm - bản liên hợp sử dụng hai loại bê tông có cường độ nén khác nhau. Bài báo này trình bày cách xác định sức kháng uốn danh định của dầm BTCT dự ứng lực tiết diện chữ "I" liên hợp bản mặt cầu BTCT. Kết quả nghiên cứu giúp kỹ sư thiết kế cầu, đặc biệt là các em sinh viên ứng dụng để xác định sức kháng uốn phù hợp.

TỪ KHÓA: Dầm bê tông dự ứng lực, mô-men danh định, phân tích mặt cắt ngang, sức kháng uốn.

ABSTRACT: The new Highway Bridge Design Specification TCVN 11823-5:2017 was built based on the AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications of America. In this specification, the nominal moment resistances of prestressed concrete beam was provided with rectangular section or "I" section using only one type of concrete. It is not suitable with beam - deck slab composited using two types of concretes with different compressive strengths. This paper deals with nominal moment resistance of prestressed concrete beam with "I" section composited reinforcement concrete deck slab. The research is greatly expected to help bridge engineers and students determine moment resistance of prestressed concrete beam properly.

KEYWORDS: Prestressed concrete beam, nominal moment, section analysis, bending resistance

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện tại, sức kháng uốn danh định (M_n) của dầm BTCT dự ứng lực xác định theo công thức của tiêu chuẩn thiết kế cầu mới ban hành TCVN 11823-5:2017 [1] (dựa trên nền LRFD Bridge Design Specifications of America [2]) và ngay cả tiêu chuẩn thiết kế trước đây 22TCN 272-05 [3] (dựa trên nền AASHTO 98 [4]), chưa đề cập đến

trường hợp bê tông dầm tiết diện chữ "I" liên hợp với bản mặt cầu BTCT có cường độ nén khác nhau. Đối với kết cấu dầm liên hợp này, bản mặt cầu thường được thiết kế đổ tại chỗ sử dụng bê tông thường có cường độ nén thấp hơn của bê tông dầm chủ có dự ứng lực, ví dụ trong công thức xác định M_n khi dùng công thức (29) và (32) trong TCVN 11823-5:2017, hoặc công thức 5.7.3.1.1-3 và 5.7.3.1.2-3 trong TCN 272-05 chỉ có một loại bê tông. Điều này thực sự gây khó khăn cho người sử dụng không biết quy đổi về một loại bê tông thế nào cho phù hợp. Bài báo bổ sung sức kháng uốn của dầm BTCT dự ứng lực có tiết diện chữ "I" liên hợp với bản mặt cầu BTCT với các trường hợp thực trung hòa qua bản cánh, qua bầu dầm trên và qua sườn dầm "I".

2. PHÂN TÍCH VÀ THIẾT LẬP CÔNG THỨC

2.1. Công thức xác định M_n theo Tiêu chuẩn TCVN 11823-5:2017

2.1.1. Tiết diện chữ nhật

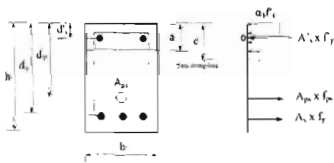
Theo phân bố ứng suất và lực mô tả ở Hình 2.1, vị trí trục trung hòa được xác định theo (1) từ phương trình cân bằng tĩnh học các lực ngang. Lấy mô-men đối với điểm O là trọng tâm vùng nén của bê tông ta được sức kháng uốn danh định đối với tiết diện hình chữ nhật theo (2).

$$c = \frac{(A_s \cdot x_f + A_p \cdot x_p - A_s \cdot x_s)}{\alpha_1 \cdot x_s \cdot \beta_1 \cdot b + k \cdot A_s \cdot \frac{x_s}{d_p}} \quad (1)$$

$$M_n = A_s \cdot x_s \cdot (d_s - \frac{a}{2}) + A_p \cdot x_p \cdot (d_p - \frac{a}{2}) - A_s \cdot x_s \cdot (d_s - \frac{a}{2}) \quad (2)$$

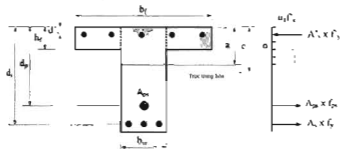
Qui định ở Điều 7.2.2 Tiêu chuẩn TCVN 11823-5:2017, cấp dự ứng lực f_{pu} và hệ số k có thể lấy như sau:

$$f_{pu} = f_{pu} \times (1 - \frac{k \cdot x_c}{d_p}); \quad k = 2 \times (1,04 - \frac{f_{pu}}{f_{pu}}); \quad a = \beta_1 \cdot x_c$$



Hình 2.1: Sơ đồ phân bố ứng suất mặt cắt tiết diện hình chữ nhật

- A_p - Diện tích mặt cắt ngang của cáp dự ứng lực (mm^2);
 - f_{pp} - Cường độ chịu kéo quy định của cáp dự ứng lực (MPa);
 - f_y - Giới hạn chảy của cáp dự ứng lực (MPa);
 - A_s, A' - Lấn lượt là diện tích cốt thép thường chịu kéo và chịu nén (mm^2);
 - f_y, f_y' - Lấn lượt là giới hạn chảy của cốt thép chịu kéo và chịu nén (MPa);
 - d_p - Khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến tâm bộ cáp dự ứng lực (mm);
 - d_s - Khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến trọng tâm thép chịu kéo (mm);
 - d_s' - Khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến trọng tâm thép chịu nén (mm);
 - β_j - Hệ số qui đổi hình khối ứng suất qui định ở Điều 7.2.2;
 - $a = \beta_j \times c$ - Chiều dày của biểu đồ khối ứng suất tương đương;
 - b - Chiều rộng của bề mặt cấu kiện chịu nén đối với hình chữ nhật chính là chiều rộng của hình chữ nhật (mm);
 - α_j - Hệ số quy đổi hình khối ứng suất qui định ở Điều 7.2.2 (bảng 0.85 nếu cường độ bê tông f_c nhỏ hơn 70MPa).
- 2.1.2. Tiết diện chữ "T"**



Hình 2.2: Sơ đồ phân bố ứng suất mặt cắt tiết diện hình chữ T

Lập phương trình cân bằng tĩnh học theo mô tả Hình 2.2:

$$\sum X = 0 \Rightarrow A_n \times f_n + A_s \times f_s - A_n' \times f_n' - \alpha_j \times f_c' \times a \times b_1 - \alpha_j \times f_c \times a \times (b_2 - b_1) = 0$$

Thay $a = \beta_j \times c$ và $f_n = f_n \times (1 - \frac{k \times c}{d_p})$ vào phương trình cân bằng tĩnh học ta tìm được c theo (3) và mô-men đối với trọng tâm vùng nén O theo công thức (4).

$$c = \frac{(A_n \times f_n + A_s \times f_s - A_n' \times f_n' - \alpha_j \times f_c' \times \beta_j \times (b_1 - b_2) \times h_1)}{\alpha_j \times f_c \times \beta_j \times b_2 + k \times A_n \times \frac{f_n}{d_p}} \quad (3)$$

$$M_n = A_n \times f_n \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_s \times f_s \times (d_s - \frac{a}{2}) - A_n' \times f_n' \times (d_s' - \frac{a}{2}) + \alpha_j \times \beta_j \times f_c \times (b_1 - b_2) \times b_1 \times (\frac{h_1}{2} - \frac{a}{2}) \quad (4)$$

Trọng đơ: b - Chiều rộng cánh của tiết diện chữ T; b_2 - Chiều rộng sườn của tiết diện chữ T; h_1 - Bề dày cánh của tiết diện chữ T (mm).

2.2. Thiết lập công thức xác định M_n cho tiết diện chữ "T" hình thành từ chữ "I" liên hợp bản mặt cầu

Trong phần này, tác giả bài báo nghiên cứu bổ sung những phần sau: a) Xem xét tiết diện chữ "T" hình thành từ dầm tiết diện chữ "I" liên hợp bản mặt cầu; b) Xem xét quy đổi cường độ nén bê tông bản mặt cầu và dầm "I" về cùng loại.

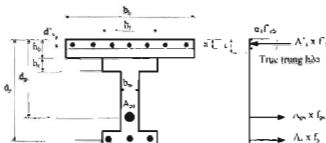
2.2.1. Trục trung hòa qua cánh

* Phân tích

- Bước 1 giả thiết trục trung hòa qua bản mặt cầu (cánh T), tìm vị trí trục trung hòa theo tiết diện chữ nhật lớn bằng công thức (3).

- Bước 2 kiểm tra xem có đúng như giả thiết không. Trường hợp thỏa mãn giả thiết, tính toán như tiết diện hình chữ nhật lớn với bề rộng tiết diện là bề rộng cánh, bề tổng dùng tính toán là bề tổng bản mặt cầu ($b = b_2$ và $f_c = f_{c0}$) (Hình 2.3).

Ghi chú: Trường hợp có thêm cáp dự ứng lực thớ chịu nén, A_{pn} ta xem cáp dự ứng lực thớ nén như là thành phần của cáp dự ứng lực thớ kéo. Vị trí và diện tích cáp dự ứng lực tổng hợp có thể xác định qua mô-men tĩnh.



Hình 2.3: Sơ đồ tính toán trường hợp trục trung hòa qua bản

Vị trí trục trung hòa.

$$c = \frac{(A_{pn} \times f_{pn} + A_s \times f_s - A_n' \times f_n')}{\alpha_j \times f_c \times \beta_j \times b_2 + k \times A_n \times \frac{f_n}{d_p}} \quad (5)$$

Kiểm tra điều kiện để trục trung hòa đi qua bản mặt cầu $c < h_1$ nếu thỏa tính sức kháng uốn danh định:

$$M_n = A_n \times f_n \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_s \times f_s \times (d_s - \frac{a}{2}) - A_n' \times f_n' \times (d_s' - \frac{a}{2}) \quad (6)$$

* Ví dụ tính toán 1

Xét dầm - bản liên hợp như Hình 2.3 có kích thước như sau: Dầm có chiều cao dầm $h = 800\text{mm}$, chiều rộng cánh $b_1 = 300\text{mm}$, bề dày cánh trên $h_1 = 150\text{mm}$, chiều cao sườn $h_2 = 500\text{mm}$, bề rộng sườn $b_2 = 180\text{mm}$ Thép dưới đáy dầm: 3#20. Lớp bê tông bảo vệ $a_{c0} = 50\text{mm}$. Bê tông dầm có cường độ chịu nén $f_{c0} = 45\text{MPa}$, mô-đun đàn hồi của cáp $E_{ps} = 197000\text{MPa}$. Cường độ kéo đứt của cáp $f_{pp} = 1860\text{MPa}$. Diện tích tổng công các tạo cáp là $A_{ps} = 60\text{cm}^2$ cách đáy dầm 100mm. Bản mặt cầu có chiều dài $b_2 = 2500\text{mm}$, dày $h_2 = 200\text{mm}$. Thép trong bản mặt cầu 12#12. Bề mặt cầu có cường độ chịu nén $f_{c0} = 30\text{MPa}$. Giả thiết cốt thép đạt tới giới hạn chảy dẻo $f_s = f_y = 400\text{MPa}$. Xác định sức kháng uốn danh định trong giai đoạn dầm - bản liên hợp.

Tính toán:

$$A_n = 3 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 300; \quad A_s = 12 \times \pi \times 12^2 / 4 = 432 \quad (\text{mm}^2)$$

Các khoảng cách:

$$d_s = 950 \text{ (mm)} \quad d_p = 900 \text{ (mm)}$$

$$\text{Hệ số } \beta_j = 0.85 - (f_s - 28) / 7 \times 0.05 = 0.84$$

$$\text{Hệ số } k = 2 \times (1.04 - f_n / f_{pn}) = 2 \times (1.04 - 0.9) = 0.28$$

$$\text{Theo (5): } c = 192.8 \text{ mm, suy ra } a = \beta_j \times c = 192.8 \times 0.84 = 161.9 \text{ mm.}$$

Kiểm tra điều kiện trục trung hòa: $a = 161.9 \text{ mm} < h_1 = 200 \text{ mm}$ (thỏa giả thiết).

Tính theo tiết diện hình chữ nhật lớn, ta có:

$$f_{cn} = 1860 \times (1 - \frac{0.28 \times 192.8}{900}) = 1747.8 \text{ MPa}$$

Sức kháng uốn danh định theo (6):

$$M_u = 8933.64 \text{ (kN.m)}$$

2.2.2. Trục trung hòa qua bầu trên của dầm "I"

Bước 1 giả thiết trục trung hòa qua bầu trên của dầm kiểm tra vị trí trục trung hòa xem có đúng như giả thiết không. Trường hợp thỏa mãn giả thiết, tính toán như tiết diện hình chữ T với sơ đồ tính như Hình 2.4. Xem xét quy đổi cường độ nén bê tông bản mặt cầu và dầm "I" về cùng loại rồi xác định sức kháng danh định M_u .

* Phân tích quy đổi bê tông dầm thành bê tông bản mặt cầu:

Bề rộng bầu dầm trên quy đổi thành $b_y' = b \cdot \frac{E_{cd}}{E_{cs}}$, với E_{cs} và E_{cd} lần lượt là mô-đun đàn hồi của bê tông dầm và bê tông bản.

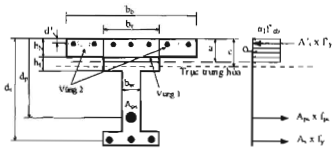
Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_c' = f_{cb}'$, vị trí trục trung hòa:

$$c = \frac{A_{cs} \times f_{cp} + A_s \times f_s - A_c \times f_c - \alpha_s \times f_{cs} \times \beta_1 \times (h_b - b_y') \times h_b}{\alpha_s \times f_{cs} \times \beta_1 \times b_y' + \frac{k \times A_{ps} \times f_{cp}}{d_p}} \quad (7)$$

Kiểm tra điều kiện để trục trung hòa qua bầu trên của dầm I: $h_b < a < h_b + h_f$

Sức kháng uốn danh định khi lấy mô-men đối với O:

$$M_u = A_s \times f_s \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_c \times f_c \times (d_p - \frac{a}{2}) - A_c \times f_c \times (d_p - \frac{a}{2}) + \alpha_s \times \beta_1 \times f_{cs} \times (h_b - b_y') \times h_b \times (\frac{a}{2} - \frac{h_b}{2}) \quad (8)$$



Hình 2.4: Sơ đồ tính toán trường hợp trục trung hòa qua bầu trên dầm I

* Ví dụ tính toán 2:

Xét dầm - bản liền hợp như Hình 2.4 có kích thước như sau: $h = 800\text{mm}$, $b_f = 300\text{mm}$, $h_f = 150\text{mm}$, $h_w = 500\text{mm}$, $b_w = 180\text{mm}$. $A_s = 6\phi 20$. Lớp bê tông bảo vệ $a_{bv} = 50\text{mm}$, $f_{cd}' = 45\text{MPa}$, $E_{cs} = 197000\text{MPa}$, $f_{cp} = 1860\text{MPa}$. $A_{ps} = 60\text{cm}^2$ cách đáy dầm 100 mm. $b_o = 2400\text{mm}$, $h_o = 180\text{mm}$. $A_s' = 12\phi 12$. $f_{cs} = 30\text{MPa}$. Giả thiết cốt thép đạt tới giới hạn chảy dẻo $f_y = f_s = 400\text{MPa}$. Xác định sức kháng uốn danh định trong giai đoạn dầm - bản liền hợp.

Tính toán: Trong ví dụ này quy đổi vật liệu bê tông dầm về bê tông bản mặt cầu.

$$\text{Diện tích thép: } A_s = 6 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 600\pi \text{ (mm}^2\text{)},$$

$$A_s' = 12 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 432\pi \text{ (mm}^2\text{)}$$

Các khoảng cách: $d_1 = 930$ (mm), $d_2 = 50$ (mm), $d_p = 880$ (mm)

$$\text{Hệ số quy đổi dầm về bản mặt cầu: } n_{sp} = \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{cs}}} = \sqrt{\frac{45}{30}} = 1.22$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{(f_{cd} - 28)}{7} \times 0.05 = 0.84, k = 2 \times (1.04 - \frac{f_{cp}}{f_{ps}}) = 2 \times (1.04 - 0.9) = 0.28$$

Bề rộng bầu dầm trên quy đổi:

$$b_y' = n_{sp} \times b_f = 1.22 \times 300 = 366 \text{ mm}$$

Theo (7): $c = 309.8\text{mm}$, suy ra $a = \beta_1 \times c = 0.84 \times 309.8 = 260.2\text{mm}$.

Kiểm tra:

$$h_b = 180\text{mm} < a = 260.2\text{mm} < h_b + h_f = 180 + 150 = 330\text{mm};$$

Thỏa mãn điều kiện trục trung hòa đi qua bầu trên của dầm I:

$$f_{cs} = f_{cp} \times (1 - \frac{k \times c}{d_p}) = 1860 \times (1 - \frac{0.28 \times 309.8}{880}) = 1676.7 \text{ MPa}$$

Sức kháng uốn danh định trong trường hợp này theo (8): $M_u = 8505.2$ (kN.m)

* Phân tích quy đổi bê tông bản mặt cầu thành bê tông dầm:

Bề rộng bầu dầm trên quy đổi thành $b_y'' = b \cdot \frac{E_{cs}}{E_{cd}}$, với E_{cs} và E_{cd} lần lượt là mô-đun đàn hồi của bê tông dầm và bê tông bản.

Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_c' = f_{cd}'$

Vị trí trục trung hòa:

$$c = \frac{A_{ps} \times f_{cp} + A_s \times f_s - A_c \times f_c - \alpha_s \times f_{cd}' \times \beta_1 \times (b_y'' - b) \times h_b}{\alpha_s \times f_{cd}' \times \beta_1 \times b_y'' + \frac{k \times A_{ps} \times f_{cp}}{d_p}} \quad (9)$$

Kiểm tra điều kiện để trục trung hòa qua bầu trên của dầm I: $h_b < a < h_b + h_f$

Sức kháng uốn danh định khi lấy mô-men đối với O:

$$M_u = A_s \times f_s \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_c \times f_c \times (d_p - \frac{a}{2}) - A_c \times f_c \times (d_p - \frac{a}{2}) + \alpha_s \times \beta_1 \times f_{cd}' \times (b_y'' - b) \times h_b \times (\frac{a}{2} - \frac{b}{2}) \quad (10)$$

* Ví dụ tính toán 3:

Giống ví dụ 2 nhưng quy đổi bê tông bản ra dầm.

Tính toán: Hệ số quy đổi bản mặt cầu về dầm:

$$n_{sp} = \frac{E_{cs}}{E_{cd}} = \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{cs}}} = \sqrt{\frac{45}{30}} = 0.82$$

Chiều rộng bản mặt cầu quy đổi:

$$b_y'' = n_{sp} \times b_b = 0.82 \times 2400 = 1968 \text{ mm.}$$

Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_c' = f_{cd}' = 45 \text{ MPa}$.

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{(f_{cd}' - 28)}{7} \times 0.05 = 0.73,$$

$$k = 2 \times (1.04 - \frac{f_{cp}}{f_{ps}}) = 2 \times (1.04 - 0.9) = 0.28$$

Theo (2.2.5): $c = 250.5\text{mm}$ suy ra:

$$a = \beta_1 \times c = 0.73 \times 250.5 = 182.9\text{mm.}$$

Kiểm tra:

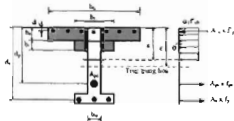
$$h_b = 180\text{mm} < a = 182.9\text{mm} < h_b + h_f = 330\text{mm}$$

(thỏa mãn điều kiện)

$$f_{cs} = f_{cp} \times (1 - \frac{k \times c}{d_p}) = 1860 \times (1 - \frac{0.28 \times 250.5}{880}) = 1711.7 \text{ MPa}$$

Sức kháng uốn danh định trong trường hợp này theo (10): $M_u = 8765.5$ (kN.m)

2.2.3. Trục trung hòa qua sườn của dầm "I"



Hình 2.5: Sơ đồ tính toán trường hợp trục trung hòa qua sườn của dầm I

Bước 1 giả thiết trục trung hòa qua sườn của dầm, kiểm tra vị trí trục trung hòa xem có đúng như giả thiết không. Trường hợp thỏa giả thiết, tính toán như tiết diện hình chữ T với số đo tính như Hình 2.5. Xem xét quy đổi cường độ nén bê tông bản mặt cầu và dầm "I" về cùng loại rồi xác định sức kháng danh định M_{nc} .

* Phân tích quy đổi bê tông dầm thành bê tông bản mặt cầu

Bề rộng bầu dầm trên và sườn dầm quy đổi thành $b_c^* = b_c \frac{E_{cs}}{E_s}$, $b_c^{*'} = b_c' \frac{E_{cs}}{E_s}$, với E_{cs} và E_{cs}' lần lượt là mô-đun đàn hồi của bê tông dầm và bê tông bản.

Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_c' = f_{cs}'$ giả thiết vị trí trục trung hòa như Hình 2.5, ta có:

$$c = \frac{Y}{\alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times b_c^{*'} + \frac{k \times A_{ps} \times f_{ps}}{d_p}} \quad (11)$$

$$X = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_s - A_s' \times f_s' - \alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times (b_c - b_c^{*'}) \times h_c - \alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times (b_c^{*'} - b_c^{*}) \times h_c$$

Kiểm tra điều kiện để trục trung hòa qua bầu trên của dầm I: $a > h_b + h_t$

Nếu thỏa điều kiện, sức kháng uốn danh định khi lấy mô-mô-đun đối với O:

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_s \times f_s \times (d_p - \frac{a}{2}) - A_s' \times f_s' \times (d_p - \frac{a}{2}) + \alpha_1 \times \beta_1 \times f_{cs}' \times (b_c - b_c^{*'}) \times h_c \times (\frac{a}{2} - \frac{h_t}{2}) - \alpha_1 \times \beta_1 \times f_{cs}' \times (b_c^{*'} - b_c^{*}) \times h_c \times (h_t - \frac{h_t}{2}) \quad (12)$$

* Ví dụ tính toán 4

Xét dầm - bản liên hợp như Hình 2.5 có kích thước như sau: $h = 1100\text{mm}$, $b_1 = 500\text{mm}$, $h_1 = 200\text{mm}$, $h_{cs} = 700\text{mm}$, $b_c = 180\text{mm}$. Thép dưới đáy dầm: $A_s = 8\phi 20$. Lớp bê tông bảo vệ $a_{cs} = 50\text{mm}$, $f_{cs}' = 45\text{MPa}$, $E_{cs} = 197000\text{MPa}$. $f_{ps} = 1860\text{MPa}$, $A_{ps} = 60\text{cm}^2$ cách đáy dầm 100 mm. $b_c = 1600\text{mm}$, $h_b = 180\text{mm}$. $A_s' = 12\phi 12$. $f_{cs}' = 30\text{MPa}$. Giả thiết cốt thép đạt tới giới hạn chảy dẻo $f_s = f_s' = 400\text{MPa}$.

Tính toán: Trường hợp này ta sẽ quy đổi vật liệu bê tông dầm về bê tông bản mặt cầu.

Diện tích thép:

$$A_s = 8 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 800\pi \text{ (mm}^2\text{)}, A_s' = 12 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 432\pi \text{ (mm}^2\text{)}.$$

Các khoảng cách: $d_1 = 1230$ (mm), $d_1' = 50$ (mm), $d_p = 1180$ (mm).

Hệ số quy đổi dầm về bản mặt cầu:

$$\eta_{cs} = \sqrt{\frac{f_{cs}'}{f_{cs}'}} = \sqrt{\frac{45}{30}} = 1.22$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{(f_{cs}' - 28)}{7} \times 0.05 = 0.84,$$

$$k = 2 \times (1.04 - \frac{f_{cs}'}{f_{cs}'}) = 2 \times (1.04 - 0.9) = 0.28.$$

Bề rộng bầu trên và sườn dầm quy đổi về bê tông bản mặt cầu:

$$b_c^{*'} = \eta_{cs} \times b_c = 1.22 \times 500 = 610\text{mm},$$

$$b_c^{*} = \eta_{cs} \times b_c = 1.22 \times 180 = 219.6\text{mm}$$

Vị trí trục trung hòa theo (2.2.7): $c = 629.5\text{mm}$ suy ra: $a = 629.5 \times 0.84 = 528.8\text{mm}$

Kiểm tra:

$$h_b + h_t = 380\text{mm} < a = 528.8\text{mm}$$

(Thỏa điều kiện)

$$f_{ps} = f_{ps} \times (1 - \frac{k \times c}{d_p}) = 1860 \times (1 - \frac{0.28 \times 629.5}{1180}) = 1582.7\text{MPa}$$

Sức kháng uốn danh định theo (12):

$$M_n = 10685.2 \text{ (kNm)}$$

* Phân tích quy đổi bê tông bản mặt cầu thành bê tông dầm

Bề rộng bầu dầm trên quy đổi thành $b_c^{*'} = b_c \frac{E_{cs}}{E_s}$, với E_{cs} và E_s lần lượt là mô-đun đàn hồi của bê tông dầm và bê tông bản.

Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_c' = f_{cs}'$. Vị trí trục trung hòa:

$$c = \frac{Y}{\alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times b_c^{*'} + \frac{k \times A_{ps} \times f_{ps}}{d_p}} \quad (13)$$

$$Y = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_s - A_s' \times f_s' - \alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times (b_c^{*'} - b_c^{*}) \times h_c - \alpha_1 \times f_{cs}' \times \beta_1 \times (b_c - b_c^{*'}) \times h_c$$

Kiểm tra điều kiện để trục trung hòa qua sườn của dầm I: $a > h_b + h_t$.

Sức kháng uốn danh định khi lấy mô-mô-đun đối với O:

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \times (d_p - \frac{a}{2}) + A_s \times f_s \times (d_p - \frac{a}{2}) - A_s' \times f_s' \times (d_p - \frac{a}{2}) - \alpha_1 \times \beta_1 \times f_{cs}' \times (b_c^{*'} - b_c^{*}) \times h_c \times (\frac{a}{2} - \frac{h_t}{2}) - \alpha_1 \times \beta_1 \times f_{cs}' \times (b_c - b_c^{*'}) \times h_c \times (h_t - \frac{h_t}{2}) \quad (14)$$

* Ví dụ tính toán 5:

Giống ví dụ 4 nhưng quy đổi về cùng loại bê tông dầm.

Tính toán: Hệ số quy đổi bản mặt cầu về dầm:

$$\eta_{cs} = \frac{E_{cs}}{E_s} = \sqrt{\frac{f_{cs}'}{f_{cs}'}} = \sqrt{\frac{30}{45}} = 0.82$$

Chiều rộng bản mặt cầu quy đổi:

$$b_c^{*'} = \eta_{cs} \times b_c = 0.82 \times 1600 = 1312\text{mm}$$

Tính toán như tiết diện hình chữ T với $f_s = f_{cs}' = 45\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{(f_{cs}' - 28)}{7} \times 0.05 = 0.73$$

$$k = 2 \times (1.04 - \frac{f_{cs}'}{f_{cs}'}) = 2 \times (1.04 - 0.9) = 0.28$$

Theo (2.2.9): $c = 540.2\text{mm}$ suy ra

$$a = \beta_1 \times c = 540.2 \times 0.73 = 394.3\text{mm}$$

Kiểm tra: $a = 394.3\text{mm} > h_b + h_t = 380\text{mm}$

(thỏa mãn điều kiện)

$$f_{ps} = f_{ps} \times (1 - \frac{k \times c}{d_p}) = 1860 \times (1 - \frac{0.28 \times 540.2}{1180}) = 1621.6\text{MPa}$$

Sức kháng uốn danh định trong trường hợp này theo (14): $M_n = 11142.5 \text{ (kNm)}$

2.3. Thảo luận và kiến nghị

2.3.1. Quy đổi cùng loại bê tông cho bản mặt cầu và dầm

Trường hợp mặt cắt chữ T có trục trung hòa qua bầu trên của dầm ta có sức kháng uốn danh định khi quy đổi bê tông dầm ra bê tông bản sẽ cho giá trị nhỏ hơn trường hợp ngược lại: $M_n^{(d)} = 8505.2 \text{ (kNm)} < M_n^{(b)} = 8765.5 \text{ (kNm)}$.

Trường hợp mặt cắt chữ T có trục trung hòa qua sườn của dầm ta có sức kháng uốn danh định khi quy đổi bê tông dầm ra bê tông bản sẽ cho giá trị nhỏ hơn trường hợp ngược lại: $M_n^{(d)} = 10685.2 \text{ (kNm)} < M_n^{(b)} = 11142.5 \text{ (kNm)}$.

Như vậy, khi xác định sức kháng uốn danh định

bằng cách đổi bê tông dầm ra bê tông bản sẽ thiên về an toàn. Cơ quan Quản lý Đường bộ Liên bang Hoa Kỳ (The Federal Highway Administration - FHWA) cũng đề cập đổi bê tông dầm ra bê tông bản [5] tuy không có giải thích lý do. Theo tác giả, việc đổi bê tông dầm ra bê tông bản sẽ đúng hơn vì lý do sau: Vùng bê tông bản mặt cầu nằm ở vùng nén cực hạn nên trạng thái phá hoại sẽ không còn đàn hồi tuyến tính, do đó dùng tỉ lệ mô-đun đàn hồi để quy đổi cho vùng bê tông này sẽ không phù hợp. Với những phân tích như trên, nhóm tác giả bài báo kiến nghị xác định sức kháng uốn danh định bằng cách đổi bê tông dầm ra bê tông bản mặt cầu.

2.3.2. Trường hợp bố trí cáp dự ứng lực vùng chịu nén

Trong đa số trường hợp, số lượng cáp cường độ cao bố trí ở vùng chịu kéo nhiều hơn ở vùng chịu nén. Do vậy, có thể dùng phương pháp mô-men tĩnh để xác định số lượng và vị trí của tổng cáp trên mặt cắt ngang, sau đó áp dụng cách xác định sức kháng danh định như đã nêu trên.

3. KẾT LUẬN

Bài báo cung cấp thông tin hữu ích về cách xác định sức kháng uốn của dầm BTCT dự ứng lực tiết diện chữ "I" liên hợp bản mặt cầu với các trường hợp vị trí trục trung hòa khác nhau theo Tiêu chuẩn TCVN 11823-5:2017. Trong trường hợp bản mặt cầu và dầm có cường độ nén khác nhau thì khi tính sức kháng uốn danh định của dầm chữ T, kiến nghị quy đổi bê tông dầm về bê tông bản mặt cầu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 11823-5:2017, *Thiết kế cầu đường bộ, tập 5: "Kết cấu bê tông"*.
- [2]. AASHTO (2012), *LRFD Bridge Design Specifications of America*.
- [3]. 22 TCN 272-05 (2005), *Tiêu chuẩn thiết kế cầu*.
- [4]. AASHTO LRFD (1998), *Bridge Design Specifications of America*, Second Edition, SI Edition.
- [5]. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/lrfd/pscus055.cfm>.

Ngày nhận bài: 26/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 4/4/2019

Người phản biện: TS. Nguyễn Trọng Tâm

TS. Nguyễn Sĩ Hùng