

# KHẢO SÁT THỰC NGHIỆM ĐỘ VỒNG VÀ VẾT NỨT NGHIÊNG CỦA DẪM BÊ TÔNG CỐT SỢI THỦY TINH

Nguyễn Ngọc Phương

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Nhận ngày 11/12/2020, chỉnh sửa xong ngày 26/02/2021, chấp nhận đăng 13/03/2021

## Tóm tắt

Bài báo trình bày việc khảo sát thực nghiệm độ võng và vết nứt nghiêng của dầm bê tông cốt sợi thủy tinh nhằm làm rõ hơn sự làm việc của loại dầm này, từ đó có những nhận xét, kiến nghị với công tác thiết kế dầm bê tông cốt sợi thủy tinh và tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành.

**Từ khóa:** *Dầm bê tông cốt sợi thủy tinh, độ võng, vết nứt nghiêng, khảo sát thực nghiệm.*

## Abstract

The paper presents the experimental survey of deflection and inclination cracks of glass fiber reinforced polymer concrete beams to clarify the working of this type of beam, from which there are comments and recommendations for the beams design fiberglass reinforced concrete and current Vietnamese standards.

**Keywords:** *Glass fiber reinforced polymer concrete beam, Deflection, Inclination cracks, Experimental survey.*

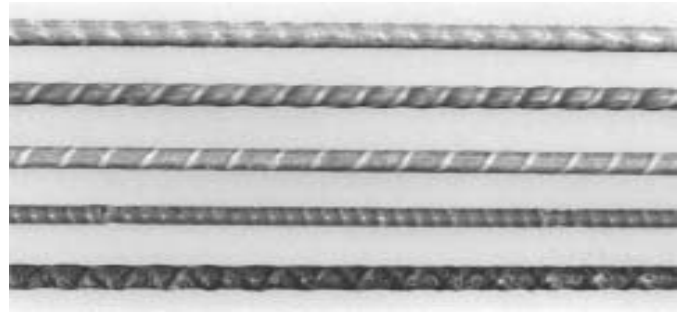
## Đặt vấn đề

Hiện nay ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế kết cấu sử dụng cốt sợi thủy tinh (GFRP) và việc đánh giá sự làm việc của loại kết cấu này được sử dụng tiêu chuẩn của nước ngoài. Cốt sợi thủy tinh là loại vật liệu nhẹ, không có từ tính, có khả năng chống ăn mòn ở các môi trường axit, kiềm, nước mặn ... nên việc đưa cốt sợi thủy tinh vào thay thế cốt thép (CT) cho các công trình xây dựng ở ven biển, hải đảo, ở nơi ngập mặn, nơi đất phèn,... hay ở các bộ phận ngầm dưới lòng đất của công trình là cần thiết. Ngoài việc nghiên cứu về khả năng chịu lực, rất cần có các nghiên cứu về võng và nứt của dầm bê tông (BT) sử dụng loại cốt sợi này. Vì GFRP là loại vật liệu mới nên cần có những nghiên cứu cả về lý thuyết và thực nghiệm trong điều kiện Việt Nam trên cả tiết diện thẳng góc và tiết diện nghiêng. Việc khảo sát thực nghiệm để tìm hiểu, làm rõ hơn về độ võng và vết nứt nghiêng của dầm BT cốt GFRP là cần thiết, qua đó có những nhận xét, kiến nghị khi thiết kế loại cấu kiện này ở Việt Nam.

### 1. Vật liệu FRP

Cốt sợi thủy tinh GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) là vật liệu Compozit chất dẻo cốt sợi, có một số tính năng nổi trội so với vật liệu thép và một số vật liệu truyền thống khác. Vật liệu Compozit có thể tạo lưới hoặc khung, nhằm thay cốt thép trong kết cấu BTCT. Vật liệu này đã xuất hiện trên thế giới vào đầu những năm 1980 ở Nga, Mỹ, Nhật, Đức, Trung Quốc,...

Vật liệu compozit được chế tạo từ hai thành phần: cốt sợi và chất dẻo. Với cốt sợi, có ba loại thường được sử dụng là: sợi cacbon (CFRP), sợi thủy tinh (GFRP) và sợi aramid (AFRP). Chất dẻo nên có ba loại: vinylester, epoxy, polyester. Dạng sản phẩm thường có là dạng tấm (cuộn) hoặc dạng thanh. Đối với thanh FRP, bề mặt có nhiều hình thức, phụ thuộc vào nhà sản xuất, thông thường có dạng gân nổi, cát phủ, và bọc-cát phủ. Trong thực tế, để làm cốt chịu lực trong kết cấu BT, thường sử dụng thanh FRP có bề mặt gân (Hình 1).

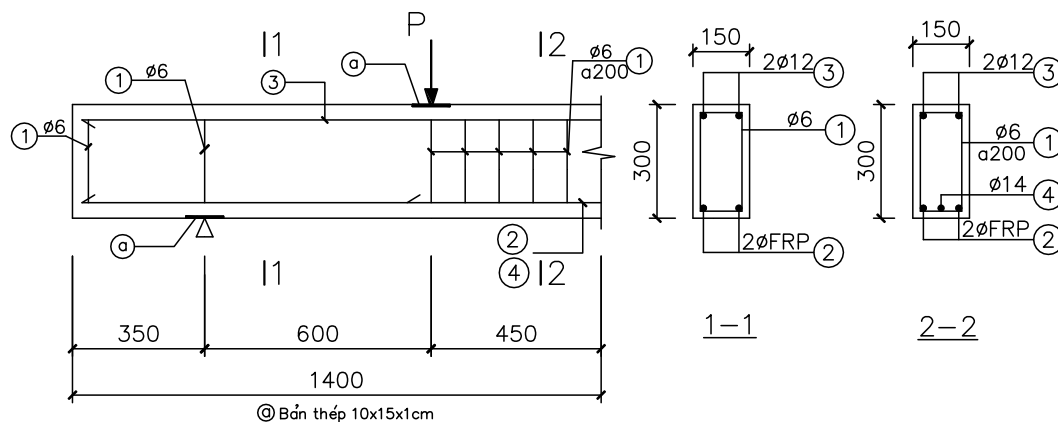


**Hình 1.** Bề mặt và một số kiểu gân của thanh FRP.

GFRP có nhiều ưu điểm như: Không bị han gỉ trong môi trường xâm thực, không khí và hóa chất; Cường độ chịu kéo dọc trục cao; Trọng lượng nhẹ, dễ thi công; Dễ bảo quản, ít tốn kém; Không dẫn điện, không nhiễm từ tính, cách nhiệt tốt. Tuy nhiên, GFRP có nhược điểm: Không có vùng chảy trước khi bị kéo đứt; Không có tính đẳng hướng; Mô đun đàn hồi thấp so với thép; Nhạy cảm với hư hại của nhựa và sợi polyme dưới tác động tiếp xúc bức xạ với tia cực tím; Hệ số giãn nở nhiệt của thứ vuông góc với sợi cao hơn so với bê tông; Cốt đai và cốt dọc GFRP khi cần uốn hoặc bẻ mó, không dễ dàng như vật liệu thép; Giá thành vật liệu GFRP còn cao. Với các ưu, nhược điểm như vậy nên BT cốt GFRP có thể được sử dụng ở các công trình vùng ven biển, trong các khu vực có điện cao thế và điện từ, trong các khu vực dễ bị ăn mòn, trong đường hầm và khai thác mỏ,...[6].

### 2. Mô hình thực nghiệm và vật liệu

Dầm thí nghiệm được thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam [2,7], có chiều dài 2800 mm, có 2 đầu con sơn (mỗi đầu dài 350 mm dùng để đảm bảo neo CT); nhịp chịu cắt  $a = 600$  mm và tỉ số  $a/h_0$  ( $a/d$ ) = 2,22 thuộc khoảng từ (1÷2,5), trong vùng này không bố trí cốt đai nhằm khảo sát rõ hơn vết nứt nghiêng trên dầm và sự ảnh hưởng của mômen ở tiết diện nghiêng. Dầm

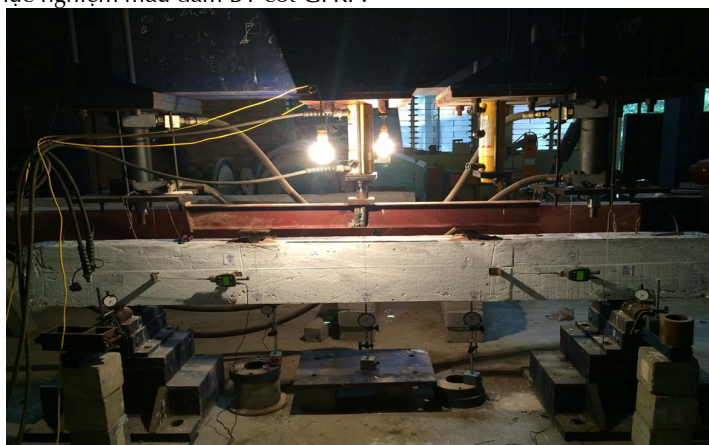


© Bản thép 10x15x1cm

Hình 2. Mô hình thực nghiệm mẫu dầm BT cốt GFRP.



Hình 3. Khung thép của các dầm thí nghiệm.



Hình 4. Mô hình lắp đặt thí nghiệm.

có tiết diện chữ nhật, kích thước  $b \times h = 150 \times 300$  (mm) (Hình 2). Tổng số lượng là 7 mẫu dầm, chia thành 4 nhóm (bảng 1).

Bảng 1. Các nhóm mẫu dầm thí nghiệm.

Nhóm	Số lượng mẫu	Kí hiệu mẫu	Cốt	Đường kính $\phi$ (mm)
I	1	D1 - CT 14	Thép thường	14
II	2	D2A- GFRP 12	GFRP	12
		D2B- GFRP 12	GFRP	12
III	2	D3A- GFRP 14	GFRP	14
		D3B- GFRP 14	GFRP	14
IV	2	D4A- GFRP 16	GFRP	16
		D4B- GFRP 16	GFRP	16

- Cốt thép dọc: Cốt GFRP được lấy từ nhà máy thép Polyme Ninh Hiệp, Gia Lâm, Hà Nội, với các loại đường kính  $\phi = 12, 14, 16$  (hàm lượng tương ứng là 0,43; 0,6; 0,83%); được cắt, uốn theo đúng quy cách và bố trí theo đúng các yêu cầu cấu tạo của tiêu chuẩn Việt Nam [7]. Cốt thép dọc thường nhóm AIII; bố trí 3  $\phi 14$  trong vùng chịu kéo và 2  $\phi 12$  trong vùng chịu nén của tiết diện. Cách bố trí CT ở các mẫu dầm là như nhau như hình 2.

- Cốt đai: 2 nhánh, khép kín,  $\phi 6$  (nhóm AI) được bố trí như hình 1, 2.

- Tại 2 vị trí đặt lực tập trung khi thí nghiệm và 2 vị trí gối tựa của các mẫu dầm đặt các tấm bản mã bằng thép có kích thước  $100 \times 150 \times 10$  (mm) để đảm bảo yêu cầu truyền lực trên cả chiều dày mẫu dầm thí nghiệm, đồng thời tránh vỡ bê tông cục bộ tại các vị trí đó (Hình 3).

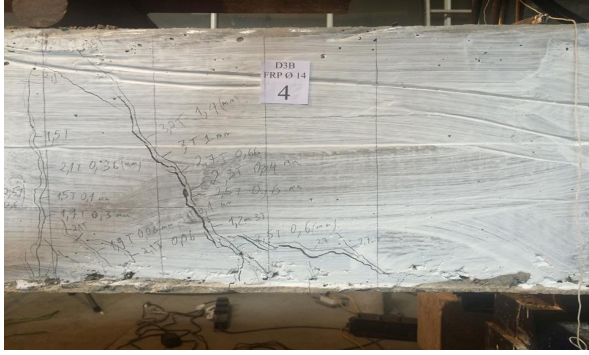
### 3. Thiết bị và thí nghiệm

- Các mẫu được chế tạo và thí nghiệm tại LAS 256 - Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội. Trong quá trình đổ BT các mẫu dầm, lấy 6 mẫu BT lập phương  $150 \times 150$  (mm) và bảo dưỡng cùng điều kiện với các mẫu dầm. Đo độ võng của dầm tại 5 điểm: 3 điểm phía dưới dầm (tại giữa dầm và tại vị trí đặt 2 lực tập trung) và 2 điểm phía trên dầm (tại vị trí 2 gối tựa của dầm) (Hình 4).

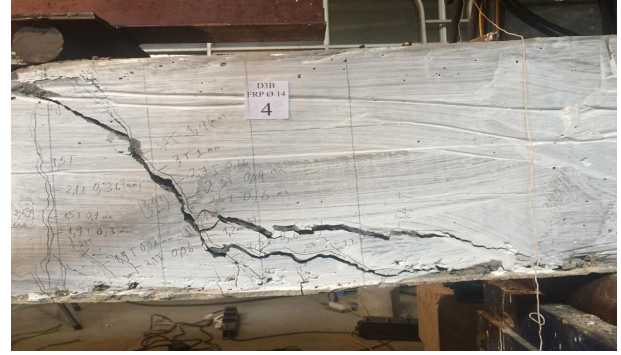
- Thiết bị thí nghiệm: Sử dụng kích thủy lực 30 Tấn (Mỹ) để gia tải, các thiết bị đo độ võng (Nhật, độ chính xác 0,001 mm) và bề rộng vết nứt (Thụy Sĩ), kính lúp, kính hiển vi, thiết bị siêu âm,... của LAS 256 đã được kiểm định và được lắp đặt như hình 4.

- Thực hiện các bước thí nghiệm: Các cấp gia tải được chọn là 428,5 KG/1 lần tăng cấp tải, tương đương với 10 atm ở đồng hồ của thiết bị gia tải (không quá 1/10 giá trị lực cắt tính toán dự kiến 5000 kG) [8].

Gia tải thử đến 857 KG để loại trừ các khe hở, các biến dạng không đàn hồi trên mẫu dầm thí nghiệm và hệ gia tải khi lắp dựng, đồng thời để kiểm tra sự làm việc và hoạt động của



a) Hình dạng vết nứt nghiêng trong quá trình thí nghiệm



b) Hình dạng vết nứt nghiêng khi đã bị phá hoại

**Hình 5.** Ảnh minh họa vết nứt nghiêng ở nhịp chịu cắt của dầm thí nghiệm.

các dụng cụ và thiết bị đo. Sau 10 phút, dỡ tải trả về ban đầu và sau 5 phút ghi các số liệu ban đầu. Thực hiện gia tải theo các cấp đã định đến khi mẫu bị phá hoại và tiếp tục thí nghiệm mẫu tiếp theo. Ở mỗi cấp, giữ tải 15 phút để kết cấu ổn định và đo, vẽ, chụp ảnh, ghi chép các số liệu. Sau đó xử lý các số liệu thí nghiệm [8].

Toàn bộ quá trình thí nghiệm được tiến hành theo đúng các yêu cầu của khoa học thực nghiệm và quy phạm Việt Nam [8]. Các bước thí nghiệm được kiểm soát chặt chẽ, an toàn.

**4. Kết quả thí nghiệm**

**4.1. Cường độ của bê tông và cốt thép**

Tiến hành thí nghiệm nén các mẫu BT lập phương cho kết quả cường độ chịu nén trung bình là 332 KG/cm<sup>2</sup>. Tiến hành siêu âm các mẫu dầm cho thấy BT đảm bảo chất lượng chế tạo theo yêu cầu thiết kế. Cường độ cốt GFRP sử dụng kết quả của nhà máy sản xuất cốt sợi thủy tinh (1019 MPa).

**4.2. Vết nứt nghiêng và độ võng của dầm thí nghiệm**

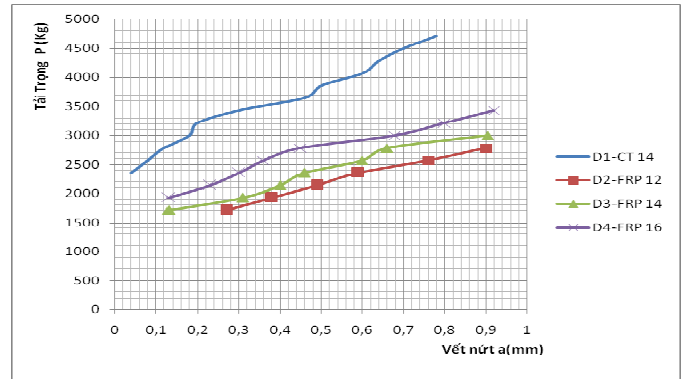
Kết quả quan trắc, đo khi thực nghiệm cho thấy: Tại thời điểm lực  $P = 1500$  KG, ở tất cả các mẫu dầm đều xuất hiện vết nứt thẳng góc ở giữa dầm; vết nứt nghiêng xuất hiện ở các thời điểm lực  $P$  khác nhau (bảng 2).

**Bảng 2.** Thời điểm xuất hiện vết nứt nghiêng.

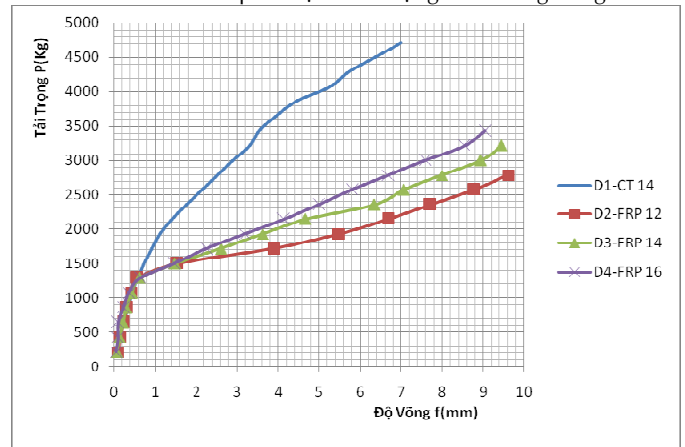
Ký hiệu mẫu dầm	Lực $P$ tại thời điểm xuất hiện vết nứt nghiêng (KG)
D1- CT 14	2357
D2 - GFRP 12	1714
D3 - GFRP 14	1714
D4 - GFRP 16	1928

- Các vết nứt thẳng góc xuất hiện ở giữa dầm tăng lên về số lượng nhưng bề rộng vết nứt không tăng đến khi dầm bị phá hoại ở vùng chịu cắt.

- Các vết nứt trong vùng chịu cắt ở dầm, trước tiên là những vết nứt tương đối thẳng góc, cách gối tựa khoảng 40 ÷ 50 cm (khoảng 1/4 nhịp dầm), phát triển lên phía trên dầm, hướng tới điểm đặt lực  $P$ . Khi lực  $P$  tăng, một số vết nứt này phát triển thành vết nứt nghiêng hướng từ lực  $P$  đến gối tựa của dầm và gây phá hoại dầm. Đây là những vết nứt cách điểm đặt lực  $P$  khoảng 25 ÷ 30 (cm), bằng khoảng chiều cao làm việc  $h_0$  ( $d$ ) của dầm (Hình 5), điều này cho thấy rõ có sự ảnh hưởng của mômen trong nhịp chịu cắt.



**Hình 6.** Biểu đồ quan hệ  $P$  – bề rộng vết nứt nghiêng  $a$ .



**Hình 7.** Biểu đồ quan hệ  $P$  – độ võng  $f$ .

- Từ các số liệu thí nghiệm về độ võng và bề rộng vết nứt nghiêng theo các cấp tải trọng, lập các biểu đồ quan hệ giữa Lực tác dụng  $P$  – Bề rộng vết nứt nghiêng trung bình  $a$  của các nhóm mẫu dầm; Lực tác dụng  $P$  – Độ võng giữa dầm trung bình  $f$  của các nhóm mẫu dầm, thể hiện ở hình 6 và hình 7. Thí nghiệm cho thấy các dầm BT cốt GFRP bị phá hoại khi bề rộng vết nứt nghiêng  $\geq 0,9$  mm và độ võng giữa dầm đều vượt quá giá trị giới hạn cho phép của dầm theo tiêu chuẩn.

Từ các kết quả thực nghiệm cho thấy:

\* Về vết nứt nghiêng trên dầm: - Với cùng hàm lượng cốt thép: Vết nứt nghiêng ở dầm BT sử dụng cốt GFRP xuất hiện sớm hơn ở dầm BT sử dụng CT thường, tức lại tại cấp tải nhỏ hơn (khoảng 1,6 lần).

**Bảng 3.** Tổng hợp kết quả tại thời điểm phá hoại mẫu dầm.

Ký hiệu mẫu dầm	Lực phá hoại mẫu dầm $P_{ph}$ (KG)	Lực phá hoại trung bình $P_{ph}$ (KG)	Độ võng $f$ (mm)	Độ võng trung bình $f$ (mm)	Hình chiếu của vết nứt nghiêng $c_0$ (cm)	Hàm lượng cốt thép $\rho$ (%)
D1-CT 14	4714	4714	7,00	7,00	35	0,77
D2A-GFRP 12	2785	2678	9,62	9,29	32	0,43
D2B-GFRP 12	2571		8,97		30	
D3A-GFRP 14	3214	3107	9,46	9,32	30	0,6
D3B-GFRP 14	3000		9,18		32	
D4A-GFRP 16	3428	3321	9,04	9,09	34	0,83
D4B-GFRP 16	3214		9,13		33	

**Bảng 4.** So sánh kết quả thí nghiệm với tính toán theo ACI và SNIP.

Ký hiệu mẫu dầm (1)	$P_{ph}$ (KG) (2)	Bề rộng vết nứt nghiêng $a$ (mm)					Độ võng $f$ (mm)				
		Tính theo ACI (3)	Tính theo SNIP (4)	Thí nghiệm (5)	% giữa (3)-(5)	% giữa (4)-(5)	Tính theo ACI (6)	Tính theo SNIP (7)	Thí nghiệm (8)	% giữa (6)-(8)	% giữa (7)-(8)
D2-GFRP 12	2678	0,99	1,08	0,9	(+) 9	(+) 16	9,30	10,8	9,29	(+) 1	(+) 14
D3-GFRP 14	3107	0,96	1,06	0,9	(+) 6	(+) 15	8,77	11,1	9,32	(-) 6	(+) 16
D4-GFRP 16	3321	0,92	1,04	0,92	0	(+) 12	8,71	11,2	9,09	(-) 4	(+) 19

Bảng 3 cho thấy: - Giá trị  $c_0$  theo thực nghiệm trên các mẫu dầm phù hợp với lý thuyết về BTCT [2,7], trong khoảng  $h_0 \div 2 h_0$ .

- Khả năng chịu lực cắt của dầm BT cốt GFRP  $\phi 14$  nhỏ hơn khoảng 50 % so với dầm BTCT thường có cùng đường kính. Như vậy, khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng của dầm BT cốt GFRP nhỏ hơn dầm BTCT thường khá lớn, có thể do sự bám dính của BT với cốt GFRP kém hơn so với CT thường (vấn đề này cần được nghiên cứu thêm).

- Độ võng của dầm BT sử dụng cốt GFRP lớn hơn dầm BT sử dụng CT thường khoảng 30% và tốc độ phát triển nhanh hơn (có thể do mô đun biến dạng của cốt GFRP thấp và cần được nghiên cứu thêm).

- So sánh với [5] thì hàm lượng cốt GFRP có ảnh hưởng tới khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng của dầm, tuy nhiên mức độ ảnh hưởng không nhiều như với cốt thép thường.

##### 5. So sánh với kết quả tính theo tiêu chuẩn của Mỹ và Nga

Với các số liệu thí nghiệm các mẫu dầm BT cốt GFRP tại thời điểm phá hoại mẫu, tính toán theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 440.1R-15 [1] và tiêu chuẩn của Nga SNIP 52-01-2003 [3,4], kết quả và so sánh với thực nghiệm thể hiện ở bảng 4.

Bề rộng vết nứt giới hạn  $a_{gh}$  là 0,7 mm và độ võng giới hạn  $f_{gh}$  là 8,75 mm (L/240) [1].

- Ở cùng 1 cấp tải trọng: Khi hàm lượng cốt GFRP giảm thì bề rộng vết nứt nghiêng tăng lên, tương tự như với CT thường [5] và với dầm có cùng cốt  $\phi 14$ , ở cấp tải trọng phá hoại, thì bề rộng vết nứt nghiêng khi sử dụng cốt GFRP lớn hơn khoảng 5 lần.

\* Về độ võng ở giữa dầm: - Khi cấp tải nhỏ hơn 1350 KG thì độ võng ở các dầm là như nhau, trên giá trị này thì có sự khác biệt.

- Ở cùng 1 cấp tải trọng: Khi hàm lượng cốt GFRP giảm thì độ võng tăng lên. Với dầm có cùng cốt  $\phi 14$  thì dầm sử dụng cốt GFRP có độ võng lớn hơn khoảng hơn 3 lần so với dầm sử dụng CT thường. Dầm cốt GFRP sử dụng  $\phi 12$  có độ võng lớn hơn dầm sử dụng  $\phi 14$ ,  $\phi 16$  khoảng từ 1,2 ÷ 1,6 lần.

- Tốc độ tăng độ võng của dầm sử dụng cốt GFRP  $\phi 12$  lớn hơn dầm sử dụng cốt GFRP  $\phi 14$ ,  $\phi 16$  khoảng từ 1,5 ÷ 1,8 lần.

\* Về khả năng chịu lực: Tại cùng độ võng là 6 mm, dầm BTCT thường có khả năng chịu lực cao hơn dầm BT cốt GFRP trung bình khoảng 2 lần và dầm cốt GFRP sử dụng  $\phi 16$  có khả năng chịu lực cao hơn dầm sử dụng  $\phi 14$ ,  $\phi 12$  khoảng 1,15 ÷ 1,3 lần.

Các kết quả về lực phá hoại mẫu  $P$ , hình chiếu của vết nứt nghiêng  $c_0$  trên trục dầm gây phá hoại, độ võng  $f$  giữa dầm tại thời điểm phá hoại mẫu được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 4 cho thấy: - Tại giá trị lực phá hoại các mẫu dầm thí nghiệm, tính toán theo 2 tiêu chuẩn đều vượt quá giá trị giới hạn.

- Tính toán bề rộng vết nứt theo tiêu chuẩn Mỹ (ACI) cho kết quả khá gần với kết quả thực nghiệm (sai số dưới 10%); tính theo tiêu chuẩn Nga cho kết quả lớn hơn (sai số từ 12 ÷ 16%).

- Tính toán độ võng theo tiêu chuẩn Mỹ (ACI) cho kết quả khá gần với kết quả thực nghiệm (sai số dưới 10%); tính theo tiêu chuẩn Nga cho kết quả lớn hơn (sai số từ 14 ÷ 19%).



### Kết luận và kiến nghị

Cốt sợi thủy tinh GFRP có nhiều ưu điểm, nhất là khả năng ứng dụng trong môi trường bị xâm thực như biển, đảo,... Mặc dù số lượng các mẫu dầm thí nghiệm còn khiêm tốn nhưng qua các kết quả và phân tích thực nghiệm cho thấy:

Sử dụng dầm BT cốt GFRP có bề rộng vết nứt nghiêng lớn hơn so với dầm BTCT thường. Sự hình thành vết nứt đầu tiên giống với dầm BTCT thường, sau đó vết nứt nghiêng phát triển nhanh trên vùng chịu cắt. Độ võng của dầm BT cốt GFRP khá lớn. Sau khi nứt thì độ võng tăng nhanh hơn so với dầm BTCT thường. Do đó, trong quá trình thiết kế dầm BT cốt GFRP, cần quan tâm tới vấn đề võng và nứt nghiêng để có thể có những giải pháp phù hợp, đảm bảo khả năng chịu lực và sự làm việc của dầm.

Tính độ võng và vết nứt nghiêng theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI cho kết quả gần hơn với kết quả thực nghiệm so với tính theo tiêu chuẩn của Nga SNIP và cần được lưu ý trong thiết kế dầm BT cốt GFRP khi tính theo 2 tiêu chuẩn này để đảm bảo an toàn.

Cần có những nghiên cứu thực nghiệm khác để đánh giá toàn diện hơn khả năng chịu lực cũng như sự làm việc của dầm BT cốt GFRP nhằm hoàn thiện hơn công tác thiết kế. Tại Việt Nam chưa có tiêu chuẩn hướng dẫn thiết kế kết cấu BT sử dụng cốt sợi thủy tinh và cần sớm ban hành để có thể thuận lợi hơn cho các kỹ sư thiết kế kết cấu.

### Tài liệu tham khảo

- [1] ACI 440.1R-15, (2015), Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars.
- [2] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Cống (2012), *Kết cấu bê tông cốt thép*, Nxb. Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] КОНСТРУКЦИИ ИЗ БЕТОНА С КОМПОЗИТНОЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРОЙ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, Москва 2013.
- [4] СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
- [5] Nguyễn Ngọc Phương (2002), *Ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc tới khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép*, Tạp chí Xây dựng, Hà Nội.
- [6] Nguyễn Hồng Sơn, (2013), *Thiết kế dầm bê tông sử dụng chất dẻo cốt sợi FRP dạng thanh*, Tạp chí xây dựng, Hà Nội.
- [7] Tiêu chuẩn quốc gia (2018), TCVN 5574: 2018, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, Nxb. Xây dựng, Hà Nội.
- [8] Võ Văn Thảo (2001), *Phương pháp khảo sát – Nghiên cứu thực nghiệm công trình*, Nxb. Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.