

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CHIỀU DÀY SÀN PHẪNG ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA LIÊN KẾT CỘT - SÀN

ThS. Nguyễn Thị Thu Hương

Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Trong kết cấu nhà nhiều tầng, sử dụng bê tông cường độ cao cho cột và bê tông có cường độ nhỏ hơn cho sàn phẳng sẽ đưa đến hiệu quả kinh tế đáng kể. Bài báo trình bày việc áp dụng mô hình phi tuyến của vật liệu theo phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm ANSYS nhằm đánh giá ảnh hưởng của chiều dày sàn đến khả năng chịu lực của cột bị xen kẹt bởi lớp bê tông sàn yếu hơn.

Summary: In multistory reinforced concrete building structures, using high strength concrete for column and lower strength concrete for slab leads to profit economy. This paper presents how to simulate nonlinear concrete models by finite element method with using the Ansys program to study the effect of slab thickness to column-slab joint strength.

1. Đặt vấn đề

Trong kết cấu nhà nhiều tầng bằng bê tông cốt thép, việc sử dụng kết hợp cột có bê tông cường độ cao với sàn có cường độ bê tông thấp hơn sẽ đem lại hiệu quả kinh tế đáng kể. Sử dụng cột bê tông cường độ cao sẽ làm giảm đáng kể kích thước tiết diện cột, do đó làm tăng không gian sử dụng.

Để thuận tiện cho thi công, người ta thường đổ bê tông cột từ cốt sàn tầng dưới tới đáy của sàn tầng trên, sau đó đổ bê tông cho toàn sàn, qua cả vùng cột. Kết quả là tại các vùng liên kết cột - sàn, bê tông nằm giữa hai phần cột trên và dưới có cường độ bê tông nhỏ hơn. Như vậy, tải trọng dọc trục từ phần cột trên phải truyền qua lớp bê tông có cường độ thấp hơn trước khi truyền xuống phần cột dưới. Khi thiết kế cột giữa bị xen kẹt bởi phần bê tông sàn có cường độ chịu nén thấp hơn, nút liên kết được coi là bị kiểm chế nở hông do các ngăn cản của sàn theo phương ngang xung quanh nút gây ra bởi ứng suất tác dụng trong mặt phẳng sàn. Do đó, nút có khả năng chịu ứng suất nén lớn hơn cường độ chịu nén của bê tông sàn (cường độ mẫu không bị kiểm chế nở hông). Cường độ bê tông tại nút liên kết được tăng lên, định nghĩa là *cường độ chịu nén hiệu quả, f'_{ceff}* .

Bài báo trình bày việc áp dụng mô hình phi tuyến của vật liệu bằng phần mềm Ansys để phân tích sự làm việc của nút liên kết cột - sàn nhằm đánh giá ảnh hưởng của chiều dày sàn đến khả năng chịu lực của cột khi bị xen kẹt bởi lớp bê tông sàn yếu hơn. Đây là chương trình tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn có khả năng mô phỏng sự làm việc của vật liệu bê tông, cốt thép và đã được kiểm chứng độ chính xác từ nhiều nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm ([4], [8], [9]).

2. Tổng quan về các nghiên cứu liên kết cột - sàn

2.1. Bianchini, Woods và Kesler (1960)

Bianchini và các cộng sự [5] đã tiến hành làm thí nghiệm 45 mẫu liên kết cột - sàn chịu tải trọng dọc trục tác dụng lên cột, trong đó có cả cột góc, cột biên và cột giữa. Dựa vào các kết

qua thí nghiệm, họ kết luận rằng không xảy ra giảm cường độ của cột trong liên kết cột - sàn khi tỷ số cường độ bê tông cột f'_{cc} / cường độ bê tông sàn f'_{cs} , không vượt quá 1,4 cho cột góc và cột biên và 1,5 cho cột giữa. Khi f'_{cc}/f'_{cs} vượt quá giá trị này, cần thiết phải điều chỉnh cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết.

2.2. Tiêu chuẩn ACI 318-02

Theo kết quả thí nghiệm của Bianchini, ACI 318-02 [1] quy định cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết cột giữa như sau:

$$f'_{ceff} = f'_{cc} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} \leq 1,4 \quad (1)$$

$$f'_{ceff} = 0,75f'_{cc} + 0,35f'_{cs} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} > 1,4 \quad (2)$$

2.3. Gamble và Klinar (1991)

Gamble và Klinar [2] đã thí nghiệm 6 mẫu cột biên và 6 mẫu cột giữa. Kết quả cho thấy rằng khi tỷ số f'_{cc}/f'_{cs} lớn hơn 1,4 thì tiêu chuẩn ACI đánh giá quá cao cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết, như vậy là không an toàn. Công thức được đề xuất cho cột giữa như sau:

$$f'_{ceff} = f'_{cc} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} \leq 1,4 \quad (3)$$

$$f'_{ceff} = 0,47f'_{cc} + 0,67f'_{cs} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} > 1,4 \quad (4)$$

2.4. Tiêu chuẩn Canada CSA A23.3-94

Tiêu chuẩn Canada [7] quy định đối với cột giữa:

$$f'_{ceff} = f'_{cc} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} \leq 1,4 \quad (5)$$

$$f'_{ceff} = 0,25f'_{cc} + 1,25f'_{cs} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} > 1,4 \quad (6)$$

2.5. Ospina và Alexander (1997)

Các công thức kiến nghị đề cập ở trên áp dụng cho trường hợp sàn không có tải trọng. Khi xét đến ảnh hưởng của tải trọng sàn, từ kết quả thí nghiệm Ospina và Alexander [5] đã kiến nghị công thức xác định cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết như sau:

$$f'_{ceff} = f'_{cc} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} \leq 1,4 \quad (7)$$

$$f'_{ceff} = \left(\frac{0,25}{h/c} \right) f'_{cc} + \left(1,4 - \frac{0,35}{h/c} \right) f'_{cs} \quad \text{khi} \quad \frac{f'_{cc}}{f'_{cs}} > 1,4 \quad (8)$$

Trong đó: h là chiều dày sàn, c là bề rộng cột.

2.6. McHarg (2000)

McHarg [2] đã tiến hành thí nghiệm 12 mẫu cột giữa, từ đó kết luận rằng các vùng sàn xung quanh nút có tác dụng kiềm chế nở ngang bê tông, do đó làm tăng cường độ của nút liên

kết và tăng tính dẻo. Khi hàm lượng cốt thép bố trí phía trên sàn quanh cột tăng cũng như khi khoảng cách giữa các cốt thép này giảm thì cũng làm tăng cường độ chịu nén hiệu quả của nút. Kết quả cũng cho thấy rằng công thức của Ospina và Alexander đánh giá cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết phù hợp hơn công thức của ACI 318-02 và CSA A23.3-94.

2.7. Abid A. Shah, Joerg Dietz, Nguyen V. Tue, Gert Koenig (2005) – [2]

Từ kết quả thí nghiệm 8 mẫu cột tương tự như thí nghiệm của McHarg, đã kiến nghị một công thức tính cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết như sau:

$$f'_{ceff} = 0,35f'_{cc} + 0,384 \left(\frac{\rho + 4,12}{h/c + 1,47} \right) \cdot \lambda \cdot f'_{cs} \quad (9)$$

Trong đó: ρ là hàm lượng cốt thép sàn tại vùng nút liên kết.

λ là hệ số xét đến ảnh hưởng hạn chế nở ngang của các vùng sàn xung quanh cột.

$$\lambda = \frac{f_c(\text{Interior})}{f_c(\text{Sandwich})} \quad (10)$$

Với: $f_c(\text{Interior})$ được xác định bằng tải trọng phá hoại của cột có các vùng sàn xung quanh chia cho diện tích mặt cắt ngang của cột.

$f_c(\text{Sandwich})$ được xác định bằng tải trọng phá hoại của cột không có các vùng sàn xung quanh chia cho diện tích mặt cắt ngang của cột.

Từ các nghiên cứu thực nghiệm và tiêu chuẩn đã có rút ra các nhận xét sau:

- Các nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra rằng cường độ của cột khi có sự xen kẹt của lớp bê tông sàn yếu hơn phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như cường độ của bê tông cột, sàn, ảnh hưởng kiềm chế vùng nút của vùng sàn xung quanh, tỷ số giữa h/c , tải trọng tác dụng trên sàn, hàm lượng cốt thép sàn.

- Công thức tính cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết được đưa ra trong tiêu chuẩn ACI 318-02 và tiêu chuẩn Canada CSA A23.3-94 tuy đơn giản, dễ sử dụng nhưng trong một số trường hợp là chưa thiên về an toàn và chưa xét được các yếu tố ảnh hưởng như tỷ số h/c , hàm lượng cốt thép sàn...

- Để có thể đánh giá được các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ chịu nén hiệu quả của nút liên kết cần tiến hành nhiều thực nghiệm và lý thuyết. Một hướng đi song song với các thực nghiệm là áp dụng mô hình phi tuyến của vật liệu trong phân tích sự làm việc của nút liên kết. Hướng đi này hiện rất được quan tâm phát triển trên thế giới.

3. Khảo sát sự làm việc của nút liên kết bằng phần mềm Ansys

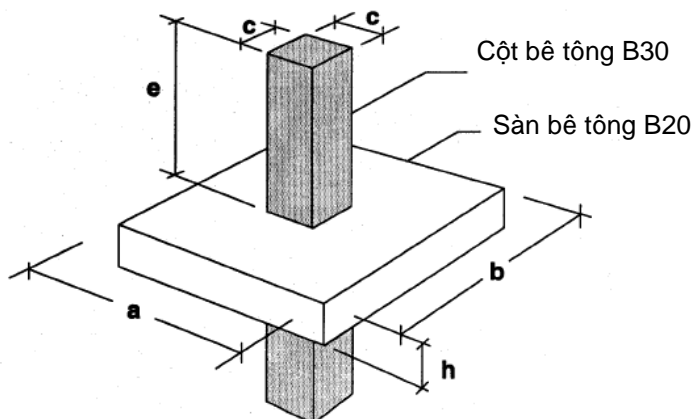
3.1. Mô hình tính toán

Mô hình tính toán được lấy theo số liệu nghiên cứu thực nghiệm ([2], [5]).

Khảo sát các trường hợp cột có bản sàn xung quanh (Cột 1, 2, 3, 4 – xem hình 1) và không có sàn xung quanh (Cột A - xem hình 2a, Cột B, C, D, E – xem hình 2b). Cột được mô hình để chịu tải trọng đúng tâm tại mặt trên của cột, mặt dưới được liên kết ngàm. Cột A là cột bê tông đồng nhất có cường độ chịu nén B30. Cột 1 ÷ 4 và B ÷ E có bê tông cột B30 và bê tông sàn B20 ($f'_{cc} / f'_{cs} = 1,5$). Các số liệu hình học của mô hình được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Số liệu mẫu khảo sát

Tên cột	Kích thước cột c (mm)	Chiều cao (mm)	e (mm)	Chiều dày sàn h (mm)	Kích thước bản a x b (mm)
Cột A	200 x 200	920	-	-	-
Cột B	200 x 200	920	410	100	-
Cột 1	200 x 200	920	410	100	800 x 800
Cột C	200 x 200	920	400	120	-
Cột 2	200 x 200	920	400	120	800 x 800
Cột D	200 x 200	920	390	140	-
Cột 3	200 x 200	920	390	140	800 x 800
Cột E	200 x 200	920	380	160	-
Cột 4	200 x 200	920	380	160	800 x 800



Hình 1. Cột có bản sàn xung quanh (Cột 1, 2, 3, 4)

+ Các thông số về vật liệu được khai báo như sau:

• Bê tông cột B30:

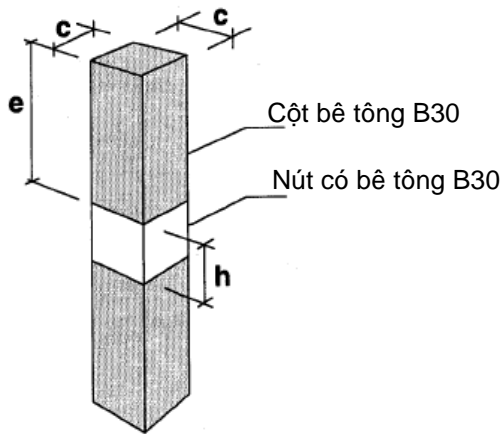
- Đường cong ứng suất - biến dạng (tính theo ACI 318-02) như hình 3:

$$f'_c = \varepsilon \cdot E_c \text{ khi } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \text{ với } \varepsilon_1 \text{ là biến dạng tương ứng với } 0,3f'_c$$

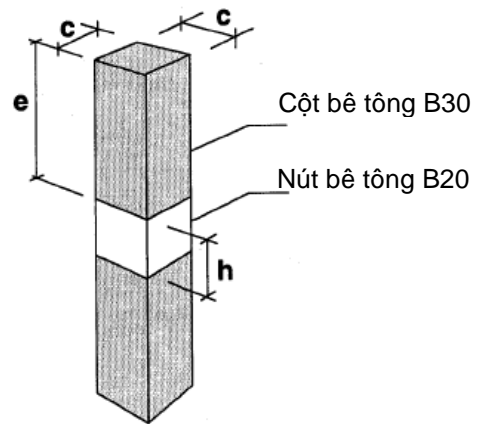
$$f'_c = \frac{\varepsilon \cdot E_c}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}\right)^2} \text{ khi } \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_o \text{ với } \varepsilon_o = \frac{2f'_c}{E_c}$$

- Mô đun đàn hồi của bê tông $E_c = 31000 \text{ MPa}$, Cường độ chịu nén $f'_c = 25 \text{ MPa}$.

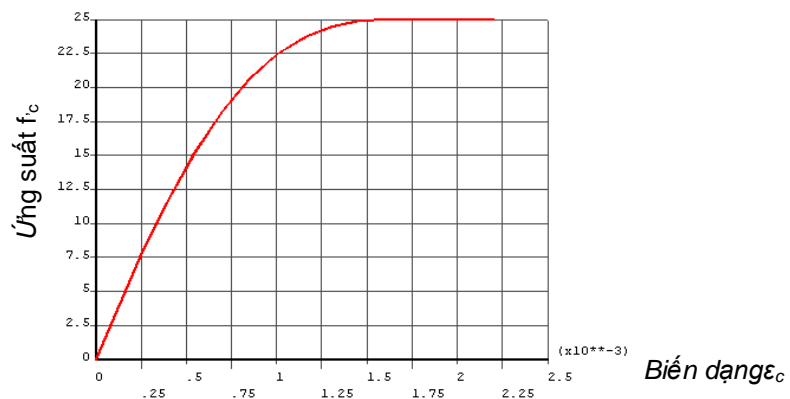
- Ứng suất kéo tới hạn $f_r = 0,623\sqrt{f'_c} = 3,115 \text{ MPa}$, Hệ số Poisson = 0,2.



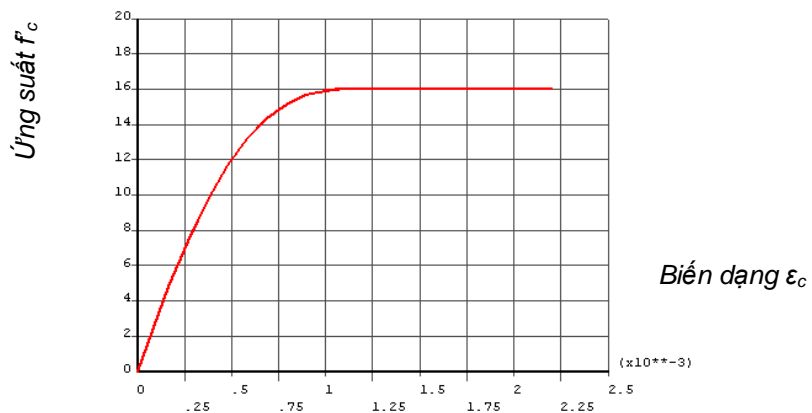
Hình 2a. Cột không có bản sàn xung quanh (Cột A)



Hình 2b. Cột không có bản sàn xung quanh (Cột B, C, D, E)



Hình 3. Đường cong ứng suất – biến dạng của bê tông B30

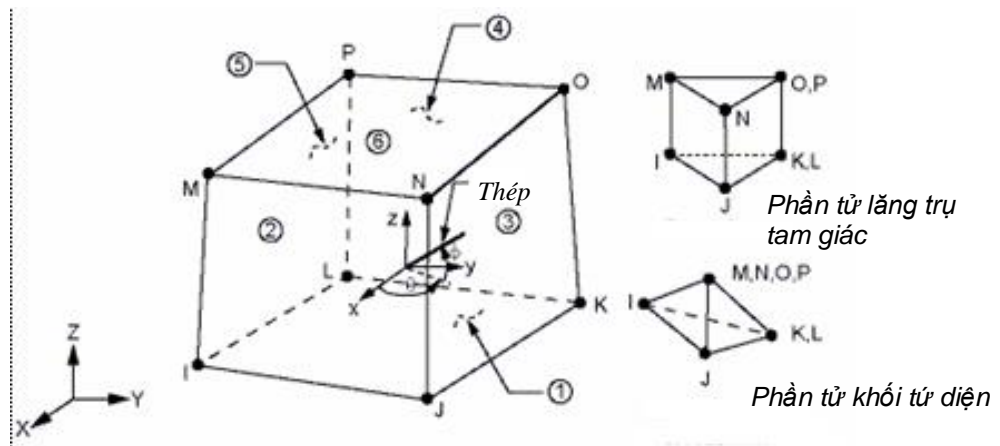


Hình 4. Đường cong ứng suất – biến dạng của bê tông B20

- Bê tông sàn B20:
 - Đường cong ứng suất - biến dạng (tính theo ACI 318-02) như hình 4.
 - Mô đun đàn hồi của bê tông $E_c = 29000 \text{ MPa}$, Cường độ chịu nén $f'_c = 16 \text{ MPa}$.
 - Ứng suất kéo tới hạn $f_r = 0,623\sqrt{f'_c} = 2,492 \text{ MPa}$, Hệ số Poisson = 0,2.

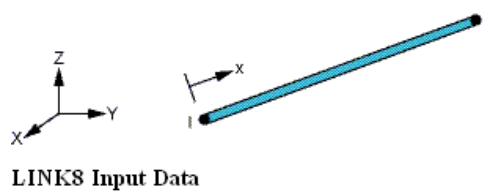
3.2. Phân tích bằng Ansys

+ *Mô hình hóa phần tử hữu hạn kết cấu*: Mô hình vật liệu bê tông sử dụng phần tử SOLID65 (hình 5). Đây là phần tử 8 nút, mỗi nút có 3 bậc tự do là các chuyển vị thẳng theo phương x, y, z. Với phần tử này có thể xét đến xảy ra nứt trong vùng kéo, ép vỡ trong vùng nén, biến dạng dẻo và từ biến.



Hình 5. Phần tử SOLID65

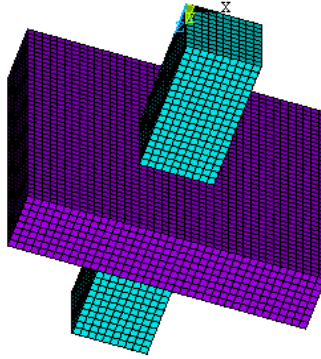
Mô hình vật liệu cốt thép sử dụng phần tử LINK8 (hình 6). Đây là phần tử chịu kéo, nén dọc trục, gồm có 2 nút, mỗi nút có 3 bậc tự do là các chuyển vị thẳng theo phương x, y, z.



Hình 6. Phần tử LINK8

Để đánh giá sự hội tụ của các kết quả tính đã sử dụng các lưới chia phần tử khác nhau. Khảo sát với mức độ tăng dần độ mịn của các phần tử. Các kết quả tính được ghi nhận và so sánh với nhau. Kết quả tính xem như là chấp nhận được với lưới chia phần tử có kích thước là 20x20mm. Lưới chia các phần tử được thể hiện trên hình 7.

+ *Khai báo tải trọng*: Mô hình tải trọng tác dụng lên cột bằng cách khai báo tải trọng phân bố đều lên mặt trên của cột. Tải trọng được tăng dần từng cấp cho tới khi biến dạng của một phần tử vượt quá biến dạng giới hạn của bê tông. Tải trọng này tương ứng với khả năng chịu lực của cột.



Hình 7. Sơ đồ chia lưới phần tử

3.3. Kết quả tính toán và nhận xét

Kết quả tính toán khả năng chịu lực của cột (tải trọng làm phá hoại cột) thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả khảo sát - $f'_{cc} / f'_{cs} = 1,5$

Tên cột	Tải trọng phá hoại (kN)	Tên cột	Tải trọng phá hoại (kN)	Tỷ số h/c
Cột A	1048			
Cột B	752	Cột 1	988	0,5
Cột C	736	Cột 2	952	0,6
Cột D	728	Cột 3	924	0,7
Cột E	720	Cột 4	900	0,8

Từ bảng kết quả, rút ra một số nhận xét sau:

- Chiều dày sàn có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của nút liên kết. Chênh lệch giữa khả năng chịu lực của cột 1 ($h_{sàn} = 100\text{mm}$) và cột 4 ($h_{sàn} = 160\text{mm}$) là 8%.

- Chênh lệch giữa khả năng chịu lực của cột 1 (có sàn xung quanh) và cột B (không có sàn xung quanh) là 23,88% ; giữa cột 2 và cột C là 22,69%; giữa cột 3 và cột D là 21,21%; giữa cột 4 và cột E là 20%. Như vậy, khả năng chịu lực của nút liên kết được tăng lên khi vùng nút được hạn chế nở ngang bởi các vùng bản xung quanh, khoảng 20%.

- Kết quả tính toán theo Ansys là phù hợp với các kết luận từ các nghiên cứu thực nghiệm ([2], [5]). Như vậy có thể sử dụng Ansys để kiểm chứng các nghiên cứu lý thuyết hoặc như một công cụ nhằm giảm khối lượng thực nghiệm.

4. Kết luận

Các kết quả khảo sát bằng mô hình phi tuyến của vật liệu trong bài báo cho thấy khi cột bị xen kẹp bởi lớp bê tông sàn yếu hơn thì tỷ số chiều dày sàn h chia cho bề rộng cột c (h/c) có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của cột, khi tỷ số này tăng lên thì khả năng chịu lực của cột bị giảm xuống. Việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn phi tuyến trong phân tích kết cấu như phần mềm Ansys là rất cần thiết nhằm đánh giá sự làm việc của kết cấu bê tông cốt thép, có thể phát triển hướng đi này như là một công cụ hữu hiệu để đánh giá một cách tổng quát hơn khả năng làm việc của nút liên kết cột - sàn phẳng.

Tài liệu tham khảo:

1. *ACI 318-02*, section 10.15.
2. Abid A.Shah, Joerg Dietz, Nguyen V.Tue, Gert Koenig (2005), "Experimental investigation of Column–Slab Joint", *ACI Structural Journal* , 102-S11, 2005.
3. Antonio F. Barbosa, Gabriel O. Ribeiro (1998), "Analysis of reinforced concrete structures using Ansys nonlinear concrete model" , *Computation mechanics*, Spain.
4. Benjamin M. Schlick, *Finite element analysis of reinforced concrete bridge pier columns subjected to seismic load*, University of Massachusetts Amherst.
5. Carlos E. Ospina & Scott D.B. Alexander (1997), "Transmission of high strength concrete column loads through concrete slabs", *Structural Engineering Report*, University of Alberta, No. 214.
6. Chuan-Chien Shu, Neil M.Hawkins (1992), "Behavior of columns continuous through concrete floors", *ACI Structural Journal* , 89-S40.
7. *CSA A23.3-M84*, section 10.13.
8. Oregon Department of Transportation Research Group (2001), *Finite element modeling of reinforced concrete structures strengthened with FRP laminates*.
9. Tavio, T., Tata, A. (2009), "Predicting nonlinear behaviour and Stress-Strain relationship of rectangular confined reinforced concrete columns with Ansys", *Civil Engineering Dimension*, Vol. 11, No.1.
10. Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Cống (2008), *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*, Nxb Khoa học Kỹ thuật.
11. TCXDVN 356:2005, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, tiêu chuẩn thiết kế*.