

ĐÁNH GIÁ TỔN THƯƠNG ĐỊA CHẤN CHO CÔNG TRÌNH CÓ KẾT CẤU TƯỜNG GẠCH CHỊU LỰC SỬ DỤNG GỐI CÁCH CHẤN ĐÁY ĐÀN HỒI CỐT SỢI DẠNG LIÊN KẾT

Ngô Văn Thuyết¹

Tóm tắt: Nhà kết cấu tường gạch chịu lực thường bị hư hỏng khi động đất xảy ra. Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi là một loại gối cách chấn đa lớp mới được kỳ vọng sử dụng cho công trình dân dụng trung và thấp tầng để giảm hư hỏng cho công trình chịu động đất. Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi đang được phát triển theo hai dạng: dạng liên kết và không liên kết. Trong nghiên cứu này, đánh giá tổn thương địa chấn của nhà kết cấu tường gạch chịu lực sử dụng gối cách chấn đáy đàn hồi cốt sợi dạng liên kết bằng đồ thị trạng thái phá hủy được khảo sát. Kết quả cho thấy công trình sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi giảm hư hỏng đáng kể so với công trình móng cứng khi động đất xảy ra.

Từ khóa: Nhà kết cấu tường gạch chịu lực, gối cách chấn đàn hồi cốt sợi, đồ thị trạng thái phá hủy, đánh giá tổn thương địa chấn, trạng thái phá hủy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhà kết cấu tường gạch chịu lực là dạng kết cấu dễ bị hư hỏng theo các trạng thái phá hủy khác nhau khi động đất xảy ra. Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu là một công cụ hữu hiệu để đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình. Đánh giá tổn thương địa chấn cho nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy đã được khảo sát trong nghiên cứu của (Ngô Văn Thuyết, 2021a). Vậy nên việc đề xuất một biện pháp để giảm thiểu hư hỏng cho công trình kết cấu tường gạch chịu lực chịu động đất là một việc làm cần thiết.

Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi (fiber reinforced elastomeric isolator, gọi tắt là gối FREI) là một loại gối cách chấn đa lớp mới, được kỳ vọng là biện pháp giảm hư hỏng cho công trình trung và thấp tầng chịu động đất. Trong công trình cách chấn đáy, gối cách chấn thường được đặt ở bên trên phần đài móng và bên dưới phần thân công trình. Gối FREI được cấu tạo từ các lớp cao su xen kẽ và gắn kết với các lớp/tấm sợi gia cường.

Gối FREI đang được nghiên cứu, phát triển theo hai dạng: gối cách chấn đàn hồi cốt sợi dạng liên kết (bonded fiber reinforced elastomeric isolator, gọi tắt là gối B-FREI) và gối cách chấn đàn hồi cốt sợi dạng không liên kết (unbonded fiber reinforced elastomeric isolator, gọi tắt là gối U-FREI). Các gối B-FREI và U-FREI khác nhau ở cách thức liên kết gối cách chấn với công trình: gối B-FREI có hai tấm đế thép dày ở đáy và đỉnh gối để liên kết với phần đài móng và phần thân công trình thông qua các bu lông; gối U-FREI được đặt trực tiếp lên bề mặt đài móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ liên kết vật lý nào.

Hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi chịu động đất đã được nghiên cứu trong vài năm trở lại đây như nghiên cứu của (Ngô Văn Thuyết và Nguyễn Văn Thắng, 2018), (Ngô Văn Thuyết, 2021b). Các nghiên cứu này đều khảo sát hiệu quả cách chấn của công trình cách chấn đáy chịu động đất bằng phương pháp phân tích mô hình số sử dụng phân tích động theo thời gian. Có rất ít nghiên cứu về đánh giá tổn thương địa chấn cho

¹ Bộ môn Kết cấu công trình, Trường Đại học Thủy lợi

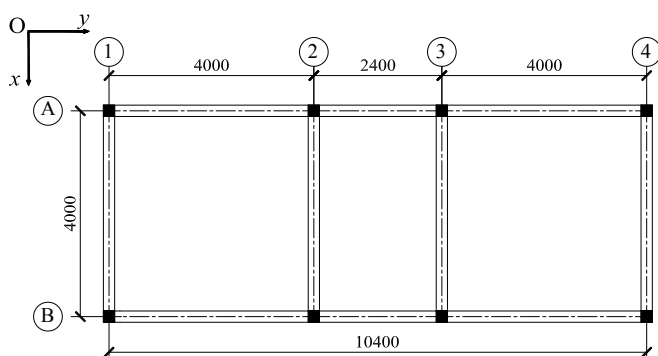
công trình có kết cấu tường gạch chịu lực sử dụng gói cách chấn đáy đàn hồi cốt sợi bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Mới chỉ có nghiên cứu của (Thuyet et al., 2018) về đánh giá tổn thương địa chấn của công trình tường gạch chịu lực sử dụng gói cách chấn đáy đàn hồi cốt sợi dạng không liên kết.

Nghiên cứu này đã khảo sát đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình có kết cấu tường gạch chịu lực sử dụng gói cách chấn đáy đàn hồi cốt sợi dạng liên kết (B-FREI) bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Ngoài ra, tổn thương địa chấn của công trình có gói cách chấn đáy được so sánh với công trình móng cứng để thấy được hiệu quả giảm hư hỏng cho công trình khi động đất xảy ra.

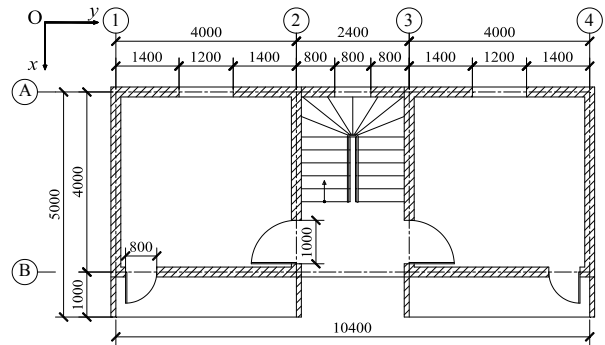
2. MÔ TẢ VỀ CÔNG TRÌNH CÁCH CHẤN ĐÁY

Một công trình nhà kết cấu tường gạch chịu lực với các thông số về kích thước và vật liệu giả định được lựa chọn nghiên cứu. Công trình gồm ba tầng có các tường gạch đôi chịu lực dày 220 mm và sàn bê tông cốt thép dày 120 mm (bê tông cấp độ bền B15). Tường gạch được xây bởi gạch đất sét nung mác M75 và vữa vôi mác M2,5. Chiều cao mỗi tầng là 3,2 m. Phần mái công trình có kết cấu vì kèo đỡ và lợp mái ngói. Mặt bằng tầng điển hình của công trình được thể hiện trong Hình 1.

Công trình cách chấn đáy sử dụng tổng cộng 8 gói cách chấn đàn hồi cốt sợi dạng liên kết (B-FREI). Vị trí đặt gói cách chấn trên mặt bằng được thể hiện trong Hình 2. Các gói cách chấn này đều có kích thước như nhau và được đặt bên trên đài móng, bên dưới hệ dầm đỡ toàn bộ tường chịu lực như Hình 3.



Hình 2. Mặt bằng bố trí gói cách chấn



Hình 1. Mặt bằng tầng điển hình của công trình

Các gói cách chấn có kích thước 250x250x100 mm. Mỗi gói được cấu tạo từ 18 lớp cao su tổng hợp xen kẽ và gắn kết với 17 lớp sợi cacbon hai hướng ($0^0/90^0$). Mỗi lớp cao su và sợi cacbon dày tương ứng là 5 mm và 0,55 mm. Tổng chiều dày lớp cao su là $t_r = 90$ mm. Mô-đun cắt của cao su là $G = 0,90$ N/mm². Hệ số hình dạng của các gói cách chấn là $S = 12,5$.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH VÀ TẢI TRỌNG

Công trình được xây dựng theo mô hình không gian bằng phần mềm SAP2000 v15. Tường gạch (khối xây) được mô phỏng bằng phần tử tấm phi tuyến nhiều lớp. Sàn bê tông cốt thép được mô phỏng bằng phần tử tấm. Các sàn từng tầng được khai báo sàn tuyệt đối cứng. Phần mái có kết cấu vì kèo đỡ mái ngói nên trong mô phỏng quy đổi thành tải trọng phân phối đặt lên tường chịu lực. Gói cách chấn được mô phỏng bằng phần tử liên kết (link) dạng rubber isolator. Đối với công trình móng cứng, tất cả các nút ở chân tường tầng 1 để liên kết ngầm. Thông số đặc tính cơ học của các phần tử khối xây và gói cách chấn được trình bày dưới đây.



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

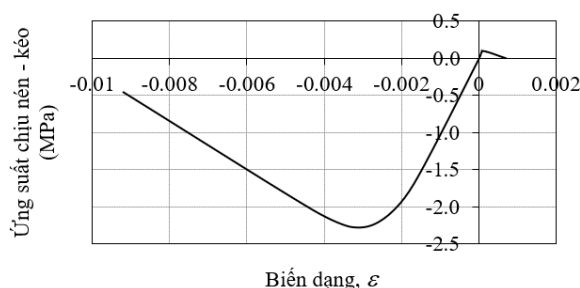
3.1. Thông số đầu vào của khối xây

Trong mô hình số, phần tử tám phi tuyến nhiều lớp với các thông số ứng xử đứng (S_{11}), ứng xử ngang (S_{22}) và ứng xử cắt (S_{12}) được dùng để mô phỏng khối xây. Các ứng xử này được xác định dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm của

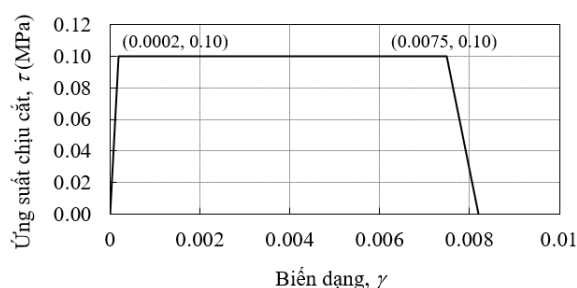
(Kaushik et al., 2007), (Akhavissy và Milani, 2013). Trong nghiên cứu này, tường gạch được xây bởi gạch đất sét nung mác M75 và vữa vôi mác M2,5. Các đặc tính cơ học của khối xây cho trong Bảng 1, ứng xử kéo-nén và cắt của khối xây được thể hiện trong các Hình 4 và 5.

Bảng 1. Đặc tính cơ học của khối xây

Mô đun đàn hồi E_m (MPa)	Mô đun cắt G_m (MPa)	Cường độ nén f'_m (MPa)	Cường độ kéo f_t (MPa)
1247	499	2,27	0,10



Hình 4. Ứng xử kéo-nén của khối xây



Hình 5. Ứng xử cắt của khối xây

3.2. Thông số đầu vào của gối cách chấn

Gối cách chấn được mô hình bằng phần tử liên kết dạng rubber isolator. Các đặc tính cơ học của gối cách chấn về ứng xử ngang theo hai phương nằm ngang (X và Y) và ứng xử đứng theo phương Z đều được sử dụng để khai báo. Ứng xử ngang của gối cách chấn được mô hình bằng mô hình vòng lặp trễ song tuyến với 4 thông số sau: Độ cứng ngang hiệu dụng K_{eff} , độ cứng ban đầu K_1 , lực cắt ngang ở vị trí chảy F_y và tỷ số độ cứng $n = K_2/K_1$. Ứng xử đứng được khai báo thông qua độ cứng theo phương đứng K_v .

Ứng xử ngang của gối B-FREI chịu tải trọng đứng thiết kế và chuyển vị ngang tăng dần từ 0 mm đến 135 mm ($1,50t_r$) đã được khảo sát trong nghiên cứu của (Thuyet et al., 2017) và có đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang như thể hiện trong Hình 6.

Theo (Naeim và Kelly, 1999), độ cứng theo

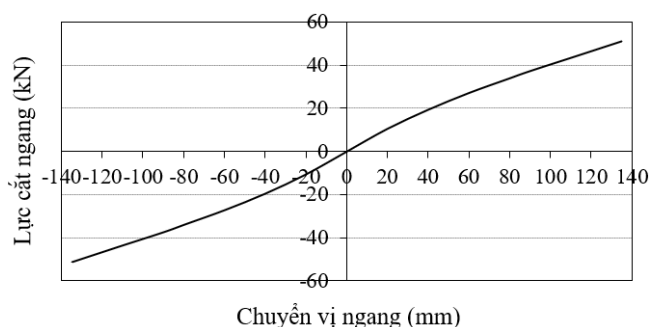
phương đứng của gối cách chấn đa lớp được tính theo công thức sau:

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

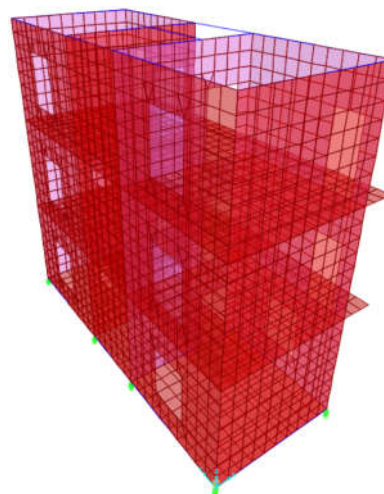
trong đó, A là diện tích mặt cắt ngang gối; E_c là mô-đun chịu nén tức thời của hỗn hợp cao su - sợi cacbon, đối với gối cách chấn có mặt cắt ngang hình vuông thì $E_c = 6,73GS^2$. Trong nghiên cứu này $E_c = 6,73 \times 0,90 \times 12,5^2 = 946,41$ (MPa). Vậy: $K_v = 946,41 \times 62500 / 90 = 657229,2$ (kN/m).

3.3. Tải trọng

Công trình được phân tích tĩnh phi tuyến trong hai trường hợp: sử dụng gối cách chấn B-FREI và móng cứng. Tải trọng tác dụng lên công trình trong các trường hợp là như nhau, bao gồm tải trọng bản thân, tĩnh tải các lớp cấu tạo sàn và hoạt tải. Mô hình không gian công trình cách chấn đáy (đã chia phần tử) được thể hiện trong Hình 7.



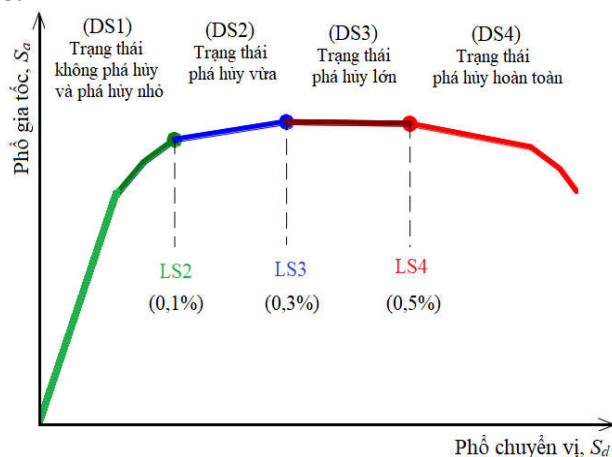
Hình 6. Đường quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của gối B-FREI



Hình 7. Mô hình công trình cách chấn đáy bằng phần mềm SAP2000

4. NHẬN BIẾT CÁC TRẠNG THÁI PHÁ HỦY CỦA CÔNG TRÌNH

Đối với công trình nhà kết cấu tường gạch chịu lực, các trạng thái phá hủy được nhận biết thông qua chuyển vị tương đối từng tầng (Calvi, 1999), được chia thành 4 trạng thái sau: trạng thái không phá hủy và phá hủy nhỏ (Damage State 1, gọi tắt là trạng thái DS1), trạng thái phá hủy vừa (DS2), trạng thái phá hủy lớn (DS3) và trạng thái phá hủy hoàn toàn (DS4); trong đó, ngưỡng chuyển vị tương đối từng tầng được sử dụng để giới hạn các trạng thái phá hủy (Limit State - LS). Vị trí các trạng thái phá hủy được xác định trên đường cong khả năng của công trình như thể hiện trong Hình 8.

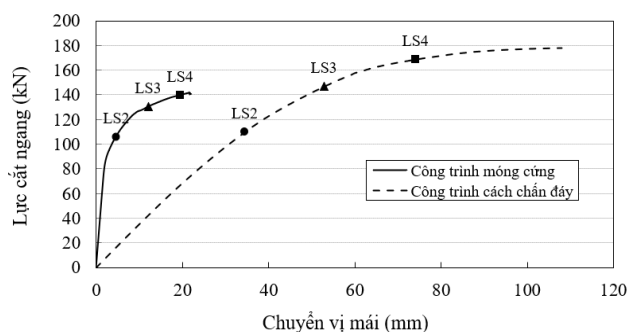


Hình 8. Vị trí các trạng thái phá hủy trên đường cong khả năng của công trình

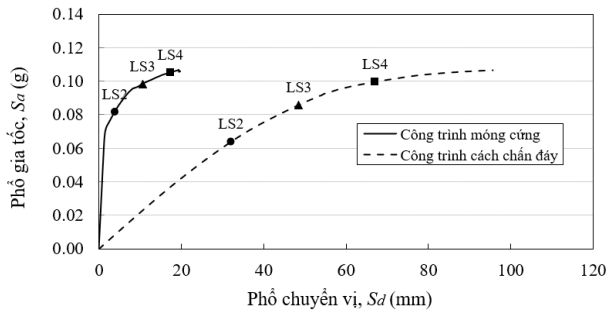
Đối với công trình cách chấn đáy, ngoài 4 trạng thái phá hủy trên còn kể thêm một trạng thái phá hủy nữa của gối cách chấn (DS5). Gối cách chấn đa lớp nói chung được thiết kế làm việc đến chuyển vị ngang giới hạn là $1,50t_r$.

5. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ BÌNH LUẬN

Phân tích tĩnh phi tuyến công trình trong 2 trường hợp: móng cứng và sử dụng gối B-FREI được thực hiện. Đường cong khả năng của công trình (thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị mái) tương ứng với phương dao động riêng thứ nhất của công trình (phương X) được khảo sát. Kết quả nhận biết vị trí giới hạn các trạng thái phá hủy trên đường cong khả năng và đường cong mối quan hệ giữa phổ gia tốc với phổ chuyển vị của công trình trong hai trường hợp trên được thể hiện trong các Hình 9 và 10.



Hình 9. Đường cong khả năng và vị trí giới hạn các trạng thái phá hủy của công trình



Hình 10. Quan hệ giữa phổ gia tốc - phổ chuyển vị và vị trí các trạng thái phá hủy của công trình

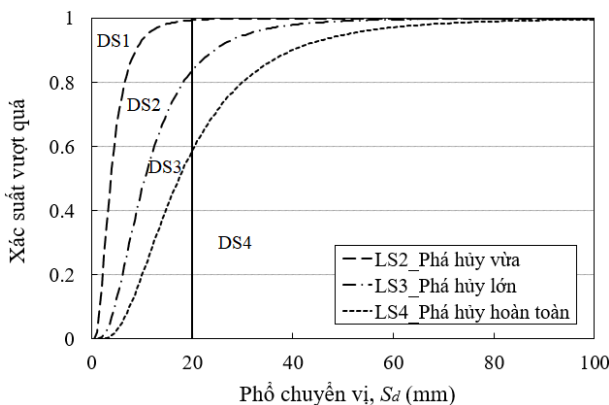
Từ các hình vẽ thấy rằng giá trị lực cắt ngang của công trình cách chấn đáy luôn lớn hơn giá trị lực cắt ngang của công trình móng cứng (Hình 9); giá trị phổ gia tốc của công trình cách chấn đáy luôn nhỏ hơn giá trị tương ứng của công trình móng cứng (Hình 10) ở từng giới hạn trạng thái phá hủy của công trình. Công trình cách chấn đáy chưa bị phá hủy giới cách chấn (DS5), khi công

trình cách chấn đáy đạt đến ngưỡng LS4 thì lúc này chuyển vị ngang của gối cách chấn là 50 mm.

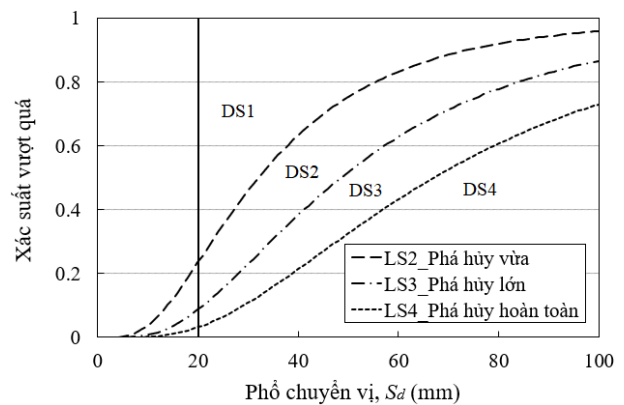
Theo FEMA (2003), đồ thị trạng thái phá hủy được xác định thông qua hàm phân phối chuẩn của phổ chuyển vị cho bởi công thức sau:

$$P[DS|S_d] = \Phi\left(\frac{1}{\beta_{DS}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,DS}}\right)\right) \quad (2)$$

trong đó, $\Phi[.]$ là một hàm phân phối chuẩn; $S_{d,DS}$ là giá trị của ngưỡng phổ chuyển vị tại một trạng thái phá hủy nhất định; β_{DS} là độ lệch chuẩn của logarit tự nhiên của phổ chuyển vị ứng với trạng thái phá hủy đó. Ở đây, $S_{d,DS}$ được xác định trên Hình 10; giá trị β_{DS} được lấy theo (FEMA, 2003) cho công trình nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực: $\beta_{DS} = 0,65$ cho tất cả các trạng thái phá hủy. Đồ thị trạng thái phá hủy của công trình trong cả hai trường hợp phân tích được thể hiện trong Hình 11.



(a) Công trình móng cứng

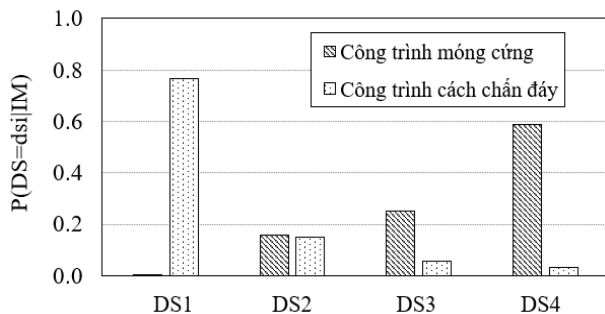


(b) Công trình cách chấn đáy

Hình 11. Đồ thị trạng thái phá hủy của công trình

Từ Hình 11 thấy rằng xác suất để công trình bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn, phá hủy hoàn toàn của công trình cách chấn đáy giảm đáng kể so với công trình móng cứng. Chẳng hạn như khi có một trận động đất xảy ra với phổ chuyển vị lớn nhất là 20 mm, xác suất để công trình móng cứng bị hư hỏng ở trạng thái DS1 là 0,5%, ở trạng thái DS2 là 15,7%, ở trạng thái DS3 là 25,0% và ở trạng thái DS4 là 58,8% (được xác định trên Hình 12); trong khi đó, xác

suất để công trình cách chấn đáy bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy DS1, DS2, DS3 và DS4 lần lượt là 76,6%, 14,8%, 5,5% và 3,1%. Như vậy, công trình móng cứng chủ yếu bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn và phá hủy hoàn toàn, trong khi đó công trình cách chấn đáy chỉ bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy nhỏ. Điều đó chứng tỏ rằng công trình cách chấn đáy giảm hư hỏng đáng kể, an toàn hơn so với công trình móng cứng khi động đất xảy ra.



Hình 12. Phân phối xác suất theo các trạng thái phá hủy của công trình trong các trường hợp ứng với giá trị phổ chuyển vị là $S_d = 20 \text{ mm}$

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình có kết cấu tường gạch chịu lực sử dụng gối cách chấn đáy đàn hồi cốt sợi

dạng liên kết bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Tổn thương địa chấn của công trình cách chấn đáy được so sánh với tổn thương địa chấn của công trình móng cứng để thấy được hiệu quả giảm hư hỏng cho công trình khi động đất xảy ra. Công trình móng cứng và công trình cách chấn đáy được phân tích tĩnh phi tuyến bằng phần mềm SAP2000 v.15. Kết quả phân tích cho thấy ở cùng một giá trị phổ chuyển vị, công trình móng cứng chủ yếu bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy lớn và phá hủy hoàn toàn, trong khi công trình cách chấn đáy chỉ bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy nhỏ. Như vậy, công trình cách chấn đáy giảm hư hỏng đáng kể, an toàn hơn so với công trình móng cứng khi động đất xảy ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ngô Văn Thuyết, Nguyễn Văn Thắng (2018), “Hiệu quả cách chấn của nhà khung bê tông cốt thép sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi FREI chịu động đất”, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, 606, tr. 150-153.
- Ngô Văn Thuyết (2021a), “Đánh giá tổn thương địa chấn của nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực bằng đồ thị trạng thái phá hủy”, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 73(1), tr. 25-32.
- Ngô Văn Thuyết (2021b), “So sánh hiệu quả cách chấn của nhà khung bê tông cốt thép thấp tầng sử dụng gối cách chấn đàn hồi cốt sợi dạng liên kết và không liên kết chịu động đất”, Tạp chí Người Xây dựng, 353-354, tr. 68-73.
- Akhavessy A.H., Milani G. (2013), “Pushover analysis of large scale un-reinforced masonry structures by means of a fully 2D non-linear model”, Construction and Building Materials, 41, 276-295.
- Calvi G.M. (1999), “A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings”, Journal of Earthquake Engineering, 3(3), 411-438.
- FEMA (2003), “HAZUS-MH MR4: Multi-hazard loss estimation methodology earthquake model”, Technical manual, Federal Emergency Management Agency, National Institute of Building Science, Washington DC, USA.
- Kaushik H.B., Rai D.C., Jain S.K. (2007), “Stress-Strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression”, Journal of Materials in Civil Engineering, 19(9), 728-739.
- Naeim F., Kelly J.M. (1999), “Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice”, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Thuyet Van Ngo, Dutta A., Deb S.K. (2017), “Evaluation of horizontal stiffness of fibre reinforced elastomeric isolators”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 46(11), 1747-1767.
- Thuyet Van Ngo, Dutta A., Deb S.K. (2018), “Vulnerability assessment of a low-rise masonry building supported on un-bonded fiber reinforced elastomeric isolators”, Journal of Performance of Constructed Facilities, 32(2), 04017136.

Abstract:

SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF A BASE-ISOLATED MASONRY BUILDING USING BONDED FIBER REINFORCED ELASTOMERIC ISOLATORS

Un-reinforced masonry buildings are often susceptible to damage when they are subjected to ground motion of earthquakes. Fiber reinforced elastomeric isolator (FREI) is a new laminated elastomeric isolator which is expected to use for medium and low-rise buildings to reduce the damage of the buildings under earthquakes. FREIs are primarily of two types: bonded fiber reinforced elastomeric isolator (B-FREI) and unbonded fiber reinforced elastomeric isolator (U-FREI). In this paper, seismic vulnerability assessment of a base-isolated masonry building using B-FREIs by fragility curves is investigated. Results show that the seismic vulnerability of the base-isolated building using B-FREIs is significantly reduced as compared to corresponding fixed-base building under earthquakes.

Keywords: Un-reinforced masonry building, fiber reinforced elastomeric isolator, fragility curves, seismic vulnerability assessment, damage states.

Ngày nhận bài: 12/7/2021

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2021