

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM KHẢ NĂNG CHỊU TẢI TRỌNG NÉN DỌC TRỤC CỦA CỘT TRÒN BÊ TÔNG CỐT THÉP

Nguyễn Anh Vũ^{a,*}, Phạm Xuân Đạt^a

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

Nhận ngày 04/12/2019, Sửa xong 04/02/2020, Chấp nhận đăng 10/02/2020

Tóm tắt

Ảnh hưởng của hiệu ứng bó (confinement effects) đối với ứng xử nén của cấu kiện cột bê tông cốt thép (BTCT) đã được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới trong nhiều năm gần đây cả trên phương diện lý thuyết và thực nghiệm. Ứng dụng của hiệu ứng bó cũng đã được đưa vào một số tiêu chuẩn thi công và thiết kế kết cấu xây dựng quốc tế như tiêu chuẩn Mỹ ACI 318-19 hay Eurocode EC2. Tuy nhiên, ở Việt Nam khái niệm này vẫn còn đang tương đối mới mẻ, đặc biệt là rất ít nghiên cứu thực nghiệm (nếu có) được công bố trong nước. Bài báo trình bày kết quả thí nghiệm nén đến khi phá hoại đối với 16 mẫu cột tròn có đường kính 150 mm và chiều dài 600 mm với các bước đai xoắn và mức bê tông khác nhau nhằm đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng bó lên ứng xử nén của loại cấu kiện này. Kết quả thí nghiệm cho thấy mặc dù hàm lượng và bước cốt đai xoắn có ảnh hưởng nhất định đối với khả năng chịu nén của cột, sự ảnh hưởng không thực sự rõ ràng đối với cả sức kháng nén dọc trục. Kết quả thí nghiệm cũng được so sánh với giá trị dự báo lý thuyết theo mô hình vật liệu do Mander và cs. đề xuất năm 1988. Nghiên cứu cũng đã đưa ra một số đánh giá và kiến nghị trong việc xem xét khả năng chịu nén của cột tròn bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng bó do cốt đai gây ra.

Từ khóa: cột bê tông cốt thép; khả năng chịu nén; hiệu ứng bó; đai xoắn; nghiên cứu thực nghiệm.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE STRUCTURAL PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS SUBJECTED TO AXIAL LOADING

Abstract

Confinement effects on the axial performance of reinforced concrete (RC) columns have been long recognized by the international research and practice community. The application of such effects has been incorporated in two international codes of practice, ACI 318-19 and EC2. However, in Vietnam there have been a very limited number of experimental studies that have been published nationally. This paper presents an experimental study on the structural performance of reinforced concrete (RC) circular columns. Four batches consisting of 16 column specimens, which had the same dimensions but were cast with four different concrete grades and detailed with different spacings of stirrups, have been gradually loaded to failure using load-controlled procedure. The test data revealed that increasing the stirrup ratio can enhance the structural performance of the column specimens. The test data have also been compared with the prediction by the Mander's concrete model in terms of peak axial stress to evaluate the confinement effects on concrete material. Several interesting aspects of the test results have also been discussed, which set a concrete base for recommendations for design and detailing of RC circular columns.

Keywords: reinforced concrete columns; axial load capacity; confinement effects; spirals stirrups; experimental investigation.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(2V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2V)-05) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: nguyenanhvu1974@gmail.com (Vũ, N. A.)

1. Đặt vấn đề

Cầu kiện chịu nén là một trong các thành phần kết cấu chính trong công trình bê tông cốt thép (BTCT). Khả năng chịu nén của cầu kiện bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố. Một số yếu tố có tác dụng rất nhỏ và không gây ra ảnh hưởng tới độ bền của cầu kiện. Tuy nhiên, với quy mô công trình ngày càng lớn thì tải trọng tác dụng vào các cầu kiện chịu nén trở nên rất lớn đã làm gia tăng mức độ ảnh hưởng của các yếu tố này tới độ bền của cầu kiện.

Một trong các ảnh hưởng đó là hiệu ứng bó làm tăng khả năng chịu nén của cầu kiện chịu nén do cốt đai gây ra. Theo lý thuyết, chúng ta đều nhận thức rõ sự ảnh hưởng của hiệu ứng này trong cầu kiện chịu nén và cũng có các nghiên cứu nhất định để đưa ra công thức tính toán khả năng chịu lực của cầu kiện khi kể tới hiệu ứng bó do Mander và cs. [1] đề xuất đối với bê tông thông thường và Li và cs. [2] đề xuất đối với bê tông cường độ cao. Các nghiên cứu này làm nền tảng cho việc đưa hiệu ứng bó đối với vật liệu bê tông cốt thép vào một số tiêu chuẩn thi công và thiết kế kết cấu xây dựng quốc tế như tiêu chuẩn Mỹ ACI 318-19 [3] hay Eurocode EC2 [4]. Trong thời gian gần đây, các nghiên cứu thực nghiệm thực hiện đối với cột dẹt có tiết diện chữ L-, V- và I- chịu tải trọng động đất cũng cho thấy bước cốt đai có ảnh hưởng đối với độ bền và độ dẻo của cầu kiện [5–8]. Vai trò cốt đai cũng được đánh giá có tác động đáng kể đối với ứng xử của cột BTCT trong điều kiện chịu lửa [9], và sự hình thành và phát triển khớp dẻo trong kết cấu dầm-sàn BTCT [10, 11] chịu tải trọng phân bố đều ở giai đoạn cận phá hoại.

Tuy nhiên, phiên bản mới nhất của tiêu chuẩn tính toán kết cấu bê tông cốt thép của Việt nam TCVN 5574-2018 chưa đề cập tới việc tính toán khả năng chịu lực khi kể tới ảnh hưởng do hiệu ứng bó trong cầu kiện chịu nén [12]. Mặt khác, các công bố khoa học trong nước về lĩnh vực này hiện nay đang khá hạn chế về thông tin và số lượng (nếu có). Đồng thời, hiện cũng chưa có một nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đầy đủ để đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng bó trong cầu kiện chịu nén trong điều kiện xây dựng tại Việt Nam.

Trên cơ sở thực tế đó, chúng tôi thực hiện nghiên cứu thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng bó của cốt đai đối với khả năng chịu lực dọc trục trong cầu kiện chịu nén tiết diện tròn cầu tạo đai xoắn, một cầu kiện ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các công trình nhà cao tầng và cầu đường, với các mục tiêu sau:

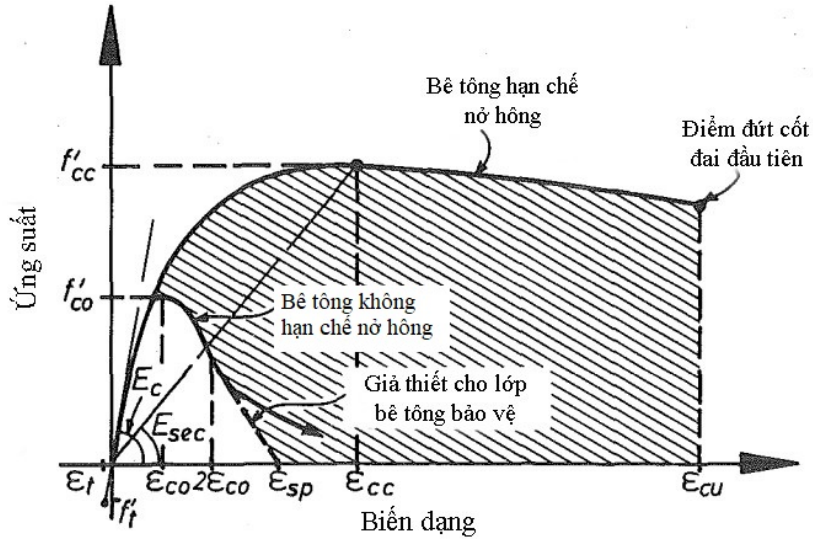
- Quan sát đánh giá trạng thái phá hủy của cột tròn khi chịu lực nén với các cầu tạo cốt đai khác nhau;
- Đánh giá và so sánh sự khác nhau giữa kết quả tính toán lý thuyết với kết quả thực nghiệm;
- Đánh giá ảnh hưởng của việc bố trí cốt đai (bước cốt đai) đối với khả năng chịu lực dọc của cột tròn.

2. Công thức xác định khả năng chịu nén của cột có kể tới ảnh hưởng của cốt đai

2.1. Công thức của Mander và cs. [1]

Mô hình được Mander và cs. [1] đưa ra vào năm 1988, kèm theo đó là các công thức tính toán thực nghiệm tính toán khả năng chịu lực của cầu kiện chịu nén có tính tới hiệu ứng bó của cốt đai. Quan sát kết quả trên Hình 1 cho thấy cường độ và biến dạng cực hạn của bê tông có hạn chế nở hông bằng cốt đai đều lớn hơn đáng kể so với mẫu bê tông không có hạn chế nở hông. Theo Mander và cs., cường độ chịu nén của cầu kiện bê tông cốt thép hạn chế nở hông được tính toán như sau

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[-1,254 + 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] \quad (1)$$



Hình 1. Mô hình của Mander và cs. về quan hệ ứng suất-biến dạng của vật liệu bê tông

trong đó f'_{cc} là cường độ chịu nén của mẫu bê tông có tính tới hiệu ứng bó do cốt đai; f'_{co} là cường độ chịu nén của mẫu bê tông không có cốt đai; f'_l là áp lực chống nở hông hiệu quả đối với cốt tròn được tính theo công thức:

$$f'_l = 0,5K_e\rho_s f_{yh} \quad (2)$$

trong đó f_{yh} là cường độ giới hạn chảy thép đai; ρ_s là tỷ lệ thể tích cốt thép đai trên thể tích phần bê tông phía trong cốt đai; K_e là hệ số nén ngang hiệu quả với đai xoắn được tính theo công thức:

$$K_e = \frac{\left(1 - 0,5 \frac{s'}{d_s}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (3)$$

trong đó ρ_{cc} là tỷ lệ diện tích tiết diện cốt thép dọc với diện tích bê tông phía trong cốt đai trên mặt cắt ngang của cầu kiện; s' là khoảng cách giữa các mép cốt đai của hai vòng xoắn; d_s là đường kính phần bê tông làm việc phía trong vòng cốt đai.

Biến dạng cực hạn của cầu kiện được tính theo công thức sau:

$$\varepsilon'_{cc} = \varepsilon'_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

trong đó ε'_{cc} là biến dạng cực hạn của mẫu bê tông có tính tới hiệu ứng bó do cốt đai; ε'_{co} là biến dạng cực hạn của mẫu bê tông không có cốt đai.

2.2. Công thức của Li và cs. [2]

Những năm gần đây, các nhà nghiên cứu nhận thấy các mô hình thực nghiệm về hiệu ứng bó trước đây, điển hình là Mander và cs. chỉ có kết quả phù hợp – hay nói cách khác, các mô hình đó chỉ phù hợp và giải thích được khi số liệu đã được chọn lọc. Khi so sánh với các công trình thực nghiệm, thì kết quả khác biệt khá nhiều. Do đó, vào tháng 6 năm 2000, Li và cs. [2] đã tiến hành nghiên cứu và sửa đổi công thức của Mander và cs., đưa ra công thức đã được sửa đổi dưới đây:

- Cường độ chịu nén của của bê tông hạn chế nở hông:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[-1,254 + 2,254 \sqrt{1 + 7,94\alpha_s \frac{f'_l}{f'_{co}}} - 2\alpha_s \frac{f'_l}{f'_{co}} \right] \quad (5)$$

trong đó, ngoài các tham số f'_{co} , f'_l tính toán theo như công thức do Mander và cs. đề xuất, Li và cs. đã đưa thêm hệ số điều chỉnh α_s được xác định như sau:

+ Nếu $f'_{co} \leq 52$ MPa thì $\alpha_s = (21,2 - 0,35f'_{co}) \frac{f'_l}{f'_{co}}$;

+ Nếu $f'_{co} > 52$ MPa thì $\alpha_s = 3,1 \frac{f'_l}{f'_{co}}$.

- Biến dạng cực hạn của bê tông hạn chế nở hông:

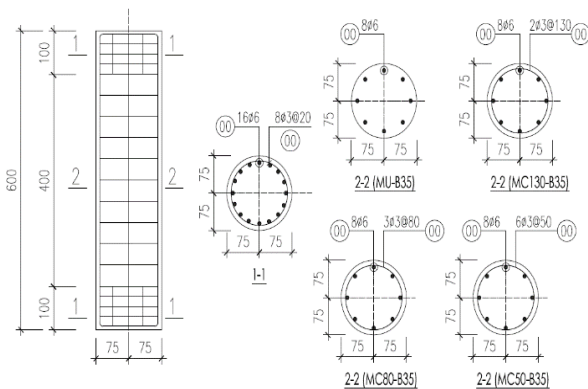
$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 384 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Tuy nhiên, công thức của Li và cs. được nghiên cứu và sử dụng chủ yếu trong bê tông cường độ cao. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ chỉ sử dụng công thức cơ bản của Mander và cs. để tính toán so sánh với kết quả thực nghiệm.

3. Nghiên cứu thực nghiệm

3.1. Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo

Kích thước mẫu thí nghiệm Hình 2(a) và 2(b) là các mẫu trụ tròn đường kính $D = 150$ mm, chiều cao $h = 600$ mm. Cốt thép dọc là 8 thanh $\phi 6$ bố trí đều, cốt đai xoắn $\phi 3$ được bố trí với các bước khác nhau theo từng mẫu. Tại các đầu của mẫu bố trí tăng cường cốt thép dọc và đai để chống phá hủy do ứng suất cục bộ.



(a) Cấu tạo cốt thép



(b) Cốt thép thực tế từ trái qua phải mẫu không đai, đai @130mm, @80mm và @50mm

Hình 2. Cấu tạo cốt thép trong một nhóm mẫu thử

Số lượng mẫu được chia thành 4 nhóm ứng với các mác bê tông khác nhau B20, B25, B30 và B35 được thiết kế theo cấp phối trong Bảng 1. Trong mỗi nhóm mẫu bao gồm: 1 mẫu không có cốt đai xoắn, 3 mẫu có cốt đai xoắn với các bước đai lần lượt là: 50, 80 và 130 như trình bày trong Hình 2 và Hình 3.

Bảng 1. Cấp phối vật liệu của 4 nhóm mẫu thí nghiệm B20, B25, B30, B35

Mác bê tông	Thể tích (m ³)	Độ sụt (cm)	Cấp phối bê tông				
			Xi măng PC40 (kg)	Cát vàng (kg)	Đá dăm (1 × 2) (kg)	Nước (lít)	Phụ gia (g)
B20-M250	0,6	6-8	22,1	42,1	78,6	12,5	Không có
B25-M350	0,6	6-8	29,2	36,9	69,7	12,8	Không có
B30-M400	0,6	6-8	30,1	39,2	77,6	11,6	Không có
B35-M450	0,6	6-8	30,8	43,3	70,6	11,5	288,7



Hình 3. Hình ảnh các mẫu thí nghiệm sau khi tháo ván khuôn

3.2. Tổ chức công tác thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

Trên Hình 4 trình bày bố trí các thiết bị và các dụng cụ thí nghiệm. Các dụng cụ thí nghiệm bao gồm:

- Máy Datalogger có kết nối với máy tính Hình 4(a);
- Máy nén thủy lực 500 T Hình 4(c);
- Thiết bị đo lực 2000 kN Hình 4(b);
- Dụng cụ đo chuyển vị đứng LVTD Hình 4(d).

Mẫu thí nghiệm được làm phẳng bề mặt để đảm bảo phân bố ứng suất nén đồng đều. Lực nén được gia tải từ từ cho tới khi phá hoại qua máy nén thủy lực. Để tránh mẫu bị phá hủy sớm do ứng suất tập trung ở hai đầu, các mẫu thí nghiệm được lắp đặt các vành đai bằng sắt tại hai đầu nhằm ngang cản biến dạng nở hông do ứng suất tập trung.

Trong thí nghiệm này, các đại lượng cần đo đặc gồm: tải trọng tác dụng lên mẫu thí nghiệm và chuyển vị tại các vị trí đặc trưng. Sử dụng máy nén thủy lực để tạo ra tải trọng tác dụng lên mẫu thí nghiệm. Giá trị tải trọng tác dụng được xác định thông qua 01 dụng cụ đo lực điện tử. Chuyển vị đứng của mẫu dưới tác dụng của tải trọng được xác định thông qua 03 dụng cụ đo chuyển vị điện tử LVDT đặt cách đều nhau một góc là 120 độ trên mặt phẳng ngang. Các dụng cụ đo chuyển vị và đo lực được kết nối với bộ thu thập và xử lý số liệu Data logger cho phép ghi nhận tự động và đồng thời 01 giây/lần



(a) Datalogger



(b) Thiết bị đo lực



(c) Máy nén thủy lực



(d) LVDT



(e) Lắp đặt bố trí các thiết bị

Hình 4. Hình ảnh lắp đặt bố trí thiết bị và mẫu thí nghiệm trên bàn nén thủy lực

các số liệu thí nghiệm. Các biến dạng của mẫu được tính toán qua số liệu chuyển vị lấy từ trung bình giá trị đo của ba thiết bị LVDT đặt cân đối xung quanh mẫu thí nghiệm như trên Hình 4(e).

3.3. Quy trình tiến hành thí nghiệm

Quá trình thí nghiệm mẫu thực hiện bởi chế độ điều khiển bằng lực (load-controlled procedure) thay vì chế độ điều khiển bằng chuyển vị (displacement controlled procedure) như truyền thống đối với các thí nghiệm về hiệu ứng bó bê tông. Lý do của việc sử dụng chế độ điều khiển bằng lực là đối tượng nghiên cứu chính trong chương trình thực nghiệm này là sự gia tăng của khả năng chịu tải trọng chứ không phải khả năng biến dạng của cấu kiện cột chịu nén. Chu trình gia tải mẫu thí nghiệm như sau như sau:

- Khởi động máy nén thủy lực, tăng lực từ từ cho đến khi lực nén mẫu đạt giá trị lớn nhất $P_{\max}$ là giá trị mà tiếp sau đây sẽ có sự giảm đột ngột của lực nén. Đây là đặc điểm của cơ chế điều khiển bằng lực (load-controlled procedure).

- Giảm lực về giá trị bằng khoảng 50% giá trị lực nén lớn nhất, sau đó tiếp tục tăng lực cho đến khi mẫu phá hoại hoàn toàn, thu được lực phá hoại P_{failure} . Bước gia tải này được thực hiện với hai mục đích chính. Thứ nhất là xác nhận giá trị lực lớn nhất để phục vụ công tác vẽ đường đồ thị ứng suất nén – biến dạng tương đối. Thứ hai là xác nhận dạng phá hoại (failure modes) của mẫu thí nghiệm.

- Thu thập các số liệu tải trọng và chuyển vị đo để tính toán biến dạng và vẽ lại đồ thị tải trọng với biến dạng của mẫu.

4. Phân tích và đánh giá kết quả thí nghiệm

4.1. Đánh giá cơ chế phá hoại của cầu kiện

Có thể quan sát thấy là mẫu trụ không có đai xoắn, khi bị phá hoại thì cốt thép dọc bị cong vênh tại khu vực giữa cột, các thanh thép này có xu hướng phình ra phía ngoài. Trái lại, các mẫu có gia cố thêm cốt đai xoắn, thì các thanh cốt dọc gần như không bị biến dạng hoặc chỉ cong vênh rất ít. Cụ thể hơn, đối với bước đai 130 mm, thép dọc có hiện tượng cong vênh ít hơn rõ rệt so với mẫu không có đai xoắn. Còn đối với các bước đai như 50 mm và 80 mm, thì hiện tượng này gần như không xảy ra (Hình 5).



Hình 5. Kết quả mẫu bị phá hoại theo thứ tự từ trái qua phải tương ứng với các mẫu có bước đai 50 mm, 80 mm, 130 mm và không có đai xoắn

Cơ chế phá hoại là do khi chịu tác dụng lực nén phần bê tông sẽ bị nở ngang và cốt thép dọc bị phá hoại ở trạng thái mất ổn định dọc trục. Khi có thêm cốt đai xoắn, hiện tượng nở ngang của bê tông bị hạn chế do khả năng chịu kéo của cốt đai. Đồng thời cốt đai làm giảm chiều dài tự do của cốt thép dọc hay giảm độ mảnh từ đó tăng khả năng chống mất ổn định dọc trục của cốt dọc. Vì vậy, khi bước cốt đai càng nhỏ thì độ mảnh của cốt dọc càng nhỏ dẫn tới sự phá hoại của cầu kiện ít hơn.

4.2. Đồ thị ứng suất nén và biến dạng của các mẫu thí nghiệm

Đồ ứng suất biến dạng của các mẫu thí nghiệm được dựng với trục hoành là giá trị biến dạng tương đối được tính toán theo công thức (7) như sau:

$$\varepsilon_{comp.} = \frac{1}{3L} (f_1 + f_2 + f_3) \quad (7)$$

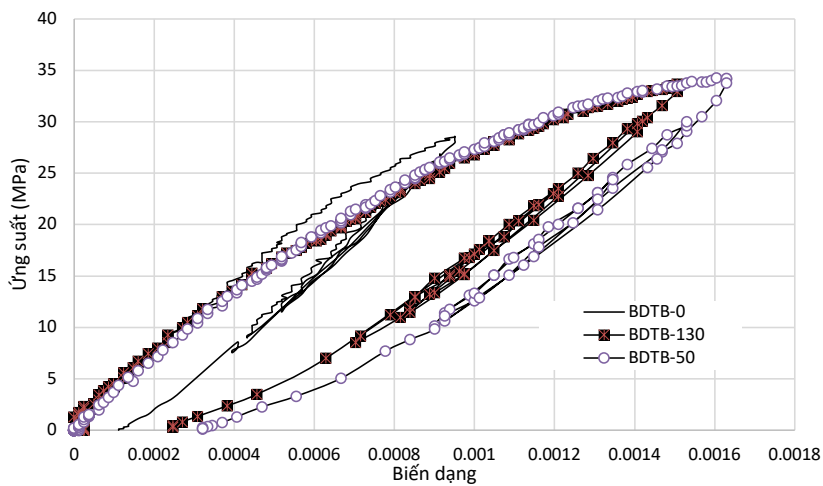
trong đó $\varepsilon_{comp.}$ là giá trị biến dạng nén dọc trục trung bình của mẫu thí nghiệm; f_1 , f_2 và f_3 là chuyển vị tương đối giữa hai vòng thép được gắn cố định vào mẫu bằng các bulong được đo bằng 03 LVDT như đã trình bày trong Hình 4(e); $L = 150$ mm là khoảng cách giữa hai vòng thép.

Trục tung là giá trị ứng suất nén được tính toán theo công thức (8):

$$\sigma_{comp.} = \frac{P_{max}}{\pi R^2} \quad (8)$$

trong đó $\sigma_{comp.}$ là ứng suất nén; P_{max} là giá trị lực nén lớn nhất đo được; $R = 75 \text{ mm}$ là bán kính tiết diện mẫu trụ.

Hình 6 trình bày đường cong ứng suất biến dạng của các mẫu thí nghiệm thuộc nhóm B30. Có thể nhận thấy, do mẫu được thí nghiệm với qui trình kiểm soát lực (load-controlled procedure), đường cong này cơ bản khác với đường cong ứng suất biến dạng của mẫu được thí nghiệm bởi qui trình kiểm soát chuyển vị (displacement-controlled procedure) như đã được trình bày trong Hình 1. Một điểm đáng lưu ý ở đây là các đường lặp ở các chu trình gia tải tiếp theo đều cho giá trị lực phá hoại $P_{failure}$ nhỏ hơn giá trị lực P_{max} trước đó. Như vậy, xét về phương diện đánh giá khả năng chịu lực thì P_{max} được xem là khả năng chịu tải trọng lớn nhất của mẫu thí nghiệm. Mặt khác, do các đường gia tải lặp sau khi lực nén đạt giá trị lớn nhất trùng khớp với đường hạ tải ở chu kỳ đầu tiên, các đường này sẽ được tối giản ở các đồ thị tiếp theo để thuận tiện cho việc bình luận biểu đồ.

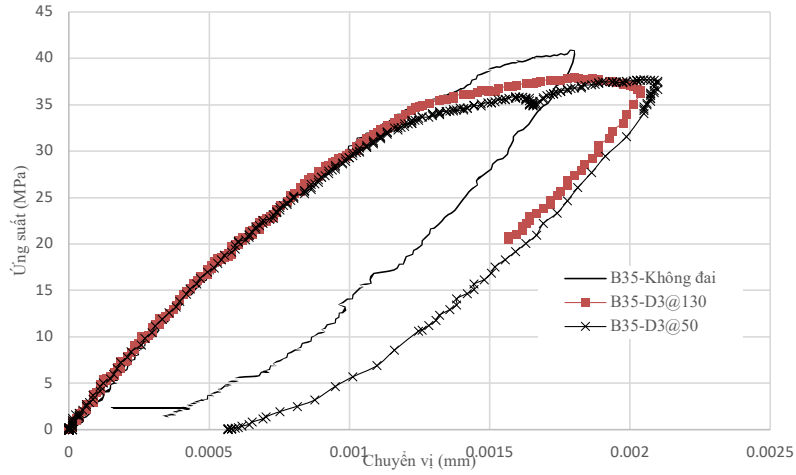


Hình 6. Đồ thị gốc ứng suất nén – biến dạng của các mẫu thí nghiệm nhóm B30

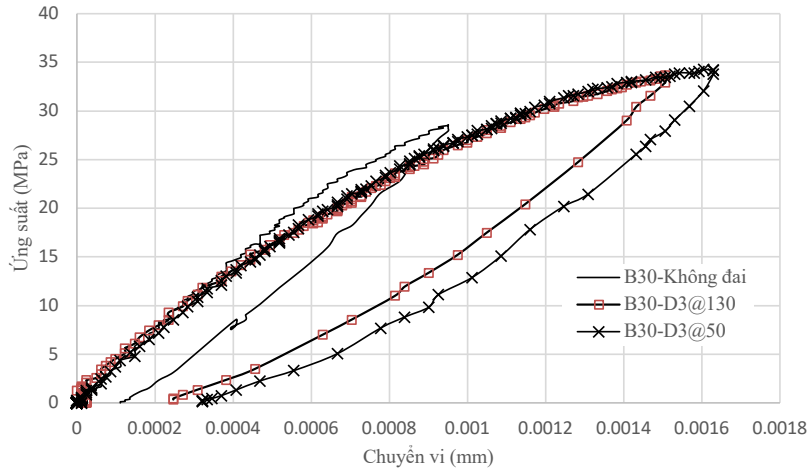
Hình 7(a), 7(b) và 7(c) tương ứng trình bày quan hệ ứng suất nén và biến dạng của các mẫu thí nghiệm thuộc nhóm B35, B30 và B20. Có thể thấy là ngoại trừ mẫu B20-D3@50 thì các mẫu còn lại đều có đường quan hệ ứng suất-biến dạng tương đồng với một số đặc điểm chính như sau:

Thứ nhất, các đồ thị trong cùng một nhóm mẫu có độ dốc trong quá trình tăng và hạ tải giống nhau. Một số đường tăng tải trong cùng một nhóm mẫu thậm chí trùng khớp (ví dụ: các mẫu thuộc nhóm B35, Mẫu B30-D3@130 và B30-D3@50). Điều này chứng tỏ hàm lượng cốt đai không có ảnh hưởng nhiều đến độ cứng kháng nén của các mẫu thí nghiệm.

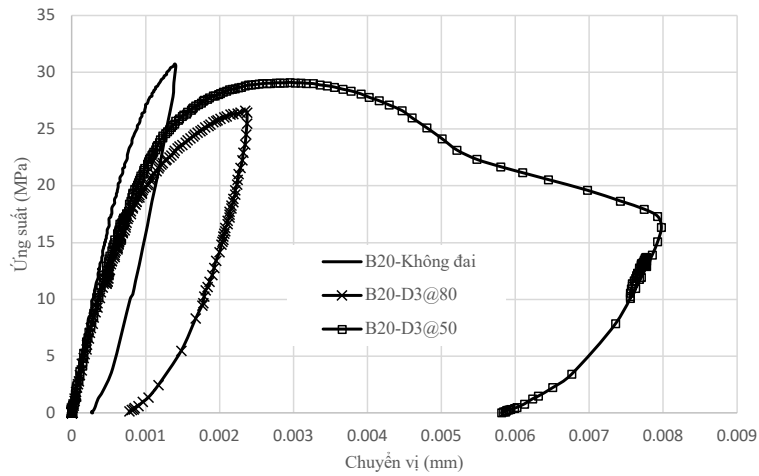
Thứ hai, tương ứng với hàm lượng cốt đai tăng dần (tỷ lệ nghịch với bước cốt đai) thì điểm đạt giá trị lớn nhất của lực nén có xu hướng dịch chuyển sang phải. Đây là dấu hiệu rất quan trọng để đánh giá đóng góp của cốt đai đối với ứng xử dẻo kết cấu (structural ductility) của mẫu thí nghiệm. Mặc dù nhấn mạnh rằng phương pháp thí nghiệm cho tập các mẫu này là phương pháp khống chế gia tăng lực (load-controlled procedure) chứ không phải là phương pháp gia tăng chuyển vị (displacement-controlled procedure) như truyền thống đối với các nghiên cứu về hiệu ứng bó trong kết cấu bê tông cốt thép. Chính vì điều đó cho nên các đường cong ứng suất-biến dạng này tương đối khác hơn so với đường cong ứng suất-biến dạng được trình bày trong Hình 1.



(a) Các mẫu bê tông B35



(b) Các mẫu bê tông B30



(c) Các mẫu bê tông B20

Hình 7. Đồ thị ứng suất nén và chuyển vị của các mẫu thí nghiệm thuộc nhóm B35, B30 và B20

Một điểm chung có thể thấy rõ là mặc dù điểm ứng suất lớn nhất có xu hướng dịch chuyển sang phải ở trong các đồ thị nêu trên, giá trị tuyệt đối của các đồ thị trong cùng một tập mẫu không có sự khác biệt rõ rệt ở hầu hết các nhóm mẫu, ngoại trừ nhóm mẫu B30. Có thể nhận thấy là sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt đai ảnh hưởng lên cường độ chịu nén của mẫu là không thực sự rõ nét.

4.3. So sánh kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán lý thuyết

Bảng 2–5 trình bày kết quả lý thuyết cường độ nén dọc trục và biến dạng cực hạn được tính toán theo mô hình Mander và cs. [1], và giá trị ứng suất nén cực hạn đo được trên các mẫu thí nghiệm. Đối với kết quả thực nghiệm, do mẫu được nén vỡ bằng chế độ kiểm soát lực (thay vì chế độ kiểm soát chuyển vị), các giá trị biến dạng thu được không phải là giá trị cực hạn và do đó không được đưa vào để so sánh. Có thể nhận thấy ứng suất nén thí nghiệm thực tế có độ biến động nhất định, đặc biệt là các mẫu không được bố trí cốt thép. Ví dụ, mẫu không có cốt thép của nhóm B25 có giá trị ứng suất là 15,4 MPa, thấp hơn khá nhiều so với giá trị lý thuyết tương ứng là 25 MPa. Trong khi đó, mẫu không cốt thép của nhóm B20 và B35 có cường độ tương ứng là 30,7 MPa và 40,9 MPa, cao hơn so với giá trị lý thuyết.

Tuy nhiên, độ biến động này giảm đi nhiều đối với các mẫu được bố trí cốt thép. Đối với các mẫu này, như trình bày trong các bảng so sánh, giá trị lý thuyết tính toán theo công thức do Mander và cs. đề xuất nhìn chung đều nhỏ hơn hoặc xấp xỉ bằng cường độ nén mẫu thu được tại hiện trường. Các mẫu thí nghiệm có độ chênh tương đối lớn giữa lý thuyết và thực nghiệm có thể kể đến là các mẫu thuộc nhóm B20 và mẫu @130 mm và @80 mm thuộc nhóm mẫu B25. Các mẫu còn lại đều cho kết quả thực nghiệm và lý thuyết tương đối sát nhau.

So sánh giá trị trung bình của toàn bộ các mẫu trong nhóm như sau:

- Tại Bảng 2 nhóm mẫu B20 kết quả lý thuyết thấp hơn so với thực nghiệm 22,7%;
- Tại Bảng 3 nhóm mẫu B25 kết quả lý thuyết thấp hơn so với thực nghiệm 5,56%;
- Tại Bảng 4 nhóm mẫu B30 kết quả lý thuyết thấp hơn so với thực nghiệm 1,1%;
- Tại Bảng 5 nhóm mẫu B35 kết quả lý thuyết thấp hơn so với thực nghiệm 5,7%.

Như vậy, đối với giá trị trung bình, ngoại trừ nhóm mẫu B20 thì các nhóm mẫu còn lại giá trị lý thuyết khá sát với giá trị thực nghiệm.

Bảng 2. So sánh kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm mẫu bê tông B20

		Không đai	@130 mm	@80 mm	@50 mm
Lý thuyết	Cường độ (MPa)	20,0	21,0	22,08	23,74
	Biến dạng (mm)	0,0016	0,002	0,0024	0,003
Thực nghiệm	Cường độ (MPa)	30,7	26	26,6	29,1
	Biến dạng (mm)	-	-	-	-

Bảng 3. So sánh kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm mẫu bê tông B25

		Không đai	@130 mm	@80 mm	@50 mm
Lý thuyết	Cường độ (MPa)	25,0	25,9	27,0	28,6
	Biến dạng (mm)	0,0018	0,0022	0,0025	0,0031
Thực nghiệm	Cường độ (MPa)	15,4	34,7	33,3	29,5
	Biến dạng (mm)	-	-	-	-

Bảng 4. So sánh kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm mẫu bê tông B30

		Không đai	@ 130 mm	@ 80 mm	@ 50 mm
Lý thuyết	Cường độ (MPa)	30,0	30,9	31,9	33,6
	Biến dạng (mm)	0,002	0,0023	0,0026	0,0032
Thực nghiệm	Cường độ (MPa)	28,6	33,7	31,2	34,3
	Biến dạng (mm)	-	-	-	-

Bảng 5. So sánh kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm mẫu bê tông B35

		Không đai	@ 130 mm	@ 80 mm	@ 50 mm
Lý thuyết	Cường độ (MPa)	35,0	35,7	36,53	37,8
	Biến dạng (mm)	0,0025	0,0027	0,003	0,0034
Thực nghiệm	Cường độ (MPa)	40,9	38	37,3	37,7
	Biến dạng (mm)	-	-	-	-

Sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt đai đối với cường độ chịu nén thực tế thu được cũng cho thấy những biến động nhất định. Khi bước cốt đai giảm từ @ 130 mm xuống @ 50 mm, giá trị lý thuyết của các mẫu có xu hướng tăng dần đều. Tuy nhiên, xu hướng tăng dần này chỉ đúng với các mẫu thuộc nhóm B20 và B30, nhưng lại không hoàn toàn đúng đối với các mẫu thuộc nhóm B25 và đặc biệt là nhóm mẫu B35 là mẫu có sử dụng phụ gia bê tông. Hay nói cách khác, các ảnh hưởng của mật độ cốt đai đối với cường độ nén của các mẫu thí nghiệm có sử dụng phụ gia bê tông là không rõ ràng. Điều này có thể được lý giải là do ảnh hưởng của phụ gia, bê tông này có xu hướng “dòn” hơn các loại bê tông thông thường mà hệ quả là sự hạn chế đối với hiệu ứng bó do cốt thép đai mang lại. Trường hợp này cần tiếp tục nghiên cứu xem xét kỹ lưỡng trong các nghiên cứu tiếp theo trên số lượng mẫu thử lớn hơn để có thể có một đánh giá chính xác có tính chất thống kê. Các phân tích trên đây cũng cho thấy việc sử dụng công thức lý thuyết để tính toán cường độ chịu nén của cột trong điều kiện tính tới ảnh hưởng của cốt đai cần cân nhắc thận trọng và đặc biệt lưu ý tới chất lượng cấp phối bê tông thi công tại công trường.

5. Kết luận

Mặc dù hiệu ứng bó đối với ứng xử nén của cột BTCT đã được ghi nhận trên toàn thế giới, hiện vẫn có rất ít nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đối với hiệu ứng bó được công bố trong nước. Thậm chí phiên bản mới nhất ban hành trong năm 2018 của tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép của Việt Nam TCVN 5574:2018 cũng không có những chỉ dẫn cụ thể cho vấn đề này. Chương trình nghiên cứu thực nghiệm trình bày trong bài báo này đã cung cấp được một bộ số liệu khách quan trên 16 mẫu cột có đường kính 150 mm và có chiều dài 600 mm với mức bê tông và bước cốt đai khác nhau.

Không khó để có thể nhận ra rằng về cơ bản, bộ số liệu thí nghiệm này đã xác nhận một số kết quả nghiên cứu quốc tế, trong đó có bao gồm: (i) Hiệu ứng bó do cốt đai gia tăng đáng kể khả năng chịu tải trọng của cấu kiện chịu nén, (ii) Dạng phá hoại điển hình của cấu kiện chịu nén có bao gồm sự vỡ bê tông kết hợp với sự mất ổn định của cốt thép dọc, và (iii) Sự gia tăng hiệu ứng bó có thể được mang lại từ việc giảm chiều dài bước đai. So sánh giữa kết quả thực nghiệm thu được với giá trị dự

báo lý thuyết theo mô hình của Mander và cs. cũng đã được tiến hành và cho thấy giữa hai tập giá trị có sự sai lệch nhất định. Điều này có thể gây ra bởi tính chất và chất lượng của cấp phối bê tông tại phòng thí nghiệm nói riêng cũng như ở Việt Nam nói chung. Do đó, cần có những chương trình thực nghiệm với qui mô lớn hơn về vấn đề này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R. (1988). [Theoretical stress-strain model for confined concrete](#). *Journal of Structural Engineering*, 114(8):1804–1826.
- [2] Li, B., Park, R., Tanaka, H. (2001). Stress-strain behavior of high-strength concrete confined by ultra-high-and normal-strength transverse reinforcements. *ACI Structural Journal*, 98(3):395–406.
- [3] ACI 318-19 (2019). *Building code requirements for structural concrete*.
- [4] EC2 1992-1-1:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures - General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels.
- [5] Nguyen, X.-H., Pham, X.-D., Luong, X.-C. (2015). [Shaking table test on seismic performance of L- and V-sectioned reinforced concrete columns](#). *Journal of Earthquake and Tsunami*, 9(04):1550010.
- [6] Hung, N. V., Huy, N. X., Thuy, P. T. T., Linh, N. N., Dat, P. X. (2019). [Shaking table tests on V-shaped reinforced concrete columns at the weak ground building story](#). *Magazine of Concrete Research*, 1–37.
- [7] Hung, N. V., Huy, N. X., Dat, P. X. (2018). [Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số cột bê tông cốt thép tiết diện chữ L chịu tải trọng động đất](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 12 (2):11–17.
- [8] Linh, N. N., Hung, N. V., Huy, N. X., Dat, P. X. (2019). [Double-curvature test of reinforced concrete columns using shaking table: a new test setup](#). *Civil Engineering Journal*, 5(9):1863–1876.
- [9] Thang, N. T. (2016). [Effect of concrete cover on axial load resistance of reinforced concrete columns in fire](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 10(5):29–36.
- [10] Trung, H. N., Truong, T. N., Xuan, D. P. (2019). [Effects of reinforcement discontinuity on the collapse behavior of reinforced concrete beam-slab structures subjected to column removal](#). *Journal of Structural Engineering*, 145(11):04019132.
- [11] Dat, P. X., Wahyudi, T. Y., Anh, D. K. (2018). [Analytical model for predicting membrane actions in RC beam-slab structures subjected to penultimate-internal column loss scenarios](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 12(3):10–22.
- [12] TCVN 5574:2018. *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép Việt Nam*.