

TỔNG QUAN VỀ VIỆC NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TƯỜNG CHÈN ĐẾN ỨNG XỬ CỦA KHUNG BTCT

AN OVERVIEW OF THE RESEARCH OF THE EFFECT OF MASONRY INFILLS ON THE BEHAVIOR OF INFILLED RC FRAMES

ThS. Bùi Ngọc Dũng

Khoa Xây dựng - Trường ĐHXD Miền Tây

Email: buingocdung@mtu.edu.vn

Điện thoại: 0984 925 637

Ngày nhận bài: 22/11/2022

Ngày gửi phản biện: 07/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 19/12/2022

Tóm tắt:

Bài báo giới thiệu tổng quan các công trình nghiên cứu về ảnh hưởng của tường chèn đến sự làm việc của khung. Hai mô hình thường được sử dụng khi phân tích khung có kể đến tường xây chèn, đó là mô hình liên tục và mô hình đơn giản (thay thế tường chèn bằng một thanh chống tương đương) của các tác giả trong và ngoài nước được giới thiệu. Ngoài ra bài báo cũng trình bày các kiểu phá hoại cũng như nguyên nhân phá hoại khung có tường xây chèn.

Từ khóa: tường chèn, bề rộng thanh chống, khung chèn, mô hình liên tục, mô hình đơn giản

Abstract:

This paper introduces an overview of research on the effect of masonry infills on the RC frame behavior. Two analysis models are often used for masonry infilled frames, which are micro model and macro model (infill is modeled by a compression diagonal strut) according to Vietnamese and foreign authors introduced. In addition, the paper also presents the types of damage and the damage causes of infilled RC frames.

Keywords: Massonry infill, equivalent strut width, infilled RC frames, micro model, macro model.

1. Đặt vấn đề

Tường xây chèn rất phổ biến trong các kết cấu khung. Các nghiên cứu cho thấy nó đóng góp một vai trò đáng kể vào độ cứng của khung khi chịu tải trọng ngang, dẫn đến làm giảm chuyển vị ngang ở đỉnh nhà. Tuy nhiên, việc làm tăng độ cứng cho khung cũng kéo theo làm giảm độ dẻo của kết cấu và làm giảm chu kì dao động, hệ quả là có thể làm tăng lực cắt đáy khi chịu tải trọng ngang. Bài báo giới thiệu các công trình nghiên cứu về ảnh hưởng của khung có tường xây chèn, những nguyên nhân phá hoại tường, khung, cũng như các mô hình phân tích thay thế tường chèn hiện nay.

2. Phân loại tường chèn

Tường chèn được phân thành 3 loại: tường yếu, tường trung bình, tường khỏe. Các thuật ngữ này nhằm để chỉ sự đóng góp của tường chèn vào độ cứng của khung.

Về mặt định tính: Tường yếu đóng vai trò bao che và gần như không đóng góp vào độ cứng của khung khi chịu tải ngang, tường trung bình và tường khỏe sẽ làm tăng độ cứng của khung. Nếu tường khỏe có mô đun đàn hồi lớn hơn mô đun của vật liệu khung, khi chịu tải khung sẽ bị phá hoại trước. Tường yếu là các loại có bề dày nhỏ, có thể không được gia cường bằng hệ giằng và có mô đun đàn hồi bé, trong khi tường khỏe là loại tường có độ dày lớn, có thể được gia cố thêm các hệ giằng và có mô đun đàn hồi lớn. Tường trung bình được định nghĩa là khoảng giữa các đặc trưng độ dày và mô đun của tường yếu và tường khỏe. Tùy thuộc vào cấu tạo và độ mạnh yếu của tường sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc khác nhau của khung.

Về mặt định lượng: phân loại tường yếu, tường trung bình và tường khỏe đã được giới thiệu bởi Liberatore [12] trên cơ sở so sánh với thực nghiệm như bảng 1, và G. Baloevic [1], bảng 2.

Bảng 1: Phân loại tường chèn yếu, trung bình, khỏe theo Liberatore

Loại tường	Gạch	Vữa	Đặc trưng cơ học		
			σ (MPa)	τ (MPa)	E_w (MPa)
Yếu	Gạch rỗng, dày 120mm	Xi măng + cát + vôi	1,2	0,2	1050
Trung bình	Gạch rỗng, dày 145mm	Xi măng + cát	2,1	0,4	1880
Khỏe	Gạch đặc, dày 120mm	Xi măng + cát	11,5	0,82	6000

Với: σ - cường độ chịu nén của tường
 τ - cường độ chịu cắt của tường
 E_w - mô đun đàn hồi của tường

Bảng 2: Phân loại tường chèn yếu, khoẻ theo G. Baloevic

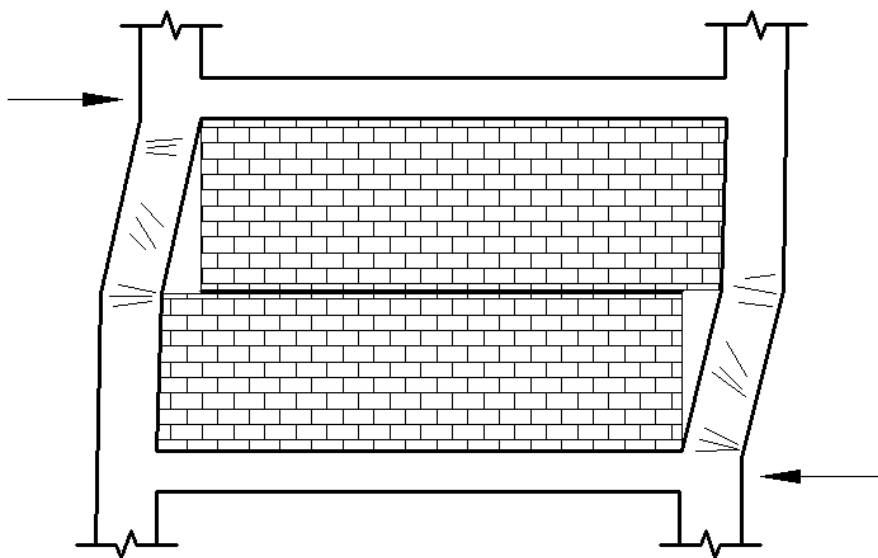
Loại tường	Mô đun đàn hồi (MPa)	Hệ số Poisson	Cường độ chịu nén (MPa)	Cường độ chịu cắt (MPa)
Yếu	1000	0,15	1	0,03
Khỏe	5000	0,15	5	0,15

3. Các kiểu phá hoại của khung có tường chèn

Dưới tác dụng của tải trọng, khung bê tông cốt thép có tường chèn sẽ bị phá hoại theo các kiểu khác nhau, phụ thuộc vào tương quan các đặc trưng cơ học của tường và khung. Các kiểu phá hoại đã được thí nghiệm bởi P.G. Asteris cùng các đồng sự [14] và được tóm tắt lại như sau:

3.1. Phá hoại cắt trượt của tường

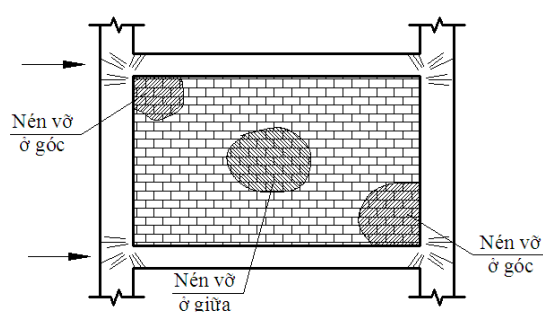
Nguyên nhân chính dẫn đến sự phá hoại cắt trượt của tường là do vữa yếu trong khi khung và nút khung cứng:



Hình 1. Phá hoại cắt trượt của tường chèn

Đầu tiên, dưới tác dụng của tải trọng ngang, phần lớn lực cắt sẽ được chịu bởi khung và tường chèn, khi lực ngang tăng dần, nếu liên kết giữa mạch vữa và gạch là yếu, khối xây sẽ bị trượt dẫn đến sự xuất hiện lực cắt trong cột, hình 1.

3.2. Phá hoại nén vữa dải chéo trong tường chèn



Hình 2. Phá hoại nén vữa dải chéo

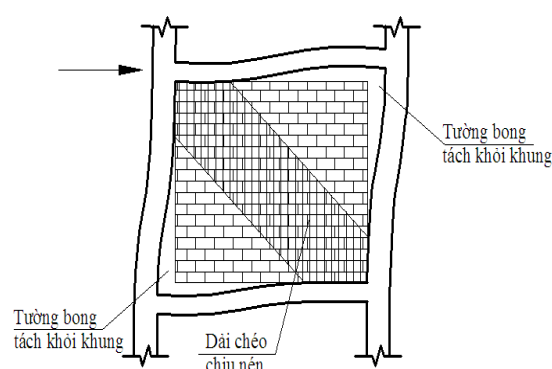
Kiểu phá hoại nén vữa ở góc do tường yếu, được bao bọc bởi khung có nút yếu và các bộ phận dầm cột cứng. Trong khi đó nén vữa ở giữa do nguyên nhân tường xây quá mảnh, dưới tác dụng của tải trọng sẽ làm tường mất ổn định ngoài mặt phẳng của nó, dẫn đến tường bị phá vỡ.

3.3. Phá hoại khung bê tông cốt thép

Sự phá hoại khung liên quan đến khung yếu hoặc khung có các nút yếu, nhưng các bộ phận dầm cột cứng, trong khi đó tường trong khung khỏe, khi chịu tác dụng của tải trọng (đứng và ngang) khung sẽ bị phá hoại trước tường. (xem hình 4)

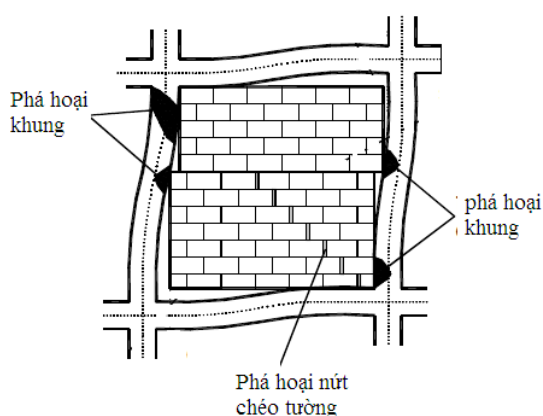
3.4. Phá hoại bong tách giữa khung bê tông cốt thép và tường chèn

Dưới tác dụng của tải trọng ngang, ban đầu tường và khung vẫn tiếp xúc với nhau, khi tải trọng tăng đến một mức độ nào đó mặt tiếp xúc bắt đầu bị trượt và dần bong tách ra, dải chéo chịu nén hình thành.



Hình 3. Phá hoại bong tách giữa khung và tường

3.5. Phá hoại nứt chéo tường do ứng suất kéo làm tách vữa và gạch



Hình 4. Phá hoại bong tách giữa khung và tường

Sự xuất hiện vết nứt đầu tiên trong khối xây là do ứng suất kéo và ứng suất cắt trong

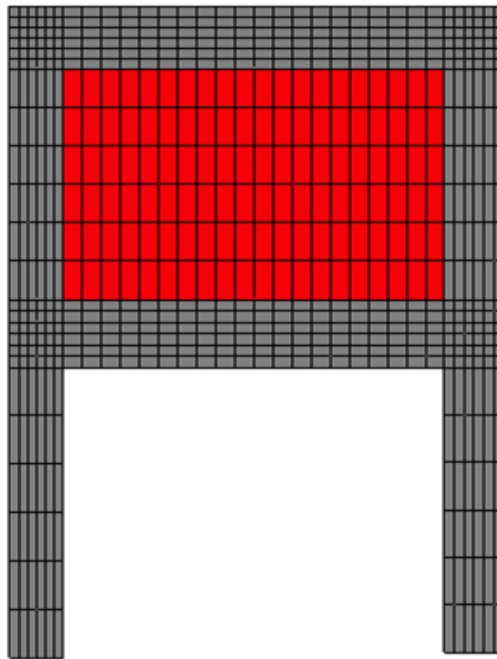
viên gạch gây ra, khi tải tăng dần lên, các ứng suất này phát triển, các khe nứt mở rộng làm xuất hiện hiện tượng uốn dọc của các dải chịu nén, cộng với tác dụng của tải dài hạn thì biến dạng tăng theo thời gian làm cho khối xây dần sụp đổ.

4. Một số mô hình phân tích

Để phân tích khung có tường chèn bằng phương pháp phần tử hữu hạn, hai mô hình thường được sử dụng, đó là mô hình liên tục và mô hình đơn giản hoá.

4.1. Mô hình liên tục (micro model)

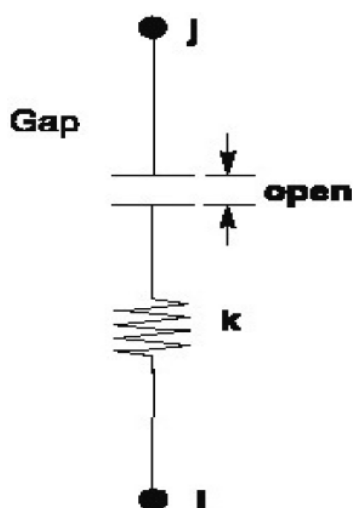
Mô hình liên tục, trong đó khung, gạch xây, và vữa được rời rạc hoá bằng các phần tử 2D hay 3D, đã được thực hiện bởi Combescure, Pegon [2], D'Ayala, Worth, Riddle [3], Koutromanos và cộng sự [8], Manos, Soulis, Thauampeteh [10], Mohyeddin, Goldsworthy, Gad [11].



Hình 5. Mô hình liên tục (micro model)

Bề mặt tiếp xúc giữa khung và tường chèn được mô hình hoá bằng các phần tử tiếp xúc (Gap element), là phần tử chỉ chịu nén, không chịu kéo.

Trong SAP2000, hình 6, mô tả một phần tử tiếp xúc, trong đó i và j là các điểm nút của bộ phận tiếp xúc, k là độ cứng của phần tử.



Hình 6. Phần tử liên kết Gap element.

Vấn đề ở đây là phải xác định độ cứng k của phần tử liên kết. Độ cứng k của phần tử tỉ lệ thuận với mô đun đàn hồi của tường chèn.

Trong SAP2000, độ cứng k được gợi ý lấy bằng 10^2 - 10^4 độ cứng của phần tử mà nó liên kết (xem SAP2000>> help>> Documentation>> Analysis Reference Manual)

Theo Dorji [4], Mối quan hệ giữa độ cứng tường chèn và độ cứng tiếp xúc (gap stiffness) được cho bởi phương trình sau:

$$k = 0,0378K_i + 347$$

$$K_i = E_w \times t \text{ (N/mm)}$$

Trong đó:

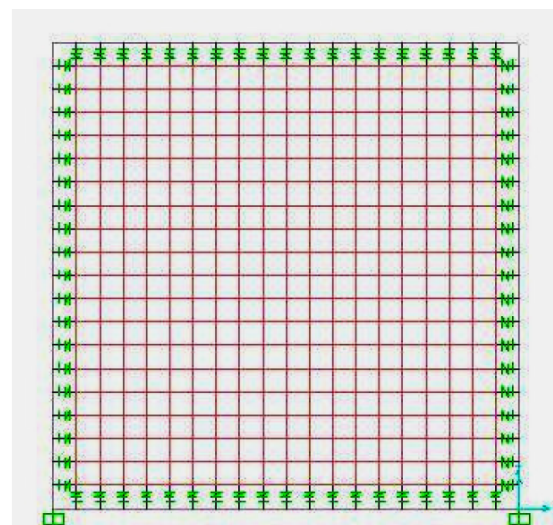
k – độ cứng tiếp xúc

E_w – mô đun đàn hồi của tường chèn

t – bề dày của tường chèn

Doudoumis [5] đã dùng phần mềm SAP2000, thí nghiệm cho khung bê tông chịu lực nhà đơn tầng, đơn nhịp có tường

xây chèn, như trong hình 7. Ở mô hình này, mặt liên kết giữa khung và tường chèn được mô phỏng bởi các phần tử tiếp xúc có khả năng chuyển tải trọng tới khối xây chèn, các bộ phận kết cấu (dầm và cột) được mô hình hóa bằng các phần tử thanh, trong khi đó tường xây được mô hình hóa với các phần tử tấm. Tường chèn bên trong được tạo thành mắt lưới với các phần tử hữu hạn kích thước vuông 150mm nhằm để tăng độ chính xác của kết quả.



Hình 7. Mô hình liên kết Gap element của Doudoumis [5]

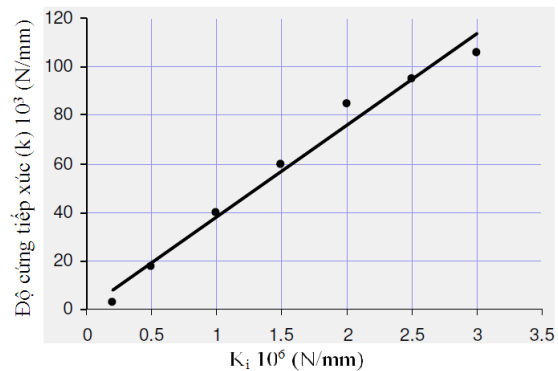
Do thiếu thông tin xác định về hệ số ma sát tiếp xúc giữa tường và khung bê tông, Doudoumis đã sử dụng hai phép phân tích riêng biệt, một với hệ số ma sát thấp nhất bằng không và một với hệ số ma sát lớn nhất bằng một. Quy trình được lặp đi lặp lại đối với các cường độ khác nhau của vật liệu chèn theo mô đun đàn hồi (E_w) từ 1 GPa tới 15 GPa, trong khi các tham số khác,

chẳng hạn tải trọng ngang, đặc tính vật liệu, tiết diện của các bộ phận bê tông và độ dày của tường chèn được giữ nguyên và các kết quả được chỉ ra ở bảng 3.

Bảng 3. Độ cứng tiếp xúc (k) tính bằng N/mm tương ứng với hệ số ma sát ($\mu = 0$ và $\mu = 1$)

$K_i = E_w \times t$ 10^6 (N/mm)	Độ cứng k trong trường hợp hệ số ma sát $\mu = 0$ (N/mm)	Độ cứng k trong trường hợp hệ số ma sát $\mu = 1$ (N/mm)
0.2	1600	4500
0.5	12500	23000
1.0	30000	50000
1.5	50000	70000
2.0	63000	107000
2.5	70000	120000
3.0	82000	130000

Độ cứng tiếp xúc trong bảng 3 tính cho hai trường hợp cực hạn, tiếp xúc không ma sát và tiếp xúc ma sát 100% tại mặt tiếp xúc. Các trường hợp cực hạn này, có thể không tồn tại trong thực tế do sự có mặt của vữa tại mặt tiếp xúc giữa khung và tường chèn là có ma sát, tuy nhiên giá trị ma sát không hoàn toàn bằng 100%. Hình 8 chỉ ra độ cứng tiếp xúc trung bình cần thiết để mô phỏng độ cứng tiếp xúc ứng với các cường độ khác nhau của vật liệu tường chèn, xấp xỉ tương ứng với hệ số ma sát trung bình $\mu = 0.5$.



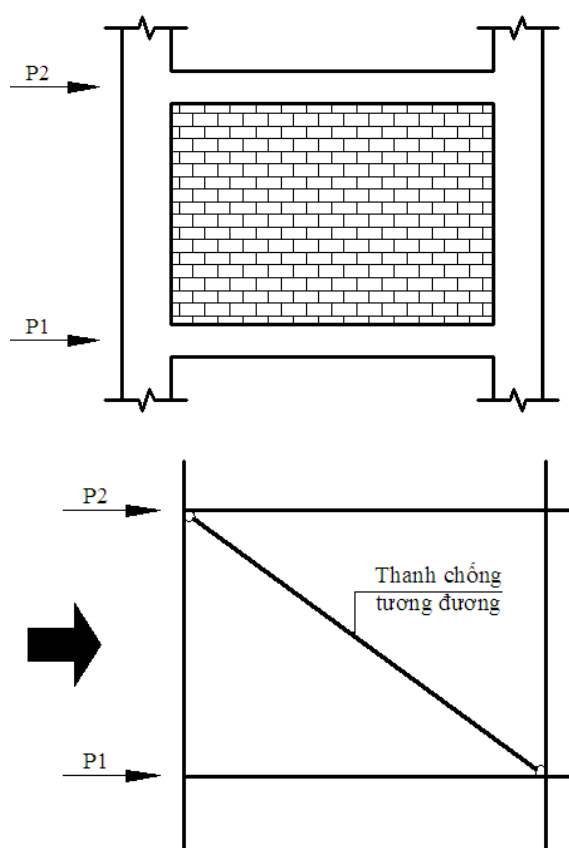
Hình 8. Giá trị độ cứng tiếp xúc (k) trong trường hợp $\mu = 0.5$ của Doudoumis[3]

Ưu điểm của mô hình liên tục cho phép khảo sát sự phân bố ứng suất trong khung cũng như trong tường chèn, đặc biệt ở các vùng tiếp xúc lân cận giữa khung và tường chèn, nhấn mạnh những ảnh hưởng cục bộ lên kết cấu. Vật liệu xây chèn được đánh giá như một vật liệu dị hướng đồng nhất, với hai mô đun đàn hồi theo phương x và y khác nhau. Ngoài ra, kết quả phân tích nội lực và chuyển vị trong kết cấu theo mô hình này cũng có độ chính xác cao vì sự mô phỏng chính xác và sử dụng ít các giả thiết hơn so với mô hình đơn giản hóa. Tuy nhiên, nhược điểm của mô hình này là dùng quá nhiều phần tử, dẫn đến số lượng ẩn của bài toán tăng, do đó sẽ tăng thời gian tính toán, đặc biệt khi phân tích dẻo, vì thế các mô hình đơn giản được đề cập để thay thế cho mô hình liên tục.

4.2. Một số mô hình đơn giản hóa (macro models)

Mô hình thay thế tường chèn bằng một thanh chống chéo tương đương

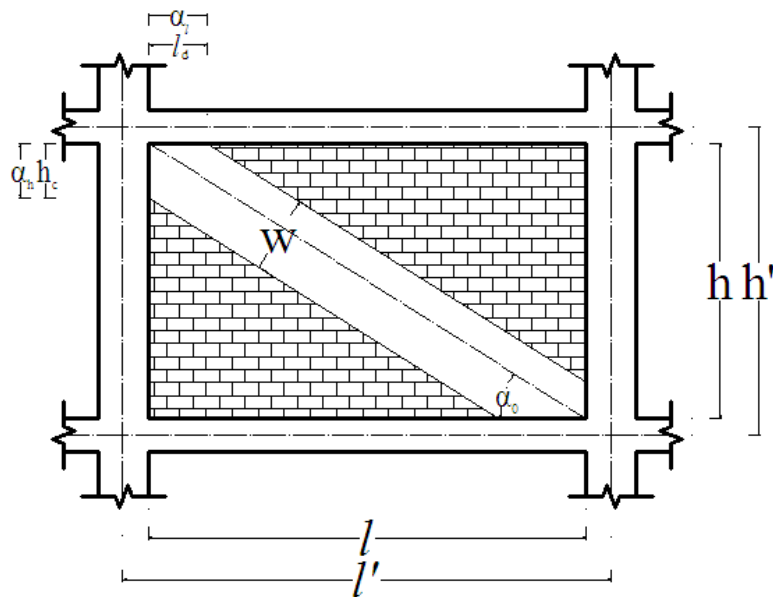
(hình 9) đã được giới thiệu đầu tiên bởi Polyakov (1960). Công thức xác định bề rộng của thanh chống tường đương đã được nghiên cứu và phát triển bởi Stafford Smith [15], Mainstone [9], Lý Trần Cường [13].... có kể đến ảnh hưởng của các tham số vật lí (hệ số ma sát giữa tường chèn và khung, loại vật liệu và đặc trưng cơ học của tường chèn, tương quan độ cứng giữa tường và khung, độ lớn của tải trọng đứng và ngang, ...) và các tham số hình học (tỉ lệ các cạnh của tường chèn, chiều dài tiếp xúc giữa tường và khung, ảnh hưởng của kích thước và vị trí lỗ cửa, khung thấp tầng và khung cao tầng...).



Hình 9. Mô hình thay thế tường chèn bằng thanh chống tường đương.

Hiện nay có nhiều mô hình thay thế tường chèn (bằng một thanh chống chéo tường đương, hoặc nhiều thanh chống). Phạm vi bài báo chỉ trình bày mô hình cũng như công thức tính bề rộng của thanh chống chéo thay thế tường chèn bằng một thanh chống chéo tường đương.

Các tham số hình học để xác định bề rộng thanh chống được khái quát như hình 10:



Hình 10. Các tham số hình học cơ bản.

a) Bề rộng thanh chống theo Holmes [7]:

Holmes [7] đã nghiên cứu thực nghiệm khung một tầng một nhịp có tường chèn, chịu các tải trọng trong mặt phẳng của tường, và đã đề nghị bề rộng của thanh chống tương đương bằng 1/3 chiều dài đường chéo.

b) Bề rộng thanh chống theo Smith [15]:

Bề rộng thanh chống tương đương được tính theo phương trình

$$w = \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_l^2}$$

Trong đó:

$$\alpha_h = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f \cdot I_b \cdot l}{E_w \cdot t \cdot \sin 2\theta}}$$

$$\alpha_l = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f \cdot I_c \cdot h}{E_w \cdot t \cdot \sin 2\theta}}$$

Với: E_f - Mô đun đàn hồi của vật liệu khung

E_w - Mô đun đàn hồi của vật liệu chèn

I_c và I_b - Lăn lượt là mô men quán tính tiết diện cột và dầm

l - Chiều dài tường chèn

t - Bề dày của tường chèn

c) Bề rộng của thanh chống theo Mainstone [9]:

Theo Mainstone, bề rộng thanh chống tương đương được tính như sau:

$$w = 0,175\sqrt{l^2 + h^2}(\lambda_h h)^{-0,4}$$

Trong đó l, h xem ở hình 10, λ_h tính theo: $\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot d}{4E_f \cdot I_c \cdot h} \sin 2\theta}$

d) Bề rộng của thanh chống theo FEMA 356 [6]:

Theo FEMA 356, bề rộng thanh chống tương đương được tính như sau:

$$w = 0,175(\lambda_1 h_{col})^{-0,4} r_{inf}$$

Trong đó: $\lambda_1 = \left[\frac{E_w t_{inf} \sin 2\theta}{4E_f I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$

Với: $h_{col} = h'$; $h_{inf} = h$; $\theta = \alpha_0$;

E_f – Mô đun đàn hồi của vật liệu khung

E_w – Mô đun đàn hồi của vật liệu chèn

I_{col} – Mô men quán tính tiết diện cột

t_{inf} – Bề dày của tường chèn

r_{inf} – Chiều dài đường chéo

4. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu tổng quan về các nghiên cứu khung BTCT khi kể đến ảnh hưởng của tường xây chèn từ trước đến nay (2022), một số kiểu phá hoại tường xây chèn trong khung, cũng như nguyên nhân dẫn đến sự phá hoại đó. Hai mô hình thường được sử dụng khi phân tích khung có kể đến tường xây chèn, đó là mô hình liên tục và mô hình đơn giản cùng với đó là các tham số vật lý (độ cứng tiếp xúc, hệ số ma sát...) của các tác giả trong và ngoài nước được giới thiệu.

Tài liệu tham khảo:

[1]. Baloević G, Radnić J, Harapin A (2013), "Numerical dynamic tests of masonry-infilled RC frames.", Engineering Structures, (50), 43-55.

[2]. Combesure D., Pegon P. (2000) Application of the local-to-global approach to the study of infilled frame structures under seismic loading. Nuclear Engineering and Design 196, 17-40

- [3]. D'Ayala D., Worth J., Riddle O. (2009) Realistic shear capacity assessment of infill frames : Comparison of two numerical procedures. *Engineering Structures* 31, 1745-1761.
- [4]. Dorji Jigme (2009), *Seismic performance of brick infilled RC frame structures in low an medium rise buildings in Bhutan*, Master thesis, Queensland University of Technology.
- [5]. Doudoumis I. N (2007), "*Finite element modelling and investigation of the behaviour of elastic infilled frame under monotonic loading.*", *Engineering Structures* (29), 1004-1024
- [6]. Federal Emergency Management Agency FEMA 356 (2000), "*Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*", American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [7]. Holmes M, "*Steel Frame with Brick work and Concrete infilling.*" *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1961, Vol.-19, pp.473-478.
- [8]. Koutromanos I., Stavridis A., Shing P.B., Willam K. (2011) Numerical modeling of RC frame subjected to seismic loads. *Computers and Structures* 89, 1206-1037
- [9]. Mainstone, "*On the Stiffness and Strength of Infilled Frames*", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. London, UK, supplement IV, paper 7360S; 1971. p. 57–90.
- [10]. Manos G.C., Soulis V.J., Thauampeteh J. (2012) The behaviour of masonry assemblages and masonry - infilled R/C frames subjected to combined vertical and cyclic horizontal seismic-type loading. *Advanced in Engineering Software* 45, 213-231
- [11]. Mohyeddin A., Goldsworthy H.M., Gad E.F. (2013) FE modeling of RC frames with masonry infill panels under in-plane and out-of-plane loading. *Engineering Structures* 51, 83-87.
- [12]. Liberatore L (2001), *Approcci innovativi in termini di energia e di spostamento per la valutazione della risposta sismica di strutture a pius gradi di libertas*, Ph.D. Dissertation Thesis, University of Rome "La Sapienza", Italy (in Italian).
- [13]. Lý Trần Cường (1991), *Sự làm việc đồng thời của khung BTCT với khối xây chèn dưới tác dụng của tải trọng ngang*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [14]. P.G. Asteris P.G, Kakaletsis D.J, Chrysostomou C.Z, Smyrou E.E (2011), "Failure Modes of In-filled Frames.", *Electronic Journal of Structural Engineering* (11), 11-20.
- [15]. Smith, "*Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multistorey Infilled Frames*", *Bldg Sci.*1967.