



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHÒNG SỐ CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN CHỮ L CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

Nguyễn Văn Hùng^{1*}, Nguyễn Xuân Huy², Phạm Xuân Đạt³

Tóm tắt: Trong nhà cao tầng bê tông cốt thép (BTCT), cột tiết diện chữ L mang đến hiệu quả cao trong việc tăng độ cứng tổng thể và không gian sử dụng cho công trình. Tuy nhiên, nhược điểm của cột BTCT tiết diện chữ L đó là ứng xử sau đàn hồi. Khi cột chịu tải trọng đứng và ngang lớn, cột có thể bị mất ổn định và phá hoại. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Nghiên cứu thực nghiệm cột BTCT chữ L thu nhỏ $\frac{1}{2}$ so với nguyên mẫu chịu động đất được thí nghiệm đến phá hoại sử dụng bàn rung gia tốc. Mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) bằng phần mềm Midas Civil được thiết lập để mô phỏng sự làm việc của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Mô hình PTHH sau khi kiểm chứng với kết quả nghiên cứu thực nghiệm được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của các tham số như cường độ bê tông và cấu tạo cốt thép đến ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Dựa trên các kết quả phân tích, một số khuyến cáo cần thiết về thiết kế cột BTCT tiết diện chữ L sẽ được thảo luận.

Từ khóa: Cột bê tông cốt thép tiết diện chữ L; động đất; bàn rung; phi tuyến; độ cứng; phá hoại; Midas Civil; phần tử hữu hạn; cường độ bê tông; cấu tạo cốt thép.

Experimental and numerical study on seismic behavior of reinforced concrete L-shaped column

Abstract: In the reinforced concrete multi-story buildings, L-shaped columns provide high efficiency in increasing the overall flexural stiffness as well as usable space. However, the disadvantage of this type of vertical structural elements may be their post elastic behavior. When vertical and horizontal loads are large, these columns tend to be unstable due to their very thin and slender walls. This paper presents experimental and numerical investigation on L-shaped columns under the seismic action. In the experimental investigations, one-half scaled columns were tested to failure using one-direction shaking table. In numerical investigation, a finite element model, after being verified with the current experimental results, was used to investigate the effects of concrete strength and reinforcement ratios on the seismic behavior of RC L-shaped columns. Based on the research results, design recommendations for such type of columns are discussed.

Keywords: L-shaped reinforced concrete column; earthquake; shaking table; nonlinear; stiffness; collapse; Midas Civil; finite element; strength of concrete; reinforced structure.

Nhận ngày 18/6/2017; sửa xong 17/8/2017; chấp nhận đăng 28/02/2018

Received: June 18th, 2017; revised: August 17th, 2017; accepted: February 28th, 2018



1. Đặt vấn đề

Hiện nay cột BTCT tiết diện chữ L được sử dụng phổ biến trong nhà cao tầng BTCT vì các ưu điểm chính sau: (i) chiều cao cánh cột lớn nên momen kháng uốn của loại cột này là khá cao, từ đó làm tăng độ cứng tổng thể của kết cấu và giảm chuyển vị ngang công trình; (ii) cánh cột có chiều dày nhỏ, phần lớn được ẩn trong tường giúp nâng cao thẩm mỹ và tăng không gian sử dụng cho công trình. Tuy nhiên, nhược điểm của cột BTCT tiết diện chữ L có thể kể đến là ứng xử sau đàn hồi của cột. Khi cột chịu tải trọng đứng và tải trọng ngang lớn, ứng suất nén có thể làm cột mất ổn định và bị phá hoại. Ngoài ra, cột được cấu tạo từ các tấm có chiều dày nhỏ nên độ cứng kháng xoắn thấp, dẫn đến cột có thể bị phá hoại đột ngột do xoắn. Chính vì vậy, nghiên cứu nhằm đánh giá ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất mang tính cấp thiết trong giai đoạn hiện nay.

¹ ThS, Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng.

² PGS.TS, Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải.

³ TS, Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng.

* Tác giả chính. E-mail: hungxd08@gmail.com.

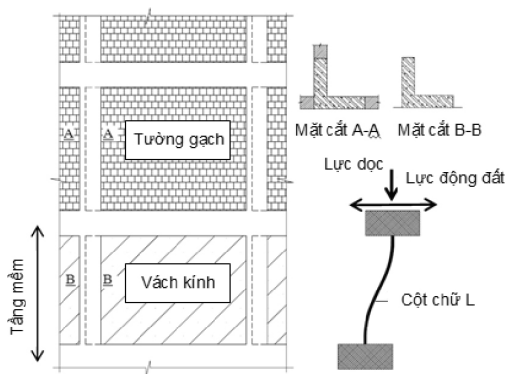
Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Nghiên cứu thực nghiệm cột BTCT tiết diện chữ L thu nhỏ $\frac{1}{2}$ so với nguyên mẫu chịu động đất được thí nghiệm đến phá hoại sử dụng bàn rung gia tốc. Mô hình PTHH bằng phần mềm Midas Civil được thiết lập để mô phỏng sự làm việc của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Mô hình PTHH sau khi kiểm chứng với kết quả nghiên cứu thực nghiệm sẽ được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của các tham số như cường độ bê tông và cấu tạo cốt thép đến ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất. Dựa trên các kết quả phân tích, một số khuyến cáo về thiết kế cột BTCT tiết diện chữ L sẽ được thảo luận.



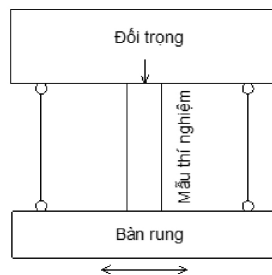
2. Nghiên cứu thực nghiệm

2.1 Thiết kế thí nghiệm

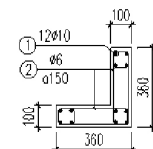
Một tòa nhà BTCT 9 tầng, dạng khung được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu. Tầng 1 tòa nhà có chức năng làm quán cafe với giải pháp bao che mặt đứng bằng kính trong khi các tầng còn lại làm căn hộ với tường bao và tường ngăn bằng gạch xây dày 200mm và 100mm. Khi xảy ra động đất, cột tầng một không có thêm hiệu ứng chống đỡ từ tường gạch là những cột ở trạng thái nguy hiểm nhất và sẽ xảy ra hiện tượng trượt cơ học do lực cắt dẫn đến cho phép chuyển vị ngang nhưng hạn chế chuyển vị xoay ở đỉnh cột [1-2]. Đây là giả thiết quan trọng giúp nhóm tác giả đề xuất sơ đồ thí nghiệm sát với sự làm việc thực tế của cột tầng một nhất: ngàm cứng tại chân cột và ngàm trượt tại đỉnh cột. Cơ cấu làm việc của cột tầng một thể hiện trên Hình 1. Sơ đồ thiết kế thí nghiệm thể hiện trên Hình 2.



Hình 1. Cơ cấu làm việc cột tầng 1



Hình 2. Thiết kế thí nghiệm



a) Bố trí cốt thép



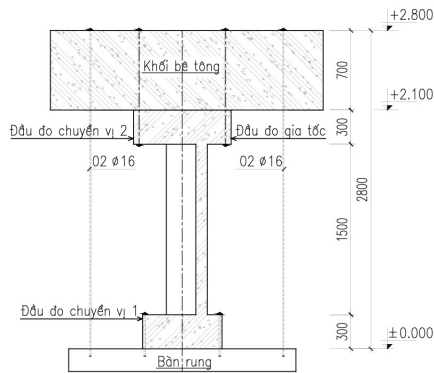
b) Đổ bê tông

Do giới hạn của bàn rung, kích thước mẫu được thu nhỏ $\frac{1}{2}$ so với nguyên mẫu theo nguyên tắc của lý thuyết mô hình hóa: giảm kích thước tiết diện theo tỷ lệ thu nhỏ và giữ nguyên hàm lượng cốt thép. Mẫu thí nghiệm được thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam [3-5] có kích thước mặt cắt ngang $360 \times 360 \times 100$ mm và cao 1500mm trong đó chân cột được đúc liền khối với bản đế kích thước $700 \times 700 \times 300$ mm và đỉnh cột đúc liền khối với bản mũ kích thước $700 \times 900 \times 300$ mm nhằm mục đích dễ dàng cấu tạo liên kết tại hai đầu cột. Cốt thép chịu lực $12\phi 10$ ($\mu = 1,5\%$) được bố trí tập trung tại vùng biên cánh cột và thép đai $\phi 6$ $a150$ mm. Giới hạn chảy và bền trung bình của cốt thép là 390 và 420 MPa. Cường độ chịu nén đặc trưng (f'_c) của mẫu thử bê tông hình trụ tròn có đường kính 15cm, cao 30cm được chế tạo và bảo dưỡng 28 ngày trong điều kiện tiêu chuẩn bằng 13,2MPa và mô đun đàn hồi bằng 24500MPa. Quá trình chế tạo mẫu thể hiện trên Hình 3.

2.2 Phương pháp thí nghiệm và thiết bị đo đạc

Để mô phỏng ứng xử của cột dưới tác động của động đất, chân cột được liên kết ngàm với bàn rung trong khi khối bê tông (Mass) bên trên được liên kết cứng với mũ cột bằng cách sử dụng các bu lông cường độ cao nhằm tạo ra lực nén dọc trục có giá trị tương đương $0,1f'_c A_g$ (trong đó A_g là diện tích mặt cắt ngang cột) và đồng thời đóng vai trò như một vật rắn tạo ra hiện tượng trượt cơ học do lực cắt. 04 thanh thép $\phi 16$ liên kết khớp với bàn rung và khối Mass làm cho đỉnh cột chỉ có chuyển vị theo phương ngang mà không có chuyển vị xoay tạo điều kiện biên ngàm trượt tại đỉnh cột. Sử dụng hai thiết bị LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) để đo chuyển vị ngang tại chân cột và đỉnh cột và một đầu đo gia tốc xác định giá trị gia tốc đỉnh cột để so sánh với giá trị gia tốc đầu vào trong quá trình thí nghiệm. Sơ đồ bố trí thí nghiệm và mặt đứng mẫu thể hiện trên Hình 4.

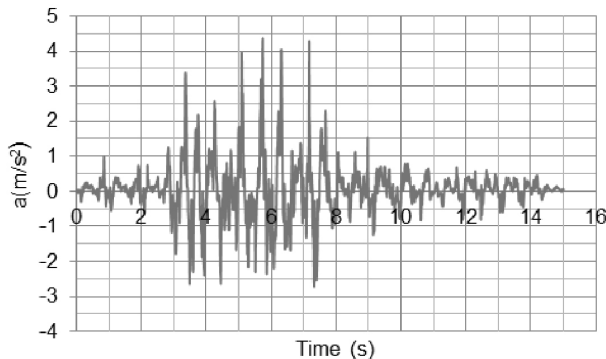
Với mỗi cấp thí nghiệm, ngoài lực dọc do trọng lượng bản thân cột và Mass, cột còn chịu thêm lực động đất theo một phương từ bàn rung trong khoảng thời gian 15 giây. Đỉnh gia tốc tăng dần từ cấp đầu tiên là $0,5\text{m/s}^2$ cho đến khi mẫu bị phá hoại.



Hình 4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm và mặt đứng mẫu

2.3 Kết quả thí nghiệm

Ở mỗi cấp thí nghiệm, các kết quả đo gồm: (i) chuyển vị ngang tại đỉnh và chân cột và (ii) gia tốc đỉnh cột. Sau mỗi bước gia tải, sự xuất hiện và phát triển của vết nứt được ghi lại trực tiếp trên mẫu. Thiết lập biểu đồ quan hệ giữa thời gian và gia tốc đỉnh cột ở cấp cuối cùng của thí nghiệm được thể hiện trên Hình 5. Hình 6 ghi lại trạng thái phá hoại của cột sau thí nghiệm.



Hình 5. Quan hệ giữa thời gian và gia tốc đỉnh cột
($a_{max} = 4,35 \text{ m/s}^2$)



Hình 6. Mẫu sau thí nghiệm

Bảng 1. Sự phát triển vết nứt và trạng thái phá hoại

STT	Chỉ tiêu	Nội dung / Giá trị
1	Trạng thái phá hoại	Phá hoại do cắt, xoắn và do lực nén vượt quá giới hạn tại vùng biên cánh cột cùng phương động đất - bê tông bị nén vỡ, cốt thép bị oằn do mất ổn định nén.
2	Gia tốc đỉnh khi mẫu bị phá hoại	4,35 (m/s^2)
3	Chuyển vị ngang lớn nhất	23,9 (mm)
4	Dạng vết nứt và thời điểm tương ứng	- Vết nứt ngang đầu tiên do uốn tại $1,36 \text{ m/s}^2$ ở chân cột tại vị trí cách khoảng $1/8$ chiều cao cột. - Vết nứt nghiêng đầu tiên do cắt tại $2,4 \text{ m/s}^2$.
5	Phát triển và phân bố vết nứt	- Khi động đất xảy ra (bàn rung hoạt động) - dao động tại chân cột có biên độ lớn nhất và có xu hướng giảm dần theo chiều cao cột làm vết nứt xuất hiện từ chân cột và phát triển đến $1/2$ chiều cao cột. - Hầu hết các vết nứt đều phát triển vào mặt trong cột.



3. Mô phỏng số

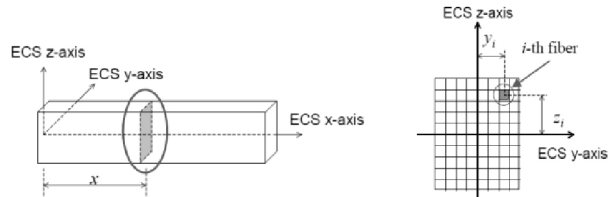
Do những hạn chế về mặt kinh phí và điều kiện thí nghiệm, việc thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất còn gặp nhiều khó khăn. Việc sử dụng phương pháp mô phỏng số dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn nhằm nghiên cứu sự làm việc của kết cấu BTCT là

phù hợp. Midas Civil là một trong các phần mềm PTHH đáp ứng được yêu cầu cho nghiên cứu sự làm việc của kết cấu BTCT ở các giai đoạn đàn hồi, sau đàn hồi và phá hoại được tác giả lựa chọn trong mô phỏng sự làm việc của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất.

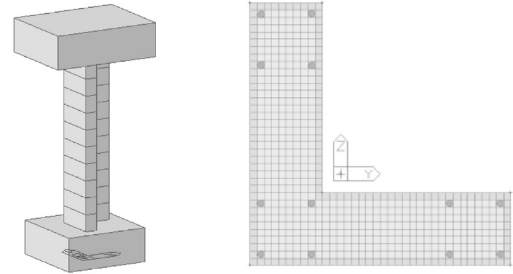
3.1 Giới thiệu mô hình

a) Phương pháp phân tích

Để mô hình hóa trạng thái làm việc của kết cấu, phần tử chia thớ Fiber [6] trong phần mềm Midas Civil được lựa chọn. Phương pháp này chia cấu kiện thành các phần tử và chia các phần tử thành các thớ chạy dọc phần tử và làm việc theo ứng suất dọc trục như thể hiện trên Hình 7. Bằng việc chia thớ mặt cắt, quan hệ mô men - độ cong của mặt cắt có thể được xác định chính xác hơn dựa trên giả thiết về mối quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu mô hình cho thớ và biểu đồ phân bố biến dạng của mặt cắt. Đặc biệt, việc sử dụng phương pháp chia thớ mặt cắt có ưu điểm xem xét đến sự dịch chuyển của trục trung hòa tùy thuộc vào lực dọc, giảm thời gian tính toán. Thiết lập mô hình PTHH cho mẫu thí nghiệm được thể hiện như trên Hình 8.



Hình 7. Sự rời rạc hóa trong mô hình chia thớ



Hình 8. Mô hình PTHH mẫu Hình 9. Mặt cắt phần tử chia thớ

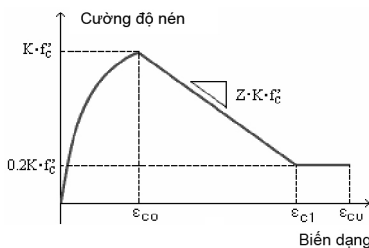
Để kể đến hiệu ứng kiềm chế nở ngang của cốt thép đai, lớp bê tông vỏ và bê tông lõi được xem xét riêng rẽ trong mô hình, trong đó lớp bê tông lõi có cường độ được nhân thêm với hệ số gia cường K [7] so với lớp bê tông vỏ ($K > 1$, phụ thuộc vào cường độ và hàm lượng cốt thép đai trong cột).

Lựa chọn kích thước phần tử theo mỗi phương là 10mm, số phần tử thuộc lớp bê tông vỏ là 140 phần tử và 480 phần tử đối với lớp bê tông lõi như thể hiện trên Hình 9.

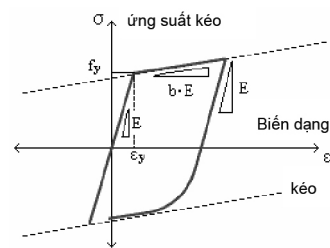
b) Mô hình vật liệu

Sử dụng đường cong mô tả quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu nén một trục của bê tông theo dạng phương trình tổng quát của Kent và Part [7] như Hình 10(a) để mô hình vật liệu bê tông. Mô hình bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông.

Mô hình cốt thép được lựa chọn để mô phỏng ứng xử của cốt thép chịu lặp là mô hình Pinto và Menegotto [8] như Hình 10(b).



a) Mô hình bê tông Kent & Part



b) Mô hình cốt thép Pinto & Menegotto

Hình 10. Mô hình vật liệu

c) Tải trọng tác dụng

Động đất tác dụng lên kết cấu theo một phương được mô phỏng bằng cách sử dụng một gia tốc đồ nhân tạo thu được từ thí nghiệm như thể hiện ở Hình 5. Sử dụng dạng phân tích phi tuyến, phương pháp phân tích là tích phân trực tiếp với số gia thời gian 0,02s và phương pháp gia tải giảm chấn với hệ số cản nhớt 5% trong phân tích thí nghiệm.

3.2 Kết quả mô phỏng số

Kết quả thu được từ mô phỏng số được so sánh với kết quả thu được từ thực nghiệm bao gồm biểu đồ quan hệ giữa thời gian và chuyển vị đỉnh cột và dạng phá hoại.

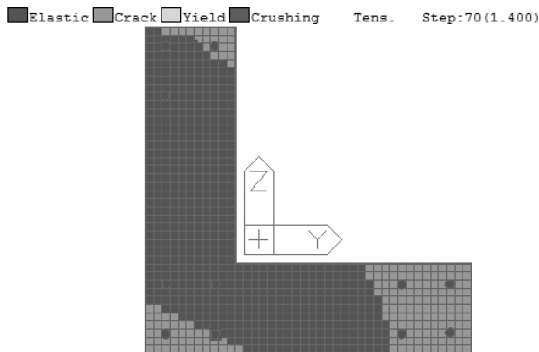
Biểu đồ trên Hình 11 thể hiện đồng thời quan hệ giữa chuyển vị đỉnh cột theo thời gian của nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số tại cùng cấp gia tải có gia tốc đỉnh lớn nhất $a = 4,35\text{m/s}^2$ ($\sim 0,45g$).

Có thể nhận thấy hai biểu đồ ở Hình 11 có dạng khá tương đồng nhau mặc dù tại một số thời điểm có sự chênh lệch nhưng trong phạm vi nhỏ. Điều này có thể được giải thích là do một số nguyên nhân sau: (i) Midas Civil không mô tả được cốt thép đai; (ii) Mô hình vật liệu bê tông và cốt thép sử dụng trong mô phỏng số mới chỉ phản ánh được một phần nhưng chưa đầy đủ các tính chất của vật liệu sử dụng trong thực tế và (iii) Điều kiện biên liên kết của mẫu thí nghiệm không hoàn toàn là ngàm ở chân cột và ngàm trượt tại đỉnh cột như trong mô phỏng.

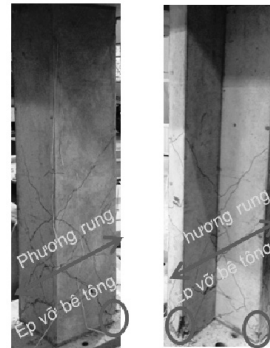
Dạng phá hoại tại mặt cắt chân cột thể hiện như Hình 12 và được so sánh với dạng phá hoại thực tế của cột tại cùng mức gia tốc đỉnh $a = 4,35\text{m/s}^2$ như Hình 13.

Quan sát trực quan có thể thấy kết quả thu được từ mô phỏng số đã phản ánh sát với kết quả thực nghiệm: bê tông bị phá hoại chủ yếu ở biên cánh cột theo phương rung, bê tông góc cột và vùng biên cánh cột còn lại bị phá hoại một phần. Dạng vết nứt bao gồm vết nứt nghiêng do cắt (chủ yếu) và ngang do uốn.

Qua phân tích trên có thể thấy, việc sử dụng phần mềm Midas Civil trong mô phỏng cột BTCT chịu động đất là tương đối trực quan. Kết quả phân tích về trạng thái phá hoại mẫu, quan hệ giữa thời gian và chuyển vị đỉnh cột thu được từ mô phỏng và thực nghiệm cho thấy tính phù hợp của kết quả mô phỏng. Do đó có thể sử dụng mô hình PTHH bằng phần mềm Midas Civil trong khảo sát ảnh hưởng của các tham số như cường độ bê tông và cấu tạo cốt thép đến ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất.



Hình 12. Phá hoại chân cột mẫu



Hình 13. Phá hoại mặt trong và mặt ngoài mẫu thí nghiệm



4. Khảo sát ảnh hưởng của các tham số đến ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất

Trong điều kiện công trình chịu động đất, hạn chế chuyển vị ngang tương đối giữa các tầng (chuyển vị lệch tầng) nhằm thỏa mãn yêu cầu hạn chế hư hỏng của công trình [5]. Nhằm đánh giá ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất (độ cứng cột) tham số chuyển vị lệch tầng được xem xét tới và xác định như dưới đây:

$$drift_i = \frac{\Delta_{dc}^i - \Delta_{cc}^i}{h_c} \cdot 100\% \quad (1)$$

trong đó: $drift_i$ là chuyển vị lệch tầng tại cấp gia tốc thứ i ; Δ_{dc}^i là chuyển vị ngang đỉnh cột lớn nhất tại cấp gia tốc thứ i ; Δ_{cc}^i là chuyển vị ngang chân cột lớn nhất tại cấp gia tốc thứ i ; h_c là chiều cao cột.

Các mô hình khảo sát dưới đây có cùng kích thước hình học (tiết diện mặt cắt ngang chữ L - $360 \times 360 \times 100\text{mm}$; chiều cao cột $h_c = 1500\text{mm}$), cốt thép chịu lực $12\text{Ø}10$ ($\mu = 1,5\%$), thép đai $\text{Ø}6\text{a}150$ và điều kiện biên.

4.1 Ảnh hưởng của cường độ bê tông

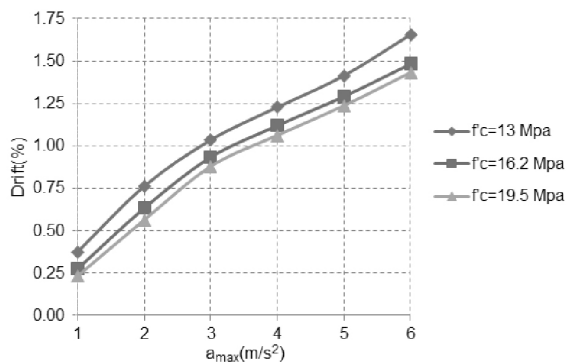
Khảo sát ba mô hình có cốt thép bố trí tập trung tại vùng biên nhưng cường độ bê tông (f'_c) thay đổi lần lượt là: 13 MPa (M200); 16,2 MPa (M250) và 19,5 MPa (M300) [4].

Quan hệ giữa chuyển vị lệch tầng với gia tốc đỉnh trong các trường hợp khảo sát tại các mức gia tốc khác nhau được thiết lập thể hiện như Hình 14. Các kết quả thu được cho thấy khi tăng cường độ bê tông sẽ làm chậm lại sự hình thành vết nứt và tăng độ cứng của cột, từ đó làm giảm chuyển vị lệch tầng.

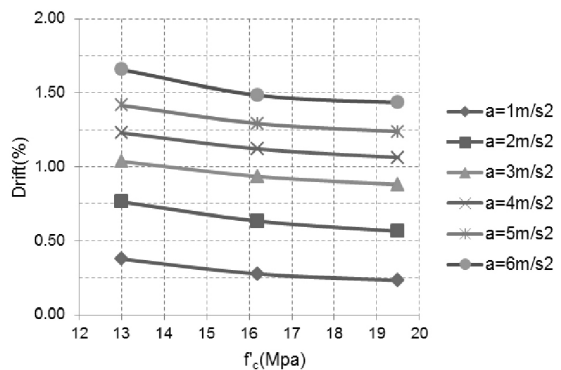
Thiết lập đường cong thể hiện mối quan hệ giữa cường độ bê tông và chuyển vị lệch tầng tại các mức gia tốc khác nhau như Hình 15. Có thể thấy ở tất cả các mức gia tốc, độ dốc của biểu đồ khi f'_c thay đổi từ 13MPa lên 16,2MPa đều lớn hơn so với khi f'_c thay đổi từ 16,2MPa lên 19,5MPa. Từ đó có thể rút ra rằng, khi cường độ bê tông thay đổi ở cấp thấp hơn thì hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng mang lại cao hơn so với khi cường độ bê tông thay đổi ở cấp cao hơn.

4.2 Ảnh hưởng của cấu tạo cốt thép

Khảo sát trên hai mô hình có cùng mức bê tông M200 nhưng cấu tạo cốt thép khác nhau: (i) thép chịu lực bố trí tập trung tại vùng biên như Hình 16(a) và (ii) bố trí phân bố đều như Hình 16(b). Quan hệ giữa chuyển vị lệch tầng với gia tốc đỉnh trong các trường hợp phân tích được thể hiện trên Hình 17.



Hình 14. Ảnh hưởng của cường độ bê tông đến chuyển vị lệch tầng



Hình 15. Hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng khi tăng cường độ bê tông

Có thể nhận thấy, cấu tạo cốt thép có ảnh hưởng rõ ràng đến độ cứng của cột: tại cùng mức gia tốc đỉnh, chuyển vị lệch tầng giảm đáng kể khi cốt thép chịu lực được bố trí tập trung tại vùng biên so với bố trí cốt thép phân bố.

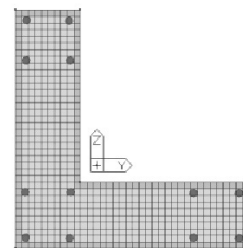
Ngoài ra, nhằm đánh giá hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng (tăng độ cứng cột) khi thay đổi các tham số khảo sát, số gia chuyển vị lệch tầng được so sánh trong các trường hợp phân tích tại cùng mức gia tốc đỉnh và được xác định như biểu thức dưới đây:

$$Effective_i = \frac{drift_i^j - drift_i^k}{drift_i^k} \cdot 100\% \quad (2)$$

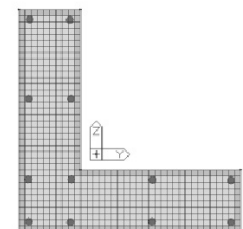
trong đó: $effective_i$ là hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng tại cấp gia tốc thứ i khi thay đổi trạng thái khảo sát từ “ k ” sang “ j ”; $drift_i^j$ là chuyển vị lệch tầng tại cấp gia tốc thứ i ở trạng thái khảo sát “ j ”; $drift_i^k$ là chuyển vị lệch tầng tại cấp gia tốc thứ i ở trạng thái khảo sát “ k ”.

Hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng khi thay đổi bố trí cốt thép phân bố sang bố trí cốt thép tập trung ở các mức gia tốc khác nhau được đánh giá và thể hiện trên Hình 18.

Qua phân tích trên có thể thấy ở mức gia tốc đỉnh càng lớn thì hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng do cốt thép bố trí tập trung vùng biên càng được phát huy so với bố trí thép phân bố đều.

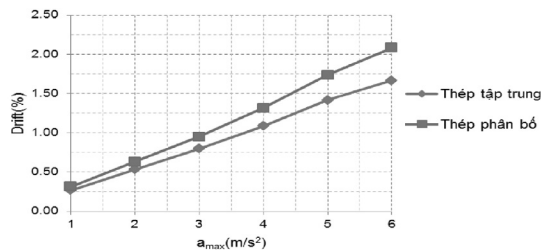


a) Bố trí cốt thép tập trung

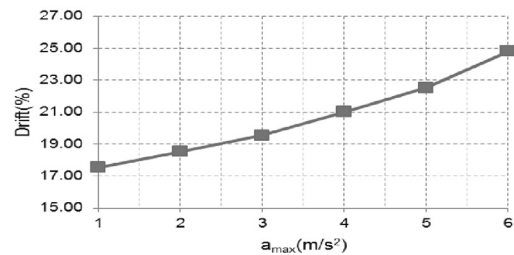


b) Bố trí cốt thép phân bố

Hình 16. Hai trường hợp cấu tạo cốt thép cột



Hình 17. Ảnh hưởng của cấu tạo cốt thép đến chuyển vị lệch tầng



Hình 18. Hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng khi thay đổi bố trí cốt thép phân bố sang bố trí cốt thép tập trung



5. Kết luận

Khi cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất các vết nứt hình thành và phát triển từ chân cột đến $\frac{1}{2}$ chiều cao cột. Trạng thái phá hoại của cột thu được bao gồm phá hoại do cắt, xoắn và do lực nén vượt quá giới hạn tại vùng biên cánh cột cùng phương động đất - bê tông bị nén vỡ, cốt thép bị oằn do mất ổn định nén.

Phần tử Fiber, mô hình vật liệu bê tông Kent & Part và mô hình vật liệu thép Pinto & Menegotto được chọn trong phần mềm Midas Civil là phù hợp để mô tả cơ chế chịu lực và quá trình phá hoại của cột BTCT chịu động đất. Kết quả mô phỏng số phù hợp với kết quả thực nghiệm.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ bê tông và cấu tạo cốt thép đến ứng xử của cột BTCT tiết diện chữ L chịu động đất cho thấy:

(i) Cường độ bê tông tỷ lệ thuận với độ cứng của cột. Mức độ gia tăng độ cứng cột theo mức độ tăng của cường độ bê tông là không giống nhau. Khi cường độ bê tông thay đổi ở cấp thấp hơn thì hiệu quả giảm chuyển vị lệch tầng mang lại cao hơn so với khi cường độ bê tông thay đổi ở cấp cao hơn.

(ii) Bố trí cốt thép chịu lực tập trung tại vùng biên cánh cột làm tăng đáng kể độ cứng cột so với bố trí cốt thép phân bố đều trên toàn tiết diện cột. Mức gia tốc đỉnh càng tăng, hiệu quả tăng độ cứng cột do cốt thép bố trí tập trung vùng biên càng được nâng cao so với bố trí thép phân bố đều./.

Tài liệu tham khảo

- Chiun-lin W., Wu-Wei K., Yuan-Sen Y., Shyh-Jiann H., Kenneth J.E., Chin-Hsiung L., Jack P.M. (2009). "Collapse of a nonductile concrete frame: Shaking table tests", *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 38:205-224.
- Huy Ng.V., Dat Ph.X, Chieu L.X. (2014), "Experiment study on irregularly shaped reinforced concrete columns subjected to seismic action", *International Journal of Structural Stability and Dynamics*.
- TCVN TCVN 2737:1995, *Tải trọng và tác động-Tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội.
- TCVN 5574:2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép-Tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội.
- TCVN 9386:2012, *Thiết kế công trình chịu động đất*, Hà Nội.
- Midas finite element code official web site: <http://www.midasuser.com>, truy cập ngày 20/3/2017.
- Kent D.C., Park R. (1971), "Flexural members with confined concrete", *Journal of the Structural Division*, ASCE, 97(7):1969-1990.
- Menegotto M., Pinto P.E. (1973), "Method of Analysis of Cyclically Loaded Reinforced Concrete Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-Elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending", *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*, *International Association for Bridge and Structural Engineering*, Zurich, Switzerland, 15-22.
- Priestley M.J.N. (1993), "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering-Conflicts Between Design and Reality", *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake*, 26(3):329-341.
- Qingzhao K., Rachel Howser R., Pedro S., Mo Y.L. (2016), "Cyclic crack monitoring of a reinforced concrete column under simulated pseudo-Dynamic loading using piezoceramic-Based smart aggregates", *Applied sciences*, 6:341.
- Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Công (2006), *Kết cấu bê tông cốt thép: Phần cấu kiện cơ bản*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- Ngô Thế Phong, Lý Trần Cường, Trịnh Thanh Đạm, Nguyễn Lê Ninh (2002), *Kết cấu Bê tông cốt thép: Phần kết cấu nhà cửa*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- Nguyễn Lê Ninh (2007), *Động đất và thiết kế công trình chịu Động đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- Nguyễn Lê Ninh (2011), *Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu Động đất*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.