

THEO DÕI ĐỘ VĨNG CỦA BÀN SÀN BÊ TÔNG CỐT SỢI THỦY TINH (G-FRP) TRONG THỜI GIAN 90 NGÀY

TS. ĐẶNG VŨ HIỆP

Đại học Kiến trúc Hà Nội

PGS.TS. VŨ NGỌC ANH, ThS. TRẦN VĂN THÁI

Đại học Xây dựng Miền Trung

Tóm tắt: Bài báo này giới thiệu kết quả thực nghiệm tấm sàn bê tông cốt G-FRP chịu tải trọng trong thời gian 90 ngày tại phòng thí nghiệm (LAS162)- Trường ĐH Xây dựng Miền Trung. Hai tấm sàn bê tông cốt sợi thủy tinh (G-FRP) kích thước $60 \times 650 \times 2200\text{mm}$ (dày x rộng x dài) được chế tạo và được gia tải với cấp độ tải trọng khác nhau: một sàn quan sát thấy chưa bị nứt, sàn còn lại bị nứt dưới tác dụng của tải trọng. Sau đó cấp tải trọng được giữ không đổi trong 90 ngày để đo độ võng theo thời gian. Các kết quả đo tải trọng-độ võng tại giữa nhịp sàn chỉ ra rằng sự phát triển độ võng dài hạn của sàn chưa nứt nhanh hơn so với sàn bị nứt. Dự báo độ võng toàn phần theo tiêu chuẩn ACI 440 lớn hơn so với kết quả thực nghiệm.

Từ khóa: thanh G-FRP, tấm sàn, chịu tải trọng, từ biến, tải trọng-độ võng.

Abstract: This paper presents the experimental results on concrete slabs reinforced with glass fibre-reinforced polymer bars (G-FRP bars) under sustained load within 90 days in the LAS162 lab-Mien Trung university of civil engineering. Two concrete slabs reinforced with G-FRP bars of $60 \times 650 \times 2200\text{mm}$ were made and being loaded under different loading levels: one slab without observed cracks, one slab with cracking under the sustained load. Then, the load levels were remained constant for 90 days to measure time-dependent deflections. The measured results of load-deflection at midspan show that the development of long-term deflection on the un-cracked concrete slab was faster than that of the cracked concrete slab. The prediction of total long-term deflections based on ACI 440 were greater than the deflections obtained from the experiments.

Keywords: G-FRP bars, slabs, sustained loading, creep, load-deflection.

1. Giới thiệu

Thanh cốt sợi thủy tinh (G-FRP) được sử dụng ngày càng nhiều để thay thế cốt thép truyền

thống trong kết cấu bê tông, đặc biệt trong môi trường bị xâm thực hay môi trường có từ tính. Mặc dù có cường độ chịu kéo cao nhưng do có mô đun đàn hồi thấp hơn cốt thép thường nên khi thiết kế kết cấu bê tông cốt sợi thủy tinh người ta quan tâm nhiều tới trạng thái sử dụng bình thường (TTGH thứ 2), trong đó độ võng là vấn đề quan trọng hơn cả.

Trong nhiều năm qua, nhiều tác giả trên thế giới đã tiến hành nghiên cứu sự làm việc của dầm cốt G-FRP dưới tác dụng dài hạn của tải trọng [1], [3] trong điều kiện khí hậu phòng thí nghiệm. Các kết quả chỉ ra rằng dưới cùng điều kiện (tải trọng, tiết diện ngang, cấp độ bền chịu nén của bê tông và diện tích cốt thép) biến dạng tức thời của kết cấu bê tông cốt G-FRP lớn hơn so với kết cấu bê tông cốt thép thường. Về mặt lý thuyết, tiết diện cốt G-FRP có diện tích bê tông vùng kéo lớn hơn, trong khi diện tích bê tông vùng nén nhỏ hơn dẫn đến tốc độ tăng biến dạng dài hạn nhỏ hơn so với tiết diện bê tông cốt thép thường. Do đó tiêu chuẩn ACI 440.1R-06 [4] đề nghị một hệ số nhân bằng 0,6 để tính đến điều này. Tuy vậy, các kết quả thực nghiệm [1], [3] và ngay cả ACI 440.1R-06 [4] cũng đề nghị cần phải nghiên cứu thêm nữa về ứng xử dài hạn của cấu kiện cốt G-FRP chịu uốn để làm chính xác hơn hệ số nhân này. Cũng cần lưu ý rằng kết quả thực nghiệm trong [1] trên những dầm bê tông cốt thép và cốt G-FRP chịu tải trọng lớn hơn mô men gây nứt 1,5 và 3,0 lần chỉ ra rằng độ võng dài hạn trên dầm cốt G-FRP lớn hơn dầm bê tông cốt thép cùng điều kiện 1,7 lần. C. Miàs và cộng sự [3] tiến hành thí nghiệm trên 20 dầm bê tông cốt G-FRP trong thời gian 700 ngày đã kết luận rằng 90% độ võng toàn phần của dầm đạt được sau 90 ngày gia tải. Hàm lượng cốt G-FRP càng cao, cường độ bê tông càng thấp thì tỷ lệ giữa độ võng toàn phần và độ võng tức thời càng tăng.

Tại Việt Nam, trong vài năm trở lại đây, một số nhà nghiên cứu cũng đã công bố kết quả thực nghiệm trên một số tạp chí và hội nghị khoa học

chuyên ngành [6], [8]. Tuy nhiên, các kết quả chủ yếu liên quan đến xác định khả năng chịu lực và độ võng tức thời của dầm bê tông cốt G-FRP. Một cách để hạn chế trường hợp phá hoại dòn và khống chế độ võng tức thời của dầm là sử dụng kết hợp cốt G-FRP với cốt thép thường [7], [9].

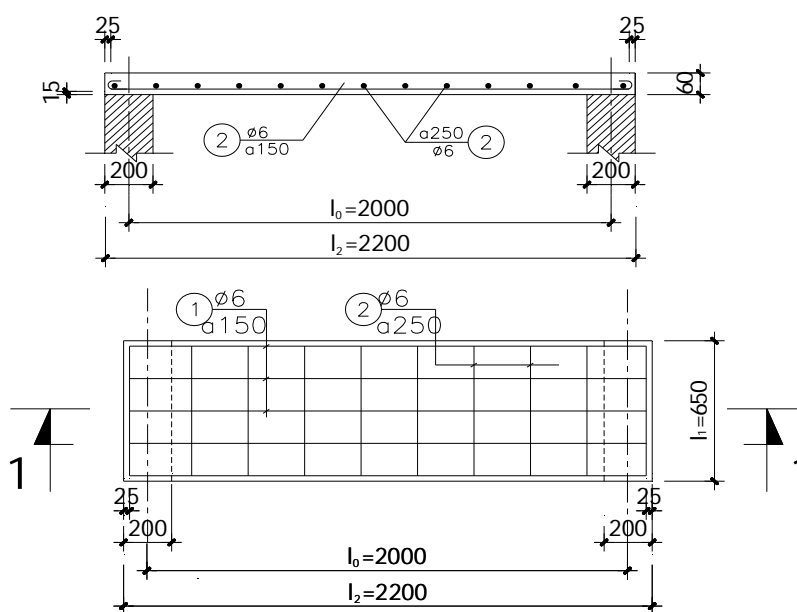
Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm về độ võng của bản sàn bê tông cốt G-FRP chịu tải trọng trong thời gian 90 ngày trong điều kiện khí hậu tự nhiên tại thành phố Tuy Hòa, tỉnh Phú Yên. Các kết quả về độ võng toàn phần trên hai bản sàn được đo mỗi ngày sau khi gia tải được bình

luận. Vì điều kiện khí hậu là tự nhiên (không khống chế độ ẩm và nhiệt độ môi trường) nên các kết quả thí nghiệm sẽ phản ánh các giá trị như ngoài hiện trường.

2. Chương trình thí nghiệm

2.1 Mẫu thí nghiệm

Hai tấm sàn bê tông cốt G-FRP ký hiệu là M2-GFRP và M4-GFRP (sau đây gọi tắt là M2 và M4). Trong đó sàn M2-GFRP chịu tải trọng nhỏ hơn tải gây nứt, sàn M4-GFRP chịu tải trọng lớn hơn tải gây nứt. Hình 1 thể hiện kích thước tấm sàn, sơ đồ chịu tải và chi tiết cốt GFRP của hai sàn.



Hình 1. Kích thước sàn và bố trí cốt GFRP cho sàn

Sàn M2, M4 có cốt chịu lực G-FRP đường kính $\phi 6$, khoảng cách giữa các cốt dọc chịu lực là 150mm, cốt cấu tạo theo phương vuông góc là $\phi 6a250$.

2.2 Vật liệu sử dụng

Bê tông chế tạo sàn có cấp độ bền chịu nén B20, 3 mẫu lập phương kích thước $(15 \times 15 \times 15)cm$ được đúc và dưỡng hộ trong 28 ngày. Kết quả nén các mẫu bê tông được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm nén mẫu bê tông 28 ngày tuổi

Kí hiệu mẫu	Kích thước mẫu (cm)	Tải trọng phá hoại $P(kN)$	Cường độ $R_i(MPa)$	Cường độ trung bình $R_{bm}(MPa)$	Cường độ quy đổi $f'_c(MPa)$
1	15x15x15	669,4	29,7	29,4	24,5
2	15x15x15	664	29,5		
3	15x15x15	653	29,0		

Bảng 2. Đặc tính cơ học của cốt G-FRP

Mẫu	ϕ (mm) danh nghĩa	Cường độ chịu kéo (MPa)	Biến dạng kéo đứt (%)	Mô đun đàn hồi kéo (GPa)
1	6	1024,7	1,70	45
2	6	1060,1	1,72	45
3	6	1042,4	1,70	45

Cốt G-FRP có đặc tính cơ học được cho trong bảng 2. Hàm lượng cốt G-FRP $\rho_f = 0,48\%$ lớn hơn hàm lượng cốt cân bằng xác định theo ACI 440.1R-06 [4] $\rho_{fb} = 0,29\%$, do vậy sàn được coi là có hàm lượng cốt G-FRP cao.

2.3 Trình tự thí nghiệm

Hai cạnh ngắn đối diện nhau của tấm sàn được kê lên hai tường gạch dày 200mm như trên hình

2a. Tải trọng được gia tăng theo từng cấp bằng cách trút từ cát khô (sau khi cân cẩn thận) vào hộc gỗ. Cát được gạt phẳng đều trên mặt bản và xem như tải trọng phân bố đều. Độ võng tại chính giữa nhịp bản được đo bằng đồng hồ đo chuyển vị với độ chính xác 0,01mm trong suốt thời gian thí nghiệm.



Hình 2. Lắp đặt hộc gỗ chứa cát (a); đồng hồ đo độ võng tại giữa nhịp (b) và gia tải cát theo từng cấp tải trọng (c)

Cấp tải trọng được chia căn cứ vào mô men gây nứt M_{cr} , được tính toán dựa trên tiêu chuẩn ACI 440.1R-06 [4]:

$$M_{cr} = \frac{I_g f_r}{y_t} = \frac{2I_g f_r}{h} \quad (1)$$

trong đó: I_g là mô men quán tính của tiết diện nguyên; f_r là mô đun phá hủy, $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$ (MPa); h là chiều cao tiết diện.

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

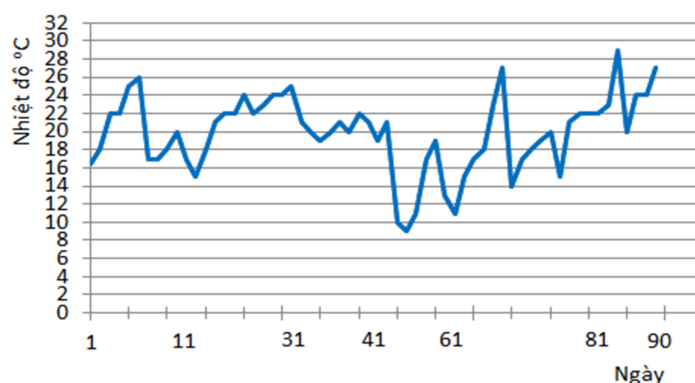
Từ đó ta tính được tải trọng phân bố gây nứt $q_{cr} = 2,4 N/mm$. Bảng 3 cho biết giá trị tải trọng q_l dài hạn tác dụng lên bản M2 và M4 trong thời gian 90 ngày.

Bảng 3. Cấp tải dài hạn cho hai sàn

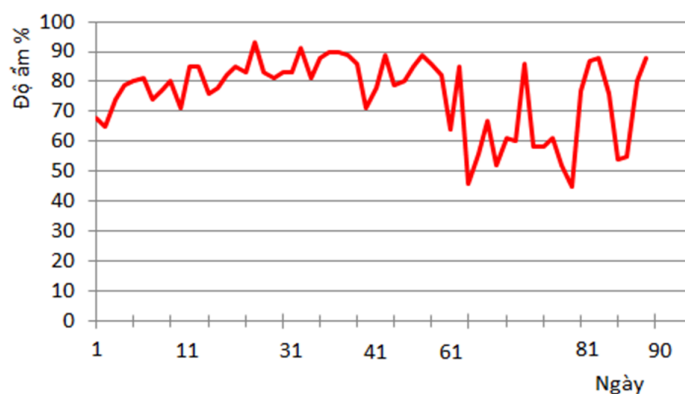
Tên sàn	q_{cr} (N/mm)	q_l (N/mm)	q_l / q_{cr}	Ghi chú
M2	2,4	1,92	0,8	Chưa nứt
M4	2,4	3,08	1,28	Đã nứt

Hình 3 thể hiện sự biến thiên nhiệt độ và độ ẩm theo từng ngày tại thời điểm đo cố định trong thời gian thí nghiệm.

a.



b.



Hình 3. Sự thay đổi nhiệt độ (a), độ ẩm môi trường (b) trong thời gian thí nghiệm

Nhiệt độ thấp nhất đo được trong thời gian thí nghiệm là $9^{\circ}C$ và cao nhất là $29^{\circ}C$. Độ ẩm thấp nhất là 42%, cao nhất là 93%.

3. Kết quả và một số nhận xét

3.1 Sàn M2

Kết quả so sánh giữa tính toán lý thuyết theo ACI 440.1R-06 [4] và thực nghiệm cho sàn M2 được thể hiện trên hình 4.

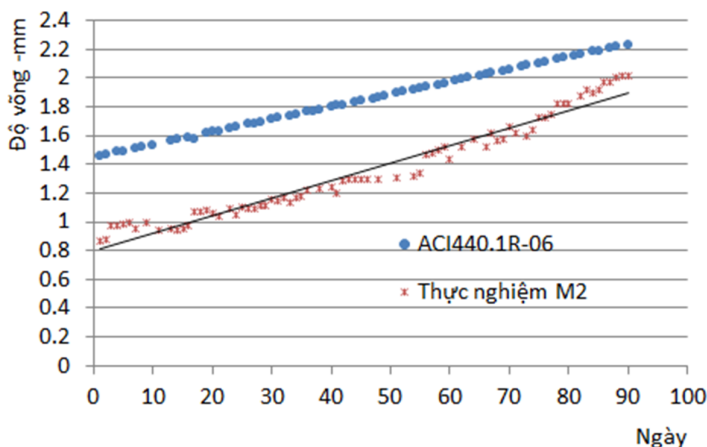
Độ võng tức thời được tính toán theo tiết diện nguyên I_g cho giá trị $\Delta_{i-ACI} = 1,45mm$, gấp gần

1,67 lần giá trị thực nghiệm đo được ($\Delta_{i-Exp.} = 0,87mm$).

Độ võng tại thời điểm 90 ngày gia tải theo lý thuyết $\Delta_{i-ACI} = 2,23mm$ trong khi kết quả đo thực tế $\Delta_{i-Exp.} = 2,01mm$, chênh lệch nhau 1,11 lần. Tỷ lệ độ võng toàn phần và độ võng tức thời theo kết quả thực nghiệm đạt 2,31 lần sau 90 ngày. Từ hình 4 có thể thấy rằng tốc độ phát triển độ võng theo thực nghiệm nhanh hơn từ tính toán lý thuyết (đường xu hướng thực nghiệm dốc hơn). Do vậy sau khoảng thời gian $t > 90$ ngày, có thể giá trị độ

võng dài hạn từ thực nghiệm tương đồng với kết quả từ tính toán lý thuyết. Các giá trị đo được từ

thực nghiệm biến động là do một số nhân tố tác động như sự thay đổi độ ẩm và nhiệt độ môi trường.



Hình 4. Quan hệ độ võng - thời gian của sàn M2 trong thời gian 90 ngày chịu tải

3.2 Sàn M4

ACI 440.1R-06 [4] đề nghị công thức xác định mô men quán tính hiệu quả của cấu kiện chịu uốn cốt G-FRP như sau:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (2)$$

trong đó: M_a - mô men lớn nhất do tải trọng tiêu chuẩn gây ra;

$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{fb}} \right) \leq 1,0$ là hệ số suy giảm độ cứng

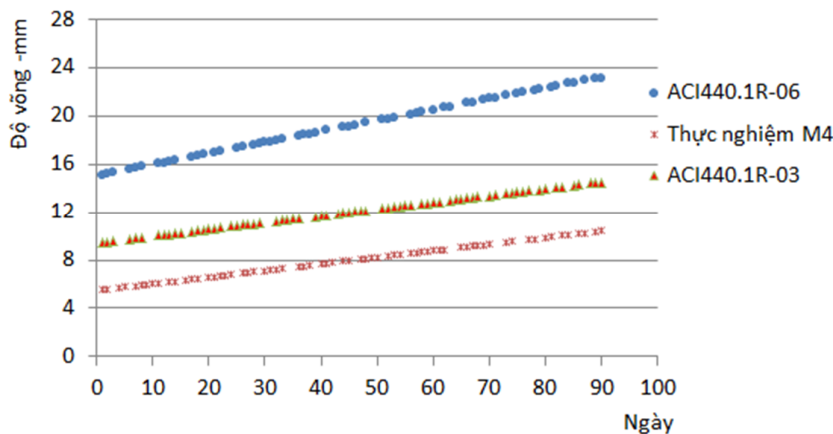
khi sử dụng cốt G-FRP;

I_{cr} - mô men quán tính của tiết diện nứt đã quy đổi.

Từ (2) cho phép xác định độ võng tức thời của sàn theo công thức (3).

$$\Delta_{i-ACI} = \frac{5M_a l^2}{48E_c I_e} \quad (3)$$

Độ võng theo thời gian $\Delta_{t-ACI} = \Delta_{i-ACI} + 0,6\lambda_{90}\Delta_{i-ACI}$ (4)



Hình 5. Quan hệ độ võng-thời gian của sàn M4 trong thời gian 90 ngày chịu tải

ACI 440.1R-03 [11] đề nghị sử dụng hệ số $\beta_d = 0,5 \left(\frac{E_f}{E_s} + 1 \right)$ cho cốt G-FRP, với E_f và E_s lần lượt là mô đun đàn hồi của cốt G-FRP và cốt thép. Với số liệu thí nghiệm, dễ thấy giá trị β_d tính được từ ACI 440.1R-03 lớn hơn giá trị tính được từ ACI

440.1R-06. Do vậy mô men quán tính hiệu quả trong ACI 440.1R-03 lớn hơn so với giá trị tính được theo ACI 440.1R-06. Hình 5 thể hiện mối quan hệ độ võng-thời gian cho sàn M4 từ kết quả thực nghiệm và kết quả dự báo theo ACI 440.1R-03 và ACI 440.1R-06. Từ hình vẽ có thể thấy độ võng sàn tính toán theo các tiêu chuẩn ACI 440 đều lớn hơn

giá trị đo được từ thí nghiệm, đặc biệt tiêu chuẩn ACI 440.1R-06 cho giá trị độ võng quá lớn. Kết quả này cũng được ghi nhận trong nghiên cứu của C. Miàs và cộng sự [3], Shawn P. Gross và cộng sự [12]. Độ võng sàn đo được tăng gần như tuyến tính theo thời gian trong 90 ngày chịu tải trọng. Tỷ lệ độ võng toàn phần và độ võng tức thời sau 90 ngày đo được là 1,88 lần. Tỷ lệ này nhỏ hơn so với tỷ lệ đo được trên sàn chưa nứt M2.

4. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm độ võng của hai bản sàn cốt G-FRP chịu tải trọng trong thời gian 90 ngày trong điều kiện khí hậu tự nhiên. Các sàn chịu các mức tải trọng khác nhau: nhỏ hơn và lớn hơn tải trọng gây nứt. Các kết quả thí nghiệm được so sánh với tiêu chuẩn ACI 440 [4,11]. Kết quả thí nghiệm trong bài báo cho thấy:

- Sự phát triển độ võng dài hạn của sàn chưa bị nứt nhanh hơn so với sàn bị nứt;

- Tiêu chuẩn ACI 440 dự báo độ võng lớn hơn đáng kể so với độ võng đo được trong thí nghiệm đối với sàn làm việc một phương bị nứt khi chịu tải;

- Trong trường hợp sàn chưa bị nứt, tiêu chuẩn ACI 440 dự báo độ võng toàn phần khá phù hợp với kết quả thực nghiệm.

Vì vậy để có thể sử dụng bê tông cốt G-FRP cho các công trình xây dựng, cần nhiều chương trình thí nghiệm quy mô hơn để hiểu rõ ứng xử và độ bền lâu của loại kết cấu này trong điều kiện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tara Hall and Amin Ghali., (2000), "Long-term deflection prediction of concrete members reinforced with glass fibre reinforced polymer bars". *Can. J. Civ. Eng.* 27: 890–898 (2000).
- [2] Yeonho Park, Young Hoon Kim, and Swoo-Heon Lee., (2014), "Long-Term Flexural Behaviors of GFRP Reinforced Concrete Beams Exposed to Accelerated Aging Exposure Conditions". *Polymers* 2014, 6, 1773-1793; doi: 10.3390/polym6061773.
- [3] C. Miàs, LI Torres, A. Turon, I.A. Sharaky., (2013), "Effect of material properties on long-term deflections of GFRP reinforced concrete beams". *Construction and Building Materials* 41 (2013) 99–108.
- [4] ACI Committee 440 (2006). Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R-06).

Farmington Hills: American Concrete Institute.

- [5] Al-Salloum YA, Almusallam TH., (2007), "Creep effect on the behavior of concrete beams reinforced with GFRP bars subjected to different environments". *Construction and Building Materials* 21 (2007) 1510–1519.
- [6] Nguyễn Hùng Phong., (2014), "Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông có cốt Polyme sợi thủy tinh hàm lượng thấp". *Tạp chí Xây dựng*, số 9-2014.
- [7] Cheng Por Eng., (2016), "Tính toán thiết kế dầm cầu chữ I bê tông cường độ cao cốt GFRP riêng lẻ và GFRP kết hợp với cốt thép". *Tạp chí Cầu đường Việt Nam*, số tháng 12 Năm 2016.
- [8] Nguyễn Hiệp Đồng, Đỗ Trường Giang và Phạm Phú Tình., (2015), "Tính toán khả năng chịu lực của dầm bằng bê tông cốt thủy tinh (GFRP) theo tiêu chuẩn ACI 440-06". *Tuyển tập công trình hội nghị khoa học toàn quốc Cơ học vật rắn biến dạng lần thứ XII, tập 1, Đà Nẵng*.
- [9] Ahmed El Refai, Farid Abed, Abdullah Al-Rahmani., (2015), "Structural performance and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars". *Construction and Building Materials* 96 (2015) 518–529.
- [10] S. El-Gamal, B. AbdulRahman, & B. Benmokrane., (2010), "Deflection Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Different Types of GFRP Bars". *CICE 2010- The 5th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering. September 27-29, 2010, Beijing, China*.
- [11] ACI Committee 440. Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R-03). *Farmington Hills: American Concrete Institute; 2003*.
- [12] Shawn P. Gross, Joseph Robert Yost, and George J. Kevgas., (2003), "Time-Dependent Behavior of Normal and High Strength Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars under Sustained Loads". *High Perform Mater Bridges ASCE* 451–462.

Ngày nhận bài: 25/01/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 14/03/2018.