

PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CHỊU LỰC CỦA TẤM TƯỜNG THÀNH MỎNG BẰNG BÊ TÔNG CỐT LƯỚI DỆT

ANALYSIS OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF THIN WALL FAÇADE USING TEXTILE REINFORCED CONCRETE

Bùi Thị Thanh Mai

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Email: bttmai@utc.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-23>

TÓM TẮT: Gần đây, bê tông cốt lưới dệt đang ngày càng được sử dụng nhiều trong việc chế tạo các tấm tường thành mỏng đúc sẵn. Đây là loại vật liệu có ưu điểm là nhẹ, không bị ăn mòn. Bài báo nhằm mục đích phân tích ứng xử chịu lực của tấm tường thành mỏng sử dụng bê tông cốt lưới dệt bằng phương pháp thực nghiệm và mô phỏng số. Nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành nhằm xác định khả năng chịu lực, độ cứng, dạng phá hoại của tấm tường. Nghiên cứu mô phỏng số cho thấy sự tương đồng với kết quả thực nghiệm. Từ đó, kết quả cho thấy phương pháp mô phỏng số có tiềm năng lớn trong việc thiết kế tấm tường thành mỏng bằng bê tông cốt lưới dệt.

TỪ KHÓA: tấm tường thành mỏng, bê tông cốt lưới dệt, thực nghiệm và mô phỏng

ABSTRACTS: Recently, textile reinforced concrete has been increasingly used in the production of precast thin wall facade. This type of material has advantages such as lightweight and corrosion resistance. The purpose of this paper is to analyze the flexural behavior of thin wall panels using textile reinforced concrete through experimental and numerical simulation methods. The experimental study was conducted to determine the load capacity, stiffness, and failure mode of the wall panels. The numerical simulation study showed similar results to the experimental study. Therefore, the results demonstrate the potential of numerical simulation methods in the design of thin wall panels using textile reinforced concrete.

KEYWORDS: precast thin wall facade, textile reinforced concrete, experiment and numerical simulation

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, ở Việt Nam, tường xây bằng gạch vẫn là giải pháp đang được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng, từ các công trình có quy mô nhỏ như nhà dân đến các công trình lớn như các nhà cao tầng. Việc hạn chế sản xuất gạch nung và thay thế bằng vật liệu không nung đang là chủ trương lớn của Nhà nước, các Bộ, Ngành trung ương và địa phương, thể hiện qua Chỉ thị số 10/CT- TTg ngày 16/4/2012 Thủ tướng Chính phủ về việc tăng cường sử dụng vật liệu xây không nung và hạn chế sản xuất, sử dụng gạch đất sét nung. Do đó, nhu cầu phát triển các dạng cấu kiện đúc sẵn bằng bê tông đang ngày càng lớn nhằm đáp ứng các quy định về hạn chế sự lãng phí nguyên vật liệu từ đất sét, cũng như giảm chi phí nhân công, tăng tốc độ thi công v.v. Các giải pháp tấm tường phổ biến ở Việt Nam là tấm tường rỗng Acotec, tấm tường nhẹ từ bê tông khí chưng áp, tấm tường sandwich kết hợp bê tông xốp EPS và cemboard v.v. Dù có nhiều ưu điểm, các loại tấm tường rỗng này vẫn có những nhược điểm

như khả năng chống thấm kém (do cấu trúc bê tông nhẹ có nhiều lỗ rỗng), độ bền không cao, cốt thép dễ bị ăn mòn v.v.

Hiện nay, đã có một số nghiên cứu phát triển cấu kiện tấm tường đúc sẵn dạng sandwich (lớp vỏ bằng bê tông cốt lưới dệt - Textile reinforced concrete - TRC). TRC là bê tông hạt mịn có cốt dạng lưới được dệt từ sợi các bon hay sợi thủy tinh kháng kiềm. Lưới sợi dệt là loại vật liệu có nhiều ưu điểm như có cường độ cao, trọng lượng nhẹ, đặc biệt là không bị ăn mòn, cho phép sử dụng để chế tạo các kết cấu có chiều dày nhỏ. Đây là một trong những vật liệu mới có tiềm năng đáp ứng được những yêu cầu phát triển bền vững trong xây dựng công trình hiện nay. Hegger [1] đã thực hiện thí nghiệm với kết cấu sandwich sử dụng lớp vỏ TRC sợi thủy tinh kết hợp với lớp lõi xốp polyurethane (PU). Schneider [2] đã thực hiện thí nghiệm uốn 3 điểm và uốn 4 điểm với các tấm sandwich kết hợp giữa lớp vỏ TRC dày 8mm sợi thủy tinh và các bon, kết hợp với lớp lõi xốp PU. Nguyen Viet Anh [3] phát triển dạng

kết cấu sandwich mới, sử dụng lớp vỏ TRC và lớp lõi bê tông xốp (Expanded Polystyrene Concrete). Ở Việt Nam, Vũ Văn Hiệp [4], Bùi Thị Thanh Mai [5] nghiên cứu phát triển kết cấu sandwich có lớp vỏ bằng TRC kết hợp với bê tông nhẹ. Phạm Thị Thanh Thủy [6] nghiên cứu tấm tường rỗng bằng bê tông cốt lưới dệt. Các giải pháp kết cấu này đang sử dụng nhiều loại vật liệu, cùng với việc nhiều công đoạn thi công khiến cho chi phí sản xuất các tấm tường này có giá thành tương đối cao. Đồng thời, chiều dày và trọng lượng của cấu kiện vẫn còn khá lớn, chưa phù hợp với một số dạng công trình cần tối ưu về không gian sử dụng như nhà lắp ghép. Do đó, cần có thêm các giải pháp về việc sử dụng TRC cho các dạng kết cấu tấm tường thành mỏng, đúc sẵn có độ bền cao, phù hợp để sử dụng cho các công trình nhà lắp ghép.

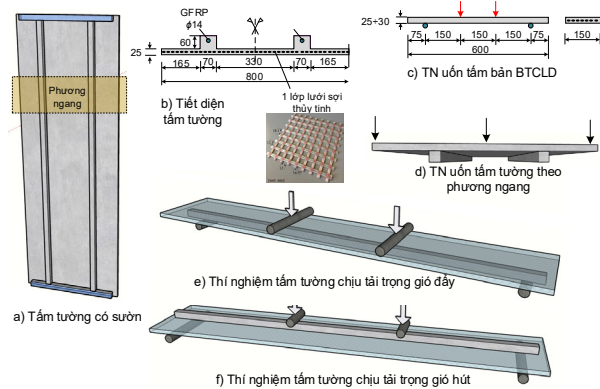
Mục tiêu của bài báo nhằm trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng ứng xử chịu lực của tấm tường thành mỏng bằng bê tông cốt lưới dệt.

Bố cục của bài báo bao gồm các phần sau. Phần 2 miêu tả mẫu thí nghiệm, các kết quả thí nghiệm. Mô hình mô phỏng được trình bày ở phần 3. Cuối cùng là kết luận và kiến nghị.

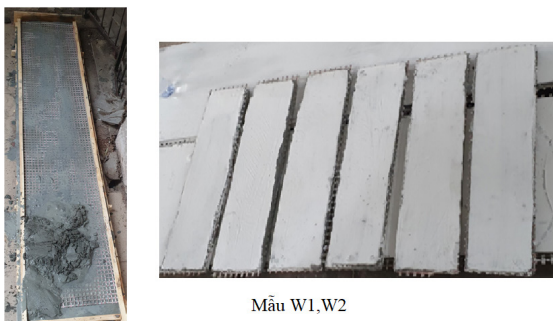
2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Cấu tạo mẫu thí nghiệm

Hình 1 thể hiện chi tiết cấu tạo mẫu tấm tường thành mỏng sử dụng một lớp lưới sợi thủy tinh.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết mẫu thí nghiệm



Hình 2. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Sáu mẫu tấm tường thành mỏng được tiến hành thí nghiệm chịu uốn 4 điểm. Các mẫu có cùng chiều dài bằng 600mm, chiều dài nhịp chịu uốn bằng 450mm, chiều rộng mẫu bằng 150mm. Trong đó, 3 mẫu có chiều dày bằng 25 mm, kí hiệu (W1-1, W1-2, W1-3), 3 mẫu có chiều dày bằng 30mm, kí hiệu (W2-1, W2-2, W2-3).

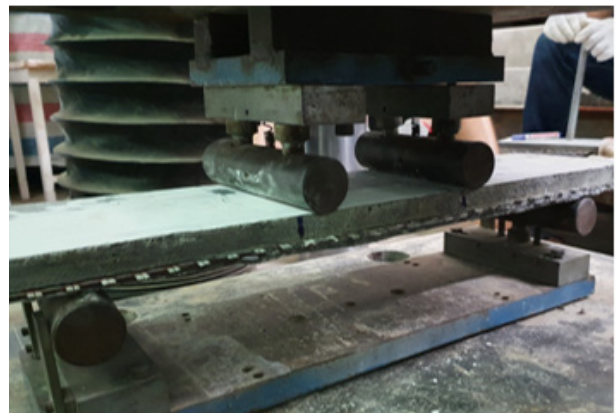
2.2. Vật liệu thí nghiệm

Bê tông hạt mịn được chế tạo từ hỗn hợp cốt liệu có đường kính hạt tối đa 0,63 mm, kết hợp với xi măng PC 40, tro bay, nước và phụ gia siêu dẻo để đảm bảo có độ chảy loãng lớn. Loại bê tông này có tính tự đầm tương đối cao, được thiết kế để bê tông dễ dàng len lõi qua các lớp lưới sợi nhằm đảm bảo tính đặc chắc cũng như dính bám tốt với lưới sợi. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn trung bình của bê tông hạt mịn sau 28 ngày là 62,5 MPa và 7,3 MPa. Lưới sợi dệt loại thủy tinh kháng kiềm SITgrid200KE, có cường độ chịu kéo 1700 MPa, với mô đun đàn hồi 115 GPa, kích thước mắt lưới 17,5 × 17,5 mm, diện tích mỗi bó sợi là 1,8 mm².

2.3. Chế tạo mẫu và thiết lập hệ thống thí nghiệm

Mẫu tấm tường thành mỏng được chế tạo tại Trường Đại học Giao thông Vận tải (Hình 2). Ván khuôn bằng gỗ được sử dụng để chế tạo mẫu. Trước tiên, một lớp bê tông hạt mịn có chiều dày khoảng 12,5 mm với mẫu W1, 15 mm với mẫu W2 được đổ vào trong ván khuôn. Tiếp đó, lưới sợi dệt được đặt vào trong mẫu. Cuối cùng, lớp bê tông hạt mịn còn lại được đổ vào trong mẫu để đạt được chiều dày mẫu như mong muốn. Lớp bê tông trên cùng được trát phẳng. Mẫu được tiến hành bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm trong vòng 28 ngày trước khi tiến hành thí nghiệm.

Các mẫu đã được thí nghiệm chịu uốn 4 điểm cho đến khi bị phá hoại theo phương pháp không chế chuyển vị, với tốc độ gia tải 0,5mm/phút. Thiết bị gia tải là máy kéo nén SANS tại Phòng thí nghiệm

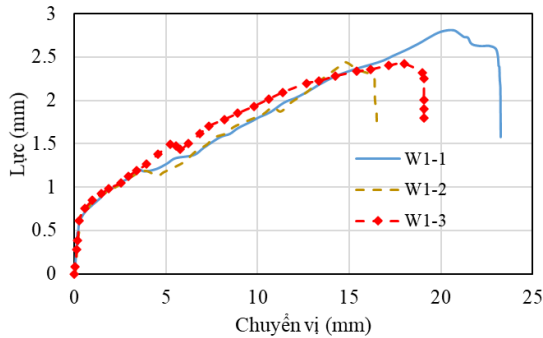


Hình 3. Bố trí thí nghiệm

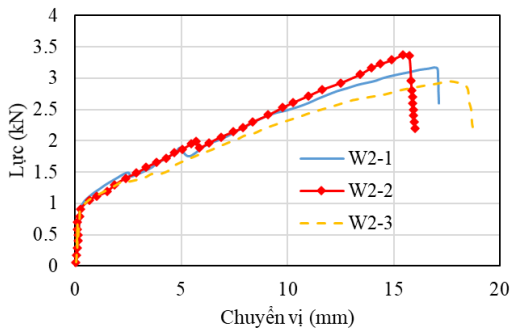
Vật liệu và Kết cấu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải. Các tấm tường được đặt lên gối thép và tiến hành gia tải đến khi mẫu bị phá hoại. Hình 3 thể hiện hình ảnh bố trí thí nghiệm.

2.4. Kết quả thí nghiệm

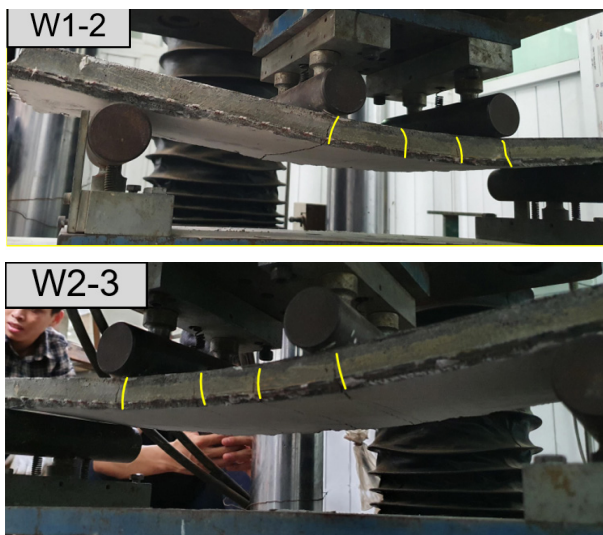
Hình 4, 5 thể hiện mối quan hệ giữa lực tác dụng và chuyển vị giữa nhịp thu được từ thí nghiệm trên các tổ mẫu W1 và W2. Dạng phá hoại của hai mẫu dầm được thể hiện trên Hình 6. Từ các đường



Hình 4. Mối quan hệ lực – chuyển vị từ thí nghiệm trên các mẫu W1-1, W1-2, W1-3



Hình 5. Mối quan hệ lực – chuyển vị trên các mẫu W2-1, W2-2, W2-3



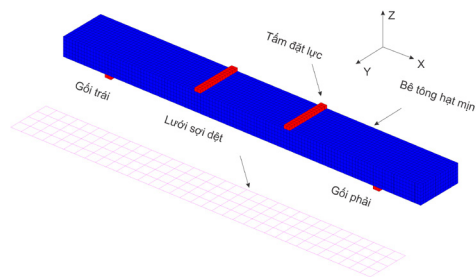
Hình 6. Dạng phá hoại điển hình trên các mẫu W1, W2

cong trên Hình 4, 5 nhận thấy rằng ứng xử chịu lực của tấm có chiều dày 25 mm và 30 mm là tương tự nhau. Lực gây nứt cho kết cấu tấm xấp xỉ 0,9 kN và 1,1 kN đối với mẫu W1 và W2. Sau đó, 3 đến 4 vết nứt thẳng góc liên tục xuất hiện ở khu vực chịu uốn thuần túy. Tại thời điểm phá hoại, 1 vết nứt mở rộng lớn, và lưới sợi ở khu vực này bị kéo đứt, làm lực giảm xuống đột ngột từ giá trị lớn nhất xấp xỉ 2,6 kN và 3,2 kN đối với mẫu W1 và W2.

3. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

3.1. Xây dựng mô hình

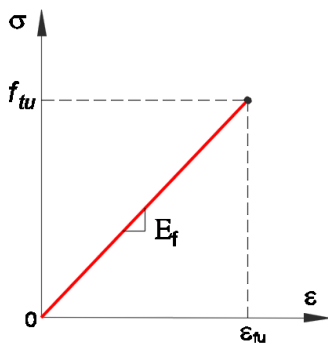
Như đã trình bày ở trên, các tổ hợp mẫu W1 và W2 có ứng xử tương tự nhau, do đó, chúng tôi chọn đường cong lực chuyển vị W2-3 (mẫu có chiều dày bằng 30mm) để làm đối chứng cho mô hình mô phỏng. Mẫu thí nghiệm kể trên được mô phỏng bằng phần mềm phần tử hữu hạn Cast3M. Đây là phần mềm phần tử hữu hạn có mã nguồn mở, được phát triển bởi Viện Năng lượng nguyên tử Cộng hòa Pháp (CEA) nhằm giải quyết các bài toán đa vật lý. Nhờ vào tính đối xứng, việc mô hình hóa mẫu dầm được thực hiện trên 1/2 mô hình nhằm giảm nhẹ khối lượng tính toán. Bê tông hạt mịn, tấm kê gối, tấm đặt lực được miêu tả bằng phần tử lục diện 8 nút tuyến tính (CUB8). Mỗi nút có ba bậc tự do là 3 thành phần chuyển vị thẳng theo 3 phương (UX, UY, UZ). Lưới sợi dệt được dệt từ các bó sợi, mỗi bó sợi được miêu tả bằng phần tử thanh 2 nút tuyến tính (SEG2), diện tích của phần tử thanh bằng diện tích của một bó sợi. Việc quy đổi về 1/2 mô hình được thực hiện thông qua việc không chế chuyển vị thẳng theo phương vuông góc với mặt đối xứng bằng không (UY = 0). Gối bên trái được không chế điều kiện chuyển vị theo phương đứng và phương ngang bằng không (UX = UZ = 0). Gối bên phải được không chế điều kiện chuyển vị theo phương đứng bằng không (UZ = 0). Dầm mô phỏng được gia tải bằng chuyển vị tại hai vị trí đặt lực với số gia chuyển vị bằng $\Delta U = -0,01mm$. Kích thước phần tử được chọn bằng 5mm. Tổng thể, lưới phần tử hữu hạn có 14274 nút. Các kết quả thu được trên các lưới phần tử mịn hơn không thể hiện sự khác biệt với lưới phần tử được giới thiệu kể trên.



CAST3M FECIT

Hình 7. Lưới phần tử hữu hạn của mô hình

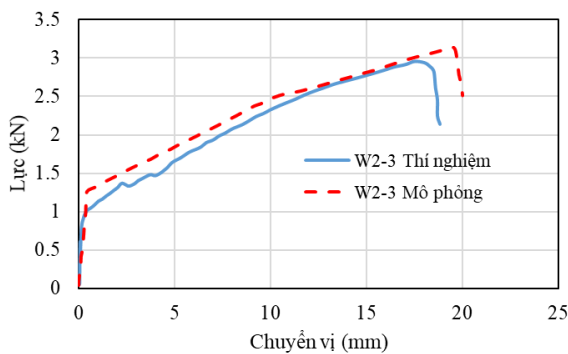
Ứng xử của bê tông được mô phỏng bằng cách sử dụng mô hình bê tông phá hoại của Mazars [7]. Mô hình này có trong thư viện các mô hình vật liệu phần mềm Cast3M. Mô hình kể trên cho phép miêu tả các ứng xử phức tạp của vật liệu bê tông như ứng xử chịu nén một, hai, ba trục thông qua đại lượng hư hại có hiệu. Đại lượng này cho phép miêu tả sự suy giảm độ cứng của mẫu. Ở trạng thái mẫu bị nứt, đại lượng này cho phép miêu tả sự phát triển của vết nứt đồng thời tránh cho các vết nứt bị xâm nhập vào nhau (unilateral contact). Lưới sợi dệt được mô tả bằng vật liệu đàn dẻo. Mối quan hệ ứng suất – biến dạng được thể hiện thông qua hai điểm: điểm đầu (0,0) và điểm cuối (ϵ_{tu} , f_{tu}). Dính bám giữa bê tông hạt mịn và lưới sợi dệt được giả thiết là dính bám tuyệt đối.



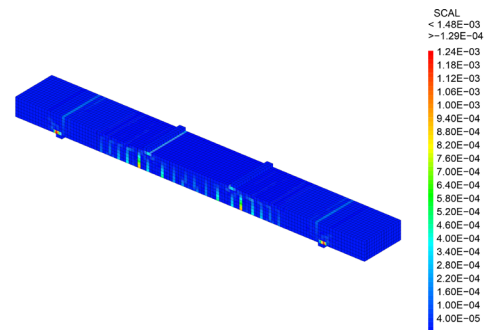
Hình 8. Ứng xử của lưới sợi

3.2. Kết quả mô hình mô phỏng

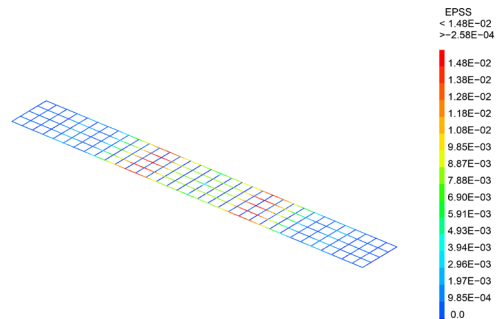
Mô hình mô phỏng được trình bày ở trên được kiểm chứng với kết quả thí nghiệm thu được trên mẫu W2-3. Đường cong lực chuyển vị thu được từ mô hình mô phỏng được so sánh với kết quả thí nghiệm và được thể hiện trên hình 9. Nhận thấy rằng, hai đường cong thể hiện sự tương đồng, từ giai đoạn đàn hồi đến giai đoạn xuất hiện vết nứt đầu tiên và giá trị lực lớn nhất. Hình 10 thể hiện dạng phá hoại thu được từ mô hình mô phỏng. Quan sát thấy rằng trên mô hình mô phỏng, các vết nứt xuất hiện thẳng góc ở khu vực giữa dầm, tương tự kết quả thu được từ thí nghiệm trên mẫu W2-3.



Hình 9. So sánh đường cong lực chuyển vị từ thí nghiệm và mô phỏng



Hình 10. So sánh dạng phá hoại từ thí nghiệm và mô phỏng

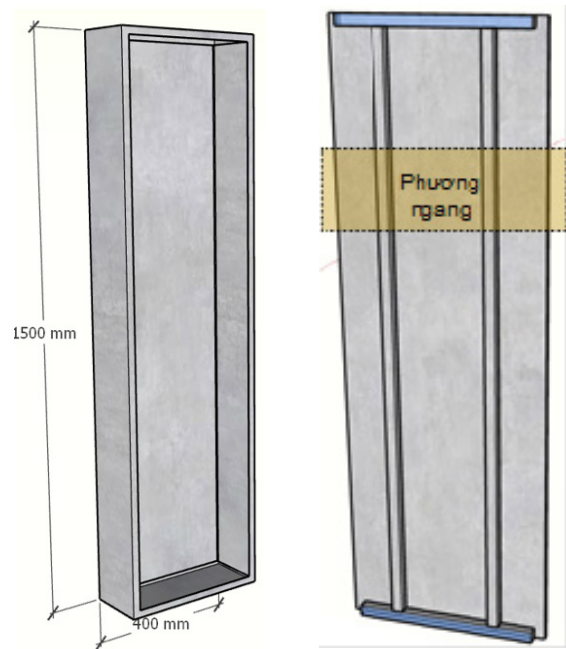


Hình 11. Biến dạng trong lưới sợi dệt

Hình 11 thể hiện biến dạng trong lưới sợi dệt thu được từ mô hình mô phỏng. Kết quả cho thấy rằng lưới sợi dệt đạt tới biến dạng lớn nhất bằng 0,0148. Điều này thể hiện rằng lưới sợi cũng bị phá hoại như quan sát được từ thí nghiệm.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng một dạng kết cấu mới



a) Tấm tường hộp hở b) Tấm tường lắp ghép

Hình 12. Tấm tường dạng lắp ghép

là tấm tường thành mỏng bằng bê tông cốt lưới dệt. Nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành trên hai tổ mẫu W1 có chiều dày 25 mm, mẫu W2 có chiều dày 30mm. Kết quả thí nghiệm cho thấy, ứng xử chịu lực của hai mẫu là tương tự nhau về dạng đường cong lực, chuyển vị dạng phá hoại. Nghiên cứu mô phỏng được thực hiện trên mẫu W2-3 bằng cách sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn Cast3m. Kết quả mô phỏng thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm trên các phương diện như đường cong lực chuyển vị, dạng vết nứt, phá hoại sợi. Đây là nghiên cứu ban đầu để thực hiện tiếp tục các nghiên cứu trên các dạng kết cấu tấm tường thành mỏng như dưới đây nhằm phục vụ cho dự án xây dựng nhà ở dạng lắp ghép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hegger J., Horstmann M., Scholzen A. (2008), *Sandwich panels with thin-walled textile-reinforced concrete facings*. In: American Concrete Institute (ACI) Special Publication.
- [2] Schneider H.N. (2009). *Modulare Bausysteme aus Textilbetonsandwich-elementen*. In: Curbach, M., Jesse, F. (Eds.), 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4), pp. 565–576.
- [3] Nguyen Viet Anh (2016). *A study on Textile Reinforced - and Expanded Polystyrene Concrete sandwich beams*. PhD Dissertation, Technische Universität Dresden.
- [4] Vu Van Hiep, Ngo Dang Quang, Nguyen Thi Tuyet Trinh, Nguyen Huy Cuong (2018). *Experimental analysis of sandwich panels using textile reinforced concrete faces and light weight concrete core*. Science Journal of Transportation, Especial Issue No. 08, International cooperation Journals.
- [5] Bùi Thị Thanh Mai, Nguyễn Huy Cường, Ngô Đăng Quang (2018). *Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu uốn và chịu cắt của kết cấu sandwich sử dụng lớp vỏ bê tông cốt lưới dệt và lớp lõi bê tông khí chưng áp*. Tạp chí Khoa học GTVT - Số đặc biệt.
- [6] Phạm Thị Thanh Thủy, Nguyễn Huy Cường, Ngô Đăng Quang, Đinh Hữu Tài (2021). *Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng xác định ứng xử chịu lực của tấm tường rỗng bằng bê tông cốt lưới dệt*. Tạp chí Giao thông Vận tải, Số tháng 4/2021.
- [7] Mazars, J (1986). *A description of micro and macroscale damage of concrete structure*. Engineering fracture mechanics, 25:729-737.