

# Ảnh hưởng của đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp tới khả năng chịu động đất của công trình cách chấn đáy

Effect of shear force - horizontal displacement curve of a laminated elastomeric isolator on seismic performance of a base-isolated building

> TS NGÔ VĂN THUYẾT

Khoa Công trình - Trường Đại học Thủy lợi, Email: thuyet.kcct@tlu.edu.vn, Tel: 0968092386

## TÓM TẮT:

Gối cách chấn đa lớp là một loại gối cách chấn đang được sử dụng phổ biến cho công trình cách chấn đáy chịu động đất. Hai thông số quan trọng của đặc tính cơ học của gối cách chấn là độ cứng ngang hiệu dụng và tỷ số cản nhớt. Độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn được xác định trực tiếp từ đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang. Trong nghiên cứu này, phân tích động theo thời gian công trình nhà khung bê tông cốt thép sử dụng các gối cách chấn đa lớp có cùng tỷ số cản nhớt nhưng có các đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang khác nhau chịu cùng gia tốc nền của các trận động đất được khảo sát bằng phương pháp phân tích mô hình số. Kết quả phân tích cho thấy đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn có ảnh hưởng đến khả năng cách chấn của công trình.

**Từ khóa:** hệ cách chấn đáy, gối cách chấn đa lớp, nhà khung bê tông cốt thép, động đất.

## ABSTRACT:

Laminated elastomeric isolator is a class of seismic isolator to use popularly for base-isolated buildings under earthquakes. Two important parameters of characteristic properties of the isolator are effective horizontal stiffness and equivalent viscous damping. The effective horizontal stiffness of the isolator is directly determined from shear force - horizontal displacement curve. In this study, time history analysis of a base-isolated reinforced concrete frame building supported on different isolators with same damping and different shear force - horizontal displacement curves under same ground motion of earthquakes is investigated by finite element analysis. Results show that seismic performance of the base-isolated building is affected by the shear force - horizontal displacement curve of the isolator.

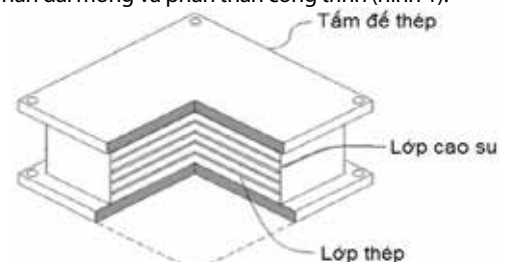
**Keywords:** Base isolation system, laminated elastomeric isolator, reinforced concrete frame building, earthquake.

## 1. GIỚI THIỆU

Hệ cách chấn đáy là một biện pháp phổ biến để giảm hư hỏng cho công trình khi động đất xảy ra, trong đó các gối cách chấn thường được đặt ở bên trên đài móng và bên dưới phần thân công trình. Do gối cách chấn có độ cứng theo phương ngang thấp nên công trình chịu được chuyển vị lớn của các trận động đất và có tỷ số cản nhớt cao nên sẽ làm tiêu tán năng lượng của các trận động đất truyền lên phần thân công trình.

Hai loại gối cách chấn đang được sử dụng phổ biến hiện nay là gối cách chấn đa lớp và gối cách chấn trượt, trong đó gối cách chấn đa lớp được sử dụng phổ biến hơn. Gối cách chấn đa lớp được cấu tạo từ các lớp cao su xen kẽ và gắn kết với các lớp gia cường (có thể là lớp thép

màng hoặc lớp sợi) và hai tấm đế thép dày ở đáy và đỉnh gối để liên kết với phần đài móng và phần thân công trình (hình 1).



Hình 1. Cấu tạo của gối cách chấn đa lớp

Ứng xử ngang của gối cách chấn được thể hiện thông qua vòng lặp trễ là một yếu tố ảnh hưởng rất lớn đến khả năng cách chấn của công trình. Vòng lặp trễ của một gối cách chấn là đường quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang của gối cách chấn khi chịu chuyển vị ngang vòng lặp dạng hàm điều hòa hình sin. Từ các vòng lặp trễ này, hai thông số quan trọng của đặc tính cơ học của gối cách chấn được xác định là độ cứng ngang hiệu dụng và tỷ số cản nhớt. Độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn có giá trị thay đổi ứng với các độ lớn khác nhau của chuyển vị ngang. Vì vậy, khi khai báo đặc tính cơ học của gối cách chấn về độ cứng ngang hiệu dụng người ta thường dùng đường quan hệ hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối. Đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn xác định từ vòng lặp trễ là thông số đầu vào quan trọng trong phân tích hiệu quả giảm hư hỏng cho công trình cách chấn đáy chịu động đất bằng phương pháp phân tích mô hình số.

Nghiên cứu về hiệu quả giảm hư hỏng cho công trình cách chấn đáy chịu động đất đã được thực hiện nhiều năm qua trên thế giới [1-3]. Ở Việt Nam, có một số nghiên cứu thực hiện về hiệu quả cách chấn của công trình sử dụng gối cách chấn đa lớp truyền thống với các lớp gia cường làm bằng thép mỏng [4-5], một số nghiên cứu thực hiện về hiệu quả cách chấn của công trình dân dụng thấp tầng sử dụng gối cách chấn đàn hồi đa lớp cốt sợi [6-8]. Như đã nêu ở trên, hai thông số trong ứng xử ngang của gối cách chấn đa lớp có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy là đường quan hệ hệ lực cắt - chuyển vị ngang và tỷ số cản nhớt. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào xem xét ảnh hưởng riêng rẽ của từng thông số này đến khả năng cách chấn của công trình. Nghiên cứu ảnh hưởng của đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp đến khả năng chịu động đất của công trình cách chấn đáy rất có ý nghĩa cho các nhà thiết kế trong việc lựa chọn loại gối cách chấn đa lớp có đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang phù hợp với mục tiêu thiết kế công trình.

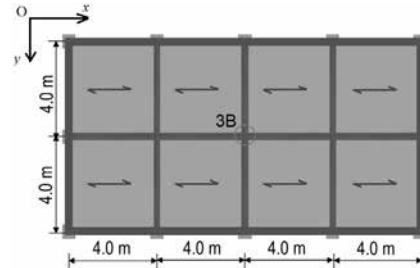
Bài báo này nghiên cứu về ảnh hưởng của đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp đến khả năng chịu động đất của công trình cách chấn đáy. Một công trình nhà khung kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng ba loại gối cách chấn đa lớp với thông số đầu vào khác nhau về đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang nhưng có cùng tỷ số cản nhớt chịu gia tốc nền của một số trận động đất đã xảy ra trong thực tế được khảo sát bằng phân tích mô hình số sử dụng phần mềm SAP2000. Gia tốc sàn và chuyển vị tương đối từng tầng của công trình trong các trường hợp trên được so sánh với nhau để thấy được ảnh hưởng của đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đến khả năng chịu động đất của công trình. Vòng lặp trễ của các gối cách chấn trong công trình chịu động đất xác định từ phân tích mô hình số cũng được khảo sát để thấy được độ tin cậy của phương pháp phân tích.

## 2. MÔ TẢ VỀ CÔNG TRÌNH NHÀ KHUNG BTCT SỬ DỤNG GỐI CÁCH CHẤN ĐA LỚP

Một công trình nhà sáu tầng kết cấu khung BTCT với các thông số về kích thước và vật liệu giả định được lựa chọn nghiên cứu. Công trình sử dụng vật liệu cấp độ bền B15, cốt thép nhóm CII. Kích thước mặt cắt ngang dầm là 0.30x0.40 m<sup>2</sup>, cột là 0.30x0.30 m<sup>2</sup> và sàn dày 0.12 m. Chiều cao mỗi tầng là 3.0 m. Khoảng cách nhịp theo các phương ngang trên mặt bằng đều là 4.0 m. Tường 110 được xây bao xung quanh công trình. Mặt bằng tầng điển hình của công trình được thể hiện trong hình 2.

Công trình sử dụng tổng cộng 15 gối cách chấn đa lớp cùng loại có cùng tỷ số cản nhớt và đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang là như nhau. Các gối cách chấn này đều có kích thước như

nhau và được đặt lên bên trên đài móng, bên dưới hệ dầm đỡ toàn bộ chân cột tầng 1 như trong hình 3. Vị trí gối cách chấn trên mặt bằng là nơi giao nhau giữa hệ dầm ngang và dầm dọc như thể hiện trên hình 2. Công trình cách chấn đáy được khảo sát trong ba trường hợp, mỗi trường hợp chỉ khác nhau ở đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp, các thông số còn lại là như nhau.



Hình 2. Mặt bằng tầng điển hình công trình nhà khung BTCT



Hình 3. Vị trí đặt gối cách chấn trong công trình

Các gối cách chấn đa lớp có kích thước là 360x360x166 mm. Mỗi gối được cấu tạo từ 21 lớp cao su tổng hợp xen kẽ và gắn kết với 20 lớp lá thép mỏng. Mỗi lớp cao su và thép dày tương ứng là 6 mm và 2 mm. Tổng chiều dày lớp cao su là  $t_r = 126$  mm. Mô-đun cắt của cao su theo phương ngang là  $G = 0.75$  N/mm<sup>2</sup>. Hệ số hình dạng của các gối cách chấn là  $S = 15$ . Theo [9], hệ số hình dạng của một gối cách chấn đa lớp được định nghĩa bằng tỷ số giữa diện tích mặt cắt ngang gối với tổng diện tích xung quanh ở mặt bên của một lớp cao su.

## 3. ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA CÁC GỐI CÁCH CHẤN ĐÁY

### 3.1. Ứng xử ngang của gối cách chấn

Các gối cách chấn đa lớp sử dụng trong công trình đều có cùng tỷ số cản nhớt là khoảng 8%. Công trình cách chấn đáy được khảo sát trong 3 trường hợp khác nhau về đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn như hình 4. Trong mỗi trường hợp, 15 gối cách chấn sử dụng trong công trình có đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang là như nhau. Để dễ dàng khai báo thông số đầu vào của gối cách chấn trong phân tích động theo thời gian của công trình cách chấn đáy chịu động đất ở phần sau, các đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn được cho dưới dạng song tuyến (gồm hai đoạn thẳng). Ba loại gối cách chấn đa lớp, ký hiệu là A1, A2, A3 khác nhau ở chỗ: ở cùng một độ lớn của chuyển vị ngang, lực cắt ngang của gối A1 lớn hơn của gối A2, của gối A2 lớn hơn của gối A3.

### 3.2. Độ cứng theo phương đứng

Theo [9], độ cứng theo phương đứng của gối cách chấn đa lớp được tính theo công thức sau:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (1)$$

trong đó,  $A$  là diện tích mặt cắt ngang gối;  $E_c$  là mô-đun chịu nén tức thời của hỗn hợp cao su - thép, đối với gối cách chấn có mặt cắt ngang hình vuông thì  $E_c = 6.73GS^2$ . Trong nghiên cứu này  $E_c = 6.73 \times 0.75 \times 15^2 = 1135.69$  (MPa). Vậy:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} = \frac{1135.69 \times 360^2}{126} = 1168135.71 \text{ (kN/m)};$$

**4. MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH VÀ TẢI TRỌNG**

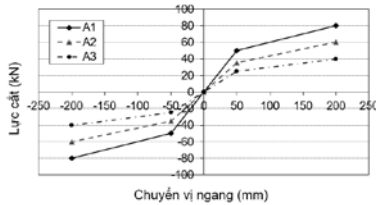
Phân tích động theo thời gian công trình cách chấn đáy trong ba trường hợp sử dụng các loại gối cách chấn đa lớp khác nhau A1, A2 và A3 ở trên chịu gia tốc nền của một số trận động đất thực tế đã xảy ra trên thế giới được khảo sát theo phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm SAP2000 v.15 [10].

**4.1. Mô hình phần thân**

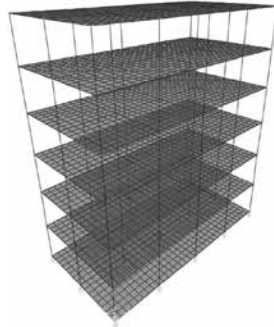
Công trình nhà khung BTCT được mô hình không gian bằng phần mềm SAP2000 với cột và dầm được mô hình bằng phần tử thanh, sàn được mô hình bằng phần tử tấm. Sàn các tầng được khai báo sàn tuyệt đối cứng.

**4.2. Điều kiện biên**

Các gối cách chấn được mô hình bằng phần tử link dạng rubber isolator. Trong khai báo phần tử link dạng rubber isolator, các đặc tính cơ học của gối cách chấn về ứng xử ngang theo hai phương nằm ngang (X và Y) và ứng xử đứng theo phương Z đều được sử dụng để khai báo. Ứng xử ngang của gối cách chấn được mô hình bằng mô hình vòng lập trễ song tuyến với 4 thông số sau: Độ cứng ngang hiệu dụng  $K_{eff}$ , độ cứng ban đầu  $K_1$ , lực cắt ngang ở vị trí chảy  $F_y$  và tỷ số độ cứng  $n = K_2/K_1$ . Mô hình không gian công trình cách chấn đáy được thể hiện trên hình 5.



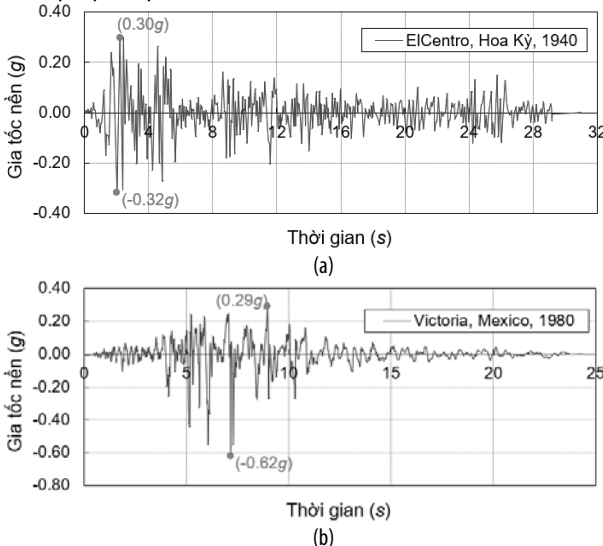
Hình 4. Đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của các gối cách chấn đa lớp



Hình 5. Mô hình công trình cách chấn đáy trong SAP2000

**4.3. Bảng gia tốc nền của các trận động đất**

Tải trọng tác dụng lên công trình trong các trường hợp là như nhau. Hai bảng gia tốc nền của các trận động đất ở El Centro, Hoa Kỳ (18/05/1940) với đỉnh gia tốc nền là 0.32g (gọi tắt là DD1) và trận động đất ở Victoria, Mexico (09/06/1980) với đỉnh gia tốc nền là 0.62g (gọi tắt là DD2); trong đó g là gia tốc trọng trường ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) được lựa chọn để khảo sát (hình 6).



Hình 6. Gia tốc nền của các trận động đất: (a) DD1 và (b) DD2

**5. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN**

Phân tích động theo thời gian cho công trình cách chấn đáy chịu gia tốc nền của 2 trận động đất DD1 và DD2 được khảo sát theo phương Y của công trình, phương X làm tương tự nên không trình bày kết quả trong nghiên cứu này. Kết quả so sánh giá trị đỉnh gia tốc sàn từng tầng của công trình cách chấn đáy sử dụng các loại gối cách chấn đa lớp khác nhau A1, A2, A3 chịu các trận động đất DD1 và DD2 được cho trong các bảng 1-2.

Từ các bảng 1-2 thấy rằng giá trị đỉnh gia tốc sàn từng tầng của công trình cách chấn đáy sử dụng gối loại A1 có giá trị lớn hơn giá trị tương ứng của công trình sử dụng gối cách chấn loại A2 và giá trị đỉnh gia tốc sàn từng tầng của công trình sử dụng gối cách chấn loại A2 có giá trị lớn hơn giá trị tương ứng của công trình sử dụng gối cách chấn loại A3.

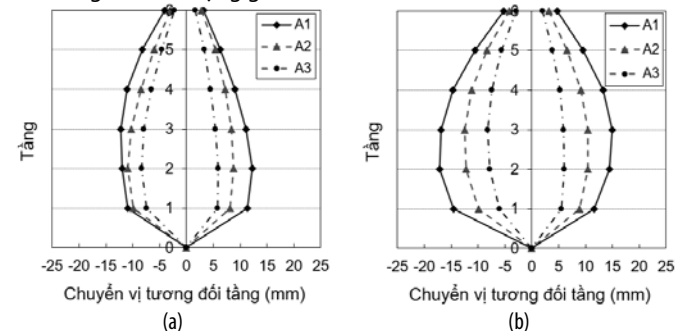
Bảng 1. Đỉnh gia tốc sàn từng tầng của công trình chịu trận động đất DD1

Tầng	Công trình sử dụng gối cách chấn		
	A1	A2	A3
Tầng 1	0.24g	0.17g	0.12g
Tầng 2	0.19g	0.14g	0.10g
Tầng 3	0.13g	0.10g	0.08g
Tầng 4	0.16g	0.14g	0.12g
Tầng 5	0.24g	0.18g	0.14g
Tầng mái	0.28g	0.20g	0.16g

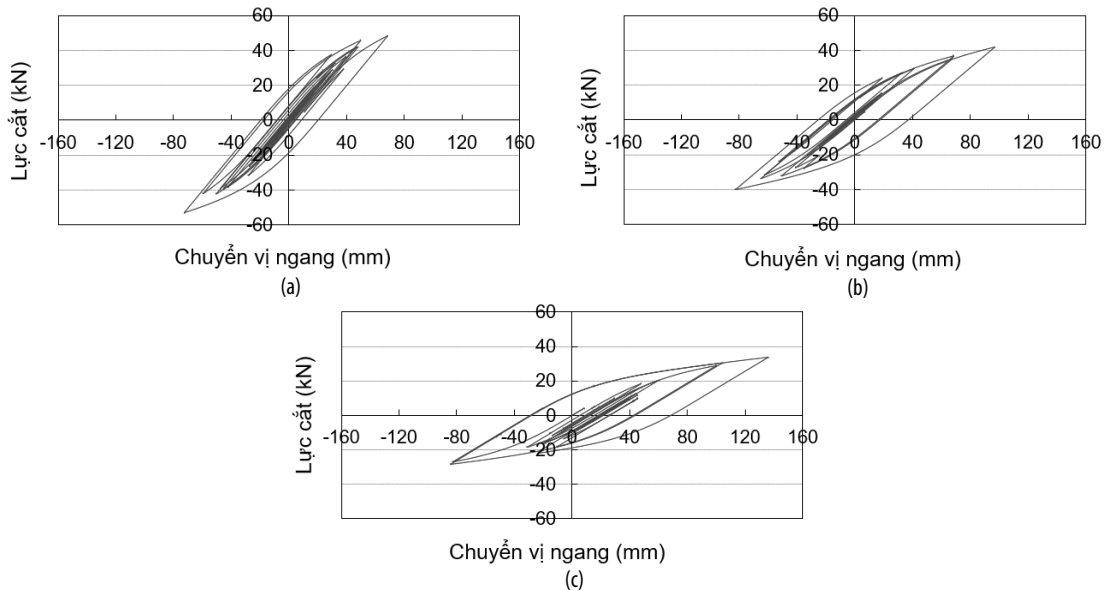
Bảng 2. Đỉnh gia tốc sàn từng tầng của công trình chịu trận động đất DD2

Tầng	Công trình sử dụng gối cách chấn		
	A1	A2	A3
Tầng 1	0.23g	0.17g	0.11g
Tầng 2	0.19g	0.13g	0.08g
Tầng 3	0.13g	0.10g	0.08g
Tầng 4	0.24g	0.16g	0.10g
Tầng 5	0.32g	0.25g	0.16g
Tầng mái	0.36g	0.29g	0.20g

Kết quả so sánh giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của phản ứng chuyển vị tương đối từng tầng của công trình cách chấn đáy sử dụng các loại gối cách chấn đa lớp khác nhau A1, A2, A3 chịu gia tốc nền của các trận động đất DD1 và DD2 được thể hiện trong hình 7. Từ hình vẽ thấy rằng giá trị chuyển vị tương đối từng tầng của công trình cách chấn đáy sử dụng gối A1 lớn hơn giá trị tương ứng của công trình sử dụng gối A2 và giá trị chuyển vị tương đối từng tầng của công trình sử dụng gối A2 lớn hơn giá trị tương ứng của công trình sử dụng gối A3.



Hình 7. Giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của phản ứng chuyển vị tương đối từng tầng của công trình cách chấn đáy chịu gia tốc nền của các trận động đất: (a) DD1 và (b) DD2



Hình 8. Vòng lặp trễ của các gối cách chấn ở vị trí 3B trong công trình cách chấn đáy chịu trận động đất DD1: (a) Gối A1, (b) Gối A2 và (c) Gối A3

Hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy chịu động đất là thông qua việc giảm giá trị của hai thông số đỉnh gia tốc sàn từng tầng và chuyển vị tương đối từng tầng. Từ các bảng 1-2 và hình 7 thấy rằng công trình sử dụng gối cách chấn A3 có hiệu quả cách chấn tốt hơn công trình sử dụng gối cách chấn A2 và công trình sử dụng gối A2 cách chấn tốt hơn công trình sử dụng gối A1. Như vậy, đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp có ảnh hưởng đến hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy. Các gối cách chấn có lực cắt ngang nhỏ hơn khi cùng so sánh ở một độ lớn chuyển vị ngang trong đặc tính cơ học của nó sẽ làm cho công trình có khả năng cách chấn tốt hơn khi cùng chịu gia tốc nền của một trận động đất.

Kết quả vòng lặp trễ của các gối cách chấn đa lớp A1, A2, A3 sử dụng trong công trình cách chấn đáy khi chịu tác động của trận động đất DD1 được thể hiện trong các hình 8. Quan sát giá trị lực cắt tương ứng với giá trị chuyển vị ngang trong hình 8 của các loại gối cách chấn tương đối phù hợp với các giá trị tương ứng trong đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang ở hình 4. Điều này thể hiện rằng việc phân tích động theo thời gian công trình cách chấn đáy chịu động đất bằng phần mềm SAP2000 cho kết quả tương đối tin cậy.

## 6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày ảnh hưởng của đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối cách chấn đa lớp đến hiệu quả cách chấn của công trình chịu động đất. Phân tích động theo thời gian công trình cách chấn đáy chịu động đất trong ba trường hợp sử dụng gối cách chấn đa lớp với ba đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang khác nhau. So sánh hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy thông qua việc giảm giá trị của hai thông số đỉnh gia tốc sàn từng tầng và chuyển vị tương đối từng tầng cho thấy các gối cách chấn có lực cắt ngang nhỏ hơn khi cùng so sánh ở một độ lớn chuyển vị ngang sẽ làm cho công trình có khả năng cách chấn tốt hơn khi cùng chịu gia tốc nền của một trận động đất. Điều này rất có ý nghĩa cho các nhà thiết kế trong việc lựa chọn loại gối cách chấn phù hợp sử dụng trong công trình cách chấn đáy.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zhang, J., Huo, Y., (2009). *Evaluating effectiveness and optimum design of isolation devices for highway bridges using the fragility function method*. Engineering Structures, 31(8), 1648-1660.
- [2] Ngo, V.T., Deb, S.K., Dutta, A., (2018). *Mitigation of seismic vulnerability of a prototype low-rise masonry building using U-FREIs*. Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, 32(2), 04017136.
- [3] Kumar, P., Petwal, S., (2019). *Seismic performance of secondary systems housed in isolated and non-isolated building*. Earthquakes and Structures, an International Journal, 16(4), 401-413.
- [4] Nguyễn Xuân Thành (2006). *Hiệu quả của đệm giảm chấn trong chế ngự dao động kết cấu nhà cao tầng chịu tải trọng động đất*. Tuyến tập Hội nghị Khoa học Toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ VIII.
- [5] Lê Xuân Huỳnh, Nguyễn Hữu Bình (2008). *Nghiên cứu công nghệ chế ngự dao động kết cấu công trình nhà cao tầng phù hợp điều kiện xây dựng ở Hà Nội*. Báo cáo tổng kết đề tài, mã số 01C-04/09-2007-3, Viện KHCN Kinh tế Xây dựng - Việt Nam.
- [6] Ngô Văn Thuyết, Nguyễn Văn Thăng (2018). *Hiệu quả cách chấn của nhà khung bê tông cốt thép sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi FREL chịu động đất*. Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Bộ Xây dựng, năm thứ 57, số tháng 9, 150-153.
- [7] Ngô Văn Thuyết (2020). *Nghiên cứu hiệu quả cách chấn và đề xuất giải pháp ứng dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi FREL áp dụng cho công trình dân dụng thấp tầng chịu tải trọng động đất ở Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài, mã số RD 35-18, Bộ Xây dựng.
- [8] Ngô Văn Thuyết (2021). *So sánh hiệu quả cách chấn của nhà khung bê tông cốt thép thấp tầng sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi dạng liên kết và không liên kết chịu động đất*. Tạp chí Người Xây dựng, số tháng 3&4, 68-73.
- [9] Naeim, F., Kelly, J.M., (1999). *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- [10] SAP2000 v.15 (2014), Computers and Structures Inc., *CSI Analysis Reference Manual*, Berkeley, California, USA.