Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, NUCE 2020. 14 (2V): 34–51

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MÔ HÌNH HÓA SÀN LÕI RỖNG SỬ DỤNG PHẦN MỀM ETABS TỚI PHẢN ỨNG ĐỘNG HỌC CỦA NHÀ NHIỀU TẦNG

Phạm Thái Hoàn[a,*], Hồ Thành Đạt[b], Nguyễn Trường Thắng[a]

[a]*Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*
[b]*Công ty Cổ phần Xây dựng VRO, 461 đường Trương Định, quận Hoàng Mai, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 04/02/2020, Sửa xong 02/03/2020, Chấp nhận đăng 04/03/2020

Tóm tắt

Bài báo này đề xuất một số giải pháp mô phỏng hệ kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng sàn lõi rỗng bằng hệ kết cấu tương đương sử dụng phần mềm phân tích kết cấu Etabs, từ đó áp dụng vào nghiên cứu ảnh hưởng của mô hình hóa sàn lõi rỗng đến ứng xử động học của kết cấu nhà nhiều tầng. Hai hệ kết cấu nhiều tầng BTCT của công trình thực tế sử dụng sàn rỗng lõi xốp có chiều cao phổ biến hiện nay là 20 và 40 tầng được sử dụng để phân tích. Các ứng xử động học của hai hệ kết cấu bao gồm chu kỳ dao động riêng, chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối tại các mức sàn của kết cấu được xem xét. Các kết quả tính toán và phân tích tạo cơ sở để các kỹ sư kết cấu làm căn cứ lựa chọn giải pháp phù hợp khi phân tích kết cấu nhiều tầng có sàn lõi rỗng, cũng như xem xét được ảnh hưởng của các giải pháp đến ứng xử động học của kết cấu nhà nhiều tầng BTCT.

Từ khoá: sàn lõi rỗng; ứng xử động học; kết cấu; nhà nhiều tầng; Etabs.

EFFECTS OF HOLLOW SLAB MODELING USING ETABS ON DYNAMIC RESPONSE OF TALL BUILDINGS

Abstract

This paper presents some methods to simulate the structure of tall building with hollow flat slabs using structural analysis software Etabs. These methods then are applied to investigate the effects of hollow slab modeling on the dynamic behavior of the tall buildings. A couple of tall structure systems of the real buildings with porous hollow core floors of 20 and 40 storeys, which are in the current common height range of tall buildings in Vietnam, are used for analysis. The dynamic responses of these structural systems including the period of natural vibration, inter-storey drift, and absolute horizontal displacement at story levels of the structures are considered. The analysis results may provide the database for structural engineers to choose the appropriate method when analyzing tall structures with hollow floors as well as to understand the dynamic behavior of tall structures with respect to simulation methods.

Keywords: hollow slab; dynamic response; structure; tall building; Etabs.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2V)-04 © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Mở đầu

Cùng với tốc độ đô thị hóa ngày càng cao quỹ đất ở các thành phố lớn ngày càng bị thu hẹp, việc các công trình được xây dựng cao tầng là xu hướng tất yếu trên thế giới nói chung. Ở Việt Nam, ngoài

*Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* hoanpt@nuce.edu.vn (Hoàn, P. T.)

một số công trình cao tầng điển hình như tòa nhà Landmark 81 (81 tầng, cao 461 m), Keangnam Hanoi Landmark Tower (72 tầng, cao 330 m), Bitexco Tower (68 tầng, cao 262 m) hay Lotte Center Hanoi (65 tầng, cao 267 m), các dự án công trình chung cư, văn phòng làm việc với chiều cao từ 20 đến 40 tầng đã trở nên phổ biến trong những năm gần đây. Với nhu cầu tăng chiều cao tòa nhà, ngoài giải pháp về sử dụng vật liệu cường độ cao [1], yêu cầu về giảm trọng lượng kết cấu công trình là một trong những yếu tố quan trọng được xem xét cẩn thận trong việc đưa ra giải pháp kết cấu cho công trình. Do đó, sàn phẳng bê tông cốt thép (BTCT) có lõi rỗng nhằm mục đích giảm trọng lượng bản thân của kết cấu đang được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam trong thời gian gần đây.

Sàn phẳng lõi rỗng có cấu tạo rỗng ở vùng giữa (vùng lõi - là vùng ít có tác dụng chịu lực) và đưa vật liệu ra xa trục trung hòa, vừa tăng bề dày và độ cứng của sàn vừa làm giảm trọng lượng bản thân so với sàn đặc. Sàn lõi rỗng có các ưu điểm như: (i) có khả năng vượt nhịp lớn vượt trội so với kết cấu sàn BTCT truyền thống; (ii) linh hoạt trong thiết kế công năng sử dụng, có khả năng áp dụng cho nhiều loại công trình; (iii) có hiệu quả kinh tế cao hơn khi tiết kiệm cả bê tông và khối lượng thép [2]. Việc tạo rỗng ở vùng lõi có thể được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau trong đó giải pháp chung là sử dụng kết cấu dạng rỗng như cốt pha nhựa để chèn vào giữa bê tông ở khu vực lõi (bóng, hộp nhựa U-boot) hoặc sử dụng các vật liệu nhẹ như bê tông bọt hoặc xốp như thể hiện trong Hình 1. Về mặt cấu tạo, do sàn rỗng thuộc loại sàn phẳng, lực cắt thường lớn tại các vị trí gần cột nên khu vực này phần rỗng được lược bỏ và cấu tạo sàn thành vùng bê tông đặc (vùng nấm) giúp tăng khả năng chịu cắt và được thiết kế giống như sàn đặc ứng lực trước [3, 4]. Do chiều dày sàn rỗng thường lớn hơn so với giải pháp sàn đặc tương đương, liên kết giữa hệ sàn rỗng với vách lõi (hệ kết cấu phổ biến cho nhà cao tầng) có thể làm ảnh hưởng tới phản ứng động của công trình và làm thay đổi tải trọng quán tính do tác dụng của thành phần gió động hay động đất, là những thành phần tải trọng ảnh hưởng lớn đến việc tính toán thiết kế nhà cao tầng.

Hình 1. Sàn rỗng sử dụng lõi xốp

Khi phân tích nội lực kết cấu công trình cao tầng và thiết kế sàn rỗng, các tấm sàn rỗng thường được mô phỏng dưới dạng tấm, màng hoặc vỏ sử dụng các phần mềm tính toán kết cấu chuyên dụng như Etabs và Safe của hãng CSI [5], như đã được phân tích trước đây [6]. Tuy nhiên các phần mềm này hiện không cho phép mô phỏng hình dạng thật của sàn rỗng, do đó trong thực hành tính toán hiện nay, các sàn rỗng thường được mô phỏng như sàn đặc tương đương. Để sàn đặc tương đương làm việc giống như sàn rỗng thật, tức là khả năng truyền, phân phối nội lực tương đương nhau, một cách phổ

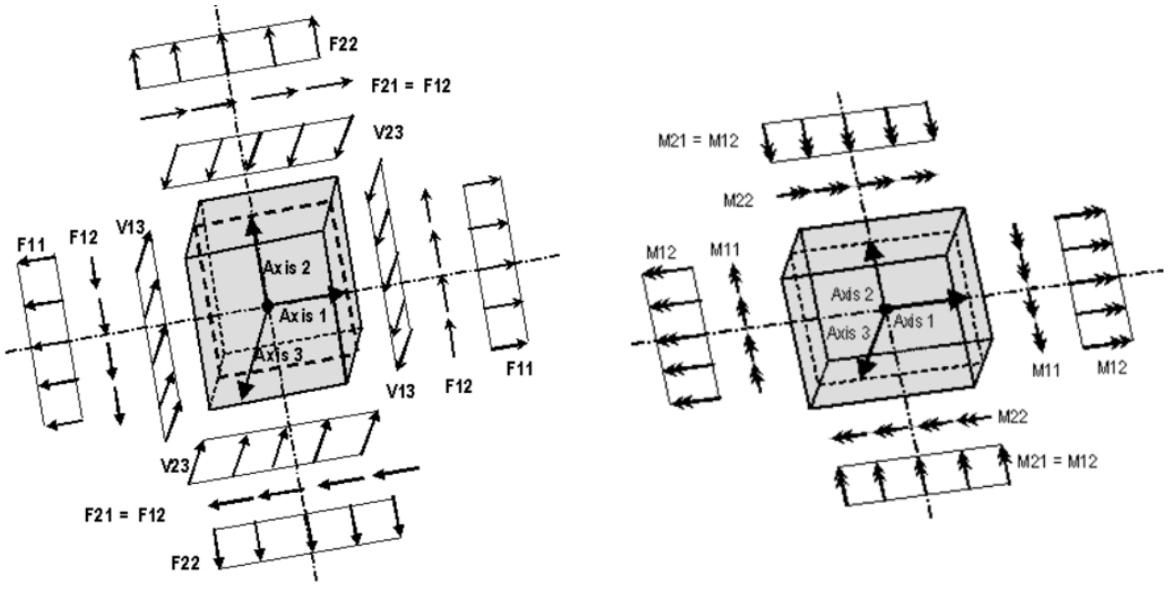
biến trong thực hành là sử dụng sàn đặc có cùng chiều dày h với sàn rỗng và điều chỉnh các thông số liên quan đến độ cứng của sàn. Một số nghiên cứu trước đây là đưa ra các thông số điều chỉnh này trên cơ sở xem xét sự làm việc đơn lẻ của cấu kiện sàn điển hình [7, 8], tuy nhiên chưa xem xét đến sự ảnh hưởng của chúng đến ứng xử của toàn bộ kết cấu, đặc biệt là ứng xử động học, thành tố rất quan trọng trong kết cấu cao tầng. Ngoài ra, rất nhiều phương pháp mô phỏng sàn thay thế sàn rỗng mà sàn thay thế có thể phản ánh phù hợp sự làm việc của kết cấu sàn rỗng đồng thời có thể sử dụng phần mềm phân tích kết cấu chuyên dụng như Etabs để thực hành chưa được nghiên cứu.

Bài báo này đề xuất một số giải pháp mô phỏng sàn rỗng bằng hệ kết cấu tương đương thực hành được bằng phần mềm phân tích kết cấu Etabs, từ đó áp dụng vào nghiên cứu ảnh hưởng của các giải pháp mô phỏng sàn rỗng đến ứng xử động của kết cấu nhà cao tầng. Hai hệ kết cấu cao tầng BTCT của công trình thực tế sử dụng sàn rỗng lõi xốp có chiều cao phổ biến hiện nay là 20 và 40 tầng được sử dụng để phân tích. Các kết quả tính toán và phân tích tạo cơ sở để các kỹ sư kết cấu làm căn cứ lựa chọn giải pháp phù hợp khi phân tích kết cấu cao tầng có sàn rỗng cũng như xem xét được ảnh hưởng của các giải pháp đến ứng xử động của kết cấu cao tầng BTCT.

2. Mô hình hóa sàn rỗng sử dụng Etabs

2.1. Mô hình phần tử sàn trong Etabs

Phần tử sàn có thể được mô hình theo ba dạng bao gồm màng (membrane), vỏ dày (thick shell) và vỏ mỏng (thin shell) trong Etabs. Phần tử dạng màng là dạng tấm phẳng chỉ có khả năng chịu nén trong mặt phẳng mà không có khả năng chịu uốn, do đó nội lực trong phần tử màng chỉ có lực dọc trục. Khác với phần tử màng, phần tử vỏ có khả năng chịu các loại tải trọng khác nhau gồm kéo, nén và trượt trong mặt phẳng sàn, uốn, cắt và xoắn trong các mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng sàn. Phần tử vỏ dày chỉ khác phần tử vỏ mỏng khi kể đến biến dạng cắt ngang (transverse shear deformation) và thường được sử dụng khi sàn đủ dày, tức tỷ lệ giữa nhịp và chiều sàn không quá lớn, từ 5 – 10 [9]. Trong các kết cấu cao tầng, do tỷ lệ giữa nhịp và chiều dày sàn thường lớn hơn 15 nên sàn được mô hình sử dụng phần tử vỏ mỏng. Hình 2 thể hiện các thành phần nội lực trong phần tử vỏ mỏng bao gồm: mô men uốn quanh các trục 2 và 1 lần lượt là M11 và M22; mô men xoắn quanh trục 1 và 2 là M12 và M21; lực kéo (nén) trong mặt phẳng sàn theo các phương 1 và 2 lần lượt là F11 và F22; lực cắt trong mặt phẳng sàn F12; lực cắt trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng sàn V13 và V23 [10]; Khi làm việc, tải trọng được phân phối đến các phần tử sàn tạo thành các thành phần nội lực thông qua các độ cứng của phần tử sàn đó. Trong phần mềm Etabs, các thành phần độ cứng tương ứng với các thành phần nội lực của phần tử vỏ mỏng bao gồm: độ cứng chống uốn quanh trục 1 (Bending $m22$ Direction) và độ cứng chống uốn quanh trục (Bending $m11$ Direction); độ cứng chống xoắn quanh trục 1 và 2 (Bending $m12$ Direction); độ cứng chống kéo (nén) theo phương 1 (Membrane $f11$ Direction); độ cứng chống kéo (nén) theo phương 2 (Membrane $f22$ Direction); độ cứng chống trượt trong mặt phẳng sàn (Membrane $f12$ Direction); độ cứng chống trượt trong hai mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng sàn (Shear $v13$ Direction và Shear $v23$ Direction). Lưu ý rằng 1 và 2 là hai phương vuông góc trong mặt phẳng sàn, còn 3 là phương vuông góc với mặt phẳng sàn (Hình 2). Khi khai báo tiết diện sàn trong Etabs, phần mềm tự động tính được các thông số liên quan đến tiết diện nên các thông số về độ cứng này mặc định nhận giá trị là 1. Tuy nhiên Etabs cho phép người dùng có thể điều chỉnh các thông số này nhằm giúp mô hình mô phỏng có thể phản ánh sát nhất sự làm việc của kết cấu thật thông qua lựa chọn "Shell Assignement\Modifier" khi khai báo mặt cắt tiết diện sàn. Sau đây, các thông số này được gọi chung là thông số điều chỉnh độ cứng và ký hiệu lần lượt là $\mu 11, \mu 22, \mu 12, \phi 11, \phi 22, \phi 12, \upsilon 13, \upsilon 23$ như trong các nghiên cứu trước đây [7, 8].



(a) Thành phần lực (b) Thành phần mô men

Hình 2. Nội lực phần tử vỏ mỏng trong Etabs [10]

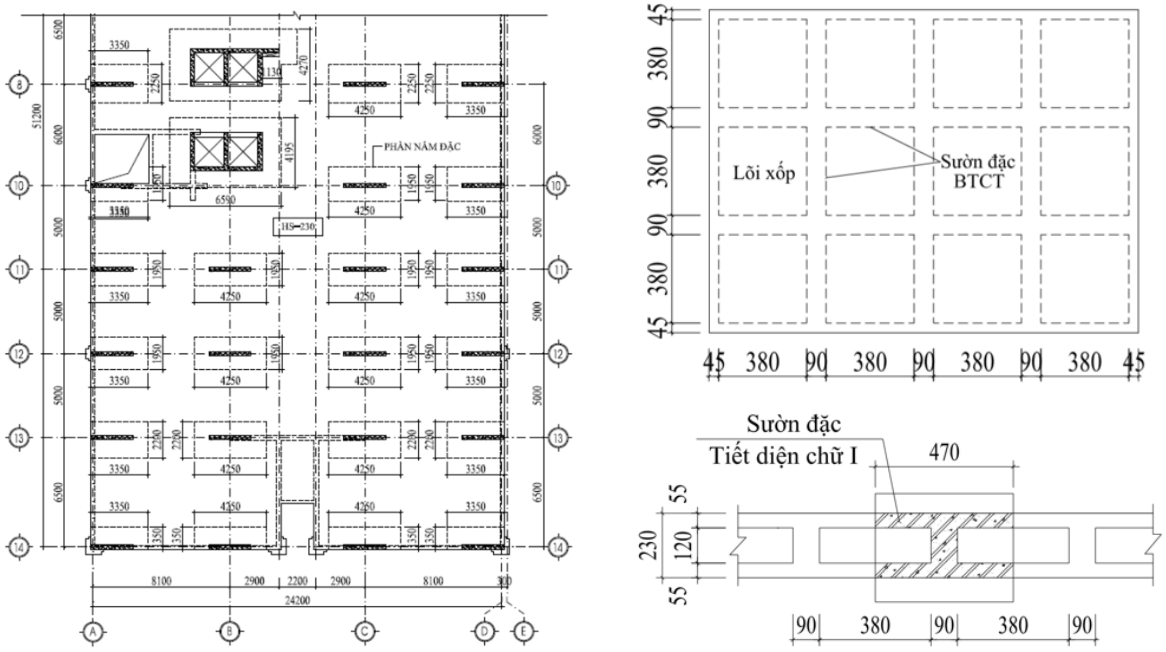
2.2. Các mô hình mô phỏng hệ kết cấu tương đương sàn rỗng

Để minh họa các dạng mô hình mô phỏng hệ kết cấu tương đương sàn rỗng bằng phần mềm Etabs, nghiên cứu này sử dụng sàn rỗng lõi xốp vừa là một trong các giải pháp phổ biến cho kết cấu sàn rỗng ở Việt Nam hiện nay đồng thời việc sử dụng các lõi xốp hình hộp có kích thước định hình rõ ràng cũng giúp cho việc tính toán, so sánh được tường mình. Cũng như các giải pháp sàn lõi rỗng khác, trong sàn sử dụng lõi xốp, các cùng sàn xung quanh vị trí cột vẫn được cấu tạo thành vùng bê tông đặc (vùng nấm) nhằm chịu lực cắt và lực chọc thủng đầu cột, các vùng sàn ngoài phạm vi đầu cột sẽ được bố trí các khối xốp hình hộp chữ nhật kích thước 380 mm × 380 mm × h_x cách nhau 90 mm vào giữa hai lớp bê tông trên và dưới có chiều dày như nhau, $t_{w.}$ = 55 mm. Chiều dày khối xốp h_x do đó thay đổi theo chiều dày tổng thể của sàn h phụ thuộc nhịp của sàn theo các phương. Phần bê tông ở giữa các khối xốp kết hợp với phần bê tông ở trên và dưới khối xốp tạo thành các sườn đặc dạng chữ I. Hình 3 minh họa mặt bằng kết cấu của một sàn rỗng lõi xốp cùng với chi tiết mặt cắt ngang sàn qua vùng lõi xốp. Phần lõi xốp này chỉ có tác dụng thay thế phần bê tông ở giữa lõi mà không có tác dụng chịu lực, do đó trong tính toán phần này được coi là rỗng.

Từ cấu tạo thực tế của sàn lõi xốp như trên, xét đến yếu tố ứng xử động học của kết cấu phụ thuộc vào lực quán tính là thành phần lực được tạo nên do khối lượng có gia tốc, việc mô hình hóa sàn rỗng để xem xét ảnh hưởng của sàn đến ứng xử động có thể được tiến hành theo một trong các cách sau:

(i) Mô hình phần nấm như sàn đặc bình thường có chiều dày h, phần sàn rỗng có chiều dày h được mô hình thay thế bằng sàn đặc có chiều dày h_0 nhỏ hơn h, khối lượng riêng của vật liệu trong vùng này γ_{b0} nhỏ hơn khối lượng riêng của bê tông γ_b. Chiều dày sàn thay thế h_0 và khối lượng riêng của vật liệu thay thế γ_{b0} được xác định bằng cách quy đổi mô men quán tính qua mặt phẳng sàn và khối lượng tương đương giữa phân tố sàn rỗng sang sàn đặc. Đây là phương pháp hiện đang được các kỹ sư thực hành trong việc phân tích và thiết kế kết cấu sử dụng sàn rỗng.

(ii) Mô hình phần nấm như sàn đặc bình thường có chiều dày h, phần sàn rỗng có chiều cao h được



(a) Mặt bằng sàn

(b) Bố trí khối xốp điển hình và chi tiết

Hình 3. Mặt bằng sàn rỗng lõi xốp và chi tiết

mô hình thay thế bằng sàn đặc có cùng chiều dày h với các đặc trưng về độ cứng của tiết diện được thay đổi và khối lượng riêng của vật liệu trong vùng này γ_{b0} nhỏ hơn khối lượng riêng của bê tông γ_b. Các đặc trưng của tiết diện thay thế được khai báo thông qua các thông số điều chỉnh độ cứng và các thông số này được xác định nhằm đảm bảo khả năng chịu kéo, nén, uốn, trượt trong và ngoài mặt phẳng của sàn thay thế tương đương sàn rỗng như đã được nghiên cứu trước đây [2, 5]. Khối lượng riêng của vật liệu thay thế γ_{b0} được xác định bằng cách quy đổi mô khối lượng tương đương giữa phân tố sàn rỗng sang sàn đặc. Đây là phương pháp mô phỏng sát thực nhất sự làm việc của sàn rỗng, tuy nhiên do việc xác định các thông số điều chỉnh độ cứng trong mô hình sàn đặc thay thế khá phức tạp nên phương pháp này hiện chưa phổ biến trong thực hành phân tích và thiết kế kết cấu sử dụng sàn rỗng.

(iii) Mô hình phần nấm như sàn đặc bình thường có chiều dày h, phần sàn rỗng có chiều cao h được mô hình thay thế bằng sàn đặc có chiều dày h_0 với khối lượng riêng của bê tông γ_b. Chiều dày sàn thay thế h_0 được xác định bằng cách quy đổi khối lượng tương đương giữa sàn rỗng và sàn đặc thay thế. Phương pháp mô hình hóa này có thể không phản ánh sát thực nhất sự làm việc của cấu kiện sàn rỗng, tuy nhiên có ưu điểm là thực hành nhanh và dễ, phù hợp cho việc kiểm tra nhanh ứng xử động của kết cấu khi khối lượng của sàn thay thế không thay đổi.

(iv) Mô hình thay thế toàn bộ phần nấm và phần sàn rỗng có chiều cao h bằng sàn đặc có cùng chiều dày h_0 với khối lượng riêng của bê tông γ_b. Chiều dày sàn thay thế h_0 được xác định bằng cách quy đổi khối lượng của toàn bộ phần nấm và sàn rỗng tương đương với khối lượng của sàn đặc thay thế. Cũng như phương pháp (iii), giải pháp mô hình này có ưu điểm là thực hành nhanh và dễ, phù hợp cho việc kiểm tra nhanh ứng xử động của kết cấu khi khối lượng của sàn thay thế không thay đổi.

(v) Mô hình phần nấm như sàn đặc bình thường có chiều dày h, phần sàn rỗng có chiều cao h được

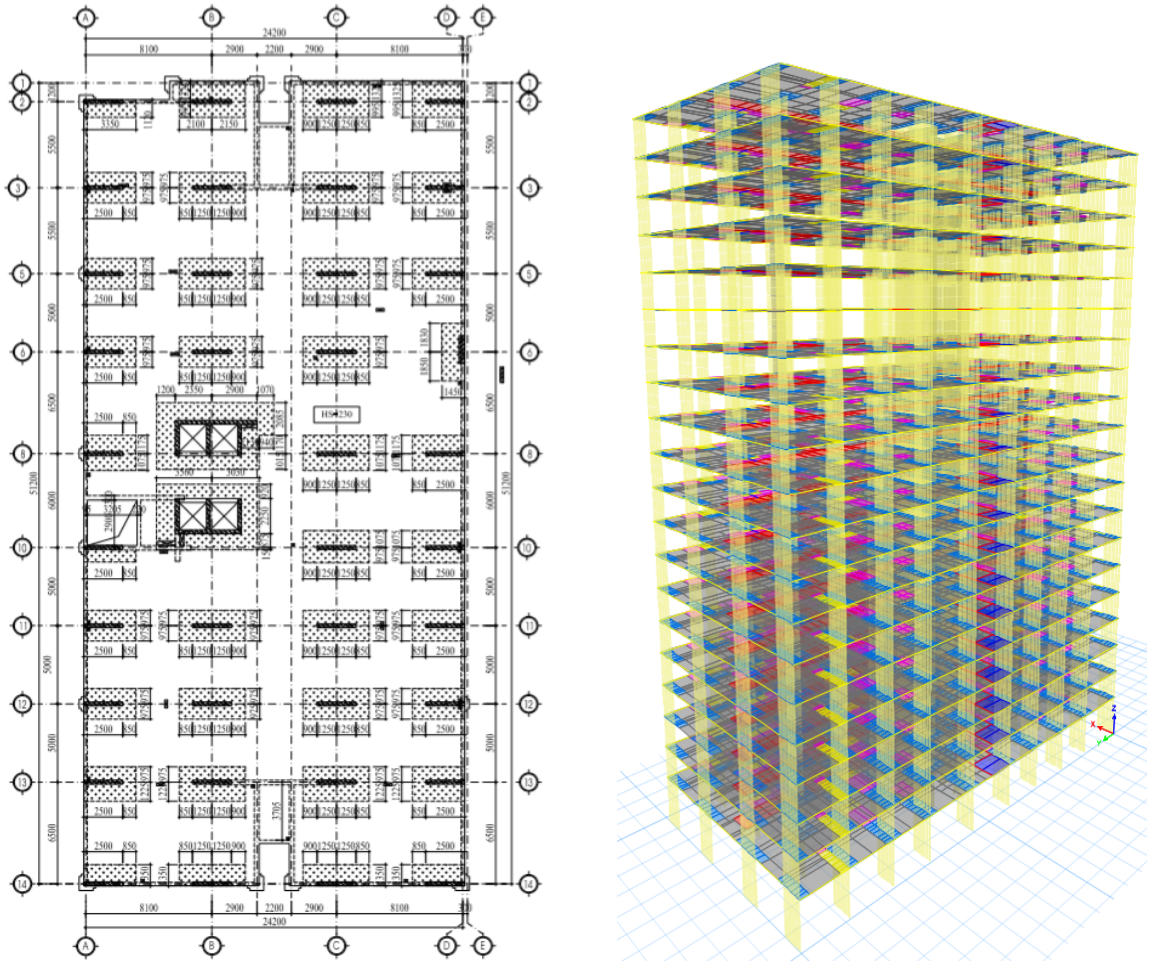
mô hình thay thế bằng hệ dầm đặc tiết diện chữ I được cấu thành từ hệ sườn đặc giữa các tấm xốp và phần cánh bê tông ở trên và dưới lõi xốp nằm giữa hai sườn (Hình 3(b)). Do phần giao cắt giữa các dầm I chiếm 1/2 diện tích toàn bộ phần sàn rỗng, khối lượng riêng của vật liệu dùng cho dầm I được lấy bằng $\gamma_{b0} = 1/2\gamma_b$.

3. Mô hình khảo sát ứng xử động học của kết cấu nhiều tầng sử dụng sàn rỗng

Để khảo sát ứng xử động học của nhà nhiều tầng sử dụng sàn rỗng, hệ kết cấu của hai công trình thực tế sử dụng sàn rỗng có chiều cao 20 và 40 tầng được lựa chọn để phân tích. Kết cấu 20 và 40 tầng được lựa chọn do đây có thể coi là giới hạn dưới và trên của các công trình cao tầng phổ biến hiện nay ở Việt Nam.

3.1. Mô tả kết cấu

a. Công trình kết cấu 20 tầng



(a) Mặt bằng kết cấu tầng điển hình (b) Mô hình phân tích trong Etabs

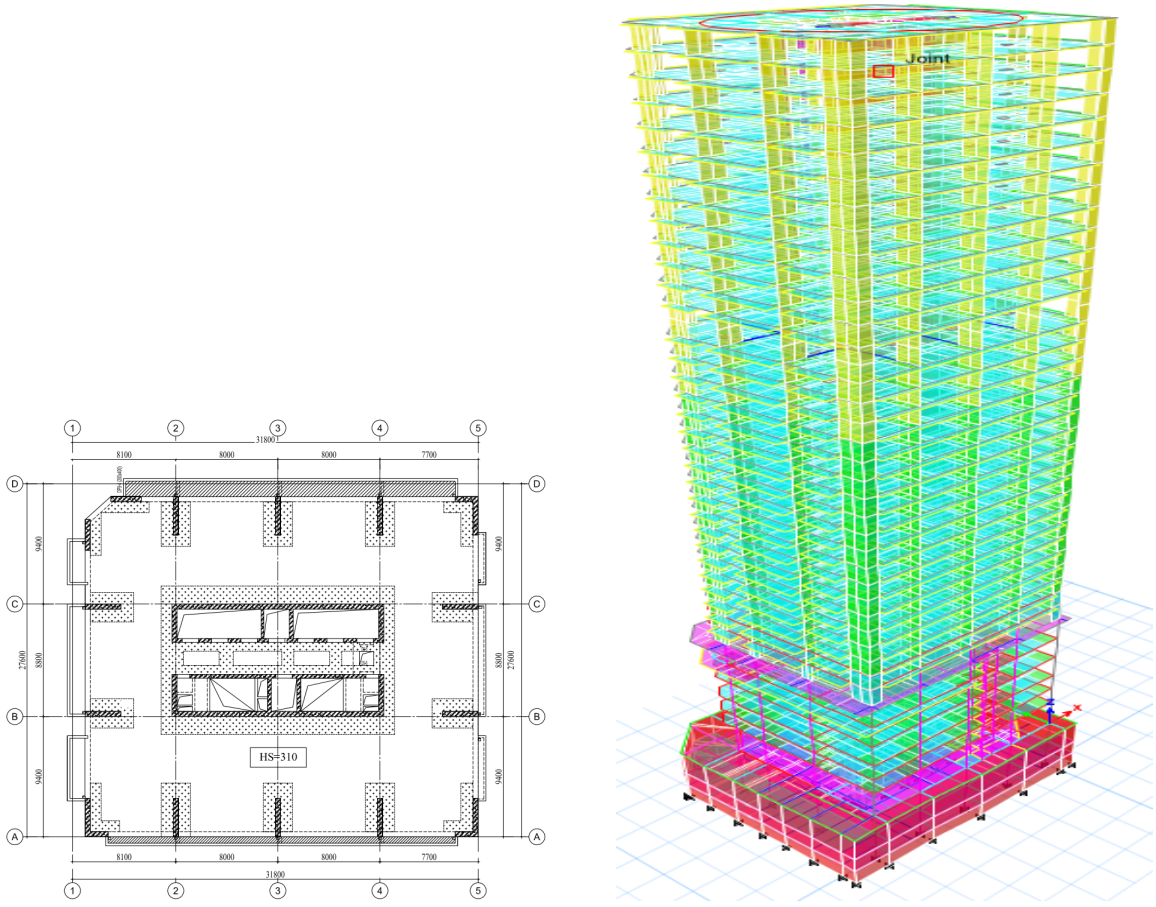
Hình 4. Mặt bằng kết cấu và mô hình phân tích kết cấu 20 tầng

- Vị trí công trình: Thành phố Thanh Hóa.

- Công trình gồm 20 tầng với 1 tầng dịch vụ và 19 tầng căn hộ, có chiều cao 67,75 m trong đó tầng từ 1 cao 4,5 m và các tầng căn hộ cao 3,1 m.

- Công trình sử dụng hệ kết cấu vách chịu lực kết hợp hệ sàn rỗng lõi xốp không dầm. Hệ lõi dày 30 cm và hệ vách kích thước 25 × 250 cm sử dụng bê tông B30 [11]. Kết cấu sàn BTCT gồm phần sàn đặc ở khu vực quanh vị trí cột, vách (phần nấm) và phần sàn rỗng lõi xốp cùng chiều dày 230 mm sử dụng bê tông B25 [11]. Các tấm xốp dùng làm lõi cho phần sàn rỗng ở khu vực giữa các nhịp có kích thước 380 × 380 × 120 mm, bố trí theo hai phương sàn với khoảng cách giữa các tấm là 90 mm. Mặt bằng kết cấu và mô hình tổng thể hệ kết cấu được minh họa trong Hình 4.

b. Công trình kết cấu 40 tầng



(a) Mặt bằng kết cấu tầng điển hình

(b) Mô hình phân tích trong Etabs

Hình 5. Mặt bằng kết cấu và mô hình phân tích kết cấu 40 tầng

- Vị trí công trình: Thành phố Nha Trang, Khánh Hòa.

- Công trình gồm 40 tầng với các tầng dưới đỗ xe, thương mại dịch vụ và 33 tầng căn hộ. Công trình cao 140,7 m trong đó các tầng căn hộ cao 3,2 m.

- Công trình sử dụng hệ kết cấu vách chịu lực kết hợp hệ sàn rỗng lõi xốp không dầm. Hệ vách thang máy dày 30-40 cm chạy dọc theo phương đứng của toàn bộ công trình. Từ tầng hầm đến tầng

7 sử dụng hệ cột 80 × 80 cm, sau đó chuyển thành hệ vách phẳng có 40 × 240~300 cm tùy vị trí từ tầng 8 đến hết chiều cao công trình. Bê tông cột, vách giảm cấp độ bền theo chiều cao tầng: 13 tầng dưới cùng dùng B40, 12 tầng tiếp theo dùng B35 và 15 tầng trên cùng dùng B30 theo TCVN [11].

- Kết cấu sàn BTCT gồm hai phần sàn đặc ở khu vực quanh vị trí cột, vách (phần nấm) và phần sàn rỗng lõi xốp cùng chiều dày 310 mm, bê tông B25. Các tấm xốp dùng làm lõi cho phần sàn rỗng ở khu vực giữa các nhịp có kích thước 380 × 380 × 200 mm, bố trí theo hai phương sàn với khoảng cách giữa các tấm là 90 mm. Mặt bằng kết cấu và mô hình tổng thể hệ kết cấu được minh họa trong Hình 5.

3.2. Mô hình hóa công trình bằng phần mềm Etabs

Để phân tích ứng xử của kết cấu nhiều tầng có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp cơ học kết cấu, phương pháp biến phân, phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp phần tử hữu hạn. Trong các phương pháp này, phương pháp phần tử hữu hạn đang được sử dụng phổ biến do có thể giải quyết được bài toán với số lượng phần tử lớn, cho kết quả có độ chính xác cao trong thời gian ngắn với sự hỗ trợ của các phần mềm phân tích kết cấu chuyên dụng như Etabs. Do đó phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm Etabs được lựa chọn trong nghiên cứu này. Phần mềm Etabs cho phép mô hình hóa các cấu kiện vách, lõi, cột, dầm, sàn của kết cấu nhiều tầng thành các phần tử dưới 2 dạng: phần tử tấm và phần tử thanh. Chi tiết các loại phần tử này được miêu tả cụ thể trong hướng dẫn sử dụng của phần mềm [10]. Trong nghiên cứu này, các cấu kiện của cả hai kết cấu nhà cao 20 và 40 tầng được mô hình hóa dưới dạng các phần tử, cụ thể như sau:

- Cấu kiện cột và dầm (nếu có) được mô hình hóa sử dụng phần tử thanh (Frame) với các lựa chọn là cột (Column) và dầm (Beam) tương ứng.

- Cấu kiện vách và lõi được mô hình hóa sử dụng phần tử tấm tường (Wall).

- Nhằm xem xét ảnh hưởng của việc mô hình hóa sàn rỗng đến ứng xử của kết cấu, 5 mô hình khác nhau ứng với 5 cách mô hình hóa cấu kiện sàn rỗng như đã phân tích ở mục 2.2 sẽ được thực hiện. Mô hình 1, 2, 3, 4, sau đây sẽ gọi lần lượt là MH-1, MH-2, MH-3, MH-4, mô phỏng tấm sàn sử dụng phần tử tấm vỏ mỏng như mô tả lần lượt tương ứng trong các mục 2.2(i)-(iv). Trong khi đó Mô hình 5, sau đây sẽ gọi là MH-5, mô phỏng phần nấm của sàn bằng phần tử tấm vỏ mỏng và phần sàn rỗng bằng phần tử thanh dạng dầm với tiết diện chữ I như mô tả trong mục 2.2.(v).

Các thông số hình học và vật liệu khai báo cho cấu kiện sàn cụ thể như sau:

- MH-1: bằng cách quy đổi mô men quán tính qua mặt phẳng uốn tương đương, sàn đặc thay thế sàn rỗng có chiều dày h_0, từ đó bằng việc quy đổi tương đương khối lượng, khối lượng riêng của vật liệu cho sàn thay thế được xác định γ_{b0} như được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số hình học và vật liệu cho phần tử sàn trong MH-1

Kết cấu	Cấu kiện	Chiều dày h (mm)	γ vật liệu (kg/m^3)
20 tầng	Phần sàn nấm	230	2500
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	223	1876
40 tầng	Phần sàn nấm	310	2500
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	289	1702

- MH-2: bằng cách xét sự làm việc tương đương về khả năng chịu kéo, nén, uốn, trượt trong và ngoài mặt phẳng của phần tử đại diện sàn rỗng với phần tử sàn đặc thay thế có chiều dày như nhau, các thông số điều chỉnh độ cứng $\mu 11, \mu 22, \mu 12, \phi 11, \phi 22, \phi 12, \upsilon 13, \upsilon 23$ sẽ được xác định như đã được

trình bày ở các nghiên cứu trước đây [7, 8]. Trong nghiên cứu này, các thông số điều chỉnh độ cứng của sàn đặc thay thế sàn rỗng lõi xốp được xác định như thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số hình học và vật liệu cho phần tử sàn trong MH-2

Kết cấu	Cấu kiện	Chiều dày h (mm)	γ vật liệu (kg/m^3)	Các thông số điều chỉnh độ cứng				
				$\phi 11, \phi 22$	$\phi 12$	$\mu 11, \mu 22$	$\mu 12$	$\upsilon 13, \upsilon 23$
20 tầng	Phần sàn nấm	230	2500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	230	1816	0,57	0,60	0,90	0,75	0,42
40 tầng	Phần sàn nấm	310	2500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	310	1588	0,51	0,54	0,81	0,68	0,38

- MH-3: bằng việc quy đổi tương đương khối lượng, phần sàn rỗng được thay thế bằng sàn đặc có chiều dày h_0 tương ứng với hai loại sàn với khối lượng riêng của bê tông γ_b như được thể hiện trong Bảng 3.

- MH-4: bằng việc quy đổi tương đương khối lượng, toàn bộ phần nấm và phần sàn rỗng chiều dày h = 230 mm và 310 mm được thay thế bằng sàn đặc có chiều dày tương ứng $h_0 = 185,4$ mm và 224,4 mm với khối lượng riêng bê tông $\gamma_b = 2500$ kg/m^3.

- MH-5: phần nấm được mô hình sử dụng phần tử vỏ mỏng có chiều dày h, trong khi đó phần sàn rỗng được mô phỏng thay thế bằng hệ dầm chữ I có bề rộng cánh trên và dưới $b_f = 470$ mm, chiều dày cánh trên và dưới $h_f = 55$ mm, bề rộng sườn $b = 90$ mm và chiều cao tổng thể tiết diện bằng chiều dày sàn rỗng, tức $h = 230$ mm cho kết cấu 20 tầng và $h = 310$ mm cho kết cấu 40 tầng. Các thông số vật liệu của phần nấm và hệ dầm chữ I giữ nguyên của vật liệu bê tông sử dụng, các dầm chữ I cách nhau khoảng cách các sườn trong sàn rỗng, tức 470 mm.

Bảng 3. Thông số hình học và vật liệu cho phần tử sàn trong MH-3

Kết cấu	Cấu kiện	Chiều dày h (mm)	γ vật liệu (kg/m^3)
20 tầng	Phần sàn nấm	230	2500
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	167	2500
40 tầng	Phần sàn nấm	310	2500
	Sàn đặc thay thế sàn rỗng	197	2500

3.3. Tải trọng tác dụng

a. Tải trọng đứng

- Tĩnh tải: bao gồm trọng lượng các lớp vật liệu cấu tạo nên công trình được quy định theo TCVN 2737:1995 [12], được quy thành tải phân bố đều trên sàn.

- Hoạt tải: được quy định theo TVCN 2737:1995 [12], bao gồm các thành phần ngắn hạn và dài hạn, được khai báo là tải trọng phân bố dều trên sàn tương ứng với từng loại công năng sàn theo bố trí mặt bằng kiến trúc.

b. Tải trọng ngang

Nghiên cứu xem xét ảnh hưởng đến ứng xử động học của công trình, do đó nghiên cứu chỉ kể đến tải trọng động đất và thành phần động của tải trọng gió.

- Tải trọng động đất được xem xét bằng cách nhập phổ phản ứng của công trình xác định theo TCVN 9386:2012 [13], Etabs sẽ tự động tính toán tác động của tải trọng này dựa vào phổ phản ứng được nhập vào phần mềm và bản thân kết cấu được mô phỏng.

- Thành phần động của tải trọng gió được xác định theo TCVN 2737:1995 [12], là các tải tập trung tại các mức sàn và được gán vào tâm khối lượng của sàn tại từng tầng trong phần mềm Etabs.

4. Kết quả và đánh giá

4.1. Dạng và chu kỳ dao động của kết cấu

Sau khi phân tích, kết quả các dạng dao động riêng và chu kỳ dao động là các đại lượng đặc trưng cho ứng xử động của hệ kết cấu nhà nhiều tầng được đưa ra để đánh giá. Bảng 4 tổng hợp 12 dạng dao động đầu tiên với các chu kỳ tương ứng nhận được từ 5 mô hình phân tích cho kết cấu 20 tầng, trong khi đó Bảng 5 thể hiện kết quả phân tích cho kết cấu 40 tầng.

Từ Bảng 4 nhận thấy rằng về cơ bản các mô hình mô phỏng kết cấu 20 tầng cho kết quả thứ tự các dạng dao động theo các phương là giống nhau trừ trường hợp dạng dao động 2 của MH-5. Dạng dao động 2 của các mô hình từ MH-1 đến MH-4 là dao động theo phương X, tuy nhiên của MH-5 là dao động xoắn. Điều này có thể được giải thích rằng về mặt hình học, việc mô phỏng sàn rỗng thành các dầm chữ I là chấp nhận được, tuy nhiên liên kết giữa các dầm I này với phần sàn đặc (phần nấm) có thể chưa phản ánh đúng liên kết giữa phần nấm và phần sàn rỗng trong thực tế. Sự sai khác này dẫn đến ứng xử tổng thể của công trình có sự sai khác, đặc biệt với công trình có kích thước hai phương chênh lệch nhau như kết cấu 20 tầng trong nghiên cứu này. Xem xét dạng dao động đầu tiên của kết cấu 20 tầng theo hai phương X và Y, có thể thấy rằng dao động đầu tiên theo phương X (dạng 2 của MH-1 đến MH-4 và dạng 3 của MH-5) và phương Y (dạng 1 của các mô hình) đều có tương quan giống nhau giữa các mô hình, đó là chu kì dao động tăng dần theo thứ tự MH-1, MH-2, MH-5, MH-3, MH-4, trong đó chu kì dao động của MH-1 và MH-2 là gần như nhau. Dạng dao động 1 của các mô hình theo phương Y phù hợp với thực tế mặt bằng kết cấu 20 tầng khi độ cứng tổng thể của kết cấu này theo phương Y nhỏ hơn theo phương X.

Bảng 4. Dạng và chu kỳ dao động của kết cấu 20 tầng

Dao động	Phương dao động chính					Chu kỳ T (s)				
	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5
1	Y	Y	Y	Y	Y	3,161	3,168	3,347	3,735	3,294
2	X	X	X	X	Xoắn	2,135	2,143	2,319	2,446	2,342
3	X	X	X	X	X	2,055	2,062	2,248	2,360	2,190
4	Y	Y	Y	Y	Y	0,997	0,999	1,050	1,159	1,037
5	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	0,636	0,638	0,677	0,704	0,696
6	X	X	X	X	X	0,584	0,585	0,628	0,654	0,614
7	Y	Y	Y	Y	Y	0,542	0,543	0,566	0,615	0,562
8	Y	Y	Y	Y	Y	0,349	0,35	0,361	0,385	0,361
9	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	0,321	0,322	0,336	0,346	0,349
10	X	X	X	X	X	0,278	0,279	0,292	0,299	0,290
11	Y	Y	Y	Y	Y	0,244	0,244	0,250	0,263	0,251
12	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	0,194	0,194	0,200	0,204	0,210

Bảng 5. Dạng và chu kỳ dao động của kết cấu 40 tầng

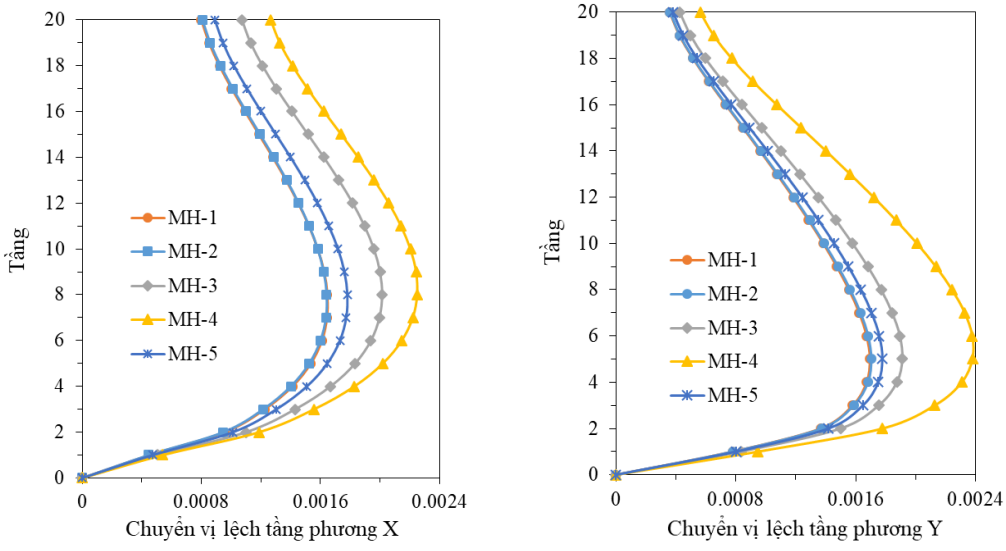
Dao động	Phương dao động chính					Chu kỳ T (s)				
	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5	MH-1	MH-2	MH-3	MH-4	MH-5
1	Y	Y	Y	Y	Y	4,173	4,200	4,583	4,914	4,270
2	X	X	X	X	X	3,020	3,038	3,194	3,300	3,100
3	X	X	X	X	X	2,528	2,549	2,658	2,782	2,697
4	Y	Y	Y	Y	Y	1,257	1,264	1,358	1,453	1,285
5	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	0,861	0,866	0,899	0,937	0,914
6	X	X	X	Y	X	0,712	0,716	0,738	0,771	0,725
7	Y	Y	Y	X	Y	0,657	0,660	0,716	0,749	0,671
8	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	Xoắn	0,501	0,502	0,521	0,545	0,526
9	Y	Y	Y	Y	Y	0,402	0,404	0,432	0,458	0,410
10	X	X	X	X	X	0,325	0,326	0,336	0,346	0,341
11	X	X	X	X	X	0,315	0,315	0,322	0,325	0,319
12	Y	Y	Y	Y	Y	0,268	0,270	0,283	0,294	0,273

Kết quả thứ tự và phương các dạng dao động của kết cấu 40 tầng theo các mô hình là hoàn toàn giống nhau kể cả MH-5. Có thể kích thước công trình theo hai phương X và Y tương đồng nhau của kết cấu 40 tầng dẫn đến việc mô hình hóa sàn rồng bằng hệ dầm I không ảnh hưởng đến thứ tự và phương các dao động của công trình. Tương tự như kết cấu 20 tầng, dao động đầu tiên theo phương X (dạng 2 của các mô hình) và phương Y (dạng 1 của các mô hình) của kết cấu 40 tầng đều có tương quan giống nhau giữa các mô hình, đó là chu kì dao động tăng dần theo thứ tự MH-1, MH-2, MH-5, MH-3, MH-4, trong đó chu kì dao động của MH-1 và MH-2 là gần như nhau. Dạng dao động 1 của các mô hình theo phương Y cũng hoàn toàn phù hợp với thực tế mặt bằng kết cấu 40 tầng khi độ cứng tổng thể của kết cấu này theo phương Y nhỏ hơn theo phương X là phương có hệ vách dài của lõi thang máy. Kết quả trên cho thấy độ tin cậy của các phương pháp mô phỏng theo MH-1 đến MH-4, trong khi đó phương pháp mô phỏng sàn rỗng theo MH-5 cần được xem xét thêm kể đến các yếu tố ảnh hưởng như sự chênh lệch của kích thước và độ cứng công trình theo các phương.

4.2. Chuyển vị ngang do thành phần động của tải trọng gió

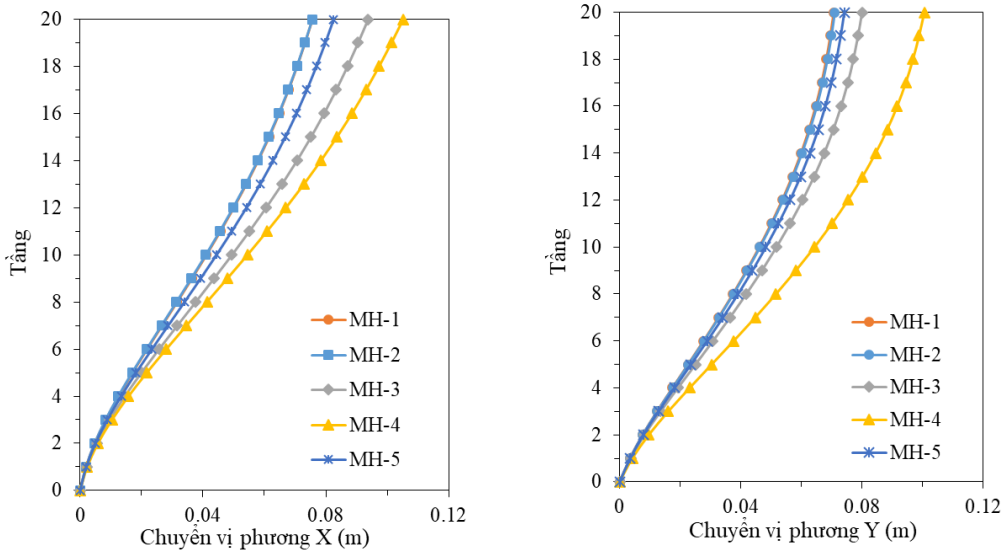
Chuyển vị ngang bao gồm chuyển vị tương đối giữa các tầng (lệch tầng) và chuyển vị ngang tuyệt đối tại các tầng là các yếu tố quan trọng bậc nhất để đánh giá ổn định tổng thể của kết cấu. Hình 6 và 7 lần lượt thể hiện chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối theo các phương X và Y do thành phần gió động theo các phương tương ứng gây nên trong kết cấu 20 tầng thu được từ kết quả phân tích 5 mô hình. Về mặt định tính, có thể thấy rằng chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối của kết cấu 20 tầng thu được từ các mô hình phù hợp với chu kì dao động của các mô hình đó. Cả chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối theo các phương X và Y đều tăng theo thứ tự MH-1, MH-2, MH-5, MH-3, MH-4, trong đó kết quả của MH-1 và MH-2 gần như trùng khớp nhau do việc mô hình hóa sàn không quá khác nhau và kết quả chu kì dao động đầu tiên theo từng phương cũng tương đồng nhau.

Kết quả tương tự cũng thu được từ các mô hình mô phỏng kết cấu 40 tầng, như được thể hiện ở Hình 8 cho chuyển vị lệch tầng và ở Hình 9 cho chuyển vị ngang tuyệt đối. Cần lưu ý rằng chuyển vị ngang tương đối của kết cấu 40 tầng thu được từ tất cả các mô hình theo cả hai phương X và Y đều có



(a) Gió phương X (b) Gió phương Y

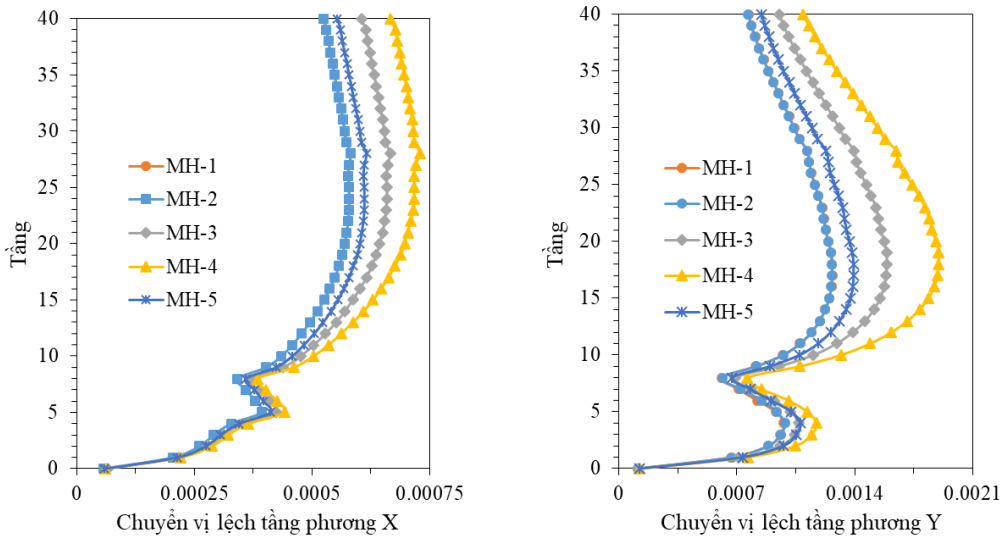
Hình 6. Chuyển vị lệch tầng của kết cấu 20 tầng do thành phần động của tải gió



(a) Gió phương X (b) Gió phương Y

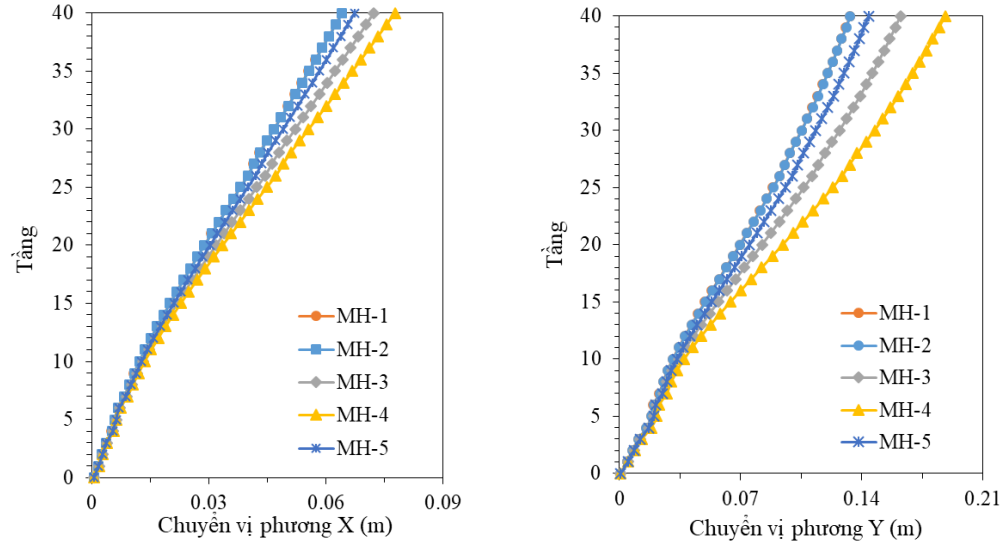
Hình 7. Chuyển vị ngang của kết cấu 20 tầng do thành phần động của tải gió

sự biến thiên đột ngột tại vị trí tầng 7 lên tầng 8 do tại đây có sự thay đổi đột ngột về độ cứng công trình khi hệ cột 80 × 80 cm được chuyển thành hệ vách phẳng dày 40 cm. Kết quả trên cho thấy độ tin cậy của các phương pháp mô phỏng theo mô hình 1 đến 5 trong việc xem xét tác động của tải trọng gió động đến chuyển vị ngang công trình cao tầng.



(a) Gió phương X (b) Gió phương Y

Hình 8. Chuyển vị lệch tầng của kết cấu 40 tầng do thành phần động của tải gió

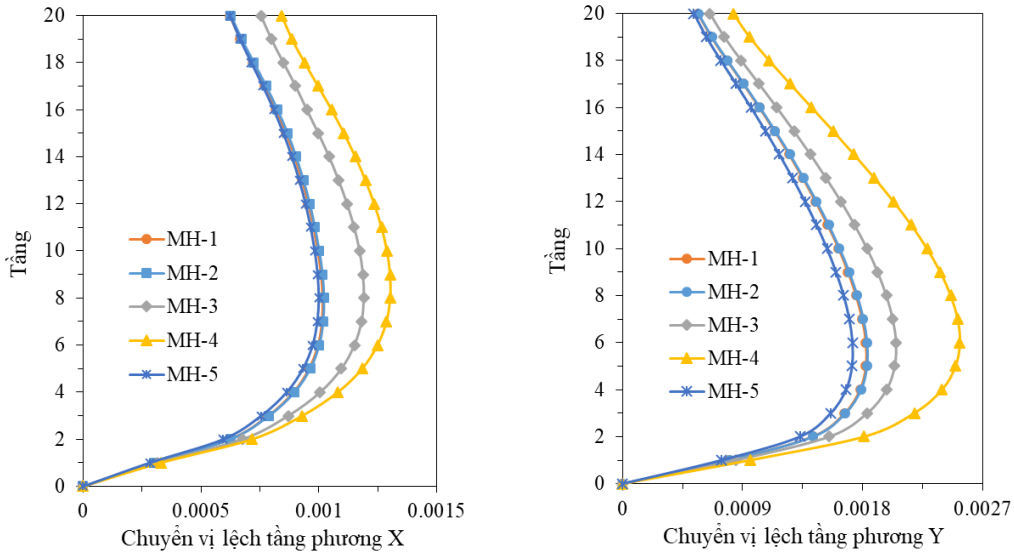


(a) Gió phương X (b) Gió phương Y

Hình 9. Chuyển vị ngang của kết cấu 40 tầng do thành phần động của tải gió

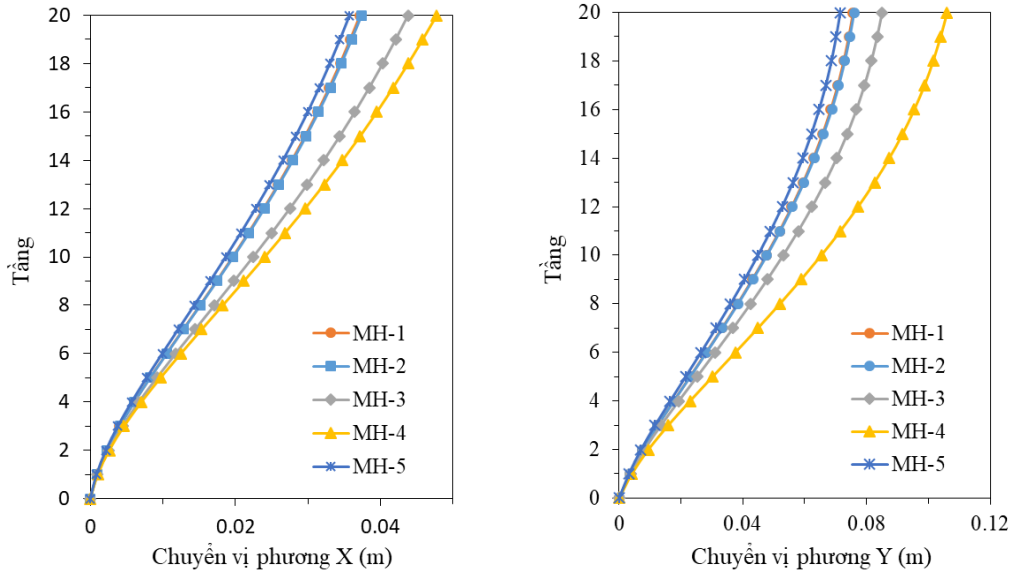
4.3. Chuyển vị ngang do tải trọng động đất

Hình 10 và 11 lần lượt thể hiện chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối theo các phương X và Y do tải trọng động đất theo các phương tương ứng gây nên trong kết cấu 40 tầng thu được từ kết quả phân tích 5 mô hình. Có thể thấy rằng chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối của kết cấu 40 tầng thu được từ các MH-1 đến MH-4 phù hợp với chu kì dao động của các mô hình đó. Cả chuyển vị lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối theo các phương X và Y đều tăng theo thứ tự từ



(a) Động đất phương X (b) Động đất phương Y

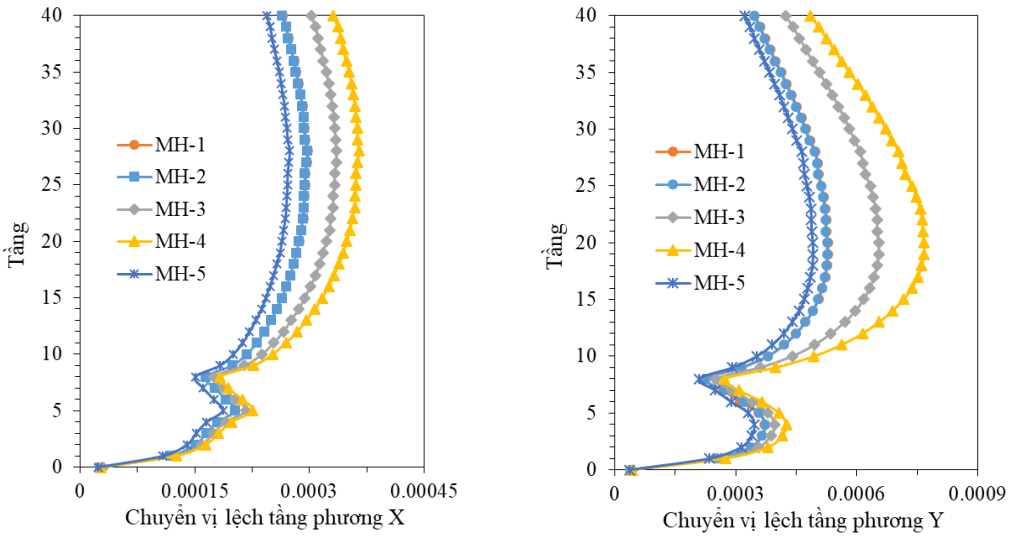
Hình 10. Chuyển vị lệch tầng của kết cấu 20 tầng do tải trọng động đất



(a) Động đất phương X (b) Động đất phương Y

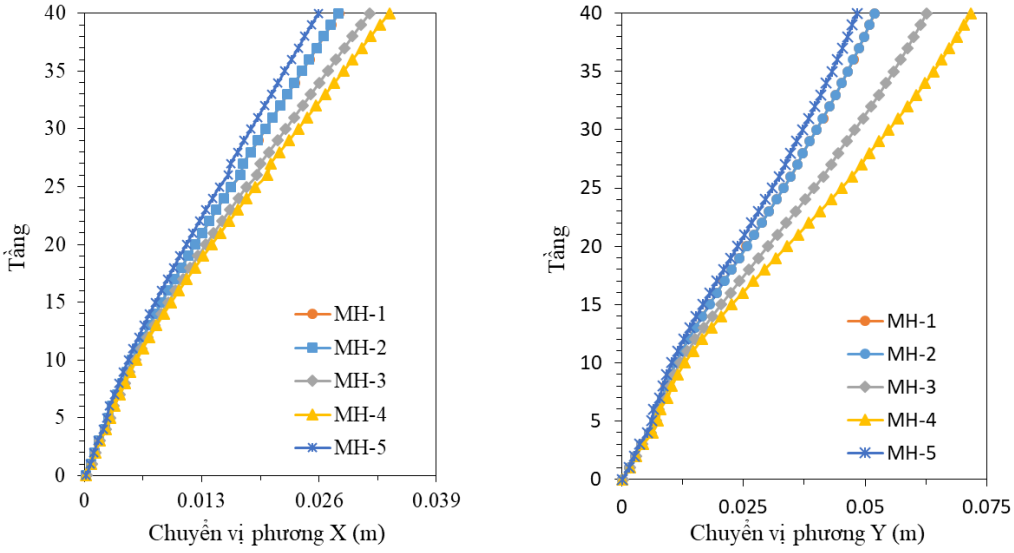
Hình 11. Chuyển vị ngang của kết cấu 20 tầng do tải trọng động đất

MH-1 đến MH-4, trong đó kết quả của MH-1 và MH-2 gần như trùng khớp nhau. Kết quả tương tự cũng thu được từ các mô hình mô phỏng kết cấu 40 tầng, như được thể hiện ở Hình 12 và Hình 13. Chuyển vị lệch tầng của kết cấu 40 tầng thu được từ tất cả các mô hình theo cả hai phương X và Y cũng đều có sự biến thiên đột ngột tại vị trí tầng 7 lên tầng 8 do tại đây có sự thay đổi đột ngột về độ cứng công trình như đã phân tích ở trên. Với riêng MH-5 của cả hai kết cấu 20 và 40 tầng, chuyển vị



(a) Động đất phương X (b) Động đất phương Y

Hình 12. Chuyển vị lệch tầng của kết cấu 40 tầng do tải trọng động đất



(a) Động đất phương X (b) Động đất phương Y

Hình 13. Chuyển vị ngang của kết cấu 40 tầng do tải trọng động đất

lệch tầng và chuyển vị ngang tuyệt đối theo các phương X và Y do tải trọng động đất theo các phương tương ứng gây nên đều nhỏ nhất trong kết quả các mô hình. Do tải trọng động đất được Etabs tự động tính toán thông qua phổ phản ứng và bản thân mô hình kết cấu, ngoài ra việc mô phỏng hệ dầm I thay thế sàn rỗng hoàn toàn tương đương về mặt độ cứng và khối lượng cho thấy trong MH-5 cho thấy liên kết giữa hệ dầm I và phần sàn nấm chưa phản ánh sát liên kết giữa hai phần sàn nấm đặc và sàn rỗng. Kết quả trên cho thấy độ tin cậy của các phương pháp mô phỏng theo MH-1 đến MH-4 trong

việc xem xét tác động của tải trọng động đất đến chuyển vị ngang công trình cao tầng, trong khi đó phương pháp mô phỏng sàn rỗng theo MH-5 cần được xem xét thêm kể đến liên kết giữa hệ dầm I và phần sàn nấm đặc.

4.4. Ảnh hưởng của các mô hình hóa sàn rỗng đến phản ứng động của kết cấu nhiều tầng

Để xem xét được ảnh hưởng của các giải pháp mô hình hóa sàn rỗng đến phản ứng động học của nhà nhiều tầng, các kết quả định lượng về chu kì dao động, chuyển vị lệch tầng lớn nhất, chuyển vị ngang tuyệt đối lớn nhất theo các phương do tải trọng gió động và động đất thu được từ các mô hình sẽ được so sánh. Như đã phân tích ở trên, phương pháp mô phỏng sàn rỗng trong MH-2 có thể được coi là phản ánh chính xác nhất sự làm việc của sàn rỗng, do đó kết quả phân tích thu được từ MH-2 được lựa chọn làm tiêu chí so sánh. Bảng 6 và 7 thể hiện kết quả so sánh về mặt định lượng kết quả chu kì dao động, chuyển vị lệch tầng lớn nhất, chuyển vị ngang tuyệt đối lớn nhất theo các phương do tải trọng gió động và động đất gây ra theo các phương X và Y giữa MH-1, 3, 4 so với MH-2 của kết cấu 20 và 40 tầng. Kết quả MH-5 không được đưa ra so sánh do phương pháp mô phỏng trong mô hình này chưa cho kết quả tin cậy.

Bảng 6. So sánh kết quả phản ứng động giữa các mô hình của kết cấu 20 tầng

Đại lượng so sánh	Phương	MH-2	MH-1		MH-3		MH-4	
		Giá trị	Giá trị	Chênh lệch*	Giá trị	Chênh lệch	Giá trị	Chênh lệch
Chu kì dao động đầu tiên (s)	X	2,1430	2,1350	−0,4%	2,3190	8,2%	2,4460	14,1%
	Y	3,1680	3,1610	−0,2%	3,3470	5,7%	3,7350	17,9%
Chuyển vị lệch tầng lớn nhất do gió động	X	0,0016	0,0016	0,3%	0,0020	22,7%	0,0022	37,0%
	Y	0,0017	0,0017	−0,5%	0,0019	12,2%	0,0024	39,6%
Chuyển vị lớn nhất do gió động (m)	X	0,0756	0,0756	0,1%	0,0938	24,0%	0,1052	39,1%
	Y	0,0711	0,0707	−0,5%	0,0801	12,6%	0,1006	41,6%
Chuyển vị lệch tầng lớn nhất do động đất	X	0,0010	0,0010	−0,6%	0,0012	16,6%	0,0013	27,5%
	Y	0,0018	0,0018	−0,5%	0,0021	11,8%	0,0025	37,9%
Chuyển vị lớn nhất do động đất (m)	X	0,0374	0,0372	−0,5%	0,0438	17,1%	0,0478	27,7%
	Y	0,0760	0,0756	−0,5%	0,0850	11,9%	0,1061	39,6%

* Độ chênh lệch so với các giá trị của MH-2.

Từ kết quả so sánh ở Bảng 6 và 7 có thể rút ra một số nhận xét, đánh giá sau:

- Chu kì dao động, chuyển vị ngang do các tải trọng động gây ra trên cả hai kết cấu 20 và 40 tầng thu được từ MH-1 và MH-2 là gần như nhau với sự sai khác dưới 0,6%. Do đó khi xem xét ứng xử động của kết cấu có thể sử dụng MH-1 để mô phỏng công trình, vừa cho kết quả phản ánh đúng sự làm việc của kết cấu vừa đơn giản trong thực hành. Về bản chất phương pháp quy đổi độ cứng chống uốn của sàn rỗng theo MH-1 và MH-2 là như nhau. MH-2 xem xét thêm các thông số điều chỉnh độ cứng chống cắt, kéo nén trong và ngoài mặt phẳng sàn, sẽ rất có ý nghĩa khi xem xét sự làm việc của bản thân sàn nhưng không mang nhiều ý nghĩa khi xem xét phản ứng động của tổng thể kết cấu. Lý do chính là khi xem xét ứng xử động của kết cấu, các tấm sàn được coi là cứng trong mặt phẳng sàn, tập trung khối lượng tại một tâm.

Bảng 7. So sánh kết quả phản ứng động giữa các mô hình của kết cấu 40 tầng

Đại lượng so sánh	Phương	MH-2	MH-1		MH-3		MH-4	
		Giá trị	Giá trị	Chênh lệch*	Giá trị	Chênh lệch	Giá trị	Chênh lệch
Chu kì dao động đầu tiên (s)	X	3,0380	3,0200	−0,6%	3,1940	5,1%	3,3000	8,6%
	Y	4,2000	4,1730	−0,6%	4,5830	9,1%	4,9140	17,0%
Chuyển vị lệch tầng lớn nhất do gió động	X	0,0006	0,0006	0,2%	0,0007	14,4%	0,0007	25,3%
	Y	0,0013	0,0013	0,1%	0,0016	25,7%	0,0019	50,0%
Chuyển vị lớn nhất do gió động (m)	X	0,0641	0,0641	−0,1%	0,0722	12,5%	0,0776	21,0%
	Y	0,1334	0,1333	−0,1%	0,1623	21,7%	0,1881	41,0%
Chuyển vị lệch tầng lớn nhất do động đất	X	0,0003	0,0003	0,3%	0,0003	12,8%	0,0004	22,9%
	Y	0,0005	0,0005	0,4%	0,0007	24,1%	0,0008	45,5%
Chuyển vị lớn nhất do động đất (m)	X	0,0282	0,0282	0,1%	0,0316	12,2%	0,0338	20,0%
	Y	0,0519	0,0519	0,1%	0,0626	20,7%	0,0717	38,3%

* Độ chênh lệch so với các giá trị của MH-2.

- So sánh kết quả thu được từ MH-4 và MH-2 cho thấy ảnh hưởng rất lớn của mô hình hóa sàn rỗng đến phản ứng động học của kết cấu. So với phương pháp mô hình hóa sàn rỗng bằng sàn đặc có cùng chiều dày nhưng tương đương về các thông số điều chỉnh độ cứng và khối lượng thì việc mô hình hóa sàn rỗng bằng sàn đặc chỉ tương đương về khối lượng cho chu kỳ dao động tăng từ 8,6% đến 17,9% tùy phương và kết cấu. Chuyển vị lệch tầng do tải trọng gió động tác dụng tăng từ 25,3% đến 50,0%, trong khi đó chuyển vị ngang tuyệt đối tăng từ 21,0% đến 41,6% tùy phương và kết cấu. Ảnh hưởng của tải trọng động đất ít hơn só với gió động nhưng cũng rất lớn. Chuyển vị lệch tầng do động đất tăng từ 22,9% đến 45,5%, trong khi đó chuyển vị ngang tuyệt đối tăng từ 20,0% đến 39,6% tùy phương và kết cấu.

- MH-3 có thể coi là phương pháp mô phỏng kết hợp giữa MH-4 và MH-2. Kết quả các yếu tố khảo sát thu được từ mô hình này rơi vào khoảng giữa giá trị thu được từ MH-4 và MH-2 chứng tỏ rằng các kết quả thu được từ các mô hình phân tích là chính xác và có độ tin cậy cao.

5. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày các phương pháp mô phỏng kết cấu sàn rỗng trong nhà nhiều tầng BTCT, từ đó gợi ý phương pháp thực hành trong phân tích ứng xử động kết cấu nhà nhiều tầng đồng thời xem xét được ảnh hưởng của phương pháp mô hình hóa sàn rỗng tới các ứng xử động này. Từ các kết quả phân tích, nhận thấy:

- Có nhiều phương pháp khả thi có thể mô phỏng sự làm việc của kết cấu nhà nhiều tầng sử dụng sàn rỗng bằng phần mềm Etabs. MH-1 có thể sử dụng khi mô hình hóa kết cấu để phân tích ứng xử động cũng như ổn định tổng thể công trình nhằm đơn giản hóa trong thực hành nhưng vẫn cho kết quả sát thực. MH-2 cần thiết được sử dụng khi xem xét sự làm việc của bản thân tấm sàn. MH-5 có thể sử dụng được tuy nhiên cần xem xét thêm các yếu tố về tương quan kích thước công trình theo các phương và liên kết của hệ dầm I thay thế sàn rỗng với phần sàn nấm đặc.

- Phương pháp mô hình hóa sàn rỗng ảnh hưởng rất lớn đến phản ứng động học của kết cấu nhà cao tầng. Với 2 kết cấu thông dụng 20 và 40 tầng được khảo sát, mô hình hóa sàn rỗng theo các mô hình khác nhau cho kết quả chu kỳ dao động, chuyển vị ngang dưới tác dụng gió động và động đất khác nhau rất nhiều về mặt định lượng.

- So với phương pháp mô hình hóa sàn rỗng bằng sàn đặc có cùng chiều dày nhưng tương đương về các thông số điều chỉnh độ cứng và khối lượng thì việc mô hình hóa sàn rỗng bằng sàn đặc chỉ tương đương về khối lượng cho chu kỳ dao động tăng từ 8,6% đến 17,9% tùy phương và kết cấu. Chuyển vị lệch tầng do tải trọng gió động tác dụng tăng từ 25,3% đến 50,0%, chuyển vị ngang tuyệt đối tăng từ 21,0% đến 41,6% tùy phương và kết cấu. Dưới tác dụng của tải trọng động đất, chuyển vị lệch tầng tăng từ 22,9% đến 45,5%, trong khi đó chuyển vị ngang tuyệt đối tăng từ 20,0% đến 39,6% tùy phương và kết cấu.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của trường Đại học Xây dựng cho Đề tài Nghiên cứu Khoa học sinh viên 2020: "Khảo sát phản ứng động học của nhà nhiều tầng bê tông cốt thép sử dụng sàn lõi rỗng S-VRO bằng các dạng mô hình khác nhau", mã số: XD-2020-17.

Tài liệu tham khảo

[1] Minh, P. Q. (2009). Hiệu quả sử dụng bê tông cường độ cao trong thiết kế kết cấu nhà nhiều tầng. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 3(2).

[2] Dương, N. T. (2017). *Sử dụng sàn rỗng cho công trình dân dụng : Nguyên lý tính toán, thiết kế, thi công và hiệu quả kinh tế*. Hội thảo Toàn quốc lần thứ 30 – Hội Kết cấu và Công nghệ Xây dựng Việt Nam, Hà Nội.

[3] Minh, P. Q. (2010). *Sàn phẳng bê tông ứng lực trước căng sau*. Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[4] Trung, N. T., Minh, P. Q. (2008). Thiết kế dầm chịu uốn bằng bê tông ứng lực trước căng sau theo TCXDVN 356: 2005. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 2(1).

[5] *Etabs*. CSI – Computer and Structure Inc.

[6] Linh, N. N., Anh, N. V. (2019). Nghiên cứu ứng xử của nhà nhiều tầng có kết cấu dầm chuyển chịu tải trọng gió sử dụng phần mềm ETABS. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXD*, 13 (3V):31–41.

[7] Dương, N. T. (2018). Thông số điều chỉnh độ cứng trong thiết kế kết cấu sàn rỗng theo mô hình phần tử vỏ mỏng với phần mềm Etabs. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (3/2018):13–19.

[8] Dương, N. T. (2018). Thông số cơ học tương đương trong tính toán chịu uốn sàn rỗng bê tông cốt thép. *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, 209–211.

[9] https://wiki.csiamerica.com. *Thin vs. Thick Shells*. Truy cập ngày 13/01/2020.

[10] https://wiki.csiamerica.com. *ETABS Training Manuals*. Truy cập ngày 13/01/2020.

[11] TCVN 5574:2018. *Kết cấu Bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế*. Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội.

[12] TCVN 2737:1995. *Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế*. Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội.

[13] TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất*. Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội.