

# Đánh giá hiệu quả của giải pháp gia cường kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt

Ngô Văn Thuyết<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội

## TỪ KHOẢ

Nhà tường gạch  
Kết cấu tường gạch  
Mức độ hư hỏng  
Lớp vữa cốt lưới sợi dệt  
Phân tích tĩnh lực ngang đẩy dần

## TÓM TẮT

Kết cấu tường gạch là một loại kết cấu được sử dụng phổ biến trong các nhà dân dụng thấp tầng ở những nước đang phát triển. Kết cấu này thường bị hư hỏng khi chịu tải trọng ngang. Mức độ hư hỏng của nhà kết cấu tường gạch phụ thuộc vào độ lớn của tải trọng ngang. Giải pháp gia cường kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt là một giải pháp mới, đang được nghiên cứu và áp dụng trên thế giới, nhưng ở Việt Nam có rất ít nghiên cứu về giải pháp này. Nghiên cứu này khảo sát mức độ hư hỏng của nhà kết cấu tường gạch không gia cường và được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt khi chịu tải trọng ngang bằng phân tích mô hình số. Kết quả phân tích cho thấy tải trọng ngang tác động vào công trình được gia cường lớn hơn 16,17 % so với công trình không gia cường tại cùng ngưỡng mức độ hư hỏng hoàn toàn.

## KEYWORDS

Masonry building  
Brick wall structure  
Degree of damage  
Textile reinforced mortar  
Static pushover analysis

## ABSTRACT

Brick wall structure is one of the commonly adopted structural types of low-rise civil buildings in developing countries. The structure is often susceptible to damage when it is subjected to horizontal loads. Degree of damage to a masonry building depends on the magnitude of the horizontal load. The solution to strengthen brick wall structures with textile-reinforced mortar is a new solution, being researched and applied in the world, but in Vietnam there is very little research on this solution. This study investigates the degree of damage of un-reinforced and reinforced masonry buildings with textile-reinforced mortar subjected to the horizontal load using finite element analysis. The results show that the magnitude of the horizontal load affecting the reinforced masonry building is 16,17% larger than that of the un-reinforced masonry building at the damage limit state of collapse.

## 1. Đặt vấn đề

Kết cấu tường gạch là một dạng kết cấu được sử dụng phổ biến trong các công trình dân dụng thấp tầng ở các nước đang phát triển. Nhà kết cấu tường gạch có ưu điểm là chi phí xây dựng rẻ, thời gian thi công nhanh do tận dụng được vật liệu địa phương và công nghệ thi công đơn giản. Về mặt chịu lực, công trình có thể chịu được tải trọng theo phương đứng lớn do kết cấu tường gạch có khả năng chịu nén tốt, nhưng chúng thường bị hư hỏng khi chịu tải trọng ngang do khả năng chịu kéo và cắt kém của kết cấu tường gạch. Vì vậy, các công trình kết cấu tường gạch dễ bị hư hỏng với các mức độ khác nhau khi chịu tác động của tải trọng ngang (động đất, gió, v.v.).

Gia cường tăng khả năng chịu lực cho kết cấu công trình đã được nghiên cứu nhiều trong thời gian qua. Một số phương pháp gia cường kết cấu cột bê tông cốt thép nói riêng và kết cấu bê tông cốt thép nói chung đã được giới thiệu trong [1,2] như phương pháp tăng tiết diện chịu lực, phương pháp ốp thép hình bên ngoài cấu kiện, phương pháp sử dụng cáp căng ứng lực trước ngoài tiết diện, phương pháp dán tấm sợi CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) bên ngoài cấu kiện. Tính toán gia cường đồ bù tăng tiết diện bê tông cốt thép có

kể đến sự hư hỏng của dầm do nứt đã được trình bày trong [3]. Các nghiên cứu về hiệu quả của phương pháp sử dụng tấm sợi CFRP dán bên ngoài cấu kiện để tăng khả năng chịu lực đã được thực hiện cho cả dầm, cột và sàn bê tông cốt thép [4-8]. Tuy nhiên, phương pháp dán tấm sợi CFRP bên ngoài cấu kiện có một số hạn chế như chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ, dễ bong tách lớp kết dính và giá thành cao. Một phương pháp khác gần tương tự như phương pháp này là sử dụng bê tông cốt lưới sợi dệt TRC (Textile Reinforced Concrete) đã được trình bày trong [9]. Nhìn chung, các giải pháp này chủ yếu áp dụng cho công trình kết cấu bê tông cốt thép.

Giải pháp gia cường kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt (TRM - Textile Reinforced Mortar) là một giải pháp mới đang được nghiên cứu, áp dụng trên thế giới. Lớp vữa cốt lưới sợi dệt gồm hai vật liệu: (1) vữa xây kết dính và (2) cốt lưới sợi dệt được sản xuất bằng sợi cacbon, sợi thủy tinh hoặc sợi tổng hợp. Lớp vữa cốt lưới sợi dệt được trát một hoặc hai bên tường để gia cường khả năng chịu lực cho kết cấu. Quy trình gia cường được thực hiện thông qua các bước như sau: (1) Chuẩn bị, làm sạch bề mặt khối xây; (2) Bôi chất kết dính lên bề mặt tường; (3) Trát lớp vữa xi-măng lên bề mặt tường; (4) Đặt cốt lưới sợi dệt vào lớp vữa vừa trát, cốt lưới sợi dệt được đẩy nhẹ

\*Liên hệ tác giả: thuyet.kcct@tlu.edu.vn

Nhận ngày 20/10/2023, sửa xong ngày 28/05/2024, chấp nhận đăng ngày 30/05/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.587>

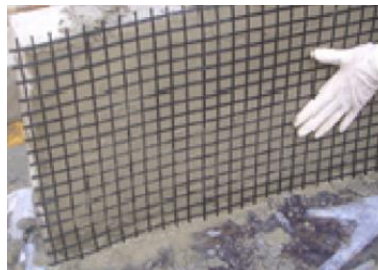
vào lớp vữa; (5) Trát thêm lớp vữa bên ngoài cốt lưới sợi dệt. Quy trình thi công này được tóm tắt trên Hình 1 theo nghiên cứu của Papanicolaou và cs [10]. Các nghiên cứu của Papanicolaou và cs [11,12] đã tiến hành xây dựng các mẫu tấm tường gạch có gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt trong phòng thí nghiệm, sau đó các tấm tường này được gia tải bởi tải trọng ngang dạng hàm sin điều hòa theo hai trường hợp: tải trọng ngang ở trong và ở ngoài mặt phẳng tường để xác định đường quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang của mẫu thí nghiệm, từ đó các đặc tính cơ học của tấm tường gạch có gia cường bởi lớp vữa cốt lưới sợi dệt cũng như các hư hỏng trên tấm tường được khảo sát. Nghiên cứu [13,14] đã tiến hành phân tích tĩnh lực ngang đẩy dần cho một công trình kết cấu tường gạch chịu lực ở Albania được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt ở một vài vị trí trong công trình bằng phương pháp phân tích mô phỏng số, sau đó kết quả được so sánh với công trình không gia cường để thấy được hiệu quả chịu lực của biện pháp gia cường. Có một số nghiên cứu trong thời gian qua [15-18] đã khảo sát đường cong khả năng cho công trình kết cấu tường gạch có xét đến ứng xử phi tuyến của vật liệu

bằng phân tích tĩnh lực ngang đẩy dần. Giải pháp sử dụng lớp vữa cốt lưới sợi dệt để gia cường cho kết cấu tường gạch là một giải pháp mới mang lại hiệu quả về mặt chịu lực nhưng ở Việt Nam chưa có nhiều nghiên cứu về giải pháp này, đặc biệt là chưa có nghiên cứu đánh giá hiệu quả của giải pháp gia cường này cho nhà thấp tầng kết cấu tường gạch được gia cường ở tất cả các bức tường bằng phương pháp mô hình số có xét đến ứng xử phi tuyến của vật liệu.

Nghiên cứu này trình bày hiệu quả về mặt chịu lực của giải pháp gia cường nhà thấp tầng kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt chịu tải trọng ngang. Một tòa nhà hai tầng kết cấu tường gạch giả định chịu tải trọng ngang được lựa chọn nghiên cứu. Phân tích tĩnh lực ngang đẩy dần của tòa nhà trong hai trường hợp không và được gia cường được khảo sát bằng phương pháp mô phỏng số. Trong khảo sát, vật liệu có xét đến ứng xử phi tuyến. Mức độ hư hỏng của công trình được xác định dựa trên ngưỡng chuyển vị tương đối tầng. So sánh các giá trị tải trọng ngang của công trình được gia cường và không gia cường tại cùng một mức độ hư hỏng để thấy được hiệu quả của giải pháp gia cường.



(a) Trát vữa vào khối xây



(b) Đặt cốt lưới sợi dệt



(c) Trát lớp vữa bên ngoài cốt lưới sợi dệt

Hình 1. Quy trình gia cường tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt [10].

## 2. Mô tả về công trình nghiên cứu

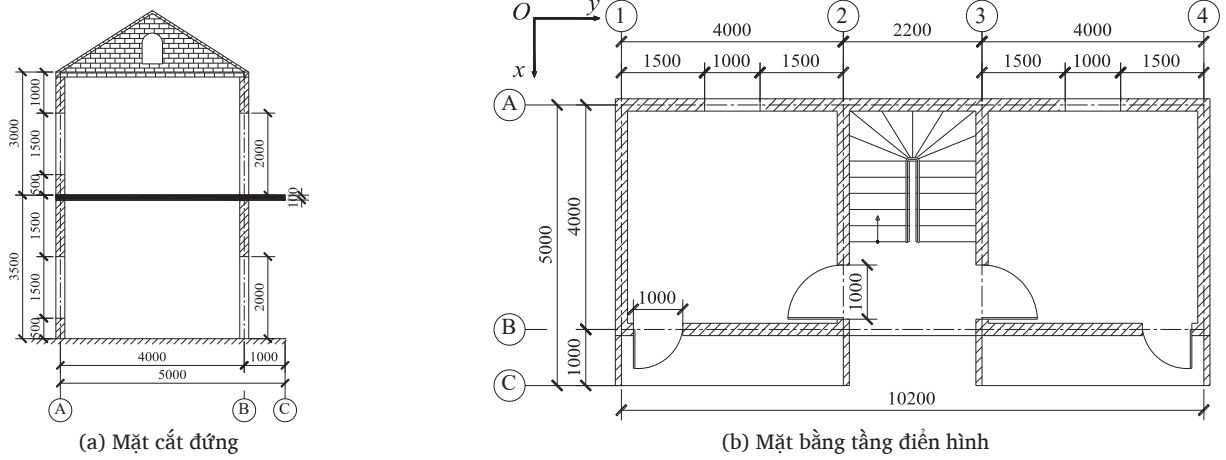
Một tòa nhà hai tầng kết cấu tường gạch với các thông số về kích thước và vật liệu giả định được lựa chọn nghiên cứu. Công trình được xây dựng bằng các tường gạch đôi dày 220 mm và sàn bê tông cốt thép dày 100 mm. Tường xây sử dụng gạch đất sét nung mác M75 theo TCVN 1450 [19] có cường độ chịu nén là  $f_b = 7,5$  MPa và vữa mác M2,5 theo TCVN 4314 [20] có cường độ chịu nén là  $f_j = 2,5$  MPa. Sàn sử dụng bê tông cấp độ bền B15 theo TCVN 5574 [21] có  $R_b = 8,5$  MPa,  $R_{bt} = 0,75$  MPa. Chiều cao tầng 1 là 3,5 m, tầng 2 là 3,0 m. Các cửa ra vào có kích thước 1,0 x 2,0 m, cửa sổ có kích thước 1,0 x 1,5 m. Phần mái công trình có kết cấu vì kèo đỡ và lợp mái ngói. Mặt cắt đứng và mặt bằng tầng điển hình của công trình được thể hiện trong Hình 2.

## 3. Xây dựng mô phỏng công trình

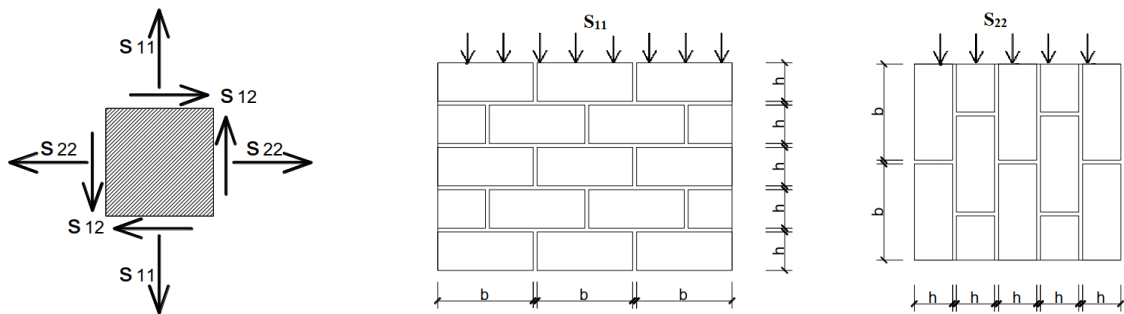
Công trình được mô phỏng theo hai trường hợp không gia cường và được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt ở toàn bộ các bức tường bằng phương pháp mô phỏng số sử dụng phần mềm tính toán kết cấu SAP2000 v15 [22]. Phần mái công trình có kết cấu vì kèo đỡ nên trong mô phỏng quy đổi thành tải trọng phân phối đặt lên tường chịu lực. Tường gạch được mô phỏng bằng phần tử tấm nhiều lớp có xét đến ứng xử phi tuyến của vật liệu thông qua ứng xử nén-kéo theo phương đứng và phương ngang ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ), và ứng xử cắt ( $S_{12}$ ) như Hình 3. Mô hình vật liệu phi tuyến tương đương được đề xuất từ các nghiên cứu đã công bố trước đây được sử dụng để mô hình cho kết cấu tường gạch.

### a. Ứng xử nén-kéo của kết cấu tường gạch

Ứng xử nén-kéo trong kết cấu tường gạch được xác định dựa trên mô hình thực nghiệm của Kaushik và cs [23] và Akhaveissy và cs [15] thể hiện trong Hình 4.

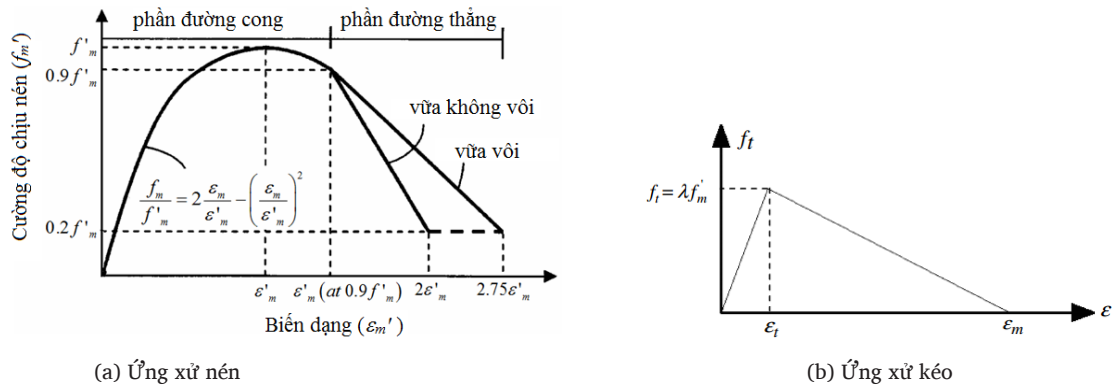


Hình 2. Mặt cắt đứng và mặt bằng tầng điển hình của công trình.



a) Ứng suất trong phân tử của phần tử tấm b) Ứng xử đứng  $S_{11}$  và ngang  $S_{22}$  trong kết cấu tường gạch

Hình 3. Ứng suất trong phân tử phần tử tấm của kết cấu tường gạch.



(a) Ứng xử nén (b) Ứng xử kéo

Hình 4. Mô hình ứng xử nén - kéo của kết cấu tường gạch.

Phần đường cong ứng xử nén ứng với biến dạng từ 0 đến  $\epsilon'_m$  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 tường gạch,  $f'_m$  là đỉnh cường độ chịu nén của tường gạch,  $f_t$  là đỉnh cường độ chịu kéo của tường gạch,  $\epsilon_m$  là biến dạng của tường gạch,  $\epsilon'_m$  biến dạng tương ứng với cường độ đỉnh  $f'_m$ . Vượt qua giá trị biến dạng  $\epsilon'_m$  đường quan hệ

giữa cường độ với biến dạng là tuyến tính. Giá trị biến dạng  $\epsilon'_m$  được tính như sau:

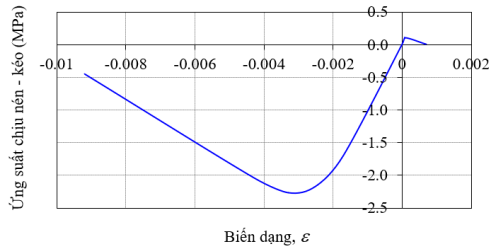
$$\epsilon'_m = C'_j \times \frac{f'_m}{E_m^{0,7}} \quad (4)$$

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

Áp dụng các mô hình ứng xử ở trên, các đặc tính cơ học của tường gạch sử dụng trong công trình nghiên cứu được tính toán và cho giá trị trong Bảng 1 và ứng xử nén-kéo của kết cấu tường gạch được thể hiện trong Hình 5.

**Bảng 1.** Đặc tính cơ học của kết cấu tường gạch.

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



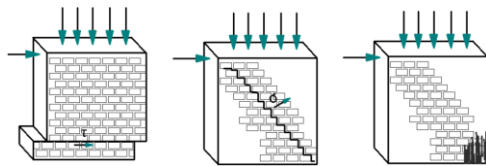
**Hình 5.** Ứng xử nén-kéo của kết cấu tường gạch.

**b. Ứng xử cắt của kết cấu tường gạch**

Ứng xử cắt của kết cấu tường gạch (Hình 6) được mô hình thông qua hệ số dính ( $c$ ) và ma sát giữa gạch và vữa bởi công thức Mohr-Coulomb sau:

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

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



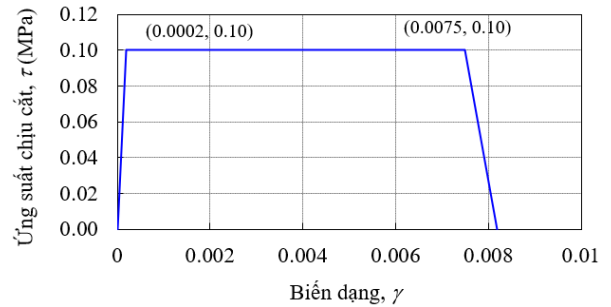
**Hình 6.** Ứng suất cắt trong phân tử tường gạch.

Theo [14], trong mô hình ứng xử cắt của kết cấu tường gạch, lực ma sát giữa gạch và vữa có thể bỏ qua. Theo [15], 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 0,10 MPa. Ứng xử cắt của khối xây thể hiện trong Hình 7.

**c. Ứng xử của lớp vữa cốt lưới sợi dệt gia cường**

Trường hợp công trình được gia cường, hai lớp vữa cốt lưới sợi dệt (dùng sợi carbon) được gia cường hai bên mặt của tất cả các

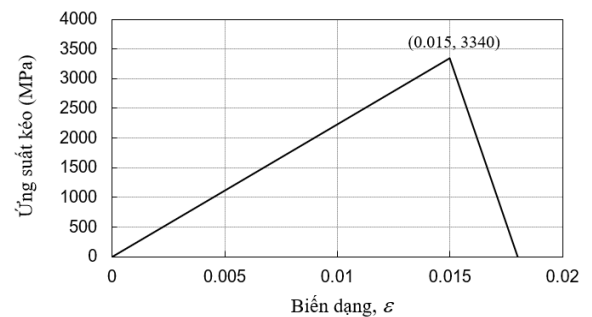
bức tường. Thông số vật liệu của lớp vữa cốt lưới sợi dệt được giả định theo thông số vật liệu có trong các nghiên cứu [10,13] với các đặc trưng cho trong Bảng 2. Vữa trát trong lớp gia cường được coi là chất kết dính giữa cốt lưới sợi dệt với tường gạch. Ứng xử của lớp gia cường được thể hiện trong Hình 8.



**Hình 7.** Ứng xử cắt của kết cấu tường gạch.

**Bảng 2.** Đặc trưng vật liệu của cốt lưới sợi dệt.

Các thông số	Giá trị
Chiều dày, $t$ (mm)	0,047
Đỉnh ứng suất kéo lớn nhất, $\sigma_{max}$ (MPa)	157
Biến dạng tới hạn, $\epsilon_u$	1,50
Mô đun đàn hồi, $E_f$ (GPa)	225



**Hình 8.** Ứng xử của cốt lưới sợi dệt.

Tường gạch không gia cường và được gia cường được mô phỏng bằng phần tử tám nhiều lớp liên kết trực tiếp với nhau. Khai báo phần tử tám trong SAP2000 để mô phỏng cho kết cấu tường gạch gia cường được thể hiện trong Hình 9.

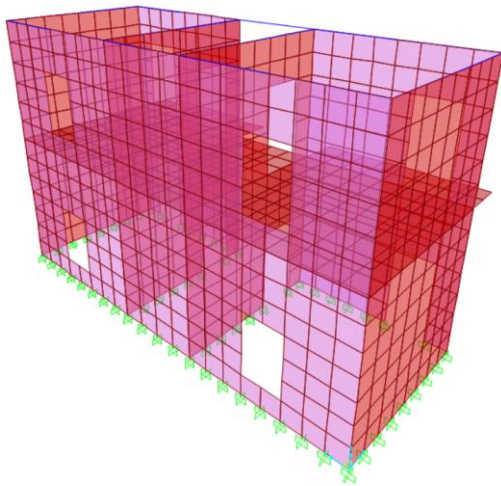
Shell Section Layer Definition

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Material Component S11	Material Component S22	Behavior S12
1	0.	0.22	Shell	4	NEN-KEO	0.	Nonlinear	Nonlinear	Inactive
1	0	0.22	Shell	4	NEN-KEO	0.	Nonlinear	Nonlinear	Inactive
2	0.	0.22	Shell	4	CAT	0.	Inactive	Inactive	Nonlinear
3	0.110024	4.700E-05	Shell	4	SOI DET	0.	Nonlinear	Nonlinear	Inactive
4	-0.110024	4.700E-05	Shell	4	SOI DET	0.	Nonlinear	Nonlinear	Inactive

**Hình 9.** Khai báo phần tử tám tường gạch có lớp gia cường trong SAP2000.

d. Điều kiện biên và tải trọng

Tất cả các nút ở chân tường gạch tầng 1 được gán là ngàm. Tải trọng tác động lên công trình bao gồm tải trọng bản thân, tĩnh tải các lớp cấu tạo sàn và hoạt tải. Mô hình công trình (đã chia lưới phần tử) được thể hiện trong Hình 10. Công trình được phân tích tĩnh lực ngang đẩy dần theo phương X (xem Hình 2b) trong hai trường hợp không gia cường và được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt.



Hình 10. Mô hình công trình bằng phần mềm SAP2000.

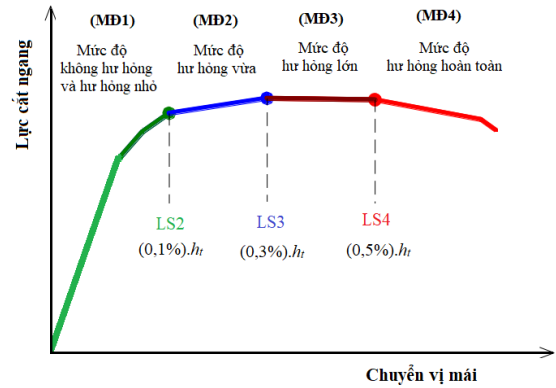
4. Nhận biết mức độ hư hỏng của công trình

Có nhiều phương pháp gần đúng để xác định, nhận biết mức độ hư hỏng cho nhà kết cấu tường gạch, tuy nhiên ngưỡng biến dạng được xem là chỉ số để nhận biết các mức độ hư hỏng tối ưu nhất cho nhà kết cấu tường gạch chịu lực [14]. Calvi [24] đã đề xuất các ngưỡng biến dạng thông qua chuyển vị tương đối tầng để nhận biết các mức độ hư hỏng khác nhau cho công trình kết cấu tường gạch. Nhà kết cấu tường gạch khi bị hư hỏng trải qua lần lượt bốn mức độ như sau: Mức độ không hư hỏng và hư hỏng nhỏ (gọi tắt là MĐ1), mức độ hư hỏng vừa (MĐ2), mức độ hư hỏng lớn (MĐ3) và mức độ hư hỏng hoàn toàn (MĐ4). Ngưỡng chuyển vị tương đối tầng (Limit State - LS) được sử dụng để giới hạn các mức độ hư hỏng này. Ngưỡng chuyển vị tương đối tầng từ MĐ1 sang MĐ2, từ MĐ2 sang MĐ3, từ MĐ3 sang MĐ4 lần lượt là  $LS2 = (0,1 \%)h_t$ ,  $LS3 = (0,3 \%)h_t$ ,  $LS4 = (0,5 \%)h_t$ , trong đó  $h_t$  là chiều cao tầng. Các mức độ hư hỏng được xác định theo ngưỡng chuyển vị tương đối tầng và được thể hiện đồng thời trên đường cong khả năng của công trình (thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị mái) theo phương pháp tĩnh lực ngang đẩy dần như trong Hình 11.

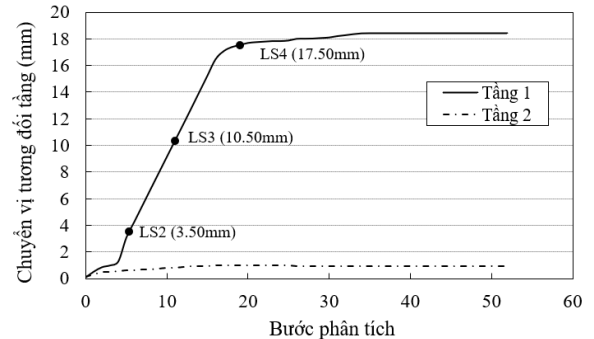
5. Kết quả phân tích và bình luận

Kết quả chuyển vị tương đối tầng và nhận biết vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình trong hai trường hợp không gia

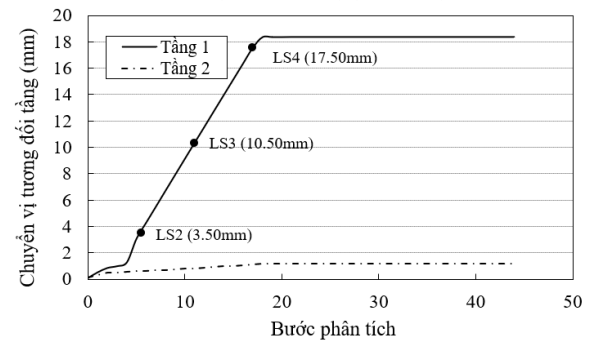
cường và được gia cường được thể hiện trong Hình 12. Từ Hình 12 thấy rằng công trình bị hư hỏng ở tầng 1 trước tầng 2 (cho cả hai trường hợp). Biến dạng của công trình được gia cường tại bước xuất hiện ngưỡng LS4 (từ MĐ3 sang MĐ4) được thể hiện trong Hình 13. Kết quả đường cong khả năng của công trình và nhận biết vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình trong hai trường hợp không gia cường và được gia cường được thể hiện trong Hình 14. So sánh vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình trong hai trường hợp trên được thể hiện trong Bảng 3.



Hình 11. Các mức độ hư hỏng trên đường cong khả năng của công trình.



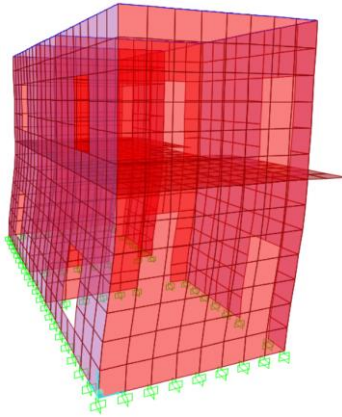
(a) Công trình không gia cường



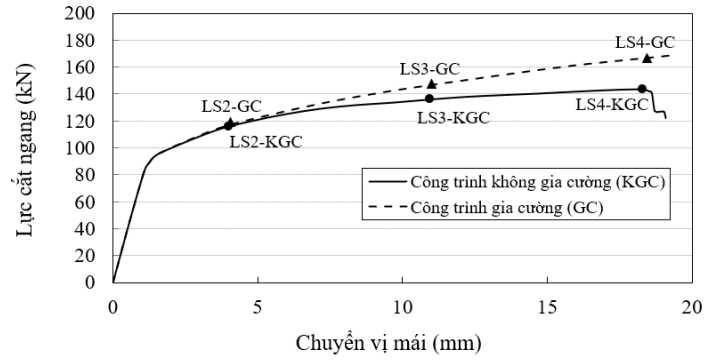
(b) Công trình được gia cường

Hình 12. Chuyển vị tương đối tầng và nhận biết vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình.





**Hình 13.** Biến dạng của công trình được gia cường tại bước xuất hiện ngưỡng LS4.



**Hình 14.** Chuyển vị tương đối tầng và nhận biết vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình.

**Bảng 3.** So sánh vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình.

Giới hạn vị trí các mức độ hư hỏng	Công trình không gia cường		Công trình được gia cường	
	Chuyển vị mái (mm)	Lực cắt ngang (kN)	Chuyển vị mái (mm)	Lực cắt ngang (kN)
LS2	4,00	116,10	4,05	119,00
LS3	10,94	136,00	11,00	147,80
LS4	18,28	143,58	18,44	166,79

Từ Hình 14 và Bảng 3 nhận thấy rằng tại cùng vị trí giới hạn một mức độ hư hỏng, giá trị chuyển vị mái của công trình được gia cường và công trình không gia cường là gần như nhau, sự chênh lệch là rất nhỏ, chẳng hạn như tại các vị trí LS2, LS3, LS4 giá trị chuyển vị mái của công trình được gia cường lớn hơn lần lượt là 1,25 %, 0,55 %, 0,88 % so với công trình không gia cường. Sự chênh lệch này là do mặc dù giá trị chuyển vị tương đối tầng 1 là như nhau ở cùng vị trí giới hạn một mức độ hư hỏng, nhưng giá trị chuyển vị tương đối tầng 2 của công trình được gia cường lớn hơn giá trị tương ứng ở công trình không gia cường (xem trên Hình 12) nên giá trị chuyển vị mái (bằng tổng chuyển vị tương đối của hai tầng) của công trình được gia cường lớn hơn giá trị tương ứng của công trình không gia cường. Bên cạnh đó, giá trị lực cắt ngang của công trình được gia cường lớn hơn giá trị tương ứng của công trình không gia cường ở cùng vị trí giới hạn một mức độ hư hỏng, và càng lớn hơn ở các mức độ hư hỏng lớn, chẳng hạn như tại các vị trí LS2, LS3, LS4 giá trị lực cắt ngang của công trình được gia cường lớn hơn lần lượt là 2,50 %, 8,68 %, 16,17 % so với giá trị lực cắt ngang của công trình không gia cường. Có được điều này là do ở những giá trị chuyển vị ngang lớn, ứng suất kéo trong công trình tăng lên, trong khi khả năng chịu kéo của riêng kết cấu tường gạch là kém (xem Hình 5), còn khả năng chịu kéo của lớp gia cường (lớp vữa cốt lưới sợi dệt) là cao vì có cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi cao (xem Hình 8 và Bảng 2). Vậy nên khả năng chịu ứng suất kéo của công trình được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt sẽ cao hơn khả năng chịu ứng suất kéo của công trình không được gia cường ở những giá trị chuyển vị ngang lớn. Như vậy, để công trình bị hư hỏng ở cùng một mức độ, tải trọng ngang tác động vào công trình được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt sẽ

lớn hơn tải trọng ngang tác động vào công trình không gia cường. Do đó, công trình được gia cường bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt sẽ khó bị hư hỏng hơn so với công trình không gia cường về mặt chịu lực.

## 6. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày hiệu quả về mặt chịu lực của giải pháp gia cường nhà kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt so với nhà không gia cường thông thường khi chịu tải trọng ngang. Một tòa nhà giả định hai tầng kết cấu tường gạch chịu lực được khảo sát mức độ hư hỏng trong hai trường hợp có và không gia cường bằng phương pháp phân tích tĩnh lực ngang đầy dần sử dụng phần mềm SAP2000. Trong khảo sát, vật liệu của công trình có xét đến ứng xử phi tuyến. Các vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình được nhận biết thông qua ngưỡng chuyển vị tương đối tầng. So sánh đường cong khả năng của công trình và vị trí giới hạn các mức độ hư hỏng của công trình trong hai trường hợp không gia cường và được gia cường được thực hiện. Các kết quả từ nghiên cứu như sau:

- Tại cùng vị trí giới hạn một mức độ hư hỏng, giá trị chuyển vị mái của công trình được gia cường và không gia cường có sự chênh lệch rất nhỏ. Tại các vị trí LS2, LS3, LS4 giá trị chuyển vị mái của công trình được gia cường lớn hơn lần lượt là 1,25 %, 0,55 %, 0,88 % so với công trình không gia cường.
- Giá trị lực cắt ngang của công trình gia cường lớn hơn giá trị tương ứng của công trình không gia cường ở cùng vị trí giới hạn một mức độ hư hỏng, và càng lớn hơn ở các mức độ hư hỏng lớn. Tại các vị trí LS2, LS3, LS4 giá trị lực cắt ngang của công trình được gia cường lớn hơn lần lượt là 2,50 %, 8,68 %, 16,17 % so với giá trị lực

cắt ngang của công trình không gia cường. Như vậy, để công trình bị hư hỏng ở cùng một mức độ, tải trọng ngang tác động vào công trình được gia cường sẽ lớn hơn tải trọng ngang tác động vào công trình không gia cường, hay nói cách khác là công trình được gia cường sẽ khó bị hư hỏng hơn so với công trình không gia cường về mặt chịu lực.

- Lớp vữa cốt lưới sợi dệt được khuyến nghị sử dụng để gia cường tăng khả năng chịu lực ngang cho kết cấu tường gạch, có thể ứng dụng để trùng tu các công trình di tích mang ý nghĩa lịch sử. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc phân tích hiệu quả về mặt chịu lực của giải pháp gia cường kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt thông qua phương pháp phân tích mô phỏng số. Cần có những nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng trong tương lai để kết quả nghiên cứu có độ tin cậy cao hơn. Hơn nữa, trong nghiên cứu này cũng chưa bàn luận đến hiệu quả tổng thể (có xét đến cả yếu tố chi phí) của giải pháp gia cường kết cấu tường gạch bằng lớp vữa cốt lưới sợi dệt so với các biện pháp gia cường khác. Cần có những nghiên cứu tiếp theo để đánh giá hiệu quả về mặt tổng thể trước khi áp dụng giải pháp gia cường này trong thực tế.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Tạ Văn Phần, Nguyễn Vĩnh Sáng, “Một số phương pháp gia cường kết cấu cột bê tông cốt thép”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Trường Đại học Thủy lợi*, số 57, tr. 33-39, tháng 06/2017.
- [2]. Trần Bá Việt, Lương Tiến Hùng, Lê Hoàng Phúc, Trần Bá Tú, “Kỹ thuật sửa chữa, gia cố và bảo trì kết cấu bê tông cốt thép của công trình dân dụng và công nghiệp”, *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, tr. 108-112, số tháng 10/2022.
- [3]. Cao Duy Bách, “Tính toán gia cường đỡ bù tăng tiết diện bê tông cốt thép có kể đến sự hư hỏng của dầm do nứt theo tài liệu của Viện nghiên cứu nhà và công trình công nghiệp – Liên Bang Nga”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng, Bộ Xây dựng*, tr. 9-15, số 1/2020.
- [4]. Hoàng Phương Hoa, Phan Duy Minh, “Nghiên cứu biện pháp tăng cường hiệu quả gia cường dầm bê tông cốt thép bằng vật liệu composite sợi carbon”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, số 3(76), tr. 28-31, 2014.
- [5]. Hà Mạnh Hùng, Nguyễn Trung Hiếu, “Hiệu quả gia cường kháng cắt cho dầm bê tông cốt thép bằng vật liệu tấm sợi carbon”, *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội*, số 15(1V), tr. 102-111, 2021. DOI: 10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-09
- [6]. Dương Đức Quỳnh, Nguyễn Trung Hiếu, Phạm Xuân Đạt, Nguyễn Mạnh Hùng, “Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được gia cường bằng tấm composite CFRP ở trạng thái đang chịu tải”, *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội*, số 15(2V), tr. 1-11, 2021. DOI: 10.31814/stce.nuce2021-15(2V)-01
- [7]. Nguyễn Thị Thanh, Nguyễn Quang Tùng, “Nghiên cứu hiệu quả gia cường cột trong công trình cao tầng bê tông cốt thép bằng tấm CFRP”, *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, tr. 52-57, số tháng 11/2019.
- [8]. Trần Xuân Vinh, Nguyễn Ngọc Linh, “Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường bản sàn bê tông cốt thép có lỗ mở bằng vật liệu tấm sợi CFRP”, *Tạp chí khoa học, Trường Đại học Vinh*, tập 48, số 1A, tr. 61-67, 2019.
- [9]. Lê Nguyên Khương, Cao Minh Quyền, Nguyễn Xuân Huy, Si Larbi Amir, “Giải pháp lai gia cường bê tông cốt lưới sợi dệt nhằm nâng cao khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng, Bộ Xây dựng*, tr. 42-48, số 3/2018.
- [10]. Papanicolaou C., Triantafillou T., Lekka M., “Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels”, *Construction and Building Materials*, 25, 504-514, 2011. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.018
- [11]. Papanicolaou C.G., Triantafillou T.C., Karlos K., Papathanasiou M., “Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading”, *Materials and Structures*, 40, 1081-1097, 2007. DOI: 10.1617/s11527-006-9207-8
- [12]. Papanicolaou C.G., Triantafillou T.C., Papathanasiou M., Karlos K., “Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading”, *Materials and Structures*, 41, 143-157, 2008. DOI: 10.1617/s11527-007-9226-0
- [13]. Guri M., Lluca D., Luca E., “Assessment and improvement of seismic performance of the masonry bearing building stock in Albania”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(10), 395-401, 2015.
- [14]. Bilgin H., Korini O., “Seismic capacity evaluation of un-reinforced masonry residential buildings in Albania”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3753-3764, 2012. DOI: 10.5194/nhess-12-3753-2012
- [15]. Akhaveissy A.H., Milani G., “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, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.12.006
- [16]. Ngo V.T., Dutta A., Deb S.K., “Mitigation of seismic vulnerability of prototype low-rise masonry building using U-FREIs”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(2), 04017136, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001136
- [17]. Ngô Văn Thuyết, Nguyễn Thu Nga, “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*, tr. 120-122, tháng 11/2020.
- [18]. Ngô Văn Thuyết, “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*, số 73(1), tr. 25-32, 2021.
- [19]. TCVN 1450, *Tiêu chuẩn Việt Nam - Gạch rỗng đất sét nung*, 2009.
- [20]. TCVN 4314, *Tiêu chuẩn Việt Nam - Vữa xây dựng*, 2003.
- [21]. TCVN 5574, *Tiêu chuẩn Việt Nam - Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép: Tiêu chuẩn thiết kế*, 2018.
- [22]. SAP2000 v.15, *Computers and Structures Inc., CSI Analysis Reference Manual*, Berkeley, California, USA, 2014.
- [23]. Kaushik H.B., Rai D.C., Jain S.K., “Stress-Strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(9), 728-739, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728)
- [24]. Calvi G.M., “A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings”, *Journal of Earthquake Engineering*, 3(3), 411-438, 1999.