Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, NUCE 2020. 14 (2V): 83–96

KHẢO SÁT SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG CÓ TƯỜNG NGĂN BÊ TÔNG CỐT THÉP SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ CỐP PHA NHÔM

Phạm Đức Hùng[a], Nguyễn Trường Thắng[b,*]

[a]*Công ty CP Tập đoàn Xây dựng Hòa Bình, 235 đường Võ Thị Sáu, Quận 3, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*
[b]*Khoa Xây dựng DD và CN, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 17/12/2019, Sửa xong 08/03/2020, Chấp nhận đăng 16/03/2020

Tóm tắt

Hiện nay, công nghệ cốp pha nhôm ngày càng được áp dụng phổ biến trong các công trình bê tông cốt thép (BTCT) ở Việt Nam. Đối với các công trình chung cư cao tầng, công nghệ này không những được áp dụng cho các kết cấu chịu lực chính mà còn có thể được sử dụng hiệu quả cho các tường ngăn BTCT với một số mức độ khác nhau và do vậy có thể tác động tích cực tới sự làm việc của kết cấu công trình như chu kỳ dao động cơ bản, dạng dao động, chuyển vị đỉnh, chuyển vị lệch tầng, v.v… Bài báo này giới thiệu công nghệ thi công bằng cốp pha nhôm cho tường ngăn (BTCT-CPN) và tiến hành một thí dụ thực tế để đánh giá ảnh hưởng của hai thông số (i) mức độ áp dụng; và (ii) hệ số giảm độ cứng khi mô phỏng tường ngăn BTCT-CPN tới ứng xử tổng thể của kết cấu một nhà chung cư BTCT cao 40 tầng. Kết quả cho thấy khi áp dụng giải pháp tường ngăn BTCT-CPN với các mức độ 50 và 100%, chuyển vị đỉnh của công trình giảm tương ứng là 36,7 và 47,9% so với phương án tường ngăn hoàn toàn sử dụng gạch xây truyền thống và chỉ được mô phỏng như tải trọng trong mô hình hóa kết cấu. Do đáp ứng tốt hơn về yêu cầu công năng kiến trúc, phương án áp dụng tường ngăn BTCT-CPN ở mức độ 50% có thể được sử dụng hợp lý. Bên cạnh đó, hệ số giảm độ cứng ảnh hưởng không đáng kể khi mô phỏng tường ngăn BTCT cùng với các kết cấu chịu lực chính của công trình.

Từ khoá: kết cấu; tường ngăn; bê tông cốt thép; nhà nhiều tầng; cốp pha nhôm.

INVESTIGATION ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH CAST-IN-SITU CONCRETE PARTITION WALLS USING ALUMINUM FORMWORK

Abstract

Nowadays, aluminum formwork technology is becoming more and more common in reinforced concrete (RC) buildings' construction in Vietnam. In high-rise apartment buildings, this technology can be efficiently used for not only main structures but also partition walls with different utilization levels and may lead to positive effects for the behavior of the building structure i.e. natural period, mode shape, building horizontal top displacement, inter-storeys drift, etc. This paper introduces aluminum formwork technology applied for partition walls (RC-AF) and produces a case study to investigate the effects of: (i) application level of RC-AF partition walls; and (ii) stiffness reduction factor applied in the modelling on the structural behavior of a 40-storey apartment building in reality. It is shown that when RC-AF partitions walls are applied at levels of 50 and 100%, the building top horizontal displacement is respectively reduced by 36.7 and 47.9% compared to the case that traditional masonry partition walls are only used and modelled as applied loads in the structural analysis. With better adaption of functional program for architecture, the option of 50% application level can be sufficiently used. Besides, the effect of stiffness reduction factor applied when modelling RC partition walls using aluminum formwork technology is not significant.

Keywords: structure; partition wall; reinforced concrete; high-rise building; aluminum formwork.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2V)-08 © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

[*]Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* thangnt2@nuce.edu.vn (Thắng, N. T.)

1. Giới thiệu

Kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) là loại kết cấu chủ yếu trong xây dựng hiện đại và luôn cần được đầu tư nghiên cứu từ lý thuyết cơ bản đến nguyên lý tính toán thiết kế và các giải pháp công nghệ cho việc hiện đại hóa công tác chế tạo cấu kiện trong nhà máy cũng như thi công toàn khối tại hiện trường [1]. Hiện nay, công nghệ cốp pha nhôm cho kết cấu BTCT đang dần được áp dụng khá phổ biến trong các công trình xây dựng ở Việt Nam, đặc biệt là các chung cư cao tầng hiện đại được thực hiện bởi các tổng thầu thi công lớn như Tập đoàn Xây dựng Hòa Bình, Tập đoàn Coteccons, v.v... Khác với công nghệ truyền thống trong đó tường gạch xây hoặc tường ngăn BTCT được thi công sau hệ kết cấu chịu lực chính của công trình, trong công nghệ thi công này, một phần hoặc toàn bộ hệ thống tường ngăn được đổ bê tông toàn khối đồng thời với hệ kết cấu chính. Công nghệ thi công cốp pha nhôm giúp rút ngắn tiến độ thi công, nâng cao chất lượng công trình, đẩy nhanh công đoạn hoàn thiện, tiết kiệm nhân công, v.v... Hơn nữa, khi được thi công đồng thời, tác dụng tích cực của hệ tường ngăn BTCT sử dụng công nghệ cốp pha nhôm (viết tắt là BTCT-CPN) đối với sự làm việc của kết cấu công trình (như tăng độ cứng tổng thể, giảm chuyển vị đỉnh, giảm chuyển vị lệch tầng v.v...) là rõ rệt hơn nhiều so với hệ tường ngăn BTCT sử dụng công nghệ thi công truyền thống. Do vậy, cần thiết phải xét tới sự có mặt của hệ tường ngăn BTCT-CPN trong các khâu mô hình hóa, phân tích nội lực và thiết kế kết cấu công trình.

Với các công trình chung cư cao tầng, công nghệ BTCT-CPN có thể được áp dụng cho tường ngăn với các mức độ khác nhau như: (i) Toàn bộ tường ngăn không đổ bê tông (mức độ áp dụng 0%) mà sử dụng gạch xây truyền thống; (ii) Tường bao mặt ngoài và tường ngăn giữa các căn hộ áp dụng BTCT-CPN, trong khi tường ngăn bên trong của từng căn hộ sử dụng gạch xây truyền thống (một cách tương đối có thể coi là mức độ 50%); và (iii) Toàn bộ hệ tường ngăn sử dụng giải pháp BTCT-CPN (mức độ 100%). Các giải pháp nêu trên có độ linh hoạt khác nhau về mặt bố trí công năng kiến trúc và nhu cầu thay đổi thiết kế căn hộ trong quá trình sử dụng, nên thường được cân nhắc kỹ dựa trên yêu cầu của nhà đầu tư. Về mặt kết cấu, hệ tường ngăn BTCT-CPN ảnh hưởng tích cực tới độ cứng tổng thể của công trình và có thể đưa tới một giải pháp chịu lực hiệu quả hơn. Tuy nhiên trong công tác thiết kế kết cấu hiện nay vẫn tồn tại quan niệm coi tường ngăn BTCT là một loại tải trọng và do vậy ảnh hưởng của nó bị bỏ qua trong phân tích kết cấu công trình. Một số công trình nghiên cứu về vấn đề này đã được thực hiện trong và ngoài nước [2, 3], nhưng chỉ dừng ở mức độ so sánh công nghệ cốp pha nhôm với các loại cốp pha thông thường khác và đánh giá hiệu quả trong quá trình thi công mà chưa đề cập tới khía cạnh tính toán, thiết kế. Gần đây, ảnh hưởng của tường chèn tới việc kiểm soát cơ cấu phá hoại khung BTCT chịu động đất được nghiên cứu bằng lý thuyết trên khung phẳng thấp tầng tại Việt Nam [4]. Hơn nữa, hệ thống tiêu chuẩn thiết kế và thi công hiện hành của các nước trên thế giới và Việt Nam [5–11] cũng chưa đề cập chi tiết đến ảnh hưởng của việc phân tích hệ tường ngăn BTCT-CPN cùng với hệ thống kết cấu chịu lực của cả công trình.

Trong bài báo này, tổng quan về công nghệ thi công tường ngăn BTCT-CPN được giới thiệu trước khi một thí dụ phân tích tính toán chi tiết được tiến hành trên một kết cấu công trình thực tế, từ đó rút ra sự ảnh hưởng tới sự làm việc tổng thể của kết cấu công trình khi mô phỏng tường ngăn BTCT với ba mức độ áp dụng đã nêu ở trên.

2. Cấu tạo và mô phỏng tường ngăn BTCT sử dụng cốp pha nhôm

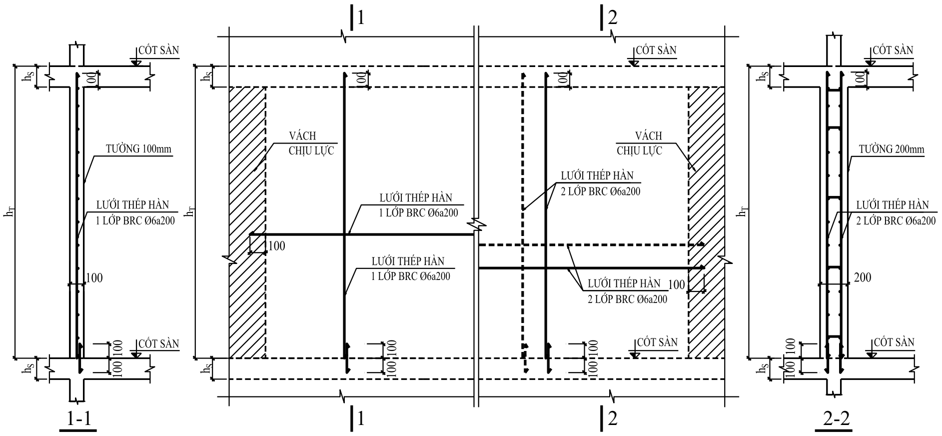
2.1. Cấu tạo hệ tường ngăn BTCT-CPN

Trong công nghệ BTCT-CPN cho công trình chung cư cao tầng, có hai loại tường chính được sử dụng (Hình 1), đó là:

- Tường dày 200 mm (gọi tắt là tường 200): Trên mặt bằng điển hình của công trình chung cư cao tầng, tường 200 thường được bố trí bao quanh mặt ngoài và ngăn chia giữa các căn hộ. Tường 200

được bố trí hai lớp lưới thép hàn ∅6 với khoảng cách lưới là 200 mm. Lưới thép này được neo vào các cấu kiện xung quanh với chiều dài neo và nối thép chờ đều là 100 mm.

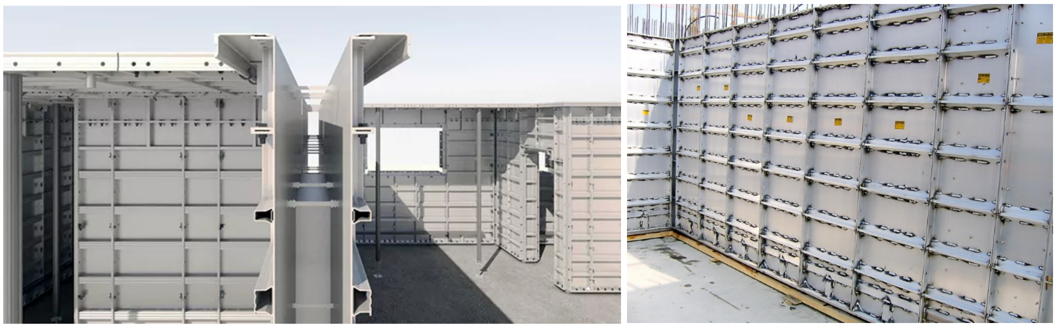
- Tường dày 100 mm (gọi tắt là tường 100): thường được sử dụng để ngăn chia giữa các phòng bên trong của một căn hộ. Tương tự như tường 200, tường 100 cũng được bố trí cốt thép cấu tạo đảm bảo yêu cầu vết nứt và khả năng chịu lực trong quá trình làm việc của kết cấu với một lớp lưới thép hàn ∅6@200. Lưới thép này cũng được neo vào các cấu kiện xung quanh với chiều dài neo và nối thép chờ đều là 100 mm.



(a) Tường 100 (b) Tường 200

Hình 1. Bố trí cốt thép trong tường ngăn BTCT-CPN

Hệ thống cốp pha nhôm bố trí cho tường ngăn BTCT trên thực tế công trường được minh họa trên Hình 2.



Hình 2. Thi công thực tế tường ngăn BTCT-CPN

Có thể thấy rằng với liên kết như trong Hình 1, tường ngăn BTCT-CPN có thể không bị ngăn cản xoay 100% tại liên kết, nhưng có một mức độ nhất định trong khả năng chịu lực cắt dọc theo giao tuyến với các cấu kiện chịu lực chính xung quanh khi công trình bị biến dạng. Như vậy, biện pháp cấu tạo thực tế cần được mô phỏng đúng trong mô hình hóa kết cấu, từ đó mới có thể đánh giá đúng mức độ ảnh hưởng của tường ngăn BTCT-CPN đối với hệ thống kết cấu công trình.

2.2. Mô phỏng tường ngăn BTCT-CPN

Với từng mức độ áp dụng khác nhau cho tường ngăn BTCT-CPN, có các phương án tương ứng cho việc mô hình hóa kết cấu như sau:

- Đối với giải pháp toàn bộ hệ thống tường ngăn sử dụng gạch xây truyền thống (mức độ 0%): Chỉ kết cấu chịu lực chính gồm cột, vách, lõi, dầm, sàn được mô phỏng trong mô hình. Hệ tường ngăn bằng gạch xây chỉ được coi là tải trọng phân bố đều trên một đơn vị chiều dài dầm hoặc một đơn vị diện tích sàn. Ảnh hưởng của hệ tường ngăn đến độ cứng tổng thể của kết cấu được bỏ qua. Mô hình này được gọi là MH1-0.0.

- Đối với giải pháp hệ tường bao mặt ngoài và tường ngăn giữa các căn hộ sử dụng BTCT-CPN (mức độ 50%): Các tường này thường dày 200 mm và được đổ BTCT trong cốp pha nhôm cùng với toàn bộ hệ kết cấu chịu lực chính. Trong khi đó, các tường ngăn giữa các phòng trong một căn hộ được sử dụng tường gạch xây truyền thống. Như vậy trong mô hình hóa kết cấu, hệ tường 200 có thể được mô phỏng bằng phần tử tấm cùng với các kết cấu chịu lực chính gồm cột, vách, lõi, dầm, sàn. Liên kết giữa tường 200 với các cấu kiện cột, dầm, sàn, vách xung quanh cho phép xoay theo như cấu tạo neo và nối cốt thép trong Hình 1. Các tường ngăn trong căn hộ không được mô hình hóa mà quy về tải trọng. Mô hình này được gọi là MH2-0.5.

- Đối với giải pháp toàn bộ 100% tường ngăn sử dụng BTCT-CPN (mức độ 100%): Các tường bao và ngăn giữa các căn hộ sử dụng tường 200, các tường ngăn giữa các phòng trong một căn hộ sử dụng tường 100 và được đổ BTCT trong cốp pha nhôm cùng với toàn bộ hệ kết cấu chịu lực chính. Như vậy trong mô hình hóa kết cấu, tất cả các tường đều được mô phỏng bằng phần tử tấm cùng với các kết cấu chịu lực chính. Liên kết giữa tường với các cấu kiện xung quanh cho phép xoay theo như cấu tạo neo và nối cốt thép trong Hình 1. Mô hình này được gọi là MH3-1.0.

Với công nghệ thi công bê tông truyền thống trước đây, hệ tường ngăn BTCT được đổ bê tông sau khi thi công hệ kết cấu chịu lực. Hệ kết cấu chịu lực đã làm việc chịu tải trọng bản thân của chính nó và đã có biến dạng nhất định trước khi tường ngăn BTCT được thi công. Do vậy, mức độ liên kết giữa tường ngăn BTCT với các cấu kiện chịu lực xung quanh, cũng như mức độ tham gia chịu lực của hệ tường ngăn BTCT cùng hệ kết cấu chịu lực đều hạn chế hơn so với công nghệ thi công cốp pha nhôm.

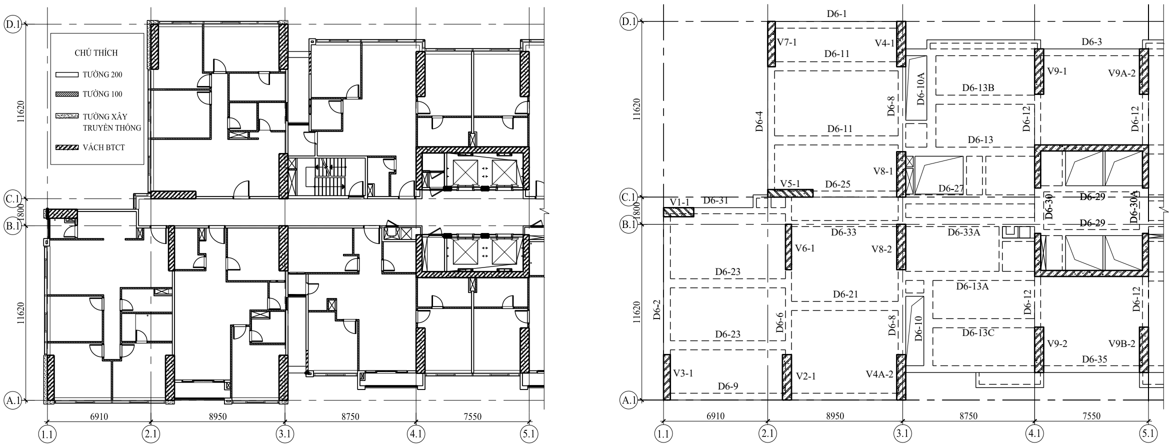
Với công nghệ cốp pha nhôm, hệ tường ngăn BTCT được đổ toàn khối cùng hệ kết cấu chính và có thể được mô hình hóa cùng với hệ kết cấu chính. Cần lưu ý rằng tường ngăn BTCT sử dụng cốp pha nhôm chỉ được bố trí cốt thép cấu tạo nên không tránh khỏi xuất hiện vết nứt trong quá trình chịu lực, do đó cần được áp dụng hệ số giảm độ cứng hợp lý trong mô hình hóa kết cấu. Trong mục tiếp theo, một thí dụ tính toán được thực hiện trên một công trình thực tế nhằm đánh giá ảnh hưởng tới ứng xử tổng thể của kết cấu công trình gây bởi hai thông số là: (i) mức độ áp dụng; và (ii) hệ số giảm độ cứng khi mô phỏng hệ tường ngăn BTCT-CPN.

3. Ví dụ tính toán

3.1. Thông số đầu vào

Khảo sát một công trình chung cư cao tầng tại Hà Nội có mặt bằng tầng điển hình trên Hình 3 và mô hình không gian trong phân tích kết cấu bằng phần mềm ETABS [12] trên Hình 4. Công trình có chiều cao 142,4 m gồm ba tầng hầm và 40 tầng nổi. Từ tầng hầm B3 đến tầng 3F sử dụng hệ kết cấu hệ khung lõi chịu lực. Tầng 4F bố trí dầm chuyển với chiều cao 1,2 m có nhiệm vụ chuyển hệ kết cấu khung - lõi sang hệ kết cấu vách - lõi của 36 tầng điển hình khu căn hộ phía trên. Các cấu kiện cột, vách và tường ngăn BTCT-CPN từ tầng hầm B3 đến sàn tầng 4F, từ tầng 4F đến 12F, từ tầng 12F đến 20F và từ tầng 20F đến mái sử dụng bê tông có cấp độ bền tương ứng là B45, B40, B35 và B30. Vật liệu bê tông cấp độ bền B40 được sử dụng cho dầm, sàn tầng 4F và B30 cho dầm, sàn các tầng còn lại. Vật liệu thép các loại CB240T, CB400V và CB500V được sử dụng tương ứng cho các thanh cốt thép đường kính $\varnothing < 8$ mm, 8 mm $\leq \varnothing \leq$ 14 mm và $\varnothing > 14$ mm.

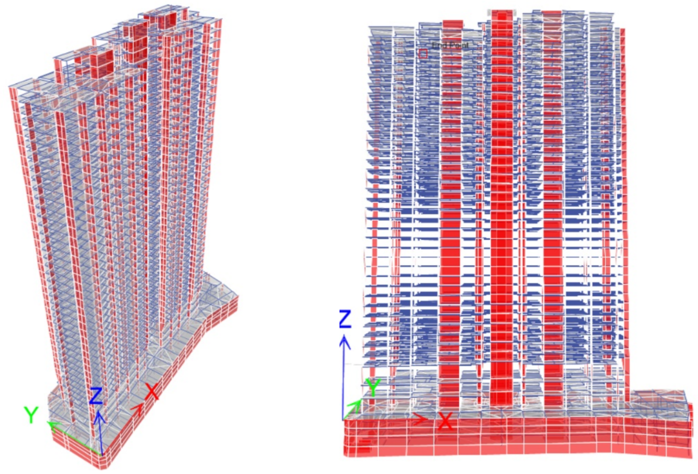
Để làm rõ ảnh hưởng của các mức độ sử dụng tường ngăn BTCT-CPN khác nhau tới sự làm việc tổng thể của kết cấu công trình, ba mô hình MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0 nêu trên được khảo sát bằng phần mềm phân tích kết cấu ETABS (Hình 5).



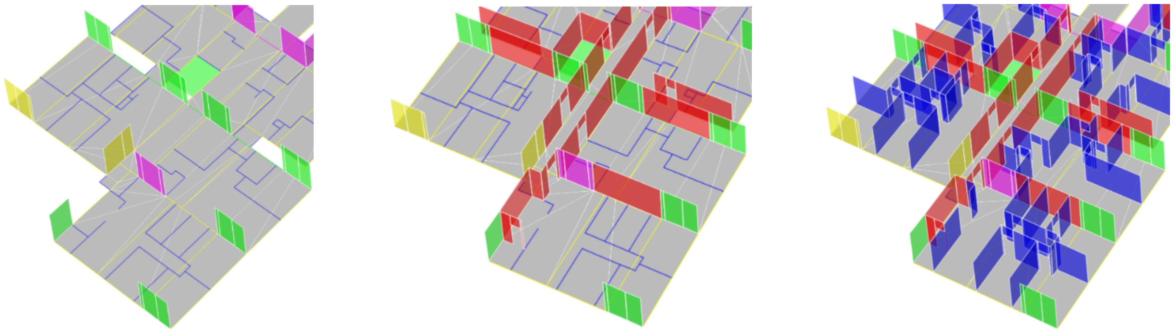
(a) Mặt bằng kiến trúc

(b) Mặt bằng kết cấu

Hình 3. Mặt bằng tầng điển hình



Hình 4. Mô hình hóa kết cấu công trình trong phần mềm ETABS



(a) MH1-0.0

(b) MH2-0.5

(c) MH3-1.0

Hình 5. Mô hình hóa kết cấu

Trong mô hình ETABS [12], tường có thể được mô phỏng bằng các loại phần tử như sau:

(i) Phần tử Shell là phần tử tấm vỏ có thể chịu kéo nén trong mặt phẳng và uốn ngoài mặt phẳng. Các tấm tường có thể được mô hình hóa bằng phần phần tử Shell-thin hoặc Shell-thick tùy vào chiều dày của chúng. Phần tử Shell-thick có tỷ lệ chiều dày/chiều dài cạnh lớn hơn 1/10, trong khi đó tỷ lệ này dao động từ 1/100 đến 1/10 đối với phần tử Shell-thin. Dựa vào kích thước thực tế, các tấm tường phần lớn thuộc phần tử Shell-thin (hay còn gọi là phần tử tấm mỏng Kirchhoff). Đây là phần tử có khả năng chịu kéo nén trong mặt phẳng, uốn và cắt ngoài mặt phẳng. Tuy nhiên do là tấm mỏng nên ứng suất theo phương chiều dày tấm và biến dạng do lực cắt được bỏ qua. Do vị trí tường ngăn BTCT trong công trình là các tấm thẳng đứng như hệ cột vách, các tấm tường này được định nghĩa là Pier và Spandrel (thuộc loại phần tử Shell-thin). Pier là các phần tử chịu nén uốn tương tự như cột và vách trong thực tế, còn Spandrel có khả năng chịu uốn tương tự như dầm (thường là các lanh tô nằm trên các lỗ cửa) [12].

(ii) Phần tử Membrane (còn gọi là phần tử màng) là phần tử chỉ chịu kéo nén trong mặt phẳng, mô men uốn ngoài mặt phẳng được bỏ qua.

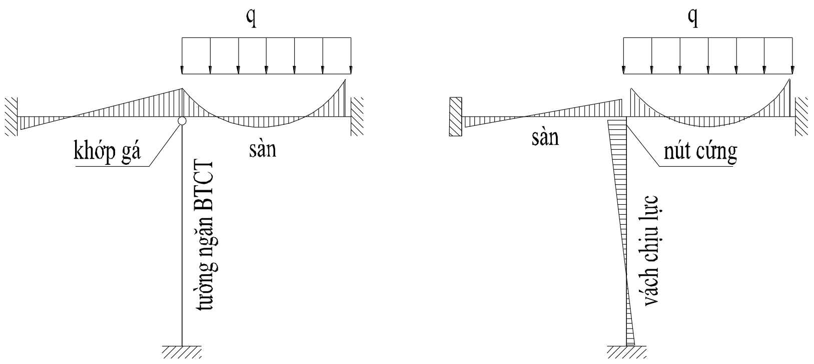
(iii) Phần tử Layered là phần tử tấm có nhiều lớp vật liệu khác nhau cùng chiều dày tương ứng.

Trong phần mềm ETABS, các phần tử Pier và Spandrel có thể được chia nhỏ thành lưới phần tử. Độ chính xác của phân tích kết cấu phụ thuộc vào mức độ chia nhỏ của phần tử, mức độ chia càng nhỏ thì độ chính xác của kết quả càng cao nhưng làm tăng thời gian phân tích. Kết quả phân tích cho thấy khi giảm kích thước các phần tử từ 1,5 m thành 1,0 m thì giá trị mô-men dầm phía trên và phía dưới tấm tường ngăn thay đổi rất nhỏ (chênh lệch trung bình khoảng 4%) như thể hiện trong Bảng 1. Như vậy với kích thước chia nhỏ phần tử Pier và Spandrel là 1,0 m thì kết quả phân tích đã tiến đến hội tụ và chấp nhận được.

Bảng 1. So sánh mô men dầm khi tường ngăn BTCT chia phần tử 1,0 m và 1,5 m

Tổ hợp	Tầng	Dầm	M1,0 (kNm)	M1,5 (kNm)	Chênh lệch (%)
			Kích thước chia phần tử 1,0 m	Kích thước chia phần tử 1,5 m	
TTTHCB1	6F	B587	68,193	71,882	5
TTTHCB2	6F	B587	63,790	66,836	5
TTTHCB3	6F	B587	58,450	61,784	5
TTTHCB4	6F	B587	79,848	82,664	3
TTTHCB5	6F	B587	42,392	45,956	8
TTTHCB6	6F	B587	69,888	73,398	5
TTTHCB7	6F	B587	65,082	68,851	5
TTTHCB8	6F	B587	84,341	87,643	4
TTTHCB9	6F	B587	50,630	54,606	7
TTTHDB1 Max	6F	B587	86,377	87,833	2
TTTHDB2 Max	6F	B587	86,377	87,833	2
TTTHDB3 Max	6F	B587	86,377	87,833	2
TTTHDB4 Max	6F	B587	86,377	87,833	2
TTTHDB5 Max	6F	B587	77,292	79,820	3
TTTHDB6 Max	6F	B587	77,292	79,820	3
TTTHDB7 Max	6F	B587	77,292	79,820	3
TTTHDB8 Max	6F	B587	77,292	79,820	3

Với cấu tạo cốt thép như trong Hình 1, liên kết giữa tường ngăn BTCT-CPN và các kết cấu chịu lực xung quanh không được coi là nút cứng hoàn toàn như liên kết giữa hệ vách chịu lực với hệ sàn và các cấu kiện chịu lực khác. Trong bài báo này, liên kết giữa tường ngăn BTCT-CPN với các cấu kiện xung quanh được coi là khớp để thiên về an toàn. Bản chất của nút cứng là để đảm bảo cho tất cả các phần tử quy tụ vào nút có cùng một chuyển vị xoay. Trong khi đó, tường ngăn BTCT-CPN được liên kết khớp gá vào các cấu kiện khác, tại vị trí khớp mô men trong tường bằng không nhưng trong các cấu kiện khác mô men có thể khác không (Hình 6).



Hình 6. So sánh nội lực giữa liên kết khớp và nút cứng

Trong cả ba mô hình ETABS, hệ số giảm độ cứng theo điều 6.6.3.1.1 của tiêu chuẩn ACI 318-19 [7] (Bảng 2) đều được áp dụng cho các cấu kiện chịu lực chính. Đối với các tấm tường ngăn BTCT-CPN được khai báo trong các mô hình MH2-0.5 và MH3-1.0, hệ số giảm độ cứng 0,35 được áp dụng với giả thiết tường bị nứt (Bảng 2).

Bảng 2. Hệ số giảm độ cứng cho cấu kiện BTCT theo ACI 318-19 [7]

Cấu kiện	Cột	Vách (không nứt)	Vách (nứt)	Dầm	Sàn phẳng
Mô men quán tính	$0{,}7I_g$	$0{,}7I_g$	$0{,}35I_g$	$0{,}35I_g$	$0{,}25I_g$
Diện tích tiết diện	$1{,}0A_g$	$1{,}0A_g$	$1{,}0A_g$	$1{,}0A_g$	$1{,}0A_g$

Trừ mô hình MH1-0.0, trong tất cả các mô hình còn lại, tường ngăn BTCT-CPN được mô phỏng bằng phần tử tấm 4 nút được liên kết khớp với các cấu kiện xung quanh. Các tải trọng tác dụng lên công trình bao gồm tĩnh tải, hoạt tải, tải trọng gió (thành phần tĩnh và thành phần động), tải trọng động đất và tổ hợp tải trọng được xác định theo các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành của Việt Nam [9–11]. Tĩnh tải bao gồm trọng lượng bản thân kết cấu BTCT được tính toán tự động bằng phần mềm ETABS với trọng lượng riêng γ = 25 kN/m^3, tĩnh tải được tính toán dựa trên cấu tạo các lớp hoàn thiện sàn và tải trọng tường được xác định qua các lớp cấu tạo tường. Hoạt tải tác dụng lên công trình tương ứng với công năng công trình trên mặt bằng và được lấy theo Bảng 3 của TCVN 2737:1995. Công trình được xây dựng tại Bắc Từ Liêm - Hà Nội, tải trọng gió tác động lên công trình thuộc vùng gió II-B, dạng địa hình B.

3.2. Khảo sát mức độ áp dụng tường ngăn BTCT-CPN

Kết quả phân tích kết cấu giữa các mô hình MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0 được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của mức độ áp dụng tường ngăn BTCT-CPN tới kết cấu công trình.

a. Về chu kỳ dao động cơ bản

Kết quả phân tích kết cấu cho chu kỳ của dạng dao động cơ bản thứ nhất của MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0 lần lượt là 4,986; 3,734 và 3,373 giây. Chu kỳ của dạng dao động cơ bản thứ nhất của MH2-0.5 và MH3-1.0 giảm tương ứng là 25,1 và 32,4% so với số liệu của MH1-0.0. Như vậy, khi tường ngăn BTCT-CPN được mô phỏng trong mô hình đã làm giảm đáng kể chu kỳ dao động cơ bản và tăng đáng kể độ cứng tổng thể của công trình.

b. Về dạng dao động cơ bản

Dạng dao động của ba mô hình khảo sát được biểu diễn trong Bảng 3. Có thể thấy rằng với công trình cao 40 tầng được khảo sát, hệ thống tường ngăn BTCT-CPN không chỉ ảnh hưởng tới chu kỳ dao động mà còn ảnh hưởng đến dạng và phương dao động của kết cấu. Các đặc trưng dao động này sẽ ảnh hưởng đến các thành phần lực động (gió động, động đất) và sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến nội lực trong các cấu kiện chịu lực.

Bảng 3. So sánh dạng dao động

Dạng dao động	Chu kỳ dao động cơ bản (giây)			Phương dao động		
	MH1-0.0	MH2-0.5	MH3-1.0	MH1-0.0	MH2-0.5	MH3-1.0
1	4,968	3,734	3,373	Y - xoắn	Y	Y
2	4,605	3,288	2,899	Y - xoắn	Xoắn	Xoắn
3	3,952	1,629	1,464	X	X	X
4	1,479	1,451	1,451	Xoắn	Xoắn	X
5	1,451	1,035	0,936	Y	Y	Y
6	1,353	0,916	0,823	Y	Xoắn	Xoắn

c. Về chuyển vị đỉnh

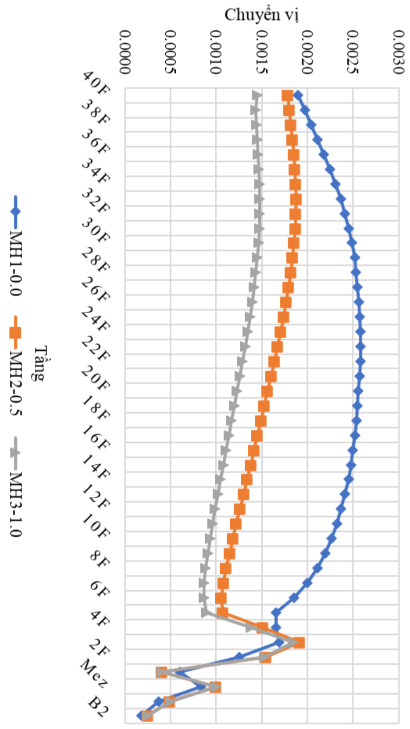
Kết quả phân tích kết cấu cho thấy chuyển vị đỉnh do tổ hợp có tải trọng gió của MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0 lần lượt là 0,340, 0,215 và 0,177 m. Chuyển vị đỉnh của MH2-0.5 và MH3-1.0 giảm tương ứng là 36,7 và 47,9% so với số liệu của MH1-0.0. Như vậy, khi tường ngăn BTCT-CPN được mô phỏng trong mô hình đã làm tăng đáng kể độ cứng tổng thể của công trình.

d. Về chuyển vị lệch tầng

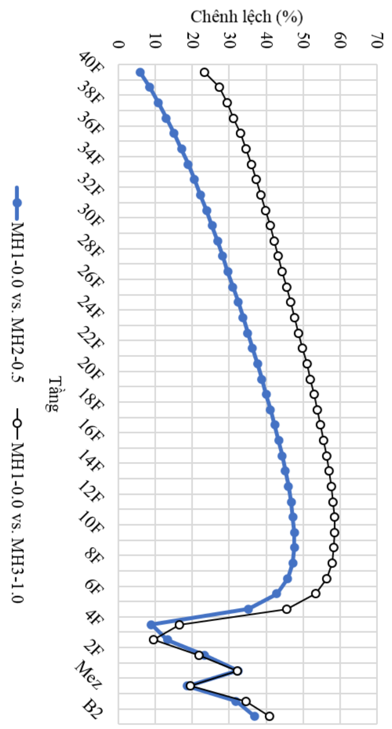
Chuyển vị lệch tầng giữa các mô hình được biểu diễn trong Hình 7 và Hình 8. Tương tự như chuyển vị đỉnh, tồn tại chênh lệch khá lớn (lên đến 60%) trong chuyển vị lệch tầng giữa MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0. Chuyển vị lệch tầng lớn nhất trên mô hình MH1-0.0, tiếp theo đến MH2-0.5 và nhỏ nhất tại MH3-1.0 do có sự tham gia chịu lực của hệ thống tường ngăn BTCT-CPN. Như vậy, hệ thống tường ngăn BTCT-CPN làm giảm đáng kể chuyển vị lệch tầng.

e. Về hệ số lực dọc quy đổi v_d của vách chịu lực

Hình 9 cho thấy sự có mặt của tường ngăn BTCT-CPN làm thay đổi đáng kể hệ số lực dọc quy đổi của phần lớn các vách. Hơn nữa, MH3-1.0 về cơ bản làm giảm hệ số này ở hầu hết các vách. Tuy nhiên, trên một số vách, hệ số lực dọc quy đổi lớn nhất trên MH2-0.5 hoặc trên MH3-1.0 như V1-1, V1-2, V3-2, v.v... Kết quả khảo sát cho thấy với các trường hợp tải trọng thẳng đứng (tĩnh tải, hoạt tải), lực dọc trên những vách này nhỏ hơn khi mô phỏng tường ngăn BTCT-CPN và giảm dần từ MH1-0.0 đến MH2-0.5 và nhỏ nhất trên MH3-1.0. Tuy nhiên, với trường hợp tải trọng động đất, tùy vào vị trí vách trên mặt bằng và tùy vào từng mô hình phân tích mà ảnh hưởng của tải trọng

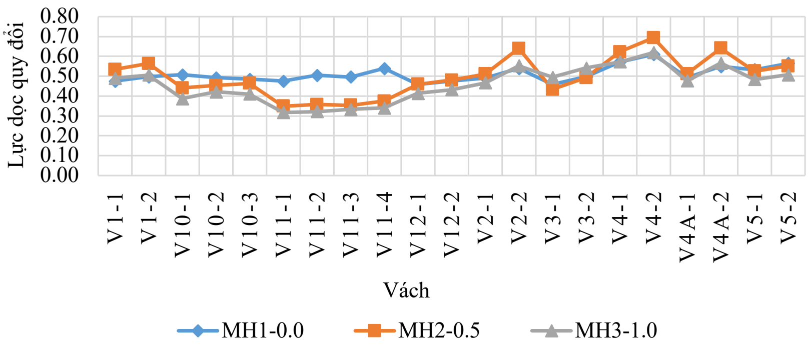


Hình 7. Chuyển vị lệch tầng của các mô hình



Hình 8. So sánh chuyển vị lệch tầng giữa các mô hình

động đất là khác nhau. Do tổ hợp tính toán lực dọc quy đổi bao gồm tĩnh tải, hoạt tải và tải trọng động đất, tương quan của ảnh hưởng giữa tĩnh tải, hoạt tải với tải trọng động đất là khác nhau làm ảnh hưởng đến hệ số lực dọc quy đổi trong vách. Kết quả cho thấy những vách chịu ảnh hưởng của tải trọng đứng (tĩnh tải, hoạt tải) lớn và chịu ảnh hưởng của động đất nhỏ sẽ có lực dọc quy đổi lớn nhất trên MH1-0.0, tiếp theo là MH2-0.5 và nhỏ nhất trên MH3-1.0. Tuy nhiên đối với những vách có ảnh hưởng của động đất lớn và ảnh hưởng của tải trọng đứng nhỏ có thể xảy ra trường hợp lực dọc quy đổi lớn nhất trên MH2-0.5 (V1-1, V1-2) hoặc trên MH3-1.0 (V3-2) tùy vào tác động của động đất khác nhau trên từng mô hình và việc phân phối lực động đất khác nhau vào các vách trên mỗi mô hình.



Hình 9. So sánh lực dọc quy đổi vách giữa các mô hình

f. Về nội lực của một số cấu kiện cụ thể

Kết quả khảo sát cho thấy:

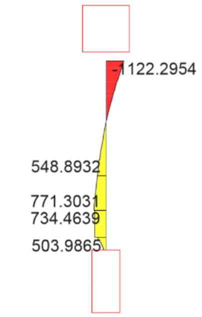
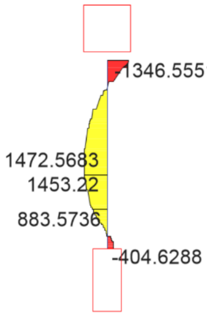
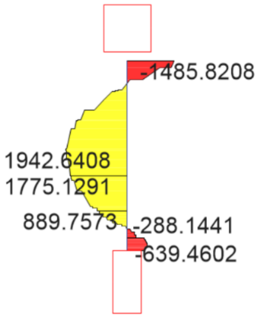
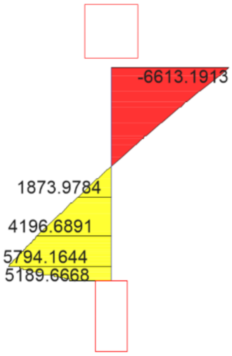
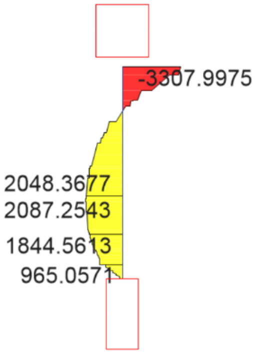
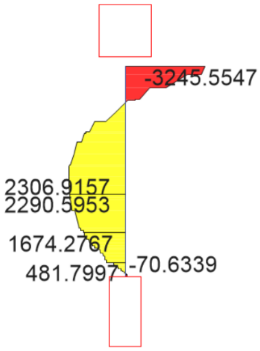
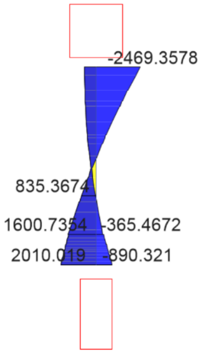
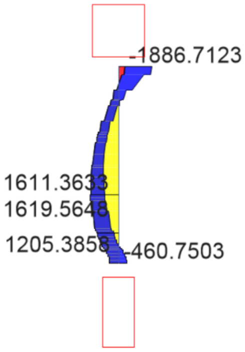
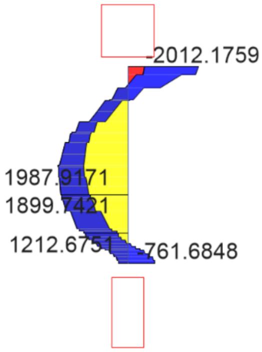
- Giá trị lực dọc trong vách giảm dần từ MH1-0.0 đến MH2-0.5 và nhỏ nhất là ở MH3-1.0. Chênh lệch giá trị lực dọc trung bình giữa MH2-0.5 và MH3-1.0 với MH1-0.0 lần lượt là 29 và 35%;

- Mô men âm và dương trên cùng một dầm có xu hướng giảm trên MH2-0.5 và MH3-1.0 do hệ tường ngăn đóng vai trò như những gối đỡ để giảm mô men cho dầm. Bên cạnh đó, chênh lệch mô men dương dầm giữa các mô hình là khá lớn (lớn nhất là hơn 30%) trong khi đó chênh lệch mô men âm dầm lớn nhất khoảng 25%;

- Mô men uốn của sàn giảm dần từ MH1-0.0 MH2-0.5 và nhỏ nhất là ở MH3-1.0 do có sự tham gia chịu lực của hệ tường ngăn. Đặc biệt trên MH3-1.0, mô men giảm rất nhiều (trên 70%), do đó chiều dày và cốt thép sàn khi mô phỏng tường ngăn BTCT-CPN đều có thể giảm đáng kể;

- Biểu đồ mô men uốn của dầm chuyển giữa các mô hình khác nhau đáng kể cả về hình dạng lẫn giá trị. Hệ tường ngăn có xu hướng làm tăng tải trọng tường tác dụng trực tiếp lên dầm và do đó làm tăng mô men dầm trong các tổ hợp chỉ có tải trọng đứng. Tuy nhiên, đối với tổ hợp có tải trọng

Bảng 4. So sánh biểu đồ mô men dầm chuyển giữa các mô hình

Tổ hợp	MH1-0.0	MH2-0.5	MH3-1.0
Tĩnh tải + Hoạt tải			
Tĩnh tải + Hoạt tải + Gió			
Tĩnh tải + Hoạt tải + Động đất			

ngang, hệ tường ngăn BTCT-CPN làm giảm chuyển vị xoay của dầm, phân phối lại tải trọng tường lên dầm và làm giảm mô men dầm chuyển. Bảng 4 cho thấy sự thay đổi biểu đồ mô men dầm chuyển trên MH1-0.0, MH2-0.5 và MH3-1.0 khi mô phỏng tường ngăn BTCT-CPN;

- Với hệ số giảm độ cứng cho hệ tường ngăn BTCT-CPN là 0,35, hệ số lực dọc quy đổi trong các tường ngăn là rất nhỏ. Do vậy cốt thép trong tường chỉ cần được bố trí theo cấu tạo để đảm bảo khả năng chịu lực của tường trong quá trình làm việc của kết cấu.

3.3. Khảo sát ảnh hưởng của hệ số giảm độ cứng cho tường ngăn BTCT

Điều 4.3.1(7) của TCVN 9386:2012 [9] quy định: "Trừ khi thực hiện phân tích chính xác hơn đối với các cấu kiện bị nứt, các đặc trưng về độ cứng chống cắt và độ cứng chống uốn đàn hồi của các cấu kiện bê tông và khối xây có thể lấy bằng một nửa độ cứng tương ứng của các cấu kiện không bị nứt". Như vậy, để đánh giá hệ số giảm độ cứng hợp lý, một phép khảo sát thứ hai được thực hiện trên ba mô hình sử dụng 100% tường ngăn BTCT-CPN (MH3) nhưng với các hệ số giảm độ cứng cho tường là 0,35; 0,5 và 0,7. Các mô hình tương ứng được đặt tên là MH3-0.35, MH3A-0.5 và MH3B-0.7. Kết quả phân tích kết cấu giữa các mô hình này được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của hệ số giảm độ cứng cho tường ngăn BTCT-CPN tới sự làm việc của kết cấu công trình.

a. Về chu kỳ dao động cơ bản

Kết quả phân tích kết cấu cho chu kỳ của dạng dao động cơ bản thứ nhất của MH3-0.35, MH3A-0.5 và MH3B-0.7 lần lượt là 3,372; 3,337 và 3,222 giây. Chu kỳ của dạng dao động cơ bản thứ nhất của MH3A-0.5 và MH3B-0.7 giảm tương ứng là 1,0 và 4,0% so với số liệu của MH3-0.35. Như vậy, khi tường ngăn BTCT-CPN được mô phỏng trong mô hình, hệ số giảm độ cứng ảnh hưởng không đáng kể độ cứng tổng thể của công trình.

b. Về dạng dao động

Dạng dao động của các mô hình được biểu diễn trong Bảng 5. Bảng 5 cho thấy dạng dao động của ba mô hình khi thay đổi độ cứng tường ngăn BTCT-CPN với ba giá trị 0,35; 0,5 và 0,7 gần như tương tự nhau. Như vậy, việc thay đổi độ cứng của hệ tường ngăn BTCT-CPN tác động không đáng kể tới các dạng dao động của công trình.

Bảng 5. So sánh dạng dao động

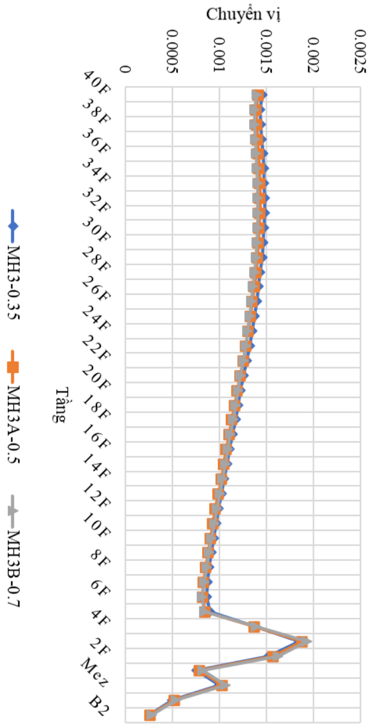
Dạng dao động	Chu kỳ dao động cơ bản (giây)			Phương dao động		
	MH3-0.35	MH3A-0.5	MH3B-0.7	MH3-0.35	MH3A-0.5	MH3B-0.7
1	3,372	3,337	3,222	Y	Y	Y
2	2,898	2,837	2,710	Xoắn	Xoắn	Xoắn
3	1,464	1,477	1,451	X	X	X
4	1,451	1,394	1,306	X	X	X
5	0,935	0,915	0,874	Y	Y	Y
6	0,822	0,801	0,761	Xoắn	Xoắn	Xoắn

c. Về chuyển vị đỉnh

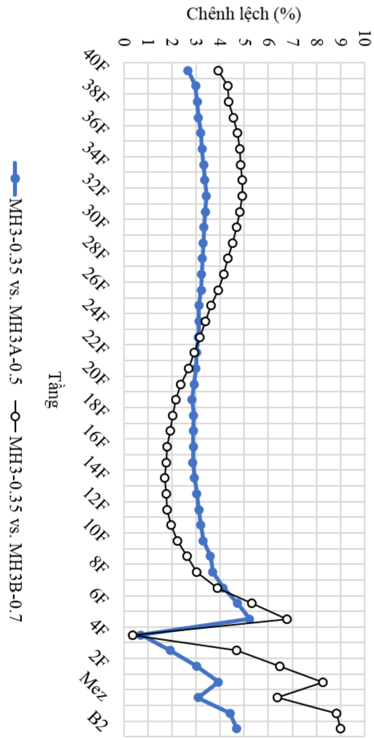
Kết quả phân tích kết cấu cho chuyển vị đỉnh do tổ hợp có tải trọng gió của MH3-0.35, MH3A-0.5 và MH3B-0.7 lần lượt là 0,177; 0,168 và 0,160 m. Chuyển vị đỉnh của MH3A-0.5 và MH3B-0.7 giảm tương ứng là 5,0 và 9,6% so với số liệu của MH3-0.35. Như vậy, khi tường ngăn BTCT-CPN được mô phỏng trong mô hình với các hệ số giảm độ cứng khác nhau ảnh hưởng không đáng kể tới độ cứng tổng thể của công trình.

d. Về chuyển vị lệch tầng

Chuyển vị lệch tầng giữa các mô hình được biểu diễn trong Hình 10 và Hình 11. Tương tự như chuyển vị đỉnh, chênh lệch trong chuyển vị lệch tầng giữa các mô hình là không đáng kể (nhỏ hơn 10%). Như vậy, sự thay đổi độ cứng hệ tường ngăn BTCT-CPN có thể được bỏ qua trong kiểm tra chuyển vị lệch tầng của công trình.

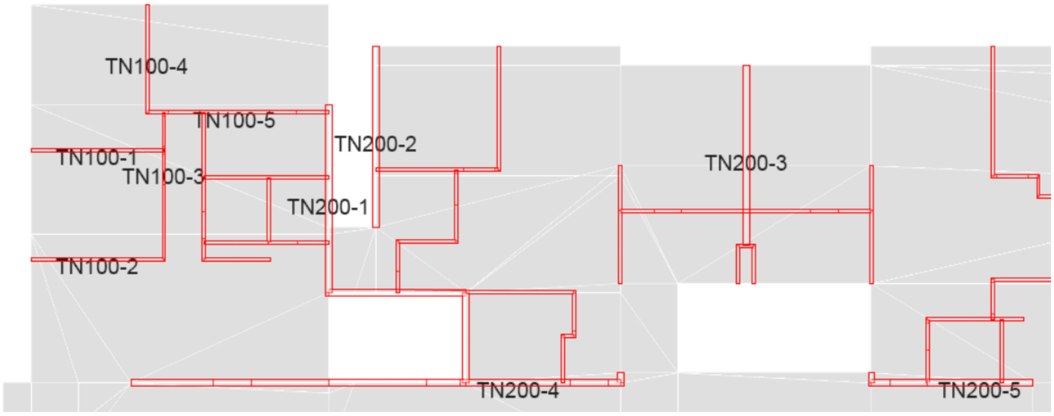


Hình 10. Chuyển vị lệch tầng của các mô hình



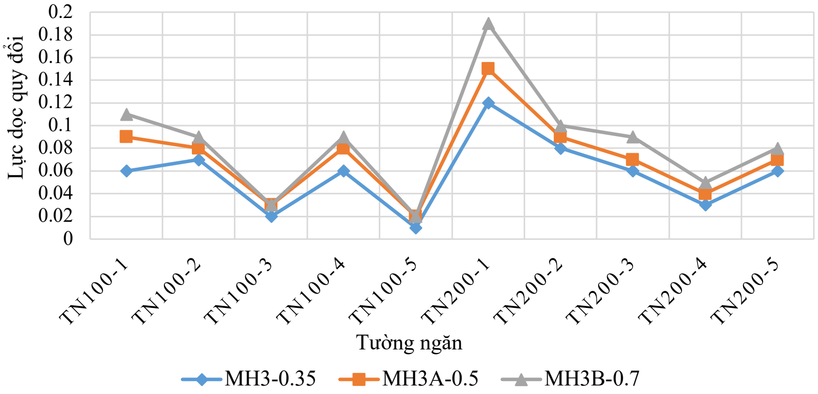
Hình 11. So sánh chuyển vị lệch tầng giữa các mô hình

e. Đánh giá sự làm việc của hệ tường ngăn BTCT-CPN qua hệ số lực dọc quy đổi ν_d



Hình 12. Tên tường ngăn BTCT trong mô hình ETABS

Hình 12 và Hình 13 cho thấy khi thay đổi độ cứng tường ngăn BTCT-CPN ở các giá trị 0,35; 0,5 và 0,7, lực dọc quy đổi giữa các mô hình không thay đổi nhiều và có xu hướng tăng tương ứng với hệ số độ cứng của tường ngăn.



Hình 13. So sánh lực dọc quy đổi của tường ngăn BTCT-CPN giữa các mô hình

Hệ số lực dọc quy đổi trong mỗi mô hình sẽ thay đổi tùy vào vị trí tường ngăn BTCT-CPN. Mỗi tường ngăn BTCT có ứng xử với các tải trọng là khác nhau, trong đó tường ngăn TN200-1 có hệ số lực dọc cao nhất (gần 0,2 trên MH3B-0.7). Do vậy, trong tính toán nên áp dụng hệ số giảm độ cứng cho tường ở mức 0,35. Các hệ số giảm độ cứng cao hơn cũng có thể được áp dụng trong thiết kế nhưng tại một số vị trí tường ngăn có nội lực lớn cần được tính toán và bố trí thêm cốt thép.

4. Kết luận

Kết quả trình bày trong bài báo cho thấy đối với công trình chung cư cao 40 tầng bằng bê tông cốt thép (BTCT) được khảo sát, sự có mặt của hệ tường ngăn BTCT sử dụng công nghệ cốp pha nhôm (CPN) ảnh hưởng khá lớn và có lợi đối với kết cấu công trình, thể hiện ở các mặt sau:

- Làm tăng đáng kể độ cứng công trình so với phương án tường xây truyền thống: (làm giảm chu kỳ dao động cơ bản (hơn 25~30%), giảm chuyển vị đỉnh (hơn 30~40%), giảm chuyển vị lệch tầng, thay đổi đặc trưng dao động và các dạng dao động của công trình, v.v...);

- Làm giảm đáng kể hệ số lực dọc quy đổi trong vách chịu lực chính (hơn 30%);

- Có xu hướng làm giảm nội lực trong các cấu kiện chịu lực (lực dọc trong vách, mô men uốn trong dầm, sàn) do hệ tường ngăn BTCT làm việc như những gối đỡ chịu một phần tải trọng đứng.

Kết quả khảo sát cho thấy phương án chỉ sử dụng tường ngăn giữa các căn hộ là BTCT-CPN (phương án 50%) vừa có hiệu quả khá cao về kết cấu, vừa đáp ứng được yêu cầu linh hoạt trong bố trí công năng kiến trúc và do vậy được khuyến cáo áp dụng.

Bên cạnh đó, khi thay đổi các hệ số giảm độ cứng cho tường ngăn BTCTCPN, sự làm việc của các kết cấu chính trong công trình bị ảnh hưởng không đáng kể. Tuy nhiên để thiên về an toàn, hệ số giảm độ cứng ở mức 0,35 được khuyến cáo áp dụng. Khi áp dụng hệ số giảm độ cứng cao hơn, cần tính toán cốt thép cho tường ngăn BTCT-CPN tại một số vị trí có nội lực lớn.

Tài liệu tham khảo

[1] Minh, P. Q., Phong, N. T., Cống, N. Đ. (2013). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

[2] Giang, Đ. H. (2018). *Đánh giá hiệu quả sử dụng cốp pha nhôm định hình trong nhà nhiều tầng*. Luận văn Thạc sĩ khoa công trình, Trường Đại học Thủy lợi.

[3] Ninjal, M. P., Bhupendra, M. M., Umang, P. (2015). Conventional technique vs Aluminium formwork techniques. *Journal of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering, L.D.R.P. Institute of Technology and Researc*, 3:279–287.

[4] Huệ, P. V. (2019). Ảnh hưởng của tường chèn tới việc kiểm soát cơ cấu phá hoại khung bê tông cốt thép chịu động đất. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 13(4V):58–72.

[5] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[6] TCVN 4453:1995. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - Quy phạm thi công và nghiệm thu*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.

[7] ACI 318-19. *Building Code Requirements for Structural Concrete (318-19) and commentary (318R-19)*. American Concrete Institute, Farmington-Hills, Michigan, USA.

[8] EN 1992-1-1:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings*.

[9] TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.

[10] TCVN 2737:1995. *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.

[11] TCXD 229:1999. *Chỉ dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737:1995*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.

[12] Computer and Structure Incorporation (2017). *Reference and Manual for ETABS 2017*. Berkeley University, USA.