

HIỆU QUẢ CỦA GỐI CON LẮC MA SÁT ĐÔI CHO CÔNG TRÌNH CÁCH CHẨN Ở VIỆT NAM

NGUYỄN VĂN NAM

*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh.
nguyenvannam@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Gối con lắc ma sát đôi (gối DFP) là một dạng cải tiến của gối con lắc ma sát đơn. Gối DFP có giới hạn chuyển vị ngang lớn hơn so với gối SFP với cùng kích thước. Dạng gối này có hệ số ma sát trên các mặt tiếp xúc khác nhau, do đó làm tăng hiệu quả cho kết cấu cách chấn. Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả giảm chấn của gối DFP cho công trình chịu động đất ở Việt Nam. Phân tích một mô hình hai chiều (2D) cho kết cấu nhà 5 tầng trong hai trường hợp: kết cấu ngàm cứng và kết cấu được cách chấn bằng gối DFP chịu động đất được tiến hành. Dữ liệu gia tốc nền là bảy băng gia tốc được lựa chọn và hiệu chỉnh phù hợp với điều kiện động đất ở Việt Nam. Mức nguy cơ động đất được phân tích ở hai cấp độ là: động đất mạnh với xác suất 10% trong 50 năm và động đất rất mạnh với xác suất 2% trong 50 năm. Kết quả phân tích cho thấy gối DFP rất hiệu quả trong việc bảo vệ công trình dưới nhiều cấp động đất khác nhau.

Từ khóa. cách chấn dầy, gối cách chấn, điều khiển kết cấu, thiết kế kháng chấn, động đất.

EFFECTIVENESS OF DOUBLE FRICTION PENDULUM BEARING FOR SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS IN VIETNAM

Abstract. Double friction pendulum bearings (DFP bearings) are an improved form of single friction pendulum bearings (SFP bearings). A DFP bearing increases the displacement limit compared to an SFP bearing with the same size. This bearing type also allows different friction coefficient between contact surfaces thus improves performance of isolated building. The purpose of this study is to evaluate the seismic effectiveness of DFP bearings for buildings in Vietnam. Analysis of a simplified two-dimensional (2D) model of a 5-storey building subjected to earthquakes in two cases: without and with DFP bearings is conducted. Ground motion data includes seven acceleration records selected and scaled to fit earthquake conditions in Vietnam. Two earthquake levels, including strong earthquake level with 10% probability of exceedance in 50 years and very strong earthquake level with 2% probability of exceedance in 50 years, were analyzed. The results show that DFP bearings are very effective in protecting the building under these earthquake levels.

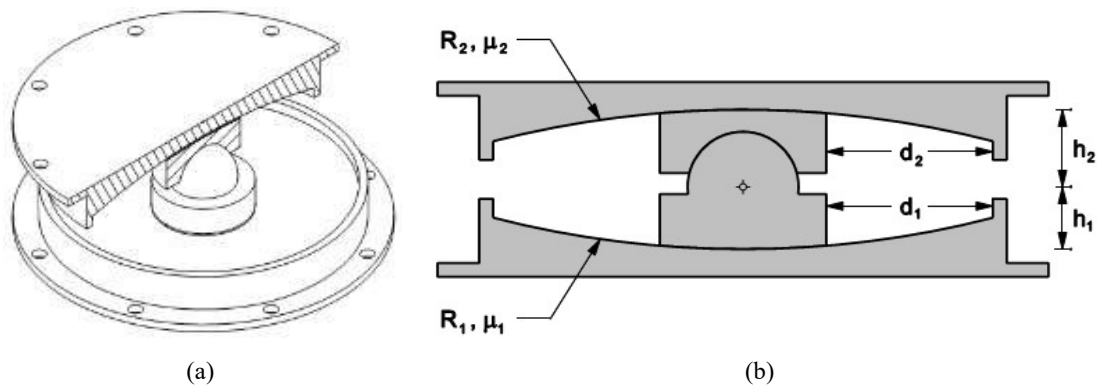
Keywords. base isolation, seismic isolation bearings, control structure, earthquake resistant design, earthquake.

1 GIỚI THIỆU

Động đất là một trong những hiểm họa thiên nhiên, gây tổn thất rất lớn về kinh tế, đã cướp đi nhiều sinh mạng con người. Trong lịch sử, có nhiều trận động đất xảy ra và đã để lại những tổn thất rất lớn về người và tài sản, và có thể kể đến như: trận động đất mạnh 9,3 độ richter kéo theo sóng thần ở ngoài khơi đảo Sumatra, Tây Indonesia (2004), tại Nhật Bản năm 2011 đã gây ra các sự cố liên tiếp tại Nhà máy Điện hạt nhân Fukushima, ... Ở Việt Nam, tuy không nằm trong vùng động đất mạnh nhưng gần đây cũng đã xảy ra những dư chấn, gây ra rung lắc cho nhiều công trình xây dựng [1-3] và Hà Nội được dự báo là có thể xảy ra động đất cấp 8 [4]. Hiện nay, thiết kế kháng chấn cho công trình xây dựng ở Việt Nam là bắt buộc [5]. Tuy nhiên, những thiết kế này còn theo quan điểm truyền thống. Xu hướng thiết kế kháng chấn hiện nay trên thế giới là theo quan điểm hiện đại, gắn với kỹ thuật điều khiển kết cấu [6]. Quan điểm thiết kế này chưa được phát triển ở Việt Nam. Một trong những kỹ thuật điều khiển kết cấu mang lại hiệu quả rất tốt trong thiết kế kháng chấn là kỹ thuật cách chấn dầy, đây là kỹ thuật điều khiển kết cấu bị động. Với kỹ thuật này, người thiết kế kháng chấn sẽ sử dụng các gối cách chấn đặt chèn giữa kết cấu bên trên và nền

móng công trình. Những gối này có độ cứng ngang nhỏ nên làm cho kết cấu mềm đi, chu kỳ cơ bản tăng lên và tránh xa được các vùng chu kỳ trội của các băng gia tốc nền. Nguồn năng lượng do động đất bị cách ly khỏi công trình. Do đó, phản ứng của kết cấu sẽ giảm đi, làm cho công trình có thể đứng vững được dưới các trận động đất [7].

Gối con lắc ma sát đôi (Double Friction Pendulum bearing, gối DFP) được chế tạo từ kim loại chống rỉ, có cấu tạo như Hình 1 và được mô tả rất chi tiết trong nghiên cứu của Fenz và cộng sự [8]. Đây là một dạng gối cách chấn được sử dụng rộng rãi trong những năm gần đây do có những cải tiến đáng kể. Cấu tạo của gối gồm hai mặt cong bán kính R_1 và R_2 , bên trong có một con lắc trượt trên 2 mặt cong này, hệ số ma sát tương ứng giữa con lắc và mặt cong lần lượt là μ_1 và μ_2 . Trong đó, hệ số ma sát μ_1 nhỏ hơn μ_2 , bán kính hai mặt cong bằng nhau ($R_1 = R_2$). Hệ số ma sát giữa con lắc và mặt cong thường rất nhỏ (từ 1% đến 15%). Để đảm bảo có được hệ số ma sát này, bề mặt của con lắc và mặt cong sẽ được phủ một lớp vật liệu Teflon. Khả năng chuyển vị ngang của gối là $d_1 + d_2$. Con lắc được cấu tạo có một khớp xoay để đảm bảo sự phân bố áp lực được đồng đều khi con lắc chuyển động, tránh các phá hoại cục bộ. Các giá trị h_1 và h_2 là chiều cao con lắc. Thiết kế của gối DFP được bắt nguồn từ sáng kiến của Touaillon năm 1870 [9], sử dụng những viên bi tròn lăn trên những mặt cong như một hệ cô lập móng. Trước nghiên cứu của Fenz và cộng sự về gối DFP [8], một số kết quả nghiên cứu về gối DFP cũng được công bố bởi Tsai [10], Hyakuda và cộng sự [11]. Những nghiên cứu này bước đầu cũng đã trình bày được những cải tiến của gối DFP so với gối con lắc ma sát đơn và cũng đã có những đánh giá về hiệu quả giảm chấn của nó. Tuy nhiên, nó còn mang tính rời rạc.



Hình 1: Gối con lắc ma sát đôi, gối DFP. (a) Cấu tạo bên trong, (b) Mặt cắt ngang [12].

Hiện nay, ở các nước tiên tiến như Mỹ, Nhật,... việc sử dụng gối DFP trong thiết kế kháng chấn trở nên phổ biến và những hiện quả của nó cũng đã được khẳng định. Đặc biệt, với cấu tạo như trên, gối DFP có sự làm việc rất linh động, đáp ứng được rất nhiều cấp động đất khác nhau. Do đó, gối DFP có thể rất phù hợp cho các thiết kế kháng chấn đa mục tiêu. Đây là xu hướng thiết kế mới, rất phát triển trong thời gian gần đây. Ở Việt Nam, thiết kế kháng chấn theo quan điểm hiện đại gắn với kỹ thuật điều khiển kết cấu nói chung, và kỹ thuật cách chấn đáy nói riêng chưa được nghiên cứu đầy đủ. Bài báo này sẽ đi phân tích ứng xử của kết cấu cách chấn bằng gối DFP chịu động đất trong điều kiện băng gia tốc nền tương tự như ở Việt Nam. Bước đầu của kết quả nghiên cứu là đánh giá hiệu quả giảm chấn của gối DFP cho công trình xây dựng ở Việt Nam.

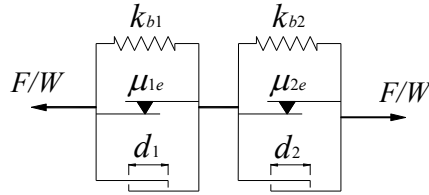
2 THIẾT LẬP MÔ HÌNH KẾT CẤU

2.1 Chuyển động và mô hình gối DFP

Dưới tác động của chuyển động nền, sự trượt ngang tương đối của con lắc trên các mặt cong sẽ xảy ra. Quá trình trượt của gối từ lúc bắt đầu cho đến khi đạt chuyển vị lớn nhất sẽ trải qua 3 giai đoạn trượt khác nhau, được Fenz và cộng sự mô tả rất chi tiết trong các nghiên cứu [8] và [12]. Giai đoạn I: Khi chuyển động nền đủ lớn, lực ngang trong gối F lớn hơn lực ma sát F_{f1} của mặt 1, mặt 1 sẽ trượt trước (mặt 2 chưa trượt). Giai đoạn II: Khi lực ngang trong gối F lớn hơn lực ma sát F_{f2} của mặt 2, mặt 2 sẽ trượt cùng với mặt 1 (cả hai mặt cùng trượt). Giai đoạn III: Khi chuyển vị ngang trong mặt 1 đạt giá trị lớn nhất (bằng

d_1), xuất hiện lực va chạm F_{r1} ngăn chuyển động trong mặt 1, lúc này sự trượt chỉ còn xảy ra ở mặt 2 (mặt 1 dừng trượt). Khi mặt 2 đạt chuyển vị lớn nhất (bằng d_2), gối đạt chuyển vị lớn nhất, lực va chạm F_{r2} xuất hiện ở mặt 2.

Mô hình gối DFP với ý tưởng xem gối DFP là 2 phần tử ma sát [12] nối tiếp. Phần tử thứ nhất là sự trượt ở mặt 1 với các đặc trưng vật lý là: khối lượng m_{b1} , độ cứng k_{b1} , hệ số ma sát μ_{1e} và khả năng trượt là d_1 . Phần tử thứ hai là sự trượt ở mặt 2 với các đặc trưng vật lý là: khối lượng m_{b2} , độ cứng k_{b2} , hệ số ma sát μ_{2e} và khả năng trượt là d_2 .



Hình 2: Mô hình nối tiếp gối DFP [12].

Những thông số vật lý của hai phần tử ma sát nối tiếp trong mô hình trên được xác định theo các phương trình như sau.

Độ cứng lò xo của phần tử gối như Phương trình (1) [12].

$$\begin{cases} k_{b1} = \frac{W}{R_1 - h_1} \\ k_{b2} = \frac{W}{R_2 - h_2} \end{cases} \quad (1)$$

trong đó: W là tổng trọng lượng kết cấu bên trên, R_i và h_i như trên Hình 1.

Những thành phần hệ số ma sát μ_{1e} và μ_{2e} thay đổi, phụ thuộc vào vận tốc trượt và áp lực bề mặt và được xác định theo Phương trình (2) [13]:

$$\mu_e = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min})e^{-\alpha|u|} \quad (2)$$

trong đó: μ_{\max} và μ_{\min} là hệ số ma sát ứng với vận tốc trượt lớn nhất và nhỏ nhất của con lắc trên mặt cong, α (s/m) là một hằng số phụ thuộc vào áp lực bề mặt ứng với mỗi vật liệu và u là vận tốc trượt.

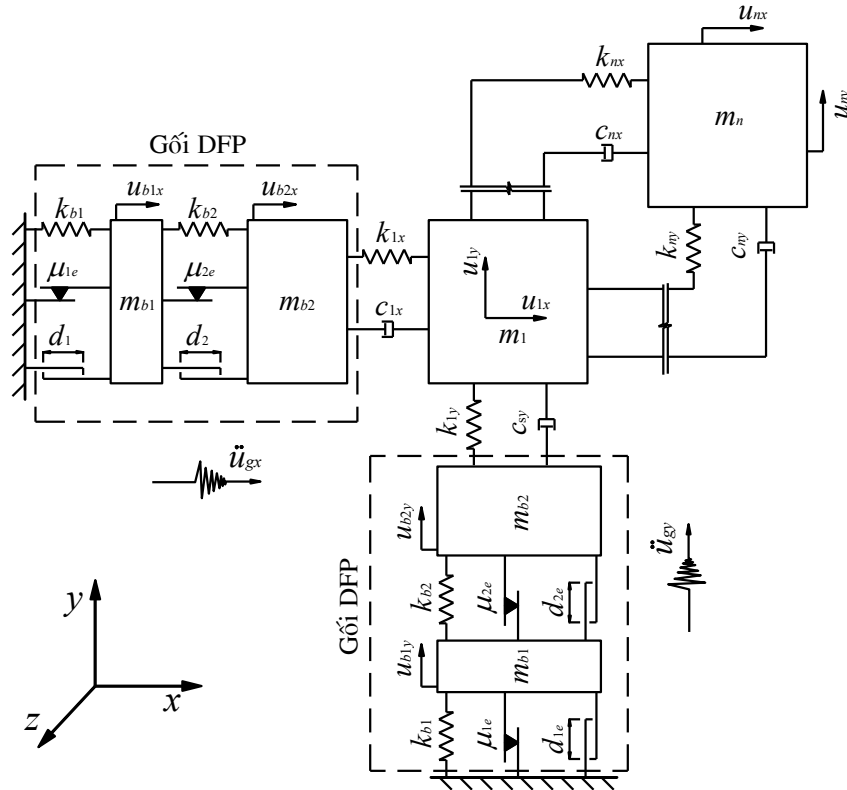
Khối lượng m_{b2} trong phần tử gối lấy bằng khối lượng của tầng bên trên gối. Khối lượng m_{b1} là rất nhỏ (khối lượng của con lắc). Khả năng trượt d_1 và d_2 là các kích thước như Hình 1.

2.2 Mô hình kết cấu cách chấn bằng gối DFP

Mô hình 2 chiều (2D) của kết cấu nhà n tầng được cách chấn bằng gối DFP chịu động đất được thiết lập như sau. Ở đây, kết cấu được giả thiết với bản sàn tuyệt đối cứng, bỏ qua chuyển vị xoay, mỗi tầng được thể hiện bằng một khối lượng gồm 2 bậc tự do là 2 chuyển vị theo phương ngang. Các đặc trưng vật lý của mỗi bậc tự do bao gồm: khối lượng m_i , độ cứng ngang k_i và hệ số cản c_i .

Kết nối mô hình nối tiếp của gối DFP như Hình 2 với mô hình kết cấu, ta thiết lập được mô hình 2D của kết cấu cách chấn bằng gối DFP chịu động đất được thiết lập như Hình 3. Mô hình này sẽ gồm $(n+2)$ khối lượng và có $(2n+4)$ bậc tự do. Mô hình này được phân tích với giả thiết ứng xử của kết cấu bên trên là đàn hồi tuyến tính, ứng xử của gối là phi tuyến.

Phương trình vi phân chuyển động của hệ theo từng phương x và y được thiết lập trên cơ sở cân bằng động theo nguyên lý D'Alembert cho mỗi khối lượng chuyển động trong mô hình. Ứng xử của kết cấu chịu động đất được xác định theo lịch sử thời gian bằng cách giải phương trình vi phân chuyển động này bằng các phương pháp số được lập trình bằng ngôn ngữ Matlab.



Hình 3: Mô hình 2D kết cấu cách chấn bằng gối DFP chịu động đất.

Thành phần lực ma sát trong gối tại từng mặt trượt theo 2 phương x và y được xác định theo mô hình dẻo (Viscoplasticity model, mô hình Bouc - Wen hiệu chỉnh) như sau [14]:

$$\begin{cases} F_{f1x} = \mu_{1e} W Z_{1x} \\ F_{f1y} = \mu_{1e} W Z_{1y} \end{cases} \quad (3)$$

trong đó: hệ số ma sát μ_{ie} được xác định theo Phương trình số 2. Vận tốc trượt trong phương trình này được tổng hợp từ 2 thành phần theo 2 phương x và y và được xác định theo Nagarajaiah (1991) [14] như Phương trình 4.

$$\dot{u}_i = \sqrt{\dot{u}_{ix}^2 + \dot{u}_{iy}^2} \quad (4)$$

Hàm biến trễ Z_{ix} và Z_{iy} xác định theo mô hình chuyển động 2 phương của Park và Wen, Nagarajaiah và cộng sự (1991) [14] từ hệ Phương trình vi phân 5.

$$\begin{pmatrix} \dot{Z}_x Y \\ \dot{Z}_y Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \dot{u}_{bx} \\ A \dot{u}_{by} \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 (\gamma \text{sign}(\dot{u}_{bx} Z_x) + \beta) & Z_x Z_y (\gamma \text{sign}(\dot{u}_{by} Z_y) + \beta) \\ Z_x Z_y (\gamma \text{sign}(\dot{u}_{bx} Z_x) + \beta) & Z_y^2 (\gamma \text{sign}(\dot{u}_{by} Z_y) + \beta) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}_{bx} \\ \dot{u}_{by} \end{pmatrix} \quad (5)$$

trong đó: khoảng dịch chuyển dẻo Y và các hệ số A , β và γ lần lượt là các đại lượng không thứ nguyên được xác định theo các nghiên cứu của Constantinou [13], các giá trị trên được lấy như sau: $Y = 0.25$ mm, $A = 1$, $\beta = 0.1$ và $\gamma = 0.9$.

Các thành phần lực va chạm trên từng mặt cong khi con lắc đạt dịch chuyển lớn nhất được xác định theo Phương trình 6 [12].

$$\begin{cases} F_{r1} = k_{r1} (|u_{b1}| - d_1) \text{sign}(u_{b1}) H(|u_{b1}| - d_1) \\ F_{r2} = k_{r2} (|u_{b2} - u_{b1}| - d_2) \text{sign}(u_{b2} - u_{b1}) H(|u_{b2} - u_{b1}| - d_2) \end{cases} \quad (6)$$

trong đó: chuyển vị trên các mặt cong u_i được tổng hợp từ 2 thành phần theo 2 phương x và y và được tính như Phương trình 7, H là giá trị hàm Heaviside và k_r là độ cứng lúc va chạm có giá trị rất lớn.

$$u_i = \sqrt{u_{ix}^2 + u_{iy}^2} \quad (7)$$

3 PHÂN TÍCH VÍ DỤ SỐ

Để minh họa kết quả mô hình lý thuyết và đánh giá hiệu quả giảm chấn của gói DFP, nghiên cứu tiến hành phân tích một ví dụ số kết cấu nhà 5 tầng bằng thép chịu động đất cho 2 trường hợp: kết cấu ngàm cứng và kết cấu được cách chấn bằng gói DFP. Thông qua kết quả phân tích, hiệu quả giảm chấn của gói DFP được đánh giá.

3.1 Thông số kết cấu phân tích và gói DFP

Kết cấu chọn phân tích là một ngôi nhà 5 tầng bằng thép, tỉ số cản $\xi = 2,5\%$. Kết cấu này được lấy trong mô hình thí nghiệm tỉ lệ thật của nhóm nghiên cứu Ryan và cộng sự [16]. Quy mô kết cấu này rất phù hợp và hiệu quả kháng chấn cao khi áp dụng kỹ thuật cách chấn đáy. Theo nghiên cứu trước của nhóm tác giả [15], hiệu quả cách chấn của gói con lắc ma sát đơn (gói SFP) cho kết cấu này đã được khảo sát và đánh giá tốt. Những thông số kết cấu cơ bản như Bảng 1.

Bảng 1: Thông số kết cấu.

Tầng	1	2	3	4	5
Khối lượng (kN.s ² /mm)	0.0824	0.0814	0.0811	0.0801	0.1199
Độ cứng ($k_x = k_y$) (kN/mm)	131	105	93.3	76.2	61.1

Thông số kỹ thuật của gói DFP được chọn cho phân tích được chọn dựa trên một số nghiên cứu trước [12], [15], có các thông số kỹ thuật được chọn cho gói như trong Hình 10 bao gồm: $R_1 = R_2 = 3000$ mm, $h_1 = 32$ mm, $h_2 = 40$ mm, $d_1 = d_2 = 300$ mm, $\mu_1 = 0.01 - 0.02$, $\mu_2 = 0.02 - 0.04$.

Thông số hiệu chỉnh biến trễ Z: $A = 1$; $Y = 0.25$ mm; $\gamma = 0.9$; $\beta = 0.1$; $\eta = 2$ [13].

Thông số hiệu chỉnh hệ số ma sát phụ thuộc vận tốc trượt: $\alpha = 0.02$ s/mm [13].

Thông số kết cấu bên trên và gói DFP trong phân tích này được chọn giống như trong nghiên cứu trước của nhóm tác giả N. Nguyễn [15]. Ở nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng gói con lắc ma sát đơn (gói SFP). Với kết quả phân tích này, ngoài việc đánh giá hiệu quả của gói DFP, ta có thể sơ bộ so sánh hiệu quả làm việc của gói DFP và SFP.

3.2 Dữ liệu gia tốc nền phân tích

Dữ liệu gia tốc nền là các băng gia tốc thực của những trận động đất được lấy từ trung tâm nghiên cứu động đất Thái Bình Dương của đại học Berkeley, Mỹ (PEER) [17], tương thích về độ lớn và điều kiện đất nền tại Hà Nội, thể hiện qua các thông số được tổng hợp ở Bảng 2. Trong phân tích theo lịch sử thời gian, số lượng băng gia tốc cần thiết cho phân tích là bảy [18] và giá trị sử dụng trong thiết kế là trung bình từ bảy kết quả phân tích ứng với 7 băng gia tốc.

Trong phân tích ví dụ, hai mức cấp độ động đất được thực hiện. Cấp thứ nhất ứng với mức động đất mạnh (xác suất 10% trong 50 năm, chu kỳ lặp là 475 năm) gọi là cấp DBE (Design Basis Earthquake) và Cấp thứ hai ứng với mức rất mạnh (xác suất 2% trong 50 năm, chu kỳ lặp là 2475 năm) gọi là cấp MCE (Maximum Considered Earthquake). Gia tốc nền thiết kế cho 2 mức này tương ứng là 0.108g và 0.24g. Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang của 2 mức này cho nền đất loại D được xây dựng như Hình 4 [5]. Để cho phổ gia tốc trung bình từ 7 băng gia tốc được chọn gần với phổ trong Hình 4, ta tiến hành hiệu chỉnh độ lớn các băng gia tốc bằng một hệ số nhân SF được xác định như Phương trình 8 [16].

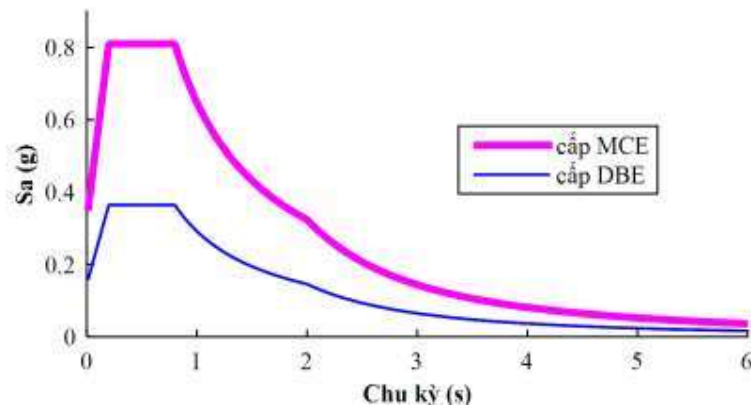
$$SF = \frac{\int_{T_1}^{T_2} S_{aG} 1.3 S_{aC} dT}{\int_{T_1}^{T_2} S_{aG}^2 dT} \quad (8)$$

trong đó: T_1 đến T_2 là vùng chu kỳ ảnh hưởng. Với kết cấu ngàm cứng $T_1 = 0.2T$ và $T_2 = 1.5T$ (trong đó: T là chu kỳ cơ bản của kết cấu ngàm cứng). Với kết cấu cách chấn $T_1 = 0.5T_D$ và $T_2 = 1.25T_M$ (trong

đó: T_D là chu kỳ hiệu quả ứng với cấp độ DBE và T_M ứng với cấp độ MCE của kết cấu cách chân) (theo ASCE 7-2010) [18]. S_{ac} là giá trị phổ mục tiêu thiết kế và S_{aG} là phổ gia tốc nền.

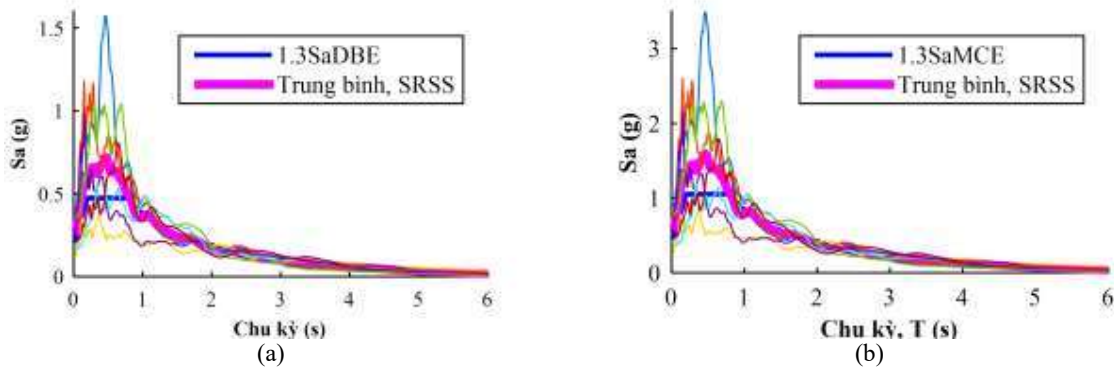
Bảng 2: Thông số gia tốc nền.

TT	Số hiệu	Trận động đất	Năm	Vị trí (Ký hiệu)	M_w	R_{rup} (km)	$v_{s,30}$ (m/s)	PGA (g)	
								x	y
1	326	Coalinga-01 (PAC)	1983	Parkfield - Cholame 2WA	6.36	44.72	173.02	0.110	0.110
2	334	Coalinga-01 (PAF)	1983	Parkfield - Fault Zone 1	6.36	41.99	178.27	0.143	0.110
3	718	Superstition Hills-01 (IVW)	1987	Imperial Valley Wildlife Liquefaction	6.22	17.59	179	0.133	0.131
4	729	Superstition Hills-02 (SUH)	1987	Imperial Valley Wildlife Liquefaction	6.54	23.85	179	0.179	0.206
5	759	Loma Prieta (FOC)	1989	Foster City - APEEL 1	6.93	49.94	116.35	0.257	0.284
6	962	Northridge-01 (WAT)	1994	Carson - Water St	6.69	49.81	160.58	0.092	0.088
7	178	Imperial Valley-06 (ELC)	1979	El Centro Array #3	6.5	12.85	162.94	0.180	0.215



Hình 4: Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang.

Sau khi hiệu chỉnh, phổ mục tiêu thiết kế sẽ tiệm cận với phổ trung bình của 7 băng gia tốc trong vùng chu kỳ ảnh hưởng, được thể hiện như Hình 5.



Hình 5: Phổ mục tiêu thiết kế và Phổ trung bình sau khi hiệu chỉnh. (a) cấp DBE, (b) cấp MCE

3.3 Kết quả phân tích và thảo luận

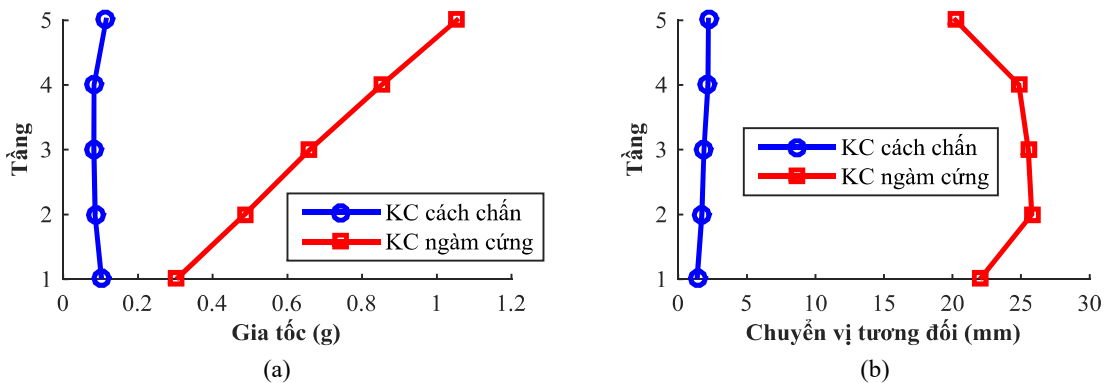
Phân tích theo lịch sử thời gian các mô hình kết cấu: ngàm cứng và cách chấn bằng gối DFP chịu 07 băng gia tốc nền cấp DBE. Kết quả trung bình từ 07 trường hợp phân tích được tổng hợp như trong Bảng 3. Trong đó, kết quả ứng xử của kết cấu được tổng hợp theo phương pháp căn bậc 2 các tổng bình phương (the square root of sum of squares, SRSS).

Bảng 3: Kết quả phân tích với cấp DBE.

Tầng		1		2		3		4		5	
		Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)
Gia tốc (g)	Kết cấu ngàm	0.30	66	0.49	83	0.66	88	0.85	90	1.05	89
	KC cách chấn	0.10		0.09		0.08		0.08		0.11	
Lực cắt ($\cdot 10^3$ kN)	Kết cấu ngàm	2.88	93	2.71	93	2.38	93	1.89	91	1.24	89
	KC cách chấn	0.18		0.18		0.17		0.17		0.13	
Lực cắt đáy ($\cdot 10^3$ kN)	Kết cấu ngàm	2.89									
	KC cách chấn	0.28 (giảm: 90%)									
Chuyển vị gối (cm)	Kết cấu ngàm	0									
	KC cách chấn	8.3									

Theo như kết quả này, ta thấy hiệu quả giảm chấn của gối DFP trong trường hợp này là rất tốt. Gia tốc tuyệt đối trong các tầng giảm từ 66% đến 90%. Lực cắt trong các tầng cũng cho kết quả rất tốt, giảm từ 89% đến 93%. Tổng lực ngang tại đáy công trình giảm 90%. Chuyển vị của gối 8.3 cm. Kết quả này cho thấy gối chỉ dịch chuyển chủ yếu ở mặt cong 1 (có hệ số ma sát nhỏ), có thể cấp động đất DBE nhỏ nên gối chỉ chuyển động ở giai đoạn I.

Hình 6 mô tả giá trị gia tốc tuyệt đối trong các tầng và chuyển vị tương đối trong các tầng của kết cấu ngàm cứng và được cách chấn bằng gối DFP. Ta thấy với kết cấu cách chấn thì ứng xử trong các tầng giảm rất nhiều và có giá trị gần như nhau. Điều này mô tả sự cách ly của kết cấu khỏi chuyển động nền, kết cấu như một khối cứng nên trên, giá trị ứng xử các tầng gần như nhau.



Hình 6: Ứng xử của kết cấu trong các tầng với cấp DBE. (a) Gia tốc, (b) Chuyển vị tương đối

Thực hiện phân tích và tổng hợp kết quả tương tự như cấp động đất DBE, kết quả cho trường hợp phân tích với cấp động đất MCE được trình bày trong Bảng 4.

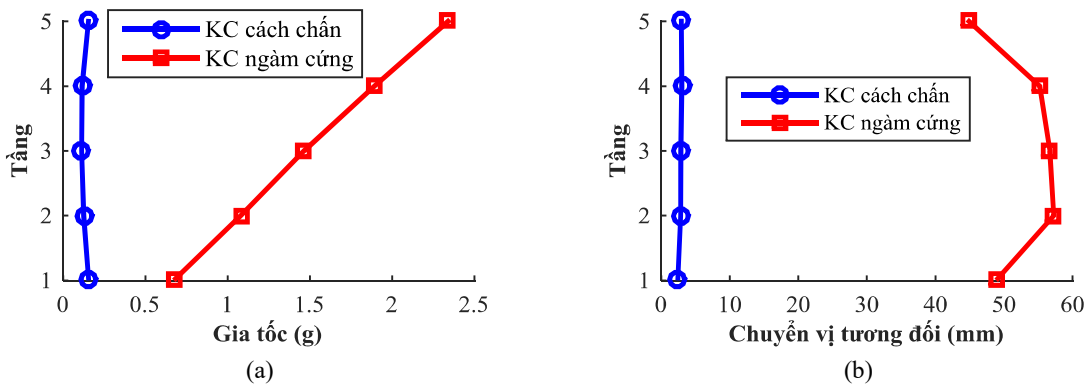
Theo như kết quả trong Bảng 4, hiệu quả của gối DFP cho cấp MCE cao hơn cấp DBE. Điều này cho thấy, gối DFP có hiệu quả cao với các cấp động đất mạnh, rất có ý nghĩa trong thiết kế kháng chấn.

Chuyển vị của gối trong trường hợp này là 25 cm. Kết hợp với kết quả đường ứng xử trễ của gối trong Hình 12, ta có thể nhận thấy gối làm việc trong giai đoạn II. Chuyển động của con lắc diễn ra trong cả hai mặt cong của gối.

Bảng 4: Kết quả phân tích với cấp MCE.

Tầng		1		2		3		4		5	
		Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)	Giá trị	Giảm (%)
Gia tốc (g)	Kết cấu ngàm	0.67	76	1.14	88	1.64	92	2.14	94	2.58	93
	KC cách chấn	0.16		0.14		0.13					
Lực cắt ($\cdot 10^3$ kN)	Kết cấu ngàm	7.27	95	6.84	95	5.98	95	4.70	94	3.03	94
	KC cách chấn	0.36		0.34		0.30					
Lực cắt đáy ($\cdot 10^3$ kN)	Kết cấu ngàm	7.27									
	KC cách chấn	0.44 (giảm: 94%)									
Chuyển vị gối (cm)	Kết cấu ngàm	0									
	KC cách chấn	25									

Kết quả ứng xử của kết cấu ngàm cứng và cách chấn bằng gối DFP với cấp động đất MCE được trình bày như Hình 7. Kết quả này tương tự như cấp động đất DBE.

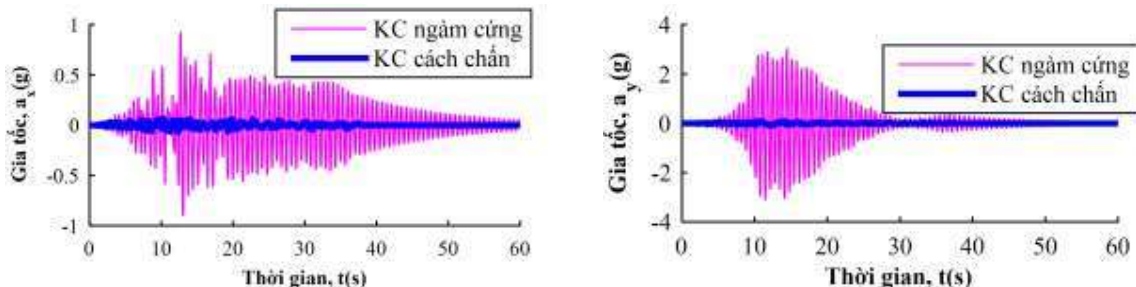


Hình 7: Ứng xử của kết cấu trong các tầng với cấp MCE. (a) Gia tốc, (b) Chuyển vị tương đối

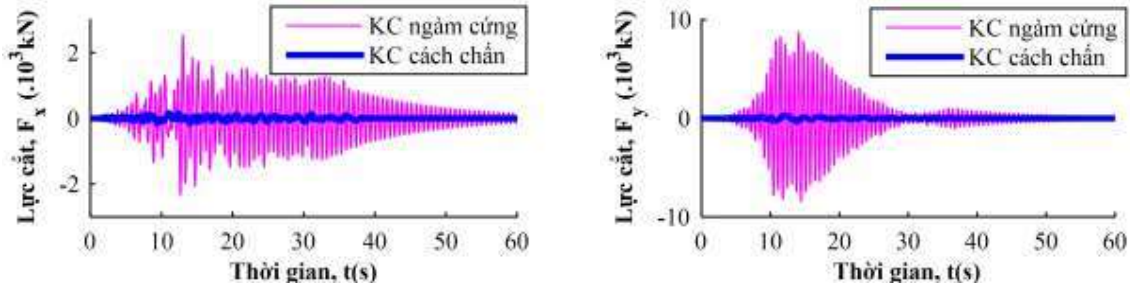
So sánh với kết quả nghiên cứu trước của N. Nguyễn và cộng sự [15], ta thấy hiệu quả của gối DFP tốt hơn gối SFP khi phân tích trên cùng một kết cấu và dữ liệu gia tốc nền. Điều này cũng phù hợp với những nghiên cứu trước đây của các tác giả Fenz [8], Tsai [10] và Hyakuda [11].

Hình 8 đến Hình 11 trình bày ứng xử của kết cấu theo lịch sử thời gian cho một số trường hợp phân tích. Những trường hợp khác cho kết quả tương tự, không trình bày ở đây.

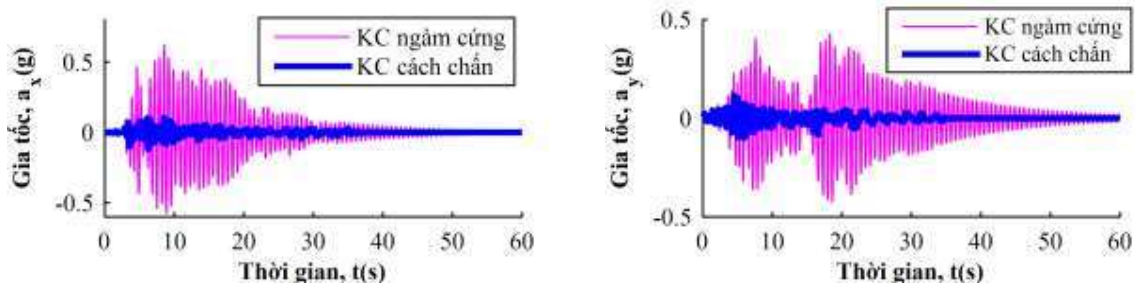
Những kết quả này cho thấy, hiệu quả giảm chấn của gối DFP là trên cả toàn miền thời gian. Nó cho thấy gần như ứng xử của kết cấu không có thay đổi nhiều trong toàn bộ thời gian xảy ra động đất. Nó cũng cho thấy là kết cấu gần như cách ly hoàn toàn khỏi chuyển động nền.



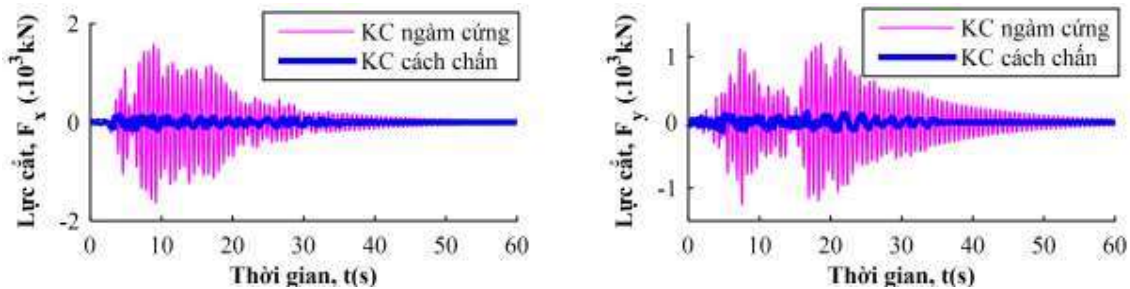
Hình 8: Gia tốc trong tầng 5, với băng gia tốc FOC, cấp MCE.



Hình 9: Lực cắt trong tầng 1, với băng gia tốc FOC, cấp MCE.

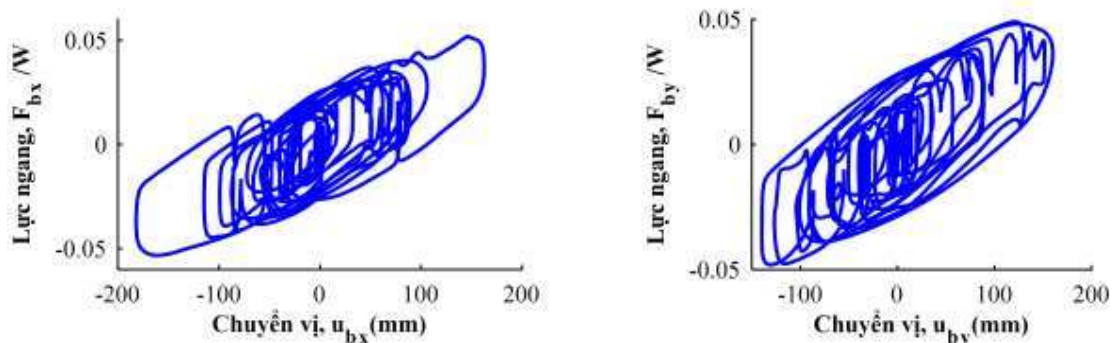


Hình 10: Gia tốc trong tầng 5, với băng gia tốc ELC, cấp DBE.



Hình 11: Lực cắt trong tầng 1, với băng gia tốc ELC, cấp DBE.

Hình 12 thể hiện kết quả quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang của gối (đường ứng xử trễ) với trường hợp phân tích kết cấu cách chấn chịu băng gia tốc ELC, cấp MCE. Những trường hợp khác tương tự.



Hình 12: Đường ứng xử trễ của gối, với băng gia tốc ELC, cấp MCE.

Trong Mục 3.2, khi tiến hành hiệu chỉnh các băng gia tốc bằng hệ số SF. Các giá trị T_B và T_M ta phải giả định trước theo kinh nghiệm. Khi có kết quả phân tích, ta tiến hành tính toán và kiểm tra lại các giá trị này theo các Phương trình (9) và Phương trình (10) [19].

$$K_{eff} = \frac{F_{max}}{u_b} \quad (9)$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{eff}}} \quad (10)$$

4 KẾT LUẬN

Với những kết quả phân tích và thảo luận như trên, một số kết luận được rút ra như sau:

- Sử dụng mô hình 2 chiều (2D) cho kết cấu cách chấn bằng gối con lắc DFP trong phân tích. Mô hình này đơn giản, rất phù hợp để nhanh chóng xác định phản ứng của kết cấu chịu động đất.

- Hiệu quả giảm chấn của gối DFP cho công trình xây dựng ở Việt Nam được phân tích ở 2 cấp độ đất là DBE và MCE, kết quả cho thấy hiệu quả giảm chấn của gối DFP là rất tốt, từ 70% đến trên 90%. Thông qua đây cho thấy, gối DFP phù hợp cho thiết kế kháng chấn cho các công trình xây dựng chịu động đất ở Việt Nam.

- Gối DFP có hiệu quả giảm chấn ở nhiều mức độ nguy cơ động đất khác nhau, từ thấp đến cao. Đây là điểm phù hợp cho thiết kế kháng chấn đa mục tiêu sử dụng gối này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Thường. (2019) Động đất liên tiếp ở Cao Bằng, Hà Nội và nhiều tỉnh rung chấn. [Online]. Available: <https://vietnamnet.vn/vn/thoi-su/dong-dat-o-ha-noi-va-nhieu-tinh-co-rung-lac-591500.html>
- [2] Ngọc Lý. (2019) Cản trọng với tai biến động đất. [Online]. Available: <http://www.monre.gov.vn/Pages/can-trong-voi-tai-bien-dong-dat.aspx>
- [3] Giao Chính. (2019) Hà Nội tiếp tục rung chấn do động đất. [Online]. Available: <https://vnexpress.net/thoi-su/ha-noi-tiep-tuc-rung-chan-do-dong-dat-4018792.html>
- [4] Quang Duẩn. (2011) Hà Nội nằm trong vùng động đất cấp 7-8. [Online]. Available: <https://thanhnien.vn/thoi-su/ha-noi-nam-trong-vung-dong-dat-cap-7-8-432322.html>
- [5] Tiêu chuẩn Quốc gia, *TCVN 9386:2012 Thiết kế công trình chống động đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2013.
- [6] J. Connor, *Structural Motion Control*, Pearson Education, Inc, 2003.
- [7] Y. P. Wang, *Fundamentals of seismic base isolation*. International training program for seismic design of building structures, sponsored by National Science Council, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2002.
- [8] D. M. Fenz and M. C. Constantinou, Behaviour of the double concave Friction Pendulum bearing, *Earthquake Engineering and Structural dynamics*, vol. 35, no. 11, pp. 1403-1424, 2006.
- [9] J. Touaillon, *Improvement in buildings*, U.S. Patent No. 99,973. 15 Feb. 1870.
- [10] C. S. Tsai, T. C. Chiang, C. K. Cheng, W. S. Chen, and C. W. Chang, An Improved FPS Isolator for Seismic Mitigation on Steel Structure, *In ASME 2002 Pressure Vessels and Piping Conference*, American Society of Mechanical Engineers, pp. 237-244, 2002.
- [11] T. Hyakuda, et al, The structural design and earthquake observation of a seismic isolation building using Friction Pendulum system. *Proceedings, 7th International Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*, Assisi, Italy, 2001.
- [12] D. M. Fenz and M. C. Constantinou, *Mechanical behavior for Multi-Spherical Sliding Bearings*, Technical Report MCEER-08-0007, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, NY, 2008.

- [13] M. C. Constantinou, A. Mokha, and A. Reinhorn, Teflon bearings in base isolation II: Modeling, *ASCE Journal of Structural Engineering*, vol. 116, no. 2, pp. 455-474, 1990.
- [14] S. Nagarajaiah, M. A. Reinhorn and M. C. Constantinou, Nonlinear dynamic analysis of 3D-base isolated structures, *Journal of Structural Engineering*, vol 117, no. 7, pp. 2035 - 2054, 1991.12
- [15] N. V. Nguyen, C. H. Nguyen, H. P. Hoang, and K. T. Huong, Performance of Single Friction Pendulum bearing for isolated buildings subjected to seismic actions in Vietnam. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 143, no. 1, p. 012048, 2018.
- [16] N. D. Dao, *Seismic Response of a Full-scale 5-story Steel Frame Building Isolated by Triple Pendulum Bearings under Three-Dimensional Excitations*, University of Nevada, Reno, 2012.
- [17] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2019) Ground motion database. [Online]. Available: <http://ngawest2.berkeley.edu/>
- [18] American Society of Civil Engineers, Minimum Design Load for Buildings and Other Stru., ASCE 7-10, 2010.
- [19] F. Fadi and M. Constantinou, Evaluation of simplified methods of analysis for structures with triple friction pendulum isolators, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol 39, no. 1, pp. 5 - 22, 2010.

Ngày nhận bài: 31/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 09/03/2020