

Khảo sát sự thay đổi của các đáp ứng dao động cho nhà cao tầng khi chịu động đất

Chiêm Hồng Huấn^{1,2}, Võ Kiều Diễm Huỳnh^{1,2}, Nguyễn Thị Trúc Ngân^{1,2}, Nguyễn Thị Thu Hương^{1,2}, Hồ Đức Duy^{1,2,*}

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh, 268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Hồ Đức Duy, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh, 268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: hoducduy@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 01-01-2024
- Ngày chấp nhận: 28-3-2024
- Ngày đăng: 30-4-2024

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v7i1.1324>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Cùng với sự tiến bộ không ngừng của khoa học và công nghệ, các công trình nhà cao tầng trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng đang phát triển với sự gia tăng về chiều cao cũng như độ phức tạp. Khi chiều cao của công trình càng tăng thì mức độ phức tạp khi tính toán thiết kế cũng gia tăng theo, đặc biệt là việc xác định các đáp ứng dao động của công trình trước các yếu tố tác động của điều kiện bên ngoài như động đất. Do đó, việc phân tích dao động của các kết cấu nhà cao tầng dưới tác động của động đất là một vấn đề cần được chú trọng và cần thiết để nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, các đặc trưng dao động của một công trình nhà cao tầng trong thực tế được phân tích dao động tự do và dao động gây ra bởi sóng động đất. Đầu tiên, kết cấu nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép được mô phỏng theo phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm phân tích kết cấu chuyên dụng SAP2000. Sau đó, các đáp ứng dao động (gia tốc, tần số dao động, dạng dao động) của công trình được phân tích. Đáp ứng gia tốc được trích xuất từ các điểm khảo sát dọc theo chiều cao công trình. Phương pháp phân tích miền tần số (Frequency Domain Decomposition: FDD) được sử dụng để xác định các đặc trưng dao động (tần số dao động, dạng dao động) của công trình bằng cách phân tích các dữ liệu gia tốc gây ra bởi động đất. Cuối cùng, các đặc trưng dao động khi công trình chịu động đất được so sánh và đánh giá tương ứng với kết quả phân tích dao động tự do.

Từ khoá: dao động, tần số dao động, dạng dao động, nhà cao tầng, động đất

GIỚI THIỆU

Trong giai đoạn hiện nay, cùng với sự phát triển của kinh tế, nhà cao tầng đang nở rộ tại các đô thị của Việt Nam, quy mô cũng như số tầng cao ngày càng tăng. Đối với kết cấu nhà cao tầng, ứng xử của công trình khi chịu động đất là một vấn đề quan trọng và cần thiết phải nghiên cứu. Động đất là tai họa thiên nhiên vô cùng khủng khiếp, bởi vì chỉ trong vài giây cả một thành phố lớn có thể bị sụp đổ hoàn toàn, cả một khu vực có thể bị sạt lún và đôi khi những dòng sông cũng bị đổi dòng do hậu quả của những trận động đất mạnh. Điều đáng quan ngại hơn là cho đến nay khoa học kỹ thuật đương đại vẫn chưa dự báo chính xác thời điểm và địa điểm động đất sẽ xảy ra. Do đó, con người chưa có biện pháp phòng chống chủ động đối với từng trận động đất. Và như một hệ lụy tất yếu, khi động đất xảy ra gây thiệt hại rất lớn về con người và tài sản. Việc nắm bắt được các đáp ứng dao động của công trình nhà cao tầng giúp cho ta có khả năng dự đoán được các sự cố có thể xảy ra trong tương lai. Các nghiên cứu về dao động của nhà cao tầng trên thế giới đã xuất hiện từ lâu, tuy nhiên tại Việt Nam, vấn đề này còn khá mới mẻ và cũng chưa được chú trọng.

Đặc biệt là các nghiên cứu về đáp ứng dao động của nhà cao tầng chịu động đất.

Weï và cộng sự (2014) đã phân tích tính khả thi của việc tăng cường trước động đất cho các tòa nhà để bị tổn thương trong khu vực động đất vừa phải. Nghiên cứu này đã đưa ra các phương án giảm thiểu rủi ro cho công trình do động đất¹. Pnevmatikos và cộng sự (2018) đã đánh giá độ mỏi của khung thép chịu một số trận động đất. Ước tính rằng một trận động đất chính (gấp đôi so với trận động đất Aigio) có thể ảnh hưởng đáng kể đến tuổi thọ mỏi của kết cấu². Nguyen và cộng sự (2019) đã phân tích các đặc trưng dao động của một tháp tua-bin gió ngoài khơi dưới các sóng kích thích khác nhau. Nghiên cứu đã chỉ ra các đáp ứng dao động không chỉ phản ánh được đặc tính dao động của kết cấu mà còn phản ánh được đặc tính của sóng kích thích. Khi tần số của sóng tới xấp xỉ với tần số tự nhiên của tháp thì sự biến đổi tần số do sự hư hỏng sẽ bị lu mờ bởi sự biến đổi tần số do sóng kích thích. Nghiên cứu còn đề cập đến ảnh hưởng do chu kỳ và chiều cao của các sóng đến việc xác định các dạng dao động của tháp³. Sayed (2019) đã đánh giá toàn diện đáp ứng của các tòa nhà cao tầng dưới tải trọng động đất tuân theo các yêu cầu thiết kế. Các câu

Trích dẫn bài báo này: Huấn C H, Huỳnh V K D, Ngân N T T, Hương N T T, Duy H D. **Khảo sát sự thay đổi của các đáp ứng dao động cho nhà cao tầng khi chịu động đất.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024; 7(1):2156-2166.

hình tòa nhà được kích thích bởi sóng động đất với các gia tốc cực đại khác nhau. Lượng năng lượng truyền vào các kết cấu tòa nhà được liên kết dưới các chuyển động của động đất bị ảnh hưởng bởi chiều cao của cầu liên kết⁴. Sherif và cộng sự (2020) đã trình bày về ứng xử động của một tòa nhà bê tông cốt thép 13 tầng dưới sự rung động cưỡng bức, rung động xung quanh và kích thích do động đất gây ra. Nghiên cứu này đã chứng minh được tính chính xác của mô hình phần tử hữu hạn để dự đoán ứng xử động thực tế của tòa nhà dưới các lực kích thích khác nhau⁵.

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu có liên quan đã được thực hiện. Đỗ (2011) đã phân tích ứng xử động lực học cho kết cấu khung có hồ nước, được đặt trên hệ cao su lõi chì chịu động đất⁶. Phạm (2012) đã nghiên cứu mở rộng phương pháp (Modal Pushover Analysis: MPA) trong đánh giá địa chấn công trình cho mô hình khung phẳng. Nghiên cứu này đã đề xuất mở rộng phương pháp MPA trong đánh giá địa chấn, so sánh đồng thời với kết quả của phương pháp đẩy dẫn chuẩn với sự đóng góp của một dạng dao động và so sánh với kết quả chính xác của phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian⁷. Nguyễn và Bùi (2015) đã đưa ra giải pháp giảm chấn cho kết cấu chịu động đất dùng gối cao su lõi chì kết hợp hệ cản khối lượng. Mô hình song tuyến tính đã được dùng để mô tả ứng xử trễ của gối cao su lõi chì. Hệ cản khối lượng được gắn ở tầng mái với thông số được xác định dựa vào dao động riêng của kết cấu chính⁸. Nguyễn (2016) đã phân tích hiệu quả giảm dao động cho kết cấu của bể nước mái được mô hình như hệ giảm chấn chất lỏng (TLD - Tuned Liquid Damper). Đồng thời, nghiên cứu đã khảo sát các yếu tố như tỉ số khối lượng (dung tích nước) so với tổng khối lượng kết cấu, tỉ số tần số của bể nước so với tần số dao động riêng của kết cấu nhằm tìm ra các thông số phù hợp cho sự làm việc hiệu quả của bể nước⁹. Nguyễn (2018) đã nghiên cứu về lĩnh vực chẩn đoán hư hỏng kết cấu sử dụng các đặc trưng dao động. Sáu phương pháp chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu tấm từ kết quả phân tích dao động đã được so sánh và đánh giá¹⁰.

Mục tiêu của bài báo này là phân tích sự thay đổi của các đáp ứng dao động cho công trình nhà cao tầng khi chịu động đất. Đầu tiên, một kết cấu nhà cao tầng được mô phỏng theo phương pháp phần tử hữu hạn. Từ đó, dao động tự do và dao động khi chịu động đất của công trình được phân tích. Từ các đáp ứng gia tốc trên công trình, phương pháp phân tích miền tần số được sử dụng để xác định các đáp ứng dao động (tần số dao động và dạng dao động) của công trình khi chịu động đất. Các kết quả giữa dao động tự do với dao động khi chịu động đất được so sánh và đánh giá. Nghiên cứu này xác định được các đáp ứng dao

động của công trình (gia tốc, tần số dao động, dạng dao động). Các đáp ứng dao động này không những phục vụ cho công tác theo dõi sức khỏe kết cấu, chẩn đoán hư hỏng kết cấu mà còn giúp tối ưu hơn trong việc thiết kế kết cấu công trình chịu động đất.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Phương pháp phân tích miền tần số

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích trong miền tần số (Frequency Domain Decomposition: FDD) được lựa chọn để xác định tần số dao động và dạng dao động của kết cấu từ tín hiệu gia tốc. Phương pháp phân tích miền tần số được giới thiệu bởi Brincker và cộng sự (2001)¹¹. Theo một nghiên cứu so sánh của Yi và Yun (2004), phương pháp này cho kết quả với độ tin cậy cao, thể hiện sự đơn giản và tiết kiệm thời gian trong tính toán¹². Phương pháp này phân tích tín hiệu từ miền thời gian (gia tốc) sang miền tần số (tần số dao động, dạng dao động). Trong phương pháp, một kỹ thuật phân tích ma trận hàm phổ mật độ năng lượng được sử dụng để tạo ra một tập hợp các hệ một bậc tự do từ các đáp ứng dao động, mỗi hệ tương ứng với một dạng dao động riêng. Phương pháp được tiến hành theo các bước như sau: Bước 1: Tiến hành thu thập các đáp ứng gia tốc của kết cấu từ n cảm biến gia tốc.

Bước 2: Xác định ma trận mật độ phổ năng lượng chéo có dạng như sau:

$$S_{YY}(\omega) = \begin{bmatrix} S_{11}(\omega) & S_{12}(\omega) & \dots & S_{1n}(\omega) \\ S_{21}(\omega) & S_{11}(\omega) & \dots & S_{2n}(\omega) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1}(\omega) & S_{n2}(\omega) & \dots & S_{nn}(\omega) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bước 3: Phân tích ma trận mật độ phổ năng lượng chéo thành các giá trị đơn:

$$S_{YY}(\omega) = U(\omega)^T \Sigma(\omega) V(\omega) \quad (2)$$

trong đó, $\Sigma(\omega)$ là một ma trận đường chéo chứa các giá trị đơn vô hướng $\sigma_i(\omega)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) của chính các ma trận mật độ phổ năng lượng, còn $U(\omega)$ và $V(\omega)$ là các ma trận trực giao.

Bước 4: Xác định các đỉnh tần số dao động (ω_n) từ các giá trị đơn đầu tiên $\sigma_1(\omega)$.

Bước 5: Trích xuất các dạng dao động từ các vectơ cột của ma trận $U(\omega)$ tại các tần số tương ứng.

Phương pháp đánh giá sự thay đổi của các đáp ứng dao động

Phương pháp đánh giá sự thay đổi của tần số dao động

Sự thay đổi tương đối của tần số dao động giữa hai trạng thái của kết cấu được đánh giá theo công thức

như sau:

$$\Delta f (\%) = \left(\frac{f^* - f}{f} \right) \times 100\%$$

trong đó, f là tần số dao động của trạng thái đầu và f^* là tần số dao động của trạng thái sau. Dựa vào giá trị phần trăm này, sự thay đổi của tần số dao động giữa hai trạng thái kết cấu được đánh giá. Phương pháp này có ưu điểm là nhanh và đơn giản, nhưng không đánh giá được sự thay đổi của dạng dao động.

Phương pháp đánh giá sự thay đổi của dạng dao động

Sự thay đổi của dạng dao động giữa hai trạng thái của kết cấu được đánh giá theo chỉ số MAC (Modal Assurance Criterion). Chỉ số này thể hiện mức độ tương quan giữa hai vectơ dạng dao động.

$$M.A.C(\phi, \phi^*) = \frac{[\phi_i^T \phi_i^*]^2}{[\phi_i^T \phi_i] [\phi_i^T \phi_i^*]} \quad (4)$$

trong đó, ϕ_i, ϕ_i^* lần lượt là các vectơ dạng dao động của trạng thái đầu và trạng thái sau. Giá trị MAC sẽ nhận các giá trị từ 0 đến 1. Khi chỉ số nhận giá trị tiệm cận 0, có nghĩa là sự không tương đồng hay sự giống nhau càng ít giữa hai dạng dao động được xem xét. Ngược lại, khi chỉ số nhận giá trị tiệm cận 1 chỉ ra mức độ phù hợp hay giống nhau giữa hai dạng dao động được khảo sát.

BÀI TOÁN KHẢO SÁT

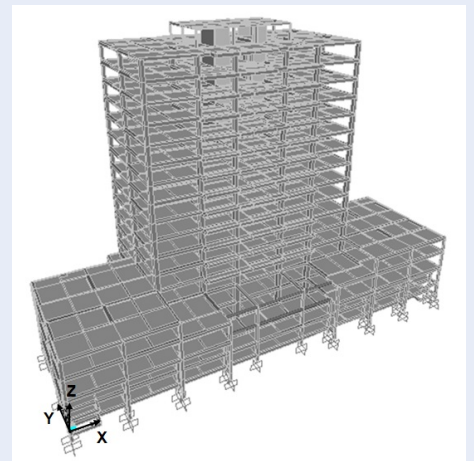
Mô hình phần tử hữu hạn

Trong nghiên cứu này, một công trình nhà cao tầng được chọn để khảo sát và đánh giá sự thay đổi của các đặc trưng dao động. Công trình được chọn là Nhà làm việc các sở, ngành tỉnh Bến Tre (Hình 1). Quy mô công trình có 01 tầng hầm, 15 tầng nổi và 01 tầng mái; tổng diện tích sàn là 22791 m²; chiều cao của công trình là 61.3 m. Kết cấu chịu lực chính của công trình bằng bê tông cốt thép. Các dữ liệu khác về kích thước, vật liệu, tải trọng được lấy theo hồ sơ thiết kế của công trình.

Một mô hình phần tử hữu hạn được thiết lập cho công trình sử dụng phần mềm SAP2000 (Hình 2). Cột, dầm sẽ được mô phỏng bằng phần tử thanh (Frame); sàn và vách cứng được mô phỏng bằng phần tử tấm (Shell); nút khung là nút cứng; sàn tuyệt đối cứng trong mặt phẳng của sàn; cột và vách được liên kết ngàm với móng. Phương thức phân tích tần số dao động và dạng dao động riêng (Modal) được chọn là theo phương pháp vectơ riêng (Eigen-vector). Phương pháp mô phỏng và tính toán tác dụng của động đất được chọn là phương pháp phân tích lịch sử thời gian (Time history).



Hình 1: Công trình khảo sát



Hình 2: Mô hình phần tử hữu hạn

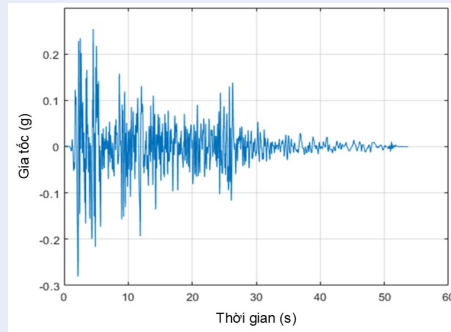
Dữ liệu động đất

Tác động của động đất được lựa chọn mô phỏng thông qua các sóng chuyển động của đất nền dựa trên các bảng ghi dữ liệu gia tốc trong có sẵn quá khứ. Trong nghiên cứu này, sóng động đất El Centro được chọn để khảo sát. Trận động đất El Centro xảy ra ở Hoa Kỳ năm 1940, có độ lớn 6.95 độ Richter, khoảng thời gian chuyển động mạnh 24.2 giây và cường độ Arias là 1.6 m/s. Dữ liệu gia tốc của trận động đất El Centro (1940) được thể hiện như Hình 3.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phân tích dao động tự do

Các đặc trưng dao động (tần số dao động, dạng dao động) của trạng thái dao động tự do là các thông số quan trọng cho việc phân tích động lực học kết cấu công trình. Trong nghiên cứu này, tám dạng dao động uốn điển hình, 4 dạng theo phương X (BX1, BX2,



Hình 3: Dữ liệu gia tốc của trận động đất El Centro (1940)

BX3, BX4) và 4 dạng theo phương Y (BY1, BY2, BY3, BY4), được chọn để khảo sát. Giá trị tần số dao động được tổng hợp trong Bảng 1 và Bảng 2; các dạng dao động tương ứng được thể hiện trên Hình 4 và Hình 5. Mode BX1 có biên độ dao động lớn nhất tại đỉnh công trình. Với Mode BX2, biên độ dao động sẽ lớn nhất ở gần vị trí 7/12 chiều cao của công trình. Đến với Mode BX3, các biên độ lớn nhất của dao động sẽ ở hai vị trí là 3/12 và 7/12 chiều cao công trình. Cuối cùng ở Mode BX4, đã có sự xuất hiện của biên độ lớn tại dưới gần chân công trình và biên độ đều đặn là 1/12, 5/12, 9/12. Tuy nhiên, với dạng dao động uốn bậc cao thì sự ảnh hưởng của biên độ này là khá nhỏ. Kết quả này cũng tương tự cho các Mode của phương Y.

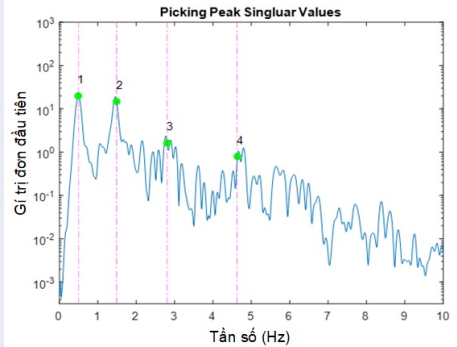
Phân tích các đáp ứng dao động của công trình chịu động đất El Centro (1940)

Động đất tác động theo phương X

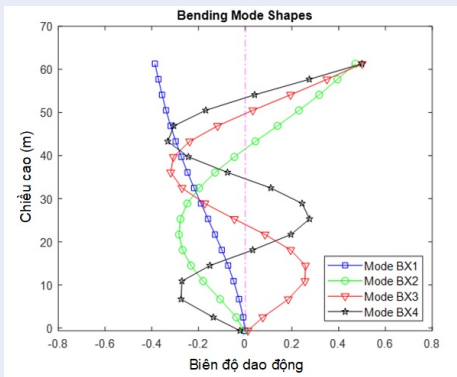
Khi động đất El Centro (1940) tác động vào công trình theo phương X, đáp ứng gia tốc của công trình được ghi nhận trong thời gian $T = 60$ giây, với chu kỳ lấy mẫu là 0.02 giây (tần số lấy mẫu là 50 Hz), 3000 dữ liệu được trích xuất cho lần lượt từ điểm thứ 1 đến điểm thứ 18 dọc trên thân công trình tương ứng với 18 tầng của công trình. Hình 6 thể hiện dữ liệu gia tốc của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương X.

Từ đáp ứng gia tốc của công trình, phương pháp phân tích miền tần số (FDD) được sử dụng để xác định tần số dao động và dạng dao động của công trình khi chịu động đất. Hình 7 thể hiện mật độ phổ năng lượng của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương X. Hình 8 thể hiện bốn dạng dao động uốn theo phương X, tương ứng với bốn đỉnh tần số được chọn trên Hình 7. Các giá trị tần số dao động; sự thay đổi của tần số dao động và dạng dao động khi công

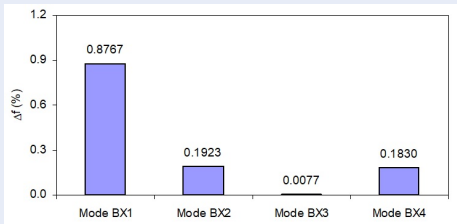
trình chịu động đất so với kết quả phân tích dao động tự do được tổng hợp trong Bảng 3. Hình 9 thể hiện sự thay đổi của tần số dao động; Hình 10 thể hiện sự thay đổi của dạng dao động.



Hình 7: Mật độ phổ năng lượng của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương X



Hình 8: Bốn dạng dao động của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) tác động theo phương X



Hình 9: Sự thay đổi của tần số dao động theo phương X

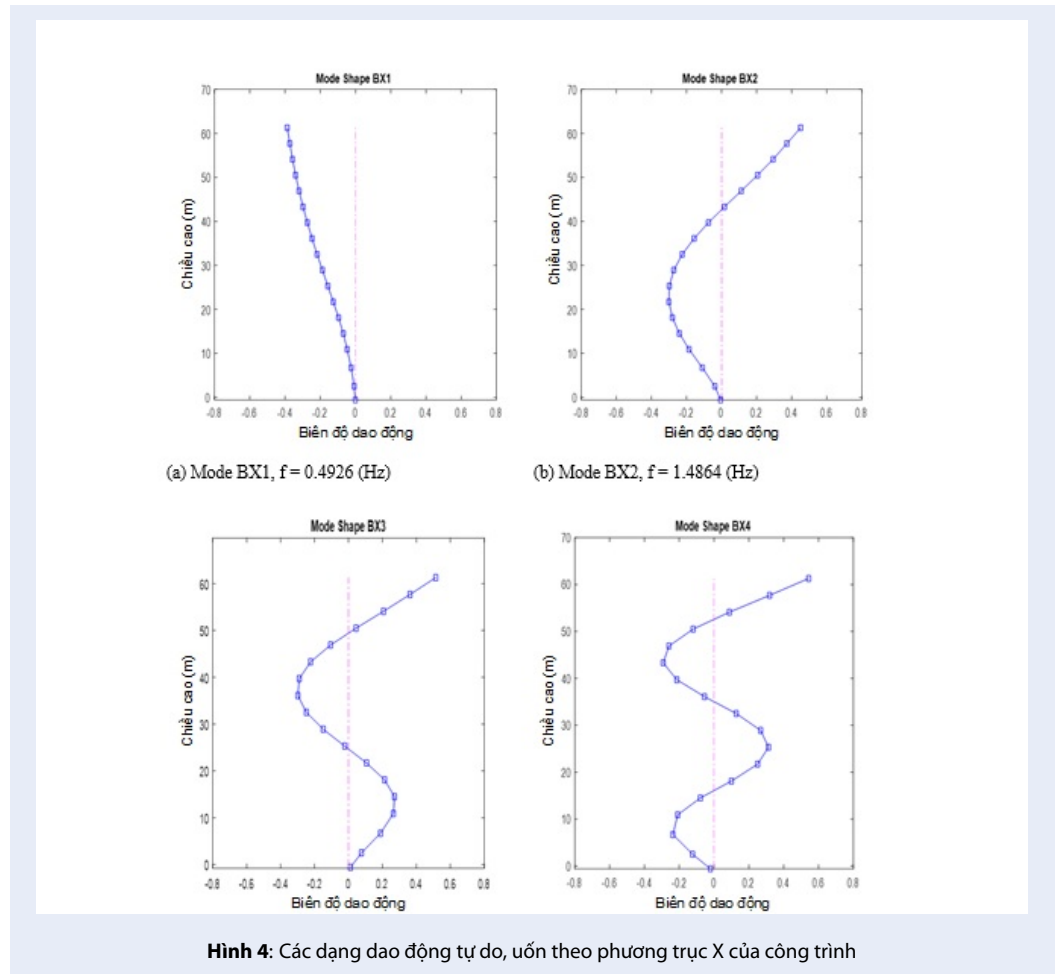
Kết quả cho thấy rằng tần số dao động của Mode BX1 có sự thay đổi lớn nhất là gần 0.88%. Với các dạng

Bảng 1: Tần số dao động tự do của 4 dạng dao động uốn theo phương X

Dạng	BX1	BX2	BX3	BX4
Tần số (Hz)	0.4926	1.4864	2.8074	4.6302

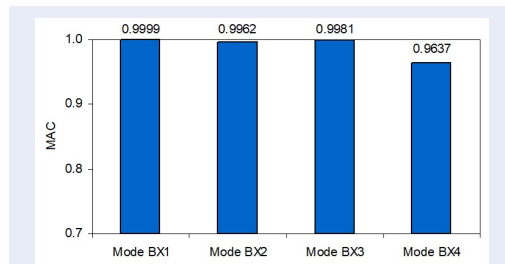
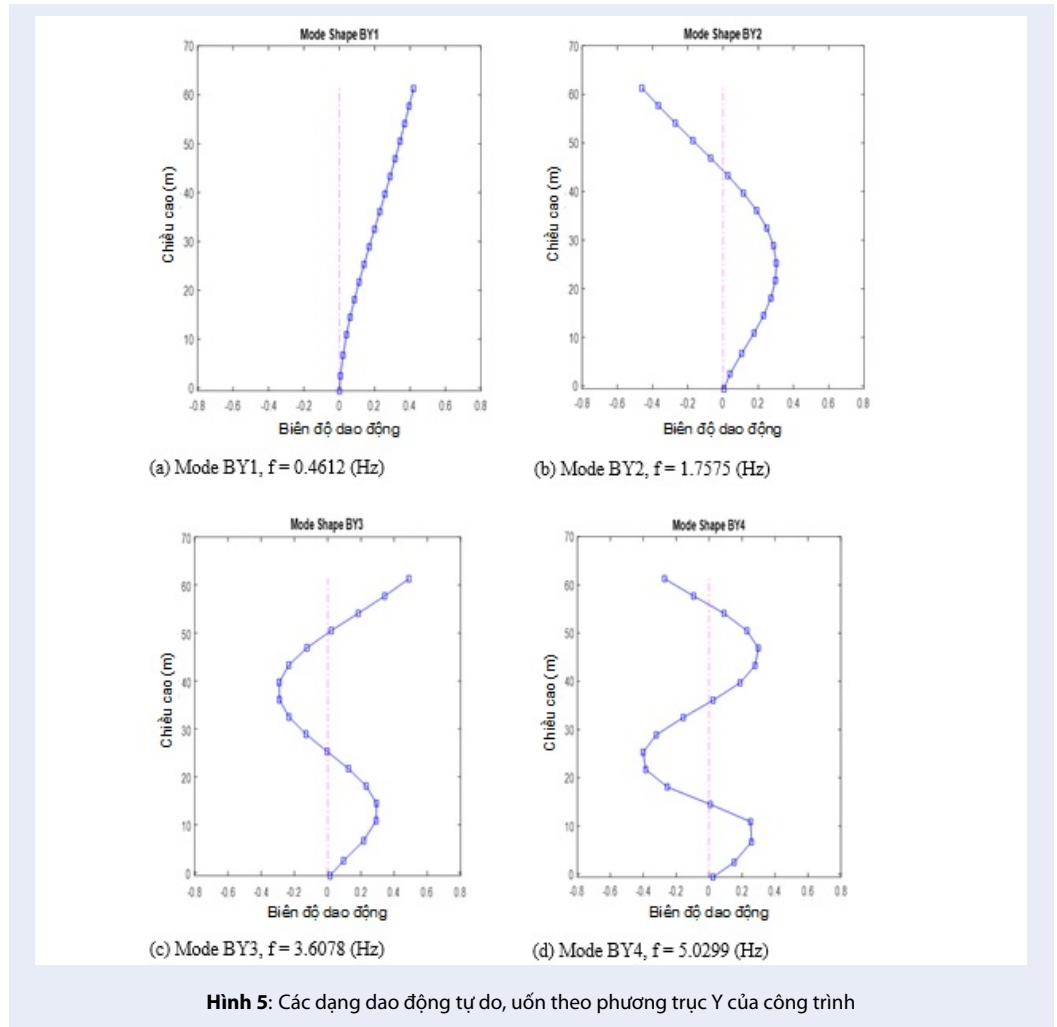
Bảng 2: Tần số dao động tự do của 4 dạng dao động uốn theo phương Y

Dạng	BY1	BY2	BY3	BY4
Tần số (Hz)	0.4612	1.7575	3.6078	5.0299



Bảng 3: Tần số dao động; sự thay đổi của tần số dao động và dạng dao động theo phương X

Đại lượng	Mode BX1	Mode BX2	Mode BX3	Mode BX4
Tần số dao động tự do (Hz)	0.4926	1.4864	2.8074	4.6302
Tần số dao động có động đất (Hz)	0.4883	1.4893	2.8076	4.6387
Δf (%)	0.8767	0.1923	0.0077	0.1830
MAC	0.9999	0.9962	0.9981	0.9637

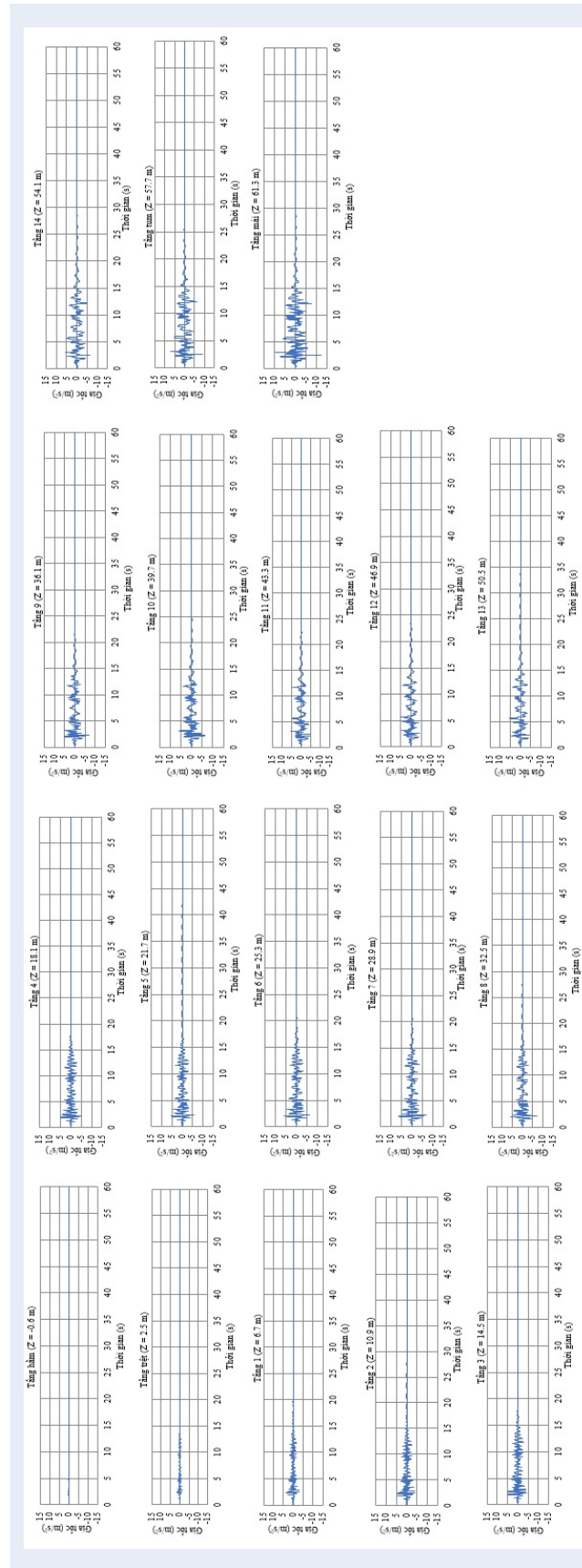


Hình 10: Sự thay đổi của dạng dao động theo phương X

còn lại thì sự thay đổi của tần số dao động giảm dần, lần lượt là 0.19% cho Mode BX2, 0.18% cho Mode BX4, nhỏ nhất là Mode BX3 với 0.01%. Đối với các dạng dao động, giá trị MAC đều lớn hơn 0.96. Điều này thể hiện sự ảnh hưởng của sóng động đất đến các dạng dao động của công trình là không đáng kể. Dạng

dao động tại Mode BX2 và Mode BX4 cho ta giá trị MAC thấp hơn 2 Mode còn lại. Như kết quả ở Hình 7, mật độ phổ năng lượng phân bố ở các tần số từng cặp Mode BX1 và Mode BX2, Mode BX3 và Mode BX4 là tương đối đều đặn, lớn nhất là tại Mode BX1 và nhỏ nhất là Mode BX4; mà giá trị MAC tại Mode BX4 lại thấp hơn Mode BX2. Điều này chứng tỏ Mode BX4 là dạng dao động bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi sóng động đất, khó đạt được dạng dao động như khi dao động tự do.

Trong nghiên cứu này, hiện tượng tương tác giữa kết cấu công trình và sóng động đất cũng được khảo sát. Hình 11 thể hiện các mật độ phổ năng lượng của sóng động đất El Centro (1940) và của công trình khi chịu động đất theo phương X. Đầu tiên, năng lượng nhận được từ trận động đất có hiện tượng khuếch đại lên trên kết cấu. Do đó, phổ năng lượng của kết cấu cũng chính là phổ năng lượng khuếch đại của động đất; đặc biệt thể hiện mạnh nhất là tại vị trí các tần số tương



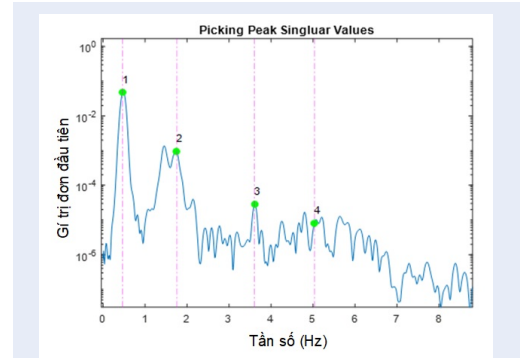
Hình 6: Đáp ứng gia tốc của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương X

tác, làm cho các đỉnh này trội lên. Cụ thể như sau, tại từng vị trí các Mode thì đỉnh tần số tại đây là kết quả hiện tượng cộng hưởng, vì các đỉnh tần số của sóng động đất lân cận với vị trí tần số dao động tự do (đường nét đứt) có ảnh hưởng đến tần số này của kết cấu. Ở phổ năng lượng của động đất, xét Mode BX1, tần số dao động tự do của Mode này gần nhất với đỉnh tần số sóng lân cận với nó là đỉnh bên phải so với tần số tự do; do đó, sự cộng hưởng mạnh xảy ra với đỉnh tần số này. Thật vậy, ở phổ năng lượng của kết cấu, đỉnh cộng hưởng chính là đỉnh tần số vừa chọn từ phương pháp FDD (đường nét liền) sẽ nằm gần đỉnh sóng lân cận vừa xét và tần số dao động tự do của kết cấu ban đầu. Trong 4 dạng dao động được xem xét thì tại Mode BX1, khoảng cách giữa đỉnh sóng lân cận và tần số tự do là lớn nhất, do đó Mode BX1 có xu hướng bị kéo về đỉnh sóng động đất mạnh nhất; dẫn đến sự thay đổi tần số của Mode BX1 là lớn nhất. Tương tự, tại Mode BX3, khoảng cách này là nhỏ nhất nên sự thay đổi của tần số dao động là không đáng kể.

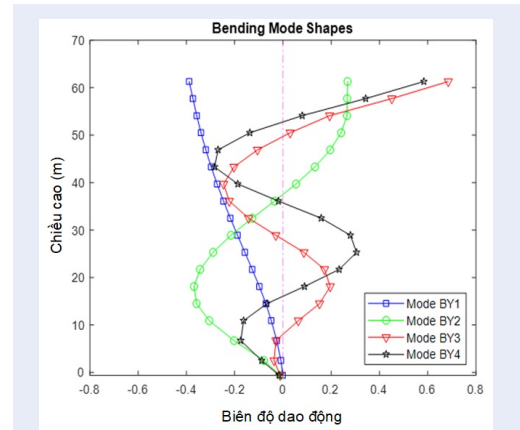
Động đất tác động theo phương Y

Khi động đất El Centro (1940) tác động vào công trình theo phương Y, từ các đáp ứng gia tốc theo phương Y tại 18 điểm tương ứng với 18 tầng của công trình, các kết quả tương tự thu được như sau. Hình 12 thể hiện mật độ phổ năng lượng của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương Y. Hình 13 thể hiện bốn dạng dao động uốn theo phương Y, tương ứng với bốn đỉnh tần số được chọn trên Hình 12. Các giá trị tần số dao động; sự thay đổi của tần số dao động và dạng dao động khi công trình chịu động đất so với kết quả phân tích dao động tự do được tổng hợp trong Bảng 4. Hình 14 thể hiện sự thay đổi của tần số dao động; Hình 15 thể hiện sự thay đổi của dạng dao động. Hình 15 thể hiện các mật độ phổ năng lượng của sóng động đất El Centro (1940) và của công trình khi chịu động đất theo phương Y.

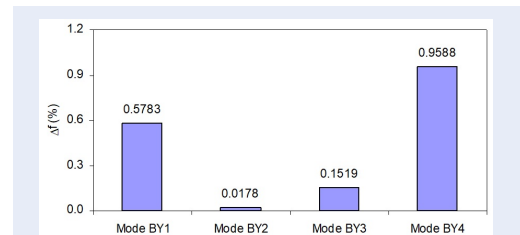
Đối với trường hợp công trình chịu trận động đất El Centro (1940) tác động theo phương Y, tần số dao động tại Mode BY4 có sự chênh lệch lớn nhất là gần 0.96%; đối với các Mode còn lại, sự chênh lệch đều giảm dần lần lượt là 0.58%, 0.15%, nhỏ nhất là Mode BY2 với gần 0.02% (Hình 14). Dạng dao động tại Mode BY4 cho giá trị MAC thấp hơn hẳn so với 3 Mode còn lại (Hình 15). Ở phổ mật độ năng lượng phân bố ở các tần số (Hình 12), từng cặp Mode BY1 và Mode BY2, Mode BY3 và Mode BY4 là tương đối đều đặn, lớn nhất là tại Mode BY1 và nhỏ nhất là Mode BY4. Giá trị MAC tại Mode BY4 lại thấp hơn nhiều so với Mode BY1; điều này chứng tỏ Mode BY4 là dạng dao động dễ bị ảnh hưởng bởi sóng động đất, khó đạt



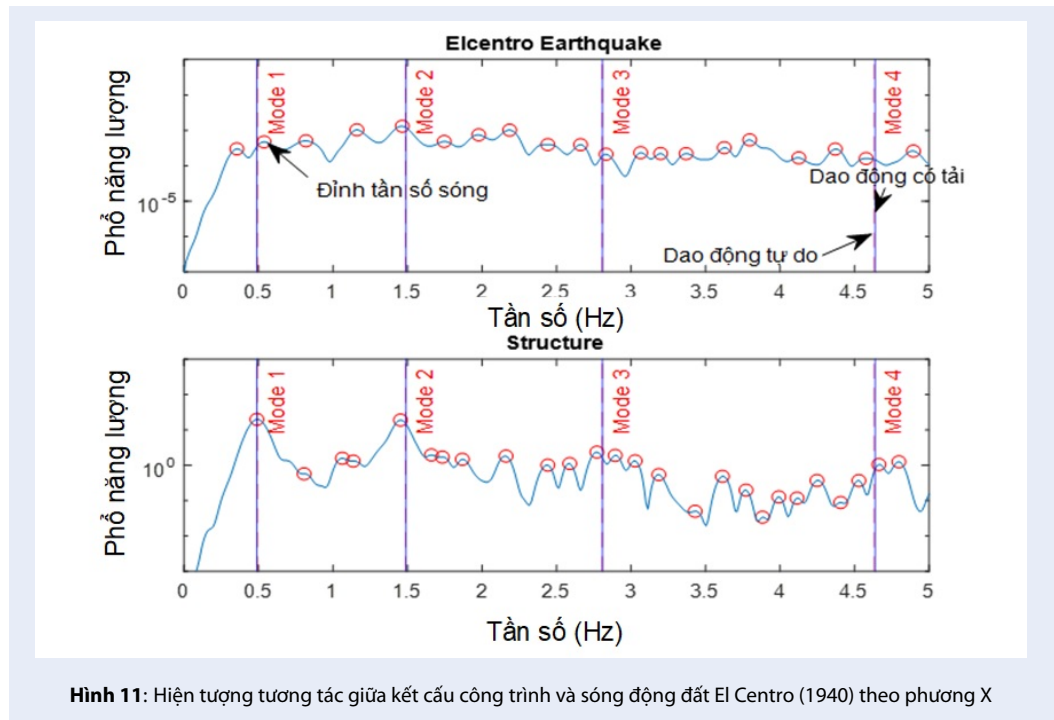
Hình 12: Mật độ phổ năng lượng của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) theo phương Y



Hình 13: Bốn dạng dao động của công trình khi chịu động đất El Centro (1940) tác động theo phương Y



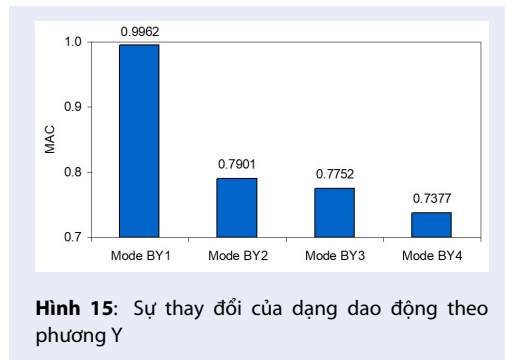
Hình 14: Sự thay đổi của tần số dao động theo phương Y



Hình 11: Hiện tượng tương tác giữa kết cấu công trình và sóng động đất El Centro (1940) theo phương X

Bảng 4: Tần số dao động; sự thay đổi của tần số dao động và dạng dao động theo phương Y

Đại lượng	Mode BY1	Mode BY2	Mode BY3	Mode BY4
Tần số dao động tự do (Hz)	0.4612	1.7575	3.6078	5.0299
Tần số dao động có động đất (Hz)	0.4639	1.7578	3.6133	5.0781
Δf (%)	0.5783	0.0178	0.1519	0.9588
MAC	0.9962	0.7901	0.7752	0.7377

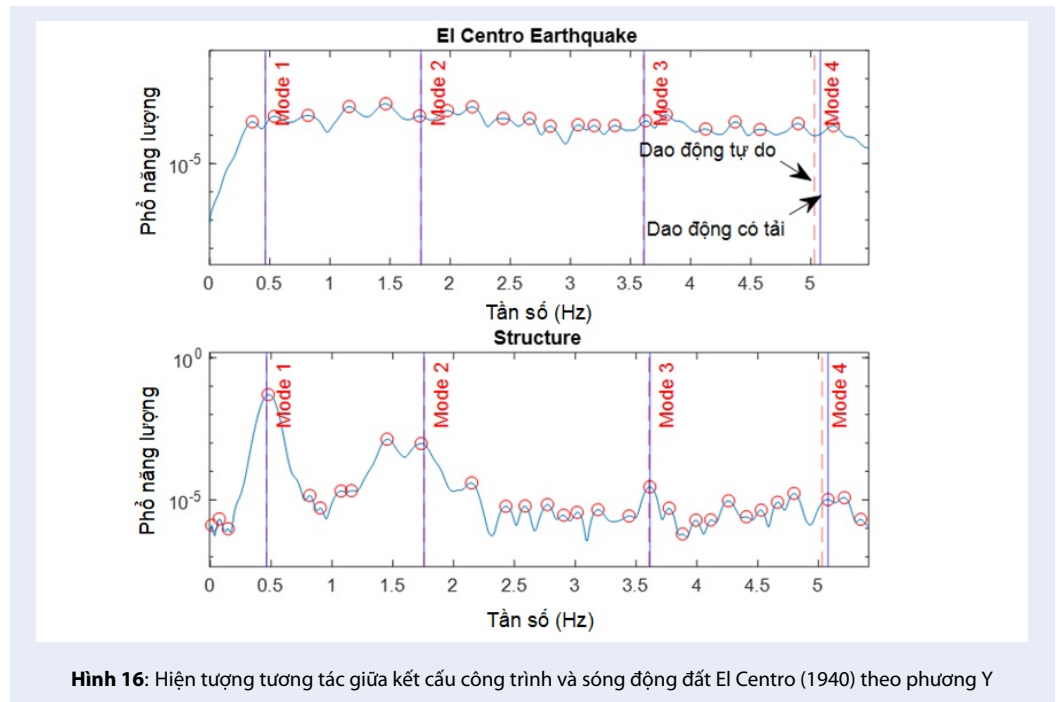


Hình 15: Sự thay đổi của dạng dao động theo phương Y

được dạng dao động như dao động tự do. Kết quả phổ phân bố năng lượng của động đất và phổ năng lượng trên kết cấu (Hình 16) cho thấy sự tương tác giữa kết cấu và sóng động đất theo phương Y tương tự khi sóng động đất tác động theo phương X.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, sự thay đổi của các đặc trưng dao động (tần số dao động và dạng dao động) của công trình nhà cao tầng đã được khảo sát từ việc phân tích đáp ứng dao động (gia tốc) sinh ra bởi tác động của sóng động đất. Từ các kết quả phân tích, một số kết luận được rút ra như sau: (i) So với kết quả phân tích dao động tự do, tần số dao động và dạng dao động của kết cấu có sự thay đổi khi chịu động đất. (ii) Đối với từng dạng dao động, sự thay đổi của tần số dao động mang tính chất ngẫu nhiên, phụ thuộc vào nội dung tần số của sóng động đất. Khi tần số dao động của sóng động đất xấp xỉ với tần số dao động tự do của kết cấu thì kết cấu sẽ dao động cộng hưởng. (iii) Do tính chất không đối xứng của kết cấu, sự thay đổi của tần số dao động và dạng dao động của công trình nhà cao tầng theo các phương là khác nhau. Kết quả từ nghiên cứu này làm nền tảng cho việc sử dụng các đặc trưng dao động trong kỹ thuật theo dõi và chẩn đoán kết cấu công trình nhà cao tầng chịu động đất.



Hình 16: Hiện tượng tương tác giữa kết cấu công trình và sóng động đất El Centro (1940) theo phương Y

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số SVKSTN-2023-KTXD-32.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Chiêm Hồng Huấn, Võ Kiều Diễm Huỳnh, Nguyễn Thị Trúc Ngân đã thực hiện thu thập dữ liệu, mô hình, lập trình tính toán, trình bày kết quả. Hồ Đức Duy, Nguyễn Thị Thu Hương đã đề xuất ý tưởng nghiên cứu, viết, kiểm tra, chỉnh sửa bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Wei HH, Shohet IM, Skibniewski MJ, Levy R, Shapira S, Limor AD, Levi T, Salamon A, Levi O. Economic feasibility analysis of pre-earthquake strengthening of buildings in a moderate seismicity/high vulnerability area. *Procedia Economics and Finance*. 2014;18:143-150; Available from: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00924-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00924-1).
2. Pnevmatikos NG, Papagiannopoulos GA, Hatzigeorgiou G. Fatigue assessment of a steel frame subjected to a number of earthquake excitations. *Procedia Structural Integrity*. 2018;10:195-202; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.09.028>.
3. Nguyen CU, Lee SY, Kim HT, Kim JT. Vibration-based damage assessment in gravity-based wind turbine tower under

various waves. *Shock and Vibration*. 2019;2019(1406861):1-17; Available from: <https://doi.org/10.1155/2019/1406861>.

4. Sayed M. Horizontally connected tall buildings under earthquake loadings. *Ain Shams Engineering Journal*. 2019;10(1):227-241; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.12.007>.
5. Sherif B, Niusha N, Liam W, Quincy M. Dynamic behaviour of a 13-story reinforced concrete building under ambient vibration, forced vibration, and earthquake excitation. *Journal of Building Engineering*. 2020;28:101066; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101066>.
6. Đỗ TNT. Giảm chấn nhà cao tầng do hồ nước mái đặt trên cao su lõi chì. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM; 2011.
7. Phạm TDH. Phân tích ứng xử phi tuyến nhà cao tầng chịu động đất bằng phương pháp tính sử dụng lực ngang dựa trên dạng dao động. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM; 2012.
8. Nguyễn TP, Bùi LLH. Giảm chấn của kết cấu chịu động đất dùng gối cao su lõi chì kết hợp hệ cản khối lượng. *Tạp chí Xây dựng*. 2015;6:116-122.
9. Nguyễn NV. Phân tích ảnh hưởng của bể nước đến khả năng kháng chấn của công trình. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM; 2016.
10. Nguyễn MT. Đánh giá một số phương pháp chẩn đoán hư hỏng kết cấu ngầm từ kết quả phân tích dao động. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM; 2018.
11. Brincker R, Zhang L, Andersen P. Modal identification of output-only systems using frequency domain decomposition. *Smart Materials and Structures*. 2001;10(3):441-445; Available from: <https://doi.org/10.1088/0964-1726/10/3/303>.
12. Yi JH, Yun CB. Comparative study on modal identification methods using output only information. *Structural Engineering and Mechanics*. 2004;17(3):445-466; Available from: https://doi.org/10.12989/sem.2004.17.3_4.445.

Analysis the change of vibration responses for tall building structure under earthquake

Chiem Hong Huan^{1,2}, Vo Kieu Diem Huynh^{1,2}, Nguyen Thi Truc Ngan^{1,2}, Nguyen Thi Thu Huong^{1,2}, Ho Duc Duy^{1,2,*}

ABSTRACT

Along with the continuous progress of science and technology, the tall buildings in the world in general and in Vietnam in particular have been developing with the progress of height as well as complexity. As the height of the building increases, the complexity of the design also increases, especially the work of determining the building's responses to actions such as earthquakes. Therefore, the vibration analysis of tall building structures under the earthquakes is an issue that needs attention and is necessary for research. In this study, the vibration characteristics of a real tall building are analyzed for free vibration and vibration caused by earthquakes. Firstly, the reinforced concrete tall building structure is simulated by the finite element method using specialized structural analysis software SAP2000. Then, the vibration responses (acceleration, natural frequency, mode shape) of the structure are analyzed. The acceleration responses are extracted from survey points along the building height. The frequency domain decomposition (FDD) method is employed to determine the vibration characteristics (natural frequency, mode shape) of the building by analyzing the acceleration data caused by earthquake. Finally, the vibration characteristics when the structure is subjected to earthquake are compared and evaluated in accordance with the results of free vibration analysis.

Key words: vibration, natural frequency, mode shape, tall building, earthquake

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Ho Duc Duy, Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: hoducduy@hcmut.edu.vn

History

- Received: 01-01-2023
- Accepted: 28-3-2024
- Published Online: 30-4-2024

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjet.v7i1.1324>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Huan C H, Huynh V K D, Ngan N T T, Huong N T T, Duy H D. **Analysis the change of vibration responses for tall building structure under earthquake.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024, 7(1):2156-2166.