

NGHIÊN CỨU SỰ PHÁT TRIỂN VẾT NÚT TRONG TƯỜNG GẠCH XÂY CÓ KHOẢNG TRỐNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

NGUYỄN VĂN MẠNH

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: nguyenvanmanh @khoaxaydung.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Khối xây là một vật liệu tổ hợp bao gồm gạch (đá) và chất liên kết bằng vữa xi măng. Khối xây là một loại vật liệu tổ hợp có tính chất không liên tục, không đồng nhất và không đẳng hướng, không tuyến tính nhưng đàn hồi [1]. Khoảng trống trong các khối tường xây thường được sử dụng làm cửa sổ và cửa chính của công trình. Mặc dù khối xây rất đơn giản nhưng tính chất và các biểu hiện cơ học của nó rất khó định lượng và dự báo một cách chính xác.

Trong những năm gần đây, có rất nhiều phương pháp số được phát triển để mô phỏng quá trình làm việc của kết cấu khối xây. Phương pháp phần tử hữu hạn rất thông dụng, dễ dàng sử dụng để nghiên cứu tường xây không gia cố chịu tải trọng tĩnh [2], [3]. Trong những nghiên cứu này, khối xây thường được coi là vật liệu đồng nhất, bỏ qua ảnh hưởng của vữa xây và mạch xây là những mặt yếu của kết cấu. Để giải quyết vấn đề này, một số chương trình phức tạp hơn đã được xây dựng bởi các tác giả [2], [4]. Ở đây, gạch được mô phỏng là phần tử liên tục, trong khi đó mạch vữa xây được mô phỏng bằng phần tử tiếp xúc. Mặc dù phương pháp mô phỏng khá tốt quá trình làm việc của khối xây nhưng rất phức tạp trong tính toán và đòi hỏi nhiều thời gian cũng như bộ nhớ của máy tính. Để giải quyết những vấn đề này, một số nhà nghiên cứu đã sử dụng mô hình phần tử riêng [5]. Với phương pháp này gạch xây được mô phỏng là phần tử liên tục, còn ứng xử cơ học của vữa xây và mạch xây được mô phỏng bằng các phần tử không liên tục.

Trong bài báo này tác giả sử dụng chương trình UDEC (Universal Distinct Element Code) của hãng Itasca [6] được xây dựng trên cơ sở phương pháp phần tử rời rạc (Distinct Element Method) để mô

phỏng quá trình làm việc của tường gạch có khoảng trống là cửa sổ. Đặc điểm chính của mô hình phần tử rời rạc là có thể mô phỏng sự không liên tục của khối xây - những yếu tố đóng vai trò quan trọng trong các quy luật cơ học của khối xây.

2. Xây dựng mô hình khối xây gạch

2.1. Mô hình cơ học của gạch xây

Trong chương trình UDEC, trước tiên chúng ta mô phỏng một vùng tương ứng với vùng cần tính toán. Sau đó mô hình được chia thành các khối nhỏ (tương ứng với viên gạch) bởi các đường biên thể hiện tính không liên tục (đặc trưng cho vữa xây). Mỗi khối nhỏ (viên gạch) có thể xem là khối cứng hoặc có khả năng biến dạng. Các khối cứng thì không thay đổi hình dạng khi chịu tải trọng tác động [7]. Mô hình khối cứng thường sử dụng khi ứng xử cơ học của tường xây được quyết định bởi các mạch vữa xây, còn vật liệu gạch có độ bền lớn và khả năng biến dạng nhỏ. Ngoài ra, các viên gạch còn có thể được mô phỏng là các phần tử có thể bị biến dạng. Biến dạng của khối xây phụ thuộc vào số lượng phần tử được chia trong mô hình tính [6].

Xem xét sự dịch chuyển theo một phương của viên gạch cứng tuyệt đối tức là không có khả năng biến dạng có trọng lượng m chịu tác động của véc-tơ lực $F(t)$. Theo định luật thứ hai Niu-tơn về chuyển động, tại thời điểm $t=0$ viên gạch sẽ có gia tốc a thỏa mãn điều kiện:

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{F}{m} \quad (1)$$

Trong đó: u - Vận tốc; t - Thời gian.

Sự dịch chuyển của các viên gạch là do có sự tác động của ngoại lực nào đó chưa biết theo phương trình sau:

$$\ddot{u}(t+\Delta t/2) = \ddot{u}(t-\Delta t/2) + \frac{F(t)}{m} \Delta t \quad (2)$$

Trong đó $F^{(t)}$ là véc-tơ của tổng các lực tác dụng. Ngoài ra, sau mỗi bước tính, vị trí của viên gạch được xác định theo biểu thức sau [8]:

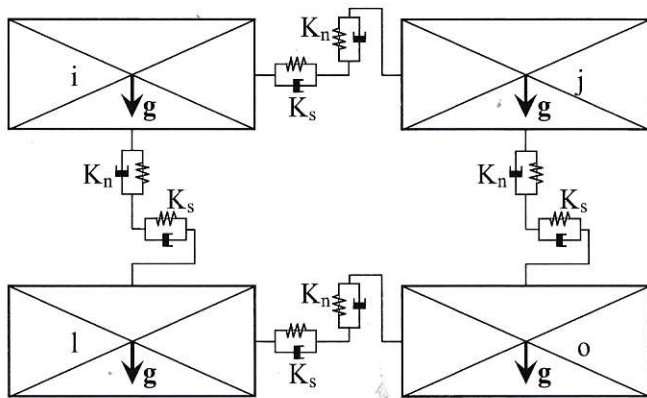
$$x_i^{(t+\Delta t)} = x_i^{(t)} + \dot{x}_i^{(t+\Delta t)} \Delta t; \quad (3)$$

$$\theta^{(t+\Delta t)} = \theta^{(t)} + \dot{\theta}^{(t+\Delta t)} \Delta t.$$

Trong đó x_i là tọa độ trọng tâm của viên gạch và θ là góc xoay xung quanh trọng tâm của viên gạch. Quá trình tính toán được thực hiện cho từng viên gạch theo từng bước tính. Theo cách này, đối với bài toán tĩnh, tất cả các viên gạch trên tường xây sẽ được tính toán và quá trình tính toán sẽ kết thúc khi đạt được trạng thái cân bằng ($\Sigma F=0$) hoặc khi có sự phá hủy xuất hiện. Chu trình tính toán này cũng được áp dụng cho các phần tử có khả năng biến dạng, mà trong đó sự dịch chuyển của các phần tử cũng được tính toán trong từng bước tính.

2.2. Mô hình cơ học của vữa xây

Các mạch vữa xây được đặc trưng bằng các điểm liên kết ở các cạnh hoặc các góc của viên gạch [7]. Những điểm liên kết này được đặt ở trên toàn bộ chu vi của viên gạch. Tại mỗi điểm liên kết áp dụng hai lò xo liên kết để có thể truyền lực pháp tuyến và tiếp tuyến từ viên gạch này sang viên gạch kia như trên sơ đồ hình H.1.



H.1. Sơ đồ biểu diễn mối liên kết theo phương pháp tuyến (K_n) và tiếp tuyến (K_s)

Khi mặt tiếp xúc có độ dày bằng không, thì khối này có khả năng “xuyên” qua khối kia dưới tác dụng của lực pháp tuyến. Sự “xuyên” qua đó được điều khiển bởi độ cứng của lò xo. Trong thực tế không xảy ra khả năng viên gạch này xuyên qua viên gạch liền kề, do đó sự xuyên qua đó chỉ có ý nghĩa về mặt toán học [6].

Mô hình cơ học của mạch vữa xây theo phương pháp tuyến được thể hiện qua biểu thức sau:

$$\Delta \sigma_n = -k_n \cdot \Delta u_n. \quad (4)$$

Trong đó: k_n - Độ cứng theo phương pháp tuyến của liên kết, $\Delta \sigma_n$ - Độ gia tăng ứng suất pháp và Δu_n - Độ gia tăng chuyển vị pháp tuyến.

Tương tự như vậy, mô hình cơ học theo phương tiếp tuyến cũng được điều khiển bởi độ cứng tiếp tuyến k_s theo phương trình sau:

$$\Delta \tau_s = -k_s \cdot \Delta u_s. \quad (5)$$

Trong đó: $\Delta \tau_s$ - Độ gia tăng ứng suất tiếp; Δu_s - Độ gia tăng chuyển vị.

Giả sử T là độ bền kéo của vữa xây. Nếu T vượt quá giá trị ứng suất pháp: $\sigma_n < T$ thì $\sigma_n = 0$. Đối với thành phần ứng suất tiếp, sử dụng định luật Cu-lông để thể hiện sự liên kết giữa các khối. Như vậy, sự trượt giữa các viên gạch sẽ xảy ra khi lực tiếp tuyến hoặc lực cắt tại vị trí liên kết vượt quá giá trị tới hạn độ bền cắt của vật liệu theo biểu thức sau:

$$|\tau_s| \leq C + \sigma_n \tan \varphi = \tau_{\max}. \quad (6)$$

Trong đó: C - Lực dính kết; φ - Góc ma sát trong của vữa xây.

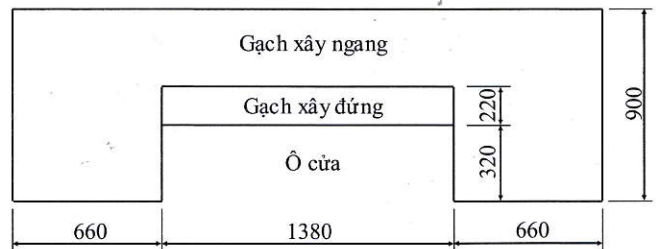
Ngoài ra, nếu

$$|\tau_s| \geq \tau_{\max} \text{ thì:} \quad (7)$$

$$\tau_s = \text{sign}(\Delta u_s) \cdot \tau_{\max}. \quad (8)$$

2.3. Xây dựng mô hình tính bằng chương trình UDEC

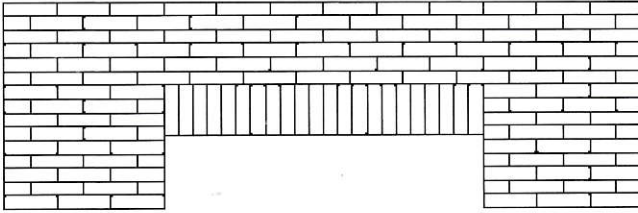
Sơ đồ bài toán khối tường xây với ô cửa có chiều rộng 1,38 m thể hiện như trên hình H.2. Tường được xây bằng các lớp gạch nằm ngang, riêng phần dầm của ô cửa được xây bằng một lớp gạch đứng.



H.2. Sơ đồ hình học của bài toán khối xây và ô cửa (đơn vị tính: mm)

Mô hình được xây dựng trong chương trình UDEC theo đúng kích thước như trên hình H.3. Mỗi viên gạch có kích thước bằng đúng kích thước thực tế: dài×rộng×cao=210×100×50 mm. Chiều dày mạch vữa xây là 10 mm. Do chiều dày lớp vữa xây được mô phỏng bằng mặt tiếp xúc không có chiều dày nên kích thước của viên gạch được mô phỏng theo kích thước thực cộng với chiều dày của lớp vữa xây.

Mô hình thích hợp để mô phỏng quá trình làm việc của các viên gạch là mô hình có khả năng biến dạng. Mô hình cơ học của khối xây là mô hình đàn hồi tuyến tính, do đó sự trượt dọc theo mạch vữa sẽ là cơ chế chủ yếu gây ra phá hủy. Mô hình cơ học của vữa xây phải đặc trưng cho các tính chất cơ lý của vữa. Mô hình trượt Cu-lông được sử dụng để mô phỏng sự liên kết của vữa với gạch.



H.3. Mô hình khối xây bằng UDEC

Trong mô hình này cần phải đưa vào các thông số như độ cứng đàn hồi, góc ma sát trong, lực dính kết, góc trương nở và độ bền kéo của vữa xây. Nếu độ bền kéo hoặc độ bền cắt vượt quá giới hạn tại một điểm nhất định thì độ bền kéo và lực dính kết sẽ giảm về không (0) tại vị trí đó. Sự giảm này xảy ra đột ngột. Ứng suất cắt chỉ xuất hiện khi có thành phần ứng suất pháp trên mặt tiếp xúc. Các tham số cơ học đặc trưng của gạch và vữa xây được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Đặc trưng cơ lý của gạch và vữa xây

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Gạch		
Kích thước: D×R×C	mm	210×100×50
Khối lượng riêng	kg/m ³	2000
Mô đun biến dạng thể tích	MPa	4838
Mô đun chống cắt	MPa	3781
Vữa xây		
Độ cứng pháp tuyến	MPa/m	82.000
Độ cứng tiếp tuyến	MPa/m	36.000
Lực dính	MPa	0,37
Góc ma sát trong	Độ	37
Độ bền kéo	MPa	0,45

Tải trọng phân bố đều tác dụng từ trên xuống vào biên của mô hình cho đến khi phá hủy xảy ra. Sự lan truyền vết nứt sau mỗi lần tăng tải được ghi lại trong chương trình. Kết quả mô phỏng quá trình phát triển vết nứt trong khối xây và kiểu phá hủy được trình bày ở phần dưới đây.

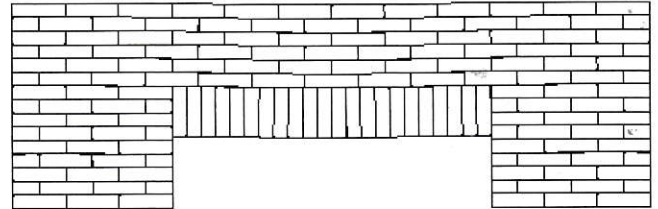
2.4. Kết quả nứt do uốn

Khi dầm ngang chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều bên trên thì giá trị mô men lớn nhất xuất hiện ở chính giữa dầm. Trên hình H.4 thể hiện kết quả mô phỏng bằng chương trình UDEC. Kết quả cho thấy, ở giai đoạn đầu chịu tải các vết nứt do uốn xuất hiện trong vùng có mô men lớn nhất. Ban đầu các vết nứt hình thành chủ yếu ở các mạch vữa ngang và một vết nứt dọc xuất hiện trong phần gạch xây đứng ở giữa dầm là vị trí có giá trị mô men lớn nhất.

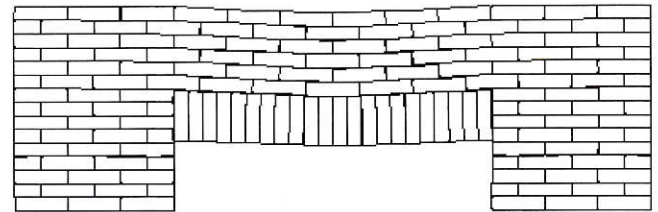
2.5. Kết quả sự lan truyền các vết nứt xiên

Khi tải trọng tác dụng tiếp tục tăng lên, các vết nứt xiên đã bắt đầu xuất hiện trên các mạch vữa ở

trên của lớp gạch đứng. Kết quả mô phỏng sự phát triển các vết nứt xiên thể hiện trên hình H.5. Kết quả cho thấy các vết nứt xiên hình thành ở cả hai đầu của khung cửa và lan truyền lên phía trên, trong khi đó phần tường còn lại giữa các vết nứt tạo thành vòm giữa khung cửa. Ngoài ra các vết nứt ngang được hình thành trước đó tăng lên là kết quả của sự gia tăng chuyển vị xoay trong mặt phẳng.



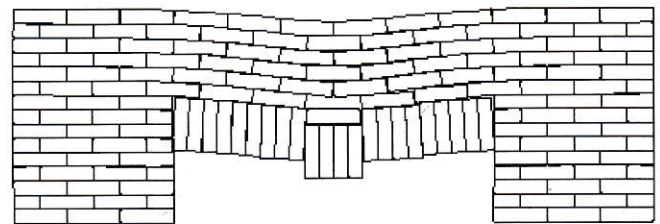
H.4. Sự hình thành các vết nứt ngang và dọc ban đầu



H.5. Sự lan truyền các vết nứt trong tường khi tải trọng tác dụng tăng lên

2.6. Mạng vết nứt khi phá hủy

Hệ thống vết nứt hình thành trước khi xảy ra phá hủy được thể hiện như trên hình H.6. Khi tải trọng tác dụng tiếp tục tăng lên, các vết nứt xiên và ngang mở rộng đột ngột ở hai đầu và tách ra khỏi phần còn lại dẫn đến sập đổ khối xây. Có thể nhận thấy biến dạng tập trung trong một số phần tử tiếp xúc do sự tập trung của ứng suất kéo và cắt.



H.6. Mạng vết nứt trong tường tại thời điểm phá hủy

3. Kết luận

Sự hình thành và phát triển của vết nứt trong khối tường gạch xây bên trên ô cửa của tòa nhà được nghiên cứu mô phỏng bằng mô hình phần tử rời rạc (sử dụng chương trình UDEC). Khi không sử dụng các dầm đỡ trên các ô cửa trong các tòa nhà thì hiện tượng nứt tường thường hình thành bên trên ô cửa và lan truyền cho đến khi bị phá

hủy. Kết quả mô phỏng cho thấy, cơ chế hình thành và phát triển vết nứt có thể chia thành ba giai đoạn: nứt ban đầu do chịu uốn chủ yếu là các vết nứt xuất hiện trên các mạch vữa ngang; khi tải trọng tác dụng tăng lên các vết nứt lan truyền tạo thành mạng nứt xiên; các vết nứt xiên mở rộng khi tải trọng tác dụng tiếp tục tăng dẫn đến sụt đổ khối gạch xây phía trên ô cửa. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. C. Dialer, "Basic Behaviour of Masonry: Case Studies, Alternative Approaches and Modelling Hints", Technology, Law and Insurance, Routledge/Taylor & Francis Group, Germany, Vol. 4, 131-136, 1999.
2. J.G. Rots, "Structural Masonry-An Experimental Numerical Basis for Practical Design Rules", A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 96-106, 1997.
3. P.B. Lourenço, "Current experimental and numerical issues in masonry research", in Proceedings of the International Workshop on Masonry Walls and Earthquakes, P.B. Lourenço et al. (Editors), Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 119-136, 2004.
4. H.R. Lotfi, P.B. Shing, "Interface Model Applied to Fracture of Masonry Structures," Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 120, no. 1, 63-80, 1994.
5. V. Sarhosis, W. Garrity and Y. Sheng, "DE modelling of masonry wall panels with openings", Proceeding of the 9th international conference on computational structures technology, Athens, 2-5 September, 2008.
6. ITACA Consulting Group, "Theory and Background", Universal Distinct Element Code, ITASCA Consulting Group Inc., Minneapolis, Minnesota, USA, 2004.
7. ITACA Consulting Group, "User's Guide", Universal Distinct Element Code, ITASCA Consulting Group Inc., Minneapolis, Minnesota, USA, 2004.
8. Y. Zhuge, F. Jin, S. Hunt, "The Prediction of Damage to Masonry Houses caused by Foundation Movements", Advances in Structural Engineering, Vol. 7, No.1, 84, 2004.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo:
các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Các tường xây trong các tòa nhà thường để lại khoảng trống để làm cửa sổ hoặc cửa ra vào. Khi đó, cần sử dụng các dầm ngang để đỡ tải trọng phía trên ô cửa. Các dầm ngang có thể được làm từ gỗ, đá, thép, bê tông, bê tông cốt thép hoặc khối gạch xây. Bài báo trình bày mô hình tính hai chiều bằng phương pháp phần tử rời rạc để mô phỏng biểu hiện của tường gạch xây có khoảng trống ô cửa sổ là 1,38 m, chịu tác dụng của tải trọng tĩnh thẳng đứng, phân bố đều, trong mặt phẳng. Kết quả cho thấy mô hình phần tử rời rạc hoàn toàn thích hợp để mô phỏng các giai đoạn khác nhau như sự phát triển vết nứt ban đầu, sự lan truyền vết nứt khi tăng tải trọng và dạng phá hủy của tường gạch xây.

Research on crack propagation in masonry wall with openings by distinct element method

SUMMARY

Openings are often required in the masonry walls of buildings to accommodate windows, doors or services. A horizontal beam is usually required to support the load above the opening. Typically a horizontal beam may be of timber, stone, steel, concrete, reinforced concrete or brickwork construction. This paper describes the two dimensional computational model (distinct element - UDEC) to simulate the behaviour of a single unreinforced brickwork wall panel with a 1.38 m opening subjected to vertical, uniform distribution, in-plane static loading. The results show that the distinct element model is most suitable to simulate the different stages of behaviour from initial crack development, crack propagation at stages of increased loading and the mode of failure of masonry wall.

Ngày nhận bài: 18/09/2019

Ngày gửi phản biện: 18/12/2019

Ngày nhận phản biện: 25/04/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/06/2020

Từ khóa: tường gạch; khoảng trống; dầm ngang; mô hình tính hai chiều; phương pháp phần tử rời rạc; mô phỏng; vết nứt; phá hủy



1. Đạo không nằm trên bầu trời. Đạo nằm trong tim. Đức Phật.

2. Nếu tất cả mọi người cùng nhau tiến lên phía trước, thì thành công sẽ tự nó đến. Henry Ford.

VTH sưu tầm