

Ảnh hưởng của đặc tính kỹ thuật thiết bị giảm chấn đến ứng xử kết cấu tường kép nhà nhiều tầng

Influence of damping device characteristics on the seismic behavior of coupled shear wall structures in multi-storey buildings

> GS.TS NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG¹, TS NGUYỄN HẢI QUANG², TS PHẠM THU HIỂN^{3,*}

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

²Trường Đại học Điện lực

³Trường Đại học Thủy lợi

*Email: hienpt@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Kết cấu tường kép được sử dụng phổ biến trong nhà nhiều tầng nhờ khả năng chịu lực và độ cứng ngang lớn. Khi động đất xảy ra, dầm nổi thường là bộ phận bị hư hỏng đầu tiên, đồng thời đây cũng là cấu kiện khó sửa chữa sau động đất. Vì vậy, việc nghiên cứu sự làm việc của dầm nổi và các thiết bị giảm chấn gắn tại dầm khi tường kép chịu tác động động đất được quan tâm gần đây. Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của đặc trưng thiết bị giảm chấn gắn tại dầm nổi, với thiết bị được đặt trên tất cả các tầng của kết cấu tường kép 3D tầng. Mô hình khung tương đương được chọn để mô hình kết cấu tường kép có gắn thiết bị giảm chấn. Nghiên cứu sử dụng phương pháp Newmark phân tích theo hướng tuyến tính từng đoạn, với bước thời gian rất nhỏ. Chương trình Tính toán khung gắn thiết bị giảm chấn được sử dụng để phân tích kết cấu tường kép chịu tác động của trận động đất Northridge. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả kháng chấn bằng thiết bị giảm chấn đối với tường kép phụ thuộc vào các đặc trưng của thiết bị: Thiết bị có lực chảy Q_y nhỏ và độ cứng k_l lớn thì hiệu quả hơn so với thiết bị có lực chảy Q_y lớn và độ cứng k_l nhỏ; hiệu quả giảm chấn cũng phụ thuộc vào độ cứng của dầm nổi (trong trường hợp khảo sát dầm nổi thép có tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm nổi bằng 2,0 thì giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng là nhỏ nhất). Điều này khẳng định vai trò quan trọng của đặc trưng thiết bị giảm chấn trong ứng xử của kết cấu tường kép nhà nhiều tầng khi chịu tác động động đất.

Từ khóa: Kết cấu tường kép; thiết bị giảm chấn; nhà nhiều tầng; thiết kế kháng chấn.

ABSTRACT

Coupled shear wall structures are commonly used in multi-storey buildings due to their high load-bearing capacity and lateral stiffness. During earthquakes, coupling beams are often the first components to be damaged, and they are also the most difficult to repair after an earthquake. Therefore, research into the behavior of coupling beams and damping devices attached to them under earthquake loading in coupled shear wall structures has recently attracted attention. This study investigates the influence of the mechanical characteristics of damping devices attached to coupling beams, with devices placed on all floors of a 3D-storey coupled shear wall structure. An equivalent frame model was chosen to model the coupled shear wall structure with attached damping devices. The study used the Newmark method of numerical integration (constant average acceleration method) with very small time steps. The Analysis of the Frame with Damper (TTKGC) program was used to analyze the coupled shear wall structure under the impact of the Northridge earthquake. The results indicate that the seismic damping efficiency of coupled shear wall structures depends on the characteristics of the device: devices with smaller yield force (Q_y) and larger stiffness (k_l) are more effective than devices with larger yield force (Q_y) and smaller stiffness (k_l); damping efficiency also depends on the stiffness of the coupling beam (in the case of steel coupling beams with a span-to-depth ratio of 2.0, the inter-story drift ratio is the smallest). This confirms the important role of the characteristics of the damping device in the behavior of coupled shear wall structures in multi-storey buildings under earthquake impact.

Keywords: Coupled shear walls; damping device; multi-storey building; seismic design.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thiết kế kháng chấn hiện đại, vấn đề cốt lõi không chỉ là tăng khả năng chịu lực của kết cấu, mà dẫn chuyển sang mục tiêu kiểm soát ứng xử và tiêu tán năng lượng động đất truyền vào công trình. Công trình được thiết kế kháng chấn hiệu quả cần đạt được sự cân bằng hợp lý giữa độ cứng, độ bền và độ dẻo, đồng thời đảm bảo sinh mạng con người, hạn chế hư hỏng cấu kiện cũng như duy trì khả năng làm việc sau động đất. Tại Việt Nam, mặc dù không nằm trong khu vực có hoạt động địa chấn cực mạnh, nhiều vùng vẫn chịu ảnh hưởng đáng kể của động đất kiến tạo. Cùng với xu hướng gia tăng các công trình có chiều cao lớn, việc nghiên cứu các giải pháp kết cấu kháng chấn trong thiết kế nhà cao tầng đang trở thành yêu cầu cần thiết trong thực tiễn kỹ thuật xây dựng.

Đối với các công trình xây dựng cao tầng, kết cấu chịu tải trọng ngang có ý nghĩa rất đặc biệt, đóng vai trò quan trọng trong hệ kết cấu chịu lực, nên các tấm tường chịu lực đều được thiết kế để chịu tải trọng ngang và tải trọng đứng. Tường chịu cắt thường được bố trí đối xứng để giảm các tác động xoắn vào công trình. Kết cấu tường kép bao gồm hai hay nhiều tường đơn được kết nối bằng dầm hoặc các bản sàn theo chiều cao tầng. Ứng xử của kết cấu tường kép ảnh hưởng bởi độ cứng, độ bền và độ dẻo của dầm nối.

Khi công trình sử dụng hệ tường kép chịu tác động của tải trọng động đất, các dầm nối bị biến dạng, từ đó phát sinh các lực cắt lớn [1]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, khi xảy ra động đất, dầm nối thường là cấu kiện bị hư hỏng đầu tiên trong hệ tường cắt liên kết, đồng thời đây cũng là bộ phận khó sửa chữa sau động đất. Ngoài ra, Thomas Paulay cho thấy các dầm có tỷ số nhíp trên chiều cao nhỏ cùng với kết cấu bê tông cốt thép thông thường thường có xu hướng phá hoại giòn [2]. Nhằm cải thiện khả năng dẻo của dầm, Paulay và John Binney đã đề xuất sử dụng cốt thép đặt chéo trong dầm [3]. Hạn chế chính của giải pháp cốt thép chéo là việc bố trí và cấu tạo cốt thép tương đối phức tạp. Để khắc phục nhược điểm này, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm đề xuất các phương án bố trí cốt thép hợp lý hơn, như nghiên cứu của Tassios và cộng sự [4]. Bên cạnh đó, dầm thép cũng được ứng dụng nhờ khả năng làm việc dẻo và tiêu tán năng lượng vượt trội của vật liệu thép, điển hình như các nghiên cứu của Harries [5]. Ngoài ra, nhiều loại thiết bị giảm chấn khác nhau cũng đã được ứng dụng trong kết cấu nhằm giảm thiểu ảnh hưởng do động đất gây ra, như thiết bị cản nhớt, thiết bị cản ma sát, thiết bị cản kim loại hoặc các hệ kết hợp giữa thiết bị cản kim loại và thiết bị cản nhớt, cũng như thiết bị cản kim loại kết hợp với cao su cường độ cao [6].

Bên cạnh nghiên cứu thực nghiệm, nghiên cứu lý thuyết tường kép với dầm nối có gắn thiết bị giảm chấn cũng đã được một số tác giả thực hiện trong thời gian gần đây [6]. Điểm chung của những nghiên cứu này là sử dụng những phần mềm tính toán kết cấu phổ biến hiện nay như SAP2000, OpenSees, ANSYS, ABAQUS... phân tích sự làm việc của tường kép có gắn thiết bị giảm chấn chịu tác động của động đất, từ đó đưa ra nhận xét về tính hiệu quả của giải pháp sử dụng gắn thiết bị để giảm chấn cho công trình. Việc bố trí thiết bị giảm chấn trong dầm nối được chứng minh có khả năng nâng cao hiệu quả tiêu tán năng lượng và cải thiện khả năng kháng chấn của hệ tường kép.

Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ mới dừng lại ở mức độ tính toán cho từng trường hợp thiết bị giảm chấn riêng mà chưa có các nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số của đặc trưng thiết bị đến ứng xử của kết cấu tường kép chịu tác động động đất. Nghiên cứu này tập trung khảo sát ảnh hưởng của các đặc tính thiết bị giảm chấn đến hiệu quả kháng chấn, bao gồm: Lực chảy và độ cứng của thiết bị, độ cứng của dầm thép. Kết cấu tường kép 30 tầng, chiều cao mỗi tầng 3,2 m, chiều dài tường 14,0 m được chọn để phân tích. Thiết bị giảm chấn được đặt trên mỗi tầng với các đặc tính cản khác nhau nhằm làm rõ ảnh hưởng của đặc trưng

thiết bị đến hiệu quả giảm dao động. Các chỉ tiêu đánh giá gồm chuyển vị ngang tương đối theo tầng, ứng xử của thiết bị giảm chấn, nhằm cung cấp cơ sở khoa học của việc lựa chọn thiết bị hiệu quả trong thiết kế kháng chấn tường kép.

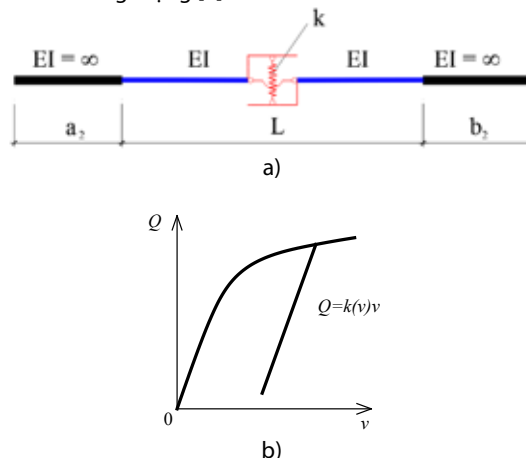
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Với kết cấu tường kép bê tông cốt thép, do sự phức tạp của ứng xử tường chịu cắt khi có dầm nối, hai cách mô hình hóa phổ biến được sử dụng hiện nay bao gồm: Mô hình khung tương đương và mô hình tấm. Khi sử dụng mô hình khung tương đương, tường được mô hình bằng một cột nằm ở trục trung tâm liên kết với dầm theo phương ngang, có chiều dài và độ cứng tương đương kết cấu tường. Các thanh tuyệt đối cứng được sử dụng để nối dầm nối đến trọng tâm của tường, đảm bảo tạo ra các chuyển động xoay và chuyển vị thẳng đứng chính xác ở các cạnh của tường. Các dầm nối có thể được biểu diễn như các phần tử thanh thông thường, được chỉ định chính xác độ cứng dọc trục, độ uốn và độ cứng cắt, nếu cần. Phần này trình bày phương án mô hình kết cấu tường kép được sử dụng trong phân tích. Đồng thời, phương trình gia lượng chuyển động của hệ, chương trình tính toán được đề cập để làm rõ phương pháp phân tích của nghiên cứu.

2.1. Mô hình kết cấu

Để phân tích sự làm việc của tường kép có gắn thiết bị giảm chấn trong dầm nối, cần mô hình hóa toàn bộ kết cấu tường kép cũng như từng cấu kiện. Hiện nay có hai phương pháp thường được áp dụng để phân tích kết cấu tường kép, đó là phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng mô hình khung tương đương hoặc mô hình tấm và phương pháp giải tích với mô hình rời rạc. Trong nghiên cứu này, mô hình tính toán tường kép có các thiết bị giảm chấn được lựa chọn là mô hình khung tương đương theo phương pháp phần tử hữu hạn. Các phần tử điển hình của khung tương đương bao gồm: Phần tử cột (tường), phần tử dầm không có thiết bị giảm chấn và phần tử dầm có thiết bị giảm chấn. Phần tử cột (tường) do có chiều cao lớn nên chọn mô hình phần tử thanh có xét đến biến dạng trượt. Phần tử dầm không có thiết bị giảm chấn là phần tử thanh xét đến biến dạng trượt và có các vùng cứng ở hai đầu (phần dầm nằm trong tường). Phần tử cột và phần tử dầm không có thiết bị giảm chấn là các loại phần tử đã quen thuộc trong các tài liệu về phương pháp phần tử hữu hạn [7].

Phần tử dầm nối có thiết bị giảm chấn là một loại siêu phần tử gồm các bộ phận (Hình 1a): Hai phần cứng ở hai đầu dầm, thiết bị tiêu tán năng lượng ở giữa và các đoạn dầm nối các phần cứng với thiết bị tiêu tán năng lượng [8].



Hình 1. Cấu tạo của phần tử dầm nối có thiết bị giảm chấn

Thiết bị giảm chấn được mô hình hóa bằng một liên kết dọc trục không biến dạng có độ dài bằng không và một liên kết trượt.

Độ cứng của liên kết trượt ký hiệu là k (Hình 1a). Quan hệ giữa lực cắt Q và chuyển vị tương đối tại hai mép của thiết bị (hai đầu mút của các đoạn dầm) có dạng $Q=k(v)v$ (Hình 1b).

Ở đây, có thể phân chia siêu phần tử dầm nối có thiết bị giảm chấn thành các phần tử dầm và các phần tử liên kết riêng. Tuy nhiên, cách làm này sẽ làm cho việc tính toán trở nên phức tạp vì tăng thêm số lượng và số loại phần tử, làm tăng số lượng các phương trình. Đối với bài toán tính toán động lực thì việc phân chia này lại càng trở nên bất lợi hơn. Bởi vậy, trong nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình siêu phần tử dầm nối có thiết bị giảm chấn như trên Hình 1a [9].

2.2. Phương pháp phân tích

Phương trình gia lượng chuyển động của kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn như sau:

$$[M]\{\Delta \ddot{u}\} + [C]\{\Delta \dot{u}\} + [K]\{\Delta u\} = \{\Delta P\} \quad (1)$$

Trong đó:

- $\{\Delta P\}$: Vector số gia của tải trọng tác dụng lên kết cấu hoặc tải trọng động đất.

+ Khi hệ kết cấu chịu tải trọng bất kỳ tập trung tại nút: $\{\Delta P\}$ là vector số gia tải trọng;

+ Khi hệ kết cấu chịu tác động động đất: $\{\Delta P\} = -[M]\{1\}\Delta \ddot{u}_0(t)$, trong đó $\ddot{u}_0(t)$ là gia tốc nền.

- $[M]$: Ma trận khối lượng tổng thể của hệ kết cấu, có dạng vuông kích thước $n \times n$, tùy thuộc vào số bậc tự do của tất cả các nút.

Trong nghiên cứu này, ma trận khối lượng $[M]$ là ma trận đường chéo, vì khối lượng được đặt tập trung tại các nút, do chỉ quan tâm đến dao động ngang của kết cấu. Khối lượng được xác định là tất cả khối lượng tầng, bao gồm khối lượng các bộ phận và một phần của hoạt tải.

- $[K]$: Ma trận độ cứng tổng thể của hệ kết cấu.

Ma trận độ cứng của từng cấu kiện được xác định như sau:

+ Dầm nối gắn thiết bị giảm chấn có dạng:

$$[K_e^g] = [T]^T [K_e'] [T] \quad (2)$$

Trong đó: $[T]$ - Ma trận chuyển hệ trục tọa độ; $[T]^T$ - Ma trận chuyển vị của $[T]$; $[K_e']$ được đề cập tại [9].

+ Cột: Ma trận độ cứng của phần tử thanh chịu uốn có xét đến biến dạng cắt trong hệ tọa độ địa phương.

+ Dầm không có thiết bị giảm chấn: Áp dụng ma trận độ cứng của phần tử thanh chịu uốn xét đến biến dạng cắt và có các vùng cứng ở hai đầu.

Ma trận độ cứng trong hệ tọa độ tổng thể của kết cấu được ghép từ ma trận của các phần tử thông qua tọa độ các nút. Muốn vậy phải quy đổi ma trận độ cứng phần tử trong hệ tọa độ địa phương về hệ tọa độ tổng thể tương ứng $[K_g]$ theo công thức:

$$[K_g] = [T]^T [K_l] [T] \quad (3)$$

- Ma trận cân tổng thể $[C]$ của hệ kết cấu được tính bằng cách tổ hợp tuyến tính của ma trận khối lượng tổng thể và ma trận độ cứng tổng thể theo đề xuất của Rayleigh:

$$[C] = \alpha_m [M] + \alpha_k [K] \quad (4)$$

Với các hệ số α_m , α_k được xác định thông qua tần số dao động riêng ω và tỷ số cản kết cấu $\xi = 5\%$.

2.3. Chương trình tính toán

Để giải hệ phương trình chuyển động (1), nghiên cứu sử dụng phương pháp Newmark phân tích theo hướng tuyến tính từng đoạn, với bước thời gian Δt rất nhỏ. Để tích phân hệ phương trình (1), tại thời điểm t_{i+1} ngoài việc phải tìm các giá trị $\{u\} = \{u_{i+1}\}$,

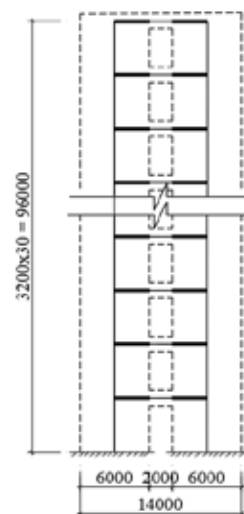
$\{\dot{u}\} = \{\dot{u}_{i+1}\}$, $\{\ddot{u}\} = \{\ddot{u}_{i+1}\}$ còn phải tìm các giá trị lực cắt của dầm gắn thiết bị giảm chấn vì phương trình (1) chịu sự ràng buộc bởi mô hình liên kết được lựa chọn (Hình 1a). Khi phân tích phương trình (1), ứng mỗi bước thời gian, so sánh lực cắt tính được ở bước thời gian này với bước thời gian trước. Nếu quá trình tăng - giảm của lực cắt vừa tính giống như quá trình tăng - giảm ở bước thời gian trước thì mỗi quan hệ đang sử dụng là phù hợp và được sử dụng để tính cho bước thời gian tiếp theo. Nếu có bất kỳ một thay đổi nào trái quy luật tăng - giảm trước đó thì bước thời gian đó được xem là chưa thời điểm thay đổi của độ cứng.

Chương trình Tính toán khung gắn thiết bị giảm chấn (TTKGC) được xây dựng dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab phiên bản R2017b [10], sử dụng ma trận độ cứng của phần tử thanh gắn thiết bị giảm chấn đã đề xuất (2) [11]. Chương trình áp dụng phương pháp tích phân số Newmark (phương pháp gia tốc trung bình không đổi) với các bước thời gian rất nhỏ. Để thuận lợi cho việc kiểm soát phần mềm tính toán, chia phần mềm tính toán thành nhiều chương trình con, mỗi chương trình con có một sơ đồ khối.

3. KẾT CẤU TƯỜNG KÉP VÀ GIA TỐC NỀN DÙNG TRONG PHÂN TÍCH

3.1. Thông tin công trình dùng trong phân tích

Trong bài báo, kết cấu được chọn để phân tích là tường kép 30 tầng (Hình 2), chiều cao mỗi tầng 3,2 m, chiều dài tường 14,0 m. Tường có hai chân, mỗi chân dài 6,0 m, dầm nối dài 2,0 m. Chiều dày tường thay đổi theo chiều cao: 0,70 m tại tầng 1 và tầng 2; 0,60 m từ tầng 3 đến tầng 8; 0,50 m trong các tầng từ 9 đến 12; 0,40 m tại các tầng 13 đến tầng 16 và 0,30 m với các tầng còn lại [12]. Bê tông cấp độ bền B50 có mô đun đàn hồi $E_b = 38000(MPa)$. Dầm nối (bao gồm cả các tầng có thiết bị giảm chấn và không có thiết bị) là dầm thép hộp, chiều rộng 0,250 m, chiều cao 0,700 m, chiều dày 0,010 m.



Hình 1. Kết cấu tường kép 30 tầng

3.2. Gia tốc nền

Trong nghiên cứu này, trận động đất được lựa chọn để phân tích là động đất Northridge xảy ra tại Mỹ năm 1994. Thông tin về

gia tốc nền được lấy cơ sở dữ liệu về các trận động đất PEER NGA West 2 [13]. Bảng 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 Northridge xảy ra trong thời gian 60 giây được sử dụng để phân tích.

Bảng 1. Thông tin gia tốc nền khảo sát

Trận động đất	PGA (g)	M_w	Độ sâu (km)	Địa điểm	Năm
Northridge	0,4	6,7	21	24278 Castaic-Old Rigde Rt. - Mỹ	1994

4. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG ĐẶC TÍNH THIẾT BỊ TIÊU TÁN NĂNG LƯỢNG ĐẾN HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA KẾT CẤU TƯỜNG KÉP NHÀ NHIỀU TẦNG

Với các kết quả nghiên cứu trước đó, có thể thấy khi đặt thiết bị giảm chấn đưa đến hiệu quả kháng chấn rõ rệt cho công trình [8]. Để đánh giá chi tiết hơn về ảnh hưởng của đặc trưng thiết bị giảm chấn đến khả năng kháng chấn của tường kép, nghiên cứu tiến hành khảo sát thay đổi lực chảy, độ cứng ban đầu của thiết bị và độ cứng của dầm thép, dưới tác động của trận động đất Northridge (gia tốc nền CAST360_DBE). Thiết bị 1 (TB1) đặc trưng bởi các thông số: $Q_y = 420(kN)$, $k_1 = 5600(kN/cm)$, $k_2 = 56(kN/cm)$ được lựa chọn để phân tích ban đầu và từ đó thay đổi các thông số về lực chảy Q_y và độ cứng k_1 .

4.1. Khảo sát ảnh hưởng của lực chảy thiết bị

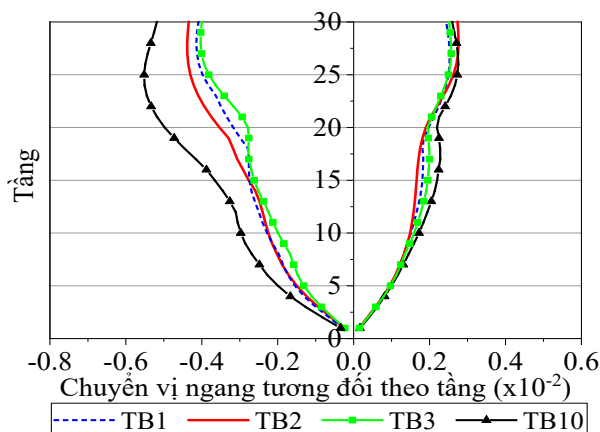
Thực hiện khảo sát kết cấu tường kép với các thiết bị giảm chấn khác nhau, có lực chảy của thiết bị Q_y thay đổi so với TB1, các giá trị k_1 và k_2 giữ nguyên như TB1. Bảng 2 thể hiện các giá trị Q_y , k_1 , k_2 của TB1 cũng như các thiết bị đã thay đổi giá trị Q_y , lần lượt được kí hiệu là TB2, TB3, TB4, TB5, TB6, TB7, TB8, TB9, TB10.

Bảng 2. Các đặc trưng của TB1 & TB2 - TB10

Thiết bị TTNL	Q_y (kN)	k_1 (kN/cm)	k_2 (kN/cm)
TB1	420	5600	56
TB2	168	5600	56
TB3	294	5600	56
TB4	336	5600	56
TB5	378	5600	56
TB6	462	5600	56
TB7	504	5600	56
TB8	546	5600	56
TB9	672	5600	56
TB10	798	5600	56

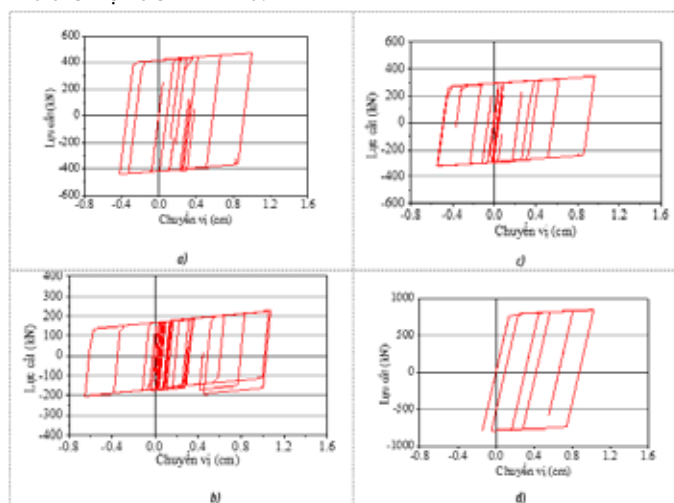
Phân tích kết cấu tường kép đặt 30 thiết bị giảm chấn từ tầng 1 đến tầng 30 với các TB2 - TB10 thay đổi lực chảy so với TB1. Kết quả chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi đặt các thiết bị TB1, TB2, TB3 và TB10 được thể hiện tại Hình 3. Khi sử dụng thiết bị TB10 có mức tăng lực chảy Q_y 90 % so với giá trị Q_y của TB1, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng đều lớn hơn khi sử dụng TB1 (Hình 3).

Ngoài ra, với thiết bị TB3 có giá trị Q_y giảm 30% so với lực chảy của TB1, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm so với khi sử dụng TB1. Cụ thể, khi đặt 30 TB3 trên công trình, giá trị của chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm nhiều nhất, từ $0,414.10^{-2}$ xuống $0,403.10^{-2}$. Tuy nhiên, khi giảm 60 % lực chảy của TB1 tương ứng với $Q_y = 168(kN)$ (TB2), giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng tăng so với khi sử dụng TB1 (từ $0,414.10^{-2}$ lên $0,438.10^{-2}$) (Hình 3).



Hình 3. So sánh chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi đặt TB1, TB2, TB3, TB10 trên mỗi tầng

Hình 4b và Hình 4d thể hiện mối quan hệ lực chuyển vị của thiết bị giảm chấn tại tầng 12, khi sử dụng TB2 và TB10 từ tầng 1 - 30, nhận thấy với giá trị lực chảy rất nhỏ (TB2) hoặc rất lớn (TB10), diện tích đường cong trễ giảm đi đáng kể so với diện tích đường cong trễ khi sử dụng TB1 (Hình 4a). Trong khi đó, khi giảm 30 % Q_y (tương ứng với TB3) giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm nhiều nhất, do diện tích vòng trễ thu được lớn hơn so với TB1 như thể hiện trên Hình 4a.



Hình 4. Ứng xử của thiết bị TTNL tại tầng 12 khi đặt thiết bị TTNL từ tầng 1 - 30 sử dụng các loại thiết bị khác nhau: a) TB1; b) TB2; c) TB3; d) TB10

4.2 Khảo sát ảnh hưởng độ cứng của thiết bị

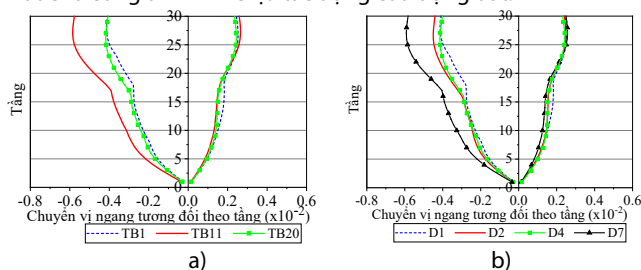
Khảo sát kết cấu tường kép với các thiết bị giảm chấn khác nhau, có độ cứng k_1 của thiết bị thay đổi so với TB1, các giá trị Q_y và k_2 giữ nguyên như TB1. Bảng 3 thể hiện các thông số của TB1 cũng như các thiết bị đã thay đổi giá trị k_1 , lần lượt được kí hiệu là TB11, TB12, TB13, TB14, TB15, TB16, TB17, TB18, TB19, TB20, TB21.

Bảng 3. Các đặc trưng của TB1 & TB11 - TB21

Thiết bị TTNL	Q_y (kN)	k_1 (kN/cm)	k_2 (kN/cm)
TB1	420	5600	56
TB11	420	1680	56
TB12	420	2800	56
TB13	420	3920	56
TB14	420	4480	56
TB15	420	5040	56
TB16	420	6160	56
TB17	420	6720	56
TB18	420	7280	56
TB19	420	8400	56
TB20	420	9520	56
TB21	420	10080	56

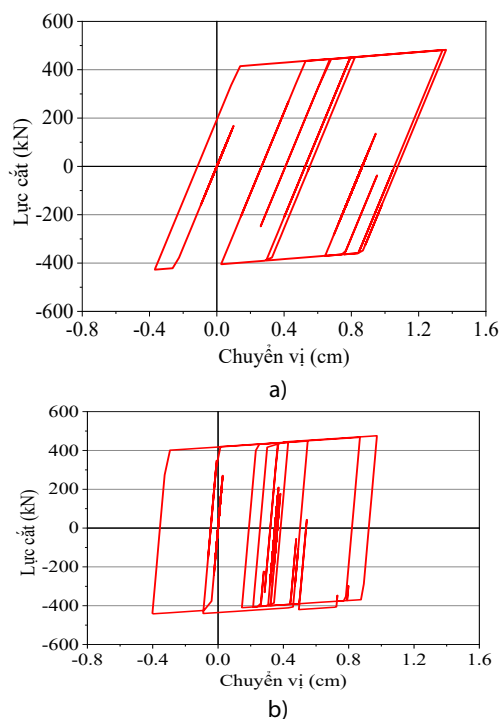
Kết quả tại Hình 5a thể hiện giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng khi phân tích kết cấu tường kép đặt 30 thiết bị giảm chấn từ tầng 1 đến tầng 30 với các thiết bị: TB1, TB11, TB20. Với thiết bị giảm chấn TB11 có độ cứng k_1 nhỏ hơn k_1 của TB1, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng đều lớn hơn khi tường kép sử dụng TB1 (Hình 5a cho thấy chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi sử dụng TB11 lớn hơn so với khi gắn TB1).

Khi tăng độ cứng k_1 với các mức độ khác nhau (TB16, TB17, TB18, TB19, TB20, TB21), giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép theo chiều dương giảm so với khi sử dụng TB1, trong đó giảm nhiều nhất 3,557% (từ $0,253 \cdot 10^{-2}$ xuống $0,244 \cdot 10^{-2}$, TB20) (Hình 5a). Tuy nhiên, khi tăng độ cứng k_1 thêm 80% so với TB1 (TB21), chuyển vị ngang tương đối theo tầng có xu hướng tăng trở lại. Điều đó cho thấy, độ cứng k_1 của thiết bị càng lớn sẽ giúp giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng của kết cấu, nhưng nếu thiết bị quá cứng, hiệu quả cũng chưa phải là tối ưu nhất cho công trình khi chịu tác động của động đất.



Hình 5. a) - So sánh chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi đặt TB1, TB11, TB20 trên mỗi tầng; (b) - So sánh chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép khi đặt TB1 trên mỗi tầng với tiết diện dầm thép thay đổi D1, D2, D4, D7

Hình 6 thể hiện ứng xử của thiết bị tại tầng 10 khi đặt TB11 và TB20 trên mỗi tầng, với cùng giá trị lực chảy Q_y nhưng khi độ cứng k_1 giảm hoặc tăng mạnh, nghĩa là diện tích vòng trễ cũng giảm hoặc tăng tương ứng, dẫn đến độ cản của thiết bị cũng như độ cản chung của kết cấu thay đổi.



Hình 6. Ứng xử của thiết bị giảm chấn tại tầng 10 khi đặt thiết bị TTNL từ tầng 1 - 30 sử dụng các loại thiết bị khác nhau: a) TB11; b) TB20

4.3. Khảo sát ảnh hưởng của độ cứng của dầm thép

Kết cấu tường kép với đặc điểm có dầm nối ngắn, nghĩa là tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm nhỏ, các nghiên cứu trước đã chỉ ra giá trị của tỉ số này thường trong khoảng từ 1,0 đến 4,0 [14]. Trong phần này, để đánh giá ảnh hưởng độ cứng dầm nối đến ứng xử của kết cấu dưới tác động của động đất, nghiên cứu khảo sát sự thay đổi chiều cao tiết diện dầm với các giá trị tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm thay đổi trong khoảng từ 1,0 đến 4,0. Các dầm được đặt tên D1 - D7, sử dụng thép hộp có bề rộng và chiều dày như nhau, tương ứng là 0,25 m và 0,010 m. Chiều cao dầm nối D1 có giá trị $h_1 = 0,7$ m, thay đổi chiều cao tiết diện dầm với các giá trị từ h_2 đến h_7 , tương ứng với tên dầm từ D2 đến D7. Việc thay đổi chiều cao tiết diện dầm nối sẽ dẫn đến chu kỳ dao động và hệ số của ma trận độ cản của hệ thay đổi tương ứng (α_m , α_k). Giá trị cụ thể của chiều cao tiết diện dầm nối, ký hiệu dầm, tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm, chu kỳ dao động T_1 và các hệ số α_m , α_k tương ứng được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Giá trị chiều cao dầm thay đổi và các giá trị chu kỳ dao động, hệ số của ma trận độ cản tương ứng

Kí hiệu tên dầm nối	Chiều cao tiết diện dầm nối (m)	Tỉ số nhíp/chiều cao tiết diện dầm nối	Chu kỳ dao động T_1 (s)	α_m	α_k
D1	$h_1 = 0,7$	2,8571	2,361	0,16381	0,01158
D2	$h_2 = 2,0$	1,0	2,081	0,18585	0,01020
D3	$h_3 = 1,3$	1,538	2,142	0,18056	0,01050
D4	$h_4 = 1,0$	2,0	2,209	0,17508	0,01083
D5	$h_5 = 0,8$	2,5	2,294	0,16859	0,01125
D6	$h_6 = 0,6$	3,333	2,456	0,15747	0,01204
D7	$h_7 = 0,5$	4,0	2,594	0,14910	0,01272

Phân tích kết cấu tường kép gắn 30 thiết bị giảm chấn từ tầng 1 đến tầng 30, với các thông số thiết bị: $Q_y = 420(kN)$, $k_1 = 5600(kN/cm)$, $k_2 = 56(kN/cm)$ [15], đồng thời thay đổi chiều cao tiết diện dầm nối theo tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm trong phạm vi từ 1,0 đến 4,0. Kết quả chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép được trình bày trong Hình 5b.

Kết quả phân tích cho thấy, khi chiều cao tiết diện dầm lớn nhất $h_2 = 2,0(m)$ (D2), nghĩa là tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm bằng 1,0, tuy độ cứng của dầm nối tăng lên đáng kể, nhưng chuyển vị ngang tương đối theo tầng của tường kép cũng tăng (Hình 5b). Tuy nhiên, với D4 có chiều cao tiết diện dầm nối $h_4 = 1,0(m)$, giá trị của chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo chiều âm bằng giá trị tương ứng khi sử dụng dầm D1, nhưng chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo chiều dương giảm 3,952% (từ $0,253.10^{-2}$ xuống $0,243.10^{-2}$).

5. KẾT LUẬN

Để đánh giá chi tiết về ảnh hưởng của đặc trưng thiết bị giảm chấn đến khả năng kháng chấn của tường kép, nghiên cứu tiến hành khảo sát thay đổi lực chảy và độ cứng ban đầu thiết bị, độ cứng dầm nối, dưới tác động của trận động đất Northridge (gia tốc nền CAST360_DBE). Kết quả phân tích cho thấy, hiệu quả giảm dao động cho kết cấu tường kép nhà nhiều tầng phụ thuộc vào đặc trưng thiết bị giảm chấn, cụ thể:

- Từ kết quả khảo sát nhận thấy, khi lực chảy Q_y của thiết bị giảm chấn thấp giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm xuống (giảm 30% so với TB1), nhưng nếu Q_y quá thấp thì giá trị này lại tăng;

- Kết quả phân tích cho thấy, thiết bị có độ cứng k_1 lớn (tăng 70%), hiệu quả kháng chấn sẽ tăng do chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm, tuy nhiên nếu thiết bị quá cứng thì cũng không hiệu quả;

- Qua kết quả phân tích ở trên, có thể thấy rằng sự thay đổi độ cứng của dầm nối có ảnh hưởng đến khả năng kháng chấn của tường kép gắn thiết bị giảm chấn. Trong đó, với các trường hợp khảo sát, khi tỉ số nhíp dầm trên chiều cao tiết diện dầm bằng 2,0 thì giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng là nhỏ nhất.

- Dựa trên các kết quả khảo sát tại nghiên cứu, có thể nhận thấy độ cứng k_1 của thiết bị và độ cứng dầm thép chi phối nhiều hơn đến hiệu quả kháng chấn của kết cấu tường kép khi chịu tác động động đất, so với lực chảy Q_y . Cụ thể, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm 3,557% và 3,952% tương ứng khi tăng độ cứng k_1 và sử dụng D4 (có tỉ số nhíp trên chiều cao tiết diện dầm bằng 2,0), trong khi đó với trường hợp khi giảm lực chảy Q_y độ giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng là 2,657%.

Từ kết quả nghiên cứu có thể khẳng định rằng, khi gắn thiết bị giảm chấn trên mỗi tầng, với các đặc tính cần khác nhau của thiết bị ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả giảm dao động của kết cấu tường kép. Các kết quả nghiên cứu này không chỉ khẳng định thêm hiệu quả kháng chấn của việc sử dụng thiết bị giảm chấn gắn tại từng tầng của kết cấu tường kép mà còn cung cấp nền tảng khoa học để nâng cấp các hướng dẫn thiết kế kháng chấn hiện hành.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Nguồn ngân sách khoa học và công nghệ Trường Đại học Thủy lợi trong Đề tài mã số CS2026-06. Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Thủy lợi đã tài trợ kinh phí thực hiện đề tài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.-S. Ahn, Y.-J. Kim and S.-D. Kim. Large-Scale Testing of Coupled Shear Wall Structures with Damping Devices. *Advances in Structural Engineering*, vol. 16, no. 11, pp. 1943-1955, Nov., 2013.
- [2] T. Paulay. *The Coupling of Shear Walls*. New Zealand: University of Canterbury, 1969.
- [3] T. Paulay and J.R. Binney. Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls. *Symposium Paper*, vol. 42, pp. 579-598, Jan., 1974.
- [4] Theodosios P. Tassios, Marina Moretti and Antonios Bezas. On the Behavior and Ductility of Reinforced Concrete Coupling Beams of Shear Walls. *Structural Journal*, vol. 93, no. 6, pp. 711-720, Nov., 1996.
- [5] K. A. Harries, D. Mitchell, W. D. Cook and R. G. Redwood. Seismic Response of Steel Beams Coupling Concrete Walls. *J. Struct. Eng.*, vol. 119, no. 12, pp. 3611-3629, Dec., 1993.
- [6] C. Pan and D. G. Weng. Study on Seismic Performance of Coupled Shear Walls with Vertical Dampers. *AMR*, vol. 163-167, pp. 4185-4193, Dec., 2010.
- [7] M. William, H. Richard Gallagher and D. Z. Ronald, *Matrix Structural Analysis*, 2nd ed. John Wiley and Sons, 2000.
- [8] Phạm Thu Hiền, Nguyễn Hải Quang và Nguyễn Tiến Chương. Phân tích kết cấu tường kép nhà nhiều tầng có thiết bị tiêu tán năng lượng chịu động đất. *Tạp chí Xây dựng*, tr. 76-79, 2024.
- [9] Phạm Thu Hiền, Nguyễn Hải Quang và Nguyễn Tiến Chương. Tính toán kết cấu tường kép có gắn thiết bị giảm chấn trong dầm nối. *Tạp chí Xây dựng*, tr. 113-119, 12/2022.
- [10] The Math Works, Inc., MATLAB, 2017. Internet: <https://www.mathworks.com/> (accessed: Jan. 01, 2023).
- [11] T.-H. Pham, H.-Q. Nguyen, T.-C. Nguyen and A.-D. Nguyen. An Efficient Model for the Coupling Beam Using Damping Devices in Coupled Shear Wall Structures under Earthquake Loads. *Buildings*, vol. 13, no. 4, 2023.
- [12] K.-S. Choi and H.-J. Kim. Strength Demand of Hysteretic Energy Dissipating Devices Alternative to Coupling Beams in High-Rise Buildings. *International Journal of High-Rise Buildings*, vol. 3, no. 2, pp. 107-120, 2014.
- [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] P. Park and T. Paulay. *Reinforced Concrete Structures*. Wiley-Interscience, 1974.
- [15] T. Wang, X. Guo, X. He, Y. Du and C. Duan. Seismic Behavior of High-Rise Concrete Shear-Wall Buildings with Hybrid Coupling Beams. *15 WCEE LISBOA*, 2012.