



Calculating the Semi-Enclosed Core Structure with Post-Elastic Behavior Considering Diagonal Reinforcement in Coupling Beams

Xuân Quý Đoàn and Tiến Chương Nguyễn

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

May 15, 2024

Tính toán kết cấu lõi nửa kín sau đàn hồi có xét đến cốt thép chéo trong các dầm nổi

Đoàn Xuân Quý^{1*}, Nguyễn Tiến Chương²

¹Trường Đại học Thủy Lợi

²Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

*Email: quydx@tlu.edu.vn

Tóm tắt: Cấu tạo cốt thép chéo làm tăng khả năng chịu cắt, tăng độ dẻo cho dầm nổi đã được khẳng định trong nhiều nghiên cứu của Paulay và các tác giả khác trên thế giới. Khi đặt trong hệ thống chịu lực của kết cấu lõi nửa kín, cấu tạo này cho dầm nổi, trên lý thuyết sẽ làm tăng làm việc chịu xoắn của lõi so với các trường hợp dầm nổi được cấu tạo một cách thông thường hoặc được cấu tạo với khả năng chịu lực yếu. Tuy nhiên vai trò cụ thể của cốt thép chéo trong dầm nổi đối với khả năng chịu xoắn của lõi nửa kín cần phải được đánh giá qua các thông số làm việc của lõi như là khả năng chịu mô men xoắn và độ giảm của góc xoắn đỉnh lõi. Bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, thực hiện tăng dần tải trọng ngang, dùng mô hình dầm nổi có xét đến cốt thép chéo và mô hình vỏ (shell) cho tấm tường để phân tích một trường hợp kết cấu lõi điển hình với các trường hợp dầm nổi đặt cốt thép chéo có hàm lượng khác nhau. Kết quả phân tích làm rõ sự ảnh hưởng của cốt thép chéo trong dầm nổi đối với việc tăng cường độ cứng chống xoắn của lõi nửa kín bê tông cốt thép trong nhà nhiều tầng.

Từ khóa: lõi nửa kín, nhà nhiều tầng, dầm nổi đặt cốt thép chéo, mô hình dầm - giàn, khả năng chịu xoắn.

1. Giới thiệu

Lõi nửa kín là dạng kết cấu có các lỗ mở theo từng tầng chạy dọc theo phương đứng của lõi, các phần nổi liền ở đỉnh các lỗ mở được còn là các dầm nổi. Kết cấu dạng này có phản ứng chịu xoắn nằm giữa kết cấu lõi kín (bao xung quanh) và kết cấu lõi hở (một phía hở hoàn toàn) tùy thuộc vào độ cứng của dầm nổi. Dầm nổi ngăn cản hiện tượng xoắn vênh (warping torsion) giữa hai tường đối diện lỗ mở, làm tăng khả năng chịu xoắn, giảm góc xoắn đỉnh lõi khi độ cứng dầm nổi còn được bảo toàn như ban đầu (trong giai đoạn đàn hồi) [1], [2].

Khi mô men xoắn tăng lên, nội lực trong dầm nổi sẽ tăng lên trước do độ cứng của nó là nhỏ so với hệ thống tường lõi bao ngoài. Đối với dầm nổi bê tông cốt thép có cấu tạo thông thường, khi chịu nội lực lớn, dầm sẽ bị nứt, sảy ra sự suy giảm độ cứng, làm tăng chuyển vị hai đầu dầm, làm giảm khả năng chống lại sự vênh của tường dẫn tới sự đóng góp cho độ cứng chống xoắn của lõi giảm đi. Ngược lại, dầm nổi cấu tạo thêm cốt thép chéo có độ bền chịu cắt, độ dẻo tăng lên (Paulay [3]), đồng thời cốt thép chéo tạo nên một hệ thống giằng làm tăng khả năng hạn chế vênh của các tường lõi từ đó, về mặt định tính sẽ làm tăng khả năng chịu xoắn của lõi.

Các lý thuyết phân tích kết cấu lõi nửa kín bằng lý thuyết thanh thành mỏng và mô hình rời rạc liên tục mới khảo sát được các trường hợp dầm có độ cứng thay đổi hoặc dầm nổi có khả năng chịu cắt giới hạn với một độ dẻo cho phép [1], [4], [5], [6]. Phương pháp phần tử hữu hạn với mô hình dầm 2 khớp dẻo [7], [8] tỏ ra phù hợp hơn với các dầm nổi có cấu tạo cốt thép thông thường, chưa phù hợp cho đánh giá dầm nổi có cốt thép chéo do biến dạng của hai loại dầm nổi này là khác nhau [9]. Do vậy, trong bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với mô hình dầm nổi kết hợp giữa thành phần dầm thông thường và 2 thanh chéo thể hiện cho sự làm việc của cốt thép chéo là giải pháp có thể đánh giá được vai trò và mức độ ảnh hưởng của cốt thép chéo đối với khả năng chịu xoắn của tổng thể lõi.

Phương pháp sử dụng trong bài báo sẽ mô tả sự làm việc của các thành phần cấu tạo lõi như sau [10], [11]: các tường của lõi làm việc trong giai đoạn đàn hồi, không có sự suy giảm độ cứng, các dầm nổi sẽ làm việc trong giới hạn đàn hồi hoặc sau đàn hồi tùy thuộc vào nội lực phát sinh trong các dầm nổi. Dầm nổi sẽ là một thành phần đàn dẻo, làm việc theo đặc tính của bê tông cốt thép: có giới hạn chịu lực, mức độ biến dạng và sự thay đổi độ cứng – giảm dần theo sự tác dụng của lực tác dụng lên nó. Đặc tính làm việc của dầm nổi sẽ được xác định bằng mối liên hệ kết hợp giữa thành phần làm việc như dầm nổi bình thường và thành phần giàn chéo đặc trưng cho sự làm việc kéo nén và biến dạng của cốt thép.

Đối tượng nghiên cứu trong bài báo là lõi đơn bê tông cốt thép nhiều tầng có một dãy lỗ mở, với các dầm nổi sắp xếp dọc theo chiều cao. Các dầm nổi có kích thước và cấu tạo cốt thép giống nhau. Kết quả nghiên cứu là sự thay đổi các giá trị góc xoay đỉnh lõi với các cấp tải trọng ứng với mỗi cấu tạo cốt thép chéo trong dầm nổi.

2. Sự làm việc chịu xoắn của lõi nửa kín và ảnh hưởng của dầm nổi

Lõi nửa kín là một trường hợp cấu tạo lệch, tải trọng ngang truyền vào tâm lõi sẽ lệch với tâm xoắn (hay còn gọi là tâm cắt), khi đó lõi sẽ làm việc uốn xoắn đồng thời. Mô men xoắn phát sinh sẽ làm lõi bị xoay, các tính toán đã được thực hiện với lý thuyết thanh thành mỏng và mô hình rời rạc liên tục đã mô tả được quá trình này thông qua các phương trình liên quan đến mô men xoắn và góc xoay, các chuyển vị ở hai đầu dầm nổi (độ trượt vênh giữa hai tường lõi), ứng suất pháp xoắn – uốn của từng tiết diện lõi, và sự phân bố nội lực trong dãy dầm nổi. Kết quả là, khi so sánh khả năng chịu xoắn của lõi nửa kín với lõi hở cũng kích thước, sự có mặt của dầm nổi làm giảm đáng kể góc xoắn cũng như ứng suất pháp xoắn – uốn trong lõi [1], [2].

Sự làm việc của lõi trong trường hợp này liên quan đến tiết diện lõi bị vênh, các vị trí trong tiết diện lõi một là bị vênh lên hoặc là bị lệch xuống so với mặt phẳng ngang ban đầu. Để mô tả được quá trình này, Valasov [12] đã đưa ra khái niệm Bi mô men, tính được góc xoay, ứng suất pháp theo các quan hệ của lý thuyết thanh thành mỏng cho lõi hở. Sau đó mô hình rời rạc liên tục kết hợp với lý thuyết này dùng để tính toán cho lõi nửa kín [1]. Mối quan hệ giữa mô men xoắn - góc xoay đỉnh lõi cho các bài toán điển hình đã được thực hiện dựa trên đặc điểm làm việc khi dầm nổi làm việc đàn hồi và sau khi dầm nổi đạt đến trạng thái chịu lực và độ dẻo của nó.

Khảo sát đối với một trường hợp lõi nửa kín khi tăng dần chiều cao dầm nổi trong giai đoạn làm việc đàn hồi theo lý thuyết thanh thành mỏng và mô hình rời rạc liên tục cho thấy: với chiều cao dầm nổi từ 0,22 lần chiều cao tầng, góc xoay đỉnh lõi giảm nhiều nhất sau đó giảm chậm dần mặc dù chiều cao dầm nổi tăng lên [13].

Trong quá trình tăng tải trọng, một số dầm nổi ở khu vực $\frac{1}{4}$ phía dưới lõi sẽ có nội lực lớn hơn cả và sớm đạt tới trạng thái giới hạn làm việc, sau đó trạng thái này sẽ chuyển lên cho các dầm nổi phía trên và phía dưới lõi [14]. Sau đó trên toàn bộ chiều cao lõi sẽ hình thành một vùng dẻo của các dầm nổi ở giữa và hai vùng ở phía trên đỉnh lõi và dưới chân lõi trong trạng thái đàn hồi. Điều này cũng tương ứng với kết quả theo phân tích của Coull [4] và Kuang [6] theo lý thuyết thanh thành mỏng và mô hình rời rạc liên tục.

Các tính toán đã thực hiện còn hạn chế ở việc xét riêng lẻ các bài toán khi dầm nổi làm việc đàn hồi, hoặc dầm nổi làm việc sau đàn hồi cho một vài lõi nửa kín có cấu tạo đối xứng với độ cứng của dầm nổi không thay đổi trong quá trình làm việc và lấy cố định độ dẻo của dầm nổi. Bên cạnh đó, quá trình tăng tải trọng không được tính liên tục mà tính cho các cấp tải gián đoạn, tính toán thử dần để xác định các trạng thái làm việc của dầm nổi. Ngoài ra, dầm nổi trong các tính toán này được coi là các thanh chịu uốn đơn thuần.

Kết quả phân tích lõi theo phương pháp phân tử hữu hạn với tải trọng ngang tăng dần cũng cho thấy quá trình làm việc của lõi theo các trạng thái giới hạn của dầm nổi như mô tả của Coull và Kuang

[10] [11]. Điểm khác biệt là thay vì việc hóa dẻo từng vùng như nghiên cứu của các tác giả, theo phương pháp phần tử hữu hạn, quá trình chảy dẻo các dầm nối là liên tục, từ dầm chịu nội lực lớn nhất, lan dần lên phía trên cũng như xuống phía dưới cho đến khi một phần hoặc toàn bộ các dầm nối đạt đến giới hạn làm việc.

3. Phương pháp và mô hình tính toán kết cấu lõi nửa kín

Nghiên cứu trong bài báo là nghiên cứu lý thuyết sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với các bước tăng dần tải trọng để tìm ra mối quan hệ lực tác dụng – góc xoay đỉnh lõi. Phương pháp này tỏ ra phù hợp và hiệu quả khi phân tích sự làm việc của kết cấu với mô hình làm việc đàn hồi cũng như sau đàn hồi của dầm nối. Điểm giống nhau là cả hai phương pháp đều phân tích kết cấu lõi có kể đến ứng xử sau đàn hồi của các dầm nối, trong khi các tường lõi vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Điểm khác của phương pháp tính toán sử dụng trong bài báo với phương pháp đã được nghiên cứu trước đó (Coull và Kuang [10]) ở các điểm sau đây [11]:

Phương pháp tính toán dựa trên phần tử hữu hạn, thực hiện thông qua việc gia tăng tải trọng ngang, so với việc thực hiện theo từng cấp tải gián đoạn như phương pháp trước đây; quá trình các dầm nối làm việc đàn hồi hay sau đàn hồi được xác định một cách tự động, trái ngược với cách thử dần như phương pháp trước đây; dầm nối được mô hình bằng một mô hình hỗn hợp dầm – giàn, bao gồm thanh chịu uốn và thanh chịu kéo nén, ngược lại với phương pháp cũ, các dầm được coi là thanh chịu uốn duy nhất.

Các bước tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn và mô hình tính toán như sau:

Bước 1: mô hình hóa kết cấu lõi với các tường là các phần tử vỏ (shell) với độ cứng được giữ nguyên (độ cứng đàn hồi).

Bước 2: mô hình dầm nối bằng một thanh dầm có kích thước bằng dầm nối ban đầu và độ cứng EI_{eff} , và mối quan hệ $M - \theta$ được thiết lập từ các công thức tính toán; hai thanh chéo có độ cứng EA, mối quan hệ $P - \Delta$ được thiết lập bằng các công thức cho sẵn. Đồng thời bổ sung 2 thanh đứng ở 2 đầu dầm để nối các điểm dầm và các điểm đầu thanh giàn nhằm tạo liên kết với tấm tường đảm bảo tương thích bậc tự do.

Bước 3: gán tải trọng ngang lên lõi và thiết lập các thông số gia tăng tải trọng ngang trong phần mềm phân tích. Chú ý gán các giới hạn chuyển vị và góc xoay để lấy các giá trị giới hạn để quá trình tính toán được kết thúc.

Bước 4: phân tích kết cấu lõi với các thiết lập ở trên để được các kết quả tính toán cần tìm, ở bài báo là mối quan hệ lực (mô men xoắn) – góc xoay đỉnh lõi.

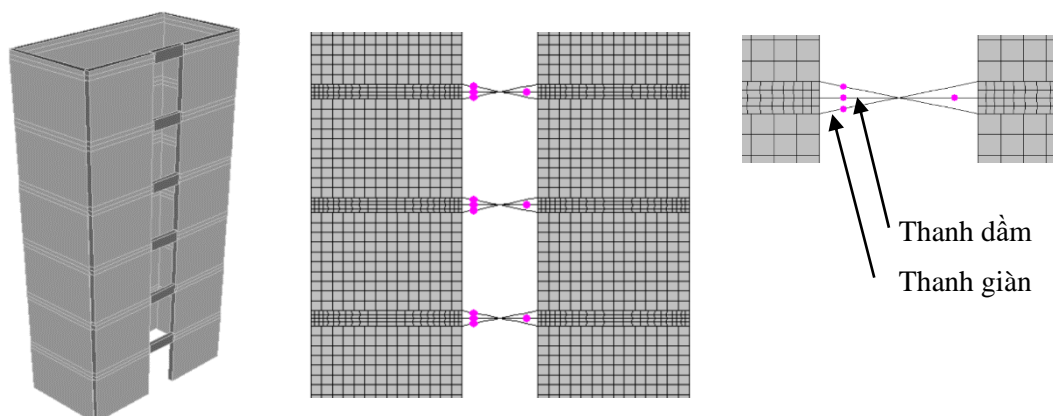
Lưu ý rằng, giá trị mô men xoắn là tính toán được thông qua sự lệch tâm giữa tải trọng và vị trí tâm xoắn của lõi, xác định thông qua lý thuyết thanh thành mỏng. Thông thường có thể lấy giá trị lực tác dụng – góc xoay, tuy nhiên lấy giá trị mô men xoắn như tính toán của Coull để dễ so sánh.

Bước 5: xuất kết quả tính toán ra file excel để tổng hợp và so sánh kết quả.

3.1. Mô hình tổng thể của lõi nửa kín

Lõi nửa kín được mô hình bằng hai loại phần tử: phần tử vỏ (shell) cho các tường lõi, và một phần tử hỗn hợp các thanh dầm – giàn cho dầm nối [10], [11]. Liên kết giữa các nút của các thành phần dầm lên các điểm trên vỏ thông qua các thanh dầm ảo nhằm mục đích tạo nên tương thích về bậc tự do.

Các tường có độ cứng EI không thay đổi trong quá trình lõi làm việc, E là mô đun đàn hồi cát tuyến tương ứng với cường độ của bê tông được xác định theo công thức của tiêu chuẩn ACI 318 [15].



Hình 1. Một phần lõi nửa kín và mô hình hóa cho tường biên, thành phần dầm và giàn của dầm nối : mô hình hỗn hợp các thanh dầm – giàn, trong đó thanh ngang ở giữa là thanh dầm, 2 thanh chéo là các thanh giàn

3.2. Mô hình làm việc của dầm nối

Dầm nối được mô tả bằng một thanh dàn dèo hỗn hợp gồm một thanh ngang làm việc dưới dạng dầm và 2 thanh chéo [10]. Khi khai báo trong phần mềm tính toán, thành phần dầm sẽ được khai báo thành một thanh có hai đầu khớp dèo có quan hệ mô men – góc xoay (mô hình dầm) với độ cứng điều chỉnh cho phù hợp với tính chất của thanh dầm; hai thanh giàn chéo (mô hình giàn) với độ cứng của các thanh thép được giữ nguyên, mỗi đầu thanh đặt một khớp có quan hệ lực dọc – chuyển vị đặc trưng cho tính chất kéo nén của thanh. Các tính chất của mô hình được xác định theo các thông số và công thức xác định như sau:

Đối với thanh giàn, khả năng chịu kéo nén được xác định bằng công thức:

$$P_{gh} = A_{sd}f_{yd} \quad (1)$$

Trong đó A_{sd} là diện tích một bó cốt thép chéo, f_{yd} là cường độ chịu kéo của cốt thép chéo. Độ cứng của thanh giàn lấy bằng độ cứng của bó cốt thép:

$$EA = E_s A_{sd} \quad (2)$$

Đối với thanh dầm mô men giới hạn M_{kd} , độ cứng tính toán EI_{epr} , góc xoay dèo được xác định theo công thức của ACI 318 [15] nhưng với các giá trị mô men giới hạn, độ cứng và chiều dài đoạn chảy dèo được điều chỉnh cho phù hợp với các giá trị xác định bằng các đề xuất thực nghiệm và lý thuyết miền nén cải tiến.

Giá trị mô men giới hạn M_{kd} của thanh dầm được xác định theo mối quan hệ giữa lực cắt tổng quát của dầm nối với khả năng chịu cắt do hai thanh dàn, do vậy ta có:

$$M_{kd} = (V_{gh} - 2P_{gh}\sin\alpha)L_n/2 \quad (3)$$

Trong đó $V_{gh} = V_{max}$ là khả năng chịu cắt lớn nhất của tổng thể dầm nối – được xác định theo lý thuyết miền nén cải tiến đơn giản có kể đến sự làm việc của thanh chéo [16].

Góc xoay dèo của thanh dầm được xác định theo công thức:

$$\theta_M = \frac{M_{kd}l_p}{E_c I_{epr}} \quad (4)$$

Trong đó I_{epr} là mô men quán tính tính toán, được xác định theo công thức dưới đây, dựa trên công thức gốc của ACI 318 [15] và biến đổi theo nghiên cứu của Gwon [17] và cộng sự:

$$I_{epr} = \frac{6I_{mod}l_p}{(1+\Phi_y)L_n} \quad (5)$$

Φ_y là yếu tố ảnh hưởng tương đối của biến dạng cắt đến biến dạng uốn khi chảy, được tính theo công thức của Gwon [17], còn I_{mod} là mô men quán tính xác định theo Breña [18], L_n là nhịp của dầm nổi.

Trong hai công thức trên, l_p là chiều dài đoạn chảy dẻo được tính theo công thức sau đây, kết hợp từ công thức tính toán của Paulay [19] và bổ sung một số yếu tố theo Eurocode [20] về sự có mặt của cường độ bê tông và đường kính cốt thép:

$$l_p = 0,08l_s + 0,2\Phi_b f_y / \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Trong (6): Φ_b là đường kính cốt thép dọc, $l_s = M/V = L_n/2$ là nhịp chịu cắt của dầm.

Góc xoay do biến dạng của thanh dầm được tính theo công thức:

$$\theta_y = \gamma \Delta_{sd} / (\sin \alpha L_n) \quad (7)$$

Trong (7): α là góc tạo bởi thanh dầm với thanh chéo (góc nghiêng của cốt thép chéo); Δ_{sd} là độ giãn/nén của thanh giàn cốt thép chéo được tính theo biến dạng và chiều dài trong nhịp dầm nổi của thanh thép chéo, được tính toán theo công thức:

$$\Delta_{sd} = \varepsilon_{sd} l_{sd} = f_{yd} / E_s l_{sd}; l_{sd} = d / \sin \alpha \quad (8)$$

Hệ số γ trong công thức (8) hệ số kể đến ảnh hưởng của tỉ số nhịp trên chiều cao của dầm nổi, bằng 2 khi tỉ số nhịp trên chiều cao dầm nổi - $L_n/h < 1,5$, bằng 1,4 trong các trường hợp còn lại; d là chiều cao tính toán của dầm nổi, thường lấy bằng $0,8h$ bằng khoảng cách từ tâm bố cốt thép phía trên xuống phía dưới tại mặt cắt đầu dầm nổi.

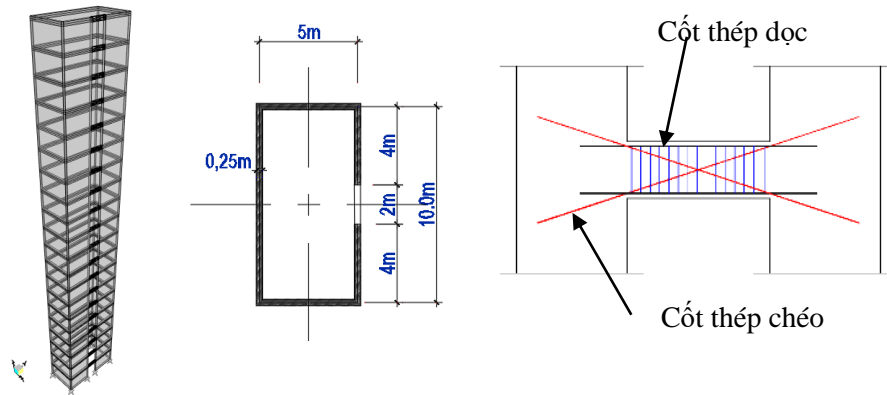
Các giá trị góc xoay còn lại được xác định theo công thức của Biskins [20] (góc xoay bên) và Ran Ding [21] (góc xoay giới hạn).

Mô hình làm việc đề cập ở đây được xác định bằng các thông số tính toán theo công thức, phù hợp với các phân tích của Paulay [19] về sự làm việc của dầm nổi. Đây là mô hình kết hợp dùng cho các dầm nổi cấu tạo đầy đủ cốt thép thường và cốt thép chéo. Mô hình đã được kiểm chứng với kết quả thí nghiệm và kết quả phân tích theo lý thuyết trường nén cải tiến [11], [16], [22].

4. Kết quả nghiên cứu

Lõi nửa kín được nghiên cứu được cho như trên Hình 2 dựa theo nghiên cứu của Coull [4]. Lõi đơn bê tông cốt thép gồm 20 tầng có kích thước $b \times h = 5 \times 10$ m, hai tường biên mỗi cạnh 4 m, dầm nổi 25×50 cm có chiều dài $L_n = 2$ m. Cấu tạo dầm nổi như sau: cốt thép dọc có hàm lượng 0,502%, cốt đai: $\phi 8a90$, cốt chéo có các hàm lượng 0%, 0,985%, 1,97% và 2,954% để khảo sát, thép có giới hạn chảy $f_y = 400$ Mpa, bê tông có cường độ $f'_c = 41$ Mpa.

Tải trọng tác dụng trong phân tích tầng dầm tải trọng ngang theo phương pháp phần tử hữu hạn được thực hiện trên phần mềm SAP 2000. Thành phần dầm trong mô hình dầm nổi sẽ được khai báo bằng một thanh dầm có hai khớp dẻo $M - \theta$ ở hai đầu dầm nổi với độ cứng suy giảm được khai báo. Hai thanh giàn chéo được khai báo ở mỗi đầu thanh một khớp dẻo $P - \Delta$ phù hợp với các thông số tính toán. Tiến hành thực hiện các bước tính toán đã được đề cập ở trên để phân tích kết cấu lõi nửa kín theo các hàm lượng cốt thép chéo khác nhau của dầm nổi.



Hình 2. Lõi nửa kín 20 tầng, kích thước mặt bằng, cấu tạo và thông số của dầm nổi

4.1. Các thông số làm việc của dầm nổi

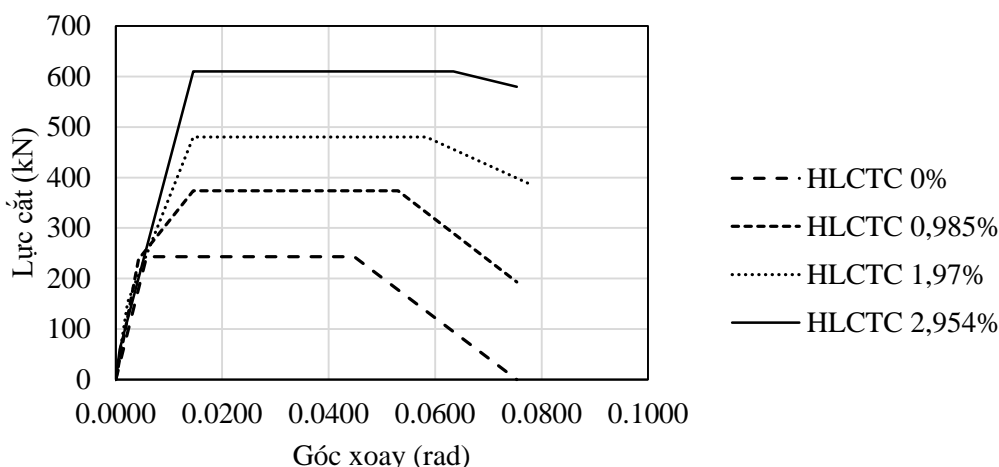
Với 04 trường hợp dầm nổi, tiến hành lập thông số mô hình cho theo các công thức ở trên ta được kết quả trong Bảng 1. Trong đó tương ứng với các cấp tải trọng cắt là góc xoay làm việc của dầm nổi, các giá trị này tạo thành đường cong phản ứng lực – góc xoay của dầm.

Bảng 1. Các thông số của mô hình cho các trường hợp dầm nổi

HLCTC (%)	0		0,985		1,97		2,954	
	V (kN)	θ (rad)	V (kN)	θ (rad)	V (kN)	θ (rad)	V (kN)	θ (rad)
1	0	0,0000	0	0,0000	0	0	0	0
2	243	0,0058	238	0,0043	153	0,0022	60	0,0007
3	243	0,0146	374	0,0146	480	0,0146	610	0,0146
4	243	0,0448	374	0,0530	480	0,0583	610	0,0634
5	0	0,0753	193	0,0753	386	0,0779	579	0,0753
I_{ep}/I_g	0,164		0,164		0,164		0,164	
P_{gh}	0,0		492,0		985,0		1477,0	
M_{kd}	243,0		181,0		94,0		30,5	

Do cấu tạo thép đai, thép dọc giống nhau nên độ cứng thành phần dầm là giống nhau, độ cứng tính toán lúc này đều bằng 0,164 lần độ cứng dầm ban đầu (I_{ep}/I_g). Cột thép chéo khác nhau làm cho giới hạn chịu lực và độ cứng của các thanh chéo thay đổi. Trong các trường hợp cấu tạo dầm nổi, khi cột thép chéo tăng lên, khả năng chịu cắt chủ yếu do cột thép chịu nên khả năng chịu uốn của thành phần dầm giảm đi. Kết quả là, khả năng chịu cắt tổng thể của dầm nổi tăng từ 243 kN lên tới 610 kN. Khi khả năng chịu lực của thành phần thép chéo (P_{gh}) tăng từ 0 lên 1477 kN, thành phần dầm (M_{kd}) giảm từ 243 kNm xuống còn 30,5 kNm, điều này cho thấy hai thành phần dầm và giàn không làm việc độc lập mà có quan hệ tương hỗ lẫn nhau, sự làm việc chính vẫn do thành phần giàn (cột thép chéo) quyết định.

Các thông số mô hình dầm nổi ở trên cũng được thể hiện trong Hình 3 với mối quan hệ lực cắt và góc xoay tương ứng. Đây là thông số mô hình tổng quát của dầm nổi, thể hiện sự làm việc đàn dèo tạo nên từ sự kết hợp thành phần dầm và thành phần giàn của mô hình dầm nổi.



Hình 3. Quan hệ lực – góc xoay của 4 cấu tạo dầm nổi

Có thể thấy, việc tăng hàm lượng cốt thép đã làm cho các dầm nổi tăng cường rõ rệt khả năng chịu lực và độ dẻo. Hàm lượng cốt thép chéo tăng từ 0% lên 2,954%, khả năng chịu cắt của dầm tăng lên gần ba lần. Ngoài ra, giá trị góc xoay bền (sau khi chảy dẻo) cũng tăng lên tương ứng (gần 1,4 lần).

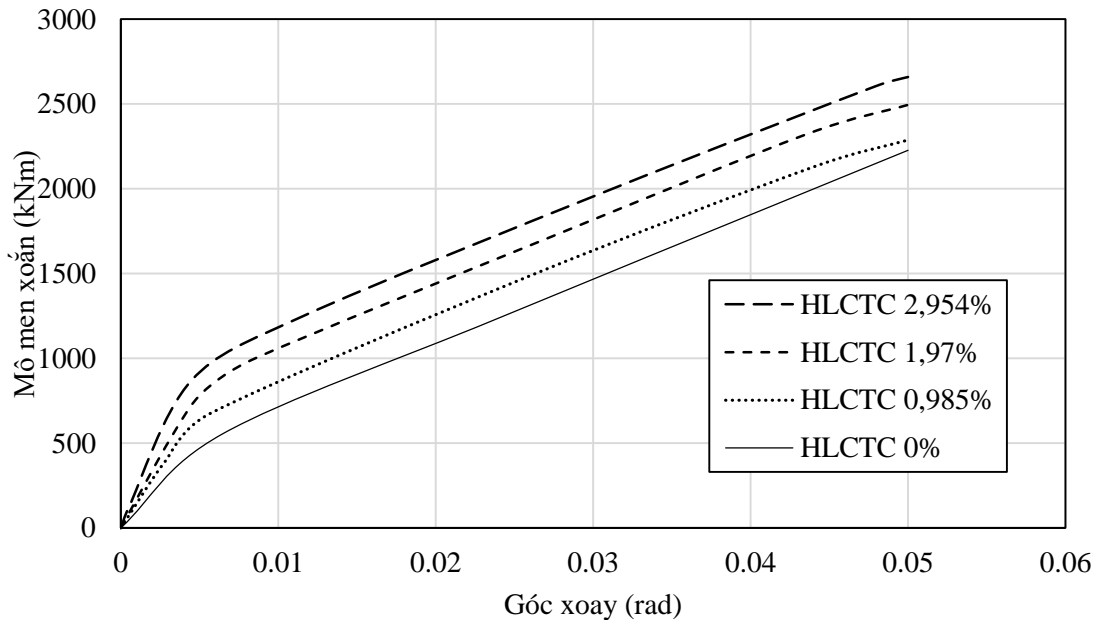
4.2. Kết quả phân tích lõi nửa kín theo các cấu tạo thép chéo cho dầm nổi

Kết quả tính toán được thể hiện trên Bảng 2 và Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa mô men xoắn tác dụng và góc xoay đỉnh lõi theo các trường hợp cấu tạo cốt thép chéo từ 0% lên tới 2,954% tương ứng với các đường cong từ dưới lên trên.

Bảng 2. Kết quả phân tích lõi nửa kín theo 4 mô hình dầm nổi

HLCTC (%)	0		0,985		1,97		2,954	
Bước tải	Góc xoay (rad)	Mô men xoắn (kNm)	Góc xoay (rad)	Mô men xoắn (kNm)	Góc xoay (rad)	Mô men xoắn (kNm)	Góc xoay (rad)	Mô men xoắn (kNm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0065	555	0,00281	391	0,00318	531	0,00053	127
2	0,0237	1226	0,00568	675	0,00525	804	0,00450	872
3	0,0414	1900	0,02613	1492	0,00855	1001	0,01165	1252
4	0,0500	2226	0,04399	2129	0,02687	1700	0,03084	1986
5			0,05000	2287	0,04360	2324	0,04796	2606
					0,05000	2496	0,05000	2660

Trên Bảng 2 thể hiện bước tải là các lần thực hiện tăng tải trọng (mô men xoắn), sau mỗi lần tăng tải, các giá trị góc xoay đỉnh lõi được xác định. Ứng với mỗi giá trị của hàm lượng cốt thép chéo, thu được kết quả là một đường cong quan hệ giữa hai giá trị cần xác định. Cuối cùng 4 đường cong quan hệ mô men xoắn – góc xoay đã được trình bày như trên Hình 4.



Hình 4. Quan hệ mô men xoắn – góc xoay đỉnh lõi theo hàm lượng cốt thép chéo trong dầm nối

Hàm lượng cốt thép chéo càng tăng, khả năng làm việc của lõi nửa kín càng lớn. Độ dốc ban đầu của các đường cong tăng lên, chứng tỏ cốt thép chéo tăng cường độ cứng cho dầm nối, từ đó làm tăng cường khả năng chịu xoắn của lõi nửa kín. Về giai đoạn làm việc phía sau (sau khi dầm nối bị chảy dẻo), độ cao của các đường thẳng tăng lên tương ứng.

Trong cùng một cấp tải trọng, góc xoay đỉnh lõi giảm đi đáng kể khi hàm lượng cốt thép chéo tăng lên. Có thể thấy với giá trị mô men xoắn tác dụng ở 1000 kNm, khi cốt thép chéo tăng hàm lượng từ 0 tới 2,954%, góc xoay đỉnh lõi giảm khoảng 4 lần. Đối với các giá trị mô men tác dụng từ 1000 kNm trở lên, độ giảm góc xoay nhỏ hơn nhưng vẫn đáng kể (giảm 1,5 lần).

5. Thảo luận

Thông thường, đối với các dầm nối được tăng cường cốt thép chéo, khả năng chịu cắt và độ dẻo của dầm nối sẽ tăng lên. Khi đặt vào cơ cấu chịu lực của lõi nửa kín, việc gia cường cốt thép chéo còn làm tăng độ cứng chống xoắn của lõi, kết quả làm cho góc xoay đỉnh lõi giảm đáng kể so với trường hợp không có hoặc có ít cốt thép chéo.

Mô hình kết hợp cho dầm nối mô tả được sự làm việc đàn hồi và sau đàn hồi theo cấu tạo cụ thể của dầm nối. Trong đó đã tách riêng thành phần dầm (cấu tạo bê tông, cốt thép dọc, cốt thép đai và kích thước dầm) với thành phần giàn (các thanh cốt thép chéo) thành các thành phần độc lập nhưng lại tương tác qua lại với nhau tạo nên sự làm việc tổng thể của dầm nối. Ảnh hưởng của thành phần giàn là rõ rệt nhất tới khả năng làm việc của bản thân dầm nối cũng như khả năng làm việc của tổng thể kết cấu lõi, cụ thể, cốt thép chéo đóng góp vào tăng cường độ cứng chống xoắn, kết quả của việc hạn chế độ vênh hiệu quả của các tường lõi liên kết với dầm nối.

Phương pháp tính toán và mô hình sử dụng trong bài báo là phù hợp để áp dụng phân tích kết cấu lõi nửa kín theo sự làm việc đàn hồi và sau đàn hồi của các dầm nối. Quá trình tính toán sẽ mô tả được quá trình chảy dẻo của các dầm nối và thứ tự của chúng dọc theo chiều cao tầng. Đường cong phản ứng lực - góc xoay tương ứng và phù hợp với các nghiên cứu của Coull và Kuang [10] [11], cho thấy sự thống nhất về lý thuyết tính toán và sự làm việc của kết cấu lõi. Ở đây, các cấu kiện dầm nối có độ cứng

nhỏ hơn nhiều so với độ cứng của tường lõi nên đã xảy ra sự làm việc sau đàn hồi trong khi các tường lõi vẫn còn làm việc trong giới hạn đàn hồi.

6. Kết luận

Bài báo đã áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn với các bước tăng dần tải trọng ngang cho mô hình lõi nửa kín với các tường lõi được mô tả bằng phần tử vỏ đàn hồi và các dầm nổi được mô tả bằng phần tử dầm – giàn làm việc đàn dẻo. Tiến hành áp dụng phương pháp và mô hình đề cập để phân tích một trường hợp lõi nửa kín điển hình đã được nghiên cứu trong quá khứ với kỹ thuật phân tích hiện đại. Trong đó việc thay đổi cốt thép chéo nhằm đánh giá vai trò của nó đối với sự làm việc tổng thể của kết cấu lõi.

Quá trình khảo sát cho thấy, phương pháp và mô hình sử dụng đã phác họa được sự làm việc của kết cấu lõi khi tăng dần tải trọng cho đến khi các dầm nổi bị chảy dẻo hoàn toàn hoặc vượt quá trạng thái giới hạn làm việc của dầm nổi. Phương pháp này có sự cải tiến đối với lý thuyết thanh thành mỏng và mô hình rời rạc liên tục đối với việc đánh giá được quá trình làm việc của lõi một cách tự động theo phản ứng sau đàn hồi của các dầm nổi đối với các bước tăng dần tải trọng thay vì việc tính toán thử dần theo các vùng chảy dẻo được áp đặt sẵn.

Kết quả khảo sát không những đánh giá được vai trò của cốt thép chéo đối với sự làm việc của bản thân dầm nổi, mà còn xác định được ảnh hưởng của cốt thép chéo đối với độ cứng chống xoắn của kết cấu lõi, điều này đã được tính toán cụ thể dựa trên việc so sánh sự giảm đáng kể giá trị góc xoay đỉnh lõi khi hàm lượng cốt thép chéo tăng lên khi lõi chịu tác dụng tăng dần của mô men xoắn. Ảnh hưởng này là đáng kể và cho thấy sự quan trọng của cấu tạo cốt thép chéo trong dầm nổi đối với sự làm việc của kết cấu lõi nửa kín.

Tài liệu tham khảo

- [1] Smith B.S., Coull A, *Tall Building Structures: Analysis and Design*. John Wiley & Son Inc, 1991.
- [2] Nguyễn Tiến Chương, *Phân tích kết cấu nhà cao tầng*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2015.
- [3] T. Paulay and J.R. Binney, “Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls,” *Symp. Pap.*, vol. 42, pp. 579–598, Jan. 1974.
- [4] A. Coull and S. Tawfik, “Elasto-Plastic Analysis of Core Structures Subjected to Torsion,” *Proc. Inst. Civ. Eng.*, vol. 71, no. 3, pp. 789–804, Sep. 1981, doi: 10.1680/iicep.1981.1819.
- [5] J. S. Kuang, Y. K. Cheung, and H. C. Chan, “Elasto-plastic analysis of perforated core structures subjected to applied torque,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 11, no. 5, pp. 439–456, Jan. 1991, doi: 10.1016/0263-8231(91)90038-K.
- [6] J. Kuang, “Elastic and elasto-plastic analysis of shear wall and core wall structures,” Doctor of Philosophy, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong SAR, 1988. doi: 10.5353/th_b3123155.
- [7] D. Naish, A. Fry, R. Klemencic, and J. Wallace, “Reinforced Concrete Coupling Beams—Part II: Modeling,” *ACI Struct. J.*, p. 10, 2013.
- [8] 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.
- [9] FEMA, “FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings,” p. 519, 2000.
- [10] 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.

- [11] Đoàn Xuân Quý, “Nghiên cứu ảnh hưởng ứng xử sau đàn hồi của dầm nối 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.
- [12] V.Z. Vlasov, *Thin-walled elastic beams, translated from Russian*. Israel, 1961.
- [13] Nguyễn Tiến Chương, Đoàn Xuân Quý, “Ảnh hưởng của độ cứng dầm nối đến sự làm việc chịu xoắn của kết cấu lõi nhà cao tầng,” *Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XIV, Đại học Trần Đại Nghĩa, Thành phố Hồ Chí Minh, 19-20/7/2018*, Jul. 2018.
- [14] Quý Đ. X. and Chương N. T., “Sự làm việc chịu xoắn của kết cấu lõi nửa kín nhà nhiều tầng có xét tới ứng xử ngoài giới hạn đàn hồi của dầm nối,” *Hội Nghị Khoa Học Toàn Quốc Cơ Học Vật Rắn Lần Thứ XV Trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghiệp Đại Học Thái Nguyên Thành Phố Thái Nguyên Ngày 24 - 25 Tháng 9 Năm 2021*, 2021.
- [15] ACI 318-19, “Building code requirements for structural concrete and commentary.” ACI Committee 318 Structural Building Code, 2019.
- [16] Đoàn Xuân Quý, Phạm Thu Hiền, “Tính toán khả năng chịu cắt của dầm nối 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.
- [17] Gwon, Seongwoo, Shin, Myoung-Su, and Lee, Deokjung, “Nonlinear modeling 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.
- [18] S. F. Breña and O. Ihtiyar, “Performance of Conventionally Reinforced Coupling Beams Subjected to Cyclic Loading,” *J. Struct. Eng.*, vol. 137, no. 6, pp. 665–676, Jun. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000316.
- [19] T. Paulay and M. J. N. Priestley, *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. New York: Wiley, 1992.
- [20] Michael N. Fardis, *Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings based on EN-Eurocode 8*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009. [Online]. Available: DOI 10.1007/978-1-4020-9842-0
- [21] Ran Ding, Mu-Xuan Tao, Xin Niec and Y.L. Mo, “Fiber Beam-Column Model for Diagonally Reinforced Concrete Coupling Beams Incorporating Shear and Reinforcement Slip Effects,” *Engineering Structures*, 2017, 153: 191-204, 2017.
- [22] “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.