

TÍNH TOÁN CỐT ĐAI CHO DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU ĐỒNG THỜI LỰC PHÂN BỐ ĐỀU VÀ LỰC TẬP TRUNG

Nguyễn Trường Thăng^{a,*}

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25/02/2019, Sửa xong 23/03/2019, Chấp nhận đăng 29/03/2019

Tóm tắt

Bài báo này trình bày nguyên tắc tính toán cốt đai (khi không đặt cốt xiên) cho dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu tác dụng đồng thời của lực phân bố đều và lực tập trung bằng hai cách tiếp cận: (i) Theo phương pháp giải tích và (ii) Theo phương pháp thực hành - sử dụng bảng tính Excel. Các nguyên tắc chung trong phân tích tính toán và một thí dụ thực hành được giới thiệu cho thấy: (i) Việc khai triển theo phương pháp giải tích khá phức tạp nhưng thực chất là biện luận hai hàm hyperbol theo sự ràng buộc của tham số c (là chiều dài hình chiếu lên trục dầm tính từ gối tựa tới điểm cuối của khe nứt nghiêng); và (ii) Phương pháp thực hành thực chất là bài toán kiểm tra, có ưu điểm đơn giản và cho kết quả nhanh do tận dụng tối đa sự trợ giúp của công cụ bản tính Excel để đưa ra hình ảnh trực quan về lực cắt bất lợi tác dụng lên dầm và khả năng chịu lực cắt giới hạn của bất kỳ khe nứt nghiêng nguy hiểm nào xuất hiện trên dầm.

Từ khoá: dầm; bê tông cốt thép; lực cắt; cốt đai; lực phân bố; lực tập trung.

CALCULATION OF STIRRUPS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS SIMULTANEOUSLY SUBJECTED TO UDL AND POINT LOADS

Abstract

This paper presents the calculation of stirrups (without inclined reinforcing bars) of reinforced concrete (RC) beams subjected to simultaneous actions of uniformly distributed loads (UDL) and point loads using two approaches: (i) Analytical derivation and (ii) Practical analysis using Excel spread sheets. General analysis principles are introduced followed by a worked example. It is shown that: (i) The first approach seems to be complicated but is actually to argue two hyperbolic functions following the term c (which is the projection length on the longitudinal axis of the beam from the support to the end of the inclined crack); and (ii) The second approach is actually an analysis with the advantage of simplification owing to the Excel spread sheets tool which is capable of showing the ultimate acting shear force together with the nominal shear capacity on an arbitrary critical inclined crack of the beam.

Keywords: beam; reinforced concrete; shear; stirrups; UDL; point load.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(1V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(1V)-03) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Đối với dầm bê tông cốt thép (BTCT), trong khi cốt thép dọc được thiết kế để chống lại sự phá hoại trên tiết diện thẳng góc tại những đoạn dầm có mômen uốn lớn thì cốt thép đai và cốt thép xiên được bố trí đi qua những khe nứt nghiêng trên những đoạn dầm có lực cắt lớn. Những cốt thép này -

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thangcee@gmail.com (Thăng, N. T.)

gọi tắt là cốt đai và cốt xiên, gọi chung là cốt ngang - cần được tính toán sao cho dầm không bị phá hoại trên tiết diện nghiêng [1–4].

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của các nước tiên tiến trên thế giới đưa ra những cách tiếp cận khác nhau trong việc tính toán, thiết kế cốt đai cho dầm BTCT. Tiêu chuẩn Hoa Kỳ [5] cho phép kể tới cả bê tông (và tương tác giữa các cốt liệu tại hai bên mép vết nứt nghiêng), cốt thép đai và hiệu ứng chốt của cốt thép dọc khi kiểm tra cường độ trên tiết diện nghiêng của dầm. Tiêu chuẩn châu Âu [6] quy định điều kiện hạn chế về ứng suất nén chính trong bê tông ở bụng dầm cần phải được thỏa mãn trước khi tiến hành các bước tính toán tiếp theo. Điều kiện cường độ trên tiết diện nghiêng được kiểm tra dựa vào phương pháp tính toán thanh chống - giằng và chỉ xét tới khả năng chịu lực của các cốt thép đai đi qua các tiết diện nghiêng có góc nghiêng giả định từ 22° đến 45° với trục dầm mà không kể tới khả năng chịu lực của bê tông. Bên cạnh đó, điều kiện neo thép dọc cũng cần phải được kiểm tra cùng với bài toán tính toán cốt đai.

Trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT hiện hành của Việt Nam TCVN 5574:2012 [7] và tài liệu hướng dẫn có liên quan [1], bài toán thiết kế cốt đai và cốt xiên được trình bày dựa trên tiêu chuẩn thiết kế của Nga [8], trong đó cả bê tông vùng nén và cốt thép ngang đều được huy động vào cường độ trên tiết diện nghiêng của dầm, với điều kiện hạn chế ứng suất nén chính của bụng dầm. Tiêu chuẩn TCVN 5574:2012 [7] thực chất được đổi tên từ phiên bản trước đó là TCXDVN 356:2005, vốn được chuyển dịch hoàn toàn từ tiêu chuẩn của Liên Xô (cũ) là SNiP 2.03-01-84* [8]. Sau những năm 1990, Liên bang Nga đã thay thế phiên bản tiêu chuẩn cũ này lần lượt bằng các tiêu chuẩn SNiP 52-01-2003 [9], SP 52-101-2003 [10] và SP 63.13330.2012 [11]. Trong một vài năm gần đây, Việt Nam tiến hành biên dịch tiêu chuẩn SP 63.13330.2012, chuẩn bị thay thế cho phiên bản TCVN 5574:2012. Trong các phiên bản mới của tiêu chuẩn Nga, đã có một số thay đổi trong các hệ số khi tính toán cốt đai trong dầm BTCT [10–12].

Tuy nhiên, những tiêu chuẩn và tài liệu nói trên cũng đều chủ yếu đề cập tới thiết kế cốt ngang cho dầm chỉ chịu lực phân bố hoặc chỉ chịu lực tập trung. Trong khi đó, còn có ít thông tin về lý thuyết và thí dụ thực hành đề cập tới việc tính toán cốt đai (khi không đặt cốt xiên) cho dầm BTCT chịu tác dụng đồng thời của lực phân bố đều và lực tập trung.

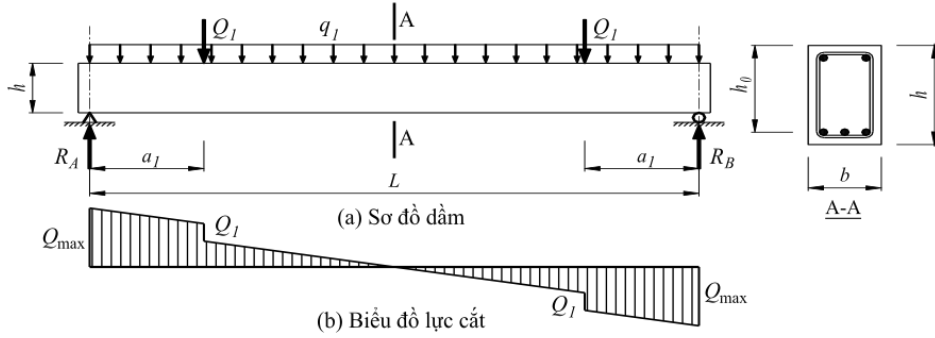
Bài báo này giải quyết vấn đề nêu trên thông qua việc giới thiệu nguyên tắc chung về phân tích tính toán cốt đai được tổng hợp từ các phiên bản tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của Việt Nam [7] và Liên bang Nga [8–10], từ đó đề xuất hai cách tiếp cận gồm: (i) Phương pháp giải tích; và (ii) Phương pháp thực hành - sử dụng công cụ bảng tính Excel. Một thí dụ thực hành được tiến hành để minh họa, từ đó một số nhận xét về thiết kế cốt đai cho dầm BTCT chịu lực phức tạp theo hai phương pháp nêu trên được rút ra ở phần cuối của bài báo.

2. Nguyên tắc tính toán

Xét một dầm đơn giản có nhịp L , tiết diện chữ nhật $b \times h$, với chiều cao làm việc h_0 . Vật liệu bê tông có cường độ chịu nén và chịu kéo tính toán tương ứng là R_b và R_{bt} . Cường độ chịu kéo tính toán của thép dọc và cốt đai lần lượt là R_s và R_{sw} . Dầm được thí nghiệm chịu tải trọng phân bố đều q_1 cùng với hai lực tập trung Q_1 đặt đối xứng nhau và đều cách hai gối một khoảng a_1 . Trong nghiên cứu thực nghiệm, để dầm bị phá hoại do cắt (mà không phải do uốn), a_1 thường nhỏ hơn $3h_0$ (Hình 1(a)). Hình 1(b) biểu diễn biểu đồ lực cắt của dầm với giá trị lực cắt lớn nhất $Q_{\max}$ xuất hiện tại hai gối.

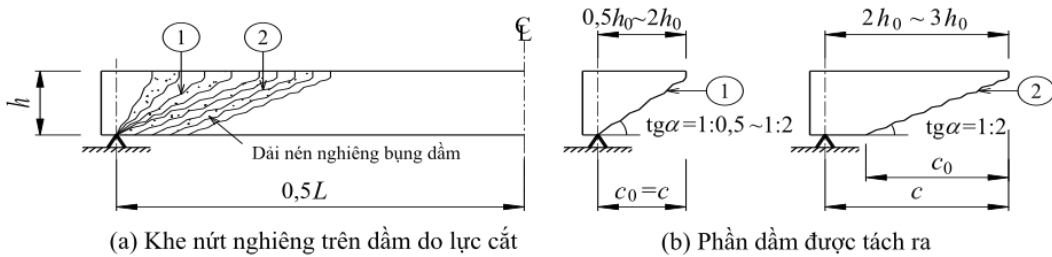
Giả sử khả năng chịu ứng suất nén chính của bụng dầm được đảm bảo theo điều kiện trong biểu thức (1) [1, 7–11]:

$$Q_{\max} \leq 0,3R_bbh_0 \quad (1)$$



Hình 1. Dầm đơn giản chịu đồng thời lực phân bố đều và lực tập trung

Bên cạnh đó, giả sử dầm có đủ khả năng chịu lực trên tiết diện thẳng góc tại giữa nhịp nhưng lại bị phá hoại trên tiết diện nghiêng theo một khe nứt nghiêng nguy hiểm xuất phát từ mặt dưới của dầm tại gần gối tựa và phát triển lên phía mặt trên dầm theo một góc nghiêng α so với trục dầm (Hình 2).



Hình 2. Sự phá hoại do lực cắt qua các tiết diện nghiêng

Các quan sát thực nghiệm [1–3] cho thấy rằng: (i) Khi điểm đầu của khe nứt xuất phát từ mép gối tựa, góc nghiêng α thay đổi với giá trị từ 1:2 đến 1:0,5, nghĩa là hình chiếu của điểm cuối của khe nứt nghiêng lên trục dầm sẽ cách gối tựa một khoảng từ $0,5h_0$ đến $2h_0$; và (ii) Khi điểm đầu của khe nứt không xuất phát từ mép gối tựa, góc nghiêng α giữ nguyên giá trị 1:2 và điểm cuối của khe nứt nghiêng luôn cách gối tựa theo phương trục dầm một khoảng không lớn hơn $3h_0$.

Gọi c_0 và c lần lượt là chiều dài hình chiếu lên trục dầm tính từ điểm đầu tới điểm cuối của khe nứt nghiêng và từ mép gối tựa tới điểm cuối của khe nứt nghiêng. Như vậy có thể coi một cách gần đúng rằng:

$$0,5h_0 \leq c \leq 3h_0 \quad (2a)$$

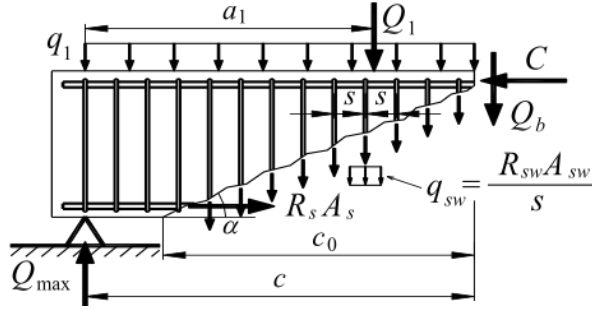
$$c_0 = c \quad \text{khi} \quad 0,5h_0 \leq c \leq 2h_0 \quad (2b)$$

$$c_0 = 2h_0 \quad \text{khi} \quad 2h_0 \leq c \leq 3h_0 \quad (2c)$$

Tách phần bên trái khe nứt nghiêng ra khỏi phần còn lại của toàn bộ dầm (Hình 3), các cốt thép dọc (với diện tích tiết diện ngang là A_s) và cốt đai (với diện tích tiết diện ngang là A_{sw} và khoảng cách giữa hai đai là s) đi qua khe nứt nghiêng được thể hiện ở Hình 2(c). Tại trạng thái giới hạn (TTGH), ứng suất kéo trong cốt dọc và cốt đai đều đạt tới cường độ tính toán tương ứng của chúng [1].

Điều kiện cường độ theo lực cắt của phần dầm đang xét được biểu diễn như sau:

$$Q \leq Q_{gh} \quad (3)$$



Hình 3. Sơ đồ tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng

trong đó Q là lực cắt bất lợi do tải trọng tính toán gây ra trên phần dầm đang xét:

$$Q = Q_{\max} - q_1 c \quad \text{khi } c \leq a_1 \quad (4a)$$

$$Q = Q_{\max} - q_1 c - Q_1 \quad \text{khi } c \geq a_1 \quad (4b)$$

có thể thấy rằng giá trị tải trọng q_1 và Q_1 càng lớn thì Q giảm càng nhanh khi ra xa gối tựa. Do vậy, để an toàn trong thiết kế, các đại lượng này thường được xác định bằng 100% tĩnh tải cộng với 50% hoạt tải (tương ứng thành phần dài hạn).

Q_{gh} là khả năng chịu cắt tại TTGH của phần dầm đang xét [7–10]:

$$Q_{gh} = Q_b + Q_{sw} \quad (5)$$

với Q_b là khả năng chịu cắt của bê tông vùng nén tại điểm cuối của khe nứt nghiêng và được xác định bằng công thức thực nghiệm:

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} \quad (6)$$

và Q_{sw} là khả năng chịu cắt của các thanh cốt đai (có số nhánh là n , đường kính ϕ và diện tích tiết diện ngang mỗi nhánh là $a_{sw} = \pi\phi^2/4$) đi qua khe nứt nghiêng:

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}c_0 \quad (7a)$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} = \frac{R_{sw}na_{sw}}{s} \quad (7b)$$

trong đó q_{sw} thỏa mãn điều kiện phá hoại dẻo:

$$q_{sw} \geq q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b \quad (8)$$

Do vậy, biểu thức (5) có thể được triển khai theo các biểu thức (6) và (7a):

$$Q_{gh} = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 0,75q_{sw}c_0 \quad (9)$$

Nếu đã biết R_{bt} , b , h_0 và q_{sw} , đại lượng Q_{gh} trong biểu thức (9) là một hàm của hai biến c và c_0 . Tuy nhiên, do hai biến này liên hệ với nhau ở biểu thức (2), biểu thức (9) có thể được khai triển để trở thành một hàm chỉ của riêng biến c như sau:

$$Q_{gh} = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 0,75q_{sw}c \quad \text{khi } 0,5h_0 \leq c \leq 2h_0 \quad (10a)$$

$$Q_{gh} = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 1,5q_{sw}h_0 \quad \text{khi} \quad 2h_0 \leq c \leq 3h_0 \quad (10b)$$

Tóm lại, bản chất của việc tính toán cốt đai trong dầm BTCT khi không đặt cốt xiên là xác định các thông số ϕ , n và s sao cho giá trị q_{sw} tính theo biểu thức (7b) đảm bảo điều kiện của các biểu thức (3), (4) và (10) trên mọi khe nứt nghiêng nguy hiểm có thể xuất hiện trên dầm. Trong các mục tiếp theo, hai cách tiếp cận để giải quyết bài toán này được đề xuất bao gồm: (i) Phương pháp giải tích; và (ii) Phương pháp thực hành - sử dụng bảng tính Excel.

3. Phương pháp giải tích

Xét trường hợp $c \leq a_1$, kết hợp các biểu thức (3), (4a) với biểu thức (10) ta có:

$$Q_{\max} - q_1 c \leq \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 0,75q_{sw}c \quad \text{khi} \quad 0,5h_0 \leq c \leq 2h_0 \quad (11a)$$

$$Q_{\max} - q_1 c \leq \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + 1,5q_{sw}h_0 \quad \text{khi} \quad 2h_0 \leq c \leq 3h_0 \quad (11b)$$

Thực hiện chuyển về:

$$Q_{\max} \leq [Q]_1 = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + (0,75q_{sw} + q_1)c \quad \text{khi} \quad 0,5h_0 \leq c \leq 2h_0 \quad (12a)$$

$$Q_{\max} \leq [Q]_2 = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} + q_1 c + 1,5q_{sw}h_0 \quad \text{khi} \quad 2h_0 \leq c \leq 3h_0 \quad (12b)$$

Khi chưa xét tới các điều kiện ràng buộc của c , có thể thấy rằng $[Q]_1$ và $[Q]_2$ là các hàm hyperbol theo biến c và đạt giá trị cực tiểu tại các hoành độ tương ứng là c_1 và c_2 được xác định theo điều kiện:

$$\frac{d[Q]_1}{dc} = 0 \Rightarrow c_1 = \sqrt{\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{(0,75q_{sw} + q_1)}} \quad (13a)$$

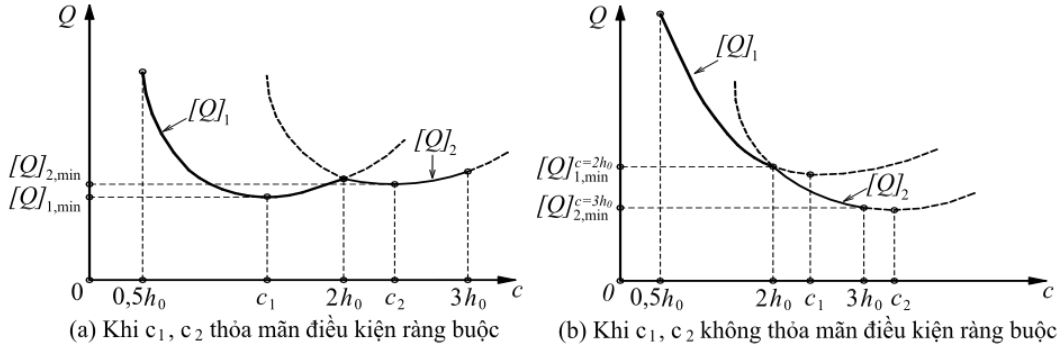
$$\frac{d[Q]_2}{dc} = 0 \Rightarrow c_2 = \sqrt{\frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{q_1}} \quad (13b)$$

Do c_1 là một hàm của biến chưa biết q_{sw} , nên có thể thay giá trị $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$ vào biểu thức (13a) để xác định giá trị ban đầu của c_1 . Đây chính là giá trị cận trên của c_1 do q_{sw} luôn phải thỏa mãn điều kiện phá hoại dẻo trong biểu thức (8).

Nếu c_1 và c_2 thỏa mãn các điều kiện ràng buộc thì có thể thay các biểu thức (13) tương ứng vào (12) để xác định giá trị nhỏ nhất của vế phải (Hình 4(a)):

$$Q_{\max} \leq [Q]_{1,\min} = \sqrt{6R_{bt}bh_0^2(0,75q_{sw} + q_1)} \quad \text{khi} \quad 0,5h_0 \leq c_1 \leq 2h_0 \quad (14a)$$

$$Q_{\max} \leq [Q]_{2,\min} = \sqrt{6R_{bt}bh_0^2q_1} + 1,5q_{sw}h_0 \quad \text{khi} \quad 2h_0 \leq c_2 \leq 3h_0 \quad (14b)$$



Hình 4. Đồ thị của các hàm $[Q]_1$ và $[Q]_2$

Từ đó xác định được:

$$q_{sw1} \geq \frac{Q_{\max}^2}{4,5R_{bt}bh_0^2} - \frac{4}{3}q_1 \quad \text{khi } 0,5h_0 \leq c_1 \leq 2h_0 \quad (15a)$$

$$q_{sw2} \geq \frac{Q_{\max} - \sqrt{6R_{bt}bh_0^2q_1}}{1,5h_0} \quad \text{khi } 2h_0 \leq c_2 \leq 3h_0 \quad (15b)$$

Nhưng nếu c_1 và c_2 không thỏa mãn các điều kiện ràng buộc, các hàm về phải sẽ đạt giá trị nhỏ nhất tại các cận trên của biến c (Hình 4(b)), nghĩa là lần lượt thay c bằng $2h_0$ và $3h_0$ vào vế phải của các biểu thức (12a) và (12b):

$$Q_{\max} \leq [Q]_{1,\min}^{c=2h_0} = (0,75R_{bt}b + 1,5q_{sw} + 2q_1)h_0 \quad \text{khi } c_1 > 2h_0 \quad (16a)$$

$$Q_{\max} \leq [Q]_{2,\min}^{c=3h_0} = (0,50R_{bt}b + 1,5q_{sw} + 3q_1)h_0 \quad \text{khi } c_2 > 3h_0 \quad (16b)$$

Từ đó xác định được:

$$q_{sw1*} \geq \frac{3}{2} \frac{Q_{\max}}{h_0} - \frac{1}{2}R_{bt}b - \frac{4}{3}q_1 \quad \text{khi } c_1 > 2h_0 \quad (17a)$$

$$q_{sw2*} \geq \frac{3}{2} \frac{Q_{\max}}{h_0} - \frac{1}{3}R_{bt}b - 2q_1 \quad \text{khi } c_2 > 3h_0 \quad (17b)$$

Như vậy, nguyên tắc chung xác định cốt đai tính toán là:

$$\text{Nếu } 0,5h_0 \leq c_1 \leq 2h_0 \text{ và } 2h_0 \leq c_2 \leq 3h_0 \text{ thì } q_{sw} \geq \max(q_{sw1}, q_{sw2}, q_{sw,\min}) \quad (18a)$$

$$\text{Nếu } 0,5h_0 \leq c_1 \leq 2h_0 \text{ và } c_2 > 3h_0 \text{ thì } q_{sw} \geq \max(q_{sw1}, q_{sw2*}, q_{sw,\min}) \quad (18b)$$

$$\text{Nếu } c_1 > 2h_0 \text{ và } 2h_0 \leq c_2 \leq 3h_0 \text{ thì } q_{sw} \geq \max(q_{sw1*}, q_{sw2}, q_{sw,\min}) \quad (18c)$$

$$\text{Nếu } c_1 > 2h_0 \text{ và } c_2 > 3h_0 \text{ thì } q_{sw} \geq \max(q_{sw1*}, q_{sw2*}, q_{sw,\min}) \quad (18d)$$

Trong trường hợp $c \geq a_1$, từ biểu thức (4) có thể tính q_{sw} theo biểu thức (16)–(18) với giá trị $Q_{\max}$ trong các biểu thức (15) và (17) được thay bằng hiệu số của $(Q_{\max} - Q_1)$.

4. Phương pháp thực hành - sử dụng bảng tính Excel

Trong phương pháp này, các thông số về hình học, vật liệu và tải trọng được khai báo vào các ô (cell) của bảng tính Excel, do vậy giá trị của các biểu thức (3), (4) và (10) có thể được xác định một cách trực tiếp. Với mỗi thông số c được biến đổi từ $0,5h_0$ đến $3h_0$ với bước nhảy là $0,025h_0$, sẽ có một giá trị tương ứng của lực cắt bất lợi Q xác định theo biểu thức (4) và khả năng chịu lực cắt tới hạn Q_{gh} xác định theo biểu thức (10). Các đại lượng này được công cụ bảng tính vẽ thành đồ thị trực quan. Giá trị q_{sw} (được xác định thông qua các thông số ϕ , n và s của cốt đai) sẽ được người dùng đưa vào và thay đổi cho đến khi đồ thị của Q_{gh} nằm phía trên và sát nhất với đồ thị của Q , tại đó chính phương án cốt đai tính toán.

5. Thí dụ tính toán

Mục này trình bày một thí dụ thực hành tính toán cốt đai một dầm BTCT đơn giản $L = 6$ m, tiết diện chữ nhật $b \times h = 250$ mm $\times$ 600 mm, chiều cao làm việc $h_0 = 560$ mm. Dầm chịu tác dụng đồng thời của tải trọng phân bố tính toán $q_1 = 50$ kN/m cùng hai lực tập trung đối xứng có giá trị $Q_1 = 40$ kN và cách hai đầu dầm một khoảng $a_1 = 1,0$ m (Hình 1). Vật liệu bê tông có cường độ chịu nén và chịu kéo tính toán tương ứng là $R_b = 8,5$ MPa và $R_{bt} = 0,75$ MPa. Cường độ chịu kéo tính toán của thép dọc và cốt đai tương ứng là $R_s = 280$ MPa và $R_{sw} = 175$ MPa.

Giá trị lực cắt lớn nhất xuất hiện tại gối: $Q_{\max} = 0,5q_1L + Q_1 = 190$ kN. Kiểm tra điều kiện đảm bảo khả năng chịu ứng suất nén chính của bụng dầm, xác định được vế phải của biểu thức (1) là 357 kN lớn hơn $Q_{\max} = 190$ kN. Giá trị cận dưới của q_{sw} tính theo biểu thức (8) là $q_{sw,\min} = 46,875$ N/mm. Sau đây là kết quả tính toán cốt đai theo hai phương pháp đã nêu ở mục 3 và 4.

5.1. Theo phương pháp giải tích

Xác định giá trị cận trên của c_1 bằng cách thay $q_{sw,\min} = 46,875$ N/mm vào biểu thức (13a) thu được $c_1 = 1018$ mm thỏa mãn điều kiện $c_1 < 2h_0 = 1120$ mm.

Từ biểu thức (13b), xác định được giá trị của $c_2 = 1328$ mm thỏa mãn điều kiện $c_2 < 3h_0 = 1680$ mm.

Giá trị cận dưới tính toán của q_{sw} được xác định từ biểu thức (15) là $q_{sw1} \geq 69,766$ N/mm và từ biểu thức (18a) là $q_{sw2} \geq 68,077$ N/mm.

Từ đó có $q_{sw} \geq \max(69,766; 68,077; 46,875) = 69,766$ N/mm.

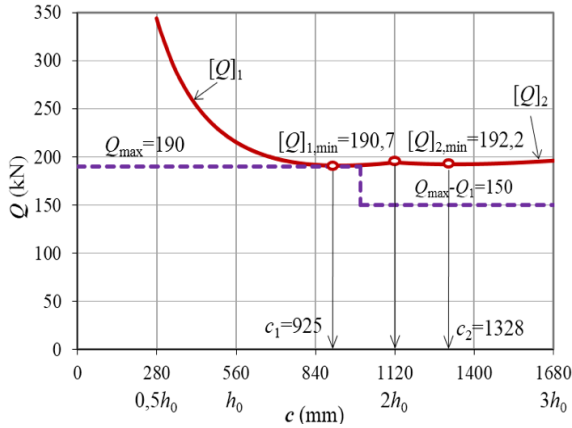
Chọn cốt đai hai nhánh $\phi = 6$ mm ($a_{sw} = \pi\phi^2/4 = 28,3$ mm²) và $s = 140$ mm (ký hiệu là $\phi 6s140$) đảm bảo $s < s_{\max} = R_{bt}bh_0^2/Q = 309$ mm và $s < s_{ct} = \min(0,5h_0, 300$ mm) = 280 mm. Như vậy q_{sw} tính toán được xác định theo biểu thức (7) là $q_{sw} = 70,750$ N/mm.

Giá trị thực tế của c_1 được xác định theo biểu thức (13a) là $c_1 = 925$ mm thỏa mãn điều kiện $c_1 < 2h_0 = 1120$ mm.

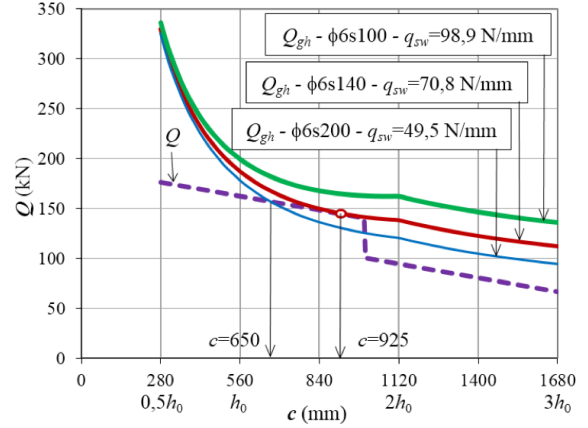
Kiểm tra điều kiện trong biểu thức (14a): $[Q]_{1,\min} = 190,7$ kN $> Q_{\max} = 190$ kN và trong biểu thức (14b): $[Q]_{2,\min} = 192,2$ kN $> Q_{\max} = 190$ kN.

Có thể thấy trên Hình 5 rằng với lượng cốt đai thiết kế $\phi 6s140$ đã chọn ở trên, các hàm $[Q]_1$ và $[Q]_2$ đều đạt giá trị cực tiểu tại các hoành độ tương ứng là c_1 và c_2 thỏa mãn điều kiện ràng buộc và được đảm bảo luôn nằm phía trên của đường $Q_{\max} = 190$ kN.

Quy trình tính toán trên đây được thực hiện trong trường hợp $c \leq a_1$. Khi $c \geq a_1$, q_{sw} vẫn được tính theo các biểu thức (14) và (18) nhưng với giá trị $Q_{\max}$ được thay bằng hiệu số của $(Q_{\max} - Q_1)$, do vậy vẫn đảm bảo điều kiện cường độ với $q_{sw} = 70,750$ N/mm.



Hình 5. Kết quả tính toán theo phương pháp giải tích



Hình 6. Kết quả tính toán theo phương pháp thực hành

5.2. Theo phương pháp thực hành - sử dụng bảng tính Excel

Khi sử dụng công cụ bảng tính Excel, người dùng có thể thử nhiều phương án thiết kế cho cốt đai bằng cách nhập trực tiếp các thông số ϕ , n , s để lựa chọn phương án phù hợp nhất dựa trên tương quan giữa lực cắt Q bất lợi do tải trọng tính toán gây ra và khả năng chịu cắt tối hạn Q_{gh} như trong biểu thức (3).

Như được minh họa trên Hình 6, ba phương án lựa chọn cốt đai là $\phi 6s100$, $\phi 6s140$ và $\phi 6s200$ được thể hiện bằng ba biểu đồ Q_{gh} tương ứng.

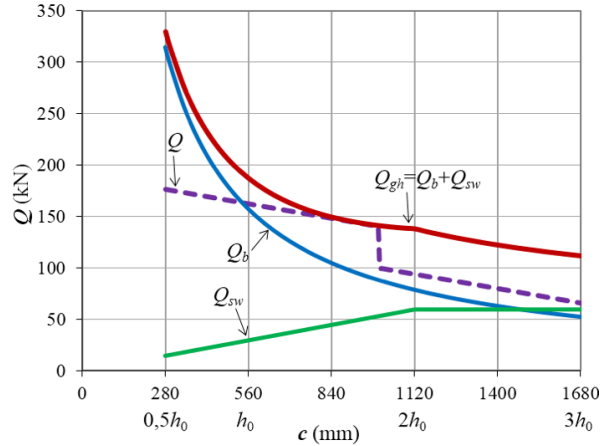
Đối với phương án $\phi 6s200$, từ $c = 650$ mm đường biểu đồ Q_{gh} đi xuống phía dưới đường biểu đồ lực cắt Q và do vậy điều kiện cường độ không được thỏa mãn. Trong khi đó, đối với phương án $\phi 6s100$, đường biểu đồ Q_{gh} ở phía trên khá xa đường biểu đồ lực cắt Q và không kinh tế. Phương án $\phi 6s140$ đảm bảo điều kiện cường độ tại mọi tiết diện nghiêng c và biểu đồ Q_{gh} sát Q nhất tại $c = 925$ mm, tương tự như kết quả của phương pháp giải tích trong mục 5.1.

5.3. Thảo luận

Từ việc thực hiện tính toán và thiết kế cốt đai theo hai phương pháp được trình bày ở các mục trên, có thể rút ra các nhận xét sau:

- Phương pháp giải tích thực chất là giải quyết bài toán thiết kế. Phương pháp này nặng về toán học, khối lượng tính toán khá lớn do phải biện luận nhiều trường hợp của c_1 và c_2 để tìm giá trị cực tiểu cho các hàm về phải $[Q]_1$ và $[Q]_2$. Bản thân các hàm này không có nhiều ý nghĩa vật lý mà chỉ đơn thuần là các hàm toán học. Do vậy, khi sử dụng phương pháp này người thiết kế khó cảm nhận được sự làm việc chịu cắt của dầm một cách thực chất và rõ ràng. Hơn nữa, trong trường hợp giá trị ban đầu của c_1 (tính với $q_{sw,min}$) vượt quá $2h_0$, người sử dụng có thể phải thực hiện thêm một số phép tính lặp để xác định giá trị q_{sw} cuối cùng thỏa mãn điều kiện ràng buộc của c_1 .

- Phương pháp thực hành sử dụng các phép thử dần và chọn lại (trial and error), nên thực chất là bài toán kiểm tra. Phương pháp này tận dụng tối đa hiệu quả của việc áp dụng công cụ bảng tính Excel, do vậy vừa tránh sa đà vào các công thức và biện luận toán học phức tạp, vừa cho kết quả rất nhanh và trực quan. Bằng hình ảnh tương tác giữa lực cắt bất lợi Q tác dụng lên dầm với khả năng chịu lực cắt tối hạn Q_{gh} - tương tự như khái niệm biểu đồ bao vật liệu khi thiết kế cho cốt thép dọc - phương pháp này phản ánh đầy đủ ý nghĩa của việc tính toán theo TTGH do điều kiện cường độ trên

Hình 7. Các thành phần của khả năng chịu cắt tối hạn Q_{gh}

tiết diện nghiêng theo lực cắt được đảm bảo thỏa mãn trên tất cả các mặt cắt nghiêng nguy hiểm của dầm (Hình 7).

- Phương pháp thực hành giúp làm rõ được sự đóng góp của bê tông (Q_b) và của cốt đai (Q_{sw}) vào khả năng chịu cắt tối hạn của dầm (Q_{gh}) như trên Hình 7. Biểu đồ cho thấy tại các tiết diện nghiêng càng ra xa gối tựa, khả năng kháng cắt của bê tông giảm dần và của cốt thép đai tăng dần cho tới khi đạt giá trị cực đại tại khoảng cách $2h_0$.

- Trong trường hợp dầm chịu lực phân bố với quy luật bất kỳ $q_1(x)$ đồng thời với nhiều lực tập trung $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n$ đặt tại các điểm cách gối tựa bên trái những khoảng tương ứng là $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \leq 3h_0$, các biểu thức (4a) và (4b) trở thành:

$$Q = Q_{\max} - \int_{x=0}^c q_1(x)dx \quad \text{khi } c \leq a_1 \quad (19a)$$

$$Q = Q_{\max} - \int_{x=0}^c q_1(x)dx - \sum_{j=1}^{i-1} Q_j \quad \text{khi } a_i \geq c \geq a_{i-1} \text{ với } i = 2 \div n \quad (19b)$$

Để thiết kế cốt đai trong trường hợp này, nếu sử dụng phương pháp giải tích sẽ khó xác định ngay được giá trị cực tiểu của các hàm về phải $[Q]_1$ và $[Q]_2$ do sự có mặt của hàm tích phân sau khi chuyển về. Tuy nhiên, vấn đề khó khăn này có thể được khắc phục một cách đơn giản trong phương pháp thực hành do biểu đồ của hàm Q trong các biểu thức (19a) và (19b) có thể được thiết lập dễ dàng bằng công cụ bảng tính Excel trên bất kỳ tiết diện nghiêng nguy hiểm nào của dầm trong khoảng $(0,5h_0, 3h_0)$ tính từ gối tựa.

Thí dụ trình bày trong mục này được thực hiện trên một dầm tĩnh định. Với dầm siêu tĩnh BTCT thường gặp trên thực tế (như dầm liên tục, dầm trong khung v.v...), các phương pháp nêu cũng có thể được áp dụng bằng cách tách các đoạn đầu dầm trong khoảng $1/4$ nhịp ra khảo sát và sử dụng giá trị lực cắt lớn nhất $Q_{\max}$ tại hai đầu dầm thu được từ kết quả phân tích nội lực.

6. Kết luận

Trong bài báo này, các nguyên tắc chung của tiêu chuẩn Nga và tiêu chuẩn Việt Nam trong phân tích tính toán cốt đai (khi không đặt cốt xiên) cho dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu tác dụng đồng

thời của lực phân bố và lực tập trung đã được hệ thống hóa và phát triển thành phương pháp giải tích và phương pháp thực hành. Kết quả trình bày trong thí dụ tính toán cho thấy trong khi phương pháp giải tích nặng về khai triển và biện luận toán học thì phương pháp thực hành cũng cho kết quả tương tự nhưng nhanh và trực quan hơn. Công cụ bảng tính Excel có khả năng cung cấp hình ảnh của biểu đồ bao vật liệu khi chịu cắt của đoạn dầm nguy hiểm nằm trong khoảng $(0,5h_0 \sim 3h_0)$ - tương ứng với khoảng $1/4$ nhịp dầm tính từ gối tựa (do chiều cao tiết diện dầm thường được chọn bằng $1/8$ đến $1/12$ nhịp dầm). Do vậy, phương pháp thực hành giúp người sử dụng hiểu rõ sự làm việc của kết cấu BTCT, vừa giảm được khối lượng tính toán, vừa tránh được các sai sót không đáng có trong công tác thiết kế. Hơn nữa, phương pháp thực hành cũng có thể được áp dụng hiệu quả để tính toán cốt đai khi dầm chịu tác động đồng thời của lực phân bố không đều và nhiều lực tập trung - là trường hợp thường gặp trong thực tế, còn có ít tài liệu đề cập tới và khó được giải quyết bằng phương pháp giải tích. Các phương pháp nêu trên có thể được phát triển áp dụng cho các bài toán phân tích, thiết kế cốt đai cùng với cốt xiên cũng như cốt đai cho dầm ứng lực trước và cho cột BTCT (khi có thêm thành phần lực nén) v.v. . .

Tài liệu tham khảo

- [1] Minh, P. Q., Phong, N. T., Công, N. Đ. (2006). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Wight, J. K., MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced concrete - Mechanics and design*. Sixth edition, Pearson Education Inc.
- [3] Mosley, B., Bungey, J., Hulse, R. (2007). *Reinforced concrete design to Eurocode 2*. Palgrave MacMillan, New York.
- [4] Minh, P. Q., Phong, N. T. (2010). *Kết cấu bê tông cốt thép - Thiết kế theo Tiêu chuẩn Châu Âu*. Nhà Xuất bản Xây dựng.
- [5] ACI 318-14 (2014). *Building code requirements for structural concrete*. American Concrete Institute.
- [6] EN 1992-1-1:2004 (2004). *Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*.
- [7] TCVN 5574:2012 (2012). *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [8] SNiP 2.03.01-84 (1997). *Concrete and reinforced concrete structures - Design standards*. National Building Code of Russia.
- [9] SNiP 52-01-2003 (2003). *Concrete and reinforced concrete structures - Design standards*. National Building Code of Russia.
- [10] SP 52-101-2003 (2003). *Concrete and reinforced concrete structures - Principal rules*. Ministry of Regional Development of the Russian Federation.
- [11] SP 63.13330.2012 (2012). *Concrete and reinforced concrete structures - Principal rules*. Ministry of Regional Development of the Russian Federation.
- [12] Huê, L. B. (2018). Kiến nghị về tính toán cốt đai chịu cắt của dầm bê tông cốt thép chịu lực tập trung theo SP 63.13330.2012. *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (3/2018):74–78.