

THIẾT LẬP TRÌNH TỰ TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN CỦA CẤU KIỆN CHỊU UỐN XOẮN ĐỒNG THỜI

TS. LÊ MINH LONG
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo đề cập tới việc thiết lập trình tự tính toán độ bền của cấu kiện chịu uốn xoắn đồng thời theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép "TCXDVN 356 : 2005". Trình tự được thiết lập đã cụ thể hóa được các bước tính toán chi tiết theo các sơ đồ làm việc khác nhau của cấu kiện. Trình tự này áp dụng vào việc thiết kế cấu kiện làm việc chịu tác dụng của uốn xoắn đồng thời.

1. Đặt vấn đề

Trong các kết cấu bê tông cốt thép, thường gặp các cấu kiện chịu uốn xoắn đồng thời, ví dụ như dầm đỡ ban công, các bản sàn có dạng công xôn, dầm công xôn,... hoặc các cấu kiện khác khi mà lực tác dụng lên chúng không nằm trong mặt phẳng đi qua trục dọc của chúng.

Cường độ bê tông khi chịu xoắn nhỏ hơn nhiều so với khi chịu nén. Vì vậy ngay cả khi mô men xoắn không lớn cũng phải kể đến trong tính toán.

Trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCXDVN 356:2005, điều 6.2.4 qui định nguyên tắc tính toán bền cho các cấu kiện và riêng cho cấu kiện tiết diện chữ nhật mà không có qui trình tính toán cụ thể cho các loại cấu kiện này. Vì vậy, việc thiết lập trình tự tính toán là vấn đề cần thiết. Bài báo trình bày việc thiết lập trình tự tính toán cho chúng.

2. Tính toán bền tiết diện chịu uốn xoắn đồng thời

2.1. Các giả thuyết và điều kiện tính toán

Khi có mô men xoắn tác dụng lên cấu kiện, sự phá hoại xảy ra theo tiết diện không gian (hay còn gọi là tiết diện vênh) tạo bởi vết nứt xoắn tròn ốc và đường giới hạn vùng chịu nén của nó, nằm nghiêng một góc so với trục dọc cấu kiện.

Tiết diện không gian được tính toán từ điều kiện cân bằng các mô men do tất cả các ngoại lực và nội lực trong mặt phẳng vuông góc với đường giới hạn vùng chịu nén của tiết diện đó đối với trục vuông góc với mặt phẳng này và đi qua điểm đặt hợp lực của nội lực trong vùng chịu nén.

Khi tính toán tiết diện không gian, các nội lực được xác định dựa trên các giả thiết sau:

- Bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông;
- Vùng chịu nén của tiết diện không gian được coi là phẳng, nằm nghiêng một góc θ với trục dọc cấu kiện, khả năng chịu nén của bê tông lấy bằng $R_b \sin^2 \theta$, phân bố đều trên vùng chịu nén;
- Ứng suất kéo trong cốt thép dọc và cốt thép ngang cắt qua vùng chịu kéo của tiết diện không gian đang xét lấy bằng cường độ tính toán R_s và R_{sw} ;
- Ứng suất của cốt thép nằm trong vùng chịu nén lấy bằng R_{sc} đối với cốt thép không căng; đối với cốt thép căng lấy bằng $\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma'_{sp} = \varepsilon_{b,u} E_b - \sigma'_{sp}$, trong đó $\varepsilon_{b,u}$ là biến dạng co ngót giới hạn của bê tông khi nén đúng tâm (lấy bằng 2‰, còn khi $\gamma_{b2} = 0.9$ lấy bằng 2.5‰).

Khi ngoại tải tác dụng lệch với mặt phẳng đối xứng của cấu kiện, mô men xoắn gây thêm ứng suất phụ làm giảm lực cắt tới hạn chịu được bởi tiết diện nghiêng. Vì vậy, đối với cấu kiện chịu uốn xoắn đồng thời, cần phải kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện nghiêng khi chịu lực cắt có kể đến ảnh hưởng của mô men xoắn.

2.2. Trường hợp cấu kiện có tiết diện chữ nhật

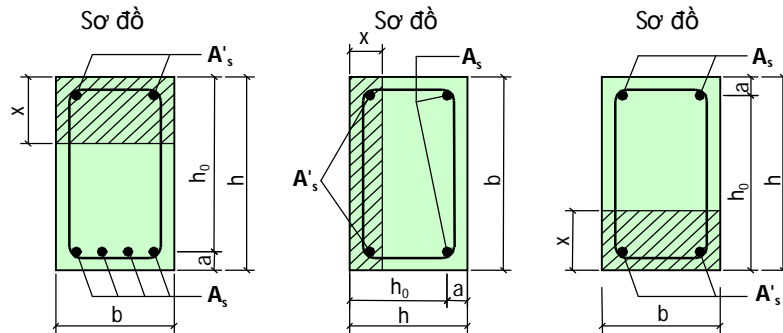
Khi tính toán tiết diện không gian, cần kiểm tra độ bền của cốt thép dọc và ngang bố trí ở cạnh của cấu kiện đối diện vùng chịu nén của tiết diện. Khi tính toán cần xét đến 3 trường hợp phân bố vùng chịu nén trong tiết diện:

Sơ đồ 1: ở cạnh của cấu kiện bị nén do uốn (hình 1a);

Sơ đồ 2: ở cạnh của cấu kiện, song song với mặt phẳng tác dụng của mô men uốn (hình 1b);

Sơ đồ 3: ở cạnh bị kéo do uốn của cấu kiện (hình 1c).

Trường hợp sơ đồ 3 có thể rất nguy hiểm khi trong vùng có tác dụng của mô men uốn không lớn và cốt thép trên (nằm trong vùng chịu kéo) yếu hơn rất nhiều so với cốt thép dưới.



Hình 1. Sơ đồ vị trí vùng chịu nén của tiết diện không gian: a. ở cạnh bị nén do uốn; b. ở cạnh song song với mặt phẳng tác dụng của mô men uốn; c. ở cạnh bị kéo do uốn

Khi tính toán cấu kiện chịu uốn xoắn đồng thời, kích thước tiết diện ngang cần thỏa mãn điều kiện:

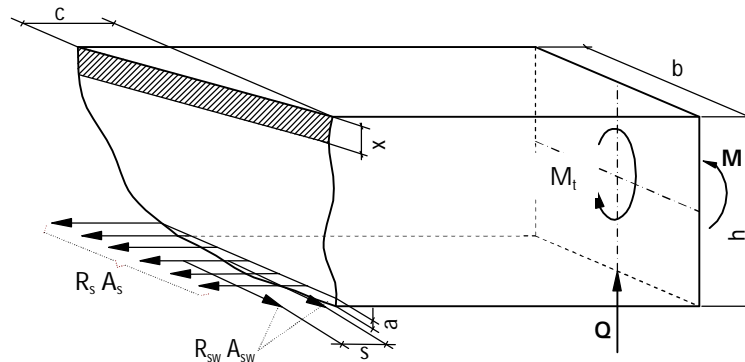
$$M_t \leq 0,1R_b b^2 h \quad (1)$$

Trong đó: b , h – tương ứng là các kích thước nhỏ hơn và lớn hơn của tiết diện; M_t – mô men xoắn.

Giá trị R_b đối với bê tông cấp cao hơn B30 được lấy như đối với bê tông cấp B30.

Trong các trường hợp trên, khi tính toán tiết diện không gian theo độ bền (hình 2) cần thực hiện theo điều kiện:

$$M_t \leq (R_s A_s + R_s A_{sp}) \frac{1 + \varphi_w \delta \lambda^2}{\varphi_q \lambda + \chi} (h_0 - 0,5x) \quad (2)$$



Hình 2. Sơ đồ nội lực trong tiết diện không gian cấu kiện bê tông cốt thép chịu uốn xoắn đồng thời khi tính toán theo độ bền

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện:

$$R_s A_{sp} + R_s A_s - R_{sc} A'_s - \sigma_{sc} A'_{sp} = R_b b x \quad (3)$$

Trong đó, nếu $x < 2a'$, thì trong (2) lấy $x = 2a'$.

Khi $x > \xi_R h_0$ thì cần kiểm tra bền tiết diện thẳng góc.

Trong các công thức (2) và (3):

A_s, A'_s – diện tích tiết diện cốt thép dọc nằm ở vùng chịu kéo và vùng chịu nén tương ứng với từng sơ đồ tính toán;

b, h – kích thước các cạnh cấu kiện, tương ứng song song và vuông góc với đường giới hạn vùng chịu nén:

$$\delta = \frac{b}{2h + b} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{c}{b} \quad (5)$$

Trong đó: c – chiều dài hình chiếu của đường giới hạn vùng chịu nén lên trục dọc cấu kiện, việc tính toán được thực hiện với giá trị c nguy hiểm nhất; c được xác định bằng phương pháp tính lặp đúng dần và lấy không lớn hơn $(2h + b)$ và không lớn hơn chiều dài đoạn cấu kiện mà tại đó các nội lực tính toán M, M_t, Q không đổi dấu ($b\sqrt{2/\delta}$).

Giá trị χ và φ_q đặc trưng cho quan hệ giữa các nội lực M_t, M , và Q được lấy như sau:

- Khi không có mô men uốn: $\chi = 0; \varphi_q = 1$;

- Khi tính toán theo:

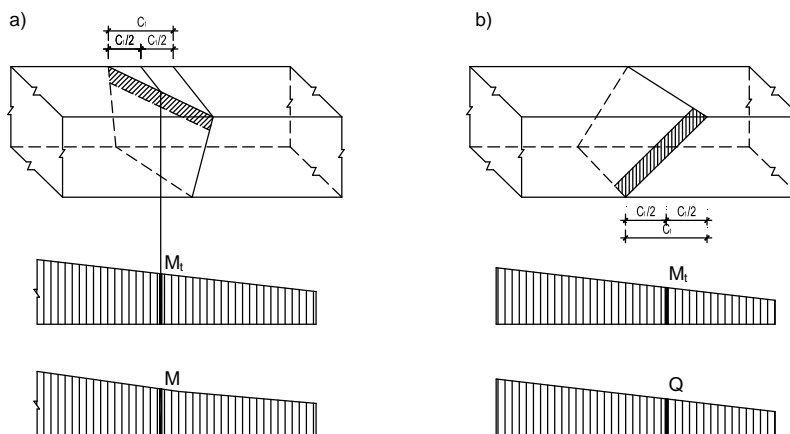
$$\text{Sơ đồ 1: } \chi = \frac{M}{M_t}, \varphi_q = 1 \quad (6)$$

$$\text{Sơ đồ 2: } \chi = 0; \varphi_q = 1 + \frac{Qh}{2M_t} \quad (7)$$

$$\text{Sơ đồ 3: } \chi = -\frac{M}{M_t}; \varphi_q = 1 \quad (8)$$

Trước tiên xét tiết diện không gian tính từ gối tựa, nghĩa là trong vùng có tác dụng mô men xoắn lớn nhất (và lực cắt lớn nhất). Sau đó, tùy theo biểu đồ mô men uốn cũng như sự thay đổi tiết diện và sự bố trí cốt thép theo chiều dài cấu kiện xét tiếp các điểm khác đặc trưng điểm đầu của các tiết diện không gian với chiều dài c .

Mô men xoắn M_t , mô men uốn M và lực cắt Q được lấy ở tiết diện vuông góc với trục dọc cấu kiện và đi qua trọng tâm vùng chịu nén của tiết diện không gian (hình 3).



Hình 3. Xác định mô men uốn, mô men và xoắn lực cắt tại tiết diện không gian
a. theo sơ đồ 1 và 3; b. theo sơ đồ 2

Giá trị hệ số φ_w , đặc trưng cho quan hệ giữa cốt thép ngang và cốt thép dọc, được xác định theo công thức:

$$\varphi_w = \frac{R_{sw} A_{sw} b}{R_s A_s s} \quad (9)$$

Trong đó:

A_{sw} – diện tích tiết diện một thanh cốt thép đai nằm ở cạnh chịu kéo của sơ đồ tính toán đang xét;

s – khoảng cách giữa các cốt thép đai nói trên.

Khi đó giá trị φ_w lấy không nhỏ hơn:

$$\varphi_{w,\min} = \frac{0,5}{1 + M/2\varphi_w M_u} \quad (10)$$

và không lớn hơn:

$$\varphi_{w,\max} = 1,5 \left(1 - \frac{M}{M_u} \right) \quad (11)$$

Trong đó:

M – mô men uốn, đối với sơ đồ 2 lấy bằng 0; đối với sơ đồ 3 lấy với dấu “-”;

M_u – mô men uốn lớn nhất mà tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện chịu được.

Các giá trị $\varphi_{w,\min} = \frac{0,5}{1 + M/2\varphi_w M_u}$ và $\varphi_{w,\max} = 1,5 \left(1 - \frac{M}{M_u} \right)$ đặc trưng cho khoảng mà khi cấu kiện bị phá hoại cốt thép dọc và cốt thép ngang làm việc với toàn bộ cường độ tính toán của chúng.

Nếu giá trị φ_w tính được từ công thức (6) nhỏ hơn $\varphi_{w,\min}$ (nghĩa là cốt thép dọc quá thừa so với cốt thép ngang và ứng suất trong cốt thép dọc không sử dụng hết cường độ tính toán R_s), thì giá trị nội lực $R_s A_s$ đưa vào các công thức (2) và (3) được giảm xuống theo tỷ số $\varphi_w / \varphi_{w,\min}$ và trên tử số lấy $\varphi_w = \varphi_{w,\min}$.

Nếu giá trị φ_w tính được từ công thức (6) lớn hơn $\varphi_{w,\max}$ (nghĩa là cốt thép ngang quá thừa so với cốt thép dọc và ứng suất trong cốt thép ngang không sử dụng hết cường độ tính toán R_{sw}), thì giá trị nội lực $R_s A_s$ đưa vào các công thức (2) và (3) được nhân thêm với tỉ số $\varphi_{w,\max} / \varphi_w$.

Nếu $M_t \leq 0,5Q_b$, thì thay vì tính theo sơ đồ 2, việc tính toán tiến hành theo điều kiện:

$$Q \leq Q_{sw} + Q_b - \frac{3M_t}{b} \quad (12)$$

Việc tính toán theo sơ đồ 3 không cần tiến hành nếu thỏa mãn điều kiện:

$$M > M_t / 2\sqrt{\delta} \quad (13)$$

2.3. Trình tự tính toán

Việc tính toán kiểm tra độ bền của cấu kiện tiết diện chữ nhật chịu uốn xoắn đồng thời khuyến nghị thực hiện theo trình tự sau:

1. Kiểm tra điều kiện (1). Nếu điều kiện này thỏa mãn, chuyển sang bước 2; nếu không thỏa mãn, cần thay đổi kích thước tiết diện hoặc cấp bê tông chịu nén.

2. Nếu $T < 0,5Q_b$, chuyển sang bước 6, nếu ngược lại thì chuyển sang bước 3.

3. Theo công thức (82) của TCXDVN 356:2005 tính Q_w , theo công thức (76) của TCXDVN 356:2005 tính Q_b .

4. Kiểm tra điều kiện (12).

5. Nếu điều kiện (12) không thỏa mãn thì việc kiểm tra bền tiết diện thẳng góc được thực hiện không kể đến xoắn, nếu không thì cần thay đổi tiết diện hoặc cấp bê tông.

Tính theo sơ đồ 1:

6. Theo công thức (3) tính chiều cao vùng chịu nén x .

7. Nếu $x < 2a'$, lấy $x = 2a'$; nếu $x > \xi_R h_0$, kiểm tra các điều kiện theo điều 6.2.2.8 của TCXDVN 356:2005.

8. Theo công thức (6) tính χ ; lấy $\varphi_q = 1$.

9. Theo công thức (4) tính δ .

10. Theo công thức (9) tính φ_w .

11. Xác định M_u .

12. Theo các công thức (10) và (11) xác định $\varphi_{w,\min}$ và $\varphi_{w,\max}$.

13. Nếu $\varphi_w > \varphi_{w,\max}$, thì lấy $\varphi_w = \varphi_{w,\max}$; nếu $\varphi_w < \varphi_{w,\min}$, thì lấy $\varphi_w = \varphi_{w,\min}$.

14. Bằng phương pháp đúng dần xác định giá trị c (c không lớn hơn $2h+b$ và không lớn hơn chiều dài đoạn cấu kiện có các nội lực M , M_t , Q không đổi dấu) sao cho vế trái của bất đẳng thức (2) là nhỏ nhất.

15. Nếu $\varphi_w < \varphi_{w,\min}$ (xem bước 13), thì chuyển sang bước 16, nếu không thì chuyển sang bước 17.

16. Tính vế phải của bất đẳng thức (2) theo công thức:

$$\left(R_s A_s + R_s A_{sp} \right) \frac{\varphi_w}{\varphi_{w,\min}} \frac{1 + \varphi_{w,\min} \delta \lambda^2}{\lambda + \chi} (h_0 - 0,5x) \quad 17. \text{ Kiểm tra bất đẳng thức (2).}$$

Tính theo sơ đồ 2

18. Kiểm tra điều kiện $M_t < Qb$. Nếu điều kiện này thỏa mãn, chuyển sang bước 19, nếu không chuyển sang bước 20.

19. Thực hiện các bước 3...5.

20. Thực hiện các bước 6...7.

21. Theo công thức (7), tính hệ số φ_q .

22. Thực hiện các bước từ 9...14.

23. Nếu $\varphi_w < \varphi_{w,\min}$, thì chuyển sang bước 24, nếu không chuyển sang bước 25.

24. Tính vế phải biểu thức (2) theo công thức:

$$\left(R_s A_s + R_s A_{sp} \right) \frac{\varphi_w}{\varphi_{w,\min}} \frac{1 + \varphi_{w,\min} \delta \lambda^2}{\varphi_q \lambda} (h_0 - 0,5x)$$

25. Kiểm tra bất đẳng thức (2).

Tính theo sơ đồ 3:

26. Theo công thức (4) tính.

27. Kiểm tra điều kiện (13).

28. Nếu điều kiện này không thỏa mãn, thì chuyển sang bước 29, nếu không thì kết thúc.

29. Thực hiện các bước 6...7.

30. Theo công thức (8) tính χ .

31. Thực hiện các bước 10...14.

32. Nếu $\varphi_w < \varphi_{w,\min}$, chuyển sang bước 33, nếu không chuyển sang bước 34.

33. Thực hiện bước 16.

34. Kiểm tra bất đẳng thức (2) → Kết thúc.

3. Kết luận

Cường độ bê tông khi chịu xoắn nhỏ hơn nhiều so với khi chịu nén. Vì vậy, ngay cả khi mô men xoắn không lớn cũng phải kể đến trong tính toán.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCXDVN 356:2005 có qui định nguyên tắc tính toán bền cho các cấu kiện và riêng cho cấu kiện tiết diện chữ nhật mà không có qui trình tính toán cụ thể cho các loại cấu kiện này. Vì vậy, việc thiết lập trình tự tính toán chịu xoắn cho cấu kiện tiết diện chữ nhật mang tính chất ứng dụng và có thể áp dụng trong quá trình thiết kế.

Trình tự tính toán cấu kiện chịu xoắn đã cụ thể hóa được các bước tính toán theo các sơ đồ làm việc khác nhau của chúng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCXDVN 356 : 2005, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84).
3. Проектирование железобетонных конструкций. *Справочное пособие. Киев, 1985.*