■Ngày nhận bài: 29/10/2024 ■Ngày sửa bài: 28/11/2024 ■Ngày chấp nhận đăng: 30/12/2024

Ảnh hưởng của các mô hình ứng xử vật liệu đến biến dạng và ứng suất của cột ngắn bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm

Influence of material behavior models on strain and stress of short reinforced concrete columns subjected to eccentric load

> NGUYỄN THÀNH QUÍ[1], LÊ ĐỨC TUẤN[2]
[1]Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng
[2]Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn
Email: nguyenthanhqui@tdtu.edu.vn, tuan.leduc@stu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo phân tích ảnh hưởng của các mô hình ứng xử vật liệu đến biến dạng và ứng suất của cột ngắn bê tông cốt thép. Kết quả phân tích làm rõ sự làm việc của cột ngắn bê tông cốt thép trong từng trường hợp mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và cốt thép cụ thể. Hai mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và bốn mô hình ứng xử của vật liệu cốt thép được phân tích thông qua việc mô phỏng bằng phần mềm CSiCol với kết cấu cột dùng trong phân tích là cột ngắn, chịu nén bởi lực tập trung lệch tâm. Kết quả phân tích cho thấy biến dạng và ứng suất trong bê tông và cốt thép sẽ khác nhau đối với từng mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và cốt thép. Điều này nêu bật tầm quan trọng của việc lựa chọn mô hình ứng xử của vật liệu khi phân tích và đánh giá cột ngắn bê tông cốt thép chịu tải trọng.

Từ khóa: Biến dạng; ứng suất; cột ngắn; bê tông cốt thép; mô hình ứng xử vật liệu.

ABSTRACT

This paper analyzes the influence of material behavior models on the deformation and stress of short reinforced concrete column. Analysis results will clarify the behavior of short reinforced concrete column in each specific case of concrete and rebar material behavior models. Two concrete material behavior models and four rebar material behavior models are analyzed in a simulation with the CSiCol software on which a short column, is compressed by eccentric concentrated load. Strain and stress in concrete and rebar are expected to be differ for each concrete and rebar material behavior model. This revealed the importance of choosing suitable material behavior models when analyzing and evaluating short reinforced concrete columns subjected to eccentric load.

Key words: Strain; stress; short column; reinforced concrete; material behavior models.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Là cấu kiện chịu lực chính của kết cấu công trình xây dựng, cột bê tông cốt thép (BTCT) thường được thiết kế đảm bảo độ bền chịu nén. Dựa vào độ mảnh (tỷ số giữa chiều dài hữu hiệu và kích thước nhỏ nhất của mặt cắt ngang tiết diện), cột được phân loại là cột dài và cột ngắn. Nếu như cột dài chịu ảnh hưởng của độ mảnh thì sự làm việc của cột ngắn BTCT không phụ thuộc vào độ mảnh của cột mà bị chi phối bởi kích thước tiết diện cột và độ bền vật liệu sử dụng. Trong khi cột dài (có độ mảnh lớn) có thể bị phá hoại do mất ổn định dù tải trọng dọc trục tác dụng lên nó còn nhỏ hơn nhiều so với khả năng chịu nén của cột thì cột ngắn chỉ bị phá hoại khi tải trọng dọc trục tác dụng vượt quá khả năng chịu nén dọc trục của nó. Hay nói cách khác, trong cột ngắn BTCT, vật liệu cột sẽ đạt đến giới hạn về cường độ trước khi xảy ra hiện tượng mất ổn định. Cột ngắn BTCT thường được sử dụng trong một số điều kiện nhất định: nền đất có độ dốc lớn; công trình có tầng lửng,…

Trong những năm qua, có một số công trình nghiên cứu về ứng xử của cột ngắn BTCT khi chịu tải trọng [11, 5, 2]. Trong đó, nghiên cứu thực nghiệm của nhóm tác giả T. Nakamura và cộng sự [11] tập trung vào sự mất khả năng chịu tải dọc trục của cột ngắn BTCT khi chịu cắt. Trong khi đó, công trình của K. Khorramian và cộng sự [5] đi sâu vào nghiên cứu thực nghiệm và phân tích cột ngắn BTCT tiết diện vuông có gia cường sợi kính polyme chịu nén lệch tâm nhằm mô tả đặc tính chịu nén của các thanh gia cường. Năm 2024, Imad El Khouri và cộng sự [2] đã tiến hành khảo sát thực nghiệm và mô phỏng số học về ứng xử của cột ngắn BTCT truyền thống và bê tông cao su khi chịu tải trọng ngang.

Về mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và cốt thép, trong quá trình mô phỏng số cột ngắn chịu tải trọng ngang, nhóm tác giả trong [2] sử dụng mô hình phá hoại dẻo tích hợp sẵn trong phần mềm Abaqus cho bê tông và mô hình đàn dẻo lý tưởng cho cốt thép. Trong một nghiên cứu về ứng xử của cột BTCT có gia cường

sợi polyme sử dụng mạng trí tuệ nhân tạo [8], mô hình ứng xử vật liệu thực nghiệm cho bê tông bị kiềm chế bởi cốt ngang do S. M. Ahmad và S. P. Shah đề xuất [7] đã được sử dụng.

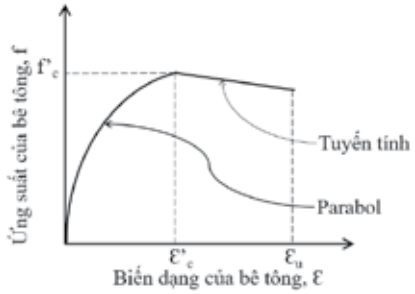
Nhìn chung, hướng nghiên cứu hiện nay đối với cột ngắn BTCT thường là các khảo sát thực nghiệm về ứng xử của cột khi chịu tải sau khi áp dụng nhiều biện pháp gia cường tiết diện cột. Trong khi việc lựa chọn mô hình ứng xử của vật liệu khi phân tích và đánh giá cột ngắn BTCT chịu tải trọng là quan trọng, việc tìm hiểu về ảnh hưởng của các mô hình này đến biến dạng và ứng suất của cột ngắn BTCT khi chịu tải trọng lại chưa được quan tâm đúng mức.

Bài báo này trình bày một nghiên cứu về ảnh hưởng của các mô hình ứng xử vật liệu (bê tông và cốt thép) đến biến dạng và ứng suất của cột ngắn BTCT khi chịu nén lệch tâm thông qua một ví dụ mô phỏng cụ thể. Hai mô hình ứng xử của bê tông và bốn mô hình ứng xử của cốt thép được sử dụng. Mục tiêu của nghiên cứu này là hiểu rõ được sự làm việc của cột ngắn BTCT thông qua phân bố ứng suất - biến dạng trên tiết diện cột trong từng trường hợp mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và cốt thép.

2. MÔ HÌNH ỨNG XỬ CỦA VẬT LIỆU BÊ TÔNG VÀ CỐT THÉP

2.1. Mô hình ứng xử của bê tông

Ứng xử của vật liệu bê tông được mô hình hóa và được biểu diễn bằng các đường cong thể hiện mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng. Hình 1 thể hiện đường cong ứng suất - biến dạng tham số đơn giản được đề xuất bởi [10]. Các thông số xác định đường cong này được tóm tắt trong Bảng 1.



Hình 1. Đường cong ứng suất - biến dạng tham số đơn giản của bê tông

Có thể nhận thấy từ Hình 1 rằng đường cong ứng suất - biến dạng tham số đơn giản của bê tông gồm 2 đoạn: đoạn parabol ($\varepsilon \leq \varepsilon_c'$) và đoạn tuyến tính ($\varepsilon_c' < \varepsilon \leq \varepsilon_u$). Hai đoạn này được biểu diễn bằng toán học lần lượt qua các công thức (1) và (2).

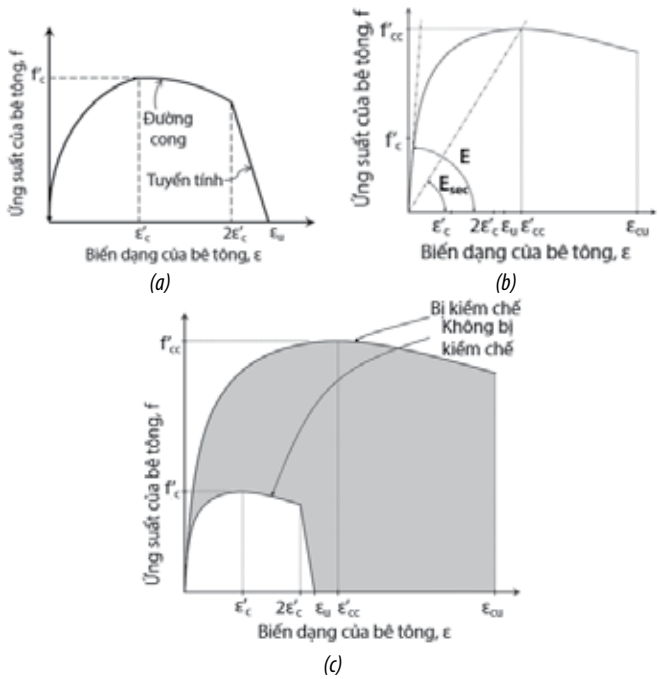
$$f = f_c' \left[2\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c'}\right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c'}\right)^2 \right] \quad (1)$$

$$f = f_c' \left[1 - 0{,}2\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_c'}{\varepsilon_u - \varepsilon_c'}\right) \right] \quad (2)$$

Bảng 1. Các thông số xác định đường cong ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông

Thông số		Đường cong ứng suất - biến dạng		
Ký hiệu	**Mô tả**	**tham số đơn giản**	**theo Mander không bị kiềm chế**	**theo Mander bị kiềm chế**
ε	biến dạng của bê tông	x	x	x
f	ứng suất của bê tông	x	x	x
f_c'	cường độ chịu nén của bê tông (không bị kiềm chế)	x	x	x
f_{cc}'	cường độ nén của bê tông bị kiềm chế			x
ε_c'	biến dạng của bê tông tại f_c'	x	x	x
ε_{cc}'	biến dạng bê tông tại f_{cc}'			x
ε_u	biến dạng cực hạn của bê tông không bị kiềm chế	x	x	x
ε_{cu}	biến dạng cực hạn của bê tông bị kiềm chế			x
E	mô đun đàn hồi của bê tông		x	x
E_{sec}	mô đun đàn hồi cát tuyến của bê tông			x
Ghi chú: *x nghĩa là thông số được áp dụng trong mô hình tương ứng*				

Trong khi đó, đường cong ứng suất - biến dạng theo Mander [6] được thể hiện trong Hình 2, bao gồm: Đường cong ứng suất - biến dạng không bị kiềm chế theo Mander (Hình 2a) và Đường cong ứng suất - biến dạng bị kiềm chế theo Mander (Hình 2b). Các thông số xác định đường cong ứng suất - biến dạng theo Mander cũng được tóm tắt trong Bảng 1. Theo đó, bản chất của mô hình này mô tả mối quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông chịu nén khi nở hông không bị kiềm chế và khi nở hông bị kiềm chế. Sự kiềm chế nở hông của bê tông khi chịu nén là do cốt đai và khi đó khả năng chịu nén của bê tông sẽ tăng lên [6].



Hình 2. Đường cong ứng suất - biến dạng theo Mander với sự nở hông của bê tông: *(a) không bị kiềm chế; (b) bị kiềm chế; (c) kết hợp (a) và (b)*

Hình 2a cho thấy đường cong ứng suất - biến dạng không bị kiềm chế theo Mander cũng gồm 2 đoạn: đoạn cong ($\varepsilon \leq 2\varepsilon_c'$), được biểu diễn bằng toán học qua các công thức (3), (4) và (5); và đoạn thẳng ($2\varepsilon_c' < \varepsilon \leq \varepsilon_u$), được biểu diễn bằng toán học qua các công thức (6) và (7).

$$f = \frac{f_c' x r}{r - 1 + x^r} \quad (3)$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c'} \quad (4)$$

$$r = \frac{E}{E - \left(\frac{f_c'}{\varepsilon_c'}\right)} \quad (5)$$

$$f = \left(\frac{2f_c'r}{r - 1 + 2^r}\right)\left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon}{\varepsilon_u - 2\varepsilon_c'}\right) \quad (6)$$

$$E \geq 1{,}2\frac{f_c'}{\varepsilon_c'} \quad (7)$$

Đường cong ứng suất - biến dạng bị kiềm chế theo Mander (Hình 2b) được biểu diễn bằng toán học qua các công thức (8), (9), (10), (11) và (12).

$$f = \frac{f_{cc}'xr}{r - 1 + x^r} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{cc}' = \left[5\left(\frac{f_{cc}'}{f_c'} - 1\right) + 1\right]\varepsilon_c' \quad (9)$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}'} \quad (10)$$

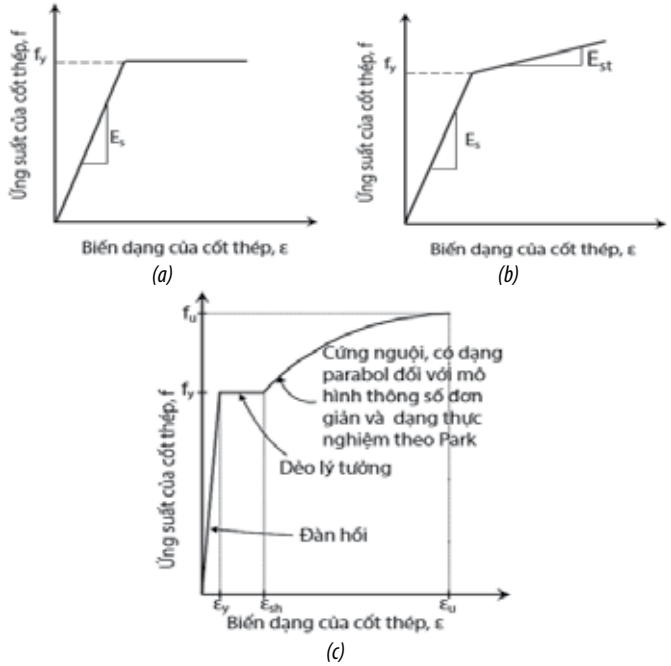
$$E_{sec} = \frac{f_{cc}'}{\varepsilon_{cc}'} \quad (11)$$

$$r = \frac{E}{(E - E_c)} \quad (12)$$

Nếu thể hiện đồng thời các đường cong ứng suất - biến dạng theo Mander cho bê tông bị kiềm chế và không bị kiềm chế trong cùng một hình vẽ (Hình 2c), thì sự khác biệt giữa các đường cong kiềm chế và không bị kiềm chế (khu vực bóng mờ) biểu thị khả năng tăng cường do cốt thép đai làm tăng năng lượng dự trữ biến dạng.

2.2. Mô hình ứng xử của cốt thép

Hình 3 thể hiện các đường cong ứng suất - biến dạng mô tả ứng xử của cốt thép và các thông số tương ứng được tập hợp trong Bảng 2.



Hình 3. Đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép: *(a) mô hình đàn dẻo lý tưởng; (b) mô hình đàn dẻo tuyến tính trong vùng cứng nguội; (c) tham số đơn giản và thực nghiệm theo Park*

Cần lưu ý rằng Hình 3c thể hiện kết hợp hai loại đường cong ứng suất - biến dạng tham số cho cốt thép: tham số đơn giản và thực nghiệm theo Park. Ngoại trừ vùng cứng nguội, cả hai đường cong này đều giống hệt nhau. Vùng cứng nguội trong đường cong tham số đơn giản là đường parabol trong khi vùng cứng nguội trong đường cong thực nghiệm theo Park có hình dạng thực nghiệm.

Bảng 2. Các thông số xác định đường cong ứng suất - biến dạng của vật liệu cốt thép

Thông số		**Đường cong ứng suất - biến dạng**		
Ký hiệu	**Mô tả**	**đàn dẻo tiêu chuẩn**	**đàn dẻo tuyến tính**	**tham số đơn giản và thực nghiệm theo Park**
ε	biến dạng của cốt thép	x	x	x
ε_y	biến dạng chảy của cốt thép			x
ε_{sh}	biến dạng trong cốt thép khi bắt đầu quá trình cứng nguội			x
ε_u	biến dạng bền của cốt thép			x
f	ứng suất của cốt thép	x	x	x
f_y	giới hạn chảy của cốt thép	x	x	x
f_u	giới hạn bền của cốt thép			x
E_s	mô đun đàn hồi của cốt thép	x	x	x
E_{st}	mô đun tiếp tuyến của cốt thép		x	
Ghi chú: *x nghĩa là thông số được áp dụng trong mô hình tương ứng*				

Có thể thấy từ Hình 3 rằng các đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép có ba vùng rõ rệt: vùng đàn hồi, vùng dẻo lý tưởng (Hình 3a, Hình 3c) và vùng cứng nguội (Hình 3b, Hình 3c). Những vùng này được biểu diễn bằng các công thức tương ứng: (13) cho vùng đàn hồi ($\varepsilon \leq \varepsilon_y$); (14) cho vùng dẻo hoàn toàn ($\varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_{sh}$); (15) cho vùng cứng nguội ứng với đường cong tham số đơn giản và (16) cho vùng cứng nguội ứng với đường cong thực nghiệm theo Park ($\varepsilon > \varepsilon_{sh}$).

$$f = \varepsilon E_s \quad (13)$$

$$f = f_y \quad (14)$$

$$f = f_y + (f_u - f_y)\sqrt{\frac{\varepsilon - \varepsilon_{sh}}{\varepsilon_u - \varepsilon_{sh}}} \quad (15)$$

$$f = f_y\left[\frac{m(\varepsilon - \varepsilon_{sh}) + 2}{60(\varepsilon - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{sh})(60 - m)}{2(30r + 1)^2}\right] \quad (16)$$

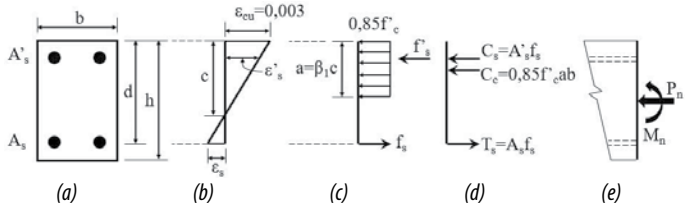
$$r = \varepsilon_u - \varepsilon_{sh} \quad (17)$$

$$m = \frac{\left(\frac{f_u}{f_y}\right)(30r + 1)^2 - 60r - 1}{15r^2} \quad (18)$$

3. ĐẶC ĐIỂM CHỊU LỰC CỦA CỘT NGẮN BTCT

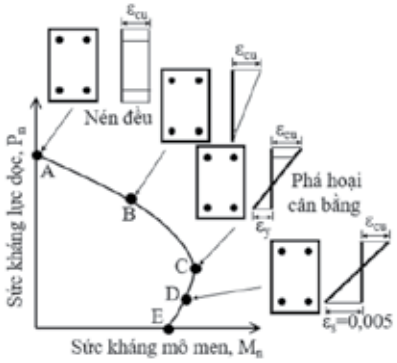
Khi chỉ có lực nén dọc trục tác dụng lên cột ngắn BTCT, cột bị biến dạng và biến dạng phân bố đều trên tiết diện cột. Khi chỉ có

mô men uốn tác dụng, tiết diện cột bị uốn quanh trục trung hòa trong đó biến dạng tỷ lệ với khoảng cách từ trục trung hòa. Khi có đồng thời lực nén dọc trục và mô men tác dụng vào cột, biểu đồ biến dạng là tuyến tính và chính là sự cộng tác dụng của hai biểu đồ biến dạng của hai trường hợp nêu trên. Với một giá trị giả định của biến dạng tương đối (ε_{cu}) ở thớ chịu nén của tiết diện cột khi cột bị phá hoại, các giá trị sức kháng lực dọc (P_n) và sức kháng mô men uốn (M_n) có thể được tính toán bằng phương pháp tĩnh học [3] như minh họa trên Hình 4.



Hình 4. Minh họa việc xác định P_n và M_n cho từng biểu đồ phân bố biến dạng cụ thể: *(a) mặt cắt tiết diện cột; (b) biến dạng; (c) ứng suất; (d) nội lực; (e) hợp lực*

Sự làm việc của cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm có thể được khái quát hóa qua biểu đồ tương tác như trình bày ở Hình 5, trong đó có kèm theo dạng phân bố biến dạng tại các điểm cơ bản trên biểu đồ này [4]. Trong khi điểm A tương ứng với trạng thái làm việc nén thuần túy và điểm E biểu hiện trạng thái uốn thuần túy thì điểm B biểu thị thời điểm bắt đầu nứt ở thớ chịu nén ít nhất của tiết diện cột. Điểm C thể hiện trạng thái phá hoại cân bằng khi biến dạng nén tương đối cực đại trên một thớ của tiết diện là 0,003 [9] và biến dạng kéo trong lớp cốt thép xa nhất so với thớ chịu nén của cột bằng với biến dạng chảy, ε_y. Điểm D biểu hiện trạng thái khống chế kéo tương ứng với sự phá hoại dẻo của cột, xảy ra khi giá trị biến dạng tương đối của bê tông ở thớ chịu nén là 0,003 và giá trị biến dạng của cốt thép chịu kéo trong lớp cốt thép chịu kéo cực đại là 0,005.



Hình 5. Minh họa biểu đồ tương tác của cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm

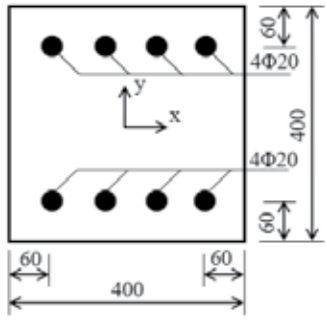
Nếu xét theo vùng trên biểu đồ tương tác ở Hình 5, vùng A - C thể hiện trạng thái phá hoại khống chế nén của cột, vùng C - D là vùng chuyển tiếp và vùng D - E là vùng phá hoại kiểm soát kéo.

4. BÀI TOÁN MINH HỌA

Để phân tích ảnh hưởng của các mô hình ứng xử vật liệu như đã trình bày trong mục 2 đến sự làm việc của cột ngắn BTCT (như trình bày ở mục 3) thông qua việc phân tích biến dạng và ứng suất của tiết diện cột rồi từ đó rút ra những kết luận quan trọng, một bài toán minh họa cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm được thiết lập và trình bày trong mục này. Việc mô phỏng cột ngắn này được tiến hành bằng phần mềm CSiCol [1]. Các mô hình ứng xử của vật liệu được sử dụng trong phân tích bao gồm: đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông theo Mander không bị kiềm chế (I); đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông theo Mander bị kiềm chế (II); đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép theo mô hình đàn dẻo tiêu chuẩn (m); đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép theo mô hình đàn dẻo tuyến tính trong vùng cứng nguội (n); đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép tham số đơn giản (o); và đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép thực nghiệm theo Park (p).

4.1. Số liệu đầu vào

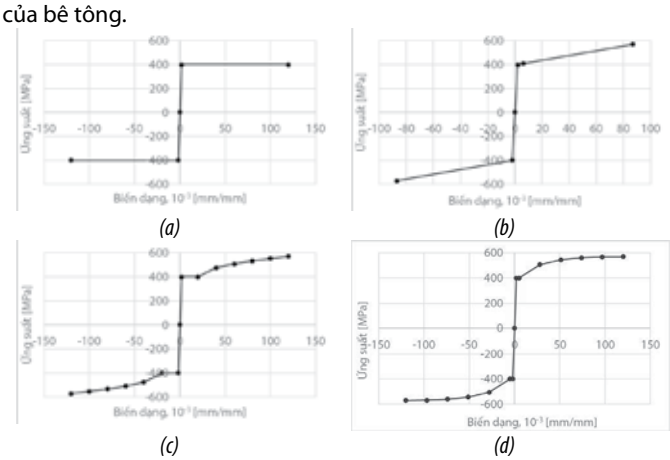
Cột ngắn BTCT có kích thước tiết diện và bố trí cốt thép như thể hiện ở Hình 6, chịu tác dụng của lực nén, P = 35,0 kN và mô men M_x = 164 kNm. Các thông số vật liệu của cột như sau: cường độ chịu nén của bê tông, f_c' = 32 MPa; cường độ chịu kéo của bê tông, f_t = 4,14 MPa; mô đun đàn hồi của bê tông cột, E = 37.500 MPa; giới hạn chảy của cốt thép, f_y = 400 MPa; mô đun đàn hồi của cốt thép, E_s = 200.000 MPa.



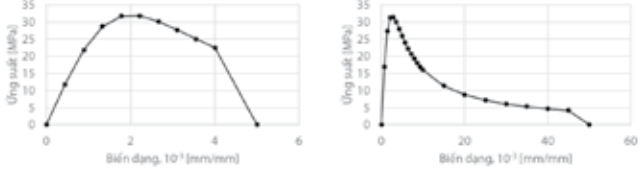
Hình 6. Minh họa tiết diện của cột ngắn BTCT được xem xét

4.2. Xây dựng các đường cong ứng suất - biến dạng của vật liệu sử dụng

Sử dụng các công thức từ (3) đến (18) để xây dựng các mô hình ứng xử của bê tông và cốt thép trong bài toán minh họa. Kết quả được thể hiện trên Hình 7 đối với 4 đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép và ở Hình 8 đối với 2 đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông.



Hình 7. Đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép cột trong bài toán minh họa: *(a) m; (b) n; (c) o; (d) p*

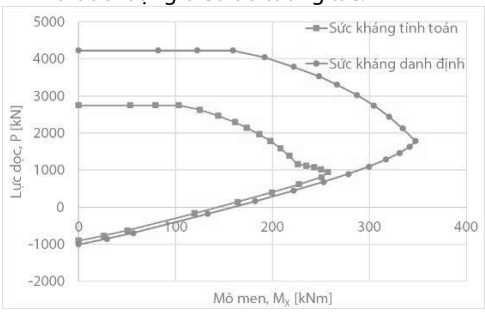


Hình 8. Đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông cột trong bài toán minh họa: *(a) I; (b) II*

4.3. Kết quả phân tích và nhận xét

Với giá trị giả định của biến dạng tương đối, ε_{cu} = 0,003 ở thớ chịu nén của tiết diện cột khi cột bị phá hoại, các giá trị sức kháng

lực dọc (P) và sức kháng mô men uốn (M_x) được tính toán và thể hiện trên Hình 9 dưới dạng biểu đồ tương tác.



Hình 9. Biểu đồ tương tác của cột ngắn BTCT trong bài toán minh họa

Có thể thấy rõ từ Hình 9 rằng giá trị của các đại lượng trong biểu đồ tương tác không phụ thuộc vào loại mô hình hình ứng xử của vật liệu bởi vì các công thức xác định những đường cong ứng suất - biến dạng tương ứng của các mô hình chỉ sử dụng các thông số: cường độ chịu nén của bê tông và giới hạn chảy của cốt thép.

Giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép trên tiết diện ứng với 4 mô hình ứng xử của cốt thép (m, n, o, p) được tổng hợp trong Bảng 3 khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông và trong Bảng 4 khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông.

Bảng 3. Giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép ứng với từng trường hợp mô hình ứng xử của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông

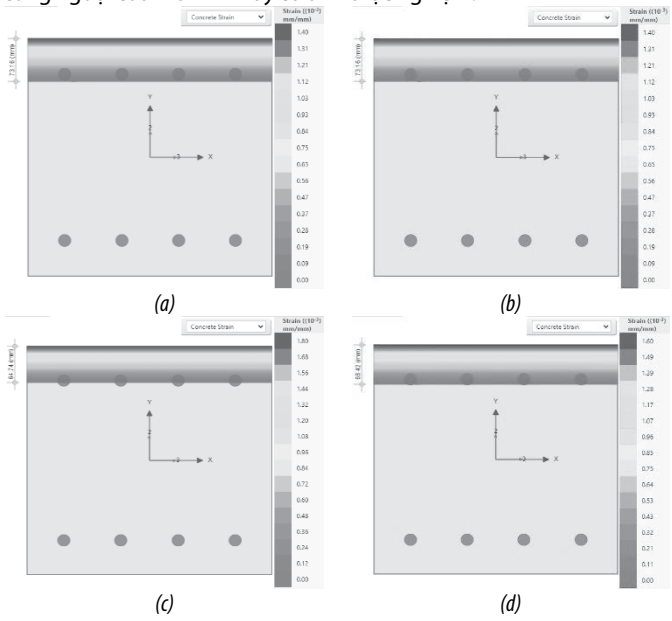
STT	Mô hình ứng xử cốt thép	Giá trị vùng kéo		Giá trị vùng nén	
		Biến dạng [$\times 10^{-3}$mm/mm]	Ứng suất [MPa]	Biến dạng [$\times 10^{-3}$mm/mm]	Ứng suất [MPa]
1	(m)	5,11	400,00	0,25	50,00
2	(n)	5,11	406,22	0,25	50,00
3	(o)	7,66	400,00	0,13	26,00
4	(p)	6,35	406,25	0,20	40,00

Ngoại trừ trường hợp mô hình ứng xử p của cốt thép, giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép trong vùng kéo khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông (bê tông không bị kiềm chế) nhỏ hơn so với biến dạng và ứng suất của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông (bê tông bị kiềm chế). Tình huống ngược lại xảy ra trong vùng nén, cũng ngoại trừ trường hợp mô hình ứng xử p của cốt thép. Điều này có thể được giải thích bởi lý do bê tông bị kiềm chế làm tăng khả năng chịu nén của của tiết diện.

Bảng 4. Giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép ứng với từng trường hợp mô hình ứng xử của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông

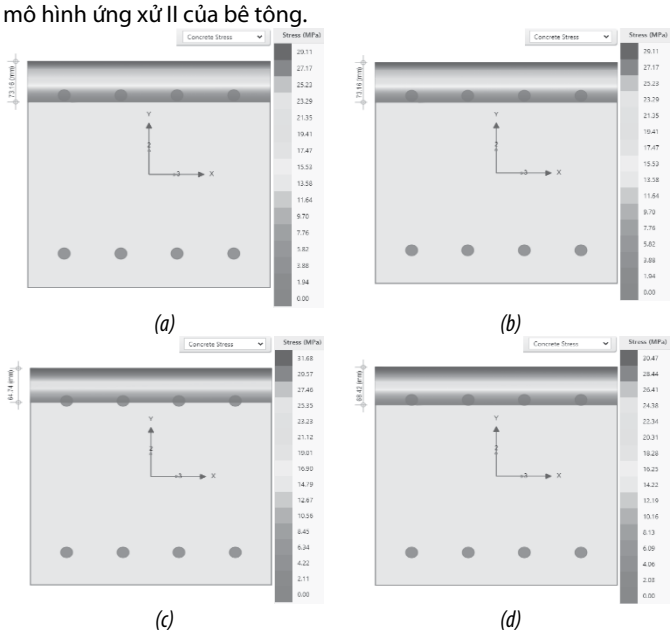
STT	Mô hình ứng xử cốt thép	Giá trị vùng kéo		Giá trị vùng nén	
		Biến dạng [$\times 10^{-3}$mm/mm]	Ứng suất [MPa]	Biến dạng [$\times 10^{-3}$mm/mm]	Ứng suất [MPa]
1	(m)	6,14	400,00	0,23	46,00
2	(n)	6,14	408,28	0,23	46,00
3	(o)	8,71	400,00	0,11	22,00
4	(p)	6,17	405,37	0,23	46,00

Dễ dàng nhận ra từ Bảng 3 và Bảng 4 rằng đối với mô hình ứng xử p của cốt thép, giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép trong vùng kéo khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông lớn hơn so với biến dạng và ứng suất của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông. Ngược lại, trong vùng nén, giá trị biến dạng và ứng suất của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông nhỏ hơn so với biến dạng và ứng suất của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông. Ứng xử "ngược chiều" trong trường hợp mô hình p của cốt thép so với 3 mô hình còn lại (m, n, o) của cốt thép có thể được hiểu là do các thông số xác định đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép trong vùng cứng nguội của mô hình này có tính thực nghiệm.



Hình 10. Phân bố biến dạng của bê tông trên tiết diện cột trong 4 trường hợp mô hình ứng xử của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông: *(a) m; (b) n; (c) o; (d) p*

Cũng từ Bảng 3 và Bảng 4, có thể thấy rằng trong cả 2 trường hợp mô hình ứng xử của bê tông được áp dụng (I và II), mô hình ứng xử o của cốt thép cho kết quả biến dạng của cốt thép lớn nhất trong vùng kéo và bé nhất trong vùng nén. Đặc biệt, mô hình ứng xử m và n của cốt thép cho kết quả về biến dạng của cốt thép bằng nhau trong từng vùng (kéo hoặc nén) của tiết diện trong cả 2 trường hợp mô hình ứng xử I và II của bê tông. Điều này cũng đúng cho trường hợp giá trị ứng suất trong cốt thép trong vùng nén, cùng bằng 50 MPa khi áp dụng mô hình ứng xử I và cùng bằng 46 MPa khi sử dụng mô hình ứng xử II của bê tông.



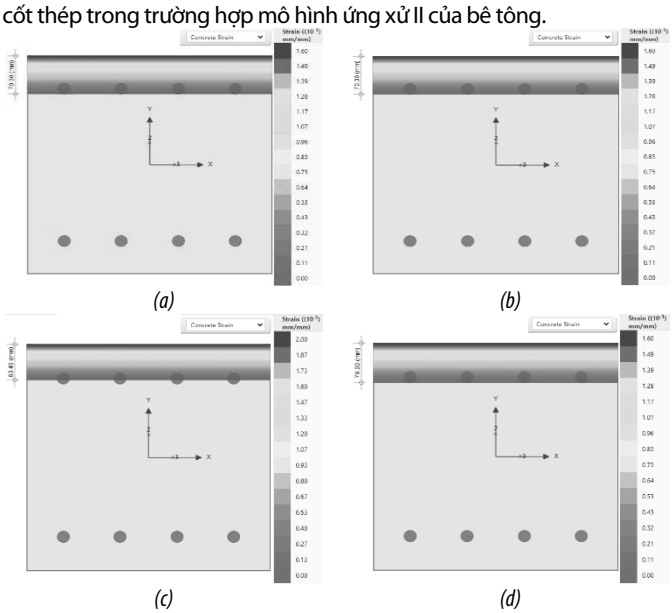
Hình 11. Phân bố ứng suất của bê tông trên tiết diện cột trong 4 trường hợp mô hình ứng xử của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử I của bê tông: *(a) m; (b) n; (c) o; (d) p*

Nhìn chung, ứng với từng trường hợp mô hình ứng xử của bê tông, mô hình ứng xử o của cốt thép cho kết quả giá trị biến dạng của cốt thép ở cả vùng kéo và nén của tiết diện khác biệt so với 3 mô hình còn lại (m, n, p). Điều này cũng đúng khi xem xét giá trị ứng suất của cốt thép ở vùng nén của tiết diện khi sử dụng mô hình cốt thép này.

Hình 10 và Hình 11 lần lượt trình bày phân bố biến dạng và ứng suất của bê tông trên tiết diện cột được phân tích theo 4 mô hình ứng xử của cốt thép trong trường hợp mô hình ứng xử I của bê tông.

Có thể quan sát rõ từ Hình 10 rằng, khi xét với mô hình ứng xử I của bê tông, giá trị biến dạng của bê tông khi khi áp dụng hai mô hình ứng xử m và n của cốt thép là gần như nhau, và các giá trị này nhỏ hơn các giá trị tương ứng khi áp dụng hai mô hình ứng xử o và p của cốt thép. Giá trị biến dạng của bê tông là lớn nhất khi áp dụng mô hình ứng xử o của cốt thép so với ba mô hình ứng xử cốt thép còn lại. Những xu hướng này cũng đúng đối với các giá trị ứng suất của bê tông khi xem xét mô hình ứng xử I của bê tông (Hình 11), cụ thể: giá trị ứng suất trong bê tông khi khi áp dụng hai mô hình ứng xử m và n của cốt thép là gần như nhau, và các giá trị này nhỏ hơn các giá trị tương ứng khi áp dụng hai mô hình ứng xử o và p của cốt thép. Giá trị ứng suất trong bê tông là lớn nhất khi áp dụng mô hình ứng xử o của cốt thép so với ba mô hình ứng xử cốt thép còn lại.

Hình 12 và Hình 13 lần lượt trình bày phân bố biến dạng và ứng suất của bê tông trên tiết diện cột được phân tích theo 4 mô hình ứng xử của cốt thép trong trường hợp mô hình ứng xử II của bê tông.



Hình 12. Phân bố biến dạng của bê tông trên tiết diện cột trong 4 trường hợp mô hình ứng xử của cốt thép khi áp dụng mô hình ứng xử II của bê tông: *(a) m; (b) n; (c) o; (d) p*

Điều dễ nhận thấy nhất từ Hình 12 và Hình 13 khi xem xét mô hình ứng xử II của bê tông là xu hướng về giá trị của biến dạng và ứng suất của bê tông trong các mô hình ứng xử cốt thép giống với trường hợp mô hình ứng xử I của bê tông được xem xét, nghĩa là: giá trị biến dạng và ứng suất của bê tông là lớn nhất khi áp dụng mô hình ứng xử o của cốt thép so với ba mô hình ứng xử cốt thép còn lại.

Nếu xét riêng về biến dạng của bê tông khi xem xét mô hình ứng xử II của bê tông, ngoại trừ trường hợp mô hình ứng xử p của cốt thép, giá trị biến dạng của bê tông khi áp dụng các mô hình ứng xử m, n, o của cốt thép đều cho giá trị biến dạng kết quả lớn hơn so với trường hợp sử dụng mô hình ứng xử I của bê tông (Hình 10, Hình 12). Tình huống này cũng đúng khi xét riêng về giá trị ứng suất trong bê tông (Hình 11 và Hình 13). Điều này là hợp lý vì bê tông bị kiềm chế đã làm tăng khả năng chịu nén của của tiết diện. Riêng kết quả về biến dạng và ứng suất trong bê tông khi áp dụng mô hình ứng xử p của cốt thép không theo xu hướng trên là do các thông số xác định đường cong ứng suất - biến dạng của mô hình này mang tính thực nghiệm.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phân tích ảnh hưởng của các mô hình ứng xử vật liệu bê tông và cốt thép đến biến dạng và ứng suất của cột ngắn BTCT thông qua việc mô phỏng một cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm bằng phần mềm CSiCol. Các mô hình ứng xử vật liệu được giới thiệu dưới dạng các đường cong ứng suất - biến dạng cùng với các công thức xác định các vùng của các đường cong đó. Bên cạnh đó, sự làm việc của cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm cũng đã được mô tả kết hợp với biểu đồ tương tác của cột ngắn BTCT. Hai mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và bốn mô hình ứng xử của vật liệu cốt thép được sử dụng trong bài toán minh họa để xem xét ảnh hưởng của các mô hình ứng xử của vật liệu đến ứng suất và biến dạng của cột ngắn khi chịu nén lệch tâm. Kết quả phân tích cho thấy có sự khác nhau về giá trị biến dạng và ứng suất trong bê tông và cốt thép đối với từng mô hình ứng xử của vật liệu bê tông và cốt thép. Trong đó, mô hình ứng suất - biến dạng của cốt thép thực nghiệm theo Park ảnh hưởng đến biến dạng và ứng suất trên tiết diện của cột ngắn có tính "ngược chiều" so với ba mô hình ứng xử còn lại của cốt thép. Về mặt giá trị, mô hình ứng suất - biến dạng tham số đơn giản của cốt thép cho giá trị kết quả về biến dạng và ứng suất trên tiết diện cột khác biệt so với các mô hình ứng xử cốt thép còn lại. Trong khi đó, kết quả về giá trị biến dạng và ứng suất trên tiết diện cột ngắn BTCT trong bốn mô hình ứng xử của cốt thép trong mỗi trường hợp của mô hình ứng xử của bê tông đều cho thấy sự phù hợp về đặc điểm làm việc của mô hình ứng xử của vật liệu bê tông, đó là "bê tông bị kiềm chế làm tăng khả năng chịu nén của của tiết diện cột".

Kết quả của nghiên cứu này, ở một góc độ nhất định, đã nêu bật tầm quan trọng của việc lựa chọn mô hình ứng xử của vật liệu khi phân tích và đánh giá ứng xử của cột ngắn BTCT chịu nén lệch tâm. Trong đó, việc sử dụng hai mô hình ứng xử của cốt thép: mô hình ứng suất - biến dạng của cốt thép tham số đơn giản và mô hình ứng suất - biến dạng của cốt thép thực nghiệm theo Park cần được tiến hành thận trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. CsiCol: Design of reinforced concrete columns, (2022), CSI Software Products - Computers and Structures, Inc. v11.0.0.

[2]. Imad El Khouri, R. Garcia, P. Mihai et al., (2024), Behaviour of short columns made with conventional or FRP-confined rubberised concrete: An experimental and numerical investigation, Engineering Structures, Volume 307, 15 May 2024, 117885.

[3]. Jack C. McCormac and Russell H. Brown, "Design of Reinforced Concrete 10th Edition", John Wiley & Son Inc., 2016.

[4]. James K. Wight, "Reinforced Concrete: Mechanics and Design, Global Edition 7th Edition", Pearson Education Limited, 2016.

[5]. K. Khorramian and P. Sadeghian, Experimental and analytical behavior of short concrete columns reinforced with GFRP bars under eccentric loading, Engineering Structures, 151 (2017) 761–773.

[6]. Mander, J.B., M.J.N. Priestley, and R. Park, "Theoretical StressStrain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering. ASCE. 114(3). 1804–1826, 1984.

[7]. S. M. Ahmad, and S. P. Shah, (1982), Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement, Am. Conor. Inst. J., 79(6), 484–490.

[8]. S. Y. Ghanem and H. Elgazzar, (2021), Predicting the behavior of reinforced concrete columns confined by fiber reinforced polymers using data mining techniques, SN Applied Sciences (2021) 3:170, https://doi.org/10.1007/s42452-020-04136-5.

[9]. TCVN 5574: 2018, Kết cấu bê tông và Bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội - 2018.

[10]. Technical note, "Material stress- strain curves", Computers and Structures Inc., 2023.

[11]. T. Nakamura, M. Yoshimura, and S. Owa, (2002), Axial load carrying capacity of reinforced concrete short columns with shear mode, Journal of structural and construction engineering, v.67, 193-199.