

Khảo sát ảnh hưởng của hệ giằng thép đến sự làm việc của kết cấu nhà khung liên hợp thép-bê tông chịu động đất

Investigation of the effect of steel bracing systems on the performance of steel-concrete composite frame structures under earthquake loads

> TS PHẠM THU HIỂN*, TS NGUYỄN VĂN THẮNG, TS BÙI SĨ MƯỜI, TS NGUYỄN THỊ THANH THÚY
Trường Đại học Thủy lợi; *Email: hienpt@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Kết cấu liên hợp thép - bê tông (KCLHT-BT) ngày càng được sử dụng phổ biến trong các công trình nhà nhiều tầng nhờ kết hợp hiệu quả các ưu điểm của hai vật liệu: thép và bê tông. Trong kết cấu nhà nhiều tầng liên hợp thép - bê tông (LHT-BT), hệ giằng là bộ phận quan trọng, đóng vai trò kết nối các cấu kiện chịu lực và tăng cường độ ổn định cho công trình khi chịu các tải trọng ngang như gió và động đất. Tuy nhiên, việc bố trí hệ giằng sao cho tối ưu và hiệu quả trong thiết kế nhà KCLHT-BT vẫn là một vấn đề cần được nghiên cứu và làm rõ.

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của việc bố trí các hệ giằng chéo bằng thép tới phản ứng kháng chấn của một công trình KCLHT-BT với 7 phương án bố trí hệ giằng khác nhau. Phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian được sử dụng để phân tích công trình, trong đó giả định gia tốc của trận động đất Kobe được hiệu chỉnh phù hợp với phổ phản ứng đàn hồi tại Hà Nội và theo TCVN 9386:2012. Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp sử dụng hệ giằng đạt hiệu quả giảm chấn cao, thể hiện qua độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh của các phương án khảo sát có bố trí hệ giằng so với công trình không có hệ giằng, giảm lớn nhất 59,2%, giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng lên đến 77,4% và lực cắt đáy tăng đáng kể. Trong đó, phương án bố trí 2 hệ giằng đầu hồi theo phương X đạt hiệu quả cao nhất trong các phương án khảo sát. Điều này khẳng định vai trò quan trọng của hệ giằng trong việc tăng độ cứng ngang và khả năng kháng chấn của KCLHT-BT.

Từ khóa: Kết cấu liên hợp thép - bê tông, hệ giằng, nhà nhiều tầng, thiết kế kháng chấn.

ABSTRACT

Steel-concrete composite structures are increasingly used in high-rise buildings due to the combination of the advantages of steel and concrete materials. In steel-concrete composite high-rise buildings, the bracing system is a crucial component that connects load-bearing members and enhances the stability of the structure under lateral loads such as wind and earthquakes. However, the optimal and effective arrangement of bracing systems in steel-concrete composite building design remains an issue that needs further clarification. This study investigates the influence of steel X-bracing arrangements on the seismic response of an steel-concrete composite building with 7 different bracing options. Nonlinear time-history analysis is employed to analyze the structure, using the acceleration time history of the Kobe earthquake, adjusted to match the elastic response spectrum in Hanoi according to TCVN 9386:2012. The research results show that the use of bracing systems achieves high damping effectiveness, demonstrated by the reduction in roof horizontal displacement in the surveyed schemes with bracing compared to the structure without bracing, with the maximum reduction of 59.2 %, inter-story drift reduction up to 77.4 %, and a significant increase in base shear. Among them, the scheme of arranging the bracing system at both gable ends of the building in the X direction achieves the highest efficiency among the surveyed schemes. This confirms the important role of bracing systems in increasing lateral stiffness and seismic resistance of steel-concrete composite structures.

Keywords: Steel-concrete composite structures, bracing system, high-rise buildings, seismic design.

1. GIỚI THIỆU

Động đất là một trong những mối đe dọa nghiêm trọng đối với an toàn và tính toàn vẹn của các công trình cao tầng, gây ra nguy cơ sụp đổ, thiệt hại về người và tổn thất kinh tế lớn. Do tính chất khó dự đoán và tác động động lực của động đất, các hệ kết cấu cần được thiết kế để chịu tải trọng này, nhằm đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng. Trong bối cảnh Việt Nam nằm trong vùng có nguy cơ động đất và tốc độ đô thị hóa nhanh, việc áp dụng các giải pháp kết cấu kháng chấn trong thiết kế nhà cao tầng ngày càng được chú trọng.

Hiện nay, các hệ kết cấu cho công trình nhà chủ yếu bao gồm kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), kết cấu thép và kết cấu liên hợp thép - bê tông. Kết cấu BTCT được ưa chuộng nhờ tính kinh tế và tính ổn định cao, trong khi kết cấu thép nổi bật với trọng lượng nhẹ, tỷ lệ cường độ/trọng lượng cao và khả năng biến dạng dẻo tốt. Kết cấu liên hợp thép - bê tông kết hợp ưu điểm của cả hai vật liệu trên, tận dụng cường độ chịu kéo, tính dẻo của thép và cường độ chịu nén, độ ổn định của bê tông, từ đó nâng cao hiệu quả kháng chấn. Tại Việt Nam, dù kết cấu BTCT vẫn chiếm ưu thế, kết cấu thép và liên hợp đang ngày càng phổ biến ở các đô thị lớn do nhu cầu xây dựng nhanh, khả năng chịu tải trọng ngang tốt và cải thiện độ cứng. Trong các công trình dùng kết cấu thép hoặc kết cấu liên hợp thép-bê tông cốt thép, hệ giằng thép được sử dụng như một giải pháp hiệu quả và kinh tế để tăng cường khả năng chịu tải trọng ngang cho hệ kết cấu chịu lực chính, đặc biệt trong các công trình chịu động đất. Sự kết hợp khung chịu lực chính và hệ giằng làm tăng độ cứng của hệ kết cấu, giúp giảm chuyển vị ngang, giảm mômen uốn trong cột và tăng cường độ ổn định tổng thể cho công trình. Hệ giằng thép còn có ưu điểm thi công linh hoạt, tiết kiệm vật liệu, dễ lắp dựng và chiếm ít không gian. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của các loại hệ giằng, như giằng đúng tâm (hệ giằng chữ X) và lệch tâm (hệ giằng chữ V, hệ giằng EB (Eccentric Bracing)). Các nghiên cứu trước đây cho thấy hệ giằng chữ X thường hiệu quả hơn trong việc giảm chuyển vị ngang và cải thiện độ cứng, dù hệ giằng lệch tâm có khả năng tiêu tán năng lượng tốt qua biến dạng dẻo [1], [2], [3], [4].

Tuy nhiên, hiệu quả của hệ giằng phụ thuộc vào cách bố trí và đặc điểm công trình. Nghiên cứu này tập trung khảo sát ảnh hưởng của hệ giằng thép đến sự làm việc của kết cấu nhà khung liên hợp thép - bê tông chịu động đất, với trọng tâm là đánh giá hiệu quả của hệ giằng chữ X. Một mô hình công trình 7 tầng tại Hà Nội được phân tích, sử dụng tám mô hình kết cấu, bao gồm một mô hình không giằng và bảy mô hình với các phương án bố trí giằng khác nhau, theo tiêu chuẩn Việt Nam. Các chỉ tiêu đánh giá gồm chuyển vị đỉnh, chuyển vị lệch tầng và lực cắt đáy, nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn hệ giằng tối ưu trong thiết kế kháng chấn.

2. KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT

KCLHT-BT đã được khẳng định là một giải pháp tối ưu cho các tòa nhà nhiều tầng tại vùng địa chấn, nhờ khả năng kết hợp các ưu điểm của thép và bê tông, mang lại độ cứng cao, khả năng chịu tải vượt trội và tính dẻo hiệu quả dưới tác động của động đất [5]. Phần này trình bày các hệ kết cấu liên hợp phổ biến, vai trò của hệ giằng trong việc tăng cường khả năng kháng chấn, và phương pháp phân tích tải trọng động đất theo tiêu chuẩn Việt Nam.

2.1. Các hệ kết cấu cho nhà liên hợp thép - bê tông chịu động đất

Hệ KCLHT-BT thường bao gồm khung liên hợp (composite frames), dầm và cột thép bọc bê tông (encased steel sections), và

sàn liên hợp thép - bê tông (composite slabs), được thiết kế để tối ưu hóa truyền tải lực và tiêu tán năng lượng địa chấn [6]. Hiệu quả kháng chấn của hệ này phụ thuộc vào khả năng kiểm soát chuyển vị ngang, chuyển vị ngang tương đối giữa các tầng (inter-story drift), và ngăn ngừa mất ổn định cục bộ hoặc tổng thể. Kết cấu liên hợp đã chứng minh độ tin cậy cao trong các vùng địa chấn nhờ sự phối hợp giữa tính chất vật liệu thép và bê tông, đặc biệt khi ứng dụng tại các công trình thực tế ở Việt Nam [7]. Các nghiên cứu quốc tế cũng chỉ ra rằng hệ khung liên hợp, khi kết hợp với tường cắt (shear walls) hoặc hệ giằng, có thể tăng cường đáng kể khả năng chịu tải động đất [8].

2.2. Hệ giằng trong kết cấu liên hợp chịu động đất

Hệ giằng (giằng chéo, chữ V, chữ K hoặc lệch tâm) là giải pháp phổ biến để tăng khả năng kháng chấn cho nhà nhiều tầng liên hợp thép - bê tông, nhờ tăng độ cứng ngang, giảm chuyển vị và cải thiện tiêu tán năng lượng qua biến dạng dẻo [9]. Giằng thép hoặc kết hợp tấm BTCT tối ưu hóa chịu lực, phân phối lực cắt đều, giảm ứng suất tập trung và kiểm soát mất ổn định ngang của dầm thép [6]. Các giải pháp như bu-lông cường độ cao hoặc gân tăng cứng tại nút liên kết nâng cao độ tin cậy [5]. Đồng thời, hệ giằng cải thiện tiêu tán năng lượng qua biến dạng dẻo, đặc biệt khi kết hợp với cốt thép bọc bê tông [6]. Tuy nhiên, độ cứng tăng có thể làm tăng lực quán tính và nội lực tại liên kết và móng. Chi phí chế tạo, lắp đặt cũng đòi hỏi kỹ thuật cao, đặc biệt tại Việt Nam, nơi nguồn lực còn hạn chế. Do đó, thiết kế cần tối ưu hóa qua phân tích động lực học và mô phỏng số để cân bằng hiệu quả kháng chấn và tính kinh tế [10]. Tại Việt Nam, ứng dụng hệ giằng trong thiết kế kháng chấn cho công trình vẫn còn hạn chế. Các tiêu chuẩn thiết kế như TCVN 9386:2012 và TCVN 5575 cung cấp cơ sở lý thuyết, nhưng việc áp dụng thực tế đòi hỏi sự điều chỉnh phù hợp với điều kiện địa chấn cụ thể của từng khu vực [11]. Ngoài ra, các nghiên cứu điển hình từ các nước có kinh nghiệm như Nhật Bản, Mỹ có thể đóng vai trò tham chiếu quan trọng cho việc phát triển giải pháp này tại Việt Nam.

2.3. Phân tích kết cấu và xác định tải trọng động đất theo tiêu chuẩn Việt Nam

Phân tích kết cấu và xác định tải trọng động đất là bước quan trọng trong thiết kế nhà khung liên hợp thép - bê tông. Theo TCVN 9386:2012, hai phương pháp chính được sử dụng là phương pháp tĩnh lực ngang tương đương và phương pháp động lực học, tùy thuộc vào độ phức tạp và chiều cao công trình. Phương pháp tĩnh lực ngang tương đương phù hợp cho công trình thấp và trung bình, trong khi phương pháp động lực học, bao gồm phân tích phổ phản ứng hoặc lịch sử thời gian, được khuyến nghị cho công trình cao tầng và phức tạp để mô phỏng chính xác phản ứng kết cấu dưới tác động địa chấn [10]. Quy trình xác định tải trọng động đất theo TCVN 9386:2012 gồm: (1) xác định gia tốc nền tham chiếu (a_{gR}) dựa trên bản đồ phân vùng địa chấn Việt Nam; (2) chọn hệ số tâm quan trọng (γ_i) theo chức năng công trình; (3) xác định hệ số ứng xử kết cấu (q) dựa trên tính dẻo của hệ liên hợp; và (4) đánh giá loại nền đất để xây dựng phổ phản ứng thiết kế. Các thông số này đảm bảo tải trọng động đất được tính toán phù hợp với thực tế, nâng cao an toàn và hiệu quả kinh tế cho công trình [12].

3. KẾT CẤU CÔNG TRÌNH VÀ TẢI TRỌNG DÙNG TRONG PHÂN TÍCH

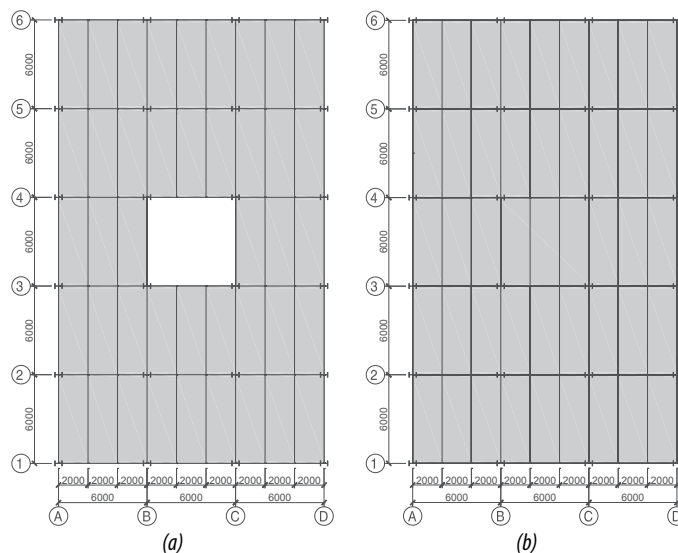
3.1. Thông tin công trình dùng trong phân tích

Trong bài báo, một công trình nhà dân dụng có 7 tầng dùng KCLHT-BT có các mặt bằng kết cấu tầng điển hình và mặt bằng kết cấu mái như Hình 1 được sử dụng để phân tích. Công trình có chiều cao các tầng bằng nhau và bằng 3,5 m; mặt bằng công trình

có 3 nhịp 6,0 m theo phương X và có 5 nhịp 6,0 m theo phương Y. Công trình sử dụng cột thép và dầm sàn liên hợp có tiết diện và vật liệu được liệt kê như trong Bảng 1. Hệ giằng thép đúng tâm dạng chéo chữ X có tiết diện 2L70×70×7 được bố trí theo 7 phương án khác nhau để phân tích so sánh như trong Bảng 2. Với phương án đặt giằng biên 1X (PA2), theo phương X vị trí thanh giằng bố trí tại trục B-C từ tầng 1 đến 7, trong các khung trục biên số 1 và số 6. Theo phương Y thanh giằng được bố trí ở trục 1-2, 3-4, 5-6 tại các khung biên (khung trục A và D). Bảng 2 giới thiệu chi tiết vị trí bố trí thanh giằng tương ứng từng trường hợp khảo sát, trong đó thể hiện rõ vị trí giằng bố trí theo phương X và Y, cũng như tại các khung khác nhau (chỉ bố trí tại biên hay đủ toàn bộ các khung). Sơ đồ không gian mô phỏng hệ kết cấu của công trình bằng phần mềm ETABS theo phương án không sử dụng giằng và có sử dụng giằng được thể hiện tương ứng ở Hình 2a và Hình 2b.

Bảng 1. Tiết diện cấu kiện của công trình

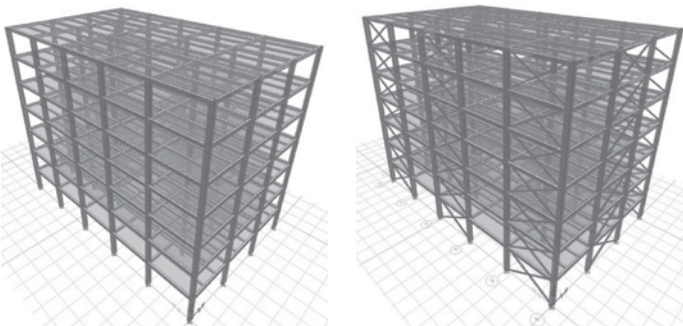
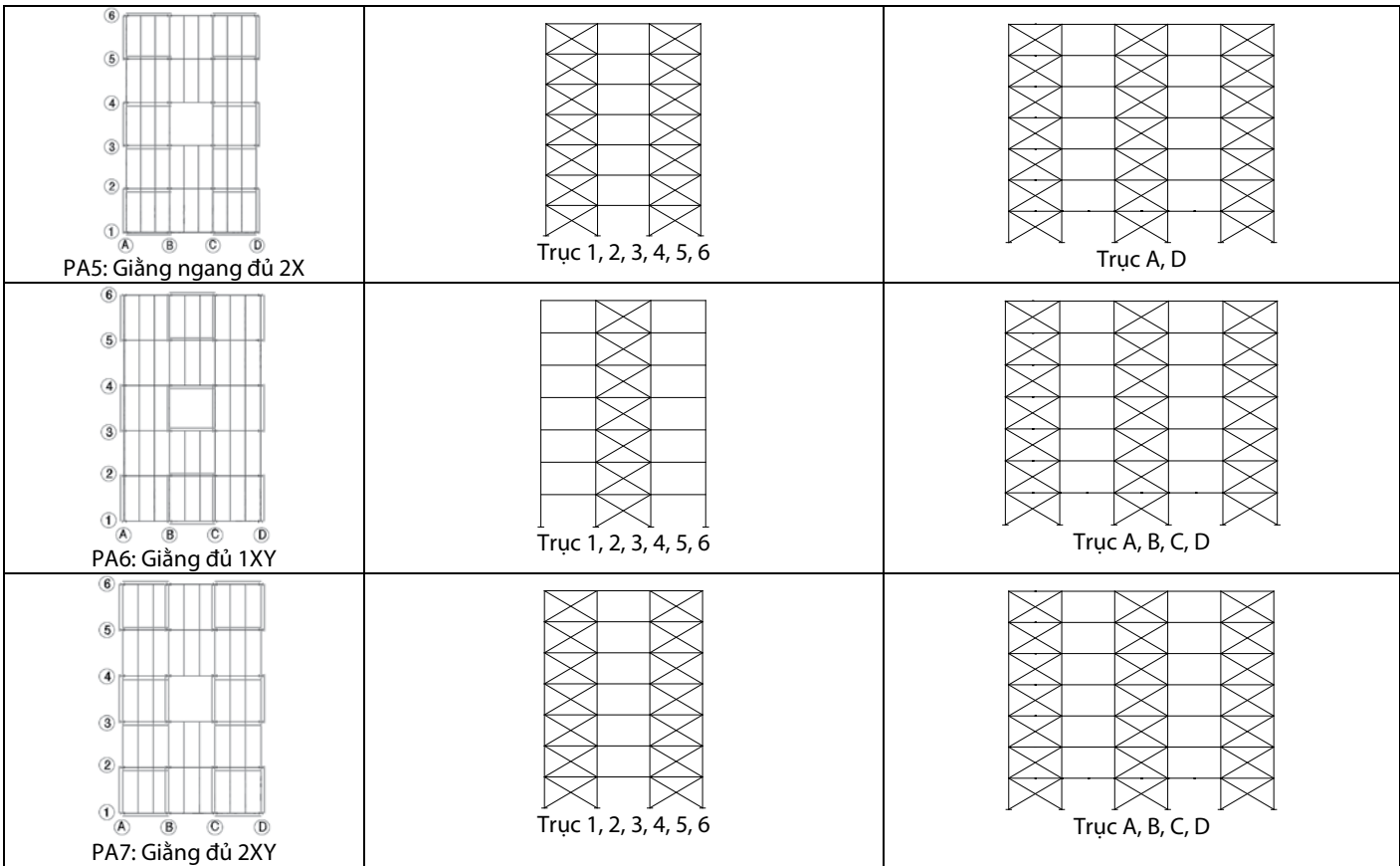
Cấu kiện	Tiết diện (mm)	Mác vật liệu
Dầm thép phương X (trục 1-6)	I300×200×15×20	S235
Dầm thép phương Y (Trục A-D)	I300×200×12×16	S235
Dầm thép phương Y (dầm phụ)	I180×150×8×10	S235
Cột thép	I500×300×15×20	S235
Giằng thép đúng tâm	2L70×70×7	S235
Sàn liên hợp	Bề dày sàn bê tông, h_c	50
	Bề dày sóng tôn, h_p	51
	Bề dày tôn	0,7



Hình 1. Mặt bằng công trình
(a) Mặt bằng tầng điển hình; (b) Mặt bằng tầng mái

Bảng 2. Các trường hợp bố trí hệ giằng cho công trình dùng trong phân tích

Mặt bằng phương án bố trí	Khung có bố trí hệ giằng theo phương X	Khung có bố trí hệ giằng theo phương Y
PA1: Không giằng	-	-
PA2: Giằng biên 1X 	Trục 1, 6 	Trục A, D
PA3: Giằng biên 2X 	Trục 1, 6 	Trục A, D
PA4: Giằng ngang đủ 1X 	Trục 1, 2, 3, 4, 5, 6 	Trục A, D



(a) Công trình khi không bố trí hệ giằng (b) Công trình khi có hệ giằng

Hình 2. Sơ đồ kết cấu công trình mô phỏng bằng phần mềm ETABS

3.2. Tải trọng tác động lên công trình

Giá trị tải trọng tĩnh tải là 1,5 kN/m² và tải trọng tạm thời ngắn hạn được thiết kế 2,0 kN/m² với cả hai trường hợp hệ có giằng và không giằng. Bê tông cấp độ bền B25 có cường độ tính toán $R_b = 14,5$ MPa, mô đun đàn hồi $E_b = 30000$ MPa và hệ số Poisson $\nu = 0,2$. Thép kết cấu được sử dụng cho dầm, cột, thanh giằng thuộc nhóm thép S235 với mô đun đàn hồi $E_a = 2 \times 10^5$ MPa.

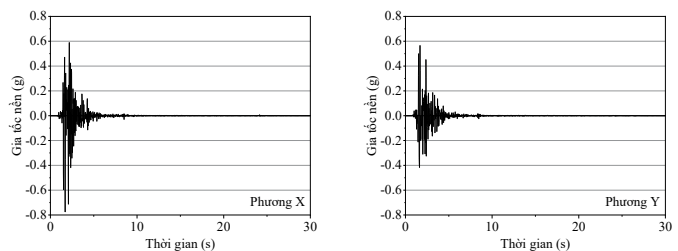
Trong nghiên cứu này, hiệu quả của hệ thống giằng được đánh giá bằng cách so sánh các phản ứng động đất khác nhau cho hai tòa nhà KCLHT-BT có và không có hệ thống giằng. Để so sánh, phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian (Nonlinear Time History Analysis - NTHA) được thực hiện cho cả hai tòa nhà. Trận động đất được lựa chọn để phân tích là động đất xảy ra tại Kjma, Kobe - Nhật Bản năm 1995. Thông tin về gia tốc nền được lấy cơ sở dữ liệu về các trận động đất PEER NGA West 2 [13]. Bảng 3 thể hiện thông tin về trận động đất bao gồm tên, địa điểm và năm xảy ra, đỉnh gia tốc nền, độ lớn M_w . Trận động đất Kobe xảy ra trong thời gian gần

30 giây gồm hai thành phần theo phương X và phương Y được sử dụng để phân tích được thể hiện tại Hình 3.

Công trình KCLHT-BT được xây dựng tại Hà Nội, có nền đất loại B với đỉnh gia tốc nền tham chiếu $a_{gR} = 0,12g$. Phần mềm ETABS được sử dụng để phân tích ứng xử của tòa nhà dưới tác động của trận động đất Kobe, trong đó gia tốc nền được hiệu chỉnh theo phổ phản ứng đàn hồi của TCVN 9386:2012 theo cả hai phương, với các thông số: hệ số ứng xử $q = 4$; $T_B = 0,15$ s; $T_C = 0,5$ s; $T_D = 2$ s.

Bảng 3. Thông tin các gia tốc nền khảo sát

Trận động đất	PGA (g)	M_w	R_{jb} (km)	Địa điểm	Năm
Kobe	0,78	6,9	0,94	KJMA_Nhật Bản	1995



Hình 3. Gia tốc nền KOBE theo hai phương

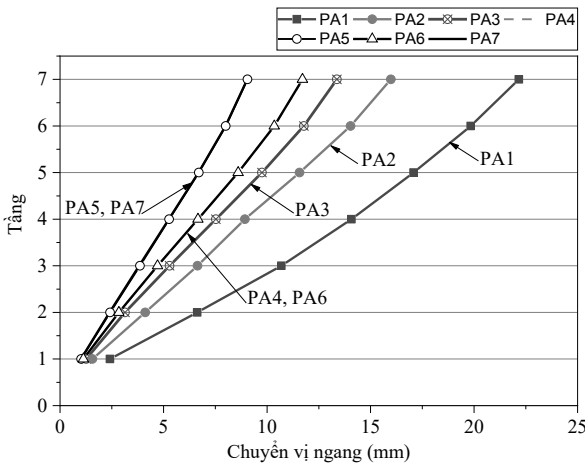
4. KHẢO SÁT HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA HỆ GIẰNG THÉP CHO KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG

Kết quả thu được bằng cách áp dụng NTHA trên cả hai tòa nhà liên hợp thép - bê tông có hệ giằng và không có, được so sánh bằng cách lấy các thông số phản ứng động đất khác nhau chuyển vị ngang tương đối theo tầng, chuyển vị ngang của tầng và lực cắt

đây. Kết quả được đánh giá bằng cách phân tích các mô hình cụ thể cho thấy rằng một hệ thống giằng sẽ làm tăng khả năng chống động đất của tòa nhà. Các kết quả thu được từ mô hình và phân tích kết cấu theo các thông số phản ứng khác nhau được trình bày dưới dạng Bảng và Hình trong các phần bên dưới.

4.1. Chuyển vị ngang

Hình 4 thể hiện chuyển vị ngang tại các tầng theo phương X, với 7 phương án khảo sát trình bày tại Bảng 2. Dựa vào biểu đồ có thể nhận thấy chuyển vị ngang tại các tầng đối với công trình KCLHT-BT không có hệ giằng lớn hơn đáng kể so với tòa nhà khi bố trí hệ giằng. Kết quả so sánh giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh được trình bày trong Bảng 4 cho thấy khi bố trí hệ giằng biên tại hai trục theo phương X (PA3) giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh giảm 39,7%, nhiều hơn đáng kể so với trường hợp chỉ bố trí hệ giằng tại một trục (PA2) với giá trị là 27,9%. Với kết quả chuyển vị ngang tại đỉnh theo phương X, có thể thấy khi bố trí hệ giằng theo phương X đủ tất cả các khung thì hiệu quả là tương đương nếu có hay không bố trí đủ hệ giằng theo phương Y: cụ thể, với PA4: hệ giằng theo phương X được bố trí đủ các khung và phương Y chỉ bố trí giằng biên, trong khi đó PA6 bao gồm đủ hệ giằng X và đủ hệ giằng Y, thì độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh là gần như nhau (47,1% và 47,2%). Từ Hình 4 và Bảng 4 thấy rằng, theo phương X và tại tầng trên cùng, độ giảm chuyển vị ngang tối đa cho kết cấu là hệ giằng được bố trí theo PA5 và PA7, với độ giảm khoảng 59%.



Hình 4. Chuyển vị ngang của tầng theo phương X
Bảng 4. So sánh chuyển vị ngang tại với các phương án khảo sát

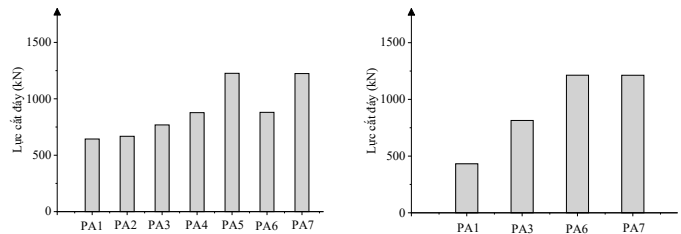
Tên phương án	Chuyển vị ngang tại đỉnh (mm)	Độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh so sánh với trường hợp không bố trí hệ giằng (%)
PA1	22,162	-
PA2	15,982	27,9
PA3	13,372	39,7
PA4	11,714	47,1
PA5	9,056	59,3
PA6	11,709	47,2
PA7	9,045	59,2

Rõ ràng, các công trình liên hợp thép - bê tông có hệ thống giằng có chuyển vị ngang của tầng ít hơn đáng kể so với các tòa nhà liên hợp đơn giản, vì hệ thống giằng rất hiệu quả trong việc chống lại tải trọng ngang. Điều này là do thực tế là các thanh giằng làm tăng tổng trọng lượng và độ cứng của tòa nhà. Do đó, hệ thống giằng giúp tăng độ ổn định tổng thể của tòa nhà liên hợp bằng cách giảm chuyển vị của tầng trong hệ thống.

4.2. Lực cắt đáy

Giá trị lực cắt đáy cho các trường hợp phân tích khác nhau theo hai phương X và Y được trình bày trong Hình 5. Giá trị lực cắt đáy của công trình có bố trí hệ giằng cao hơn đáng kể với kết cấu khi không có hệ thống giằng. Điều này được lý giải là do tổng trọng lượng của tòa nhà tăng khi thêm hệ thống giằng, dẫn đến làm tăng độ cứng tổng thể của công trình.

Rõ ràng với thông số giá trị lực cắt đáy, kết quả theo phương X, khi bố trí hệ giằng theo phương X đủ tại các khung (PA4, PA5) thì giá trị lực cắt đáy tăng lên đáng kể so với khi không đặt hệ giằng, tương ứng 36,3% và 90,4%. Trong khi đó khi kết quả xuất theo phương X, việc bố trí thêm các hệ giằng đủ tại các khung theo phương Y, không làm tăng thêm lực cắt đáy, cụ thể giá trị lực cắt đáy của hai phương án PA5 (giằng đủ các khung trục X và khung trục Y) và PA7 (giằng đủ các khung trục X và chỉ giằng tại khung biên trục Y) là gần như nhau, với giá trị tương ứng là 1226,199 kN và 1223,771 kN.



(a) Lực cắt đáy theo phương X (b) Lực cắt đáy theo phương Y

Hình 5. Lực cắt của công trình dưới tác động của trận động đất Kobe theo 2 phương

Bảng 5. So sánh giá trị lực cắt đáy theo phương X các phương án khảo sát

Phương án	Chu kỳ T ₁ (s)	Lực cắt đáy theo phương X (kN)	Độ lệch lực cắt đáy của các phương án đặt hệ giằng so với khi không bố trí hệ giằng (%)
PA1	2,040	643,982	-
PA2	1,006	667,853	3,7
PA3	0,830	768,796	19,4
PA4	0,788	877,628	36,3
PA5	0,766	1226,199	90,4
PA6	0,723	880,112	36,7
PA7	0,583	1223,771	90,03

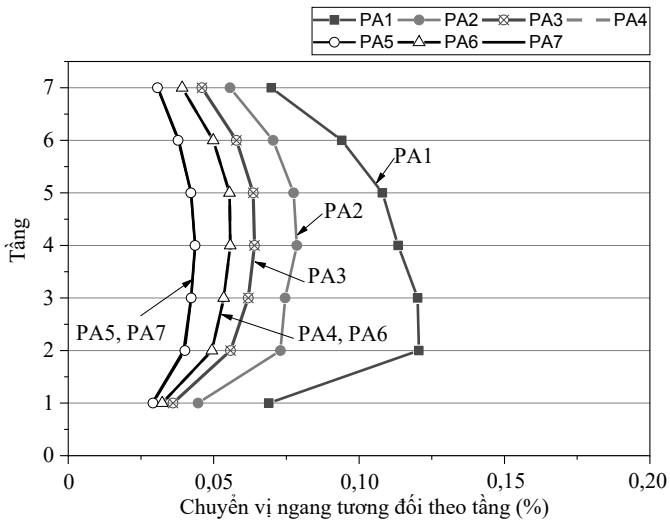
Dựa vào kết quả lực cắt đáy và chu kỳ dao động T₁ theo phương X (Bảng 5), có thể nhận thấy các trường hợp đặt hệ giằng đủ tại các khung trục X và hệ giằng biên trục Y (PA4, PA5) có kết quả tương đương với việc đặt thêm các hệ giằng đủ theo phương Y.

Do đó, với kết quả lực cắt đáy theo phương Y, khảo sát chỉ thực hiện với 4 phương án (PA1, PA3, PA6, PA7) như kết quả tại Hình 5b. Khi công trình chỉ đặt hệ giằng biên tại hai bước cột của trục X (PA3) giá trị lực cắt đáy theo phương Y tăng khoảng 88% so với công trình không có hệ giằng. Trong khi đó, với trường hợp đặt đủ hệ giằng theo phương X và Y (PA6, PA7), lực cắt đáy tăng gần 181% so với không có hệ giằng.

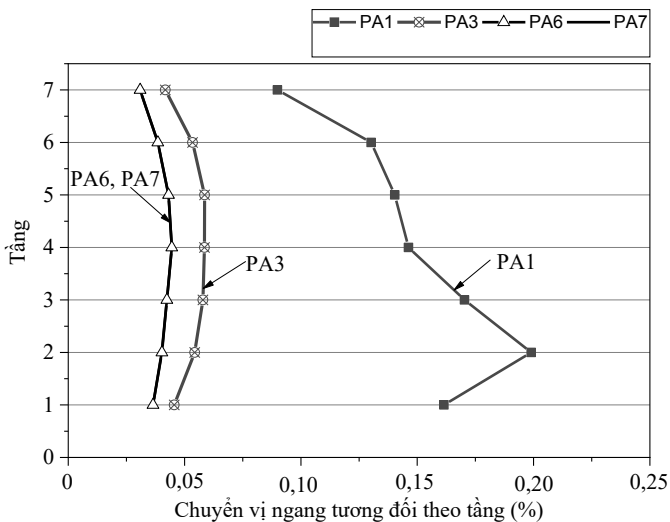
4.3. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng

Hình 6 và Hình 7 thể hiện kết quả tính toán chuyển vị ngang tương đối theo tầng của các phương án khảo sát, theo phương X

và phương Y. Dựa vào hình vẽ có thể nhận thấy, chuyển vị ngang tương đối theo tầng với phương X giảm xấp xỉ 64 % giữa trường hợp không bố trí hệ giằng và khi giằng được bố trí đủ theo PA7, tương ứng giảm từ $0,121e-2$ xuống $0,044 e-2$ (Hình 6). Trong khi đó, theo phương Y, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng lớn nhất khi công trình bố trí hệ giằng theo PA7 là $0,045e-2$, giảm 77,4 % so với giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng khi tòa nhà không có hệ giằng là $0,199e-2$. Việc giảm giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng là do hệ thống giằng rất hiệu quả trong việc chống lại độ dịch chuyển ngang do động đất tạo ra.



Hình 6. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo phương X



Hình 7. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo phương Y

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu khảo sát các phương án bố trí hệ giằng chéo thép cho nhà khung liên hợp thép-bê tông dưới tác động động đất qua phân tích động đất phi tuyến thời gian (NTHA), với mô hình hóa các trường hợp không giằng và có giằng theo PA1-PA7. Kết quả phân tích cho thấy hệ giằng chéo mang lại hiệu quả đáng kể trong thiết kế kháng chấn, cụ thể:

- Giá trị lực cắt đáy của công trình nhà khung liên hợp thép-bê tông khi tích hợp hệ giằng tầng mạnh, đạt mức cao nhất là 90 % theo phương X và khoảng 181 % theo phương Y trong phân tích;

- Chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm đáng kể, lên đến 64 % theo phương X và 77,4 % theo phương Y khi so sánh giữa trường hợp không có hệ giằng và kết cấu bố trí giằng đúng vị trí;

- Kết quả khảo sát chỉ rõ rằng phương án PA5, với việc lắp đặt hai hệ giằng đầu hồi theo phương, mang lại hiệu suất giảm chấn tối ưu nhất.

Từ những phát hiện trên, có thể khẳng định hệ giằng chéo thép là một giải pháp thiết kế kháng chấn ưu việt dành cho KCLHT-BT, đặc biệt phù hợp với các khu vực đô thị dễ bị ảnh hưởng bởi địa chấn như Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu này không chỉ cung cấp nền tảng khoa học vững chắc để nâng cấp các tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế hiện hành mà còn khuyến khích việc triển khai rộng rãi hệ giằng trong các dự án xây dựng nhà cao tầng thực tế.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện với sự tài trợ của Bộ Xây dựng thông qua đề tài nghiên cứu khoa học mã số RD35-24. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ quý báu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Z. Tafheem and S. Khusru, "Structural behavior of steel building with concentric and eccentric bracing: A comparative study," *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 4, no. 1, 2013.
- [2]. I. F. Khatib, S. A. Mahin, and K. S. Pister, "Seismic Behavior of Concentrically Braced Steel Frames," Report UCB/EERC 88/01, University of California, Berkeley, CA, US, 1988.
- [3]. K. G. Viswanath, K. B. Prakash, and D. Anant, "Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames," *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 114-116, 2010.
- [4]. M. Hasan-ul-Haque, M. Masum, M. Ratul, and Z. Tafheem, "Effect of different bracing systems on the structural performance of steel building.," *Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2018)*, pp. 1-8, 2018.
- [5]. M. Bruneau, C.-M. Uang, and S. Rafael, *Ductile Design of Steel Structures*, 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2011.
- [6]. A. Y. Elghazouli, "Seismic design of steel structures," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 39, no. 12, pp. 1353-1375, 2010.
- [7]. Phạm Văn Hội, *Kết cấu liên hợp thép - bê tông dùng trong nhà cao tầng*. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [8]. FEMA P-749, "Earthquake-Resistant Design Concepts," Federal Emergency Management Agency, 2010.
- [9]. AISC 341-16, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings," American Institute of Steel Construction, 2016.
- [10]. A. K. Chopra, *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
- [11]. Q. H. Nguyen, V. Q. Tran, and P. L. Hoang, "Application of steel-concrete composite structures in seismic regions: A case study in Vietnam," *Proceedings of ICSCA, Hanoi, Vietnam*, 2020.
- [12]. G. M. Calvi, M. J. N. Priestley, and M. J. Kowalsky, "Displacement-Based Seismic Design of Structures," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 2, pp. 555-557, May 2008, doi: 10.1193/1.2932170.
- [13]. PEER Ground Motion Database, "PEER Center." PEER NGA-West2 Database 2013/03; Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters at the University of California: Berkeley, CA, USA, 2013.
- [14]. TCVN 9386:2012 - Thiết kế công trình chịu động đất.
- [15]. TCVN 5574:2023 - Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.
- [16]. TCVN 5575:2024 - Thiết kế kết cấu thép.