

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA VÁCH NGĂN TRONG KHUNG PHẪNG BẰNG MÔ HÌNH MÀNG TRỰC HƯỚNG

Trịnh Duy Khánh^{a,*}

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 01/7/2021, Sửa xong 13/10/2021, Chấp nhận đăng 15/10/2021

Tóm tắt

Tường gạch hay khối xây, trong thực tế có vai trò làm tăng độ cứng của kết cấu khi chịu tải trọng ngang. Tuy vậy, trong thực tiễn, các khối xây tường thường được quy đổi thành tải trọng gắn vào dầm đỡ. Việc này dẫn đến chuyển vị, nội lực của công trình tính được sẽ phản ánh không đầy đủ sự làm việc thực của công trình. Với cấu tạo truyền thống được xây từ gạch, vữa; khối xây làm việc như một kết cấu trực hướng. Vì thế, sử dụng mô hình trực hướng tương đương sẽ hợp lý hơn việc sử dụng các mô hình đẳng hướng, và có thể áp dụng trực tiếp vào mô hình khung dầm để thiết kế của phần mềm SAP2000. Bài báo này sẽ trình bày cách xây dựng mô hình một kết cấu màng đồng nhất, trực hướng, có sự làm việc tương đương với tường gạch, và sử dụng mô hình tương đương này để khảo sát ảnh hưởng của tường gạch tới phân tích nội lực và chuyển vị của khung phẳng (bê tông cốt thép).

Từ khoá: tường gạch; màng trực hướng; PT2D - phần tử đại diện; điều kiện biên tuần hoàn; đồng nhất hóa.

ESTIMATING EFFECTS OF INFILL MASONRIES IN PLANE FRAME USING ORTHOTROPIC MEMBRANE MODEL

Abstract

In resisting the lateral loads, there are contributions of brick masonries in the system stiffness. However, the masonry is only converted to vertical loading acting on the building frame in the design process. Thus, calculated horizontal displacements of frames and internal forces cannot correctly reflect the real-world behaviors of structures. The traditional wall, which is built from clay brick and mortar, has the orthotropic behaviour. As a sequence, the orthotropic model should be more reasonable than the isotropic one. Besides, the former can be applied directly in design model via the very popular software SAP2000. This paper establishes an homogeneous orthotropic membrane model, equivalent to the brick wall, in order to estimate its role in analyse the reinforced concrete plane frame.

Keywords: brick masonry; orthotropic membrane; RVE - Representative Volume Element; PBC - periodic boundary condition; homogenization.

[https://doi.org/10.31814/stce.huice\(nuce\)2021-15\(5V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.huice(nuce)2021-15(5V)-09) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Trong các công trình nhà cửa (các kết cấu dạng khung), tường gạch là dạng kết cấu thường xuyên xuất hiện, đóng góp vào độ cứng tổng thể của công trình. Tuy nhiên, vai trò của tường xây trong tổng thể độ cứng của công trình còn chưa được đánh giá đúng mức. Các tiêu chuẩn và qui định về thiết kế tường vẫn dựa chủ yếu vào các thí nghiệm, mô hình tính toán là vật liệu đẳng hướng, không phù

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: khanhtd@nuce.edu.vn (Khánh, T. D.)

hợp với sự làm việc trực hướng của kết cấu, dẫn đến việc phải sử dụng quá nhiều hệ số, hoặc phải sử dụng nhiều mô hình cho các phép phân tích khác nhau. Tường gạch trong nhà có thể làm việc theo hai dạng: (a) các vách ngăn chịu tải trong mặt phẳng tường (tương tự như vách bê tông cốt thép) do tác động của trọng lượng và tải trọng ngang trong mặt phẳng khung; (b) các tường bao của công trình chịu uốn khi có tải trọng gió tác động. Với hình dạng thông thường của các khối xây tường, việc xây dựng mô hình màng cho tường hợp (a) và tấm cho tường hợp (b) là điều hợp lý. Bài báo này sẽ tập trung vào xây dựng mô hình màng cho vách ngăn bằng tường gạch (tường hợp (a)).

Trong công tác thiết kế hiện nay, có hai cách tiếp cận khi kể đến tác động của tường gạch trong công trình: Cách thứ nhất, bản thân tường gạch được qui đổi thành tính tải phân bố, tác dụng lên dầm trong khung; cách thứ hai là vận dụng các tiêu chuẩn [1–5], để xác định mô-đun đàn hồi E của vật liệu, sau đó mô hình vách ngăn vào công trình. Dễ nhận thấy với cách tiếp cận thứ nhất, độ cứng của vách ngăn hoàn toàn bị bỏ qua, dẫn đến độ cứng của công trình trong thiết kế nhỏ hơn so với độ cứng thực. Trong cách tiếp cận thứ hai, mặc dù đã vận dụng các qui định trong tiêu chuẩn, thì vẫn còn nhiều điểm chưa thuyết phục trong các qui định này.

Trong số đó, việc các tiêu chuẩn này hướng dẫn các kỹ sư thiết kế mô hình vách ngăn như một kết cấu tấm làm từ vật liệu đồng nhất, đẳng hướng (chỉ có một giá trị mô-đun đàn hồi E được xác định theo các công thức trong tiêu chuẩn) là chưa thuyết phục. Để nhìn nhận rõ vấn đề này, ta cần phân tích thực trạng công tác thiết kế hiện nay. Các mô hình màng, tấm, vỏ bằng vật liệu đẳng hướng cho vách và sàn bê tông cốt thép đổ tại chỗ đã có lịch sử lâu dài, và trở nên rất phổ biến. Mặc dù hoàn toàn không phải là vật liệu đồng nhất, các loại kết cấu bê tông cốt thép vẫn có sự làm việc theo các phương tương đối giống nhau, do sự phân bố ngẫu nhiên của các hạt cốt liệu. Mặt khác, các kỹ sư công trình đã quen làm việc với các mô hình cầu kiện, kết cấu (sàn, dầm, cột) đẳng hướng. Tuy nhiên, tường gạch được xây theo các qui tắc cụ thể, bao gồm các viên gạch được bao quanh bởi các mạch vữa ngang và dọc; được sắp xếp có trình tự. Điều này khiến cho sự làm việc của tường gạch, ngay cả trong trường hợp chịu tải trong mặt phẳng cũng có sự khác biệt rất lớn giữa các phương. Nói cách khác, vách ngăn gạch-vữa không làm việc như vật liệu đẳng hướng. Điều này được thể hiện rõ trong tiêu chuẩn [4], do tính không đẳng hướng của vách ngăn, nên trong thiết kế phải áp dụng hệ số sức chịu tải vuông góc (orthogonal strength ratio) là tỉ số giữa khả năng chịu tải song song và vuông góc với mạch vữa ngang. Tương tự như vậy, tiêu chuẩn [1] cũng phải sử dụng các hệ số khác nhau cho độ cứng vách ngăn khi tính toán phá hoại theo cường độ ($0,5E_0$), và khi phân tích sự làm việc chung của vách ngăn với các kết cấu khác ($0,8E_0$). Như vậy, mặc dù các tiêu chuẩn thiết kế [1, 4] có đưa ra các mô hình vật liệu đẳng hướng cho vách ngăn, giúp các kỹ sư đưa ra tính toán an toàn cho khối xây; nhưng để xem xét đồng thời sự làm việc của kết cấu khung và khối xây nhằm phân tích nội lực, chuyển vị có xét đến ảnh hưởng của khối xây thì các mô hình màng, tấm, vỏ đẳng hướng còn nhiều hạn chế bởi việc thay thế vách ngăn bằng vật liệu đẳng hướng sẽ không thể mô tả chính xác sự làm việc của vách ngăn. Rất nhiều các nghiên cứu thực nghiệm, chẳng hạn [6–11] cũng chỉ ra sự làm việc không đẳng hướng của vách ngăn. Một số nghiên cứu [12–17] về mô hình hóa đã thành công trong việc xây dựng mô hình tấm, màng trực hướng để mô phỏng sự làm việc của tường gạch. Trong phân tích kết cấu xây dựng, kết cấu trực hướng thường chỉ được đề cập đến trong thiết kế mặt cầu [18], ít thấy xuất hiện trong các kết cấu nhà cửa. Hiện nay, chỉ có thiết kế vách thép trong khung nhà nhiều tầng có đề cập đến việc sử dụng mô hình màng trực hướng trong tiêu chuẩn [19]. Bài báo này sẽ sử dụng phương pháp đồng nhất hóa được nêu trong [17] để xây dựng mô hình màng đồng nhất trực hướng cho tường gạch. Nghiên cứu được thực hiện với giả thiết tất cả các vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

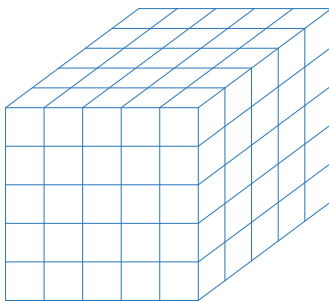
2. Xây dựng mô hình tường gạch bằng phương pháp đồng nhất hóa

Đã có khá nhiều tác giả quan tâm đến việc xây dựng mô hình trục hướng để mô phỏng sự làm việc của tấm tường. Trong [14], tác giả đã xây dựng mô hình màng trục hướng cho vách ngăn bằng cách mở rộng phương pháp đồng nhất hóa với điều kiện biên tuần hoàn cho dạng kết cấu 3D chỉ tuần hoàn theo 2 phương. Mô hình màng đã được mở rộng thành các mô hình tấm vỏ Reissner-Mindlin để mô phỏng sự làm việc của tường gạch chịu uốn trong [15–17]. Trong đó, việc xác định các hằng số độ cứng trong mặt phẳng (độ cứng màng) trong [17] đã sử dụng lại phương pháp của [14]. Trong bài báo này, do xem xét sự làm việc của vách ngăn (chỉ chịu tải trọng trong mặt phẳng, bao gồm tải trọng thẳng đứng và tải trọng gió truyền vào từ cột); tác giả sẽ chỉ nêu lại phương pháp xác định các hằng số độ cứng của phần tử màng trong [14, 17] nhằm giúp độc giả dễ dàng theo dõi.

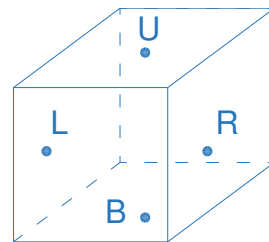
Phương pháp đồng nhất hóa [20, 21] là kỹ thuật xây dựng mô hình đồng nhất để thay thế mô hình vật liệu nhiều thành phần (composite); bằng cách giải bài toán cơ học với các điều kiện biên khác nhau trên một phần tử đại diện (Representative Volume Element-RVE), để tìm ra các đặc trưng cơ học (thường là các hằng số độ cứng/độ mềm, truyền nhiệt) của vật liệu đồng nhất tương đương. Phần tử đại diện (sau đây sẽ được viết tắt thành PT2D) là một miền nhỏ trên toàn bộ miền kết cấu, trên đó chứa đầy đủ các thông tin để phản ánh sự làm việc của toàn bộ kết cấu (giải bài toán ở cấp độ vĩ mô). Trên PT2D, người ta thiết lập một bài toán cơ học thông thường với đầy đủ các điều kiện biên và thu được các trường biến dạng, chuyển vị, thế năng ở cấp độ vi mô. Đồng thời, cũng trên miền PT2D, bằng các phép tính về trung bình, ta thu được các giá trị của biến dạng, chuyển vị ở mức độ vĩ mô. Dựa vào nguyên tắc cân bằng năng lượng giữa cấp độ vi mô và vĩ mô, người ta thu được các hằng số cơ học của mô hình vĩ mô tương đương. Một bài toán riêng thường hay gặp trong đồng nhất hóa, đó là đồng nhất các dạng kết cấu tuần hoàn (phân bố vật liệu lặp lại theo các vec tơ trong không gian). Với dạng kết cấu này, PT2D được thiết lập khá đơn giản, thường là một khối lập phương, khối chữ nhật (được trích ra từ kết cấu) mà nếu xếp các khối này lần lượt cạnh nhau, nó sẽ lấp kín khít không gian mà kết cấu chiếm chỗ. Trên PT2D, bài toán cơ học được thiết lập với một điều kiện biên đặc biệt, gọi là điều kiện biên tuần hoàn, có dạng như công thức (1).

$$\underline{u} = \underline{E} \cdot \underline{x} + \underline{v} \quad (1)$$

trong đó: $\underline{E}$ - là ký hiệu ten xơ bậc 2, $\underline{u}$ - là vectơ chuyển vị trên biên của PT2D, $\underline{x}$ - là vectơ vị trí của một điểm trên miền PT2D, $\underline{v}$ - là phần chuyển vị có dạng tuần hoàn (có giá trị bằng nhau tại hai điểm đối xứng trên biên của PT2D). Hình 1(b) thể hiện các điểm có chuyển vị giống nhau do điều kiện biên



(a) Một dạng kết cấu tuần hoàn theo cả ba phương với hình khối cơ sở là một hình lập phương

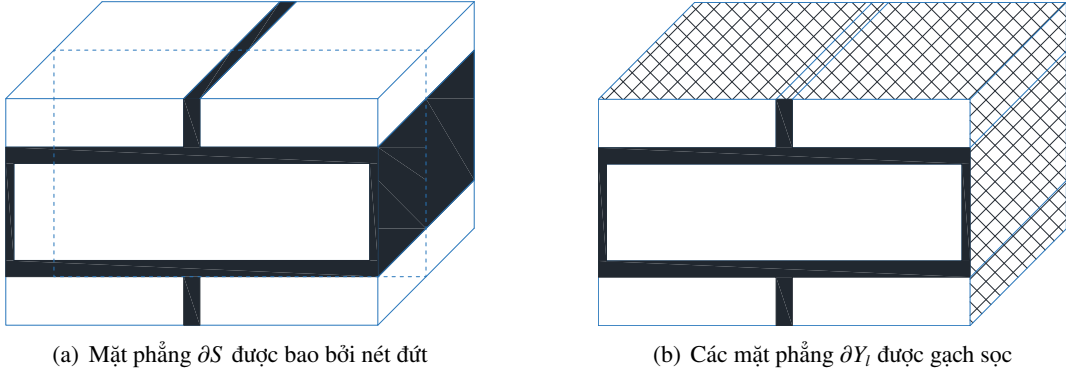


(b) PT2D (phóng to) của kết cấu tuần hoàn và các điểm có chuyển vị bằng nhau theo điều kiện biên tuần hoàn

Hình 1. Bài toán đồng nhất hóa kết cấu tuần hoàn

tuần hoàn, các điểm L, R (trên biên trái, phải của PT2D) có chuyển vị bằng nhau; tương tự như vậy đối với cặp điểm U, B (biên trên và biên dưới của PT2D).

Bài toán đồng nhất hóa kết cấu tuần hoàn đã được phát triển bởi [17, 22] cho các dạng kết cấu chỉ tuần hoàn theo hai phương, ứng dụng vào tính toán vách ngăn bằng gạch vữa. Hình 2 giới thiệu hình ảnh khối xây gạch vữa tuần hoàn (2 phương) và PT2D của nó, có dạng chữ nhật bao gồm cả gạch và mạch vữa.



Hình 2. PT2D của kết cấu tường gạch

Để có được các hằng số đàn hồi của tấm trực hướng Kirchhoff-Love, cần giải bài toán vi mô 2 trên PT2D của tường. Để phát biểu bài toán, ta quy ước các chữ cái in hoa thể hiện các trường giá trị ở mức độ vĩ mô, các chữ cái viết thường thể hiện giá trị của các trường vi mô. Bài toán có dạng: với một $\underline{u}$ nghiệm đúng hệ phương trình (2)

$$\begin{cases} \text{div} \underline{\sigma} = 0 \\ \underline{\sigma} = \underline{a} : \underline{\varepsilon} \\ \underline{\varepsilon} = \underline{E} + x_3 \underline{\chi} + \text{grad}^s \underline{v} \\ \underline{\sigma} \cdot \underline{e}_3 = 0 \text{ trên biên } \partial Y_3^\pm \\ \underline{\sigma} \cdot \underline{n} \text{ phản xứng trên biên } \partial Y_l \\ \underline{v} \text{ tuần hoàn trên biên } \partial Y_l \end{cases} \quad (2)$$

trong đó các giá trị: $\underline{\sigma}$, $\underline{\varepsilon}$ là các trường ứng suất và biến dạng vi mô trên miền Y (khối PT2D); $\underline{v}$ được gọi là nhiễu của trường chuyển vị trên PT2D; $\underline{v}$ có tính chất tuần hoàn trên các biên được gán điều kiện chuyển vị; điều kiện biên tuần hoàn cũng sẽ dẫn đến điều kiện phản xứng của $\underline{\sigma} \cdot \underline{n}$, các mặt biên còn lại (vuông góc với phương của chiều dày) được để tự do; $\underline{a}$ là ten xơ hằng số độ cứng của các vật liệu thành phần trong PT2D; $\underline{E}$, $\underline{\chi}$ là các ten xơ biến dạng và độ cong vĩ mô (mô hình tấm Kirchhoff-Love cần tìm); khi đó, nếu thêm vào các ràng buộc: $\underline{N} = \langle \underline{\sigma} \rangle^*$ và $\underline{M} = \langle x_3 \underline{\sigma} \rangle^*$, thì sự làm việc của tấm Kirchhoff-Love được diễn tả như sau:

$$\begin{pmatrix} \underline{N} \\ \underline{M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{C} & \underline{B} \\ \underline{B} & \underline{D} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{E} \\ \underline{\chi} \end{pmatrix} \quad (3)$$

trong đó: $\langle f \rangle^* = \frac{1}{S} \int_V f dV$. Do PT2D có đối xứng tâm, thành phần $\underline{B} = 0$. Khi $\underline{\chi} = 0$, tấm Kirchhoff-Love suy biến thành màng đồng nhất, hệ 2 suy biến thành bài toán của [14]. Bài toán màng đồng nhất

trục hướng lúc này trở thành:

$$\begin{cases} \text{div} \underline{\sigma} = 0 \\ \underline{\sigma} = \underline{\underline{a}} : \underline{\underline{\varepsilon}} \\ \underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{E}} + \text{grad}^s \underline{v} \\ \underline{N} = \langle \underline{\sigma} \rangle^* \end{cases} \quad \text{với điều kiện biên} \quad \begin{cases} \underline{\sigma} \cdot \underline{e}_3 = 0 & \text{trên biên } \partial Y_3^\pm \\ \underline{\sigma} \cdot \underline{n} & \text{phản xứng trên biên } \partial Y_l \\ \underline{v} & \text{tuần hoàn trên biên } \partial Y_l \end{cases} \quad (4)$$

Khi đó, có thể biểu diễn quan hệ $\underline{N} = \underline{\underline{C}} : \underline{\underline{E}}$ cụ thể hơn như sau:

$$\begin{cases} N_{11} = C_{1111}E_{11} + C_{1122}E_{22} \\ N_{22} = C_{1122}E_{11} + C_{2222}E_{22} \\ N_{12} = 2C_{1212}E_{12} \end{cases} \quad (5)$$

Điều kiện biên tuần hoàn có thể được tạo ra bằng cách lập trình như trong [14, 23] hoặc bằng cách tạo ra một cụm PT2D như trong [24, 25]. Điều kiện phản xứng cũng sẽ thỏa mãn khi tạo được điều kiện biên tuần hoàn (1), điều này đã được giải thích cụ thể hơn trong [26]. Như vậy, chỉ cần giải quyết bài toán (4) với 3 trường hợp cơ bản trong phương trình (6), ta sẽ tìm được các hằng số đàn hồi $\underline{\underline{C}}$ như diễn tả cụ thể trong phương trình (5).

$$\underline{\underline{E}}^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \underline{\underline{E}}^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \underline{\underline{E}}^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Phần mềm SAP2000 (hoặc các phần mềm cùng họ CSI như Etabs, SAFE) được sử dụng rất phổ biến trong các tính toán thiết kế kết cấu, nó cho phép khai báo vật liệu trục hướng bằng cách khai báo các hằng số của ma trận độ mềm như trong (7). Ma trận này được cung cấp từ tài liệu [27].

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{12}}{E_2} & \frac{-\nu_{13}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{1}{E_2} & \frac{-\nu_{23}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G_{12}} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G_{23}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{pmatrix} \quad (7)$$

đối xứng

hay dạng rút gọn khi tính toán màng trục hướng chỉ biến dạng trong mặt phẳng:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{12}}{E_2} & 0 \\ & \frac{1}{E_2} & 0 \\ \text{đối xứng} & & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} \quad (8)$$

trong đó: E_1, E_2 , là các mô đun đàn hồi theo trục địa phương 1, 2 của phần tử tấm, vỏ; G_{12} là mô đun cắt của vật liệu trong mặt phẳng $\underline{e}_1 \otimes \underline{e}_2$; ν_{12} là hệ số Poisson của vật liệu trục hướng. So sánh

công thức (4) và công thức (8), ta thấy, để có các hằng số độ mềm dùng để khai báo trong phần mềm SAP2000, ta cần làm một số bước qui đổi. Sau khi xác định ma trận độ cứng $\underline{C}$ để cập trong công thức (5), ta chia tất cả hằng số cho chiều dày vách ngăn; sau đó, đi tìm ma trận độ mềm $\underline{S}$ (là nghịch đảo của $\frac{1}{t}\underline{C}$) có dạng như trong (9).

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{1111} & S_{1122} & 0 \\ & S_{2222} & 0 \\ \text{đối xứng} & & S_{1212} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} \quad (9)$$

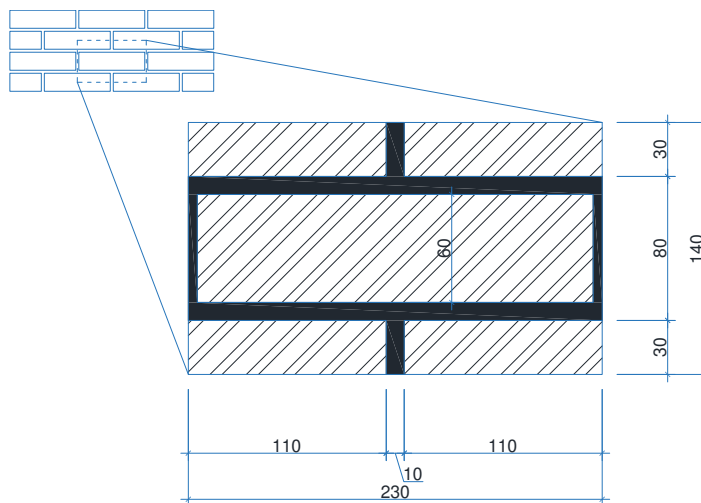
Cuối cùng là so sánh với các giá trị trong công thức (8) để tìm ra hằng số cần thiết để khai báo. Nhằm mục đích thuận tiện, các hằng số tương ứng giữa công thức (8) và công thức (9) được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Sự tương ứng giữa các hằng số của SAP2000 và ma trận độ mềm xác định được từ bài toán

E_1	E_2	G_{12}	ν_{12}
$\frac{1}{S_{1111}}$	$\frac{1}{S_{2222}}$	$\frac{1}{S_{1212}}$	$-\frac{S_{1122}}{S_{2222}}$

3. Đánh giá ảnh hưởng của tường gạch bằng mô hình màng trực hướng

Áp dụng các lý thuyết nêu trong phần 2, tác giả khảo sát và tìm ra các đặc trưng cơ học của màng trực hướng tương đương của một mảng tường được mô tả trong hình 3. Qui ước về hướng trục của màng như sau: trục 1 biểu diễn hướng song song với mạch ngang của vữa, trục 2 biểu diễn hướng song song với mạch đứng của vữa.



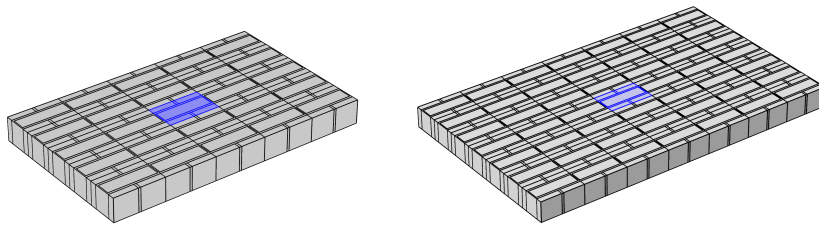
Hình 3. Ví dụ khối PT2D của tường gạch dùng trong tính toán

Các đặc trưng cơ học của gạch, vữa được nêu trong Bảng 2, cùng với các số liệu tham khảo từ nhiều nghiên cứu khác. Cần chú ý rằng, hệ thống TCVN hiện nay chỉ đề cập đến cường độ nén của vữa mà không nhắc đến mô đun đàn hồi và hệ số giãn nở nhiệt của nó.

Bảng 2. Đặc trưng đàn hồi của gạch và vữa từ một số nghiên cứu khác, E có đơn vị GPa

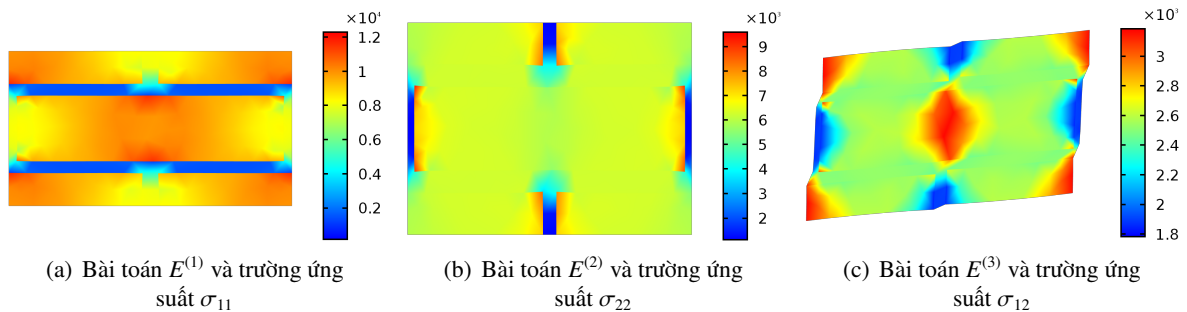
	E_b	ν_b	E_m	ν_m
Felix [28] vữa cường độ thường			5,5	0,14
Felix [28] vữa cường độ cao			14	0,14
Nwofor [29]	8,83	0,06	1,24 ~ 37,23	0,17
Jeulin [30]			27,7	0,2
Laurenço [31]	20	0,15	0,02 ~ 20	0,15
Stefanou [32]	6,74	0,17	1,7	0,05
Antoine [14]	11	0,2	2,2	0,25
Cecchi [16]	30	0,25	2,2	0,25
Mojsilovic [7]			6,6	0,2
Cường LT [33]	10 ~ 20	0,03 ~ 0,1		
Vật liệu cho ví dụ	11	0,2	1,7	0,05

Sử dụng các đặc trưng cơ học trong Bảng 2, ta lần lượt xây dựng các khối PT2D bao gồm 5×5 và 7×7 PT2D (Hình 4); rồi thực hiện tính toán trên PT2D trung tâm (bao gồm gạch 60 kích thước $220 \times 105 \times 60$ và cách mạch vữa đứng, ngang dày 10 mm như trong Hình 3); ta sẽ thu được các hằng số đàn hồi của màng trực hướng như trong Bảng 1.



Hình 4. Các khối PT2D 5×5 và 7×7 , và PT2D tại trung tâm (nơi xuất hiện điều kiện biên tuần hoàn)

Hình 5 giới thiệu biến dạng của PT2D trung tâm và phổ ứng suất tương ứng với thành phần N_{ij} .



Hình 5. Trường ứng suất tương ứng với N_{ij} và điều kiện biên

Dựa vào các giá trị tính toán được trong Bảng 3, ta nhận thấy các giá trị C_{ijkl} hội tụ, vì vậy có thể sử dụng số liệu tính toán này. Theo đó, ma trận độ cứng và độ mềm sẽ có dạng (lấy hai chữ số thập phân) như trong công thức (10).

Bảng 3. Các giá trị hằng số độ cứng (đơn vị MPa.mm) tính toán được từ ba bài toán trong (6)

	C_{1111}	C_{1122}	C_{2222}	C_{1212}
Bài toán $E^{(1)}$	N_{11}	N_{22}		
Cụm 5×5 PT2D	$8,7147 \times 10^5$	$1,0241 \times 10^5$		
Cụm 7×7 PT2D	$8,7129 \times 10^5$	$1,0191 \times 10^5$		
Bài toán $E^{(2)}$		N_{11}	N_{22}	
Cụm 5×5 PT2D		$1,0163 \times 10^5$	$6,433 \times 10^5$	
Cụm 7×7 PT2D		$1,0138 \times 10^5$	$6,431 \times 10^5$	
Bài toán $E^{(3)}$				N_{12}
Cụm 5×5 PT2D				$2,6822 \times 10^5$
Cụm 7×7 PT2D				$2,6806 \times 10^5$

$$\underline{\underline{C}} = 10^5 \begin{pmatrix} 8,71 & 1,02 & 0 \\ 1,02 & 6,43 & 0 \\ 0 & 0 & 2,68 \end{pmatrix} \rightarrow \underline{\underline{S}} = \frac{1}{1000} \begin{pmatrix} 0,123 & -0,019 & 0 \\ -0,019 & 0,166 & 0 \\ 0 & 0 & 0,392 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Từ đó, có thể tính được các hệ số để khai báo trong phần mềm SAP2000 như trong Bảng 4.

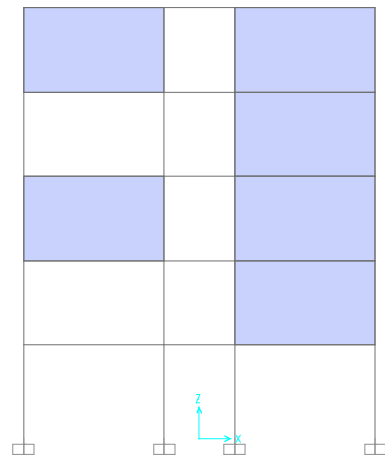
Bảng 4. Các mô đun đàn hồi (đơn vị MPa) và hệ số nở ngang của màng trực hướng

E_1	E_2	G_{12}	ν_{12}
$\frac{1}{S_{1111}}$	$\frac{1}{S_{2222}}$	$\frac{1}{S_{1212}}$	$-\frac{S_{1122}}{S_{2222}}$
8130	6024	2551	0,11

Trong bài báo này, tác giả sử dụng mô hình màng trực hướng với các hằng số vật liệu trong Bảng 4 để phân tích nội lực trong một khung phẳng bê tông cốt thép; gồm 3 nhịp (6 m, 3 m, 6 m) và 5 tầng (tầng 1 cao 4 m, các tầng còn lại cao 3,6 m). Tiết diện dầm 22×60 ; tiết diện cột 22×55 , đều làm bằng bê tông cốt thép có $E_{bt} = 24855$ MPa có các vách ngăn xây bằng gạch, vữa tại các vị trí như trong Hình 6.

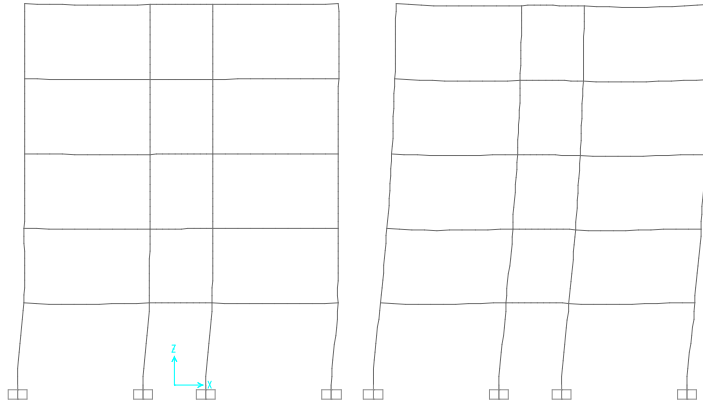
Công trình bao gồm nhiều khung phẳng có độ cứng coi như tương đương với khung đang xét, bước khung là 4 m. Tải trọng thiết kế sơ bộ lên khung phẳng bao gồm: tác dụng đồng thời của tĩnh tải và hoạt tải ($q = 1200 \times 4 = 4800$ daN/m) phân bố đều trên dầm; công trình được giả sử chịu tải trọng gió phân bố đều trên cột ($W = 456$ daN/m), tải trọng gió tác dụng đều lên cột đón gió (hệ số 0,8) và cột khuất gió (hệ số 0,6). Trọng lượng tường đơn: 200 daN/m², hệ số độ tin cậy 1,1.

Sau khi phân tích bài toán bằng phần mềm SAP2000, có thể nhận thấy sự xuất hiện của tường gạch làm cho biến dạng của khung phẳng rất khác biệt (Hình 7), dẫn đến nội lực của các phần tử dầm,

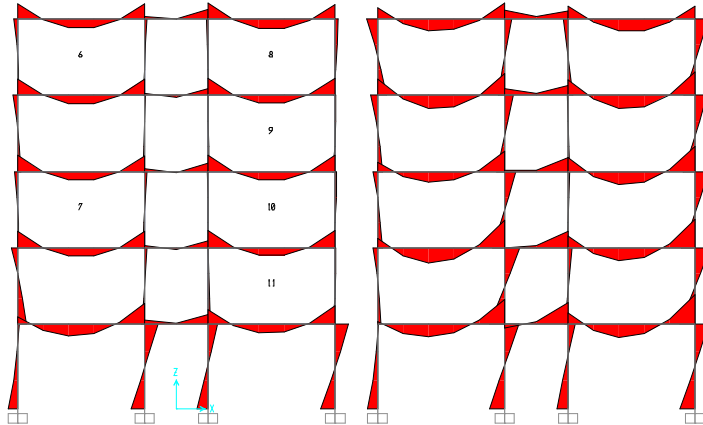


Hình 6. Khung nhà nhiều tầng có tường gạch

cột có sự khác biệt rất lớn (Hình 8). Trên Hình 7 là biến dạng khung do tải trọng tính toán (trạng thái giới hạn I) gây ra. Việc sử dụng mô hình tường cho thấy độ biến dạng của toàn bộ công trình giảm đi khá nhiều, nhất là tại những khoang có bố trí tường. Tại vị trí tường (đối chiếu với Hình 6), các dầm có độ võng thấp, do vậy ít có tác động đến biến dạng của cột so với mô hình không kể đến tường. Chuyển vị của các điểm tương ứng có thể giảm còn 30% khi sử dụng mô hình tường. Tất nhiên, hiệu quả của việc giảm chuyển vị này còn tùy thuộc vào việc lựa chọn tiết diện dầm, cột, cũng như phương án bố trí tường trong từng thiết kế.



Hình 7. Biến dạng của khung khi thiết kế có sử dụng (bên trái) và không sử dụng (bên phải) mô hình tường gạch. Hình ảnh có cùng tỉ lệ phóng đại 100 lần cho cả hai khung và đã ẩn đi các vách tường trong Hình 6

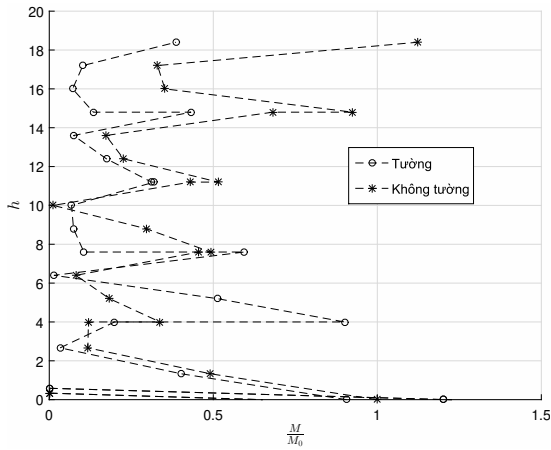


Hình 8. Nội lực (Mô men) trong khung khi thiết kế có kể đến (bên trái) và không kể đến (bên phải) độ cứng trong mặt phẳng của vách ngăn, do tổ hợp tải trọng gió, tĩnh tải và hoạt tải sử dụng gây ra

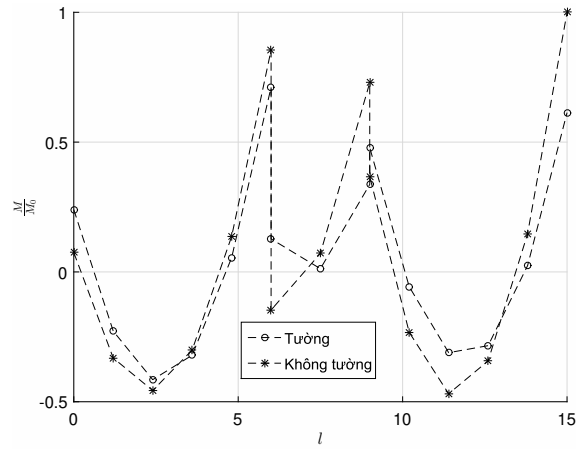
Cụ thể hơn, ta tiến hành so sánh M trong các phần tử cột biên như Hình 9(a), do thép cột bố trí đối xứng nên ở đây chỉ xét giá trị tuyệt đối; trong các phần tử dầm tầng hai (có tường ở một trong hai dầm nhịp 6 m) như trong Hình 9(b); trong các phần tử dầm tầng ba (có tường ở cả hai nhịp dầm 6 m) như trong Hình 9(d); trong các dầm tầng mái (phía trên tường) như trong Hình 9(c). Các M đều được chuẩn hóa bằng cách chia giá trị M trên các tiết diện cho giá trị M ở chân cột, hoặc cho giá trị M tại vị trí nút biên bên phải của khung không sử dụng mô hình màng.

Từ các biểu đồ trên, ta nhận thấy khi có kể đến độ cứng trong mặt phẳng của vách ngăn (tường gạch) có rất nhiều thay đổi trong nội lực dầm, cột bê tông cốt thép. Nội lực trong dầm và cột tại hầu

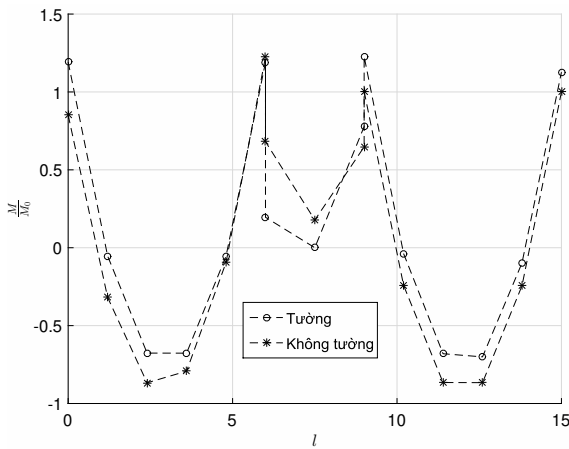
hết các tiết diện đều giảm đi. Tại vị trí dầm tiếp nối với cột (các điểm nút tại hoành độ 0 các hình 9(b), (c), (d)), nội lực trở nên lớn hơn, điều này có thể trở thành cơ sở để thiết kế kháng chấn, “bẫy” các khớp dẻo hình thành tại dầm, dẫn đến phá hủy cục bộ khi có động đất quá lớn.



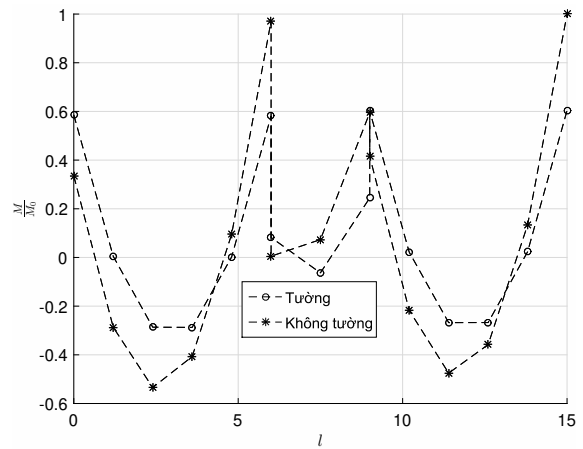
(a) So sánh M trong hệ cột biên trái



(b) So sánh M trong các dầm tầng hai



(c) So sánh M trong các dầm tầng mái



(d) So sánh M trong các dầm tầng ba

Hình 9. So sánh M trong các cấu kiện của khung

Để đảm bảo tính ngắn gọn của bài báo, tác giả chỉ giới thiệu biểu đồ phân tích sự biến đổi của M. Với các đối tượng đáng quan tâm khác trong thiết kế như N, Q và chuyển vị (do tải trọng theo trạng thái giới hạn II), người đọc có thể liên hệ trực tiếp tác giả để được cung cấp mô hình. Mô hình hóa vách ngăn bằng đồng nhất hóa giúp các kỹ sư tiết kiệm thời gian, không phải chờ đợi các thí nghiệm về cường độ của khối xây. Đặc biệt là trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, tìm kiếm các giải pháp kết cấu cho công trình. Màng trực hướng tương đương cũng giúp cho việc tính toán, phân tích kết cấu nhanh hơn, từ đó giúp cho việc phát triển sản phẩm tường gạch bằng các công cụ và thuật toán tối ưu hóa thuận tiện hơn. Sử dụng đặc tính trực hướng của vật liệu giúp chúng ta có thể sử dụng đồng thời mô hình vách ngăn vào hai công việc: đánh giá vai trò của vách ngăn khi làm việc với các cấu kiện khác (dầm, cột) và đánh giá khả năng phá hoại của vách ngăn, khắc phục được nhược điểm của tiêu chuẩn thiết kế hiện nay (sử dụng hai mô hình đẳng hướng riêng biệt $(0,5E_0$ và $0,8E_0$) cho hai nhiệm vụ vừa nêu).

4. Kết luận

Bài báo này giới thiệu một cách tiếp cận mới trong nghiên cứu ảnh hưởng của khối xây gạch trong công trình, bằng cách xây dựng mô hình màng trực hướng nhờ phương pháp đồng nhất hóa. Mô hình được xây dựng có thể giúp cho việc sử dụng thống nhất một mô hình cho các tính toán khác nhau, xây dựng các đặc trưng cơ học phù hợp với sự làm việc thực tế của kết cấu. Việc này càng trở nên hữu ích khi phân tích một công trình qui mô lớn, sử dụng nhiều vách ngăn tường gạch. Ví dụ trong bài báo cũng cho thấy, khi kể đến độ cứng của tường, có sự phân bố lại mô men trong hệ khung so, vì vậy mô hình này có thể giúp các kỹ sư đưa ra các giải pháp thiết kế kháng chấn (phá hoại cục bộ dầm, tường khi xảy ra động đất quá lớn); Nó cũng giúp các kỹ sư có cái nhìn tốt hơn về bố trí cốt thép dầm. Một ưu điểm không thể bỏ qua là mô hình này có giá trị dự báo cao, bởi nó không cần chờ đợi các kết quả thí nghiệm phá hoại khối xây, vốn đòi hỏi thời gian khá dài. Mô hình được xây dựng cũng hứa hẹn triển vọng áp dụng vào việc mô phỏng và tìm nguyên nhân gây nứt tường gạch không nung, một trong những vấn đề lớn của ngành xây dựng Việt Nam hiện nay. Bài báo cũng chỉ ra việc thiếu nguồn dữ liệu đầu vào cho đặc trưng cơ học của vật liệu vữa xây trong hệ thống TCVN.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 5573:2011. *Kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Viện Khoa học và Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [2] TCVN 1450:2009. *Gạch rỗng đất sét nung/Hollow clay brick*. Viện Vật liệu xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [3] TCVN 1451:1998. *Gạch đặc đất sét nung/Clay brick*. Viện Vật liệu xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [4] Eurocode 6 (2009). *Design of masonry structures. Part 1-1*. British Standards Institution, London.
- [5] British Standards Institution (1999). *Methods of test for masonry. Part 1*. British Standards Institution, [London].
- [6] Albanesi, T., Bergami, A.-V., Biondi, S., Candigliota, E., Nuti, C. (2008). Theoretical characterization of infill panels basing on compressive and shear tests. *Proceeding of 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- [7] Mojsilović, N. (2020). [Masonry subjected to semi-cyclic compression: Inelastic response modelling](#). *Construction and Building Materials*, 263.
- [8] Mojsilović, N. (2011). [Strength of masonry subjected to in-plane loading: A contribution](#). *International Journal of Solids and Structures*, 48(6):865–873.
- [9] Mojsilović, N. (2005). A discussion of masonry characteristics derived from compression tests. *Proceeding of 10th Canadian Masonry Symposium*.
- [10] Augenti, N., Parisi, F. (2010). [Constitutive models for tuff masonry under uniaxial compression](#). *Journal of Materials in Civil Engineering - ASCE*, 22(11).
- [11] Werner, S. (1994). Isotropic or anisotropic? Simulation of in-plane-loaded masonry structures close to reality. *Proceeding of 10th IB2Mac conference*.
- [12] Abdellah, A. G., El-Metwaly, S. E., Yousef, A. M. (2020). [Orthotropic homogenized modeling of masonry wall panels](#). *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(3):153–168.
- [13] Gatta, C., Addessi, D. (2019). [An Orthotropic Macromechanical Model with Damage for the Analysis of Masonry Structures](#). *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN 2015)*, 1514–1525.
- [14] Anthoine, A. (1995). [Derivation of the in-plane elastic characteristics of masonry through homogenization theory](#). *International Journal of Solids and Structures*, 32(2):137–163.
- [15] Cecchi, A., Sab, K. (2002). [A multi-parameter homogenization study for modeling elastic masonry](#). *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 21(2):249–268.
- [16] Cecchi, A., Sab, K. (2002). [Out of plane model for heterogeneous periodic materials: the case of masonry](#). *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 21(5):715–746.

- [17] Cecchi, A., Sab, K. (2007). [A homogenized Reissner–Mindlin model for orthotropic periodic plates: Application to brickwork panels](#). *International Journal of Solids and Structures*, 44(18):6055–6079.
- [18] TCVN 11823-9:2017. *Thiết kế cầu đường bộ*. Bộ Giao thông Vận tải.
- [19] Sabelli, R., Bruneau, M., American Institute of Steel, C. (2006). *Steel plate shear walls*. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [20] Sanchez-Palencia, E. (1987). *Homogenization techniques for composite media : lectures delivered at the CISM International center for mechanical sciences, Udine, Italy*. Springer.
- [21] Bornert, M., Bretheau, T., Gilormini, P. (2001). *Homogénéisation en mécanique des matériaux*. Hermès Science Publications, Paris.
- [22] Caillerie, D., Nedelec, J. C. (1984). [Thin elastic and periodic plates](#). *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 6(1):159–191.
- [23] Phương, N. H., Cảnh, L. V., Phúc, H. L. H. (2020). [Kỹ thuật đồng nhất hóa cho vật liệu đa tính thể dị hướng sử dụng phần tử biên tỉ lệ](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 15 (1V):60–71.
- [24] Trinh, D.-K., Forest, S. (2010). [The role of the fluctuation field in higher order homogenization](#). *PAMM*, 10(1):431–432.
- [25] Khanh, T. D. (2020). [Second gradient substitution model for high contrast bi-phase structure](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 14(2):116–126.
- [26] Trinh, D.-K. (2011). [Méthodes d'homogénéisation d'ordre supérieur pour les matériaux architecturés](#). Luận án Tiến sĩ, Mines ParisTech.
- [27] CSIAmerica (2016). [SAP2000 version 19 - CSI Analysis Reference book](#). CSI.
- [28] Ip, F. (2001). [Compressive strength and modulus of elasticity of masonry prisms](#). Luận án Tiến sĩ, Carleton University.
- [29] Nwofor, T. C. (2011). [Finite element stress analysis of brick-mortar masonry under compression](#). *Journal of Applied Science and Technology*, 16.
- [30] Escoda, J., Willot, F., Jeulin, D., Sanahuja, J., Toulemonde, C. (2011). [Estimation of local stresses and elastic properties of a mortar sample by FFT computation of fields on a 3D image](#). *Cement and Concrete Research*, 41(5):542–556.
- [31] Lourenço, P. B., Zucchini, A., Milani, G., Tralli, A. (2006). Homogenisation approaches for structural analysis of masonry buildings. *Structural Analysis of Historical Constructions*.
- [32] Stefanou, I., Sab, K., Heck, J.-V. (2015). [Three dimensional homogenization of masonry structures with building blocks of finite strength: A closed form strength domain](#). *International Journal of Solids and Structures*, 54:258–270.
- [33] Cường, L. T., Đạo, Đ. C. (2008). *Kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.