

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

LƯU THANH BÌNH

**ỨNG XỬ CHỌC THÙNG CỦA LIÊN KẾT
GIỮA CỘT ỐNG THÉP NHỒI BÊ TÔNG VÀ SÀN PHẪNG
BÊ TÔNG CỐT THÉP DÙNG CHI TIẾT LIÊN KẾT CẢI
TIẾN**

Ngành: Kỹ thuật Xây dựng Công trình Dân dụng và Công nghiệp
Mã số chuyên ngành: 62580208

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS Ngô Hữu Cường

Người hướng dẫn 2: PGS.TS Nguyễn Minh Long

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Binh T. Luu**, Cuong Ngo-Huu, Long Nguyen-Minh, “Punching Shear Capacity of Unbonded Post-tensioned Slab - Concrete Filled Steel Tube Column Joints with Innovative Connections: Experiment and A New Prediction Model,” *Journal of Building Engineering*, 59 (2022) 154974;
2. **Binh Luu-Thanh**, Long Nguyen-Minh, Takayuki Namba, Kei Nakagawa, Koji Oki, Cuong Ngo-Huu, “Distinguished Punching Shear Behaviour of Unbonded Post-tensioned Concrete Slab – CFT Column VS Reinforced Concrete Slab – CFT Column Connections,” *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)*, 16 (3), 29-45(2022) - ISSN: 1859-2996;
3. **Luu Thanh Binh**, Ngô Hữu Cường, Takayuki Namba, Kei Nakagawa, Koji Oki, Nguyễn Minh Long, “Khảo sát thực nghiệm ứng xử chọc thủng của liên kết sàn bê tông ứng suất trước – cột CFT sử dụng chi tiết liên kết dạng bản,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 16 (2v), 14-29 (2022) - ISSN: 2615-9058.
4. Lê Minh Hoàng, **Luu Thanh Binh**, Ngô Hữu Cường, “Áp dụng mô hình ứng xử phi tuyến của vật liệu bê tông trong mô phỏng số,” *Tạp chí Xây dựng*, 6/2019, 199-206 (2019) - ISSN: 0866-8762.
5. Đinh Thị Như Thảo, **Luu Thanh Binh**, Lê Minh Hoàng, Trương Hoài Chính, Nguyễn Văn Hiệp, Ngô Hữu Cường, “Khảo sát thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử chịu cắt thủng của liên kết sàn phẳng và cột giữa tròn bê tông cốt thép,” *Tạp chí Xây dựng*, 01/2019, 145-150 (2019) - ISSN: 0866-8762.
6. Đinh Thị Như Thảo, **Luu Thanh Binh**, Trương Hoài Chính, Hồ Hữu Chính, Ngô Hữu Cường, “So sánh việc tính toán nén thủng của liên kết sàn phẳng

- cột tròn giữa bê tông cốt thép theo các Tiêu chuẩn Việt Nam, Châu Âu và Hoa Kỳ,” *Tạp chí Xây dựng*, 10/2018, 191-194 (2018) - ISSN: 0866-8762.

7. Đinh Thị Như Thảo, **Lưu Thanh Bình**, Trần Duy Phương, Nguyễn Văn Hiệp, Trương Hoài Chính, Ngô Hữu Cường, “Phân tích bậc hai phi đàn hồi cột ống thép nhồi bê tông,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 12 (2), 18-23 (2018) - ISSN: 1859-2996.
8. Đinh Thị Như Thảo, **Lưu Thanh Bình**, Trần Duy Phương, Nguyễn Tiến Phát, Đoàn Ngọc Tịnh Nghiêm, Trương Hoài Chính, Ngô Hữu Cường, “Phân tích phi tuyến cấu kiện ống thép nhồi bê tông chịu tải trọng cơ và nhiệt,” *Tạp chí Xây dựng* - 10/2017, 96-101 (2017) - ISSN: 0866-8762.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1.1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Tương tự như giải pháp kết cấu sàn phẳng – cột bê tông cốt thép (BTCT) truyền thống, giải pháp kết cấu sàn BTCT – cột ống thép nhồi bê tông (CFT) được dùng rộng rãi và đa dạng hiện nay ở nhiều nước nhờ vào các ưu điểm về kiến trúc (giảm chiều cao tầng và tính thẩm mỹ cao), thi công (công tác cốp-pha đơn giản, công tác thi công hệ thống kỹ thuật thuận lợi và tiến độ thi công nhanh), độ dẻo dai cao và khả năng hấp thụ năng lượng lớn [1], [2].

Tuy nhiên, do sàn BTCT liên kết trực tiếp với cột CFT, kết cấu sàn BTCT – cột CFT cũng phải đối mặt với kiểu phá hoại chọc thủng mang tính giòn và nguy hiểm giống như kết cấu sàn – cột BTCT [3]–[5]. Thêm vào đó, liên kết giữa sàn bê tông và bề mặt trơn của cột thép CFT còn ảnh hưởng mạnh đến tính toàn khối của liên kết; điều này có thể làm giảm độ cứng của liên kết, khả năng kháng chọc thủng và hiệu quả sử dụng của loại kết cấu tinh tế này [6].

Để tăng cường khả năng kháng cắt thủng và tính toàn khối của liên kết sàn BTCT – cột CFT, các nghiên cứu đã khảo sát thực nghiệm nhiều loại chi tiết liên kết khác nhau, gọi chung là cốt kháng cắt, được hàn vào vỏ cột thép ở dạng thép hình tiết diện chữ I [1], [2], [7]–[11], tiết diện chữ C [12] và hình hộp chữ nhật [13]. Một số khác dùng cốt kháng cắt dạng đỉnh hàn quanh mặt cột để liên kết với sàn như [6]. Tất cả các nghiên cứu kể trên đều cho thấy sự hiệu quả đáng kể của việc dùng cốt kháng cắt trong việc cải thiện khả năng kháng chọc thủng cũng như độ dẻo dai của liên kết sàn – cột CFT, và hiệu quả này phụ thuộc nhiều vào chiều cao và hình dạng của tiết diện chi tiết kháng cắt cũng như độ vươn ra của nó trong sàn. Tuy nhiên, trong trường hợp chiều dày sàn nhỏ, việc tăng kích thước tiết diện của các cốt kháng cắt thường tạo nhiều khó khăn cho công tác thi công.

Nhằm giải quyết vấn đề này, Chen và cộng sự [14] đã đề xuất một số dạng liên kết mới dùng các chi tiết thép hình tiết diện chữ C và L hàn đầu lưng vào mặt cột thép. Kết quả nghiên cứu này cho thấy các dạng liên kết đề xuất đã tạo ra chu vi

tháp chọc thủng của các mẫu sàn – cột CFT tương tự như của mẫu sàn – cột BTCT truyền thống và giúp cho khả năng kháng chọc thủng của mẫu sàn – cột CFT có thể so sánh được với của mẫu sàn – cột BTCT. Một nghiên cứu đầy hứa hẹn khác của Su và Tian [15] có thể giúp cho việc thi công các chi tiết liên kết sàn BTCT – cột CFT trở nên đơn giản, nhanh chóng và ít tốn kém vật liệu hơn. Các tác giả đề xuất một dạng liên kết mới, dùng thép bản hình vành khuyên được hàn vào mặt ngoài của cột thép tiết diện tròn tại cao trình đáy sàn BTCT. Kết quả thí nghiệm cho thấy liên kết đề xuất có khả năng kháng chọc thủng tốt và đáp ứng được chuyển vị ngang lệch tầng theo thiết kế. Tiếp nối nghiên cứu của Su và Tian [15], Ju và cộng sự [16] dùng các bản thép chữ nhật hàn vào bốn mặt cột để liên kết với thép thanh trong sàn. Kết quả nghiên cứu cho thấy liên kết đề xuất đáp ứng được yêu cầu chịu cắt thủng của kết cấu. Có thể thấy rằng, so với việc dùng thép hình, việc dùng thép tấm cho nhiều lợi thế hơn về thời gian và chi phí thi công do kích thước và trọng lượng của thép bản nhỏ hơn đáng kể so với thép hình. Đặc biệt, loại liên kết này giúp làm mềm hóa liên kết sàn BTCT – cột CFT; vì vậy, nó có thể làm giảm đáng kể ứng suất tập trung tại vị trí đầu cột, từ đó hạn chế được khả năng xuất hiện kiểu phá hoại chọc thủng cho cột. Việc tìm kiếm các dạng chi tiết kháng cắt mới sao cho có thể đảm bảo được tính liên tục, khả năng kháng chọc thủng, dễ thi công mà vẫn đảm bảo được tính dẻo cần thiết cho kết cấu sàn BTCT - cột CFT là vấn đề quan trọng đối với dạng kết cấu này và thật sự cần thiết.

Trong thực tế, do có độ võng lớn, nên nhịp thiết kế của kết cấu sàn BTCT truyền thống – cột CFT thường bị giới hạn. Để giải quyết vấn đề này, một giải pháp tiềm năng và có tính khả thi cao là dùng sàn bê tông căng sau dùng cáp không bám dính (BTUST) – cột CFT. Khác với sàn BTCT, ứng suất nén trước do cáp tạo ra làm cho ứng xử của cấu kiện BTUST trở nên giòn hơn; nó ảnh hưởng đến khả năng kháng cắt của vùng bê tông chịu nén, tăng khả năng chịu kéo xiên của bê tông, làm đóng vết nứt, tăng hiệu ứng cài móc của cốt liệu [17], từ đó có thể làm thay đổi trường biến dạng của liên kết sàn BTUST – cột CFT. Cho đến hiện nay, các nghiên cứu liên quan đến ứng xử cắt thủng của liên kết sàn BTUST – cột

CFT, đặc biệt là sàn căng sau dùm cáp không bám dính (BTUST), còn nhiều hạn chế [18]; khả năng kháng chọc thủng, khả năng biến dạng cũng như độ dẻo dai và hấp thu năng lượng của loại kết cấu này ra sao so với kết cấu sàn BTCT – cột CFT vẫn còn chưa được giải đáp thỏa đáng và tường minh.

Để dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT – cột CFT, các mô hình hay công thức tính đã được xây dựng và đề xuất trong một vài nghiên cứu trước đây. Hầu hết các mô hình và công thức tính đều được xây dựng cho liên kết sàn BTCT - cột CFT dùng các chi tiết liên kết có dạng thép hình [1], [8], [10], [11]. Một vài nghiên cứu đã đề xuất công thức cho liên kết sàn BTCT - cột CFT dùng các chi tiết liên kết dạng thép bản [9] hay [16]. Gần đây, Yu và Wang [6] đề xuất công thức xác định khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng chi tiết kháng cắt bằng đỉnh tán. Đặc điểm chung của các mô hình tính vừa đề cập trên là đều được xây dựng dựa trên nguyên lý cộng tác dụng truyền thống từ khả năng chịu lực của từng thành phần như bê tông và chi tiết liên kết; trong đó, công thức xác định khả năng chịu lực của từng thành phần này chủ yếu được xây dựng bằng phương pháp thực nghiệm. Vì vậy, từng công thức tính này hầu như chỉ phù hợp cho từng loại liên kết tương ứng đã được đề xuất trong các nghiên cứu; đặc biệt, các điều khoản tính toán khả năng kháng chọc thủng dùng cho liên kết sàn BTUST – cột CFT chưa thấy được trình bày. Thực tế này cho thấy, việc xây dựng một công thức dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT / BTUST – cột CFT sao cho có thể phản ánh xác thật nhất được bản chất vật lý của của kiểu phá hoại chọc thủng, lồng ghép được trong nó mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến dạng, nhưng đồng thời vẫn tận dụng được tính đơn giản của nguyên lý cộng tác dụng truyền thống, thật sự là cần thiết và có ý nghĩa.

1.2 CHỦ ĐỀ NGHIÊN CỨU

Từ những vấn đề vừa nêu, luận án này thực hiện một nghiên cứu về ứng xử chọc thủng của kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT sử dụng một số dạng chi tiết liên kết cải tiến dạng thép bản. Các mục tiêu chính của nghiên cứu là nhằm: (1) phân

tích thực nghiệm và làm rõ các đặc tính kết cấu như khả năng kháng chọc thủng, biến dạng, độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng của liên kết sàn BTCT / BTUST – cột CFT sử dụng một số dạng chi tiết liên kết cải tiến dùng thép bản; (2) làm rõ sự khác biệt về đặc tính kết cấu giữa liên kết sàn BTCT – cột CFT với liên kết sàn BTUST – cột CFT; và (3) đề xuất công thức bán thực nghiệm dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT / BTUST – cột CFT; đồng thời kiểm chứng và so sánh mức độ chính xác của công thức đề xuất với một vài công thức tương tự hiện có.

1.3 TỔNG QUAN

Phần này trình bày tổng quan nghiên cứu về thực nghiệm ứng xử và mô hình tính toán lý thuyết khả năng kháng chọc thủng của kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT. Thông qua tổng quan nghiên cứu này, một bức tranh toàn cảnh về tình hình nghiên cứu liên quan đến ứng xử của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT được phác họa cũng như các tồn tại chưa được giải quyết. Những vấn đề này là cơ sở quan trọng giúp cho luận án hình thành nên các mục tiêu nghiên cứu có tính mới, không trùng lặp và có ý nghĩa khoa học – thực tiễn. Ngoài ra, do sự hạn chế về cơ sở vật chất của phòng thí nghiệm và tài chính, chương này cũng trình bày giới hạn của phạm vi nghiên cứu của luận án nhằm đảm bảo được tính khả thi nhưng không làm mất đi quá nhiều tính tổng quát của các mục tiêu và nội dung nghiên cứu của luận án.

Dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan, một số nhận xét chung có thể được rút ra như sau:

(1) Các nghiên cứu đa phần tập trung vào đề xuất các chi tiết liên kết dạng thép hình nhằm giúp kết cấu sàn BTCT – cột CFT có được khả năng chịu được tải trọng và biến dạng thiết kế cần thiết. Các dạng chi tiết liên kết này có khả năng kháng chọc thủng tốt và chịu được mức chuyển vị lệch tầng theo yêu cầu của thiết kế. Nhưng trong nhiều trường hợp, độ cứng lớn của hệ thép hình làm tăng hiện tượng tập trung ứng suất tại vị trí liên kết sàn BTCT – cột CFT và góp phần tăng mức độ giòn hóa của liên kết. Một số trường hợp khác, khi cần tăng tiết diện

để đảm bảo yêu cầu chịu lực theo thiết kế, sự cồng kềnh và cấu tạo phức tạp của hệ thép hình sẽ khiến cho công tác thi công gặp khó khăn, đặc biệt khi chiều dày sàn BTCT không lớn.

(2) Số lượng các nghiên cứu sử dụng chi tiết liên kết dạng bản cho kết cấu sàn BTCT – cột CFT chưa nhiều và các hiểu biết về ứng xử kết cấu của loại chi tiết này còn nhiều hạn chế. Mặc dù, tính toàn khối và độ cứng của liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng loại chi tiết này vẫn chưa được làm rõ nhưng các nghiên cứu hiện có cũng đã cho thấy được một số ưu điểm của loại chi tiết liên kết này về khả năng làm mềm hóa liên kết sàn BTCT – cột CFT giúp hạn chế khả năng xảy ra kiểu phá hoại chọc thủng, tính đơn giản trong việc chế tạo và tiết kiệm vật liệu. Việc nghiên cứu tìm kiếm các loại chi tiết liên kết mới sao cho đảm bảo cả vấn đề về tính toàn khối, khả năng truyền lực liên tục từ sàn và cột CFT và khả năng kháng chọc thủng của kết cấu sàn – cột CFT, vì vậy, thật sự là cần thiết.

(3) Sự thiếu hụt lớn của các nghiên cứu liên quan đến ứng xử kết cấu của liên kết sàn BTUST – cột CFT, đặc biệt khi dùng chi tiết liên kết dạng thép bản, làm cho khả năng ứng dụng loại kết cấu này trong thực tiễn còn chưa được rõ ràng. Ứng suất nén trước giúp cho kết cấu sàn kiểm soát võng tốt trong trường hợp sàn nhịp lớn. Tuy nhiên, ứng suất nén trước còn được biết là nguyên nhân làm giòn hóa ứng xử của sàn; vì vậy, nó có thể ảnh hưởng đến ứng xử của liên kết sàn – cột CFT. Việc thiếu vắng các hiểu biết thực nghiệm đầy đủ về ứng xử kết cấu của liên kết sàn BTUST – cột CFT còn khiến cho việc xây dựng mô hình dự đoán khả năng kháng chọc thủng của loại kết cấu tiềm năng này trở nên khó khăn hơn.

Từ tổng quan về các mô hình và công thức dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn – cột CFT đã trình bày và phân tích ở trên, một số nhận xét có thể được rút ra như sau:

- Các mô hình và công thức đều được xây dựng cho liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng các chi tiết liên kết hầu hết có dạng là thép hình;

- Phương pháp chủ đạo được dùng để xây dựng các công thức là thực nghiệm và thống kê hồi quy dựa trên nguyên lý công tác dụng các thành phần chịu lực cơ bản như khả năng chịu lực của bê tông và của chi tiết liên kết;
- Các điều khoản tính toán khả năng kháng chọc thủng của sàn BTUST – cột CFT chưa thấy được đề cập.

1.4 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1.4.1 Mục tiêu

- ✓ Phân tích và làm rõ các đặc tính kết cấu như khả năng kháng cắt thủng, biến dạng và độ dẻo dai của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT sử dụng một số dạng chi tiết liên kết cải tiến dùng thép bản;
- ✓ Làm rõ sự khác biệt về đặc tính kết cấu giữa liên kết sàn BTUST – cột CFT với liên kết sàn BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết cải tiến;
- ✓ Đề xuất công thức bán thực nghiệm dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết dạng bản.

1.4.2 Ý nghĩa nghiên cứu

1.4.3 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

1.4.3.1 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng chính của nghiên cứu này là chi tiết liên kết sàn phẳng BTCT/BTUST và cột CFT.

Phạm vi nghiên cứu của luận án này được giới hạn ở liên kết sàn phẳng BTCT/BTUST và cột CFT giữa tiết diện tròn và là cột giữa. Bê tông sàn và cột dùng loại có cường độ chịu nén trung bình phổ biến trong các công trình dân dụng hiện nay (40 MPa). Chi tiết liên kết dùng trong nghiên cứu là loại bản. Các sàn BTUST dùng cáp không bám dính. Tải trọng khảo sát chủ đạo là tải đứng.

Vì sự giới hạn về mặt kỹ thuật, ứng xử kết hợp của tải trọng đứng và ngang hay tải trọng lặp không nằm trong phạm vi nghiên cứu của luận án này.

1.4.3.2 Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chủ đạo của luận án này là thực nghiệm. Phương pháp này được áp dụng trong giai đoạn nghiên cứu ứng xử của các mẫu liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT. Bên cạnh đó, phương pháp giải tích kết hợp phương pháp thống kê hồi quy cũng được sử dụng trong giai đoạn xây dựng mô hình và đề xuất công thức dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT cũng như trong nội dung kiểm chứng công thức đề xuất.

CHƯƠNG 2 KHẢO SÁT THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CHỌC THỦNG CỦA LIÊN KẾT SÀN BTCT/BTUST – CỘT CFT DÙNG CHI TIẾT CẢI TIẾN

Chương này trình bày các nội dung liên quan đến nghiên cứu thực nghiệm ứng xử chọc thủng của kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết cải tiến dạng bản. Các nội dung chính trong chương này được trình bày tuần tự như sau. Nội dung đầu tiên là đề xuất chi tiết liên kết cải tiến dạng bản. Nội dung này được thực hiện dựa trên cơ sở nghiên cứu tổng quan ở Chương 1. Các dạng liên kết đề xuất nhằm có thể đáp ứng được các yêu cầu kết cấu cơ bản như tính toàn khối, khả năng truyền lực từ sàn vào cột CFT, khả năng kháng chọc thủng và đảm bảo được tính dẻo dai của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT. Ngoài ra, một trong những tiêu chí quan trọng được đặt ra là các dạng chi tiết liên kết đề xuất phải đảm bảo được tính dễ được thiết kế sát với yêu cầu chịu lực, dễ dàng thi công và tiết kiệm vật liệu. Nội dung thứ hai khảo sát và phân tích thực nghiệm ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng các dạng chi tiết liên kết đã được đề xuất ở nội dung thứ nhất. Để thực hiện nội dung này, một chương trình nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện trên 12 mẫu liên kết sàn – cột kích cỡ thật gồm bảy mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT (tên mẫu bắt đầu bằng “S”); ba mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT (tên mẫu bắt đầu bằng “SP”);

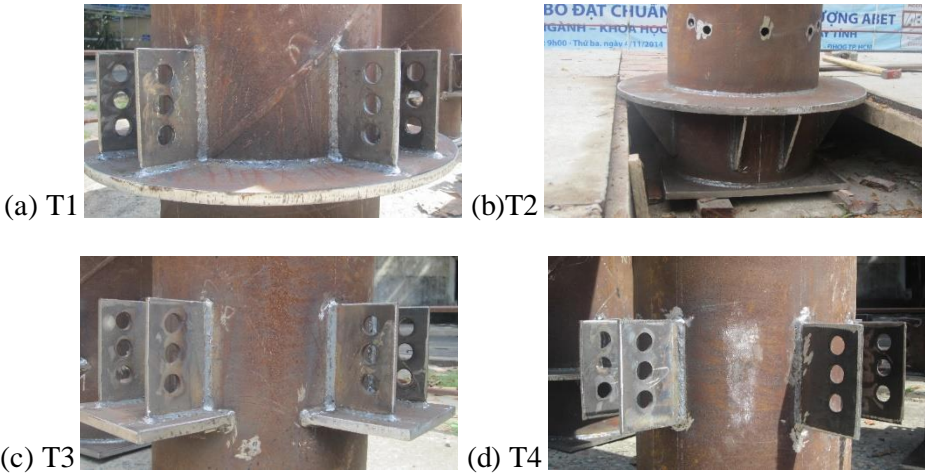
hai mẫu đối chứng là mẫu liên kết sàn BTCT □ cột BTCT (mẫu SC) và mẫu liên kết sàn BTUST – cột BTCT (mẫu SP). Ở nội dung này, các đặc trưng kết cấu liên quan đến ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT như khả năng kháng chọc thủng, khả năng biến dạng, độ cứng, độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng được trình bày và thảo luận. Ngoài ra, các đặc trưng biến dạng của các chi tiết liên kết, của cặp, cốt thép thanh và bê tông cũng được đề cập.

2.1 ĐỀ XUẤT CHI TIẾT LIÊN KẾT

Xuất phát từ ý tưởng về loại liên kết dùng thép bản có độ dẻo dai cao của Su và Tian [15], luận án này đề xuất dạng liên kết có bản gối bằng thép tấm tại cao trình đáy sàn, được cải tiến bằng việc bổ sung các cặp sườn đứng gia cường cho bản gối. Ngoài việc tăng độ cứng để bản gối thực hiện tốt vai trò tiếp nhận lực đứng, các cặp sườn đứng này hướng đến thỏa mãn các yêu cầu: (1) đảm bảo được tính liên tục của các thép thanh trước mặt cột và liên kết tốt với bê tông cả trong lõi cột lẫn bê tông sàn; (2) truyền lực tốt từ sàn vào trong lõi cột thay vì chỉ là vỏ cột; (3) không xuyên hẳn qua cột mà chỉ chèn 1 phần vào lõi để giảm khó khăn cho công tác lắp đặt và công tác bê tông; và (4) có khả năng chịu cắt lớn hơn khả năng chịu cắt của sàn bê tông theo tính toán để bê tông sàn bị phá hoại trước liên kết trong quá trình thí nghiệm. Bốn loại chi tiết liên kết cải tiến khác nhau được đề xuất dùng trong các mẫu liên kết sàn – cột CFT thí nghiệm của nghiên cứu này và được ký hiệu lần lượt là T1, T2, T3 và T4 (**Hình 2.1**).

Dạng chi tiết liên kết thứ nhất (T1) (**Bảng 2.3** và **Hình 2.1a**) có cấu tạo gồm bản gối và sườn đứng. Trong đó, bản gối có dạng hình vành khuyên với chiều dày thay đổi lần lượt là $t_h = 16$ mm và $t_n = 10$ mm. Dạng chi tiết liên kết thứ hai (T2) (**Bảng 2.3** và **Hình 2.1b**), phần sườn đứng được bố trí nằm dưới đáy bản gối thay vì nằm trong cao trình sàn (**Hình 2.1e**). Dạng chi tiết liên kết thứ ba (T3) (**Bảng 2.3** và **Hình 2.1c**) có cấu tạo đơn giản hơn so với nhóm 1 (**Hình 2.1a**). Thay vì dùng bản gối có hình vành khuyên như chi tiết liên kết T1 và T2, chi tiết liên kết T3 này dùng bốn bản gối hình chữ nhật (có chiều dày thay đổi 10 mm và 16 mm).

Dạng chi tiết liên kết thứ tư (T4) có cấu tạo chỉ gồm bốn cặp sườn đứng như trong các chi tiết liên kết T1 và T3 nhưng không có bản gối (**Bảng 2.3** và **Hình 2.1d**). Mẫu liên kết sàn – cột CFT dùng dạng chi tiết liên kết T4 này là mẫu S-T4.



Hình 2.1. Chi tiết liên kết

2.2 VẬT LIỆU VÀ MẪU THÍ NGHIỆM

2.2.1 Vật liệu

Các thông số cơ học của vật liệu được trình bày trong **Bảng 2.2**

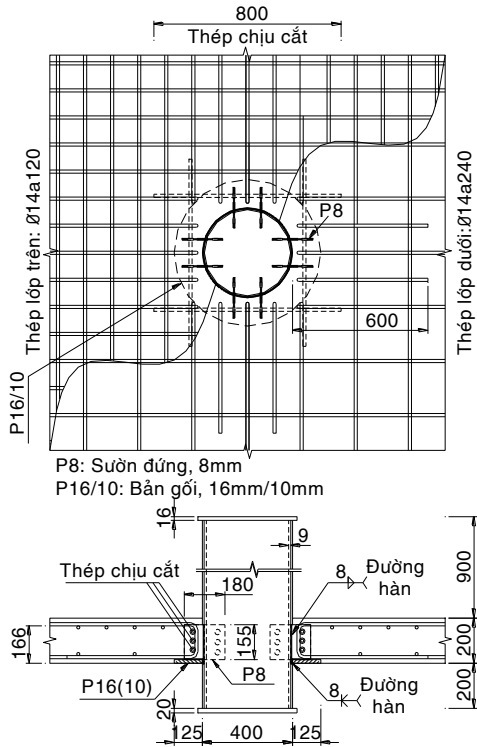
Bảng 2.2. Các thông số cơ học của vật liệu của các mẫu thực nghiệm (MPa)

Mẫu	f_c	$f_{sr,y}$	$f_{sr,u}$	$f_{stu,y}$	$f_{stu,u}$	$f_{svr,y}$	$f_{sb,y}$	$f_{svr,u}$	$f_{sb,u}$	f_{py}	f_{pu}
S-T1-16	40,4	420	594	324	428	331	372	478	513	1666	1851
S-T1-10*	36,2										
S-T2-16 ⁺	40,4										
S-T3-16a*	40,4										
S-T3-16b	40,4										
S-T3-10*	36,2										
S-T4	39,7										
S-C*	38,5										
SP-T1-16	40,4										
SP-T3-16a*	40,4										
SP-T3-16b	40,4										
SP*	38,5										

Ghi chú: * các mẫu chỉ được gia tải đứng (Bước 2); mẫu S-T2-16⁺ là mẫu đã được Đinh Thị Như Thảo [20] báo cáo trong luận án tốt nghiệp năm 2019 tại Đại học Đà Nẵng;

2.2.2 Mẫu thí nghiệm

Tổng cộng có mười hai mẫu liên kết sàn – cột kích thước thật gồm: bảy mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT (tên mẫu bắt đầu bằng “S”); ba mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT (tên mẫu bắt đầu bằng “SP”); hai mẫu đối chứng là mẫu liên kết sàn BTCT – cột BTCT (mẫu SC) và mẫu liên kết sàn BTUST – cột BTCT (mẫu SP). Cấu tạo và cách bố trí cốt thép thanh chịu kéo và nén trong mẫu sàn dùng chi tiết T1 theo Hình 2.2a.



Hình 2.2. Kích thước hình học và cấu tạo của các mẫu thí nghiệm: (a) mẫu T1

Cấu tạo và cách bố trí cáp ứng suất trước trong các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT giống nhau, cáp loại bầy sợi có đường kính danh định 12,7 mm (diện tích danh định $A_p = 98,7 \text{ mm}^2$). Lực căng ban đầu P_i là 146 kN / cáp.

2.3 SƠ ĐỒ THÍ NGHIỆM VÀ BỐ TRÍ THIẾT BỊ ĐO

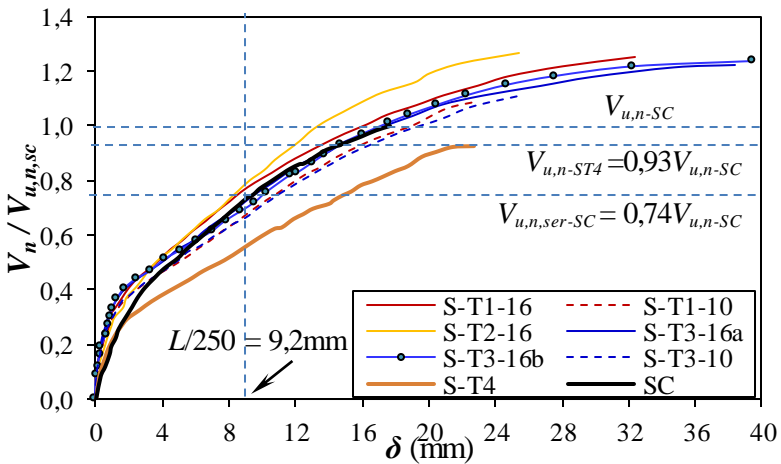
2.4 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

2.4.1 Ứng xử chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT

Cạnh bên của tháp chọc thủng của các mẫu sàn – cột CFT không thẳng mà gãy khúc ngay tại cao trình của lớp cốt thép dọc chịu kéo trong sàn (**Hình 2.10**).

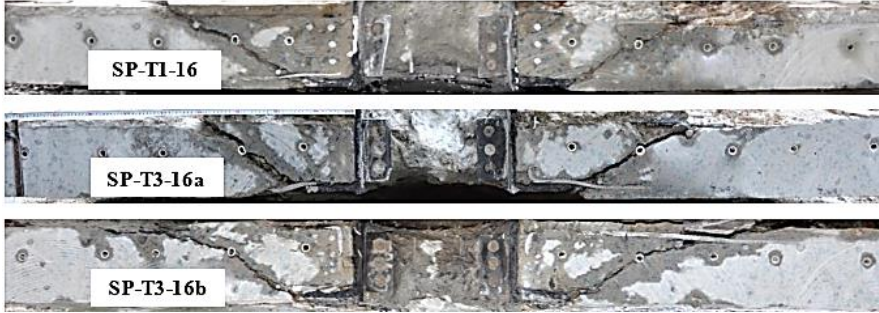


Hình 2.10. Hình dạng tháp chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng chi tiết liên kết T1 và T3 theo mặt cắt ngang



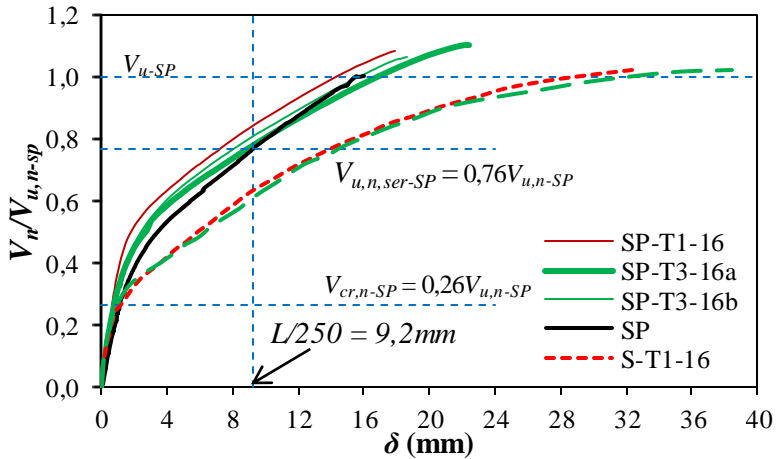
Hình 2.12. Quan hệ lực – chuyển vị của các mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT và mẫu đối chứng

2.4.2 *Ứng xử chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT và so sánh với của các mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT tương ứng*



Hình 2.23. Hình dạng tháp chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết T1 và T3 theo mặt cắt ngang mẫu

2.4.2.1 *Quan hệ lực – chuyển vị của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT và so sánh với của các mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT tương ứng*



Hình 2.24. Quan hệ lực – chuyển vị của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT và mẫu đối chứng

2.5 KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Dựa trên kết quả thực nghiệm thu được từ chương trình thực nghiệm dựa trên 12 mẫu liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT kích cỡ lớn dùng bốn loại liên kết cải tiến từ T1 đến T4, một số kết luận về các đặc trưng kết cấu liên quan đến ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT như khả năng kháng chọc thủng, khả năng biến dạng, độ cứng, độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng có thể được rút ra như sau:

2.5.1 Mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT

(1) So với mẫu sàn – cột BTCT đối chứng, các mẫu sàn BTCT – cột CFT sử dụng các chi tiết liên kết đề xuất đầy đủ (gồm cả bản gối và sườn đứng) cho thấy được sự cải thiện đáng kể trong các vấn đề sau:

- khả năng chịu chọc thủng và khả năng biến dạng (chuyển vị lớn nhất) lớn hơn lần lượt từ 9% đến 25% và từ 29% đến 123%;
- độ cứng ở giai đoạn trước khi nứt của các mẫu sàn – cột CFT lớn hơn đến 16% nhưng giảm nhanh trong giai đoạn sau khi nứt đến khi sàn chảy dẻo và nhỏ hơn từ 32% đến 44% so với mẫu sàn – cột BTCT đối chứng;
- độ dẻo dai các mẫu sàn – cột CFT cao hơn từ 21% đến 91%;
- chỉ số hấp thụ năng lượng (EAI) của các mẫu sàn – cột CFT cao hơn từ 7% đến 46%; tổng năng lượng hấp thụ (E) cao hơn từ 18% đến 216%.

(2) Bản gối làm tăng mạnh độ cứng trước khi nứt (từ 28% đến 70%) và độ cứng sau khi nứt (từ 12% đến 51%) của các mẫu sàn – cột CFT so với của mẫu sàn – cột CFT không dùng bản gối, từ đó làm giảm chuyển vị của mẫu trong giai đoạn sử dụng (đến 51%). Đồng thời, sự hiện diện của bản gối cải thiện đáng kể khả năng kháng chọc thủng, khả năng biến dạng và độ dẻo dai của mẫu sàn – cột CFT đến 35%, 73%, và 84%;

(3) Việc dùng liên kết có bản gối gồm bốn bản thép rời rạc hình chữ nhật thay

cho bản gối hình vành khuyên không làm giảm đáng kể khả năng kháng chọc thủng (xấp xỉ 1,4%) mà còn giúp cải thiện hiệu quả độ dẻo dai (lên tới 14%) và làm tăng khả năng hấp thụ năng lượng (đến 25%) của mẫu sàn – cột CFT. Ngoài ra, dạng liên kết mới này còn làm giảm đáng kể trọng lượng thép bản, đơn giản hóa công tác thi công, từ đó góp phần đẩy nhanh được tốc độ thi công của loại kết cấu sàn – cột CFT;

(4) Sự có mặt của bản gối làm giảm đáng kể biến dạng của sườn đứng của liên kết sàn – cột CFT; theo đó, biến dạng của sườn đứng của các mẫu dùng liên kết có bản gối nhỏ hơn từ 53% đến 59% so với của mẫu không có bản gối tại cấp tải phá hủy của mẫu này. Việc thay đổi bản gối hình vành khuyên sang dạng chữ nhật làm giảm biến dạng của bản gối đến 230% so với của bản gối hình vành khuyên. Tại thời điểm phá hoại của các mẫu sàn – cột CFT, sườn đứng của các mẫu nhìn chung đều chảy dẻo, nhưng các bản gối thì chưa;

(5) So với việc xuyên cốt thép thanh qua cột, việc dùng sườn đứng để neo thép thanh và liên kết với bê tông trong lõi cột và trong sàn của mẫu có sườn đứng nằm trên (S-T1-16) làm tăng độ cứng trước khi nứt K_1 , độ dẻo dai và chỉ số hấp thụ năng lượng EAI lần lượt 24%, 35% và 25% so với mẫu S-T2-16 nhưng làm giảm khả năng duy trì độ cứng sau khi nứt K_2 (nhỏ hơn 11%).

2.5.2 Mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT

(1) So với mẫu sàn BTUST – cột BTCT đối chứng, các mẫu sàn BTUST – cột CFT sử dụng các chi tiết liên kết đề xuất có các ưu điểm cụ thể như sau:

- khả năng chịu chọc thủng lớn hơn nhẹ (tối đa 10%) và khả năng biến dạng (chuyển vị lớn nhất) tốt hơn rõ rệt (lên đến 39%);
- độ dẻo dai cao hơn đáng kể (đến 25%) và chỉ số hấp thụ năng lượng lớn hơn nhẹ (đến 9%); khả năng hấp thụ năng lượng cao hơn đáng kể (65%);
- độ cứng ở giai đoạn trước khi nứt lớn hơn (21%) và chỉ giảm nhẹ trong giai

đoạn sau khi nứt đến khi sàn chảy dẻo (từ xấp xỉ đến thấp hơn 13%).

(2) Việc dùng chi tiết liên kết có bản gôi gồm bốn bản thép rời rạc hình chữ nhật thay cho bản gôi hình vành khuyên cho liên kết sàn BTUST – cột CFT không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng kháng chọc thủng (xấp xỉ 1,4%), chỉ số hấp thụ năng lượng, và làm giảm nhẹ độ dẻo dai của liên kết (khoảng 14%), nhưng giúp đơn giản hóa được công tác thi công. Ngoài ra, việc thay đổi bản gôi hình vành khuyên sang dạng chữ nhật còn làm giảm biến dạng của bản gôi đến 56% so với của bản gôi hình vành khuyên. Tại thời điểm phá hoại của các mẫu sàn BTUST – cột CFT, sườn đứng của các mẫu nhìn chung đều chảy dẻo, nhưng các bản gôi thì chưa.

2.5.3 So sánh mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT với mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT

(1) Cấp ứng suất trước (UST) làm tăng nhẹ (tối đa 8%) khả năng kháng chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT trong nghiên cứu này; nhưng nó giúp cải thiện đáng kể độ cứng của liên kết, đặc biệt ở giai đoạn sau nứt, theo đó độ cứng của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT lớn hơn rõ rệt từ 85% (mẫu dùng chi tiết bản gôi vành khuyên) đến 118% (mẫu dùng chi tiết bản gôi hình chữ nhật) so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT;

(2) Cấp UST giúp kiểm soát rất hiệu quả tốc độ suy giảm độ cứng của liên kết sàn – cột CFT; theo đó, mức độ suy giảm độ cứng sau khi nứt so với trước khi nứt của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT nhỏ hơn rất đáng kể (đến 2,1 lần) so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT. Kết quả này khiến cho cấp UST một mặt giúp sàn kiểm soát tốt chuyển vị (giảm đến 58%) và đảm bảo tốt yêu cầu kết cấu về giới hạn sử dụng; nhưng ở mặt khác, nó cũng làm tăng tính giòn và giảm khả năng biến dạng (chuyển vị cuối cùng) của sàn (đến 51%);

(3) So với mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT, độ dẻo dai và chỉ số hấp thụ năng lượng của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT giảm đáng kể lần lượt đến

44% và 41%. Ngoài ra, cấp UST còn giúp làm giảm mạnh biến dạng của bản gối và sườn đứng (lần lượt đến 75% và 81%) và của thép thanh trong sàn (đến 91%).

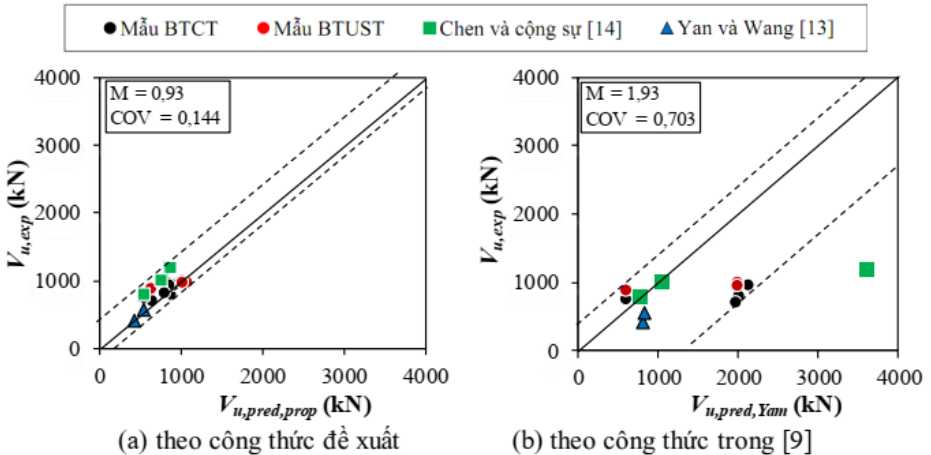
CHƯƠNG 3 XÂY DỰNG CÔNG THỨC DỰ ĐOÁN KHẢ NĂNG KHÁNG CHỌC THÙNG CỦA LIÊN KẾT SÀN PHẪNG BTCT/BTUST – CỘT CFT

Các công thức được xây dựng theo phương pháp giải tích kết hợp với thực nghiệm nhằm phản ánh được chân thật nhất bản chất vật lý của kiểu phá hoại chọc thủng, lồng ghép được trong nó mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến dạng, nhưng đồng thời vẫn tận dụng được tính đơn giản của nguyên lý cộng tác dụng truyền thống. Mức độ chính xác của công thức đề xuất được kiểm chứng dựa trên kết quả thực nghiệm từ các nghiên cứu đã có và từ nghiên cứu này.

3.1 CÔNG THỨC ĐỀ XUẤT

$$V_u = c_m \frac{8a_o}{k} \omega f_c^{2/3} b_{cr} d + 0.023 \frac{A_{s,rib} E_s}{L_{hr}} + k_1 \sigma_{cp} u_0 d \quad (3.31)$$

3.2 KIỂM CHỨNG VÀ SO SÁNH CÔNG THỨC ĐỀ XUẤT



Hình 3.3. So sánh khả năng chịu chọc thủng với kết quả thực nghiệm ($V_{u,exp}$)

3.3 KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương này trình bày mô hình tính và quy trình xây dựng công thức dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết cải tiến dạng bản. Mức độ chính xác của công thức đề xuất được kiểm chứng và so sánh với công thức tương đồng theo [9] dựa trên kết quả thực nghiệm từ các nghiên cứu đã có và từ nghiên cứu này. Mức độ ổn định của công thức đề xuất và công thức theo [9] cũng được đánh giá và so sánh theo các thông số kỹ thuật như cường độ bê tông, chiều dày làm việc của sàn và tỉ số nhịp trên chiều dày làm việc của sàn. Dựa trên các kết quả nghiên cứu có được, một số kết luận của chương này có thể rút ra như sau:

(1) Công thức đề xuất dự đoán khả năng kháng chọc thủng của nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết dạng bản với mức độ chính xác tốt và có sự phân tán thấp so với kết quả thực nghiệm, thể hiện qua giá trị trung bình của tỷ số $V_{u,pred} / V_{u,exp}$ và hệ số biến thiên COV là 0,93 và 0,144.

(2) Công thức theo [9] có xu hướng đánh giá quá cao về khả năng kháng chọc thủng của chi tiết liên kết thể hiện qua giá trị trung bình của tỷ số $V_{u,pred} / V_{u,exp}$ và hệ số biến thiên COV của công thức này là 1,93 và 0,703. Nguyên nhân có thể là do sự chưa phù hợp của giả thuyết về sự chảy dẻo của toàn bộ tiết diện của chi tiết thép bản khi mà đa phần các chi tiết liên kết dạng bản đều không có sự chảy dẻo đồng loạt do chúng được thiết kế có kích thước tiết diện đủ lớn nhằm đảm bảo độ cứng phù hợp cho nút liên kết sàn – cột CFT. So với công thức theo [9], công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm hơn, an toàn và có mức độ ổn định tốt hơn đáng kể.

(3) Trong bối cảnh hầu hết các công thức hiện có đều được xây dựng dựa trên phương pháp thuần thực nghiệm, công thức đề xuất trong luận án này được xây dựng theo phương pháp giải tích kết hợp với thực nghiệm đã phản ánh được gần hơn bản chất vật lý của kiểu phá hoại chọc thủng, lồng ghép được trong nó mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến

dạng, nhưng đồng thời vẫn tận dụng được tính đơn giản của nguyên lý cộng tác dụng truyền thống.

(4) Do sự hạn chế về số lượng các nghiên cứu thực nghiệm về khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn – cột CFT sử dụng chi tiết liên kết dạng bản, đặc biệt là liên kết sàn BTUST – cột CFT, các công thức đề xuất mới chỉ được kiểm chứng trên một miền dữ liệu chưa đủ lớn. Vì vậy, để có thể đánh giá đầy đủ và rõ ràng hơn về mức độ chính xác của các công thức đề xuất, rất cần có thêm nhiều nghiên cứu thực nghiệm trong lĩnh vực này hơn nữa.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Luận án này trình bày một nghiên cứu về ứng xử chọc thủng của kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT sử dụng một số dạng chi tiết liên kết cải tiến dùng thép bản. Các mục tiêu chính của luận án bao gồm: (1) phân tích thực nghiệm và làm rõ các đặc tính kết cấu như khả năng kháng chọc thủng, biến dạng, độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT sử dụng một số dạng chi tiết liên kết cải tiến dùng thép bản; (2) làm rõ sự khác biệt về đặc tính kết cấu giữa liên kết sàn BTUST – cột CFT với liên kết sàn BTUST – cột CFT; và (3) đề xuất công thức bán thực nghiệm dự đoán khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT; đồng thời kiểm chứng và so sánh mức độ chính xác của công thức đề xuất với một vài công thức tương tự hiện có. Chương trình thực nghiệm của luận án được xây dựng trên 12 mẫu nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT kích cỡ lớn dùng bốn loại liên kết cải tiến dùng thép bản khác nhau, cụ thể: (1) chi tiết liên kết đầy đủ T1 gồm bản sườn ngang vành khuyên và sườn đứng chữ nhật nằm trên sườn ngang; (2) chi tiết liên kết đầy đủ T2 gồm bản gối vành khuyên và sườn đứng tam giác nằm dưới sườn ngang; (3) chi tiết liên kết đầy đủ T3 gồm bản gối chữ nhật rời rạc và sườn đứng chữ nhật nằm trên sườn ngang; và (4) chi tiết liên kết không đầy đủ T4 chỉ có sườn đứng chữ nhật.

Dựa trên các kết quả nghiên cứu đạt được, một số kết luận về sự hiệu quả của các chi tiết liên kết dạng bản trong việc cải thiện các đặc trưng kết cấu liên quan đến ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT như khả năng kháng chọc thủng, khả năng biến dạng, độ cứng, độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng cũng như mức độ chính xác của công thức đề xuất có thể được rút ra như sau:

(a) Về sự hiệu quả của các chi tiết liên kết được đề xuất trong nghiên cứu này trong việc cải thiện các đặc trưng kết cấu của nút liên kết sàn cột BTCT/BTUST – cột CFT

(1) Các chi tiết liên kết dạng bản đề xuất đầy đủ (gồm cả sườn ngang và sườn đứng) giúp cho các nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT duy trì được độ cứng tốt; có khả năng kháng chọc thủng lớn hơn đáng kể (lên đến 25%), khả năng biến dạng vượt trội (lên đến 123%) và độ dẻo dai tốt (lên đến 91%) cũng như có khả năng hấp thụ năng lượng rất ấn tượng (lên đến 216%) so với của nút sàn □ cột BTCT truyền thống. Điều này cho thấy hiệu quả sử dụng rất tốt trong đảm bảo các vấn đề về kết cấu của các dạng chi tiết liên kết này cho kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT.

(2) Chi tiết liên kết không đầy đủ (chỉ có sườn đứng) cũng giúp cải thiện mạnh khả năng biến dạng (29%), độ dẻo dai (4%) và khả năng hấp thụ năng lượng (18%) nhưng lại làm giảm nhẹ khả năng kháng chọc thủng (xấp xỉ 7%) và giảm đáng kể độ cứng sau nứt (xấp xỉ 50%) của nút liên kết sàn BTCT – cột CFT so với của nút sàn □ cột BTCT truyền thống. Một trong những nguyên nhân làm suy giảm khả năng kháng chọc thủng nút liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng loại chi tiết liên kết này là do chu vi đáy của tháp chọc thủng của bị thu hẹp đáng kể bởi sự vắng mặt của sườn ngang.

(3) So với chi tiết liên kết đầy đủ, hiệu quả gia tăng của chi tiết liên kết không đầy đủ (không có sườn ngang) trong việc cải thiện các đặc tính kết cấu của nút liên kết sàn BTCT – cột CFT đều kém, đặc biệt là khả năng kháng chọc thủng nhỏ hơn từ 128% đến 357% và độ cứng sau nứt nhỏ hơn từ 12% đến 52%. Điều

này khẳng định vai trò quan trọng của chi tiết sườn ngang trong hệ thống chi tiết liên kết dạng bản được đề xuất trong nghiên cứu này.

(4) Việc dùng liên kết có sườn ngang gồm bốn bản thép rời rạc hình chữ nhật thay cho sườn ngang hình vành khuyên không làm giảm đáng kể khả năng kháng chọc thủng (xấp xỉ 1,4%) mà còn giúp cải thiện hiệu quả độ dẻo dai (lên tới 14%) và làm tăng khả năng hấp thụ năng lượng (25%) của mẫu sàn – cột CFT. Ngoài ra, dạng liên kết mới này còn làm giảm đáng kể trọng lượng thép bản, đơn giản hóa công tác thi công, từ đó góp phần đẩy nhanh được tốc độ thi công của loại kết cấu sàn – cột CFT.

(5) Hiệu quả gia tăng của tất cả loại các chi tiết liên kết dạng bản đề xuất đối với nút liên kết sàn BTUST – cột CFT nhỏ hơn rõ rệt so với nút liên kết sàn BTCT – cột CFT trong mọi đặc tính kết cấu, đặc biệt ở phương diện khả năng kháng chọc thủng (nhỏ hơn 213%), độ dẻo dai và khả năng hấp thụ năng lượng (lần lượt nhỏ hơn 264% và 232%). Điều này cho thấy cần có thêm những nghiên cứu cải tiến đối với các dạng chi tiết liên kết dùng thép bản đã được đề xuất để có thể tăng hơn nữa hiệu quả sử dụng của chúng cho trường hợp kết cấu sàn BTUST – cột CFT.

(b) Về sự khác biệt giữa ứng xử chọc thủng của nút liên kết sàn BTUST – cột CFT với nút liên kết sàn BTCT – cột CFT dùng các chi tiết liên kết thép bản được đề xuất trong nghiên cứu này

(1) Cấp ứng suất trước (UST) làm tăng nhẹ (tối đa 8%) khả năng kháng chọc thủng của các mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT; nhưng nó giúp cải thiện đáng kể độ cứng của liên kết, đặc biệt ở giai đoạn sau nứt, theo đó độ cứng của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT lớn hơn rõ rệt từ 85% (mẫu dùng chi tiết bản gối vành khuyên) đến 118% (mẫu dùng chi tiết bản gối hình chữ nhật) so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT;

(2) Cấp UST giúp kiểm soát rất hiệu quả tốc độ suy giảm độ cứng của liên kết sàn – cột CFT; theo đó, mức độ suy giảm độ cứng sau khi nứt so với trước khi

nút của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT nhỏ hơn rất đáng kể (đến 2,1 lần) so với của mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT. Kết quả này khiến cho cấp UST một mặt giúp sàn kiểm soát tốt chuyển vị (giảm đến 58%) và đảm bảo tốt yêu cầu kết cấu về giới hạn sử dụng; nhưng ở mặt khác, nó cũng làm tăng tính giòn và giảm khả năng biến dạng (chuyển vị cuối cùng) của sàn (đến 51%);

(3) So với mẫu liên kết sàn BTCT – cột CFT, độ dẻo dai và và chỉ số hấp thụ năng lượng của mẫu liên kết sàn BTUST – cột CFT giảm đáng kể lần lượt đến 44% và 41%.

(c) Công thức bán thực nghiệm đề xuất

(1) Công thức đề xuất dự đoán khả năng kháng chọc thủng của nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết dạng bản với mức độ chính xác tốt và có sự phân tán thấp so với kết quả thực nghiệm, thể hiện qua giá trị trung bình của tỷ số $V_{u,pred}/V_{u,exp}$ và hệ số biến thiên COV là 0,93 và 0,144.

(2) Công thức của [9] có xu hướng đánh giá quá cao về khả năng kháng chọc thủng của của chi tiết liên kết thể hiện qua giá trị trung bình của tỷ số $V_{u,pred}/V_{u,exp}$ và hệ số biến thiên COV của công thức này là 1,93 và 0,703. Nguyên nhân có thể là do sự chưa phù hợp của giả thuyết về sự chảy dẻo của toàn bộ tiết diện của chi tiết thép bản khi mà đa phần các chi tiết liên kết dạng bản đều không có sự chảy dẻo đồng loạt do chúng được thiết kế có kích thước tiết diện đủ lớn nhằm đảm bảo độ cứng phù hợp cho nút liên kết sàn – cột CFT. So với công thức của [9], công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm hơn, an toàn và có mức độ ổn định tốt hơn đáng kể.

(3) Trong bối cảnh hầu hết các công thức hiện có đều được xây dựng dựa trên phương pháp thuần thực nghiệm, công thức đề xuất trong luận án này được xây dựng theo phương pháp giải tích kết hợp với thực nghiệm đã phản ánh được gần hơn bản chất vật lý của kiểu phá hoại chọc thủng, lồng ghép được trong nó mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến

dạng, nhưng đồng thời vẫn tận dụng được tính đơn giản của nguyên lý cộng tác dụng truyền thống.

CÁC ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Các đóng góp mới của luận án này như sau:

(1) Luận án này đề xuất được các dạng chi tiết liên kết cải tiến dùng thép bản để thi công và tiết kiệm vật liệu nhưng vẫn đảm bảo tốt các đặc trưng về mặt kết cấu cần thiết cho kết cấu sàn BTCT/BTUST - cột CFT như duy trì được độ cứng, tính liên tục, khả năng kháng chọc thủng và biến dạng tốt, độ dẻo cao và khả năng hấp thụ năng lượng lớn.

(2) Luận án này đề xuất được công thức tính khả năng kháng chọc thủng cho kết cấu sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết dạng thép bản dựa trên phương pháp giải tích kết hợp với thực nghiệm, phản ánh được xác thực hơn bản chất vật lý của kiểu phá hoại chọc thủng nhờ xét đến mô hình làm việc của vật liệu, các điều kiện về cân bằng và sự tương thích về biến dạng. Công thức đề xuất có mức độ chính xác tốt và dễ sử dụng.

(3) Trong bối cảnh các nghiên cứu về ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT dùng chi tiết liên kết dạng bản còn rất nhiều hạn chế, các kết quả nghiên cứu từ luận án này góp phần làm sáng tỏ hơn ứng xử của loại kết cấu tinh tế và tiềm năng này cũng như cung cấp thêm các hiểu biết thực nghiệm mới có giá trị cộng đồng nghiên cứu và kỹ sư xây dựng đang làm việc trong lĩnh vực này.

Do sự hạn chế về số lượng các nghiên cứu thực nghiệm về khả năng kháng chọc thủng của liên kết sàn – cột CFT sử dụng chi tiết liên kết dạng bản, đặc biệt là liên kết sàn BTUST – cột CFT, các công thức đề xuất mới chỉ được kiểm chứng trên một miền dữ liệu chưa đủ lớn. Vì vậy, để có thể đánh giá đầy đủ và rõ ràng hơn về mức độ chính xác của các công thức đề xuất, rất cần có thêm nhiều nghiên cứu thực nghiệm trong lĩnh vực này hơn nữa.

CÁC TỒN TẠI

Do giới hạn về tài chính, nội dung nghiên cứu về ứng xử chọc thủng của luận án này mới tập trung cho liên kết sàn phẳng BTCT/BTUST và cột CFT giữa tiết diện tròn. Ứng xử chọc thủng của các nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT ở biên và góc với hình dạng tiết diện khác nhau chưa được khảo sát. Bê tông sàn và cột chỉ dùng loại có cường độ chịu nén trung bình phổ biến trong các công trình dân dụng hiện nay (40 MPa) nên ảnh hưởng của cường độ bê tông đến ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT cũng chưa được đề cập. Sự khác biệt giữa cáp bám dính và không bám dính ảnh hưởng như thế nào đến ứng xử chọc thủng của nút liên kết sàn BTUST – cột CFT cũng chưa được làm rõ trong nghiên cứu này. Vì sự giới hạn về thiết bị kỹ thuật thí nghiệm, ứng xử kết hợp của tải trọng đứng và ngang cũng chưa được nghiên cứu trong luận án này.

KIẾN NGHỊ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Từ những tồn tại chưa được giải quyết trong luận án này, một số hướng nghiên cứu tiếp nối có thể được kiến nghị như sau:

- (1) Nghiên cứu về các đặc trưng kết cấu của liên kết sàn BTCT – cột CFT góc và biên dùng chi tiết liên kết thép bản chịu tải trọng ngang và đứng kết hợp.
- (2) Nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố cường độ bê tông và loại cáp bám dính/không bám dính đến ứng xử chọc thủng của liên kết sàn BTUST – cột CFT sử dụng chi tiết liên kết thép bản.
- (3) Nghiên cứu tối ưu hóa các chi tiết liên kết dạng thép bản dùng cho nút liên kết sàn BTCT/BTUST – cột CFT chịu tác dụng của tải trọng đứng và ngang.