



PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA VỊ TRÍ HAI TẦNG CỨNG TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP NHÀ NHIỀU TẦNG CHỊU TẢI ĐỊA CHẤN

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF THE TWO STIFF - STOREY FOR HIGH -RISE BUILDINGS SUBJECTED TO EARTHQUAKE

Nguyễn Đình Du^{1,a*}, Nguyễn Khánh Hùng^{1,b}

¹ Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng
^adingdu85@gmail.com, ^bnguyenkhanhung@lhu.edu.vn

TÓM TẮT. Mức độ nguy hại của địa chấn đối với công trình nhà cao tầng là rất lớn. Việc thiết kế kết cấu có thể kháng chấn luôn là đề tài thu hút nhiều nhà khoa học tham gia. Một trong những phương pháp đơn giản để tăng khả năng kháng chấn là bố trí tầng cứng trong kết cấu khung. Trong nghiên cứu này, vị trí làm việc hiệu quả của hai tầng cứng trong kết cấu bê tông cốt thép nhà nhiều tầng sẽ được phân tích. Nghiên cứu chỉ dừng ở mức đánh giá về mặt kỹ thuật, chưa xét đến các chỉ tiêu về kinh tế. Sự hiệu quả của nghiên cứu thông qua khảo sát bằng phương pháp số, mô phỏng công trình chịu tác động địa chấn được tính theo TCVN 9386:2012 và phương pháp động theo miền thời gian.

TỪ KHOẢ. tầng cứng, kết cấu nhà nhiều tầng, phương pháp động theo miền thời gian, địa chấn công trình

ABSTRACT. The level of seismic hazard to high-rise buildings is very great. The design of structures that can resist shock is always a topic that attracts many scientists to participate. One of the simplest methods to increase seismic resistance is to place a hard stratum in a frame structure. In this study, the effective working position of two hard floors in reinforced concrete structures of multi-storey houses will be analyzed. The research just stops at technical evaluation level, not considering economic indicators. The effectiveness of research through survey by numerical methods, simulating works subject to seismic impact is calculated according to TCVN 9386: 2012 and dynamic method by time domain.

KEYWORDS. stiff – storey, high - rise buildings, time history, earthquake

1. GIỚI THIỆU

Nhà cao tầng là loại công trình xây dựng lớn và phức tạp. Không giống như các công trình thấp tầng khi chịu tác dụng chủ yếu của tải trọng đứng thì nhà cao tầng với chiều cao lớn, sự làm việc của nó như một console có độ mảnh lớn khi chịu tác dụng của tải trọng ngang, cụ thể ở đây là tải địa chấn, làm cho chuyển vị ngang của công trình lớn gây ra nội lực lớn trong hệ kết cấu cũng như ảnh hưởng đến tâm lý của người sử dụng.

Với sự phát triển về công nghệ xây dựng cũng tạo ra nhiều thách thức cho môn khoa học kết cấu công trình. Các tòa nhà cao tầng ngày càng mảnh hơn, cường độ vật liệu ngày càng cao hơn. Đặc biệt, việc sử dụng tầng cứng cho nhà siêu cao tầng ngày càng phổ biến hơn. Vị trí tầng cứng và số tầng cứng trong kết cấu nhà cao tầng luôn là hướng xử lý đơn giản cho việc kháng chấn hiệu quả. Nhà cao tầng có một tầng cứng có thể tìm thấy trong nghiên cứu của Nguyễn Hồng Hải [1]. Đối với công trình có hai tầng cứng, McNabb và Muvdi [2] nghiên cứu sự làm việc của nhà cao tầng có 2 tầng cứng với mục đích tìm ra vị trí tầng cứng tối ưu sao cho chuyển vị đỉnh công trình là nhỏ nhất. Mô hình nhiều tầng cứng cũng được hai tác giả Smith và Salim công bố trong nghiên cứu trước đây [3]. Kết quả cho thấy sự làm việc của kết cấu phụ thuộc vào tỉ số độ cứng của lõi – cột, lõi – tầng cứng, số lượng tầng cứng và vị trí tầng cứng, một điểm chung là chuyển vị ngang càng giảm khi nhà có nhiều tầng cứng. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng nhà có 4 tầng cứng thì làm việc hiệu quả nhất, nhiều hơn 4 thì tác dụng của tầng cứng thấp đi về mặt kỹ thuật.

Nước ta nằm trong khu vực có tần suất xảy ra các trận động đất là thấp, những trận động đất mạnh thường xảy ra ở miền Bắc và có thể lên đến cấp VIII (theo thang MSK-64). Phần lãnh thổ còn lại thì cường độ yếu đến rất yếu. Theo thống kê của Nguyễn Hồng Hải [1] thì trong những năm gần

đây, tần suất xuất hiện động đất ngày càng nhiều, gây tâm lý bất ổn cho những dân cư sống trong thành thị nói chung và trong những ngôi nhà cao tầng nói riêng. Có thể liệt kê như động đất ngoài khơi Vũng Tàu - Phan Thiết ngày 28/11/2007, M=5,1 độ Richter, gây chấn động cấp IV theo thang MSK64 (tháng 12 cấp) ở khu vực TP HCM, trận động đất Ngày 23/6/2010 xảy ra trận động đất ở khu vực ngoài khơi Vũng Tàu - Phan Thiết, M=4,7 độ Richter, gây nên chấn động cấp 4 ở khu vực TP HCM và thành phố Vũng Tàu. Đặc biệt gần đây trận động đất 7 độ Richter xảy ra ở Myanmar ngày 24/3/2011 gần biên giới 3 nước Lào – Thái Lan – Myanmar đã gây ra chấn động cấp V tại Hà Nội và cấp VI tại một số nơi tại khu vực Tây Bắc. Do đó, việc khảo sát sự ảnh hưởng của vị trí hai tầng cứng trong kết cấu bê tông cốt thép nhà cao tầng khi địa chấn xảy ra là cần thiết trong nghiên cứu này.

2. TẦNG CỨNG TRONG NHÀ CAO TẦNG

2.1 Sự làm việc của tầng cứng

Tầng cứng trong nhà cao tầng thông thường được thiết kế như một hệ dầm ngang, rất cứng (thường gọi là dầm cứng) hay tầng cứng kết nối lõi với các tường và cột ở phía ngoài, xem Hình 1. Theo đó, lõi thường được bố trí ở giữa các cột và dầm cứng phát triển ra các hướng để liên kết lõi và cột.

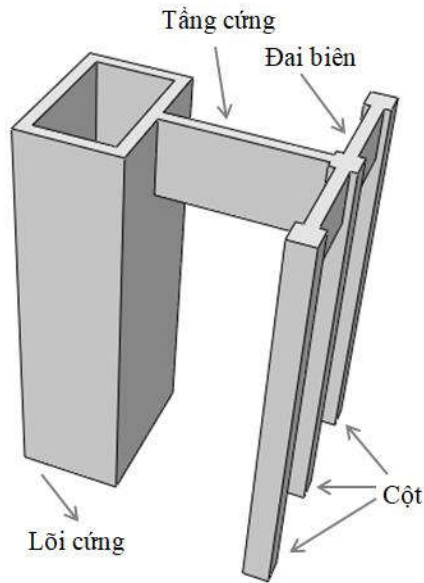
Khi có tải trọng ngang tác dụng vào công trình, các cột được liên kết với tầng cứng có thể ngăn cản góc xoay của lõi làm giảm đáng kể chuyển vị ngang trên đỉnh của lõi so với trường hợp lõi đứng tự do. Nguyên lý làm việc của hệ

Received: November, 20th 2018;

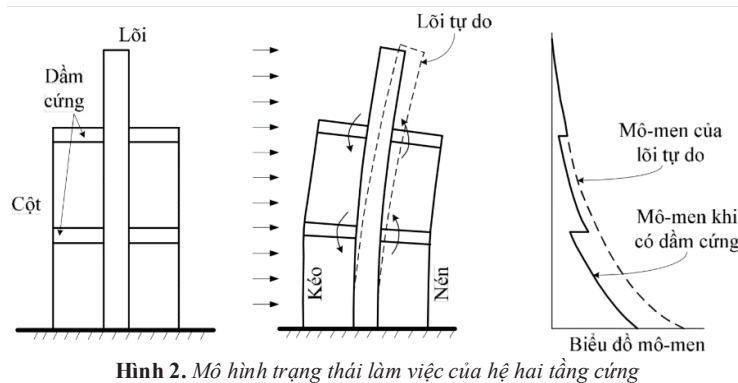
Accepted: January, 17th 2019

*Corresponding Author

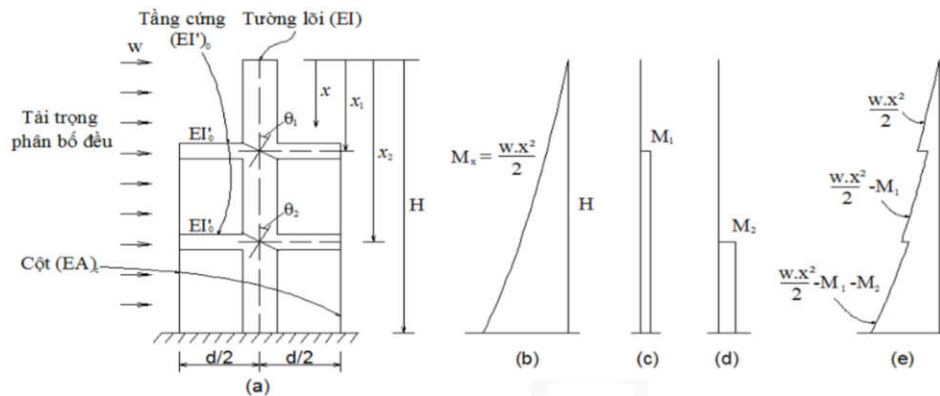
Email: dingdu85@gmail.com



Hình 1. Mô hình kết cấu nhà cao tầng được bố trí tầng cứng



Hình 2. Mô hình trạng thái làm việc của hệ hai tầng cứng



Hình 3. Mô hình sơ đồ tính xác định nội lực của lõi cứng trong hệ hai tầng cứng

thống này là sử dụng lõi để chịu hầu hết tải trọng ngang, đồng thời phân khả năng chịu cắt theo phương đứng từ lõi ra cột ngoài thông qua cánh tay đòn của tầng cứng. Những dầm cứng này được phát triển ra dầm đai biên (belt truss) cho phép các cột biên tham gia vào chịu moment lật. Do đó, khi tải trọng ngang tác động lên công trình, tầng cứng, các cột biên kết hợp cùng với đai biên ngăn cản góc xoay và làm giảm chuyển vị theo phương ngang của kết cấu. Hệ tầng cứng trong nhà cao tầng làm tăng độ cứng của công trình so với hệ kết cấu không dùng tầng cứng. Tầng cứng đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối lõi và các cột ngoài cùng chịu lực. Hệ thống này còn có tác dụng hạn chế sự khác nhau về việc co ngót lại giữa cột ngoài và lõi do tác động môi trường và

lực dọc gây ra. Hình 2 mô tả các trạng thái làm việc của hệ hai tầng cứng trong nhà cao tầng dưới tác dụng của tải trọng ngang.

Dựa trên một nguyên lý vật lý đơn giản để chuyển hóa lực cắt tầng từ lõi trung tâm thành lực dọc trong cột nằm ở biên công trình khi chịu tải trọng ngang. Thông qua một hoặc nhiều dầm cứng bố trí tại các vị trí hợp lý theo chiều cao, giúp tăng đáng kể độ cứng ngang của công trình. Hơn nữa, hệ kết cấu tầng cứng còn có ưu điểm là hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng chênh lệch biến dạng co ngót giữa cột ngoài và lõi do lực dọc gây ra. Hiện nay, hệ kết cấu này được áp dụng rất nhiều. Theo Nguyễn Hồng Hải (2015) có 73% kết cấu nhà cao tầng sử dụng hệ kết cấu lõi cứng – tầng cứng,

trong đó 50% là kết cấu bê tông cốt thép. Với ưu thế về khả năng làm việc, hệ kết cấu lõi – tầng cứng có thể cao tới 150 tầng.

2.2 Hệ phương trình giải tích của hệ hai tầng cứng trong nhà cao tầng

Với việc bố trí tầng cứng trong nhà cao tầng sẽ làm tăng độ cứng chống uốn một cách có hiệu quả. Sự làm việc của hệ hai tầng cứng được mô hình hóa một cách đơn giản bởi hai tác giả Smith và Coull [4] bao gồm các giả thiết như sau: kết cấu làm việc đàn hồi tuyến tính, chỉ có lực dọc tác dụng vào cột, tầng cứng được liên kết ngàm với lõi và khớp với cột, kết cấu phương đứng có tiết diện không đổi, chỉ có mô men uốn gây ra biến dạng chuyển vị và cuối cùng là bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt. Sơ đồ tính được thể hiện như trong Hình 3. Góc xoay của lõi tại vị trí tầng cứng 1 và 2 lần lượt được cho bởi phương trình sau:

$$\theta_1 = \left(\int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 \right) dx + \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx \right) \frac{1}{EI} \quad (1)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{EI} \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx$$

Trong đó: EI và H là độ cứng chống uốn và tổng chiều cao của lõi; w là cường độ tải trọng ngang; x_1, x_2 là độ cao tương ứng của các tầng cứng 1 và 2 tính từ đỉnh của lõi; M_1 và M_2 là những moment ngàm của các tầng cứng trên lõi.

Tương tự, góc xoay của tầng cứng tại vị trí nút 1 và 2 được viết như bên dưới:

$$\theta_1 = \frac{2M_1(H-x_1)}{d^2(EA)_c} + \frac{2M_2(H-x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_1 d}{12(EI)_o} \quad (2)$$

$$\theta_2 = \frac{2(M_1+M_2)(H-x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_2 d}{12(EI)_o}$$

Trong đó: $(EA)_c$ là độ cứng dọc trục của cột; $d/2$ là khoảng cách ngang từ cột đến trọng tâm của lõi; $(EI)_o$ là độ cứng uốn hiệu quả của tầng cứng.

Đồng nhất (1) và (2), bằng các phép biến đổi toán học dẫn đến giá trị moment uốn trong lõi được tính bởi công thức sau:

$$M_x = \frac{w \times x^2}{2} - M_1 - M_2 \quad (3)$$

Chuyển vị ngang của cấu trúc có thể được xác định từ biểu đồ moment uốn bằng cách sử dụng phương pháp nhân biểu đồ, kết quả nhận được như sau:

$$\Delta_o = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{1}{2EI} \left[M_1(H^2 - x_1^2) + M_2(H^2 - x_2^2) \right] \quad (4)$$

3. ĐỘNG ĐẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH

Tính toán kết cấu chịu tác động ngang do động đất được xem là một trong những khâu quan trọng trong thiết kế nhà cao tầng. Có nhiều phương pháp tính và chỉ dẫn tính khác nhau, xem trong [5]. Tuy nhiên, trong bài báo này chỉ trình bày ngắn gọn hai phương pháp tính đó là tính theo TCVN 9386:2012 và tính bằng phương pháp động theo miền thời gian.

3.1 Phương pháp phổ phản ứng theo TCVN 9386:2012

Phương pháp này được tính hoàn toàn tự động và được hỗ trợ trong các phiên bản Etab từ 9.5. Tùy theo địa hình, loại

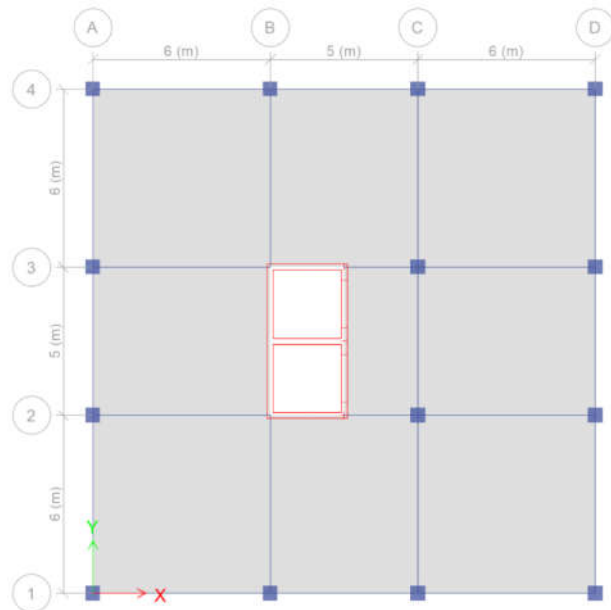
đất nền mà phổ phản ứng có thể được tạo ra theo TCVN 9386:2012. Sau đó được gán tự động vào phần mềm Etap để tính được tải trọng động đất. Các chỉ dẫn cụ thể có thể tìm thấy trong [1].

3.2 Phương pháp động theo miền thời gian

Phương pháp này được xây dựng trên cơ sở các biểu đồ gia tốc động đất có sẵn theo hàm thời gian. Phương pháp này được đánh giá là một trong những công cụ mạnh nhất để phân tích sự làm việc của kết cấu công trình dưới các tác động động học như va chạm, nổ, sóng, đặc biệt là tác động động đất. Khi áp dụng phương pháp phân tích động phi tuyến này, các thông số dao động của công trình như chuyển vị, vận tốc, gia tốc được tính toán theo từng bước thời gian nhỏ. Tất cả quá trình tính toán được gán tự động trong phần mềm Etap với giản đồ gia tốc nền cho trước.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

Xét một công trình có kích thước mặt bằng $17m \times 17m$, có tổng cộng 20 tầng và chiều cao mỗi tầng là $3.6m$. Sơ đồ chịu lực khung – vách được chọn trong nghiên cứu này và hệ kết cấu là không thay đổi trong cả công trình. Sơ đồ bố trí mặt với kích thước chi tiết được thể hiện trong Hình 4. Cường độ chịu nén tiêu chuẩn $R_{bn}=18.5 MPa$, chịu kéo tiêu chuẩn $R_{bt}=1.6 MPa$, chịu nén tính toán $R_b=14.5 MPa$, chịu kéo tính toán $R_{bt}=1.05 MPa$. Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông khi nén và khi kéo là $E_b=3 \times 10^3 MPa$. Tầng cứng thứ nhất được cố định tại vị tầng 20, tầng cứng thứ hai thay đổi vị trí từ tầng 3 đến tầng 19. Chuyển vị và nội lực của vách thuộc khung trục 3 là mục tiêu khảo sát trong nghiên cứu này.

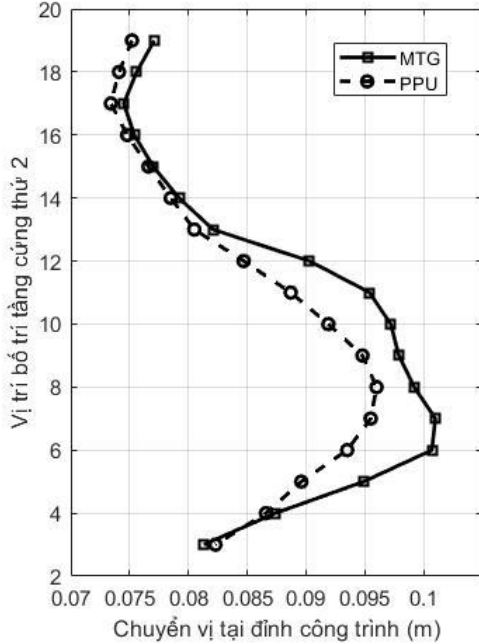


Hình 4. Mặt kết cấu sàn điển hình

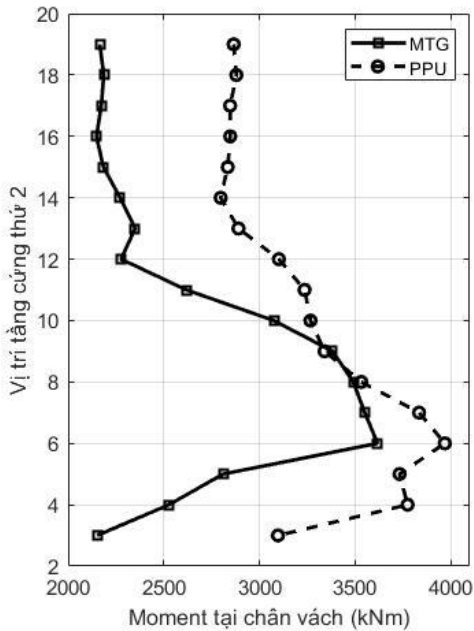
4.1 Khảo sát vị ảnh hưởng của vị trí tương đối hai tầng cứng đến sự làm việc của kết cấu

Trong phần này, tải địa chấn được gán bằng phương pháp động theo miền thời gian (MTG) và phương pháp phổ phản ứng (PPU), tất cả chỉ xét tác dụng theo phương trục X. Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa chuyển ngang tại đỉnh công trình và vị trí bố trí tầng cứng thứ hai. Trục hoành biểu thị chuyển vị ngang trong khi trục tung biểu thị vị trí tầng cứng thứ 2. Dữ liệu từ hình ảnh cho thấy khi tầng cứng 2 ở vị trí tầng thứ 7 thì chuyển ngang công trình lớn nhất và đạt $0.101m$ cho

trường hợp miền thời gian, tính toán theo phương pháp phổ phản ứng thì giá trị lớn nhất đạt $0.096m$ tại vị trí tầng 8. Chuyển vị ngang là nhỏ nhất cho cả hai phương pháp là khi tầng cứng thứ 2 bố trí tại vị trí tầng 17 và đạt khoảng $0.0745m$. Như vậy, xét về mặt chuyển vị công trình thì nên bố trí tầng cứng thứ 2 ở tầng 17 và không nên bố trí ở tầng 7 và tầng 8.



Hình 5. Biểu đồ thể hiện chuyển vị ngang công trình phụ thuộc vào vị trí tầng cứng thứ 2



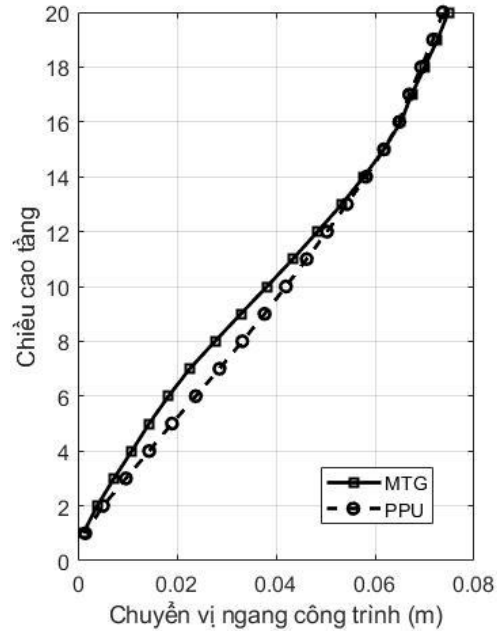
Hình 6. Biểu đồ thể hiện chuyển giá trị moment tại chân vách khung trục 3 phụ thuộc vào vị trí tầng cứng thứ 2

Giá trị moment tại chân vách khung trục 3 được thể hiện như trong Hình 6. Dễ dàng nhận thấy giá trị moment lớn nhất là khi bố trí tầng cứng thứ 2 tại vị trí tầng 6 cho cả hai phương pháp phân tích. Trong đó phương pháp MTG đạt 3617.96

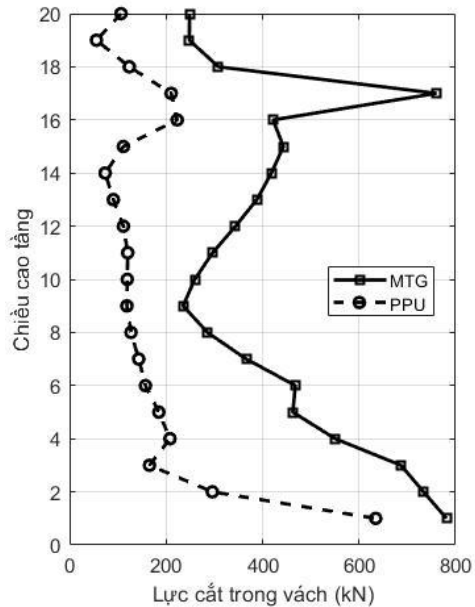
kNm , còn phương pháp PPU thì đạt $3970.14 kNm$. Sau đó giá trị moment giảm dần khi dịch chuyển tầng cứng đi lên, và cuối cùng giá trị thay đổi rất ít trong khoảng dịch chuyển từ tầng 14 đến tầng 19. Giá trị nhỏ nhất thu được từ phương pháp MTG là $2148.08 kNm$ trong khi phương pháp PPU cho kết quả là $2797.66 kNm$.

Như vậy, với hai phân tích trên, để tối ưu về mặt kỹ thuật nên bố trí tầng cứng 2 tại vị trí tầng 16 hoặc tầng 17. Không nên bố trí tại tầng 6 và tầng 7.

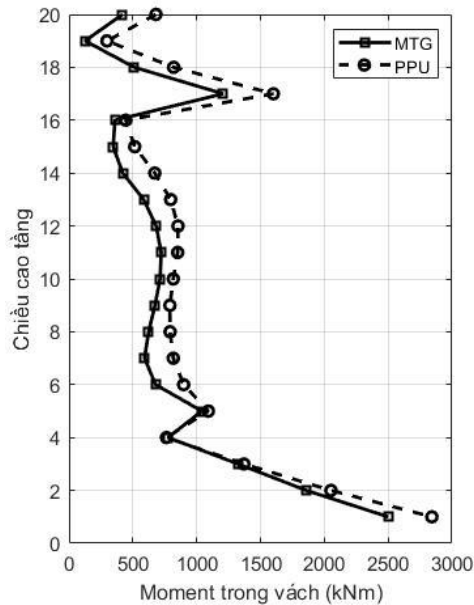
4.2 So sánh kết quả giữa hai phương pháp phân tích



Hình 7. Chuyển vị ngang công trình khi bố trí tầng cứng 2 tại tầng 17 cho cả hai phương pháp phân tích



Hình 8. Lực cắt trong khung trục 3 khi bố trí tầng cứng 2 tại tầng 17 cho cả hai phương pháp phân tích



Hình 9. Moment vách trong khung trục 3 khi bố trí tầng cứng 2 tại tầng 17 cho cả hai phương pháp phân tích

Trong Hình 5 và Hình 6 đều cho thấy bản chất làm việc của kết cấu là như nhau khi phân tích tải địa chấn cho công trình nhà cao tầng có hai tầng cứng. Đó là vị trí tầng cứng thứ 2 cần bố trí để kết cấu làm việc hiệu quả nhất là tại tầng 16 hoặc tầng 17. Tuy nhiên có sự khác biệt về độ lớn giữa hai phương pháp phân tích. Trong sự so sánh kết quả giữa hai phương pháp, tầng cứng thứ 2 sẽ được bố trí tại tầng 17. Kết quả về chuyển vị, moment và lực cắt trong vách sẽ được minh họa trong Hình 7, Hình 8 và Hình 9.

Hình 7 biểu diễn chuyển vị ngang công trình theo chiều cao tòa nhà. Kết quả giữa hai phương pháp có sự chênh lệch với nhau về chuyển vị trong khoảng từ tầng 3 đến tầng 12, với độ chênh tương đối là 24.6% tại tầng 4. Từ tầng 14 trở lên, độ chênh này là rất nhỏ.

Hình 8 thể hiện giá trị lực cắt của vách tại khung trục 3. Dữ liệu hình ảnh cho thấy có sự khác biệt khá rõ ràng giữa hai phương pháp với lực cắt thu được khi phân tích bằng phương pháp miền thời gian là lớn hơn. Độ chênh lệch lớn

nhất tại vị trí tầng 17, tầng 14 và tầng 13 lần lượt là 72.3%, 82.3% và 76.6%. Tương tự, kết quả giá trị moment được minh họa trong Hình 9. Ngược lại với lực cắt, giá trị moment từ phương pháp miền thời gian là nhỏ hơn với phương pháp phổ phản ứng. Độ chênh kết quả moment giữa hai phương pháp vẫn tương đối lớn nhưng nhỏ hơn trường hợp lực cắt. Độ chênh lớn nhất được tìm thấy là 57.9% tại tầng 19. Cả moment và lực cắt đều có hiện tượng giật cấp tại vị trí bố trí tầng cứng.

5. KẾT LUẬN

Với kết quả phân tích thu được, khi đặt tầng cứng thứ 2 tại vị trí tầng 17 chuyển vị đỉnh công trình nhỏ nhất trong khi giá trị moment chân vách khung trục 3 cho giá trị nhỏ nhất khi tầng cứng thứ 2 đặt tại tầng 16, 17 là phù hợp nhất. Có sự chênh lệch lớn về kết quả nội lực khi phân tích tải địa chấn bằng hai phương pháp và đó là một điều thú vị cho những nghiên cứu tiếp theo. Ngoài ra cần có thêm những nghiên cứu mới để đánh giá mối quan hệ về chỉ tiêu kinh tế, tính thẩm mỹ, những yêu cầu về kỹ thuật để tìm ra sự tối ưu cho công trình.

6. LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Kỹ thuật Công trình Trường Đại học Lạc Hồng đã tạo điều kiện hoàn thành nghiên cứu này.

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hồng Hải. *Nghiên cứu sự làm việc của nhà cao tầng bê tông cốt thép có tầng cứng chịu tác động của động đất ở Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Viện khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội, **2015**.
- [2] McNabb, J. W. and Muvdi, B. B. Drift reduction factors for belted high rise structures. *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction Inc.* **1975**, 12(3), 88-91.
- [3] Smith, S. B and Salim. I. Parameter study of outrigger braced tall building structures. *Journal of the Structural Division.* **1981**, 107(10), 2001-2014.
- [4] Smith, S. B and Coull. A. *Tall building structures: Analysis and Design*, **1991**.
- [5] Nguyễn Lê Ninh. *Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu động đất*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội, **2011**.