

Nghiên cứu tính toán cột mảnh bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm phẳng theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019

Research and calculation of slender reinforced concrete columns subjected to uniaxial eccentric compression in accordance with TCVN 5574:2018, EC2:2004 and ACI 318:2019

> TS TRẦN VIỆT TÂM

Nhóm chuyên môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Trong kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), cột chịu nén lệch tâm là cấu kiện quan trọng, có nhiệm vụ truyền tải trọng xuống móng và đóng vai trò quyết định đối với sự ổn định và khả năng chịu lực của toàn công trình. Khi chiều cao hữu hiệu của cột lớn so với kích thước tiết diện ngang, cột có xu hướng mất ổn định uốn dọc trục, đồng thời hiệu ứng bậc hai ($P-\Delta$) trở nên đáng kể. Cấu kiện cột BTCT như vậy được gọi là cột mảnh (slender columns); việc tính toán và thiết kế loại cột này cần xét đến các hiệu ứng bậc hai nhằm đánh giá chính xác khả năng chịu lực và đảm bảo an toàn cho công trình.

Thực tế thiết kế hiện nay, do yêu cầu về kiến trúc và không gian sử dụng, các dạng cột mảnh như cột sảnh, cột thông tầng được áp dụng ngày càng phổ biến. Tuy nhiên, theo TCVN 5574:2018 [1], độ mảnh của cột nhà bê tông cốt thép được giới hạn không vượt quá 120, giới hạn này khá lớn, điều này đặt ra những thách thức trong việc lựa chọn tiết diện và đánh giá khả năng chịu lực của cột mảnh, đặc biệt đối với các công trình có yêu cầu kiến trúc đặc thù.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán cột mảnh bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 [5] và ACI 318-2019 [3], đồng thời khảo sát và đề xuất một số khuyến nghị trong thiết kế đối với loại cột này.

Từ khóa: Cột mảnh BTCT; TCVN 5574:2018; EC2:2004; ACI 318:2019; khả năng chịu lực; độ mảnh; hiệu ứng bậc hai; ổn định; lệch tâm; uốn dọc.

ABSTRACT

Eccentrically loaded columns are important structural elements in reinforced concrete structures, responsible for transferring loads to the foundation and ensuring the overall stability and load-carrying capacity of buildings. When the effective height of a column is large relative to its cross-sectional dimensions, second-order effects ($P-\Delta$ effects) become significant, leading to flexural instability. Such members are classified as slender columns, and their design requires proper consideration of these effects.

In current design practice, driven by architectural and functional requirements, slender columns such as lobby columns and multi-storey columns are increasingly adopted. However, TCVN 5574:2018 limits the slenderness ratio of reinforced concrete columns to 120, which creates challenges in cross-section selection and strength assessment for structures with demanding architectural layouts.

This paper presents a calculation procedure for slender reinforced concrete columns in accordance with TCVN 5574:2018, EC2:2004 and ACI 318:2019. A comparative evaluation of the two standards is carried out, and practical recommendations are proposed to support the design of slender reinforced concrete columns.

Keywords: Slender reinforced concrete columns; TCVN 5574:2018; EC2:2004; ACI 318:2019 load-carrying capacity; slenderness ratio; second-order effects; stability; eccentric loading; flexural buckling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cột là cấu kiện chịu lực theo phương đứng trong kết cấu công trình. Theo đặc điểm hình học, cột là cấu kiện có chiều cao tiết diện không lớn hơn bốn lần chiều rộng tiết diện, đồng thời chiều dài cấu kiện ít nhất gấp ba lần chiều cao tiết diện; trong trường hợp ngược lại, cấu kiện có thể được xem là vách. Về cơ bản, cột chủ yếu chịu lực

nén dọc trục, tuy nhiên trong nhiều trường hợp còn phải chịu mô men uốn và lực cắt do ảnh hưởng của tải trọng ngang như gió, động đất...

Trong kết cấu khung nhà, cột có nhiệm vụ tiếp nhận tải trọng từ dầm, sàn, tải các tầng phía trên và truyền tải trọng này xuống các tầng phía dưới và nền công trình thông qua kết cấu móng. Do đó,

nếu các cấu kiện chịu nén này không đảm bảo khả năng chịu lực, có thể dẫn đến mất ổn định cục bộ và phá hoại toàn bộ công trình.

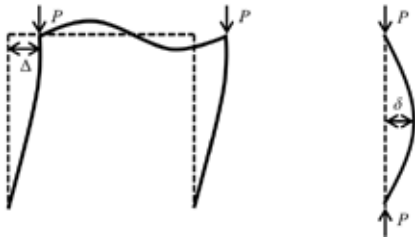
Khi cột BTCT có độ mảnh lớn (cột mảnh BTCT), ảnh hưởng của biến dạng ngang và hiệu ứng bậc hai (P-Δ, P-δ) làm tăng đáng kể nội lực và chuyển vị của cột khi chịu tải trọng nén. Khác với cột ngắn, khả năng chịu lực của cột mảnh không chỉ phụ thuộc vào cường độ vật liệu và tiết diện mà còn phụ thuộc nhiều vào độ cứng, chiều dài tính toán và điều kiện liên kết hai đầu của cột.

Hiện nay, do yêu cầu về kiến trúc và không gian sử dụng, các dạng cột mảnh như cột sảnh, cột thông tầng được áp dụng ngày càng phổ biến. Tuy nhiên, theo TCVN 5574:2018, độ mảnh giới hạn của cột nhà dân dụng là 120, giới hạn này là lớn, đặt ra những thách thức trong việc lựa chọn tiết diện và đánh giá khả năng chịu lực của cột mảnh, đặc biệt đối với các công trình có yêu cầu kiến trúc đặc thù.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán cột mảnh BTCT theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [1], EC2:2004[5] và ACI 318:2019 [3], khảo sát các trường hợp tính toán, từ đó có những kiến nghị đề xuất khi thiết kế đối với cấu kiện này.

2. SỰ LÀM VIỆC CỦA CỘT MẢNH

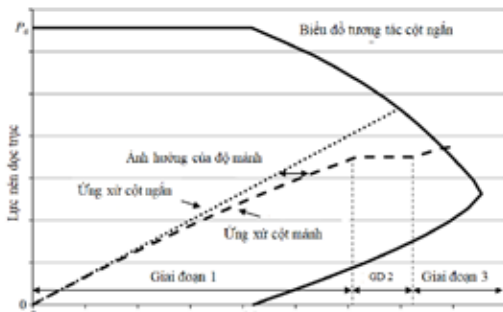
Độ mảnh của cấu kiện chịu nén ảnh hưởng đến cả ứng xử ngắn hạn và dài hạn, và gây ra hiệu ứng bậc hai - tức là tăng thêm mô men trong cấu kiện do độ võng. Hiệu ứng này có ảnh hưởng rất đáng kể, vì vậy cần phải xem xét đến chúng khi thiết kế các cấu kiện chịu nén. Hình 1 thể hiện hai loại hiệu ứng bậc hai gồm hiệu ứng tổng thể (P.Δ) và hiệu ứng cục bộ (P.δ).



Hình 1. Hiệu ứng bậc 2 tổng thể và cục bộ của cột mảnh

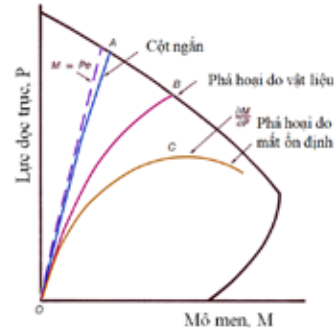
Khi cột mảnh BTCT chịu tải trọng dài hạn, quá trình ứng xử của cột mảnh qua 3 giai đoạn (Hình 2) cụ thể như sau:

- Giai đoạn 1: Dưới tác dụng của tải trọng ban đầu, độ cứng ngắn hạn chi phối ứng xử của cột. Mô men cần thiết (momen demand) đối với cột mảnh sẽ lớn hơn so với cột ngắn khi chịu cùng một tải trọng và độ lệch tâm, do ảnh hưởng của hiệu ứng bậc hai.
- Giai đoạn 2: Khi cột chịu tải trọng dài hạn, từ biến của bê tông làm giảm độ cứng của cột, từ đó tăng hiệu ứng bậc hai. Do đó, mô men cần thiết tăng lên dù lực dọc trục không đổi.
- Giai đoạn 3: Trong thực tế, các cột thông thường không bị phá hoại ngay dưới tải trọng dài hạn, và ở giai đoạn này, cột vẫn còn khả năng chịu lực dư (residual capacity) sau khi chịu tải trọng dài hạn.



Hình 2. Ứng xử của cột chịu nén lệch tâm phẳng

Đường cong mô men - lực nén tới hạn (biểu đồ tương tác) được vẽ trong Hình 3 cho các cột có độ mảnh khác nhau, các cột này chịu tải như được trình bày trong Hình 2 với cùng độ lệch tâm đầu cột e. Đường cong mô men tại điểm O-A đối với một cột tương đối ngắn thì gần như giống với đường P.e. Đối với một cột có chiều dài vừa phải, đường O-B, thì độ lệch trở nên đáng kể, làm giảm tải trọng tới hạn, cột sẽ bị phá hoại khi đường cong mô men - tải trọng cắt biểu đồ tương tác tại điểm B. Cột khi đó bị "Phá hoại do vật liệu" và đây là dạng phá hoại của các cột trong hệ kết cấu khung giằng. Nếu cột quá mảnh, biến dạng uốn Δ có tiến tới vô hạn. Khi đó cột trở nên không ổn định vì biến dạng uốn lớn, dạng phá hoại này được biết như là "Phá hoại do mất ổn định" xuất hiện với những cột giằng quá mảnh hoặc những cột mảnh trong các khung không có hệ giằng.



Hình 3 Sự phá hoại do vật liệu và do mất ổn định của cột

3. TÍNH TOÁN CỘT MẢNH THEO CÁC TIÊU CHUẨN

3.1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2018 [1]

Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 không đưa ra khái niệm về cột mảnh, chỉ có điều kiện hạn chế về độ mảnh, tiêu chuẩn quy định độ mảnh cột $\lambda \leq \lambda_{gh}$ (λ_{gh} là giới hạn độ mảnh cho phép với cột, nhà dân dụng là 120, và cột trong các công trình khác là 200). Việc kể đến ảnh hưởng của độ mảnh (uốn dọc) đến khả năng chịu lực của cột bằng cách nhân giá trị độ lệch tâm e_0 với hệ số η .

+ Khi $\lambda \leq 14$ có thể bỏ qua ảnh hưởng của uốn dọc, lấy $\eta=1$;

+ Khi $\lambda > 14$ tính η như sau: $\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$ (1)

Trong đó:

- N_{cr} : lực tới hạn quy ước, được xác định theo công thức $N_{cr} =$

$\frac{\pi^2 D}{l_0^2}$ (2)

- D: độ cứng của cấu kiện BTCT ở trạng thái giới hạn về độ bền D = $k_b E_s I + k_s E_s I_s$. (3)

- I, I_s : mô men quán tính của tiết diện bê tông và của toàn bộ cốt thép dọc đối với trọng tâm tiết diện ngang. Với tiết diện chữ nhật bố trí cốt thép với hàm lượng μ (%) thì: $I = bh^3/12$; $I_s = \mu b h_0 (0,5h_0 - a)^2$.

- k_s : Hệ số của cốt thép lấy bằng 0.7; $k_b = \frac{0.15}{\varphi_L (0.3 + \delta_e)}$. (4)

- δ_e Hệ số kể đến độ lệch tâm tương đối của lực dọc $\delta_e = e_0/h$ lấy trong khoảng 0,15 và 1,5.

- φ_L Hệ số kể đến ảnh hưởng của thời hạn tác dụng của tải trọng

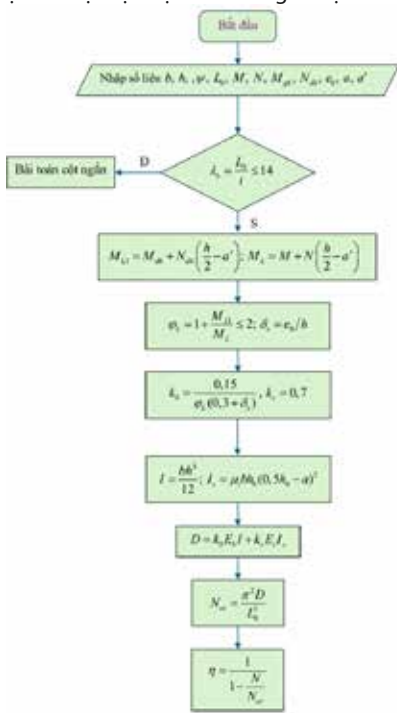
$\varphi_L = 1 + \frac{M_{L1}}{M_L} < 2$. (5)

- M_L, M_{L1} : Các mô men đối với trọng tâm của thanh thép chịu kéo nhiều nhất hoặc chịu nén ít nhất (khi toàn bộ tiết diện chịu nén) do tác dụng của toàn bộ tải trọng (tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn).

$M_{L1} = M_{dh} + N_{dh} (\frac{h}{2} - a')$ (6)

$M_L = M + N (\frac{h}{2} - a')$ (7)

Sơ đồ khối tính các bước tính hệ số ảnh hưởng uốn dọc η của cột chịu nén lệch tâm phẳng như hình 4, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8].



Hình 4. Sơ khối tính hệ số ảnh hưởng uốn dọc η của cột theo TCVN 5574:2018

3.2. Tiêu chuẩn châu Âu EC2:2004 [5]

Tiêu chuẩn EC2 tính cột được coi là cột mảnh (slender column) khi $\lambda > \lambda_{lim}$, còn lại là cột ngắn (short column). Độ mảnh giới hạn λ_{lim} của cột được xác định theo công thức:

$$\lambda_{lim} = \frac{20A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

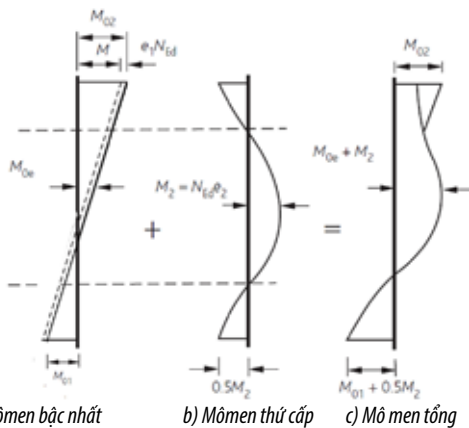
Trong đó: - A, B, C: Các hệ số được xác định theo công thức:

$$A = \frac{1}{1 + 0,2\phi_{ef}}; \quad B = \sqrt{1 + 2\omega}; \quad C = 1,7 - r_m \quad (9)$$

- ϕ_{ef} : là hệ số từ biến

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad (10)$$

- M_{01}, M_{02} : là Mômen 2 đầu cột.



Hình 5. Biểu đồ mô men trong cột mảnh

Mô men uốn làm cho cấu kiện chuyển vị theo phương vuông góc với trục dọc tạo ra mô men thứ cấp M_2 . Xét 1 cột chịu nén có mô men 2 đầu cột là M_{bot} và M_{top} thì mô men thiết kế M_{Ed} được lấy như sau:

$$M_{Ed} = \max (M_{02}; M_{0e} + M_2; M_{01} + 0,5M_2). \quad (11)$$

$$M_{01} = \min (M_{bot}; M_{top}) + e_a N_{Ed}. \quad (12)$$

$$M_{02} = \max (M_{bot}; M_{top}) + e_a N_{Ed}. \quad (13)$$

$$M_{0e} = e_0 N_{Ed}; \quad M_2 = e_2 N_{Ed}. \quad (14)$$

Trong đó:

$$e_a: \text{Độ lệch tâm ngẫu nhiên } e_a = \max (0,5\lambda_0; h/30; 20\text{mm}) \text{ với } v = \frac{1}{100\sqrt{L}} \geq \frac{1}{200}. \quad (15)$$

$$e_{01}: \text{Độ lệch tâm tĩnh học } e_{01} = M_{01}/N_{Ed}. \quad (16)$$

$$e_2: \text{Độ lệch ở trạng thái phá hoại } e_2 = K_1 K_2 \frac{l_0^2}{\pi^2} \left(\frac{\sigma_{yd}}{0,45d} \right). \quad (17)$$

$$K_1: \text{Hệ số } K_1 = 1 + \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} \right) \phi_{ef}. \quad (18)$$

$$\phi_{ef}: \text{Hệ số từ biến hiệu quả tính theo } \phi_{ef} = \phi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}. \quad (19)$$

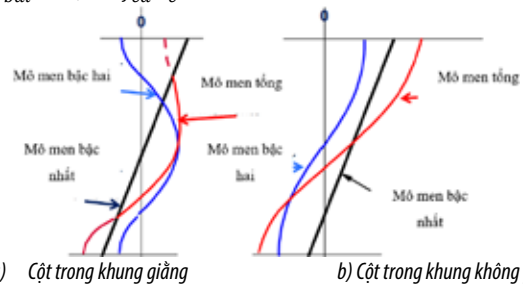
$\phi(\infty, t_0)$: hệ số từ biến cuối cùng, ($t = \infty$) khi tải trọng tác dụng ở thời điểm t_0 .

M_{0Ed} : mô men uốn trong tổ hợp tải trọng ở trạng thái giới hạn về cường độ.

$$K_2: \text{Hệ số } K_2 = \frac{N_{ud} - N_{Ed}}{N_{ud} - N_{bal}} \leq 1. \quad (20)$$

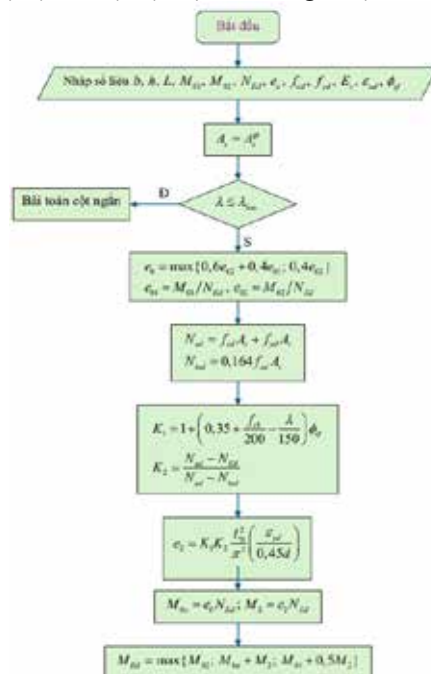
N_{ud} : lực tới hạn của cấu kiện khi chịu nén đúng tâm: $N_{ud} = f_{cd} A_c + f_{yd} A_{sc}$.

N_{bal} khi cốt thép bố trí đối xứng có thể tính theo công thức gần đúng: $N_{bal} = 0,164 f_{cd} A_c$.



Hình 6. Biểu đồ mô men trong cột mảnh

Sơ đồ khối tính các bước tính mô men thiết kế M_{Ed} đã tăng do ảnh hưởng của độ mảnh của cột như hình 7, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8]



Hình 7. Sơ khối tính mô men tăng thêm của cột mảnh theo EC2: 2004

3.3. Tiêu chuẩn ACI 318-19 [3]

3.3.1. Điều kiện về độ mảnh của cột

- Đối với cấu kiện chịu nén có giằng chống chuyển vị ngang:

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 34 + 12\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \frac{k\ell_u}{r} \leq 40 \quad (23)$$

- Đối với cấu kiện chịu nén không có giằng chống chuyển vị ngang:

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 22 \quad (24)$$

Trong đó:

K: Hệ số chiều dài của cột; ℓ_u : là chiều dài (thông thủy) của cột; r: là bán kính quán tính; M_1 và M_2 là mô men 2 đầu cột.

3.3.2. Tính toán mô men tăng thêm trong cột mảnh

- Đối với cột trong khung giằng

Các cột phải được thiết kế cho tổ hợp các tải trọng dọc trục có hệ số P_u và các mô men có hệ số đã khuếch đại $M_c = \delta_{ns} M_2$ (25)

Trong đó:

δ_{ns} : Hệ số khuếch đại mô men dùng để tính đến các hiệu ứng bậc hai được xác định theo công thức:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1.0 \quad (26)$$

C_m : Hệ số liên quan đến biểu đồ mô men thực tế và biểu đồ mô men tương đương phân bố đều:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (27)$$

- Đối với cột trong khung không giằng

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (28)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad \delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \quad (29)$$

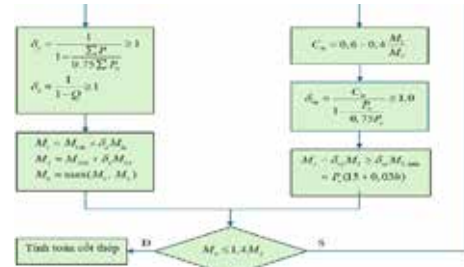
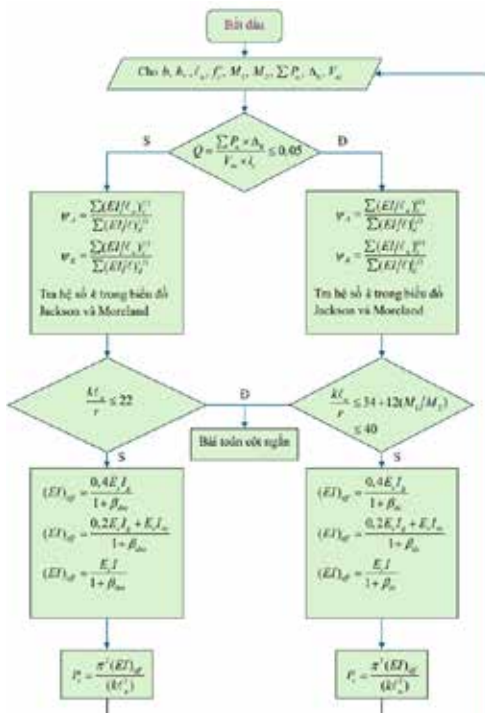
Trong đó:

M_{1ns}, M_{2ns} : Mô men 2 đầu cột của trường hợp tải trọng không gây chuyển vị ngang đầu cột (Tĩnh tải, hoạt tải sử dụng...);

M_{1s}, M_{2s} : Mô men 2 đầu cột của trường hợp tải trọng gây chuyển vị ngang đầu cột (Gió, động đất...);

δ_s - hệ số ảnh hưởng uốn dọc làm tăng mô men của cột.

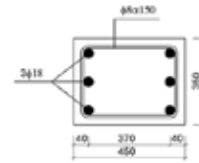
Sơ đồ khối tính các bước tính Mô men thiết kế M_c đã tăng do ảnh hưởng của độ mảnh của cột như hình 8, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8]



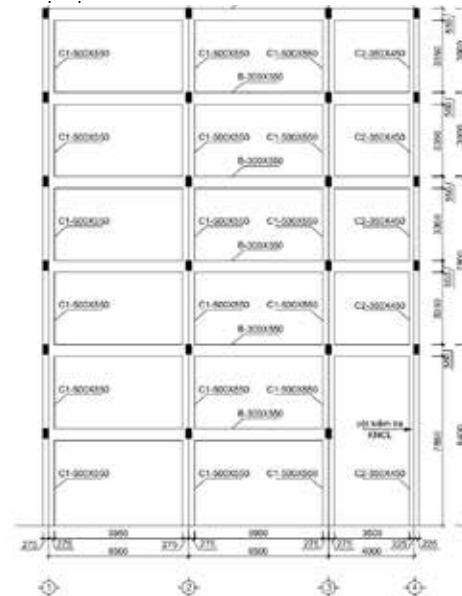
Hình 8. Sơ khối tính mô men tăng thêm của cột mảnh theo ACI 318:2019

4. KHẢO SÁT KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT MẢNH THEO CÁC TIÊU CHUẨN

4.1. Bài toán 1



Hình 9. Tiết diện cột C-2.

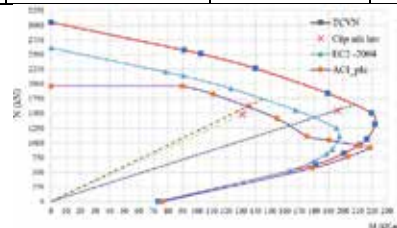


Hình 10. Sơ đồ khung phẳng BTCT

Kiểm tra khả năng chịu lực của cột C-2 có tiết diện và bố trí cốt thép như hình 9 thuộc khung phẳng BTCT (Hình 10), vật liệu khung bê tông B30; nhóm cốt thép CB400-V theo 3 tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019. Tải trọng gió được tính theo TCVN 2737-2023, hệ số tổ hợp tải trọng được lấy tương ứng với TCVN 2737-2023, ACI 318, ASCE 7-22 và EC0-2002.

Bảng 1. Tỷ số khả năng chịu lực của cột (D/C) bài toán 1

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2018	ACI 318:2019	EC2:2004
Hệ số D/C	0,942	0,943	0,935



Hình 11. Biểu đồ tương tác của cột bài toán 1

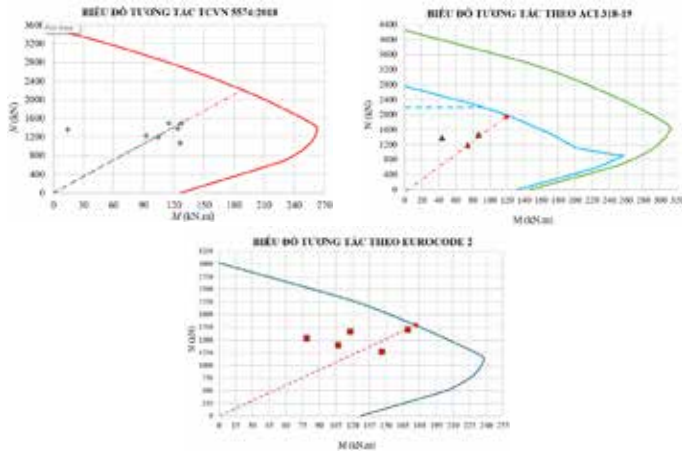
Từ Bảng 1 và Hình 11 cho thấy kết quả kiểm tra khả năng chịu lực của cột thông qua tỷ số Demand/Capacity (D/C) giữa các tiêu chuẩn có sai khác nhỏ.

4.2. Bài toán 2

Sơ đồ khung và tiết diện thép cột giống bài toán 1; điểm khác là tải trọng gió và hệ số tổ hợp tải trọng được lấy tương ứng với TCVN 2737-2023, ACI 318, ASCE 7-22 và EC0-2002.

Bảng 2. Tỷ số khả năng chịu lực của cột (D/C) bài toán 2

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2018	ACI 318-19	EC2-2004
Hệ số D/C	0,676	0,733	0,960



Hình 12. Biểu đồ tương tác của cột bài toán 2

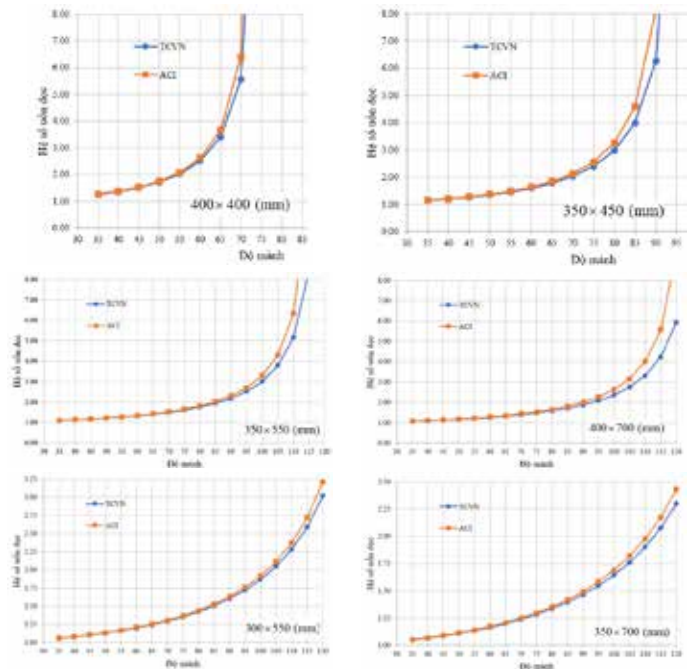
Kết quả kiểm tra khả năng chịu lực của cột cho thấy tính theo tiêu chuẩn EC2-2004 cho tỷ số D/C lớn hơn TCVN 5574:2018 là 29,58% và ACI 318-19 là 23,65 % có nguyên nhân chính là khi tính gió theo EC1-4-2002, hệ số $ce(z)$ lớn hơn so với TCVN 2737-2023 và ASCE 7:2022.

4.3. Bài toán 3

Lập bảng tính và khảo sát cột mảnh BTCT chịu nén lệch tâm phẳng theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018; ACI 318:2019 với lực nén dọc trục lần lượt $P=(0,7;0,5;0,3)P_{max}$ với P_{max} là khả năng chịu lực của cột ngắn nén đúng tâm, độ lệch tâm $e=0,25h$, độ mảnh thay đổi từ 35 đến 120. Cột sử dụng vật liệu bê tông B30, cốt thép CB300-V.

Bảng 3. Kết quả khảo sát quan hệ giữa độ mảnh (λ) và hệ số ảnh hưởng uốn dọc (η)

TT	Tiết diện	Tỷ lệ h/b	Hàm lượng thép (%)	η không quá 1,4	Lực tới hạn đạt giá trị P_{cr}
1	400 × 400	1,00	2,11%	$\lambda=40; 45; 60$	$\lambda=75; 90; 115$
2	350 × 450	1,29	1,75%	$\lambda=50; 60; 75$	$\lambda=95; 110; >120$
3	350 × 550	1,57	1,70%	$\lambda=60; 75; 95$	$\lambda=115; >120; >120$
4	400 × 700	1,75	1,19%	$\lambda=65; 80; 100$	$\lambda > 120$
5	300 × 550	1,83	1,99%	$\lambda=75; 90; 115$	$\lambda > 120$
6	350 × 700	2,00	1,70%	$\lambda=80; 95; 120$	$\lambda > 120$



Hình 13. Biểu đồ quan hệ độ mảnh và hệ số uốn dọc (khuếch đại mô men)

- Hệ số uốn dọc η tăng dần theo độ mảnh λ .
- Với cột vuông, theo TCVN 5574-2018 mô men do ảnh hưởng uốn dọc kiểm tra tăng không quá 1,4 (theo điều kiện ACI 318:2019 [3]) thì độ mảnh giới hạn tương ứng là $\lambda=40; 45; 60$.
- Theo TCVN 5574-:018 và ACI 318:2019 lực tới hạn đạt giá trị P_{cr} thì độ mảnh giới hạn là $\lambda=75; 90; 115$.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra được quy trình và sơ đồ khối tính toán hệ số ảnh hưởng uốn dọc (hệ số khuếch đại mô men) khi tính toán cột mảnh BTCT theo 3 tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019. Qua khảo sát số cho thấy theo TCVN 5574:2018 với cột mảnh BTCT tiết diện vuông, theo điều kiện $P < P_{cr}$ thì độ mảnh giới hạn của cột nên lấy nhỏ hơn 75, còn nếu để hệ số tăng mô men do ảnh hưởng uốn dọc không tăng quá 1,4 (theo điều kiện ACI 318:2019 [3]) thì độ mảnh giới hạn nên lấy nhỏ hơn 40.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 5574:2018. Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2018.
 [2] TCVN 2737:2023. Tải trọng và tác động. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2023.
 [3] ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2019.
 [4] ASCE/SEI 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia, 2022.
 [5] Eurocode 2 (EC2). Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels, Belgium, 2004.
 [6] Eurocode 1 (EC1). Actions on Structures - Part 1-4: General Actions - Wind Actions. Brussels, Belgium, 2002.
 [7] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Trường Thắng, Võ Mạnh Tùng. Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2021.
 [8] Phạm Thanh Tùng, Trần Việt Tâm. Tính toán cột bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2-2004 và ACI 318-2019. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2022.