

# MÔ HÌNH DỰ BÁO CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA MẪU BÊ TÔNG TRỤ TRÒN ĐƯỢC GIA CƯỜNG BẰNG BÊ TÔNG CỐT LƯỚI SỢI

## PREDICTIVE MODEL FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF THE CONCRETE CYLINDERS CONFINED BY TEXTILE REINFORCED CONCRETE

ThS. CAO MINH QUYỀN<sup>1</sup>; PGS.TS. NGUYỄN XUÂN HUY<sup>2</sup>; TS. LÊ NGUYỄN KHƯƠNG<sup>1</sup>; TS. NGUYỄN THUY ANH<sup>1</sup>; ThS. MAI VĂN CHIẾN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

<sup>2</sup>Đại học Giao thông vận tải

Email: [quyencm@utt.edu.vn](mailto:quyencm@utt.edu.vn)

**Tóm tắt:** Bài báo phát triển mô hình dự báo cường độ chịu nén của trụ tròn bê tông được gia cường bằng TRC. Trước hết nghiên cứu tiến hành thu thập, phân tích các kết quả thí nghiệm đã được công bố tại Việt Nam và trên thế giới. Sau đó dựa trên các kết quả phân tích, một mô hình dự báo tỉ số giữa khả năng chịu nén của mẫu gia cường TRC với các mẫu đối chứng ( $f_{cc}/f_{co}$ ) được phát triển. Mô hình cũng được so sánh với một số nghiên cứu đã có để khẳng định độ tin cậy của mô hình phát triển.

**Từ khóa:** TRC, hiệu ứng chống nở ngang, mô hình dự báo, cường độ chịu nén, gia cường cột, lưới sợi.

**Summary:** The target of this study is to propose a predictive model for compressive strength of the concrete cylinders confined by TRC system. The first, this study has collected experimental results published in Viet Nam and in the world. The next, based on that datasets, this paper gives a predictive model out for compressive capacity of the reinforced specimens with unreinforced specimens and compares with previous models to verify the reliability of developed model.

**Keyword:** TRC, confinement effect, predictive model, compressive strength, reinforced column, textile.

### 1. Giới thiệu

Đối với các công trình bê tông cốt thép (BTCT) đã được đưa vào khai thác lâu năm, đặc biệt nhiều công trình có tính lịch sử, văn hoá như ở Việt Nam thì phương án gia cường nhằm tăng khả năng chịu lực của kết cấu là phương án khả thi và cần được xem xét một cách cụ thể, đảm bảo độ tin cậy trước khi áp dụng vào thực tế thi công. Trong đó các cấu kiện chịu nén như cột BTCT là cấu kiện chịu lực

chính của kết cấu và có ứng xử làm việc phức tạp nên cần được chú trọng khi lựa chọn bất cứ giải pháp gia cường nào. Hiện nay đã tồn tại nhiều giải pháp gia cường kết cấu nói chung nhưng giải pháp sử dụng các loại vật liệu composite đang tỏ ra hiệu quả trên cả phương diện khả năng chịu lực, thi công nhanh không ảnh hưởng đến quá trình khai thác cũng như kinh tế... Trong đó công nghệ sử dụng vật liệu Polymer cốt sợi (Fiber Reinforced Polymer - FRP) và công nghệ dùng bê tông cốt lưới sợi (Textile Reinforced Concrete – TRC) đang được quan tâm nghiên cứu và từng bước được áp dụng rộng rãi trên thế giới. Ưu điểm của FRP là tỷ lệ cường độ trên trọng lượng cao, thi công dễ dàng, nhanh chóng và ít làm thay đổi kích thước hình học ban đầu của cấu kiện. Tuy nhiên việc sử dụng chất kết dính epoxy khiến FRP có tác động tiêu cực đến môi trường và sức khỏe con người đặc biệt trong môi trường nhiệt độ cao khi công trình xảy ra cháy nổ. TRC sử dụng các tấm lưới sợi được dệt từ các bó sợi gồm nhiều sợi cơ bản có nguồn gốc khác nhau như aramid, thủy tinh, carbon, thép... làm “cốt” đóng vai trò là vật liệu chịu lực trong hệ thống gia cường. Chất kết dính lưới sợi và cấu kiện được gia cường là bê tông hạt mịn (BTHM) được tạo thành từ hỗn hợp xi măng cùng các cốt liệu có đường kính nhỏ ( $D_{max} < 1mm$ ), phụ gia khoáng như muối Silic, tro bay và các phụ gia siêu dẻo để cải thiện độ bền, khả năng liên kết... Các nghiên cứu về đặc tính cơ học của chúng đã chứng minh cơ chế làm việc chung và sự truyền ứng suất một cách hiệu quả giữa lưới sợi và BTHM, tính phù hợp của TRC trong việc gia cường kết cấu thực tế. Ngoài ra ưu điểm đáng chú ý của TRC rất thân thiện với môi trường và an toàn với sức khỏe con người.

Mặc dù vậy những kết quả nghiên cứu về cấu kiện cột gia cường TRC nói chung còn hạn chế. Nguyên nhân là do hiệu quả gia cường cột bằng

TRC được quyết định bởi hiệu ứng chống nở ngang chịu ảnh hưởng của nhiều tham số như hình dạng, kích thước tiết diện; số lượng lớp gia cường; tính chất cơ học của lưới sợi, bê tông hạt mịn... Một số nghiên cứu đã phát triển các mô hình dự báo khả năng chịu lực và biến dạng giới hạn dựa trên các kết quả thí nghiệm của các mẫu trụ được gia cường TRC nhưng do số lượng dữ liệu còn hạn chế, việc đánh giá sự ảnh hưởng của các tham số đến hiệu quả gia cường chưa sát với sự làm việc thực tế của cấu kiện... nên độ chính xác của các mô hình chưa thực sự cao. Để từng bước đưa TRC trở thành loại vật liệu phổ biến, có thể áp dụng vào thực tiễn công tác gia cường kết cấu nói chung và cấu kiện cột nói riêng một cách có hiệu quả ở Việt Nam đòi hỏi cần có thêm nhiều kết quả nghiên cứu thực nghiệm hơn làm cơ sở cho các chỉ dẫn kỹ thuật trong tương lai.

Nghiên cứu này dựa trên 263 kết quả thí nghiệm thu thập được từ 21 nghiên cứu đã được công bố trong nước và thế giới để phát triển mô hình dự báo cường độ chịu nén của các mẫu trụ tròn bê tông được gia cường TRC. Khả năng dự báo của mô hình phát triển được so sánh với các mô hình trước đó để xác minh độ tin cậy của mô

hình. Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham khảo hữu ích cho các kỹ sư thiết kế khi lựa chọn giải pháp gia cường TRC cho cấu kiện cột bê tông cốt thép để dự báo trước ảnh hưởng của hiệu ứng chống nở ngang đến khả năng chịu nén của cột.

**2. Bộ dữ liệu thí nghiệm**

Nghiên cứu thu thập 263 dữ liệu là tỉ số cường độ chịu nén của mẫu bê tông trụ tròn gia cường và không gia cường TRC từ các nghiên cứu trước đó [1–8]. Các mẫu trụ tròn có đường kính  $D$ , chiều cao  $H$  được gia cường ( $f_{co}$ ) và mẫu đối chứng không được gia cường TRC ( $f_{co}$ ). Các nghiên cứu sử dụng nhiều loại lưới sợi khác nhau như sợi aramid, các bon, thủy tinh, sợi thép... với chiều dày trung bình của 1 lớp lưới sợi  $t_f$ , cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi  $E_f$  của bó sợi trần lần lượt là  $f_{fu}$  và  $E_f$ , mật độ của các bó sợi dọc được biểu diễn thông qua diện tích mặt cắt ngang một lớp lưới sợi tính trên 1m chiều dài cột và không tính trong đoạn neo giữa 2 đầu lớp lưới sợi  $A_f$  ( $mm^2/m$ ). Lưới sợi được cuốn quanh mẫu thí nghiệm với góc  $q$  tạo bởi các bó sợi dọc và trục đứng của mẫu. Số lớp gia cường cho mỗi tổ mẫu thí nghiệm tương ứng  $n_f$  trong bộ dữ liệu thay đổi từ 1 đến 4 lớp.

**Bảng 1.** Các tham số trong bộ dữ liệu thí nghiệm mẫu trụ tròn được gia cường TRC

STT	Tham số	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Chênh lệch	Trung bình
1	$D$ (mm)	100	300	200	149,35
2	$D/H$	0,3	0,6	0,3	0,47
3	$f_{co}$ (MPa)	11,4	52,39	40,99	22,43
4	$f_{fu}$ (MPa)	586	5800	5214	3532,4
5	$E_f$ (GPa)	52	330	278	182,65
6	$r_f = 4n_f t_f / D$	0,00023	0,32	0,0318	0,0042
7	$A_f$ ( $mm^2/m$ )	1,7	563	561,3	42,6
8	$q^0$	30	90	60	88

Bộ dữ liệu cho thấy hầu hết các tổ mẫu thí nghiệm có  $D$  nhỏ hơn 200, tỉ số  $D/H$  chủ yếu tập trung tại giá trị 0,5. Đối với cường độ  $f_{co}$  của bê tông lõi có thể quan sát thấy chúng phân bố trong khoảng từ 0 đến 52,39 (MPa) nhưng chỉ có một số ít mẫu có cường độ lớn hơn 40 MPa. Đối với lưới sợi, cường độ chịu kéo của bó sợi trần  $f_{fu}$  phân bố trong khoảng từ 586 đến 5800 (MPa) trong khi mô đun đàn hồi của bó sợi trần  $E_f$  thay đổi trong khoảng 52 đến 330 (GPa). Diện tích mặt cắt ngang của các sợi dọc trên 1m chiều cao cột gia cường thay đổi từ 1 tới 600 ( $mm^2/m$ ) tuy nhiên chỉ một số rất ít giá trị lớn hơn 500 ( $mm^2/m$ ). Lưới sợi sử dụng trong các nghiên cứu trên được tạo thành từ nhiều loại vật

liệu khác nhau như các bon, aramid, thép, thủy tinh... Hướng sợi được lựa chọn để tiến hành gia cường các mẫu chịu nén hầu hết là vuông góc với trục dọc mẫu thử tương ứng với  $q = 90^0$ , chỉ vài mẫu có góc  $q$  nhỏ hơn  $90^0$ .

**3. Mô hình dự báo cường độ chịu nén của mẫu trụ tròn bê tông gia cường TRC**

**3.1 Các mô hình dự báo đã có**

Các nghiên cứu trên thế giới đã đưa ra một số mô hình dự báo cường độ chịu nén của bê tông gia cường TRC khác nhau, nhìn chung đều xét đến ảnh hưởng của các tham số như hình dạng tiết diện (vuông, tròn, bo góc), tính chất cơ lý của lưới sợi, số lớp gia cường... được tóm tắt trong bảng 2.

Bảng 2. Một số mô hình dự báo đã có

Nguồn	Mô hình dự báo	
Ortlepp [9]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 0,27 \times \frac{f_{lu}}{f_{co}} + 5,55 \times \left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^2 - 3,51 \times \left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^3$ $\sigma_{lu} = k_e \times \frac{(b+h)}{b \times h} \times A_f \times n_f \times f_{fu}; \quad k_e = 1 - \frac{b_n^2 + h_n^2}{3A_c}$	(1)
ACI 549.4-13 [10]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = \frac{f_{co} + 3,1\kappa_a f_{lu}}{f_{co}}; \quad f_{lu} = (2n_f A_f E_f \varepsilon_{fe}) / (b^2 + h^2)^{0,5};$ $\kappa_a = \left(\frac{b}{h}\right)^2 \left[ 1 - \frac{\left(\frac{b}{h}\right)b_n^2 + \left(\frac{h}{b}\right)h_n^2}{3A_g} \right]; \quad \varepsilon_{fe} = \min(\varepsilon_{fu}; 0,012)$	(2)
Ombres [11]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 0,913 \left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^{0,5}$ $f_{lu} = \frac{1}{2} k_e k_\theta \rho_f E_f \varepsilon_{fu}; \quad k_e = 0,25 \left[ \left(\frac{\rho_f E_f}{f_{co}}\right)^{0,3} - 1 \right];$ $k_q = 1 \text{ với } q = 90^0; \quad k_q = \frac{1}{(1 + 3 \tan q)} \text{ với } q \neq 90^0$	(3)
Triantafillou T.C [12]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 1,9 \left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^{1,27}$ $f_{lu} = k_e \frac{(b+h)}{bh} t_f E_f \varepsilon_{fu}; \quad k_e = 1 - \frac{b_n^2 + h_n^2}{3A_c}$	(4)
De Caso [13]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 2,87 \left(\frac{f_{lu}}{f_{co}}\right)^{0,775}$ $f_{lu} = \frac{2E_f \varepsilon_{fu} t_f n_f}{D}$	(5)
Colajanni [14]	$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_{lu}}{f_{co}} - 2 \frac{f_{lu}}{f_{co}} - 1,254}$ $f_{lu} = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{fu} k_e; \quad k_e = 1 - \frac{(b-r_c)^2 + (h-r_c)^2}{3A_g}$	(6)

trong đó:

- $f_{lu}$  - Ứng suất bó ngang giới hạn của lớp TRC;
- $\varepsilon_{fe}$  - Biến dạng có hiệu của lớp TRC;
- $\varepsilon_{fu}$  - Biến dạng giới hạn của bó sợi trần hoặc tấm TRC;
- $\rho_f = \frac{4n_f t_f}{D}$  - Hệ số thể tích lưới sợi;

- D - Đường kính phần tử chịu nén. Với tiết diện chữ nhật  $D = \sqrt{b^2 + h^2}$ ;
- $b_n = b - 2r_c$ ;  $h_n = h - 2r_c$  - Kích thước cạnh tự do;
- $r_c$  - Bán kính bo góc của tiết diện;
- $k_e$  - Hệ số biến dạng có hiệu tính đến ảnh hưởng của tiết diện mặt cắt ngang;

$k_a$  - Hệ số biến dạng có hiệu tính đến ảnh hưởng của tiết diện mặt cắt ngang khi xác định  $f_{cc}$  theo mô hình dự báo ACI;

$k_0$  - Hệ số kể đến ảnh hưởng của hướng sợi;

$A_c$  - Diện tích tiết diện thực của bê tông lõi. Khi mẫu thí nghiệm không có cốt thép  $A_c = A_g$ ;

**3.2 Tiêu chí đánh giá mô hình dự báo**

Để đánh giá độ tin cậy và sự tối ưu của các mô hình dự báo nói chung cần dựa trên một số các tiêu chí hay các chỉ số như hệ số tương quan Pearson (R) được xác định theo phương trình (7) nhằm tạo ra các tổ hợp khác nhau của các tham số. Nếu biến đầu vào lớn hơn giá trị R điều đó cho thấy tầm quan trọng của nó với tham số đầu ra. Bên cạnh đó còn có các sai số bình phương trung bình (MSE), sai số tuyệt đối trung bình (MAE), sai số bình phương trung bình căn bậc 2 (RMSE), chúng được trình bày một cách có hệ thống bởi các phương trình tương ứng sau:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(T_i - \bar{T})(O_i - \bar{O})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \tag{7}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |T_i - O_i|}{n} \tag{8}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - O_i)^2}{n} \tag{9}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - O_i)^2}{n}} \tag{10}$$

trong đó:  $O_i$  là các kết quả quan sát được hay kết quả thực nghiệm và  $T_i$  là kết quả được dự báo bởi mô hình. Giá trị R lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của MAE, MSE, RMSE giúp nhận biết được đâu là mô hình có độ chính xác cao so với kết quả thí nghiệm. Trong phạm vi bài báo, nhóm tác giả lựa chọn sai số bình phương trung bình MSE do tính phổ biến, đơn giản nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy để so sánh độ chính xác của mô hình phát triển với các mô hình sử dụng để tham chiếu.

**3.3 Mô hình dự báo phát triển**

Trong số các mô hình được tổng hợp trong bảng 2, có 2 trường phái sử dụng tính chất cơ học của lưới sợi ( $E_f, f_{fu}, e_{fu}$ ) khi xây dựng mô hình dự báo. Theo trường phái thứ nhất các tính chất cơ học này được xác định bằng cách thực hiện các thí nghiệm kéo dọc trực tiếp TRC. Kết quả thí nghiệm đồng thời phụ thuộc vào tính chất của BTHM sử dụng trong chương trình thí nghiệm. Đại diện cho trường phái thứ nhất là mô hình dự báo ACI 549.4R-13 [10]. Trường phái thứ hai sử dụng tính chất cơ học của bó sợi trần dựa trên mô hình thí nghiệm kéo một bó sợi trần đơn lẻ, kết quả thí nghiệm theo mô hình thí nghiệm này không bị ảnh hưởng bởi tính chất cơ học của BTHM và khả năng làm việc chung giữa BTHM và lưới sợi. Các dữ liệu bài báo thu thập được từ 21 nghiên cứu đều sử dụng tính chất cơ học của bó sợi trần vì vậy để thống nhất tham số đầu vào cho mô hình dự báo, trong phạm vi nghiên cứu tiến hành tính toán so sánh với các mô hình dự báo theo trường phái thứ hai. Sai số bình phương trung bình MSE của 5 mô hình dự báo được tổng hợp trong bảng 3.

**Bảng 3. Chỉ số MSE của các mô hình dự báo**

	Ortlepp [9]	Ombres [11]	Triantafillou T.C [12]	De Caso [13]	Colajanni [14]
MSE	2,83	0,1	0,46	0,9	0,65

Có thể thấy mô hình được xây dựng bởi Ombres cho khả năng dự báo chính xác nhất đối với các mẫu bê tông được bó ngang bởi TRC. Mặc dù mô hình của Ombres có xét đến ảnh hưởng của độ dày trung bình của tấm lưới sợi  $t_f$  nhưng không xét tới mật độ phân bố của các bó sợi dọc tương ứng với kích thước mắt lưới và được biểu diễn

thông qua tham số  $A_f$  là diện tích mặt cắt ngang của 1 lớp lưới trên 1m chiều cao cột gia cường, không tính phần neo giữa 2 lớp lưới. Mật độ phân bố bó sợi này ảnh hưởng trực tiếp đến bề mặt dính bám giữa lưới sợi và BTHM. Khi mật độ thấp sẽ làm giảm bề mặt dính bám giữa 2 thành phần này, khi mật độ phân bố các bó sợi lớn có thể làm tăng diện

tích chịu ứng suất bó ngang của lưới sợi và bề mặt dính bám nhưng đồng thời lại làm giảm sự xâm nhập của BTHM vào không gian mắt lưới, điều này cũng giảm cường độ dính bám giữa lưới sợi và BTHM. Với mục tiêu phát triển một mô hình dự báo có thể áp dụng rộng rãi, tiện lợi, đủ độ tin cậy, nghiên cứu này kế thừa dạng mô hình được phát triển bởi Ombres và có xét thêm ảnh hưởng của tham số  $A_f$  ( $\text{mm}^2/\text{m}$ ). Tham số này được biểu diễn

thông qua hệ số  $\delta = \frac{A_f}{t_f}$ . Mô hình phát triển có

dạng:

$$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + a \left( \frac{f_{lu}}{f_{c0}} \right)^b (1 + d^c) \quad (11)$$

Lúc này hàm mục tiêu là xác định các biến số a, b, c trong phương trình (11) sao cho MSE tương ứng nhỏ nhất. Sử dụng phương pháp GRG phi tuyến (Generalized Reduced Gradient) để áp dụng cho phép toán tơn, phi tuyến tính. GRG là một phương pháp có khả năng giải được bài toán tối ưu tuyến tính hoặc phi tuyến gồm một tập hợp các biến  $x(1), x(2), \dots, x(n)$  thỏa mãn các điều kiện ràng buộc. Nó tương ứng với một điểm trong miền nghiệm thuộc không gian n chiều. Thực chất GRG là xuất phát từ một điểm này đi đến một điểm khác trong miền nghiệm trên những hướng có lợi nhất sao cho phương án xấp xỉ dần dần và nhanh nhất với phương án tối ưu. Miền giá trị của các biến số a, b, c ở đây không bị giới hạn. Kết quả phân tích cho kết quả sai số bình phương trung bình nhỏ nhất đạt được  $MSE = 0,0749$  tương ứng với  $a = 0,21$ ;  $b = 0,25$  và  $c = 0,21$ . Khi đó phương trình (11) được viết lại đầy đủ như sau:

$$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + 0,21 \left( \frac{f_{lu}}{f_{c0}} \right)^{0,25} (1 + d^{0,21}) \quad (12)$$

Như vậy ngoài sự ảnh hưởng của các tham số cơ bản như số lớp TRC, tính chất cơ học của lưới sợi và bê tông lõi thì một tham số hình học của lưới sợi là kích thước mắt lưới cũng ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu nén của các mẫu trụ tròn bê tông được gia cường TRC. Mô hình được nghiên cứu phát triển khi xét đến sự ảnh hưởng này thông qua

hệ số  $\delta = \frac{A_f}{t_f}$  cải thiện được độ chính xác của mô

hình tốt nhất trước đó của Ombres lên tới 25% sẽ là

mô hình khả thi để dự báo khả năng chịu nén của mẫu trụ tròn bê tông được gia cường TRC.

#### **4. Kết luận và kiến nghị**

Dựa trên việc phân tích kho dữ liệu khá lớn gồm 263 kết quả cũng như các mô hình đã được phát triển trong các nghiên cứu trước đó bài báo đã tiến hành phân tích và phát triển mô hình dự báo cường độ chịu nén của mẫu trụ tròn bê tông được gia cường bằng bê tông lưới sợi như sau:

$$\frac{f_{cc}}{f_{c0}} = 1 + 0,21 \left( \frac{f_{lu}}{f_{c0}} \right)^{0,25} (1 + d^{0,21})$$

Với chỉ số MSE chỉ bằng 75% so với chỉ số MSE của mô hình tiên tiến nhất trước đó khi áp dụng dự báo cường độ chịu nén cho mẫu trụ tròn bê tông gia cường TRC, mô hình được phát triển bởi nghiên cứu này cho thấy độ tin cậy cao hơn, cùng với tính đơn giản nên mô hình này hoàn toàn có thể được sử dụng hiệu quả cho các kĩ sư tham khảo trước khi lựa chọn giải pháp gia cường cho các cấu kiện bê tông chịu nén có tiết diện tròn. Mô hình phát triển này có thể áp dụng để tính toán hiệu quả gia cường TRC cho các mẫu trụ tròn bê tông sử dụng nhiều loại lưới sợi có tính chất cơ học, đặc trưng hình học khác nhau do được xây dựng trên cơ sở dữ liệu với sự phong phú của các tham số đầu vào.

Nghiên cứu thực hiện cho các mẫu thí nghiệm có dạng tiết diện khác còn rất hạn chế nên chưa đủ để xây dựng một mô hình dự báo tổng quát áp dụng cho mọi loại tiết diện bê tông thông thường. Vì vậy cần có thêm nhiều nghiên cứu với các đối tượng nghiên cứu phong phú hơn nữa cho các cấu kiện bê tông chịu nén được gia cường TRC để có thể xây dựng được mô hình dự báo có độ tin cậy và phạm vi áp dụng rộng rãi hơn nữa.

#### **Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải (ĐHCNGTVT) trong đề tài mã số ĐTTĐ2021-27- ĐTTĐUTT.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Cao Minh Quyền, Nguyễn Xuân Huy, Lê Nguyên Khương, Nguyễn Hữu Giang (2021). Ảnh hưởng của hình dạng tiết diện đến hiệu quả gia cường cột ngắn bê tông bằng bê tông cốt lưới dệt. *Hội nghị Khoa học*

- toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XV, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên 25/9.
2. Colajanni, P., Fossetti, M., Macaluso, G. (2014): Effects of confinement level, cross-section shape and corner radius on the cyclic behavior of CFRCM confined concrete columns. *Construction and Building Materials*. 55, 379–389. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.035>.
  3. Colajanni, P., De Domenico, F., Recupero, A., Spinella, N. (2014). Concrete columns confined with fibre reinforced cementitious mortars: Experimentation and modelling. *Construction and Building Materials*. 52, 375–384. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.048>.
  4. Triantafillou, T., Papanicolaou, C., Zissimopoulos, P., Laourdekis, T. (2006). Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets. *ACI Structural Journal*. 103, 28–37.
  5. Colajanni, P., Di Trapani, F., Fossetti, M., Macaluso, G., PAPIA, M. (2003). CYCLIC AXIAL TESTING OF COLUMNS CONFINED WITH FIBER REINFORCED CEMENTITIUS MATRIX. Presented at the June 13.
  6. Trapko, T. (2014). Confined concrete elements with PBO-FRCM composites. *Construction and Building Materials*. 73, 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.055>
  7. Ombres, L. (2007). Confinement effectiveness in concrete strengthened with fiber reinforced cement based composite jackets. *FRPCS-8. Patras, Greece*.
  8. Gonzalez-Libreros, J., Zanini, M.A., Faleschini, F., Pellegrino, C. (2019). Confinement of low-strength concrete with fiber reinforced cementitious matrix (FRCM) composites. *Composites Part B: Engineering*. 177, 107407. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107407>.
  9. Ortlepp, R. (2015). TRC strenghtened columns. Presented at the 8th International Conference FIBRE CONCRETE 2015: *Technology, Design, Application*, Prague, Czech Republic September 10.
  10. ACI Committee 549: 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.
  11. Ombres, L., Mazzuca, S. (2017). Confined Concrete Elements with Cement-Based Composites: Confinement Effectiveness and Prediction Models. *J. Compos. Constr.* 21, 04016103. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000755](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000755).
  12. Triantafillou, T.C., Papanicolaou, C.G., Zissimopoulos, P., Laourdekis, T. (2006). Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets. *SJ*. 103, 28–37 (2006). <https://doi.org/10.14359/15083>.
  13. De Caso y Basalo, F.J., Matta, F., Nanni, A. (2012): Fiber reinforced cement-based composite system for concrete confinement. *Construction and Building Materials*. 32, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.063>.
  14. Colajanni, P., De Domenico, F., Recupero, A., Spinella, N. (2014). Concrete columns confined with fibre reinforced cementitious mortars: Experimentation and modelling. *Construction and Building Materials*. 52, 375–384. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.048>.

Ngày nhận bài: 03/3/2022.

Ngày nhận bài sửa: 17/3/2022.

Ngày chấp nhận đăng: 23/3/2022.