

ĐÁNH GIÁ TỔN THƯƠNG ĐỊA CHẤN CỦA NHÀ THÁP TẦNG KẾT CẤU TƯỜNG GẠCH CHỊU LỰC BẰNG ĐỒ THỊ TRẠNG THÁI PHÁ HỦY

Ngô Văn Thuyết¹

Tóm tắt: Nhà kết cấu tường gạch chịu lực là một dạng kết cấu phổ biến của công trình dân dụng thấp tầng. Các công trình này thường bị hư hỏng khi chịu tải trọng ngang của các trận động đất. Hư hỏng của công trình ở các trạng thái phá hủy khác nhau phụ thuộc vào độ lớn của các trận động đất. Đồ thị trạng thái phá hủy là một công cụ hữu hiệu để đánh giá tổn thương cho kết cấu công trình chịu tác động động đất. Phương pháp sử dụng đồ thị trạng thái phá hủy để đánh giá hư hỏng cho công trình chịu động đất đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu trên thế giới, nhưng ở Việt Nam có rất ít nghiên cứu về đồ thị trạng thái phá hủy. Trong nghiên cứu này, đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình nhà tháp tầng kết cấu tường gạch chịu lực bằng đồ thị trạng thái phá hủy được khảo sát bằng phân tích mô hình số.

Từ khóa: Nhà kết cấu tường gạch chịu lực, 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 một dạng kết cấu phổ biến của các công trình dân dụng thấp tầng ở các nước đang phát triển. Các công trình này có ưu điểm là xây dựng nhanh, chi phí rẻ do sử dụng công nghệ thi công đơn giản, truyền thống và tận dụng được vật liệu địa phương sẵn có. Về mặt kết cấu, công trình có thể chịu được tải trọng theo phương đứng lớn do kết cấu tường gạch chịu nén tốt, nhưng chúng thường xuất hiện các vết nứt, hư hỏng khi chịu tải trọng ngang do kết cấu tường gạch có khả năng chịu kéo và cắt thấp. Khi động đất xảy ra, các công trình kết cấu tường gạch chịu lực thường bị hư hỏng ở các trạng thái phá hủy khác nhau phụ thuộc vào độ lớn của các trận động đất. Đánh giá hư hỏng cho nhà tháp tầng kết cấu tường gạch chịu lực là một việc làm cần thiết trong phân tích, đánh giá tổn thương công trình chịu tác động động đất.

Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu là một công cụ hữu hiệu để đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình. Theo (FEMA, 2003), đồ thị trạng thái

phá hủy cho một dạng kết cấu công trình là đồ thị biểu diễn đường xác suất để đánh giá hư hỏng của công trình có vượt qua một trạng thái phá hủy cụ thể hay không, ứng với một thông số của động đất (có thể là phổ gia tốc, S_a hoặc phổ chuyển vị, S_d). Hàm phân phối chuẩn thường được sử dụng để xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy cho một kết cấu. Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu thường được xây dựng theo phương pháp phân tích mô phỏng số thông qua các phần mềm kết cấu.

Đánh giá tổn thương công trình chịu động đất bằng đồ thị trạng thái phá hủy cho một số dạng kết cấu công trình đã được nghiên cứu trên thế giới hơn hai chục năm qua. Phần lớn các nghiên cứu đều đánh giá tổn thương địa chấn cho nhà bê tông cốt thép. Vài năm trở lại đây, một số tác giả đã nghiên cứu đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình nhà kết cấu tường gạch chịu lực ở một số vùng trên thế giới như (Park et al., 2009), (Thuyet et al., 2018),.... Tuy nhiên, ở Việt Nam đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu là một khái niệm tương đối mới. Có rất ít nghiên cứu ở Việt Nam về xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu để đánh giá

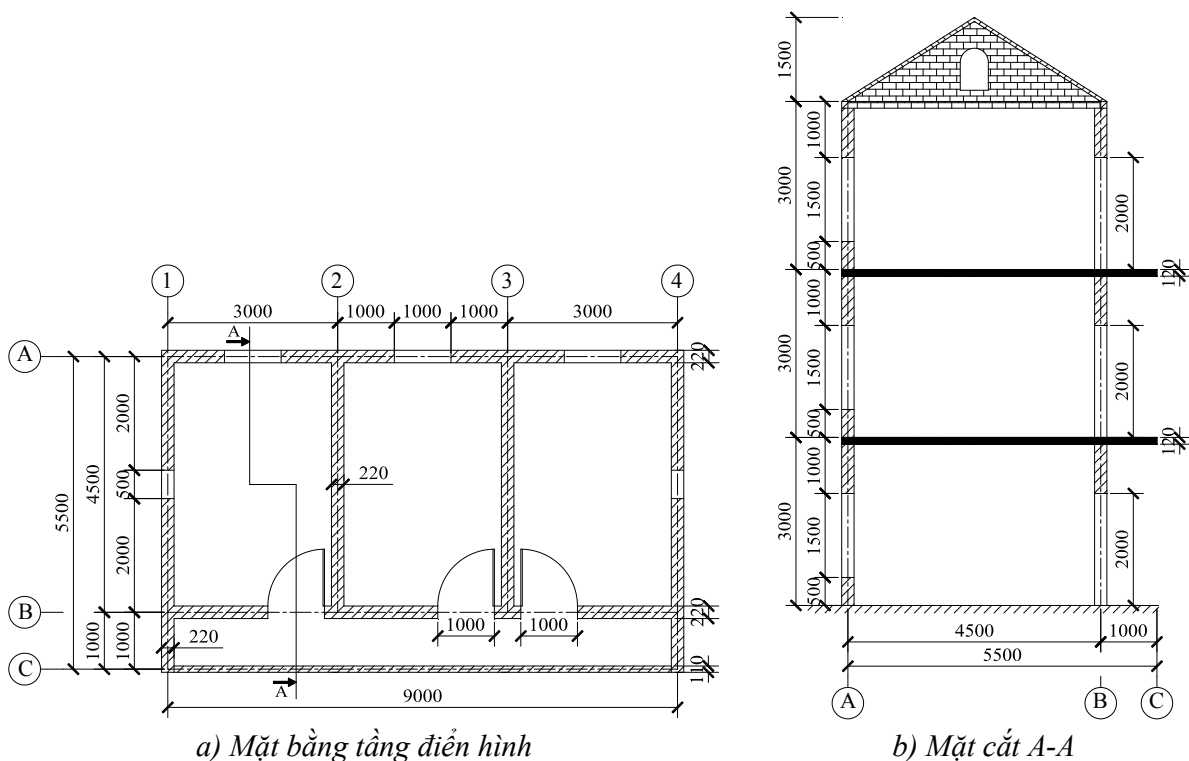
¹ Bộ môn Kết cấu công trình, Trường Đại học Thủy lợi

tổn thương địa chấn cho công trình dân dụng, đặc biệt là nhà thấp tầng kết cấu tường chịu lực.

Trong nghiên cứu này, đánh giá tổn thương địa chấn cho một công trình nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực sử dụng đồ thị trạng thái phá hủy được khảo sát bằng phân tích mô phỏng số thông qua phần mềm SAP2000. Các trạng thái phá hủy của công trình được xác định thông qua ngưỡng chuyển vị tương đối từng tầng dựa trên phân tích tĩnh phi tuyến kết cấu. Từ đó, đồ thị trạng thái phá hủy được xây dựng để đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình.

2. MÔ TẢ VỀ CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU

Một công trình nhà thấp tầng 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. Chiều cao mỗi tầng là 3,0 m. Mỗi tầng có một cửa ra vào kích thước 1,0 x 2,0 m và một cửa sổ kích thước 1,0 x 1,5 m. Phần mái công trình có kết cấu vì kèo đỡ và lợp mái ngói. Thông số kích thước hình học của công trình được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Thông số hình học của công trình

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CÔNG TRÌNH

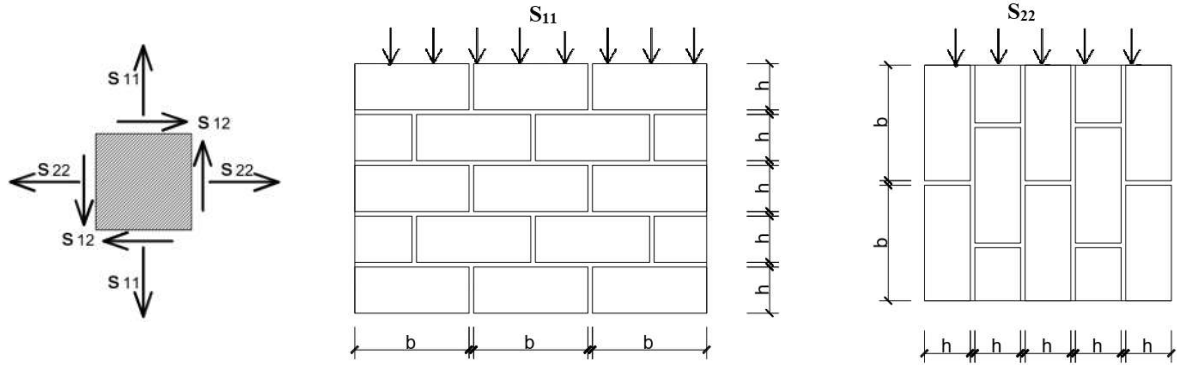
Công trình được xây dựng mô phỏng không gian bằng phần mềm SAP2000 v15. Tường gạch (khối xây) được xây từ gạch đất sét nung và vữa vôi. Trong mô phỏng số, khối xây được mô phỏng bằng phần tử tám phi tuyến nhiều lớp thông qua ứng xử ứng xử đứng (S_{11}), ứng xử ngang (S_{22}) và ứng xử cắt (S_{12}) như Hình 2 (Bilgin, Korini, 2012). Các ứng xử này là đặc tính cơ học chung của khối xây và được xác định dựa trên các nghiên

cứ thực nghiệm của các nghiên cứu trước. Phần mái công trình có kết cấu vì kèo đỡ nên trong mô phỏng quy đổi thành tải trọng phân phối đặt lên tường chịu lực.

Các nghiên cứu thực nghiệm trước đây hầu hết đều đi xác định ứng xử nén-kéo của kết cấu tường gạch theo phương vuông góc với chiều đặt viên gạch (S_{11}), rất ít nghiên cứu xác định ứng xử theo phương dọc viên gạch (S_{22}). Khả năng chịu nén của khối xây theo phương

(S_{22}) sẽ cao hơn phương (S_{11}) vì diện chịu tải của gạch theo phương này nhiều hơn, trong khi đó, khả năng chịu cắt của khối xây theo phương (S_{22}) sẽ không tốt bằng phương (S_{11}) do các mạch vữa giữa các hàng gạch là thẳng

hàng. Tuy vậy, để tính toán một cách gần đúng, trong nghiên cứu này lấy ứng xử của khối xây theo hai phương (S_{11}) và (S_{22}) là như nhau (tương tự như trong nghiên cứu của (Bilgin, Korini, 2012)).



a) Ứng suất trong phân tử của phân tử tám

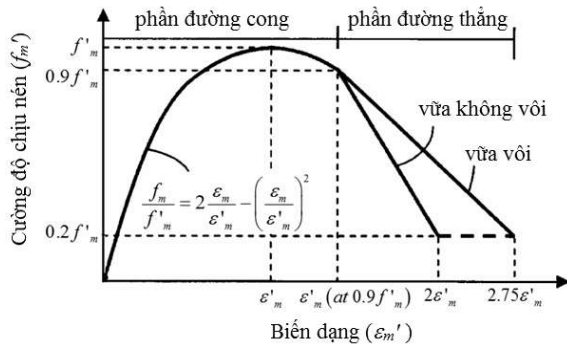
b) Ứng xử đứng S_{11} và ngang S_{22} trong khối xây

Hình 2. Ứng suất trong phân tử phân tử tám của khối xây

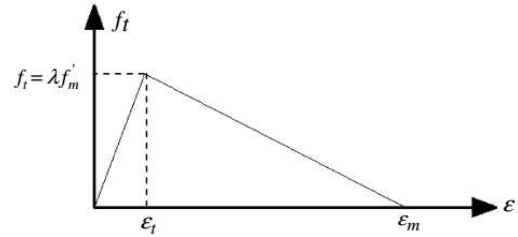
3.1. Ứng xử nén-kéo của khối xây

Ứng xử phi tuyến về nén và kéo của khối xây (Hình 3) được xác định theo đường cong ứng xử

nén thực nghiệm trong nghiên cứu của (Kaushik et al., 2007) và đường ứng xử kéo dựa trên đề xuất của (Akhavessy, Milani, 2013).



(a) Ứng xử nén



(b) Ứng xử kéo

Hình 3. Mô hình ứng xử nén - kéo của khối xây đề xuất

Phần đường cong ứng xử nén ứng với biến dạng từ 0 đến ϵ'_m được tính theo công thức:

$$\frac{f_m}{f'_m} = 2 \frac{\epsilon_m}{\epsilon'_m} - \left(\frac{\epsilon_m}{\epsilon'_m} \right)^2 \quad (1)$$

$$f'_m = 0,63 f_b^{0,49} f_j^{0,32} \quad (2)$$

$$E_m = 550 f'_m; \quad G_m = 0,4 E_m; \quad (3)$$

trong đó, f_m là cường độ chịu nén của khối xây, f'_m là đỉnh cường độ chịu nén của khối xây, ϵ_m là

biến dạng của khối xây, ϵ'_m biến dạng tương ứng với cường độ đỉnh f'_m , f_b và f_j lần lượt là cường độ chịu nén của gạch và vữa riêng biệt. Vượt qua giá trị biến dạng ϵ'_m đường quan hệ giữa cường độ với biến dạng là tuyến tính. Giá trị biến dạng ϵ'_m được tính như sau:

$$\epsilon'_m = C'_j \times \frac{f'_m}{E_m^{0,7}} \quad (4)$$

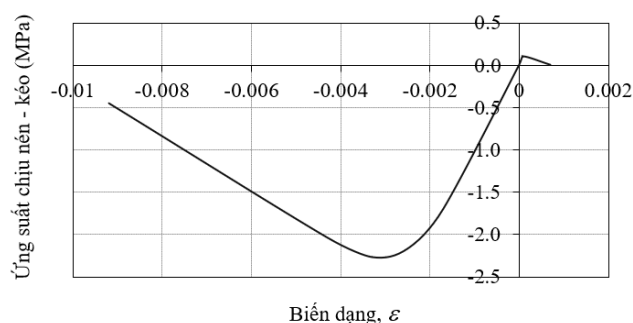
$$C'_j = \frac{0,27}{f_j^{0,25}} \quad (5)$$

Trong nghiên cứu này, tường gạch được xây dựng từ gạch đất sét nung có cường độ chịu nén là $f_b = 7,5$ MPa (tương đương gạch mác M75 trong TCVN 1450:2009) và vữa vôi có cường độ chịu

nén là $f_j = 2,5$ MPa (tương đương vữa vôi mác M2,5 trong TCVN 4314:2003). Áp dụng các mô hình ứng xử đề xuất ở trên, các đặc tính cơ học của khối xây được tính toán và cho giá trị trong Bảng 1 và ứng xử kéo-nén của khối xây được thể hiện trong Hình 4.

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



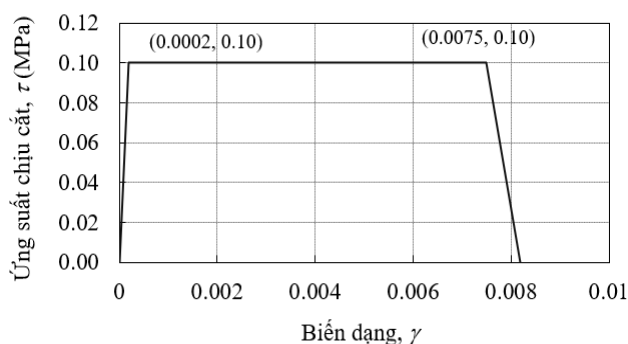
Hình 4. Ứng xử kéo-nén của khối xây

3.2. Ứng xử cắt của khối xây

Ứng xử cắt của khối xây được mô hình thông qua hệ số dính (c) và ma sát giữa gạch và vữa bởi công thức Morh-Coulomb sau:

$$\tau = c + \sigma \times \tan \varphi \quad (6)$$

trong đó, σ là ứng suất nén và $\tan \varphi$ đại diện cho ma sát giữa gạch và vữa.



Hình 5. Ứng xử cắt của khối xây

Theo (Bilgin, Korini, 2012), trong mô hình ứng xử cắt của khối xây, lực ma sát giữa gạch và vữa

có thể bỏ qua. Theo (Akhavessy, Milani, 2013), hệ số dính (c) cho khối xây thông thường lấy từ 0,05 MPa đến 0,25 MPa. Với số liệu giả định của công trình trong nghiên cứu này, hệ số dính lấy bằng 0,1 MPa. Ứng xử cắt của khối xây thể hiện trong Hình 5.

3.3. Điều kiện biên và tải trọng

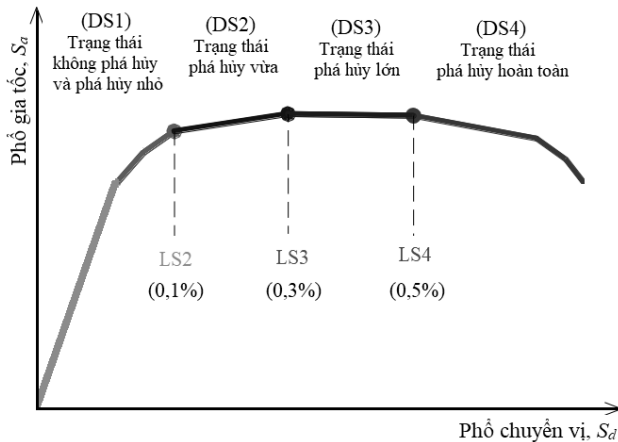
Tất cả các nút ở chân tường gạch tầng 1 được coi là ngàm. Tải trọng lên sàn bao gồm tải trọng bản thân, tĩnh tải các lớp cấu tạo sàn và hoạt tải.

Kết quả phân tích tĩnh phi tuyến mô hình công trình nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực bằng phần mềm SAP2000 với kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã được kiểm chứng trong nghiên cứu của (Ngô Văn Thuyết và Nguyễn Thu Nga, 2020). Nghiên cứu đã chỉ ra rằng hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp phân tích mô hình số bằng phần mềm SAP2000 để phân tích công trình nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực.

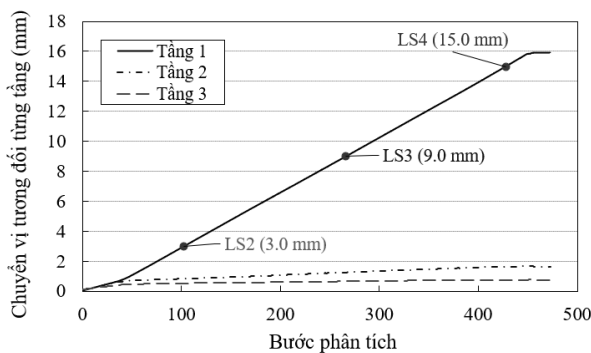
4. NHẬN BIẾT CÁC TRẠNG THÁI PHÁ HỦY CỦA CÔNG TRÌNH

Để đánh giá tổn thương địa chấn cho công trình, các trạng thái phá hủy cần được định nghĩa và nhận biết. Có nhiều phương pháp gần đúng để nhận biết các trạng thái phá hủy cho công trình nhà kết cấu tường gạch chịu lực, tuy nhiên ngưỡng biến dạng được xem là chỉ số để nhận biết các trạng thái phá hủy tối ưu nhất. (Calvi, 1999) đã đề xuất các ngưỡng biến dạng thông qua chuyển vị tương đối tầng tầng để nhận biết các trạng thái phá hủy khác nhau cho công trình, bao

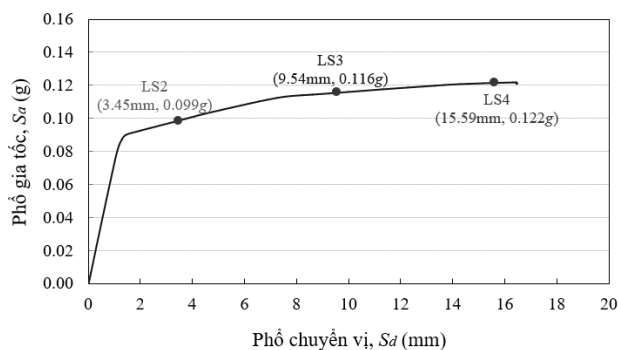
gồm bốn trạng thái phá hủy: trạng thái không phá hủy và phá hủy nhỏ (Damage State 1, gọi tắt là trạng thái DS1), trạng thái phá hủy vừa (DS2), trạng thái phá hủy lớn (DS3) và trạng thái phá hủy hoàn toàn (DS4); trong đó, ngưỡng chuyển vị tương đối từng tầng được sử dụng để giới hạn các trạng thái phá hủy (Limit State - LS). Các trạng thái phá hủy được xác định trên đường cong khả năng của công trình như thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. Các trạng thái phá hủy trên đường cong khả năng của công trình



Hình 7. Chuyển vị tương đối từng tầng và vị trí giới hạn các trạng thái phá hủy

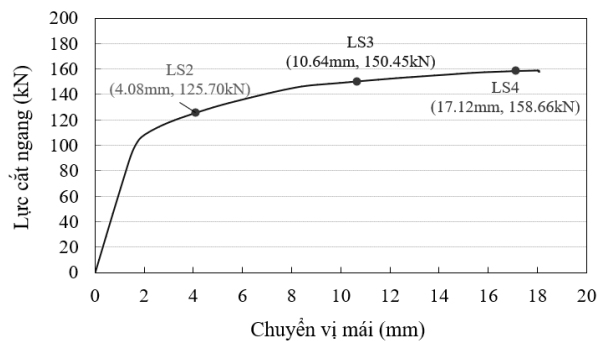


5. XÂY DỰNG ĐỒ THỊ TRẠNG THÁI PHÁ HỦY CHO CÔNG TRÌNH

5.1. Kết quả phân tích tĩnh phi tuyến công trình

Đường cong khả năng (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 được khảo sát. Ở công trình này, phương X là phương của dao động riêng thứ nhất. Do đó, các kết quả tiếp theo dưới đây chỉ xét theo phương X . Nhận biết vị trí các trạng thái phá hủy trên đường cong khả năng của công trình trong phân tích tĩnh phi tuyến được thể hiện trong các Hình 7 và 8.

Phần mềm SAP2000 có thể chuyển đổi từ đường cong khả năng ra mối quan hệ giữa phổ gia tốc với phổ chuyển vị của công trình. Mối quan hệ giữa phổ gia tốc với phổ chuyển vị và vị trí giới hạn các trạng thái phá hủy của công trình đang nghiên cứu được thể hiện trong Hình 9.



Hình 8. Đường cong khả năng và vị trí giới hạn các trạng thái phá hủy

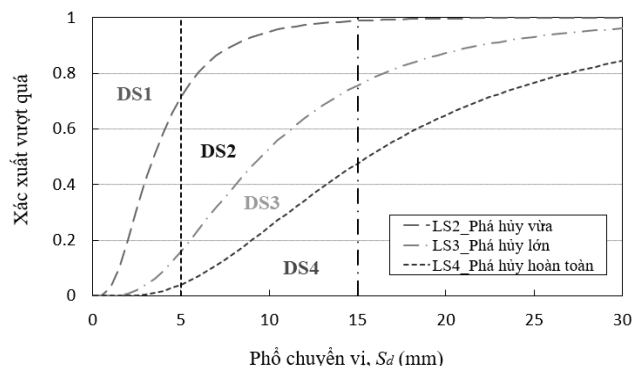
Hình 9. Quan hệ giữa phổ gia tốc và phổ chuyển vị của công trình

5.2. Xây dựng đồ thị trạng thái phá hủy

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:

$$P[DS|S_d] = \Phi\left(\frac{1}{\beta_{DS}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,DS}}\right)\right) \quad (7)$$

trong đó, $\Phi[.]$ là một hàm phân phối chuẩn; $S_{d,DS}$ là giá trị của ngưỡng phổ chuyển vị tại một



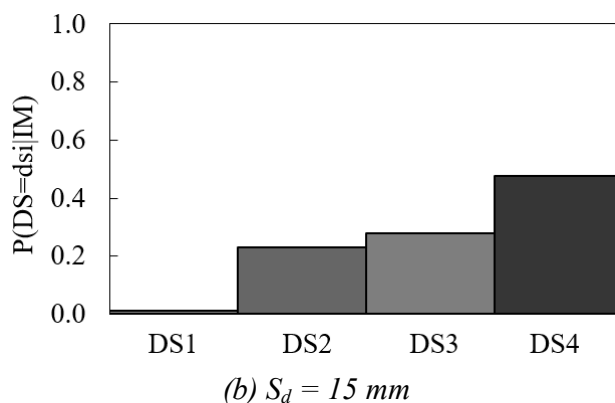
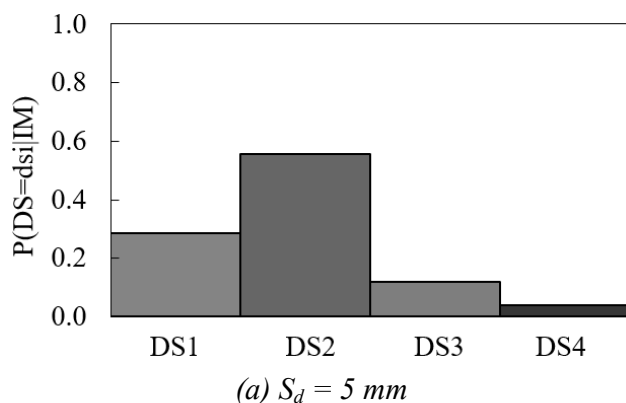
Hình 10. Đồ thị trạng thái phá hủy của công trình

6. ĐÁNH GIÁ TỒN THƯƠNG ĐỊA CHẤN CHO CÔNG TRÌNH

Các đường đồ thị trạng thái phá hủy trên Hình 10 là cơ sở để đánh giá tổn thương địa

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 9; 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 được thể hiện trong Hình 10.

chấn cho công trình. Giả sử có một trận động đất xảy ra với phổ chuyển vị lớn nhất là 5 mm, xác suất để công trình phá hủy ở trạng thái DS1 là 28,4% (được xác định trên Hình 10), ở trạng thái DS2 là 55,6%, ở trạng thái DS3 là 12,0% và ở trạng thái DS4 là 4,0%. Phân phối xác suất theo mỗi trạng thái phá hủy được thể hiện trong Hình 11(a). Tương tự như vậy, phân phối xác suất theo các trạng thái phá hủy của công trình khi phổ chuyển vị của trận động đất có giá trị lớn nhất 15 mm được thể hiện trong Hình 11(b). Xác suất để công trình phá hủy ở trạng thái DS1, DS2, DS3 và DS4 trong trường hợp này lần lượt là 1,2%, 23,1%, 28,1% và 47,6%.



Hình 11. Phân phối xác suất theo các trạng thái phá hủy của công trình ứng với các giá trị khác nhau của phổ chuyển vị

Từ Hình 11 cho thấy khi giá trị phổ chuyển vị tăng lên, xác suất để công trình phá hủy ở các trạng thái DS1 và DS2 giảm đi, nhưng xác suất để công trình phá hủy ở các trạng thái DS3 và DS4

tăng lên. Điều đó chứng tỏ rằng khi giá trị phổ chuyển vị càng tăng lên thì công trình càng dễ bị phá hủy và tiến tới trạng thái phá hủy hoàn toàn. Điều này hoàn toàn phù hợp trong đánh giá tổn

thương địa chấn của công trình ngoài thực tế. Thông thường trong thực tế, công trình được đánh giá tổn thương địa chấn một cách định tính thông qua thống kê các hư hỏng của công trình và cảm giác của con người có mặt trên công trình. Trong khi đó, nghiên cứu này cung cấp một phương pháp đánh giá tổn thương địa chấn công trình một cách định lượng thông qua đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu. Đây là tiền đề để các nhà thiết kế phân tích/đánh giá một cách định lượng về tổn thương địa chấn cho công trình, từ đó đề ra các biện pháp gia cường phù hợp cho công trình.

7. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá tổn thương địa chấn

cho công trình nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực bằng đồ thị trạng thái phá hủy. Công trình được phân tích tĩnh phi tuyến thông qua phần mềm SAP2000 v.15. Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu được xây dựng trên một hàm phân phối chuẩn của phổ chuyển vị công trình. Kết quả cho thấy khi giá trị phổ chuyển vị tăng lên, xác suất để công trình bị phá hủy ở các trạng thái phá hủy nhỏ là giảm đi, xác suất để công trình bị phá hủy ở các trạng thái phá hủy lớn và phá hủy hoàn toàn là tăng lên. Đồ thị trạng thái phá hủy kết cấu là một công cụ hữu hiệu để đánh giá về mặt định lượng tổn thương địa chấn cho công trình ở các trạng thái phá hủy khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ngô Văn Thuyết, Nguyễn Thu Nga (2020), “*Xác định đường cong khả năng của nhà thấp tầng kết cấu tường gạch chịu lực bằng phần mềm SAP2000*”, Tuyển tập Hội nghị KHTN Trường Đại học Thủy lợi, tháng 11/2020, tr. 120-122.
- 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.
- Bilgin H., Korini O. (2012), “*Seismic capacity evaluation of un-reinforced masonry residential buildings in Albania*”, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 3753-3764.
- 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.
- Park J., Towashiraporn P., Craig J.I., Goodno B.J. (2009), “*Seismic fragility analysis of low-rise un-reinforced masonry structures*”, Engineering Structures, 31, 125-137.
- 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 LOW-RISE UN-REINFORCED
MASONRY BUILDING BY FRAGILITY CURVES**

Masonry building is one of the commonly adopted structural types of low-rise civil buildings. The buildings are often susceptible to damage when they are subjected to ground motions of earthquakes. Damage of the buildings is in different damage states due to magnitude of earthquakes. Fragility curves provide a powerful solution tool for seismic vulnerability assessment of such structures. The use of fragility curves to evaluate the seismic vulnerability assessment of a structure was presented in some article researches in the world, however, it was few researches in Vietnam related the vulnerability assessment of a structure using fragility curves. In this paper, seismic vulnerability assessment of a low-rise un-reinforced masonry building using fragility curves is investigated by finite element analysis.

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

Ngày nhận bài: 26/01/2021

Ngày chấp nhận đăng: 10/3/2021