

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ CHỨA CỐT LIỆU TỪ BÊ TÔNG CŨ

EXPERIMENTAL STUDY ON BEHAVIOR OF STEEL REINFORCED CONCRETE COLUMNS CONTAINING AGGREGATE FROM OLD CONCRETE

Nguyễn Khánh Hùng^{1,a}, Nguyễn Đình Dư^{1,b*}

¹Khoa Kỹ thuật Công trình, Đại học Lạc Hồng

^anguyenkhanhhung1979@gmail.com, ^bdinhdu85@gmail.com

TÓM TẮT: Bê tông cũ trong xây dựng rất nhiều, và đang được nhiều nghiên cứu quan tâm đặc biệt. Thông qua nghiên cứu sẽ cho thấy được ứng xử cơ học của mẫu vật liệu bê tông cốt thép có chứa cốt liệu từ bê tông cũ. Các đặc trưng cơ học như cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn và modul đàn hồi của vật liệu nghiên cứu để so sánh với ứng xử cơ học của bê tông cốt liệu tự nhiên có cường độ chịu nén là 250 MPa. Kết quả cho thấy mẫu sử dụng cốt liệu cũ có tính chất cơ học và cường độ chịu nén tăng lên.

ABSTRACT: Old concrete in construction is a lot, and is receiving special attention from many studies. Through the study will show the mechanical behavior of samples of reinforced concrete materials containing material bolts from old concrete. The mechanical properties such as compressive strength, flexural strength and elastic modulus of the studied materials are compared with the mechanical behavior of natural aggregate concrete with compressive strength of 250 MPa. The results showed that the samples using old aggregates had increased mechanical properties and compressive strength.

TỪ KHOÁ: *old concrete, reinforced concrete, compression column.*

1. GIỚI THIỆU

Sử dụng vật liệu từ bê tông cũ thân thiện với môi trường sinh thái, đây là lợi thế quan trọng nhất của vật liệu xanh này. Quá trình khai thác đá, sau đó nghiền nhỏ đòi hỏi phải sử dụng các nguồn tài nguyên thiên nhiên và chế biến cơ khí. Việc sử dụng lại bê tông cũ sẽ tạo ra vòng đời mới cho cốt liệu đòi hỏi chế biến rất ít nên nguyên liệu tự nhiên không bị ảnh hưởng. Thêm vào đó việc xử lý bê tông cũ chiếm ít không gian hơn việc để bê tông phân hủy ở bãi chôn lấp. Bê tông cũ có tính linh hoạt cao, có thể được sử dụng với nhiều chức năng khác nhau phù hợp với các ứng dụng trong xây dựng như các dự án cảnh quan hay cải tạo nhà ở.

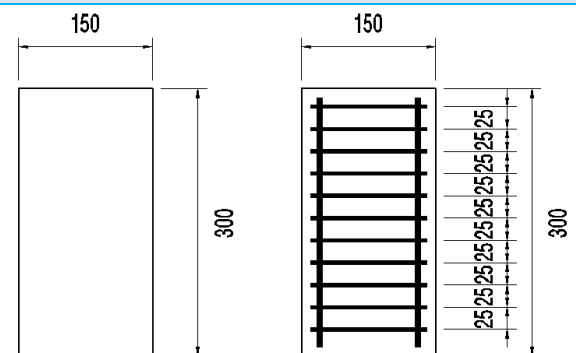
Và qua đặc điểm kỹ thuật của bê tông M250 có sử dụng bê tông cũ để so sánh với bê tông M250 không sử dụng bê tông cũ qua thí nghiệm nén mẫu cột, khảo sát cho thấy được việc sử dụng thay thế vật liệu khai thác từ tự nhiên trên cơ sở nguồn nguyên vật liệu, thiết bị sẵn có và phù hợp với khí hậu của Việt Nam.

2. QUÁ TRÌNH THÍ NGHIỆM VÀ SƠ ĐỒ TÍNH

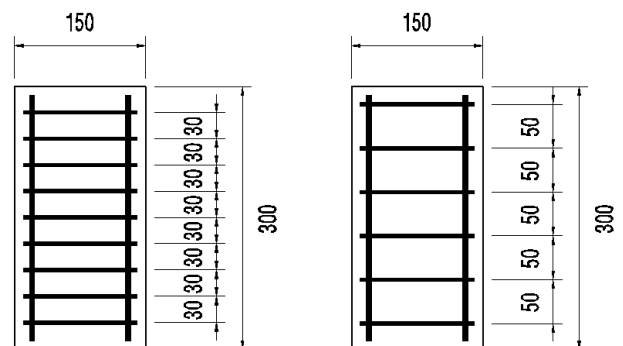
2.1. Quy trình thực hiện

Bắt đầu đổ các mẫu thí nghiệm với nhóm bê tông có cường độ M250 với mẫu 0% bê tông chứa cốt liệu cũ và mẫu 30% bê tông chứa cốt liệu cũ. Đánh dấu các mẫu để quá trình thí nghiệm nén và thống kê kết quả không bị nhầm lẫn. Bảo dưỡng đúng theo quy định để bê tông đạt được cường độ nhất định.

Tiến hành thí nghiệm nén mẫu với các mẫu bê tông hình trụ vuông được bố trí thép và không được bố trí thép đai. Xác định khả năng chịu nén của các tổ hợp mẫu với các mẫu không được bố trí cốt thép và được bố trí cốt thép đai.



Hình 1: Chi tiết mẫu không bố trí thép và bố trí $s = 25\text{mm}$



Hình 2: Chi tiết các mẫu bố trí cốt đai với $s = 30 - 50\text{mm}$

Vật liệu: Bê tông có cường độ M250 với mẫu 0% bê tông chứa cốt liệu cũ và mẫu 30% bê tông chứa cốt liệu cũ. Đây là cấp độ bền thường được sử dụng trong các công trình.

Received: 12, 06, 2021

Accepted: 01, 12, 2021

*Corresponding Author: Nguyễn Đình Dư

Email: dinhdu85@gmail.com

Để đảm bảo độ tin cậy, tính đa dạng và kiểm nghiệm được sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc đến biến dạng, cần chọn mẫu có hai loại hàm lượng cốt thép khác nhau là 1,5% và 2%.

Số lượng mẫu: Chọn số lượng mẫu đủ lớn để có được số liệu thí nghiệm đảm bảo độ tin cậy. Theo các thí nghiệm về đo cường độ và đo mô đun đàn hồi của bê tông thì 1 tổ hợp mẫu gồm có 3 mẫu.

Bê tông cốt thép là vật liệu không đồng chất, và để đảm bảo tính bao quát trên tiết diện đã bố trí các điểm đo cho một mẫu thử. Như vậy, mỗi mẫu thử được bố trí 1 điểm đo biến dạng bê tông và 1 điểm đo biến dạng cốt thép. Số lượng phép đo này là đủ lớn để đảm bảo độ tin cậy trong thí nghiệm đo biến dạng kết cấu bê tông cốt thép.



Hình 3: Cốt thép được gắn SG ở 3 loại đai $s=50, 30$ và 25

Sau khi lồng thép đã hoàn thiện, các lồng thép được đặt vào khuôn đúc mẫu đã được gia công trước theo đúng kích thước thiết kế.



Hình 4: Công tác gia công khuôn mẫu

Các cấp phối sử dụng trong thí nghiệm được đúc và thử cường độ trước để đảm bảo cường độ bê tông thực tế gần với cường độ bê tông thiết kế nhất. Công tác cân đo khối lượng các thành phần cấp phối được thực hiện dưới sự kiểm soát.

Dùng búa gỗ nhẹ xung quanh thành khuôn cho nước xi măng chảy đều tránh rỗ mặt khi tháo khuôn. Dùng bay xoa phẳng mặt khuôn. Ghi nhãn (hạng mục, ký hiệu mẫu, ngày đúc, mác, người đúc) và đem dưỡng hộ. Mẫu sau khi dưỡng hộ đủ ngày sẽ làm thí nghiệm nén, mặt chịu nén phải là mặt tiếp xúc với thành khuôn.



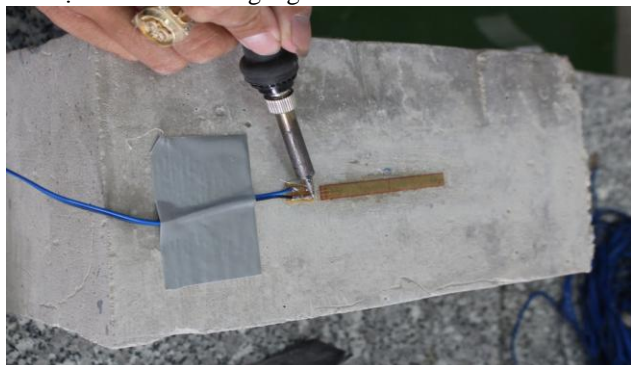
Hình 5: Công tác đúc mẫu cột bê tông hình trụ vuông



Hình 6: Công tác dưỡng hộ mẫu cột thí nghiệm

Sau khi mẫu thí nghiệm đủ ngày tuổi, ta tiến hành lắp đặt các cảm biến đo biến dạng (Straingauge) trên thân cột để đo biến dạng.

Tiến hành lắp đặt các cảm biến đo biến dạng (Straingauge) trên cột bê tông. Lấy giấy nhám làm sạch bề mặt, dùng cùn 90° vệ sinh bề mặt bê tông, dán Straingauge vào vùng bê tông đã được vệ sinh và cuối cùng hàn nối dây tín hiệu vào đầu Straingauge.



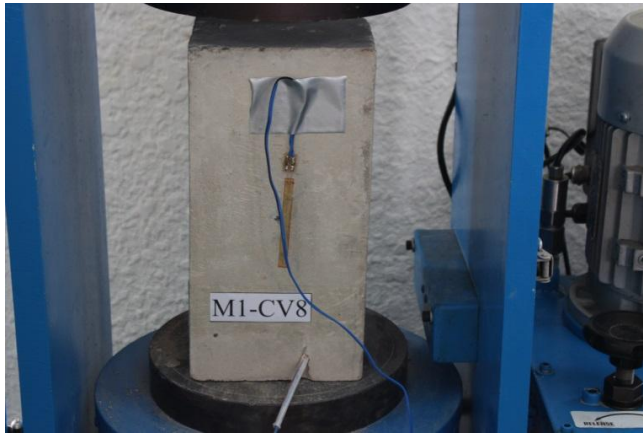
Hình 7: Lắp đặt các cảm biến đo biến dạng (Straingauge) trên cột bê tông

2.2. Sơ đồ thí nghiệm

Chọn cột BTCT chịu nén đúng tâm với thí nghiệm phá hoại mẫu.

Để đảm bảo lực tác dụng đúng tâm lên mẫu thì phải thực hiện:

- Vật liệu chế tạo khung gia tải phải giống nhau.
- Mẫu trước khi đưa vào thí nghiệm cần phải được gia công làm phẳng hai đầu. Mặt phẳng hai đầu mẫu phải vuông góc với trục mẫu, nếu lệch thì không được quá lớn.
- Điểm đặt lực tác dụng lên mẫu vào đúng tâm tiết diện tròn. Hai đầu mẫu đặt thêm tấm đệm bằng thép.



Hình 8: Mẫu nén trên hệ khung gia tải

2.3. Quy trình thí nghiệm

Khi bê tông đủ cường độ, quá trình thí nghiệm nén các mẫu cột được thực hiện. Quy trình cơ bản gồm các bước sau:

Kiểm tra, chuẩn bị máy nén mẫu: Kiểm tra sự hoạt động của máy để phát hiện sự bất thường (nếu có) nhằm giảm thiểu các rủi ro do máy móc trong quá trình thí nghiệm. Định vị và cố định 02 đầu tựa lên bề mặt máy nén bằng keo epoxy.

Vệ sinh mẫu thí nghiệm, đặt mẫu thí nghiệm lên máy nén, cân chỉnh và đánh dấu vị trí các cảm biến, kiểm tra sự hoạt động của các cảm biến bằng đồng hồ đo vạn năng (VOM), kết nối các cảm biến (biến dạng và lực) vào hệ thống thu thập dữ liệu.

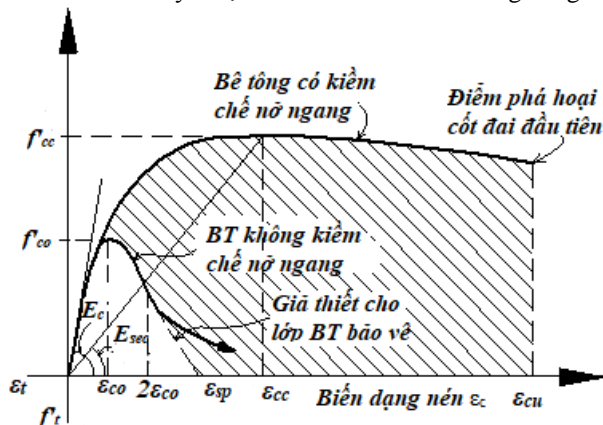
Tiến hành gia tải ở mức độ rất nhỏ ($\approx 0.5\text{kN}$) để kiểm tra hoạt động của hệ thống.

Tiến hành gia tải với tốc độ xấp xỉ 1.0 kN/s đồng thời quan sát mẫu nhằm phát hiện thời điểm xuất hiện các vết nứt và sự phát triển của chúng.

3. KẾT QUẢ TÍNH

3.1. Phương pháp giải tích (Mô hình của Mander)

Mander và các cộng sự (1988) đã đề xuất một mô hình thống nhất cho bê tông có kiểm chế nở ngang áp dụng cho cả cốt đai xoắn dạng tròn và cốt đai rời hình chữ nhật (Hình 2.9). Mô hình này đã xét tới ảnh hưởng của sự phân bố cốt thép dọc và cốt đai trong cột. Đường cong ứng suất - biến dạng được xây dựng dựa trên phương trình của Popovics (1973), trong đó hình dạng của nhánh đi xuống phụ thuộc vào mô đun cát tuyến tại điểm cao nhất của đường cong.



Hình 9: Mô hình ứng suất biến dạng của bê tông theo Mander

Để tìm cường độ bê tông khi có kiểm chế nở ngang f_{cc} , ứng suất kiểm chế hiệu quả được tính toán dựa trên hiệu ứng vòm của bê tông xảy ra giữa các lớp cốt đai trong mặt phẳng thẳng đứng và nằm ngang giữa các cốt thép dọc.

Với tiết diện chịu ứng suất kiểm chế nở ngang theo hai phương bằng nhau f_{cc}' được tính như sau:

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

Trong đó :

f_{co}' = cường độ chịu nén của bê tông không có kiểm chế nở ngang.

f_i' = ứng suất kiểm chế hiệu quả tác dụng vào lõi bê tông bằng $k_e \times f_i$

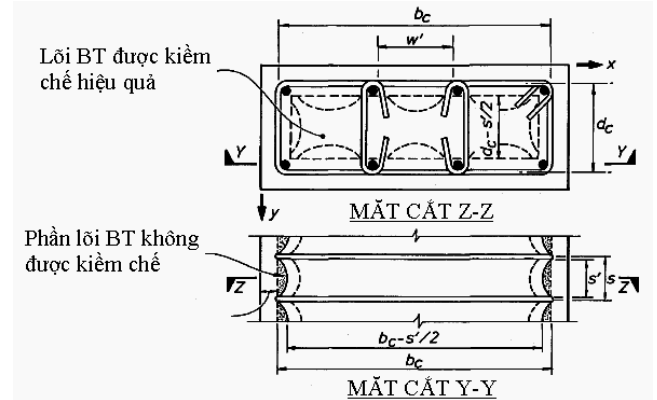
f_i = ứng suất ngang do cốt đai gây ra.

k_e = tỷ số giữa diện tích bê tông có kiểm chế nở ngang hiệu quả chia cho diện tích lõi bê tông.

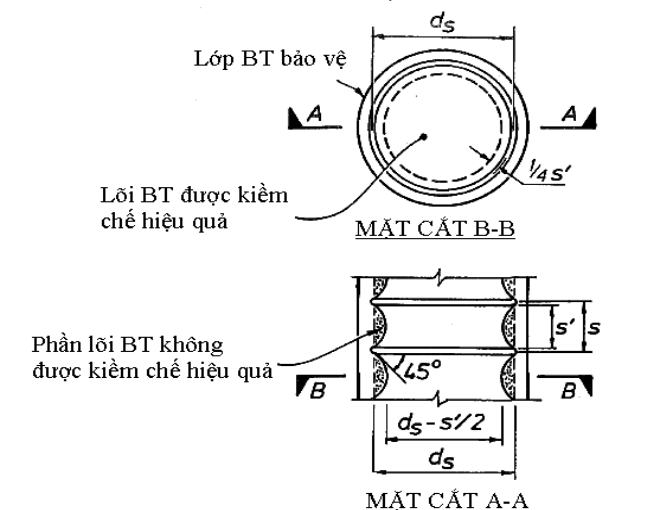
$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i')^2}{6b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (2)$$

ρ_{cc} - Là tỷ số giữa diện tích cốt thép dọc cột / diện tích lõi.

Các thông số trong công thức (2-14) được xác định như Hình 10.



Hình 10: Lõi bê tông được kiểm chế hiệu quả cho cốt đai hình chữ nhật



Hình 11: Lõi bê tông được kiểm chế hiệu quả cho cốt đai hình tròn. Biến dạng tương ứng tại điểm ứng suất lớn nhất là:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

Với ε_{co} là biến dạng tương ứng với f'_{co} , thường lấy $\varepsilon_{co} = 0,002$.

3.2. Khả năng chịu nén cực đại

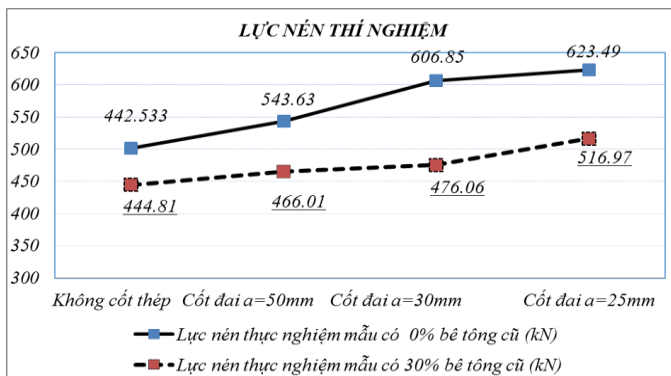
Có thể nhận thấy xu hướng chung: khi cường độ bê tông càng tăng và cốt đai càng dày thì lực phá hoại cột càng lớn.

Bảng 1: Kết quả lực tác động lớn nhất của thí nghiệm cột

Đối tượng TN	Ký hiệu mẫu	Lực nén tb (kN)	Biến dạng bê tông (%)	Biến dạng cốt thép (%)
Không cốt thép	CV1	502.08	0.00427	
Cốt đai a=50mm	CV2	543.63	0.00346	0.00357
Cốt đai a=30mm	CV3	606.85	0.00303	0.00348
Cốt đai a=25mm	CV4	623.49	0.00243	0.00300

Bảng 2: Kết quả lực tác động lớn nhất của thí nghiệm cột

Đối tượng TN	Ký hiệu mẫu	Lực nén tb (kN)	Biến dạng bê tông (%)	Biến dạng cốt thép (%)
Không cốt thép Bê tông cũ 30%	CV1	444.81	0.00493	
Cốt đai a=50mm Bê tông cũ 30%	CV2	466.01	0.00357	0.00375
Cốt đai a=30mm Bê tông cũ 30%	CV3	476.06	0.00308	0.00350
Cốt đai a=25mm Bê tông cũ 30%	CV4	516.97	0.00294	0.00302



Hình 12: So sánh giá trị lực nén thí nghiệm giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

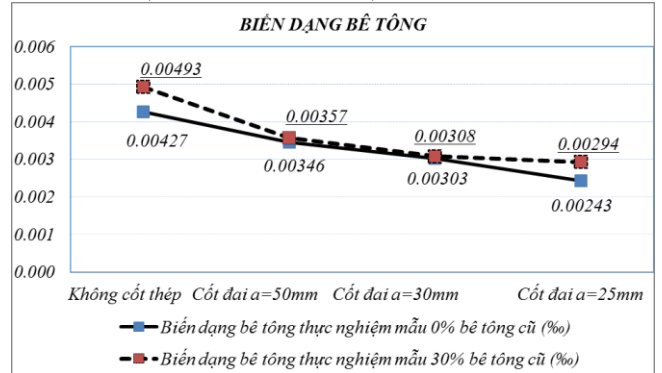
Ta thấy khi cốt đai bố trí càng dày thì cường độ chịu nén của mẫu cột bê tông càng tăng lên.

Cường độ của mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ khi bố trí cốt đai càng dày thì khả năng phá hoại mẫu tăng, khả năng chịu

lực trung bình của các mẫu được tăng lên lần lượt là 7.64%, 17.27%, 19.47% so với mẫu không có cốt đai.

Cường độ của mẫu khi sử dụng 30% cốt liệu cũ khi bố trí cốt đai càng dày thì khả năng phá hoại mẫu tăng, khả năng chịu lực trung bình của các mẫu được tăng lên lần lượt là 4.55%, 6.56%, 13.96% so với mẫu không có cốt đai.

Khả năng phá hoại của mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ lớn hơn so với mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ, giá trị chênh lệch là 11.41%, 14.28%, 21.55% và 17.08% ứng với mẫu không bố trí cốt đai, bố trí cốt đai 50mm, 30mm và 25mm.



Hình 13: So sánh giá trị biến dạng của bê tông thí nghiệm giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

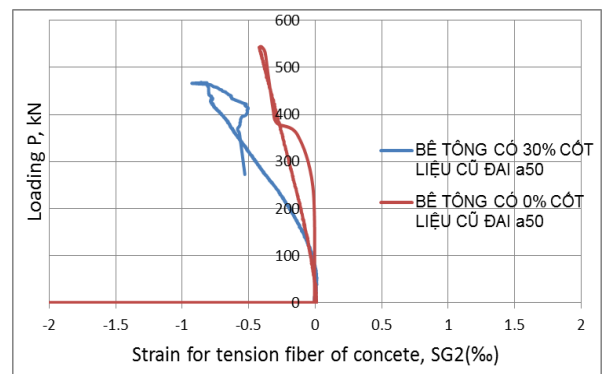
Dựa vào biểu đồ hình 13 ta thấy khi cốt đai bố trí càng dày thì biến dạng cốt thép của mẫu cột bê tông sẽ tăng giảm xuống.

Mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ khi bố trí cốt đai càng dày thì khả năng biến dạng của cốt thép trong mẫu càng giảm xuống. Mẫu bố trí cốt đai Ø 6mm với khoảng cách a = 30 , a = 25 mm thì khả năng biến dạng trung bình của các mẫu được giảm xuống lần lượt là 2.47% và 15.84% so với mẫu có khoảng cách cốt đai a = 50 mm.

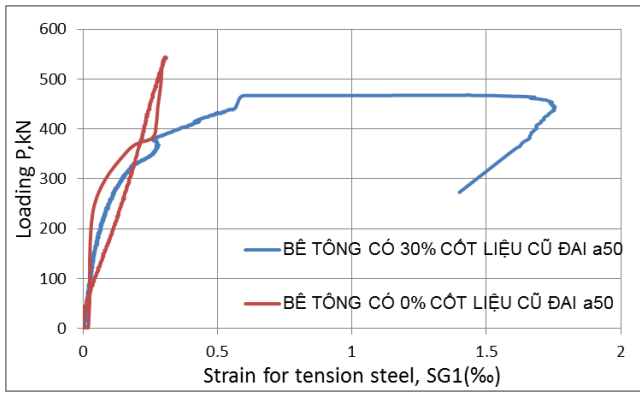
Mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ khi bố trí cốt đai càng dày thì khả năng biến dạng của cốt thép trong mẫu càng giảm xuống. Mẫu bố trí cốt đai Ø 6mm với khoảng cách a = 30 mm, a = 25 mm thì khả năng biến dạng trung bình của các mẫu được giảm xuống lần lượt là 6.72% và 19.31% so với mẫu có khoảng cách cốt đai a = 50 mm.

Biến dạng cốt thép của mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ nhỏ hơn so với mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ, giá trị chênh lệch là 4.86%, 0.53% và 0.78% ứng với mẫu bố trí cốt đai 50mm, 30mm và 25mm.

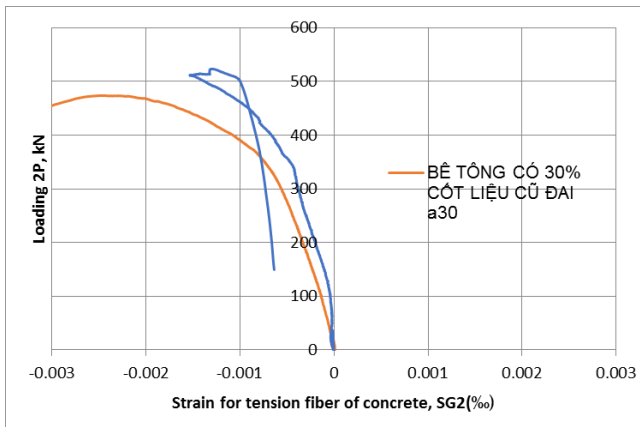
3.3. So sánh biến dạng mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ



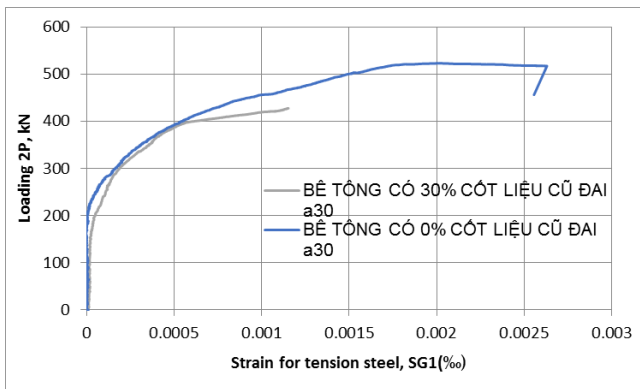
Hình 14: So sánh biến dạng của bê tông giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ



Hình 15: So sánh biến dạng của cốt thép giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

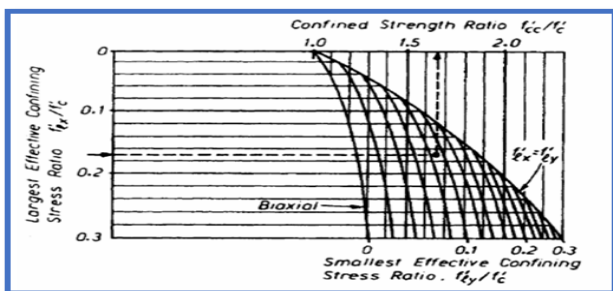


Hình 16: So sánh biến dạng của bê tông giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ



Hình 17: So sánh biến dạng của cốt thép giữa trường hợp mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

3.4. Tính toán khả năng chịu nén của cột theo Mander



Hình 18: Đồ thị của Mander

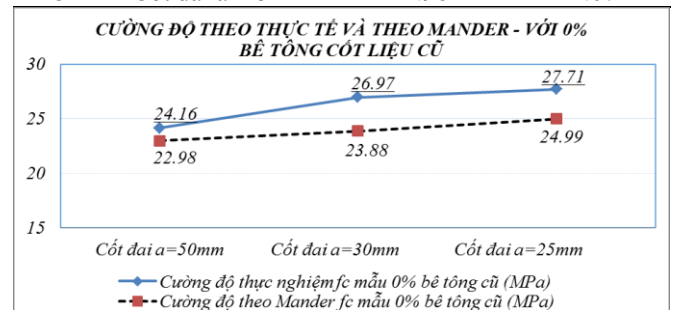
Cường độ bê tông: $f_{cc}=22.31$ (MPa)
 Kết quả so sánh khả năng chịu nén của cột theo thực nghiệm và tính toán theo cơ sở lý thuyết Mander được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3: Bảng so sánh khả năng chịu nén của cột theo lý thuyết và thực nghiệm mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ

STT	Khoảng cách đai	Cường độ thực tế f_c (MPa)	Cường độ theo Mander f_c (MPa)
1	Cột đai a=50mm	24.16	22.98
2	Cột đai a=30mm	26.97	23.88
3	Cột đai a=25mm	27.71	24.99

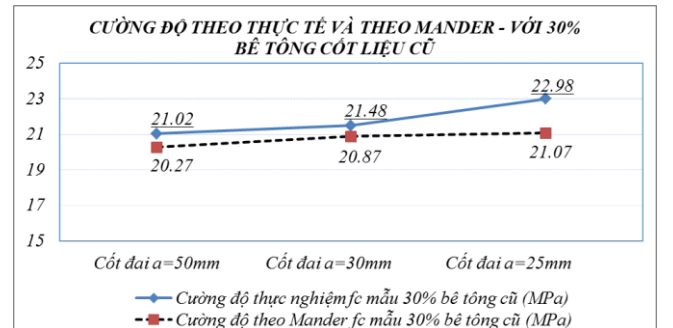
Bảng 4: Bảng so sánh khả năng chịu nén của cột theo lý thuyết và thực nghiệm mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

STT	Khoảng cách đai	Cường độ thực tế f_c (MPa)	Cường độ theo Mander f_c (MPa)
1	Cột đai a=50mm	21.02	20.27
2	Cột đai a=30mm	21.48	20.87
3	Cột đai a=25mm	22.98	21.07



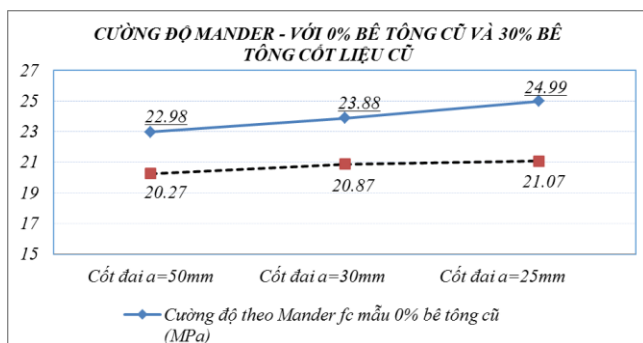
Hình 19: Biểu đồ thể hiện cường độ theo thực tế và theo Mander mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ

Cường độ thực tế theo thí nghiệm nén mẫu lớn hơn so với tính toán theo lý thuyết của Mander khoảng 4.87% đến 11.47%, với thành phần bê tông mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ.



Hình 20: Biểu đồ thể hiện cường độ theo thực tế và theo Mander mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

Cường độ thực tế theo thí nghiệm nén mẫu lớn hơn so với tính toán theo lý thuyết của Mander khoảng 2.83% đến 8.30%, với thành phần bê tông mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ.



Hình 21: Biểu đồ thể hiện cường độ tính toán theo Mander với mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ và mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ

Dựa vào biểu đồ hình 21 ta thấy cường độ tính toán theo lý thuyết của Mander khi thành phần bê tông mẫu sử dụng 0% cốt liệu cũ lớn hơn khi thành phần bê tông mẫu sử dụng 30% cốt liệu cũ. Giá trị chênh lệch khoảng 11.82% đến 15.70%.

4. KẾT LUẬN

Thí nghiệm đã đạt được mục tiêu đề ra là xem xét cơ chế phá hoại của cột bê tông cốt thép có bố trí cốt đai và không bố trí cốt đai. Khi bê tông bị kiểm chế nở ngang, cường độ và biến dạng đều được tăng lên. Trong tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2018 chưa đề cập cụ thể đến sự tăng cường độ của bê tông bị kiểm chế nở ngang.

Do sử dụng lượng cốt liệu từ bê tông cũ nên có cường độ phát triển chậm ở các tuổi sớm (tuổi 7 ngày cường độ nén đạt 70% cường độ tiêu chuẩn). Vì bê tông có sử dụng cốt liệu từ bê tông cũ nên phải bảo dưỡng tốt hơn so với bê tông bình thường khi đưa vào áp dụng thi công thực tế.

Với kết quả thí nghiệm sử dụng các mẫu được bố trí cốt đai vuông cho thấy khi cốt đai bố trí càng dày cường độ chịu nén của mẫu cột bê tông càng tăng lên: Mẫu được bố trí cốt đai 6mm với khoảng cách $a = 25$ mm, khả năng chịu lực trung bình của các mẫu được tăng lên 2.67% so với các mẫu được bố trí cốt đai $\emptyset 6$ mm với khoảng cách $a = 30$ mm.

Mẫu được bố trí cốt đai 6mm với khoảng cách $a = 30$ mm, khả năng chịu lực trung bình của các mẫu được tăng lên 10.42% so với các mẫu được bố trí cốt đai $\emptyset 6$ mm với khoảng cách $a = 50$ mm. Qua đó cho thấy khi khoảng cách cốt đai giảm xuống nhỏ hơn 20mm thì khả năng chịu nén của mẫu cột gần đạt đến giới hạn chịu nén, cường độ tăng rất nhỏ, cụ thể sẽ nhỏ hơn 2.67%.

Kết quả tính toán lực nén gây phá hoại mẫu theo lý thuyết Mander cho kết quả nhỏ hơn so với tổ hợp mẫu từ thực nghiệm khi có sự tham gia của cốt đai. Sử dụng bê tông có cốt liệu từ bê tông cũ mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn và tính chất bảo vệ môi trường sinh thái.

5. LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Lạc Hồng (LHU-RF-TE-19-03-03) đã tạo điều kiện để nhóm hoàn thành nghiên cứu này.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Duy Hữu, Nguyễn Long (2004), Bê tông cường độ cao, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [2] Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh (2008), Bê tông cường độ cao và chất lượng cao.
- [3] Phan Quang Minh (chủ biên); Ngô Thế Phong; Nguyễn Đình Công (2011), Kết cấu bê tông cốt thép-Phần cấu kiện cơ bản, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4] Nguyễn Đình Công (2006), Tính toán tiết diện cột bê tông cốt thép, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [5] Trịnh Quang Vinh (chủ biên), Phạm Đức Cường, Trần Đức Thành (2013), Giáo trình kỹ thuật thi công Xây Dựng, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [6] TCVN 7570:2006 về Cốt liệu cho bê tông và vữa (yêu cầu kỹ thuật).
- [7] TCVN 7572-1:2006 về Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 1: Lấy mẫu do Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.
- [8] TCVN 3105:1993 về Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.
- [9] TCVN 3106:1993 về Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt.
- [10] TCVN 3118:1993 về Bê tông nặng - phương pháp xác định cường độ nén.
- [11] TCVN 5574:2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép- Tiêu chuẩn thiết kế, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [12] Baris Binici (2005), Analytical model for stress - strain behavior of confined concrete, Engineering Structures 27, 1040 - 1051.
- [13] Daniel Cusson and Patrick Paultre (1995), "Stress - strain model for confined High strength concrete", Journal of Structural Engineering, Vol.121, No. 3.
- [14] Domingo Sfer, Ignacio Carol, Ravindra Gettu and Guillermo Etse (2002), "Study of the behavior of Concrete under triaxial compression", Journal of Engineering Mechanics, Vol.128, No. 2.