

Phân tích và lựa chọn kiểu hệ giằng hiệu quả nhằm giảm chuyển vị ngang của công trình dưới tác động động đất

Nguyễn Ngọc Thắng¹, Phạm Văn Trực^{1*}, Nguyễn Võ Vĩnh Nguyên¹, Nguyễn Hoàng Vũ¹, Nguyễn Hoàng Phúc¹, Lê Thành Nam¹, Huỳnh Lê Minh Tâm¹

¹ Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TỪ KHOÁ

Động đất
Hệ giằng
Chuyển vị ngang
Chuyển vị đỉnh
Độ cứng ngang
Công trình chịu động đất

TÓM TẮT

Dưới tác động của động đất, chuyển vị ngang là một trong những chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ ổn định, khả năng kháng tải ngang và mức độ an toàn làm việc của công trình. Việc lựa chọn kiểu hệ giằng phù hợp không chỉ góp phần nâng cao độ cứng tổng thể mà còn cải thiện rõ rệt ứng xử động của kết cấu. Bài báo này tập trung phân tích và đánh giá hiệu quả của một số kiểu hệ giằng phổ biến nhằm xác định phương án tối ưu trong việc giảm chuyển vị ngang của công trình chịu động đất. Các mô hình kết cấu được xây dựng trong cùng điều kiện về hình học, vật liệu, liên kết và tải trọng; yếu tố thay đổi duy nhất là sơ đồ bố trí hệ giằng. Phân tích số được thực hiện bằng phần mềm SAP2000 dưới tác động động đất để so sánh kết quả của các phương án thông qua các chỉ tiêu đặc trưng như chuyển vị ngang tầng, chuyển vị đỉnh và xu hướng biến dạng của công trình. Kết quả cho thấy hiệu quả giảm chuyển vị ngang phụ thuộc rõ rệt vào kiểu bố trí hệ giằng; trong đó, một số cấu hình giằng thể hiện ưu thế nổi bật nhờ khả năng tăng độ cứng ngang và phân phối nội lực hợp lý hơn. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc lựa chọn hệ giằng hiệu quả trong thiết kế công trình chịu động đất.

KEYWORDS

Earthquake
Bracing system
Lateral displacement
Roof displacement
Lateral stiffness
Earthquake-resistant structures

ABSTRACT

Under earthquake loading, lateral displacement is one of the important indicators reflecting the stability, lateral load-resisting capacity, and operational safety of a structure. The selection of an appropriate bracing system not only contributes to enhancing the overall stiffness of the structure but also significantly improves its dynamic response. This paper focuses on analyzing and evaluating the effectiveness of several common bracing systems in order to determine the optimal solution for reducing the lateral displacement of structures subjected to earthquake loading. Structural models were established under the same conditions of geometry, material properties, boundary conditions, and applied loads, while the only varying factor was the bracing configuration. Numerical analysis was carried out using SAP2000 under earthquake loading to compare the performance of the considered alternatives through characteristic parameters such as story lateral displacement, roof displacement, and the deformation trend of the structure. The results show that the effectiveness of lateral displacement reduction depends strongly on the bracing configuration; among the investigated systems, some bracing layouts exhibit clear advantages due to their ability to increase lateral stiffness and distribute internal forces more rationally. The study provides both a scientific and practical basis for selecting efficient bracing systems in the design of earthquake-resistant structures.

1. Giới thiệu

Động đất là một trong những tác động nguy hiểm đối với công trình xây dựng, vì không chỉ tạo ra tải trọng ngang lặp mà còn làm phát sinh dao động và biến dạng ngang đáng kể trong hệ kết cấu. Theo TCVN 9386:2012, thiết kế công trình chịu động đất phải bảo đảm hai yêu cầu cơ bản: công trình không bị sụp đổ dưới tác động động đất mạnh và mức độ hư hỏng phải được khống chế dưới tác động động đất thường gặp. Vì vậy, việc kiểm soát chuyển vị ngang tổng thể và chuyển vị lệch

tầng có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong đánh giá khả năng làm việc an toàn của công trình. [1]

Trong các giải pháp tăng khả năng kháng tải trọng ngang cho nhà nhiều tầng, hệ giằng thép được xem là một lựa chọn hiệu quả do có khả năng làm tăng độ cứng ngang, giảm chuyển vị ngang và cải thiện sự phân phối nội lực trong hệ kết cấu. Nghiên cứu trong nước của Phạm Thu Hiền và cộng sự đã khảo sát một công trình khung liên hợp thép – bê tông 7 tầng tại Hà Nội với 8 mô hình, trong đó có 1 mô hình không giằng và 7 mô hình bố trí giằng khác nhau; kết quả cho thấy các phương án có giằng làm giảm chuyển vị đỉnh lớn nhất 59,2 %, giảm chuyển vị

*Liên hệ tác giả: phamvantruc@qnu.edu.vn

Nhận ngày 18/03/2026, sửa xong ngày 02/04/2026, chấp nhận đăng ngày 03/04/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1287>

ngang tương đối giữa các tầng tới 77,4 %, đồng thời làm tăng đáng kể lực cắt đáy. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng phương án bố trí hai hệ giằng đầu hồi theo phương X cho hiệu quả cao nhất trong các trường hợp khảo sát. [2]

Về cơ sở cơ học, hiệu quả của hệ giằng không chỉ phụ thuộc vào việc có giằng hay không mà còn phụ thuộc trực tiếp vào ứng xử của thanh giằng dưới tải trọng chu kỳ. Tremblay đã tổng hợp các kết quả thực nghiệm về ứng xử không đàn hồi của thanh giằng thép chéo chịu tải trọng lặp và cho thấy thanh giằng làm việc trong trạng thái kéo – nén luân phiên, trong đó kéo có thể dẫn đến chảy dẻo còn nén dễ dẫn đến mất ổn định và suy giảm khả năng chịu lực. Trên cơ sở đó, Hsiao, Lehman và Roeder đã phát triển một mô hình phân tích cải tiến cho khung giằng đồng tâm đặc biệt, trong đó các phần tử dầm – cột được sử dụng để mô phỏng giằng, dầm và cột, đồng thời xét đến hiệu ứng hình học phi tuyến để mô phỏng hiện tượng oằn của thanh giằng và đề xuất thêm mô hình nút liên kết tấm gusset. Những kết quả này cho thấy khi đánh giá hiệu quả của hệ giằng, cần xem xét đúng cơ chế làm việc và khả năng duy trì độ cứng của thanh giằng dưới tác động động đất. [3], [4]

Từ nền tảng đó, nhiều nghiên cứu so sánh đã chứng minh rằng cấu hình hệ giằng có ảnh hưởng rõ rệt đến đáp ứng ngang của công trình. Patil và Sangle đã thực hiện phân tích tĩnh phi tuyến cho các công trình thép cao tầng phẳng từ 15 đến 35 tầng với 5 cấu hình gồm khung chịu mô men, giằng chevron, giằng chữ V, giằng chữ X và giằng kiểu zipper; kết quả cho thấy các hệ giằng khác nhau tạo ra sự khác biệt rõ rệt về chuyển vị tầng, tỷ số chuyển vị lệch tầng, lực cắt đáy và điểm hiệu năng. Tương tự, Nassani, Hussein và Mohammed đã so sánh phản ứng động đất của các khung thép dùng giằng chữ X, chữ V, chữ V ngược, giằng đầu gối và giằng zipper trên các công trình 4, 8, 12 và 16 tầng, qua đó khẳng định rằng việc lựa chọn hệ chịu lực ngang phù hợp có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả làm việc của công trình thép. [5], [6]

Đối với riêng cấu hình giằng chữ X, Shen, Wen và Akbas cho thấy cơ chế làm việc thực tế của khung giằng chữ X hai tầng phức tạp hơn so với giả thiết giàn lý tưởng; đặc biệt, dầm tại vị trí giao giằng có thể chịu yêu cầu động đất đáng kể và sự chảy dẻo của dầm có thể ảnh hưởng đến nhu cầu nội lực của thanh giằng và liên kết. Ở góc độ tổng quan, Issa, Stephen và Mwafy cũng khẳng định rằng khung giằng thép chịu động đất làm việc thông qua nhiều chu kỳ biến dạng không đàn hồi, bao gồm kéo dài khi chịu kéo và oằn khi chịu nén; do đó, việc lựa chọn cấu hình giằng hợp lý vẫn là một vấn đề có ý nghĩa nghiên cứu và ứng dụng rõ rệt trong thiết kế kháng chấn hiện nay. [7], [8]

Từ các kết quả nghiên cứu nêu trên có thể thấy rằng hệ giằng có ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị ngang của công trình, nhưng mức độ hiệu quả phụ thuộc rõ rệt vào kiểu bố trí giằng và đặc điểm mô hình khảo sát. Tuy nhiên, đối với bài toán lựa chọn phương án kết cấu trong giai đoạn thiết kế ban đầu, việc so sánh trực tiếp các cấu hình giằng cơ bản trên cùng một mô hình khung phẳng, với cùng điều kiện hình học, vật liệu, liên kết và tải trọng, vẫn còn có giá trị thực tiễn rõ rệt. Vì vậy, bài báo này tập trung phân tích và so sánh các phương án bố trí giằng gồm khung không giằng, giằng chéo đơn, giằng chữ V, giằng chữ X

ngược và giằng chữ X bằng phần mềm SAP2000. Các chỉ tiêu đánh giá chính gồm chuyển vị ngang theo tầng, chuyển vị đỉnh và chuyển vị lệch tầng, qua đó lựa chọn kiểu hệ giằng có hiệu quả tốt hơn trong việc giảm chuyển vị ngang của công trình dưới tác động động đất.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương trình chuyển động tổng quát

Trong nghiên cứu này, công trình được lý tưởng hóa là khung phẳng nhiều tầng chịu tác động động đất theo phương ngang. Các mô hình khảo sát có cùng kích thước hình học, vật liệu, điều kiện liên kết và tải trọng; yếu tố thay đổi duy nhất là sơ đồ bố trí hệ giằng.

Phương trình chuyển động tổng quát của hệ được viết:

$$\ddot{\mathbf{M}}\mathbf{u}(t) + \ddot{\mathbf{C}}\mathbf{u}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) = -\ddot{\mathbf{M}}\mathbf{u}_g(t) \quad (1)$$

trong đó:

- $\mathbf{M}$ là ma trận khối lượng;
- $\mathbf{C}$ là ma trận cản;
- $\mathbf{K}$ là ma trận độ cứng;
- $\mathbf{u}(t)$ là vectơ chuyển vị ngang của công trình;
- $\ddot{\mathbf{u}}_g(t)$ là gia tốc nền động đất.

Từ phương trình (1) cho thấy, khi các điều kiện khác không đổi, độ cứng ngang của hệ là đại lượng chi phối trực tiếp đáp ứng chuyển vị. Do đó, bài toán lựa chọn kiểu hệ giằng thực chất là bài toán so sánh khả năng gia tăng độ cứng ngang và khống chế chuyển vị ngang của từng phương án.

2.2. Cơ sở làm việc của khung có giằng

Đối với khung không giằng, tải trọng ngang chủ yếu được kháng bởi cơ chế uốn của dầm và cột, nên độ cứng ngang thường nhỏ và chuyển vị ngang lớn. Khi bố trí hệ giằng, tải trọng ngang được chuyển một phần đáng kể thành lực dọc trong thanh giằng, làm cho hệ làm việc gần với cơ chế giàn. Vì vậy, hệ giằng có tác dụng:

- Tăng độ cứng ngang của khung;
- Giảm chuyển vị ngang tổng thể;
- Giảm chuyển vị lệch tầng;
- Cải thiện phân bố nội lực trong hệ kết cấu.

Tuy nhiên, hiệu quả này phụ thuộc rõ rệt vào kiểu bố trí giằng, vì mỗi cấu hình tạo ra một đường truyền lực và mức độ tăng cứng khác nhau.

2.3. Đặc điểm cơ học của các mô hình khảo sát

Trong nghiên cứu này, sáu mô hình được xem xét gồm: khung không giằng, giằng chéo đơn nghiêng phải, giằng chéo đơn nghiêng trái, giằng chữ V ngược, giằng chữ V và giằng chữ X.

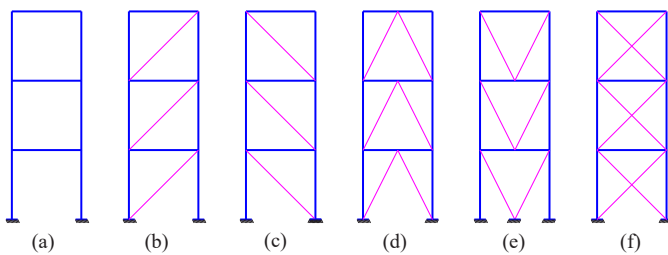
- Khung không giằng được dùng làm mô hình đối chứng, phản ánh khả năng kháng tải ngang cơ bản của hệ khung.

- Giằng chéo đơn tạo đường truyền lực trực tiếp theo một đường chéo trong mỗi tầng, cấu tạo đơn giản nhưng khả năng duy trì độ cứng khi tải trọng đối chiều thường kém hơn các hệ có hai thanh giằng.

- Giằng chữ V ngược và giằng chữ V thuộc nhóm giằng chevron, có khả năng tăng độ cứng ngang tốt hơn giằng chéo đơn, nhưng có thể gây lực không cân bằng tại nút hội tụ khi hai thanh giằng làm việc không đồng đều.

- Giằng chữ X tạo thành các tam giác kín trong từng tầng, thường cho đường truyền lực rõ ràng và độ cứng ngang lớn hơn, nên có tiềm năng giảm chuyển vị ngang tốt hơn.

Như vậy, sự khác biệt giữa các mô hình không nằm ở vật liệu hay kích thước, mà nằm ở cơ chế truyền lực ngang và mức độ tăng cường của từng sơ đồ giằng.



a) Khung không giằng; (b) Khung giằng chéo đơn nghiêng phải; (c) Khung giằng chéo đơn nghiêng trái; (d) Khung giằng chữ V; (e) Khung giằng chữ V ngược; (f) Khung giằng chữ X;

Hình 1. Mô hình khung phẳng 3 tầng với các phương án bố trí giằng khác nhau.

2.4. Các chỉ tiêu đánh giá

Để đánh giá hiệu quả của các phương án hệ giằng trong việc giảm chuyển vị ngang của công trình dưới tác động động đất, nghiên cứu sử dụng các chỉ tiêu phản ánh trực tiếp đáp ứng biến dạng ngang của kết cấu, gồm: chuyển vị ngang tầng, chuyển vị đỉnh công trình, chuyển vị lệch tầng và tỷ số chuyển vị lệch tầng.

Chuyển vị ngang tầng u_i là chuyển vị ngang tại sàn tầng thứ i , phản ánh mức độ dịch chuyển của từng tầng dưới tác động động đất. Đại lượng này cho phép theo dõi sự phân bố biến dạng theo chiều cao công trình và là cơ sở để so sánh xu hướng làm việc giữa các mô hình.

Chuyển vị đỉnh công trình u_{top} là chuyển vị ngang tại tầng trên cùng. Đây là chỉ tiêu tổng quát phản ánh mức độ biến dạng ngang của toàn bộ công trình. Trong cùng điều kiện mô hình, phương án nào cho giá trị chuyển vị đỉnh nhỏ hơn thì có khả năng khống chế biến dạng ngang tổng thể tốt hơn.

Bên cạnh đó, chuyển vị lệch tầng là đại lượng quan trọng để đánh giá mức độ biến dạng tương đối giữa hai tầng liên tiếp, được xác định theo biểu thức:

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (2)$$

trong đó Δ_i là chuyển vị lệch tầng thứ i , u_i là chuyển vị ngang tại tầng thứ i , còn u_{i-1} là chuyển vị ngang của tầng kề dưới.

Từ chuyển vị lệch tầng, tỷ số chuyển vị lệch tầng được xác định như sau:

$$\theta_i = \frac{\Delta_i}{h_i} \quad (3)$$

trong đó h_i là chiều cao tầng thứ i . Đại lượng θ_i phản ánh mức độ biến dạng tương đối của từng tầng và có ý nghĩa quan trọng trong đánh giá khả năng làm việc an toàn của công trình dưới tác động động đất. Nếu chuyển vị lệch tầng tập trung quá lớn tại một tầng, công trình có thể xuất hiện tầng mềm hoặc phát sinh hư hỏng cục bộ bất lợi.

Để so sánh trực tiếp hiệu quả của từng hệ giằng so với mô hình khung không giằng, nghiên cứu sử dụng thêm chỉ tiêu hiệu quả giảm chuyển vị đỉnh, được xác định theo biểu thức:

$$\eta_u = \frac{u_0 - u_i}{u_0} \times 100\% \quad (4)$$

trong đó u_0 là chuyển vị đỉnh của mô hình không giằng, còn u_i là chuyển vị đỉnh của mô hình có giằng. Giá trị η_u càng lớn thì hiệu quả giảm chuyển vị của phương án giằng càng cao.

Như vậy, trong bài báo này, việc lựa chọn kiểu hệ giằng hiệu quả được thực hiện trên cơ sở so sánh đồng thời các chỉ tiêu: chuyển vị ngang theo tầng, chuyển vị đỉnh công trình, chuyển vị lệch tầng và tỷ số chuyển vị lệch tầng. Phương án được xem là hiệu quả hơn khi cho chuyển vị ngang nhỏ hơn, phân bố biến dạng hợp lý hơn và thể hiện khả năng khống chế chuyển vị ổn định hơn dưới cùng điều kiện tác động động đất.

2.5. Tiêu chí lựa chọn hệ giằng

Từ các cơ sở lý thuyết đã trình bày, có thể thấy rằng khi các điều kiện hình học, vật liệu, liên kết và tải trọng được giữ nguyên, sự khác biệt về đáp ứng ngang giữa các mô hình chủ yếu bắt nguồn từ sự khác biệt về cấu hình hệ giằng. Nói cách khác, kiểu bố trí giằng sẽ quyết định mức độ gia tăng độ cứng ngang, cơ chế truyền lực trong khung và khả năng khống chế biến dạng của công trình dưới tác động động đất. Vì vậy, việc lựa chọn hệ giằng cần được thực hiện trên cơ sở các chỉ tiêu phản ánh trực tiếp hiệu quả giảm chuyển vị ngang của kết cấu.

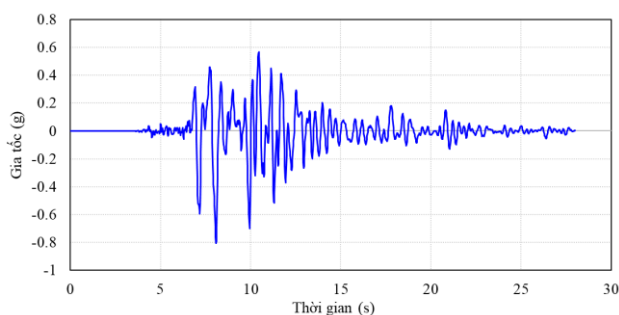
Trong nghiên cứu này, kiểu hệ giằng được xem là hiệu quả hơn khi cho chuyển vị đỉnh công trình nhỏ hơn, vì đây là đại lượng phản ánh mức độ biến dạng ngang tổng thể của toàn hệ. Đồng thời, hệ giằng đó phải cho chuyển vị lệch tầng và tỷ số chuyển vị lệch tầng nhỏ hơn, nhằm hạn chế biến dạng cục bộ giữa các tầng, giảm nguy cơ tập trung hư hỏng và ngăn ngừa sự hình thành tầng mềm. Bên cạnh đó, một phương án giằng hợp lý còn cần bảo đảm sự phân bố chuyển vị tương đối đồng đều theo chiều cao công trình, bởi việc giảm chuyển vị tổng thể nhưng làm biến dạng tập trung lớn tại một số tầng vẫn không được xem là một giải pháp tối ưu về mặt làm việc kết cấu.

Như vậy, tiêu chí lựa chọn hệ giằng trong bài báo không dựa trên một đại lượng riêng lẻ, mà dựa trên sự đánh giá tổng hợp giữa biến dạng ngang tổng thể và biến dạng cục bộ theo tầng. Trên cơ sở đó, phương án được lựa chọn là phương án thể hiện khả năng khống chế

chuyển vị ngang tốt nhất, đồng thời duy trì được dạng biến dạng ổn định và hợp lý hơn dưới cùng điều kiện động đất. Cách tiếp cận này bảo đảm rằng kết quả lựa chọn không chỉ có ý nghĩa về mặt tính toán mà còn có giá trị thực tiễn trong việc đề xuất giải pháp kết cấu phù hợp cho công trình chịu động đất.

3. Mô phỏng và đánh giá kết quả

Trong nghiên cứu này, công trình được mô hình hóa dưới dạng khung phẳng 3 tầng, 1 nhịp trong phần mềm SAP2000, với chiều dài nhịp 4,0 m và chiều cao mỗi tầng 3,6 m. Vật liệu sử dụng là thép S235, có mô đun đàn hồi $E = 2,0 \times 10^5$ MPa, hệ số Poisson 0,3, khối lượng riêng 7850 kg/m³ và giới hạn chảy $f_y = 235$ MPa. Tiết diện cột, dầm và giằng lần lượt được chọn là H300 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 12 mm, I250 $\times$ 175 $\times$ 7,5 $\times$ 11 mm và hộp vuông 100 $\times$ 100 $\times$ 6 mm. Chân cột được giả thiết ngàm hoàn toàn, liên kết dầm-cột là liên kết cứng, còn các thanh giằng được liên kết khớp ở hai đầu. Tĩnh tải bổ sung và hoạt tải được lấy lần lượt bằng 1,5 kN/m² và 2,0 kN/m², sau đó quy đổi thành tải phân bố lên dầm của khung phẳng; do đó tĩnh tải và hoạt tải được quy đổi thành tải phân bố đều tác dụng lên dầm lần lượt là 6,0 kN/m và 8,0 kN/m. Tác động động đất được mô phỏng bằng bản ghi gia tốc nền Kobe (Nhật Bản) năm 1995 dưới dạng phân tích lịch sử thời gian như Hình 2, với tỷ số cản 5 %, bước thời gian 0,02 s và bản ghi được tỷ lệ hóa về gia tốc cực đại nền 0,30 g. Trong toàn bộ các mô hình khảo sát, các thông số hình học, vật liệu, tiết diện, liên kết và tải trọng được giữ không đổi; yếu tố thay đổi duy nhất là sơ đồ bố trí hệ giằng. Việc giữ nguyên các tham số cơ bản và chỉ thay đổi cấu hình giằng cho phép đánh giá trực tiếp ảnh hưởng của từng kiểu giằng đến đáp ứng ngang của công trình.

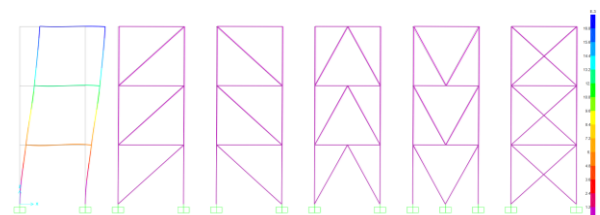


Hình 2. Lịch sử thời gian gia tốc nền của trận động đất Kobe (Nhật Bản) năm 1995.

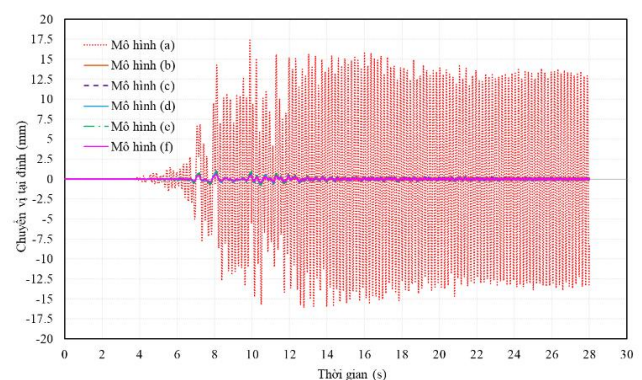
Tác động động đất đầu vào được lựa chọn là bản ghi gia tốc nền của trận động đất Kobe (Nhật Bản) năm 1995, được đưa vào mô hình dưới dạng hàm lịch sử thời gian theo phương ngang. Lịch sử thời gian gia tốc nền sử dụng trong phân tích được trình bày ở Hình 2. Trên cơ sở bản ghi này, phân tích lịch sử thời gian được thực hiện cho từng mô hình nhằm xác định đáp ứng động của công trình. Các đại lượng được trích xuất để so sánh gồm chuyển vị ngang tại các tầng, chuyển vị đỉnh công trình, chuyển vị lệch tầng và dạng biến dạng tổng thể của kết cấu trong quá trình chịu động đất.

Kết quả mô phỏng Hình 3 và Hình 4 cho thấy mô hình khung không giằng có chuyển vị ngang lớn nhất, thể hiện độ cứng ngang của hệ còn hạn chế khi tải trọng ngang chủ yếu được kháng bởi cơ chế uốn của dầm và cột. Khi bố trí hệ giằng, chuyển vị ngang của công trình giảm rõ rệt ở tất cả các tầng, chứng tỏ các thanh giằng đã tham gia hiệu quả vào quá trình truyền tải trọng ngang và làm tăng độ cứng tổng thể của hệ. Tuy nhiên, mức độ giảm chuyển vị không giống nhau giữa các phương án, cho thấy cấu hình giằng là yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả làm việc của kết cấu dưới tác động động đất.

Đối với các mô hình giằng chéo đơn, chuyển vị ngang giảm đáng kể so với khung không giằng, nhưng mức độ cải thiện vẫn còn phụ thuộc vào hướng bố trí của thanh giằng. Do mỗi tầng chỉ có một thanh chéo nên tải trọng ngang chủ yếu được truyền theo một đường lực duy nhất; vì vậy, khả năng tăng độ cứng của hệ chưa thật sự đồng đều khi so với các mô hình có hai thanh giằng trong cùng một tầng. Mặc dù hai sơ đồ giằng chéo đơn nghiêng trái và nghiêng phải đối xứng nhau về hình học, kết quả mô phỏng vẫn cần được xem xét riêng để đánh giá sự khác biệt về đáp ứng trong chiều tác động đang khảo sát.



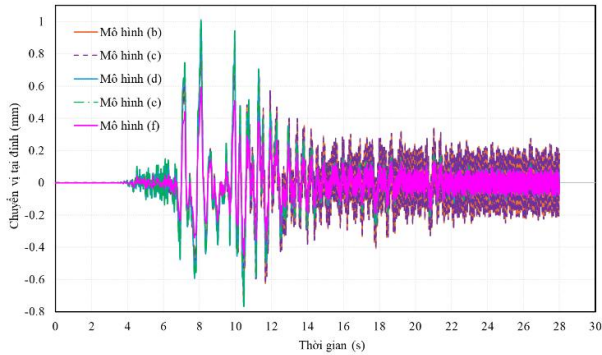
Hình 3. Dạng biến dạng của các mô hình khung phẳng 3 tầng với các phương án bố trí giằng khác nhau dưới tác động động đất, thu được từ mô phỏng bằng SAP2000 (đơn vị chuyển vị: m).



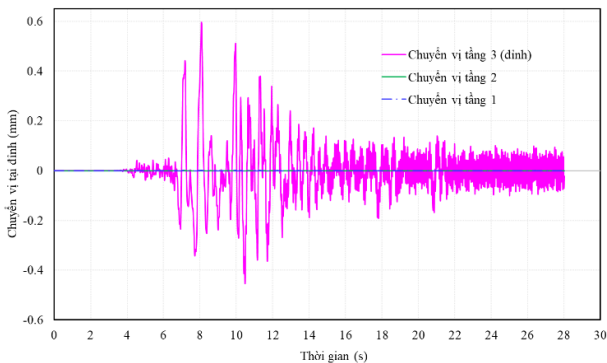
Hình 4. Chuyển vị đỉnh theo thời gian của các mô hình khảo sát dưới tác động động đất.

Đối với các mô hình giằng chéo đơn và giằng chữ V như hình 5, kết quả cho thấy chuyển vị ngang tại đỉnh công trình không có sự khác biệt đáng kể dưới tác động động đất. Điều này cho thấy, trong phạm vi mô hình khảo sát, việc tăng số lượng thanh giằng trong mỗi tầng từ giằng chéo đơn sang giằng chữ V chưa tạo ra sự cải thiện rõ rệt về khả năng khống chế chuyển vị ngang. Nói cách khác, mặc dù hai sơ đồ này có sự khác nhau về hình thức bố trí và cơ chế truyền lực, nhưng hiệu

quả làm việc thể hiện qua đáp ứng chuyển vị đỉnh là tương đương nhau. Kết quả này cho thấy việc lựa chọn hệ giằng không nên chỉ dựa trên trực quan hình học, mà cần dựa trên kết quả mô phỏng và so sánh cụ thể trong cùng điều kiện tính toán.



Hình 5. Biểu đồ lịch sử thời gian chuyển vị tại đỉnh công trình của các mô hình có giằng dưới tác động động đất.



Hình 6. Biểu đồ lịch sử thời gian chuyển vị ngang tại tầng 1, tầng 2 và đỉnh công trình của mô hình giằng chữ X dưới tác động động đất.

Trong các phương án khảo sát, giằng chữ X thường thể hiện ưu thế nổi bật về khả năng khống chế chuyển vị ngang. Điều này có thể lý giải từ cơ chế làm việc của hệ: hai thanh chéo giao nhau trong từng tầng tạo thành các tam giác kín, giúp đường truyền lực ngang rõ ràng hơn và làm tăng đáng kể độ cứng ngang của khung. Nhờ đó, chuyển vị ngang tại các tầng và chuyển vị đỉnh công trình có xu hướng nhỏ hơn, đồng thời dạng biến dạng của công trình cũng ổn định hơn so với các phương án khác. Kết quả này phù hợp với cơ sở lý thuyết đã trình bày ở phần trước, cho thấy các hệ giằng có khả năng tạo thành mạng tam giác khép kín thường phát huy hiệu quả cao hơn trong việc hạn chế biến dạng ngang dưới tác động động đất.

Khi xét đáp ứng chuyển vị theo chiều cao của mô hình giằng chữ X như Hình 6, có thể thấy chuyển vị ngang tại các tầng có sự khác nhau rõ rệt theo thời gian. Chuyển vị tại đỉnh công trình luôn lớn hơn chuyển vị tại các tầng dưới, phản ánh quy luật biến dạng đặc trưng của công trình nhiều tầng dưới tác động động đất. Trong khi đó, chuyển vị tại tầng 1 nhỏ nhất, còn tầng 2 có giá trị trung gian. Kết quả này cho thấy hệ giằng chữ X không chỉ góp phần hạn chế chuyển vị ngang tổng thể

mà còn giúp phân bố biến dạng theo chiều cao công trình theo xu hướng hợp lý. Việc theo dõi chuyển vị tại từng tầng cho phép đánh giá rõ hơn khả năng làm việc của kết cấu, đồng thời là cơ sở để xem xét mức độ ổn định của mô hình giằng chữ X dưới tác động động đất.

Từ các kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng, việc bố trí hệ giằng là giải pháp có hiệu quả rõ rệt trong việc giảm chuyển vị ngang của công trình dưới tác động động đất. Đồng thời, sự khác biệt giữa các mô hình cho thấy không phải mọi kiểu giằng đều mang lại hiệu quả như nhau. Trong cùng điều kiện khảo sát, phương án có giá trị chuyển vị đỉnh nhỏ nhất và chuyển vị lệch tầng hợp lý nhất được xem là phương án tối ưu để lựa chọn. Kết quả này là cơ sở để đề xuất kiểu hệ giằng phù hợp cho công trình chịu động đất, đồng thời góp phần làm rõ ý nghĩa của việc lựa chọn cấu hình giằng ngay từ giai đoạn thiết kế.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành mô phỏng và so sánh ảnh hưởng của các kiểu hệ giằng khác nhau đến chuyển vị ngang của công trình dưới tác động động đất bằng phần mềm SAP2000. Các mô hình được xây dựng trong cùng điều kiện về hình học, vật liệu, liên kết và tải trọng; yếu tố thay đổi duy nhất là sơ đồ bố trí hệ giằng. Trên cơ sở đó, sự khác biệt về đáp ứng của công trình được xem là phản ánh trực tiếp vai trò của cấu hình giằng đối với độ cứng ngang và cơ chế truyền lực của hệ kết cấu.

Kết quả phân tích cho thấy việc bố trí hệ giằng làm giảm đáng kể chuyển vị ngang của công trình so với mô hình khung không giằng. Tuy nhiên, hiệu quả giảm chuyển vị không giống nhau giữa các phương án khảo sát, chứng tỏ kiểu bố trí giằng có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng khống chế biến dạng ngang của công trình dưới tác động động đất. Ngoài việc làm giảm chuyển vị đỉnh, các hệ giằng còn góp phần cải thiện chuyển vị lệch tầng và làm cho sự phân bố biến dạng theo chiều cao công trình trở nên hợp lý hơn.

Thông qua các chỉ tiêu đánh giá gồm chuyển vị ngang theo tầng, chuyển vị đỉnh và chuyển vị lệch tầng, nghiên cứu cho thấy mô hình giằng chữ X là phương án thể hiện hiệu quả cao hơn trong số các trường hợp khảo sát. Kết quả này cho thấy việc lựa chọn đúng cấu hình hệ giằng có ý nghĩa quan trọng không chỉ trong việc gia tăng độ cứng ngang mà còn trong việc nâng cao hiệu quả làm việc tổng thể của công trình chịu động đất.

Từ các kết quả thu được, có thể khẳng định rằng mô phỏng số là công cụ hữu hiệu để đánh giá và lựa chọn sơ đồ giằng phù hợp ngay từ giai đoạn thiết kế. Nghiên cứu này cung cấp thêm cơ sở khoa học cho việc lựa chọn hệ giằng trong công trình chịu động đất, đồng thời có thể làm tài liệu tham khảo cho các nghiên cứu tiếp theo theo hướng mở rộng số tầng, số nhịp, dạng tiết diện, cũng như phân tích phi tuyến để đánh giá sâu hơn ứng xử của kết cấu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9386:2012 - Thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản Xây dựng, 2012.

- [2]. Phạm Thu Hiền, Nguyễn Văn Thắng, Bùi Sĩ Mười, Nguyễn Thị Thanh Thúy. “Ảnh hưởng của hệ giằng thép đến kết cấu nhà khung liên hợp thép-bê tông chịu động đất.” *Tạp chí Xây dựng*, 2025.
- [3]. Tremblay, Robert. “Inelastic Seismic Response of Steel Bracing Members.” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 58, no. 5–8, pp. 665–701, 2002.
- [4]. Hsiao, P.-C., D. E. Lehman, and C. W. Roeder. “Improved Analytical Model for Special Concentrically Braced Frames.” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 73, pp. 80–94, 2012.
- [5]. Patil, D. M., and K. K. Sangle. “Seismic Behaviour of Different Bracing Systems in High Rise 2-D Steel Buildings.” *Structures*, vol. 3, pp. 282–305, 2015.
- [6]. Nassani, D. E., A. K. Hussein, and A. H. Mohammed. “Comparative Response Assessment of Steel Frames With Different Bracing Systems Under Seismic Effect.” *Structures*, vol. 11, pp. 229–242, 2017.
- [7]. Shen, J., R. Wen, and B. Akbas. “Mechanisms in Two-Story X-Braced Frames.” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 106, pp. 258–277, 2015.
- [8]. Issa, A., S. Stephen, and A. Mwafy. “Unveiling the Seismic Performance of Concentrically Braced Steel Frames: A Comprehensive Review.” *Sustainability*, vol. 16, no. 1, article 427, 2024.