

## **ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ THẤP LÊN DỰ ĐOÁN PHẢN ỨNG ĐỘNG CỦA NHÀ CAO TẦNG SỬ DỤNG GỐI CAO SU**

**Nguyễn Anh Dũng<sup>1</sup>, Trần Duy Hùng<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Mặc dù đã được sử dụng phổ biến trong nhiều năm nhưng một số đặc tính cơ học của gối cách chấn cao su dạng lớp vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ, trong đó có sự thay đổi đặc tính cơ học tại nhiệt độ khác nhau của gối. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ của môi trường tác động lên việc xác định tham số của mô hình mô phỏng gối cao su, qua đó làm ảnh hưởng tới việc dự báo phản ứng động của công trình trong quá trình tính toán thiết kế. Một phân tích động toà nhà 12 tầng theo phương pháp lịch sử thời gian được tiến hành tại  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$  bằng phần mềm Sap2000. So sánh kết quả thu được tại ba nhiệt độ chỉ ra rằng, tại nhiệt độ thấp lực cắt đáy tại chân cột và chân vách thang máy gia tăng do sự gia tăng của độ cứng của gối cao su. Các kết quả phân tích chỉ ra rằng, lực cắt đáy tại chân cột khi nhiệt độ môi trường là  $-30^{\circ}\text{C}$  đã gia tăng rất đáng kể khi so sánh với lực cắt đáy xác định tại nhiệt độ  $23^{\circ}\text{C}$ . Đây là một khuyến cáo quan trọng cho các kỹ sư thiết kế công trình sử dụng gối cao su tại các khu vực lạnh có nguy cơ động đất.

**Từ khoá:** Ảnh hưởng nhiệt độ, gối cao su, phân tích động.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Gối cách chấn được ghi nhận là một trong những giải pháp kháng chấn hiệu quả nhất hiện nay. Có nhiều loại gối cách chấn được sản xuất với cùng một mục đích nhằm dịch chuyển chu kỳ dao động riêng và hấp thụ năng lượng cho công trình. Gần đây có gối cao su dạng tấm được ứng dụng rộng rãi như là một thiết bị cách chấn cho cầu và nhà, đặc biệt sau trận động đất Kobe năm 1995, khi mà khả năng kháng chấn của các trụ cầu và nhà có đệm bằng gối cao su được ghi nhận là rất tốt. Có ba loại gối cao su dạng tấm: gối cao su tự nhiên (natural rubber bearings-RB), gối cao su lõi chì (lead rubber bearings-LRB), và gối cao su có độ cản cao (high damping rubber bearings-HDRB). Trong đó HDRB được sử dụng rộng rãi ở Nhật bản vì có tính dẻo cao và khả năng giảm chấn lớn (Nguyễn và Phạm, 2018).

Trong những năm gần đây vật liệu cao su có độ cản cao nổi lên như một loại vật liệu đầy hứa hẹn cho việc hấp thụ năng lượng mà không cần chèn

thêm lõi chì như loại gối LRB. Thêm vào đó, trong một số công bố gần đây (Kalpakidis and Constantinou, 2009-I&II) khả năng hấp thụ năng lượng của gối LRB sau mỗi vòng tải trọng bị giảm đi do ảnh hưởng hiện tượng tự nóng lên bên trong của gối lõi chì (self-heating), điều này đặt ra câu hỏi về khả năng làm việc của gối LRB trong các trận động đất có thời gian tác động dài như trận động đất Tohoku 2011 khi mà băng gia tốc nền lên tới 500 giây, lớn hơn nhiều các trận động đất thông thường dưới 45 giây. Sự xuất hiện của cao su có độ cản cao dẫn việc ứng dụng HDRB trong các công trình xây dựng trở lên rộng rãi trên thế giới và được coi như là một thế hệ tiếp theo của thiết bị giảm chấn với nhiều ưu điểm, thiết bị này có đặc tính cơ học không chỉ đàn hồi mà cả đàn nhót, đàn dẻo. Ngược lại khi so sánh với LRB, khi mà ảnh hưởng của tốc độ tải trọng ảnh hưởng rất ít lên đặc tính cơ học của gối LRB, kể cả ở nhiệt độ thấp (Robinson, 1982; Razzaq et al, 2012) ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ tải trọng là khá lớn đối với gối cao su HDRB (Nguyen et al, 2011).

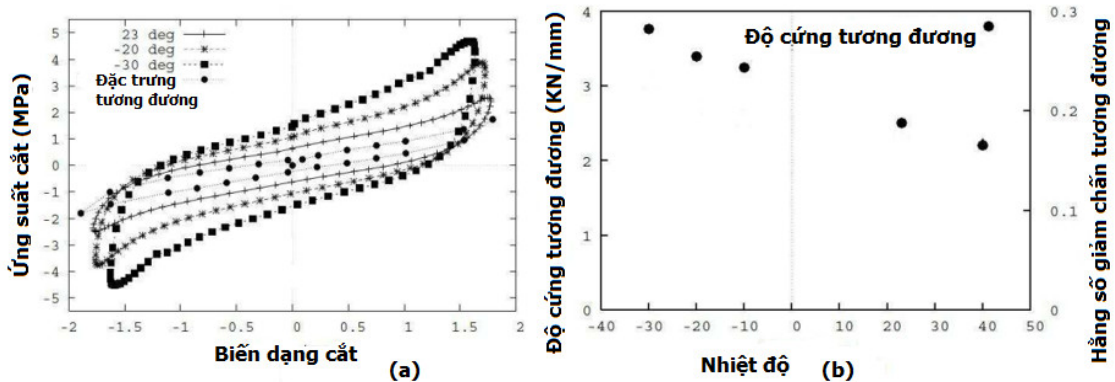
---

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

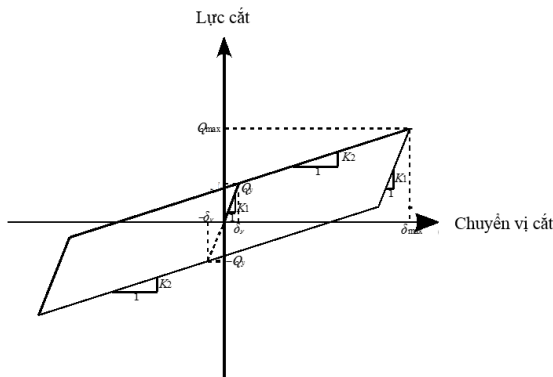
<sup>2</sup> Học viên cao học, Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi

Các quan sát thực nghiệm (Imai et al, 2010) đã chỉ ra đặc tính cơ học của HDRB phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường, như trong hình 1. Theo đó, tại nhiệt độ thấp độ cứng tương đương của HDRB ra tăng đáng kể, tại  $-30^{\circ}\text{C}$  tăng gần 2 lần so với nhiệt độ phòng  $23^{\circ}\text{C}$ , trong khi đó tại nhiệt độ cao  $40^{\circ}\text{C}$  độ cứng thay đổi không đáng kể khi so sánh tại nhiệt độ phòng. Tương tự kết quả thí nghiệm ứng suất-biến dạng được thể hiện trong hình 1(a), sự gia tăng diện tích của

vòng tròn trễ này đã thể hiện rõ ảnh hưởng của nhiệt độ thấp. Theo quan niệm cơ bản của hệ thống cách chấn đáy, độ cứng cao có nghĩa là kém linh hoạt, về cơ bản không phải là một đặc tính thuận lợi của HDRB, vì nó có thể gây ra phản ứng mạnh của kết cấu phía trên và tiêu hao năng lượng ít hơn. Do đó, sự gia tăng độ cứng dưới nhiệt độ thấp có thể dẫn đến các vấn đề bất lợi không mong muốn trong quá trình vận hành công trình.



Hình 1. Sự phụ thuộc nhiệt độ của HDRB: (a) vòng tròn trễ ứng suất biến dạng, (b) độ cứng tương đương (Imai et al, 2010)



Hình 2. Mô hình song tuyến tính của gối cách chấn

Trong các tiêu chuẩn và chỉ dẫn kỹ thuật (AASHTO, 2010; EC8, 2004; JRA, 2004; TCVN 9386, 2012) đặc tính cơ học của gối cao su được mô phỏng bởi mô hình song tuyến tính như hình 2. Mô hình song tuyến tính có ba tham số: độ cứng ban đầu  $K_1$ , độ cứng thứ hai  $K_2$  và lực chảy của gối  $Q_y$ . Các tham số thiết kế được xác định từ vòng tròn trễ ứng suất-biến dạng thu được thí

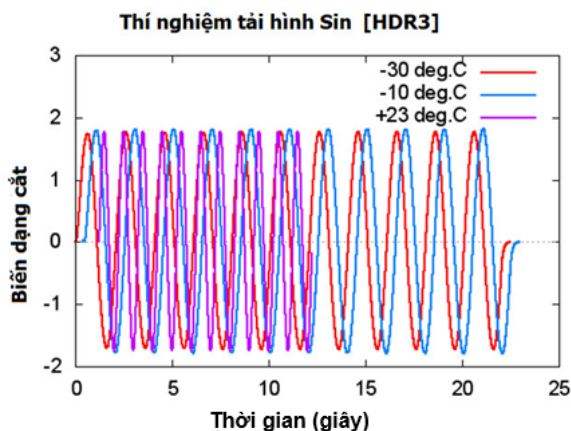
nghiệm tải trọng hình sin lên các gối cao su được sản xuất nguyên mẫu có kích thước thiết kế theo tiêu chuẩn ISO 2005 tại nhiệt độ phòng. Như (Imai et al, 2010) đã chỉ ra vòng tròn trễ này phụ thuộc vào nhiệt độ thấp rất rõ ràng trong hình 1(a), vì vậy một câu hỏi cho các kỹ sư là với quy trình xác định tham số tại nhiệt độ phòng như vậy có còn chính xác khi thiết kế cho công trình tại nhiệt độ thấp hay không.

Trong bài báo này, các thí nghiệm tải hình sin được tiến hành tại  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ . Trên cơ sở kết quả thí nghiệm ba bộ tham số của mô hình song tuyến tính được xác định tại ba nhiệt độ này. Một phân tích động toà nhà 12 tầng có sử dụng gối cao su theo phương pháp lịch sử thời gian được tiến hành thông qua phần mềm Sap 2000. Kết quả tính toán phản ứng động của toà nhà tại các nhiệt độ khác nhau thể hiện được ảnh hưởng của nhiệt độ thấp lên việc dự đoán phản ứng của công trình trong thực hành thiết kế công trình.

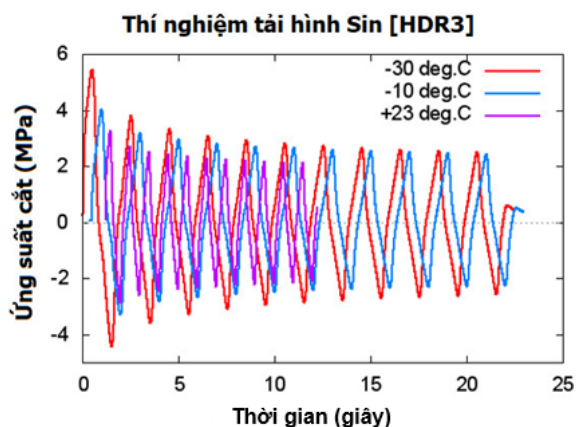
## 2. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH THAM SỐ MÔ HÌNH MÔ PHỎNG GỐI CAO SU

Theo quy trình thiết kế, các thí nghiệm tải hình sin sẽ được tiến hành ở nhiệt độ phòng, các mẫu thí nghiệm được sản xuất theo ISO, 2005. Trong nghiên cứu này các thí nghiệm được tiến hành bởi Hiệp hội cao su Nhật Bản theo đúng

các yêu cầu của tiêu chuẩn quy định. Hình 3 thể hiện tải hình sin được tiến hành tại  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  và  $23^{\circ}\text{C}$ . Các thí nghiệm ở  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  được tiến hành 11 vòng tải, còn ở nhiệt độ phòng  $23^{\circ}\text{C}$  thí nghiệm được tiến hành 6 vòng. Để phân biệt 3 thí nghiệm này, thời gian bắt đầu tải được vẽ lệch nhau 1 giây.



Hình 3. Tải của thí nghiệm tải hình sin



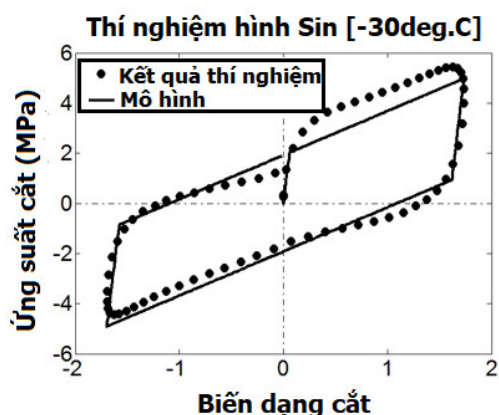
Hình 4. Ứng suất thu được từ thí nghiệm

Hình 4 thể hiện ứng suất thu được từ ba thí nghiệm ở ba nhiệt độ khác nhau. Kết quả thí nghiệm thể hiện rất rõ sự gia tăng ứng suất do sự gia tăng độ cứng của HDRB tại nhiệt độ thấp. Vòng tròn trễ ứng suất-biến dạng đầu tiên từ các thí nghiệm này được sử dụng để xác định ba tham số của mô hình song tuyến tính. Việc xác định này được thực hiện bằng cách thay đổi tham số của mô hình để sao cho mô hình gần số liệu thí nghiệm nhất. Kết quả xác định tham số

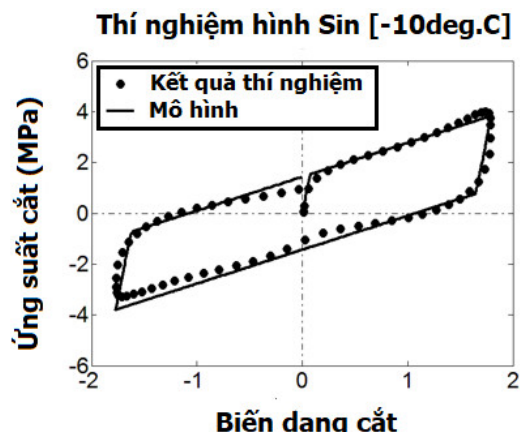
được thể hiện trên hình 5 và bảng 1.

Bảng 1. Tham số của mô hình song tuyến tính

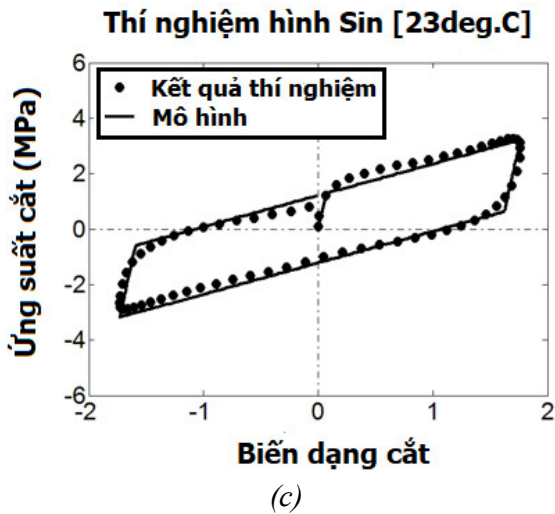
Nhiệt độ	$\tau_{cr}$ (MPa)	$C_1$ (MPa)	$C_2$ (MPa)
$-30^{\circ}\text{C}$	1.921	32.58	1.761
$-10^{\circ}\text{C}$	1.435	19.2	1.335
$23^{\circ}\text{C}$	1.215	17.29	1.136



(a)



(b)



Hình 5. Xác định tham số của mô hình song tuyến tính tại các nhiệt độ: (a)  $-30^{\circ}\text{C}$  (b)  $-10^{\circ}\text{C}$  (c)  $23^{\circ}\text{C}$

### 3. PHÂN TÍCH ĐỘNG NHÀ NHIỀU TẦNG SỬ DỤNG GỐI CÁCH CHẤN CAO SU.

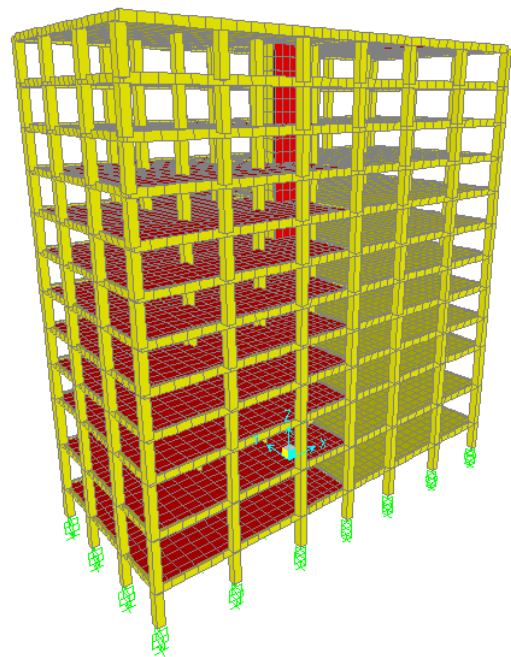
#### 3.1. Các thông số phân tích ban đầu

Công trình là một toà nhà hỗn hợp dịch vụ công cộng và nhà ở gồm 11 tầng nổi và 1 tầng bán ngầm, hệ chịu lực là khung bê tông cốt thép (BTCT) kết hợp lõi BTCT tại vị trí thang máy, sàn BTCT không dầm (chỉ có dầm biên). Công trình sử dụng phương án sàn phẳng không dầm. Kích thước cấu kiện: Cột chủ yếu với các kích thước  $700 \times 700\text{mm}$ ,  $400 \times 400\text{mm}$  và các kích thước dầm bo lần lượt là  $220 \times 650\text{mm}$  và  $220 \times 550\text{mm}$ . Mô hình 3D mô phỏng công trình được trình bày trong hình 6.

Dựa vào các bước thiết kế gối cách chấn trong (Ngô, 2018), kích thước gối HDRB sử dụng cho công trình được tính toán thiết kế chi tiết. Giả thiết gối cao su HDRB được đặt tại các chân cột công

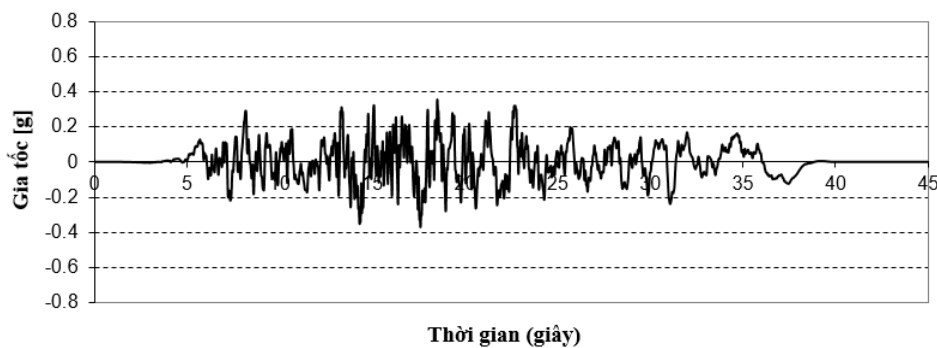
trình và tại vị trí thang máy sử dụng 6 gối cách chấn, các bước thiết kế cho ra kết quả là 32 gối cao su có kích thước  $300 \times 300\text{ (mm}^2\text{)}$  và tổng chiều dày của cao su trong một gối là 26 (mm).

Trong phân tích động có hai loại động đất được sử dụng. Đây là hai loại động đất được qui định trong tiêu chuẩn thiết kế Nhật Bản (JRA, 2004). Loại I là trận động đất ở khu vực Kanto năm 1923, loại II là trận động đất ở Kobe 1995. Biểu đồ gia tốc nền đại diện của hai loại này có dạng như hình 7. Theo bảng I.1 phụ lục I của TCVN 9386, loại I tương đương động đất cấp VIII-IX, loại II tương đương động đất cấp X thang MM.

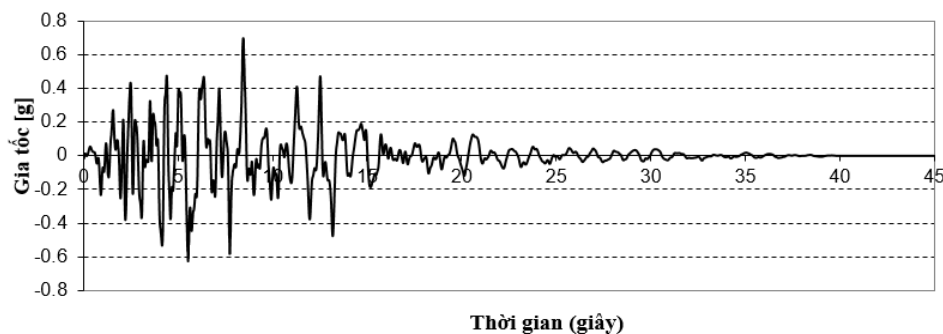


Hình 6. Mô hình 3D của công trình

#### Gia tốc nền loại I (JRA 2004)



### Gia tốc nền loại II (JRA 2004)



Hình 7. Gia tốc nền động đất (a) loại I và (b) loại II

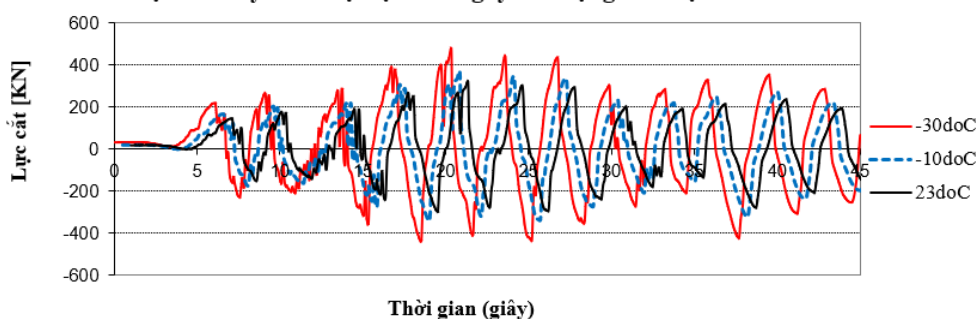
### 3.2. Kết quả phân tích động

Để thuận tiện cho việc so sánh, các lực cắt đáy của công trình tại ba nhiệt độ khác nhau do cùng loại động đất gây ra sẽ được vẽ trên cùng một hình, trong đó, màu đỏ thể hiện lực cắt đáy tại  $-30^{\circ}\text{C}$ , màu xanh-blue nét đứt thể hiện lực cắt đáy tại nhiệt độ  $-10^{\circ}\text{C}$ , và màu đen thể hiện lực cắt đáy tại nhiệt độ phòng  $23^{\circ}\text{C}$ . Thêm nữa để dễ nhìn, lực cắt đáy thu được tại mỗi một nhiệt độ sẽ được vẽ lệch nhau 0,5 giây trên hình vẽ.

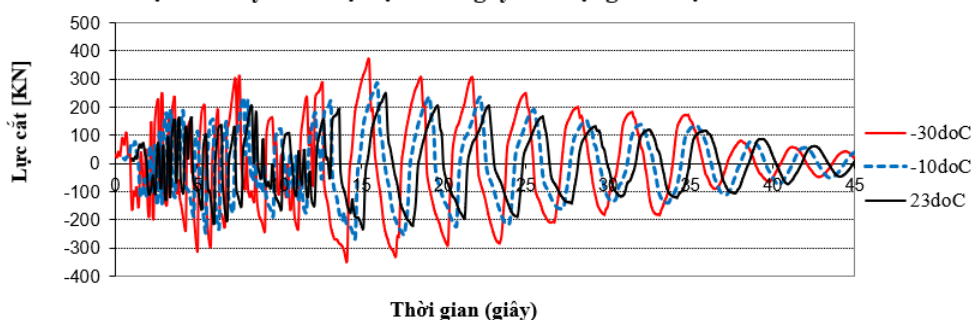
Lực cắt tại đáy công trình được thể hiện trong hình 8&9. Trong đó hình 8 thể hiện lực tại chân cột-nút số 3 trong sơ đồ tính và hình 9 thể hiện lực cắt

đáy tại chân vách thang máy-nút số 31. Từ hình này ta có thể thấy tại nhiệt độ thấp lực cắt đáy tại chân cột và chân vách thang máy tăng lên đáng kể so với nhiệt độ phòng. Tại chân cột nút số 3 lực cắt đáy lớn nhất do động đất loại I là  $479,1\text{ kN}$  tại  $-30^{\circ}\text{C}$ , còn ở nhiệt độ phòng lực cắt đáy lớn nhất do động đất loại I gây ra chỉ là  $321,6\text{ kN}$ . Tương tự lực cắt đáy lớn nhất do động đất loại II gây ra tại  $-30^{\circ}\text{C}$  là  $378,3\text{ kN}$  và tại  $23^{\circ}\text{C}$  chỉ là  $248\text{ kN}$ , nghĩa là tăng 1,49 lần và 1,52 lần dưới tác động lần lượt của động đất loại I và động đất loại II. Điều này có thể được giải thích là do độ cứng của gối cao su HDRB tăng lên khi nhiệt độ giảm đi nên tải sẽ tăng theo vì cứng hơn.

#### Lực cắt đáy chân cột tại nút 3 gây bởi động đất loại I



#### Lực cắt đáy chân cột tại nút 3 gây bởi động đất loại II



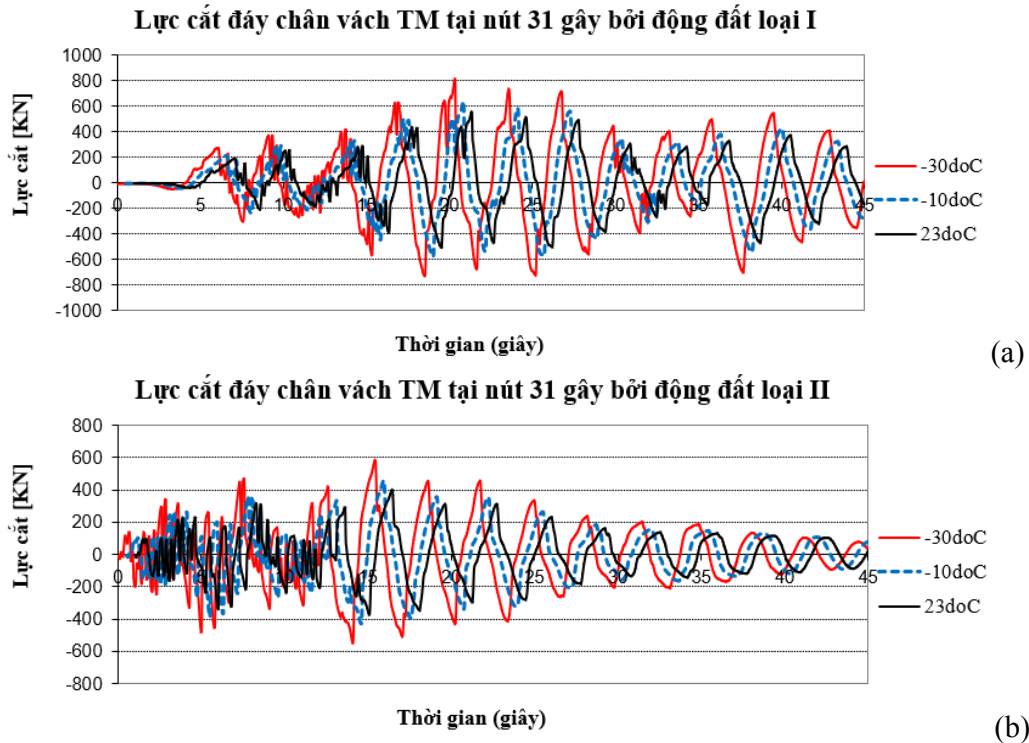
Hình 8. Lực cắt đáy tại chân cột: (a) do động đất loại I, (b) do động đất loại II

#### 4. KẾT LUẬN

Một phân tích động toà nhà 12 tầng có sử dụng gối cách chấn HDRB đã được thực hiện. Các tham số của mô hình mô phỏng gối HDRB được xác định tại ba nhiệt độ khác nhau:  $-30^{\circ}\text{C}$ ;  $-10^{\circ}\text{C}$ ; và  $23^{\circ}\text{C}$ . Công trình được phân tích động theo lịch sử thời gian dưới tác động của hai loại động đất quy định trong tiêu chuẩn thiết kế của Nhật Bản là loại I và loại II.

Các phản ứng động của công trình tính được thông qua phân tích động tại các nhiệt độ chỉ ra

rằng, lực cắt đáy tại chân cột và chân thang máy tăng lên so với lực cắt đáy tính tại nhiệt độ phòng. Trong đó, lực cắt đáy tại chân cột khi nhiệt độ bên môi trường là  $-30^{\circ}\text{C}$  lớn hơn 1,49 lần và 1,52 lần dưới tác động lần lượt của động đất loại I và động đất loại II khi so sánh với lực cắt đáy xác định tại nhiệt độ phòng. Đây là lưu ý quan trọng cho các kỹ sư khi thiết kế với công trình có sử dụng gối cách chấn tại vùng lạnh, vì tại mùa lạnh lực cắt đáy tăng lên sẽ yêu cầu về móng, cột tăng theo.



Hình 9. Lực cắt đáy tại chân thang máy: (a) do động đất loại I, (b) do động đất loại II

#### LỜI CẢM ƠN

Các thí nghiệm tải hình sin được thực hiện bởi Hiệp hội gối cao su Nhật Bản. Các tác giả xin chân

thành cảm ơn sự hợp tác của Hiệp hội trong việc thực hiện thí nghiệm. Công việc này được hỗ trợ của giáo sư Okui Trường Đại học Saitama-Nhật Bản.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ngô Văn Thuyết (2018). “*Phương pháp thiết kế kích thước gối cách chấn đàn hồi sử dụng cho công trình dân dụng chịu động đất ở Việt Nam*”, Tạp chí KHCN Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng, Bộ Xây dựng, ISSN: 1859-1566, số 3/2018.
- Nguyễn Anh Dũng, Phạm Thu Hiền (2018). *Nghiên cứu ứng dụng thiết bị cách chấn đáy có độ cản cao áp dụng cho nhà cao tầng chịu động đất ở Việt Nam*. Đề tài cơ sở Trường Đại học Thủy lợi.
- Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất – Phần 1: quy định chung, tác động động đất và quy định đối với kết cấu nhà*.

- American association of state highways and transportation officials (AASHTO)*, 2010. 3rd Edition. Washington DC: Guide Specification for Seismic Isolation Design.
- Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1:2004)*. European Committee for Standardization.
- Imai, T., Bhuiyan, A.R., Razzaq, M.K., Okui, Y., Mitamura H., 2010. *Experimental studies of rate-dependent mechanical behavior of laminated rubber bearings*. Joint conference proceedings 7CUEE&5ICEE, March 3-5, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 1921-1928.
- International organization of standardization (ISO), 2005. *Elastomeric seismic protection isolators. Part 1: test methods*; 2005.
- Japan road association (JRA), 2004. *Specifications for highway bridges. Part V: seismic design*. Tokyo: Maruzen.
- Kalpakidis I, Constantinou M. *Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. I: theory*. J Struct Eng ASCE 2009;135(12):1440–49.
- Kalpakidis I, Constantinou M. *Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. II: verification of theory*. J Struct Eng ASCE 2009;135(12):1450–61.
- Nguyen, D.A., J., Okui, Y., Amin, A.F.M.S., Okada, S., Imai, T. (2015), *An improved rheology model for the description of the rate-dependent cyclic behavior of high damping rubber bearings*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- Razzaq MK, Okui Y, Bhuiyan AR, Amin A, Mitamura H, Imai, T. *Application of rheology modeling to natural rubber and lead rubber bearings: a simplified model and low temperature behavior*. Struct Eng/Earthq Eng JSCE 2012;29(2):40-55.
- Robinson WH. *Lead rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes*. Earthq Eng Struct Dyn 1982;10(4):593-604.

**Abstract:**

**LOW TEMPERATURE EFFECT ON PREDICTION OF SEISMIC RESPONSES OF BUILDINGS WITH HIGH DAMPING RUBBER BEARINGS**

*Although rubber bearings have been widely used for many years, some mechanical properties of rubber bearings have not been fully studied, including low temperature effect on mechanical properties. This paper studies the effect of temperature changes on the seismic responses of buildings using rubber bearings. A seismic analysis of a 12-storey building was conducted at  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ . The comparison of the results obtained at three temperatures shows that, at low temperature, the base shear forces increase due to the increase in stiffness of the rubber bearing. The base shear force at  $-30^{\circ}\text{C}$  increases by 1.5 times the forces at room temperature  $23^{\circ}\text{C}$ . This is an important note for engineers who design structures with rubber bearings in cold areas and high seismic activity.*

**Keywords:** Low temperature dependence, rubber bearing, seismic analysis.

---

Ngày nhận bài: 23/8/2021

Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2021