

# Nghiên cứu sự làm việc của tấm BTCT được gia cường bằng bê tông cốt lưới dệt chịu tác dụng của tải trọng nổ

Studying the effect of reinforced concrete layer with textile mesh fiber (TRC) on the behavior of reinforced concrete slabs when subjected to shock waves

> VŨ NGỌC QUANG<sup>(1)</sup>, VŨ NGỌC ANH<sup>(1)</sup>,  
NGUYỄN TRUNG KIÊN<sup>2</sup>, LÊ HOÀNG LONG<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Học viện Kỹ thuật Quân sự,

Email: vungocquang@lqdtu.edu.vn, Ngocanh.vu@lqdtu.edu.vn, lehoanglong@lqdtu.edu.vn

<sup>(2)</sup> Cục Công tác phía Nam, Bộ Xây dựng,

Email: trungkien.p.qlxd.bxd@gmail.com

## TÓM TẮT:

Bê tông cốt sợi lưới dệt (Textile reinforced concrete - TRC) là một loại vật liệu composite mới với nhiều ưu điểm nổi bật về khả năng chịu lực, chống ăn mòn. Đồng thời, do cấu tạo, dạng vật liệu này có khả năng hấp thụ tốt xung lượng do tải trọng nổ gây ra. Việc sử dụng vật liệu TRC gia cường cho các kết cấu bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng nổ cần được nghiên cứu để ứng dụng cho một số loại kết cấu công trình trong thực tế nhằm tăng cường khả năng chịu lực. Trong bài báo, nhóm tác giả sẽ sử dụng công cụ mô phỏng là phần mềm ABAQUS để nghiên cứu ứng xử của tấm BTCT được gia cường bằng vật liệu TRC khi chịu tải trọng nổ, từ đó đánh giá hiệu quả của việc sử dụng vật liệu này.

**Từ khóa:** Bê tông cốt lưới dệt; tải trọng động; tấm bê tông cốt thép; vật liệu composite...

## ABSTRACT

Textile reinforced concrete (TRC) is a new type of composite material with many outstanding advantages in terms of bearing capacity and anti-corrosion. At the same time, due to its structure, this form of material has the ability to well absorb the momentum caused by explosive loads. The use of reinforced TRC material for reinforced concrete structures subjected to explosive loads should be studied for application to some types of construction structures in practice to enhance bearing capacity. In the article, the authors will use the simulation tool ABAQUS software to study the behavior of strengthened reinforced concrete slabs with TRC material when subjected to explosive loads, thereby evaluating the effectiveness of using TRC.

**Keywords:** Textile reinforced concrete; dyn amic load; reinforced concrete slab; composite material...

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông cốt lưới dệt là một thành tựu mới trong lĩnh vực kết cấu bê tông, được phát triển đầu tiên tại Đức bởi hai trung tâm nghiên cứu tại trường Đại học Kỹ thuật Tổng hợp Dresden và trường Đại học Kỹ thuật RWTH Aachen từ những năm 1990 [10], [11]. Những năm gần đây, việc sử dụng vật liệu bê tông cốt lưới dệt để gia cường cho các cấu kiện bê tông cốt thép ngày càng trở nên phổ biến và thuận lợi. Các nghiên cứu được công bố về vấn đề này có thể kể đến như của Manjula [2], Schladitz [3], Cường N.H ([1],[6],[7],[8],[9]), Hussein [13],... Các nghiên cứu tập trung vào việc mô phỏng bằng các phần mềm như ABAQUS, ATODYN... để xác định ứng xử của tấm bê tông cốt thép (RC) gia cường bằng bê tông cốt sợi dệt (TRC) khi chịu các dạng tải trọng tĩnh. Các kết quả ban đầu cũng đã cho thấy tiềm năng ứng dụng loại vật

liệu này trong lĩnh vực gia cường kết cấu [14],[15]. Tuy nhiên, các công trình này chưa đi sâu đánh giá ảnh hưởng của việc bố trí các lớp gia cường bằng TRC đến ứng xử của tấm khi chịu các tải trọng đặc biệt như sóng nổ, động đất... Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng phần mềm ABAQUS để nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của việc bố trí các lớp gia cường đến sự làm việc của tấm BTCT khi chịu tải trọng nổ.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG SƠ ĐỒ TÍNH TẤM BTCT GIA CƯỜNG BẰNG CỐT SỢI DỆT CHỊU TẢI TRỌNG NỔ

Việc khảo sát sự làm việc của tấm BTCT có gia cường cốt sợi dệt khi chịu tải trọng nổ trong phần mềm Abaqus được tiến hành căn cứ trên các hướng dẫn của Abaqus. Các giả thiết xây dựng mô hình tính toán:

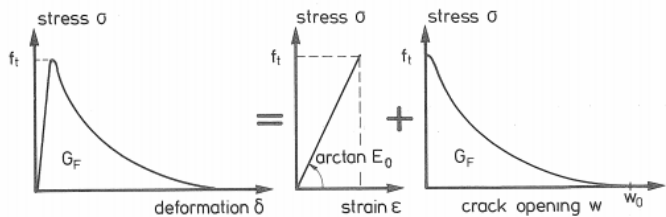
Khi tính toán thừa nhận các giả thiết sau:  
 + Khảo sát tấm BTCT được gia cường bằng vật liệu TRC đặt trên gối cứng;  
 + Bê tông và cốt chịu lực là vật liệu đồng nhất;  
 + Tác dụng của tải trọng nổ chỉ xem xét dưới dạng xung;  
 + Dưới tác dụng của tải trọng, lớp vật liệu gia cường TRC và tấm BTCT không có sự tách trượt.

Việc mô hình hóa kết cấu được tiến hành đối với từng nhóm: mô hình hóa hình học, mô hình hóa vật liệu, mô hình hóa liên kết và mô hình hóa tải trọng.

**Lựa chọn loại phần tử:** Bài báo sử dụng phần tử C3D8R trong thư viện vật liệu là dạng phần tử khối 3 chiều, 8 nút tuyến tính [4],[5] để gán cho các phần tử bê tông thường và bê tông hạt mịn của TRC. Các thanh cốt thép, lưới sợi dệt sử dụng phần tử dạng thanh T3D2 (trong Abaqus chọn wire) nhằm giảm bớt khối lượng tính toán. Mô hình kết cấu tấm BTCT và tấm BTCT được gia cường bằng TRC được tổ hợp hoàn chỉnh từ các phần (parts) riêng lẻ thông qua khai báo ràng buộc (constraint) thích hợp giữa các phần. Cốt thép và lưới sợi dệt được khai báo nhúng (embedded) vào bê tông với giả thiết dính bám giữa cốt chịu lực và cốt bê tông là dính bám tuyệt đối.

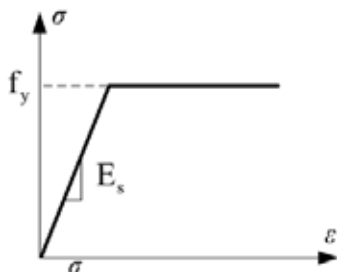
Mô hình ứng xử dính bám bề mặt (Surface based cohesive behavior) trong Abaqus cho phép khai báo ứng xử dính bám giữa 2 lớp vật liệu bê tông và TRC. Mô hình này có khả năng mô phỏng quá trình dính bám và bong tách giữa 2 lớp vật liệu thông qua mối quan hệ giữa lực dính và độ trượt với giả thiết ứng xử dính bám là tuyến tính trong giai đoạn đầu. Sau khi đạt đến lực dính lớn nhất, quá trình bong tách bắt đầu xuất hiện và kết cấu bị phá hoại khi quá trình bong tách diễn ra hoàn toàn.

**Mô hình vật liệu bê tông:** sử dụng mô hình của Hognestad do E.Hognestad phát triển và mô hình theo hướng dẫn của Abaqus [4] dùng để mô tả tính chất phi tuyến của bê tông dựa trên mô hình phá hoại dẻo. Mô hình này dựa trên cường độ chịu kéo và chịu nén dọc trục thiết lập đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng của miền chịu kéo và miền chịu nén để mô tả tính chất bê tông khi làm việc.



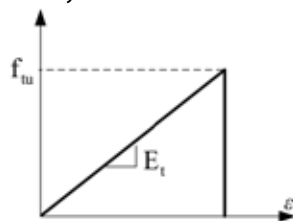
Hình 1. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông vùng kéo

**Mô hình ứng xử của thép:** Mô hình đàn hồi dẻo được sử dụng để mô phỏng tính chất vật liệu của cốt thép. Đường ứng suất - biến dạng của thép được xác định thông qua mô đun đàn hồi  $E_s$  và cường độ chịu kéo  $f_y$ . Mô hình này có thể được sử dụng cho cả ứng xử kéo và nén của cốt thép. Mối quan hệ ứng suất - biến dạng được thể hiện trên hình 2 dưới đây.



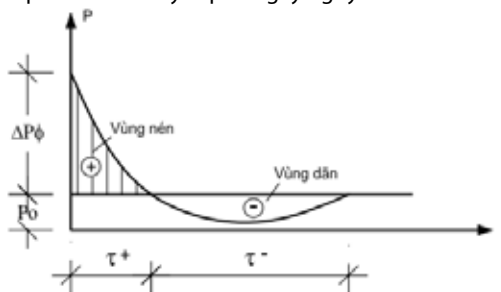
Hình 2. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu thép

**Mô hình ứng xử của cốt sợi dệt:** Lưới sợi dệt là loại vật liệu có tính chất đàn hồi - dẻo. Ứng suất kéo tăng gần như tuyến tính, sau khi đạt ứng suất kéo cực đại, lưới sợi dệt bị phá hoại ngay lập tức mà không có giai đoạn biến dạng dẻo trước khi bị phá hoại. Sau khi đạt đến cường độ chịu kéo ứng suất giảm đột ngột về 0 thể hiện sự phá hoại giòn của vật liệu này, mối quan hệ ứng suất - biến dạng trên hình 3 dưới đây.



Hình 3. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu cốt sợi dệt

**Tải trọng tính toán:** Bằng vào thực nghiệm, giáo sư Sadovsky đã xác định được trị số siêu áp mặt sóng xung kích khi nổ trong môi trường không khí vô hạn ở khoảng cách R. Quy luật biến đổi theo thời gian được thể hiện như trong Hình 4 dưới đây bao gồm pha nén và pha giãn. Để đơn giản trong tính toán, trong bài báo, chỉ xét tới pha nén do đây là phần gây nguy hiểm nhất cho tấm.



Hình 4. Quy luật biến đổi của sóng xung kích

$$\Delta P_{\phi} = 1,06 \frac{\sqrt[3]{C_{tp}}}{R} + 4,3 \left( \frac{\sqrt[3]{C_{tp}}}{R} \right)^2 + 14 \left( \frac{\sqrt[3]{C_{tp}}}{R} \right)^3 \quad (1)$$

trong đó:  $\Delta P_{\phi}$  là siêu áp mặt sóng,  $\text{kg/cm}^2$ ;  $C_{tp}$  là trọng lượng toàn phần của khối thuốc nổ,  $\text{kg}$ ; R là khoảng cách từ điểm tính toán đến tâm nổ,  $\text{m}$ ;

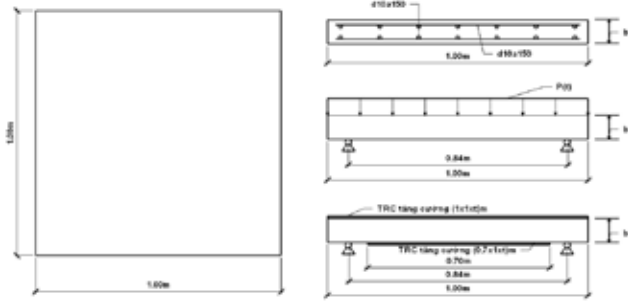
### 3. THỬ NGHIỆM SỐ TÍNH TOÁN TẤM BTCT GIA CƯỜNG BẰNG CỐT SỢI DỆT CHỊU TẢI TRỌNG NỔ VỚI PHẦN MỀM ABAQUS

**Đặt bài toán:** Xác định các ứng xử (ứng suất, chuyển vị) của tấm BTCT được tăng cường TRC khi chịu tác dụng của tải trọng nổ trong các trường hợp không được gia cường và được gia cường cả hai mặt của tấm.

#### Một số thông số cơ bản:

- Tấm BTCT có kích thước  $1\text{m} \times 1\text{m} \times b$  với b là chiều dày của tấm, khảo sát 3 tấm với chiều dày lần lượt nhận giá trị 0,1; 0,15 và 0,20m. Các thông số cơ bản của tấm bao gồm:
  - + Bê tông cấp độ bền B40.
  - + Thép All bố trí 2 lớp lưới thép d10a150.
  - + Chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 0,02m.
- Lớp TRC gia cường sử dụng 1 lớp lưới có chiều dày  $t=8\text{mm}$  (lưới được đặt ở giữa), được trát ở cả 2 mặt của tấm với các thông số cụ thể:
  - + Bê tông hạt mịn, thông số vật liệu như bảng 1.
  - + Mặt trước có kích thước  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,008\text{m}$ .
  - + Mặt sau có kích thước  $0,7\text{m} \times 1\text{m} \times 0,008\text{m}$ .
  - + Chiều dày lớp bảo vệ là 0,004m.

- Tải trọng tác dụng: tải trọng nổ.



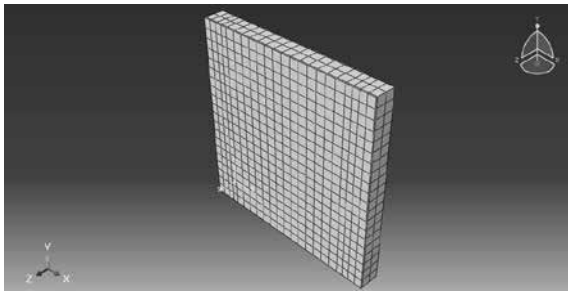
**Hình 5.** Mô hình bài toán khảo sát

Việc xác định các ứng xử của kết cấu được mô phỏng bằng phần mềm Abaqus với:

- Điểm khảo sát là điểm ở tâm mặt trước của tấm N13 có tọa độ (0,5m; 0,5m; 0m).

- Lưới chia có kích thước bước lưới lớn nhất là 0,005m.

- Bước thời gian khảo sát là 0,0005s (0,0001s - cho tấm có chiều dày 150mm và 200mm). Thời gian khảo sát là 1s. Việc khảo sát sự làm việc của tấm BTCT có gia cường cốt sợi dệt khi chịu tải trọng nổ.



**Hình 6.** Lưới phần tử của mô hình

**- Thông số vật liệu bê tông:**

Vật liệu bê tông bao gồm 2 loại, vật liệu bê tông của tấm BTCT và vật liệu bê tông hạt mịn cho kết cấu gia cường, các thông số cơ bản được thể hiện trong bảng 1.

**Bảng 1.** Bảng các tham số của vật liệu bê tông

Vật liệu	$f_c$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$\nu$	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )
Bê tông B40	22,0	1,40	36000	0,20	2320
Bê tông hạt mịn	23,9	2,77	23120	0,20	1960

**- Thông số vật liệu cốt thép:**

Các thông số của vật liệu cốt thép của tấm BTCT được thể hiện trong Bảng 2 dưới đây.

**Bảng 2.** Bảng các tham số của vật liệu cốt thép

Vật liệu	$f_t$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$\nu$	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )
Cốt thép thường	280	210000	0,30	7850

**- Thông số vật liệu cốt sợi dệt:**

Các thông số của vật liệu cốt sợi theo cả phương dọc và phương ngang được thể hiện trong Bảng 3 dưới đây.

**Bảng 3.** Bảng các tham số của vật liệu cốt sợi

Vật liệu	$f_{tu}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$\nu$	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )
Cốt sợi dệt	623	31940	0,22	1740

**- Tải trọng tính toán:**

Tải trọng nổ được xác định với lượng nổ 3kg đặt cách tấm 5m, giá trị của tải trọng nổ được giả thiết là phân bố đều trên toàn bộ phạm vi của tấm. Siêu áp sóng xung kích được tính theo (1).

$$\Delta P_\phi = 1,06 \sqrt[3]{\frac{C_{tp}}{R}} + 4,3 \left( \frac{\sqrt[3]{C_{tp}}}{R} \right)^2 + 14 \left( \frac{\sqrt[3]{C_{tp}}}{R} \right)^3 = 0,9995 \text{ (kg/cm}^2 \text{)} \quad (2)$$

Áp lực sóng phản xạ tác dụng lên bề mặt kết cấu là:

$$\Delta P_{fx} = 2\Delta P_\phi + \frac{6\Delta P_\phi^2}{\Delta P_\phi + 7,2} = 2,7301 \text{ (kg/cm}^2 \text{)} \quad (3)$$

Thời gian duy trì siêu áp sóng xung kích trong pha nén:

$$\tau_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C_{SXX}} \sqrt{R} \approx 0,004 \text{ (s)}$$

Qui luật biến thiên siêu áp sóng phản xạ tác dụng lên tấm có dạng:

$$\Delta P(t) = \Delta P_{fx} \left( 1 - \frac{t}{\tau_+} \right)^n$$

Trong đó, hệ số mũ n được xác định theo công thức:

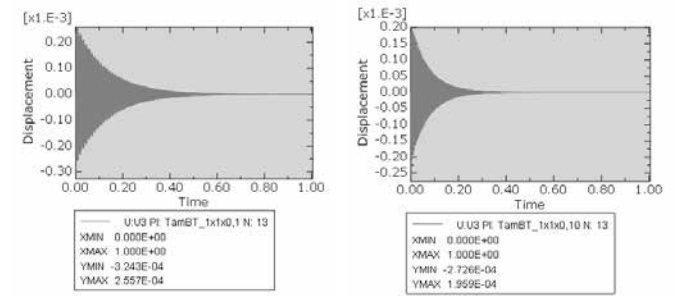
$$n = 1 + \Delta P_{fx}^{2/3} \approx 2,9534.$$

Hình ảnh hàm thời gian pha nén của sóng nổ tác dụng lên tấm được thể hiện trên Hình 7.

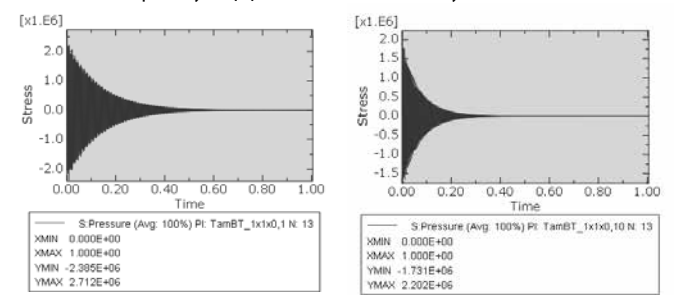
**Hình 7.** Hàm thời gian pha nén của sóng nổ

**4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ NHẬN XÉT**

Chuyển vị và ứng suất tính với tấm dày 10cm tại điểm chính giữa, phía trên của tấm (điểm N13) được thể hiện trên Hình 8 và Hình 9 dưới đây.

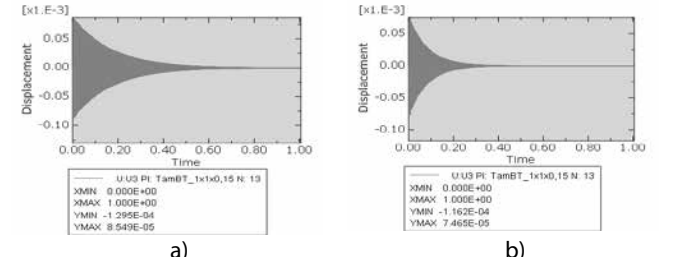


**Hình 8.** Kết quả chuyển vị tại điểm N13 tính với tấm dày 10cm

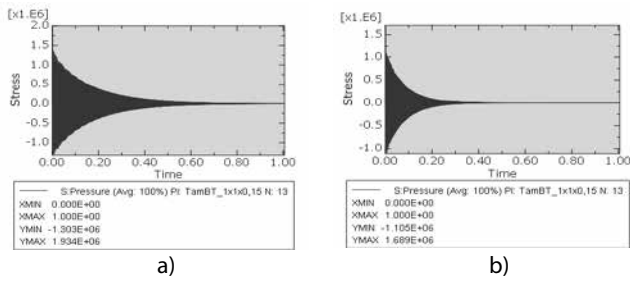


**Hình 9.** Kết quả ứng suất tại điểm N13 tính với tấm dày 10cm

Chuyển vị và ứng suất tính với tấm dày 15cm được thể hiện trong Hình 10 và Hình 11.

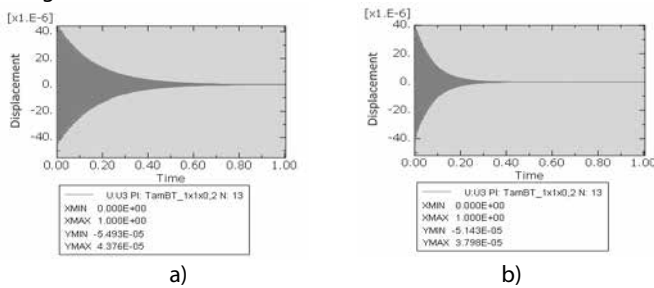


**Hình 10.** Kết quả chuyển vị tại điểm N13 tính với tấm dày 15cm

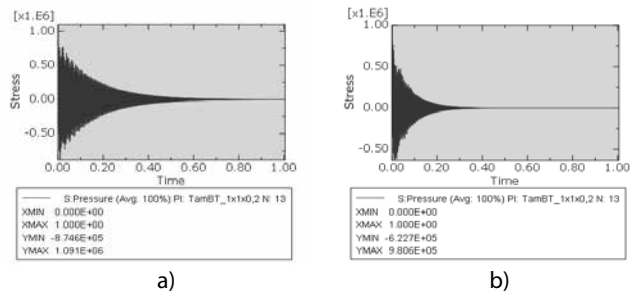


**Hình 11.** Kết quả ứng suất tại điểm N13 tính với tấm dày 15cm

Chuyển vị và ứng suất tính với tấm dày 20cm được thể hiện trong hình 12, hình 13.



**Hình 12.** Kết quả chuyển vị tại điểm N13 tính với tấm dày 20cm



**Hình 13.** Kết quả ứng suất tại điểm N13 tính với tấm dày 20cm

So sánh các hình vẽ trên có thể thấy, thời gian tắt dần của quá trình giảm ứng suất và chuyển vị của tấm BTCT khi được gia cường bằng lớp TRC nhỏ hơn đáng kể so với tấm khi không được gia cường. Do đó, có thể nhận thấy, lớp TRC có tác dụng phân tán năng lượng hệ kết cấu tiếp nhận.

So sánh ứng xử (chuyển vị và ứng suất) của điểm khảo sát trong trường hợp tấm bê tông cốt thép khi không có lớp gia cường và có lớp gia cường được thể hiện trong bảng 4:

**Bảng 4.** Chuyển vị và ứng suất điểm N13 khi thay đổi chiều dày tấm

Trường hợp		Chuyển vị ( $\cdot 10^{-4}$ m)	Ứng suất ( $\cdot 10^6$ N/m <sup>2</sup> )
Tấm BTCT dày 10mm	Không gia cường	3,243	2,712
	Có gia cường	2,726	2,202
	Hệ số tăng cường	<b>1,190</b>	<b>1,232</b>
Tấm BTCT dày 15mm	Không gia cường	1,295	1,934
	Có gia cường	1,162	1,689
	Hệ số tăng cường	<b>1,114</b>	<b>1,145</b>
Tấm BTCT dày 20mm	Không gia cường	0,549	1,091
	Có gia cường	0,514	0,999
	Hệ số tăng cường	<b>1,068</b>	<b>1,113</b>

Từ các kết quả tính chuyển vị và ứng suất của tấm bê tông cho các trường hợp khi đổi chiều dày tấm khi không có gia cường và có gia cường thêm bằng TRC, ta nhận thấy:

- Giá trị chuyển vị và ứng suất trường hợp khi không có gia cường lớn hơn so với khi được gia cường.

- Hệ số tăng cường của TRC có xu hướng giảm dần khi tăng chiều dày của tấm BTCT. Đối với chuyển vị nút, hệ số tăng cường giảm từ 1,19 (tấm dày 10mm) xuống 1,068 (tấm dày 20mm). Đối với ứng suất tại điểm khảo sát, hệ số tăng cường giảm từ 1,232 (tấm dày 10mm) xuống 1,113 (tấm dày 20mm).

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày việc tính toán tấm BTCT được gia cường bằng vật liệu cốt sợi dệt. Kết quả thử nghiệm số, đã cho thấy vật liệu TRC có khả năng áp dụng tốt để gia cường cho các kết cấu có dạng tấm khi chịu tác dụng của tải trọng sóng nổ. Đồng thời, các tấm BTCT được gia cường bằng TRC có khả năng làm dao động của tấm, sau khi chịu tải trọng nổ, tắt nhanh hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cường N.H., Hiệp V.V., Dũng L.Đ., Nghiên cứu ứng xử của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt, Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường số 48 (3/2015).
- [2] Manjula PV, Narayanan (2017), Finite element analysis of reinforced concrete slab stro//o with textile reinforced mortar, REACT 2017, p.1-7.
- [3] Schladitz (2012), Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete, Engineering Structure 40, p.317-326.
- [4] Abaqus manual (2021).
- [5] Simulia (2009), ABAQUS Analysis User's Manual 6.10
- [6] Nguyễn Huy Cường, Ngô Đăng Quang, Phạm Duy Hữu (2019), Mô hình tính toán xác định ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt, Tạp chí Kết cấu và Công nghệ xây dựng, Số 30/2019, tr38-49.
- [7] Nguyễn Huy Cường, Ngô Đăng Quang, Lê Minh Cường, Nguyễn Hoàng Quân (2016), Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt thép được tăng cường bằng bê tông cốt lưới dệt sợi các bon, Tạp chí Kết cấu và công nghệ xây dựng, số 23/2016.
- [8] Nguyen Huy Cuong, Ngo Dang Quang - (2018), Flexural behavior of reinforced concrete beam strengthened by textile reinforced concrete: Experimental and numerical study, The Indian Concrete Journal (indexed in SCOPUS), July 2018, Vol. 92, Issue 7, pp. 28-43.
- [9] Nguyen Huy Cuong, Ngo Dang Quang (2014), Numerical Analysis of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Textile Reinforced Concrete, Proceedings of the International Conference on Engineering Mechanics and Automation-ICEMA3, Hanoi, October 15.
- [10] Hegger, J., N. Will (2007), Textile Reinforced Concrete — A new Composite Material. Advances in Construction Materials 2007, Springer Berlin Heidelberg: 147-156.
- [11] Manfred Curbach (2002), SFB 528: Textile Bewehrungen zur Bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung, Arbeits- und Ergebnisbericht für die Periode II/1999 - I/2002
- [12] Proceedings of the International RILEM (2006), Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC, ISBN: 2-912143-99-3, Pages: 292, 2006
- [13] Hussein M. Elsanadedy, Tarek H. Almusallam, Saleh H. Alsayed, Yousef A. Al-Salloum. (2013), Flexural strengthening of RC beams using textile reinforced mortar – Experimental and numerical study, Composite Structures, Volume 97, March 2013, Pages 40–55.
- [14] Curbach M., Ortlepp R., Scheerer S., Frenzel M. "Verstärken mit Textilbeton – Weg von der Vision zur Anwendung". Der Prüferingenieur. 2011, n° 39, p. 32-44.
- [15] Ortlepp R., Weiland S., Curbach M. "Rehabilitation and strengthening of a hypar concrete shell by textile reinforced concrete". In: LIMBACHIYA M.C., KEW H.Y. (eds.) Proceedings of the International Conference Excellence in Concrete Construction through Innovation, London, 09.- 10.09.2008. London: Taylor & Francis Group, 2008, ISBN ISBN 978-0-415-47592-1, p. 357–364.