

Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử của khung bê tông cốt thép chịu tác động động đất

Investigate some affected factors for RC frame behavior in seismic

TS. Nguyễn Việt Phương⁽¹⁾, ThS. Nguyễn Hoàng Anh⁽²⁾,
Phạm Công Vinh⁽³⁾, Lê Đức Hiếu⁽³⁾, Phạm Quang Huy⁽³⁾

Tóm tắt

Hiện nay động đất là một trong những thiên tai gây ra hậu quả đáng kể ở khắp nơi trên thế giới. Hậu quả của tác động động đất đối với các công trình thấp tầng có thể ở các mức độ từ nghiêng, gãy đổ hay phá hoại hoàn toàn. Hệ khung bê tông cốt thép (BTCT) chủ yếu được sử dụng trong các công trình thấp tầng nên việc phân tích ứng xử của chúng dưới tác động của động đất là cần thiết để tìm ra cách thiết kế, các biện pháp cấu tạo nhằm đảm bảo sự an toàn, giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản. Bài báo đã phân tích ứng xử của hệ khung phẳng BTCT khi thay đổi các tham số như chiều cao tầng, sự xuất hiện và thay đổi vị trí thông tầng cũng như sự ảnh hưởng của tải trọng đứng trên khung bằng phương pháp tính phi tuyến đẩy dẫn Pushover. Kết quả khảo sát cho thấy sự thay đổi độ cứng ảnh hưởng rõ rệt đến ứng xử của khung phẳng nhưng các khoảng thông tầng hay sự tăng tải trọng đứng lại ít ảnh hưởng.

Từ khóa: Khung phẳng bê tông cốt thép, phân tích Pushover, tác động động đất

Abstract

Currently, earthquakes are one of the natural disasters causing significant consequences worldwide. The consequences of earthquakes on low-rise buildings can range from tilting and cracking to complete destruction. Reinforced concrete (RC) frame systems are primarily used in low-rise buildings, making the analysis of their behavior under earthquake impact essential to developing design strategies and structural detailings that ensure safety and minimize damage to people and property. This paper analyzes the behavior of RC frame systems when parameters such as story height, the presence and change of atrium positions, and the influence of vertical loads on the frame are varied, using the nonlinear static pushover method. The survey results indicate that changes in stiffness significantly affect the behavior of the frame system, whereas void spacing and increased vertical loads have less impact.

Key words: RC frame, Pushover analysis, earthquake impacts

⁽¹⁾Bộ môn Kết cấu BTCT và gạch đá, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội

Email: phuongmv@hau.edu.vn; ĐT: 0914859909

⁽²⁾Công ty cổ phần phát triển và đầu tư xây dựng Vincons, ĐT: 0393647212

⁽³⁾Sinh viên Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội

Ngày nhận bài: 15/5/2024

Ngày sửa bài: 21/5/2024

Ngày duyệt đăng: 23/05/2024

1. Đặt vấn đề

Hiện nay hiện tượng động đất xảy ra thường xuyên ở nhiều nơi trên thế giới gây ra ảnh hưởng lớn đối với các công trình tại vùng tâm chấn và cả các vùng xung quanh khi chịu dư chấn của chúng. Các trận động đất gần đây ở Đài Loan – Trung Quốc, Thổ Nhĩ Kỳ hay Nhật Bản đã gây ra hiện tượng sụt lở đất đá, phá hoại các tầng phía dưới của công trình gây ra hiện tượng nghiêng hoặc gãy đổ công trình dẫn tới sự thiệt hại nặng nề về con người và tài sản (xem Hình 1). Không chỉ các công trình cao tầng mà thậm chí các công trình thấp tầng cũng bị ảnh hưởng nặng nề bởi tác động của động đất. Đặc điểm của các công trình thấp tầng là việc sử dụng hệ khung có độ cứng chống cắt kém nên dễ dàng chịu sự ảnh hưởng của lực cắt ngang do tác động của động đất gây ra.

Các công trình hiện nay thường kết hợp nhiều không gian có mục đích sử dụng và kích thước khác nhau như chiều cao các tầng bên dưới cao, không gian rộng phục vụ cho mục đích thương mại hoặc các sảnh chờ lớn hoặc các khoảng không gian thông tầng và thông nhíp, Điều này dẫn tới độ cứng của các tầng bên dưới giảm so với các tầng phía trên tạo nên sự không đều đặn về độ cứng của hệ khung. Từ đó sức kháng cắt hay độ dẻo (khả năng phân tán năng lượng) của khung có thể không thích hợp để chống lại những ứng suất phát sinh trong công trình do tác dụng của tải trọng động đất [1]. Đồng thời việc suy giảm độ cứng của tầng cũng dẫn đến việc biến dạng tầng đó trở thành tầng mềm trong hệ khung BTCT. Hejari và các cộng sự (2011) [5] đã phát biểu tầng mềm không thể cung cấp đầy đủ khả năng chống cắt cho các công trình khi chịu tải trọng động đất dẫn đến thiệt hại và sụp đổ. Joshi và các cộng sự (2013) [6] cũng khẳng định tầng mềm do thay đổi chiều cao tầng đóng vai trò quan trọng trong ứng xử động đất của khung vì sự không liên tục về độ cứng của kết cấu là nguyên nhân dẫn đến sự hư hỏng kết cấu. Bài báo của tác giả ThS. Nguyễn Thị Thanh Hoà (2018) [7] đã trình bày về sự tập trung ứng suất và biến dạng lớn tại tầng mềm gây nên sự xuất hiện khớp dẻo tại các cấu kiện chịu lực theo phương ngang chính. Khi đó độ cứng của tầng mềm nhanh chóng bị giảm xuống và có thể dẫn tới sụp đổ nhanh chóng trong khi các tầng trên chưa huy động nhiều khả năng chịu lực tạo nên sự không hợp lý về khả năng chịu lực của toàn bộ công trình.

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của sự thay đổi các tham số trong khung bê tông cốt thép (BTCT) mang lại cái nhìn tổng quan về sự thay đổi ứng xử của khung BTCT khi chịu tác động của động đất. Từ đó có biện pháp cấu tạo phù hợp, điều chỉnh cũng như có thêm các giải pháp khắc phục những ảnh hưởng xấu của sự suy giảm độ cứng các tầng bên dưới so với bên trên khi chịu tác động của động đất.

Hiện tại có nhiều phương pháp để phân tích ứng xử của khung khi chịu tác động động đất. Phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến đẩy dẫn Pushover cho phép mô phỏng hiệu suất phi tuyến của khung kết cấu dưới các tác động động đất. Điều này giúp hiểu rõ hơn về cách truyền tải trọng và ứng xử của khung kết cấu trong quá trình diễn ra động đất cũng như giúp xác định vị trí và thứ tự các khớp dẻo được tạo thành [1]. Đối với việc phân tích ứng xử của khung BTCT đơn giản, phương pháp phân tích Pushover mang lại hiệu quả nhờ việc áp dụng phần mềm ETABS giúp quá trình phân tích nhanh, gọn và chính xác.



a) Trận động đất ở Đài Loan - 2024



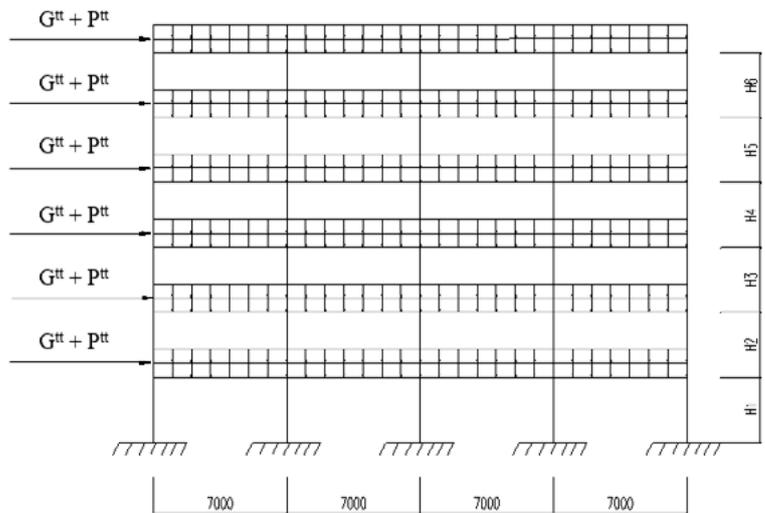
b) Trận động đất ở Thổ Nhĩ Kỳ - 2020

Hình 1 – Thiệt hại, hư hỏng của công trình khi chịu tác động động đất

2. Mô hình khảo sát

Nhằm khảo sát ảnh hưởng của các tham số đến ứng xử của khung bê tông cốt thép khi chịu tác động của động đất, bài báo trình bày các mô hình khảo sát cho một khung giữa của một công trình giả định có 4 nhịp theo phương ngang nhà và 12 nhịp cho phương dọc nhà. Kích thước lưới cột theo phương ngang nhà đều nhau với giá trị $L = 7(m)$. Kích thước lưới cột theo phương dọc nhà đều nhau với giá trị $B = 4(m)$. Tải trọng tác dụng lên khung gồm tải trọng thường xuyên (G_{tt}) và tải trọng tạm thời (P_{tt}) được xác định dựa trên nguyên tắc truyền tải từ các sàn về khung (xem Hình 2). Tải trọng đứng tác dụng lên khung được xác định dựa theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:2023 [2] và tải trọng động đất được tính toán theo phương pháp phổ phản ứng dao động được quy định trong tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 [4].

Các thông số cố định trong tất cả các mô hình khảo sát bao gồm: Công trình bao gồm 6 tầng với chiều cao các tầng mặc định là 3,3m; Công trình được xây dựng tại Quận Thanh Xuân, Hà Nội với công năng chính là văn phòng cho thuê; Vật liệu sử dụng bao gồm bê tông cấp độ bền B20, cốt thép nhóm CB400-V; Tiết diện của các dầm



Hình 2 – Sơ đồ khung phẳng khảo sát

và cột đều là $300 \times 600(mm)$.

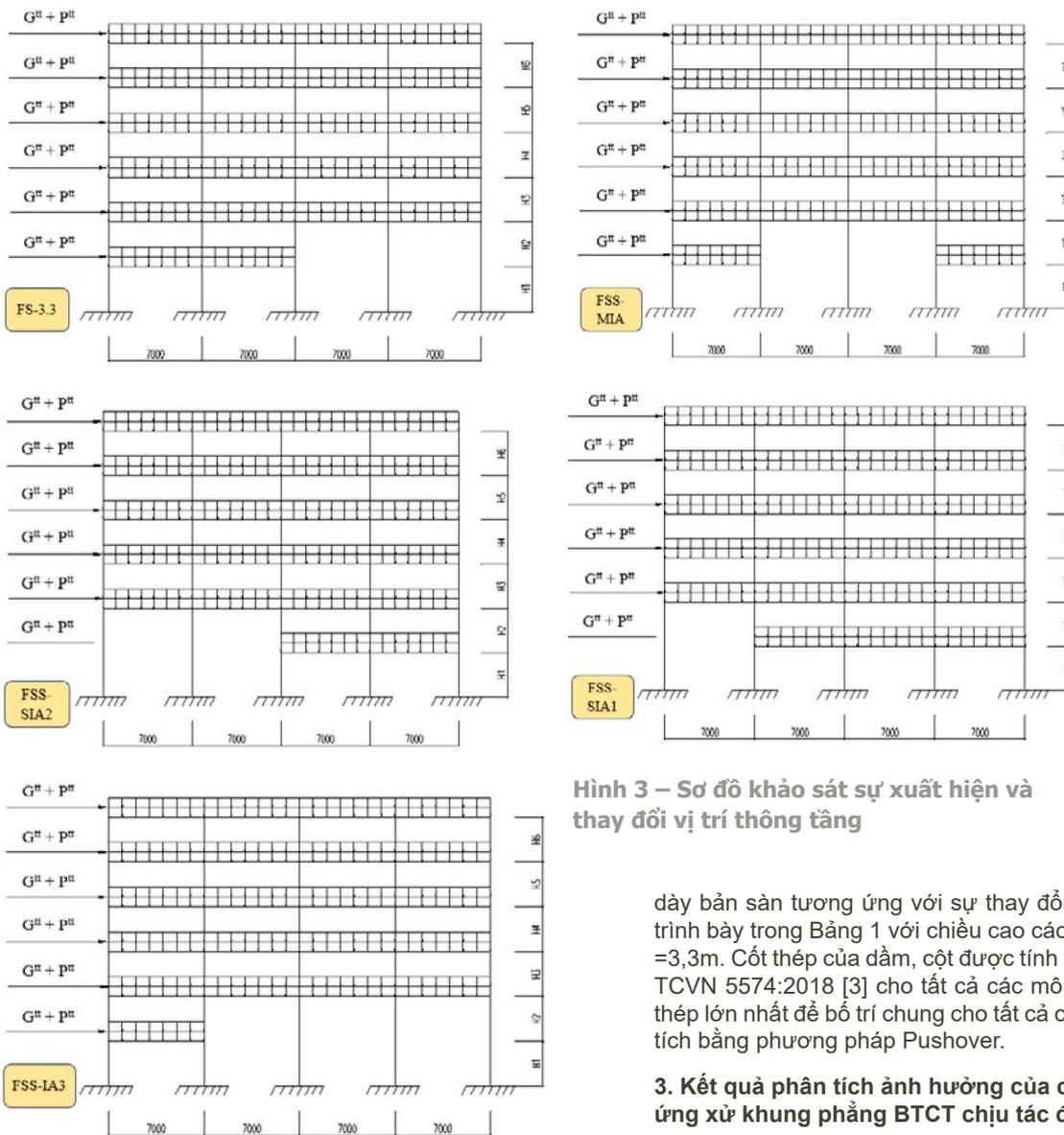
Các thông số thay đổi tương ứng với sự thay đổi độ cứng tầng một so với các tầng bên trên bao gồm: sự thay đổi chiều cao tầng một (xem Bảng 2) và sự xuất hiện cũng như vị trí của khoảng thông tầng với chiều cao các tầng như nhau là H

Bảng 1 – Thông số thay đổi chiều dày bản sàn

Tên mô hình	DFS3.3-0.08	DFS3.3	DFS3.3-0.12	DFS3.3-0.15	DFS3.3-0.2
Chiều dày sàn (mm)	80	100	120	150	200

Bảng 2 – Thông số thay đổi chiều cao tầng

Tên mô hình	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	H5 (mm)	H6 (mm)
DFS 3.3	= H1	3300	3300	3300	3300	3300
DFS 3.6	= H1+300	3600	3300	3300	3300	3300
DFS 3.9	= H1+600	3900	3300	3300	3300	3300
DFS 4.2	= H1+900	4200	3300	3300	3300	3300
DFS 4.5	= H1+1200	4500	3300	3300	3300	3300
DFS 5.2	= H1+1900	5200	3300	3300	3300	3300
DFS 6.6	= H1+3300	6600	3300	3300	3300	3300
DFS 9.9	= H1+6600	9900	3300	3300	3300	3300



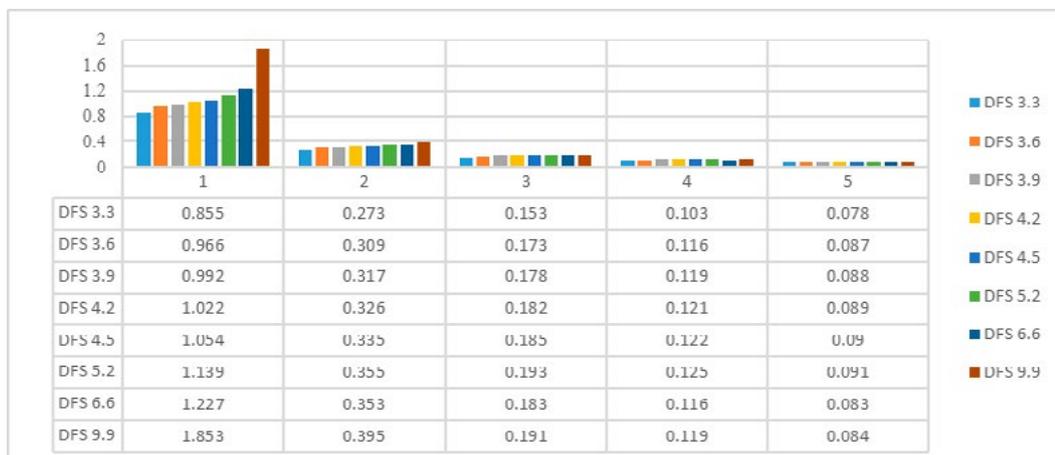
Hình 3 – Sơ đồ khảo sát sự xuất hiện và thay đổi vị trí thông tầng

=3,3m (xem Hình 3). Độ cứng của khung bao gồm độ cứng chống uốn và độ cứng chống cắt tuy nhiên phạm vi của bài báo chỉ xem xét đến độ cứng chống cắt của khung khi chịu thành phần ngang của tải trọng động đất. Các thông số khảo sát sự ảnh hưởng tải trọng đứng thông qua sự thay đổi chiều

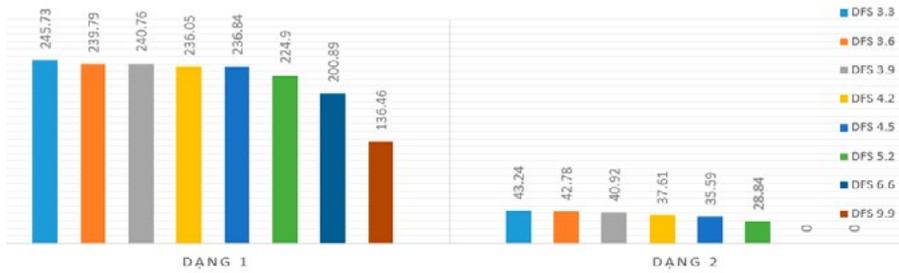
dày bản sàn tương ứng với sự thay đổi độ cứng sàn được trình bày trong Bảng 1 với chiều cao các tầng như nhau là $H = 3,3m$. Cốt thép của dầm, cột được tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [3] cho tất cả các mô hình và lấy kết quả thép lớn nhất để bố trí chung cho tất cả các mô hình khi phân tích bằng phương pháp Pushover.

3. Kết quả phân tích ảnh hưởng của các tham số đến ứng xử khung phẳng BTCT chịu tác động động đất

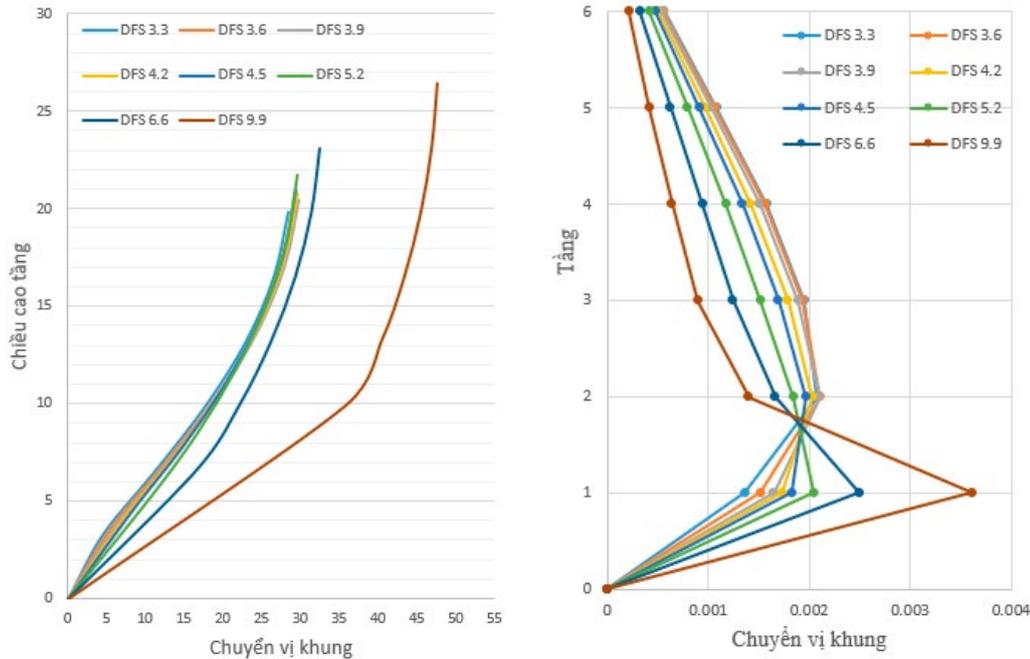
Kết quả so sánh chu kỳ dao động giữa 8 trường hợp thay đổi chiều cao tầng một trong Hình 4 cho thấy chiều cao tầng một càng lớn hay độ cứng tầng một càng giảm thì chu kỳ dao động càng lớn. Đặc biệt khi chiều cao tầng một gấp 3 lần các tầng còn lại tương ứng độ cứng tầng một giảm mạnh (giảm gần 80% độ cứng so với tầng bên trên) thì chu kỳ dao động



Hình 4 – Biểu đồ so sánh chu kỳ dao động khi thay đổi chiều cao tầng một



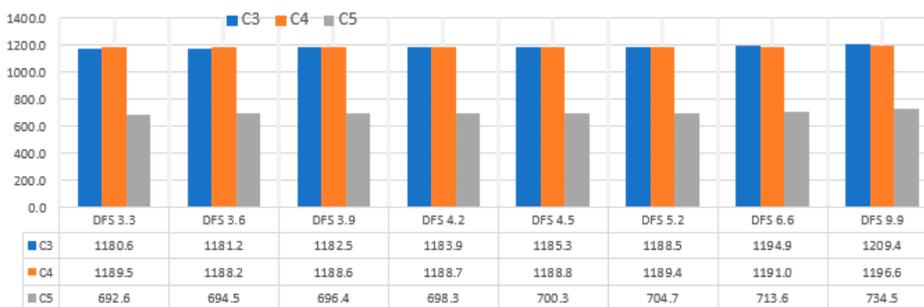
Hình 5 – Biểu đồ so sánh lực cắt đáy khi thay đổi chiều cao tầng một



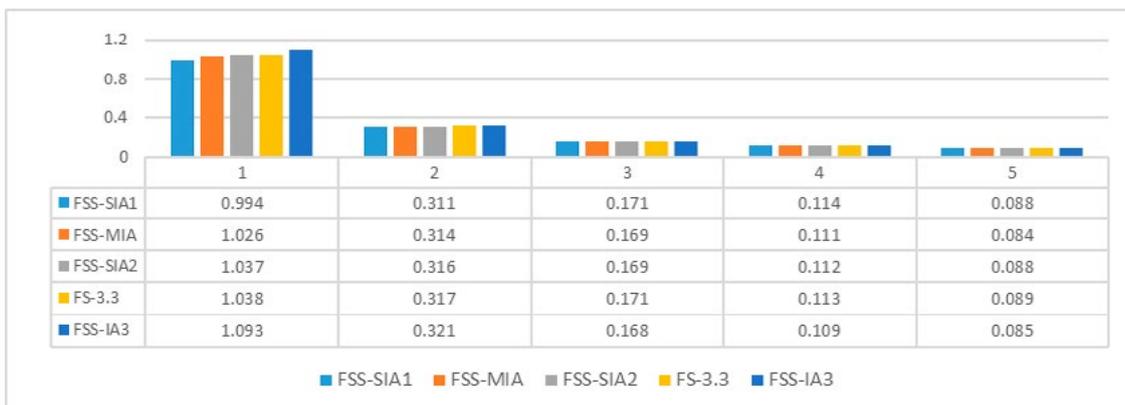
a) Chuyển vị khung

b) Chuyển vị lệch tầng

Hình 6 – So sánh chuyển vị khung và chuyển vị lệch tầng khi thay đổi chiều cao tầng một



Hình 7 – So sánh lực dọc chân cột khi thay đổi chiều cao tầng một



Hình 8 – Biểu đồ so sánh chu kỳ dao động khi xuất hiện và thay đổi vị trí thông tầng

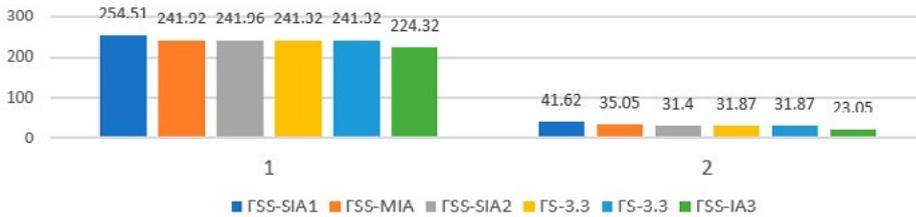
tăng lên rất nhanh (gần 30% so với khi gấp hai lần tương ứng độ cứng tầng một giảm gần 40% so với tầng bên trên). Điều này cho thấy trường hợp chiều cao tầng một gấp 3 lần các tầng còn lại tương đương với việc khung xuất hiện tầng siêu mềm.

Khi so sánh lực cắt đáy do tác động của động đất tác dụng lên khung phẳng, giá trị lực cắt đáy sẽ giảm dần khi chiều cao tầng một tăng dần. Xu hướng tăng nhanh đặc biệt khi độ cứng của tầng một giảm tương đương với tầng mềm hoặc tầng siêu mềm (giảm 35% so với khi độ chênh chiều cao là 2 lần, các trường hợp khác giảm từ 11% trở xuống nên không đáng kể hoặc khá nhỏ) (xem Hình 5). Tương tự, sự thay đổi rõ rệt hình thức chuyển vị khung và chuyển vị lệch tầng có thể nhận thấy khi chiều cao tầng một gấp 2 lần so với các tầng khác tức là độ cứng của tầng một giảm gần

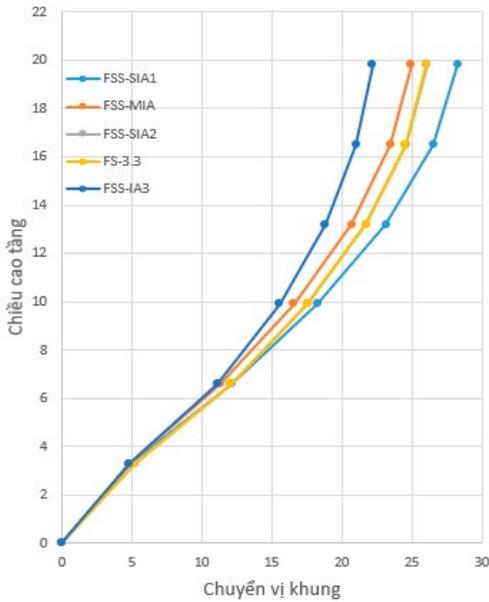
40% (xem Hình 6). Tuy nhiên sự thay đổi chiều cao của tầng một so với các tầng còn lại không ảnh hưởng đến lực dọc tại chân cột khung (xem Hình 7).

Đối với sự xuất hiện của thông tầng và thay đổi vị trí thông tầng trong khung, các tham số liên quan đến tải trọng động đất như chu kỳ dao động và lực cắt đáy có sự thay đổi nhưng không đáng kể (xem Hình 8 và 9). Trong khi đó hình thức chuyển vị khung và chuyển vị lệch tầng sẽ thay đổi đáng kể khi số lượng thông tầng tăng lên nhưng không đáng kể khi thay đổi vị trí của chúng trên khung phẳng (xem Hình 10).

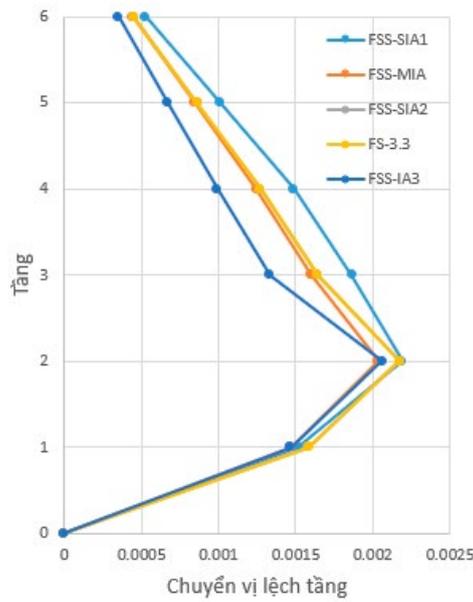
Tải trọng đứng trong khung tăng lên gây ra sự tăng tỷ lệ thuận của chu kỳ dao động cũng như lực cắt đáy tác động lên khung (xem Hình 12 và 13). Hình thức chuyển vị của khung cũng như chuyển vị lệch tầng có sự thay đổi không đáng kể với giá trị dưới 10% khi tải trọng đứng tăng dần thông qua sự thay đổi chiều dày của bản sàn (xem Hình 14). Tuy nhiên trên thực tế sự thay đổi chiều dày bản sàn sẽ làm thay đổi độ cứng của sàn nên cũng sẽ làm thay đổi ứng xử của công trình khi tính toán theo sơ đồ không gian.



Hình 9 – Biểu đồ so sánh lực cắt đáy khi xuất hiện và thay đổi vị trí thông tầng

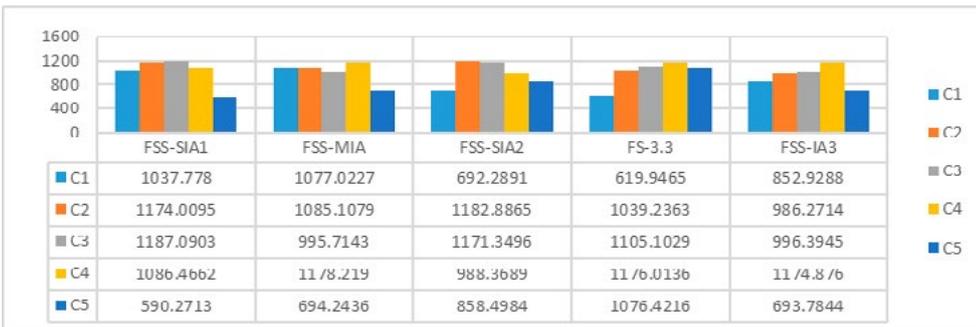


a) Chuyển vị khung

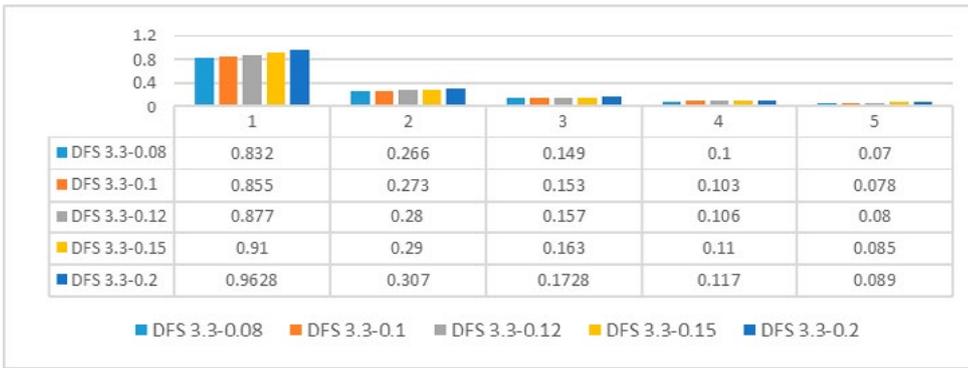


b) Chuyển vị lệch tầng

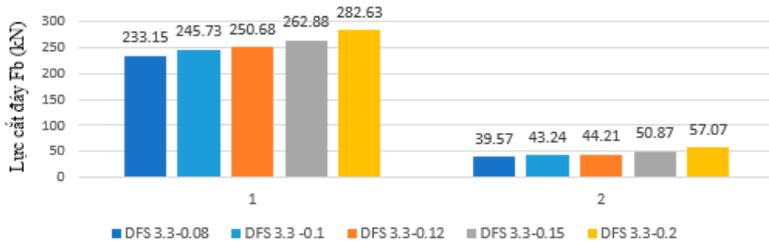
Hình 10 – So sánh chuyển vị khung và chuyển vị lệch tầng khi thay đổi vị trí thông tầng



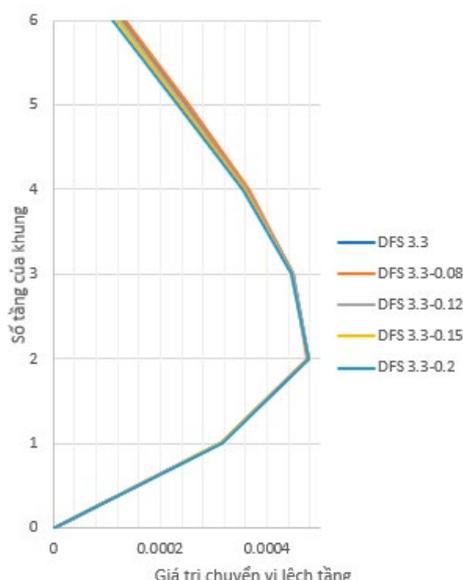
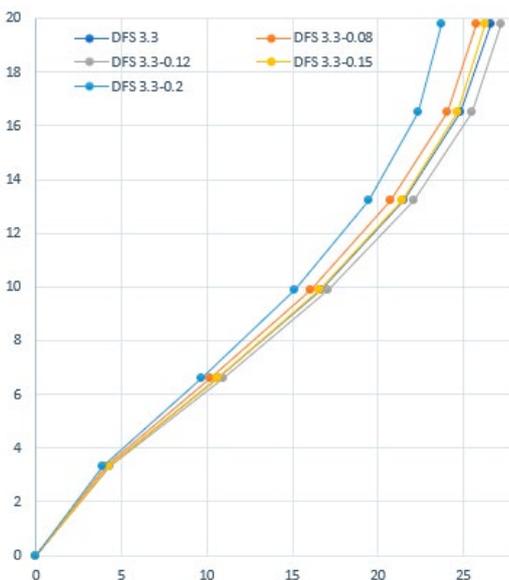
Hình 11 – So sánh lực dọc chân cột khi xuất hiện và thay đổi vị trí thông tầng



Hình 12 – Biểu đồ so sánh chu kỳ dao động khi thay đổi tải trọng đứng



Hình 13 – Biểu đồ so sánh lực cắt đáy khi thay đổi tải trọng đứng



Hình 14 – So sánh chuyển vị khung và chuyển vị lệch tầng khi thay đổi tải trọng đứng

a) Chuyển vị khung

b) Chuyển vị lệch tầng

Ưu điểm của việc phân tích theo phương pháp tĩnh phi tuyến đẩy dần Pushover là nhận biết được vị trí hình thành khớp dẻo đầu tiên trên khung và vị trí của khung đạt đến trạng thái CP (Collapse Prevention) – trạng thái sụp đổ. Từ đó người thiết kế có thể đưa ra phương án thiết kế cũng như cấu tạo để đảm bảo khung làm việc an toàn. Kết quả khảo sát sự hình thành khớp dẻo như Hình 16 cho thấy khớp dẻo đầu tiên hình thành tại chân cột đối với các hệ khung đều đặn chiều cao khi chịu tác động của động đất với tất cả các giá trị thay đổi của tải trọng đứng trên khung. Trong khi đó khi khung có sự suy giảm độ cứng tầng một so với các tầng còn lại thì khớp dẻo đầu tiên được dịch chuyển lên vị trí dầm tiếp giáp giữa 2 tầng có sự thay đổi độ cứng đặc biệt là tại tầng có sự xuất hiện của khoảng thông tầng.

Kết luận

Trong phạm vi khảo sát của bài báo này, kết quả khảo sát thu được một số kết luận như sau:

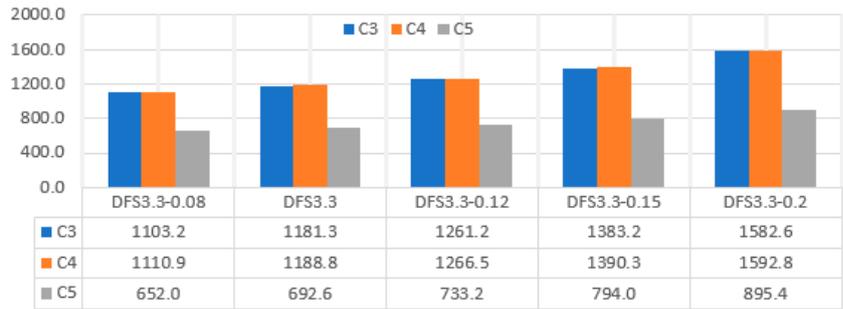
- Độ cứng của tầng một thay đổi thông qua sự thay đổi chiều cao tầng có ảnh hưởng rõ ràng đến ứng xử của khung phẳng BTCT khi chịu tác động của động đất đặc biệt khi sự suy giảm độ cứng từ 40% trở lên. Sự suy giảm độ cứng này dẫn tới chu kỳ dao động tăng nhanh, lực cắt đáy giảm, sự khác biệt rõ rệt về hình thức chuyển vị và chuyển vị lệch tầng.

- Sự xuất hiện và vị trí của các khoảng thông tầng gây ảnh hưởng không đáng kể đến khung phẳng BTCT. Tuy nhiên số lượng khoảng thông tầng trong khung khác nhau cũng dẫn tới sự tăng chu kỳ dao động, giảm lực cắt đáy, tăng chuyển vị khung khi số lượng tầng dần.

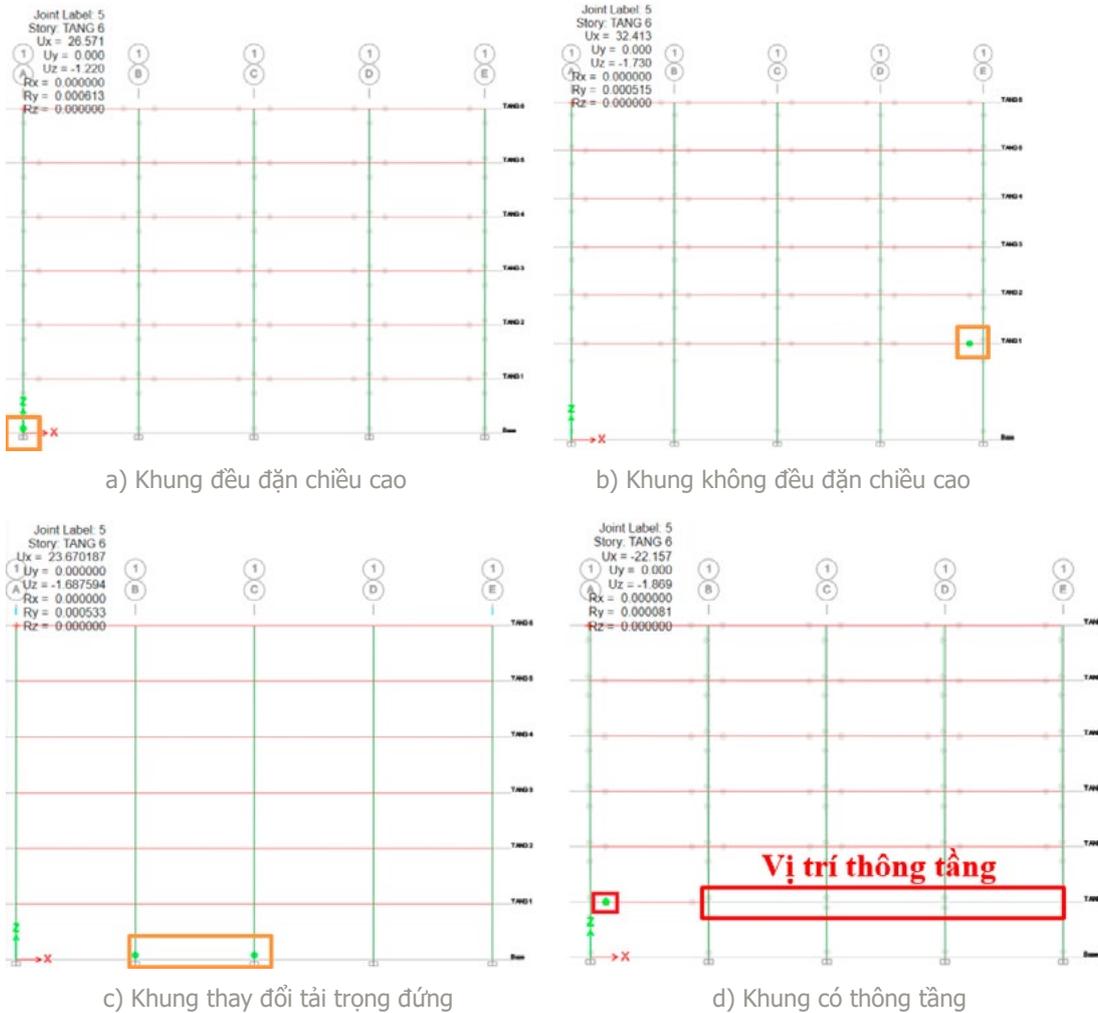
- Ứng xử của khung sẽ tăng tỷ lệ thuận với sự tăng tải trọng đứng trên khung phẳng BTCT nhưng mức tăng nhỏ dưới 10%. Tuy nhiên việc tăng tải trọng đứng thông qua thay đổi chiều dày sàn tương ứng độ cứng của sàn tầng có ý nghĩa trên thực tế đối với khung không gian nhưng chưa

đánh giá được khi khảo sát trên khung phẳng.

Kết quả nghiên cứu của bài báo dựa trên việc khảo sát với giá trị cốt thép trong dầm, cột không được bố trí tương ứng với nội lực khung trong mỗi sơ đồ khảo sát nên còn hạn chế và ảnh hưởng đến tính phi tuyến của khung./.



Hình 15 – So sánh lực dọc chân cột khi thay đổi tải trọng đứng



Hình 16 – So sánh vị trí khớp dẻo đầu tiên hình thành

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Hoàng Anh (2023), “Phân tích ứng xử và khảo sát tham số của công trình khung bê tông cốt thép có tầng mềm chịu tác động động đất”, Luận văn thạc sĩ khóa 2021-2023, Trường đại học Kiến Trúc Hà Nội.
- TCVN 2737:2023 “Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn quốc gia” - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây Dựng 2023
- TCVN 5574:2018 “Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn quốc gia” - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây Dựng 2018
- TCVN 9386:2012 “Thiết kế công trình chịu động đất - Tiêu chuẩn quốc gia” - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây Dựng 2012
- F. Hejazi, S. Jilani, J. Noorzaei, C. Y. Chieng, M. S. Jaafar, A. A. Abang Ali (2011), “Effect of Soft Storey on Structural Response of High Rise Buildings”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, vol.17, doi:10.1088/1757-899X/17/1/012034.
- Gaurav Joshi, K.K. Pathak and Saleem Akhtar (2013), “Seismic Analysis of Soft Storey Buildings Considering Structural and Geometrical Parameters”, Chitkara University, Vol.1, No.2, December 2013, pp. 73–84.
- Nguyễn Thị Thanh Hòa (2018), “Phân tích ảnh hưởng và đề xuất giải pháp thiết kế làm giảm ảnh hưởng của tầng mềm lên công trình nhà nhiều tầng bê tông cốt thép chịu tải trọng động đất”, Tạp chí khoa học kiến trúc và xây dựng – số 30/2018.