

Mô hình hóa sự làm việc của dầm bê tông cốt phi kim loại được gia cường bằng tấm FRP

Fem modeling for frp-reinforced concrete beams strengthened in shear by FRP laminates

> **TRẦN CAO THANH NGỌC**

Khoa Kỹ thuật và QLXD, Trường ĐH Quốc tế - Đại học Quốc gia TP.HCM.
Đại học Quốc gia TP.HCM.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phân tích về ứng xử của dầm bê tông cốt phi kim loại Fiber-Reinforced Polymer (FRP) được gia cường bằng tấm FRP. Dựa trên nghiên cứu thực nghiệm đã thực hiện, mô hình mô phỏng phân tử hữu hạn (PTHH) được thiết lập và đối chứng với kết quả thí nghiệm. Sau đó, mô hình được sử dụng để đánh giá hiệu quả của một số phương án gia cường dầm bằng tấm FRP. Kết quả mô phỏng cho thấy với việc gia cường dầm bằng tấm FRP cải thiện đáng kể sức kháng cắt của dầm, tỉ lệ thuận với hàm lượng được gia cường. Cụ thể với việc gia cường toàn bộ dầm bằng 2 lớp FRP, sức kháng tăng lên tới 57% so với dầm không gia cường.

Từ khóa: FRP; dầm; ứng xử cắt; gia cường; mô hình hóa

ABSTRACT

This research presents an analytical study on the behavior of FRP-reinforced concrete beams strengthened in shear by FRP laminates. The FEM model is used to verify the results from the experimental studies. The parametric studies are conducted to study the effects of number of FRP layers on the behaviors of such beams. The analytical results indicate that the shear strengths of the beams are increased with the increase in the number of FRP layers. As comparing with the controlled beams, the shear strength of the beams with two layers of FRP increases by 57%.

Key words: FRP; beam; shear behaviour; strengthened; modeling

MỞ ĐẦU

Đối với các công trình xây dựng ven biển nói riêng hay ở môi trường nhiễm mặn nói chung, ăn mòn cốt thép là mối nguy cơ hiện hữu. Ngoài các giải pháp chống ăn mòn cho cốt thép, một hướng mới có tính bền vững là sử dụng các vật liệu cốt phi kim loại để thay thế cốt thép truyền thống. Trong số các loại vật liệu phi kim loại có thể làm cốt chịu lực cho bê tông thì cốt thanh phi kim loại Fiber-Reinforced Polymer (FRP) đã được nghiên cứu và đưa vào sử dụng từ hơn 2 thập kỷ qua. Cốt thanh FRP được tạo nên bằng

cách gắn kết các sợi (thủy tinh, aramid, các bon, bazan) bởi các chất nền là nhựa polyme. Cốt thanh FRP có ưu điểm rất lớn là cường độ chịu kéo cao hơn cốt thép truyền thống, trọng lượng rất nhẹ, không nhiễm từ và đặc biệt là không bị ăn mòn. Hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam đã có tiêu chuẩn về cốt thanh FRP và loại thanh sợi thủy tinh đã được sản xuất trong nước từ năm 2015 [1], [2]. Tuy nhiên các tiêu chuẩn trên mới chỉ nêu các quy định tổng quan về nguyên tắc sử dụng, thiết kế, các quy định về vật liệu và phương pháp thử. Trong khi đó một số công trình đã được ứng dụng thanh FRP ở vùng biển-đảo, công trình nuôi trồng thủy sản nước mặn hay tường vây ga tàu điện ngầm [3-7]. Chính vì vậy, việc có những hư hỏng trong quá trình khai thác của các công trình sử dụng thanh FRP trên là điều khó tránh khỏi, nhất là trong bối cảnh kết cấu còn chịu nhiều tác động của tải trọng khác ngoài ăn mòn.

Để khắc phục, gia cố hư hỏng, phương pháp phổ biến được áp dụng hiện nay là dán tấm FRP thông qua các chất kết dính như epoxy, polyester, vinylester. Tấm FRP có nhiều ưu điểm như cường độ chịu kéo cao, chống ăn mòn, trọng lượng nhẹ, dễ thi công, tiết diện sau gia cường hầu như không thay đổi. Hiệu quả của tấm phụ thuộc rất nhiều vào quá trình thi công cũng như loại sợi. Làm rõ sự làm việc của kết cấu bê tông cốt phi kim được gia cường FRP vì thế là một vấn đề cấp thiết.

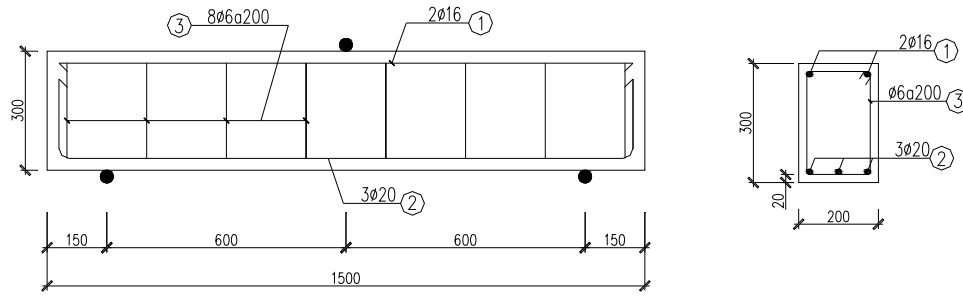
1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Hai mẫu dầm giống nhau có chiều dài 1,5m, mặt cắt ngang 200mm x 300mm được chế tạo để khảo sát trong nghiên cứu. Mẫu 1 (C-2.3) là dầm chưa được gia cường và mẫu 2 (FRP1-2.3) được gia cường bằng 1 lớp tấm FRP. Bê tông sử dụng có cường độ chịu nén trung bình 35 MPa. Bảng 1 thể hiện các thông số của cốt thanh thủy tinh FRP và tấm dán carbon FRP.

Bảng 1. Đặc trưng cơ học của vật liệu

Dạng	EF (GPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Diện tích tiết diện (mm ²)	Chiều dày (mm)
Thanh FRP D6	42,5	810,0	19,6	-
Thanh FRP D16		800,2	165,0	-
Thanh FRP D20		801,3	240,4	-
Tấm FRP	82,0	834,3	-	0,51
Keo Tyfo S Epoxy	3,18	72,4	-	-

Các mẫu được thí nghiệm theo sơ đồ uốn 3 điểm. Tỷ lệ giữa cánh tay đòn chịu lực với chiều cao có hiệu là $a/d=2,3$. Các mẫu được gia tải theo chuyển vị tăng dần cho đến khi phá hoại.

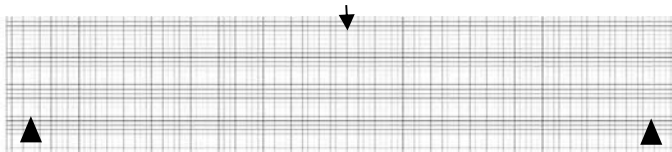


Hình 1. Kích thước dầm nghiên cứu

2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG PTHH

Thiết lập mô hình

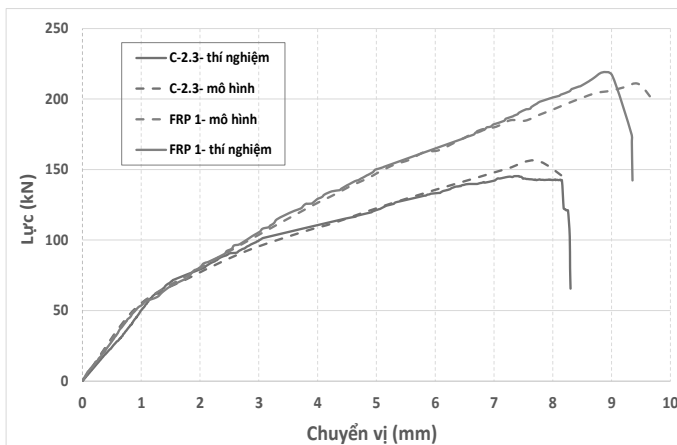
Mô hình được xây dựng dựa trên phần mềm PTHH Cast3M. Đây là phần mềm có mã nguồn mở, được xây dựng và phát triển bởi viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử (CEA) của Pháp. Lưới phần tử hữu hạn của mô hình phẳng được thể hiện trên Hình 2. Bê tông được miêu tả bằng phần tử 4 nút (SEG4), cốt thép được mô hình bằng phần tử thanh 2 nút (SEG2). Tổng cộng, lưới phần tử hữu hạn gồm có 3080 phần tử. Các kết quả thu được trên các lưới phần tử mịn hơn không cho thấy sự chênh lệch đáng kể so với lưới phần tử được giới thiệu ở trên. Sự dính bám giữa bê tông, thép hình và cốt thép được giả thiết là dính bám tuyệt đối. Ứng xử của bê tông được miêu tả bằng mô hình Mazars trong Cast3M. Mô hình này cho phép miêu tả các ứng xử phi tuyến của bê tông khi chịu tải. Mô hình đàn dẻo tuyệt đối được sử dụng để miêu tả ứng xử của thanh FRP.



Hình 2. Lưới PTHH

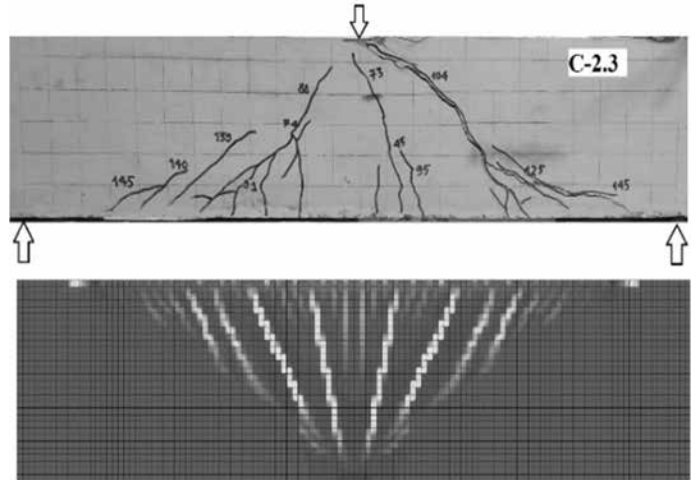
So sánh kết quả mô hình và kết quả thí nghiệm

Đường cong quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị tại giữa dầm được thể hiện, so sánh tại Hình 3. Về mặt tổng thể, mô hình mô phỏng bám sát sự kết quả đã thu được từ thực nghiệm. Sau giai đoạn đàn hồi, các vết nứt dần xuất hiện khi tải trọng tác dụng tăng lên. Với việc gia cường bằng một lớp FRP, độ cứng của dầm FRP 1 được cải thiện đáng kể. Lực cắt tới hạn thí nghiệm của dầm gia cường tăng khoảng 50% so với dầm đối chứng (216 kN so với 144 kN). Các giá trị này ở mô hình mô phỏng là 210 kN và 155 kN.



Hình 3. Quan hệ lực cắt - chuyển vị giữa dầm

Dạng phá hoại của các mẫu dầm được thể hiện tại Hình 4. Với mẫu dầm không gia cường C-2.3, các vết nứt nghiêng đầu tiên xuất hiện mép phía dưới, ở 2 phía trong của gối. Khi tải trọng tăng lên, các vết nứt lan dần lên vị trí tác dụng lực. Bên cạnh đó, các vết nứt khác lan dần ra phía gối rồi cũng tiếp tục kéo dài lên đồng quy tại điểm đặt lực. Mô hình mô phỏng cũng cho thấy dạng phá hoại khá tương đồng về sự phân bố ứng suất, khẳng định mô hình có khả năng phân tích chính xác ứng xử của dầm.



Hình 4. Dạng phá hoại của dầm không gia cường

3. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC GIẢI PHÁP GIA CƯỜNG

Các phương án khảo sát

Mô hình mô phỏng đã được xây dựng sẽ được sử dụng nhằm đánh giá sự ảnh hưởng của các giải pháp gia cường khác nhau đối với dầm bê tông cốt thanh FRP chịu cắt. Các trường hợp khảo sát được tóm tắt ở Bảng 2.

Bảng 2. Các trường hợp khảo sát

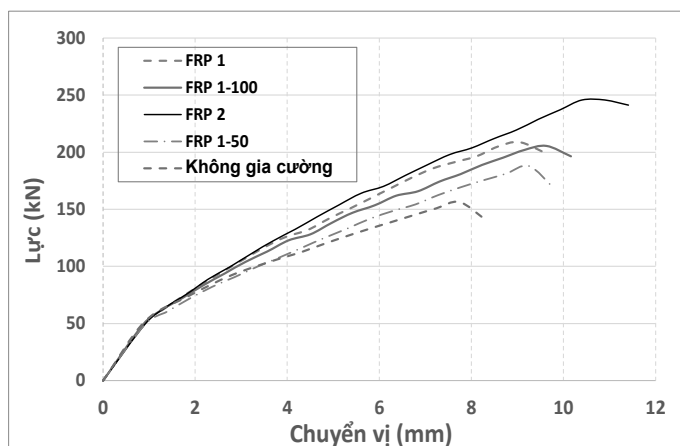
Tên dầm	Đặc điểm
C-2.3	Dầm đối chứng, không được gia cường
FRP 1	Dầm gia cường 1 lớp FRP
FRP 1-50	Dầm gia cường các dải FRP 50mm cách nhau 50mm
FRP 1-100	Dầm gia cường các dải FRP 50mm cách nhau 100mm
FRP 2	Dầm đối chứng, không được gia cường

Phân tích ảnh hưởng các tham số

Kết quả được phân tích đầu tiên là đường cong thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt và chuyển vị tại giữa dầm. Như ta thấy, ứng xử của các dầm là tương đồng ở giai đoạn đàn hồi. Tuy nhiên kể từ khi vết nứt đầu tiên xuất hiện, sự làm việc của các dầm có sự khác

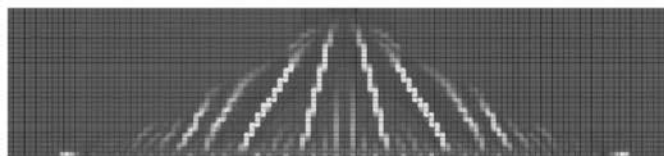
nhau rõ ràng. Đối với dầm đối chứng không gia cường, độ cứng bị suy giảm nhanh nhất tương ứng với tốc độ lan truyền của các vết nứt xiên do chịu cắt cho đến khi bị phá hoại tại giá trị lực cắt 156 kN, tương ứng chuyển vị giữa dầm 7,7 mm. Các phương án gia cường bằng các 1 lớp (dải FRP rộng 50 mm FRP 1-50, đặt cách nhau 100 mm (dầm FRP 1-100), 1 lớp toàn bộ không chỉ giúp dầm tăng độ cứng và điểm phá hoại gần như tương đồng. Điều này có thể giải thích được là do vị trí các vết nứt phần nhiều nằm trong vùng dải FRP nên sự khác biệt không rõ ràng. Lực cắt lớn nhất của 3 trường hợp này so với mẫu không gia cường tăng lên lần lượt 21%, 31% và 33%.

Trong khi đó nếu gia cường toàn bộ mặt dưới và hai mặt bên dầm bằng 2 lớp (FRP 2), độ cứng của dầm tăng lên rõ rệt. Sức kháng cắt của dầm tăng lên 245 kN, tương đương với 57% so với dầm đối chứng không gia cường.

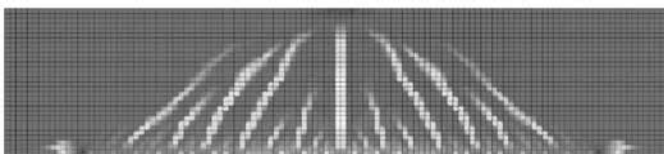


Hình 5. Quan hệ lực cắt - chuyển vị giữa dầm

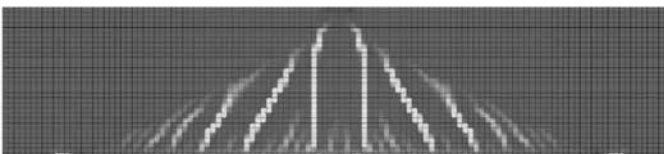
Hình ảnh phân bố ứng suất thêm trên bề mặt dầm thêm khẳng định sự khác biệt giữa các giải pháp gia cường (Hình 6). Rõ ràng khi hàm lượng FRP đủ lớn (ở 3 trường hợp FRP 1-50, FRP1, FRP 2), dầm đã cải thiện đáng kể về độ cứng. Dạng phá hoại tương đồng với việc các vết nứt sẽ phát tán chậm hơn so với dầm chưa gia cường.



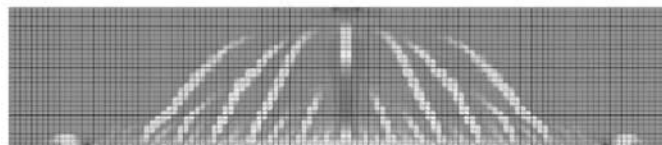
Không gia cường



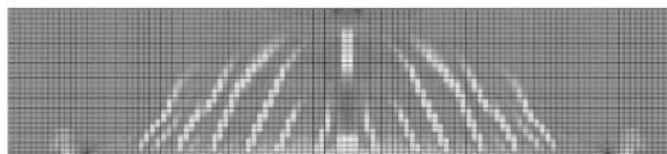
FRP 1-50



FRP 1-100



FRP 1



FRP 2

Hình 6. Dạng phá hoại của các dầm

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, sự làm việc của dầm bê tông cốt phi kim loại gia cường bằng tấm FRP đã được phân tích dựa trên kết quả thực nghiệm và mô phỏng số. Một mô hình mô phỏng PTHH có xét đến tính phi tuyến của vật liệu được xây dựng và đối chứng với kết quả thí nghiệm. So sánh và phân tích cho thấy mô hình đề xuất có khả năng mô phỏng chính xác ứng xử tổng thể lẫn cục bộ của dầm. Mô hình mô phỏng sau đó đã được sử dụng nhằm làm rõ sự ảnh hưởng của các phương án gia cường tấm FRP cho dầm chịu cắt. Kết quả cho thấy với việc gia cường dầm bằng tấm FRP cải thiện đáng kể sức kháng cắt của dầm, tỉ lệ thuận với hàm lượng được gia cường. Cụ thể với việc gia cường toàn bộ dầm bằng 2 lớp FRP, sức kháng tăng lên tới 57% so với dầm không gia cường. Điều đó khẳng định hiệu quả của giải pháp gia cường dầm bê tông cốt phi kim loại khi chịu cắt bằng tấm FRP, tương đồng các nghiên cứu đối với gia cường dầm bê tông cốt thép.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP.HCM (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số B2021-28-04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 11109:2015. *Cốt composite polyme*, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [2]. TCVN 11110:2015. *Cốt composite polyme dùng trong kết cấu bê tông và địa kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [3]. Đỗ Đức Thắng (2012), Triển vọng ứng dụng cốt sợi thủy tinh gia cường polymer thay thế cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép ở Việt Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (số 14 /12 /2012).
- [4]. Nguyễn Hùng Phong (2014), "Một số vấn đề về thiết kế cấu kiện chịu uốn bằng bê tông cốt thanh polyme cốt sợi thủy tinh", *Tạp chí Xây dựng*, số 8/2014, tr. 43-48.
- [5]. 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, tr.61-65.
- [6]. Trần Long Giang (2016), "Nghiên cứu sử dụng vật liệu bê tông cốt sợi thủy tinh kết hợp thanh composite trong thiết kế trụ tiêu bảo hiệu Hàng Hải", *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Hàng Hải*, số 45(1859-316x), tr. 73-76.
- [7]. Phan Minh Tuấn (2019) "Khả năng chịu mô men uốn của dầm bê tông cốt hỗn hợp thép và GFRP theo TCVN 5574:2018", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng*, số 13(4V), tr. 73-81.