

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN DẦM BÊ TÔNG CỐT CỨNG THEO TIÊU CHUẨN NGA VÀO TIÊU CHUẨN VIỆT NAM

TS. LÊ MINH LONG

Viện KHCN Xây dựng

KS. QUÁCH THÀNH NAM

Công ty CP Tư vấn thiết kế và Dịch vụ đầu tư

Tóm tắt: Hiện nay, vẫn chưa có tài liệu hướng dẫn tính toán dầm bê tông cốt cứng theo tiêu chuẩn Việt Nam. Bài báo này giới thiệu phương pháp tính toán dầm bê tông cốt cứng của Nga và có thể áp dụng vào tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành.

Từ khóa: *cốt cứng, dầm bê tông cốt thép, độ bền.*

1. Mở đầu

Kết cấu bê tông cốt cứng (ở đây phân biệt cốt cứng là thép hình, còn cốt thép thường là thép thanh thông thường) tận dụng được các ưu điểm riêng về đặc trưng cơ lý của vật liệu thép và bê tông để tạo ra kết cấu có khả năng chịu lực và độ tin cậy cao, đồng thời giảm tiết diện khi yêu cầu vượt nhịp lớn hoặc yêu cầu về công năng và thẩm mỹ của công trình, thời gian thi công nhanh nâng cao hiệu quả về kinh tế khi thi công các công trình xây dựng.

Kết cấu bê tông cốt cứng đã được sử dụng nhiều ở các nước trên thế giới như Mỹ, Anh, Pháp, Đức, Nga, Trung Quốc, Nhật Bản, Singapor,... trong việc xây dựng các công trình cao tầng và các công trình khung nhịp lớn do đó đã có nhiều tài liệu và tiêu chuẩn thiết kế cho kết cấu bê tông cốt cứng của các nước khác nhau.

Ở Việt Nam loại kết cấu này cho đến nay vẫn được sử dụng rất ít. Tuy nhiên, nhu cầu xây dựng nhà cao tầng và siêu cao tầng đang bùng nổ mạnh mẽ, với những ưu điểm của kết cấu bê tông cốt cứng, trong tương lai loại kết cấu này sẽ được sử dụng rộng rãi, và Việt Nam cũng không nằm ngoài xu hướng phát triển chung của xây dựng thế giới. Việc tính toán cấu kiện bê tông cốt cứng hiện đang còn gặp nhiều khó khăn đối với các kỹ sư tư vấn thiết kế do chưa có tài liệu hướng dẫn tính toán cấu kiện bê tông sử dụng cốt cứng nói chung và cột bê tông sử dụng cốt cứng nói riêng. Tuy nhiên nếu áp dụng nguyên tắc tính toán theo tiêu chuẩn Nga thì hoàn toàn có thể tính toán được theo hai tiêu chuẩn TCVN 5574: 2012 và TCVN 5575: 2012 bởi các lý do sau đây:

- Bản chất của tiêu chuẩn TCVN 5574: 2012 [1] và TCVN 5575: 2012 [2] là các tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 356:2005 và TCXDVN 338: 2005 đã được chuyển ngang mà không thay đổi nội dung và

chỉ đổi tên thành tiêu chuẩn quốc gia. Hai tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam đều được chuyển dịch từ các tiêu chuẩn tương ứng của Nga là SNIP 2.03.01-84* [3] về thiết kế kết cấu bê tông cốt thép và SNIP II-23-81* [4] về thiết kế kết cấu thép;

- Trong hệ thống tiêu chuẩn Nga không có tiêu chuẩn riêng để thiết kế dầm bê tông cốt cứng nhưng cho đến thời điểm này có hướng dẫn [6] tính toán dựa theo tiêu chuẩn [3] về thiết kế kết cấu bê tông cốt thép và tiêu chuẩn [4] về thiết kế kết cấu thép.

Vì vậy, vấn đề đặt ra là có thể nghiên cứu tài liệu tiêu chuẩn và hướng dẫn của Nga để áp dụng tính toán dầm bê tông cốt cứng theo tiêu chuẩn Nga vào tiêu chuẩn Việt Nam.

2. Áp dụng tính toán dầm bê tông cốt cứng theo tiêu chuẩn Nga vào TCVN

2.1 Các yêu cầu chung

Theo hướng dẫn của Nga [6] thì việc tính toán độ bền dầm bê tông cốt cứng cần được thực hiện phù hợp với các chỉ dẫn trong [3] (tương đương với [1] của Việt Nam) và có kể đến các khuyến nghị bổ sung dưới đây.

Về nguyên tắc, việc tính toán cấu kiện dầm bê tông cốt cứng được thực hiện đối với các giai đoạn làm việc của dầm như sau:

- Giai đoạn 1: Trước khi bê tông đạt đến cường độ mẫu lập phương 10 N/mm^2 - tính toán như dầm thép thông thường, trong đó chỉ có cốt cứng làm việc và chịu các tải trọng như tải trọng bản thân của cốt cứng, trọng lượng bê tông, tải trọng vận chuyển và lắp dựng và các tải trọng khác trong quá trình thi công dầm;

- Giai đoạn 2: Sau khi bê tông đạt đến cường độ mẫu lập phương 10 N/mm^2 - cốt cứng làm việc đồng thời với bê tông và việc tính toán được tiến hành như đối với dầm bê tông cốt thép chịu toàn bộ tải trọng.

Đối với các tải trọng phát sinh trong quá trình lắp dựng, khi cường độ mẫu lập phương của bê tông lớn hơn cho phép tính toán dầm như dầm bê tông cốt thép.

Để tiết kiệm thép, tiết diện cốt cứng nên chọn tối thiểu để cốt cứng làm việc như kết cấu thép chỉ chịu các lực phát sinh trong quá trình thi công, trừ các trường hợp bị hạn chế bởi kích thước bao của dầm bê tông cốt thép.

Sự làm việc của dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt cứng chịu toàn bộ tải trọng sử dụng được đảm bảo bằng việc lựa chọn tiết diện bê tông cốt thép với cốt cứng và cốt thép thường bổ sung.

Trong bài báo này chỉ giới thiệu cách tính toán theo giai đoạn 2.

2.2 Các yêu cầu về vật liệu

Các yêu cầu về bê tông và cốt thép thường lấy như trong [1] và cốt cứng lấy theo [2].

2.3 Phương pháp tính toán dầm bê tông cốt cứng

2.3.1 Các giả thiết tính toán

Theo quan điểm tính toán của Nga trong [6], việc xác định nội lực giới hạn trong tiết diện được tiến hành dựa trên các giả thiết sau:

- Cường độ chịu kéo của bê tông lấy bằng không (tức là bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông);
- Cường độ chịu nén của bê tông quy ước lấy bằng ứng suất (trong các trường hợp cần thiết được nhân với các hệ số điều kiện làm việc, được phân bố đều trong vùng chịu nén);
- Biến dạng (ứng suất) trong cốt thép được xác định phụ thuộc vào chiều cao vùng chịu nén bê tông;
- Ứng suất kéo trong cốt cứng và cốt thép thường không lớn hơn cường độ chịu kéo tính toán của cốt cứng R_{sr} và cốt thép thường R_s , trong các trường hợp cần thiết được nhân với các hệ số điều kiện làm việc γ_{si} ;

- Ứng suất nén trong cốt cứng và cốt thép thường không lớn hơn cường độ chịu nén tính toán của cốt cứng R'_{sr} và cốt thép thường R_{sc} , trong các trường hợp cần thiết được nhân với các hệ số điều kiện làm việc γ_{si} ;

- Khi tính toán độ bền của cấu kiện bê tông cốt thép, thì sự chất tải trước cho cốt cứng trước khi đổ bê tông trong quá trình xây dựng nhà không làm giảm độ bền của cấu kiện bê tông cốt thép.

2.3.2 Tính toán độ bền tiết diện thẳng góc với trục dọc của dầm

a) Xác định chiều cao tương đối giới hạn vùng chịu nén của bê tông

Khi ngoại lực tác dụng trong mặt phẳng đi qua trục đối xứng của tiết diện và cốt thép đặt tập trung theo cạnh vuông góc với mặt phẳng đó, việc tính toán

tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện cần được tiến hành phụ thuộc vào sự tương quan giữa giá trị chiều cao tương đối của vùng chịu nén của bê tông.

Chiều cao tương đối ξ của vùng chịu nén của bê tông được xác định bằng tỉ số giữa chiều cao vùng chịu nén x và chiều cao làm việc h_0 của tiết diện (x/h_0).

Chiều cao làm việc h_0 của tiết diện được xác định theo công thức: $h_0 = h - a_1$ (1)

Trong đó: h - chiều cao tiết diện; a_1 - khoảng cách từ điểm đặt hợp lực của nội lực trong cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo đến biên chịu kéo của tiết diện, được xác định theo công thức:

$$a_1 = \frac{A_{sr} a_r + A_s a}{A_{sr} + A_s} \tag{2}$$

Trong đó: A_{sr} - diện tích diện phần cốt cứng nằm trong vùng chịu kéo; A_s - diện tích tiết diện của cốt thép thường chịu kéo; a - khoảng cách từ hợp lực của cốt thép thường chịu kéo đến biên gần nhất của tiết diện; a_r - khoảng cách từ trọng tâm cốt cứng đến biên chịu kéo của tiết diện.

Chiều cao tương đối giới hạn ξ_R của vùng chịu nén của bê tông tại thời điểm khi trạng thái giới hạn của dầm xảy ra đồng thời với việc ứng suất trong cốt thép chịu kéo đạt tới cường độ tính toán có kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng, được xác định theo công thức kinh nghiệm:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_{s,max}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right)} \tag{3}$$

Trong đó: ω - đặc trưng vùng chịu nén của bê tông, được xác định theo công thức: $\omega = \alpha - 0,008R_b$ (4)

$\alpha = 0,85$ - hệ số đối với bê tông nặng; R_b - cường độ chịu nén tính toán dọc trục của bê tông ứng với trạng thái giới hạn thứ nhất, tính bằng N/mm² (đã kể đến các hệ số điều kiện làm việc); $R_{s,max}$ - giá trị lớn hơn trong hai giá trị: cường độ chịu kéo tính toán của cốt cứng R_{sr} và cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép thường R_s đã kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng γ_{si} ; $\sigma_{sc,u}$ - ứng suất giới hạn của cốt thép ở vùng chịu nén, được lấy đối với cấu kiện làm từ bê tông nặng, tùy thuộc vào yếu tố nêu trong Bảng 15 của tiêu chuẩn [3] (tương đương với [1]): bằng 500 MPa với loại tải trọng tác dụng như tại mục 2a và bằng 500 MPa với loại tải trọng tác dụng như tại mục 2b.

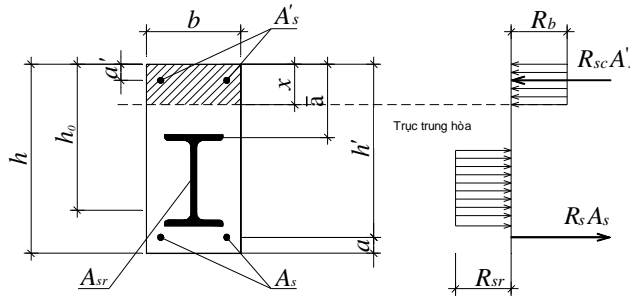
Để dễ dàng nhận thấy, công thức (3) nêu trên tương tự công thức (25) của [1] nhưng đã thay $R_s = R_{s,max}$.

b) Tính toán độ bền của dầm tiết diện chữ nhật

Theo [5, 6], việc tính toán độ bền tiết diện thẳng góc của dầm tiết diện chữ nhật được tiến hành tùy theo vị trí của trục trung hòa đối với cốt cứng: Trục trung hòa không

đi qua cốt cứng; trục trung hòa đi qua bản bụng cốt cứng; trục trung hòa đi qua bản cánh cốt cứng.

Trường hợp 1: Trục trung hòa không đi qua cốt cứng (hình 1).



Hình 1. Trục trung hòa không đi qua cốt cứng (dầm tiết diện chữ nhật)

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện cân bằng $\Sigma x = 0$:

$$\Sigma x = R_b b x + R_{sc} A'_s - R_s A_s - R_{sr} A_{sr} = 0$$

Trục trung hòa không đi qua cốt cứng khi:

$$x = \frac{R_{sr} A_{sr} + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{b R_b} < \bar{a} \quad (5)$$

Trong đó: R_{sr} - cường độ tính toán của cốt cứng; A_{sr} - diện tích tiết diện cốt cứng nằm trong vùng chịu kéo; R_s - cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép thường; A_s - diện tích tiết diện cốt thép thường chịu kéo; R_{sc} - cường độ chịu nén tính toán của cốt thép thường; A'_s - diện tích cốt thép thường chịu nén; b - chiều rộng tiết diện chữ nhật; R_b - cường độ chịu nén tính toán dọc trục của bê tông; \bar{a} - khoảng cách từ trục của cánh trên cốt cứng đến biên chịu nén của tiết diện.

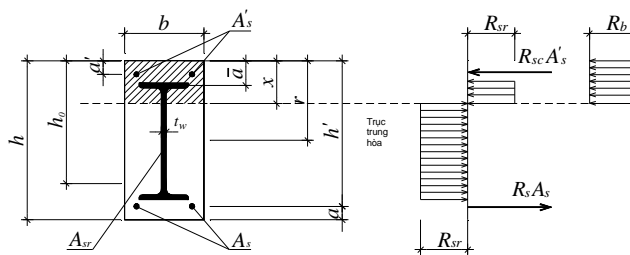
- Khi $x \leq \xi_R h_0$, ứng suất trong cốt thép chịu kéo (cốt cứng và cốt thép thường) đạt đến cường độ tính toán, trạng thái giới hạn đạt đến khi xuất hiện sự phá hoại dẻo. Khi đó độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng đối với trọng tâm cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo $\Sigma M = 0$:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (6)$$

- Khi $x > \xi_R h_0$ thì cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo mà ứng suất trong cốt thép còn nhỏ, chưa đạt đến cường độ tính toán. Bê tông vùng nén bị phá hoại khi ứng suất còn nhỏ hơn cường độ tính toán. Khi đó độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện (6) nhưng thay $x = \xi_R h_0$ và được viết dưới dạng:

$$M \leq R_b b h_0^2 \xi_R (1 - 0,5 \xi_R) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (7)$$

Trường hợp 2 - Trục trung hòa đi qua bản bụng của cốt cứng (hình 2).



Hình 2. Trục trung hòa đi qua bản bụng của cốt cứng (dầm tiết diện chữ nhật)

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện cân bằng $\Sigma x = 0$:

$$\Sigma x = R_b b x + R_{sc} A'_s + R_{sr} A'_{sr} - R_s A_s - R_{sr} A_{sr} = 0$$

Trục trung hòa đi qua bản bụng cốt cứng khi: $x = \frac{2R_{sr} r t_w + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{b R_b + 2R_{sr} t_w} > \bar{a}$ (8)

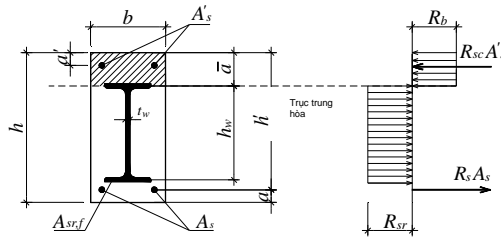
Trong đó: r - khoảng cách từ biên chịu nén của bê tông đến trọng tâm cốt cứng; t_w - chiều dày bản bụng của cốt cứng.

Khi $x \leq \xi_R h_0$, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng đối với trục trung hòa $\Sigma M = 0$:

$$M \leq R_b 0,5 b x^2 + R_{sc} A'_s (x - a') + R_{sr} \left[W_p + (r - x)^2 t_w \right] + R_s A_s (h' - x) \quad (9)$$

QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

Khi thiết kế nên chọn sao cho chiều cao vùng chịu nén của bê tông thỏa mãn điều kiện $x \leq \xi_R h_0$. Trường hợp 3 – Trục trung hòa đi qua bản cánh của cốt cứng (hình 3).



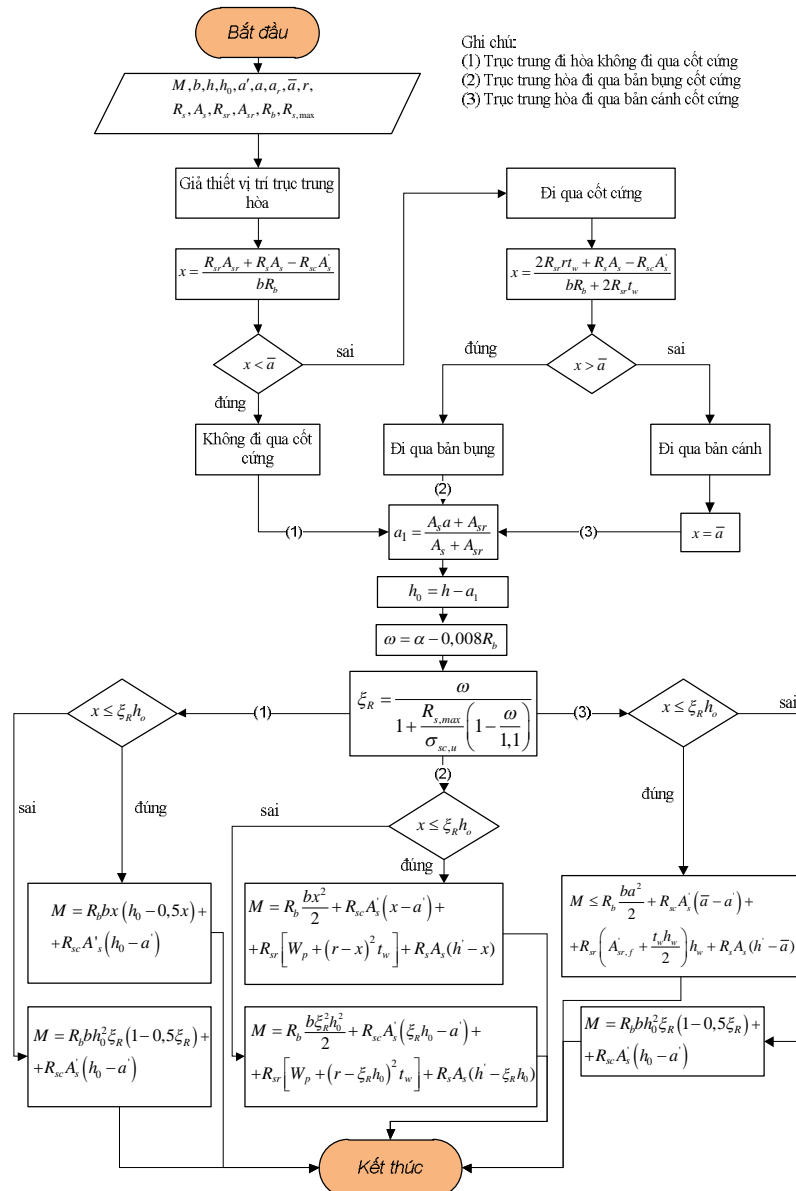
Hình 3. Trục trung hòa đi qua bản cánh của cốt cứng (dầm tiết diện chữ nhật)

Nếu chiều cao vùng chịu nén của bê tông xác định theo (5) không thỏa mãn tức là trục trung hòa đi qua cốt cứng, thì chiều cao vùng chịu nén của bê tông tính theo (8). Nếu kết quả tính được theo (8) cũng không thỏa mãn thì giả thiết rằng trục trung hòa đi qua cánh cốt cứng.

Khi $x \leq \xi_R h_0$, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng mô men đối với trục trung hòa $\Sigma M = 0: M \leq R_b 0,5ba^2 + R_{sc} A'_s (\bar{a} - a') + R_{sr} (A'_{sr,f} + 0,5t_w h_w) h_w + R_s A_s (h' - \bar{a})$ (10)

Khi $x > \xi_R h_0$ độ bền của tiết diện được kiểm tra theo công thức (7).

Việc kiểm tra độ bền tiết diện thẳng góc của dầm bê tông cốt cứng tiết diện chữ nhật có thể thực hiện theo sơ đồ khối trên hình 4.

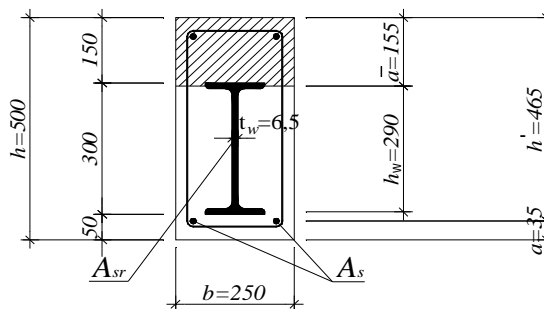


Hình 4. Sơ đồ khối kiểm tra độ bền tiết diện thẳng góc của dầm bê tông cốt cứng tiết diện chữ nhật

QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

Ví dụ 1: Kiểm tra độ bền tiết diện của dầm bê tông chữ nhật sử dụng cốt cứng (hình 5) với các số liệu đầu vào cho trước như sau: Bê tông cấp độ bền B22,5 (M300) có $R_b = 13 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{bl} = 1$; cốt cứng

dùng thép chữ I30 cán nóng có: $R_{sr} = 210 \text{ N/mm}^2$ ($A_{sr} = 46,5 \text{ cm}^2$); cốt thép thường C-III có $R_s = R_{sc} = 365 \text{ N/mm}^2$ ($A_s = 1,57 \text{ cm}^2$); mô men uốn tác dụng $M = 190 \text{ kNm}$.



Hình 5. Tiết diện dầm bê tông chữ nhật sử dụng cốt cứng

Thực hiện tính toán:

- Khoảng cách từ trục cánh trên của cốt cứng đến biên chịu nén của tiết diện $\bar{a} = 155 \text{ mm}$.
- Khoảng cách từ trọng tâm cốt cứng đến biên chịu kéo của tiết diện:
 $a_r = 50 + 300 / 2 = 200 \text{ mm}$
- Khoảng cách từ trọng tâm cốt cứng đến biên chịu nén:

$$r = 50 + 300 / 2 = 200 \text{ mm}$$

Bước 1: Xác định vị trí trục trung hòa

Giả thiết tính toán theo điều kiện trục trung hòa không đi qua cốt cứng

Bước 2: Xác định chiều cao vùng chịu nén của bê tông

- Do giả thiết tính toán theo điều kiện trục trung hòa không đi qua cốt cứng nên chiều cao vùng bê tông chịu nén được xác định theo công thức (5):

$$x = \frac{R_{sr} A_{sr} + R_s A_s}{b R_b} = \frac{210 \times 46,5 \times 10^2 + 365 \times 1,57 \times 10^2}{250 \times 13} = 318 \text{ mm}$$

- Vì $x = 318 \text{ mm} > \bar{a} = 155 \text{ mm}$ nên giả thiết tính theo trường hợp trục trung hòa không đi qua cốt cứng là không đúng, xây tra trường hợp trục trung hòa đi qua cốt cứng. Chiều cao vùng bê tông chịu nén được xác định theo công thức (8):

$$x = \frac{2 R_{sr} r t_w + R_s A_s}{2 R_{sr} t_w + b R_b} = \frac{2 \times 210 \times 300 \times 6,5 + 385 \times 1,57 \times 10^2}{2 \times 210 \times 6,5 + 250 \times 13} = 144 \text{ mm}$$

Vi $x = 144 \text{ mm} < \bar{a} = 155 \text{ mm}$ nên trục trung hòa đi qua cánh cốt cứng.

Bước 3: Xác định khoảng cách a_1

- Khoảng cách từ hợp lực của nội lực trong cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo đến biên chịu kéo tiết diện được xác định theo công thức (2):

$$a_1 = \frac{A_{sr} a_r + A_s a}{A_{sr} + A_s} = \frac{46,5 \times 10^2 \times 200 + 1,57 \times 10^2 \times 35}{46,5 \times 10^2 + 1,57 \times 10^2} = 198 \text{ mm}$$

Bước 4: Xác định chiều cao làm việc của tiết diện:

- Chiều cao làm việc của tiết diện được tính toán theo công thức (1):

$$h_0 = h - a_1 = 500 - 198 = 302 \text{ mm}$$

Bước 5: Xác định đặc trưng vùng chịu nén ω của bê tông

- Đặc trưng vùng chịu nén của bê tông được xác định theo công thức (4):

$$\omega = \alpha - 0,008 R_b = 0,85 - 0,008 \times 13 = 0,746$$

QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

Bước 6: Xác định chiều cao tương đối giới hạn vùng chịu nén ξ_R của bê tông

- Chiều cao tương đối giới hạn vùng chịu nén của bê tông được tính theo công thức (3):

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_{s,max}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,746}{1 + \frac{365}{400} \left(1 - \frac{0,746}{1,1}\right)} = 0,58$$

Trong đó: $R_{s,max} = \max(R_s; R_{sr}) = \max(365; 210) = 365 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_{sc,u} = 400 \text{ N/mm}^2$ (mục 2b, bảng 15 trong [1]).

Bước 7: Xác định mô men giới hạn của tiết diện

- Tính diện tích cốt cứng trong vùng chịu nén

$$A'_{sr,f} = b'_f t_f = 13,5 \times 1,02 = 13,8 \text{ cm}^2 \text{ với } h_w = 300 - 10,2 = 288 \text{ mm}$$

- Vì $\bar{a} = 155 \text{ mm} < \xi_R h_0 = 0,58 \times 302 = 175 \text{ mm}$ nên mô men giới hạn của tiết diện được kiểm tra theo công thức (10):

$$\begin{aligned} M &= R_b \frac{b \bar{a}^2}{2} + R_s A_s (h' - \bar{a}) + R_{sr} \left(A'_{sr,f} + \frac{t_w h_w}{2} \right) h_w \\ &= 13 \times \frac{250 \cdot 155^2}{2} + 365 \times 1,57 \times 10^2 \times (465 - 155) + 210 \times \left(13,8 \times 10^2 + \frac{6,5 \times 288}{2} \right) \times 288 \\ &= 197 \cdot 10^6 \text{ Nm} = 197 \text{ kNm} > M = 190 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kết luận: Độ bền của tiết diện dầm được đảm bảo.

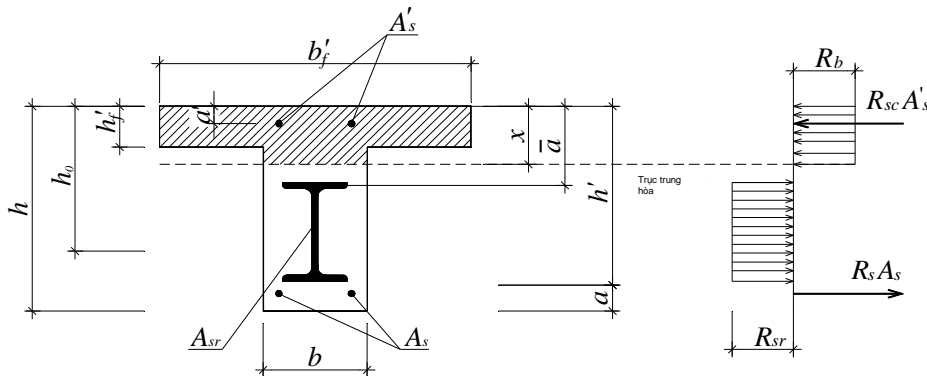
c) Tính toán độ bền của dầm tiết diện chữ T

Khi trục trung hòa đi qua cánh của tiết diện dầm chữ T, thì tiết diện sẽ được tính như tiết diện dầm chữ nhật có chiều rộng cánh là b'_f .

Khi trục trung hòa đi qua sườn tiết diện chữ T thì việc tính toán độ bền tiết diện thẳng góc của dầm tiết

diện chữ T được tiến hành tùy theo vị trí của trục trung hòa đối với cốt cứng: Trục trung hòa không đi qua cốt cứng; Trục trung hòa đi qua bản bụng cốt cứng; Trục trung hòa đi qua bản cánh cốt cứng.

Trường hợp 1 – Trục trung hòa không đi qua cốt cứng (hình 6).



Hình 6. Trục trung hòa không đi qua cốt cứng (dầm tiết diện chữ T)

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện cân bằng $\Sigma x = 0$.

$$\Sigma x = R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f + R_{sc} A'_s - R_s A_s - R_{sr} A_{sr} = 0$$

Trục trung hòa không đi qua cốt cứng khi:

$$x = \frac{R_{sr} A_{sr} + R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{b R_b} < \bar{a} \quad (11)$$

Trong đó: A_{sr} - diện tích tiết diện cốt cứng nằm trong vùng chịu kéo; b'_f - chiều rộng cánh của dầm tiết diện chữ T; b - chiều rộng tiết diện chữ nhật; h'_f - chiều dày cánh của dầm tiết diện chữ T.

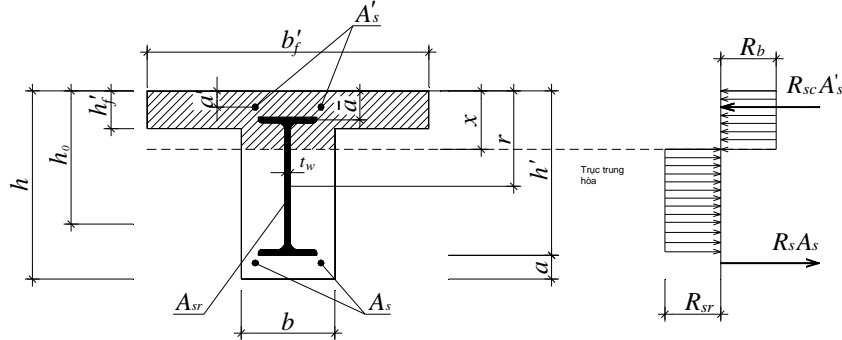
- Khi $x \leq \xi_R h_0$, ứng suất trong cốt thép chịu kéo (cốt cứng và cốt thép thường) đạt đến cường độ tính toán, trạng thái giới hạn đạt đến bằng sự phá hoại dẻo. Khi đó độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng đối với trọng tâm cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo $\Sigma M = 0$:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (12)$$

- Khi $x > \xi_R h_0$, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện (12) nhưng thay $x = \xi_R h_0$ và được viết dưới dạng:

$$M \leq R_b b \xi_R h_0^2 (1 - 0,5 \xi_R) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (13)$$

Trường hợp 2 – Trục trung hòa đi qua bản bụng của cốt cứng (hình 7).



Hình 7. Trục trung hòa đi qua bản bụng của cốt cứng (dầm tiết diện chữ T)

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện cân bằng $\Sigma x = 0$:

$$\Sigma x = R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f + R_{sc} A'_s + R_{sr} A_{sr} - R_s A_s - R_{sr} A_{sr} = 0$$

Trục trung hòa đi qua bản bụng cốt cứng khi:

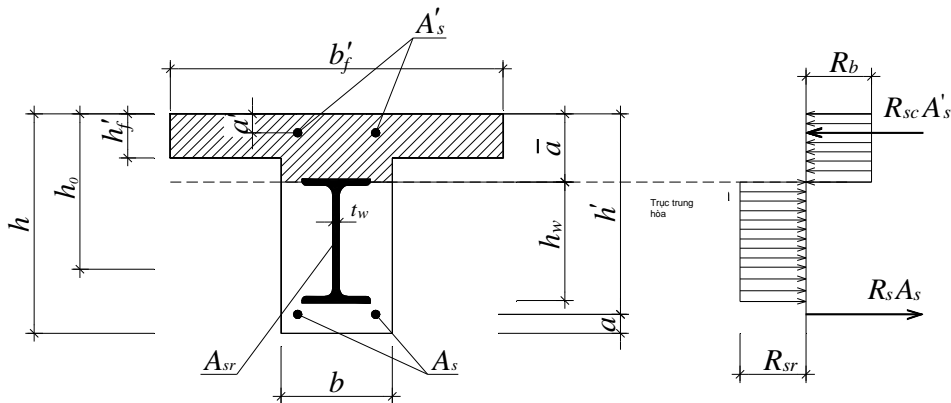
$$x = \frac{2R_{sr} r t_w + R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{bR_b + 2R_{sr} t_w} > \bar{a} \quad (14)$$

Trong đó: r - khoảng cách từ biên chịu nén của bê tông đến trọng tâm cốt cứng; t_w - chiều dày bản bụng của cốt cứng.

- Khi $x \leq \xi_R h_0$, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng mô men đối với trục trung hòa $\Sigma M = 0$:

$$M \leq [(b'_f - b) h'_f (x - 0,5h'_f) + 0,5bx^2] R_b + R_{sr} A'_s (x - a') + R_{sr} [W_p + (r - x)^2 t_w] + R_s A_s (h' - x) \quad (15)$$

Trường hợp 3 – Trục trung hòa đi qua bản cánh của cốt cứng (hình 8).



Hình 8. Trục trung hòa đi qua bản cánh của cốt cứng (dầm tiết diện chữ T)

Nếu chiều cao vùng chịu nén của bê tông xác định theo (11) không thỏa mãn, tức là trục trung hòa đi qua cốt cứng, thì chiều cao vùng chịu nén của bê tông tính theo (14). Nếu kết quả tính được theo (14) cũng không thỏa mãn thì giả thiết rằng trục trung hòa đi qua cánh cốt cứng.

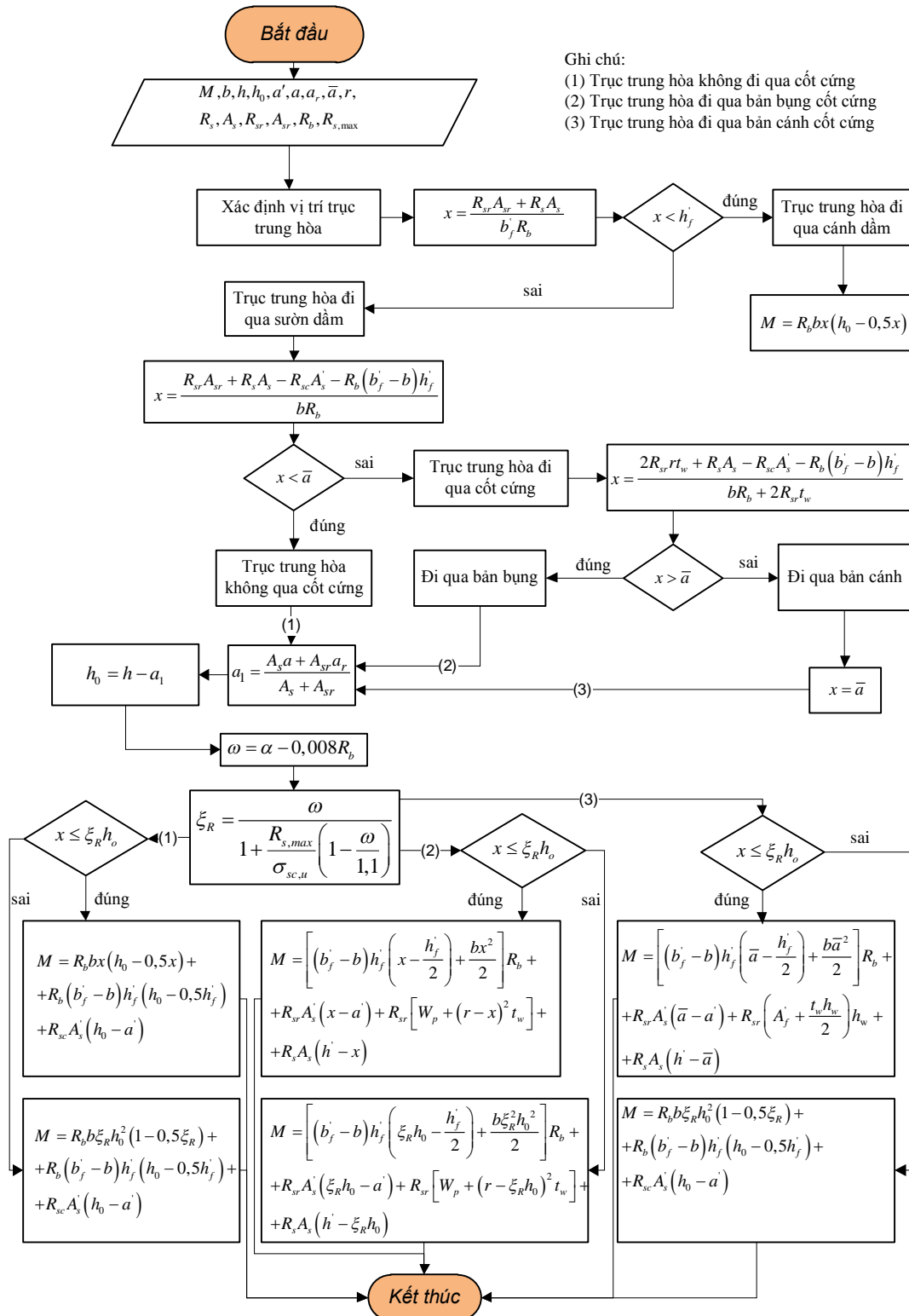
Khi đó, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo điều kiện cân bằng mô men đối với trục trung hòa $\Sigma M = 0$.

$$M \leq [(b'_f - b) h'_f (\bar{a} - 0,5h'_f) + 0,5b\bar{a}^2] R_b + R_{sr} A'_s (\bar{a} - a') + R_{sr} (A'_f + 0,5t_w h_w) h_w + R_s A_s (h' - \bar{a}) \quad (16)$$

Khi $x > \xi_R h_0$, độ bền của tiết diện được kiểm tra theo công thức (13).

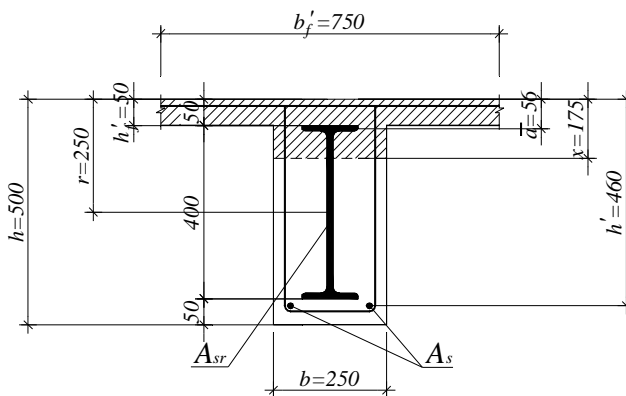
QUY CHUẨN - TIÊU CHUẨN

Việc kiểm tra độ bền tiết diện thẳng góc của dầm bê tông cốt cứng tiết diện chữ nhật có thể thực hiện theo sơ đồ khối trên hình 9.



Hình 9. Sơ đồ khối kiểm tra độ bền tiết diện thẳng góc của dầm bê tông cốt cứng tiết diện chữ T

Ví dụ 2: Kiểm tra độ bền tiết diện của dầm bê tông cốt cứng tiết diện chữ T sử dụng cốt cứng (hình 10) với các số liệu đầu vào như sau: Bê tông cấp độ bền B22,5 (M300) có $R_b = 13 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{b1} = 1$; cốt cứng dùng thép chữ I40 cán nóng có $R_{sr} = 210 \text{ N/mm}^2$ ($A_{sr} = 71,4 \text{ cm}^2$, $W = 947 \text{ cm}^3$); cốt thép thường C-III có $R_s = R_{sc} = 365 \text{ N/mm}^2$ ($A_s = 6,28 \text{ mm}^2$, $(2\phi 20)$); mô men uốn tác dụng $M = 350 \text{ kNm}$.



Hình 10. Dầm tiết diện chữ T

Thực hiện tính toán:

- Khoảng cách từ trục cánh trên của cốt cứng đến biên chịu nén của tiết diện $\bar{a} = 56 \text{ mm}$

$$a_r = 50 + 400 / 2 = 250 \text{ mm}$$

- Khoảng cách từ trọng tâm cốt cứng đến biên chịu nén:

$$r = 50 + 400 / 2 = 250 \text{ mm}$$

Bước 1: Xác định vị trí trục trung hòa

- Giả thiết trục trung hòa đi qua cánh của tiết diện dầm chữ T

Bước 2: Xác định chiều cao vùng bê tông chịu nén

- Do giả thiết trục trung hòa đi qua cánh của tiết diện chữ T nên dầm coi như dầm chữ nhật với chiều rộng $b = b'_f = 750 \text{ mm}$, chiều cao vùng bê tông chịu nén được xác định theo công thức (11):

$$x = \frac{R_{sr} A_{sr} + R_s A_s}{b'_f R_b} = \frac{210 \times 71,4 \times 10^2 + 365 \times 6,28 \times 10^2}{750 \times 13} = 177 \text{ mm}$$

- Vì $x = 177 \text{ mm} > h'_f = 50 \text{ mm}$ nên giả thiết là sai, trục trung hòa đi qua sườn của tiết diện dầm, tiết diện được tính toán như với dầm tiết diện chữ T. Chiều cao vùng chịu bê tông chịu nén được xác định theo công thức (14):

$$x = \frac{2R_{sr} r t_w + R_s A_s - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{b R_b + 2R_{sr} t_w}$$

$$= \frac{2 \times 210 \times 250 \times 8 + 365 \times 6,28 \times 10^2 - 13 \times (750 - 250) \times 50}{250 \times 13 + 2 \times 210 \times 8} = 113 \text{ mm} > \bar{a} = 56 \text{ mm}$$

- Vì $x = 113 \text{ mm} > \bar{a} = 56 \text{ mm}$ nên trục trung hòa đi qua bản bụng của cốt cứng.

Bước 3: Xác định khoảng cách a_1

- Khoảng cách từ hợp lực của nội lực trong cốt thép (cốt cứng và cốt thép thường) chịu kéo đến biên chịu kéo tiết diện được xác định theo công thức (2):

$$a_1 = \frac{A_{sr} a_r + A_s a}{A_{sr} + A_s} = \frac{71,4 \times 10^2 \times 200 + 6,28 \times 10^2 \times 35}{71,4 \times 10^2 + 6,28 \times 10^2} = 232 \text{ mm}$$

Bước 4: Xác định chiều cao làm việc của tiết diện:

- Chiều cao làm việc của tiết diện được xác định theo công thức (1):

$$h_0 = h - a_1 = 500 - 232 = 268 \text{ mm}$$

Bước 6: Xác định chiều cao tương đối giới hạn vùng chịu nén ξ_R của bê tông

- Chiều cao tương đối giới hạn vùng chịu nén của bê tông được tính theo công thức (3):

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_{s,max}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,746}{1 + \frac{365}{400} \left(1 - \frac{0,746}{1,1}\right)} = 0,58$$

Trong đó: $R_{s,max} = \max(R_s; R_{sr}) = \max(365; 210) = 365 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_{sc,u} = 400 \text{ N/mm}^2$ (mục 2b, bảng 15 của [1]).

Bước 7: Xác định mô men giới hạn của tiết diện

- Xác định mô men kháng uốn của cốt cứng tiết diện chữ I:

$$W_p = 1,17W = 1,17.947 = 1100 \text{ cm}^3 \text{ với } W = 947 \text{ cm}^3.$$

- Vì $x = 113 \text{ mm} < \xi_R h_0 = 0,58 \times 268 = 155 \text{ mm}$ nên mô men giới hạn của tiết diện được xác định theo công thức (15):

$$\begin{aligned} M &= R_b \left[(b'_f - b) h'_f \left(x - \frac{h'_f}{2} \right) + \frac{bx^2}{2} \right] + R_{sr} A'_s (x - a') + R_{sr} \left[W_p + (r - x)^2 t_w \right] + R_s A_s (h' - x) \\ &= 13 \times \left[(750 - 250) \times 50 \times (113 - 0,5 \times 50) + \frac{250 \times 113^2}{2} \right] + \\ &+ 210 \times \left[1110 \times 10^3 + (250 - 113)^2 \times 8 \right] + 365 \times 6,28 \times 10^2 \times (460 - 113) \\ &= 394 \times 10^6 \text{ Nm} = 194 \text{ kNm} > M = 350 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kết luận: Độ bền của tiết diện dầm được đảm bảo.

3. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu phương pháp tính toán dầm bê tông sử dụng cốt cứng dựa theo tiêu chuẩn thiết kế của Nga về kết cấu bê tông cốt thép [3], kết cấu thép [4] và áp dụng vào tiêu chuẩn Việt Nam tương ứng [1] và [2].

- Phương pháp tính toán dầm bê tông sử dụng cốt cứng theo tiêu chuẩn Nga tương tự như phương pháp tính toán dầm bê tông cốt thép thông thường. Các quy định chung về tính toán dầm bê tông sử dụng cốt thép thường có thể được áp dụng cho dầm bê tông sử dụng cốt cứng. Khi tính toán dầm bê tông sử dụng cốt cứng thì diện tích vùng chịu kéo của tiết diện được kể thêm phần cốt cứng cùng tham gia chịu lực;

- Trong bài báo đã đưa ra được quy trình để kiểm tra độ bền dầm bê tông tiết diện chữ nhật hoặc chữ T sử dụng cốt cứng là thép hình tiết diện chữ I và một số ví dụ tính toán minh họa. Quy trình này có thể sử dụng trong thực tế thiết kế ở Việt Nam và hoàn toàn đồng bộ với hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam;

- Trong bài báo mới chỉ đề cập tới tính toán độ bền theo tiết diện thẳng góc. Việc tính toán với tiết diện nghiêng sẽ được trình bày trong số báo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 5574:2012, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế, 2012.
2. TCVN 5575:2012, Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế, 2012.
3. SNIP 2.03.01-84*, Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования, Москва, 1989.
4. SNIP II.23-81*, Стальные конструкции. Нормы проектирования, Москва, 1982.
5. БОНДАРЕНКО В.М., СУВОРКИН Д.Г., Железобетонные и каменные конструкции, Москва, Высшая школа, 1987.
6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой., Москва, Стройиздат, 1978.

Ngày nhận bài sửa: 5/9/2014.