

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG TÍNH MỀM CỦA KẾT CẤU ĐẾN ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU CÁCH CHẤN ĐÁY

NGUYỄN VĂN NAM

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

Tác giả liên hệ: nguyenvannam@iuh.edu.vn

DOIs: <https://www.doi.org/10.46242/jstiuh.v74i2.5189>

Tóm tắt. Sử dụng gối con lắc ma sát đơn trong thiết kế kháng chấn bằng kỹ thuật cách chấn đáy đã trở nên phổ biến trên thế giới, hiệu quả giảm chấn của nó cũng được đánh giá cao. Nhược điểm của kỹ thuật cách chấn đáy là chuyển vị ngang lớn của gối và phân kết cấu bên trên. Do đó chuyển vị ngang lớn nhất của gối thường rất được quan tâm trong quá trình thiết kế. Trong thiết kế sơ bộ, thông số này được cho phép xác định nhanh bằng phương pháp lực ngang tương đương. Theo phương pháp này, kết cấu bên trên sẽ được giả thuyết là một khối cứng khi thỏa mãn một số tiêu chí được quy định. Giả thuyết này có thể làm sai lệch ứng xử của kết cấu cách chấn. Nghiên cứu này sẽ khảo sát ảnh hưởng tính mềm của kết cấu đến ứng xử chuyển vị lớn nhất của gối và gia tốc tuyệt đối của kết cấu bên trên. Kết quả phân tích theo lịch sử thời gian từ nhiều mô hình số khác nhau bằng phần mềm OpenSees được sử dụng để đánh giá.

Từ khóa. cách chấn đáy, gối con lắc ma sát đơn, chuyển vị ngang, thiết kế kháng chấn.

1 GIỚI THIỆU

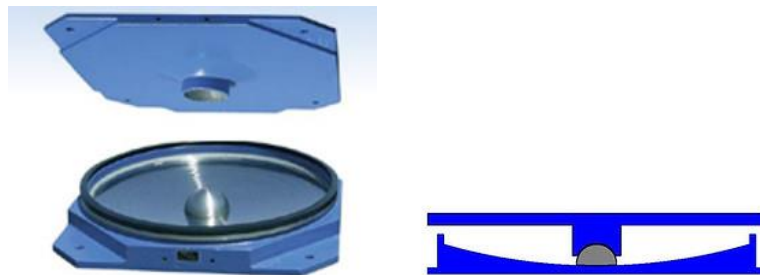
Cách chấn đáy là phương pháp thiết kế kháng chấn mang lại hiệu quả rõ rệt, điều này đã được nhiều nghiên cứu trước đây chỉ ra. Kỹ thuật này được phát minh ra cách đây hơn 100 năm và hiện nay được sử dụng rất phổ biến trên khắp thế giới. Tại một số quốc gia tiên tiến như Nhật Bản, Mỹ và những quốc gia khác ở châu Âu, kỹ thuật cách chấn đáy đã được sử dụng rất sớm và đạt được những hiệu quả cao trong hiệu quả giảm chấn. Những công trình tiêu biểu có thể chỉ ra như: công trình Foothill Communities Law and Justice Center tại bang California được cách ly bằng 98 gối cao su tự nhiên; Tòa thị chính Oakland ở Oakland, California, công trình này được cách chấn bằng 110 gối cao su có lõi thép; trung tâm dữ liệu West Japan Postal Computer Center, Nhật Bản, công trình được cách chấn trên 120 gối cao su có lõi chì; Trung tâm hành chính công ty viễn thông quốc gia tại Ancona, Ý...[1] Nguyên lý của kỹ thuật này là làm cho kết cấu cách chấn trở nên mềm đi, chu kỳ cơ bản của kết cấu cách chấn tăng lên và tránh xa các vùng chu kỳ trội của những trận động đất. Để kết cấu cách chấn được mềm đi, một thiết bị được gọi là gối cách chấn được đặt chèn vào giữa kết cấu bên trên và kết cấu móng. Gối cách chấn được sử dụng gần đây thường có nhiều loại như: gối cao su, gối con lắc ma sát, ... Đặc điểm chính của những dạng gối cách chấn là độ cứng ngang của nó nhỏ hơn rất nhiều so với độ cứng ngang của kết cấu bên trên và khả năng dịch chuyển ngang của gối lớn. Chính nhờ đặc điểm này, khi những trận động đất xảy ra, năng lượng của chúng truyền vào kết cấu sẽ bị các gối cách chấn cách ly và làm giảm đáng kể. Về phương diện năng lượng, đặc điểm chính của kỹ thuật này là phần lớn năng lượng do chuyển động nền sẽ bị cách ly không cho truyền vào kết cấu, một phần nhỏ sẽ tiêu tán thông qua tính ma sát của gối khi chuyển động.

Chính vì độ cứng của kết cấu bên trên lớn hơn nhiều so với độ cứng của gối nên trong một số mô hình tính, kết cấu bên trên sẽ được lý tưởng hóa như một khối cứng (bỏ qua tính mềm của kết cấu) [2]. Những tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn của Mỹ [3] hay Châu Âu [4] cũng cho phép bỏ qua tính mềm của kết cấu bên trên trong phương pháp lực ngang tương đương khi kết cấu thỏa mãn một số tiêu chí đề ra. Khi chúng ta lý tưởng hóa toàn bộ kết cấu bên trên như một khối cứng có thể sẽ giải quyết bài toán một cách đơn giản và nhanh chóng. Tuy nhiên, việc bỏ qua độ cứng của kết cấu bên trên có thể ít nhiều sẽ ảnh hưởng đến ứng xử của kết cấu. Một số nghiên cứu trước và gần đây đã tiến hành đánh giá lại vấn đề này. Kulkarni và cộng sự [5] tiến hành một nghiên cứu nhằm so sánh phản ứng kết cấu nhà nhiều tầng được cách chấn đáy bằng các dạng gối cao su và gối trượt trong hai trường hợp: kết cấu bên trên được lý tưởng hóa như một khối cứng và có xét đến tính mềm. Kết quả của nghiên cứu này đã chỉ ra rằng dịch chuyển của gối là không có sự khác biệt, do đó có thể mô hình kết cấu như một khối cứng có thể sử dụng để xác định chuyển vị của gối. Gia tốc tuyệt đối trong các tầng cũng được đánh giá. Theo đó, gia tốc sàn bị ảnh hưởng với những kết

cầu rất cứng được cách chấn bằng gối cao su. Những kết cấu có độ cứng nhỏ thì không ảnh hưởng đến gia tốc khi chúng được mô hình như một khối cứng. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chỉ sử dụng ba băng gia tốc nền và số lượng mô hình phân tích chưa đủ lớn để có thể đánh giá một cách đầy đủ. Cũng trong một nghiên cứu khác tương tự của nhóm này [6], hai mô hình cách chấn có xét và không xét đến độ cứng của kết cấu bên trên được phân tích để đánh giá ảnh hưởng của tính mềm. Gối cách chấn trong nghiên cứu này là gối cao su có lõi chì và không có lõi chì. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng chuyển vị của gối cũng không bị ảnh hưởng. Trong khối đó gia tốc tuyệt đối trong kết cấu có sự thay đổi khi một số thông số trong gối có sự thay đổi. Kanbir và cộng sự [7] thực hiện một nghiên cứu khảo sát hai kết cấu cách chấn bằng gối cao su có lõi chì, một kết cấu là khung nhà 4 tầng và một kết cấu là khung nhà 9 tầng. Mô hình kết cấu được xây dựng theo 3 cách: mô hình một bậc tự do (1 DOF), mô hình hai bậc tự do (2 DOF) và mô hình 3D. Kết quả phân tích từ 3 mô hình được so sánh để đưa ra đánh giá ảnh hưởng của mô hình đến ứng xử của kết cấu. Mô hình 1 DOF được xây dựng xem như kết cấu bên trên như một khối cứng, mô hình 2 DOF xem kết cấu bên trên có một độ cứng và kết cấu 3D là kết cấu thật. Kết quả chuyển vị gối của mô hình 2 DOF gần giống mô hình 3D, mô hình 1 DOF cho kết quả cao hơn. Gia tốc trong mô hình 1 DOF và 2 DOF gần với gia tốc trong những tầng giữa của mô hình 3D, những tầng khác trong mô hình 3D có gia tốc lớn hơn. Ghanbari và cộng sự [8] nghiên cứu khả năng phục hồi chuyển vị về tâm của gối con lắc ma sát đơn có phụ thuộc vào những đặc trưng của kết cấu bên trên. Kết quả chỉ ra những thông số của kết cấu bên trên có ảnh hưởng chuyển vị dư của gối con lắc.

Nhìn chung, những kết quả nghiên cứu trên cho thấy tính mềm của kết cấu bên trên có ảnh hưởng đến phản ứng của kết cấu cách chấn. Như chúng ta đã biết, nhược điểm của kết cấu cách chấn là chuyển vị ngang của nó thường rất lớn. Do đó việc xác định chuyển vị ngang lớn nhất của gối trong kết cấu cách chấn thường rất được quan tâm. Để tính toán nhanh chóng, việc mô hình hóa kết cấu bằng cách bỏ qua tính mềm của kết cấu bên trên thường hay thực hiện như đã đề cập ở trên, điều này có thể ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Những nghiên cứu trên cũng đã chỉ ra điều này. Tuy nhiên những dữ liệu phân tích của những nghiên cứu trên về nội dung này chưa được thực hiện nhiều. Do đó, những nghiên cứu mang tính khảo sát trên nhiều mô hình cần được thực hiện để có thể đánh giá đầy đủ hơn là cần thiết. Trong nội dung nghiên cứu này, kết cấu cách chấn được mô hình theo hai cách: bỏ qua tính mềm của kết cấu (hệ 1 bậc tự do, khối lượng của toàn bộ kết cấu bên trên và của gối được gộp chung) và có xét đến tính mềm của kết cấu (hệ 2 bậc tự do, bao gồm kết cấu bên trên và gối). Gối cách chấn sử dụng là gối con lắc ma sát đơn có cấu tạo như Hình 1. Nhiều mô hình được phân tích bằng cách thay đổi thông số độ cứng của kết cấu, thông số của gối và thực hiện trên nhiều dữ liệu gia tốc nền. Hai thông số ứng xử của kết cấu cần quan tâm đánh giá là chuyển vị ngang lớn nhất của gối và gia tốc tuyệt đối trong kết cấu.

Gối con lắc ma sát đơn (Single Friction Pendulum, gối SFP) được sử dụng phổ biến hơn gần đây bởi những ưu điểm của nó so với các dạng gối cao su [9]. Gối SFP được làm từ thép chống rỉ. Cấu tạo của gối gồm một mặt cong có bán kính R , bên trong là một con lắc trượt trên mặt cong. Hệ số ma sát giữa con lắc và mặt cong là μ . Thanh trượt gánh đỡ được một tải trọng thẳng đứng lớn từ kết cấu bên trên. Bán kính cong sẽ tạo ra độ cứng ngang cho gối, đảm bảo khả năng phục hồi về trung tâm khi gia tốc nền kết thúc. Hệ số ma sát tạo ra một độ cứng ban đầu, giúp cho kết cấu ổn định và góp phần tiêu tán năng lượng do động đất gây ra. Độ cứng ngang và hệ số ma sát của gối SFP không thay đổi cho mọi cấp độ động đất.



Hình 1: Gối con lắc ma sát đơn [9].

2 MÔ HÌNH KẾT CẤU

Chuyển động của gối SFP như Hình 1 được các nghiên cứu trước mô tả rất chi tiết [10], [11]. Dưới tác động của chuyển động nền, con lăn sẽ dịch chuyển ngang khỏi vị trí trung tâm một đoạn là u . Bán kính cong R của mặt cong sẽ tạo ra độ cứng ngang k_b của gối, thành phần lực đàn hồi sẽ sinh ra do độ cứng ngang này. Giữa con lăn mà mặt cong sẽ phát sinh thêm thành phần lực ma sát do áp lực đứng là tổng trọng lượng kết cấu bên trên gối W và hệ số ma sát μ . Phương trình chuyển động của gối sẽ được viết như Phương trình (1).

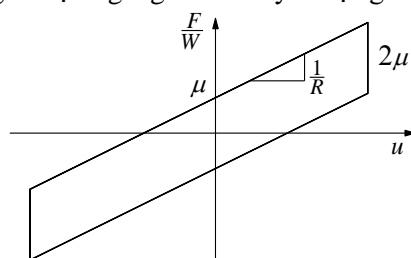
$$F = k_b u + W \mu \quad (1)$$

trong đó: độ cứng ngang $k_b = W/R$, hệ số ma sát μ sẽ phụ thuộc vào vận tốc trượt \dot{u} của con lăn được xác định theo Phương trình (2) [12]

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

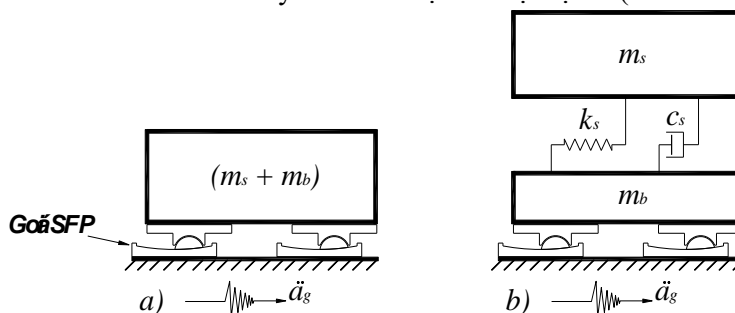
trong đó: μ_{\max} và μ_{\min} là hệ số ma sát lớn nhất và nhỏ nhất của con lăn và mặt cong, α (s/m) là hệ số phụ thuộc vào vật liệu bề mặt và áp lực đứng.

Đường ứng xử trễ mô tả quan hệ giữa lực ngang F và chuyển vị ngang u như Hình 2 [11].



Hình 2: Đường ứng xử trễ của gối SFP.

Kết cấu cách chấn bằng gối SFP chịu tác động của chuyển động nền bởi gia tốc \ddot{a}_g được thiết lập như mô hình ở Hình 3. Khi kết cấu bên trên được xem như là một khối cứng, có nghĩa là không xét đến tính mềm của kết cấu, mô hình tính toán thể hiện như Hình 3a. Mô hình cho trường hợp này xem như hệ một bậc tự do (mô hình 1 DOF). Khi khảo sát cho trường hợp có xét đến tính mềm của kết cấu bên trên thì mô hình được thiết lập như Hình 3b. Mô hình này xem như hệ có 2 bậc tự do (mô hình 2 DOF).



Hình 3: Mô hình kết cấu, a. Không xét tính mềm (mô hình 1 DOF), b. Có xét tính mềm (mô hình 2 DOF)

Những thông số vật lý trong mô hình tính toán bao gồm: khối lượng kết cấu bên trên và gối là m_s và m_b , độ cứng và hệ số cản của kết cấu lần lượt là k_s và c_s . Hệ số cản của kết cấu được xác định thông qua tỉ số cản ζ và tần số dao động ω như sau, Phương trình (3):

$$c_s = 2m_s \zeta \omega \quad (3)$$

Độ cứng của kết cấu k_s được xác định thông qua chu kỳ cơ bản của kết cấu là T_s cho trước.

Trong phương pháp lực ngang tuyến tính tương đương được chỉ dẫn trong ASCE 7-16 và Eurocode 8 yêu cầu chu kỳ hiệu quả của kết cấu cách chấn T_{eff} phải lớn hơn ba lần T_s . Trong nghiên cứu này, tính mềm của kết cấu bên trên thay đổi thông qua hệ số $SF = T_{eff}/T_s$. Hệ số SF càng lớn thì độ cứng kết cấu bên trên k_s càng lớn. Khi SF lớn hơn 3 thì phương pháp lực ngang tuyến tính tương đương trong ASCE 7-16 và Eurocode 8 có thể được áp dụng. Chu kỳ hiệu quả T_{eff} có thể xác định theo Phương trình (4) [13]:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{eff}}} \quad (4)$$

trong đó: độ cứng hiệu quả $K_{eff} = F_{max}/D$, F_{max} và D lần lượt là lực ngang và chuyển vị ngang lớn nhất của gối. Những đại lượng này được xác định thông qua ứng xử của kết cấu theo mô hình 1 DOF dưới tác dụng của chuyển động nền. Để xác định những đại lượng này, mô hình kết cấu như Hình 3 được phân tích thông qua phần mềm OpenSees [14].

3 PHÂN TÍCH CÁC MÔ HÌNH VÍ DỤ SỐ

Để minh họa và đánh giá kết quả, nghiên cứu tiến hành phân tích những mô hình ví dụ số theo như cơ sở lý thuyết trình bày ở phần trên. Kết quả phân tích theo hai mô hình 1 DOF và 2 DOF sẽ được so sánh để thảo luận và rút ra những kết luận.

3.1 Thông số mô hình kết cấu

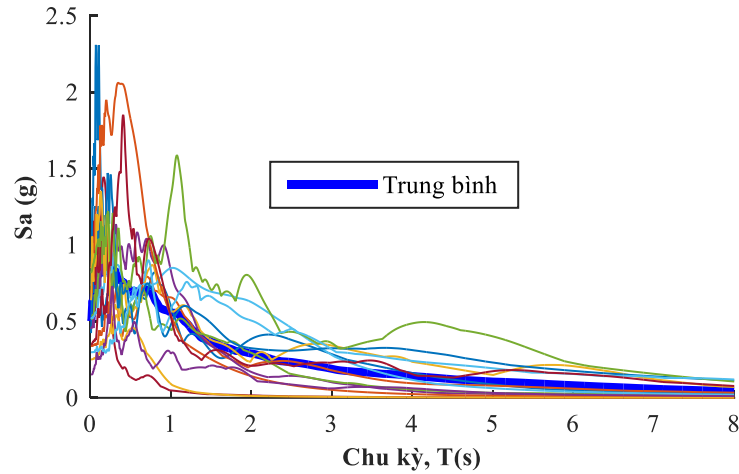
Kết cấu 1 DOF: kết cấu bên trên có khối lượng $m_s = 5 \cdot 10^5 \text{ Ns}^2/\text{m}$, khối lượng của gối $m_b = 1 \cdot 10^5 \text{ Ns}^2/\text{m}$. Tỉ số cản của kết cấu là $\xi = 2\%$. Thông số của gối: bán kính mặt cong R của gối thay đổi theo các giá trị 2 mét, 3 mét, 4 mét và 5 mét; hệ số ma sát μ thay đổi theo các giá trị 4%, 6%, 8%, 10%, 12% và 15%. Như vậy bằng cách thay đổi thông số R và μ của gối, ta sẽ có 24 mô hình 1 DOF. Hai thông số của gối là bán kính cong và hệ số ma sát ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của gối và kết cấu bên trên. Việc thay đổi những thông số này trong khảo sát sẽ giúp kết quả trở nên đầy đủ hơn.

Kết cấu 2 DOF: cho độ cứng của kết cấu k_s thay đổi từ nhỏ đến lớn (kết cấu mềm đến kết cấu cứng) bằng cách cho hệ số SF thay đổi từ 1, 2, 3, ... đến 10. Với cách thay đổi này, ta sẽ cần phân tích 240 mô hình 2 DOF. Một mô hình 1 DOF ta sẽ có 10 mô hình 2 DOF tương ứng với các giá trị k_s thay đổi theo SF . Như vậy, sau khi phân tích một mô hình 1 DOF, ta sẽ xác định được T_{eff} và 10 giá trị T_s sau đó. Giá trị độ cứng kết cấu bên trên được xác định theo Phương trình (5):

$$k_s = \frac{4\pi^2 m_s}{(T_{eff} / SF)^2} \quad (5)$$

3.2 Thông số gia tốc nền

Gia tốc nền sử dụng cho phân tích là 14 băng gia tốc gần phay đứt gãy tính từ trạm đo (Near-Field record), khoảng cách gần nhất từ trạm đo đến phay đứt gãy (R_{rup}) thường nhỏ hơn 10 km, có chứa các xung vận tốc. Giá trị gia tốc đỉnh (PGA) nhỏ nhất là 0.22g và lớn nhất là 0.87g. Giá trị vận tốc đỉnh PGV đều lớn hơn 20 cm/s. Tỉ số PGV/PGA của tất cả các băng gia tốc đều lớn hơn 0.1s. Những băng gia tốc này thuộc trong nghiên cứu của dự án ATC63 [15]. Đây là những băng gia tốc của những trận động đất mạnh, có cường độ từ $M6.5$ đến $M7.6$, trung bình là $M7.0$. Phổ gia tốc của 14 băng gia tốc này và phổ trung bình được phân tích như Hình 4. Những thông số cơ bản của 14 băng gia tốc này được trình bày trong Bảng 1 [15].



Hình 4: Phổ gia tốc.

Bảng 1: Gia tốc nền sử dụng trong phương pháp THA [14].

RSN	Trận động đất	Trạm đo	Năm	M_w	R_{rup} (km)	$v_{s,30}$ (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)
181	Imperial Valley-06	El Centro Array #6	1979	6.5	1.4	203	0.44	111.9
182	Imperial Valley-06	El Centro Array #7	1979	6.5	0.6	211	0.46	108.9
292	Irpinia, Italy-01	Sturmo	1980	6.9	10.8	1000	0.31	45.5
723	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	1987	6.5	1.0	349	0.42	106.8
802	Loma Prieta	Saratoga - Aloha	1989	6.9	8.5	371	0.38	55.6
821	Erzican, Turkey	Erzincan	1992	6.7	4.4	275	0.49	95.5
828	Cape Mendocino	Petrolia	1992	7.0	8.2	713	0.63	82.1
879	Landers	Lucerne	1992	7.3	2.2	685	0.79	104.3
1063	Northridge-01	Rinaldi Receiving Sta	1994	6.7	6.5	282	0.87	167.3
1086	Northridge-01	Sylmar - Olive View	1994	6.7	5.3	441	0.73	122.8
1165	Kocaeli, Turkey	Izmit	1999	7.5	7.2	811	0.22	29.8
1503	Chi-Chi, Taiwan	TCU065	1999	7.6	0.6	306	0.82	127.7
1529	Chi-Chi, Taiwan	TCU102	1999	7.6	1.5	714	0.29	106.6
1605	Duzce, Turkey	Duzce	1999	7.1	6.6	276	0.52	79.3

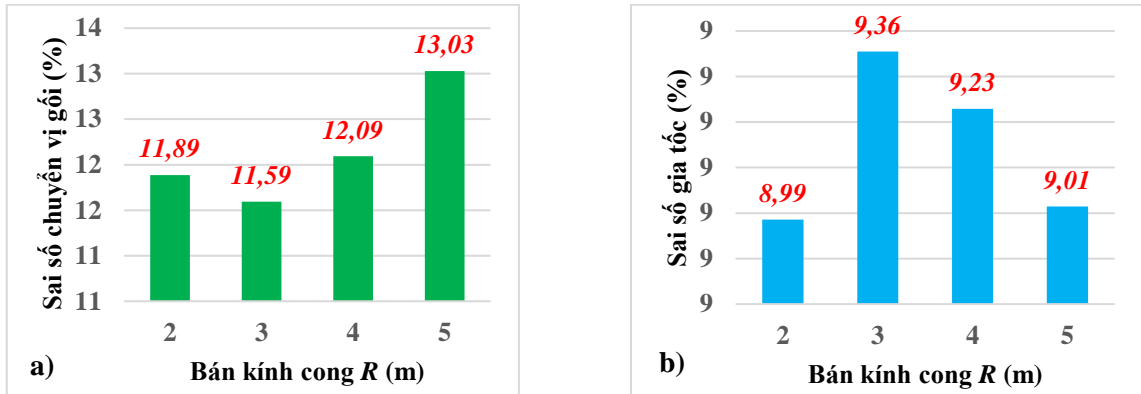
3.3 Kết quả phân tích và thảo luận

Với thông số kết cấu và gia tốc nền như trên, ta tiến hành phân tích 24 mô hình 1 DOF chịu lần lượt 14 băng gia tốc. Số lượng các phân tích cho hệ 1 DOF là 336 lượt phân tích. Sau một lượt phân tích mô hình 1 DOF, ta tiến hành phân tích 10 mô hình 2 DOF theo các độ cứng thay đổi được xác định như Phương trình (6). Số lượng các phân tích cho mô hình 2 DOF là 3360 lượt.

Chuyển vị của gối của mô hình 1 DOF và 2 DOF lần lượt là U_b và U_{bs} . Sai số của chuyển vị gối là Er_{Ub} được xác định theo Công thức (6). Tương tự cho cách tính này, sai số gia tốc tuyệt đối trong kết cấu cũng được xác định cho hai mô hình.

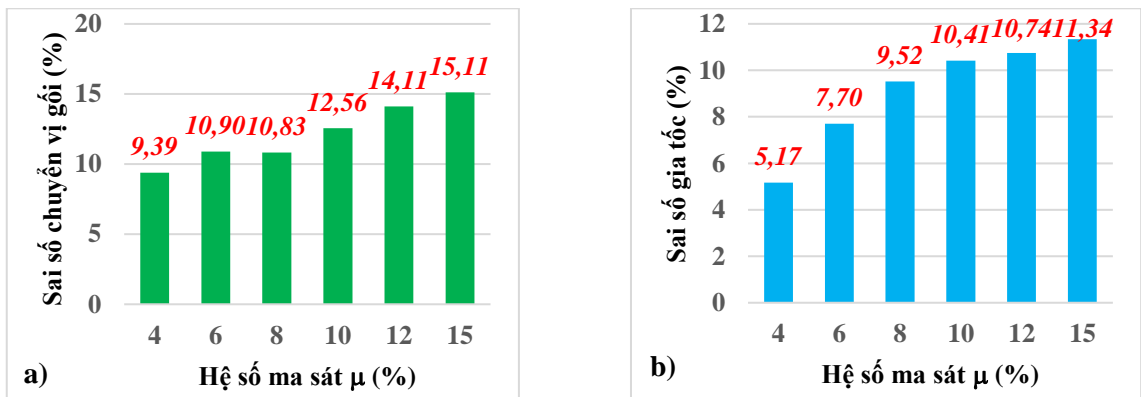
$$Er_{Ub} = \frac{|U_{bs} - U_b|}{U_{bs}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Đánh giá ảnh hưởng của thông số kỹ thuật của gối đến sai số ứng xử của kết cấu, kết quả được thể hiện như Hình 5 và Hình 6. Hình 5a cho thấy khi bán kính cong tăng thì sai số chuyển vị gối có xu hướng tăng, Hình 5b thì phản ánh sai số của gia tốc tuyệt đối trong kết cấu có xu hướng giảm khi bán kính cong của gối tăng. Tuy nhiên, trường hợp bán kính cong nhỏ nhất ($R = 2$ m), sai số của gia tốc tuyệt đối trong kết cấu có xu hướng giảm.



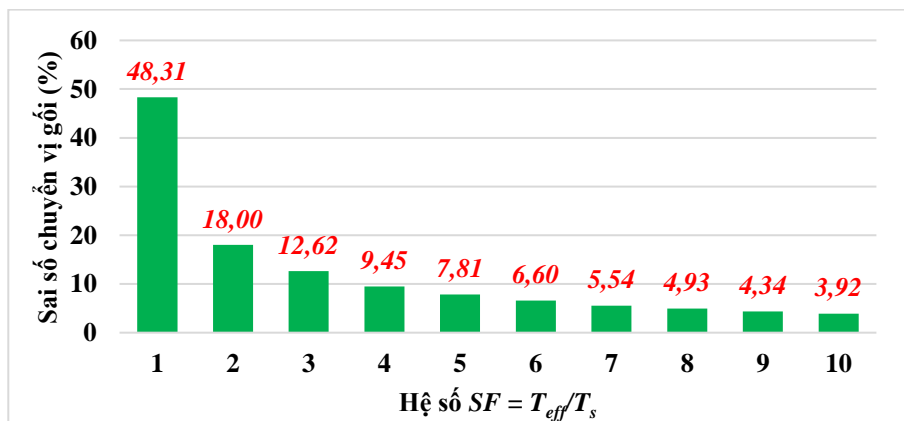
Hình 5: Ảnh hưởng bán kính cong R đến sai số của hai mô hình.

Hình 6 thể hiện ảnh hưởng của hệ số ma sát trong gối đến sai số của hai mô hình. Hình 6a cho thấy khi hệ số ma sát tăng thì sai số chuyển vị gối có xu hướng tăng, Hình 6b thì phản ánh sai số gia tốc tuyệt đối trong kết cấu cũng tăng khi tăng hệ số ma sát trong gối.

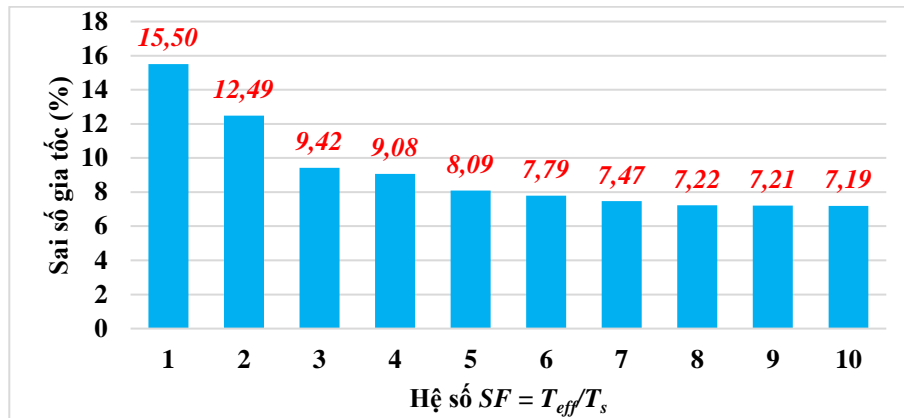


Hình 6: Ảnh hưởng hệ số ma sát μ đến sai số của hai mô hình.

Khảo sát tính mềm của kết cấu thay đổi thông qua hệ số SF . Khi hệ số này tăng, kết cấu bên trên cứng hơn (k_s tăng). Sai số của chuyển vị gối được trình bày trong Hình 7, sai số gia tốc tuyệt đối trong kết cấu được trình bày trong Hình 8. Kết quả này cho thấy, khi kết cấu bên trên cứng thì sai số này sẽ giảm. Giá trị sai số rất lớn khi kết cấu rất mềm (trường hợp $SF = 1$) và ngược lại (trường hợp $SF = 10$). Trong các tiêu chuẩn thiết kế của Mỹ [3] và châu Âu [4], cho phép bỏ qua tính mềm của kết cấu trong phương pháp lực tuyến tính tương đương khi SF lớn hơn 3. Tuy nhiên, theo kết quả khảo sát ở đây, khi SF bằng 3, sai số cho chuyển vị gối là 12.62% và cho gia tốc là 9.42%.



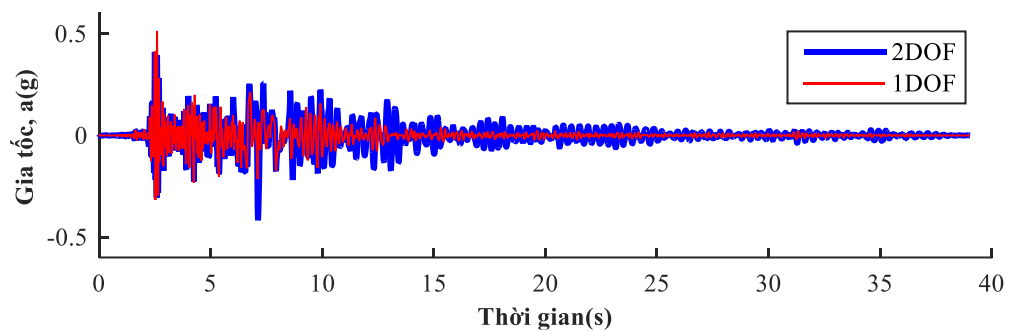
Hình 7: Sai số chuyển vị gối khi tăng độ cứng kết cấu.



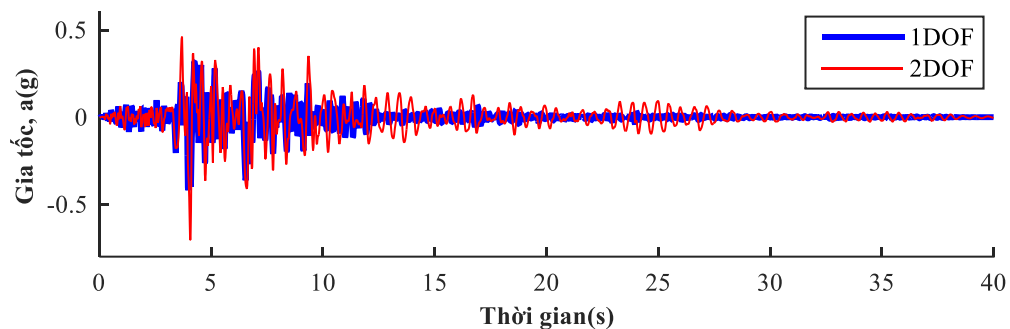
Hình 8: Sai số gia tốc kết cấu khi tăng độ cứng kết cấu.

Những giá trị khảo sát trong các hình từ Hình 5 đến Hình 8 là giá trị trung bình của tất cả các trường hợp phân tích. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp những sai số này lớn hơn rất nhiều. Một số kết quả từ Hình 9 đến Hình 14 minh họa cho một số trường hợp có sai số lớn nhất. Những trường hợp này được khảo sát với hệ số SF bằng 3.

Hình 9 thể hiện giá trị gia tốc tuyệt đối trong kết cấu tăng lớn nhất (23.26%) khi bỏ qua tính mềm của kết cấu. Hình 10 thì ngược lại, giá trị này bị giảm nhiều nhất khi bỏ qua tính mềm của kết cấu (40.54%).

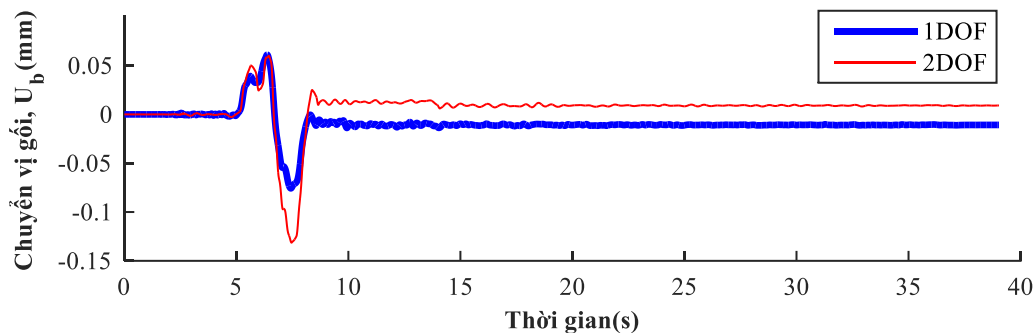


Hình 9: Gia tốc trong kết cấu tăng khi bỏ qua tính mềm kết cấu.

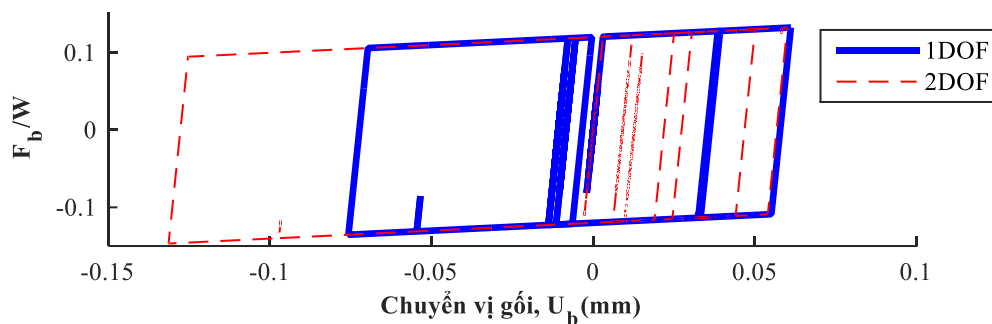


Hình 10: Gia tốc trong kết cấu giảm khi bỏ qua tính mềm kết cấu.

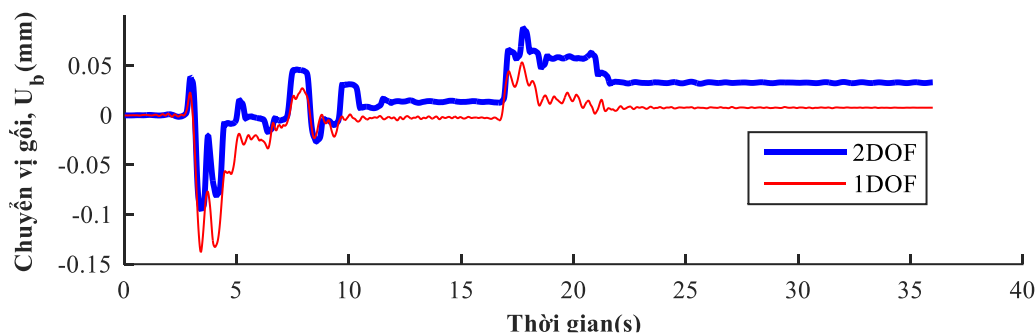
Tương tự, khi khảo sát lịch sử chuyển vị ngang của gối theo thời gian, mô hình cho kết quả chuyển vị trình bày ở Hình 11 có dấu hiệu giảm nhiều nhất (41.98%) khi bỏ qua tính mềm của kết cấu. Hình 12 là đường ứng xử trễ của gối cho mô hình trường hợp này. Hình 13 và Hình 14 thì ngược lại, dấu hiệu chuyển vị gối tăng nhiều nhất khi bỏ qua tính mềm trong kết cấu (45.26%).



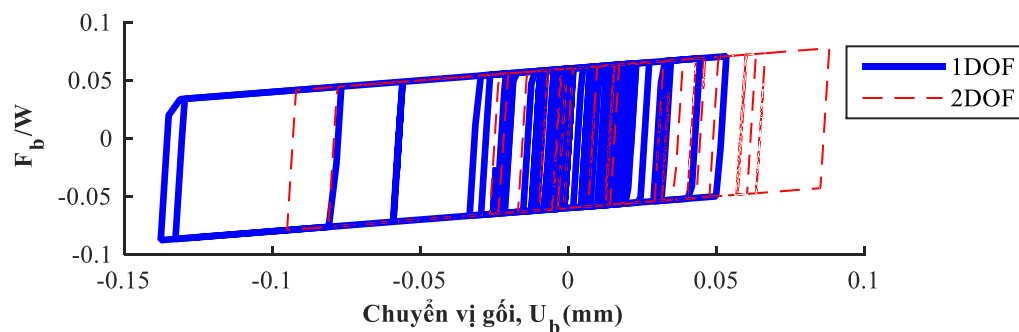
Hình 11: Chuyển vị gối giảm khi bỏ qua tính mềm kết cấu.



Hình 12: Đường ứng xử trễ của gối, chuyển vị gối giảm khi bỏ qua tính mềm kết cấu.



Hình 13: Chuyển vị gối tăng khi bỏ qua tính mềm kết cấu.



Hình 14: Đường ứng xử trễ của gối chuyển vị gối, tăng khi bỏ qua tính mềm kết cấu.

4 KẾT LUẬN

Một số kết luận cho nghiên cứu này như sau:

Thiết lập mô hình số phục vụ cho khảo sát kết cấu cách chấn bằng gối con lắc ma sát đơn trong hai trường hợp: có xét và không xét tính mềm của kết cấu bên trên.

Tiến hành phân tích 336 lượt cho 24 mô hình kết cấu cách chấn bỏ qua tính mềm (mô hình 1 DOF) và 3360 lượt cho 240 mô hình kết cấu cách chấn có xét đến tính mềm của kết cấu bên trên (mô hình 2 DOF). Kết quả phân tích đã cho thấy ảnh hưởng tính mềm kết cấu bên trên và thông số kỹ thuật của gối đến ứng xử của kết cấu cách chấn.

Trong các tiêu chuẩn thiết kế hiện tại của Mỹ và châu Âu, tính mềm của kết cấu được bỏ qua khi chu kỳ hiệu quả của kết cấu cách chấn lớn hơn ba lần chu kỳ cơ bản của kết cấu. Tuy nhiên, qua kết quả khảo sát này cho thấy sai số này vẫn còn lớn. Cụ thể: sai số của chuyển vị gối là 12.62% và gia tốc tuyệt đối trong kết cấu là 9.42%. Điều này cần được xem xét cân nhắc trong các thiết kế. Đặc biệt, sai số chuyển vị ngang của gối cần phải kiểm soát kỹ hơn để đảm bảo khoảng trống cần thiết cho chuyển vị ngang của gối khi công trình chịu động đất.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh cấp kinh phí thông qua Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Trường có Mã số: 23.1XD04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F. Naeim and J. M. Kelly, *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Wiley & Sons, 1999.
- [2] C. S. Tsai, T. C. Chiang and B. J. Chen, Experimental evaluation of piecewise exact solution for predicting seismic responses of spherical sliding type isolated structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 34, no. 9, pp.1027-1046, 2005.
- [3] American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, ASCE/SEI 7-16*, American Society of Civil Engineers, 2017.
- [4] Eurocode 8, *Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*, Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- [5] J. A. Kulkarni and R. S. Jangid, Rigid body response of base-isolated structures, *Journal of Structural control*, vol. 9, no. 3, pp.171-188, 2002.
- [6] J. A. Kulkarni and R. S. Jangid, Effects of superstructure flexibility on the response of base-isolated structures, *Shock and Vibration*, vol. 10, no. 1, pp.1-13, 2003.
- [7] Z. Kanbir, C. Alhan and G. Özdemir, Influence of superstructure modeling approach on the response prediction of buildings with LRBs considering heating effects, *Structures*, vol. 28, pp. 1756-1773, 2020.
- [8] B. Ghanbari, M. Fathi and A. H. Akhaveissy, The effect of superstructure properties on the re-centering capability of Friction Pendulum (PS) isolator, *Structures*, vol. 63, p. 106508, 2024.
- [9] Earthquake Protection Systems. (2024) Single Pendulum Isolator. [Online]. Available: <https://www.earthquakeprotection.com/single-pendulum/>
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] M. C. Constantinou, A. Mokha and A. Reinhorn, Teflon bearings in base isolation II: Modeling, *Journal of Structural Engineering*, vol. 116, no. 2, pp. 455-474, 1990.
- [13] 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.
- [14] F. McKenna, et al., *Open system for earthquake engineering simulation (OpenSees)*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, CA, 2000.
- [15] Applied Technology Council, *Quantification of building seismic performance factors*. US Department of Homeland Security, FEMA P695, 2009.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SUPERSTRUCTURE FLEXIBILITY ON THE BEHAVIOR OF BASE-ISOLATED STRUCTURES

NGUYEN VAN NAM

Faculty of Civil Engineering, IUH - Industrial University of Ho Chi Minh City

Corresponding author: nguyenvannam@iuh.edu.vn

Abstract. The use of single friction pendulum bearings in seismic design with base isolation techniques has become popular worldwide, and its damping efficiency is highly regarded. However, the disadvantage of base isolation techniques is the large lateral displacement of the bearings and the superstructure. Therefore, the maximum lateral displacement of the bearings is always a major concern during the design process. In preliminary design, this parameter is allowed to be quickly determined using the equivalent lateral force procedure. According to this method, the superstructure is assumed to be a rigid body when certain specified criteria are satisfied. This assumption can be the cause of distortion in the behavior of the isolated structure. This study aims to investigate the influence of structural flexibility on the maximum displacement of the bearings and the absolute acceleration of the superstructure. The time history analysis results from various numerical models using OpenSees software were utilized for evaluation.

Keywords. base isolation, single friction pendulum bearing, lateral displacement, seismic design.

Ngày nhận bài: 22/10/2024

Ngày nhận đăng: 14/3/2025