

# XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

REVIEW OF MINISTRY OF CONSTRUCTION 53<sup>rd</sup> Year

9-2014



ISSN 0866-0762  
NĂM THỨ 53

Website: [www.tcxd.vn](http://www.tcxd.vn) / [www.tapchixaydungonline.com](http://www.tapchixaydungonline.com)

HOẠT ĐỘNG QUẢN LÝ NGÀNH XÂY DỰNG	4	Điểm tin
HOẠT ĐỘNG CỦA CÁC DOANH NGHIỆP NGÀNH XÂY DỰNG	8	
CHIẾN LƯỢC PHÁT TRIỂN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ NĂM 2020 VÀ TẦM NHÌN 2030	18	
NHÂN VẬT TIÊU BIỂU NGÀNH XÂY DỰNG	22	Thực trạng và định hướng phát triển KHCN Vật liệu Xây dựng đến năm 2020
CẬP NHẬT VĂN BẢN PHÁP LUẬT MỚI CỦA NGÀNH	34	Giải pháp tối ưu hóa hệ vắng chống an toàn cho các công trình ngầm
Nguyễn Hữu Thế Vũ Ngọc Quang	46	
Nguyễn Ngọc Phương Nguyễn Hùng Phong	50	Nghiên cứu sóng nổ trong môi trường đất bằng phần mềm Autodyn
Lê Anh Dũng Nguyễn Văn Tuấn	53	Khảo sát khung thép thấp tầng liên kết dầm, cột và chân cột nửa cứng chịu tải trọng động đất
Trần Hiếu Nhuệ, Lương Ngọc Khánh Lê Anh Dũng	58	Ảnh hưởng của cốt đai đến khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép
Phạm Đình Trung, Nguyễn Thành Đô, Nguyễn Trọng Phước	61	Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông có cốt polyme sợi thủy tinh hàm lượng thấp
Bạch Đình Thiên, Hoàng Vinh Long, Phạm Văn Quang, Phạm Minh Hưởng Võ Anh Tuấn	66	Thực trạng các mô hình PPP trong quản lý dự án xây dựng
Bùi Kiến Tín, Ngô Ngọc Cường Lê Bá Vinh, Trần Đình Mạnh Hoàng Lê Thanh Huấn, Trần Anh Tú Chu Quốc Thắng, Trần Đăng Khải, Vũ Xuân Bách, Trần Cao Thanh Ngọc Nguyễn Thị Thanh Mai	70	So sánh hiệu quả sử dụng một số phụ gia khoáng sẵn có ở Việt Nam để chế tạo bê tông cường độ siêu cao
Avilova I.P, Rukova, Đoàn Dương Hải Đặng Ngọc Châu, Lê Hoài Long, Trần Thanh Tùng, Trần Tuấn Kiệt Nguyễn Minh Tâm, Đỗ Thuận Phát Lương Văn Hải, Đặng Trung Hậu	75	Những xu hướng công nghệ mới trong xử lý nước rác trên thế giới và Việt Nam, định hướng tiếp cận phù hợp với điều kiện Việt Nam
	79	Thực trạng quản lý rủi ro trong ngành xây dựng Việt Nam
	83	Ảnh hưởng của khối lượng nền lên ứng xử động của dầm chịu tải trọng di động
	87	Nghiên cứu khả năng sử dụng nguyên vật liệu ở Việt Nam chế tạo bê tông đặc biệt nặng bảo vệ phóng xạ
	92	Giải pháp kỹ thuật giám sát - điều tiết áp lực để giảm thiểu thất thoát nước TP.HCM
	96	Lý thuyết domino trong quản lý an toàn ngành xây dựng
	98	Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử của móng cọc đài bê
	103	Nghiên cứu, tính toán vỏ conoid dưới tác dụng của áp lực thủy tĩnh và áp lực đất
	107	Đánh giá ảnh hưởng của độ cứng đất nền đối với công trình nhà cao tầng dưới tác dụng của động đất
	113	Đô thị hóa vùng ven và không gian đô thị Điện Nam Điện Ngọc trong quá trình đô thị hóa thành phố Đà Nẵng
	117	Hoàn thiện các chỉ tiêu hiệu quả kinh tế dự án đầu tư - xây dựng với việc sử dụng đường rủi ro không thu nhập của dự án
	120	Phân tích ảnh hưởng của chỉ số giá tiêu dùng (CPI) và tổng sản phẩm quốc nội (GDP) lên chỉ số giá xây dựng (BCI)
	123	Tương quan giữa Module biến dạng và ứng suất có hiệu cho đất sét ở khu vực Cần Thơ
	129	Phân tích tính thấm FGM trên nền đàn hồi sử dụng phần tử hữu hạn trơn CS- DSG3

*Bìa 1: Sử dụng tấm năng lượng mặt trời tại nhà ga trung tâm New Rotterdam Hà lan  
Bìa 4: Xây dựng nhà ga trung tâm New Rotterdam Hà lan*

Chủ nhiệm:  
**Bộ trưởng Trịnh Đình Dũng**

Tổng Biên tập:  
**Trần Thị Thu Hà**

Phó Tổng Biên tập:  
**Nguyễn Anh Dũng**

Tòa soạn: 37 Lê Đại Hành, Hà Nội  
Fax: 04.39740570 Email: tcxd.bxd@gmail.com  
Liên hệ bài vở: 04.39740744  
Liên hệ phát hành quảng cáo: 04.39742243  
VPĐD phía Nam: 14 Kỳ Đồng, Q.3, TP Hồ Chí Minh  
ĐT: 08.39312759 Fax: 08.39312758  
Email: tapchixaydung\_vppn@yahoo.com  
Trình bày mỹ thuật: Thạch Cường, Quốc Khánh  
Giấy phép xuất bản: Số: 200/GP-BVHTT ngày 7/5/2001  
In tại Công ty TNHH Quảng bá AZ Việt Nam  
Tài khoản: 10201000021955  
Ngân hàng Thương mại Cổ phần Công thương Việt Nam  
Chi nhánh Hai Bà Trưng, Hà Nội

Hội đồng khoa học:  
GS.TSKH Nguyễn Văn Liên  
(Chủ tịch hội đồng)  
TS Nguyễn Thanh Nghị  
(Phó chủ tịch hội đồng)  
TS Nguyễn Trung Hòa  
PGS.TS Nguyễn Quốc Thông  
PGS. TS Phạm Tứ  
GS. TS Nguyễn Văn Hợi  
GS.TS Nguyễn Hữu Dũng  
GS.TS Đoàn Định Kiến

# Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của dầm bê tông có cốt polyme sợi thủy tinh hàm lượng thấp

Ngày nhận bài: 27/7/2014

Ngày sửa bài: 4/8/2014

Ngày chấp nhận đăng: 10/8/2014

**Nguyễn Hùng Phong**

## TÓM TẮT

Bài báo đề cập đến sự làm việc chịu uốn của dầm bê tông có cốt là thanh polyme cốt sợi thủy tinh (GFRP) với hàm lượng cốt thấp hơn hàm lượng cân bằng thông qua một nghiên cứu thực nghiệm. Qua các thí nghiệm uốn các mẫu dầm có thể thấy rằng sự làm việc của dầm bê tông cốt GFRP với hàm lượng thấp có nhiều điểm khác biệt so với dầm bê tông cốt thép thông thường. Ngay sau khi xuất hiện vết nứt ở vùng kéo, các vết nứt này phát triển rất nhanh cả về bề rộng lẫn chiều cao làm thu hẹp vùng bê tông chịu nén. Do hàm lượng cốt thấp nên ứng suất trong cốt GFRP tăng nhanh trong quá trình chịu tải, hơn nữa mô-đun đàn hồi của thanh GFRP thấp nên càng làm cho bề rộng vết nứt của dầm tăng nhanh, độ cứng của dầm giảm mạnh. Sự phá hoại cuối cùng ở các dầm xảy ra do đứt cốt GFRP; đây là sự phá hoại giòn rất đột ngột và nguy hiểm. Vì vậy, trong trường hợp sử dụng dầm bê tông cốt GFRP có hàm lượng thấp cần phải đảm bảo có một hệ số an toàn về cường độ cao.

Từ khóa: polyme cốt sợi thủy tinh (GFRP), hàm lượng thấp, bề rộng vết nứt, độ võng.

## ABSTRACT

This paper described the flexural behavior of glass fiber reinforced polymer (GFRP)-reinforced concrete beams with ratio of GFRP reinforcement lower than the balanced ratio through an experimental study. It can be seen from the loading tests of the beam specimens that the behavior of GFRP-reinforced concrete beam with low ratio of GFRP was very different from that of conventional reinforced concrete beam. Immediately after the cracks occurred in tension zone, they developed very fast toward the top of the beam, making the compressive zone of concrete become very small. With low ratio of GFRP bar, the stress in the GFRP bars increased very rapidly causing the crack width and the deflection of the beams intensively enlarged as GFRP bar has very low modulus of elasticity. The final failure of the beam specimens were due to the rupture of GFRP bar, which were very brittle and sudden. Therefore, in case of using concrete beams reinforced with low ratio of GFRP bar, it is necessary to have conservative safety factor in strength.

Keywords: glass fiber reinforced polymer (GFRP), low reinforcement ratio, crack width, deflection.

## TS Nguyễn Hùng Phong

Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép

Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp

Trường Đại học Xây dựng

## 1. Giới thiệu chung

Hiện nay, nhiều quốc gia trên thế giới đã sử dụng thanh polyme cốt sợi (Fiber Reinforced Polymer - FRP) để làm cốt gia cường cho kết cấu bê tông (BT). Trong các loại kết cấu BT sử dụng cốt FRP, cấu kiện chịu uốn như dầm, bản được sử dụng phổ biến nhất do phát huy được đặc tính của thanh FRP là có cường độ chịu kéo cao, nhưng cường độ chịu nén khá thấp. Đặc điểm của thanh FRP là không có thềm dẻo và làm việc đàn hồi cho tới khi phá hoại. Sự phá hoại kéo đứt của thanh FRP là tương đối đột ngột. Do đó, trong tiêu chuẩn của nhiều nước coi trường hợp phá hoại này (ứng với cấu kiện có hàm lượng cốt thấp hơn hàm lượng cân bằng) là nguy hiểm hơn phá hoại giòn do vỡ BT vùng nén (ứng với cấu kiện có hàm lượng cốt cao hơn hàm lượng cân bằng). Với hàm lượng cốt cân bằng, dầm xảy ra sự phá hoại đồng thời ở BT vùng nén và cốt FRP. Tuy nhiên, xét trên quan điểm về kinh tế thì việc đặt hàm lượng cốt FRP cao là không kinh tế, bởi khi hàm lượng cốt vượt quá hàm lượng cân bằng thì việc tăng hàm lượng cốt khá nhiều cũng chỉ làm cho khả năng chịu lực của cấu kiện tăng lên không đáng kể [4].

Ở nước ta, gần đây, thanh FRP thủy tinh (GFRP) đã bắt đầu được chế tạo. Việc nghiên cứu để nâng cao hiệu quả sử dụng thanh GFRP trong xây dựng công trình là rất cần thiết. Nếu sử dụng cấu kiện BT có hàm lượng GFRP lớn sẽ làm tăng đáng kể chi phí xây dựng. Ngược lại, việc sử dụng cấu kiện có hàm lượng cốt thấp hơn hàm lượng cân bằng sẽ mang lại hiệu quả kinh tế, nhất là với cốt FRP, hàm lượng cân bằng của cấu kiện BT chịu uốn là khá thấp [1]. Trong trường hợp này cần có một hệ số an toàn cao để đảm bảo chắc chắn không xảy ra phá hoại đột ngột do đứt thanh FRP. Ngoài ra, cần có các nghiên cứu thực nghiệm để hiểu rõ sự làm việc của dầm BT có hàm lượng cốt FRP thấp.

Với sự giúp đỡ cung cấp vật liệu của nhà

sản xuất, tác giả đã tiến hành một trong những nghiên cứu thực nghiệm về dầm BT cốt FRP đầu tiên ở Việt Nam. Nghiên cứu này, được tiến hành tại phòng thí nghiệm trường Đại học Xây dựng, đã xem xét sự làm việc của các dầm BT cốt FRP có hàm lượng cốt nhỏ hơn hàm lượng cân bằng. Thông qua nghiên cứu thực nghiệm, các yếu tố

Bảng 2 - Kết quả thí nghiệm kéo thanh GFRP do nhà sản xuất cung cấp

Đường kính danh nghĩa φ (mm)	Diện tích tiết diện ngang thực tế $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	Cường độ chịu kéo trung bình $f_{ufrp}$ (MPa)	Mô-đun đàn hồi kéo trung bình $E_{frp}$ (MPa)
8	39,92	1036,9	≈ 45.000
10	58,71	952,7	

thời điểm thí nghiệm gia tải phá hoại dầm, tức cố định và gối di động. Thiết bị gia tải là kích

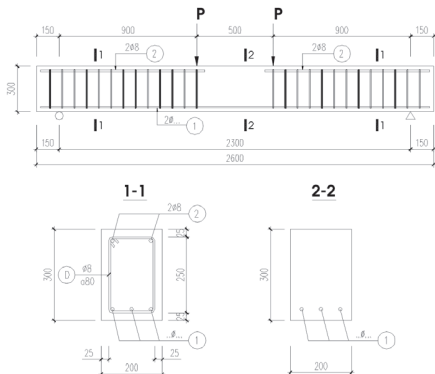
Bảng 3 - Bảng tính toán khả năng chịu lực của các dầm theo lý thuyết

Tên dầm	Cốt GFRP	Diện tích cốt $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	Hàm lượng cốt $\rho$ (%)	Khả năng chịu uốn theo lý thuyết theo các tiêu chuẩn $P_n$ (kN)			Khả năng chịu cắt (kN)	Dạng phá hoại dự kiến
				TC Mỹ	TC Canada	TC Nga		
DF1	3φ8	119,7	0,22	33,84	33,6	33,7	112	Đứt cốt GFRP
DF2	2φ10	117,4	0,22	32,45	32,85	32,95		Đứt cốt GFRP

về sự làm việc chịu uốn của dầm như khả năng chịu lực, độ võng, bề rộng vết nứt và hình thức phá hoại đã được phân tích, đánh giá, qua đó đưa ra các khuyến nghị cho việc thiết kế và thi công dầm BT cốt GFRP với hàm lượng cốt thấp.

## 2. Mẫu thí nghiệm dầm BT cốt GFRP

Mẫu thí nghiệm là hai dầm BT có cùng kích thước, bố trí cốt đai thép như nhau và cốt dọc là thanh GFRP có diện tích cốt xấp xỉ nhau, nhưng dùng loại thanh có đường kính khác nhau. Dầm DF1 dùng cốt dọc 3φ8, trong khi dầm DF2 dùng 2φ10. Chi tiết về hai mẫu dầm và vị trí đặt tải được thể hiện trên hình 1. Phần cốt thép chịu nén ở khu vực giữa dầm được cắt bỏ để đảm bảo trạng thái làm việc của tiết diện giữa dầm hoàn toàn giống như tiết diện đặt cốt đơn (không có cốt chịu nén).



TT	Tên mẫu	Cốt dọc	Diện tích $A_f$ (mm <sup>2</sup> )	Hàm lượng $\mu$ (%)	Vật liệu cốt dọc
1	DF1	3φ8	119,7	0,22	GFRP
2	DF2	2φ10	117,4	0,22	GFRP

Hình 1 – Chi tiết mẫu thí nghiệm dầm BT cốt GFRP

Các tính chất của vật liệu chế tạo dầm được tóm tắt trong bảng 1 và bảng 2, trong đó, cường độ chịu nén và mô-đun đàn hồi của BT được xác định cho mẫu trụ tiêu chuẩn 150x300mm, tại

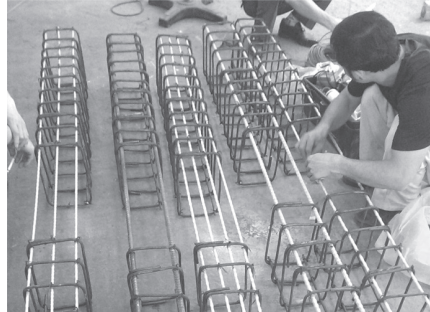
lỗi sau 21 ngày kể từ ngày đổ mẫu. Các đặc trưng về kéo của thanh GFRP được cung cấp bởi nhà sản xuất (bảng 2).

Bảng 1 - Kết quả thí nghiệm nén mẫu BT

Số lượng mẫu	Cường độ chịu nén trung bình	Mô-đun đàn hồi trung bình
05	31,1 MPa	30230 MPa

Các mẫu dầm được thiết kế để sao cho khi thí nghiệm sẽ xảy ra phá hoại do uốn, không xảy ra phá hoại do cắt, vì vậy, cốt đai được bố trí dày (đai thép A1, φ8, khoảng cách 80mm) để đảm bảo khả năng chịu cắt của dầm lớn hơn hẳn khả năng chịu uốn. Bảng 3 tổng hợp kết quả tính toán lý thuyết dự báo khả năng chịu uốn và khả năng chịu cắt của các mẫu dầm theo một số tiêu chuẩn. Các tính toán này sử dụng các giá trị cường độ thực tế của vật liệu như trong bảng 1 và bảng 2, không xét đến các hệ số an toàn trong các tiêu chuẩn.

Các mẫu dầm BT cốt GFRP được chế tạo giống như BTCT thông thường. Tuy nhiên, các thanh GFRP được cắt bằng lưới của thép, thay vì bằng máy cắt hay kim cộng lực như khi cắt cốt thép thông thường. Việc uốn các thanh GFRP (nếu có) phải được thực hiện trong nhà máy.



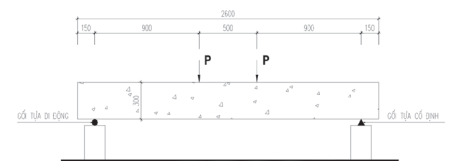
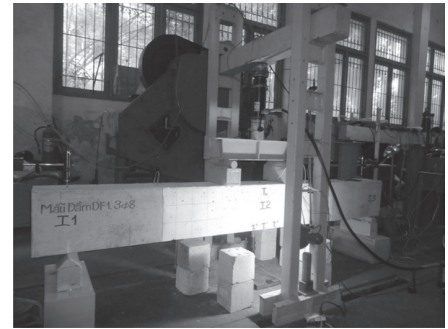
Hình 2 – Gia công chế tạo mẫu dầm BT cốt GFRP

## 3. Thí nghiệm gia tải phá hoại các mẫu dầm BT cốt GFRP

### 3.1. Sơ đồ gia tải

Sơ đồ thí nghiệm là dầm đơn giản kê lên gối

thủy lực loại 20 tấn, kết hợp với hệ khung phân lực và dầm phân tải tạo nên hai tải trọng tập trung với khoảng cách 500mm.



Hình 3 – Sơ đồ thí nghiệm

### 3.2. Các thiết bị đo số liệu thí nghiệm

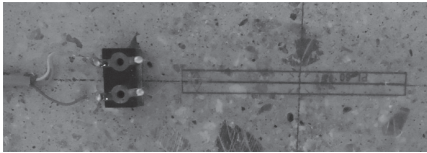
Tải trọng thí nghiệm được đo bằng đầu đo tải trọng (load cell) đặt giữa kích và dầm phân tải. Các giá trị chuyển vị (độ võng) của dầm được đo tại vị trí giữa nhịp (I3) và hai gối tựa (I1 và I2) bằng các đầu đo chuyển vị LVDT (Hình 4a). Mỗi dầm được dán một phiếu đo biến dạng vùng nén của BT ở mặt trên tại vị trí giữa dầm (vị trí T1) (Hình 4b). Các thanh GFRP cũng được dán các phiếu đo biến dạng (strain gauge) tại vị trí giữa thanh (T2) để đo ứng suất trong thanh GFRP trong quá trình gia tải (Hình 4c). Bề rộng vết nứt được đo tương ứng với từng cấp tải bằng máy chuyên dụng với độ chính xác đến 0,01mm (Hình 4d).

### 3.3. Quy trình thí nghiệm

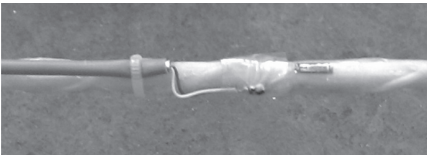
Sau khi lắp đặt và căn chỉnh các thiết bị đo, các mẫu dầm được tiến hành thí nghiệm theo quy trình sau đây. Dựa vào lực phá hoại dự đoán của dầm chọn ra thang lực thí nghiệm phù hợp. Tiến hành gia tải theo từng cấp của thang lực.



a) Sơ đồ bố trí thiết bị đo các số liệu thí nghiệm



b) Phiếu đo biến dạng BT



c) Phiếu đo biến dạng thanh GFRP



d) Máy đo bề rộng vết nứt

Hình 4 – Các thiết bị đo số liệu trong quá trình thí nghiệm gia tải các dầm

Cần quan sát kỹ BT vùng kéo để phát hiện vết nứt đầu tiên của dầm và ghi lại giá trị tải trọng gây nứt. Tại mỗi cấp gia tải, dừng tải để quan sát, chụp ảnh, theo dõi các số đọc trên các thiết bị đo và tiến hành vẽ sự phát triển của vết nứt BT vùng kéo.

Tại các mốc quan trọng khi dầm đạt giá trị bề rộng vết nứt cho phép và độ võng cho phép, cần đặc biệt chú ý quan sát sự làm việc của dầm và ghi chép lại các số đọc về lực, biến dạng của BT vùng nén, biến dạng kéo của thanh GFRP, cũng như giá trị bề rộng vết nứt và độ võng của dầm. Tiếp tục tăng tải trọng cho đến khi dầm bị phá hoại tức là thời điểm đồng hồ lực của kích gia tải giảm dần – theo dõi các giá trị biến dạng của BT vùng nén và cốt GFRP để xác định nguyên nhân và hình thức phá hoại của dầm.

#### 4. Kết quả thí nghiệm

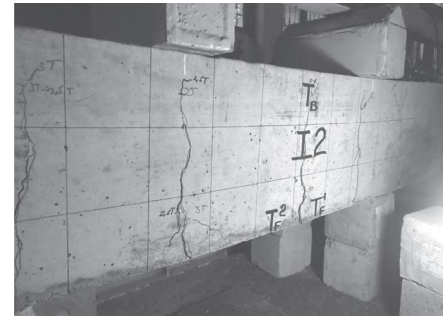
##### 4.1. Sự làm việc của dầm trong quá trình gia tải – vết nứt, biến dạng và ứng suất trong vật liệu

###### a. Sự phát triển của vết nứt

Các dầm được gia tải đến tải trọng  $P \approx 1$  tấn



a) Dầm DF1 (3φ8)



b) Dầm DF2 (2φ10)

Hình 5 – Sự phát triển của vết nứt BT vùng kéo trong quá trình gia tải các dầm – vết nứt phát triển nhanh lên phía trên dầm

thì xuất hiện vết nứt ở BT vùng kéo. Sau đó, khi tiếp tục gia tải, vết nứt nhanh chóng phát triển cả về bề rộng lẫn chiều cao. Ngay lập tức, vết nứt phát triển sâu lên phía vùng BT nén, đạt đến 80% chiều cao tiết diện (hình 5) và có bề rộng vết nứt vượt qua giới hạn nứt cho phép (lấy theo tiêu chuẩn Mỹ là 0,7mm với kết cấu trong nhà [1]). Hiện tượng này hoàn toàn khác so với dầm BTCT thông thường với các vết nứt phát triển từ từ, có bề rộng và chiều cao không tăng nhanh đột ngột. Nguyên nhân là do các dầm thí nghiệm có hàm lượng cốt GFRP khá thấp nên khi gia tải ứng suất trong thanh GFRP tăng nhanh chóng, thanh GFRP lại có mô đun đàn hồi thấp nên để có được ứng suất lớn thì biến dạng trong thanh phải rất lớn; do đó, dẫn đến bề rộng vết nứt trong dầm phát triển nhanh chóng, vết nứt lan rộng lên phía trên vùng BT nén.

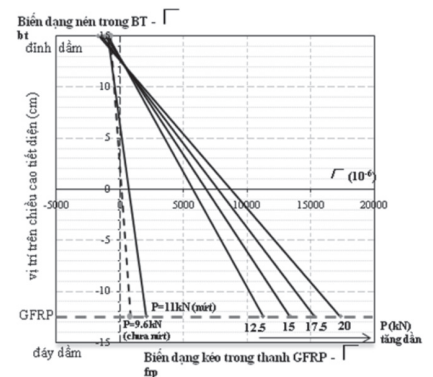
Quan sát thực nghiệm cho thấy dầm bố trí ít thanh GFRP là dầm DF2 (2φ10) có vết nứt phát triển nhanh hơn, bề rộng lớn hơn và khoảng cách giữa các vết nứt thưa hơn so với dầm DF1 bố trí nhiều thanh GFRP (3φ8). Điều này phù hợp với cơ sở lý thuyết vì bề rộng vết nứt trong dầm BT cốt GFRP phụ thuộc vào khoảng cách giữa các thanh GFRP [1]. Giá trị bề rộng vết nứt tại các cấp tải đầu tiên được tổng hợp trong bảng 4 – với cùng một cấp tải trọng bề rộng vết nứt của dầm DF2 (2φ10) là lớn hơn so với dầm DF1 (3φ8).

Bảng 4 - Bảng tổng hợp bề rộng vết nứt trong dầm theo các cấp tải

Cấp gia tải	Giá trị tải trọng P (kN)	Bề rộng vết nứt(mm)	
		Dầm DF1 (3φ8)	Dầm DF2 (2φ10)
1	0	0	0
2	5	0	0
3	7	0	0
4	8	0	0
5	10	0,7	1,0
6	11	1,0	1,2
7	12,5	1,6	1,9
8	13,5	1,8	2,1

###### b. Sự phát triển của biến dạng và ứng suất trong vật liệu

Sau khi dầm xuất hiện vết nứt, khi tiếp tục tăng tải, vết nứt phát triển sâu lên phía trên vùng BT nén, chiếm khoảng hơn 90% chiều cao tiết diện h. Lúc này, BT vùng nén có chiều cao rất nhỏ ( $\approx 0,1h$ ), nhưng dầm vẫn tiếp tục chịu lực được. Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa biến dạng nén của BT và biến dạng kéo của thanh GFRP trên tiết diện thẳng góc tại vị trí giữa dầm. Có thể thấy rằng chiều cao của BT vùng nén là rất nhỏ và gần như không thay đổi nhiều trong giai đoạn sau.



Hình 6 – Sự phát triển của biến dạng nén trong BT và biến dạng kéo trong thanh GFRP trước và sau khi nứt (Dầm DF2)

Bảng 5 tổng hợp các giá trị tải trọng, ứng suất trong thanh GFRP, bề rộng vết nứt và độ võng của dầm tại các mốc quan trọng trong quá trình thí nghiệm. Ta thấy, ngay sau khi dầm xuất hiện vết nứt thì bề rộng vết nứt nhanh chóng đạt đến giá trị giới hạn cho phép (0,7mm). Tải trọng gây nứt và tải trọng ứng với bề rộng vết nứt giới hạn là rất gần nhau. Cũng có thể thấy rằng dầm đạt mốc bề rộng vết nứt giới hạn trước khi đạt độ võng cho phép. Ở trạng thái giới hạn về bề rộng vết nứt, dầm mới đạt khoảng 36-40% khả năng chịu lực lớn nhất và ứng suất trong thanh GFRP đạt khoảng 30% cường độ giới hạn của thanh. Dầm đạt độ võng giới hạn ở tải trọng dưới 50% khả năng chịu lực tối đa.

Do đó, điều kiện hạn chế về bề rộng vết nứt sẽ là điều kiện khống chế khi thiết kế dầm BT

Bảng 5 - Bảng tổng hợp các chỉ tiêu về sự làm việc của các dầm tại các mốc quan trọng

TT	Thời điểm	Chỉ tiêu đo đạc	Dầm DF1 (3φ8)	Dầm DF2 (2φ10)
1	Dầm bắt đầu nứt	$P_n$ (kN)	10,05	10,15
		Ứng suất cốt giữa dầm $\sigma_n$ (MPa)	-	-
		Độ võng $f_n$ (mm)	1,39	1,92
2	Bề rộng vết nứt giới hạn (0,7mm)	$P_1$ (kN)	12,45	10,75
		Ứng suất cốt giữa dầm $\sigma_1$ (MPa)	291,7	293,5
		Độ võng $f_1$ (mm)	3,78	2,32
3	Độ võng giới hạn (1/200 = 11,5mm)	$P_2$ (kN)	14,80	13,40
		Ứng suất cốt giữa dầm $\sigma_2$ (MPa)	539,60	541,9
		Bề rộng vết nứt $w_2$ (mm)	Nứt rất to	Nứt rất to
4	Dầm phá hoại	$P_u$ (kN)	30,09	29,19
		Ứng suất cốt giữa dầm $\sigma_u$ (MPa)	Đứt cốt	Đứt cốt
		Độ võng $f_u$ (mm)	40,70	41,55

cốt GFRP hàm lượng thấp. Nói một cách khác, các dầm này nên sử dụng trong những kết cấu không cần yêu cầu khắt khe về điều kiện sử dụng (võng, nứt), nhưng trong trường hợp này cần có một hệ số dự trữ (hệ số an toàn) về cường độ khá cao để tránh xảy ra phá hoại đột ngột.

**c. Hình thức phá hoại**

Cả hai dầm đều phá hoại do đứt cốt GFRP. Tại thời điểm phá hoại, ứng suất trong thanh GFRP đạt cường độ cực hạn, còn biến dạng trong bê tông vùng nén cũng gần đạt tới giá trị biến dạng cực hạn của BT. Hình thức phá hoại của cả hai dầm tương đối đột ngột và nguy hiểm. Khi phá hoại dầm bị gãy làm đôi như một dầm BT không có cốt thép (hình 7).



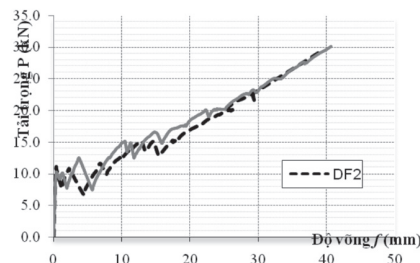
Hình 7 - Sự phá hoại của dầm BT cốt GFRP có hàm lượng cốt thấp

**4.2. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng**

**a. Đặc điểm của đường cong quan hệ tải**

**trọng - độ võng theo thực nghiệm**

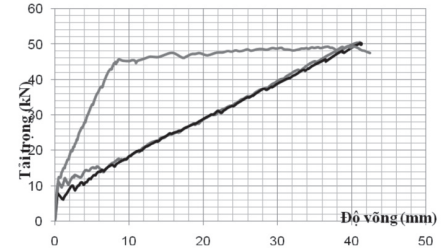
Hình 8 thể hiện đường cong quan hệ tải trọng - độ võng của các dầm trong quá trình thí nghiệm. Có thể thấy rằng hai dầm có biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng tương tự nhau. Với cùng một cấp tải thì độ võng của dầm DF2 (2φ10) lớn hơn một chút so với độ võng của dầm DF1 (3φ8).



Hình 8 - Quan hệ tải trọng - độ võng của các dầm BT có hàm lượng cốt GFRP thấp

Tại thời điểm tải trọng  $P \approx 1$  tấn, khi các dầm xuất hiện vết nứt đầu tiên, ta thấy biểu đồ tải trọng - độ võng có bước nhảy đột ngột với những đoạn đi xuống. Nguyên nhân là do các dầm này có hàm lượng cốt GFRP thấp nên khi dầm nứt, ứng suất trong thanh GFRP tăng nhanh, bề rộng vết nứt tăng vọt và vết nứt phát triển nhanh chóng làm cho độ cứng của dầm giảm xuống rất nhanh, độ võng tăng lên đột ngột. Tại thời điểm đó xảy ra sự trượt của tiếp điểm của lực tập trung tác dụng lên dầm làm cho dầm không tiếp nhận được tải trọng, dẫn đến giá trị tải trọng đo được giảm đột ngột và

hình thành đường đi xuống trên biểu đồ. Đây rõ ràng là một hiện tượng bất lợi trong sự làm việc chịu uốn của dầm BT có hàm lượng cốt GFRP thấp hơn hàm lượng cân bằng. Các nghiên cứu thực nghiệm về dầm BT cốt GFRP với hàm lượng cốt lớn hầu như không quan sát thấy hiện tượng giảm lực đột ngột này (hình 9).

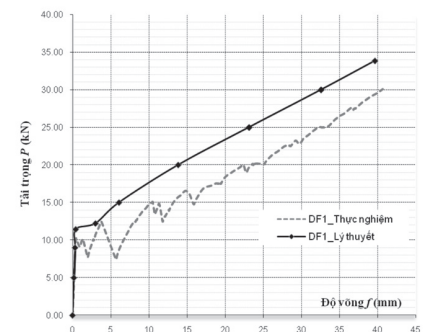


Hình 9 - Quan hệ tải trọng - độ võng của các dầm BT có hàm lượng cốt GFRP cao và dầm BTCT thông thường [3]

Sau khi dầm nứt, ta thấy sự tăng của biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng là gần như tuyến tính. Lúc này, do chiều cao của BT vùng nén là khá nhỏ và gần như không thay đổi (hình 6) nên cánh tay đòn của hợp lực kéo của các thanh GFRP là không thay đổi; do đó, khả năng chịu lực của dầm (chính là tải trọng đo được) tỷ lệ thuận với ứng suất trong thanh GFRP ( $\sigma_{frp}$ ). Ứng suất trong thanh lại tỷ lệ thuận với biến dạng của thanh và tỷ lệ thuận với độ võng của dầm. Do đó, khả năng chịu lực của dầm tỷ lệ thuận với độ võng và ta có đường cong tải trọng - độ võng gần như một đường thẳng cho tới khi dầm bị phá hoại. Ứng xử này của dầm BT cốt GFRP là khác với dầm BTCT thông thường (hình 9). Trên hình 9 ta thấy sau khi nứt, biểu đồ tải trọng - độ võng của các dầm BTCT và BT cốt FRP có hình dáng tương tự như biểu đồ ứng suất - biến dạng của vật liệu thép và vật liệu FRP.

**b. So sánh với kết quả tính toán theo lý thuyết**

Dựa trên lý thuyết tính toán của tiêu chuẩn ACI, với một giá trị của mô-men M có thể tính được một giá trị của độ võng ngắn hạn w thông qua việc tính toán mô-men quán tính hữu hiệu  $I_e$  dựa trên hiện tượng tăng cứng khi kéo (tension stiffening) xét đến sự làm việc của



Hình 10 - Quan hệ tải trọng - độ võng của dầm DF1 - So sánh lý thuyết và thực nghiệm

vùng bê tông nằm giữa hai khe nứt. Qua đó, ta có thể vẽ được biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng theo lý thuyết. Hình 10 thể hiện quan hệ tải trọng – độ võng của dầm DF1 dựa trên kết quả tính toán lý thuyết và dựa trên kết quả thực nghiệm.

Có thể thấy rằng hình dáng của đường cong tải trọng – độ võng theo lý thuyết và thực nghiệm là khá tương đồng. Điều đó chứng tỏ lý thuyết tính toán độ võng của tiêu chuẩn ACI dựa trên hình tượng tăng cứng khi kéo phản ánh khá đúng sự làm việc thực tế của dầm. Tuy nhiên, cũng có thể thấy rằng do các đoạn tụt lực đột ngột vì bề rộng vết nứt phát triển quá nhanh ở dầm BT có hàm lượng GFRP thấp chưa được xét đến trong tính toán lý thuyết nên đường cong thực nghiệm đi song song nhưng nằm bên dưới đường cong lý thuyết. Đây là một hiện tượng bất lợi trong sự làm việc của dầm BT cốt GFRP hàm lượng thấp cần được nghiên cứu kỹ hơn.

### 5. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu thực nghiệm về dầm BT cốt GFRP hàm lượng thấp cho thấy sự làm việc chịu uốn của dầm có nhiều điểm khác biệt so với dầm BTCT thông thường. Trong quá trình gia tải, vết nứt vùng kéo phát triển rất nhanh cả về bề rộng lẫn chiều cao làm thu hẹp vùng BT nén. Dầm đạt bề rộng vết nứt cho phép rất sớm khi khả năng chịu lực của dầm mới chỉ đạt khoảng 40% khả năng chịu lực tối đa, còn ứng suất trong cốt GFRP đạt khoảng 30% cường độ kéo cực hạn; sau đó, dầm đạt độ võng cho phép ở tải trọng dưới 50% khả năng chịu lực tối đa. Phá hoại của dầm xảy ra do đứt cốt GFRP là tương đối đột ngột.

Như vậy, trạng thái giới hạn về điều kiện sử dụng, cụ thể là điều kiện về bề rộng vết nứt giới hạn thường là điều kiện khống chế khi thiết kế dầm BT cốt GFRP hàm lượng thấp. Trong trường hợp các dầm này được sử dụng trong các kết cấu không có yêu cầu khắt khe về điều kiện sử dụng (võng, nứt) thì khi thiết kế cần có hệ số dự trữ (hệ số an toàn) về cường độ tương đối cao để tránh sự phá hoại đột ngột của dầm.

Ngoài ra, do hàm lượng cốt GFRP trong dầm thấp và mô-đun đàn hồi của thanh GFRP khá nhỏ nên khi gia tải sau nứt, bề rộng vết nứt trong dầm phát triển rất nhanh, gây ra hiện tượng dầm bị giảm độ cứng đột ngột trong quá trình chịu tải. Đây là một hiện tượng bất lợi cần được nghiên cứu kỹ hơn và tìm biện pháp khắc phục.

Trong tương lai, để có thể đưa kết cấu BT cốt GFRP vào sử dụng rộng rãi, cần có nhiều hơn nữa các nghiên cứu thực nghiệm để hiểu rõ về sự làm việc của kết cấu. Đồng thời, cần xây dựng và hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn áp dụng cho điều kiện Việt Nam để sử dụng trong công tác thiết kế và thi công các công trình BT cốt GFRP trong nước.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ACI 440.1R-06 (2006), Guide for the Design and construction of structural concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute.
2. Phan Quang Minh, Đinh Chính Đạo, Nguyễn Văn Khánh (2014), Kết cấu bê tông đặt cốt sợi Composit phi kim loại - nguyên lý thiết kế theo tiêu chuẩn Nga, Đại học Xây dựng.
3. Lê Thành Trung (2014), Nghiên cứu thực nghiệm cấu kiện BT cốt sợi thủy tinh chịu uốn theo điều kiện sử dụng, Luận văn Thạc sỹ, Đại học Xây dựng.
4. Cristina Barris Pena (2010), Serviceability behavior of FRP reinforced concrete beams, Doctoral thesis, University of Girona.