

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ UỐN CỦA BẢN BÊ TÔNG CỐT THÉP GIA CƯỜNG BẰNG TẤM CỐT SỢI TỔNG HỢP

**ThS. Nguyễn Chí Thanh** (chủ biên)

**KS. Phạm Thị Thu Thủy**

*Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*

**ThS. Vũ Văn Thành**

*Trường Đại học Giao thông vận tải*

**Tóm tắt:** Bản bê tông cốt thép là cấu kiện phổ biến trong kết cấu kỹ thuật công trình dân dụng, cầu đường và thủy lợi. Sức chịu tải của kết cấu này có thể được tăng cường nhờ việc ứng dụng tấm composite dán trên bề mặt chịu kéo. Ứng xử của kết cấu sau khi gia cường là phức tạp do sự phân phối lại nội lực khi chịu tải của kết cấu. Sự có mặt của tấm gia cường làm thay đổi trạng thái phá hoại của tấm uốn, đặc biệt sự phá hủy có thể xuất hiện do sự bong bật dính bám giữa bản bê tông và tấm composite. Trong phạm vi bài báo này, ứng xử của của bản bê tông cốt thép chịu uốn được gia cường bằng tấm composite được nghiên cứu thông qua phương pháp thí nghiệm. Các kết quả thu được sẽ được phân tích và thảo luận.

## 1. Giới thiệu

Việc gia cường cho kết cấu bê tông cốt thép sau một thời gian khai thác đã khẳng định ý nghĩa quan trọng trong ngành xây dựng và là một thành phần chính trong nhiệm vụ của ngành công trình. Sự cần thiết của việc gia cường bắt nguồn từ việc thay đổi điều kiện sử dụng của các công trình hiện hữu. Khi kết cấu không đảm bảo khả năng chịu lực dưới tác dụng của tải trọng thì việc gia cường có thể giúp cho kết cấu phục hồi một phần cũng như nâng cao sức chịu tải để thoả mãn điều kiện khai thác. Mục tiêu ở đây là, với sự gia cường nhỏ nhất có thể nhưng đạt được khả năng khai thác cao nhất. Với các kết cấu sử dụng bản bê tông cốt thép, ứng xử chịu lực chủ yếu là uốn và cắt.

Vật liệu composite mới gia cường cho kết cấu bê tông có tiềm năng lớn và có thể đảm nhiệm được cả hai việc: sửa chữa gia cường và làm tăng sức chịu tải của kết cấu. Với ưu điểm nhẹ, cường độ cao, mô đun đàn hồi lớn và khả năng chống ăn mòn cao, vật liệu composite cốt sợi các-bon và thủy tinh rất thích hợp cho việc gia cường kết cấu bê tông cốt thép. Hơn thế nữa, việc sử dụng các tấm composite bọc lên bề mặt cấu kiện còn có thể bảo vệ và hạn chế sự gỉ cũng như ăn mòn của các phần cốt thép bên trong lòng bê tông.

So với dầm, kết cấu bản bê tông cốt thép thường có chiều cao mặt cắt nhỏ hơn nhiều. Khi có sự tham gia của lớp vật liệu gia cường composite ở bề mặt chịu kéo của cấu kiện, chiều cao vùng chịu nén được tăng lên kéo theo vùng chịu kéo giảm đi. Do đó, nếu đối với kết cấu dầm được gia cường bằng tấm composite bị phá hoại có thể do tổn hại của phần bê tông chịu kéo tại mặt cắt có mô men uốn lớn, thì trong trường hợp với bản bê tông được gia cường sự phá hoại do bong bật giữa lớp gia cường khỏi bề mặt cấu kiện là chủ yếu [1].

## 2. Nghiên cứu thí nghiệm

### 2.1. Mục tiêu của thí nghiệm và các tham số

Mục tiêu của thí nghiệm là xem xét ứng xử chịu tải của bản bê tông cốt thép chịu uốn với sự tham gia của vật liệu gia cường composite. Ngoài ra, các vấn đề được quan tâm là tải trọng lớn nhất mà bản gia cường có thể chịu được cũng như dạng phá hoại của kết cấu. Trong bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu ứng xử của 4 bản bê tông cốt thép trong đó có 3 bản được gia cường 2 lớp vật liệu composite ở mặt dưới với kiểu bố trí trục hướng. Các thông số của chương trình thí nghiệm được trình bày trong bảng 1.

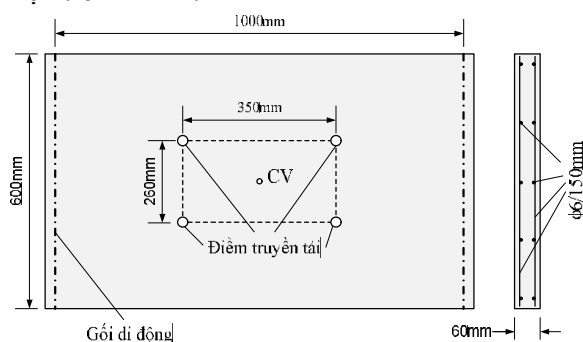
*Bảng 1: Các thông số của chương trình thí nghiệm*

Bản số	Kích thước (cm <sup>3</sup> )	Cốt dọc	Cốt ngang	Bề dày bê tông bảo vệ	Kiểu gia cường	Số lớp gia cường
B01	60x100x6	φ6/150mm	φ6/150mm	10mm	-	-
B02	60x100x6	φ6/150mm	φ6/150mm	10mm	trục hướng	2
B03	60x100x6	φ6/150mm	φ6/150mm	10mm	trục hướng	2
B04	60x100x6	φ6/150mm	φ6/150mm	10mm	trục hướng	2

## 2.2. Mẫu thí nghiệm – Hình học và vật liệu

### 2.2.1. Bản bê tông

Sức kháng uốn của bản bê tông được gia cường bằng tấm composite được nghiên cứu với mẫu thí nghiệm có kích thước bề rộng 600mm, dài 1000mm và dày 60mm. Tất cả các bản đều được chế tạo cùng một loại công thức bê tông. Để phản ánh trường hợp bất lợi của chất lượng bê tông đối với kết cấu thực tế khi bị suy giảm, bê tông được chọn có mác 200#. Một bản không sử dụng bản gia cường tấm composite và được dùng để làm bản đối chứng khi thí nghiệm cho các bản khác. Tất cả các bản đều sử dụng cùng một loại cốt thép có cường độ chảy 290 MPa. Đường kính của thép dọc và ngang là 6mm với bước cốt thép 150mm. Bề dày lớp bê tông bảo vệ là 10mm. Các kích thước hình học cũng như việc bố trí cốt thép của mẫu thí nghiệm được thể hiện trên hình 1.



Hình 1: Mô hình thí nghiệm và các điểm đo chuyển vị và biến dạng

### 2.2.2. Lớp vật liệu gia cường composite

Vật liệu composite được làm từ các sợi trong một kết dính polyme và được biết đến như là cốt sợi polyme (fiber-reinforced polymers – FRP). Nó được xem như là một giải pháp thay thế cho vật liệu và kỹ thuật truyền thống trong gia cường kết cấu. Vật liệu cốt sợi tổng hợp có ưu điểm là nhẹ, không bị rỉ và có cường độ kéo

cao. Hơn nữa, những vật liệu này có thể được sản xuất nhanh chóng theo một số hình dạng tạo thành các tấm composite và có thể uốn cuộn phù hợp với các loại bề mặt của cấu kiện trước khi cho keo dính kết giữa chúng. Các tấm composite có bề dày tương đối mỏng có thể thỏa mãn được yêu cầu về mặt kiến trúc cũng như những tiêu chí khác liên quan [2].

Trong các thí nghiệm được thực hiện ở nghiên cứu này, các tấm gia cường composite được lấy từ nhà cung cấp Fyfe với chủng loại SEH-25A có bề dày 0,635mm, cường độ chịu kéo 521 MPa, mô đun đàn hồi 26,1 GPa và độ dẫn dài cực hạn 2,0%. Keo dính được sử dụng có cường độ chịu kéo là 72,4 MPa, mô đun đàn hồi 3,18 GPa và độ dẫn dài 5,0%. Trong trường hợp chịu uốn, keo dính có cường độ là 123,4 MPa và mô đun đàn hồi là 3,12 GPa.

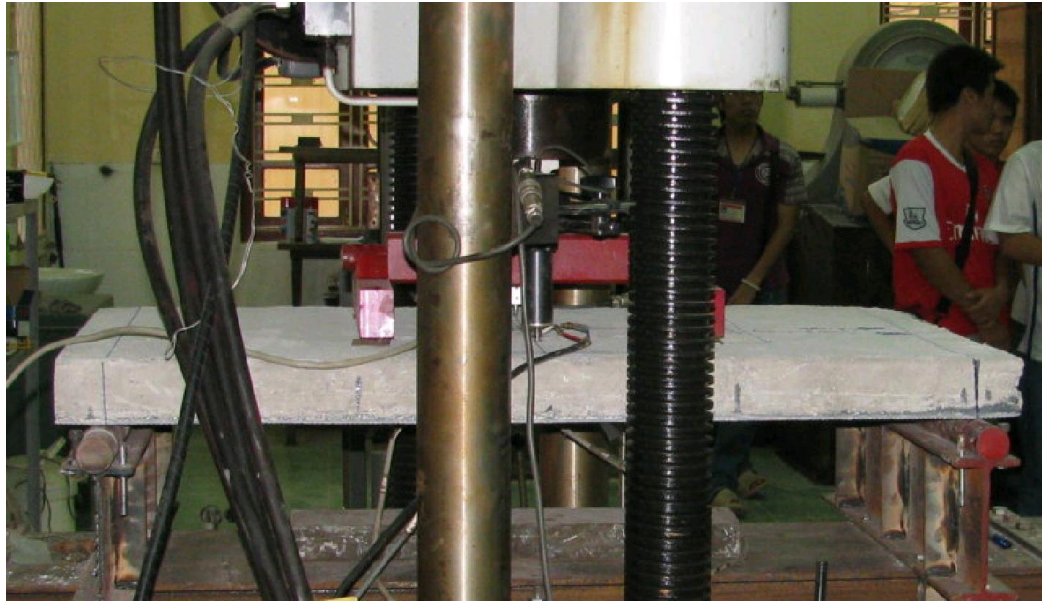
## 2.4. Thực hiện thí nghiệm

Các bản được lần lượt gia tải tại bốn điểm đối xứng nhau với giá trị bằng nhau thông qua một giá phân tải theo nguyên tắc đòn bẩy đến khi bị phá hoại (xem hình 1). Nội dung công việc đo đạc kết quả thí nghiệm bao gồm:

- Đo chuyển vị (độ võng) tại điểm giữa bản. Đầu đo biến dạng kết nối với máy đo chuyển vị và biến dạng tĩnh SDA 830C do Nhật Bản chế tạo. Số liệu đo được ghi tự động vào tệp dữ liệu lưu trữ trong máy tính điều khiển dụng cụ đo và được ghi theo các bước thời gian định sẵn.
- Đo các biến dạng tại bốn điểm dùng các cảm biến được dán vào bề mặt trên và dưới của bản có sơ đồ như hình 1. Các cảm biến sử dụng là loại của Nhật sản xuất, có độ dài 5 cm và sai số là 1%.

Việc gia tải bằng máy kéo nén vạn năng HUTM sản xuất từ Mỹ và thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM. Quá trình gia tải được lập trình theo ý đồ bằng phần mềm điều khiển máy

HUTM. Số liệu đo về lực và chuyển vị của đầu gia tải cũng được ghi tự động vào tệp dữ liệu.



Hình 2: Thí nghiệm bản bê tông cốt thép gia cường bằng tấm composite

### 3. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

#### 3.1. Đặc tính vật liệu

Để xác định đặc tính của vật liệu, 6 mẫu bê tông hình lập phương kích thước 100mm x 100mm x 100mm được thí nghiệm. Các kết quả tính từ thí nghiệm các mẫu này được lấy trung bình và tổng hợp trong bảng 2. Để phục vụ cho việc mô phỏng lại ứng xử của các bản này với

việc xem xét tính chất phi tuyến vật liệu, các thông số còn lại của vật liệu được tính toán theo tiêu chuẩn Model Code 2010 [3] vì các tiêu chuẩn tính toán thiết kế trong nước chưa có [4]. Như vậy, ngoài cường độ chịu nén của bê tông có được từ kết quả thí nghiệm nén mẫu, các thông số vật liệu cần thiết khác như cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của bê tông cũng được xác định.

Bảng 2: Kết quả thí nghiệm của mẫu bê tông (thực hiện cùng thời gian với thí nghiệm bản)

Mẫu bản thí nghiệm	Tuổi (ngày)	$f_{c,cube(100mm)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ctm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )
B01 – B04	28	27,82	21,59	29,59	2,33	29383

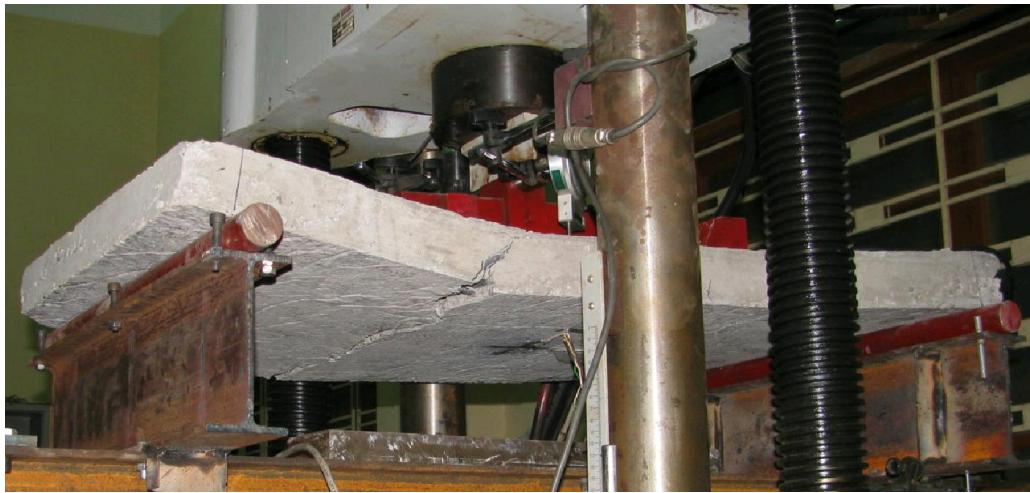
#### 3.2. Thí nghiệm bản

Trạng thái phá hủy của mẫu thí nghiệm đối với bản không gia cường và có gia cường được ghi lại và thể hiện trong hình 3. Đối với bản không gia cường, dạng phá hủy là do mô men uốn. Ngay vị trí đặt tải có tải trọng cục bộ đồng thời cũng là vị trí có mô men lớn nhất và trong trường hợp thí nghiệm bản không gia cường đã

bị phá hủy tại vị trí này (hình 3a). Cốt thép bị chảy dẻo trong khi bê tông vùng nén vẫn còn có thể chịu lực được.

Không giống như trường hợp với bản B01, các bản có gia cường lớp vật liệu composite có phá hoại do sự bong bật của lớp gia cường tại vị trí có mô men và lực cắt đều lớn. Toàn bộ các bản B02, B03, B04 đều có dạng phá hoại này (hình 3b).

a) Dạng phá hoại của bản B01 (không gia cường)



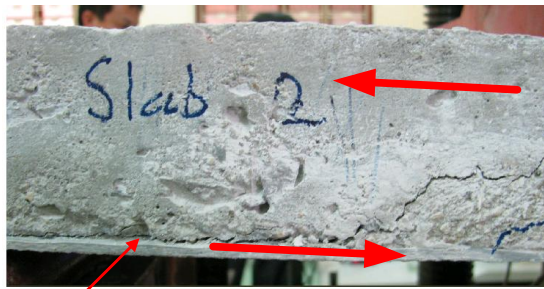
b) Dạng phá hoại của bản B02, B03, B04 (có gia cường)



Hình 3: Hình ảnh kết quả thí nghiệm của bản ở trạng thái phá hoại

Để giải thích cho dạng phá hủy này, hình 4a minh họa dòng lực trong bản khi gia tải. Dưới tác dụng của tải trọng, kết cấu bị uốn cong theo hướng xuống dưới. Bê tông ở phần trên chịu nén và cốt thép cũng như bản gia cường và bê tông ở phần dưới chịu kéo. Hai lực này ngược chiều nhau và gây ra lực trượt giữa bản bê tông và tấm gia cường. Tại vị trí có lực cắt lớn, thì lực gây trượt này cũng lớn. Cũng vì dòng lực ngược chiều này quyết định đến trạng thái ứng suất của bê tông mà cụ thể là trạng thái ứng suất chính có phương xiên. Khi ứng suất kéo chính lớn hơn cường độ chịu kéo của bê tông, sẽ tạo ra

vết nứt xiên. Vết nứt này tiếp tục phát triển theo sự gia tăng của tải trọng. Sự chênh lệch về chuyển vị của hai phần mép bên trái và phải của vết nứt cũng tạo ra lực kéo bóc tách lớp gia cường khỏi bề mặt bê tông. Lực này kết hợp với lực trượt giữa bê tông và lớp gia cường khi đủ lớn sẽ tạo ra vết nứt dọc theo lớp dính kết. Khi tải trọng tiếp tục tăng tới một giá trị đủ lớn, lực bóc tách này tác dụng lên cả mặt liên kết kéo dài tới điểm cuối cùng của bản (qua điểm gối) và toàn bộ lớp kết dính bị phá hoại (hình 4b). Sự phá hoại này là đột ngột như kết quả thu được ở biểu đồ 5.



Liên kết giữa bản gia cường và bê tông bắt đầu bị phá vỡ

a) Trạng thái phát triển vết nứt



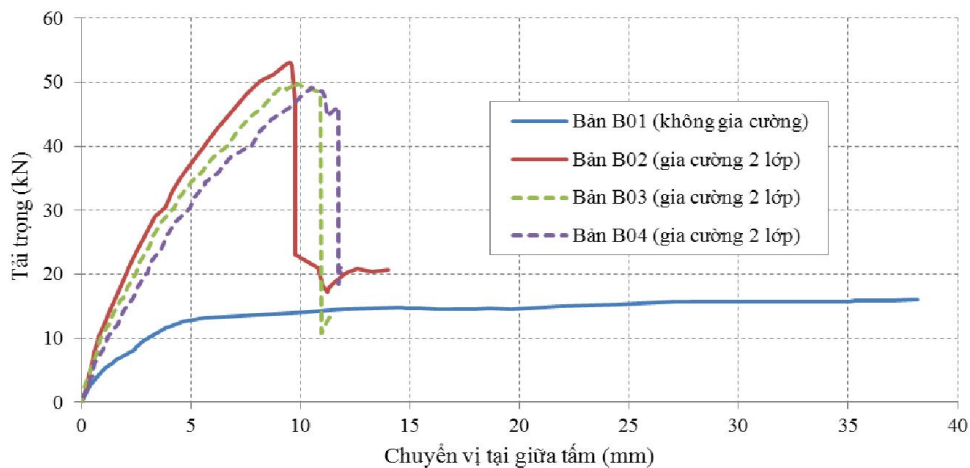
Vết nứt bị mở rộng ở trạng thái phá hoại

a) Trạng thái phá hoại

Hình 4: Dạng phá hoại của bản gia cường

Các quan hệ chuyển vị - tải trọng của các bản này được thể hiện trên hình 5. Ở đây, bản B01 với chỉ cốt thép thường thể hiện một miền chảy dẻo rất lớn và có chuyển vị ở trạng thái tới hạn là 38mm. Ở trạng thái này, bản có tỷ lệ chuyển vị tương đối so với chiều dài nhịp uốn là 3,8%. Tải trọng lớn nhất mà bản B01 chịu được là khoảng 17 kN. Ngược lại, các bản B02, B03 và B04 gần như không có miền chảy dẻo do bị phá

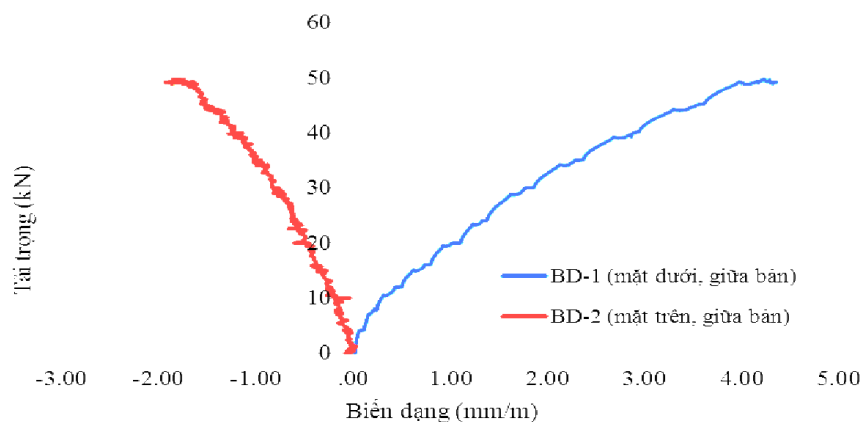
hoại đột ngột bởi sự bong bật của lớp gia cường. Các đường cong quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng có cùng một dạng và giá trị tải trọng tới hạn cũng như chuyển vị tới hạn tương đối gần nhau. Ở đây, giá trị trung bình của tải trọng tới hạn là xấp xỉ 50 kN, của chuyển vị là 11mm. Như vậy, kết cấu bản được gia cường có sức chịu tải lớn xấp xỉ bằng ba lần so với kết cấu không gia cường (300%).



Hình 5: Biểu đồ quan hệ chuyển vị-tải trọng ở vị trí giữa dầm

Hình 6 trình bày kết quả đo biến dạng tại mặt dưới và mặt trên của bản có gia cường ở vị trí giữa bản. Bê tông chịu nén có biến dạng nén lớn nhất khoảng -2‰. Lớp vật liệu gia cường có biến dạng ứng với tải trọng phá hoại là 4,4‰. Giá trị biến dạng này cũng khẳng định là bê tông vùng chịu nén cũng như cốt thép thường vùng chịu kéo chưa bị phá hoại. Ở bản không

gia cường (B01), biến dạng lớn nhất ở vị trí giữa bản tại thớ chịu nén là -0,9‰ và ở thớ chịu kéo là 1,2‰. Các giá trị này cho thấy chuyển vị của bản chủ yếu do biến dạng của cốt thép tại vị trí có vết nứt gây ra, đồng thời là lượng cốt thép thường trong bản là nhỏ nên kết cấu chưa khai thác được hết phần bê tông chịu nén.



Hình 6: Biểu đồ biến dạng của mặt cắt giữa bản B03

#### 4. Tổng kết

Sức chịu tải của kết cấu bản được gia cường bằng lớp vật liệu composite được tăng lên nhiều, trong trường hợp thí nghiệm này là khoảng 200%. Kết quả thí nghiệm cho thấy toàn bộ các dầm được gia cường bị phá hoại do sự bong bật của lớp gia cường tại vị trí có mô men và lực cắt tương đối lớn. Việc nghiên cứu ảnh hưởng của mức độ gia cường tới sự dính bám

giữa bê tông và lớp vật liệu gia cường cùng với ứng xử của vùng chịu cắt và uốn là rất cần thiết. Để có thể khảo sát và phân tích đầy đủ hơn ứng xử của bản bê tông cốt thép được gia cường bằng vật liệu composite, các thí nghiệm sau cần tập trung vào xem xét sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép thường, vị trí tác dụng của tải trọng cũng như sự dính bám giữa bê tông và lớp vật liệu gia cường.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] N.C. Thanh: *Nghiên cứu thực nghiệm sức chịu tải của dầm bê tông cốt thép được gia cường bằng tấm composite*, Tạp chí Người Xây dựng, Số 238, Tháng 8, 2011.
- [2] ACI: *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, Report by ACI Committee 440, American Concrete Institute, July 2008.
- [3] MC2010: *Model Code 2010, First complete draft*, Volume 1 & 2, fib Bulletin 55, 03-2010.
- [4] TCVN 4116:1985: *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công*, Tiêu chuẩn Việt Nam 4116:1985, 1985.

#### Abstract:

#### EXPERIMENTAL STUDY OF FLEXURAL BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE PLATE STRENGTHENED WITH FRP LAMINATES

*The reinforced concrete structures are common in structural civil engineering, road and irrigation constructions. Load carrying capacity of the structures can be enhanced through the use of FRP laminates (fiber reinforced polymers) stuck on the tension surface of structures. Behaviour of the structures after strengthening is complicated due to the redistribution of internal forces by loading. The presence of the FRP laminates causes the changing of the failure states, especially damage may occur due to the debonding between concrete members and composite plates. Within this paper, the behavior of a reinforced concrete strengthened with composite plates are analysed through experimental methods. The achieved results will be analyzed and discussed.*