

# Tính toán kết cấu vách kép nhà nhiều tầng có dầm nối đặt cốt thép xiên làm việc sau đàn hồi

Đoàn Xuân Quý<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tiến Chương<sup>2</sup>, Nguyễn Hùng Phong<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Thủy Lợi

<sup>2</sup> Trường Đại học Thành Đông

<sup>3</sup> Trường Đại học xây dựng Hà Nội

## TỪ KHOẢ

Dầm nối  
 Kết cấu vách kép  
 Cốt thép chéo  
 Ứng xử sau đàn hồi  
 Kết cấu nhà nhiều tầng

## TÓM TẮT

Kết cấu vách kép (coupled shear wall - CSW) là dạng kết cấu bao gồm hai vách theo phương đứng được nối với nhau bởi các lanh tô hay còn gọi là dầm nối theo phương ngang. Theo tiêu chuẩn động đất, vách kép có hệ số ứng xử cao hơn kết cấu vách thường, có nghĩa là về mặt phản ứng với tác dụng động của vách kép tốt hơn. Đặc tính này của kết cấu vách kép đã được sử dụng trong thiết kế nhà cao tầng, đặc biệt là thiết kế nhà cao tầng chịu động đất. Khả năng chịu lực của vách kép, bao gồm cả độ bền, độ cứng cũng như độ dẻo, phụ thuộc vào khả năng chịu lực của các dầm nối. Dầm nối đặt cốt thép chéo đã được Paulay đề xuất và chứng minh sự hiệu quả cho sự làm việc của kết cấu tường kép so với tường có dầm nối cấu tạo cốt thép thông thường. Bài báo này sẽ nghiên cứu tính toán kết cấu vách kép có dầm nối đặt cốt thép xiên làm việc sau đàn hồi. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để tính toán và thiết kế kết cấu vách kép.

## KEYWORDS

Coupling beam  
 Double shear wall structure  
 Diagonal reinforcement  
 Elasto-plastic behavior  
 Multi-story building structure

## ABSTRACT

Coupled shear wall (CSW) is a structure consisting of two vertical walls connected by horizontal lintels or beams. According to seismic standards, the double wall has a higher coefficient of behavior than a normal wall structure, which means that in terms of response to the dynamic action of a double wall, it is better than the normal shear wall. This feature of double-walled structure has been used in the design of high-rise buildings, especially the design of high-rise buildings subjected to earthquakes. The bearing capacity of a double wall, including strength, stiffness as well as ductility, depends on the bearing capacity of the coupling beams. The coupling beam with diagonal reinforcements has been proposed by Paulay and proven to be effective for the performance of double wall structures compared to the wall's structure with conventional reinforced beams. This paper will study the calculation of the double shear wall structure with the elastic-plastic working of the diagonal reinforced coupling beams. The results form the basis for the calculation and design of this structure.

## 1. Giới thiệu

Tường/ vách kép (coupled shear wall - CSW) là dạng kết cấu bao gồm hai vách theo phương đứng được nối với nhau bởi các lanh tô hay dầm nối theo phương ngang. Các dầm nối được bố trí trên cao độ các tầng để kết nối các tường đơn với nhau và để kiểm soát ứng xử của tường. Các dầm hạn chế biến dạng dọc trục của cặp tường chịu kéo hoặc nén. Hành động kép như vậy cải thiện ứng xử tổng thể của hệ thống tường thông qua việc tiêu tán năng lượng, giảm góc xoay, giảm độ lệch giữa các tầng, chuyển vị đỉnh và lực cắt chân vách trong khi độ lệch theo chiều cao tường được phân bố đều hơn. Hệ thống tường này thường được sử dụng để chịu tải trọng ngang chính trong các nhà nhiều tầng. Thông thường, các bức tường được kết nối ở các tầng khác nhau với các dầm nối đóng vai trò như một khung mà các trụ đại diện cho các cột và các thanh ngang đại diện cho dầm. Những dầm nối có

nhiệm vụ ghép nối khả năng chịu tải trọng ngang của các bức tường. Do đó, một dầm nối bê tông cốt thép được cấu tạo cốt thép nhất định có thể được sử dụng như là một cách để tăng khả năng chịu lực của tường và làm tăng khả năng tiêu tán năng lượng của nó.

Nghiên cứu về sự làm việc của vách kép đồng đã được một số tác giả như Paulay (1969) [1], Santhakumar (1974) [2], Marco Preti và Ezio Giuriani (2012) [3] hay Lehman và cộng sự (2013) [4] làm thực nghiệm. Kết quả thí nghiệm chứng minh rằng độ lệch và khả năng tiêu tán năng lượng cho vách kép với dầm nối có cốt thép chéo là đáng kể, mạnh hơn so với các vách sử dụng dầm nối cấu tạo thông thường.

Các dầm nối cũng được thí nghiệm riêng để nghiên cứu sự làm việc. Một số tác giả đã thí nghiệm các dầm nối đặt cốt thép chéo như: Paulay và Binney (1974) [5], Tassios và cộng sự (1996) [6], L. Galano và A. Vignoli (2000) [7], J. Wallace và Naish (2013) [8], Lim và cộng sự (2016) [9]. Các nghiên cứu đều thống nhất kết quả, dầm nối đặt cốt

\* Liên hệ tác giả: quydx@wru.edu.vn

Nhận ngày 13/11/2022, giải trình ngày 25/11/2022, chấp nhận đăng 14/12/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2022.412>

thép chéo có khả năng chịu lực, độ dẻo và chịu biến dạng tốt hơn dầm nối có cấu tạo cốt thép theo cách thông thường.

Các tính toán về sự làm việc sau đàn hồi của vách kép đã được nghiên cứu như các tác giả Paulay (1975) [10], Coull và Choo (1982) [11]. Trong khi Paulay đưa ra phương pháp tính toán khả năng chịu lực của dầm nối, Coull và Choo đã đưa ra quy trình tính toán đơn giản dựa trên mô hình rời rạc liên tục cho kết cấu vách với các cân bằng các vùng giới hạn tương ứng với sự làm việc của dầm nối để xác định được các vùng chảy dẻo và các vùng dầm nối chưa đạt đến trạng thái giới hạn.

Về sau tính toán phi tuyến cho kết cấu lõi được thực hiện bằng quy trình phân tích đẩy dần (pushover analysis) với các thành phần kết cấu được khai báo qua các khớp dẻo (hinge). Các khớp dẻo này được mô tả mặc định hoặc bằng các khai báo dựa trên xác định trên mô hình như của ASCE 41 [12] và FEMA 356 [13]. Các khớp dẻo này được thành lập trên cơ sở làm việc của các dầm thông thường chưa phân biệt rõ sự làm việc của trường hợp dầm nối đặt cốt thép chéo. Do đó Brena hay Gwon đã có những tính toán điều chỉnh cho khớp thực tế hơn, tuy vậy kết quả phân tích vẫn còn có khoảng cách so với sự làm việc thực của kết cấu.

Nghiên cứu sẽ áp dụng một cách mô hình dầm nối kết hợp giữa phần tử dầm, với phần tử giàn qua thí nghiệm của Santhakumar để tính toán và so sánh với tính toán hệ vách kép theo mô hình dầm cho dầm nối và mô hình số theo lý thuyết miền nén cài tiến. Từ đó đánh giá hiệu quả của việc sử dụng mô hình tính toán.

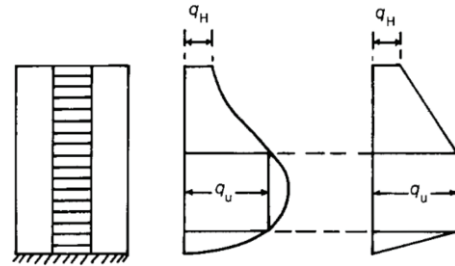
**2. Mô hình tính toán kết cấu tường kép**

Phương pháp phân tích sau đàn hồi cho kết cấu tường kép của A. Coull và cộng sự theo mô hình rời rạc liên tục đã chỉ ra, khi vách chịu tác dụng lực, các dầm nối phát huy vai trò liên kết đã chịu các nội lực rất lớn và chảy dẻo tại một số vị trí và hình thành các vùng chảy dẻo trong khi các tường vách vẫn làm việc đàn hồi (Hình 1).

Tính toán của A. Coull sau đó đã thiết lập được đường cong quan hệ giữa lực ngang tác dụng và chuyển vị tại đỉnh. Tính toán này đã mô tả được sự làm việc của vách tuy nhiên có nhược điểm là chưa kể đến quá trình suy giảm độ cứng của dầm nối cũng như khai báo sự làm việc sau đàn hồi bằng mô hình dầm thuần túy và khó kể đến sự làm việc của cốt thép chéo. Điều này có thể xử lý được bằng phương pháp phần tử hữu hạn và dầm nối được mô tả bằng mô hình phù hợp.

Theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) [14], kết cấu vách được mô tả theo cách khác nhau. Vách trong PTHH được mô tả là các phần tử tấm vỏ - shell trong phân tích tuyến tính. Trong phân tích phi tuyến chúng thường được mô tả bằng các phần tử thanh (frame) để có thể dễ mô tả sự làm việc phi tuyến bằng các khớp dẻo (hinge). Các dầm nối - coupling beam được khai báo sử dụng phần tử Thanh (frame), hoặc phần tử tấm vỏ (shell). Khi khai báo là phần tử tấm thì thể hiện bình thường, tuy nhiên khi dùng phần tử Thanh thì cần phải điều chỉnh phù hợp. Dùng phần tử tấm phù hợp về mô hình tính tuy nhiên dùng

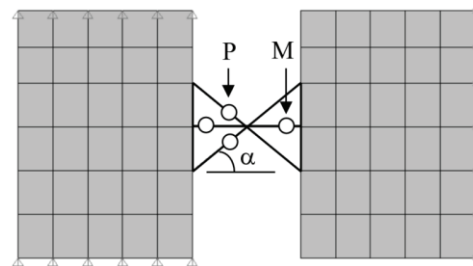
phần tử Thanh lại thuận lợi cho quá trình phân tích kết cấu hơn, nhất là đối với các mô hình cho dầm nối sau đàn hồi.



**Hình 1.** Mô hình rời rạc liên tục tính kết cấu vách kép theo ứng xử sau đàn hồi của dầm nối (A. Coull và cộng sự [11]).

Để đảm bảo tính tương thích về bậc tự do, liên kết giữa phần tử dầm nối với phần tử tường phải có sự thống nhất. Nút của phần tử tấm phẳng có hai bậc tự do, trong khi nút của phần tử dầm có ba bậc tự do. Trong trường hợp dầm nối được mô hình bằng phần tử tấm vỏ (shell), việc liên kết nút với tấm tường ở các nút chia diễn ra bình thường. Trong trường hợp các dầm nối được mô tả bằng phần tử thanh, liên kết giữa dầm vào tấm tường cần bổ xung các dầm ảo ở hai đầu của dầm nối tiếp xúc với vách.

Thông thường, các dầm nối làm việc phi tuyến được mô tả bằng phần tử thanh với hai khớp dẻo phi tuyến ở hai đầu và độ cứng dầm nối bị suy giảm (khoảng 50% độ cứng ban đầu theo tiêu chuẩn Mỹ). Nhưng mô hình này áp dụng cho dầm thông thường, trong trường hợp đặt cốt thép chéo, mô hình này không diễn tả được sự làm việc ngoài một mô hình chung trong đó góc xoay dẻo vẫn tính theo công thức dầm thường và các góc xoay về sau là các giá trị cố định chung cho các dầm. Việc áp dụng mô hình còn chưa phù hợp nên cần một mô hình phù hợp hơn để áp dụng tính toán kết cấu vách. Mô hình đã được nghiên cứu là mô hình khớp dẻo - thanh chống hay còn gọi là mô hình kết hợp dầm - giàn [15] (Beam - truss Model) (Hình 2).



**Hình 2.** Mô hình kết hợp dầm - giàn cho dầm nối đặt cốt thép chéo.

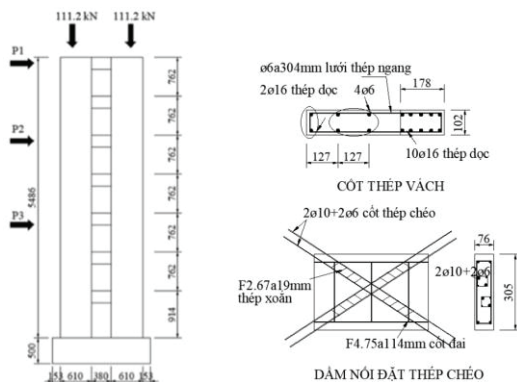
Mô hình kết hợp bao gồm 1 thanh dầm ngang ứng xử như dầm thông thường với khả năng chịu uốn  $M_{kd}$ , hai thanh dầm chéo thể hiện khả năng chịu lực kéo nén  $P_{gh}$  của cốt thép chéo. Thông số của mô hình kết hợp bao gồm độ cứng  $EI_{eff}$  của thanh dầm ngang, độ cứng  $EA$  của thanh giàn bằng độ cứng  $E_s A_{sd}$  của cốt thép chéo. Khả năng chịu lực của tổng thể dầm nối  $V_{gh}$  sẽ được xác định qua các tính toán khả năng chịu lực tổng hợp của dầm nối (như theo phương pháp miền nén cài

tiền đơn giản) hoặc xác định theo thực nghiệm. Khả năng chịu kéo nén của thanh chéo bằng  $P_{gh} = A_{sd}f_{yd}$ . Khả năng chịu Mô men lớn nhất của thanh chéo tính được theo công thức:  $M_{kd} = (V_{gh} - 2P_{gh}\sin\alpha)L_n/2$ , trong đó  $\alpha$  là góc tạo bởi phương ngang với thanh chéo ( $\tan\alpha = d/L_n$ , với  $d$  là khoảng cách giữa 2 đầu thanh chéo, thường lấy bằng 0,8 lần chiều cao dầm nổi và phụ thuộc vào cấu tạo cốt thép chéo (góc của cốt thép chéo so với phương trục dầm). Các giá trị góc xoay giới hạn được tra theo ASCE 41-13.

Sau khi thiết lập được thông số của thanh dầm ngang và thanh chéo, mô hình các thanh này trong phần mềm PTHH với thanh dầm có độ cứng  $EI_{eff}$  (xác định bằng hệ số giảm tương ứng độ cứng tính toán của thanh trong mô hình), thanh chéo quy đổi sang thanh bê tông tương đương cùng độ cứng EA.

### 3. Thiết lập mô hình tính toán tường kép

Vách kép theo thí nghiệm của Santhakumar [2] có các kích thước và cấu tạo như trên Hình 3. Vách bao gồm 7 tầng có chiều cao là 5,486 m, các dầm nổi có kích thước  $76 \times 305$  mm, nhịp dầm nổi  $L_n = 380$  mm, vách có chiều dày 102 mm. Các lực ngang bằng nhau ở ba mức cao độ khác nhau. Vật liệu bê tông có  $f_c = 30$  Mpa, cốt thép có  $f_y = 330$  Mpa.



Hình 3. Cấu tạo vách kép, sơ đồ gia tải.

Trước hết phân tích kết cấu theo mô hình số bằng phần mềm Vector2 [16] [17] theo Lý thuyết miền nén cải tiến (MCFT) [18]. Xét về hình học thì kết cấu vách kép được xem như là kết cấu tấm phẳng có các lỗ mở. Dưới tác dụng của tải trọng ngoài, vách làm việc theo sơ đồ ứng suất phẳng, không chịu lực ngoài mặt phẳng, nên có thể được mô hình hóa bằng mô hình phần tử hữu hạn dạng phần tử tấm phẳng. Xét về vật liệu thì trong kết cấu vách kép có hai loại cốt thép: loại cốt thép dọc tại mép biên của các vách đứng và biên của các lanh tô và loại cốt thép phân bố gồm các cốt thép đai và các cốt thép phân bố trong vách.

Do đặc điểm cấu tạo cốt thép trên đây, vật liệu của vách kép có thể được mô hình hóa như sau:

- Bê tông và cốt thép phân bố được mô hình hóa theo lý thuyết trường nén cải tiến (MCFT).

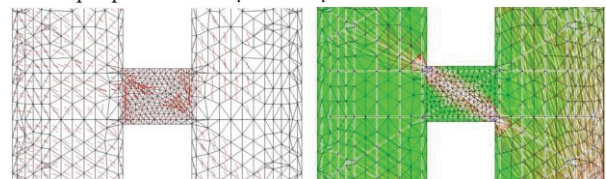
- Các cốt thép dọc được mô hình hóa bằng các phần tử thanh chịu kéo – nén.

Các thông số vật liệu được lựa chọn để phân tích kết cấu trong Vector2 được trình bày theo Bảng 1.

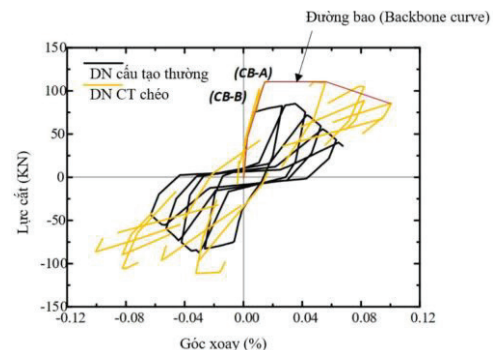
Bảng 1. Mô hình vật liệu được lựa chọn để tính trong Vector2 (Danya Mohr 2007) [19].

Các ứng xử thành phần	Các Mô hình
Compression Base Curve	Popovics (NSC)
Compression Post-Peak	Popovics / Mander
Compression Softening	Vecchio 1992-B (e1/e0-Form)
Tension Stiffening	Modified Bentz 2003
Tension Softening	Billnear
Tension Splitting	Not Considered
Confinement Strength	Kupfer / Richart Model
Concrete Dilation	Variable - Kupfer
Cracking Criterion	Mohr-Coulomb (stress)
Crack Slip Check	Vecchio-Collins 1986
Crack Width Check	Agg/5 Max Crack Width
Slip Distortions	Vecchio-Lai
Concrete Hysteresis	Nonlinear w/ Plastic Offsets
Steel Hysteresis	Elastic-Plastic w/ Hardening
Steel Hysteresis	Tassios (Crack Slip)

Kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Sự làm việc của dầm nổi trong kết cấu vách kép.



Hình 5. Sự làm việc của dầm nổi có cốt thép chéo (CB-B) so với dầm nổi cấu tạo thông thường (CB-A).

Kết quả phân tích mô hình trên phần mềm Vector2 cho kết cấu vách kép mô tả sự làm việc của dầm nổi, các vết nứt theo phương đường chéo thể hiện cho sự làm việc của các Thanh giàn chéo, đồng

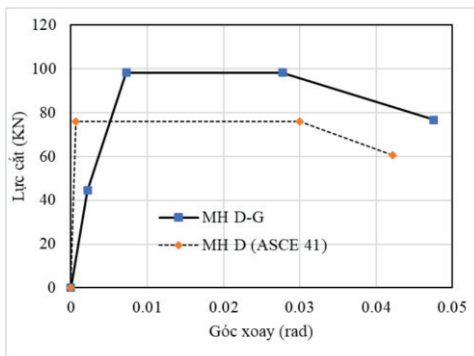
thời xuất hiện các vết nứt thẳng góc ở mép dầm – thể hiện cho sự làm việc chịu uốn. Làm việc uốn và làm việc cắt đồng thời trong quá trình chịu lực của dầm nổi. Hình ảnh vết nứt khi lực tác dụng lên vách là lớn nhất, hình ảnh vết nứt chéo và vết nứt thẳng xuất hiện đồng thời (Hình 4).

Sự làm việc của dầm nổi đặt cốt thép chéo được thể hiện theo kết quả thí nghiệm như trên Hình 5 và được so sánh với dầm nổi đặt cốt thép thông thường cùng kích thước (khác cấu tạo).

Tiến hành thiết lập mô hình dầm nổi đặt cốt thép chéo theo mô hình kết hợp dầm - giàn với các thông số được lựa chọn để khớp với kết quả thí nghiệm.

**Bảng 2.** Các thông số mô hình cho dầm nổi.

MH D (ASCE 41-13)		MH D-G	
Lực (KN)	Góc xoay (rad)	Lực (KN)	Góc xoay (rad)
0	0	0	0
76	0,000659	44	0,0022
76	0,030659	98	0,0073
61	0,042216	98	0,0277
		77	0,049



**Hình 6.** Hai mô hình cho dầm nổi đặt cốt thép chéo.

Khả năng chịu lực của dầm nổi tính theo lý thuyết miền nén cải tiến đơn giản (SMCFT [15], [20]) là  $V_{gh} = 98KN$ , trong khi khả năng chịu lực của dầm nổi chỉ kể đến cốt xiên là  $V_{sd} = 76KN$  (với  $P_{gh} = 71KN$ ). Mô men giới hạn của thành phần dầm tính được bằng  $M_{kd} = (V_{gh} - V_{sd})L_n/2 = (98-76) \times 0,38/2 = 4,18 KNm$ .

Các mô hình để tính toán dầm nổi bao gồm: Mô hình Dầm (theo tiêu chuẩn ASCE 41-13) dùng để so sánh kết quả và Mô hình kết hợp Dầm-Giàn. Các thông số mô hình được trình bày trên Bảng 2 và Hình 6. Đường bao trên Hình 6 với mô hình dầm - giàn trên Hình 5 là tương đồng, MH D-G có mức độ dự báo sự làm việc của dầm nổi đặt cốt thép chéo tốt, mô tả gần đúng dạng của đường quan hệ Lực - Góc xoay.

**4. Kết quả phân tích**

Với mô hình đã có, tiến hành phân tích đẩy dần cho kết cấu vách kép và so sánh với mô hình số tính toán theo lý thuyết miền nén cải

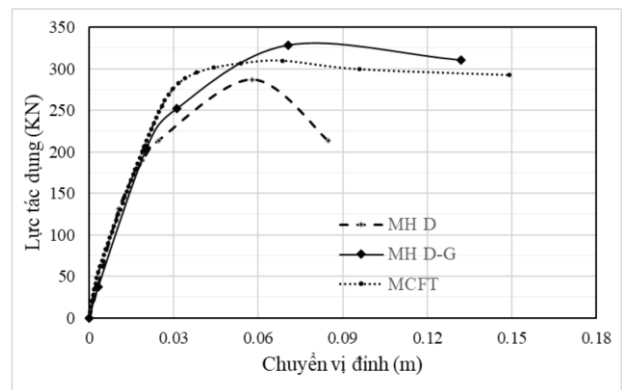
tiến (MCFT) theo phần mềm VecTor2, kết quả được trình bày ở trên Bảng 3 và Hình 7.

**Bảng 3.** Kết quả tính toán vách kép theo hai mô hình dầm nổi.

MH DN	Dầm (ASCE 41-13)		Dầm - Giàn	
	Lực (KN)	Chuyển vị (m)	Lực (KN)	Chuyển vị (m)
0	0	0	0	0
1	37,0	0,0031	36,0	0,0029
2	204,5	0,0204	180,3	0,0163
3	252,0	0,0311	246,6	0,0297
4	328,4	0,0705	320,0	0,0709
5	310,5	0,1321	276,3	0,1150

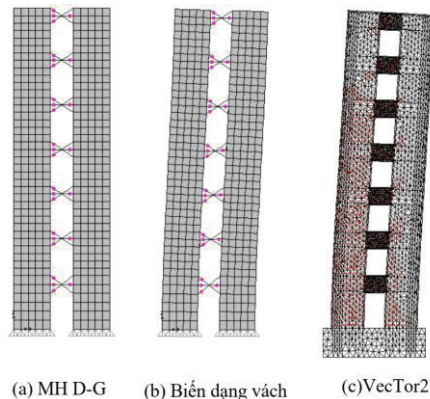
Kết quả ở Hình 7 cho thấy, kết quả tính toán vách kép theo MH D-G khớp với tính toán theo MCFT trong khi đường cong tính toán theo MH D ở phía dưới và thấp hơn 2 đường tính toán theo MH D-G và MCFT. Mặc dù độ cứng của MH D lấy theo ASCE 41-13 là cao hơn nhiều so với độ cứng của MH D-G nhưng đường cong lực - chuyển vị của MH D vẫn ở phía dưới. Điều này diễn tả việc MH dầm truyền thống không đảm bảo được độ cứng của dầm bên cạnh khả năng chịu lực của dầm nổi tính theo ACI là nhỏ hơn. Trong khi đó MH D-G với thanh giàn làm việc là chủ yếu giữ được độ cứng cho dầm nổi và làm cho khả năng chịu lực của hệ kết cấu khá sát với kết quả dự đoán tính toán toàn hệ theo MCFT. Đường cong phản ứng tính toán theo MH D-G ở cao hơn bởi vì các vách được khai báo làm việc trong miền đàn hồi trong khi MCFT tính toán kết cấu sau đàn hồi và vì các vách có bố trí cốt thép nên độ cứng kết cấu vách tính theo MCFT là cao hơn.

Hình 8a thể hiện MH D-G, Hình 8b là kết quả phân tích theo PTHH và Hình 8c là kết quả phân tích vách kép theo VecTor2. Về hình dạng biến dạng của vách kép là tương đối giống nhau, quá trình xuất hiện vết nứt theo Mô hình VecTor 2 với quá trình xuất hiện khớp dẻo trên thanh ngang/ thanh xiên của MH D-G là tương ứng với nhau. Có thể thấy rằng phân tích kết cấu vách kép với dầm nổi được khai báo theo Mô hình Dầm-Giàn về cơ bản đã mô tả được sự làm việc của dầm nổi trong hệ kết cấu. MH D-G diễn tả được đặc tính làm việc của dầm nổi đặt cốt thép chéo với độ bền và độ cứng được đảm bảo.



**Hình 7.** Kết quả phân tích vách kép chịu tải trọng ngang đẩy dần.





**Hình 8.** Khai báo mô hình dầm nối theo MH D-G (a), kết quả phân tích theo PTHH (b) và theo VecTor2 (c).

## 5. Kết luận

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu tính toán kết cấu vách kép theo sự làm việc sau đàn hồi của dầm nối đặt cốt thép chéo trên cơ sở thiết lập mô hình kết hợp dầm – giàn cho dầm nối. Trong đó thanh dầm thể hiện cho sự làm việc chịu uốn của tiết diện dầm nối và các cấu tạo thép thông thường, thanh giàn chéo thể hiện cho sự làm việc kéo nén của cốt thép xiên. Bài toán phân tích theo mô hình dầm thông thường theo tiêu chuẩn ASCE 41-13 cũng được thiết lập, đồng thời mô hình số theo lý thuyết miền nén cải tiến cũng được xây dựng cho kết cấu vách kép để so sánh các kết quả. Kết quả tính toán cho thấy:

Mô hình kết hợp dầm – giàn phù hợp hơn so với mô hình dầm hai khớp dẻo truyền thống để tính toán kết cấu vách kép.

Kết quả phân tích vách kép theo mô hình xây dựng cho dầm nối là khớp với kết quả phân tích theo lý thuyết miền nén cải tiến về biến dạng và đường cong lực – chuyển vị đỉnh.

Cần nghiên cứu, xây dựng dạng tổng quát cho mô hình kết hợp dầm – giàn để áp dụng tính toán cho các kết cấu tương tự.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. T. Paulay, ‘The Coupling of Shear Walls’, p. 249, 1969.
- [2]. A. R. Santhakumar, ‘Ductility of coupled shear walls’, p. 414, 1974.
- [3]. Marco Preti and Ezio Giuriani, ‘Full Scale Experimental Investigation on Seismic Structural Walls’, *15th WCEE, Lisboa*, p. 9, 2012.
- [4]. Lehman DE, Turgeon JA, Birely AC, et al., ‘Seismic behavior of a modern concrete coupled wall’, *J Struct Eng*, 2013; 139(8):1371-1381, 2013.
- [5]. T. Paulay and J.R. Binney, ‘Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls’, *Symp. Pap.*, vol. 42, pp. 579–598, Jan. 1974.
- [6]. Tassios TP, Moretti M, Bezas A., ‘On the behavior and ductility of reinforced concrete coupling beams of shear walls.’, *ACI Structural Journal*; 93(6): 711–20, 1996.
- [7]. Luciano Galano and Andrea Vignoli, ‘Seismic Behavior of Short Coupling Beams with Different Reinforcement Layouts’, *ACI Struct. J.*, vol. 97, no. 6, 2000, doi: 10.14359/9633.
- [8]. D. Naish and J. W. Wallace, ‘Testing and Modeling of Diagonally Reinforced Concrete Coupling Beams’, p. 10, 2010.

- [9]. E. Lim, S.-J. Hwang, T.-W. Wang, and Y.-H. Chang, ‘An Investigation on the Seismic Behavior of Deep Reinforced Concrete Coupling Beams’, *ACI Struct. J.*, vol. 113, no. 2, Mar. 2016, doi: 10.14359/51687939.
- [10]. R. Park and T. Paulay, ‘Reinforced Concrete Structures’, New York: John Wiley & Son. Inc., 1975.
- [11]. A. Coull and B. Choo, ‘Simplified elasto-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.
- [12]. ASCE/SEI Standards Committee on Seismic Rehabilitation, ‘ASCE 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit Rehabilitation of Existing Buildings’. 2013.
- [13]. FEMA, ‘FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings’, p. 519, 2000.
- [14]. David V. Hutton, *Fundamentals of Finite Elements Analysis*. The MacGraw - Hill, 2004.
- [15]. 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 nối’, *Tạp Chí Vật Liệu Xây Dựng - Bộ Xây Dựng*, vol. 12, no. 01, Feb. 2022, doi: 10.54772/jomc.01.2022.273.
- [16]. VecTor Analysis Group, ‘VecTor2 - Finite Element Analysis of Reinforced Concrete 4.2’. 2017.
- [17]. Nguyễn Tiến Chương, Đoàn Xuân Quý, ‘Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đai trong lanh tô đến sự làm việc của kết cấu vách kép chịu tải trọng ngang’, *Hội nghị Khoa học thường niên trường ĐH Thủy Lợi, Hà Nội năm 2019*, Nov. 2019.
- [18]. Vecchio F. J, Collins M, ‘The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear’, *ACI Journal. Titled no*, 83 - 22, 1986.
- [19]. D. Mohr, D. Lehman, and L. Lowes, ‘Performance-Based Design and Nonlinear Modeling of Coupled Shear Walls and Coupling Beams’, in *New Horizons and Better Practices*, Long Beach, California, United States, Oct. 2007, pp. 1–8. doi: 10.1061/40946(248)25.
- [20]. 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.