

Đề xuất quy trình tính toán cốt thép đai cho dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018

Trần Minh Sang¹, Hoàng Công Duy, Phạm Thị Lan^{1*}

¹ Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn, Việt Nam

TỪ KHOA

Dầm bê tông cốt thép
cốt thép đai
Dầm bê tông cốt thép chịu lực cắt
Tính toán cường độ trên tiết
diện nghiêng

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một quy trình mới tính toán dầm bê tông cốt thép chịu cắt dựa vào Mục 8.1.3 của Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2018, một chủ đề ít được quan tâm trong các tài liệu hiện có. Bài báo cũng đưa ra hai ví dụ cụ thể với các dạng tải trọng tác dụng khác nhau nhằm giải thích quy trình thiết kế dầm, tránh hư hỏng do cắt. Thông qua việc trình bày hai ví dụ trên, nghiên cứu này đã làm sáng tỏ quy trình thiết kế dầm chịu lực cắt. Nghiên cứu cũng cho thấy sự khác biệt về quy định cấu tạo của cốt đai chịu lực và cốt đai cấu tạo. Việc tối ưu hóa trong lựa chọn chiều dài đoạn dầm gần gối tựa (x) cho từng cấu kiện, dựa vào biểu đồ lực cắt Q, có thể giúp tiết kiệm đáng kể lượng cốt đai cần sử dụng. Bằng cách đưa ra những hiểu biết thực tế về quy trình này, nghiên cứu trang bị cho các kỹ sư sự hiểu biết sâu sắc hơn về TCVN 5574:2018, tạo điều kiện cho việc áp dụng tiêu chuẩn này hiệu quả hơn trong thiết kế dầm bê tông cốt thép chịu tải trọng tĩnh.

KEYWORDS

Reinforced concrete beams
Stirrup
Beams under shear force
Strength calculation of inclined sections

ABSTRACT

This study introduces a novel procedure for calculating reinforced-concrete beams based on Section 8.1.3 of TCVN 5574:2018, a topic that has received limited attention in existing literature. Two specific examples with different scenarios are presented in this study to explain the design procedure for beams to avoid shear damage. Through the presentation of two distinct examples featuring different scenarios, this research elucidates the design process for beams subjected to shear force. The findings reveal a notable distinction in the design approach for main stirrups and secondary stirrups, indicating that optimizing the length selection (x, near support) for each component, guided by the shear force diagram Q, can lead to significant savings in reinforcement steel usage as stirrups. By offering practical insights into this procedure, the study equips engineers with a deeper understanding of TCVN 5574:2018, facilitating its more effective application in the design of reinforced-concrete beams under static loads.

1. Giới thiệu

Sự tăng trưởng nhanh của nền kinh tế nước ta đã thúc đẩy mạnh mẽ tốc độ phát triển của ngành xây dựng về số lượng và đa dạng loại hình kết cấu. Các kết cấu làm nhà cao tầng, nhà nhịp lớn, hệ thanh ngày càng xuất hiện nhiều ở Việt Nam và các nước trên thế giới. Kết cấu bê tông cốt thép ngày nay đang được sử dụng rộng rãi và rất có hiệu quả.

Đánh giá khả năng chịu uốn – cắt của cấu kiện là nhiệm vụ quan trọng trong công tác thiết kế. Trong đó đánh giá khả năng chịu cắt của cấu kiện chịu uốn đặc biệt là cấu kiện dầm đã được dành khá nhiều thời gian trong các nghiên cứu [1-3].

Năm 2018, Bộ Khoa học và Công nghệ đã ban hành TCVN TCVN 5574:2018 thay thế TCVN TCVN 5574:2012. Mục 8.1.3 của Tiêu chuẩn này đã trình bày nguyên tắc tính toán độ bền cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của lực cắt. Tuy nhiên, nội dung nguyên tắc phức tạp, khó hiểu nên việc áp dụng vào thực tế thiết kế cho đến nay vẫn còn gặp rất nhiều khó khăn. Với đề tài: Đề xuất quy trình tính toán cốt thép đai

cho dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018, nhóm tác giả thông qua nghiên cứu lý thuyết, tổng hợp và phân tích các nội dung từ đó đề xuất quy trình tính toán theo tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam, giúp việc thiết kế kết cấu của các kỹ sư đơn giản hơn.

2. Tính toán độ bền cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của lực cắt theo TCVN 5574:2018

2.1 Yêu cầu chung

Tính toán độ bền cấu kiện bê tông cốt thép khi có tác dụng của lực cắt được tiến hành theo mô hình tiết diện nghiêng.

Khi tính toán theo mô hình tiết diện nghiêng thì phải đảm bảo độ bền của cấu kiện theo dải giữa các tiết diện nghiêng và theo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt, cũng đảm bảo độ bền theo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của mô men.

Độ bền theo dải bê tông nghiêng được đặc trưng bởi giá trị lực cắt lớn nhất mà dải bê tông nghiêng có thể chịu được dưới tác dụng của nội lực nén nằm dọc theo dải bê tông này và nội lực kéo do cốt thép

*Liên hệ tác giả: phamthilan@qu.edu.vn

Nhận ngày 04/03/2024, sửa xong ngày 10/04/2024, chấp nhận đăng ngày 12/04/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.673>

ngang cắt qua dải bê tông nghiêng. Khi đó, độ bền của bê tông được xác định theo cường độ chịu nén do trục của bê tông có thể kể đến ảnh hưởng của trạng thái ứng suất phức tạp trên dải bê tông nghiêng.

Tính toán theo tiết diện nghiêng chịu lực cắt được tiến hành trên cơ sở phương trình cân bằng ngoại lực cắt và nội lực cắt tác dụng nghiêng với chiều dài hình chiếu C lên trục dọc của cầu kiện. Nội lực cắt bao gồm lực cắt chịu bởi bê tông trên tiết diện nghiêng và lực cắt chịu bởi cốt thép ngang cắt qua tiết diện nghiêng. Khi đó, các lực cắt chịu bởi bê tông và bởi cốt thép ngang được xác định theo cường độ chịu kéo của bê tông và của cốt thép ngang có kể đến chiều dài hình chiếu C của tiết diện nghiêng.

Tính toán theo tiết diện nghiêng chịu mô men được tiến hành trên cơ sở phương trình cân bằng các mô men do ngoại lực và do nội lực tác dụng trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu C lên trục dọc cầu kiện. Mô men do nội lực bao gồm mô men chịu bởi bê tông, mô men chịu bởi cốt thép chịu kéo cắt qua tiết diện nghiêng, mô men chịu bởi cốt thép ngang cắt qua tiết diện nghiêng. Khi đó, các mô men chịu bởi bê tông, bởi cốt thép dọc và cốt thép ngang được xác định theo cường độ chịu kéo của cốt thép dọc và cốt thép ngang có kể đến chiều dài hình chiếu C của tiết diện nghiêng.

2.2 Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép theo dải bê tông giữa các tiết diện nghiêng

Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn theo dải bê tông giữa các tiết diện nghiêng được tiến hành theo điều kiện (1)^{4,5}:

$$Q \leq Q_{bt} = \varphi_{b1} R_b b h_0 \quad (1)$$

trong đó:

Q : là lực cắt trong tiết diện thẳng góc của cầu kiện;

Q_{bt} : là khả năng chịu ứng suất nén chính;

φ_{b1} : là hệ số, kể đến ảnh hưởng của đặc điểm trạng thái ứng suất của bê tông dải nghiêng, lấy bằng 0,3;

b : là bề rộng của tiết diện dầm;

h_0 : chiều cao làm việc của tiết diện.

2.3 Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép theo tiết diện nghiêng chịu lực cắt

Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn theo tiết diện nghiêng (Hình 1) được tiến hành theo điều kiện (2)^{4,5}:

$$Q \leq Q_u = Q_b + Q_{sw} \quad (2)$$

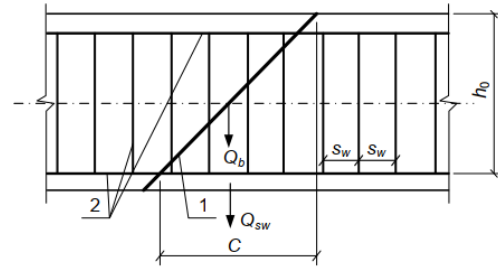
trong đó:

Q : là lực cắt trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu C lên trục dọc cầu kiện, được xác định do tác cả các ngoại lực nằm ở một phía của tiết diện nghiêng đang xét; khi đó, cần kể đến tác dụng nguy hiểm nhất của tải trọng trong phạm vi tiết diện nghiêng;

Q_u : là khả năng chịu cắt trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu C ;

Q_b : là lực cắt chịu bởi bê tông trong tiết diện nghiêng;

Q_{sw} : là lực cắt chịu bởi cốt thép ngang trong tiết diện nghiêng.



1 – tiết diện nghiêng; 2 – cốt thép.

Hình 1. Sơ đồ nội lực khi tính toán cầu kiện bê tông cốt thép theo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt.

+ Lực cắt Q_{sw} đối với cốt thép ngang nằm vuông góc với trục dọc cầu kiện được xác định theo công thức:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} C \quad (3)$$

trong đó:

φ_{sw} : là hệ số, kể đến sự suy giảm nội lực dọc theo chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C , lấy bằng 0,75

q_{sw} : là lực trong cốt thép ngang trên một đơn vị chiều dài cầu kiện, được xác định theo công thức:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{S_w} \quad (4)$$

Khi xác định Q_{sw} theo (3) thì chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C phải thỏa mãn điều kiện $h_0 \leq C \leq 2h_0$.

+ Khả năng chịu cắt của bê tông Q_b được xác định như sau:

Khi $q_{sw} \geq 0,25R_{bt}b$ thì:

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{C} \quad (5)$$

Khi $q_{sw} < 0,25R_{bt}b$ thì:

$$Q_b = \frac{4\varphi_{b2} h_0^2 q_{sw}}{C} \quad (6)$$

trong đó: Q_b phải thỏa mãn điều kiện:

$$Q_{bmin} = 0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq Q_{bmax} = 2,5R_{bt}bh_0 \quad (7)$$

φ_{b2} : là hệ số kể đến ảnh hưởng của cốt thép dọc, lực bám dính và đặc điểm trạng thái ứng suất của bê tông nằm phía trên vết nứt xiên, lấy bằng 1,5.

Từ (5) và (7), có:

$$\begin{aligned} 0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b &= \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{C} \leq 2,5R_{bt}bh_0 \\ \Rightarrow \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{2,5R_{bt}bh_0} &\leq C \leq \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{0,5R_{bt}bh_0} \\ \Rightarrow 0,6h_0 &\leq C \leq 3h_0 \end{aligned}$$

Vậy, khi xác định Q_b theo (5) thì chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C phải thỏa mãn điều kiện $0,6h_0 \leq C \leq 3h_0$.

Từ (6) và (7), có:

$$\begin{aligned} 0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b &= \frac{4 \times 1,5h_0^2 q_{sw}}{C} \leq 2,5R_{bt}bh_0 \\ \Rightarrow \frac{6h_0^2 q_{sw}}{2,5R_{bt}bh_0} &\leq C \leq \frac{6h_0^2 q_{sw}}{0,5R_{bt}bh_0} \\ \Rightarrow \frac{2,4h_0 q_{sw}}{R_{bt}b} &\leq C \leq \frac{12h_0 q_{sw}}{R_{bt}b} \end{aligned}$$

Vậy, khi xác định Q_b theo (6) thì chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C phải thỏa mãn điều kiện $\frac{2,4h_0 q_{sw}}{R_{bt}b} \leq C \leq \frac{12h_0 q_{sw}}{R_{bt}b}$.

Theo [4], cần tính toán theo điều kiện (2) đối với một loạt tiết diện nghiêng, nằm dọc theo chiều dài cầu kiện, với chiều dài nguy hiểm nhất của hình chiếu tiết diện nghiêng C .

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ tính toán cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn theo tiết diện nghiêng theo điều kiện (2). Trong đó, lực cắt Q được lấy bằng Q_{max} (là lực cắt nguy hiểm nhất trên đoạn cầu kiện đang xét) và Q_u được xác định trên tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất C_0 . Tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất C_0 là tiết diện nghiêng mà trên đó khả năng chịu cắt của cầu kiện $Q_u = Q_b + Q_{sw}$ đạt giá trị nhỏ nhất.

+ Khi Q_b được xác định theo công thức (5):

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } Q_u &= (Q_b + Q_{sw})_{min} \\ &\Rightarrow \left(\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{C} + 0,75q_{sw}C \right)_{min} \\ &\Rightarrow \left(\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{C} + 0,75q_{sw}C \right)' = 0 \\ &\Leftrightarrow -\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{C^2} + 0,75q_{sw} = 0 \\ &\Rightarrow C_0 = \sqrt{\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{0,75q_{sw}}} = \sqrt{\frac{2R_{bt}bh_0^2}{q_{sw}}} \end{aligned} \quad (8)$$

+ Khi Q_b được xác định theo công thức (6):

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } Q_u &= (Q_b + Q_{sw})_{min} \\ &\Rightarrow \left(\frac{4 \times 1,5h_0^2q_{sw}}{C} + 0,75q_{sw}C \right)_{min} \\ &\Rightarrow \left(\frac{6h_0^2q_{sw}}{C} + 0,75q_{sw}C \right)' = 0 \\ &\Leftrightarrow -\frac{6h_0^2q_{sw}}{C^2} + 0,75q_{sw} = 0 \\ &\Rightarrow C_0 = \sqrt{\frac{6h_0^2q_{sw}}{0,75q_{sw}}} = \sqrt{8} \times h_0 \end{aligned} \quad (9)$$

Cốt thép ngang cần phải thỏa mãn các yêu cầu cấu tạo nêu trong Mục 2.4.

2.4 Yêu cầu cấu tạo đối với cốt đai trong dầm và bản

- Đường kính cốt thép ngang trong các khung buộc của các cầu kiện chịu uốn lấy không nhỏ hơn 6mm (8mm khi sử dụng bê tông từ B70 đến B100).

- Trong các cầu kiện BTCT mà lực cắt tính toán không thể chỉ do mỗi bê tông chịu thì cần đặt cốt ngang với bước không lớn hơn $0,5h_0$ và không lớn hơn 300mm (250mm khi sử dụng bê tông từ B70 đến B100).

Trong các dầm và sườn cao 150mm trở lên, cũng như trong các bản nhiều sườn có chiều cao từ 300mm trở lên thì cần đặt cốt thép ngang với bước không lớn hơn $0,75h_0$ và không lớn hơn 500mm (400mm khi sử dụng bê tông từ B70 đến B100) trên các đoạn cầu kiện mà có lực cắt tính toán mà chỉ cần do bê tông chịu.

Trong các bản đặc, cũng như trong các bản nhiều sườn có chiều cao nhỏ hơn 300mm và trong các dầm (sườn) có chiều cao nhỏ hơn 150 mm thì không cần đặt cốt thép ngang trên đoạn cầu kiện mà lực cắt tính toán chỉ cần do bê tông chịu.

Khi bố trí, khoảng cách cốt đai s_w phải thỏa mãn: $s_w \leq s_{max} = \frac{R_{bt}bh_0^2}{Q}$

2.5 Thiết lập quy trình tính toán độ bền dầm BTCT chịu tác dụng của lực

cắt theo TCVN 5574:2018

Bài toán: Cho nhịp dầm có kích thước tiết diện ($b \times h$), biểu đồ bao lực cắt (Q), R_{bt} , R_{bt} , R_s , R_{sc} , R_{sw} , ξ_R . Yêu cầu tính toán và bố trí cốt thép đai cho dầm.

Các bước thực hiện:

Bước 1: Kiểm tra điều kiện chịu ứng suất nén chính theo (1)

Nếu điều kiện (1) không thỏa mãn thì phải tăng kích thước tiết diện hoặc tăng cấp độ bền bê tông cho đến khi điều kiện (1) thỏa mãn thì chuyển sang Bước 2.

Bước 2: Kiểm tra điều kiện tính toán cốt đai

Xác định khả năng chịu cắt nhỏ nhất của bê tông Q_{bmin} :

$$Q_{bt0_{bmin}} \quad (10)$$

Trên nhịp dầm đang xét, lấy lực cắt $Q = Q_{max}$

+ **Trường hợp 1:** nếu $Q \leq Q_{bmin}$ thì riêng bê tông đã đủ khả năng chịu cắt, dầm chỉ cần bố trí cốt đai cấu tạo. Chọn và bố trí cốt đai như sau:

$$\text{Đường kính: } \phi_t \geq 6 \quad (11)$$

$$\text{Khoảng cách: } s_2 \leq (0,75h_0; 500; s_{max}) \quad (12)$$

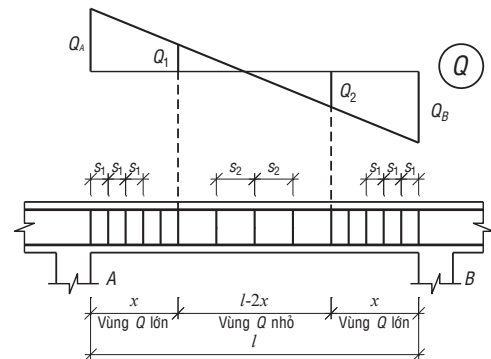
$$\text{Với } s_{max} = \frac{R_{bt}bh_0^2}{Q_{max}} \quad (13)$$

+ **Trường hợp 2:** nếu $Q > Q_{bmin}$ thì cần tính toán cốt đai chịu lực, chuyển sang Bước 3.

Bước 3: Đối với dầm, lực cắt tại vùng gần gối tựa thường lớn hơn giữa nhịp. Nên, để tiết kiệm thép ta chia dầm thành 3 vùng khác nhau: 2 vùng gần gối tựa có chiều dài là x , là vùng có lực cắt lớn, sẽ bố trí với khoảng cách cốt đai nhỏ hơn; vùng còn lại ở giữa nhịp là vùng có lực cắt nhỏ, sẽ bố trí với khoảng cốt đai lớn hơn (Hình 2).

Chú ý: việc chọn chiều dài x dựa vào biểu đồ bao lực cắt để đảm bảo tính kinh tế. Có thể chọn: $x = l/4$, $x = a$,

Với: l là nhịp dầm; a là khoảng cách từ gối tựa đến lực tập trung gần nhất.



Hình 2. Cách bố trí cốt đai trên dầm.

Bước 4: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm gần gối tựa

+ Chọn cốt đai có:

$$\text{Đường kính: } \phi_t \geq 6 \quad (14)$$

$$\text{Khoảng cách: } s_1 \leq (0,5h_0; 300; s_{max}) \quad (15)$$

Với s_{max} được xác định theo (13)

Lấy $s_w = s_1$ và tính:

- + Tính q_{sw} theo (4)
- a) Trường hợp 1: nếu $q_{sw} \geq 0,25R_{bt}b$ thì :
 - + Tính C_0 theo (8)
 - + Tính Q_{sw} theo (3), với $h_0 \leq C = C_0 \leq 2h_0$ (khi $C_0 < h_0$, lấy $C = h_0$; khi $C_0 > 2h_0$, lấy $C = 2h_0$)
 - + Tính Q_b theo (5), với $0,6h_0 \leq C = C_0 \leq 3h_0$ (khi $C_0 < 0,6h_0$, lấy $C = 0,6h_0$; khi $C_0 > 3h_0$, lấy $C = 3h_0$)
- b) Trường hợp 2: nếu $q_{sw} < 0,25R_{bt}b$ thì :
 - + Tính C_0 theo (9)
 - + Tính Q_{sw} theo (3), với $h_0 \leq C = C_0 \leq 2h_0$ (khi $C_0 < h_0$, lấy $C = h_0$; khi $C_0 > 2h_0$, lấy $C = 2h_0$)
 - + Tính Q_b theo (6), với $\frac{2,4h_0q_{sw}}{R_{bt}b} \leq C = C_0 \leq \frac{12h_0q_{sw}}{R_{bt}b}$ (khi $C_0 < \frac{2,4h_0q_{sw}}{R_{bt}b}$, lấy $C = \frac{2,4h_0q_{sw}}{R_{bt}b}$; khi $C_0 > \frac{12h_0q_{sw}}{R_{bt}b}$, lấy $C_0 = \frac{12h_0q_{sw}}{R_{bt}b}$)
 - + Kiểm tra điều kiện cường độ (2): $Q_{max} \leq Q_b + Q_{sw}$

Nếu điều kiện (2) thỏa mãn thì kết luận: Đoạn dầm gần gối tựa đủ khả năng chịu cắt. Nếu điều kiện (2) không thỏa mãn thì tiến hành chọn lại cốt đai (có thể tăng R_{sw} hoặc tăng ϕ_d hoặc giảm khoảng cách bố

trí s_1) và tiến hành tính toán lại Bước 4 cho đến khi điều kiện (2) được thỏa mãn.

Bước 5: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm giữa nhịp

Trên đoạn dầm đang xét, lấy lực cắt $Q = Q_{max} = \text{Max}(Q_1; Q_2)$

Xét 2 trường hợp như sau :

a) Trường hợp 1: Nếu $Q \leq Q_{bmin}$ thì trên đoạn dầm giữa nhịp chỉ cần bố trí cốt đai theo yêu cầu cấu tạo theo (11) và (12).

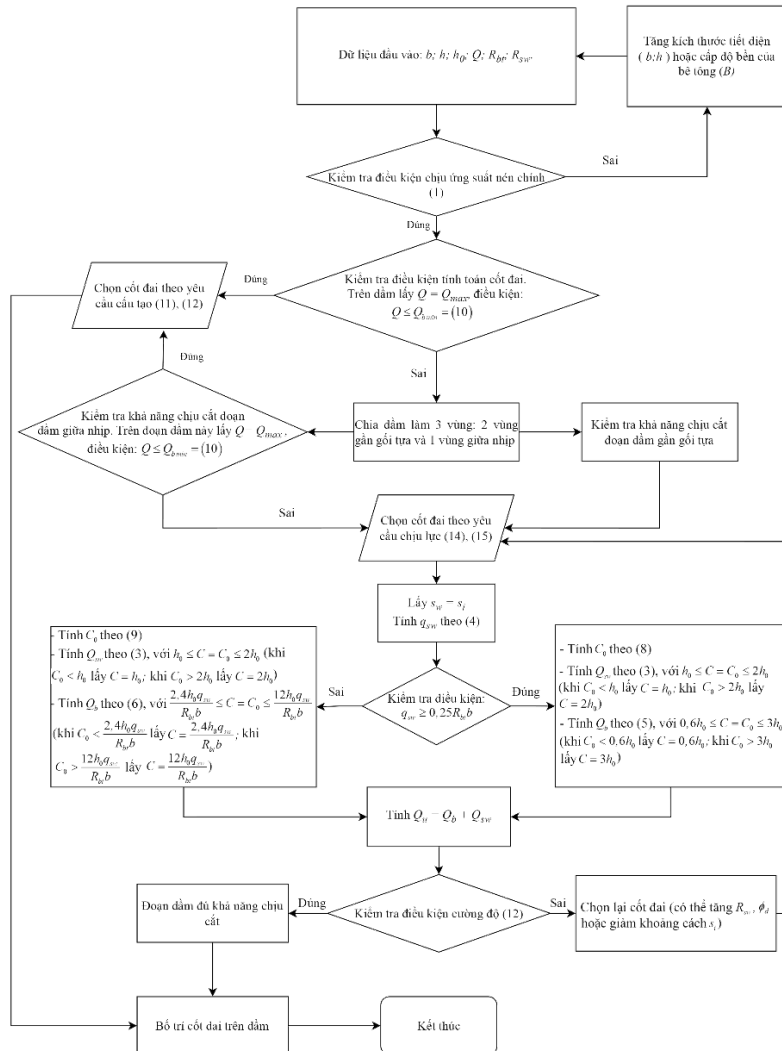
b) Trường hợp 2: Nếu $Q > Q_{bmin}$ thì trên đoạn dầm giữa nhịp cần bố trí cốt đai chịu lực. Thực hiện chọn cốt đai và tính toán tương tự Bước 4.

Chú ý: để tiết kiệm thép thì chọn $s_2 > s_1$

Bước 6: Bố trí cốt đai $\rightarrow$ Kết thúc.

2.6 Lưu đồ tính toán độ bền dầm BTCT chịu tác dụng của lực cắt theo TCVN 5574:2018

Quy trình tính toán cấu kiện BTCT theo tiết diện nghiêng chịu lực cắt được sơ đồ hóa như Hình 3.

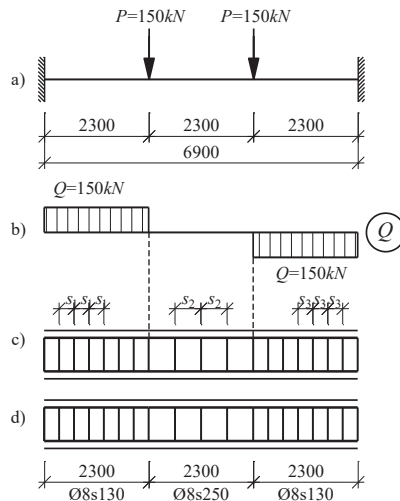


Hình 3. Lưu đồ tính toán cốt đai cho dầm theo TCVN 5574:2018.

2.7 Ví dụ tính toán

2.7.1 Ví dụ 1

Xét một dầm BTCT chịu tải trọng tập trung P (Hình 4a), có biểu đồ lực cắt như Hình 4b. Dầm tiết diện chữ nhật $b = 220$; $h = 500$; $h_0 = 450$. Bê tông cấp độ bền B20. Cốt đai nhóm CB240-T. Yêu cầu tính toán và bố trí cốt thép đai cho dầm.



Hình 4. Sơ đồ dầm ví dụ 1.

Số liệu: $R_b = 11,5\text{MPa}$, $R_{bt} = 0,9\text{MPa}$; Cốt thép đai CB240-T có $R_{sw} = 170\text{MPa}$.⁴

Các bước thực hiện:

Bước 1: Kiểm tra điều kiện ứng suất nén chính

Từ biểu đồ bao lực cắt (Hình 4b), lấy $Q = Q_{max}$

Khả năng chịu ứng suất nén chính:

$$Q_{bt} = \varphi_{b1} R_b b h_0 = 0,3 \cdot 11,5 \cdot 220 \cdot 450 = 341,550 \cdot 10^3 \text{ N} = 341,55 \text{ kN}$$

Vậy $Q = Q_{bt_{max}}$ nên bê tông đủ chịu ứng suất nén chính.

Bước 2: Kiểm tra điều kiện tính toán cốt đai

Khả năng chịu cắt nhỏ nhất của bê tông:

$$Q_{bt_0}^{3_{bmin}} = 44,550 \text{ kN}$$

Vậy $Q_{bmin_{max}}$ nên cần tính toán cốt đai chịu lực cho dầm.

Bước 3: Dựa vào biểu đồ lực cắt trên Hình 3b, để tiết kiệm thép ta chia dầm thành 3 vùng: 2 vùng gần gối tựa có chiều dài $x = 2,3\text{m}$, là vùng có lực cắt lớn, sẽ bố trí với khoảng cách cốt đai nhỏ hơn s_1 ; vùng còn lại ở giữa nhịp có chiều dài là $2,3\text{m}$, là vùng có lực cắt nhỏ, sẽ bố trí với khoảng cách cốt đai lớn hơn s_2 (xem Hình 4c).

Bước 4: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm gần gối tựa

+ Chọn cốt đai có: đường kính: $\phi 8$, đai 2 nhánh, $A_{sw} = n a_{sw} = 2,50,3 = 100,6 \text{ mm}^2$

Khoảng cách:

$$s_1 \leq (0,5 h_0; 300; s_{max})$$

$$\text{Với } s = \frac{R_{bt} b h_0^2}{Q_{max} \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 450^2}{150000} \max}$$

Chọn $s_1 = 130 \text{ mm}$

Lấy $s_w = s_1 = 130 \text{ mm}$ và tính:

$$+ q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} = \frac{170 \cdot 100,6}{130} = 131,6 \text{ N/mm}$$

$q_{sw} = 131,6 \text{ N/mm} > 0,25 R_{bt} b = 0,25 \cdot 0,9 \cdot 220 = 49,5 \text{ N/mm}$, nên chiều dài hình chiếu tiết diện nguy hiểm nhất C_0 được xác định theo (8):

$$+ C_0 = \sqrt{\frac{2 R_{bt} b h_0^2}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,9 \cdot 220 \cdot 450^2}{131,6}} = 780,7 \text{ mm}$$

Vì $h_0 = 450 \text{ mm} < C_0 = 780,7 \text{ mm} < 2 h_0 = 2 \cdot 450 = 900 \text{ mm}$, nên lấy $C = C_0 = 780,7 \text{ mm}$ để xác định khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$+ Q_{sw} = 0,75 q_{sw} C = 0,75 \cdot 131,6 \cdot 780,7$$

$$= 77,028 \cdot 10^3 \text{ N} = 77,028 \text{ kN}$$

+ Xác định khả năng chịu cắt Q_b theo (5). Vì $0,6 h_0 = 270 \text{ mm} < C_0 = 780,7 \text{ mm} < 3 h_0 = 1350 \text{ mm}$, nên lấy $C = C_0 = 780,7 \text{ mm}$ để tính toán:

$$Q_b = \frac{1,5 R_{bt} b h_0^2}{C} = \frac{1,5 \cdot 0,9 \cdot 220 \cdot 450^2}{780,7} = 77,036 \cdot 10^3 \text{ N} = 77,036 \text{ kN}$$

+ Khả năng chịu cắt của dầm ở đoạn gần gối tựa:

$$Q_u = Q_b + Q_{sw} = 77,036 + 77,028 = 154,064 \text{ kN}$$

+ Kiểm tra điều kiện cường độ (2):

$Q_{u_{max}}$ Đoạn dầm đủ khả năng chịu cắt. Vậy chọn cốt đai $\phi 8 \text{ s} 130$ để bố trí cho 2 đoạn dầm gần gối tựa.

Bước 5: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm giữa nhịp

Từ biểu đồ lực cắt trên Hình 3b, trên đoạn dầm giữa nhịp giá trị lực cắt $Q = 0 \text{ kN} < Q_{bmin}$ nên chỉ cần bố trí cốt đai theo yêu cầu cấu tạo (11) và (12):

Đường kính cốt đai là $\phi 8$, đai hai nhánh;

Khoảng cách:

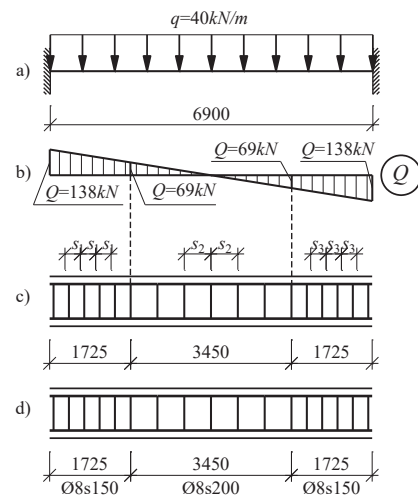
$$s_2 \leq (0,75 h_0; 500; s_{max})$$

Chọn $s_2 = 250 \text{ mm}$

Bước 6: Bố trí cốt đai: Bố trí cốt đai $\phi 8$, 2 nhánh, $s = 130 \text{ mm}$ cho 2,3m đoạn gần gối tựa; $\phi 8$, 2 nhánh, $s = 250 \text{ mm}$ cho đoạn giữa nhịp (Hình 4d) → Kết thúc.

2.7.2 Ví dụ 2

Xét một dầm BTCT chịu tải trọng phân bố đều q (Hình 5a), có biểu đồ lực cắt như Hình 5b. Dầm tiết diện chữ nhật $b = 220$; $h = 500$; $h_0 = 450$. Bê tông cấp độ bền B20. Cốt đai nhóm CB240-T. Yêu cầu tính toán và bố trí cốt thép đai cho dầm.



Hình 5. Sơ đồ dầm ví dụ 2.

Số liệu: $R_b = 11,5MPa$, $R_{bt} = 0,9MPa$; Cốt thép đai CB240-T có $R_{sw} = 170MPa$.^{4,6}

Các bước thực hiện:

Bước 1: Kiểm tra điều kiện ứng suất nén chính

Từ biểu đồ bao lực cắt (Hình 5b), lấy $Q = Q_{max}$

Khả năng chịu ứng suất nén chính:

$$Q_{bt} = \varphi_{b1} R_b b h_0 = 0,3.11,5.220.450 \\ = 341,550.10^3 N = 341,55kN$$

Vậy $Q = Q_{bt_{max}}$ nên bê tông đủ chịu ứng suất nén chính.

Bước 2: Kiểm tra điều kiện tính toán cốt đai

$$Q_{bt_0}^3_{bmin} = 44,550kN$$

Vậy $Q_{bmin_{max}}$ nên cần tính toán cốt đai chịu lực cho dầm.

Bước 3 : Dựa vào biểu đồ lực cắt trên Hình 5b, để tiết kiệm thép ta chia dầm thành 3 vùng : 2 vùng gần gối tựa có chiều dài $l/4 = 1,725m$, là vùng có lực cắt lớn, sẽ bố trí với khoảng cách cốt đai nhỏ hơn s_1 ; vùng còn lại ở giữa nhịp có chiều dài là $3,45m$, là vùng có lực cắt nhỏ, sẽ bố trí với khoảng cách cốt đai lớn hơn s_2 (xem Hình 5c).

Bước 4: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm gần gối tựa

+ Chọn cốt đai có: đường kính : $\phi 8$, đai 2 nhánh, $A_{sw} = n a_{sw} = 2.50,3 = 100,6mm^2$

Khoảng cách :

$$s_1 \leq (0,5h_0; 300; s_{max})$$

$$\text{Với } s = \frac{R_{bt} b h_0^2}{Q_{max} \frac{138000}{138000} \max}$$

$$\text{Chọn } s_1 = 150mm$$

Lấy $s_w = s_1 = 150mm$ và tính :

$$+ q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} = \frac{170.100,6}{150} = 114N/mm$$

$q_{sw} = \frac{114N}{mm} > 0,25R_{bt}b = 0,25.0,9.220 = 49,5N/mm$, nên chiều dài hình chiếu tiết diện nguy hiểm nhất C_0 được xác định theo (8):

$$+ C_0 = \sqrt{\frac{2R_{bt}b h_0^2}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{2.0,9.220.450^2}{114}} = 838,7mm$$

Vì $h_0 = 450mm < C_0 = 838,7mm < 2h_0 = 2.450 = 900mm$, nên lấy $C = C_0 = 838,7mm$ để xác định khả năng chịu cắt của cốt đai :

$$+ Q_{sw} = 0,75q_{sw}C = 0,75.114.838,7$$

$$= 71,709.10^3 N = 71,709kN$$

+ Xác định khả năng chịu cắt Q_b theo (5). Vì $0,6h_0 = 270mm < C_0 = 838,7mm < 3h_0 = 1350mm$, nên lấy $C = C_0 = 838,7mm$ để tính toán :

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}b h_0^2}{C} = \frac{1,5.0,9.220.450^2}{838,7} = 71,709.10^3 = 71,709kN$$

+ Khả năng chịu cắt của dầm ở đoạn gần gối:

$$Q_u = Q_b + Q_{sw} = 71,709 + 71,709 = 143,418kN$$

+ Kiểm tra điều kiện cường độ (2):

$Q_{u_{max}}$ Đoạn dầm đủ khả năng chịu cắt. Vậy chọn cốt đai $\phi 8s150$ để bố trí cho 2 đoạn dầm gần gối tựa.

Bước 5: Kiểm tra khả năng chịu cắt trên đoạn dầm giữa nhịp

Từ biểu đồ lực cắt trên Hình 5b, trên đoạn dầm giữa dầm giá trị lực cắt $Q = 69kN > Q_{bmin}$ nên cần tính toán cốt đai chịu lực :

+ Chọn cốt đai có: đường kính : $\phi 8$, đai 2 nhánh, $A_{sw} = n a_{sw} = 2.50,3 = 100,6mm^2$

Khoảng cách :

$$s_1 \leq (0,5h_0; 300; s_{max})$$

$$\text{Chọn } s_1 = 200mm$$

Lấy $s_w = s_2 = 200mm$ và tính :

$$+ q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w} = \frac{170.100,6}{200} = 85,5N/mm$$

$$q_{sw} = \frac{85,5N}{mm} > 0,25R_{bt}b = 0,25.0,9.220 = 49,5N/mm, \text{ nên chiều dài}$$

hình chiếu tiết diện nguy hiểm nhất C_0 được xác định theo (8):

$$+ C_0 = \sqrt{\frac{2R_{bt}b h_0^2}{q_{sw}}} = \sqrt{\frac{2.0,9.220.450^2}{85,5}} = 968,4mm$$

Vì $C_0 = 968,4mm > 2h_0 = 900mm$, nên lấy $C = 2h_0 = 900mm$ để xác định khả năng chịu cắt của cốt đai :

$$+ Q_{sw} = 0,75q_{sw}C = 0,75.85,5.900 = 57,713.10^3 N = 57,713kN$$

+ Xác định khả năng chịu cắt Q_b theo (5), với $0,6h_0 = 270mm < C_0 = 968,4mm < 3h_0 = 1350mm$, nên lấy $C = C_0 = 968,4mm$ để tính toán :

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}b h_0^2}{C} = \frac{1,5.0,9.220.450^2}{968,4} = 62,105.10^3 N = 62,105kN$$

+ Khả năng chịu cắt của dầm ở đoạn giữa nhịp:

$$Q_u = Q_b + Q_{sw} = 62,105 + 57,713 = 119,818kN$$

+ Kiểm tra điều kiện cường độ (2):

$Q_{u_{max}}$ Đoạn dầm đủ khả năng chịu cắt. Vậy chọn cốt đai $\phi 8s200$ để bố trí cho đoạn dầm giữa nhịp.

Bước 6: Bố trí cốt đai: Bố trí cốt đai $\phi 8$, 2 nhánh, $s = 150mm$ cho $1,725m$ đoạn gần gối tựa; $\phi 8$, 2 nhánh, $s = 200mm$ cho đoạn giữa nhịp (Hình 5d) → Kết thúc.

3. Kết luận

Từ nội dung trình bày ở trên ta thấy:

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2018 có quy định nguyên tắc tính toán độ bền cho cấu kiện chịu tác dụng của lực cắt, nhưng các công thức tính toán khá phức tạp và cũng không có quy trình tính toán cụ thể cho loại cấu kiện này. Vì vậy, việc xây dựng một quy trình cụ thể hóa các bước tính toán và sơ đồ hóa quy trình này mang tính ứng dụng cao và có thể áp dụng dễ dàng hơn trong quá trình thiết kế kết cấu công trình.

Từ Mục 2.4 và các ví dụ ta thấy, quy định về yêu cầu cấu tạo của cốt đai trong dầm là khác nhau đối với cốt đai chịu lực và cốt đai cấu tạo. Vì vậy, trong quá trình tính toán, việc chọn chiều dài x của đoạn dầm gần gối tựa có ảnh hưởng đến lượng cốt thép đai bố trí ở giữa nhịp. Trên thực tế thiết kế, tùy vào từng cấu kiện cụ thể cùng với biểu đồ bao lực cắt Q của nó mà ta chọn chiều dài x một cách hợp lý sẽ tiết kiệm được lượng cốt thép dùng làm cốt đai.

Việc đánh giá quy trình tính toán độ bền cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của lực cắt theo [4] so với [7] và một số tiêu chuẩn tiên tiến trên thế giới sẽ được trình bày trong các số báo tới.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Ngọc Phương. Đánh giá khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo một số tiêu chuẩn thiết kế, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 2014, 5, 79-82.
- [2]. TS. Phùng Ngọc Dũng, ThS. Lê Thị Thanh Hà. Phân tích và thiết kế dầm bê tông cốt thép chịu uốn trên tiết diện nghiêng theo ACI 318, EUROCODE 2 và TCVN 5574:2012, *Tạp chí KHCN Xây*

dựng, 2014, 3, 63-72.

- [3]. Nguyễn Quang Liền, Lê Công Duy, Đặng Hồng Long. Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép có các tham số đầu vào dạng số khoảng, *Tạp chí Xây Dựng*, 2017, 3, 68-73.
- [4]. Viện KHCN xây dựng. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5574:2018 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, Hà Nội - 2018.
- [5]. GS. TS. Phan Quang Minh (Chủ biên), GS. TS. Ngô Thế Phong, PGS. TS. Nguyễn Trường Thắng, TS. Võ Mạnh Tùng. *Kết cấu bê*

Liên hệ: Phạm Thị Lan

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ
 Trường Đại học Quy Nhơn
 170 An Dương Vương, TP. Quy Nhơn, tỉnh Bình Định, Việt Nam
 Email: phamthilan@qnu.edu.vn
 Điện thoại: 0935289766

tông cốt thép - phần cấu kiện cơ bản. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội - 2021.

- [6]. Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 17 Thép. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 1651-1:2018 Thép cốt bê tông – Phần 1: Thép thanh tròn trơn*, Hà Nội - 2018.
- [7]. Viện KHCN xây dựng. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5574:2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, Hà Nội – 2012