

# ƯỚC TÍNH CHUYỂN VỊ LỚN NHẤT CỦA GỐI CON LẮC MA SÁT BẰNG PHƯƠNG PHÁP LỰC NGANG TƯƠNG ĐƯƠNG

NGUYỄN VĂN NAM

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

Email: nguyenvannam@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v67i01.5035>

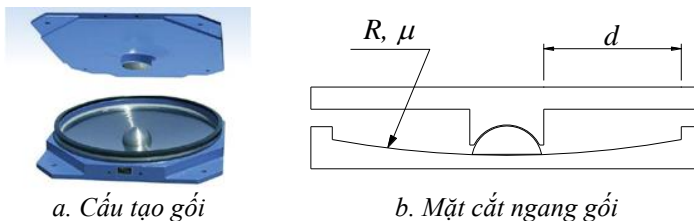
**Tóm tắt.** Gối con lắc ma sát đơn là thiết bị kháng chấn rất hiệu quả cho kết cấu. Trong quá trình chuyển động, chuyển vị ngang của gối thường rất lớn, đây là một yếu tố bất lợi của nó. Do đó, kỹ sư thiết kế cần phải có một phương pháp xác định thông số này một cách nhanh chóng và chính xác. Bài báo này sẽ trình bày một phương pháp xác định chuyển vị ngang lớn nhất của gối dựa theo phương pháp lực ngang tương đương được quy định trong tiêu chuẩn ASCE/SEI 7-16. Nghiên cứu này cũng tiến hành đánh giá độ chính xác của phương pháp này bằng cách so sánh với kết quả phân tích theo lịch sử thời gian của một ví dụ số. Chuyển động nền được chọn trong phân tích là 14 băng gia tốc gần phay đứt gãy có chứa các xung vận tốc. Thông qua kết quả thu được từ phân tích, độ chính xác của phương pháp lực ngang tương đương cho trường hợp này được chỉ ra.

**Từ khóa.** Lực ngang tương đương, gối con lắc ma sát đơn, chuyển vị ngang lớn nhất, thiết kế kháng chấn.

## 1 GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, thiết kế công trình chịu động bằng những kỹ thuật điều khiển dao động kết cấu đã mang lại những hiệu quả rõ rệt. Những kết cấu được thiết kế theo những công nghệ này sẽ được lắp đặt những thiết bị hấp thụ, tiêu tán năng lượng hoặc cách li nguồn năng lượng do động đất truyền vào. Gối con lắc ma sát đơn (Single Friction Pendulum, SFP), có cấu tạo như Hình 1, là một trong những thiết bị cách li dao động, sử dụng như một thiết bị điều khiển kết cấu bị động. Gối được chế tạo từ thép không gỉ cường độ cao và có khả năng chịu lực thẳng đứng rất tốt, chính vì những ưu điểm này nên nó được sử dụng rất phổ biến trong kỹ thuật thiết kế kháng chấn những năm gần đây. Cấu tạo của gối SFP bao gồm một con lắc trượt trên một mặt cong có bán kính  $R$ , bên trên con lắc là một tấm thép phẳng dùng để liên kết với kết cấu bên trên. Hệ số ma sát  $\mu$  giữa con lắc và mặt cong khi trượt thường rất nhỏ do nó được phủ một lớp vật liệu teflon (khoảng từ 4% đến 15%). Khả năng chuyển vị ngang của gối là  $d$ . Lợi thế lớn nhất của dạng gối này là chi phí xây dựng thấp và việc lắp đặt cũng rất dễ dàng do nó có chiều cao thấp [1].

Dưới tác dụng của chuyển động nền, con lắc sẽ trượt theo phương ngang. Bán kính cong sẽ tạo ra một độ cứng ngang nhất định để giúp con lắc phục hồi về trung tâm khi chuyển động nền tắt dần, điều này mang lại sự ổn định kết cấu. Khi dịch chuyển ngang lớn hơn kích thước  $d$ , bên trong gối sẽ xuất hiện hiện tượng va chạm giữa con lắc và vành tròn giới hạn của gối. Hiện tượng va chạm này là một bất lợi cho gối và kết cấu bên trên, nó là tăng lực cắt đáy và tăng gia tốc tuyệt đối trong kết cấu. Những bất lợi này được Khoshnoudian và Hemmati phân tích và đánh giá rất rõ trong nghiên cứu của mình [2]. Do đó, trong kỹ thuật thiết kế kháng chấn có sử dụng công nghệ cách chấn đáy, người kỹ sư rất chú tâm đến việc xác định chính xác chuyển vị ngang lớn nhất của gối theo từng yêu cầu thiết kế.



Hình 1: Gối con lắc ma sát đơn [1].

Việc xác định chuyển vị ngang lớn nhất trong gối đã được nhiều nghiên cứu và các phương pháp tính

toán được đề xuất trước đây. Những phương pháp phân tích động thường cho kết quả chính xác cao. Tuy nhiên, những phương pháp này thường phức tạp và tiêu tốn nhiều thời gian. Trong một số yêu cầu thiết kế, đặc biệt là giai đoạn thiết kế sơ bộ, việc xác định chuyển vị ngang của gối cần được thực hiện nhanh chóng và phương pháp tính toán phải thật đơn giản. Điều này nó có những ý nghĩa rất lớn về thời gian và chi phí. Một trong những phương pháp đáp ứng tốt những yêu cầu này là phương pháp lực ngang tương đương (Equivalent Lateral Force, ELF). Tiêu chuẩn ASCE 7-16 [3] cũng đã đưa ra những quy định chung cho phương pháp này. Tùy theo những hệ thống cách chấn, những nghiên cứu trước đây cũng đã vận dụng những quy định này để đề xuất ra một quy trình tính toán cũng như đưa ra những kiến nghị khi áp dụng để đảm bảo độ chính xác. Franchin và cộng sự đã đề cập đến phương pháp này từ năm 2001 [4]. Nghiên cứu này đã sử dụng các phương pháp tuyến tính tương đương trong phân tích cách chấn cho công trình cầu, những kiến nghị sử dụng các thông số tuyến tính tương để đảm bảo độ chính xác được chỉ ra. Jara và cộng sự cũng [5] đã cải tiến độ cứng ngang hữu hiệu và tỷ số giảm chấn tương đương để đảm bảo độ chính xác cho phương pháp lực ngang tương đương, áp dụng cho kết cấu cầu được cách chấn bằng gối đàn hồi. Nghiên cứu của Ryan và cộng sự năm 2004 [6] đã phát triển phương pháp lực tuyến tính tương đương theo IBC (International Building Code) cho một hệ thống cách chấn bằng gối con lắc ma sát đơn. Kết quả tính toán theo phương pháp này có sai số nhỏ hơn từ 20% đến 38% khi so sánh với kết quả được phân tích theo phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian. Tác giả Dao và cộng sự [7] cũng thiết lập một mối quan hệ giữa chuyển vị cực đại của hệ thống cách chấn đáy bằng phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian và phương pháp lực tuyến tính tương đương theo tiêu chuẩn ASCE 7-16. Từ những kết quả phân tích trên mô hình số của hệ cách chấn bằng gối cao su có lõi chì chỉ ra được sai số của phương pháp tuyến tính tương đương, kết quả trung bình của tất cả những bang gia tốc của phương pháp này nhỏ hơn từ 10,7%, trường hợp cao nhất là 34,11%.

Tất cả những nghiên cứu trước đây đều có cùng mục đích là đề xuất phương pháp xác định chuyển vị lớn nhất của hệ cách chấn đáy một cách nhanh chóng và hiệu quả. Những nghiên cứu này đã vận dụng những tiêu chuẩn khác nhau, cách tiếp cận và sử dụng cho những dạng gối cách chấn khác nhau. Phương pháp lực ngang tương đương đã đáp ứng yêu cầu đơn giản trong quá trình tính toán và thực hiện một cách nhanh chóng. Tuy nhiên, kết quả của phân tích này thường nhỏ hơn so với kết quả khi thực hiện bằng phương pháp phân tích theo lịch sử thời gian (Time-History Analysis, THA). Trong nghiên cứu này, các bước của phương pháp ELF dựa theo những quy định trong tiêu chuẩn ASCE 7-16 để xác định chuyển vị lớn nhất của hệ thống cách chấn bằng gối SFP được thiết lập. Nghiên cứu cũng tiến hành phân tích một ví dụ số cụ thể một kết cấu có một bậc tự do được cách chấn bằng gối SFP bằng phương pháp THA chịu 14 băng gia tốc gần đứt gãy có chứa các xung vận tốc. Kết quả phân tích này được so sánh với kết quả xác định chuyển vị ngang lớn nhất bằng phương pháp ELF được đề xuất để đánh giá sai số của phương pháp ELF. Bên cạnh đó, nghiên cứu còn phân tích thêm trường hợp có xét đến thành phần gia tốc theo phương đứng trong phân tích THA để đánh giá ảnh hưởng của thành phần gia tốc này.

## 2 PHƯƠNG PHÁP LỰC NGANG TƯƠNG ĐƯƠNG

Phương pháp lực ngang tương đương để xác định chuyển vị ngang lớn nhất của gối SFP được đề xuất trong nghiên cứu này dựa theo những hướng dẫn và quy định trong Chương 17 tiêu chuẩn ASCE 17-16 [3] và một số nghiên cứu trước đây. Những đại lượng tính toán trong các công thức được xác định phù hợp với nguyên lý cấu tạo và chuyển động của gối SFP.

### 2.1 Chuyển động ngang của gối

Gối SFP có cấu tạo như Hình 1. Dưới tác dụng của chuyển động nền, con lắc bên trong sẽ trượt trên mặt cong và dịch chuyển theo phương ngang. Nguyên lý chuyển động, quan hệ giữa lực ngang trong gối và chuyển vị ngang được các nghiên cứu trước đây [8], [9] và [10] mô tả rất chi tiết. Khi con lắc dịch chuyển ngang một đoạn là  $u$ , toàn bộ lực ngang trong gối bao gồm lực phục hồi do bán kính cong, lực ma sát giữa con lắc và mặt cong. Khi chuyển vị  $u$  lớn hơn khả năng dịch chuyển ngang của gối là  $d$ , trong gối xuất hiện thêm thành phần lực va chạm giữa con lắc và vành của gối. Phương trình (1) sẽ mô tả quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gối.

$$F = \frac{W}{R}u + F_f + F_r \quad (1)$$

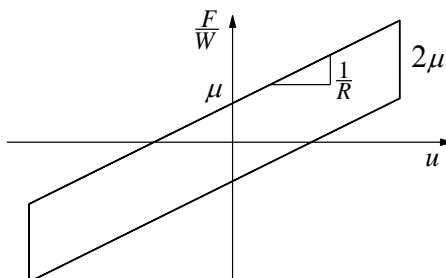
trong đó:  $W$  là tổng trọng lượng bên trên gối,  $F_f = \mu W$  là thành phần lực ma sát và  $F_r$  là thành

phần lực va chạm, được xác định theo Phương trình (2):

$$F_r = k_r (|u| - d) \text{sign}(u) H(|u| - d) \quad (2)$$

trong đó:  $H$  là giá trị hàm heaviside,  $k_r$  là độ cứng lúc va chạm có giá trị lớn.

Đường ứng xử trễ mô tả quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang của gối SFP được trình bày như Hình 2.



Hình 2: Đường ứng xử trễ gối SFP [10].

## 2.2 Thiết lập phương pháp tính toán

Công thức xác định chuyển vị ngang lớn nhất của gối SFP dưới tác dụng của chuyển động nền là  $D_M$  (mm) được xác định theo Mục 17.5.3.1 tiêu chuẩn ASCE 17-16, công thức tính được viết như Phương trình (3):

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (3)$$

trong đó:  $g$  là gia tốc trọng trường ( $\text{mm/s}^2$ ),  $S_{M1}$  là giá trị phổ gia tốc tại chu kỳ 1 s với tỷ số cản là 5%,  $T_M$  (s) là chu kỳ hiệu quả của hệ cách chấn tại chuyển vị  $D_M$ ,  $B_M$  là hệ số xác định theo Bảng 17.5-1 [3] phụ thuộc vào tỉ số cản hiệu quả của hệ cách chấn  $\beta_M$ .

Để áp dụng được công thức như Phương trình (3), kết cấu cách chấn phải thỏa mãn những yêu cầu được quy định tại Mục 17.4.1 tiêu chuẩn ASCE 17-16 [3]. Theo đó, toàn bộ kết cấu bên trên được xem như là một khối cứng và có ứng xử tuyến tính, có chu kỳ hiệu quả là  $T_M$  và tỉ số cản hiệu quả là  $\beta_M$ .

Chu kỳ hiệu quả  $T_M$  được xác định theo Phương trình (17.5-2) [3], viết lại như Phương trình (4):

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_{eff}}} \quad (4)$$

trong đó,  $K_{eff}$  là độ cứng tương đương của hệ cách chấn tại chuyển vị  $D_M$ , nó được xác định theo Phương trình (17.2-3) tiêu chuẩn ASCE 17-16. Tuy nhiên, để đơn giản trong tính toán, giá trị này có thể được tính theo Phương trình (5) [11]:

$$K_{eff} = \frac{F_{DM}}{D_M} \quad (5)$$

trong đó,  $F_{DM}$  là giá trị lực ngang trong gối tại chuyển vị  $D_M$ . Giá trị  $F_{DM}$  và  $D_M$  thì xác định theo quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gối, như Hình 2.

Tỉ số cản hiệu quả là  $\beta_M$  được xác định theo Phương trình (17.2-4) tiêu chuẩn ASCE 17-16, được viết lại như Phương trình (6):

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi K_{eff} D_M^2} \quad (6)$$

trong đó, giá trị  $\sum E_M$  (N-mm) là tổng năng lượng tiêu tán trong một chu kỳ của hệ kết cấu cách chấn. Để đơn giản, đại lượng này được xác định diện tích của đường ứng xử trễ ứng với chuyển vị  $D_M$  [11].

Chuyển vị ngang của gối được xác định theo Phương trình (3). Tuy nhiên, các đại lượng trong Phương trình này được xác định phụ thuộc vào giá trị  $D_M$  cần tìm. Do đó, chúng ta cần phải giả thuyết trước giá trị  $D_M$  để đi tìm các đại lượng này. Quá trình tính toán được thực hiện bằng phương pháp lặp để xác định được chuyển vị cuối cùng. Kết quả tính toán sau cùng cần phải kiểm tra tính hội tụ theo giả thuyết này.

### 3 PHÂN TÍCH VÍ DỤ SỐ VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

#### 3.1 Đặc trưng kết cấu và lựa chọn chuyển động nền

Kết cấu phân tích trong ví dụ này tuân thủ những yêu cầu trong tiêu chuẩn ASCE 7-16. Kết cấu bên trên có độ cứng ngang lớn hơn nhiều so với độ cứng ngang của gối. Để áp dụng phương pháp ELF, toàn bộ kết cấu bên trên xem như một khối cứng đặt trên gối SFP. Hệ kết cấu cách chân này xem như ứng xử tuyến tính, có các thông số vật lý tương đương được xác định theo quy trình như ở Mục 2.2 như trên. Tổng trọng lượng của hệ kết cấu này là  $W$  giả định bằng  $5.10^5$  N.

Gối con lắc ma sát đơn SFP có cấu tạo như Hình 1. Những thông số kỹ thuật của gối bao gồm: bán kính mặt cong  $R = 4000$  mm, hệ số ma sát giữa con lắc và mặt cong là  $\mu = 10\%$  và khả năng dịch chuyển ngang của gối lớn nhất là  $d = 1000$  mm.

Gia tốc nền xét trong ví dụ này được giả định tại vị trí là thành phố Los Angeles, miền Nam California. Nền đất tại vị trí này thuộc loại D. Các thông số xác định phổ gia tốc bao gồm:  $S_1 = 0.7$ , giá trị  $F_v = 1.7$ , khi đó giá trị  $S_{M1}$  là 1.19 [3].

#### 3.2 Xác định chuyển vị theo phương pháp ELF

Từ những đặc trưng về kết cấu, đường ứng xử xử trễ của hệ cách chân có hình dạng như Hình 2 sẽ được xác định cụ thể. Ta tiến hành tính toán lặp để xác định giá trị chuyển vị ngang lớn nhất của gối theo quy trình được thiết lập như Mục 2.2. Tại vòng lặp cuối cùng, giá trị chuyển vị ngang lớn nhất được giả thiết là 570 mm. Tại chuyển vị giả thiết này, giá trị lực ngang trong gối  $F_{DM} = 121.250$  N, độ cứng tương đương  $K_{eff} = 212.7$  N/mm, tổng năng lượng tiêu tán trong một chu kỳ lấy bằng diện tích đường ứng xử trễ tại chuyển vị giả thiết này là  $114.10^6$  N.mm. Tỷ số cản hiệu quả là  $\beta_M$  được xác định là 26.35%, giá trị  $B_M$  được tra bảng bằng 1.6. Chu kỳ hiệu quả của hệ cách chân là  $T_M = 3.07$  s. Kết quả tính toán giá trị chuyển vị ngang tại lần lặp này là 569 mm. Kết quả này xem như hội tụ vì sai số rất nhỏ và đây được xem như là kết quả tính toán chuyển vị ngang lớn nhất  $D_M$  theo phương pháp ELF.

Nghiên cứu của Dao năm 2022 [12] đã đề xuất một công thức thực hành xác định chuyển vị ngang của hệ cách chân bằng gối SFP như Phương trình (7):

$$D_M = 0.1 \sqrt{\frac{S_{M1}^3 \sqrt{R}}{\mu}} \quad (7)$$

Theo công thức này, giá trị chuyển vị ngang lớn nhất của hệ cách chân trong ví dụ này được tính toán bằng 580 mm. Kết quả này rất gần với kết quả theo phương pháp ELF đề xuất trong nghiên cứu này là 569 mm (sai số là 1.93%). Đây có thể xem là cơ sở đánh giá độ tin cậy của phương pháp được đề xuất trong nghiên cứu này là tốt.

#### 3.3 Phân tích mô hình theo lịch sử thời gian

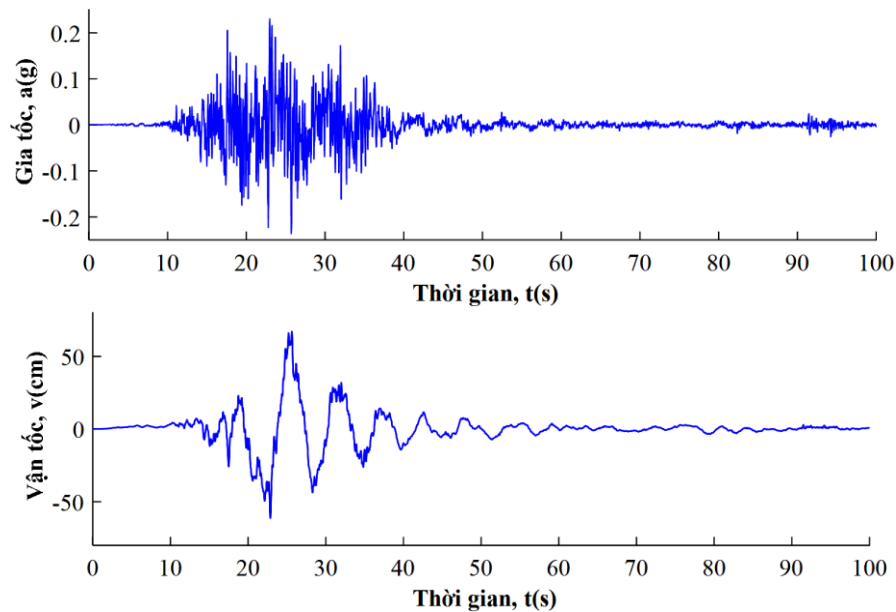
Dữ liệu chuyển động nền sử dụng trong phân tích là những băng gia tốc thực, được lấy từ trung tâm nghiên cứu động đất Thái Bình Dương của Đại học Berkeley, Mỹ (PEER) [13]. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng 14 băng gia tốc theo thành phần thứ nhất của phương ngang. Những đặc trưng cơ bản của những băng gia tốc này được trình bày như Bảng 1.

Bảng 1: Gia tốc nền sử dụng trong phương pháp THA [13].

RSN	Vị trí	Năm	$M_w$	$R_{rup}$ (km)	$v_{s,30}$ (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGV/PGA (s)
170	EC County Center FF	1979	6.53	7.31	192	0.212	38.41	0.18
171	El Centro - Mel. Geot. Array	1979	6.53	0.07	264	0.316	72.94	0.24
179	El Centro Array #4	1979	6.53	7.05	209	0.370	80.44	0.22
180	El Centro Array #5	1979	6.53	3.95	206	0.383	96.94	0.26
803	Saratoga - W Valley Coll.	1989	6.93	9.31	348	0.256	42.04	0.17
1044	Newhall - Fire Sta	1994	6.69	5.92	269	0.590	97.02	0.17
1114	Port Island (0 m)	1995	6.9	3.31	198	0.348	90.69	0.27
1119	Takarazuka	1995	6.9	0.27	312	0.697	68.53	0.10
4458	Ulcinj - Hotel Olympic	1979	7.1	5.76	318	0.293	43.60	0.15
6897	Dar. New Zealand, DSLC	2010	7	8.46	295	0.237	67.29	0.29

6906	Dar. New Zealand, GDLC	2010	7	1.22	344	0.707	100.32	0.14
6911	Dar. New Zealand, HORC	2010	7	7.29	326	0.477	69.88	0.15
6962	Dar. New Zealand, RORC	2010	7	1.54	295	0.325	57.06	0.18
8119	Pages Road Pumping Station	2011	6.2	1.98	206	0.670	96.61	0.15

Dữ liệu những băng gia tốc trong Bảng 1 là những trận động đất mạnh, có cường độ  $M_w$  lớn hơn 6. Những chuyển động này gần phay đứt gãy, khoảng cách từ vị trí đo đến phay đứt gãy  $R_{rup}$  là nhỏ hơn 10 km [7] và chứa các xung vận tốc. Tỉ số giữa vận tốc đỉnh và gia tốc đỉnh (PGV/PGA) lớn hơn 0.1 s [14]. Vị trí thuộc thành phố Los Angeles, miền Nam California là nền đất loại D nên có giá trị vận tốc truyền sóng cắt ở độ sâu 30 m ( $v_{s,30}$ ) nằm trong khoảng từ 180 m/s đến 360 m/s.

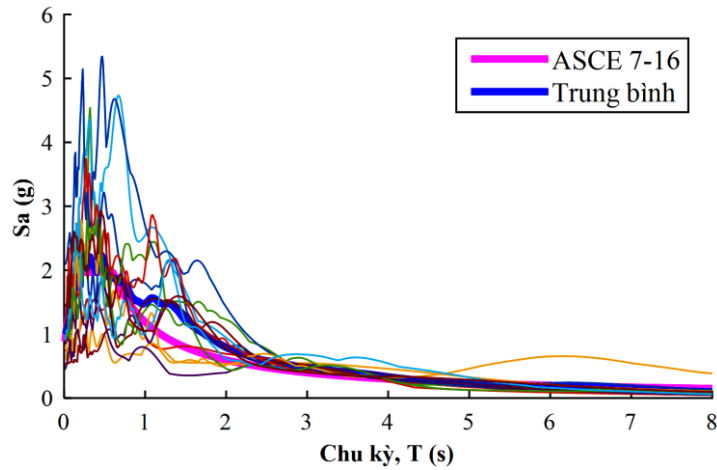


Hình 3: Gia tốc và vận tốc nền trận động đất Darfield New Zealand (2010)

Hình 3 là một ví dụ minh họa gia tốc nền và vận tốc theo một phương ngang của trận động đất Darfield New Zealand (2010). Chuyển động nền này gần phay đứt gãy, có  $R_{rup}$  là 8.46 km. Xung vận tốc được quan sát rất rõ thể hiện đặc điểm chuyển động gần phay đứt gãy, với thời lượng xung lớn hơn 1 s.

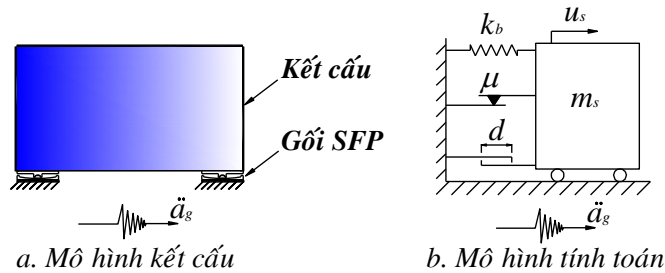
Phổ thiết kế theo tiêu chuẩn ASCE 7-16 được xây dựng theo chỉ dẫn Mục 11.4.6 của tiêu chuẩn này. Trên Hình 4, đường màu Tím thể hiện phổ động đất tại vị trí thành phố Los Angeles, miền Nam California. Những băng gia tốc thực trong Bảng 1 sẽ được chuẩn hóa bằng một hệ số nhân, hệ số này được xác định theo điều kiện phổ trung bình những băng gia tốc này không nhỏ hơn phổ ASCE 7-16 trong khoảng chu kỳ ảnh hưởng từ  $0.75T_M$  đến  $1.25T_M$  (theo Mục 17.3.3 của tiêu chuẩn này). Phổ trung bình của 14 băng gia tốc sau khi nhân với hệ số xác định như trên là đường màu Xanh trên Hình 4. Giá trị chu kỳ hữu hiệu  $T_M$  được xác định theo phương pháp ELF như trên là 3.03 s.

ƯỚC TÍNH CHUYỂN VỊ LỚN NHẤT CỦA GỐI CON LẮC MA SÁT...



Hình 4: Phổ gia tốc.

Mô hình phân tích kết cấu cách chấn bằng gối SFP được trình bày như Hình 5. Trong đó, toàn bộ kết cấu bên trên ứng xử như một khối cứng có khối lượng  $m_s = W/g$ . Chuyển vị ngang của kết cấu  $u_s$  chính là chuyển vị ngang của gối. Gối SFP được mô hình hóa như một phần tử kết cấu [10] bao gồm: lò xo có độ cứng ngang do bán kính mặt cong tạo ra là  $k_b = W/R$ , phần tử ma sát có hệ số ma sát là  $\mu$  và khả năng dịch chuyển ngang là  $d$ . Hệ kết cấu cách chấn chịu chuyển động nền theo một phương, gia tốc nền là  $\ddot{a}_g$ .



Hình 5: Mô hình kết cấu cách chấn trong ví dụ

Phương trình vi phân chuyển động của hệ kết cấu được viết theo nguyên lý cân bằng động d'Alembert. Ứng xử của kết cấu được xác định bằng cách giải hệ phương trình vi phân chuyển động này bằng phương pháp số. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng hàm ode15s tích hợp trong Matlab để thực hiện [15].

Ảnh hưởng của thành phần gia tốc nền theo phương đứng được xét và trong hệ cách chấn bằng cách thay đổi thành phần trọng lượng kết cấu bên trên  $W$  bằng tổng lực đứng của hệ là  $N$  được xác định theo Phương trình (8) [10]:

$$N = W(1 + \frac{a_z}{g}) \tag{8}$$

trong đó,  $a_z$  là thành phần gia tốc nền theo phương đứng,  $g$  là gia tốc trọng trường.

Kết quả chuyển vị ngang lớn nhất của từng băng gia tốc trong hai trường hợp: không xét gia tốc nền theo phương đứng và có xét thành phần này. Giá trị chuyển vị ngang lớn nhất cho mỗi băng gia tốc tương ứng là  $u_b$  và  $u_{bv}$  được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2: Kết quả phân tích bằng phương pháp THA.

RSN	Vị trí	Năm	$M_w$	$u_b$ (mm)	$u_{bv}$ (mm)
170	EC County Center FF	1979	6.53	807	768
171	El Centro - Mel. Geot. Array	1979	6.53	708	740
179	El Centro Array #4	1979	6.53	680	698
180	El Centro Array #5	1979	6.53	448	454
803	Saratoga - W Valley Coll.	1989	6.93	757	775
1044	Newhall - Fire Sta	1994	6.69	793	790

1114	Port Island (0 m)	1995	6.9	678	708
1119	Takarazuka	1995	6.9	937	908
4458	Ulcinj - Hotel Olympic	1979	7.1	565	577
6897	Dar. New Zealand, DSLC	2010	7	665	633
6906	Dar. New Zealand, GDLC	2010	7	782	752
6911	Dar. New Zealand, HORC	2010	7	645	678
6962	Dar. New Zealand, RORC	2010	7	792	737
8119	Pages Road Pumping Station	2011	6.2	757	697
<i>Giá trị trung bình</i>				<b>715</b>	<b>708</b>

### 3.4 Đánh giá kết quả

Từ kết quả phân tích theo lịch sử thời gian với giả thiết tính mềm theo phương đứng của kết cấu được bỏ qua, ảnh hưởng của thành phần gia tốc nền theo phương đứng đến chuyển vị ngang lớn nhất của hệ kết cấu là không đáng kể (sai khác gần 1%). Từ kết quả này cho thấy, trong thiết kế có thể bỏ qua ảnh hưởng này. Tiêu chuẩn ASCE 7-16 không đề cập là phù hợp.

Kết quả phân tích theo THA được xác định bằng giá trị trung bình của 14 kết quả phân tích [3]. Kết quả này tăng hơn khoảng 25.66% so với kết quả tính toán theo phương pháp ELF (715 mm so với 569 mm). Trường hợp tăng lớn nhất là 64.67%. Từ những kết quả này cho thấy, việc xác định chuyển vị ngang lớn nhất theo phương pháp ELF nhỏ hơn đáng kể so với phương pháp THA, điều này cần phải chú ý và xem xét trong quá trình thiết kế.

## 4 KẾT LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu và thông qua những kết quả được trình bày như trên, một số kết luận quan trọng được rút ra như sau:

Nghiên cứu này đã vận dụng dụng phương pháp ELF trong tiêu chuẩn ASCE 7-16 để đề xuất một phương pháp xác định chuyển vị ngang lớn nhất của gối con lắc ma sát đơn sử dụng trong kết cấu cách chấn đáy. Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản và tiêu tốn ít thời gian tính toán.

Nghiên cứu đã tiến hành phân tích một ví dụ cho một trường hợp cụ thể. Kết quả từ phân tích này cho thấy chuyển vị lớn nhất của gối khi xác định phương pháp ELF sẽ nhỏ hơn giá trị khi xác định bằng phương pháp phân tích theo lịch sử thời gian. Qua đó, nghiên cứu này kiến nghị cho các kỹ sư thiết kế cần phải cân nhắc và đánh giá hiệu chỉnh lại phương pháp ELF. Trong trường hợp của nghiên cứu này, khi kết cấu chịu các băng gia tốc gần phay đứt gãy và có chứa xung vận tốc thì kết quả này nhỏ hơn 25,66%.

Trong phân tích ví dụ, ảnh hưởng của chuyển động nền theo phương đứng cũng được xem xét. Tuy nhiên, theo kết quả phân tích theo lịch sử thời gian khi có và không có xét thành phần này là không đáng kể, có thể bỏ qua.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Earthquake Protection Systems. (2023) Single Pendulum Isolator. [Online]. Available: <https://www.earthquakeprotection.com/single-pendulum/>
- [2] F. Khoshnoudian and A. T. Hemmati, Impact of structures with double concave friction pendulum bearings on adjacent structures, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, vol. 167, no. 1, pp. 41-53, 2014.
- [3] ASCE 7-16, *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*, ASCE/SEI 7-16, 2017.
- [4] P. Franchin, G. Monti and P. E. Pinto, On the accuracy of simplified methods for the analysis of isolated bridges, *Earthquake engineering & Structural Dynamics*, vol 30, no. 3, pp. 363-382, 2001.
- [5] M. Jara, J. M. Jara, B. A. Olmos, and J. R. Casas, Improved procedure for equivalent linearization of bridges supported on hysteretic isolators, *Engineering Structures*, vol 35, pp. 99-106, 2012.
- [6] K. Ryan and A. Chopra, Estimating the seismic displacement of friction pendulum isolators based on non-linear response history analysis, *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol 33, no. 3 pp. 359-373, 2004.
- [7] N. D. Dao, H. V. Nguyen, H. T. Nguyen, and A. B. Chung, A new statistical equation for predicting nonlinear time history displacement of seismic isolation systems, *Structures*, vol 24: pp. 177-190, 2020.
- [8] V. A. Zayas, S. S. Low and S. A. Mahin, *The FPS earthquake resisting system*, Rep. No. UCB/EERC-87/01, Earthquake Eng. Res. Center, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, California, US, 1987.

- [9] T. A. Morgan and S. A. Mahin, *The Use of Base Isolation Systems to Achieve Complex Seismic Performance Objectives*, Report No. PEER-2011/06, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, US, 2011.
- [10] Nguyễn Văn Nam, *Mô hình kết cấu gối cô lập trượt ma sát cho công trình chịu tải trọng động đất*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng, 2017.
- [11] F. Fadi and M. C. Constantinou, Evaluation of simplified methods of analysis for structures with triple friction pendulum isolators, *Earthquake engineering & Structural Dynamics*, vol 39, no. 1, pp. 5-22, 2010.
- [12] N. D. Dao, Practical Equations for Predicting Maximum Displacement of Single Friction Pendulum Isolation Systems, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, vol 27, no. 3, 2022.
- [13] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2023) Ground motion database. [Online]. Available: <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
- [14] S. Zhang and G. Wang, Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol 53, pp. 217-229, 2013.
- [15] L. F. Shampine and M. W. Reichelt. The matlab ode suite, *SIAM journal on scientific computing*, vol 18, no. 1, pp. 1-22, 1997.

## ESTIMATION THE MAXIMUM DISPLACEMENT OF SINGLE FRICTION PENDULUM BEARING BASED ON EQUIVALENT LATERAL FORCE PROCEDURE

NAM V. NGUYEN

*Faculty of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City  
nguyenvannam@iuh.edu.vn*

**Abstract.** Single friction pendulum bearing is a very effective seismic device for structures. During the movement, the lateral displacement of the bearing is often very large, which is a disadvantage. Therefore, the design engineer needs to have a procedure to determine this parameter quickly and accurately. This paper presents the procedure for determining the maximum lateral displacement of this bearing based on the equivalent lateral force method specified in ASCE/SEI 7-16 standard. This study also evaluates the accuracy of the procedure by comparing it with the time-history analysis of a numerical example. The ground motions selected for the analysis is 14 near-fault ground motion with the velocity pulses. Through the analysis results, the accuracy of the equivalent lateral force procedure for this case is shown.

**Keywords.** equivalent lateral force, single friction pendulum bearing, maximum lateral displacement, seismic design.

*Ngày nhận bài: 20/03/2023*

*Ngày chấp nhận đăng: 28/04/2023*