

ẢNH HƯỞNG CỦA CỐT ĐAI ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM

ThS. THÁI ĐỨC KIÊN

Trường Đại học Vinh

Tóm tắt: Dựa trên lý thuyết về bê tông bị hạn chế nở hông, trong bài báo này tác giả trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của cốt đai đến khả năng chịu nén của cột bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật. Sự ảnh hưởng của cốt đai được xác định dựa trên kết quả nghiên cứu lý thuyết, đồng thời được khảo sát bằng số trên phần mềm ANSYS. Kết quả đã được so sánh, đánh giá.

1. Đặt vấn đề

Cột là một trong những bộ phận quan trọng nhất của công trình. Sự phá hoại của cột có thể ảnh hưởng đến sự phá hoại của các kết cấu khác hoặc là nguyên nhân chính dẫn đến sự phá hoại toàn bộ kết cấu công trình. Nhiều nghiên cứu trước đây đều cho rằng, khả năng chịu nén của bê tông (chủ yếu là trong cột) có tăng lên khi bê tông bị hạn chế nở hông gây ra bởi cốt đai [5]. Việc nghiên cứu sự ảnh hưởng này là rất cần thiết, góp phần bổ sung cho lý thuyết tính toán cấu kiện chịu nén bằng bê tông cốt thép.

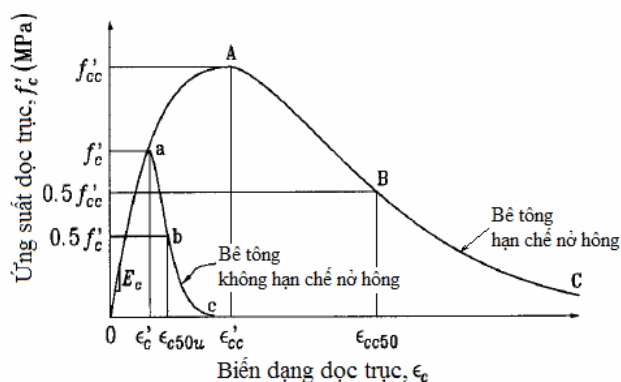
Để xác định cường độ chịu nén dọc trục (f'_{cc}) của bê tông khi có áp lực hạn chế nở hông thì cần phải xác định được ứng suất hạn chế nở hông (f'_{ie}) [4]. Trong cột bê tông cốt thép, áp lực ngang (hạn chế nở hông f'_{ie}) lại được xác định dựa vào ứng suất trong cốt đai. Trong các nghiên cứu trước đây, ứng suất trong cốt đai thường được xác định bằng các biểu thức thực nghiệm đã được kiểm chứng với khoảng 80 mẫu thử khác nhau [4].

Tuy nhiên, với sự hỗ trợ của máy tính điện tử và các phần mềm phân tích kết cấu dựa trên cơ sở của phương pháp phần tử hữu hạn, ngày nay chúng ta có thể xác định được ứng suất trong các vật liệu bằng việc mô hình hóa cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén với kết quả đáng tin cậy mà không quá tốn kém. Trong bài này, giới thiệu kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của cốt đai đến sự thay đổi ứng suất và biến dạng của bê tông chịu nén bằng cả biểu thức lý thuyết và sử dụng phần mềm ANSYS.

2. Cơ sở lý thuyết về bê tông hạn chế nở hông

2.1. Quan hệ ứng suất – biến dạng trong bê tông hạn chế nở hông

Mối quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông chịu nén trường hợp hạn chế nở hông đã được các tác giả như Popovics (1973) [6] và Mander (1988) [7] đề xuất như hình 1.



Hình 1. Quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông hạn chế nở hông

Đường cong quan hệ trong hình 1 xuất phát từ những biểu thức sau:

$$f'_c = \frac{f'_{cc} x k}{k - 1 + x^k} \quad (1)$$

Trong đó: f'_c - cường độ chịu nén của bê tông không hạn chế nở hông; f'_{cc} - cường độ chịu nén của bê tông trường hợp bị hạn chế nở hông.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2)$$

$$k = \frac{E_c}{E_c - E_{Sec}} \quad (3)$$

Ở đây: ε_c - biến dạng tương đối cực hạn của bê tông không hạn chế nở hông; ε_{cc} - biến dạng tương đối cực hạn của bê tông hạn chế nở hông.

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{cc}} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

$$E_{Sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (5)$$

Trong đó: E_c - module biến dạng tiếp tuyến; E_{Sec} - Module biến dạng pháp tuyến; f'_{cc} - cường độ chịu nén của mẫu thử hình trụ (15x30cm) ở ngày thứ 28.

Biểu thức (1) chỉ đúng với trường hợp khi $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}$. Trong trường hợp $\varepsilon_c > \varepsilon_{cc}$ thì Fafitis và Shah (1985) [4] đã đề xuất mối quan hệ đó theo biểu thức sau:

$$f_c = f_{cc} \exp[k_1(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc})^{k_2}] \quad (6)$$

Trong đó: k_1 và k_2 là hai hằng số điều chỉnh độ dốc và độ cong của biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng. Dựa vào tài liệu của Cusson và Paultre (1994), các hệ số đó được xác định như biểu thức sau:

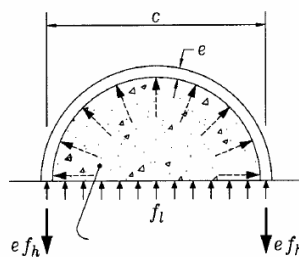
$$k_1 = \frac{\ln 0,5}{(\varepsilon_{cc50} - \varepsilon_{cc}')^{k_2}} \quad (7)$$

$$k_2 = 1 + 25(I_{e50})^2 \quad (8)$$

Trong đó: I_{e50} - chỉ số ảnh hưởng áp lực hạn chế nở hông tại vị trí biến dạng ε_{cc50} (hình 1).

2.2. Mô hình cốt tiết diện tròn bọc tấm đai liên tục

Xét trường hợp một cột tiết diện tròn với đường kính là c , được bao bọc bởi một tấm đai liên tục với chiều dày là e (e rất bé so với c). Áp lực chống nở hông f_l được xác định qua việc xét trạng thái cân bằng lực và biến dạng tương thích. Trạng thái cân bằng giữa áp lực trong tấm liên tục và áp lực chống nở hông tác dụng lên phần lõi bê tông cho thấy như hình 2.



Hình 2. Sự cân bằng ứng suất

$$f_l = \frac{2ef_h}{c} \quad (9)$$

Trong đó: f_h - ứng suất căng trong cốt thép và cũng là áp lực chống nở hông.

Từ điều kiện biến dạng tương thích và giả thiết rằng biến dạng của phần bê tông phía ngoài bằng biến dạng của tấm đai liên tục (ε_h có giá trị dương) được xác định bằng biểu thức:

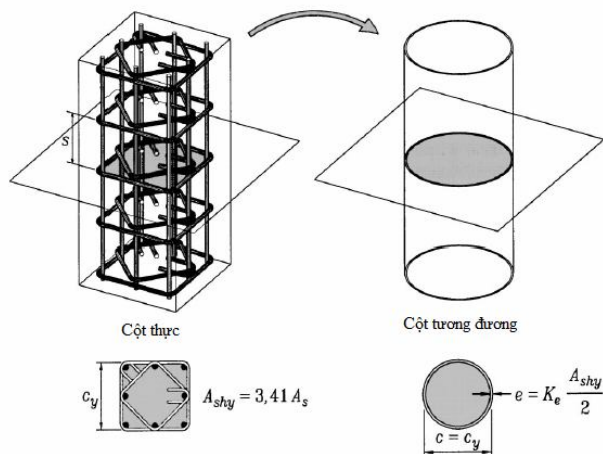
$$\varepsilon_h = \nu_{cc} \varepsilon_{cc} - \frac{(1 - \nu_{cc}) f_l}{E_{cc}} \quad (10)$$

Trong đó:

ν_{cc} - hệ số Poisson pháp tuyến và E_{cc} - mô đun biến dạng pháp tuyến của bê tông hạn chế nở hông theo phương ngang, cả hai biến số trong hàm của biến dạng dọc trục ε_{cc} .

2.3. Ứng dụng vào cột tiết diện chữ nhật đặt cốt đai

Để đơn giản, chúng ta có thể thay thế tương đương cột bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật, đặt cốt đai với khoảng cách đai là s , bằng một cột có tiết diện tròn được bao bọc bởi một tấm thép liên tục có chiều dày không đổi e (hình 3). Cột tương đương có đường kính bằng kích thước phần lõi bê tông của cột chữ nhật, đo từ tim đến tim của cốt đai ngoài cùng. Tấm thép đai bọc lõi bê tông thay thế sự làm việc của cốt đai, được tính toán sao cho tương đương với sự làm việc của cốt đai trong tiết diện cột chữ nhật.



Hình 3. Khái niệm cột tương đương

Chiều dày của tấm vỏ bọc quanh cột tròn tương đương được xác định bằng biểu thức:

$$e = K_e \frac{A_{shy}}{2s} \quad (11)$$

Trong đó: A_{shy} - tổng diện tích mặt cắt ngang của tấm vỏ bọc theo phương trục y trong khoảng cách giữa các đai s . Áp lực ngang tác động lên lõi bê tông theo phương y sẽ là:

$$f_{ley} = \frac{2ef_h}{c} = K_e \frac{A_{shy}}{sc} f_h \quad (12)$$

K_e - hệ số kể đến hình dạng đai. Với cốt đai ngang, K_e xác định theo biểu thức sau [6].

$$K_e = \frac{(1 - s/4c)^2}{1 - \rho_{cc}} \quad (13)$$

Trong đó: ρ_{cc} - tỷ lệ diện tích cốt thép dọc trên diện tích bê tông hạn chế nở hông; s - khoảng cách giữa các lớp đai theo chiều cao cột; c - đường kính lõi bê tông.

Phải nhấn mạnh rằng f_h là một hàm số của biến dạng dọc trục trong cột ε_{cc} . Bây giờ chúng ta định nghĩa tỷ số tiết diện hữu dụng của áp lực chống nở hông theo phương y , ký hiệu là ρ_{sey} .

$$\rho_{sey} = K_e \frac{A_{shy}}{sc} \quad (14)$$

Từ đó, biểu thức (13) có thể viết thành $f_{ley} = \rho_{sey} f_h$ (15)

Ứng suất hạn chế nở hông hiệu quả f_{ley} biến đổi từ không, khi mà ứng suất trong thép đai bằng không đến giá trị lớn nhất là giới hạn chảy của thép đai, tức là: $f_h = f_{hy}$. Năm 1995, Cusson và Paultre [4] đã đo được mức độ của áp lực ngang bằng chỉ số áp lực ngang hiệu quả không thứ nguyên: $I_e = f_{ley}/f'_c$.

Phương trình tương thích biến dạng là:

$$\varepsilon_h = \nu_{cc} \varepsilon_{cc} - \frac{(1 - \nu_{cc}) f_{ley}}{E_{cc}} \quad (16)$$

Đối với đai xoắn, các biểu thức trên vẫn phù hợp khi coi rằng s là bước của đai xoắn. Đối với cột chữ nhật và cột tròn với áp lực ngang đối xứng, trong tính toán thực hành lấy chỉ số thể tích của cốt thép ngang là:

$$\rho_s = \frac{2A_{sh}}{SC} \quad (17)$$

Trong đó, A_{sh} - là tổng diện tích đai ngang theo phương trục x và trục y. Từ đó, chỉ số thể tích hiệu quả của cốt ngang sẽ là:

$$\rho_{se} = K_e \rho_s = K_e \frac{2A_{sh}}{SC} \quad (18)$$

Và áp lực chống nở hông hiệu dụng sẽ là:

$$f_{le} = \frac{1}{2} \rho_{se} f_h \quad (19)$$

2.4. Cường độ cực đại trong bê tông hạn chế nở hông - biểu thức của Légeron và Paultre (2003)

Bây giờ chúng ta sẽ đi xác định giá trị cường độ lớn nhất trong bê tông hạn chế nở hông và quan hệ ứng suất – biến dạng (ϵ'_{cc} , f'_{cc}). Ứng suất trong cốt đai tại điểm đó là f'_h , tương ứng với biến dạng là ϵ'_h . Áp lực hạn chế nở hông hiệu dụng được xác định theo biểu thức (13) trở thành:

$$f_{le} = K_e \frac{A_{shy}}{SC} f'_h \quad (20)$$

Biến dạng tương đối trong cốt đai là:

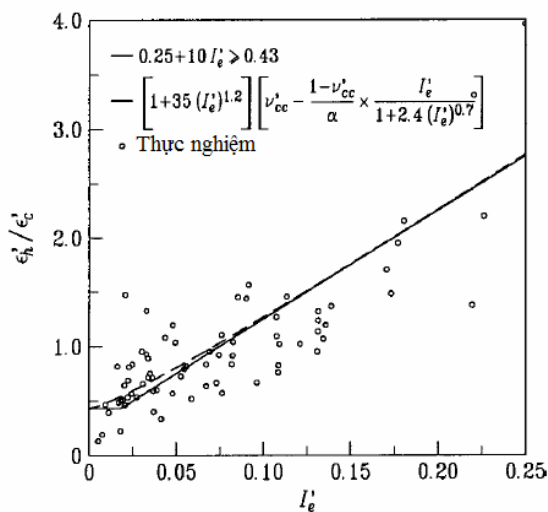
$$\epsilon'_h = \nu'_{cc} \epsilon'_{cc} - \frac{(1 - \nu'_{cc}) f'_{le}}{E'_{cc}} \quad (21)$$

Trong đó: E'_{cc} và ν'_{cc} tương ứng là mô đun biến dạng pháp tuyến và hệ số Poisson pháp tuyến của bê tông xác định tại điểm cực đại của biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông hạn chế nở hông.

Cường độ và biến dạng của bê tông phụ thuộc vào hàm lượng và ứng suất của cốt đai (Sheikh và Uzumeri (1982)). Một số tác giả đã thừa nhận rằng ứng suất trong đai đạt đến cường độ chảy dẻo khi ứng suất trong bê tông đạt cực đại. Tuy nhiên, Cusson và Paultre (1994) cũng như Li (1994) đều cho rằng ứng suất trong cốt đai có thể không đạt đến cường độ chảy dẻo khi ứng suất bê tông đạt cực đại, đặc biệt là với cốt đai cường độ cao sử dụng với bê tông cường độ thường. Kết quả thí nghiệm đã được thực hiện bởi Sheikh và Uzumeri năm 1980 cho thấy sự chảy dẻo không thường xuyên đạt được với bê tông thông thường (có cường độ trung bình). Cusson và Paultre (1995) có giới thiệu một quy trình tương hỗ để xác định mức độ ứng suất trong cốt đai tại điểm cực đại của bê tông hạn chế nở hông. Tuy nhiên, trong bài này không đề cập đến cách đó.

Gọi I'_e là chỉ số áp lực chống nở hông hiệu dụng tại điểm cực đại, được xác định theo biểu thức:

$$I'_e = \frac{f'_{le}}{f'_c} \quad (22)$$



Hình 4. Quan hệ giữa ϵ'_h/ϵ'_c và I'_e

Trên hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa $\varepsilon'_h/\varepsilon'_c$ và I'_e , được xác định qua các kết quả nghiên cứu thực nghiệm. Từ kết quả nghiên cứu của Cusson và Paultre (1995), các mối quan hệ mới được đề xuất cho phép áp dụng với nhiều loại bê tông khác nhau như sau:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1 + 2.4(I'_e)^{0.7} \quad (23)$$

$$\frac{\varepsilon'_{cc}}{\varepsilon'_c} = 1 + 35(I'_e)^{1.2} \quad (24)$$

3. Khảo sát sự ảnh hưởng của cốt đai bằng ANSYS

3.1. Thiết kế cấu kiện

3.1.1. Vật liệu

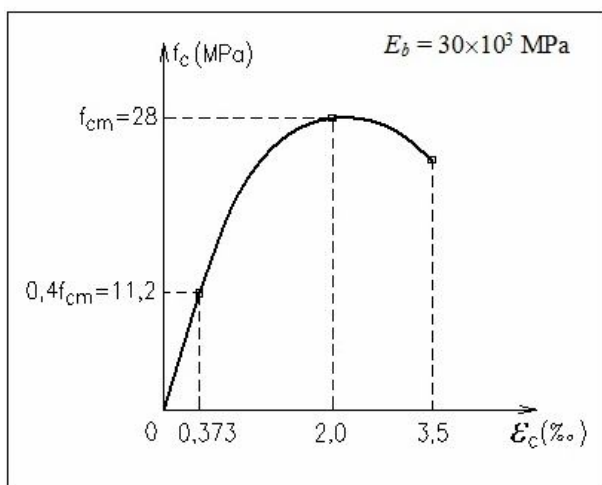
a. Bê tông

Bê tông cột dùng loại C20/25 theo tiêu chuẩn Eurocode 2 có $f_{ck} = 20$ MPa, $f_{cm} = 28$ MPa; module đàn hồi: $E_b = 30 \times 10^3$ MPa, hệ số Poisson: $\nu = 0,2$. Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông như hình 5.

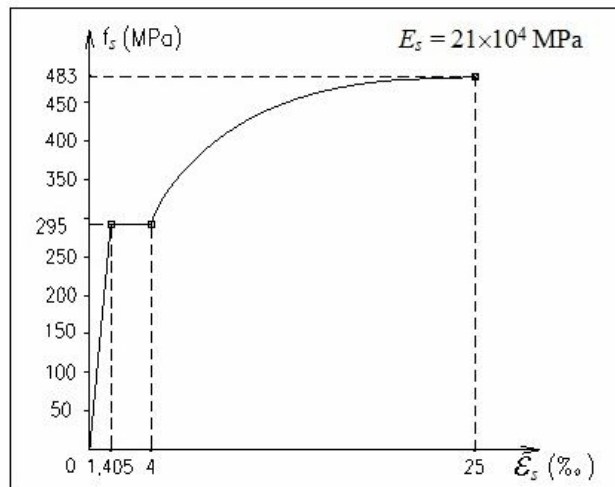
b. Cốt thép

Cốt thép dọc và cốt đai đều dùng một loại thép có cường độ chảy dẻo $f_y = 295$ MPa, cường độ bền $f_{su} = 483$ MPa. Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng khi kéo thép như hình 6.

Module đàn hồi của thép: $E_s = 21 \times 10^4$ MPa, hệ số Poisson: $\nu = 0,3$.



Hình 5. Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông



Hình 6. Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng khi kéo thép

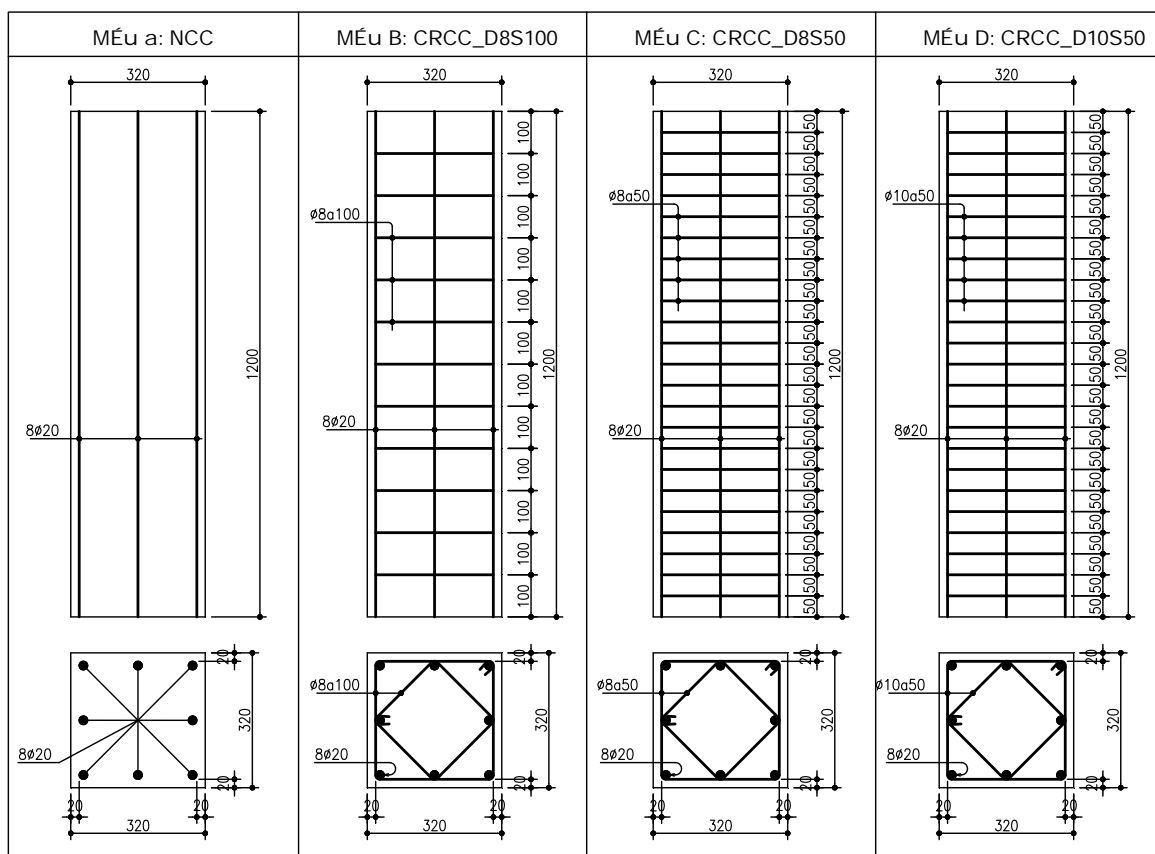
3.1.2. Mô hình cột

Để khảo sát sự làm việc của cấu kiện chịu nén đúng tâm, các mẫu cột ngắn sau đây được lựa chọn.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của các mẫu cột ngắn

| STT | Mẫu cột/mã hiệu | Kích thước | Cốt dọc | Cốt đai |
|-----|-----------------|-------------|-------------|--------------|
| 1 | A | NCC | 8 ϕ 20 | không |
| 2 | B | CRCC_D8S100 | 8 ϕ 20 | ϕ 8a100 |
| 3 | C | CRCC_D8S50 | 8 ϕ 20 | ϕ 8a50 |
| 4 | D | CRCC_D10S50 | 8 ϕ 20 | ϕ 10a50 |

Chi tiết các mẫu cột ngắn được thiết kế cụ thể như hình 7.



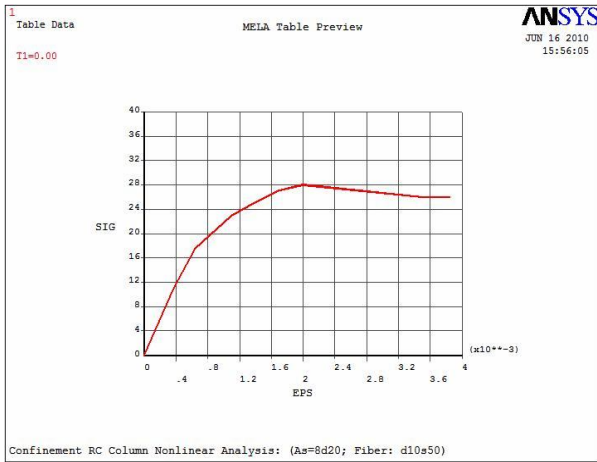
Hình 7. Chi tiết các mẫu cột ngắn

3.1.3. Mô hình hóa bằng ANSYS

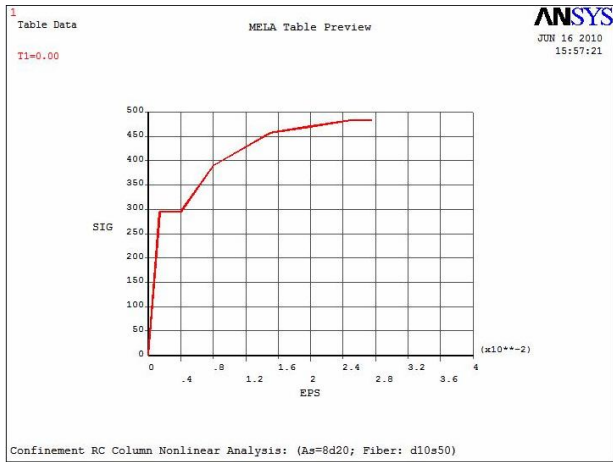
Mô hình hình học của cột được mô hình hóa trong ANSYS bằng các phần tử mẫu có sẵn. Bê tông được mô hình bằng phần tử khối “SOLID65”, chia lưới phần tử hình khối 6 mặt (Hexahedral-shaped elements) với kích thước 20x20x50mm. Cốt thép dọc và cốt đai được mô hình bằng phần tử thanh “LINK8”, dùng phần tử dạng LINK8 – 3D Spar, chia lưới kích thước 50mm. Liên kết của cột được mô hình hóa một đầu ngàm, một đầu tự do, chịu tải trọng nén dọc trục dạng phân bố đều đặt trên đầu cột.

Trong bài này, lực dính không được kể đến trong mô hình hóa vì trên thực tế chưa có số liệu thực nghiệm về vấn đề lực dính giữa bê tông và cốt thép. Để khắc phục điều đó, việc chia lưới phần tử được thực hiện ở dạng lưới nhỏ, do đó liên kết giữa các nút của phần tử rất gần nhau làm cho cốt thép và bê tông đồng thời làm việc được tốt hơn.

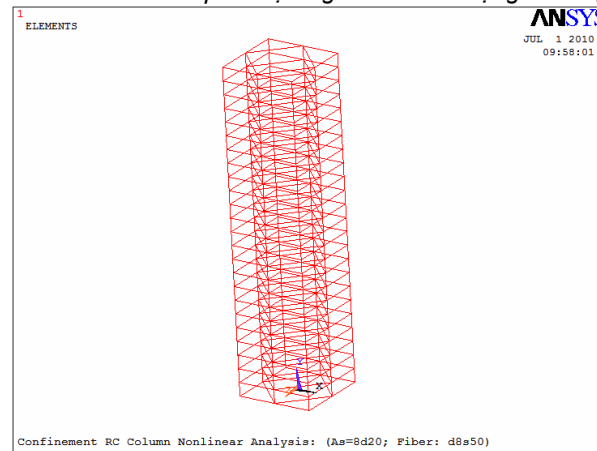
KHẢO SÁT – THIẾT KẾ XÂY DỰNG



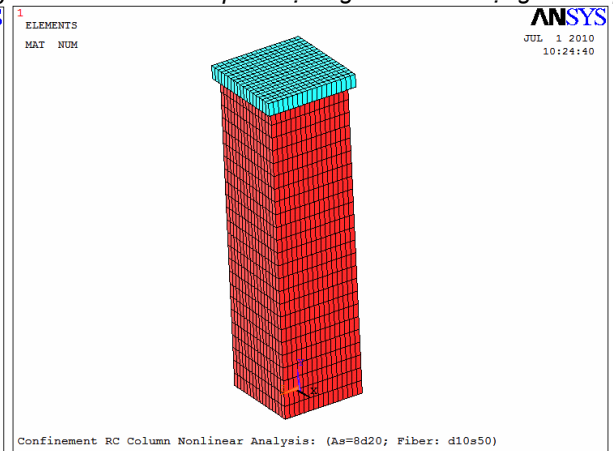
Hình 8. Khai báo quan hệ ứng suất - biến dạng bê tông



Hình 9. Khai báo quan hệ ứng suất- biến dạng cốt thép



Hình 10. Khai báo phần tử cốt thép

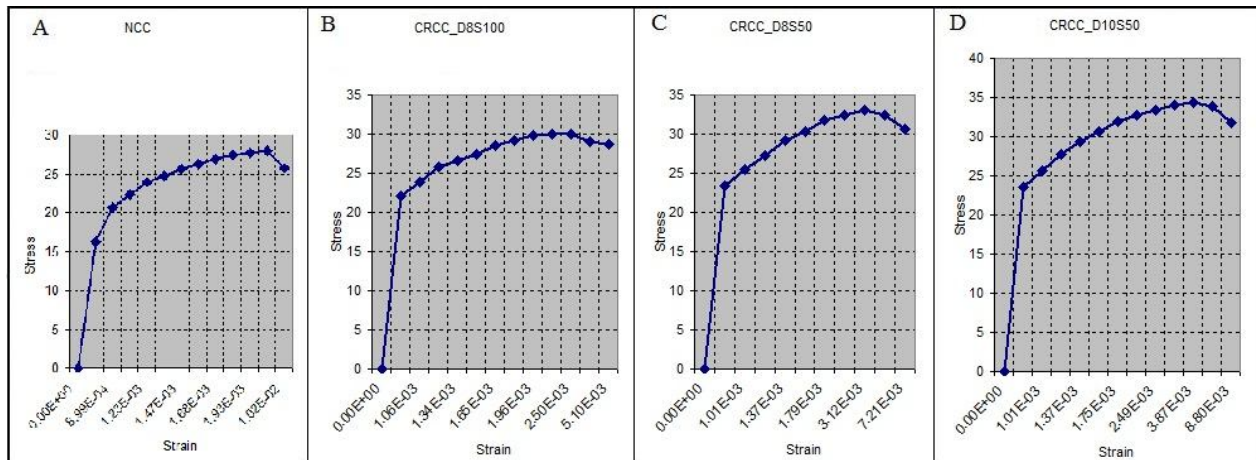


Hình 11. Khai báo và chia lưới phần tử bê tông

3.2. Ảnh hưởng của cốt đai

3.2.1. Kết quả khảo sát bằng ANSYS

Các mẫu cột được khảo sát trên nhiều cấp tải khác nhau. Tương ứng với mỗi cấp tải, có thể xác định được các đại lượng sau đây: ứng suất trong cốt dọc f_s (MPa); ứng suất trong cốt đai f_h (MPa); ứng suất trong bê tông f'_c (MPa) và biến dạng tương đối ε'_c (MPa). Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông hạn chế nở hông do các trường hợp bố trí cốt đai khác nhau gây ra, được thể hiện trên hình 12.



Hình 12. Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông hạn chế nở hông do các trường hợp cốt đai gây ra

KHẢO SÁT – THIẾT KẾ XÂY DỰNG

3.2.2. Kết quả tính toán theo mô hình của Légeron và Paultre

$$f'_{cc} = [1 + 2.4(I'_e)^{0.7}]f'_c; \quad \varepsilon'_{cc} = [1 + 35(I'_e)^{1.2}]\varepsilon'_c$$

Bảng 2. Kết quả tính toán theo Légeron và Paultre

| STT | Mẫu cột | Cốt đai | K_e | ρ_{sey} | f'_h (MPa) | f'_{le} (MPa) | I'_e (MPa) | f'_{cc} (MPa) | ε'_{cc} |
|-----|---------|---------------|--------|--------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 1 | A | Không | - | - | - | - | - | 28 | 0,002 |
| 2 | B | $\phi 8a10_0$ | 0,8799 | 0,00269 | 110 | 0,296 | 0,011 | 30,7821 | 0,0023 |
| 3 | C | $\phi 8a50$ | 0,9676 | 0,00592 | 117 | 0,693 | 0,025 | 33,0434 | 0,0028 |
| 4 | D | $\phi 10a5_0$ | 0,9712 | 0,00928 | 109 | 1,012 | 0,036 | 34,5764 | 0,0033 |

3.2.3. So sánh kết quả

So sánh ứng suất cực hạn và biến dạng tương đối từ kết quả khảo sát bằng ANSYS và kết quả tính toán theo mô hình của Légeron được thể hiện như bảng 3.

Bảng 3. So sánh kết quả khảo sát và tính toán

| STT | Mẫu cột | Theo ANSYS | | Theo Légeron | |
|-----|---------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | f'_{cc} (MPa) | ε'_{cc} | f'_{cc} (MPa) | ε'_{cc} |
| 1 | B | 30.021 | 0.0025 | 30.78 | 0.0023 |
| 2 | C | 33.002 | 0.0031 | 33.04 | 0.0028 |
| 3 | D | 34.391 | 0.0039 | 34.58 | 0.0033 |

4. Nhận xét và kết luận

4.1. Nhận xét

- Áp lực ngang do cốt đai gây ra có ảnh hưởng đến sự phân bố ứng suất – biến dạng trong bê tông và cốt thép, đồng thời có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu nén của cột bê tông cốt thép và độ dẻo của vật liệu. Cốt đai bố trí càng dày và đường kính càng lớn thì biến dạng dọc trục của cột bê tông càng giảm, và khả năng chịu nén của cột tăng lên;

- Kết quả khảo sát bằng ANSYS là khá phù hợp với các mô hình lý thuyết, thực nghiệm. Như vậy, có thể sử dụng phần mềm ANSYS để giải quyết các bài toán tương tự nhằm giảm bớt khối lượng nghiên cứu thực nghiệm.

4.2. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu này cho thấy, khả năng chịu nén của bê tông hạn chế nở hông bởi cốt đai tăng lên khoảng 7% - 23%, tùy thuộc vào cách bố trí cốt đai. Việc nghiên cứu một cách cụ thể, có hệ thống sự ảnh hưởng của cách bố trí cốt đai đến cường độ bê tông hạn chế nở hông là rất cần thiết, làm căn cứ để thiết kế các cấu kiện chịu nén trong kết cấu công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. VŨ QUỐC ANH, Tính kết cấu bằng phần mềm ANSYS, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2006.
2. LÊ NGỌC HỒNG, Cơ sở cơ học môi trường liên tục và lý thuyết đàn hồi, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
3. THÁI ĐỨC KIÊN, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng Hà Nội, 2010.

4. NGUYỄN TRUNG HÒA, Tiêu chuẩn châu Âu Eurocode EN 1992 -1 -1, thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2006.
5. F. LE´GERON and P. PAULTRE, Uniaxial Confinement Model for Normal- and High-Strength Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, (2), 241-252, 2003.
6. K.SHARMA, P. BHARGAVA, P. SHINGH and K. KAUSHIK, Confinement Reinforcement Design for Plain and Fibre Reinforced High Strength Concrete Columns, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 5, (1), 113-127, 2007.
7. R. EID, A.N. DANCYGIER, Confinement effectiveness in circular concrete columns, *Journal of ScienceDirect, Engineering Structures* 28, 1885–1896, 2006.
8. J. MOKARI and A.S.MOGHADAM, Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Columns with Poor Confinement Retrofitted by Thermal Post Tension Steel Jacketing, *Journal of Applied Sciences* 8 (24), 4579 – 4586, 2008.
9. GUPTA A.K. and AKBAR H., A Finite Element for the Analysis of Reinforced Concrete Structures, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* (19), 1705 – 1712, 1983.
10. TCXDVN 356 : 2005, Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép.