

# Nghiên cứu thực nghiệm phân tích ứng xử của liên kết bu lông của tấm panel bê tông cốt lưới dệt thành mỏng

## Experimental investigation of textile reinforced concrete thin-wall panel bolted connections

Đỗ Văn Linh, Vũ Văn Hiệp, Nguyễn Huy Cường\*

Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Tác giả liên hệ: nguyenhuycuong@utc.edu.vn

### Tóm tắt:

Bê tông cốt lưới dệt (BTCLD) là loại vật liệu tính năng cao, kết hợp giữa bê tông hạt mịn và lưới sợi dệt cường độ cao. BTCLD là một giải pháp mới, rất hiệu quả để chế tạo các cấu kiện dạng thành mỏng, nhờ vào cường độ chịu kéo cao, khả năng chống nứt tốt, và có độ bền cao. Bài báo trình bày một số kết quả thực nghiệm để xác định ứng xử chịu lực của kết cấu BTCLD thành mỏng được liên kết bằng bu lông. Nghiên cứu được thực hiện trên ba loại liên kết, bao gồm: Liên kết chịu uốn, liên kết chịu cắt và liên kết nguyên mẫu panel. Ứng xử chịu lực của các liên kết được thực hiện với nhiều mô hình thí nghiệm khác nhau, nhằm đánh giá khả năng chịu lực cũng như dạng phá hoại của các liên kết. Trong đó, có 08 mẫu thí nghiệm dạng panel với kích thước đầy đủ được thực hiện nhằm xác định ứng xử của nguyên mẫu panel cũng như liên kết. Kết quả thí nghiệm giúp đánh giá sự làm việc của liên kết, nhằm ứng dụng vào việc thiết kế kết cấu BTCLD thành mỏng.

**Từ khóa:** Bê tông cốt lưới dệt; Tấm panel; Thành mỏng; Liên kết chịu uốn; Liên kết chịu cắt; Liên kết nguyên mẫu panel.

### Abstract:

Textile Reinforced Concrete (TRC) is a composite material that combines fine-grained concrete with textile fibers to create a new building material with improved mechanical properties. TRC, an innovative thin-wall precast panel construction solution, offers excellent tensile strength, crack resistance, and durability. The behavior of bolted joints in textile-reinforced concrete thin-wall panels was experimentally studied in this research. The investigation focused on three types of connections: moment joints, shear joints, and half-box connections. The study aimed to examine the structural performance of these joints under different loading conditions and identify the failure modes. Ten specimens were tested, and the results were analyzed to determine the relationship between applied load and joint behavior. This research provides valuable information for the design and optimization of bolted joints in textile-reinforced concrete thin-wall panels.

**Keywords:** Textile reinforced concrete; Panel; Thin-wall; Moment joint; Shear joint; Half-box connection

### 1. Giới thiệu

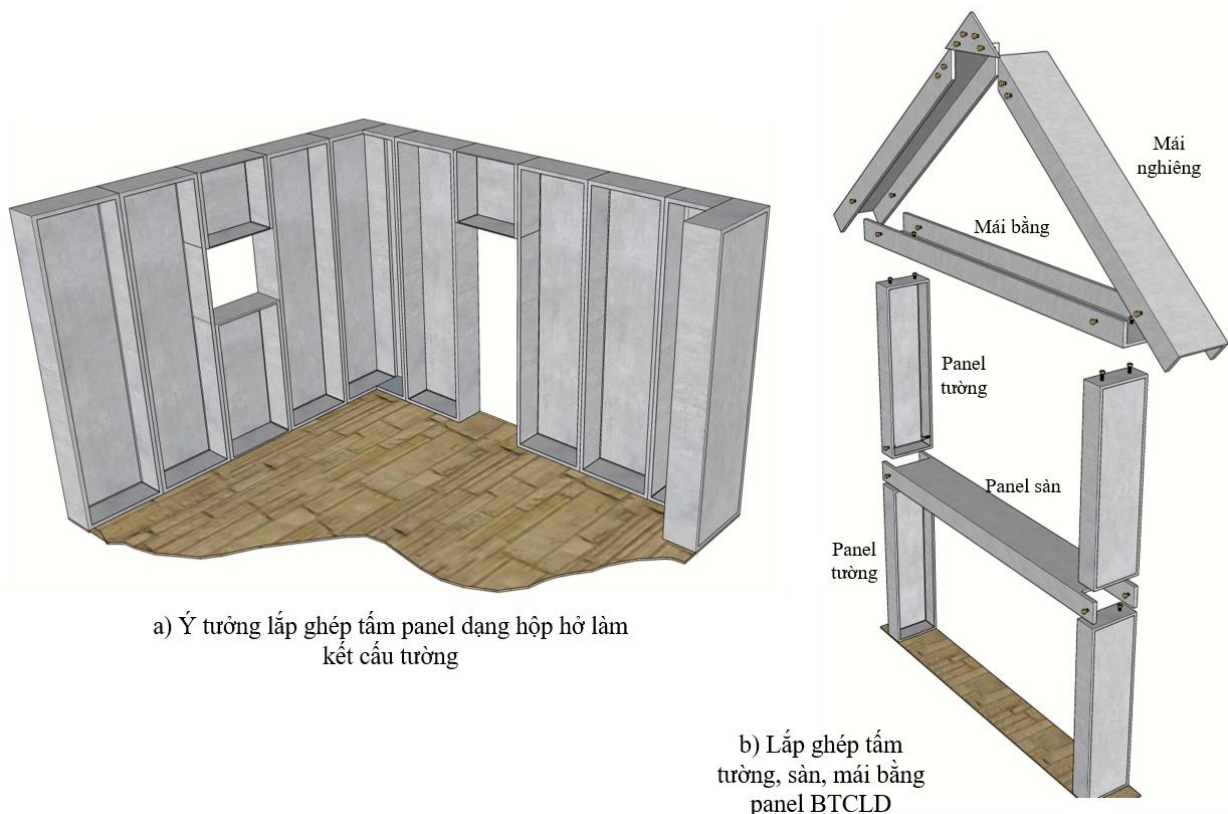
Trong 25 năm qua, vật liệu composite cốt sợi đã đóng vai trò ngày càng quan trọng trong ngành Xây dựng. Trong các loại vật liệu này, bê tông cốt lưới dệt (BTCLD), đang được sử dụng phổ biến nhất. BTCLD là một loại vật liệu thuộc nhóm composite có gốc xi măng, bao gồm bê tông hạt mịn và cốt từ lưới sợi dệt. Cốt lưới sợi được dệt từ các sợi hoặc bó sợi có nguồn gốc từ tự nhiên như basalt hay nhân

tạo như các bon, thủy tinh, nhựa,... Do đó, BTCLD có nhiều ưu điểm như cường độ cao, trọng lượng nhẹ và rất bền vững với môi trường. So với bê tông cốt thép, BTCLD cho phép giảm đến 45% trọng lượng kết cấu và chi phí tài nguyên có thể giảm đến 80% [1].

BTCLD cũng được xem là một trong những vật liệu tiên tiến có tiềm năng đáp ứng được những yêu cầu phát triển bền vững trong xây dựng công trình

hiện nay. Vật liệu này đặc biệt thích hợp cho các cấu kiện yêu cầu độ thanh mảnh cao như tấm, vỏ, tường che,... Một trong những ứng dụng khá phổ biến ở Cộng hòa Đức là các dạng cấu kiện “tấm tường ở mặt tiền” (façade) bằng BTCLD có kích thước 1200 ÷ 2400 mm với chiều dày chỉ từ 30 đến 40 mm, được liên kết với hệ kết cấu chịu lực bằng hệ thống bu lông [2]. Từ yêu cầu về kiến trúc, công trình House Rheinlanddamm (Đức) sử dụng các tấm BTCLD đúc sẵn có chiều dày 25 mm, kích thước 2,1 × 3,5 m để chế tạo các tấm ốp bề mặt công trình. Tuy nhiên, cho đến nay, các nghiên cứu và ứng dụng tấm tường thành mỏng bằng BTCLD mới chỉ phổ biến ở Đức. Do các tấm tường có chiều dày nhỏ, đòi hỏi hệ thống liên kết khá phức tạp, yêu cầu độ chính xác cao, chỉ thực sự phù hợp cho các nước có trình độ cơ khí cao. Để có thể ứng dụng rộng rãi hơn, không chỉ cần có những giải pháp về cấu tạo tấm tường thành mỏng mới, còn cần có những giải pháp cấu tạo liên kết phù hợp, dễ chế tạo và dễ thi công. Dạng liên kết bằng bu lông sẽ mang lại khả năng tái sử dụng các kết cấu tấm tường khi công trình có nhu cầu di dời hay lắp đặt ở nơi khác, phát huy giá trị về độ bền của loại cấu kiện sử dụng BTCLD vốn có độ bền cao này.

Hiện nay, chỉ có một số nghiên cứu về khả năng chịu cắt và chịu chọc thủng của tấm BTCLD thành mỏng liên kết bằng bu lông [3], [4]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, khả năng chịu cắt của liên kết BTCLD sử dụng bu lông tốt hơn nhiều so với BTCT truyền thống, nhờ cường độ chịu kéo cao của bê tông hạt mịn cũng như lưới sợi dệt, có thể phân phối lực hiệu quả và hạn chế sự hình thành vết nứt. Các nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích ảnh hưởng của bu lông cường độ cao, cũng như tối ưu hóa cấu trúc (số lượng, kích thước) của bu lông. Cho đến thời điểm này, chưa có nghiên cứu nào được thực hiện để đánh giá ứng xử chịu uốn của liên kết BTCLD bằng bu lông thép. Và hầu hết các nghiên cứu về cấu kiện BTCLD đúc sẵn ở Việt Nam đều được thực hiện tại Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải. Nhóm nghiên cứu này đã triển khai một số dạng tấm tường, tấm sàn bằng BTCLD như tấm sàn sandwich sử dụng lưới sợi các bon, tấm tường sandwich kết hợp BTCLD với bê tông khí chưng áp [5], cấu kiện tấm tường rỗng [6]. Bên cạnh đó, nhóm nghiên cứu đang phát triển một số dạng cấu kiện tấm tường có thành mỏng, với chiều dày chỉ từ 25 đến 35 mm, phù hợp để ứng dụng cho các công trình nhà dạng lắp ghép.



a) Ý tưởng lắp ghép tấm panel dạng hộp hở làm kết cấu tường

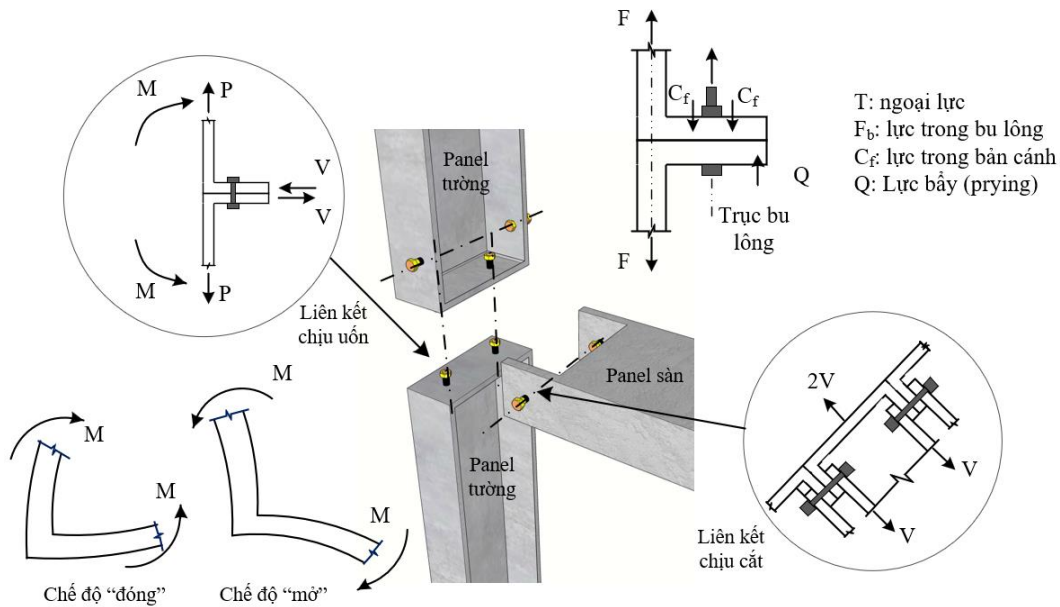
b) Lắp ghép tấm tường, sàn, mái bằng panel BTCLD

**Hình 1.** Giải pháp về kết cấu tấm tường thành mỏng lắp ghép.

Để có thể ứng dụng rộng rãi loại kết cấu này, cần nghiên cứu và phát triển một số dạng liên kết phù hợp với điều kiện công nghệ sản xuất và thi công tại Việt Nam. Trong đó, liên kết bu lông được phổ biến trong ngành xây dựng Việt Nam hiện nay, dễ dàng chế tạo, lắp đặt, tiết kiệm đáng kể thời gian và chi phí. Tuy nhiên, đến nay, cấu tạo liên kết và ứng xử chịu lực của các dạng liên kết bu lông với tấm tường thành mỏng bằng BTCLD chưa tiến hành nghiên cứu và đánh giá.

## 2. Giải pháp kết cấu panel đúc sẵn bằng bê tông cốt lưới dệt

Trong nghiên cứu này, giải pháp kết cấu BTCLD thành mỏng lắp ghép bằng bu lông thép sẽ được đề xuất và đánh giá bằng thực nghiệm. Tấm panel có chiều dày của  $20 \div 30$  mm, có thể chế tạo thành mô đun  $400 \times 1500$  mm, lắp ghép theo cả hai phương để hoàn thiện thành kết cấu tường bao che, hoặc kết cấu sàn và kết cấu mái cho công trình (hình 1).



**Hình 2.** Các trạng thái chịu lực của liên kết bu lông.

Khi chịu tải trọng ngang do gió hoặc chịu tải trọng đứng do tĩnh tải và hoạt tải sử dụng, liên kết bu lông có thể xuất hiện trạng thái chịu lực cắt và chịu mô men uốn (hình 2).

Do đó, ngoài việc thí nghiệm trên kết cấu panel dạng hộp hở, các dạng liên kết chịu mô men uốn, chịu lực cắt sẽ lần lượt được thí nghiệm.

## 3. Thí nghiệm với nguyên mẫu tấm panel

### 3.1. Thiết kế thí nghiệm

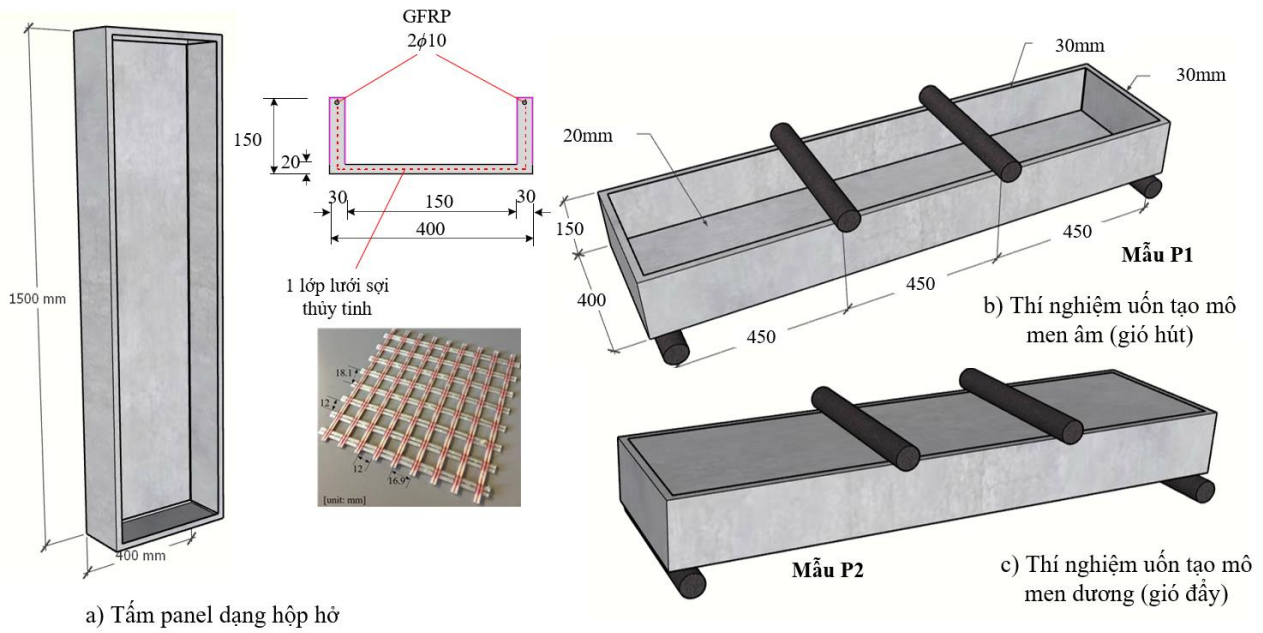
Bốn tấm panel dạng hộp hở có kích thước  $400 \times 1500$  mm, với chiều dày tấm đáy là 20 mm, chiều dày phần sườn là 30 mm. Các tấm panel được thí nghiệm xác định khả năng chịu mô men âm (mẫu P1-1 và P1-2) và mô men dương (mẫu P2-1 và P2-2), nhằm mô phỏng tác động gió hút và gió đẩy khi sử dụng làm tấm tường bao che, hoặc kết cấu sàn và

kết cấu mái chịu tải trọng đứng. Các tấm tường sẽ được thí nghiệm uốn 04 điểm (hình 3) với chiều dài nhịp chịu uốn là 1350 mm ( $3 \times 450$  mm).

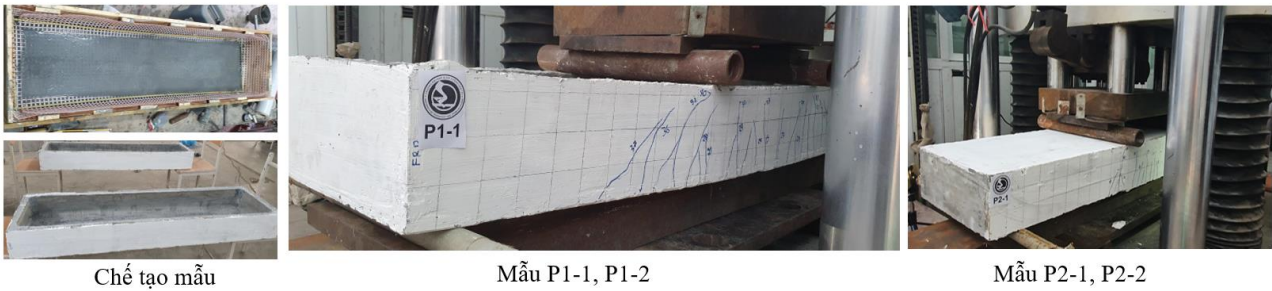
Bê tông hạt mịn được chế tạo từ hỗn hợp cốt liệu có đường kính hạt tối đa 0,63 mm, kết hợp với xi măng PC 40, tro bay, nước và phụ gia siêu dẻo để đảm bảo có độ chảy loãng lớn. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn trung bình của bê tông hạt mịn sau 28 ngày là 62,5 MPa và 7,3 MPa. Lưới sợi dệt loại thủy tinh kháng kiềm SITgrid200KE, có cường độ chịu kéo 1700 MPa, với mô đun đàn hồi 115 GPa, kích thước mắt lưới  $17,5 \times 17,5$  mm, diện tích mỗi bó sợi là  $1,8 \text{ mm}^2$ . Thanh FRP sợi thủy tinh có đường kính 10 và 14 mm, được sản xuất bởi công ty FRP Việt Nam, có cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi là 800 MPa và 45 GPa. Các loại vật liệu này sẽ được sử dụng cho tất cả các thí nghiệm được trình bày trong nghiên cứu này.

Sau khi bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm đủ 28 ngày, các mẫu thí nghiệm được tiến hành gia tải uốn 04 điểm tại phòng thí nghiệm Vật liệu và Kết cấu xây dựng, thuộc Trường Đại học

Giao thông vận tải. Các tấm tường được đặt lên gối thép và gia tải bằng máy nén thủy lực SANS cho đến khi phá hoại (hình 4).

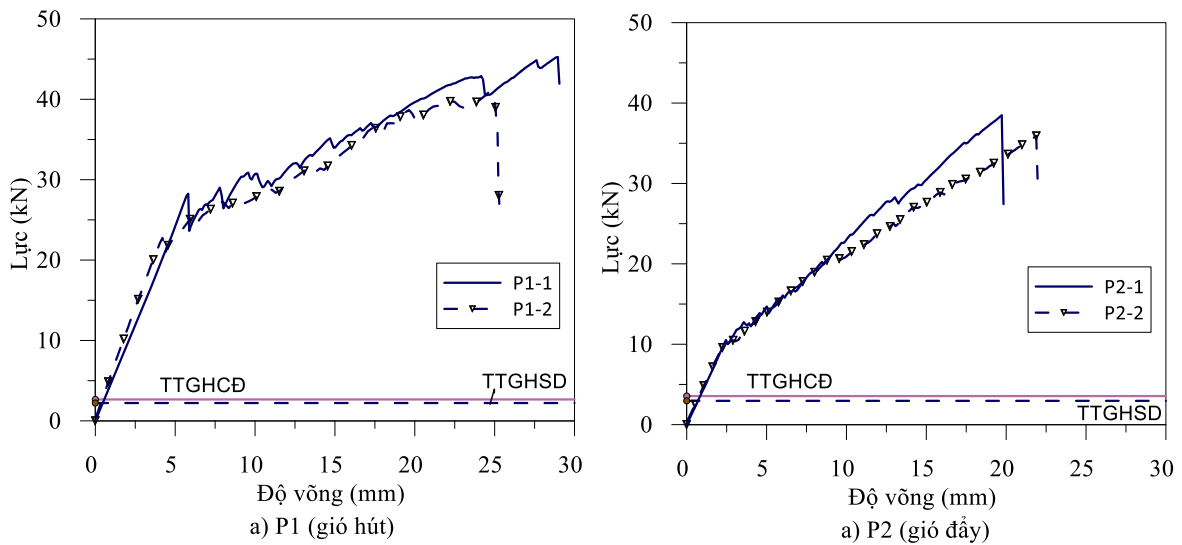


**Hình 3.** Cấu tạo thí nghiệm đối với tấm tường hộp hở.



**Hình 4.** Chế tạo và thiết lập thí nghiệm uốn các tấm panel.

### 3.2. Kết quả thí nghiệm



**Hình 5.** Quan hệ lực – độ võng của các mẫu P1 và P2.

Kết quả thí nghiệm đối với tấm tường dạng hộp hở được thể hiện ở hình 11 và hình 12. Có thể thấy, vết nứt thẳng góc (do mô men uốn) xảy ra ở mức tải trọng từ 22 đến 28 kN, với mẫu thí nghiệm P1-1 và P1-2 chịu tác động mô phỏng gió hút. Mức tải trọng này lớn gấp 10 lần so với tải trọng tương ứng ở trạng thái giới hạn (TTGH) sử dụng cũng như TTGH cường độ được tính với tấm tường có chiều dài nhịp đến 3 m, khi chịu áp lực gió vùng V theo TCVN 2737-95.



**Hình 6.** Cấu trúc vết nứt của mẫu thí nghiệm P1 (gió hút) và P2 (gió đẩy).

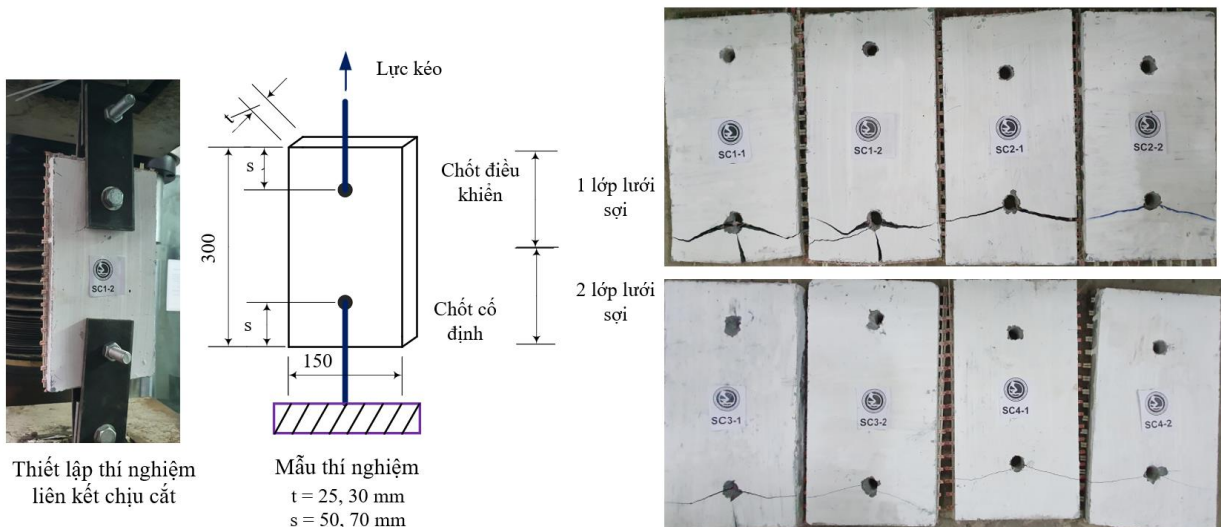
Vết nứt do uốn có thể quan sát được ở mẫu P2-1 và P2-2 (chịu áp lực tương tự gió đẩy) tại mức tải trọng từ 11 đến 13 kN. Các tấm tường P1 có số lượng vết nứt xuất hiện dày hơn khá nhiều so với mẫu P2. Các vết nứt nghiêng bắt đầu xuất hiện ở mức tải trọng 31 kN. Với mẫu P1, lực gây phá hoại xảy ra ở mức tải trọng 43 kN, khi bê tông vùng nén bị ép vỡ một phần. Mẫu P2-1 và P2-2 bị phá hoại lần lượt ở mức

tải trọng 38,4 và 35,9 kN. Với khả năng chịu lực này, tấm panel có thể ứng dụng làm kết cấu sàn và kết cấu mái của một số công trình dân dụng có quy mô nhỏ.

#### 4. Thí nghiệm liên kết bu lông chịu uốn và chịu cắt

##### 4.1. Liên kết chịu cắt

Tấm BTCLD có kích thước  $150 \times 300$  mm, được thí nghiệm kéo dọc trục, nhằm xác định khả năng chịu lực của tấm BTCLD trong trường hợp sử dụng bu lông để chịu cắt. Bu lông D16, có khoảng cách từ trọng tâm lỗ bu lông đến mép ( $s$ ) lần lượt là 50 và 70 mm. Đồng thời, chiều dày của tấm BTCLD ( $t$ ) thay đổi từ 25 đến 30 mm. Chi tiết về cấu tạo và thiết lập thí nghiệm được trình bày ở hình 7 và bảng 1. Như quan sát ở hình 7 về cấu trúc vết nứt của các mẫu thí nghiệm, cũng như từ kết quả ở bảng 1, hầu hết các mẫu thí nghiệm có khoảng cách  $s = 50$  mm (trừ mẫu SC3-2) đều bị phá hoại do kéo chẻ (cleavage failure). Trong khi đó, các mẫu có khoảng cách  $s = 70$  mm đều bị phá hoại do kéo ngang (net tension failure), với khả năng chịu lực lớn hơn đến 40% so với mẫu  $s = 50$  mm có chiều dày tương ứng. Căn cứ vào kết quả thí nghiệm này, chiều dày của phần sườn (nơi dự kiến đặt các bu lông để liên kết panel) sẽ được chọn có chiều dày 30 mm. Tùy thuộc vào số lượng bu lông và kích thước của phần sườn, khoảng cách giữa các bu lông sẽ được thiết kế từ 50 đến 75 mm.



**Hình 7.** Thí nghiệm liên kết chịu cắt.

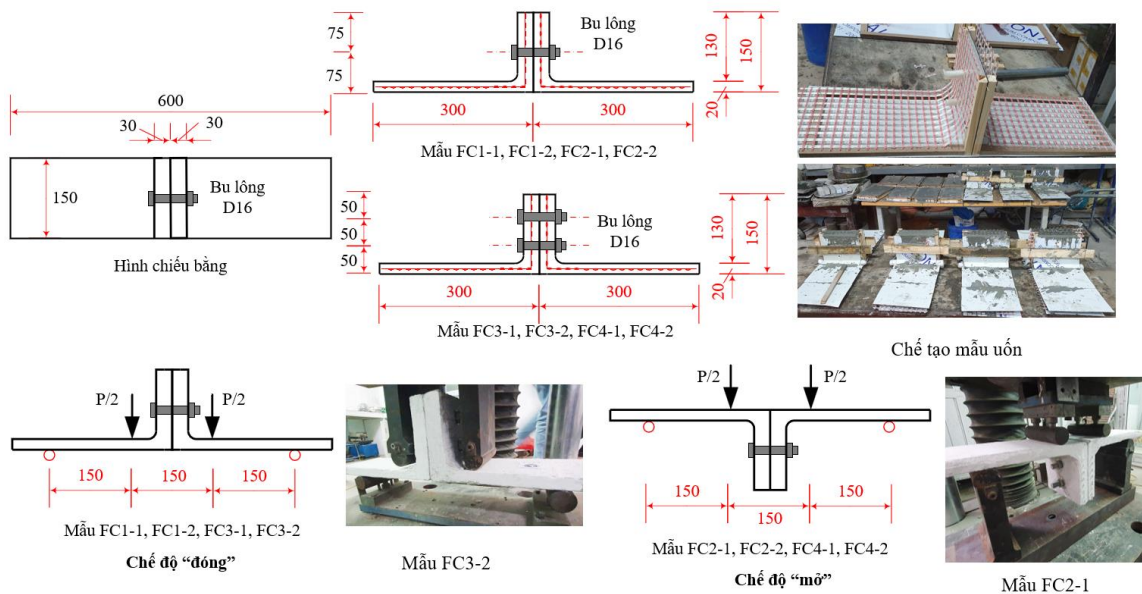
**Bảng 1.** Tổng hợp kết quả thí nghiệm liên kết chịu cắt.

Mẫu	SC1-1	SC1-2	SC2-1	SC2-2	SC3-1	SC3-2	SC4-1	SC4-2
Chiều dày $t$ (mm)	25	25	25	25	30	30	30	30
Khoảng cách $s$ (mm)	50	50	70	70	50	50	70	70
Lực phá hoại (kN)	7,9	8,7	11,1	11,6	8,9	9,7	13,9	13,2
Dạng phá hoại	Kéo chẻ	Kéo chẻ	Kéo ngang	Kéo ngang	Kéo chẻ	Kéo ngang	Kéo ngang	Kéo ngang

**4.2. Liên kết chịu uốn**

Tám mẫu thí nghiệm xác định ứng xử chịu uốn của liên kết bu lông thuộc tấm BTCLD thành mỏng có tiết diện chữ L sẽ được thí nghiệm thông qua mô hình uốn 04 điểm. Các tấm BTCLD chữ L có kích thước  $150 \times 300$  mm, với phần cánh dày 20 mm, và phần sườn được liên kết bu lông D16 dày 30 mm. Trong nghiên cứu này, có 02 tham số được khảo sát, bao gồm số lượng bu lông (1 và 2) và chế độ làm

việc (mô men gây đóng và mở cho panel). Với mỗi thông số, có 02 mẫu thí nghiệm được chế tạo. Mẫu FC1-1 và FC1-2 sử dụng 01 bu lông (hình 8), được thí nghiệm theo chế độ đóng. Mẫu FC2-1 và FC2-2 sử dụng 01 bu lông, làm việc ở chế độ mở. Tương tự, 04 mẫu thí nghiệm còn lại (FC3-1, FC3-2, FC4-1, FC4-2) sử dụng 02 bu lông và làm việc ở chế độ đóng - mở. Thí nghiệm uốn 04 điểm với chiều dài nhịp chịu uốn là 450 mm.



**Hình 8.** Thí nghiệm liên kết chịu uốn.



**Hình 9.** Cấu trúc vết nứt của một số mẫu thí nghiệm liên kết chịu uốn.

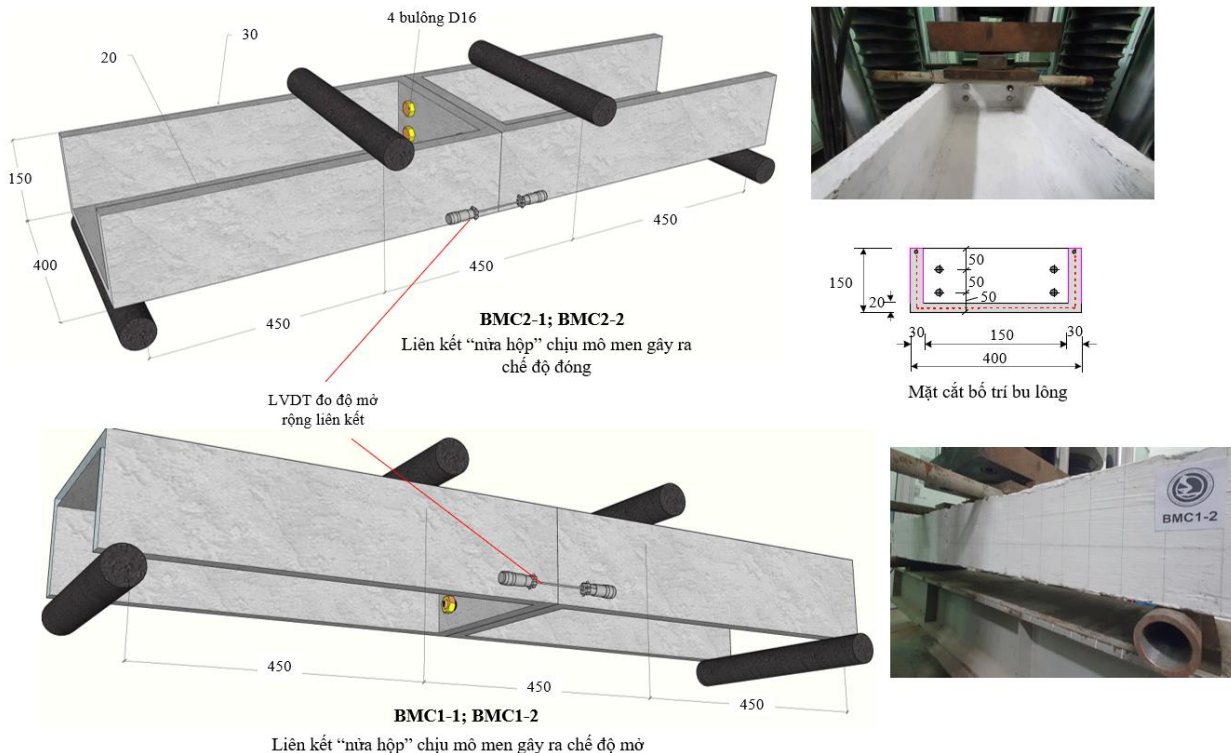
**Bảng 2.** Tổng hợp kết quả thí nghiệm liên kết chịu uốn.

Mẫu	FC1-1	FC1-2	FC2-1	FC2-2	FC3-1	FC3-2	FC4-1	FC4-2
Số lượng bu lông	1	1	1	1	2	2	2	2
Chế độ uốn	Đóng	Đóng	Mở	Mở	Đóng	Đóng	Mở	Mở
Lực phá hoại (kN)	1,64	1,42	1,31	1,52	2,25	2,18	1,95	2,36
Vị trí phá hoại	Sườn	Sườn	Sườn	Sườn	Cánh	Cánh	Cánh	Cánh

Kết quả thí nghiệm bao gồm cấu trúc vết nứt, dạng phá hoại, khả năng chịu lực của một số mẫu thí nghiệm điển hình được thể hiện ở hình 9 và tổng hợp ở bảng 2. Có thể quan sát tại hình 9, các mẫu sử dụng 02 bu lông đều bị phá hoại ở phần cánh, với việc lưới sợi bị kéo đứt do vết nứt lớn xuất hiện khi chịu mô men gây tác dụng “mở” và “đóng”. Trong khi đó, các mẫu sử dụng 01 bu lông bị phá hoại do vết nứt nghiêng hình thành ở vị trí giao giữa phần cánh và phần sườn, gần vị trí có lỗ bu lông. Đối với các mẫu sử dụng 01 bu lông, các vết nứt nhỏ có xuất hiện ở phần cánh, tuy nhiên, có bề rộng nhỏ và lưới sợi không bị kéo đứt. Căn cứ vào kết quả thí nghiệm này, các mẫu có kích thước đầy đủ (full-scale) sẽ được triển khai ở phần tiếp theo, với việc sử dụng 04 bu lông (2 hàng x 2 cột) để liên kết các nguyên mẫu panel.

### 5. Thí nghiệm liên kết nửa hộp chịu mô men uốn

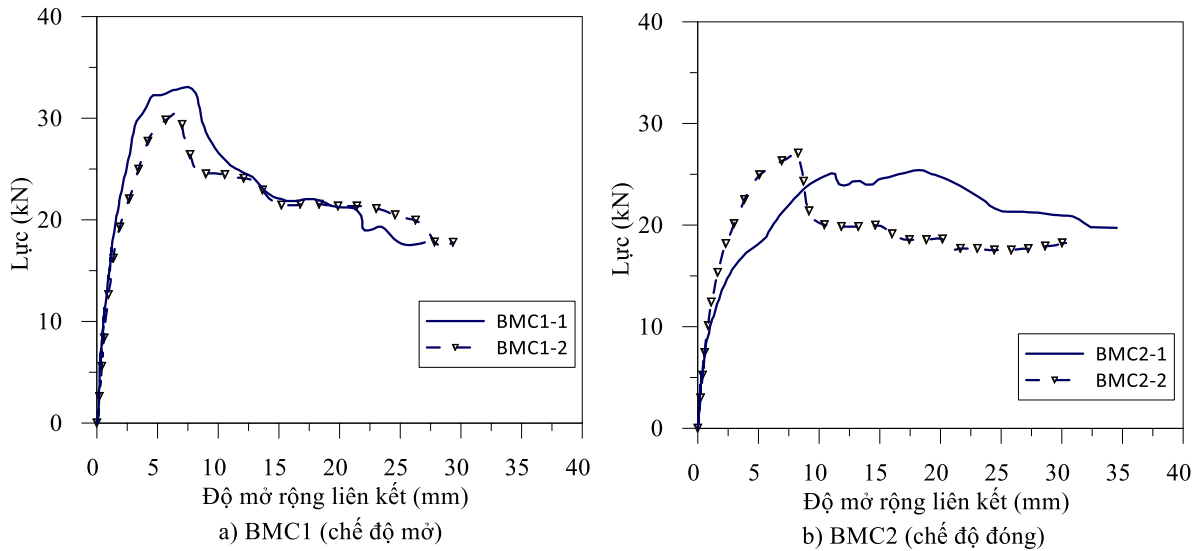
Trong nghiên cứu này, 04 mẫu thí nghiệm dạng nửa hộp có kích thước tương tự như mẫu panel (rộng 400 mm, dài 1500 mm, chiều cao sườn 150 mm). Các nửa tấm panel được liên kết bởi 04 bu lông D16 (hình 10). Hai mẫu BMC1-1 và BMC1-2 được thí nghiệm uốn với mô men gây ra chế độ mở (opening mode), 02 mẫu BMC 2-1 và BMC 2-2 thí nghiệm với mô men uốn gây ra chế độ đóng (closing mode). Thí nghiệm uốn 04 điểm sử dụng với chiều dài nhịp  $1350 \text{ mm} = 3 \times 450 \text{ mm}$ . Bên cạnh giá trị lực tác dụng và chuyển vị giữa nhịp, độ mở rộng của liên kết được đo bằng thiết bị đo độ dịch chuyển. Lưới sợi dệt, thanh FRP và bê tông hạt mịn đều được sử dụng cùng loại với thí nghiệm tấm panel có kích thước đầy đủ ở mục 2.



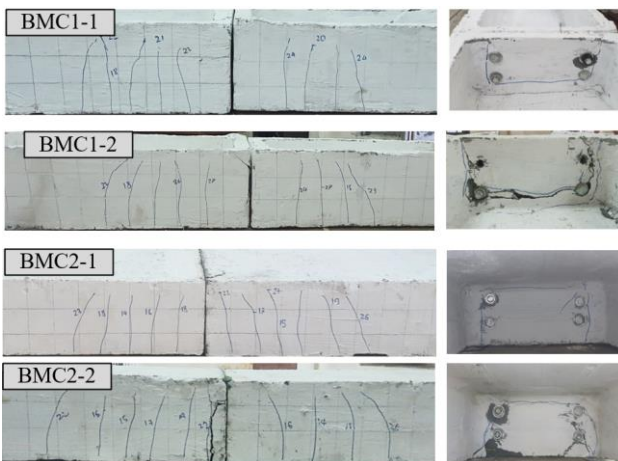
**Hình 10.** Thí nghiệm uốn tấm panel nguyên mẫu panel được liên kết bu lông.

Kết quả thí nghiệm bao gồm đường cong quan hệ lực – độ mở rộng liên kết và cấu trúc vết nứt lúc phá hoại của các mẫu thí nghiệm được thể hiện ở hình 11 và 12. Có thể thấy, cả 04 mẫu thí nghiệm đều bị phá hoại tại phần sườn được liên kết bu lông, với các vết nứt lớn xuất hiện xung quanh 04 bu lông D16. Đối với mẫu BMC1-1 và BMC1-2, một số vết nứt thẳng góc có bề rộng khá nhỏ đã xuất hiện ở khu vực chịu uốn thuần túy. Các mẫu thí nghiệm bị phá hoại ở mức tải trọng 30,5 và 33,1 kN, xấp xỉ 74%

so với khả năng chịu lực của tấm panel kích thước nguyên bản. Tương tự, mẫu BMC2-1 và BMC2-2 được thí nghiệm ở chế độ đóng, bị phá hoại ở mức tải trọng 25,4 và 27,1 kN, tương ứng với 70,6% của tấm panel nguyên bản. Kết quả thí nghiệm này cho thấy, để phát huy tối đa khả năng chịu lực của tấm panel, cần tăng khả năng chịu lực cho liên kết thông qua việc thay đổi cấu trúc bu lông hoặc chiều dày của phần sườn.



**Hình 11.** Quan hệ lực – độ võng của các mẫu BMC1 và BMC2.



**Hình 12.** Cấu trúc vết nứt của mẫu thí nghiệm BMC1 (gió đẩy) và BMC2 (gió hút).

## 6. Kết luận

Bài báo trình bày một số kết quả thực nghiệm để xác định ứng xử chịu lực của kết cấu BTCLD thành mỏng được liên kết bằng bu lông. Nghiên cứu được thực hiện trên 03 loại liên kết, bao gồm: Liên kết chịu uốn, liên kết chịu cắt và liên kết nguyên mẫu panel, cũng như nguyên mẫu tấm panel. Với vật liệu

và kết cấu đã thí nghiệm, một số kết luận được rút ra như sau:

- Tấm panel có thể đáp ứng khả năng chịu tải trọng gió hút và gió đẩy, trong trường hợp công trình được xây dựng nằm ở vùng gió bất lợi nhất (vùng V, theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995). Trong đó, khả năng chịu lực của nguyên mẫu tấm panel lớn hơn khá nhiều so với tấm tường có sườn, với tải trọng gây nứt lớn hơn 10 lần so với yêu cầu chịu tải trọng gió ở TTGH cường độ. Với khả năng chịu lực này, tấm panel có thể ứng dụng làm kết cấu sàn và kết cấu mái của một số công trình dân dụng có quy mô nhỏ.

- Trong thí nghiệm liên kết chịu cắt, hầu hết các mẫu thí nghiệm có khoảng cách từ bu lông đến mép liên kết bằng 50 mm đều bị phá hoại do kéo chế. Trong khi đó, các mẫu có khoảng cách bằng 70 mm đều bị phá hoại do kéo ngang (net tension failure), với khả năng chịu lực lớn hơn đến 40%. Trong thí nghiệm liên kết chịu uốn, các mẫu sử dụng 02 bu

lông đều bị phá hoại ở phần cánh, với việc lưới sợi bị kéo đứt do vết nứt lớn xuất hiện khi chịu mô men gây tác dụng “mở” và “đóng”. Trong khi đó, các mẫu sử dụng 01 bu lông bị phá hoại do vết nứt nghiêng hình thành ở vị trí giao giữa phần cánh và sườn, gần vị trí có lỗ bu lông.

• Cả 04 mẫu thí nghiệm liên kết nguyên mẫu panel đều bị phá hoại tại phần sườn được liên kết bu lông, với các vết nứt lớn xuất hiện xung quanh 04 bu lông D16. Khả năng chịu lực của liên kết này chỉ đạt từ 70,6 đến 74% so với khả năng chịu lực của tấm panel kích thước nguyên bản. Kết quả thí nghiệm cho thấy, để phát huy tối đa khả năng chịu lực của tấm panel, cần tăng khả năng chịu lực cho liên kết thông qua việc thay đổi cấu trúc bu lông hoặc chiều dày của phần sườn.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải thông qua đề tài mã số “T2022-XD-001”.

### Tài liệu tham khảo

- [1] T. C. Triantafillou; “Textile Fibre Composites in Civil Engineering”. Sawston, UK: Woodhead Publishing; 2016.

- [2] J. Hegger, C. Kulas, M. Horstmann; “Realization of TRC façades with impregnated AR-glass textiles”. *Key Engineering Materials*. 2011; 466:121–30. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.466.121.
- [3] J. Wagner, K. Mende, R. Kraft, K. Holschemacher, M. Curbach; “Stabanker für dünne Carbonbetonwände”. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2019; 114:485-494. DOI:10.1002/best.201800100.
- [4] C. Echavarría, H. Cañola, W. Echeverri; “Analysis Of Bolted Ultra-High Performance Concrete”. *Lámpsakos*. 2020; 24:15-22. DOI:10.21501/21454086.371.
- [5] B. T. T. Mai, N. H. Cuong, N. D. Quang, D. H. Tai; “Experimental study on flexural and shear behaviour of sandwich panels using glass textile reinforced concrete and autoclaved aerated concrete”. *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 71(1):18-26. DOI:10.25073/tcsj.71.1.3.
- [6] P. T. T. Thủy, N. H. Cường, N. Đ. Quang, Đ. H. Tài; “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*. 2021; số tháng 4/2021:65-69.