

SỬ DỤNG THANH COMPOSITE CỐT SỢI CÁC-BON ĐỂ TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP

Trịnh Quang Minh^{1,2}, Kiều Minh Thế¹, Vũ Đình Phụng¹,

Tóm tắt: Bài báo này trình bày việc sử dụng các thanh FRP cốt sợi các-bon (CFRP) gia cường cho dầm BTCT theo phương pháp NSM (near surface mounted), bằng cách đặt các thanh CFRP trong các rãnh được tạo trước trên lớp bê tông bảo vệ trong vùng chịu cắt lớn. Tiến trình thí nghiệm và các dạng phá hoại của dầm thí nghiệm đã được phân tích và thảo luận. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng gia cường bằng các thanh CFRP theo phương pháp NSM cải thiện đáng kể khả năng chịu cắt và hạn chế đáng kể sự xuất hiện của vết nứt trên dầm bê tông cốt thép.

Từ khóa: Gia cường chống cắt, phương pháp NSM, CFRP, dầm BTCT gia cường,

1. Đặt vấn đề

Đối với các kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), sau một thời gian đưa vào khai thác và sử dụng, các vết nứt xuất hiện với bề rộng và mật độ lớn hơn giới hạn cho phép dẫn đến cốt thép bị ăn mòn làm cho kết cấu bị suy giảm về khả năng chịu lực. Vật liệu composite cốt sợi các-bon, với ưu điểm là nhẹ, cường độ chịu kéo cao, mô đun đàn hồi lớn và khả năng chống ăn mòn cao, là loại vật liệu thích hợp để sửa chữa, và tăng cường khả năng chịu lực cho các kết cấu BTCT.

Có nhiều nghiên cứu đã được thực hiện liên quan đến vấn đề sửa chữa và gia cường cho các kết cấu BTCT bằng cách sử dụng vật liệu composite cốt sợi thủy tinh, hoặc các-bon. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc tăng khả năng làm việc của kết cấu dưới tác dụng của mô men uốn bằng phương pháp dán các tấm composite 1,2,3,4,7, 8,9. Tuy nhiên hạn chế của phương pháp này là các tấm composite khi dán bên ngoài bề mặt của kết cấu sẽ chịu tác động trực tiếp của môi trường như là tia cực tím, nhiệt độ, độ ẩm do đó có thể làm giảm khả năng làm việc và tuổi thọ của vật liệu gia cường [7]. Ngoài ra, các vết nứt xuất hiện trong vùng chịu lực cắt lớn vẫn tiếp tục phát triển làm tăng khả năng bị bong bật của vật liệu dán ở dưới đáy kết cấu, làm giảm hiệu quả của việc gia cường [3].

Bài báo này đề cập đến việc sử dụng các thanh vật liệu composite được cấu tạo từ sợi cacbon nhằm tăng cường khả năng chịu lực cắt của dầm bê tông cốt thép. Các thanh vật liệu composites được đặt vào rãnh trong phần bê tông bảo vệ, tại vùng chịu lực cắt của dầm bê tông cốt thép do đó có thể tránh được

các tác động trực tiếp từ môi trường. Phương pháp này còn được gọi là NSM.

2. Mẫu thí nghiệm - Hình học và vật liệu

2.1. Kích thước hình học của mẫu thí nghiệm

Các dầm được sử dụng có kích thước đồng nhất 200 x 20 x 15 cm. Dầm được đặt 3 thanh $\phi 16$ trong vùng chịu kéo, ngoài ra các thanh $\phi 6$ được sử dụng làm cốt thép dọc cấu tạo và cốt thép đai với khoảng cách là 20 cm. Các kích thước hình học và bố trí cốt thép của dầm được thể hiện trong hình 4

2.2. Vật liệu

2.2.3. Bê tông

Bê tông được sử dụng có mác 300. Mẫu bê tông thí nghiệm có dạng hình trụ, đường kính $d=110\text{mm}$, chiều cao $h=2d=220\text{mm}$. Các tính chất cơ học của bê tông được xác định là mô đun đàn hồi, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo được xác định bằng phương pháp ép chẻ, theo tiêu chuẩn NFP 18 – 406 10

Các tính chất cơ học của bê tông được đưa ra trong bảng 2 dưới đây.

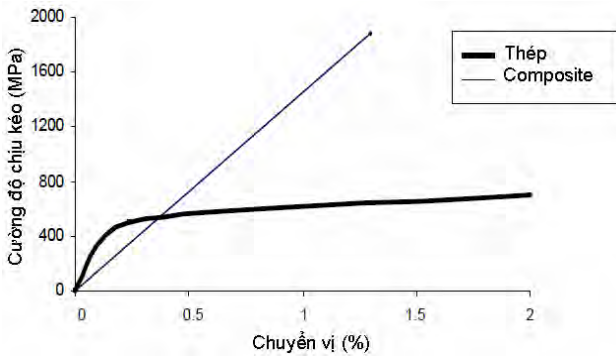
2.2.2. Thép và thanh composite gia cường

Thép được sử dụng là loại thép có gờ, có cường độ chịu kéo 480Mpa, mô đun đàn hồi là 210 000MPa.

Thanh composite được sử dụng có đường kính là 6mm, có bề mặt trơn nhẵn, được cấu tạo từ những sợi các-bon được bó chặt, kết dính với nhau bởi keo epoxy. Vật liệu composite sử dụng được sản xuất bởi công ty Soficar – CH Pháp. Các tính chất cơ học của vật liệu composite được xác định bằng các phép đo trong phòng thí nghiệm, trong nghiên cứu này tác giả không tiến hành các phép đo đó, mà sử dụng những kết quả thí nghiệm đã công bố trước đó bởi Al-Mhamoud F 6

¹Trường Đại học Thủy lợi

²Laboratory of material durability of construction (LMDC) - University of Paul Sabatier



Hình 1 - So sánh ứng xử của vật liệu composite và thép khi chịu kéo

Kết quả thí nghiệm thí nghiệm chỉ ra rằng mô đun đàn hồi của thanh vật liệu composite cốt sợi cacbon nhỏ hơn khoảng 30% so với thép, nhưng có cường độ chịu kéo gấp 4 lần. Các tính chất cơ học của thép và composite được giới thiệu trong bảng 1.

Bảng 1 - Các tính chất cơ học của vật liệu thép và composite

Vật liệu	Cường độ chịu kéo (Mpa)	Mô đun đàn hồi (Gpa)
Thép	480	210
Composite	1875	145.9

2.2.3. Vật liệu kết dính

2 loại vật liệu kết dính được sử dụng là epoxy Eponal 380, và vữa betec 110EDF, các tính chất cơ học của vật liệu được giới thiệu trong bảng 2:

Bảng 2 - Các tính chất cơ học của Bê tông và vật liệu kết dính

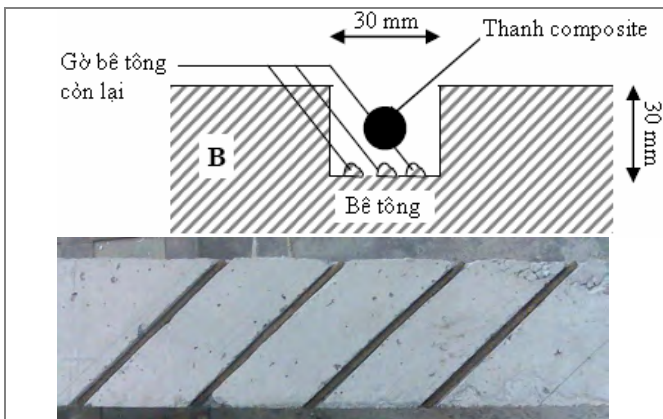
Vật liệu	Cường độ chịu nén (Mpa)	Cường độ chịu kéo (Mpa)	Mô đun đàn hồi (Gpa)
Eponal 380 (7 ngày)	83	29.5	4.9
Betec 110 EDF (7 ngày)	74.4	6.2	31.6
BO30 (28 ngày)	34.0	3.0	32.2

3. Phương pháp thí nghiệm

3.1. Phương pháp gia cường (NSM)

Dầm bê tông được bảo quản ở nhiệt độ 20°C và độ ẩm 80%. Sau 21 ngày, dầm sẽ được tạo các rãnh trên lớp bê tông bảo vệ, các rãnh này nghiêng một góc 45°C so với trục dọc dầm. Sau khi tạo rãnh, tiến hành đổ một lớp keo (hoặc vữa) mỏng cho phép đặt các thanh composite, các rãnh này sẽ được lấp đầy bằng keo hoặc lớp vữa, sau khi đặt thanh composite như hình 2. Dầm sau khi gia cường sẽ được bảo quản 1 tuần, trước khi tiến hành các thí nghiệm.

Để tăng độ bám dính của thanh composite, tác giả đã xử lý bề mặt như trên hình 3 bằng cách quét 1 lớp keo dính sau đó lăn qua cát, hạt cát sẽ dính bám trên bề mặt của thanh, làm tăng độ ma sát và khả năng bám dính của thanh khi neo trong bê tông, điều này đã được khẳng định trong nghiên cứu của Al-Mhamoud F 6.



Hình 2 - Xử lý neo thanh cacbon vào dầm bê tông



Hình 3 - Xử lý bề mặt thanh composite (a) - ban đầu; (b), (c) và (d) - thanh được bọc bởi 1, 2 và 3 lớp cát.

3.2. Phương pháp tiến hành

Dầm thí nghiệm được chia làm 3 nhóm chính:

Nhóm (A): thí nghiệm uốn 4 điểm: dầm đối chứng (P1) không có cốt đai tại vùng chịu cắt, dầm đối chứng có cốt đai tại vùng chịu cắt (P2), dầm gia cường bằng 4 thanh composite và không sử dụng cốt đai (P3);

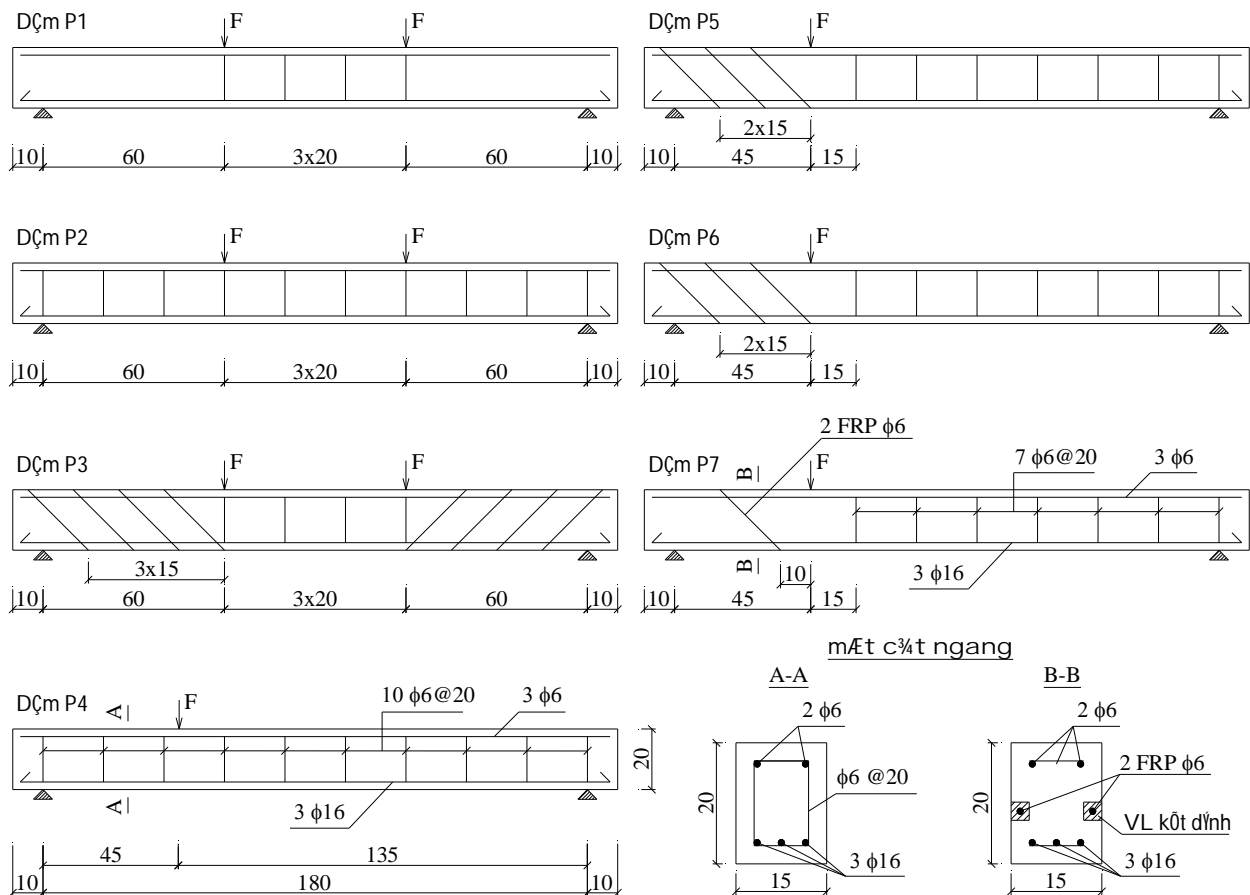
Nhóm (B): thí nghiệm uốn 3 điểm, gồm có dầm đối chứng (P4) có cốt đai ở vùng chịu cắt; dầm

không sử dụng cốt đai tại vùng chịu cắt gia cường bằng 3 thanh composite (P5) - sử dụng vật liệu keo epoxy để kết dính, và (P6) - sử dụng vật liệu vữa Betec làm vật liệu kết dính;

Nhóm (C): thí nghiệm uốn 3 điểm, dầm không có cốt đai tại vùng chịu cắt được gia cường bằng 1 thanh composite trong vùng chịu cắt (P7), sử dụng vật liệu keo epoxy để kết dính.

Dầm được gia tải bằng máy 300 tấn, và được đặt máy đo chuyển vị tại điểm giữa dầm cho phép đo độ

võng của dầm. Phân loại và sơ đồ đặt tải được trình bày trong hình 4:



Hình 4 – Kích thước hình học và bố trí thí nghiệm trên các nhóm dầm

4. Kết quả và thảo luận

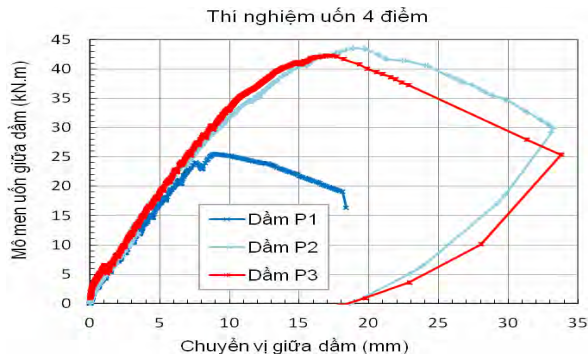
4.1. Thí nghiệm uốn 4 điểm (nhóm A)

Kết quả thí nghiệm uốn 4 điểm được trình bày trên hình 5 và 6, dầm đối chứng (P1) không có cốt đai bị phá hủy do lực cắt tại giá trị 80kN, tương ứng với giá trị mô men tại điểm giữa dầm là 25,5 kN.m. Trong khi đó dầm P2 và P3 bị phá hủy do mô men uốn, tại giá trị lực xấp xỉ 140kN, tương ứng với giá trị mô men tại điểm giữa dầm là xấp

xi 42 kN.m. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng dầm có cốt đai và dầm được gia cường chống cắt bằng thanh composite chịu được lực cắt lớn hơn 70% so với dầm không có cốt đai. Tuy nhiên, do cả hai dầm P2 và P3 đều bị phá hủy bởi mô men uốn tại điểm giữa dầm nên kết quả ở trên chưa cho phép chúng ta so sánh khả năng chịu lực cắt của dầm gia cường bằng vật liệu composite so với dầm có cốt đai.



Hình 5 – Sự phá hoại do lực cắt - thí nghiệm uốn 4 điểm trên dầm P1

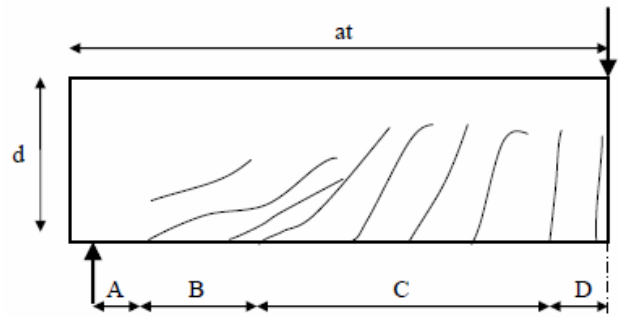


Hình 6 - So sánh đường cong Mô men – chuyển vị tại điểm giữa dầm trong nhóm A

Khi gia tải đến giá trị ứng suất cắt chính đạt đến cường độ chịu cắt của bê tông, thì các vết nứt bắt đầu xuất hiện. Kết quả thí nghiệm cho thấy, các vết nứt xuất hiện trên đoạn dầm chịu lực cắt có thể phân làm 3 đoạn tương tự như nghiên cứu trước đây của Casanova 5.

Đối với thí nghiệm uốn 4 điểm, tỷ lệ at/d (phần chịu lực cắt/chiều cao dầm) lớn hơn 2.5,

- Trong vùng gần gối tựa (A), không xuất hiện các vết nứt
- Trong vùng B, mô men yếu, những vết nứt nghiêng góc 20-30°, do lực cắt



Hình 7 - Các vùng vết nứt xuất hiện trên đoạn đầu dầm [Casanova, 1995]

- Trong vùng C, các vết nứt phát triển, nghiêng từ 40-70°.

- Trong vùng D, vết nứt do mô men,

Tác giả nhận thấy rằng dầm được gia cường bằng thanh composite cho phép hạn chế đáng kể sự xuất hiện vết nứt trong vùng chịu lực cắt so với dầm chỉ có cốt đai (hình 8 và 9). Điều này có ý nghĩa quan trọng trong thực tế, khi các dầm BTCT chịu tải trong tác dụng, các vết nứt xuất hiện làm đẩy nhanh hiện tượng ăn mòn cốt thép trong dầm bê tông, việc gia cường bằng thanh vật liệu composite sẽ góp phần hạn chế các vết nứt.

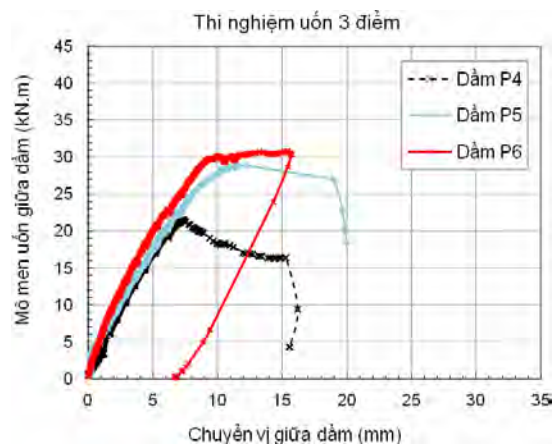


Hình 8 - Vết nứt trong vùng chịu cắt trên hai dầm P2 và P3

4.2. Dầm chịu uốn 3 điểm

4.2.1. Uốn 3 điểm trên dầm gia cường bởi 3 thanh composites

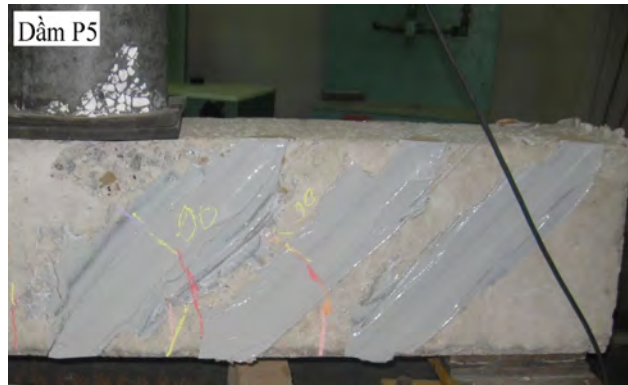
Kết quả thí nghiệm uốn 3 điểm trên các dầm thuộc nhóm B được trình bày trên hình 9, dầm đối chứng có cốt đai (P4) bị phá hủy do lực cắt tại giá trị lực 95,5 kN, tương ứng với giá trị mô men uốn tại điểm giữa dầm là 21,4 kN.m. Trong khi đó dầm được gia cường chống lực cắt bởi 3 thanh composite P5 & P6 chưa bị phá hủy bởi lực cắt, mà chúng bị phá hủy do mô men uốn, tại giá trị lực xấp xỉ 136 kN, tương ứng với giá trị mô men tại điểm giữa dầm là xấp xỉ 36 kN.m. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng dầm được gia cường chống cắt bằng thanh



Hình 9 - So sánh đường cong Mô men – chuyển vị tại điểm giữa dầm trong nhóm B

composite chịu được lực cắt lớn hơn đáng kể so với dầm không cốt đai. Tuy nhiên kết quả thí nghiệm nhận được chưa cho phép xác định được khả năng

chống cắt lớn nhất của dầm gia cường bằng vật liệu composite, do chúng bị phá hủy bởi mô men uốn tại giữa dầm.



Hình 10 – Vết nứt xuất hiện trong vùng chịu lực cắt lớn trên các dầm P4 và P5

Về mặt vết nứt, chúng ta có thể nhận thấy rằng dầm được gia cường bằng thanh composite cho phép hạn chế đáng kể sự xuất hiện vết nứt trong vùng chịu lực cắt so với dầm chỉ có cốt đai (hình 10)

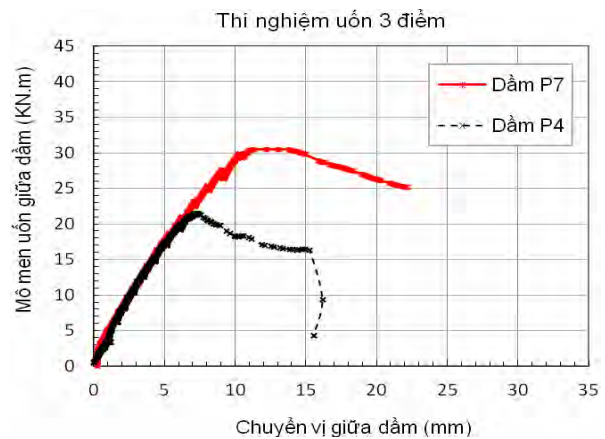
4.2.2. Uốn 3 điểm trên dầm gia cường bởi 1 thanh composite

Thí nghiệm uốn 3 điểm trên dầm được gia cường bởi 1 thanh composite được thể hiện như trên hình 11, Các vết nứt bắt đầu xuất hiện trong vùng chịu mô men và lực cắt ở mức gia tải 20 kN, lúc này giá trị ứng suất cắt chính đã vượt qua cường độ chịu cắt của bê tông. Những vết nứt này tiếp tục phát triển và hợp nhất lại thành 1 vết nứt lớn hơn, nghiêng một góc khoảng 45 so trục dọc dầm, khi đến mức tải trọng 135 kN thì kết cấu gia cường bị bong bật, đồng thời dầm bị phá hủy.



Hình 11 – Thí nghiệm uốn 3 điểm trên dầm P7

So sánh khả năng chịu lực cắt của dầm đối chứng có cốt đai (P4) và dầm được gia cường bằng 1 thanh composite (P7), có thể thấy rằng cả hai đều bị phá hủy do lực cắt, tuy nhiên đối với dầm được gia cường bằng vật liệu composite, thì khả năng chịu lực tăng lên khoảng 1,5 lần so với dầm chỉ có cốt đai. Kết quả được trình bày trên hình 12:



Hình 12 – So sánh đường cong mô men – chuyển vị trên dầm P4 và P7

5. Kết luận

Kết quả thí nghiệm cho thấy:

Dưới tác dụng của tải trọng khai thác, trên dầm bê tông cốt thép xuất hiện các vết nứt ở trên vùng chịu uốn và chịu lực cắt lớn. Khi tải trọng đủ lớn các vết nứt ngày càng phát triển mở rộng, đặc biệt trên vùng chịu lực cắt lớn có xuất hiện một vết nứt chính nghiêng một góc 45° so với trục dọc dầm, làm tăng khả năng đứt cốt thép đai và làm dầm bị phá hoại. Trong trường hợp này, gia cường bằng các thanh composite cốt sợi các-bon theo phương pháp NSM mang lại hiệu quả cao.

Đối với thí nghiệm uốn 4 điểm, trong khi dầm đối chứng P1 (không có cốt đai) bị phá hủy dễ dàng do lực cắt thì dầm có cốt đai và dầm được gia cường bằng thanh composite không bị phá hoại do lực cắt, chỉ bị phá hủy do mô men uốn giữa dầm tại giá trị mô men tăng hơn 70% so với dầm đối chứng P1. Thí nghiệm uốn 4 điểm tuy chưa đánh giá được khả

năng chịu lực cắt của dầm được gia cường bằng vật liệu composite so với dầm đối chứng có cốt đai (P2), tuy nhiên kết quả đã cho thấy hiệu quả của phương pháp gia cường NSM, khi các thanh composite được đặt tại phần lớp bảo vệ của bê tông đã làm việc như cốt đai, tăng cường lực cắt. Hơn nữa về sự xuất hiện vết nứt, dầm sử dụng vật liệu composite giảm đáng kể sự xuất hiện vết nứt cũng như bề rộng vết nứt so với dầm đối chứng có và không có cốt đai. Đối với thí nghiệm uốn 3 điểm, trong khi dầm được gia cường bằng 3 thanh composite chưa bị phá hoại do lực cắt, thì dầm gia cường chống cắt bằng 1 thanh composite mang lại khả năng chịu lực cắt tăng lên khoảng 1,5 lần so với dầm đối chứng có cốt đai.

Phá hoại trên dầm gia cường bằng 1 thanh composite là do sự bong bật của lớp vật liệu dính kết, điều này một lần nữa khẳng định tính cường độ cao của vật liệu composite cốt sợi cac-bon và hiệu quả của phương pháp phụ thuộc nhiều vào sự làm việc của lớp dính kết và biện pháp cải thiện ma sát giữa thanh composite và bê tông trong phương pháp NSM.

Các kết quả trên cùng với việc vật liệu composite gia cường được bao bọc trong lớp vật liệu kết dính làm giảm thiểu khả năng bị lão hóa do sự tác động của môi trường, cho thấy hiệu quả của việc gia cường bằng vật liệu composite theo phương pháp NSM nhằm cải thiện và nâng cao khả năng chịu lực cắt cho kết cấu bê tông cốt thép tại vùng chịu lực cắt lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **H.S. Đính**, *Nghiên cứu các công nghệ mới sửa chữa những hư hỏng của kết cấu BTCT trong công trình cảng*, Hội nghị khoa học Công nghệ GTVT, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT, 2011.
2. **N.T. Dũng, N.V. Mọi, H.P. Hoa**, *Nghiên cứu giải pháp gia cường dầm bê tông cốt thép bằng tấm vật liệu composite sợi carbon (Phần 1)*, Tạp chí khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, Số 3(44), 2011.
3. **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, 2011.
4. **N.Q. Tường**, *Sửa chữa và gia cố công trình bê tông cốt thép bằng phương pháp dán nhờ sử dụng vật liệu FRP*, Tạp chí Phát triển KH&CN, Số 10, 2007.
5. **Casanova P.**, PhD Thesis, *Béton renforcé de fibres métalliques : du matériau à la structure, étude expérimentale et analyse du comportement de poutres soumises à la flexion et à l'effort tranchant*, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - France, 1995.
6. **Firas AL Mahmoud.**, PhD Thesis, *Technologie de renforcement des poutres en béton armé par l'insertion de joncs de carbone*, INSA Toulouse – France, 2007
7. **M. A. A. Saafan.**, *Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using GFRP Wraps*, Acta Polytechnica Vol. 46 No. 1/2006
8. **Triantafillou T.C.**, *Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy bonded FRP composite*, ACI Structural Journal, March-April 1998, pp 107-115.
9. **WU Z.Y.**, PhD Thesis, *Etude expérimentale du comportement des poutres courtes en béton armé pré fissurées et renforcées par matériaux composites sous chargement statique et de fatigue*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - France, 2004.
10. NFP – 18 406, Norme Française NFP 18-406, " beton essai de compression“, AFNOR, Paris 1981

Summary

SHEAR STRENGTHENING CONCRETE BEAMS USING CFRP REBARS

This paper presents test results of reinforced concrete beams strengthened in flexure using carbon-FRP (CFRP) rebars as NSM (near surface mounted) method that consists of placing CFRP rebars into grooves pre-cut in the concrete cover at the tension region of the beams. The structural performance and modes of failure of the tested beams are presented and discussed. Test results indicated that using NSMFRP rebar significantly improves the shear strength and considerably reduces the appearance of fissures of reinforced concrete beams.

Keywords: *Shear strengthening, near surface mounted, CFRP, strengthening reinforcement concrete beams.*

Người phản biện: **TS. Vũ Hoàng Hưng**

BBT nhận bài: 20/8/2013

Phản biện xong: 26/8/2013