Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 2026, 20 (4V): 207–216

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA GIẰNG TƯỜNG ĐẾN SỰ LÀM VIỆC CỦA KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CHÈN TƯỜNG CHỊU TẢI TRỌNG NGANG

Đinh Văn Tùng[a,*], Nguyễn Trường Thắng[a], Trần Thế Long[b]

[a]*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam*
[b]*Công ty Cổ phần Xây dựng Sao Băng Việt Nam, tầng 9, tòa Minori, 67A Trương Định, phường Tương Mai, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 23/4/2026, Sửa xong 21/6/2026, Chấp nhận đăng 29/6/2026

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của giằng tường đến sự làm việc của khung bê tông cốt thép có tường xây chèn khi chịu tải trọng ngang trong giai đoạn đàn hồi bằng phương pháp mô phỏng số sử dụng phần mềm SAP2000 dựa trên các mô hình thực nghiệm khung có tường xây chèn của một nhà nghiên cứu người Bangladesh MD. Mahir Asif. Bốn mô hình khung bê tông cốt thép chèn tường chịu tải trọng ngang được xây dựng cho các trường hợp vật liệu tường xây chèn khác nhau có và không có giằng tường, trong đó khung bê tông cốt thép và tường xây chèn được mô hình hóa bằng phần tử tương đương và liên kết với nhau bằng các phần tử tiếp xúc phù hợp. Nghiên cứu này khảo sát quan hệ lực–chuyển vị, độ cứng ngang và sự phân bố nội lực trong các cấu kiện khung trong các mô hình khung bê tông cốt thép có tường xây chèn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Kết quả nghiên cứu cho thấy giằng tường ảnh hưởng đến sự làm việc của hệ khung có tường xây chèn về sự phân phối nội lực trong khung và độ cứng ngang cũng như khả năng chịu tải trọng ngang của hệ khung bê tông cốt thép có tường xây chèn.

Từ khoá: khung bê tông cốt thép; tường xây chèn; giằng tường; tải trọng ngang; mô hình số.

INVESTIGATING THE INFLUENCE OF MASONRY TIE BEAMS ON THE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE FRAMES SUBJECTED TO LATERAL LOADS

Abstract

This paper presents an investigation into the influence of masonry tie beams on the behavior of masonry-infilled reinforced concrete frames subjected to lateral loading in the elastic stage through numerical simulations performed using SAP2000 software. The numerical models were developed based on the experimental infilled frame specimens tested by the Bangladeshi researcher MD. Mahir Asif. Four numerical models of reinforced concrete frame–masonry infill systems were established for different masonry material properties, considering cases with and without masonry tie beams. In these models, the reinforced concrete frame and masonry infill were represented by equivalent elements and connected through appropriate interaction components. The study evaluates the force–displacement response, lateral stiffness, and internal force distribution of infilled reinforced concrete frames in the elastic stage. The results indicate that masonry tie beams significantly influence the structural behavior of masonry-infilled reinforced concrete frames, particularly in terms of internal force distribution, lateral stiffness, and lateral load-carrying capacity.

Keywords: reinforced concrete frame; infill masonry; masonry tie beam; lateral load; numerical simulation.

https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(4V)-16 © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Mở đầu

Khung bê tông cốt thép (BTCT) là loại kết cấu được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng ở Việt Nam và trên thế giới. Trong kết cấu này, các tấm tường xây chèn (TXC) thường được sử dụng với mục đích bao che và được thi công bằng các vật liệu khác nhau phụ thuộc vào yêu cầu sử dụng và vật liệu phổ biến ở địa phương.

[*]Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* tungdv@huce.edu.vn (Tùng, Đ. V., và cs.)

Khung BTCT có TXC được cấu thành từ khung BTCT và TXC. Sự làm việc của khung BTCT có TXC có nhiều nét khác biệt so với khung BTCT bởi hai kết cấu này có các ứng xử khác nhau khi chịu tác dụng của tải trọng. Khung BTCT có tính dẻo trong khi TXC có tính giòn. Độ cứng ngang của khung BTCT thường nhỏ hơn so với TXC do kích thước tiết diện phần tử thanh (dầm, cột) trong khung BTCT thường hạn chế hơn so với phần tử tấm TXC trong các công trình xây dựng. Nhiều công trình khoa học nghiên cứu về sự làm việc của khung BTCT chèn tường cho thấy rằng độ cứng ngang của khung tăng lên đáng kể khi kể đến sự làm việc của TXC [1–4]. Tuy nhiên, cho đến nay hầu hết các công trình xây dựng được thiết kế theo quan niệm bỏ qua độ cứng của TXC và chỉ coi TXC là tải trọng. Điều này thiên về an toàn nhưng chưa phản ánh đúng với độ cứng của khung, có thể dẫn đến sai số và lãng phí chi phí đầu tư xây dựng với các công trình quy mô lớn có nhiều TXC như chung cư, bệnh viện, trường học, v.v... Trên thế giới, nhiều quốc gia đã tích hợp lý thuyết tính toán khung BTCT chèn tường dựa trên các công trình nghiên cứu khoa học vào các tiêu chuẩn hoặc tài liệu kỹ thuật như: FEMA 306-1998 (Hoa Kỳ) [5], FEMA 356-2000 (Hoa Kỳ) [6], CSA S304.1-04-2004 (Canada) [7], Eurocode 8 (Châu Âu) [8], MSJC 2013 (Hoa Kỳ) [9], v.v.

Tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam về kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép TCVN 5573:2025 [10] - Tiêu chuẩn thiết kế đưa ra nhiều quy định về cấu tạo TXC trong công trình xây dựng trong đó có yêu cầu bổ sung kết cấu giằng ngang, giằng đứng BTCT đối với những mảng tường cao, dài để tăng độ bền, độ ổn định, độ cứng cho kết cấu TXC.

Khung BTCT có TXC đã được nghiên cứu đầu tiên bởi Polyakov [1] - một nhà nghiên cứu người Liên Xô (cũ) từ nửa cuối thế kỷ 20, ông đề xuất thay thế TXC bằng một thanh chéo tương đương và xem xét ứng xử của kết cấu khung chèn tường trong giai đoạn đàn hồi. Sau đó, nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước khác tiếp tục phát triển ý tưởng của Polyakov [1] khi nghiên cứu kết cấu khung BTCT có TXC trong giai đoạn đàn hồi và mở rộng cho ứng xử sau đàn hồi với các mô hình cải tiến khác nhau như tam tuyến tính, đa tuyến tính, ba thanh chéo tương đương. Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) với nhiều ưu điểm được khởi xướng bởi một số nhà khoa học như Mallick và Severn [2] năm 1967, sau đó được một số tác giả khác phát triển và cải tiến sử dụng như Jing và Liao [11] năm 1990, Doudoumis và Mitsopoulou [12] năm 1995, Dorji [13, 14] năm 2009... sử dụng mô hình vĩ mô (macro) mô phỏng khung chèn tường chịu tải trọng ngang. Gần đây, một số nhà khoa học đã sử dụng các phần mềm PTHH mạnh hơn như Abaqus và ANSYS thiết lập mô hình vi mô (micro) để nghiên cứu mô phỏng từng viên xây, từng mạch vữa của hệ kết cấu này để đánh giá khá chính xác ứng xử, tương tác tiếp xúc của các thành phần cũng như cơ chế phá hoại hệ kết cấu này so với thực nghiệm như Abdulla và cs. [15] năm 2017, Mollaei và cs. [16] năm 2022, Wang và cs. [17] năm 2024, v.v. Giằng tường BTCT là một thành phần không thể thiếu trong TXC trong một số trường hợp theo quy định hiện hành, nó được sử dụng phổ biến trong ngành xây dựng Việt Nam và trên thế giới. Giằng tường giúp tăng khả năng chịu lực, tăng sự ổn định của mảng tường và tăng độ cứng, độ ổn định tổng thể của hệ kết cấu khung BTCT có TXC. MD. Mahir Asif [18] đã thực hiện nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của giằng tường tới khung BTCT chèn tường dưới tác dụng của tải trọng lặp. Kết quả nghiên cứu cho thấy giằng tường có vai trò tăng khả năng chịu tải ngang của khung BTCT chèn tường từ 7 đến 23% tùy thuộc vào loại TXC được sử dụng. Ngoài ra, tác giả cũng cho rằng giằng tường cũng có vai trò quan trọng trong việc tăng độ dẻo, khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu khung BTCT có TXC.

Qua các nghiên cứu trên, có thể thấy cho đến nay các tác giả ngoài nước đã thực hiện nhiều nghiên cứu ứng xử của khung BTCT có TXC thuần túy với những hướng tiếp cận khác nhau. Nghiên cứu về ảnh hưởng của TXC thuần túy (tường gạch đất sét nung và tường gạch nhẹ AAC) đến ứng xử của khung BTCT có TXC đã được một số tác giả trong nước thực hiện với mô hình tính toán và thực

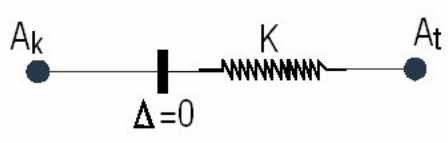
nghiệm khác nhau [4, 5, 19]. Trong đó, Lý Trần Cường [4] năm 1991 nghiên cứu ứng xử của hệ kết cấu trong giai đoạn đàn hồi, Đinh Lê Khánh Quốc [5] đề xuất mô hình tính toán khung chèn tường cải tiến và Phan Văn Huệ [19, 20] năm 2020 nghiên cứu lý thuyết kết cấu khung chèn tường chịu tải trọng động đất. Tuy nhiên, nghiên cứu về ảnh hưởng của giằng tường đến sự làm việc của khung BTCT chèn tường chịu tải trọng ngang chưa được thực hiện và đánh giá đầy đủ. Vì vậy, việc khảo sát ảnh hưởng của giằng tường đến sự làm việc của khung BTCT chèn tường chịu tải trọng ngang là vấn đề có ý nghĩa và cần thiết được nghiên cứu đánh giá.

MD. Mahir Asif [18] không đưa ra mô hình lý thuyết và cũng không thực hiện mô phỏng số mà đã tiến hành thực nghiệm trên bốn mẫu khung BTCT chèn tường tỷ lệ 1:2 với sự thay đổi của vật liệu tường chèn và sự xuất hiện của giằng tường. Trong nghiên cứu này, các mô hình khung BTCT chèn tường có cùng kích thước được xây dựng cho các trường hợp vật liệu TXC khác nhau có và không có giằng tường theo các mẫu thí nghiệm của MD. Mahir Asif [18]. Khung BTCT, giằng tường và TXC cũng được mô hình hóa bằng phần tử tương đương theo các giả thiết phù hợp. Từ đó các tác giả khảo sát ảnh hưởng của giằng tường đến sự làm việc của hệ khung có tường xây chèn về sự phân phối nội lực trong khung và độ cứng ngang cũng như khả năng chịu tải trọng ngang của hệ khung BTCT chèn tường.

2. Mô hình PTHH cho khung BTCT chèn tường và nghiên cứu thực nghiệm khung BTCT chèn tường của MD. Mahir Asif

Mô hình PTHH đã được các nhà nghiên cứu trước đây sử dụng để tính toán khung BTCT có TXC như Sachanski, Mallick và Severn [2] v.v., song điều kiện biên sử dụng chưa phù hợp với thực nghiệm về ứng xử của khung BTCT – TXC. Một số tác giả khác đã có xét đến hiện tượng tách ra của TXC và khung BTCT như P.G.Asteris [21]; I.N.Doudoumis và cs. [12]; J.Dorji và cs. [13, 14]. Các nghiên cứu thực nghiệm trước đây [1, 2] đã chỉ ra rằng khung BTCT và TXC tương tác với nhau thông qua bề mặt tiếp xúc quanh chu vi của TXC và chúng có thể tách nhau ra tùy thuộc vị trí, độ lớn tác dụng của lực ngang cũng như độ cứng của khung BTCT. Do vậy nếu không xét đến vấn đề này, các phần tử có nút nằm trên giao diện khung BTCT và TXC sẽ có ứng xử không phù hợp với thực tế dẫn đến sai số tính toán lớn.

Dựa vào bài toán hai vật thể tiếp xúc và mô hình PTHH của H.S Jing và M.L Liao [11, 22], xem khung BTCT và TXC là các phần tử tấm, bỏ qua biến dạng và độ trượt giữa bề mặt tiếp xúc thì có thể thay thế các phần tử tấm tiếp giáp giữa khung BTCT và TXC bằng thanh liên kết tương đương chịu nén lý tưởng "gap element". Cấu tạo thanh liên kết tương đương chịu nén lý tưởng "Gap element" [23] được minh họa trong Hình 1, gồm một lò xo có độ cứng k, truyền lực nén thông qua bề mặt tiếp xúc của tấm tuyệt đối cứng và hoàn toàn không chịu kéo (khi chịu kéo hai tấm tách nhau ra một đoạn $\Delta \neq 0$). Trong Hình 1, A_k là điểm giữa của phân tố cột (dầm), A_t là điểm giữa phân tố tường của phần tử đang xét.



Hình 1. Cấu tạo thanh liên kết tương đương chịu nén lý tưởng

2.1. *Độ cứng của phần tử Gap element*

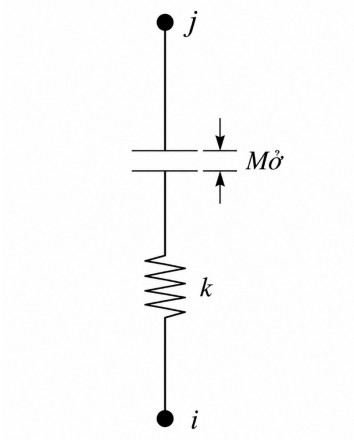
Trong phần mềm SAP2000 [23], phần tử Gap element là một trong những phần tử liên kết có sẵn được thiết lập với nền tảng là bài toán hai vật thể tiếp xúc và mô hình PTHH của H.S Jing và M.L Liao [11, 22]. Phần tử này thường được sử dụng để biểu diễn sự tiếp xúc giữa hai cấu kiện thông qua lực tiếp xúc giữa chúng. Hình 2 mô tả một phần tử tiếp xúc "Gap element", trong đó i và j là các điểm nút của bộ phận tiếp xúc, k là độ cứng của phần tử.

Thông số cơ bản ở đây là độ cứng k của phần tử liên kết, độ cứng k này tỷ lệ thuận với mô đun đàn hồi của tường chèn. Theo khuyến nghị của SAP2000 [23], độ cứng k của phần tử liên kết được gợi ý lấy trong khoảng từ 100 đến 10000 lần độ cứng của phần tử mà nó liên kết.

Theo Dorji [13, 14], mối quan hệ giữa độ cứng tường chèn và độ cứng phần tử tiếp xúc (gap stiffness) với kích thước phần tử 150 mm được tính bởi phương trình:

$$k = 0{,}0378E_w t + 347 \quad (1)$$

trong đó k là độ cứng của phần tử tiếp xúc; E_w là mô đun đàn hồi của tường chèn; t là bề dày của tường chèn.



Hình 2. Phần tử liên kết Gap element [23]

2.2. Nghiên cứu thực nghiệm của MD. Mahir Asif [18]

a. Thông số các mẫu thực nghiệm

Trong nghiên cứu thực nghiệm này, bốn mẫu khung BTCT chèn tường một tầng một nhịp được xây dựng và tiến hành thí nghiệm dưới tác dụng của tải trọng ngang tuần hoàn theo các chu kỳ gia tải. Bốn mẫu thực nghiệm được xây dựng có cùng kích thước và tiết diện cấu kiện chỉ khác nhau về vật liệu TXC và sự có mặt của giằng tường, trong đó: khung BTCT chèn tường gạch đặc (ký hiệu khung SB), khung BTCT chèn tường gạch đặc có giằng tường (ký hiệu khung SBL), khung BTCT chèn tường gạch lỗ rỗng (ký hiệu khung PB), khung BTCT chèn tường gạch lỗ rỗng có giằng tường (ký hiệu khung PBL). Mẫu khung BTCT có khoảng cách giữa hai trục cột là 1675 mm; chiều cao từ chân cột đến trục dầm trên là 1600 mm. Mỗi khung bao gồm hai cột tiết diện 150×150 mm và hai dầm tiết diện 150×150 mm, 280×450 mm. Trường hợp khung có giằng tường, tiết diện giằng tường là 125×100 mm. Bề dày TXC với trường hợp gạch đặc là 120 mm, với trường hợp gạch lỗ rỗng là 104 mm. Chi tiết kích thước, tiết diện, bố trí cốt thép của các cấu kiện khung thực nghiệm được thể hiện trong [18]. Một lưu ý quan trọng là trong nghiên cứu của tác giả [18] giằng tường không liên kết toàn khối với khung BTCT mà được liên kết thông qua vữa xây.

Giá trị tải trọng ngang tác dụng tại nút đỉnh khung theo chu kỳ gia tải tác dụng lên các mẫu thí nghiệm tăng tuần tự theo trình tự: 0 kN, 40 kN, 80 kN, 120 kN, 160 kN. Trong mỗi chu kỳ gia tải – giảm tải, lực ngang và chuyển vị ngang tương ứng được đo đạc tại mỗi cấp tải tăng giảm 10 kN.

b. Kết quả của nghiên cứu thực nghiệm

Quan hệ lực – chuyển vị của bốn mẫu khung thực nghiệm qua các chu kỳ gia tải được thể hiện chi tiết trong nghiên cứu của MD. Mahir Asif [18].

3. Mô hình số các khung thực nghiệm

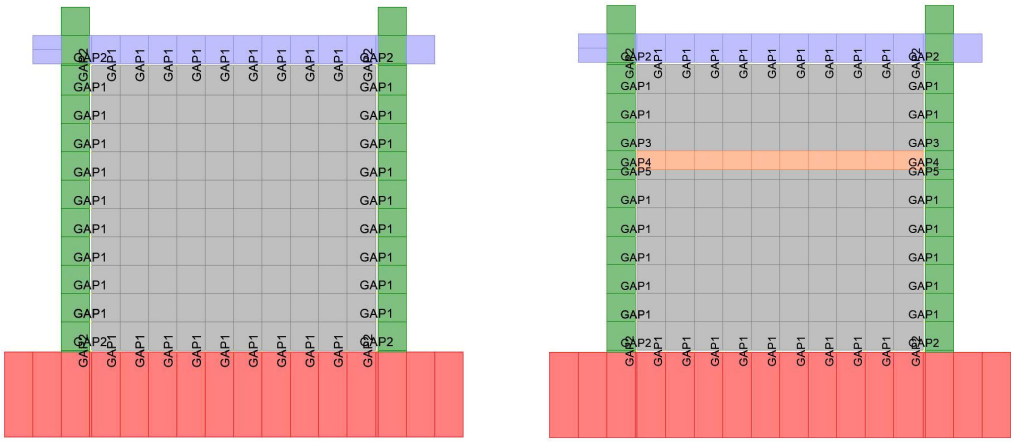
3.1. Thông số tính toán các mô hình số

Khảo sát 4 mô hình số khung BTCT chèn tường dựa trên mô hình nghiên cứu thực nghiệm của MD. Mahir Asif [18]. Trong nghiên cứu thực nghiệm, tác giả [18] sử dụng vật liệu khung bê tông cốt thép và tường xây chèn có các thông số kỹ thuật cụ thể được tóm tắt trong Bảng 1.

Tải trọng ngang xem xét khảo sát trong bài báo này tương ứng với giới hạn đàn hồi của hệ kết cấu là P = 60 kN.

Bảng 1. Thông số vật liệu sử dụng trong thí nghiệm của MD. Mahir Asif

Chỉ tiêu	Bê tông khung	Tường gạch đặc	Tường gạch lỗ
Cường độ nén (MPa)	21,63	11,11	4,5
Mô đun đàn hồi (MPa)	27730	6094	2475
Trọng lượng riêng (kN/m^3)	24	18	14
Hệ số Poisson	0,2	0,15	0,15



(a) Khung SB, PB (b) Khung SBL, PBL

Hình 3. Lưới chia mô hình phần tử tiếp xúc của các khung

Bảng 2. Độ cứng phần tử tiếp xúc trong các mô hình tính toán

Khung BTCT chèn tường	Độ cứng k của phần tử tiếp xúc (kN/m)				
	GAP1	GAP2	GAP3	GAP4	GAP5
TXC gạch đặc	27989,4	13994,7	-	-	-
TXC gạch đặc có giằng tường	27989,4	13994,7	23708,4	10413,4	18659,6
TXC gạch rỗng	10076,7	5038,4	-	-	-
TXC gạch rỗng có giằng tường	10076,7	5038,4	9052,2	4265,7	6717,81

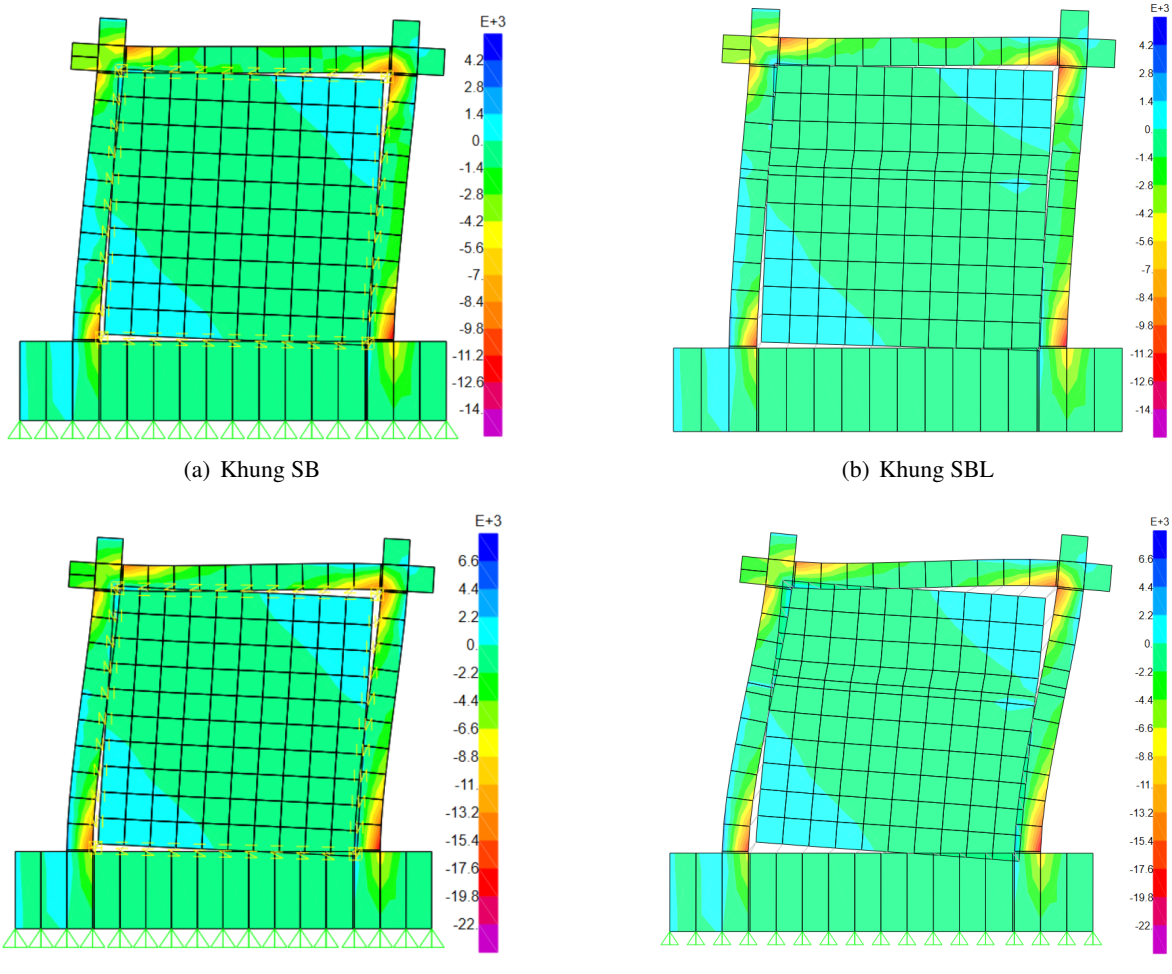
Lưới chia mô hình hóa và vị trí phần tử tiếp xúc các khung BTCT chèn tường trong các thí dụ tính toán được thể hiện tại Hình 3.

Tính toán khảo sát các mô hình số được thực hiện trên phần mềm SAP2000.V26.3.0, sử dụng "gap element" cho các phần tử tiếp xúc giữa khung BTCT và TXC, phần tử "shell" cho TXC, khung BTCT và giằng tường. Độ cứng k của phần tử tiếp xúc "gap element" ứng với kích thước lưới chia TXC 150 mm được tính theo công thức (1) và được tổng hợp tại Bảng 2. Trong Bảng 2, GAP1, GAP2, GAP3, GAP4, GAP5 là các phần tử tiếp xúc thể hiện tương tác giữa khung và TXC tại các vị trí có diện tích tiếp xúc khác nhau dọc theo biên tiếp xúc.

3.2. Tổng hợp kết quả tính toán

Kết quả tính toán ứng suất nén chính trong các khung mô hình được thể hiện trên Hình 4. Từ kết quả thu được từ Hình 4, trong tất cả các mô hình khung chèn tường chịu tải trọng ngang có giằng tường hoặc không có giằng tường, nhận thấy rằng trong tường xây chèn có sự xuất hiện dải nén chéo

hình thành từ góc đón tải đến góc đối diện.



(a) Khung SB

(b) Khung SBL

(c) Khung PB

(d) Khung PBL

Hình 4. Ứng suất nén chính trong các khung mô hình (kN/m^2)

Kết quả tính toán chuyển vị ngang tại đỉnh khung ký hiệu f và độ cứng ngang R ($R = P/f$) của khung được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung

Khung	SB	SBL	PB	PBL
f (mm)	2,14	2,40	4,26	4,44
R (kN/mm)	28,04	25,00	14,08	13,51
ΔR		−12,16%		−4,22%

Từ kết quả trình bày trong Bảng 3, có thể thấy khi có thêm sự xuất hiện của giằng tường, độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn đàn hồi giảm xuống. Cụ thể, đối với trường hợp TXC là gạch đặc khi bổ sung giằng tường, độ cứng ngang của khung trong giai đoạn làm việc đàn hồi giảm xuống khoảng 12,16% so với khung BTCT chèn tường không được cấu tạo giằng tường. Trong trường hợp khác, khi TXC là gạch lỗ rỗng độ cứng ngang của hệ khung trong giai đoạn làm việc đàn

hồi giảm xuống khoảng 4,22% so với khung BTCT chèn tường không được cấu tạo giằng tường. Điều này được giải thích là do trong thí nghiệm của tác giả [18] giằng tường không được liên kết toàn khối với khung BTCT xung quanh.

So sánh kết quả tính toán chuyển vị ngang tại đỉnh khung giữa mô hình tính toán và nghiên cứu thực nghiệm của MD. Mahir Asif [18] được tổng hợp tại Bảng 4.

Bảng 4. So sánh chuyển vị đỉnh khung giữa mô hình tính toán và thực nghiệm

Khung	SB	SBL	PB	PBL
f_{PTHH} (mm)	2,14	2,40	4,26	4,44
f_{NCTN} (mm)	2,3	3,58	4,24	4,54
Δf	6,96%	32,96%	−0,47%	2,20%

Có thể thấy từ kết quả so sánh chuyển vị đỉnh khung giữa mô hình tính toán và thực nghiệm trong giai đoạn làm việc đàn hồi cho thấy mô hình số phản ánh tương đối tốt xu hướng làm việc của các dạng khung. Đối với các khung SB và PB, sai lệch chuyển vị nhỏ (lần lượt là 6,96% và −0,47%), chứng tỏ mô hình đàn hồi tuyến tính được xây dựng là hợp lý và mô phỏng tốt độ cứng tổng thể của hệ kết cấu. Đối với các khung có giằng tường (SBL, PBL), sai lệch lần lượt là 32,96% và 2,20%, cho thấy mô hình tính toán hiện tại có xu hướng đánh giá độ cứng của hệ khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi tương đối phù hợp so với thực nghiệm.

4. Kết quả khảo sát tham số

Trong các mô hình PTHH của khung SBL và PBL ở trên, giằng tường không được liên kết toàn khối với khung BTCT. Tuy nhiên, trong thực tế xây dựng các công trình ở Việt Nam, giằng tường thường được cấu tạo liên kết toàn khối cùng với hệ khung BTCT xung quanh. Với việc điều chỉnh liên kết giữa giằng tường và khung BTCT thành liên kết cứng, độ cứng của hệ khung tăng lên so với mô hình gốc đã được kiểm chứng ở mục 3 (Bảng 5) là phù hợp với xu hướng làm việc của khung BTCT chèn tường. Do đó, trong mục này, mô hình khung SBL và PBL (trong đó giằng tường được điều chỉnh liên kết toàn khối với khung BTCT) được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của các tham số đến sự làm việc của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi.

4.1. Ảnh hưởng của tiết diện giằng tường

Tiết diện giằng tường của khung được khảo sát tại các tiết diện: 125×70 mm, 125×100 mm, 125×125 mm và 125×150 mm, ký hiệu lần lượt với các mẫu trong mô hình PTHH là SBL(PBL)-G1, SBL(PBL)-G2, SBL(PBL)-G3, SBL(PBL)-G4.

Bảng 5. Chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung SBL khi thay đổi tiết diện giằng tường

Khung	SBL-G1	SBL-G2	SBL-G3	SBL-G4
f (mm)	1,96	1,85	1,8	1,77
R (kN/mm)	30,61	32,43	33,33	33,90
ΔR	−5,95%	-	2,70%	4,32%

Bảng 5 và Bảng 6 trình bày kết quả tính toán chuyển vị ngang tại đỉnh khung và độ cứng ngang tương ứng của các khung SBL và PBL khi thay đổi tiết diện giằng tường. Kết quả cho thấy, việc thay đổi tiết diện giằng tường ảnh hưởng tương đối hạn chế tới độ cứng ngang của khung trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Cụ thể đối với khung SBL, độ cứng ngang tăng từ 32,43 kN/mm (SBL-G2) lên 33,33 kN/mm (SBL-G3) và 33,90 kN/mm (SBL-G4), tương ứng mức tăng lần lượt 2,70% và 4,32% so với

mô hình tham chiếu. Trong khi đó, khung PBL có độ cứng ngang tăng từ 19,17 kN/mm (PBL-G2) lên 19,61 kN/mm (PBL-G3) và 20,00 kN/mm (PBL-G4), với mức tăng tương ứng 2,24% và 4,15%. Ngoài ra, khi giảm tiết diện giằng tường đối với khung SBL độ cứng ngang giảm 5,95% (SBL-G1), còn với khung PBL độ cứng ngang giảm 5,11% (PBL-G1).

Bảng 6. Chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung PBL khi thay đổi tiết diện giằng tường

Khung	PBL-G1	PBL-G2	PBL-G3	PBL-G4
f (mm)	3,29	3,13	3,06	3
R (kN/mm)	18,24	19,17	19,61	20,00
ΔR	−5,11%	-	2,24%	4,15%

Kết quả của khảo sát cho thấy việc bố trí giằng tường có liên kết toàn khối với khung BTCT có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường khi làm việc đàn hồi, trong đó hiệu quả gia tăng độ cứng ngang của khung thể hiện rõ hơn đối với trường hợp khung BTCT chèn tường gạch lỗ rỗng so với trường hợp khung BTCT chèn tường gạch đặc. Ngoài ra, trong giai đoạn làm việc đàn hồi việc bố trí thêm giằng tường giúp giảm nội lực trong khung, cải thiện khả năng chịu lực của hệ khung BTCT chèn tường, ứng suất nén chính trong TXC giảm so với trường hợp không được cấu tạo giằng tường.

4.2. Ảnh hưởng của vị trí giằng tường

Để khảo sát ảnh hưởng của vị trí giằng tường trong khung đến độ cứng của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi, vị trí của giằng tường trong mô hình số được thay đổi lần lượt tại các vị trí $h/4$, $h/3$, $h/2$, $2h/3$, trong đó h là chiều cao của khung BTCT chèn tường. Các mẫu mô phỏng PTHH được ký hiệu lần lượt là SBL(PBL)-V1, SBL(PBL)-V2, SBL(PBL)-V3, SBL(PBL)-V4. Bảng 7 và Bảng 8 trình bày kết quả tính toán chuyển vị ngang tại đỉnh khung và độ cứng ngang của các khung SBL và PBL tương ứng với các vị trí của giằng tường trong khung khác nhau.

Bảng 7. Chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung SBL khi thay đổi vị trí của giằng tường

Khung	SBL-V1	SBL-V2	SBL-V3	SBL-V4
f (mm)	1,68	1,75	1,86	1,85
R (kN/mm)	35,71	34,29	32,26	32,43
ΔR	9,19%	5,41%	−0,54%	-

Bảng 8. Chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung PBL khi thay đổi vị trí của giằng tường

Khung	PBL-V1	PBL-V2	PBL-V3	PBL-V4
f (mm)	2,93	3,04	3,25	3,13
R (kN/mm)	20,48	19,74	18,46	19,17
ΔR	6,39%	2,88%	−3,83%	-

Từ kết quả ở Bảng 7 và Bảng 8 có thể thấy vị trí đặt giằng tường có ảnh hưởng đến độ cứng ngang của cả hai khung SBL và PBL trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Đối với khung SBL, khi giằng tường được bố trí tại vị trí $h/4$, độ cứng ngang đạt giá trị lớn nhất là 35,71 kN/mm, tăng 9,19% so với trường hợp bố trí giằng tại vị trí $2h/3$. Khi giằng dịch chuyển lên các vị trí $h/3$ và $h/2$, độ cứng ngang giảm xuống lần lượt còn 34,29 kN/mm và 32,26 kN/mm. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận đối với khung PBL, trong đó độ cứng ngang lớn nhất đạt 20,48 kN/mm khi giằng đặt tại $h/4$, và giảm dần khi giằng đặt tại $h/3$ và $h/2$.

4.3. Ảnh hưởng của vật liệu tường chèn

Tường chèn có ảnh hưởng tương đối lớn đến độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Trong nghiên cứu này, bốn mức mô đun đàn hồi của tường chèn được khảo sát bao gồm 2475 MPa (tương ứng mẫu thực nghiệm gạch lỗ rỗng), 4300 MPa, 6094 MPa (tương ứng mẫu thực nghiệm gạch đặc), 8000 MPa tương ứng với các mẫu ký hiệu SBL-T1, SBL-T2, SBL-T3, SBL-T4.

Bảng 9. Chuyển vị ngang và độ cứng ngang của khung SBL khi thay đổi độ cứng của tường chèn

Khung	SBL-T1	SBL-T2	SBL-T3	SBL-T4
f (mm)	2,71	2,2	1,85	1,62
R (kN/mm)	22,14	27,27	32,43	37,04
ΔR	−46,49%	−18,92%	-	12,43%

Kết quả khảo sát tại Bảng 9 cho thấy vật liệu tường chèn có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Khi mô đun đàn hồi tường chèn giảm xuống 2475 MPa, độ cứng ngang của khung giảm mạnh còn 22,14 kN/mm, tương ứng giảm 46,49% so với mô hình tham chiếu thực nghiệm. Với mô đun đàn hồi tường chèn bằng 4300 MPa, độ cứng ngang đạt 27,27 kN/mm, giảm 18,92%. Ngược lại, khi mô đun đàn hồi tường chèn tăng lên 8000 MPa, độ cứng ngang của khung tăng lên 37,04 kN/mm, tương ứng tăng 12,43%.

5. Kết luận chung

Trong nghiên cứu này, các tác giả đã tiến hành khảo sát bốn mô hình số thực nghiệm bao gồm: khung BTCT chèn tường gạch đặc, khung BTCT chèn tường gạch đặc có giằng tường, khung BTCT chèn tường gạch lỗ rỗng, khung BTCT chèn tường gạch lỗ rỗng có giằng tường làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Một số kết luận chính có thể rút ra được như sau:

- Giằng tường khi được liên kết toàn khối với khung BTCT trong mọi trường hợp đều có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Khi có sự hiện diện của giằng tường, độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường lớn hơn so với khung BTCT chèn tường không được cấu tạo giằng tường, giúp giảm nội lực trong cấu kiện khung, cải thiện khả năng chịu tải trọng ngang trong giai đoạn làm việc đàn hồi. Trong trường hợp giằng tường không liên kết toàn khối với khung BTCT xung quanh thì tác dụng ngược lại.

- Trong giai đoạn làm việc đàn hồi, sự xuất hiện của giằng tường làm thay đổi sự phân bố ứng suất, bề rộng của dải nén xiên hình thành từ góc nhận tải đến góc đối diện của khung chèn tường, ảnh hưởng của giằng tường tới độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường gạch đặc hạn chế hơn so với khung BTCT chèn tường gạch rỗng.

- Khả năng chịu tải trọng ngang và độ cứng ngang của khung BTCT trong giai đoạn làm việc đàn hồi thay đổi đáng kể khi thay đổi vật liệu của tường chèn. Ngược lại, vị trí và tiết diện của giằng tường ảnh hưởng không đáng kể tới độ cứng ngang của khung BTCT chèn tường.

Tuyên bố về việc sử dụng trí tuệ nhân tạo tạo sinh và công nghệ hỗ trợ bởi AI

Các tác giả xác nhận không sử dụng bất kỳ công cụ trí tuệ nhân tạo tạo sinh hoặc công nghệ hỗ trợ bởi AI nào trong quá trình chuẩn bị và hoàn thiện bản thảo.

Tài liệu tham khảo

[1] Polyakov, S. V. (1960). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. *Translations in Earthquake Engineering*, 2(3):36–42.

[2] Mallick, D. V., Severn, R. T. (1967). The behaviour of infilled frames under static loading. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 38(4):639–656.
[3] Quốc, Đ. L. K. (2017). *Ứng xử của khung phẳng BTCT có TXC dưới tác dụng của tải trọng ngang*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa TP. HCM.
[4] Cường, L. T. (1991). *Sự làm việc đồng thời của khung BTCT với khối xây chèn dưới tác dụng của tải trọng ngang*. Luận án Phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng.
[5] FEMA 306 (1998). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
[6] FEMA 356 (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
[7] CSA S304.1-04 (2004). *Design of masonry structures*. Canadian Standards Association, Canada.
[8] EN 1998-1 (1998). *Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
[9] MSJC (2013). *Building code requirements and specification for masonry structures*. Masonry Standards Joint Committee, USA.
[10] TCVN 5573:2025. *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
[11] Jing, H.-S., Liao, M.-L. (1990). An improved finite element scheme for elastic contact problems with friction. *Computures & Structures*, 35(5):571–578.
[12] Doudoumis, I. N. (2007). Finite element modelling and investigation of the behaviour of elastic infilled frames under monotonic loading. *Engineering Structures*, 29(6):1004–1024.
[13] Dorji, J. (2009). *Seismic performance of brick infilled RC frame structures in low and medium rise buidings in Bhutan*. Master thesis, Queensland University of Technology.
[14] Dorji, J., Thambiratnam, D. P. (2009). Modelling and analysis of infilled frame structures under seismic loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 3(1):119–126.
[15] Abdulla, K. F., Cunningham, L. S., Gillie, M. (2017). Simulating masonry wall behaviour using a simplified micro-model approach. *Engineering Structures*, 151:349–365.
[16] Mollaei, S., Ghazijahani, R., Noroozinejad Farsangi, E., Jahani, D. (2022). Investigation of behavior of masonry walls constructed with autoclaved aerated concrete blocks under blast loading. *Applied Sciences*, 12(17).
[17] Wang, X., Xiong, L., Wang, Z. (2024). Simplified model study of autoclaved aerated concrete masonry flexible connection infilled frames with basalt fiber grating strips. *Buildings, China*.
[18] Mahir Asif, M. D. (2022). *Experimental study on the effect of lintel on infilled frames under cyclic loading*. Master of Science in Civil Engineering, Bangladesh.
[19] Huệ, P. V. (2020). *Ảnh hưởng của tường chèn tới phản ứng của hệ khung BTCT chịu động đất*. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Xây dựng.
[20] Huệ, P. V. (2019). Ảnh hưởng của tường chèn tới việc kiểm soát cơ cấu phá hoại khung bê tông cốt thép chịu động đất. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 13(4V):58–72.
[21] Asteris, P. G. (2008). Finite element micro – modelling of infilled frames. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 8:1–11.
[22] Tùng, Đ. V., Long, T. T., Thắng, N. T. (2025). Khảo sát ảnh hưởng của tường xây chèn tới độ cứng ngang của khung bê tông cốt thép bằng mô hình số. *Tạp chí Xây dựng – Bộ Xây dựng*, 8:250–254.
[23] CSI Analysis Reference Manual (2017). *Integrated software for structural analysis and design*. Computure and Structure, Inc., Berkeley, CA.