

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP LỰC BÓ
ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG
EXPERIMENTAL OF THE CONFINEMENT EFFECT
ON THE COMPRESSION STRENGTH OF CONCRETE

Vũ Ngọc Tâm¹, Đỗ Trọng Thành², Tống Tôn Kiên³, Lê Việt Dũng⁴

¹Viện Khoa học công nghệ xây dựng

²Văn phòng Ủy ban nhân dân thành phố Hải Phòng

^{3,4}Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: ¹ tamvnibst@gmail.com, ² thanh.dtrong@gmail.com, ³ kientt@huce.edu.vn, ⁴ dunglv@huce.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-15>

TÓM TẮT: Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của áp lực bó đến cường độ chịu nén của bê tông với các mức hàm lượng bó khác nhau trên hai loại bê tông được sử dụng phổ biến hiện nay là B20 và B25. Qua đó, ảnh hưởng của áp lực bó đến cường độ chịu nén của bê tông được lượng hóa cho trường hợp của bài toán nghiên cứu đặt ra. Kết quả nghiên cứu đưa ra khuyến nghị về việc ứng dụng khái niệm hiệu ứng bó trong công tác thiết kế công trình bê tông cốt thép ở Việt Nam.

TỪ KHÓA: hiệu ứng bó, cường độ chịu nén, bê tông.

ABSTRACTS: In this paper, the impact of confinement pressure on the compressive strength of concrete was carried out various levels of confinement on two concrete types, B20 and B25. As a result, the influence of confinement pressure on the compressive strength of concrete is quantified for the specific research problem at hand. The research findings provide recommendations for the application of the confinement effect concept in the design of reinforced concrete structures in Vietnam.

KEYWORDS: confinement effect, compresion strength, concrete.

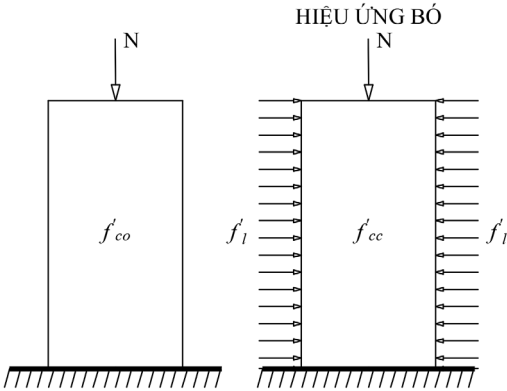
1. GIỚI THIỆU

Hiệu ứng bó của bê tông là hiệu ứng mà thành phần bê tông tăng khả năng chịu lực dọc trục, trong khi bị bó ngang bằng một phương pháp tạo áp lực ngang hiệu quả. Các biện pháp tạo lực bó ngang (kiềm chế nở hông) có thể kể đến như: áp lực thủy tĩnh, thép đai kín, đai xoắn, vòng thép, ống thép, hay tấm gia cường FRP.

Hiệu ứng bó trong kết cấu bê tông cốt thép được gặp nhiều trong thực tế như: nút khung, thanh chống

và nút trong mô hình giàn ảo các cấu kiện dầm cao, cấu kiện chịu nén chính (cột), hay các cấu kiện cột vách gia cường, cải tạo. Trong thực tế, hiệu ứng bó của bê tông trong cột được kiểm soát trực tiếp bởi hàm lượng của cốt thép đai cột. Trong khi đó, đối với nút khung, ảnh hưởng của kết cấu dầm sàn lân cận tạo hiệu ứng bó cho bê tông vùng nút khung qua cơ chế hạn chế nở hông của vùng bê tông nút khung này, theo đó cường độ chịu nén của bê tông nút khung được tăng lên đáng kể.

Ứng dụng thường được sử dụng nhất của hiệu ứng bó là trong lĩnh vực cải tạo, kiểm định công trình, và lập biện pháp thi công cho một số vị trí đặc thù trong công trình, như phần cổ cột trong thi công semi-topdown hoặc các vị trí nút có bê tông dầm sàn và cột khác nhau lớn về cấp độ bền sử dụng. Trong bài toán thi công nâng tầng hoặc kiểm định, phát hiện một số cấu kiện cột, vách không đảm bảo khả năng chịu lực, người kỹ sư có thể đưa ra các biện pháp mở rộng hoặc bó, tăng cường độ chịu nén của bê tông cột hiện trạng từ đó gia tăng khả năng chịu lực theo dự kiến. Trong tính toán kết cấu, khả năng chịu nén của cột bê tông có thể được tính toán gia tăng với cường độ chịu nén lớn hơn kể đến ảnh



Hình 1. Minh họa hiệu ứng bó trong mẫu đơn giản

hường của áp lực bó do cốt đai cột tạo ra, giúp tối ưu hóa thiết kế. Một số cấu kiện đặc biệt như dầm cao, đài móng, khi tính toán theo các tiêu chuẩn nước ngoài theo mô hình thanh chống – giằng (Strut and Tie) cũng áp dụng hiệu ứng này để tính toán sự làm việc của các thanh chịu nén hay nút giằng.

Trên thế giới, hiệu ứng của bê tông chịu ảnh hưởng của hiệu ứng bó đã được các nhà nghiên cứu và ứng dụng vật liệu bê tông chú ý từ thập kỷ thứ 2 của thế kỷ XX và tập trung nghiên cứu bằng cả mô hình thực nghiệm và tính toán. Kể từ đó, các nhà nghiên cứu cả phương Tây và Châu Á tập trung vào hai hướng chính. Trong khi Richart và cộng sự, Balmer, Mander và cộng sự, Saatcioglu và Razvi, Imran và Pantazopoulou nghiên cứu phương trình quan hệ đối với với bê tông thường. Một số nhà nghiên cứu khác như Xie et al, Ansari và Li, Antonius và cộng sự tập trung nghiên cứu về bê tông cường độ cao [1].

Ban đầu, các nhà nghiên cứu đã chỉ ra rằng cường độ và biến dạng dọc tương ứng ở cường độ của bê tông bị giới hạn bởi áp suất chất lỏng thủy tĩnh chủ động có thể được biểu thị bằng các mối quan hệ đơn giản thể hiện trong phương trình (1), (2).

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f'_l \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left(1 + k_2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (2)$$

Trong đó, f'_{cc} và ε_{cc} tương ứng là ứng suất lớn nhất của bê tông và biến dạng tương ứng dưới áp suất chất lỏng ngang f'_l ; f'_{co} và ε_{co} tương ứng là cường độ bê tông không giới hạn và biến dạng tương ứng; và k_1 và k_2 là hệ số hàm của hỗn hợp bê tông và áp lực bên.

Richart và cộng sự (1928) tìm thấy các giá trị trung bình của các hệ số trên qua các mẫu họ đã tiến hành là $k_1 = 4,1$ và $k_2 = 5k_1$. Ngoài ra, Balmer (1949) đã tìm thấy từ các thử nghiệm của mình rằng k_1 thay đổi trong khoảng từ 4.5 đến 7.0 với giá trị trung bình là 5.6, giá trị cao hơn xảy ra ở áp suất ngang thấp hơn [1].

Tác giả Thái Đức Kiên [2] trong bài “Ảnh hưởng của cốt đai đến khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép chịu nén đúng tâm” đăng trên Tạp chí KHCN Xây dựng số 2-2011, có trình bày kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của cốt đai đến khả năng chịu nén của cột bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật dựa trên kết quả nghiên cứu lý thuyết và khảo sát bằng phương pháp số trên phần mềm ANSYS. Theo đó, tác giả cũng nhận thấy khả năng chịu nén của bê tông bị ảnh hưởng hiệu ứng bó bởi cốt đai có thể tăng lên khoảng 7-23% phụ thuộc vào cách bố trí cốt đai.

Theo Phạm Xuân Đạt và cộng sự (2020) [3], tác giả thực hiện các thí nghiệm trên 16 mẫu cột 150mm và chiều dài 600mm với bước đai và mức bê tông khác nhau. Qua đó, tác giả xác nhận các kết

quả nghiên cứu quốc tế bao gồm: hiệu ứng bó do cốt đai gia tăng đáng kể khả năng chịu tải trọng nén của cấu kiện chịu nén, dạng phá hoại điển hình của cấu kiện gồm sự vỡ bê tông và sự mất ổn định của thép dọc, sự gia tăng hiệu ứng bó có thể được mang lại từ việc giảm bước đai.

Về phương diện quản lý kỹ thuật, 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 [4].

Tuy nhiên, ở Việt Nam, khái niệm hiệu ứng bó bê tông vẫn còn đang tương đối mới mẻ, đặc biệt là rất ít nghiên cứu thực nghiệm được công bố trong nước nhất. Một số nhà nghiên cứu bắt đầu có thực nghiệm hiệu ứng trên các mẫu tương tự mô hình khá nổi tiếng của Mander và cộng sự, nhưng số lượng mẫu còn hạn chế, mang tính khởi đầu sự quan tâm trong lĩnh vực xây dựng dân dụng.

2. MỘT SỐ MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH

2.1. Mô hình tính toán

2.1.1. Mô hình tính toán theo Eurocode 2

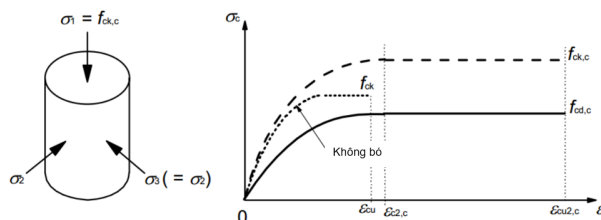
Tiêu chuẩn EC2 có đề cập tới cường độ chịu nén của bê tông có kể đến hiệu ứng bó thông qua mục 3.1.9 EN1992-1-1:2004. Theo đó, hiệu ứng bó của bê tông dẫn đến việc thay đổi quan hệ ứng suất - biến dạng hiệu quả. Bê tông có thể đạt được độ bền cao hơn và biến dạng tối đa lớn hơn. Những đặc tính cơ bản khác của vật liệu có thể được coi là không bị ảnh hưởng đến cho thiết kế.

Trong trường hợp thiếu dữ liệu chính xác hơn, quan hệ ứng suất - biến dạng được hiển thị trong (với biến dạng nén được hiển thị dưới dạng số dương) có thể được sử dụng, với độ bền đặc trưng và độ co giãn tăng lên tương ứng [4].

$$f_{ck,c} = f_{ck} \left(1 + 5 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right) \text{ khi } \sigma_2 \leq 0.05 f_{ck} \quad (3)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1.125 + 2.5 \frac{\sigma_2}{f_{ck}}) \text{ khi } \sigma_2 > 0.05 f_{ck} \quad (4)$$

Theo đó, $\sigma_2 (= \sigma_3)$ là áp suất bó hiệu quả tại trạng thái giới hạn độ bền. Hiệu ứng bó có thể được tạo ra bằng các liên kết hoặc đai ngang đủ để đạt điều kiện dẻo do sự mở rộng bên của bê tông.

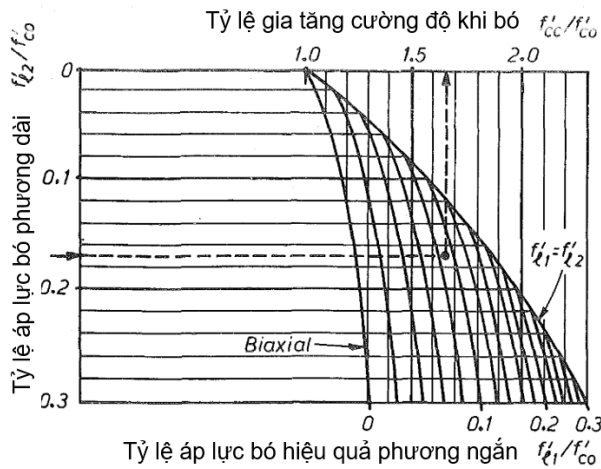


Hình 2. Quan hệ ứng suất - biến dạng trong bê tông kiểm chế nở ngang theo quy định của EC2

2.1.2. Mô hình tính toán theo đề xuất của Mander và cộng sự (1988)

Mander và cộng sự đã phát triển một phương trình phân tích duy nhất để xác định quan hệ ứng suất biến dạng cho các loại bê tông bị bỏ bởi bất kỳ kiểu đai nào: đai xoắn, đai tròn, chữ nhật và có cốt đai bổ sung. Sau đó, tác giả đề xuất một cách tiếp cận ứng suất-biến dạng thống nhất cho bê tông hạn chế nở ngang áp dụng cho cả cốt thép ngang hình tròn và hình chữ nhật. Mô hình ứng suất-biến dạng được minh họa dựa trên một phương trình do Popovics (1973) [5] đề xuất.

Khi cột bê tông bị bỏ được đặt trong trạng thái nén ba trục với các ứng suất giới hạn theo phương hiệu quả bằng nhau f'_1 từ xoắn ốc hoặc vòng tròn, có thể chỉ ra rằng cường độ nén giới hạn đã cho được xác định theo công thức (5).



Hình 3. Đồ thị tra cứu tỉ lệ tăng cường độ mẫu kiểm chế nở hông theo Mander và cộng sự (1998) [6]

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (5)$$

Trong đó f'_{co} là cường độ chịu nén của bê tông không bị bỏ, và f'_l là áp lực bỏ hiệu quả. Với ϵ_c biến dạng dọc trục của bê tông chịu nén.

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{co}}{f'_{cc}} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

2.2. Mô hình thực nghiệm

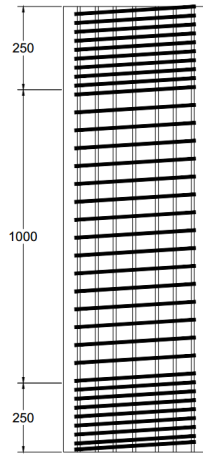
2.2.1. Mô hình thực nghiệm của Mander và cộng sự (1988)

Mô hình sử dụng 31 loại cấu kiện bê tông cốt thép có tiết diện hình tròn, vuông, chữ nhật được bố trí cốt thép khác nhau dưới tác dụng của tải trọng đúng tâm, tốc độ biến dạng nén dọc trục khoảng 0.0167/s. Quan hệ ứng suất biến dạng dọc trục được đo, so sánh với mô hình ứng suất biến dạng trước

đây với sự cho phép tác động của các yếu tố khác nhau: dạng cốt đai, tải trọng tuần hoàn, và tỷ lệ biến dạng [6].

Qua đó có thể thấy, rõ ràng biến quan trọng nhất ảnh hưởng tới thí nghiệm là hàm lượng cốt đai ρ_s . Tăng hàm lượng đai xoắn làm tăng ứng suất đỉnh f'_{cc} , biến dạng tại đỉnh ứng suất ϵ'_{cc} , và biến dạng tại thời điểm phá hoại ϵ_{cu} , đồng thời giảm độ dốc của nhánh xuống đường cong.

Ảnh hưởng của bước đai lại thể hiện khi hai cột có cùng hàm lượng đai xoắn R10-36 và R16-93, mặc dù khoảng cách 93mm tạo nhánh thừa hơn nhiều so với 36mm, nhưng ảnh hưởng là nhỏ. Ứng suất cực đại và biến dạng phá hoại không bị ảnh hưởng đáng kể. Đáng lưu ý là khoảng cách lớn 93mm khoảng 19% đường kính cột, đủ gần để kiểm chế bê tông một cách hiệu quả.



Loại mẫu	Cột	Thép dọc	Thép ngang
Mẫu thử	a	12 D16	R12-52
	b	12 D16	R12-52
	c	12 D16	R12-52
	1	12 D16	R12-41
	2	12 D16	R12-69
	3	12 D16	R12-103
1	4	12 D16	R10-119
	5	12 D16	R10-36
	6	12 D16	R16-93
	Cyl.1	-	-
2	7	8 D28	R12-52
	8	11 D24	R12-53
	9	16 D20	R12-54
	10	24 D16	R12-55
	11	36 D16	R12-56
	12	24 DH16	R12-57
	Cyl.2	-	-

GHI CHÚ:

1. BÊ TÔNG

Cường độ (f'_c): 28 MPa

Cốt liệu: 20 mm

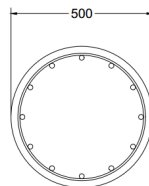
Độ sụt: 75 mm

2. CỐT THÉP

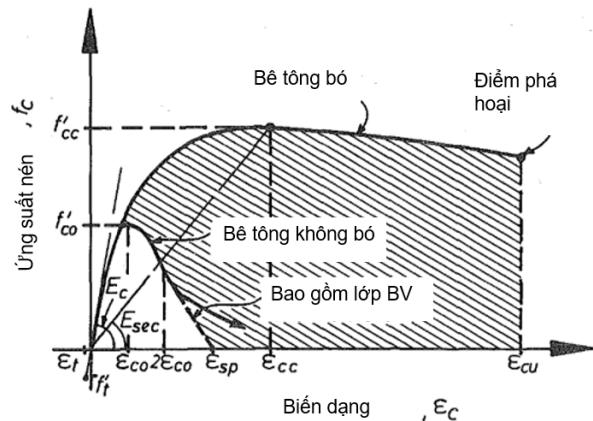
Sử dụng mác thép Grade 275

3. LIÊN KẾT ĐAI XOẮN

Nối chồng 200mm



Hình 4. Mẫu thí nghiệm của Mander và cộng sự (1988) [6]



Hình 5. Quan hệ ứng suất - biến dạng của mẫu bó điển hình của Mander và cộng sự (1988) [6]

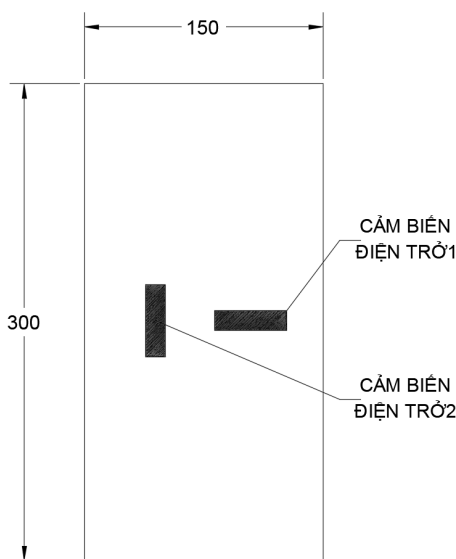
Đường cong ứng suất – biến dạng lý thuyết dùng để so sánh được tính toán bằng cách sử dụng các giá trị thực nghiệm f'_{co} và ε'_{co} thu được từ các cột không gia cường so sánh. Kết quả tính toán phù hợp với mức sai số thấp so với kết quả thực nghiệm.

2.2.2. Mô hình thực nghiệm của Holmes và cộng sự (2014) [7]

Mô hình thực nghiệm của Holmes et al (2014) thực ra tập trung vào một ứng dụng của hiệu ứng bó, đó là gia cường cột hư hại hoặc cần gia cố. Mô hình này nghiên cứu về những lợi ích của việc sử dụng kỹ thuật bó ngoài để cải thiện khả năng chịu tải nén của các mẫu trụ bê tông bằng các vành thép xung quanh. Để làm điều này, vành thép đã được gắn vào mẫu trụ để mô phỏng các cột kết cấu thực tế, có thể bị tháo dỡ và thay thế do khi chịu lực kém.

Mô hình sử dụng 12 mẫu trụ tròn tiêu chuẩn, mỗi mẫu có đường kính 150mm và chiều dài 300mm được đúc bằng xi măng CEM I (BS EN 197, 2000). Bê tông được thiết kế để đạt độ bền đặc trưng (f_{ck}) là 30N/mm² sau 28 ngày với tỉ lệ nước/xi măng (w/c) là 0.47, đạt mức độ bền trung bình là 25N/mm² sau 7 ngày sử dụng bê tông thử. Độ sụt của bê tông được thiết kế giữa 30-60mm. Ngoài ra các mẫu không sử dụng bất kỳ phụ gia nào. Mỗi mẫu trụ được lắp đặt một cảm biến nén dọc và một cảm biến nén ngang như hình vẽ, để vẽ đường quan hệ ứng suất biến dạng cũng như xác định độ bền nén trung bình. Các cảm biến điện trở đang sử dụng được sản xuất bởi Tokyo Sokki Kenkyujo Ltd, kiểu cảm biến YFLA, dài 5mm với hệ số cảm biến là $2.10 \pm 2\%$ [7].

Tác giả sử dụng 4 loại mẫu để theo dõi sự làm việc của các mẫu bó. Loại 1 là các mẫu không bó, có thêm nước để giảm cường độ mẫu. Loại 2 là loại



Hình 6. Bố trí cảm biến điện trở trong mẫu thí nghiệm của Holmes và cộng sự (2014) [7]

bó bị động bằng các dải cách nhau 56mm. Loại 3 không thay đổi ứng lực trước trong mẫu tuy nhiên thay đổi khoảng cách giữa các dải thép. Loại 4 giữ nguyên khoảng cách giữa các dải, tuy nhiên điều chỉnh ứng lực trước trong dải.

Mô hình phân tích được phát triển để dự đoán ứng xử của các trụ bê tông chịu lực trục được bó dựa trên công trình của Legeron và Paultre (2003). Mô hình này có khả năng theo dõi ứng xử trong suốt quá trình tải và tính toán đến đỉnh của ứng suất và biến dạng nén cột. Nó được xây dựng dựa trên công trình của Cusson và Paultre (1995) [8], trong đó ứng xử của bê tông bị bó liên quan đến một tham số vô hướng I_e . Tham số này được dựa trên biến dạng dọc trục và áp lực bó hiệu quả, lấy vào các yếu tố như sự gia cố giam giữ, sự phân bố không gian của các gia cường, độ bền của bê tông và độ bền của các gia cường.

Qua kết quả và so sánh với lý thuyết tính toán thực tế, tác giả cũng đưa ra các kết luận quan trọng như sau:

Hiệu ứng bó của bê tông đã tăng cường độ chịu nén, tuy nhiên mức độ dự ứng lực khác nhau không ảnh hưởng đáng kể đến việc tăng cường độ chịu nén. Tuy nhiên, mức độ ứng suất trước có tác động đến quan hệ ứng suất biến dạng trong trạng thái bị bó, với sự tăng cường rõ rệt của áp lực ngang tại đỉnh độ chịu nén. Bê tông thông thường không bó không dự ứng lực có đặc tính giòn và nó sẽ trở nên tốt hơn với sự bổ sung bó ngang. Sau đỉnh ứng suất (peak-stress), lượng đai bó được biểu thị bằng hàm lượng bó (ρ_s), đóng một vai trò quan trọng trong ứng xử của vật liệu.

Tăng tính dẻo cho thấy rõ rệt đối với các mẫu bị bó và đã đạt được các biến dạng trục lớn với cải thiện đáng kể về độ bền tới hạn. Hiệu ứng bó chủ động cũng đã được chứng minh là giúp cải thiện độ bền và tính dẻo. Lực bó chủ động và giới hạn chảy của vật liệu cốt thép được xác định là bằng nhau.

Khi có sự không khớp giữa dải thép và bê tông, sẽ dẫn đến hiện tượng bó không hiệu quả, chỉ được kích hoạt khi bê tông giãn dưới tải trọng. Kết quả là, áp lực bó chỉ giúp giữ cho mẫu bị nứt lại. Ứng xử sau đỉnh của mẫu được quyết định bởi khả năng còn lại của dải thép để tạo ra các lực bó.

Giảm khoảng cách giữa các dải sắt dẫn đến áp suất chống ép cao hơn và đạt được ứng suất chịu ép cực đại cao hơn. Bằng cách căng trước các dải sắt ban đầu, áp suất chống ép cao hơn đã được tạo ra so với việc chỉ sử dụng bó bị động, và tăng khả năng chịu tải lên đến 53% khi các dải sắt được kích hoạt đầy đủ.

Ngoài ra, tác giả có khảo sát một số mô hình thực nghiệm tương tự để có đánh giá và lựa chọn phương án thí nghiệm phù hợp được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp một số mô hình thực nghiệm điển hình trên thế giới

Đề tài	Kích thước	f'_c	Loại bó
Mander và cộng sự (1988)	50x150cm	28	Đai xoắn
Richard và cộng sự (1928) và Balmer (1949)	-	-	Áp lực thủy tĩnh chủ động
Safitri & Imran, 2017	150x300mm	25	Vành thép bó ngoài
Sheikd và Uzumeri (1980)	12x12in	28	Đai thép kín
Scott et al. (1982)	17.7x17.7in	28	Đai thép kín
Kaar et al. (1977)	10x16in	25	Đai thép kín
	5x8in		
M.H.Lai (2014)	150x300mm	30	Vành thép bó ngoài + thép đai

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Mô hình thí nghiệm

3.1.1. Thành phần cấp phối sử dụng

Nghiên cứu thực nghiệm này sử dụng 2 loại cấp phối để kiểm tra so sánh: B20 và B25 Cấp phối được thiết kế dựa trên các điều kiện cơ bản về nguyên vật liệu, độ sụt và mác bê tông yêu cầu.

Các vật liệu được đánh giá kiểm tra căn cứ theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành. Trong đó, xi măng sử dụng loại PCB40 nhãn hiệu Vicem Bút Sơn với các tính chất cơ bản thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 2682: 2009 [9]. Cát sử dụng với các tính chất của cơ bản đảm bảo yêu cầu theo TCVN 7572:2006 [10]. Nước sử dụng trong nghiên cứu là nước sinh hoạt, các tính chất thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506:2012 [11]. Cốt liệu lớn sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm 1x2 tự nhiên có $D_{max}=20mm$. Các tính chất cơ bản của đá dăm được xác định theo TCVN 7572:2006. Phụ gia NN là phụ gia siêu hóa dẻo của hãng Sika phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 loại F [12].

Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông sử dụng

Cấp bền	Nước (kg)	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	Phụ gia (l)
B20	215	340	722	1083	0
B25	175	450	760	1060	4.5

3.1.2. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông chịu ảnh hưởng của áp lực bó

Mục tiêu chính của thí nghiệm là xác định cường độ chịu nén của các mẫu trụ 15x30cm, tại 28 ngày tuổi, ở các cấp không bó và 2 loại tạo ứng suất bó khác nhau bao gồm bó mẫu trụ bằng 3 và 5 vành. Với mỗi loại bê tông, ứng với mỗi trường hợp bó kể trên, tác giả chế tạo và tiến hành 3 mẫu thí nghiệm. Các mẻ bê tông cũng đồng thời được đúc thêm 3 mẫu lập phương kích thước 15x15x15cm để xác định cấp độ bền và tham chiếu với cường độ mẫu trụ. Kết quả đo được xác định qua bảng sau.

Bảng 3. Cường độ nén mẫu trung bình

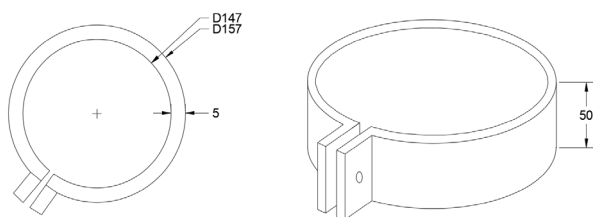
Cấp độ bền	$R_{tb(cube)}$	$R_{tb(cyl)}$	$R_{dt(cube)}$	Nhận xét
	MPa	MPa	MPa	
B20	26.89	19.89	20.94	Đảm bảo
B25	31.88	24.55	24.82	Đảm bảo

Thí nghiệm cho kết quả đạt mục tiêu sản xuất bê tông cấp bền B20 và B25. Các phân tích ảnh hưởng của áp lực bó tiếp theo được thực hiện trên mẫu trụ với kích thước mẫu tương đồng cùng mẫu bó.

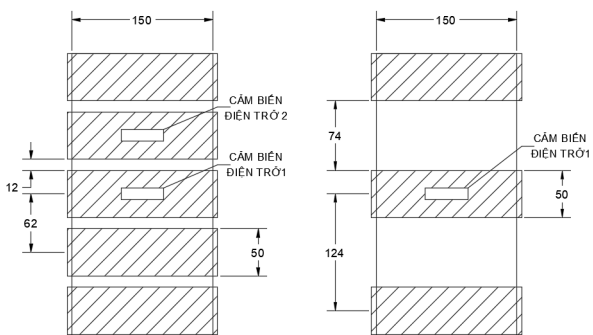
Dựa trên các nghiên cứu đi trước đã thực hiện, nhóm tác giả quyết định lựa chọn giải pháp bó bằng vành thép chế tạo sẵn tương đối còn mới và chưa nhiều nghiên cứu thực hiện, với kích thước 157x50x5 ôm vừa khít thân trụ mẫu thí nghiệm, do mẫu trụ là mẫu điển hình và phổ biến để thực hiện thí nghiệm kiểm tra cường độ chịu nén. Bên cạnh đó, hiệu ứng bó thể hiện rõ hơn ở mẫu trụ tròn, nên việc chọn mẫu trụ là hợp lý hơn và thuận tiện hơn trong quá trình thực hiện và theo dõi thí nghiệm. Hàm lượng bó được tính toán phù hợp với các nghiên cứu tương tự, đồng thời đảm bảo sự làm việc của vành trong quá trình lắp đặt, và kích thước hình học của mẫu trụ khảo sát. Cụ thể, nhóm tác giả chọn hai mức áp lực bó bao gồm 5 vành, với khoảng cách giữa các vành là 62mm, và 3 vành với khoảng cách là 124mm để thực hiện khảo sát. Đồng thời, sử dụng EC2 làm mô hình tham khảo để đối chứng, do tính tổng quát của phương pháp xác định đồng thời phù hợp và dễ vận dụng vào công tác quản lý thiết kế.

Theo nghiên cứu của Holmes và cộng sự (2014), cảm biến điện trở được bố trí trực tiếp trên mẫu bê tông theo chiều dọc và ngang giúp xác định được biến dạng của dọc trục và nở hông của bê tông. Tuy nhiên, mô hình thí nghiệm này không kiểm soát, định lượng được độ lớn của áp lực bó trong thí nghiệm.

Chính vì vậy, mô hình nhóm tác giả đề xuất việc bố trí các miếng cảm biến điện trở dọc theo vành



Hình 7. Thiết kế mẫu vành thép



Hình 8. Bố trí vành thép trên mẫu thí nghiệm

thép nhằm kiểm soát độ lớn áp lực bó thông qua hai thông số: hàm lượng bó vành thép và áp lực bó định lượng qua biến dạng giãn dài của vành đai. Do đó, nhóm tác giả lựa chọn mức đai dày 5mm rộng 50mm để đảm bảo đai thép làm việc trong miền đàn hồi của thép, khi quan hệ ứng suất biến dạng của vành tuân theo định luật Hook.

Vật liệu sử dụng thép tấm Hòa Phát với mức thép là SS400 cho thép vành ($f_y = 245\text{MPa}$), và bu lông cấp bền 6.8 ($f_y = 480\text{MPa}$, $f_u = 600\text{MPa}$) dùng để vặn xiết vành khi sử dụng.



Hình 9. Hình ảnh vành thép thực tế

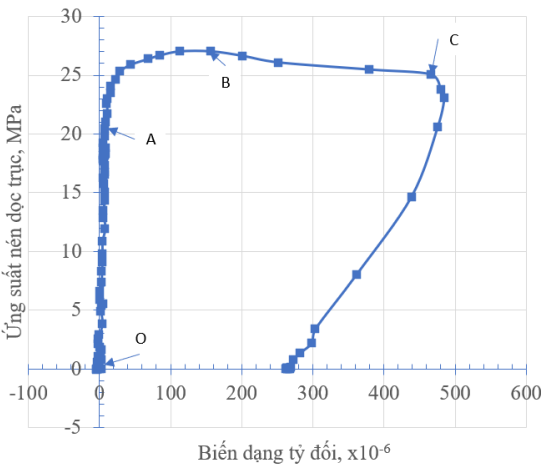


Hình 10. Bố trí và thực hiện thí nghiệm

Thiết bị sử dụng bao gồm: máy nén thủy lực gia tải tối đa 300T, hệ máy datalogger TDS-153 kết hợp máy tính phân tích kết quả dữ liệu thông qua tín hiệu điện, loadcell để ghi nhận tải trọng tác động lên mẫu, và strain gauges nhãn hiệu Kyoma chiều dài 5mm để ghi nhận biến dạng tỷ đối của vành thép.

3.2. Kết quả và thảo luận

Qua quá trình thực hiện thí nghiệm, nhóm tác giả nhận thấy về biểu đồ ứng suất – biến dạng vành của mẫu bó bê tông điển hình có cùng một quỹ đạo tương tự nhau. Theo đó, giai đoạn 1 (đoạn OA), khi bắt đầu nén, vành thép chưa bó đều trên thân mẫu, lực nén dọc trục tăng tuy nhiên cảm biến điện trở chưa ghi nhận hiệu ứng bó của vành thép. Giai đoạn 2 (đoạn AB), từ 400-450 kN lực nén tăng, vành thép bắt đầu ghi nhận sự biến dạng làm cản trở sự phát triển của biến dạng nở hông của bê tông do đó phát huy hiệu ứng bó ngang lên mẫu thí nghiệm. Ở cuối giai đoạn này, điểm B được xác định là cường độ chịu nén của mẫu trụ kiểm chế nở hông. Giai đoạn 3 (đoạn BC) là giai đoạn phá hoại mẫu, bê tông nứt vỡ, cường độ bê tông giảm dần, trong khi biến dạng trên vành thép cũng giảm dần, bê tông biến dạng thông qua các khoảng hở giữa các vành bê tông. Điểm C là điểm phá hoại.



Hình 11. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng vành mẫu điển hình

Kết quả thí nghiệm được tổng hợp thông qua Bảng 4, Bảng 5.

Bảng 4. Tổng hợp cường độ chịu nén mẫu trụ với các mức hàm lượng bó khác nhau

Cấp độ bền	$R_{th(cyl)}$	$R_{cr(3V)}$	$R_{cr(5V)}$
	MPa	MPa	MPa
B20	19.89	22	35
B25	24.55	28	39

So sánh kết quả cường độ chịu nén của mẫu trụ có kiểm chế nở ngang thu được, nhận thấy:

Cường độ chịu nén của bê tông chỉ tăng được từ 9-13% với các mẫu bó 3 vành.

Trong khi đó, cường độ chịu nén mẫu bê tông có thể tăng tới 58-77% với mẫu bó 5 vành.

Bảng 5. Biến dạng tỷ đối của vành thép tại thời điểm ghi nhận cường độ

Cấp độ bền	$\varepsilon_2(3V)$	$\varepsilon_2(5V)$
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
B20	703	930
B25	751	1035

Từ biến dạng của vành thép tại thời điểm mẫu đạt cường độ chịu nén tới hạn, xác định lực kéo trong vành thép theo công thức:

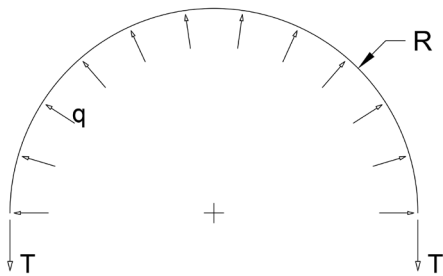
$$T = \sigma \times \delta \times h = E_s \times \varepsilon_2 \times \delta \times h \quad (7)$$

Trong đó: σ là ứng suất của thép tại thời điểm đạt cường độ tới hạn của mẫu bê tông; δ và h lần lượt là độ dày và bề rộng của vành thép; ε_2 là biến dạng của vành thép tại thời điểm mẫu bê tông đạt cường độ.

Ta nhận thấy biến dạng lớn nhất của vành thép ở mẫu bó 5 vành sử dụng B25 là 1.035×10^{-6} , trong khi biến dạng tới hạn của vành khi thép đạt đến giới hạn chảy là:

$$\varepsilon_{\max} = 1.035 \times 10^{-6} < \varepsilon_{cu} = 1.225 \times 10^{-6} \quad (8)$$

Như vậy, vành thép làm việc trong vùng đàn hồi, phù hợp với dự kiến ban đầu của thí nghiệm.



Hình 12. Quan hệ lực kéo và ứng suất bó hiệu quả

Ngoài ra, từ lực kéo trên vành thép, ta xác định được áp lực bó hiệu quả q do vành tác động lên mẫu có giá trị như sau:

$$q = \frac{T}{Rh} \quad (9)$$

Giả thiết rằng áp lực bó hiệu quả là tương đương giữa các vành thép và phân bố đều theo bề mặt ngang của tiết diện, ta có ứng suất bó hiệu quả theo EC2 được xác định theo công thức:

$$\sigma_2 = q \times S_{cf} \quad (10)$$

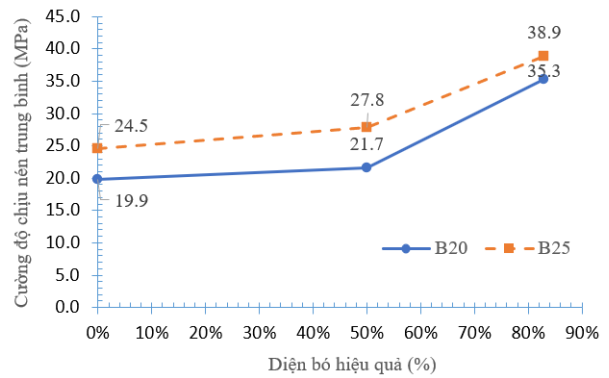
Trong đó, S_{cf} được định nghĩa là diện tích hiệu quả trên mẫu, xác định bằng tỷ lệ tổng bề rộng các vành thép trên mẫu trụ chia cho chiều cao mẫu trụ (lần lượt có giá trị là 50% và 83% với mẫu bó 3 vành và 5 vành).

Từ tính toán trên, nhóm tác giả rút ra được định lượng tương đối rõ ràng cho áp lực bó hiệu quả ghi nhận trong thí nghiệm được tổng hợp trong Bảng 6. Qua đó có thể nhận thấy mức tăng áp lực bó hiệu quả tương đối lớn giữa hai phương án bó ảnh hưởng lớn tới cường độ chịu nén thu được tại mỗi thí nghiệm.

Từ kết quả này, kết hợp với phương trình đơn giản xác định cường độ chịu nén của bê tông kiểm chế nở ngang: $f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l$, có thể rút ra nhận xét sơ bộ giá trị k_1 nằm trong khoảng 1.5-2.1. đối với các mẫu bê tông thường kiểm chế nở ngang bằng phương pháp vành thép sử dụng 5 vành với kích thước như thiết kế.

Bảng 6. Áp lực bó hiệu quả tính toán thực tế

Cấp độ bền	$\sigma_2(3V)$	$\sigma_2(5V)$
	MPa	MPa
B20	4.7	6.2
B25	5.0	6.9



Hình 13. Biểu đồ so sánh cường độ chịu nén mẫu trụ theo diện tích bó hiệu quả

Quan sát biểu đồ, có thể nhận thấy, mức gia tăng cường độ khá đồng đều giữa hai loại bê tông được thí nghiệm.

Áp dụng các công thức tính toán đơn giản theo EC2, ta thu được kết quả tính toán cường độ chịu nén mẫu trụ có kiểm chế nở ngang được tổng hợp trong Bảng 7.

Qua kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm, nhận thấy hầu hết các kết quả thực nghiệm ghi nhận số liệu tốt hơn so với tính toán. Ở phương án bó 3 vành, chênh lệch kết quả giữa hai phương án là không đáng kể. Trong khi phương án bó 5 vành cho thấy cường độ gia tăng nhiều hơn đáng kể so với tính toán.

Bảng 7. Cường độ chịu nén tính toán của mẫu trụ chịu bó R_{cf} theo EC2

Cấp độ bền	$R_{tb(cyl)}$	$R_{cf}(3V)$	$R_{cf}(5V)$
	MPa	MPa	MPa
B20	19.89	27.6	32.8
B25	24.55	32.8	38.0

Bảng 8. Mức gia tăng cường độ nén của các mẫu kiểm chế nổ ngang theo tính toán và thực nghiệm

Cấp độ bền	$R_{tb(cyl)}$ (MPa)	Mức gia tăng cường độ nén			
		3 Vành		5 Vành	
		Thực nghiệm	Tính toán	Thực nghiệm	Tính toán
B20	19.89	109%	114%	178%	140%
B25	24.55	113%	109%	159%	130%

Các hình ảnh phá hoại đặc trưng cho thấy sự làm việc rõ ràng chênh lệch giữa hai mức hàm lượng bó. Ở các mức không bó hay bó 3 vành, mẫu phá hoại theo các vết nứt dọc trục phân bố đều theo chu vi tiết diện. Tuy nhiên, ở các mẫu bó 5 vành, mẫu bị nứt theo cả chiều dọc và chiều ngang theo mép vành thép, cho thấy sự làm việc rõ rệt của vành thép với mẫu bê tông.



Hình 14. Dạng phá hoại của các mẫu bó (từ trái sang là mẫu 5 vành và 3 vành)

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá cường độ chịu nén của mẫu bê tông trụ kiểm chế nổ hông đã đạt được một số kết quả như sau:

Kết quả thí nghiệm các mẫu bó với hàm lượng bó khác nhau tại 28 ngày bảo dưỡng mẫu cho thấy, mẫu bê tông có thể tăng từ 9-13% cường độ với mẫu bó 3 vành, và tăng tới 58-77% cường độ với các mẫu bó 5 vành.

Ghi nhận được quá trình làm việc giữa vành thép và mẫu bê tông, các giai đoạn huy động áp lực bó từ vành thép để gia tăng cường độ chịu nén của bê tông, và các dạng phá hoại mẫu thực nghiệm.

Kiểm soát và định lượng được áp lực bó hiệu quả trong thí nghiệm trong khoảng 4-5 MPa với các mẫu bó 3 vành, và 6-7 Mpa đối với các mẫu bó 5 vành. Qua đó xác định tương đối chính xác biểu thức quan hệ thể hiện mức gia tăng cường độ của bê tông kiểm chế nổ ngang, xác định giá trị k_l nằm trong khoảng 1.5-2.1. trong điều kiện thí nghiệm cụ thể.

Tuy nhiên, để có những đánh giá mang tính tổng quát hơn, cần thực hiện thí nghiệm trên quy mô lớn, các điểm hàm lượng bó tham chiếu “dày” hơn nữa, kèm phân tích chuyên sâu giúp xây dựng công thức xác định cường độ chịu nén của bê tông kiểm chế nổ ngang với độ tin cậy cao góp phần đưa khái niệm này áp dụng trong thực tế thiết kế cũng như thi công các công trình xây dựng dân dụng ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Mander, J.B., M.J. Priestley, and R. Park, *Theoretical stress-strain model for confined concrete*. Journal of structural engineering, 1988. 114(8): p. 1804-1826.

[2] Thái Đức Kiên, *Ảnh hưởng của cốt đai đến khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép chịu nén đúng tâm*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng,, 2011. Số 2/2011.

[3] Dat, P.X. and N.A. Vu, *An experimental study on the structural performance of reinforced concrete low-rise building columns subjected to axial loading*. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-HUCE, 2020. 14(1): p. 103-111.

[4] *EN1992-1-1:2004 Design of concrete structures Part 1-1 General rules and rules for buildings*. 1992.

[5] Popovics, S., *A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete*. Cement and concrete research, 1973. 3(5): p. 583-599.

[6] Mander, J., M. Priestley, and R. Park, *Observed stress-strain behavior of confined concrete*. Journal of structural engineering, 1988. 114(8): p. 1827-1849.

[7] Niall, D., N. Holmes, and C. O'Shea, *Active Confinement of Weakened Concrete Columns*. 2014.

[8] Cusson, D. and P. Paultre, *Stress-strain model for confined high-strength concrete*. Journal of Structural Engineering, 1995. 121(3): p. 468-477.

[9] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 2682 - 2009 Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*. 2009.

[10] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 7572 - 2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*. 2006.

[11] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 4506 - 2012 Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. 2009.

[12] *ASTM-C494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. 2017.