

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM HIỆU QUẢ GIA CƯỜNG BÀN SÀN BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ LỖ MỠ BẰNG VẬT LIỆU TẤM SỢI CFRP

Trần Xuân Vinh<sup>(1)</sup>, Nguyễn Ngọc Linh<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng - Trường Đại học Vinh

<sup>2</sup> Khoa xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 9/4/2019, ngày nhận đăng 7/5/2019

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sàn bê tông cốt thép (BTCT) có lỗ mở được gia cường bằng vật liệu tấm sợi CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Nghiên cứu được tiến hành trên 05 sàn BTCT có kích thước hình học và cấu tạo vật liệu giống nhau, trong đó có 01 sàn không gia cường (sàn đối chứng), 02 sàn được gia cường bằng vật liệu CFRP theo phương dãn vuông góc và 02 sàn được gia cường bằng vật liệu CFRP với phương gia cường chéo  $45^0$ . Những kết quả thu được thông qua nghiên cứu này góp phần làm rõ ứng xử của sàn bê tông cốt thép có lỗ mở được gia cường bằng vật liệu CFRP. Ngoài ra, kết quả phân tích đánh giá cho thấy hiệu quả gia cường từ việc lựa chọn biện pháp gia cường tấm dán CFRP, khả năng chịu lực của sàn tăng lên trên 70%.

## 1. Đặt vấn đề

Trong các công trình xây dựng dân dụng hiện nay, hầu hết các tấm sàn trong nhà đều có lỗ mở như ô cầu thang máy, ô hộp kỹ thuật, ô giếng trời, hay tấm bê tông che bể nước. Việc thay đổi mục đích sử dụng công trình khá phổ biến, điều đó dẫn đến việc cải tạo công trình cũ và việc tạo một lỗ mở trên sàn có sẵn có thể xảy ra. Tại vị trí lỗ mở, nội lực và biến dạng có sự thay đổi khá phức tạp tùy theo kích thước của lỗ mở. Do đó, cần gia cường tại những vị trí này để đảm bảo khả năng chịu lực. Có nhiều phương án gia cường được áp dụng trong nhiều năm qua. Bên cạnh những phương án truyền thống được sử dụng như bố trí thêm cốt thép dọc xung quanh khu vực có lỗ mở, phương pháp sử dụng vật liệu sợi composite (Fibre Reinforced Polymer, viết tắt FRP) như sợi cacbon, sợi thủy tinh là một phương pháp gia cường tiên tiến được áp dụng khá phổ biến ở các nước phát triển và đang phát triển.

Ở nước ra hiện nay, vật liệu FRP đã được ứng dụng cho việc gia cường một số công trình cầu và nhà dân dụng (từ những năm cuối thập niên 90). Tuy nhiên, việc áp dụng còn hạn chế, trong đó nguyên nhân chính là giá thành và tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng cho loại vật liệu này. Hiện nay, ở nước ta, chưa có tiêu chuẩn tính toán thiết kế gia cường kết cấu bằng vật liệu FRP. Việc tính toán được thực hiện theo chỉ dẫn của các tiêu chuẩn nước ngoài như tiêu chuẩn Mỹ ACI [1], và các tiêu chuẩn khác.

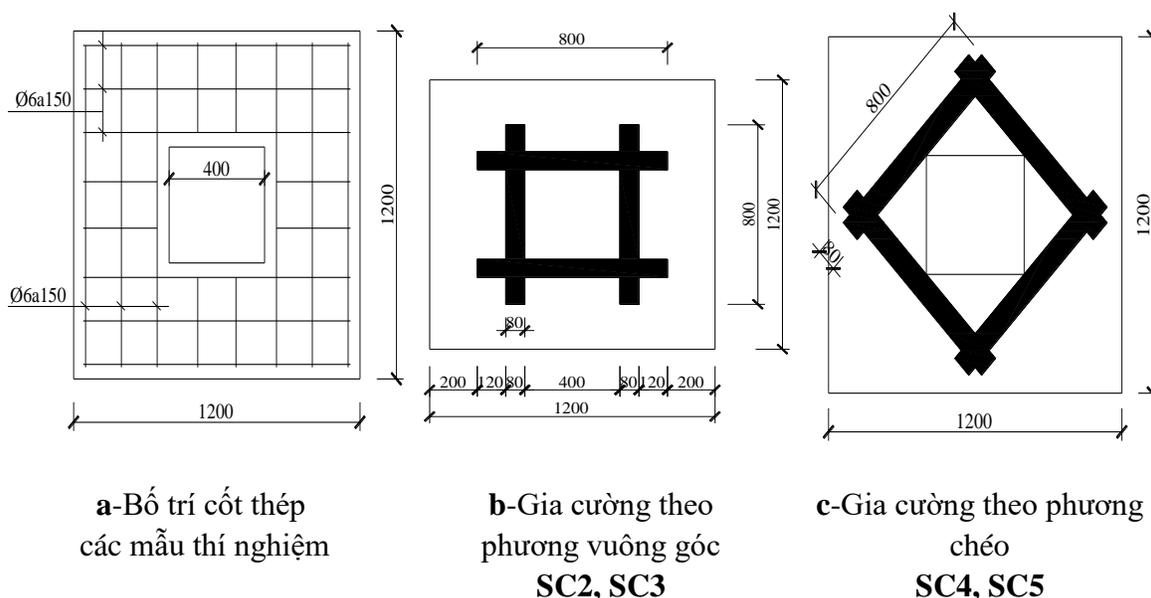
Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về sự làm việc của kết cấu sàn BTCT có lỗ mở được gia cường bằng vật liệu CFRP. Hai phương án gia cường được nghiên cứu trên lỗ mở có kích thước 400x400 mm, đó là phương án gia cường chéo góc và gia cường vuông góc. Các kết quả thu được thông qua nghiên cứu này góp phần làm rõ ứng xử của sàn bê tông cốt thép có lỗ mở được gia cường bằng vật liệu CFRP cũng như hiệu quả của hai phương án gia cường nêu trên.

## 2. Nghiên cứu thực nghiệm

### 2.1. Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo

Tiêu chuẩn kết cấu bê tông cốt thép của Thụy Điển (BBK4-2004) quy định cạnh lỗ mở cho phép nhỏ hơn  $1/3$  kích thước cạnh ngắn của ô sàn [10]. Tiêu chuẩn của Ba Lan (PN-B-03264) quy định cạnh lỗ mở cho phép nhỏ hơn  $1/4$  cạnh ngắn của ô sàn [11]. Đây là lỗ mở loại nhỏ và vừa. Lỗ mở lớn là loại lỗ mở có kích thước lớn hơn 900 mm hoặc có kích thước cạnh lớn hơn  $1/3$  chiều dài cạnh ngắn của ô sàn. Trạng thái làm việc của những ô sàn có lỗ mở lớn khá phức tạp và ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của toàn bộ kết cấu.

Trong nghiên cứu này, sàn có lỗ mở được chế tạo để nghiên cứu với tỉ lệ cạnh lỗ mở trên cạnh ô sàn là 0,4. 05 mẫu sàn được chế tạo có kích thước giống nhau trước khi tiến hành gia cường (Hình 1). Các mẫu sàn BTCT thí nghiệm có chiều dài 1200 mm, kích thước tiết diện  $b \times h = 1200 \times 50$  mm, kích thước lỗ mở  $400 \times 400 \times 50$  mm, cốt thép sàn bố trí đều theo 2 phương  $\phi 5a150$  (mm). Trong số 05 sàn thí nghiệm thì 01 sàn không được gia cường (ký hiệu sàn SC1) và được sử dụng làm sàn đối chứng. 02 sàn được gia cường bởi vật liệu tấm sợi cacbon theo phương vuông góc theo chu vi lỗ mở (ký hiệu SC2, SC3), hai sàn còn lại được gia cường theo phương đường chéo hợp với phương ngang 1 góc  $45^\circ$  (ký hiệu SC4, SC5). Các tấm sợi gia cường CFRP có cùng kích thước  $800 \times 800 \times 1$  mm. Chi tiết mẫu gia cường được trình bày trên hình 1.



**Hình 1:** Chi tiết cấu tạo mẫu thí nghiệm

Cấp phối của bê tông chế tạo mẫu và đặc trưng cơ học tấm sợi CFRP được nêu ở Bảng 1, 2. Tấm CFRP dùng trong thí nghiệm là vật liệu sản xuất bởi hãng Fyfe (USA), các thông số cơ học của vật liệu này được cung cấp bởi hãng sản xuất.



Mẫu SC-1

Mẫu SC-2, SC-3

Mẫu SC-4, SC-5

**Hình 2:** Hình ảnh các tổ mẫu sàn thí nghiệm gia cường

**Bảng 1:** Thành phần cấp phối bê tông ( $kg/m^3$ )

| Xi măng | Cát vàng | Đá dăm | Nước |
|---------|----------|--------|------|
| 420     | 600      | 1160   | 180  |

**Bảng 2:** Đặc trưng cơ học của vật liệu tấm sợi cacbon CFRP

| Vật liệu | Độ dày (mm) | Mô đun đàn hồi (MPa) | Cường độ chịu kéo (MPa) | Biến dạng cực hạn (%) |
|----------|-------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| CFRP     | 1,0         | 95800                | 986                     | 0,85                  |

Cường độ chịu nén của bê tông được xác định thông qua thí nghiệm nén tổ mẫu hình trụ (3 mẫu) kích thước D150xH300 mm ở tuổi 28 ngày. Cường độ của thép dùng để chế tạo sàn được xác định thông qua thí nghiệm kéo. Kết quả được tóm tắt trong Bảng 3.

**Bảng 3:** Cường độ bê tông và thép chế tạo sàn được xác định bằng thực nghiệm

|  |                 |
|--|-----------------|
| Cường độ chịu nén của bê tông (mẫu trụ D150xH300 mm) | 21,8 (Mpa)      |
| Giới hạn chảy của thép $\phi 6$                      | $R_s = 285$ Mpa |

## 2.2. Lắp đặt bố trí dụng cụ đo

### 2.2.1. Sơ đồ thí nghiệm

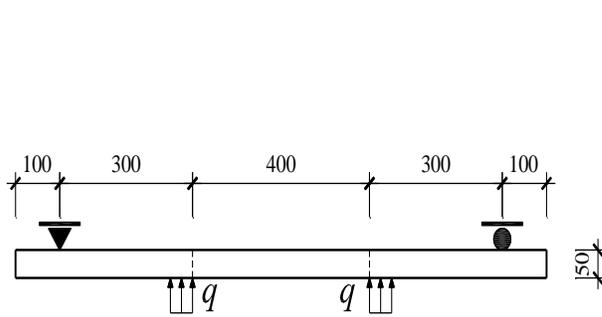
Bản sàn thí nghiệm được kê 4 cạnh (theo chu vi). Tải phân bố được tác dụng tại khu vực lỗ mở. Tải tác dụng được tạo ra thông qua một kích thủy lực kết hợp và trạm bơm dầu. Giá trị tải tập trung tác dụng đầu kích là P và thông qua hệ phân tải tạo thành tải phân bố đều tác dụng lên mẫu thí nghiệm với  $q = P/S$ , trong đó S là phần diện tích tác dụng tải.

### 2.2.2. Bố trí dụng cụ đo

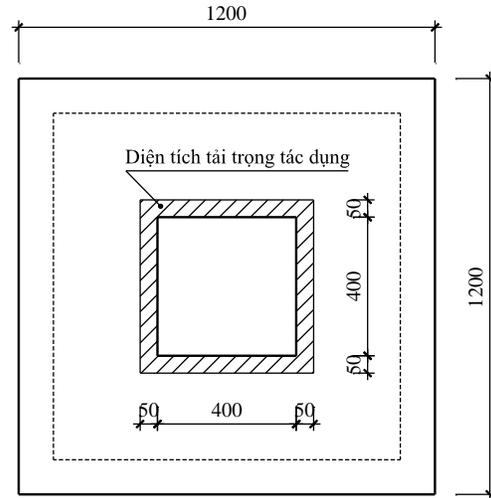
Hình 5 trình bày sơ đồ bố trí các dụng cụ đo. Chuyển vị của sàn được xác định thông qua 06 dụng cụ đo chuyển vị điện tử (Linear Variable Differential Transformer LVDT). Trong trường hợp này, độ võng  $f$  ở vị trí giữa sàn được xác định theo công thức:

$$f = \frac{f_{11} + f_{15}}{2} - \frac{f_{11} + f_{12} + f_{14} + f_{16}}{4}$$

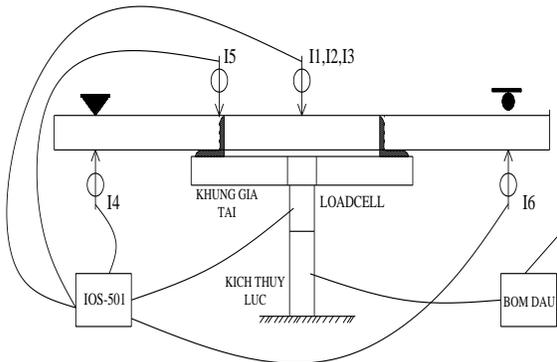
trong đó  $f_{I1}, f_{I2}, f_{I3}, f_{I4}, f_{I5}$  là giá trị chuyển vị tại các vị trí LVDT tương ứng I1, I2, I3, I4, I5.



**Hình 3:** Sơ đồ thí nghiệm bản sàn có lỗ mở



**Hình 4:** Sơ đồ tải trọng tác dụng



**Hình 5:** Sơ đồ bố trí dụng cụ đo

Các dụng cụ đo chuyển vị và dụng cụ đo lực Load Cell được kết nối với bộ thu thập, xử lý số liệu Data Logger TDS - 530, cho phép ghi nhận tự động và đồng thời các số liệu đo đạc trong quá trình thí nghiệm.

### 3. Phân tích và đánh giá kết quả

Trong quá trình thí nghiệm gia tải cho sàn, các giá trị tải trọng ở mỗi cấp tải trọng được ghi lại thông qua dụng cụ đo lực Load Cell, độ võng sàn được xác định thông qua các dụng cụ đo chuyển vị LVDT.

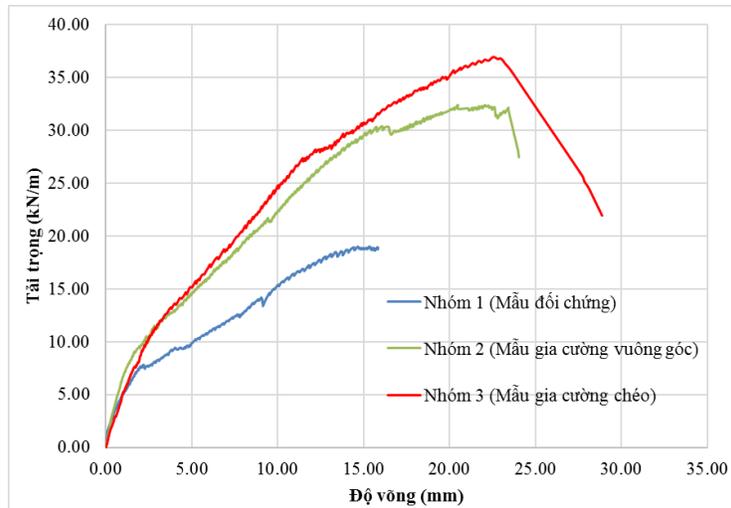
Các kết quả này được đo tự động thông qua bộ xử lý Data Logger TDS - 530. Kết quả thí nghiệm được chia thành 3 nhóm mẫu bao gồm: nhóm mẫu 1 - Mẫu không gia cường (mẫu đối chứng) có kết quả của mẫu SC 1; nhóm mẫu 2 - Mẫu gia cường vuông góc có kết quả trung bình của mẫu SC 2 và SC3; nhóm mẫu 3 - Mẫu gia cường chéo  $45^\circ$

là kết quả trung bình của mẫu SC4 và SC5. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

**Bảng 4:** Các giá trị tải trọng đặc trưng thu được từ thí nghiệm

| Loại mẫu                | Tải trọng gây nứt $P_n$ (kN) | Tải trọng cực hạn (kN) | Độ võng tại thời điểm phá hoại $f_{max}$ (mm) |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---|
| Mẫu đối chứng           | 12                           | 30,3                   | 14,9  |
| Mẫu gia cường vuông góc | 16                           | 51,7                   | 21,5  |
| Mẫu gia cường chéo      | 12                           | 59,0                   | 26,2  |

Các vết nứt do uốn bắt đầu xuất hiện ở giữa các cạnh lỗ mở, sau đó các vết nứt ở góc lỗ mở xuất hiện theo cạnh chéo của sàn. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên của nhóm mẫu 1 và nhóm mẫu 3 sớm hơn và cùng một giá trị tải trọng 12 kN. Với nhóm mẫu 2, vết nứt xuất hiện muộn hơn, tại giá trị tải trọng cao hơn là 16 kN. Tuy nhiên, ở nhóm mẫu 1 và 2 các vết nứt theo đường chéo có xu hướng phát triển mạnh hơn, nhóm mẫu 3 các vết nứt phát triển đồng đều theo chu vi lỗ mở.



**Hình 6:** Quan hệ tải trọng - độ võng của các mẫu sàn thí nghiệm

Hình 6 thể hiện đường quan hệ giữa tải trọng - độ võng ( $q - f$ ) tại tiết diện giữa sàn của các mẫu. Biểu đồ cho thấy, ở giai đoạn đầu, khi vết nứt chưa xuất hiện, ba đường ứng suất tải trọng xấp xỉ nhau, tác dụng của tấm CFRP chưa phát huy hiệu quả. Giai đoạn sau, khi vết nứt xuất hiện, nhóm sàn được gia cường bằng tấm CFRP có độ cứng tương đương và lớn hơn so với nhóm sàn đối chứng, điều này thể hiện qua độ dốc của đường quan hệ tải trọng - độ võng. Tại thời điểm phá hoại, nhóm mẫu 1 có độ võng 14,9 mm, nhóm mẫu 2 có độ võng 21,5 mm, nhóm mẫu 3 có độ võng 26,2 mm. Như vậy, có thể thấy độ võng của sàn gia cường vuông góc và gia cường chéo tại thời điểm phá hoại tăng lên so với sàn không gia cường, tương ứng 44% và 76%.

Kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu lực của sàn được gia cường bằng tấm CFRP tăng lên đáng kể. Cụ thể: nhóm mẫu đối chứng có tải trọng phá hoại 30,3 kN;

Trong khi theo phương án gia cường vuông góc, tải trọng tại thời điểm phá hoại là 51,7 kN, tăng 70%. Theo phương án gia cường chéo  $45^\circ$ , tải trọng tại thời điểm phá hoại là 59 kN, tăng 95% so với nhóm mẫu đối chứng (không gia cường), tăng 25% so với sàn gia cường theo phương án vuông góc.

#### 4. Kết luận

Qua các kết quả thu được từ nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của kết cấu sàn BTCT được gia cường bằng vật liệu CFRP với phương án gia cường khác nhau, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Phương pháp gia cường kết cấu sàn BTCT chịu uốn là phương pháp đơn giản, nhanh chóng và cho hiệu quả rõ rệt, cho phép tăng đáng kể biến dạng của bê tông vùng nén. Kết cấu được gia cường có khả năng chịu lực tốt hơn rất nhiều qua 2 thông số về tải trọng và độ võng.

- So sánh 2 phương pháp gia cường, ta thấy phương pháp gia cường chéo là hiệu quả hơn về mặt chịu lực. Mẫu gia cường vuông góc có tải trọng phá hoại nhỏ hơn mẫu gia cường chéo  $45^\circ$ .

- Khi bị phá hoại, mẫu gia cường vuông góc có vết nứt ít hơn và vết nứt tập trung tại khu vực góc, trong khi mẫu gia cường chéo có vết nứt rất nhiều, phân bố đều xung quanh mép.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ACI 440.2R-02, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, Reported by ACI Committee 440, 2002.
- [2] ACI 318-05, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, 2005.
- [3] CEB-FIP, *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Concretes*, FIR Bulletin 14. FIB-Int Fed. Struct. Concr, Lausanne, 2001, pp. 59-68.
- [4] Lawrence C. B., *Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials*, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2006.
- [5] ISIS M04, *Externally Bonded FRP for Strengthening Reinforced Concrete Structures*, The Canadian Network of Centres of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, Winnipeg, MB, Canada, 2001.
- [6] Ola Enochsson, *CFRP Strengthening of Concrete Slabs, with and without Openings*, Licentiate Thesis 2005:87 (In Lulea), 2005.
- [7] Piotr Rusinowski, *Two-way Concrete Slabs with Openings*, Master's Thesis 2005:200 CIV (In Lulea), 2005.
- [8] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Công, *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2013.
- [9] TCVN 5574: 2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*.

- [10] BBK04: *Boverkets handboken om betongkonstruktioner*, (The Swedish Building Administration's Handbook on Concrete Structures), Stockholm, Sweden: The Swedish Building Administration, Division of Buildings (in Swedish), 2004.
- [11] PN-B-03264:2002.: Polska Norma. *Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie* (Polish Code. Concrete, reinforced concrete and pre-stressed structures. Static calculation and design). Warszawa: PKN (in Polish), 2002.
- [12] Manh Hung Nguyen, Thuy DuongTran, *Experimental Study on Flexural Strengthening of One-Way Reinforced Concrete Slabs Using Carbon and Glass Fiber Reinforced Polymer Sheets*, The 7th International Conference of Asia Concrete Federation, Hanoi, Vietnam, 2016.

## SUMMARY

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE STRENGTHENING EFFICIENCY OF CONCRETE SLABS WITH OPENING HOLE USING CFRP MATERIAL**

The paper presents an experimental research results of reinforced concrete slab with opening hole strengthened by CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). The study were carried out on 5 reinforced concrete slabs with the same geometric size and material composition, including 1 non-reinforced slab (reference slab), 04 slabs reinforced by CFRP in two various ways. The results obtained through this study will contribute to clarifying the behavior of reinforced concrete floors with opening holes reinforced by CFRP materials. In addition, the evaluation results show the reinforcement effect from the selection of CFRP sheet reinforcement, the bearing capacity of the reinforced floor increased by over 70%.