

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐỘ VỒNG CỦA CẤU KIỆN BÊ TÔNG CHỊU UỐN SỬ DỤNG CỐT SỢI GFRP DẠNG THANH

EXPERIMENTAL STUDY ON DEFLECTION OF CONCRETE MEMBER REINFORCED WITH GFRP BARS UNDER STATIC LOADING

Trần Thị Ngọc Hoa¹, Đặng Vũ Hiệp², Phạm Thanh Thế³

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây,

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

³Công ty cổ phần VINHOMES

Email: ¹ tranthingochoa@mtu.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-16>

TÓM TẮT: Thanh GFRP có những đặc tính ưu việt như khả năng chống ăn mòn cao, cường độ kéo lớn, nhẹ hơn thép nhiều lần. Tính chất dễ ăn mòn của cốt thép truyền thống do tác động của môi trường xung quanh làm ảnh hưởng nghiêm trọng tới chất lượng cũng như tuổi thọ kết cấu. Nên thanh GFRP rất thích hợp để làm cốt thay thế thép trong các kết cấu bê tông đòi hỏi các yêu cầu đặc biệt nêu trên, góp phần làm tăng tuổi thọ công trình. Bài báo này trình bày các kết quả thực nghiệm về độ võng tức thời của cấu kiện chịu uốn bao gồm: hai dầm bê tông cốt GFRP và dầm bê tông cốt thép đối chứng; hai bản sàn bê tông cốt GFRP và bản sàn bê tông cốt thép đối chứng. Kết quả cho thấy, độ võng cấu kiện bê tông cốt GFRP lớn hơn so với cấu kiện bê tông cốt thép. Ngoài ra, hàm lượng cốt dọc và cấp độ bền bê tông cũng ảnh hưởng đến độ võng của kết cấu.

TỪ KHÓA: ‘hanh G-FRP, kết cấu chịu uốn, chịu tải trọng, tải trọng - độ võng.

ABSTRACT: *GFRP bar has superior properties such as high corrosion resistance, high tensile strength, many times lighter than steel. Corrosion properties of traditional reinforcement due to the impact of the surrounding environment seriously affect the quality as well as the life of the structure. Therefore, GFRP bars are very suitable for replacing steel reinforcement in concrete structures that require the above special requirements, contributing to increasing the life of the work. This paper presents experimental results on instantaneous deflection of flexural members including: two GFRP reinforced concrete beams and a reference reinforced concrete beam; two reinforced concrete slabs GFRP and reinforced concrete slabs control. The results show that the deflection of GFRP reinforced concrete members is larger than that of reinforced concrete members. In addition, the content of longitudinal reinforcement and concrete strength also affect the deflection of the structure.*

KEYWORDS : *bar G-FRP, flexural structure, net weight, load - deflection.*

1. GIỚI THIỆU

Côngpôzit FRP (Fiber - Reinforced Polymer), một loại vật liệu xây dựng mới, có nhiều tính năng nổi trội so với các loại vật liệu truyền thống như sắt thép. Côngpôzit có thể dùng làm lưới hoặc khung thay cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép; nhất là để sửa chữa và gia cường cho các loại công trình đã bị xuống cấp (bê tông cốt thép thường và dự ứng lực). Côngpôzit thực sự thân thiện với môi trường, có thể làm vật liệu xây dựng để tạo ra những kết cấu công trình bền vững. Kết cấu chịu uốn bê tông cốt thép thì có cốt thép chịu lực gồm thép dọc, thép đai là các thép tròn, thép gai còn đối với kết cấu bê tông cốt FRP, có sử dụng vật liệu là các thanh FRP để

thay thế thép tròn, thép gai. Vật liệu FRP dạng thanh có nhiều ưu điểm như cường độ chịu kéo rất lớn, nhẹ hơn thép và khả năng chống ăn mòn môi trường xâm thực cao. Nên chúng được sử dụng thích hợp làm cốt chịu lực cho cấu kiện chịu uốn như dầm. Khi sử dụng cốt FRP nhằm thay thế các cốt thép trong kết cấu bê tông chịu uốn sẽ làm tăng khả năng chịu lực của cấu kiện, nhưng thường độ võng lớn hơn so với kết cấu bê tông cốt thép, bởi vật liệu thanh FRP có mô đun đàn hồi thấp.

Hiện nay trên thế giới, việc nghiên cứu sử dụng vật liệu FRP dạng thanh trong các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp đã rất phát triển, đặc biệt sử dụng cho các công trình nằm ở vùng

gần biển chịu ảnh hưởng của xâm thực, vùng chịu ảnh hưởng của thời tiết ẩm ướt. Một số các nghiên cứu như: Benmokrane và Rahman 1998; Burgoyne 2001; Cosenza và cộng sự 2001; Dolan và cộng sự 1999; El-Badry 1996; Figueiras và cộng sự 2001; Humar và Razaqpur 2000; Iyer và Sen 1991; Nanni 1993 cho thấy bên cạnh các ưu điểm, cốt FRP có một số hạn chế như mô đun đàn hồi thấp, cường độ bám dính thấp, không có miền biến dạng dẻo. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm của tác giả Pecce và cộng sự (2000) cho thấy dầm có hàm lượng cốt FRP lớn hơn thì khả năng chịu lực lớn hơn khả năng chịu uốn và chịu cắt tốt hơn, ít bị nứt hơn. Kết quả thực nghiệm của Aiello và Ombres (2000) cho thấy dầm có hàm lượng cốt FRP ít bị võng và biến dạng nứt lớn nhất. Kết quả thực nghiệm Toutanji và Deng (2002) cho thấy, đối với dầm đặt một lớp cốt FRP, công thức của ACI 440.1R-01 dự đoán bề rộng vết nứt tương đối sát với thực nghiệm, tuy nhiên đối với dầm có cốt FRP đặt thành hai lớp, công thức tính của ACI 440.1R-01 cho kết quả nhỏ hơn thực nghiệm. Ngoài ra, trong trường hợp này, khi thay thế hệ số k_b từ 1,2 ÷ 1,4, công thức của ACI 440.1R-01 cho kết quả dự đoán chính xác.

Ở Việt Nam, việc ứng dụng vật liệu FRP trong các công trình xây dựng dân dụng vẫn còn hạn chế, chỉ mới ứng dụng trong việc gia cường, sửa chữa các kết cấu đã xuống cấp và một số công trình giao thông, thủy lợi....

Trong phần tiếp theo của bài báo, kết quả tính toán và thực nghiệm của 02 mẫu dầm bê tông cốt GFRP và 01 mẫu dầm bê tông cốt thép; 02 mẫu sàn bê tông cốt GFRP và 01 mẫu sàn bê tông cốt thép được đề cập [9]. Các kết quả và một vài nhận xét sẽ được thảo luận chi tiết.

2. TÍNH TOÁN ĐỘ VÕNG CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT GFRP THEO QUY PHẠM MỸ (ACI 440.1R – 06)

Cấu kiện bê tông cốt FRP có độ cứng tương đối nhỏ sau khi nứt. Do đó, độ võng cho phép khi chịu tải trọng sử dụng có thể quyết định thiết kế. Tỷ lệ nhịp/chiều cao dầm (L/h) theo phương trình (1). Phương pháp này áp dụng được cho mọi loại cốt FRP.

$$\frac{L}{h} = \frac{48\eta}{5K_1} \left(\frac{1-k}{\epsilon_f} \right) \left(\frac{\Delta}{L} \right)_{\max} \quad (1)$$

Trong đó:

$\eta = d/h$; k - xác định theo công thức:

$$k = \sqrt{2\rho_f n_f + (\rho_f n_f)^2} - \rho_f n_f ;$$

ϵ_f - biến dạng tỉ đối trong cốt FRP dưới tải trọng sử dụng tính tại giữa nhịp, trừ trường hợp nhịp công

xôn thì tính tại gối tựa; (Δ/L_{\max}) là tỉ lệ giới hạn của độ võng do tải trọng sử dụng so với nhịp.

Công thức xác định k sử dụng giả thiết không kể đến sự tham gia chịu kéo của bê tông giữa các khe nứt. Giới hạn độ võng sử dụng là $L/240$ dưới tải trọng sử dụng và với giả thiết hàm lượng đặt cốt là $(3,0\rho_{fb})$ cho dầm.

Trường hợp dầm đơn giản có nhịp L , chịu tải trọng phân bố đều, do cả tải trọng dài hạn và tải trọng ngắn hạn tiêu chuẩn tác dụng, độ võng Δ_i được xác định như sau:

$$\Delta_i = \frac{5}{384} \frac{(w_{DL} + w_{LL})L^4}{E_c I_c} \quad (2)$$

Trong đó:

w_{DL}, w_{LL} - tải trọng dài hạn và tải trọng ngắn hạn tiêu chuẩn;

E_c - mô đun đàn hồi của bê tông;

I_c - mô men quán tính hiệu quả xác định theo công thức:

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

M_{cr} - mô men chống nứt, được xác định:
 $M_{cr} = 2f_r I_g / h$;

f_r là cường độ chịu kéo của bê tông, $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$;

M_a - mômen lớn nhất do tải trọng tiêu chuẩn gây ra;

β_d - hệ số suy giảm độ cứng khi sử dụng cốt FRP: $\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{fb}} \right) \leq 1$;

I_g - mô men quán tính của tiết diện nguyên;

I_{cr} - mô men quán tính của tiết diện nứt đã quy đổi: $I_{cr} = bd^3 k^3 / 3 + \eta_f A_f d^2 (1-k)^2$.

Độ võng do tác dụng của tải trọng dài hạn: do việc duy trì tải trọng tiêu chuẩn là dài hạn, nên chỉ có tải trọng dài hạn và một phần tải trọng ngắn hạn cùng với các yếu tố khác được duy trì. Với tải trọng dài hạn tiêu chuẩn, độ võng được xác định theo công thức:

$$\Delta_{i(LL)} = \frac{5}{384} \frac{w_{LL} \cdot L^4}{E_c I_c} \quad (3)$$

Bên cạnh đó, các nghiên cứu về biến dạng do tác dụng dài hạn của tải trọng tiêu chuẩn trong dầm cốt FRP, kể đến từ biến và co ngót của bê tông. Theo đó, tiêu chuẩn ACI 440.1R-06 đã đề xuất công thức:

$$\Delta_{(cp+sh)} = 0,6\zeta \Delta_{i(sus)} \quad (4)$$

Trong đó:

ξ - hệ số, phụ thuộc thời gian duy trì của tải trọng; $\Delta_{i(sus)}$ - độ võng với tải trọng dài hạn được duy trì;

$$\Delta_{i(sus)} = \frac{5}{384} \frac{(w_{DL} + t_{sus} \cdot w_{LL})L^4}{E_c I_c};$$

t_{sus} - mức duy trì tải trọng ngắn hạn, có thể lấy $t_{sus} = 20\%$.

Do vậy, biến dạng cuối cùng sẽ là tổng biến dạng do riêng tải trọng dài hạn tiêu chuẩn gây ra cộng với biến dạng dài hạn khi một phần tải trọng ngắn hạn tiêu chuẩn được duy trì.

$$\Delta_{long\ term} = \Delta_{i(LL)} + \Delta_{(cp+sh)} \quad (5)$$

3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

3.1. Kết quả

Nhìn chung các số liệu dự kiến là gần đúng và các thiết bị đo làm việc chuẩn xác. Quan sát đồng hồ chuyển vị ở hai gối rất ít, chủ yếu chuyển vị nhiều

trong đoạn ở giữa nhịp kết cấu dầm, sàn.

Với các dầm D_1 , sàn S_1 biến dạng cốt thép đạt giới hạn chảy, lúc này nếu tiếp tục tăng tải theo từng cấp tính toán, ta cần quan sát thật kỹ mọi biến đổi trên bề mặt cấu kiện, sẽ phát hiện những dấu hiệu mất khả năng chịu lực của dầm thí nghiệm như: độ võng tăng liên tục trong khi tải trọng vẫn đang được giữ nguyên giá trị, cốt thép bị chảy dẻo trước khi bê tông vùng nén bị phá hoại (nứt, vỡ,...) thì đồng hồ đo lực giảm xuống. Với các dầm D_2 , D_3 ; sàn S_2 , S_3 biến dạng cốt FRP không có giới hạn chảy mà ứng suất trong bê tông vùng nén đạt giới hạn cường độ chịu nén. Lúc này ta tiếp tục tăng tải trọng, phát hiện dầm mất khả năng chịu lực như: độ võng tăng liên tục, các đồng hồ đo biến dạng ngang chạy không ngừng trong khi tải trọng vẫn đang được giữ nguyên giá trị, bê tông vùng nén bị phá hoại (nứt, vỡ,...) cốt GFRP đứt và dầm gãy đột ngột, thí nghiệm kết thúc.

Bảng 1. Chi tiết cấu kiện tính toán và thí nghiệm chịu uốn

TT	Tên cấu kiện	Kích thước (mm)	Cấp bền bê tông	Bố trí	Vật liệu
1	Dầm D1	150x300x3000	B15	2φ16, đai φ6a(100÷200)	Cốt thép
2	Dầm D2	150x300x3000	B15	2φ16 đai φ6a(100÷200)	GFRP
3	Dầm D3	150x300x3000	B30	2φ14+1φ10 đai φ6a(100÷200)	GFRP
4	Sàn S1	100x1000x2000	B15	7φ10	Cốt thép
5	Sàn S2	100x1000x2000	B15	7φ10	GFRP
6	Sàn S3	100x1000x2000	B30	7φ10	GFRP

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm chỉ tiêu cơ lý vật liệu

Bê tông		Cốt GFRP			
Cấp bền bê tông	Cường độ chịu nén f'_c (MPa)	Đường kính Φ	Cường độ chịu kéo f_{tu} (kN/m ²)	Modul đàn hồi (kN/m ²)	Biến dạng cực hạn (%)
B15	19,33	Φ 10	124.6	4.5	2.2
B30	36,50	Φ 14	97.9	4.5	2.0
		Φ 16	98.8	4.5	2.0

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm của 03 dầm

Kí hiệu dầm	ρ (%)	P_{cr} (kN)	P_u (kN)	w_{cr} (mm)	δ_{cr} (‰)	$\epsilon_{cr,conc}$ (‰)
D1	0,83	20	145	0,01	0,831	3,86
D2	0,83	10	107	0,05	0,663	0,78
D3	0,74	20	174	0,01	0,709	0,66

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm của 03 mẫu sàn

Kí hiệu dầm	ρ (%)	P_{cr} (kN)	P_u (kN)	w_{cr} (mm)	δ_{cr} (‰)	$\epsilon_{cr,conc}$ (‰)
S1	0,73	15	125	0,02	2,883	2,5
S2	0,66	6	96	0,10	2,942	2,38
S3	0,66	9	105	0,06	1,026	1,05

Trong đó :

ρ - Hàm lượng cốt dọc chịu lực

P_{cr} - Tải trọng gây nứt

P_u - Tải trọng phá hoại

w_{cr} - Bề rộng vết nứt đầu tiên xuất hiện

δ_{cr} - Độ võng của dầm tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên

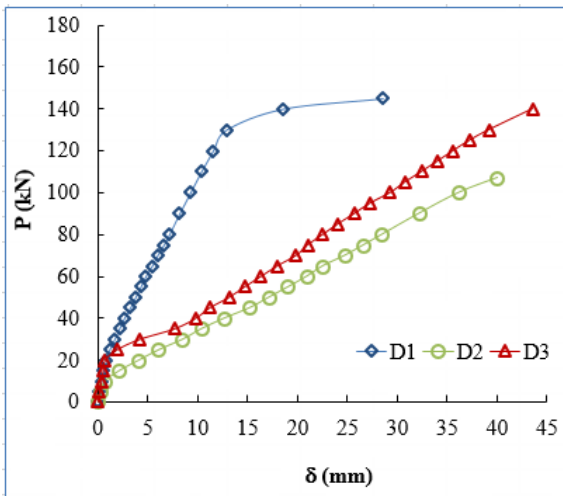
$\epsilon_{cr,conc}$ - Biến dạng bê tông tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên

Bảng 5. Độ võng tính toán và thực nghiệm

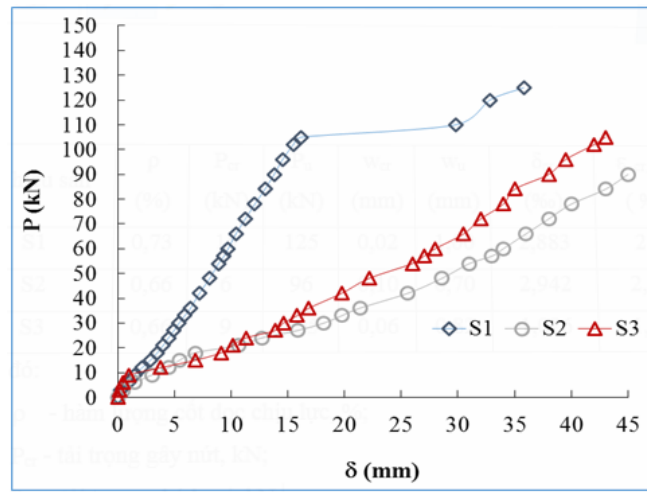
Tên cấu kiện	Diện tích cốt A_s (mm ²)	Hàm lượng cốt dọc ρ (%)	Khả năng chịu lực P (kN)	Độ võng tính toán δ (mm)	Độ võng thí nghiệm δ (mm)
D ₁	402	0,83	35,74	5,770	2,947
D ₂	338	0,83	52,50	7,160	17,960
D ₃	303	0,74	75,00	5,950	21,022
S ₁	550	0,73	27,16	2,446	4,969
S ₂	498	0,66	27,16	1,480	15,858
S ₃	498	0,66	39,50	1,520	18,567

Bảng 6. Chuyển vị trong giai đoạn sử dụng và chuyển vị trong trạng thái phá hoại

Tên cấu kiện	Hàm lượng cốt dọc ρ (%)	Cấp độ bền bê tông	Tải trọng giới hạn P_{seru} (kN)	Độ võng giới hạn δ (mm)	Tải trọng phá hoại P (kN)	Độ võng thí nghiệm δ (mm)
D ₁	0,83	B15	110	10,8	145	28,562
D ₂	0,83	B15	35	10,8	107	40
D ₃	0,74	B30	45	10,8	130	39,217
S ₁	0,73	B15	120	7,5	140	35,8
S ₂	0,66	B15	60	7,5	96	66
S ₃	0,66	B30	90	7,5	112	45,5



Hình 1. Quan hệ lực – chuyển vị dầm



Hình 2. Quan hệ lực – chuyển vị sàn

3.2. Một vài nhận xét

Dựa vào kết quả thí nghiệm thể hiện ở Hình 1, Hình 2 cho thấy: ứng xử uốn của cấu kiện dầm, sàn trong quá trình thí nghiệm có thể chia làm hai giai đoạn, giai đoạn trước khi vết nứt uốn xuất hiện và giai đoạn sau khi vết nứt uốn xuất hiện. Đối với giai đoạn trước khi vết nứt xuất hiện, quan hệ giữa lực và chuyển vị (P - δ) của tất cả các mẫu cấu kiện thí nghiệm gần như là tuyến tính. Trong giai đoạn sau khi vết nứt uốn xuất hiện, độ cứng của các cấu kiện thí nghiệm giảm đi rõ rệt do sự xuất hiện của các vết nứt, bằng chứng là độ võng của cấu kiện dầm, sàn

tăng nhanh hơn so với giai đoạn trước khi vết nứt xuất hiện và đường quan hệ giữa lực và chuyển vị (P - δ) của các cấu kiện thí nghiệm lúc này là không còn tuyến tính.

Chuyển vị trong giai đoạn sử dụng: Nghiên cứu này xác định tải giới hạn sử dụng theo độ võng. Trong trường hợp các cấu kiện thí nghiệm này, với nhịp tính toán $L = 2,6m$ đối với dầm có giá trị giới hạn độ võng là $L/240 = 10,8mm$ và $L = 1,8m$ đối với sàn có giá trị giới hạn độ võng là $L/240 = 7,5mm$. Cấp tải ứng với giá trị này được định nghĩa như là tải trọng giới hạn. Từ số liệu bảng 6 ta thấy cấu kiện

chịu uốn cốt GFRP có độ võng lớn gấp hơn 2 lần cấu kiện chịu uốn bê tông cốt thép.

Chuyển vị trong trạng thái phá hoại: Tương tự trong trạng thái sử dụng, sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc đến độ võng của dầm là khá rõ rệt. Từ số liệu Bảng 6 nhận thấy: Tại cấp tải phá hoại dầm D_2 có hàm lượng cốt dọc lớn hơn dầm D_3 nên độ võng nhỏ hơn. Đối với dầm D_3 và dầm D_2 khác nhau về cấp độ bền bê tông nên dầm D_3 có cấp tải phá hoại lớn hơn dầm D_2 . Tương tự khi hai dầm có cùng chuyển vị $\delta = 30\text{mm}$ thì dầm D_2 có cấp tải phá hoại 85kN còn dầm D_3 là 105kN. Riêng đối với cấu kiện sàn ta thấy sự ảnh hưởng của cấp độ bền bê tông là khá rõ: Hai bản sàn S_2 , S_3 cùng hàm lượng cốt dọc nhưng sàn S_3 có cấp độ bền lớn hơn sàn S_2 dẫn đến độ võng hoàn toàn khác biệt.

Dựa vào số liệu bảng 5, bảng 6; trong trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái phá hoại. Điều này phù hợp với phân tích lý thuyết tính toán cũng như kết quả thí nghiệm. Khi gia tăng hàm lượng cốt dọc, độ cứng của cấu kiện dầm, sàn tăng lên và chuyển vị của cấu kiện sẽ giảm xuống. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc của cấu kiện bê tông cốt GFRP đối với chuyển vị của cấu kiện rõ rệt hơn so với cấu kiện bê tông cốt thép.

So sánh chuyển vị cấu kiện bê tông cốt GFRP và cấu kiện bê tông cốt thép: Đối với dầm D_1 và dầm D_2 có cùng cấp độ bền bê tông B15, cùng hàm lượng cốt dọc nhưng khác nhau về cốt chịu lực. Khi dầm D_1 và dầm D_2 có cùng cấp tải $P = 107\text{kN}$ thì dầm D_2 chuyển vị $\delta = 40\text{mm}$, còn dầm D_1 chuyển vị $\delta = 10\text{mm}$. Đối với kết cấu sàn, chuyển vị tại giữa nhịp của sàn bê tông cốt GFRP và dầm bê tông cốt thép đối chứng có sự khác biệt. Khi sàn S_1 và sàn S_2 có cùng cấp tải $P = 90\text{kN}$ thì sàn S_2 chuyển vị $\delta = 45\text{mm}$, còn sàn S_1 chuyển vị $\delta = 13\text{mm}$. Chứng tỏ chuyển vị tại giữa nhịp của cấu kiện bê tông cốt GFRP và cấu kiện bê tông cốt thép đối chứng có sự khác nhau rõ rệt.

Nhận xét chung:

1. Từ kết quả thí nghiệm, chuyển vị trong giai đoạn sử dụng thì độ võng cấu kiện bê tông cốt GFRP lớn hơn từ 2 ÷ 3 lần cấu kiện bê tông cốt thép. Chuyển vị trong trạng thái phá hoại thì độ võng cấu kiện bê tông cốt GFRP lớn hơn từ 2 ÷ 4 lần cấu kiện bê tông cốt thép.

2. Khả năng chịu tải theo thực nghiệm lớn hơn từ 2÷4 lần khả năng chịu tải theo tính toán. Có thể thấy ACI440.1R-06 dự báo kết quả khả năng chịu tải của dầm cốt GFRP khá thận trọng.

3. Đối với cấu kiện bê tông cốt FRP sau khi thí nghiệm gia tải đến độ võng cho phép, lúc đó xả tải thì cấu kiện lại trở về gần như trạng thái ban đầu

chưa võng. Còn đối với cấu kiện chịu uốn bê tông cốt thép thì ngược lại sau khi xả tải thì cấu kiện không trở về trạng thái ban đầu mà vẫn còn võng do thép đã bị chảy dẻo. Chứng tỏ mô đun đàn hồi cốt GFRP thấp và không có thêm chảy nên việc tính toán sử dụng cấu kiện chịu uốn dầm BT cốt GFRP có những đặc điểm khác biệt so với dầm BTCT thông thường.

4. Hàm lượng cốt dọc ảnh hưởng đến độ võng của cấu kiện. Khi gia tăng hàm lượng cốt dọc thì chuyển vị của dầm sẽ giảm xuống.

5. Cấp độ bền của bê tông ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của cấu kiện chịu uốn. Khi tăng cấp độ bền bê tông thì độ võng giảm, khả năng chịu lực tăng.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả và một số nhận xét sau khi so sánh các kết quả của 03 mẫu cấu kiện bê tông chịu uốn. Các dữ liệu tính toán, thí nghiệm để nghiên cứu sự phát triển độ võng, mối quan hệ giữa tải trọng – độ võng, đã được thảo luận trong bài báo này. Kết quả cũng đã chỉ ra một số điểm khác biệt (độ võng lớn, ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc, ảnh hưởng của cấp độ bền bê tông) khi sử dụng cốt GFRP cho cấu kiện bê tông chịu uốn. Vì vậy khi tính toán thiết kế cần lưu ý khi sử dụng cốt GFRP trong kết cấu xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ACI 440.1R-03, (2003), “*Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*”, Vernon & Maralee Jones.
- [2] ACI 440.3R-12, (2012), “*Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*”.
- [3] ACI 440.4R-04, (2004), “*Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons*”.
- [4] ACI 440.4R-02, (2004), “*Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced Externally Bonded FRP*”.
- [5] ACI 440.5-08, (2008), “*Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars*”.
- [6] ACI 440.1R-06, (2006), “*Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*”, American Concrete Institute.
- [7] Nghiêm Xuân Hà, (2012), “*Nghiên cứu sử dụng vật liệu FRP dạng sợi cho kết cấu dầm bê tông cốt thép*”, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

- [8] Nguyễn Tiến Nghĩa, (2014), “*Nghiên cứu sử dụng vật liệu FRP dạng thanh cho kết cấu dầm và sàn trong công trình xây dựng*”, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [9] Phạm Thanh Thế, Luận văn Thạc sĩ “*Nghiên cứu sự làm việc của cấu kiện bê tông chịu uốn sử dụng chất dẻo cốt sợi FRP dạng thanh*”, Hà Nội 2015.
- [10] Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam TCVN 5574:2012, “*Kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép - Thiết kế*”. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [11] Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam TCVN 9344:2012, “*Kết cấu Bê tông cốt thép – Đánh giá độ bền của các bộ phận kết cấu chịu uốn trên công trình bằng phương pháp thí nghiệm chất tải tĩnh*”. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.