

Ứng xử với động đất của kết cấu vách kép nhiều tầng có dầm nối bê tông cốt thép đặt cốt thép chéo và dầm nối bằng thép

The seismic response of the multi-storey couple-shear wall structure with diagonally reinforcement concrete coupling beams and steel beams

TS. Đoàn Xuân Quý^{1,*}, TS. Phạm Thu Hiền¹

¹ Bộ môn Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Thủy Lợi

*Tác giả liên hệ: quydx@tlu.edu.vn

■ Nhận bài: 20/07/2024 ■ Sửa bài: 12/08/2024 ■ Duyệt đăng: 08/09/2024

TÓM TẮT

Kết cấu vách kép là một trong những giải pháp chính cho nhà nhiều tầng bởi khả năng chịu tải trọng ngang, đặc biệt là tải trọng động đất khi cấu tạo cốt thép chéo cho các dầm nối. Các nghiên cứu đã chứng tỏ hiệu quả về độ bền, độ dẻo và độ cứng của kết cấu so với vách kép có dầm nối cấu tạo thông thường. Trên thực tế, việc cấu tạo dầm nối có cốt thép chéo thường gây khó khăn cho thi công do vậy giải pháp dầm nối bằng thép đã được đưa ra và đã chứng tỏ ưu điểm. Bài báo nghiên cứu ứng xử của kết cấu vách kép chịu tải trọng động đất với trường hợp vách kép có dầm nối đặt cốt thép xiên và trường hợp vách có dầm nối bằng thép. Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình phần tử vỏ-dầm-giàn, đó là các tường vách được mô tả bằng phần tử vỏ (shell) còn các dầm nối được mô tả bằng một phần tử hỗn hợp dầm-giàn cho phép kể đến sự có mặt của cốt thép chéo đối với dầm bê tông cốt thép hoặc phần tử dầm có khớp dẻo đối với dầm thép. Kết quả phân tích là cơ sở cho thiết kế kết cấu vách kép nhà nhiều tầng.

Từ khóa: Dầm nối đặt cốt thép chéo, giảm chấn, kết cấu vách kép, mô hình dầm – giàn, nhà nhiều tầng

ABSTRACT

The coupled-shear wall structure is one of the main solutions for multi-storey buildings because of its ability to withstand horizontal loads, especially earthquake loads when coupling beams placed diagonally reinforcements. Studies have demonstrated the effectiveness of the structure in terms of strength, ductility and stiffness compared to coupled-shear walls with conventionally coupling beams. The construction of diagonal reinforcement concrete coupling beams often causes difficulties, so the solution of steel coupling beams has been proposed and has proven its advantages. This article studies the behaviour of coupled-shear wall structures subjected to earthquake loads in two cases of the shear wall, one with diagonal reinforcement coupling beams and another with steel beams. The study is carried out on a shell-beam-truss model, in which shell elements describe the walls and the coupling beams are described by a combined beam-truss element for diagonal reinforcement concrete beams or a beam model with moment hinges for steel beams. The analysis results are the basis for the design of coupled-shear wall structures for multi-storey buildings.

Keywords: Diagonal coupling beam, steel coupling beam, coupled-shear wall structure, beam-truss model, multi-storey building

1. GIỚI THIỆU

Vách kép (hay tường kép) là loại kết cấu thường được sử dụng trong nhà nhiều tầng, bao gồm 2 vách có kích thước có thể khác nhau nối với nhau bởi hệ thống dầm nối (lanh tô) theo các cao độ tầng. Đây là một trường hợp riêng của kết cấu vách ghép (có nhiều vách liên kết với nhau). Kết cấu này có sự làm việc gần với dạng khung nhưng lại cho khả năng chịu tải trọng ngang tốt hơn do kích thước lớn của vách, nhất là đối với tải trọng động đất. Điều đặc biệt của loại kết cấu này là sự làm việc của nó lại chịu ảnh hưởng lớn bởi khả năng chịu lực và biến dạng của các dầm nối. Do vậy, nghiên cứu về vách kép đã được thực hiện cả về tính toán lý thuyết và thực nghiệm để xác định phản ứng của kết cấu này với động đất, đưa ra được các tính toán sau đàn hồi hoặc xác định cấu tạo phù hợp cho dầm nối.

Paulay [1], [2], sau đó, Santhakumar [3] đã tiến hành thí nghiệm và khẳng định rằng, dầm nối đặt cốt thép chéo làm tăng cường khả năng làm việc của hệ kết cấu với phản ứng tốt hơn về độ bền và độ dẻo trong khi sự phá hoại trong dầm nối được giảm đáng kể và hạn chế các vết nứt chéo của dầm nối – xảy ra trên công trình thực ở Alaska (Mỹ) [2]. Nghiên cứu tương tự cũng được Lehman và cộng sự [4] thực hiện với kết quả thực nghiệm về ứng xử với động đất của kết cấu vách kép.

Một loại dầm nối khác đã được thử nghiệm cho kết cấu vách kép là dầm thép. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng của nó trong việc đảm bảo yêu cầu kháng chấn bên cạnh việc dễ thi công lắp đặt hơn các dầm nối bê tông đặt cốt thép chéo [5], [6].

Các lý thuyết tính toán về kết cấu vách kép đã được trình bày dựa trên các lý thuyết rời rạc liên tục và những tính toán về miền chảy dẻo để xác định đường cong phản ứng lực – chuyển vị [7] [8].

Nhằm xác định phản ứng động đất của kết cấu, phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng kết cấu qua việc thiết lập các điểm chảy dẻo trên kết cấu nhằm mô tả sự làm việc sau đàn hồi [9], [10] [11]. Mô hình

khung thường được thực hiện nhằm thể hiện nhiệm vụ này.

Một mô hình khác đã được nghiên cứu là sử dụng mô hình vỏ (shell) cho các tấm tường và việc kết nối chúng thông qua một phần tử kết hợp dầm–giàn [12], [13] đại diện cho dầm nối bê tông hoặc phần tử dầm có khớp dẻo mô men cho dầm thép. Mô hình này tính toán chính xác và có ưu điểm là mô tả được toàn bộ các kết cấu tường và tập trung vào nghiên cứu phản ứng của chúng thông qua ứng xử của dầm nối.

Mục tiêu của nghiên cứu là thực hiện một tính toán đầy đủ nhằm: thứ nhất, sử dụng mô hình và phương pháp tính toán nào là phù hợp cho kết cấu vách kép; thứ hai, xác định phản ứng của vách kép đối với tải trọng ngang tĩnh và tải trọng động đất; thứ ba, so sánh sự làm việc của vách sử dụng hai loại dầm nối khác nhau là dầm bê tông cốt thép chéo và dầm thép; thứ tư, trả lời cho câu hỏi có thể thay thế hai loại dầm nối này cho nhau được không. Bài báo sẽ tiến hành phân tích kết cấu vách kép theo mô hình vỏ với dầm nối là phần tử kết hợp dầm–giàn hoặc phần tử dầm có khớp dẻo tác dụng bởi tải trọng ngang tĩnh đẩy dần và một trận động đất cụ thể để đánh giá phản ứng của kết cấu vách kép có dầm nối bê tông đặt cốt thép chéo với một kết cấu vách tương tự có cấu tạo dầm thép. Các kết quả nghiên cứu thu được sẽ được đánh giá, so sánh phân tích để đưa ra kết luận và là cơ sở để ứng dụng tính toán, thiết kế kết cấu vách kép.

2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN PHẢN ỨNG CỦA KẾT CẤU VÁCH KÉP

2.1. Độ dẻo của kết cấu

Độ dẻo thể hiện cho khả năng phân tán năng lượng, đó là khả năng chịu các chuyển vị lớn của kết cấu [14] [15]. Được đo bằng tỉ số giữa biến dạng hoặc chuyển vị ngay trước khi phá hoại (cực hạn) và biến dạng hoặc chuyển vị khi xuất hiện chảy dẻo đầu tiên của kết cấu. Độ dẻo ở đây được gọi là độ dẻo chuyển vị [16]:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} > 1 \quad (1)$$

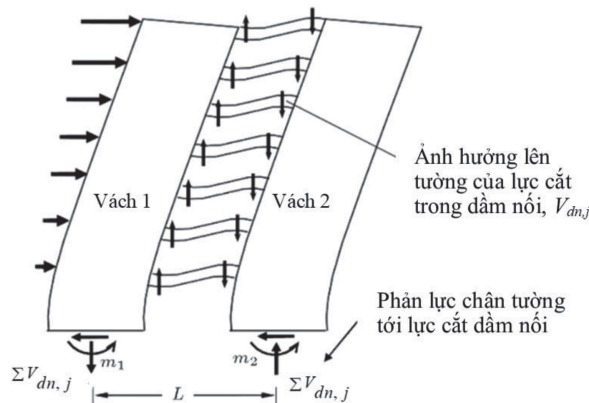
Trong đó: D_u và D_y tương ứng là chuyển vị cực hạn và chuyển vị khi xuất hiện chảy dẻo.

2.2. Mức độ ghép của hệ kết cấu

Dầm nổi trong hệ kết cấu chịu nội lực lớn và có yêu cầu về biến dạng lớn dưới tác dụng của tải trọng. Nếu chỉ cấu tạo theo cách thông thường bằng cốt thép dọc và cốt thép đai nó sẽ có thể bị hỏng do nứt chéo hoặc bị trượt. Do vậy, với các dầm nổi có yêu cầu chịu tải trọng lớn, nó được cấu tạo thêm cốt thép chéo. Trong hệ vách kép, các dầm nổi đặc trưng cho mức độ ghép – là một hàm của cường độ và độ cứng tương đối của dầm và vách [16]:

$$C_R = \frac{L \sum V_{dn,j}}{L \sum V_{dn,j} + \sum m_i} \quad (2)$$

Trong đó: $\sum V_{dn,j}$ là tổng lực cắt trong tất cả các dầm nổi ở phía một bên vách; L là cánh tay đòn giữa hai trọng tâm của vách; $\sum m_i$ là phản lực mô men của mỗi chân vách. Các thông số này được trình bày trên Hình 1 – vách kép chịu tải trọng ngang.



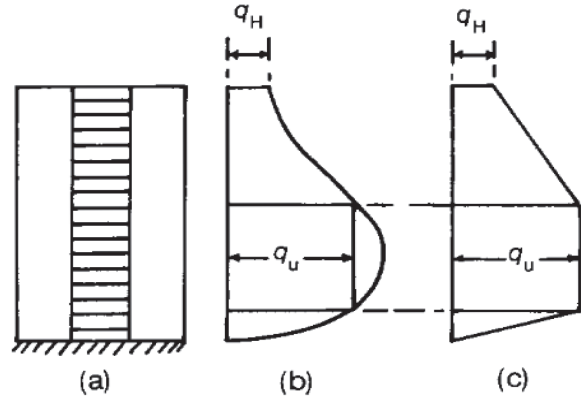
Hình 1. Xác định mức độ ghép của hệ kết cấu [16]

2.3. Vùng chảy dẻo và vùng đàn hồi của dầm nổi

Dầm nổi dễ đạt tới trạng thái giới hạn về cường độ và chuyển sang trạng thái làm việc sau đàn hồi. Coull [7] đã mô tả quá trình này thành các vùng chảy dẻo của dầm nổi bên cạnh các vùng dầm nổi vẫn còn làm việc đàn hồi.

Việc xác định các vùng này là cơ sở cho việc xác định điểm chảy dẻo của đường cong lực-chuyển vị. Thực tế thì đây là một lời giải gần đúng. Việc sử dụng phương pháp phân tử

hữu hạn với mô hình kết cấu phản ánh được bản chất làm việc của kết cấu, cụ thể là đặc trưng của dầm nổi sẽ quyết định đến việc xác định một cách chính xác phản ứng của hệ.



Hình 2. Vùng làm việc sau đàn hồi của vách kép khi chịu tải trọng ngang [7]

Mặc dù vậy, cơ sở nghiên cứu này đã lý giải cho việc tập trung nội lực vào một số dầm nổi làm cho dầm nổi làm việc sau đàn hồi, xác định sự cần thiết khi phân tích kết cấu này theo sự làm việc sau đàn hồi của dầm nổi, trong khi các tấm tường vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

3. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

3.1. Khả năng làm việc của dầm nổi bê tông cốt thép đặt cốt thép chéo

Khả năng làm việc của dầm nổi được đánh giá bằng khả năng chịu cắt của nó. Trong trường hợp dầm nổi đặt cốt thép chéo, khả năng của dầm nổi bằng thành phần dầm (đặc trưng cho tiết diện dầm nổi và cấu tạo cốt thép dọc và cốt thép đai) cộng với thành phần giàn (đặc trưng cho cốt thép chéo) [13].

$$V_{gh} = V_M + V_{sd} \quad (3)$$

Trong đó:

V_M là khả năng chịu cắt của thành phần dầm;

V_{sd} khả năng chịu cắt của thành phần giàn (cốt thép chéo):

$$V_{sd} = 2A_{sd}f_{yd} \sin \alpha \quad (4)$$

Với: A_{sd} là diện tích một bó thép chéo;

f_{yd} cường độ chịu kéo/nén của cốt thép chéo;

α là góc tạo bởi cốt thép chéo với trục dọc của dầm nổi.

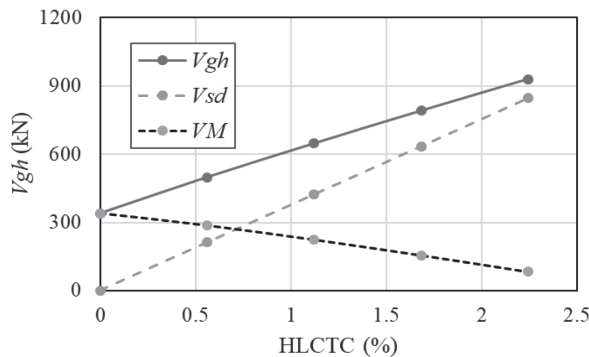
Thông thường, có thể xác định khả năng chịu cắt của dầm nối theo phương pháp tổng quát của lý thuyết miền nén cải tiến (MCFT) hoặc lý thuyết miền nén cải tiến đơn giản (SMCFT), từ đó sẽ xác định ngược lại khả năng làm việc của thành phần dầm. Khả năng chịu cắt giới hạn của dầm được xác định theo công thức [17], [18], [19]:

$$V_{gh} = vbh \quad (5)$$

Với: v là ứng suất cắt được xác định theo quy trình tính toán;

b , h lần lượt là bề rộng và chiều cao của dầm nối.

Do tương tác qua lại giữa hai thành phần không phải là cộng tác dụng mà là đặc điểm làm việc đồng thời. Trong các nghiên cứu của Paulay [2], thành phần giàn luôn chiếm ưu thế và làm việc hết khả năng của nó cho nên, thành phần dầm sẽ thay đổi tùy theo sự làm việc tổng thể của dầm nối. Tính toán theo SMCFT được kết quả như trên Hình 3 [13].

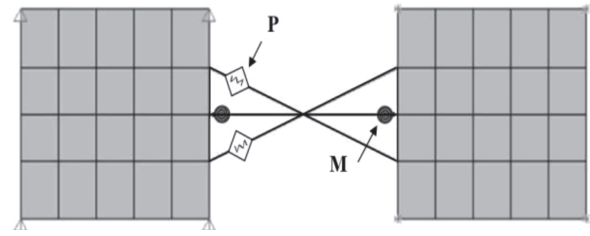


Hình 3. Tương tác giữa hai thành phần của dầm nối

Có thể thấy, với một hàm lượng cốt thép chéo đủ lớn, khả năng chịu cắt của dầm nối chủ yếu do cốt thép chéo chịu.

Đối với tính toán mô hình, dầm nối sẽ được mô tả bằng hai thành phần tương ứng ở trên. Với các đặc trưng được xác định thông qua các công thức tính toán (Hình 4) [12], [13], [20].

Mô hình bao gồm một thanh dầm nguyên tiết diện ban đầu có độ cứng EI_{eff} có khả năng làm việc qua khớp dẻo mô men $M = V_M L / 2$ và 2 thanh giàn có khả năng chịu lực $P = A_{sd} f_{yd}$ và độ cứng EA_{sd} .



Hình 4. Mô hình dầm nối bê tông đặt cốt thép chéo

Độ cứng khi làm việc của dầm được xác định bằng công thức [13]:

$$I_{eff} = \frac{6I_{mod} I_p}{(1 + \Phi_y) L_b} \quad (6)$$

Trong công thức trên:

Φ_y là yếu tố ảnh hưởng tương đối của biến dạng cắt đến biến dạng uốn khi chảy, được tính theo công thức [13], [21]:

$$\Phi_y = \frac{12E_c I_{mod}}{(0,1G_c A_v) L_b^2} \quad (7)$$

Với $G_c = 0,4E_c$ là mô đun cắt; L_b là nhịp của dầm nối.

$A_v = A_g / 1,2$ là diện tích chịu cắt của tiết diện;

I_{mod} là mô men quán tính điều chỉnh của tiết diện được tính theo công thức tổng hợp được viết lại dưới đây [13]:

$$I_{mod} = \frac{\beta_1 I_g}{1,2 \left[1 + 3 \left(\frac{h}{L_b} \right)^2 \right] + 2,5 \beta_1 \left(\frac{h}{L_b} \right)^2} \quad (8)$$

Với: β_1 bằng 0,2 nếu tỉ số nhịp trên chiều cao dầm không lớn hơn 2, bằng 0,4 trong trường hợp ngược lại.

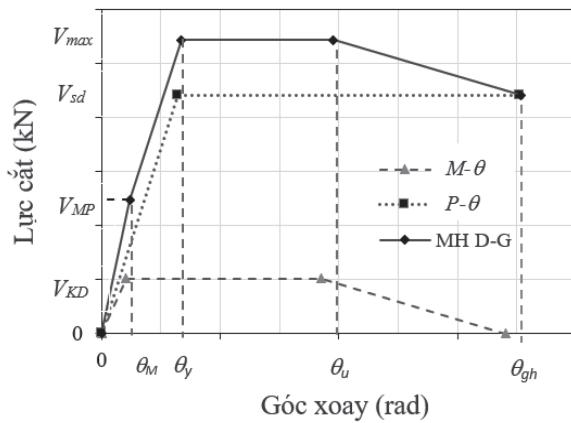
L_b là nhịp của dầm nối; I_g là mô men quán tính ban đầu của dầm nối.

Chiều dài đoạn chảy dẻo l_p được tính theo công thức [13]:

$$l_p = 0,04L_b + 0,2d_l f_y / \sqrt{f'_c} \quad (9)$$

Trong công thức (9), d_l là đường kính cốt thép dọc với cường độ chảy dẻo f_y ; f'_c là cường độ chịu nén của bê tông dầm.

Sự làm việc của dầm nối bê tông đặt cốt thép chéo như trên Hình 5 [13].



Hình 5. Các thông số của mô hình dầm - giàn

Góc xoay khi thép dọc chảy dẻo xác định theo công thức của ACI 318 [22] với mô men chảy dẻo $M_{kd} = V_M L_b / 2$ và độ cứng tính toán EI_{eff} đã được xác định.

Góc xoay dẻo θ_y khi cốt thép chéo chảy dẻo được xác định theo các giá trị biến dạng của thanh cốt thép. Góc xoay bền θ_u và giới hạn θ_{gh} được tính toán theo các công thức đã được trình bày [13].

3.2. Khả năng làm việc của dầm nối bằng thép

Sự làm việc của dầm thép được xác định theo quy trình của FEMA 356 [23] với các giá trị góc xoay dẻo và khả năng chịu cắt của dầm.

Góc xoay dẻo được xác định theo công thức:

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}L_b}{6EI_b} \quad (10)$$

Trong đó:

$ZF_{ye} = M_{CE}$ là khả năng chịu mô men của dầm;

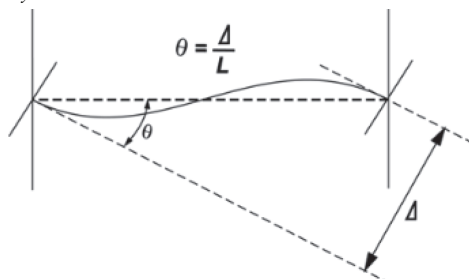
Z mô đun dẻo của tiết diện;

L_b nhịp của dầm nối;

E là mô đun đàn hồi;

I_b là mô men quán tính của tiết diện;

F_{ye} là cường độ chảy dẻo của thép.



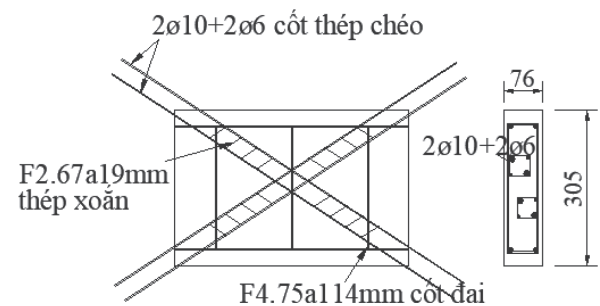
Hình 6. Xác định góc xoay cho dầm nối bằng thép

Sự làm việc sau đàn hồi của dầm nối bằng thép tuân theo các quy định sau: góc xoay dẻo của dầm không vượt quá: 0,08 rad với chiều dài dầm nhỏ hơn hoặc bằng $1,6M_p / V_p$, 0,02 rad khi chiều dài dầm nối không vượt quá $2,6M_p / V_p$, trong đó M_p hay M_{CE} là khả năng chịu uốn dẻo và $V_p = 0,6F_{ye}A_w$ là khả năng chịu cắt (A_w là diện tích phần cánh của tiết diện dầm). Các trường hợp còn lại được nội suy theo hai giá trị trên.

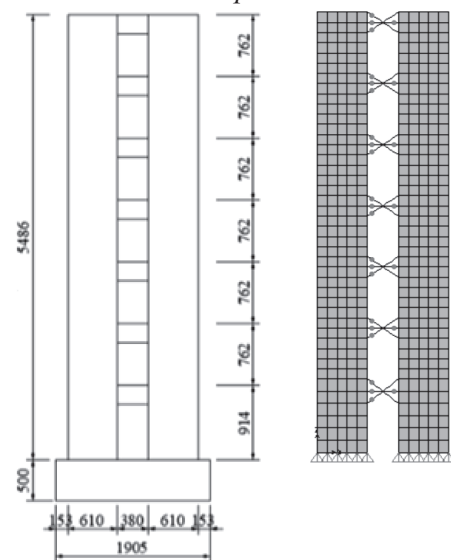
3.3. Mô hình tính toán kết cấu vách kép

Kết cấu vách kép được mô hình bằng phần tử vỏ, nối với nhau bằng phần tử kết hợp dầm-giàn (thể hiện cho dầm nối bê tông cốt thép) hoặc phần tử dầm có hai khớp dẻo (thể hiện cho dầm nối bằng thép).

Trên Hình 7 là kích thước và cấu tạo của dầm nối còn Hình 8 thể hiện kích thước vách và mô hình tính toán của hệ kết cấu [3], [13].



Hình 7. Cấu tạo của dầm nối bê tông có cốt thép chéo

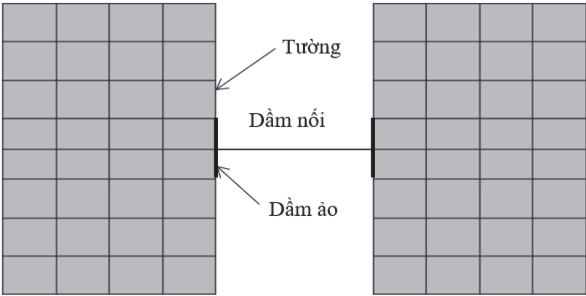


Hình 8. Kích thước vách và mô hình tính toán kết cấu có dầm nối bê tông cốt thép đặt thép chéo

Đối với dầm nối bằng thép, mô hình phân tích được thể hiện bằng một thanh dầm thép

nguyên tiết diện có 2 mô men khớp dẻo ở hai đầu cùng với dầm ảo để liên kết với tường vách (Hình 9).

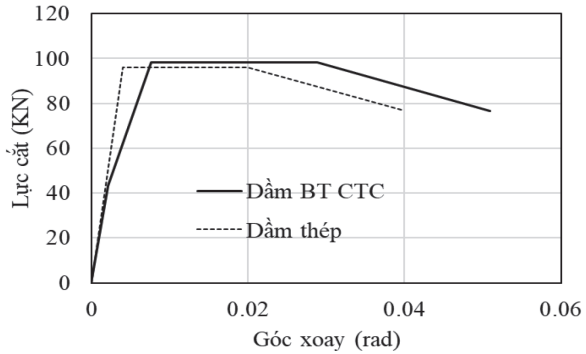
Liên kết với tường đối với cả hai trường hợp dầm nối đều thông qua một dầm ảo. Khác biệt ở đây là dầm nối có mô hình dầm-giàn, độ cứng của dầm ảo là bất kỳ, trường hợp dầm nối bằng thép, độ cứng đơn vị của dầm ảo gấp 100 lần độ cứng đơn vị của dầm nối để đảm bảo độ cứng liên kết.



Hình 9. Mô hình dầm nối bằng thép

Dầm nối bê tông cốt thép chéo có kích thước 76 x 305 mm tương tự với thí nghiệm của Santhakumar [3]. Cốt thép chéo 2Φ10 + 2Φ6, thép đai có đường kính 4,75mm (quy đổi). Khả năng chịu cắt tính toán được bằng 98 KN. Dầm thép chữ I có kích thước 50 x 150 x 4 x 6 mm. Khả năng chịu cắt của dầm bằng 96 KN.

Mô hình tính toán của hai dầm nối được thể hiện trên Hình 10. Có thể thấy sự tương đương về độ cứng ban đầu và khả năng chịu lực của hai dầm nối.



Hình 10. Mô hình dầm nối bê tông cốt thép chéo (BT CTC) và dầm nối bằng thép

3.4. Tải trọng ngang tĩnh đẩy dần

Để xác định sự làm việc dẻo của kết cấu ứng với hai trường hợp dầm nối, một tải trọng ngang tĩnh được tác động ở mỗi tầng của vách với cường độ giống nhau được tác dụng tăng

dần cho đến khi kết cấu đạt tới giới hạn (sụp đổ, hoặc chuyển vị tới hạn). Tải trọng này được khai báo tự động trong phần mềm tính toán. Kết quả của quá trình phân tích là quan hệ lực – chuyển vị của kết cấu.

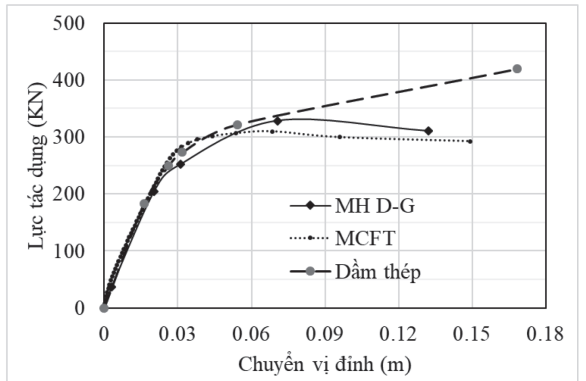
3.5. Kiểm chứng mô hình tính toán vách kép

Vách kép 7 tầng được so sánh với lý thuyết trường nén cải tiến theo phần mềm VECTOR2 [13], [24]. Bảng 1 thể hiện kết quả tính toán vách kép có dầm nối. Kết quả so sánh được thể hiện trên Hình 11.

Bảng 1: Chuyển vị của vách theo tải trọng ngang tĩnh đẩy dần cho vách 7 tầng có dầm nối bằng thép

Vách có	Dầm bê tông cốt thép chéo		Dầm thép	
Bước tải	Chuyển vị (m)	Lực cắt đáy (KN)	Chuyển vị (m)	Lực cắt đáy (KN)
0	0	0	0	0
1	0.00312	37.012	0.016142	182.636
2	0.02039	204.52	0.02629	249.305
3	0.03105	251.96	0.031852	272.995
4	0.07055	328.44	0.054394	321.995
5	0.13211	310.46		

Kết quả so sánh cho thấy sự tương đồng về kết quả lực, và chuyển vị. Trong khi kết quả tính toán cho vách kép có dầm nối BT cốt thép chéo theo MCFT và mô hình dầm – giàn là tương đương nhau (và đồng thời tương đồng với kết quả thí nghiệm của Santhakumar [13]), vách kép có dầm nối bằng thép vượt lên ở giai đoạn sau do có ưu việt về độ dẻo.



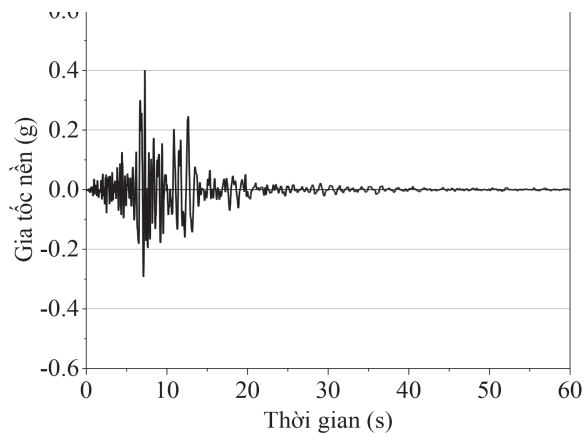
Hình 11. Kết quả so sánh tính toán vách kép 7 tầng theo MCFT, theo mô hình dầm – giàn (dầm BT CT chéo) và dầm nối bằng thép.

Đồng thời so sánh kết quả phân tích ở trên với nghiên cứu của Coull [5] cho thấy mức độ giải quyết cải tiến hơn của mô hình và phương pháp phân tích. Trong khi tính toán của Coull với việc xảy ra chảy dẻo của dầm nổi theo vùng thì ở đây, chảy dẻo của các dầm nổi được xác định tự động theo quá trình tăng của tải trọng ngang. Hơn nữa, việc giải quyết bài toán không phải tính toán thử dần mà một quá trình liên tục được xác định thông qua phần mềm.

3.6. Tác động của động đất

Với mô hình kết cấu và phương pháp tính toán tin cậy đã được nghiên cứu ở trên, tiếp tục thực hiện việc phân tích kết cấu theo tải trọng động đất. Các thông số của mô hình được thiết lập tương tự như khi tính toán tải trọng ngang nhưng thay đổi sang tải trọng động đất.

Tác động của động đất được khảo sát thông qua gia tốc nền. Giá trị của gia tốc sử dụng bản ghi CAST360_DBE của trận động đất Northridge xảy ra năm 1994, ở Los Angeles, Mỹ có đỉnh gia tốc nền 0,4g thời gian xảy ra động đất là 60 (s) (Hình 12) [25].



Hình 12. Gia tốc nền CAST360_DBE

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Vách chịu tải trọng ngang tĩnh đẩy dần

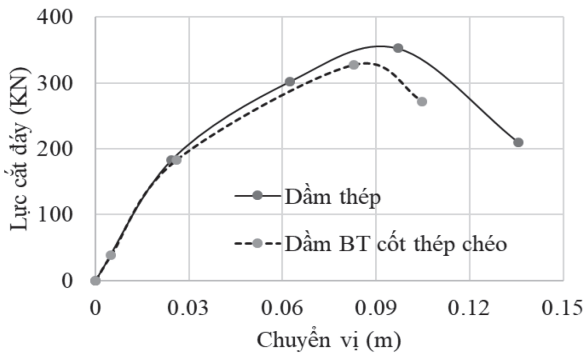
Để đánh giá một cách đầy đủ phản ứng của kết cấu vách kép nhiều tầng, chọn hệ thống vách mới được nghiên cứu gồm 14 tầng. Kích thước bề rộng, chiều dài và chiều cao các tầng vách tương tự như Hình 8 (vách 7 tầng), cấu tạo dầm nổi bê tông cốt thép chéo và dầm nổi bằng thép và kích thước tương tự như trường hợp vách đã tính toán ở trên.

Kết quả phân tích kết cấu cho hai trường

hợp dầm nổi được tổng hợp trong Bảng 2 và Hình 13. Đường cong thu được là quan hệ chuyển vị với tổng lực cắt đáy (tổng lực ngang tác dụng lên toàn bộ vách).

Bảng 2: Chuyển vị của vách theo tải trọng ngang tĩnh đẩy dần

Vách có	Dầm bê tông cốt thép chéo		Dầm thép	
	Bước tải	Chuyển vị (m)	Lực cắt đáy (KN)	Lực cắt đáy (KN)
0	0	0	0	0
1	0.00495	37.9	0.02450	183.38
2	0.02593	182.9	0.06242	302.21
3	0.08281	327.4	0.09712	352.61
4	0.10475	272.0	0.13569	210.04



Hình 13. Chuyển vị của vách theo tải trọng ngang tĩnh đẩy dần

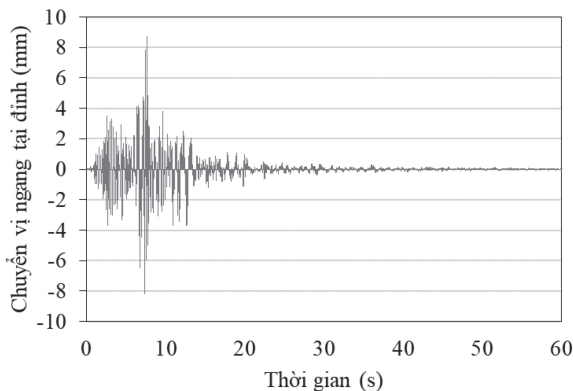
Kết quả phân tích trên Hình 13 cho thấy, sự tương đương về sự làm việc giữa hai vách có dầm nổi bê tông và dầm nổi bằng thép. Tuy nhiên từ giai đoạn chảy dẻo của dầm nổi trở đi, sự làm việc của vách kép có dầm nổi bằng thép nhỉnh hơn vách có dầm nổi bê tông.

Độ dẻo của vách có dầm bê tông: $\mu_{\Delta} = 0,10475/0,02593 = 4,04$. Độ dẻo của vách có dầm thép: $\mu_{\Delta} = 0,13569/0,02450 = 5,54$. Như vậy, độ dẻo của vách có dầm thép nhỉnh hơn độ dẻo của vách có dầm nổi bằng bê tông.

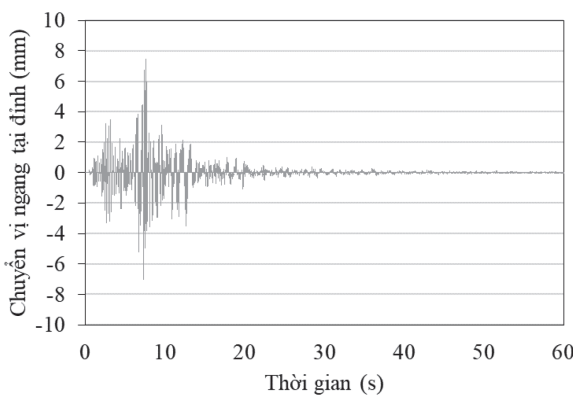
4.2. Vách chịu tải trọng động đất

Kết quả phân tích kết cấu vách kép 14 tầng chịu tải trọng động đất được trình bày trên Hình 14 (cho vách có dầm nổi bê tông cốt thép chéo – BT CTC) và Hình 15 (cho vách có dầm nổi làm bằng thép).

Chuyển vị đỉnh lớn nhất đối với vách kép có dầm nối bê tông cốt thép chéo là 8,713 mm, đối với trường hợp dầm nối bằng thép là 7,475 mm.



Hình 14. Chuyển vị của vách kép có dầm nối bằng BT CTC trong thời gian xảy ra động đất



Hình 15. Chuyển vị của vách kép có dầm nối bằng thép trong thời gian xảy ra động đất

So sánh hai trường hợp vách kép cho thấy, phản ứng với động đất của hai vách là tương tự nhau, tuy nhiên, chuyển vị đỉnh của vách có dầm thép nhỏ hơn. Điều đó cho thấy hiệu quả kháng chấn của vách có dầm nối bằng thép nhỉnh hơn.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về ứng xử với động đất của kết cấu vách kép trong trường hợp dầm nối bằng bê tông cốt thép đặt cốt thép chéo và dầm nối bằng thép đã được thực hiện. Hai cách mô hình dầm nối tương ứng đã được thực hiện thể hiện hiệu quả của chúng trong phân tích kết cấu ứng với hai trường hợp vách kép có chiều cao khác nhau chịu tải trọng ngang tĩnh dần dần và tải trọng động đất. Các kết luận sau đây được đưa ra:

Mô hình tính toán vách kép có thể được diễn tả bằng phần tử vỏ (shell) cho các tường vách, đối với dầm nối bê tông cốt thép chéo

có thể được mô hình bằng một phần tử hỗn hợp dầm – giàn làm việc đàn dẻo còn dầm nối bằng thép được mô tả bằng một phần tử dầm có hai khớp dẻo với quan hệ mô men (hoặc lực cắt) – góc xoay.

Ứng xử với tải trọng ngang và tải trọng động đất của các vách kép đã được thiết lập thông qua mối quan hệ lực (ngang) tác dụng – chuyển vị hoặc chuyển vị – thời gian tác dụng của động đất. Kết quả thu được đủ để đánh giá độ dẻo của kết cấu cũng như phản ứng của kết cấu với tải trọng động đất.

Với lựa chọn khả năng chịu cắt và độ cứng tương đương, dầm nối bằng thép làm cho vách có độ dẻo cao hơn và phản ứng với động đất tốt hơn so với dầm nối bằng bê tông cốt thép.

Có thể thay thế dầm nối bê tông cốt thép chéo bằng dầm nối bằng thép mà vẫn đảm bảo khả năng kháng chấn tương ứng với kết cấu có dầm nối bằng bê tông cốt thép chéo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Paulay and J.R. Binney, "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls," *Symp. Pap.*, vol. 42, pp. 579–598, Jan. 1974.
- [2] T. Paulay, "The Coupling of Shear Walls," p. 249, 1969.
- [3] A. R. Santhakumar, "Ductility of coupled shear walls," *PhD Thesis Univ. Canterb. Christch. N. Z.*, 1974.
- [4] D. E. Lehman *et al.*, "Seismic Behavior of a Modern Concrete Coupled Wall," *J. Struct. Eng.*, vol. 139, no. 8, pp. 1371–1381, Aug. 2013, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000853.
- [5] P. J. Fortney, B. M. Shahrooz, and G. A. Rassati, "Large-Scale Testing of a Replaceable 'Fuse' Steel Coupling Beam," *J. Struct. Eng.*, vol. 133, no. 12, pp. 1801–1807, Dec. 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:12(1801).
- [6] P. J. Fortney, B. M. Shahrooz, and G. A. Rassati, "The Next Generation of Coupling Beams," in *Composite Construction in Steel and Concrete V*, Kruger National Park, Berg-en-Dal, Mpumalanga, South Africa: American Society of Civil Engineers, Feb. 2006, pp. 619–630. doi: 10.1061/40826(186)58.

- [7] A. Coull and B. Choo, "SIMPLIFIED ELAS-TO-PLASTIC ANALYSIS OF COUPLED SHEAR WALLS," *Proc. Inst. Civ. Eng.*, vol. 73, no. 2, pp. 365–381, Jun. 1982, doi: 10.1680/iicep.1982.1706.
- [8] H. Chan and J. Kuang, "Stiffened Coupled Shear Walls" *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 115, No. 4, April, 1989. ©ASCE, ISSN 0733-9399/89/0004-0689. Paper No. 23328.
- [9] J. Wallace, K. Kolozvari, A. Safdari, and S. Abdullah, "Acceptance Criteria and Modeling RC Core Wall Buildings," *Tall Build.*, 2018.
- [10] Applied Technology Council, "Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER/ATC 72-1)." Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Oct. 2010.
- [11] R. Rana, L. Jin, and A. Zekioglu, "Pushover Analysis of a 19-Story Concrete Shear Wall Building," 2004.
- [12] Đoàn Xuân Quý, Nguyễn Tiến Chương và Nguyễn Hùng Phong, "Phân tích kết cấu lõi nhà nhiều tầng có xét đến sự làm việc sau đàn hồi của các dầm nổi." Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI, Hà Nội, 02-03/12/2022, 2022.
- [13] Đoàn Xuân Quý, "Nghiên cứu ảnh hưởng ứng xử sau đàn hồi của dầm nổi tới sự làm việc chịu xoắn của kết cấu lõi nửa kín trong nhà nhiều tầng bê tông cốt thép," Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 2023.
- [14] R. Park and T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures," New York: John Wiley & Son. Inc., 1975.
- [15] T. Paulay, "Seismic response of structural walls: recent developments," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 6, pp. 922–937, Dec. 2001, doi: 10.1139/l01-054.
- [16] H. Akbarzadeh Bengar and R. Mohammad-alipour A ski, "Effect of Steel and Concrete Coupling Beam on Seismic Behavior of RC Frame Accompanied with Coupled Shear Walls," *Sci. Iran.*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, Aug. 2017, doi: 10.24200/sci.2017.4159.
- [17] Vecchio F. J, Collins M, "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear," *ACI Journal. Titled no*, 83 - 22, 1986.
- [18] Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio, and Michael P. Collins, "Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements," *ACI Struct. J.*, vol. 103, no. 4, 2006, doi: 10.14359/16438.
- [19] Đoàn Xuân Quý, Phạm Thu Hiền, "Tính toán khả năng chịu cắt của dầm nổi bê tông cốt thép có cốt thép chéo theo mô hình SMCFT." Hội nghị Khoa học thường niên năm 2022, ĐHTL. ISBN: 978-604-82-7001-8, 2022.
- [20] Quý Đ. X. and Chương N. T., "Ứng xử của vách kép nhà nhiều tầng chịu tải trọng ngang theo sự làm việc sau đàn hồi của dầm nổi," *Tap Chí Vật Liệu Xây Dựng - Bộ Xây Dựng*, vol. 12, no. 01, Feb. 2022, doi: 10.54772/jomc.01.2022.273.
- [21] Gwon, Seongwoo, Shin, Myoung-Su, and Lee, Deokjung, "Nonlinear modelling parameters of RC coupling beams in a coupled wall system," *Earthq. Struct.*, vol. 7, no. 5, pp. 817–842, Nov. 2014, doi: 10.12989/EAS.2014.7.5.817.
- [22] *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute, 2019. doi: 10.14359/51716937.
- [23] "FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," 2000.
- [24] VecTor Analysis Group, "VecTor2 - Finite Element Analysis of Reinforced Concrete 4.2." 2017.
- [25] Earthquake Engineering Research Center, "Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the January 17, 1994 Northridge Earthquake," College of Engineering, University of California at Berkeley, UCB/EERC-94/01, Jan. 1994.