

Hàm lượng cốt thép dọc tối thiểu của tiết diện cột bê tông cốt thép

Evaluation of concrete column minimum longitudinal reinforcement limit

Ngày nhận bài: 10/9/2014

Ngày sửa bài: 7/8/2015

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2015

Phan Quang Minh,
Trần Ngọc Long

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày mô hình tính toán hàm lượng cốt thép dọc nhỏ nhất của cột khi xét đến tác dụng dài hạn của tải trọng và các yếu tố khác như cường độ vật liệu, tỷ số giữa hoạt tải và tĩnh tải. Dựa trên kết quả khảo sát, phân tích cho thấy cần điều chỉnh giá trị hàm lượng nhỏ nhất này trong một số trường hợp khi thiết kế cấu kiện cột theo TCVN 5574:2012.

Từ khóa: cột BTCT, hàm lượng cốt thép dọc nhỏ nhất, từ biến, co ngót

ABSTRACT:

Presented analytical model which includes the simultaneous effects of the long-term behavior of columns, nominal compressive strengths and live to dead load ratio.. is used to determine a concrete column minimum longitudinal reinforcement limit. Based on the results, recommendations are given for changes the reinforcement limit in TCVN 5574:2012.

Key words: RC columns, minimum reinforcement, creep, shrinkage

GS. TS. Phan Quang Minh

Trường Đại học Xây dựng

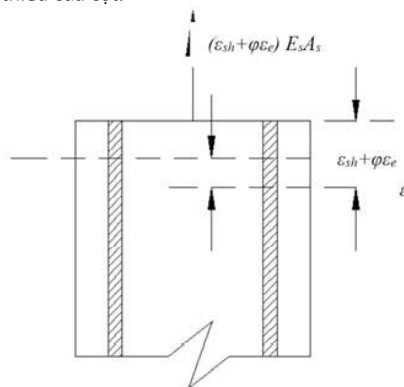
ThS. Trần Ngọc Long – Đại học Vinh

1. Đặt vấn đề

Hàm lượng cốt thép dọc tối thiểu của cột bê tông cốt được xác định từ yêu cầu cấu tạo và yêu cầu thiết kế kháng chấn. Bên cạnh đó, cốt thép tối thiểu của cột cần được tính toán để: (i) hạn chế ứng suất nén trong cốt thép không đạt đến giới hạn chảy do biến dạng từ biến và co ngót của bê tông và (ii) hạn chế bề rộng khe nứt bằng cách thay thế vùng bê tông chịu kéo bằng một lượng cốt thép tối thiểu [3].

Theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép của Việt nam TCVN 5574:2012 [6], hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột được xác định phụ thuộc vào độ mảnh của cấu kiện. Đối với cột chịu nén đúng tâm, hàm lượng cốt thép tối thiểu là 0,4% khi cấu kiện có độ mảnh không quá lớn.

Theo yêu cầu thiết kế kháng chấn TCVN 9386:2012 [7], hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột bê tông cốt thép là 1%. Ảnh hưởng của từ biến và co ngót của bê tông chưa được xem xét khi xác định hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột.



Hình 1. Biến dạng của cột bê tông cốt thép do ảnh hưởng của co ngót và từ biến

Tiêu chuẩn Mỹ ACI-318 [1] quy định hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột tương ứng là 1%. Giá trị hàm lượng 1% theo ACI-318 nhằm hạn chế ứng suất chảy của cốt thép đạt đến

giới hạn chảy dưới tác dụng của tải trọng dài hạn trong giai đoạn sử dụng. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm [3, 4] cũng đề xuất sự cần thiết phải xét đến vấn đề này khi xác định hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột bê tông cốt thép.

Theo điều kiện (ii), hàm lượng cốt thép tối thiểu thường nhỏ hơn giá trị 0,4% nên trong bài báo này chỉ đề cập đến việc xác định hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột nhằm tránh cho cốt thép bị chảy dẻo thụ động do biến dạng từ biến và co ngót của bê tông.

2. Xác định hàm lượng cốt thép nhỏ nhất của cột

Xét cột bê tông cốt thép chịu nén đúng tâm (hình 1 trang bên).

Do co ngót và từ biến của bê tông, biến dạng dọc trục của cột bê tông khi không có cốt thép dọc cản trở là $(\epsilon_{sh} + \phi\epsilon_e)$ với:

ϵ_{sh} - biến dạng co ngót tỷ đối của bê tông.

Giá trị này trong khoảng $(3 - 6)10^{-4}$ và có thể lớn hơn khi tỷ lệ nước/ xi măng lớn. Theo ACI 318 [1] giá trị này có thể đạt đến 0,0008.

ϕ - hệ số từ biến của bê tông;

ϵ_e - biến dạng đàn hồi của cột do tác dụng của tải trọng dài hạn.

Cốt thép dọc chống lại sự co của bê tông với biến dạng ϵ , gây ra ứng suất kéo trong cốt thép. Vì vậy biến dạng của cột bê tông cốt thép là $(\epsilon_{sh} + \phi\epsilon_e - \epsilon)$ (hình 1). Ứng suất kéo trong cốt thép là:

$$\sigma_{s1} = E_s (\epsilon_{sh} + \phi\epsilon_e - \epsilon) \quad (1)$$

trong đó:

E_s - modun đàn hồi của thép

Giá trị μ là hàm lượng cốt thép dọc của cột,

$$\mu = \frac{A_s}{A_c} (\%)$$

A_s - tổng diện tích tiết diện cốt thép dọc;

A_c - diện tích bê tông tiết diện cột;

A - diện tích tiết diện cột.

Bảng 1: Hệ số từ biến theo cấp độ bền nén của bê tông [8]

Độ ẩm %	Cấp độ bền nén của bê tông									
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	≥B60
> 75%	2,8	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0
40 - 75%	3,9	3,4	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,4
< 40%	5,6	4,8	4,0	3,6	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,0

Bảng 2. Hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột (thép CII)

Cấp độ bền nén bê tông	k=P/G					
	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5
B15	-	-	-	-	-	-
B20	0.0042	-	-	-	-	-
B25	0.0206	0.00238	0.00026	-	-	-
B30	0.0284	0.00814	0.00619	-	-	-
B35	0.0365	0.01445	0.01284	-	-	-
B40	0.0449	0.03134	0.02038	0,01	-	-

Khi hàm lượng cốt thép cột không quá lớn (xét trường hợp hàm lượng cốt thép nhỏ nhất), có thể coi $A_b \approx A_s$,

$$\mu = \frac{A_s}{A_b} (\%)$$

Lực kéo trong cốt thép dọc $F_{sh,cr}$ là:

$$F_{sh,cr} = (\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) A_s E_s \quad (2)$$

Lực kéo này gây ra ứng suất cho bê tông $\sigma_{sh,cr}$:

$$\sigma_{sh,cr} = \frac{F_{sh,cr}}{A_{red}} \quad (3)$$

A_{red} - diện tích quy đổi của tiết diện cột:

$$A_{red} = A_b + A_s \frac{E_s}{E_b} = A_b + nA_s \quad (4)$$

với $n = E_s / E_b$;

E_s - mô đun đàn hồi của cốt thép;

E_b ' - mô đun biến dạng của bê tông.

Trong giai đoạn sử dụng, ứng suất nén của bê tông cột do tác dụng của tải trọng tiêu chuẩn thường không vượt quá 40% cường độ của bê tông [2, 4], mô đun biến dạng của bê tông có thể lấy $E_b' = 0,85E_b$ [5, 6], với E_b là mô đun đàn hồi của bê tông.

Ta có:

$$\sigma_{sh,cr} = \frac{(\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) E_s A_s}{A_b + nA_s} = \frac{(\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) E_s \mu}{1 + n\mu} \quad (5)$$

Biến dạng ε của được xác định theo công thức:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{sh,cr}}{E_b} = \frac{(\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) E_s \mu}{(1 + n\mu) E_b} = \frac{n(\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) \mu}{(1 + n\mu)} \quad (6)$$

Ứng suất trong cốt thép do tác dụng của tải trọng tiêu chuẩn G:

$$\sigma_{s2} = E_s \varepsilon_e \quad (7)$$

Ứng suất trong cốt thép do tác dụng của hoạt tải tiêu chuẩn P:

$$\sigma_{s3} = E_s k \varepsilon_e \quad (8)$$

với $k=P/G$

Ứng suất của cốt thép dọc trong giai đoạn sử dụng là:

$$\sigma_s = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} = E_s (\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e - \varepsilon) + E_s \varepsilon_e (1+k) \quad (9)$$

Biến dạng cột BTCT do tải trọng ε_e được xác định như sau.

Tải trọng tính toán tác dụng lên cột:

$$N = n_1 P + n_2 G \quad (10)$$

trong đó n_1, n_2 là hệ số vượt tải tương ứng của hoạt tải và tải trọng.

Ở trạng thái giới hạn, khả năng chịu lực của cột (bỏ qua uốn dọc) là [5, 6]:

$$N_{gh} = R_b A_b + R_{sc} A_s \quad (11)$$

R_b, R_{sc} - cường độ chịu nén tính toán tương ứng của bê tông và cốt thép dọc.

Từ điều kiện $N = N_{gh}$ ta có:

$$G = \frac{N_{gh}}{(n_1 k + n_2)} \quad (12)$$

Chia cả 2 vế của phương trình (12) cho $A_{red} E_b'$:

$$\frac{G}{A_{red} E_b'} = \frac{N_{gh}}{(n_1 k + n_2) A_{red} E_b'} \quad (13)$$

Ta có:

$$\varepsilon_e = \frac{A_b R_b + A_s R_{sc}}{(n_1 k + n_2) (A_b + n A_s) E_b'} \quad (14)$$

$$\varepsilon_e = \frac{R_b + \mu R_{sc}}{(n_1 X + n_2) (1 + n \mu) E_b'} \quad (15)$$

Hàm lượng cốt thép dọc của cột được tính từ các phương trình (6), (9), (15). Hàm lượng nhỏ nhất của cột tương ứng khi ứng suất nén của cốt thép σ_s đạt tới giới hạn chảy tiêu chuẩn $R_{sc,ser}$:

$$R_{sc,ser} = E_s (\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e - \varepsilon) + E_s \varepsilon_e (1+k) \quad (16)$$

$$\frac{R_{sc}}{E_s} = \varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e - \varepsilon + \varepsilon_e (1+k) \quad (17)$$

Từ phương trình (6) và phương trình (17) ta có:

$$\frac{R_{sc,ser}}{E_s} = \varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e - \frac{n \mu (\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e)}{(1 + n \mu)} + \varepsilon_e (1+k) \Leftrightarrow \frac{R_{sc,ser}}{E_s} = (\varepsilon_{sh} + \varphi \varepsilon_e) \frac{1}{1 + n \mu} + \varepsilon_e (1+k) \quad (18)$$

$$\Leftrightarrow \frac{R_{sc,ser}}{E_s} = \frac{\varepsilon_{sh}}{1 + n \mu} + \varepsilon_e \left(\frac{\varphi}{1 + n \mu} + 1 + k \right)$$

Thay ε_e từ (15) vào (18):

$$\frac{R_{sc,ser}}{E_s} = \frac{\varepsilon_{sh}}{1 + n \mu} + \frac{R_b + \mu R_{sc}}{(n_1 X + n_2) E_b' (1 + n \mu)} \left(\frac{\varphi}{1 + n \mu} + 1 + k \right) \quad (19)$$

hay:

$$\frac{R_{sc,ser}}{E_s} E_b' (n_1 k + n_2) (1 + n \mu)^2 = (n_1 k + n_2) E_b' \varepsilon_{sh} (1 + n \mu) + (R_b + \mu R_{sc}) [(\varphi + 1 + k) + (1 + k) n \mu] \quad (20)$$

Biểu thức (20) là phương trình bậc 2 với ẩn số là hàm lượng cốt thép nhỏ nhất của cột bê tông cốt thép có xét đến ảnh hưởng biến dạng co ngót và từ biến của bê tông.

Khảo sát số

Hệ số từ biến của bê tông phụ thuộc vào cấp độ bền và độ ẩm môi trường, được lấy như trên bảng 1 [8].

Khảo sát cho trường hợp độ ẩm môi trường từ 40-75%.

Giá trị biến dạng co ngót tỷ đối của bê tông $\epsilon_{sh} = 0,00038$ cho bê tông có cấp độ bền nén đến B20 và $\epsilon_{sh} = 0,00043$ với B25 đến B60 [9] khi bê tông có độ sụt 9-10 cm.

Hệ số vượt tải của tải trọng $n_1 = n_2 = 1,2$.

Kết quả tính toán hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột theo cấp độ bền của bê tông, nhóm thép CII, AII và hệ số k được thể hiện trên bảng 2. Các ô trống (-) thể hiện phương trình (20) không có nghiệm phù hợp.

Nhận xét:

Khi tỷ số giữa hoạt tải và tĩnh tải nhỏ k và sử dụng thép CII, AII, hàm lượng cốt thép tối thiểu lớn hơn so với giá trị 1% (các số in đậm và nghiêng). Khi k càng lớn thì hàm lượng thép nhỏ nhất yêu cầu càng nhỏ vì biến dạng từ biến giảm.

Cấp độ bền nén của bê tông càng lớn, chọn hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột càng lớn.

Với cùng số liệu khảo sát như trên cho các nhóm thép có cường độ lớn hơn (CIII, AIII..), hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột do ảnh hưởng co ngót và từ biến của bê tông là không đáng kể. Tuy nhiên nếu hệ số từ biến của bê tông lớn, giá trị này có thể tăng lên đáng kể. Khi độ ẩm môi trường nhỏ hơn 40% (bảng 1), với cấp độ bền B30, $k=0,75$, giá trị hàm lượng cốt thép tối thiểu cho nhóm thép CIII, AIII theo phương trình (20) là 3,78%.

Giá trị hàm lượng cốt thép tối thiểu giảm khi biến dạng co ngót tỷ đối và hệ số từ biến của bê tông giảm.

3. Kết luận:

Theo tiêu chuẩn thiết kế hiện hành, hàm lượng cốt thép tối thiểu của cột bê tông cốt thép là 1%. Trong một số trường hợp, nếu tỷ lệ giữa hoạt tải và tĩnh tải thấp, sử dụng nhóm thép CII, AII hoặc bê tông có cấp độ bền lớn, cần xem xét tăng hàm lượng cốt thép nhỏ nhất của cột để tránh cốt thép vượt quá giới hạn chảy trong giai đoạn sử dụng. Bên cạnh đó cần thiết phải có các nghiên cứu thực nghiệm xác định biến dạng co ngót tỷ đối và hệ số từ biến của bê tông cho từng vùng miền có khí hậu khác biệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ACI Commiue 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete" American Concrete Institute, 2014.
2. Gilbert, R.I., Ranzi G. Time-dependent behaviour of concrete structures, Spon Press, 2011.

3. Lin, C. H. and Furlong R. W., "Longitudinal Steel Limits for Concrete Columns," ACI Structural Journal, Vol. 92 - No. 3, p. 282, May-June 1995.

4. Ziehl P.H., Minimum Mild reinforcing requirements for Concrete Columns. The University of Texas at Austin, December 1997.

5. Phan Quang Minh (chủ biên). Kết cấu bê tông cốt thép- cấu kiện cơ bản. Nhà xuất bản KHKT, Hà Nội, 2012.

6. TCVN 5574:2012, "Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép", 2012.

7. TCVN 9386:2012, Thiết kế công trình chịu động đất, 2012.

8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003, Москва, 2012.

9. НИИЖБ. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций, М.: Стройиздат, 1988.