

Đánh giá cơ chế phá hoại và hệ số ứng xử của kết cấu nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép chịu động đất

Evaluation of progressive collapse and behavior factor of multi-storey reinforced concrete structures during earthquakes

> **TRẦN NGỌC THANH¹, NGUYỄN THỊ THANH HƯƠNG¹, LÊ THÁI PHONG², PHAN ĐĂNG KHOA², NGUYỄN VĂN THUẦN^{3*}**

¹GV Viện Xây dựng, Trường Đại học GTVT TP.HCM

²SV Viện Xây dựng, Trường Đại học GTVT TP.HCM

^{3*}GV khoa Kỹ thuật giao thông, Trường Đại học Nha Trang

Email: ngocthanh.tran@ut.edu.vn, huong.nguyen@ut.edu.vn, 1851160159@sv.ut.edu.vn, 1851160031@sv.ut.edu.vn, thuannv@ntu.edu.vn (tác giả liên hệ)

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tiến hành đánh giá cơ chế phá hoại, hệ số ứng xử và hệ số giảm độ cứng của kết cấu nhà nhiều tầng chịu động đất sử dụng phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến. Hai kết cấu công trình thực tế bằng bê tông cốt thép tại TP.HCM có quy mô lần lượt là 12 tầng và 20 tầng được khảo sát. Từ kết quả phân tích có thể thấy cơ chế phá hoại của các kết cấu hoàn toàn trái ngược nhau: kết cấu công trình 12 tầng có khớp dẻo hình thành ở cột trước trong khi kết cấu công trình 20 tầng thì khớp dẻo hình thành ở dầm trước. Thêm nữa, hệ số ứng xử được tính toán từ phân tích tĩnh phi tuyến của 2 kết cấu công trình đều cho kết quả cao hơn hệ số ứng xử quy định theo tiêu chuẩn và vì vậy khả năng tiêu tán năng lượng thực tế của kết cấu cao hơn mong đợi. Ngoài ra, hệ số giảm độ cứng của các kết cấu công trình cũng được quan sát thấy không giống như qui định.

Từ khóa: Động đất; kết cấu nhà nhiều tầng; phân tích phi tuyến; cơ chế phá hoại; hệ số ứng xử; hệ số giảm độ cứng

ABSTRACT

This research aims to evaluate the progressive collapse, behavior factor and stiffness scale factor of multi-storey structures under earthquakes using nonlinear static analysis method. Two multi-storey reinforced concrete structures in Ho Chi Minh city, with different number of stories (12 and 20), were carried out to investigate. From the analysis results, the progressive collapse was completely different between two structures: 12 storey building showed the hinge formation at the column first where 20 storey building exhibited the hinge formation at the beam first. In addition, the behavior factors obtained from nonlinear static analysis method were higher than those obtained from design requirements and thus the energy absorption capacity of two structures were higher than expected. On the other hand, the stiffness scale factors were found to be different to design requirements.

Keywords: Earthquake; multi-storey structures; nonlinear static analysis; progressive collapse; behavior factor; stiffness scale factor

1. GIỚI THIỆU

Độ an toàn của các kết cấu nhà nhiều tầng chịu tải trọng động đất thu hút được sự quan tâm mạnh mẽ do sự gia tăng tần suất và cường độ của các trận động đất gần đây ở trong nước như tại tỉnh Kon Tum và ngoài nước như tại Đài Loan, Trung Quốc và Mexico [1]. Dưới tác động ngoài dự đoán của động đất có thể gây ra sụp đổ kết cấu và xa hơn là ảnh hưởng đến tính mạng và tài sản của con người. Một vài trận động đất điển hình như trận động đất tại Chile gây hư hỏng và sụp đổ của các nhà nhiều tầng và trung tâm thương mại [2], trận động đất tại Mexico năm 2017 gây sụp đổ hơn 44 tòa nhà [3], trận động đất tại Thổ Nhĩ Kỳ 2011 làm hư hỏng và sụp đổ một phần hay toàn bộ kết cấu công trình trong thành phố,

đặc biệt một số kết cấu có cơ cấu phá hoại không mong muốn là ở đầu cột trước đầu dầm [4]. Vì vậy để đảm bảo an toàn cho kết cấu nhà nhiều tầng chịu động đất, việc dự đoán chính xác tác động động đất trong mối liên hệ với ứng xử của kết cấu công trình là yêu cầu cấp bách.

Các phương pháp phân tích động đất hiện nay chủ yếu được sử dụng là phương pháp tuyến tính như tính lực ngang tương đương hay phổ phản ứng được qui định theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 [5]. Do được sử dụng rộng rãi trong phân tích động đất ở Việt Nam nên có một số các nghiên cứu để cập về các phương pháp tuyến tính. Nguyễn Đại Minh [6] trình bày so sánh tính toán động đất nhà cao tầng theo phương pháp tính lực ngang tương

đương và phương pháp phổ phản ứng. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng Kết quả tính toán so sánh giữa phương pháp phổ phản ứng nhiều dạng dao động, phương pháp tính lực ngang tương đương và phương pháp tính lực ngang tương đương có cải tiến cho thấy phương pháp tính lực ngang tương đương có cải tiến cho kết quả an toàn nhất trong 3 phương pháp và phản ứng của công trình tại khu vực phía trên 1/3 chiều cao nhà sắt với phương pháp phổ phản ứng nhiều dạng dao động. Thêm nữa là tác giả đã đề xuất áp dụng phương pháp tính lực ngang tương đương có cải tiến đối với nhà cao từ 20 tầng trở lên. Phạm Phú Anh Huy [7] đã đánh giá những phương pháp tính toán tải trọng động đất và đề xuất phương pháp áp dụng cho các công trình xây dựng ở Việt Nam. Tác giả đã kết luận rằng phương pháp phân tích phổ dao động chỉ nên áp dụng cho các nhà thấp tầng và đơn giản. Mặc dù các phương pháp tuyến tính có ưu điểm là đơn giản và dễ áp dụng nhưng các phương pháp này thường không xét chính xác được ứng xử của kết cấu ngoài miền đàn hồi, đặc biệt là cơ cấu phá hoại của kết cấu mặc dù có kể tới ảnh hưởng của kết cấu làm việc ngoài miền đàn hồi thông qua các hệ số ứng xử và hệ số giảm độ cứng. Vì vậy các phương pháp này được khuyến cáo áp dụng cho các nhà có quy mô nhỏ và kết cấu đơn giản. Tuy nhiên, với ngày càng nhiều các kết cấu nhà nhiều tầng có quy mô lớn và phức tạp đã được thiết kế, xây dựng và đưa vào sử dụng tại các thành phố lớn như TP.HCM, việc áp dụng các phương pháp tuyến tính để phân tích động đất có thể chưa đảm bảo chính xác.

Một phương pháp có thể khắc phục nhược điểm của phương pháp tuyến tính là phương pháp phi tuyến. Gần đây, phương pháp này đã được giới thiệu qua một số nghiên cứu trong và ngoài nước. Trần Thanh Tuấn và các cộng sự [8] đã tiến hành phân tích tính phi tuyến (dẫn dắt) cho các cho khung thép phẳng một nhịp 3, 6, 9, 12, 15 và 18 tầng chịu tác động của hai bộ động đất với tần suất xảy ra là 2% và 10% trong 50 năm. Họ đã kết luận rằng sai số trong dự đoán chuyển vị mục tiêu tăng lên khi cường độ động đất tăng và phương pháp MPA-CSM nên áp dụng trong thiết kế cho công trình chịu động đất do có ưu điểm là đơn giản hơn phương pháp MPA. Cũng theo cách tương tự Nguyễn Doãn Nội [9] đã thực hiện phân tích tính phi tuyến cho khung phẳng bê tông cốt thép và khung phẳng thép. Tác giả đã chỉ ra rằng phương pháp tính phi tuyến có thể dự đoán chính xác chuyển vị của các tầng và cơ cấu hình thành khớp dẻo của công trình khi trải qua động đất. Mohamed S. Issa và các cộng sự [10] đã phân tích tính phi tuyến cho các khung nhà bằng bê tông cốt thép từ 3 đến 7 tầng. Họ đã phát hiện ra rằng phương pháp tính phi tuyến là phương pháp hiệu quả với độ chính xác cao và thời gian nhanh để phân tích ứng xử phi tuyến của kết cấu khi chịu tác động của động đất. Ngoài ra, từ đường cong đẩy dẫn có thể tính toán các thông số yêu cầu của động đất như hệ số ứng xử. Thuật và các cộng sự [11] đã tiến hành phân tích tính phi tuyến kết cấu thép 10 tầng chịu động đất với các mức cản nhớt khác nhau. Kết quả đã cho thấy phương pháp tính phi tuyến dự đoán khá chính xác chuyển vị ngang phi tuyến lớn nhất ở đỉnh mái của kết cấu nhà nhiều tầng. Cũng theo cách tương tự, Thuật và các cộng sự [12] đã đánh giá cơ chế phá hoại của kết cấu nhà nhiều tầng bằng kết cấu thép chịu tác động động đất thông qua phân tích động phi tuyến. Từ những nghiên cứu trong và ngoài nước như đã nêu trên thì việc áp dụng các phương pháp phi tuyến để phân tích động đất cho các kết cấu công trình bằng bê tông cốt thép tại Việt Nam chưa có nhiều mặc dù phương pháp tính phi tuyến đã được đánh giá là có thể dự đoán chính xác phản ứng kết cấu ngoài miền đàn hồi. Thêm nữa là các nghiên cứu chủ yếu chỉ thực hiện trên các công trình bằng bê tông cốt thép giả định có quy mô nhỏ và kết cấu đơn giản mà chưa xét tới kết cấu

công trình thực tế là nhà nhiều tầng với hệ kết cấu phức tạp. Như vậy ứng xử ngoài miền đàn hồi của kết cấu nhà nhiều tầng bằng bê tông cốt thép khi chịu động đất chưa được hiểu rõ và rất cần thêm các nghiên cứu đánh giá.

Để hiểu rõ được ứng xử ngoài miền đàn hồi của kết cấu nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép chịu động đất, nghiên cứu này đề xuất áp dụng phương pháp tính phi tuyến để phân tích động đất cho các kết cấu nhà nhiều tầng thực tế tại TP.HCM. Thông qua kết quả phân tích, cơ cấu phá hoại của các kết cấu nhà nhiều tầng này sẽ được phát hiện. Xa hơn là những hệ số động đất như hệ số ứng xử và hệ số giảm độ cứng sẽ được đánh giá và so sánh với các hệ số được quy định trong tiêu chuẩn tính toán.

2. CÔNG TRÌNH KHẢO SÁT

Hai công trình được khảo sát là các công trình với quy mô 12 và 20 tầng được thiết kế và xây dựng tại Quận 1 và Quận 7 ở TP.HCM. Các thông tin về kiến trúc của công trình được cung cấp ở bảng 1, trong khi các thông tin về kết cấu được thu thập trong bảng 2.

Bảng 1. Thông tin kiến trúc của công trình

TT	Thông tin	Công trình 12 tầng	Công trình 20 tầng
1	Chiều cao (m)	40.35	69.24
2	Bề rộng (m)	11.9	23.6
3	Chiều dài (m)	21.5	46.8
4	Số tầng	12	20
5	Chức năng	Văn phòng	Chung cư
6	Diện tích xây dựng (m ²)	3000	7480
7	Địa điểm	Quận 1-TP.HCM	Quận 7-TP.HCM

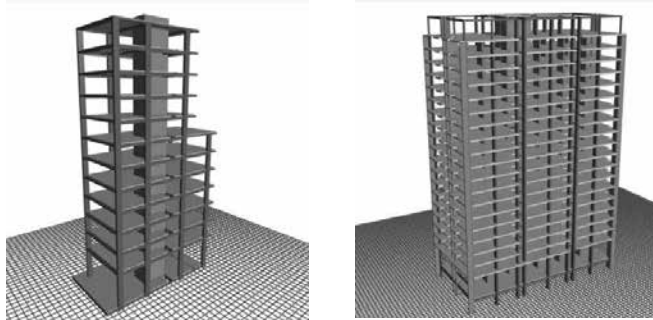
Bảng 2. Thông tin kết cấu của công trình

TT	Thông tin	Công trình 12 tầng	Công trình 20 tầng
1	Kết cấu sàn	Sàn dầm	Sàn phẳng kết hợp dầm
2	Hệ chịu lực chính	Hệ cột kết hợp lõi	Hệ vách kết hợp lõi
3	Chiều dày sàn (mm)	200 - 290	150 - 250
4	Kích thước dầm (mm)	200x290 - 900x900	150x500 - 600x700
5	Kích thước cột, vách (mm)	400x900 - 500x1000	400x400 - 400x1500
6	Chiều dày lõi (mm)	200	300
7	Loại bê tông	B30	B35
8	Loại cốt thép	CB400V	CB400V

3. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

Các kết cấu được mô hình không gian và phân tích dựa trên phần mềm theo phương pháp phần tử hữu hạn (Etabs) bao gồm các bước sau: đầu tiên dựa trên thông tin kiến trúc và kết cấu của công trình, mô hình các phần tử và khai báo vật liệu, tiết diện và tải trọng được thực hiện như trên Hình 1; tiếp theo phổ phản ứng thiết kế sẽ được khai báo với các thông tin trên bảng 3 dựa theo qui định của tiêu chuẩn 9386-2012; sau đó các thông số phục vụ phân tích tính phi tuyến được khai báo như hệ số chiết giảm khối lượng (mass source), tải trọng phân tích, phân tích phi tuyến hình học... theo qui định của tiêu chuẩn TCVN 9386-2012; cuối cùng là tiến hành khai báo và gán khớp dẻo cho cột, vách và dầm. Etabs hỗ trợ khai báo khớp dẻo cho các cấu kiện theo tiêu chuẩn ASCE41-13 [13], phần mềm này cũng cung cấp khớp P-M2-M3 cho cột, vách và khớp M3 cho dầm. Một khi kết cấu được mô hình với các thông số về tiết diện, cốt thép và tải trọng thì các khớp dẻo sẽ được gán vào các cấu kiện. Hình 2 thể hiện định nghĩa của quan hệ lực và chuyển vị của khớp dẻo trong đó được đặc trưng bởi 5 điểm, trong đó điểm A là điểm khởi đầu, điểm B là điểm chảy dẻo, điểm C là điểm biến dạng cực hạn, điểm D là cường độ phục hồi và điểm E là phá hoại hoàn toàn. Ngoài ra còn có các điểm để đánh giá

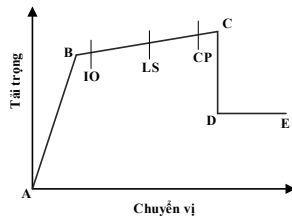
biến dạng IO (ở ngay lập tức), LS (sống an toàn), và CP (ngăn cản sụp đổ), và các điểm này không ảnh hưởng tới ứng xử của kết cấu.



Hình 1. Mô hình kết cấu công trình 12 tầng và 20 tầng

Bảng 3. Thông số phổ phản ứng thiết kế

TT	Thông tin	Công trình 12 tầng	Công trình 20 tầng
1	Gia tốc nền a_{gr}/g	0.0848	0.0846
2	Hệ số tầm quan trọng	1.00	1.25
3	Loại đất nền	Loại D	Loại D
4	Cấp độ chọn	Trung bình	Trung bình
5	Hệ số ứng xử	3.9	3.9

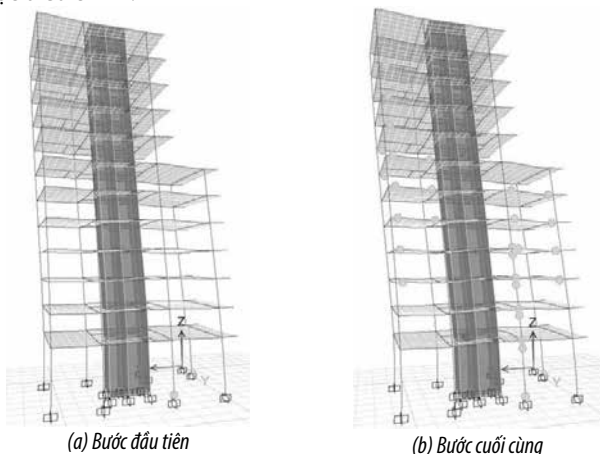


Hình 2. Quan hệ lực và chuyển vị của khớp dẻo

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

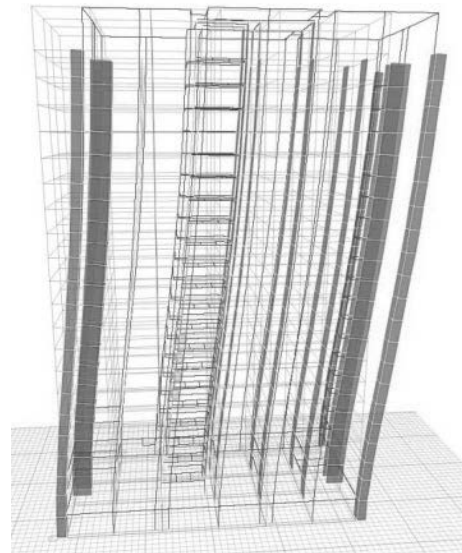
4.1 Cơ cấu phá hoại

Sau khi tiến hành phân tích tĩnh phi tuyến, cơ cấu hình thành khớp dẻo của kết cấu công trình 12 tầng được thể hiện như trên hình 3. Hình 3a thể hiện cơ cấu hình thành khớp dẻo tại bước đầu tiên trong khi hình 3b thể hiện cơ cấu hình thành khớp dẻo tại bước cuối cùng. Có thể thấy khớp dẻo hình thành trước ở cột tầng dưới cùng rồi phát triển lên các cột tầng trên và sau đó thì khớp dẻo mới bắt đầu hình thành ở các dầm. Đây là cơ chế dầm khỏe cột yếu không có lợi cho kết cấu khi chịu động đất và cần phải được điều chỉnh.

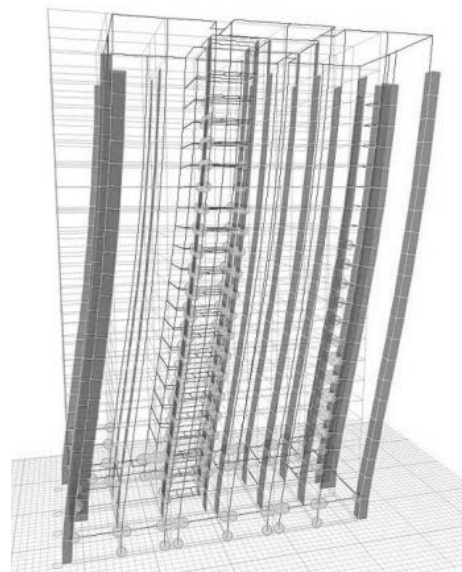


Hình 3. Cơ cấu hình thành khớp dẻo của công trình 12 tầng

Cơ cấu hình thành khớp dẻo của công trình 20 tầng được thể hiện ở hình 4. Hình 4a thể hiện cơ cấu hình thành khớp dẻo tại bước đầu tiên và hình 4b thể hiện cơ cấu hình thành khớp dẻo tại bước cuối cùng. Trái ngược với công trình 12 tầng, công trình 20 tầng có khớp dẻo hình thành trước ở dầm tầng giữa công trình và phát triển đều ở các dầm tầng khác sau đó khớp dẻo mới bắt đầu xuất hiện ở cột. Đây là cơ chế cột khỏe dầm yếu, cơ chế phù hợp với kết cấu khi chịu động đất.



(a) Bước đầu tiên



(b) Bước cuối cùng

Hình 4. Cơ cấu hình thành khớp dẻo của công trình 20 tầng

4.2 Hệ số ứng xử

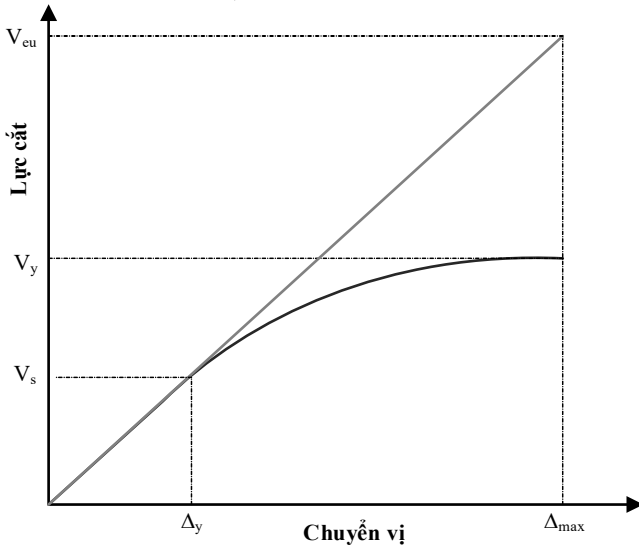
Hệ số ứng xử được sử dụng khi để tránh phải phân tích trực tiếp các kết cấu không đàn hồi, người ta kể đến khả năng tiêu tán năng lượng chủ yếu thông qua ứng xử dẻo của các cấu kiện của nó bằng cách phân tích đàn hồi dựa trên phổ phản ứng được chiết giảm từ phổ phản ứng đàn hồi. Hệ số ứng xử có thể xem một cách gần đúng tỷ số giữa lực động đất mà kết cấu sẽ phải chịu nếu phân ứng của nó là hoàn toàn đàn hồi và lực động đất có thể sử dụng khi thiết kế theo mô hình phân tích đàn hồi thông thường mà vẫn tiếp tục bảo đảm cho kết cấu một phản ứng thỏa mãn các yêu cầu

đặt ra. Giá trị của hệ số ứng xử khác nhau tùy theo cấp dể qui định của kết cấu và được cung cấp trong bảng 3 khi xây dựng phổ thiết kế cho cả hai công trình dựa trên tiêu chuẩn TCVN 9386-2012.

Dựa trên khái niệm của hệ số ứng xử thì nó có thể xác định trực tiếp và chính xác hơn thông qua phân tích kết cấu ngoài miền đàn hồi. Uang [14] đề xuất công thức tính toán hệ số ứng xử (q) dựa trên kết quả đường cong quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị có được từ phân tích tĩnh phi tuyến như sau:

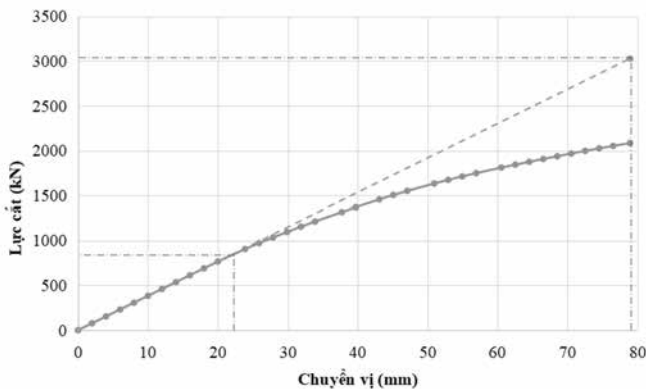
$$q = \frac{V_{eu}}{V_s} \gamma \quad (1)$$

trong đó V_{eu} là lực cắt đàn hồi được xác định là lực cắt tại chuyển vị lớn nhất của đường quan hệ lực cắt và chuyển vị như trên hình 5; V_s là lực cắt đàn hồi ngay tại khớp dể đầu tiên; γ là hệ số ứng suất cho phép lấy bằng 1.5.

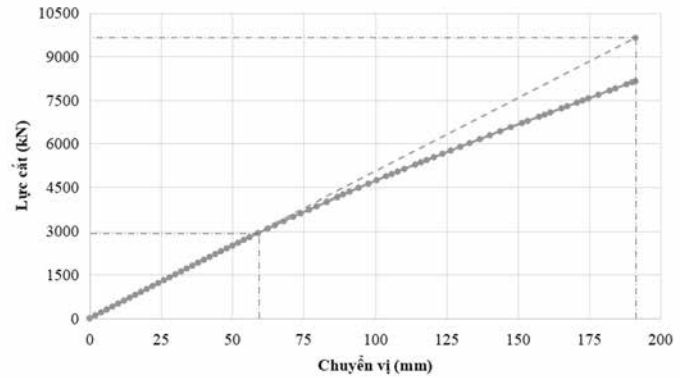


Hình 5. Đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị

Quan hệ lực cắt và chuyển vị của các kết cấu công trình sau khi tiến hành phân tích tĩnh phi tuyến kết cấu được thể hiện ở hình 6 và 7. Hình 6 thể hiện đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị của công trình 12 tầng trong khi Hình 7 thể hiện cho công trình 20 tầng. Có thể thấy quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị của các kết cấu đều trải qua hai giai đoạn: giai đoạn đầu là tuyến tính, lực cắt tăng khi chuyển vị tăng và kết cấu làm việc là hoàn toàn đàn hồi; giai đoạn hai là phi tuyến, lực cắt vẫn giữ tăng khi chuyển vị tăng nhưng lúc này các khớp dể được hình thành và kết cấu làm việc ngoài miền đàn hồi.



Hình 6. Đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị của công trình 12 tầng



Hình 7. Đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị của công trình 20 tầng

Dựa trên các đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị, hệ số ứng xử của các kết cấu công trình được tính toán như trên bảng 4. Kết quả cho thấy hệ số ứng xử của công trình 12 tầng là 5.01 trong khi hệ số ứng xử của công trình 20 tầng là 5.19. Như vậy là hệ số ứng xử theo phân tích tĩnh phi tuyến đều cho kết quả lớn hơn 3.90 theo qui định thiết kế. Do đó khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu thực tế tốt hơn dự tính.

Bảng 4. Kết quả tính toán hệ số ứng xử theo tính phi tuyến

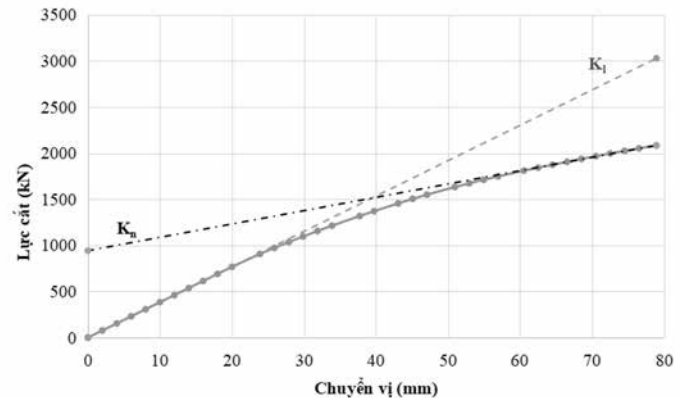
Công trình	V_s (kN)	V_{eu} (kN)	q
Công trình 12 tầng	906	3026	5.01
Công trình 20 tầng	2794	9645	5.19

4.3 Hệ số giảm độ cứng

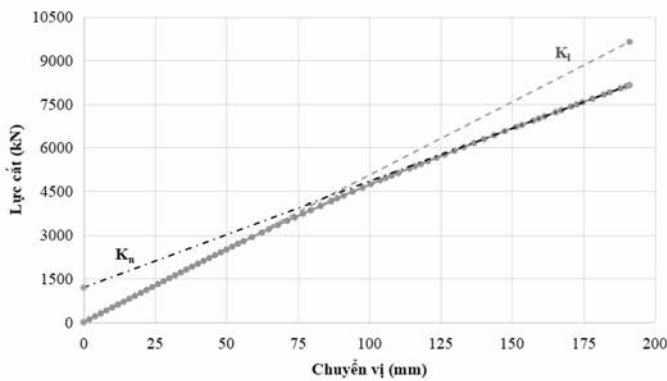
Khi kết cấu làm việc ngoài miền đàn hồi thì các khớp dể hình thành và dẫn đến phát sinh vết nứt. Vết nứt một khi hình thành thì làm suy giảm độ cứng của tiết diện. Theo mục 4.3.1 của tiêu chuẩn TCVN 9386-2012 thì hệ số giảm độ cứng được qui định như sau: trừ phi thực hiện sự phân tích chính xác đối với các cấu kiện bị nứt, các đặc trưng về độ cứng chống cắt và độ cứng chống uốn đàn hồi của các cấu kiện bê tông và khối xây có thể lấy bằng 50% độ cứng tương ứng của các cấu kiện không bị nứt. Như vậy thông qua phân tích tĩnh phi tuyến thì hệ số giảm độ cứng (s) cũng có thể xác định dựa trên đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị theo công thức như sau:

$$s = \frac{K_n}{K_l} \quad (2)$$

trong đó K_l là độ dốc của đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị xác định ở giai đoạn tuyến tính; K_n là độ dốc của đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị xác định ở giai đoạn phi tuyến với các khớp dể được hình thành.



Hình 8. Độ dốc đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị của công trình 12 tầng



Hình 9. Đồ dốc đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị của công trình 20 tầng
Bảng 5. Kết quả tính toán hệ số giảm độ cứng theo tính phi tuyến

Công trình	K_1 (kN/mm)	K_2 (kN/mm)	s	Độ giảm (%)
Công trình 12 tầng	38.35	14.52	0.37	63
Công trình 20 tầng	50.48	36.40	0.72	28

Độ dốc của các đường cong quan hệ lực cắt và chuyển vị xác định ở các giai đoạn được thể hiện trên hình 8 và hình 9 theo thứ tự của công trình 12 tầng và 20 tầng. Độ dốc tính toán của các công trình được tổng kết ở bảng 5. Có thể thấy độ cứng của kết cấu công trình 12 tầng sau khi hình thành khớp dẻo bị giảm đi 63% so với độ cứng kết cấu chưa nứt, trong khi độ cứng của kết cấu công trình 20 tầng thì chỉ bị giảm đi 28%. Như vậy là độ cứng giảm theo phân tích tính phi tuyến cho kết quả khác với theo qui định là 50% và tùy theo các kết cấu công trình khác nhau thì độ giảm khác nhau, cụ thể là công trình 12 tầng độ cứng giảm nhiều hơn 13% và công trình 20 tầng thì độ cứng giảm ít hơn 22%. Do đó việc qui định độ cứng của kết cấu giảm 50% cho mọi trường hợp kết cấu công trình có thể chưa chính xác.

5. KẾT LUẬN

Hai kết cấu công trình bằng bê tông cốt thép với quy mô 12 và 20 tầng ở TP.HCM được mang ra để phân tích tính phi tuyến khi chịu động đất. Dựa trên kết quả phân tích, các kết luận sau có thể rút ra như sau :

- Việc phân tích tính phi tuyến giúp chúng ta hiểu rõ ứng xử ngoài miền đàn hồi của kết cấu và từ đó có thể dự đoán chính xác hơn tác động của động đất trong mối liên hệ với ứng xử của kết cấu công trình.

- Về cơ chế phá hoại: đối với công trình 12 tầng thì khớp dẻo hình thành trước ở cột tầng dưới cùng rồi phát triển lên các cột tầng trên và sau đó thì khớp dẻo mới bắt đầu hình thành ở các dầm. Trái lại, công trình 20 tầng có khớp dẻo hình thành trước ở dầm tầng giữa công trình và phát triển đều ở các dầm tầng khác sau đó khớp dẻo mới bắt đầu xuất hiện ở cột. Trong khi kết cấu công trình 12 tầng làm việc theo cơ chế cột yếu dầm khỏe không có lợi cho kết cấu khi chịu động đất thì kết cấu công trình 20 tầng làm việc theo cơ chế cột khỏe dầm yếu phù hợp với kết cấu khi chịu động đất.

- Về hệ số ứng xử: hệ số ứng xử được tính toán dựa trên kết quả phân tích tính phi tuyến của công trình 12 tầng là 5.01 trong khi hệ số ứng xử của công trình 20 tầng là 5.19. Như vậy là hệ số ứng xử theo phân tích tính phi tuyến đều cho kết quả lớn hơn 3.90 theo thiết kế quy định. Do đó khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu thực tế tốt hơn dự tính.

- Về hệ số giảm độ cứng: độ cứng được tính toán dựa trên kết quả phân tích tính phi tuyến của kết cấu công trình 12 tầng sau khi hình thành khớp dẻo bị giảm đi 63% so với độ cứng kết cấu chưa nứt, trong khi độ cứng của kết cấu công trình 20 tầng thì chỉ bị giảm đi 28%. Như vậy là độ cứng giảm theo phân tích tính phi tuyến cho kết quả khác với theo qui định là 50% và tùy theo các kết cấu công trình khác nhau thì độ cứng giảm khác nhau, cụ thể là công trình 12 tầng độ cứng giảm nhiều hơn qui định là 13% và công trình 20 tầng thì độ cứng giảm ít hơn 22%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Sergio, A., Anahid B., Pablo H.D., Jorge R.G. et al. (2020). Observations about the seismic response of RC buildings in Mexico City. *Earthquake Spectra*, 36(2): 154-174.
- Cowan, H., Beattie, G., Hill, K., Evans, N. et al. (2011). The m8.8 chile earthquake, 27 February 2010. *Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering*, 44(3): 124-166.
- Francisco, A.G., Eduardo, M., Pablo, H., Hector, D. et al. (2020). Overview of collapsed buildings in Mexico City after the 19 September 2017 (Mw7.1) earthquake. *Earthquake Spectra*, 36(2): 83-109.
- Cumhur, C., Ahmet, A.D., Edip, S., Yusuf, H.O. (2013). Analysis of building damage caused by earthquakes in Eastern Turkey. *Građevinar*, 65(8): 743-752.
- TCVN 9386:2012. Thiết kế công trình chịu động đất. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- Nguyễn Đại Minh (2011). Phương pháp phổ phản ứng nhiều dạng dao động và tính toán nhà cao tầng chịu động đất theo TCXDVN 375 : 2006. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Viện KHCN Xây dựng.
- Phạm Phú Anh Huy (2012). Một số phương pháp tính toán tải trọng động đất và đề xuất chọn phương pháp tính toán cho các công trình ở Việt Nam. *Kỷ yếu Hội nghị khoa học*, Trường Đại học Duy Tân, 19-28.
- Trần Thanh Tuấn, Nguyễn Hồng Ân, Nguyễn Khánh Hùng (2012). Đánh giá chuyển vị mục tiêu cho nhà cao tầng chịu động đất bằng các phương pháp tính phi tuyến. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Viện KHCN Xây dựng.
- Nguyễn Doãn Nội (2014). Phân tích khung chịu động đất bằng phương pháp đẩy dần theo dạng chính (MPA). *Luận văn thạc sĩ*, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.
- Issa, M., Issa, H. (2015). Application of Pushover Analysis for the calculation of Behavior Factor for Reinforced Concrete Moment-Resisting Frames. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 5(3): 216-226.
- Thuật, Đình. (2018). Đánh giá chuyển vị ngang phi tuyến của kết cấu nhà nhiều tầng chịu động đất dựa theo phân tích tính phi tuyến và phổ thiết kế đàn hồi trong TCXDVN 375:2006. *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, 4(2).
- Thuật, Đình. (2012). Đánh giá cơ chế phá hoại của kết cấu nhà khung thép nhiều tầng chịu động đất sử dụng mô hình đơn lò xo phi tuyến. *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, 6(1): 3-11.
- ASCE Committee for Standard ASCE/SEI 41-13 (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers.
- Uang, C.M. (1991). Establishing R (or R_w) and Cd Factors for Building Seismic Provisions. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 117(1): 19-28.