

# Nghiên cứu mô phỏng xác định ứng xử chịu uốn của sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon

Nguyễn Quang Sĩ<sup>1</sup>, Hà Văn Anh Khoa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Phân Hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

## TỪ KHOÁ

Mô phỏng số  
Chịu uốn  
Sàn  
Lưới sợi

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn nhằm xác định ứng xử chịu uốn của sàn bê tông sử dụng cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon. Kết quả mô phỏng số được so sánh với kết quả thí nghiệm. Kết quả mô phỏng thu được cho thấy sự tương đồng với kết quả thí nghiệm trên phương diện đường cong lực - biến dạng, cũng như có sự tương đồng về dạng phá hoại của sàn. Bên cạnh đó, một số tham số ảnh hưởng đến ứng xử chịu uốn của sàn bê tông sử dụng cốt hỗn hợp thép và lưới sợi như hàm lượng lưới sợi, cường độ bê tông cũng được khảo sát.

## KEYWORDS

Numerical  
Bending  
Slab  
Textile fabric

## ABSTRACT

This paper presents the numerical simulation study using the finite element method to determine the bending behavior of concrete slabs using steel and carbon textile fabric. Numerical simulation results are compared with experimental results on four points bending test in this study. The obtained results show the similarity between the numerical simulation model and experimental results in aspects such as displacement - force curve, and failure mode. Besides, some parameters affecting the bending behavior of RC slab using steel and carbon textile fabric such as textile ratio, and concrete strength were also investigated.

## 1. Đặt vấn đề

Trong nhiều thế kỷ qua, sàn bê tông cốt thép (BTCT) vẫn đang là kết cấu được sử dụng chủ yếu trong các công trình xây dựng. Sàn BTCT có nhiều ưu điểm như khả năng chịu lực lớn, giá thành không cao, thi công dễ dàng. Tuy nhiên, sau một thời gian sử dụng, khả năng chịu lực của sàn BTCT bị suy giảm do nhiều nguyên nhân như cốt thép bị ăn mòn (cốt thép bị gỉ), đây là hiện tượng có thể xảy ra do quá trình các bon hóa bê tông, chiều dày lớp bê tông bảo vệ không đủ hoặc do vết nứt trong bê tông quá rộng. Các sản phẩm gỉ sét có tính xốp, tích tụ trên bề mặt cốt thép, với thể tích lớn gấp 4-6 lần thành phần ban đầu, từ đó gây nội ứng suất phá hoại cấu trúc bê tông, làm cho các tác nhân xâm thực dễ dàng xâm nhập vào bên trong cấu kiện, tăng nhanh quá trình ăn mòn bê tông và cốt thép. Bên cạnh đó, kết cấu cũ không đáp ứng được nhu cầu tải trọng ngày càng lớn, và không thỏa mãn các tiêu chuẩn mới đòi hỏi tính an toàn cao hơn.

Để khắc phục các nhược điểm này, nhiều biện pháp đã được sử dụng để giảm quá trình ăn mòn cốt thép trong sàn như: dùng các chất phụ gia tăng cường khả năng chống thấm cho bê tông, dùng các chất ức chế ăn mòn, dùng các lớp sơn phủ, bố trí lớp bê tông có chiều dày lớn [1]. Hoặc dùng các vật liệu mới vào trong kết cấu sàn như: dùng bê tông cường độ siêu cao (UHPC), thép cường độ cao, vật liệu xi măng tổng hợp (ECC) bê tông cốt thanh composite polyme (FRP), bê tông cốt lưới sợi dệt (TRC) [2-4]. Trong đó, TRC là vật liệu mới được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi trong thời gian gần đây. TRC là một loại vật liệu

composite được cấu thành từ hai thành phần là lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn. Cốt lưới dệt được tạo thành từ các sợi dài liên tục, được tạo thành từ hàng trăm, hàng nghìn hoặc hàng chục nghìn sợi nhỏ, đây là dạng vật liệu tổ hợp có cấu trúc không đồng nhất, được chia thành 3 cấp độ kết cấu, bao gồm: sợi cơ bản, bó sợi và lưới sợi [5].

Trên thế giới, vật liệu lưới sợi dệt đã và đang được nghiên cứu và phát triển. Đã có tiêu chuẩn đã đưa ra chỉ dẫn tính toán và thiết kế các cấu kiện sử dụng loại vật liệu này (ACI 549.4R-13 [6]). Ở Việt Nam, chủ đề này cũng đang ngày càng thu hút nhiều sự chú ý của các nhà nghiên cứu trong nước [7-9]. Loại vật liệu này cũng đang được nghiên cứu để đưa vào hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam từ năm 2022 [10]. Đây là cơ sở pháp lý cho sự phát triển loại vật liệu này ở nước ta, và trong tương lai gần, loại vật liệu này hứa hẹn sẽ chiếm tỷ trọng lớn trong ngành xây dựng.

Tuy nhiên, đa số lưới sợi dệt có mô đun đàn hồi nhỏ. Để khai thác được cường độ chịu kéo thì cần cốt có biến dạng lớn, tuy nhiên, điều này gây ra các hư hỏng cho bê tông như vết nứt có độ rộng lớn hoặc phá hoại bê tông ở vùng nén do đạt đến biến dạng cực hạn. Như vậy, để có thể khai thác được hiệu quả lưới sợi dệt thì cần phải có thêm các nghiên cứu về giải pháp kết cấu hoặc giải pháp phối hợp vật liệu. Một trong những cách phối hợp vật liệu đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu hiện nay là sử dụng cả cốt thép và lưới sợi dệt để làm cốt cho kết cấu bê tông. Hầu hết các nghiên cứu về cốt lưới dệt hiện nay là dùng để gia cường kết cấu, lưới sợi dệt được đặt ở ngoài kết cấu cần gia cố nên hiện giờ có rất ít nghiên cứu kết cấu dùng cách phối hợp

\*Liên hệ tác giả: khoaqua@utc.edu.vn

Nhận ngày 12/05/2023, sửa xong ngày 09/08/2023, chấp nhận đăng 16/08/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2023.541>

vật liệu như trên. Với cách phối hợp đó, lưới sợi dệt sẽ được bố trí ở gần bề mặt ngoài của bê tông, cốt thép sẽ được đặt ở các lớp phía trong (gần trục trung hòa hơn), khi đó, sẽ thỏa mãn được hai vấn đề: (i) một cách gián tiếp làm chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho cốt thép, (ii) lưới sợi sẽ có biến dạng lớn do ở xa trục trung hòa nên sẽ khai thác được cường độ chịu kéo của chúng [11].

Hầu như chưa có các nghiên cứu mô phỏng số sàn bê tông sử dụng hỗn hợp cốt thép và lưới sợi dệt mà các nghiên cứu chỉ tập trung vào gia cường kết cấu bằng bê tông cốt lưới dệt TRC ở bên ngoài kết cấu, các mô hình mô phỏng số sẽ giúp nghiên cứu ứng xử của các kết cấu mà không cần tốn thời gian và chi phí để chế tạo mẫu mà chỉ cần thay đổi một số tham số trong mô hình cũng có thể dự đoán được ứng xử của kết cấu đó. Do đó, trong nghiên cứu này, phần mềm PTHH Cast3M được sử dụng để mô phỏng ứng xử chịu uốn của sàn sử dụng hỗn hợp thép và lưới sợi dệt loại các bon làm cốt chịu lực. Kết quả mô phỏng được kiểm chứng với kết quả thí nghiệm được thực hiện bởi Suhad M. Abd và cộng sự [12]. Trên cơ sở mô hình đã được kiểm chứng bằng thí nghiệm, nghiên cứu tham số được thực hiện để xem xét ảnh hưởng của các thông số cấu tạo đến ứng xử của kết cấu sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi dệt.

Bộ cục bài báo gồm các phần sau: phần 1 đặt vấn đề, phần 2 trình bày tóm tắt các kết quả thí nghiệm, phần 3 trình bày mô hình mô phỏng, kết quả mô phỏng số và thí nghiệm được so sánh trong phần 4 và cuối cùng là phần kết luận.

## 2. Thí nghiệm xác định ứng xử chịu uốn của sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon

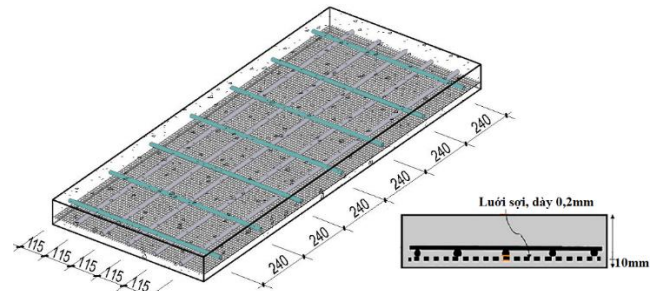
Phần dưới đây trình bày tóm tắt thí nghiệm về sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon được thực hiện bởi Suhad M. Abd và cộng sự [12].

### 2.1 Bố trí thí nghiệm

Nhằm xác định ứng xử chịu uốn của sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon, mẫu sàn SRC + 1T có kích thước 50x500x1500 (mm) được chế tạo và tiến hành thí nghiệm chịu uốn bốn điểm. Cấu tạo của mẫu sàn thí nghiệm được trình bày ở Hình 1. Bảng 1 thể hiện các thông số hình học của mẫu sàn trong thí nghiệm.

**Bảng 1.** Các thông số của mẫu sàn thí nghiệm [12].

Tên mẫu thí nghiệm	Kích thước		
	Chiều dày mẫu (mm)	Chiều rộng mẫu (mm)	Chiều dài mẫu (mm)
SRC + 1T	50	500	1500



**Hình 1.** Cấu tạo mẫu sàn SRC + 1T.

Cốt thép sử dụng trong sàn theo tiêu chuẩn ASTM A 615/A 615M [13], thép có đường kính 4,45 (mm), khoảng cách giữa các thanh thép trong sàn là 240 (mm) và 115 (mm) theo phương dọc và ngang của sàn. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 10 (mm) (Xem Hình 1). Bê tông dùng trong thí nghiệm này là loại bê tông hạt mịn, với kích thước cốt liệu lớn nhất là 1,18 (mm). Các đặc tính kỹ thuật của cốt thép và bê tông được tóm tắt trong Bảng 2 và Bảng 3.

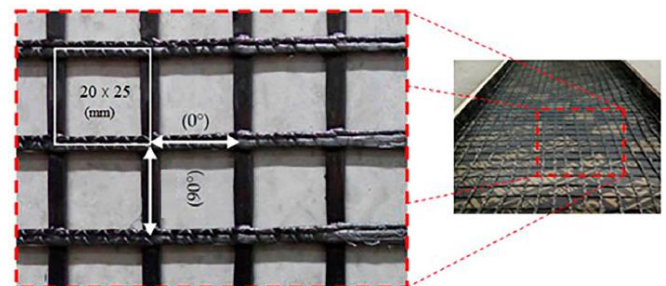
**Bảng 2.** Đặc tính kỹ thuật của cốt thép [12].

Đường kính (mm)	Cường độ chảy (MPa)	Cường độ cực hạn (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)
4,45	390	464,7	195000

**Bảng 3.** Đặc tính kỹ thuật của bê tông [12].

Cường độ chịu nén (MPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)
51	4,14	31528

Lưới sợi dệt loại các bon được sử dụng trong nghiên cứu này. Các thông số của lưới sợi được cung cấp bởi nhà sản xuất (Jiaying Newtex Composites). Cấu trúc lưới được dệt với các bó sợi theo phương 0°/90°, kích thước ô lưới sợi là 20 x 25 (mm x mm) (Hình 2). Chiều dày của lưới sợi là 0,2 (mm). Cường độ chịu kéo cực hạn của lưới sợi là 3530 (MPa). Bảng 4 trình bày các thông số kỹ thuật của lưới sợi trong thí nghiệm này.

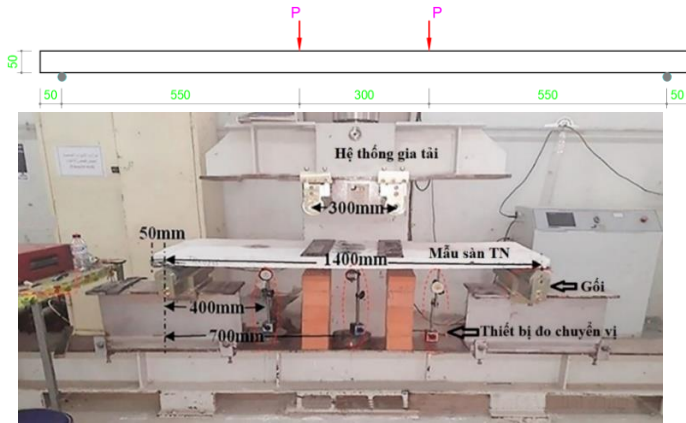


**Hình 2.** Lưới sợi các bon dệt trong thí nghiệm [12].

**Bảng 4.** Các thông số của lưới sợi các bon trong thí nghiệm [12].

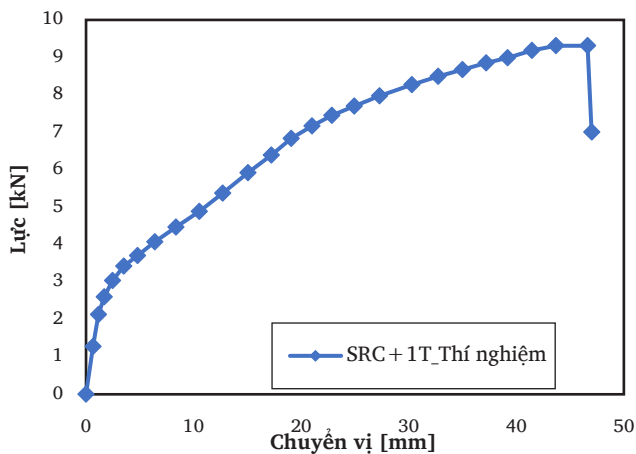
Lưới sợi	Khối lượng (kg/m <sup>2</sup> )	Chiều dày lưới (mm)	Kích thước ô lưới (mm x mm)	Diện tích lưới sợi (mm <sup>2</sup> )	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)
Các bon	0,16 ± 0,01	0,2	20 x 25	0,4 ÷ 0,6	3530	230000

Mẫu sàn được tiến hành thí nghiệm uốn bốn điểm, được thực hiện tại phòng thí nghiệm tại đại học Diyala, Iraq. Khoảng cách giữa hai gối trong thí nghiệm là 1400 (mm), hai thiết bị gia tải cách nhau 300 (mm) đặt ở giữa mẫu sàn. Sơ đồ bố trí thí nghiệm được trình bày ở Hình 3.



**Hình 3.** Bố trí thí nghiệm [12].

**2.2 Kết quả thí nghiệm**



a) Mối quan hệ lực – chuyển vị của sàn [12].



b) Hình dạng phá hoại của mẫu sàn thí nghiệm [12].

**Hình 4.** Mối quan hệ lực – chuyển vị và hình dạng phá hoại của mẫu sàn [12].

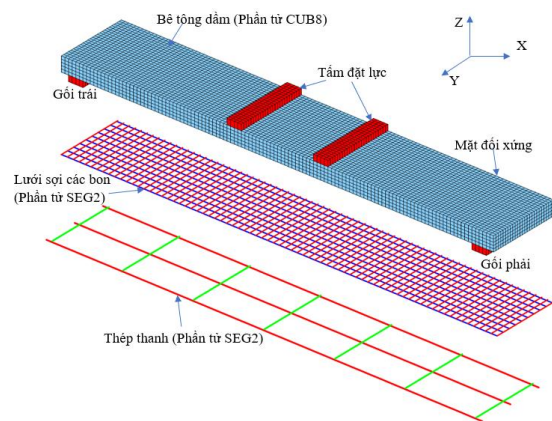
Hình 4 thể hiện mối quan hệ lực tác dụng và chuyển vị cũng như hình dạng phá hoại của mẫu sàn thí nghiệm. Quan sát thấy rằng, tại giá trị lực bằng 1,2 kN, đường cong lực – chuyển vị thay đổi độ dốc, lúc này đường cong thể hiện sự suy giảm độ cứng do có vết nứt xuất hiện, đây là thời điểm sàn xuất hiện vết nứt đầu tiên. Khi tải trọng tăng, các vết nứt do uốn xuất hiện ngày càng nhiều và phát triển lên phần biên chịu nén. Ngoài ra, các vết nứt do uốn – cắt cũng xuất hiện trong sàn. Tại giá trị tải trọng bằng 9,31 kN, sàn bị phá hoại.

**3. Mô hình mô phỏng**

**3.1 Xây dựng mô hình**

Mẫu sàn thí nghiệm được tiến hành mô phỏng bằng phần mềm phần tử hữu hạn Cast3M [14]. Đây là phần mềm có mã nguồn mở, được nghiên cứu và phát triển bởi viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử (CEA) của Cộng Hòa Pháp. Nhờ vào tính đối xứng, việc mô hình hóa mẫu sàn được thực hiện trên 1/2 mô hình nhằm giảm nhẹ khối lượng tính toán.

Phần tử lục diện 8 nút (CUB8), mỗi nút có ba bậc tự do là ba chuyển vị thẳng đứng theo ba phương Ux, Uy, Uz được dùng để miêu tả cho phần tử bê tông hạt mịn, tấm kê gối và tấm đặt lực. Các phần tử này có kích thước bằng 10mm để đảm bảo điều kiện hội tụ của bài toán. Thanh thép và lưới sợi các bon được mô phỏng bằng phần tử thanh tuyến tính 2 nút (SEG2). Hình 5 thể hiện lưới phần tử hữu hạn dùng trong mô hình. Gối bên trái được khống chế chuyển vị theo phương đứng và phương ngang (Ux = Uz = 0), gối bên phải được khống chế chuyển vị theo phương đứng (Uz = 0), việc quy đổi về 1/2 mô hình được thực hiện thông qua việc khống chế chuyển vị thẳng theo phương vuông góc với mặt đối xứng bằng không (Uy = 0). Sàn mô phỏng được gia tải bằng chuyển vị tại hai vị trí đặt lực với số gia chuyển vị ΔU = -0,01 mm.

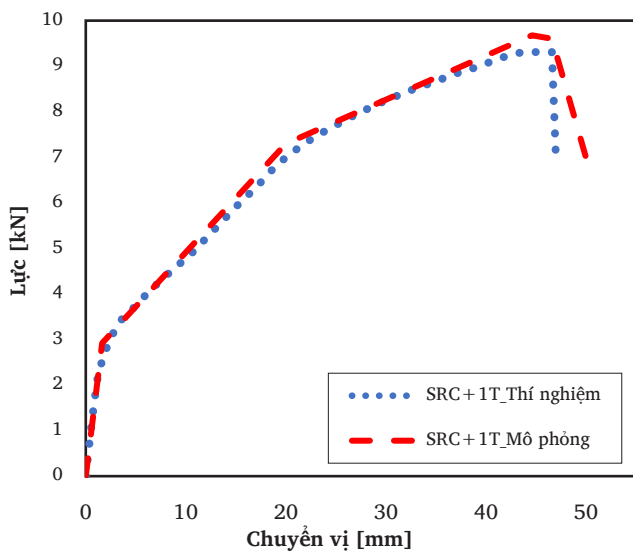


**Hình 5.** Chia lưới các phần tử trong mô hình mô phỏng.

Ứng xử của bê tông được mô phỏng bằng cách sử dụng mô hình bê tông phá hoại của Mazars [15]. Mô hình này có trong thư viện các mô hình vật liệu phần mềm Cast3M. Mô hình này 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  $d$ . 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). Bên cạnh đó, mô hình mô phỏng tương đối chính xác các loại tải trọng khác nhau: tải trọng động, tải trọng tĩnh, tải trọng lặp [11]. Lưới sợi các bon được miêu tả bằng ứng xử đàn hồi tuyến tính đến khi bị phá hoại. Các thanh thép dọc và thép ngang được miêu tả bằng ứng xử đàn hồi – dẻo lý tưởng. Dính bám giữa bê tông hạt mịn và cốt thép, lưới sợi các bon được giả thiết là dính bám tuyệt đối.

### 3.2 Kết quả mô phỏng

#### 3.2.1 Mối quan hệ lực - biến dạng



Hình 6. So sánh lực – chuyển vị của sàn mô phỏng với kết quả thí nghiệm.

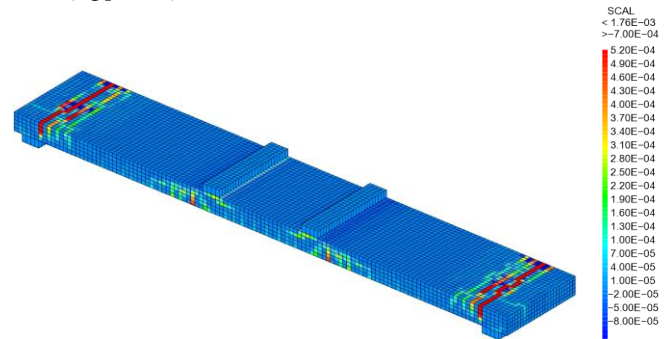
Hình 6 thể hiện sự so sánh mối quan hệ lực biến dạng thu được từ mô hình mô phỏng và kết quả thí nghiệm. Quan sát thấy rằng đường cong thu được từ mô hình mô phỏng thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm. Đường cong mô phỏng cũng thể hiện được sự thay đổi độ cứng của dầm khi có vết nứt xuất hiện. Giá trị lực lớn nhất không có

sự khác biệt nhiều so với kết quả thí nghiệm (Bảng 5), với sai số là 3,82 %.

Bảng 5. So sánh kết quả của mẫu sàn thí nghiệm và mô phỏng trong đề tài.

Mẫu thí nghiệm	Lực lớn nhất $P_u$ [kN]		
	Thí nghiệm	Mô phỏng số	Sai số
SRC+1T	9,31	9,68	3,82%

#### 3.2.2 Dạng phá hoại



Hình 7. Hình ảnh phá hoại mẫu sàn từ mô hình mô phỏng.

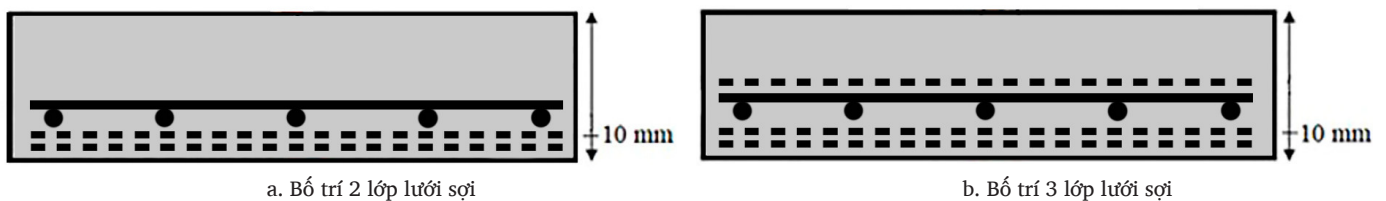
Hình 7 thể hiện hình ảnh phá hoại của mẫu sàn thí nghiệm thu được từ mô hình mô phỏng. Quan sát thấy rằng dạng phá hoại thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm khi trên mẫu có các vết nứt thẳng đứng do uốn và vết nứt nghiêng do cắt.

### 3.3 Ảnh hưởng của hàm lượng lưới sợi và cường độ chịu nén của bê tông tới ứng xử chịu uốn của sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi

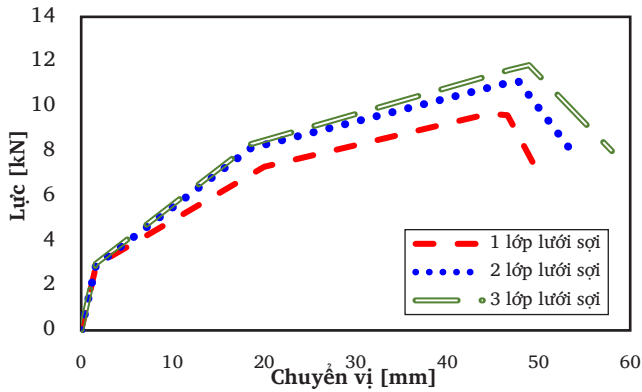
Mô hình mô phỏng số kể trên cho thấy sự tương đồng với kết quả thí nghiệm về đường cong lực – chuyển vị, dạng phá hoại của sàn. Trên cơ sở đó, mô hình này được sử dụng để khảo sát sự ảnh hưởng của hàm lượng lưới sợi và cường độ chịu nén của bê tông tới ứng xử chịu uốn của sàn sử dụng hỗn hợp cốt thép và lưới sợi.

#### 3.3.1 Ảnh hưởng của hàm lượng lưới sợi dệt

Để nghiên cứu ảnh hưởng của làm lượng lưới sợi dệt đến ứng xử của sàn, số lượng lưới sợi chịu kéo được thay đổi từ 1 lớp thành 2 và 3 lớp (Hình 8), với các thông số của bê tông và cốt thép thường được giữ nguyên. Biểu đồ quan hệ lực – chuyển vị của mẫu sàn có số lượng lớp lưới sợi khác nhau được thể hiện trong Hình 9.



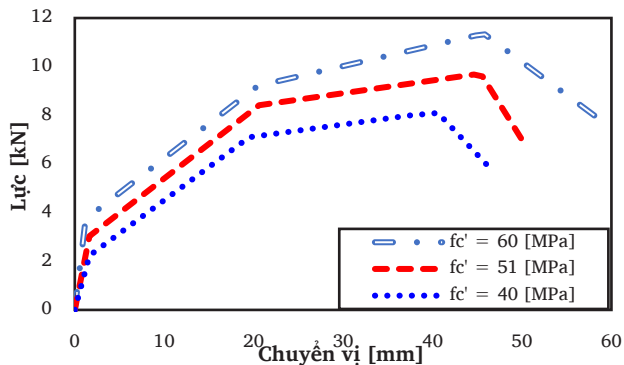
Hình 8. Bố trí các lớp lưới sợi khảo sát.



Hình 9. Đường cong lực – chuyển vị của sàn với hàm lượng lưới sợi dệt khác nhau.

Quan sát thấy rằng, ba mẫu sàn này có ứng xử giống nhau trong giai đoạn chịu lực đầu tiên, cho đến khi cốt thép bị chảy. Có thể nhận xét rằng, trong giai đoạn cốt thép đã chảy, hàm lượng lưới sợi dệt ảnh hưởng đến độ cứng của sàn cũng như khả năng chịu lực tăng lên khi tăng số lượng lớp lưới sợi. Khi tăng từ 1 lớp lưới sợi lên thành 2 và 3 lớp thì khả năng chịu lực tăng lần lượt là 14,7 % và 22,4 %. Với sàn được gia cường 3 lớp lưới sợi không cho hiệu quả tăng cường lớn, nguyên nhân có thể do chiều dày lớp bê tông bảo vệ trong sàn không đủ để phát triển lực dính bám giữa bê tông, cốt thép và lưới sợi dệt.

### 3.3.2 Ảnh hưởng của cường độ chịu nén bê tông



Hình 10. Đường cong lực – chuyển vị của sàn với cường độ chịu nén của bê tông khác nhau.

Cường độ chịu nén của bê tông là một trong những thông số quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến sức kháng và độ cứng của sàn. Trong phần thí nghiệm, cường độ chịu nén của bê tông là 51 MPa. Trong phần này, để đánh giá ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông đến ứng xử của sàn, bê tông có cường độ chịu nén 40 MPa và 60 MPa được lựa chọn để khảo sát với các thông số của cốt thép và lưới sợi các bon được giữ nguyên. Hình 10 thể hiện so sánh biểu đồ lực – chuyển vị của mẫu sàn với cường độ bê tông khác nhau. Có thể nhận thấy rằng, khi tăng cường độ chịu nén của bê tông, độ cứng ban đầu của sàn tăng lên. Ngoài ra, biểu đồ cũng cho thấy, khi tăng cường độ chịu nén của bê tông từ

40 MPa lên 51 MPa và 60 MPa thì sức kháng uốn của sàn cũng tăng lên lần lượt 19,5 % và 39,9 %.

## 4. Kết luận

Bài báo đã trình bày nghiên cứu mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn xác định ứng xử chịu uốn của sàn bê tông cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon. Mô hình mô phỏng cho thấy sự tương đồng với kết quả thí nghiệm trên các phương diện như dạng vết nứt, mối quan hệ lực chuyển vị. Sai số giữa giá trị chịu lực lớn nhất của mô hình và thí nghiệm là nhỏ hơn 5 %.

Bên cạnh đó, dựa trên mô hình mô phỏng số, nghiên cứu tham số được tiến hành để xác định ảnh hưởng của một số tham số tới ứng xử chịu uốn của sàn bê tông sử dụng cốt hỗn hợp thép và lưới sợi các bon. Các phân tích khảo sát cho thấy rằng khi thay đổi số lượng lớp lưới sợi từ 1 lên thành 2 và 3 lớp thì khả năng chịu lực của sàn cũng tăng lên tương ứng là 14,7 % và 22,4 %. Ngoài ra, khi tăng cường độ chịu nén của bê tông từ 40 MPa lên 51 MPa và 60 MPa thì độ cứng ban đầu của sàn cũng tăng lên, giá trị lực lớn nhất cũng tăng 19,5 % và 39,9 %.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Quang Sĩ (2021), “Nghiên cứu mô phỏng xác định ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt hỗn hợp thép và GFRP theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018”, *Tạp chí Kết cấu và Công nghệ Xây dựng*, (33): 73-82.
- [2]. Xie, J., Guo, Z., Shao, M., Zhu, W., Jiao, W., Yang, Z., et al. (2022). “Mechanics of textiles used as composite preforms: a review”. *Composite structures*, 116401. 304, doi: 10.1016/j.compstruct.2022.116401.
- [3]. Liu, T., Gao, Y., Gao, X., Yao, Y., Lu, Y., and Fan, W. (2023). “A systematic investigation for mode-I fracture properties of stitched composites”. *Int. J. Mech. Sci.* 241, 107982. doi:10.1016/j.ijmecsci.2022.107982.
- [4]. Sadrolodabae, P., Claramunt, J., Ardanuy, M., and De La Fuente, A. (2023). “Effect of accelerated aging and silica fume addition on the mechanical and microstructural properties of hybrid textile waste-flax fabric-reinforced cement composites”. *Cem. Concr. Compos.* 135, 104829. doi:10.1016/j.cemconcomp.2022.104829.
- [5]. Nguyễn Huy Cường (2021), “Nghiên cứu tăng cường dầm bê tông cốt thép bằng bê tông cốt lưới dệt”, Luận án Tiến sĩ.
- [6]. ACI 549.4R-13 (2013) “Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures”. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [7]. Lê Đăng Dũng, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Thành Tâm, Nguyễn Mai Chí Trung (2022), “Nghiên cứu kết hợp lưới sợi dệt và thanh composite polyme làm cốt cho dầm bê tông”. *Kết cấu và công nghệ xây dựng* 34.
- [8]. Nguyễn Thị Nhung, Nguyễn Xuân Huy, Lê Minh Cường (2019), “Phân tích sự phá hoại chọc thủng của bản bê tông cốt thép được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt”. *Tạp chí Khoa học GTVT* 69.
- [9]. Nguyễn Duy Tiến, Phạm Thị Thanh Thủy, Nguyễn Huy Cường (2018), “Nghiên cứu xác định cường độ dính bám giữa bê tông thường và bê tông cốt lưới dệt phục vụ mục tiêu tăng cường kết cấu”. *Tạp chí Khoa học GTVT* 63.

- [10]. TCCS 38:2022/TCĐBVN, “Tiêu chuẩn thiết kế lưới cốt sợi thủy tinh”.
- [11]. Nguyễn Quang Sĩ (2022), “Nghiên cứu mô phỏng xác định ứng xử chịu cắt của dầm bê tông cốt composite polyme”, Tạp chí Người Xây dựng, số tháng 3&4.
- [12]. Suhad M. Abd, Amer M. Ibrahim<sup>1</sup>, Omar H. Hussein, Saba Shamim, Shaker Qaidi, Hadee Mohammed Najm, Yasin O. Özkılıç, Mohamad Muayad Sabri Sabri (2023), “Flexural behaviour of RC one-way slabs reinforced using PAN based carbon textile grid”, <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1070457>.
- [13]. ASTM A 615/A 615M (2000); “Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement”. American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PE, USA.
- [14]. CAST3M, <http://www-cast3m.cea.fr/>.
- [15]. Mazars J, “A description of micro and macroscale damage of concrete structure”. Eng Fract Mech 25:729–737, 1986.