

SỬA CHỮA VÀ GIA CỐ CÔNG TRÌNH BÊ TÔNG CỘT THÉP BẰNG PHƯƠNG PHÁP DÁN NHỜ SỬ DỤNG VẬT LIỆU FRP

Ngô Quang Tường

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 20 tháng 02 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 24 tháng 05 năm 2006)

TÓM TẮT: Sửa chữa, gia cố công trình bằng cách sử dụng vật liệu FRP - Fiber Reinforced Polymer là một phương pháp mới đã được nghiên cứu và áp dụng tại các nước tiên tiến bắt đầu xuất hiện từ những năm 1990. Phương pháp mới này tận dụng được ưu điểm khả năng chịu lực rất cao của vật liệu cùng với sự tiện lợi khi thi công đã trở thành một giải pháp tốt rất đáng chú ý khi chọn lựa để sửa chữa, gia cố cho các công trình bê tông cốt thép. Tuy có hạn chế về giá thành nhưng phương pháp sửa chữa, gia cố công trình bằng cách sử dụng vật liệu FRP có rất nhiều ưu điểm như thi công đơn giản, nhanh chóng, không cần phải đập phá kết cấu, không cần sử dụng coffa, đảm bảo giữ nguyên hình dạng kết cấu cũ, có tính thẩm mỹ cao đặc biệt là với các công trình đòi hỏi khả năng chống thấm và ăn mòn cao.

1. GIỚI THIỆU

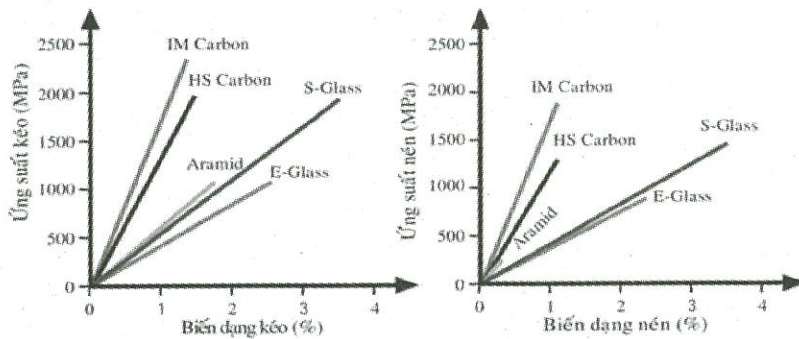
Trước hiện trạng hư hỏng nhà ở và xuống cấp của các cây cầu hiện nay, việc nghiên cứu về sửa chữa, cải tạo, nâng cấp công trình xây dựng là vấn đề rất cần thiết. Trong nội dung báo cáo này chúng tôi sẽ trình bày một giải pháp mới để sửa chữa, gia cố công trình bê tông cốt thép : **Phương pháp sử dụng vật liệu FRP (Fiber Reinforced Polymer) trong sửa chữa và gia cố công trình**. Nội dung báo cáo bao gồm trình bày sơ lược về vật liệu FRP, nguyên tắc sử dụng và ứng dụng vật liệu FRP trong sửa chữa và gia cố công trình bê tông cốt thép, các phương pháp thi công vật liệu FRP để sửa chữa và gia cố kết cấu bê tông cốt thép, phương pháp tính toán thiết kế dầm và cột gia cố bằng tấm FRP.

2. SƠ LƯỢC VỀ VẬT LIỆU FRP

- **Vật liệu FRP** - Fiber Reinforced Polymer là một dạng vật liệu composite được chế tạo từ các vật liệu sợi, trong đó có ba loại vật liệu sợi thường được sử dụng là sợi carbon CFRP, sợi thủy tinh GFRP và sợi aramid AFRP. Đặc tính của các loại sợi này là có cường độ chịu kéo rất cao, mô đun đàn hồi rất lớn, trọng lượng nhỏ, khả năng chống mài mòn cao, cách điện, chịu nhiệt tốt, bền theo thời gian ...

- **Các dạng FRP** dùng trong xây dựng thường có các dạng như: FRP dạng tấm, FRP dạng thanh, FRP dạng cáp, FRP dạng vải, dạng cuộn ... Trong sửa chữa và gia cố công trình xây dựng thường dùng các loại FRP dạng tấm và dạng vải.

- Trong xây dựng, các loại vật liệu FRP thường được sử dụng nhất là của các hãng sản xuất: MBraceTM, Replark®, Sika, Tyfo® ...



Hệ ứng suất và biến dạng vật liệu FRP



Dạng tấm

Dạng cuộn

Dạng chế tạo
sẵn

Dạng thanh

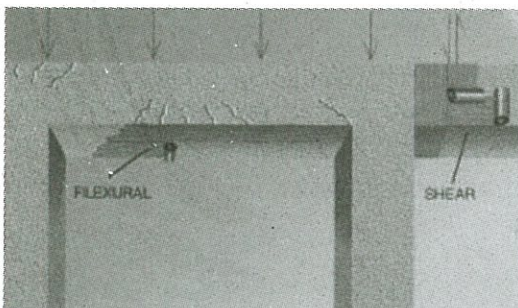
Dạng băng

3. SỬA CHỮA, GIA CỐ CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG BẰNG VẬT LIỆU FRP

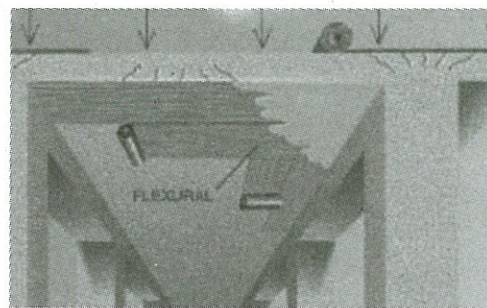
Với các tính chất kể trên, đặc biệt là khả năng chịu lực kéo rất cao, mô đun đàn hồi rất lớn, các dạng tấm FRP, vải FRP thường được dùng để sửa chữa sự giảm khả năng chịu lực hoặc hư hỏng của các phần tử kết cấu bằng cách dán hoặc bọc bên ngoài cấu kiện.

Chúng ta có thể sử dụng vật liệu FRP trong những trường hợp sau đây :

- Tăng khả năng chịu cắt và chịu uốn của dầm bê tông cốt thép để sửa chữa, gia cố và tăng cường khả năng chịu tải động.
- Tăng cường khả năng chịu uốn của sàn bê tông cốt thép tại vùng có mô men dương và mô men âm.
- Tăng khả năng chịu uốn và bó cột bê tông cốt thép để tăng cường khả năng chịu lực và chịu tải động.



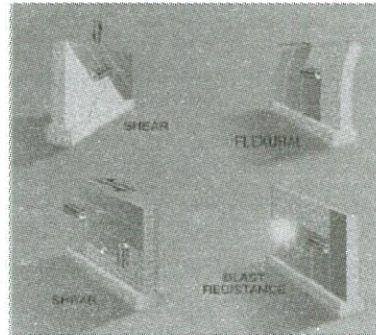
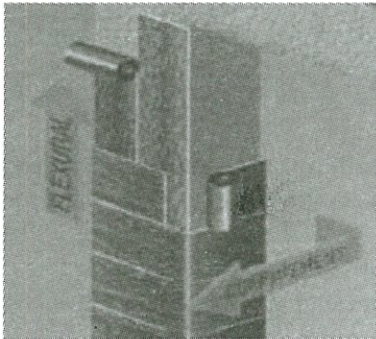
Tăng cường khả năng chịu cắt và chịu uốn của dầm



Gia cố sàn bê tông cốt thép bằng tấm FRP

Trong kết cấu bê tông cốt thép, đối với tường bê tông nhẹ và tường không có cốt thép như các khối xây gạch, vật liệu FRP cũng chứng minh lợi ích bằng cách tăng khả năng chịu cắt và chịu uốn. Ngoài ra, đối với kết cấu tường vật liệu FRP còn có khả năng chống cháy, nổ rất tốt.

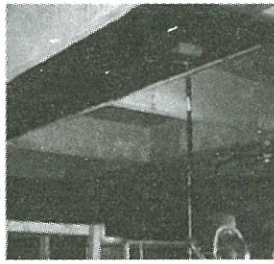
Các kết cấu sử dụng FRP để tăng cường khả năng chịu lực hoặc sửa chữa hư hỏng cũng rất đa dạng như : tường cứng BTCT, dầm, cột, sàn bị khoét lỗ, khối xây, tấm sàn, bề mặt sàn ... và các dạng công trình khác như dầm sàn cầu, ống khói, si lô, đường hầm ...



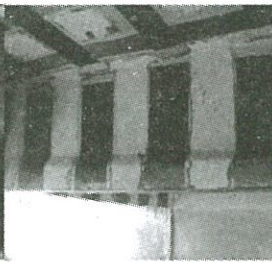
Dán tấm FRP



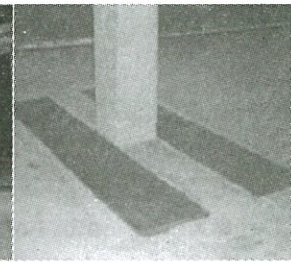
Sửa chữa dầm bằng cách bọc vải FRP



Sửa dầm bằng dán các tấm FRP ở đáy



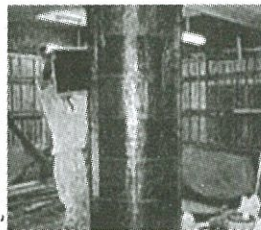
Sửa chữa dầm bằng tấm FRP



Dán tấm FRP tăng mô men âm



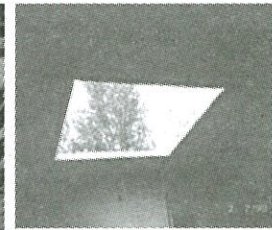
Dán dây theo ô vuông



Gia cố cột tròn



Gia cố tường gạch



Gia cố lỗ thông trời



Gia cố lỗ silô



Gia cố tường chắn



Gia cố ống khói



Gia cố đường hầm

4. CÁC PHƯƠNG PHÁP THI CÔNG SỬA CHỮA, GIA CỐ KẾT CẤU BẰNG TẤM FRP

Mục đích của công tác thi công sửa chữa gia cố kết cấu bê tông cốt thép bằng tấm FRP là đặt tấm FRP vào vị trí cần tăng cường khả năng chịu lực với hướng sợi phù hợp với phương chịu lực để tận dụng được khả năng chịu kéo và độ bền của sợi FRP đồng thời phải đảm bảo cho tấm FRP không bị tách lớp cũng như tách khỏi bề mặt bê tông.

Thông thường việc thi công dán tấm FRP gồm các bước: chuẩn bị sửa chữa bề mặt bê tông, sơn lót tăng cường độ bám dính, trét phẳng bề mặt, phủ keo hoặc nhựa dán, đặt tấm dán lên lớp keo, chờ lớp keo khô với thời gian quy định rồi dán các lớp tiếp theo, cuối cùng đợi cấu kiện khô hoàn toàn thì sơn phủ bảo vệ và thẩm mỹ.

Hiện nay phổ biến nhất là hai phương pháp thi công đối với loại vật liệu tấm (*sheet*) và vải (*fabric*) FRP: dán theo phương pháp khô (*dry lay-up*) và dán theo phương pháp ướt (*wet lay-up*).

4.1. Thi công dán theo phương pháp khô (*dry lay-up*):

Quá trình thi công dán tấm FRP bằng phương pháp khô có thể chia làm tám bước:

Bước 1 : Chuẩn bị bề mặt bê tông

Trước khi gia cố lắp đặt tấm FRP thì bề mặt bê tông phải được xử lý kỹ. Sự nguyên vẹn của hệ thống phụ thuộc vào chất lượng và khả năng chịu lực của bê tông đủ để cho liên kết dán của tấm FRP và bê tông được đảm bảo. Các vết nứt, các mảnh vụn sứt mẻ và cốt thép bị gỉ cần phải được chú ý trước khi thi công lắp đặt tấm FRP. Các sứt mẻ và các loại hư hỏng khác cần phải được loại bỏ và được vá lại với các loại vữa sửa chữa phù hợp. Tất cả các vết nứt có bề rộng lớn hơn **0,01in (0,25mm)** cần phải được bơm *epoxy* để sửa chữa.

Bước 2 : Sơn lót kết cấu cần gia cố.

Sơn lót bề mặt bê tông cần gia cố bằng cách dùng cọ lăn ngắn hoặc trung bình.

Bước 3 : Phủ bột trét làm phẳng bề mặt.

Bột trét được trét bằng các bay cầm tay. Bột trét được sử dụng để làm phẳng bề mặt và lấp các khuyết tật; việc bao phủ hoàn toàn thì không cần thiết. Bột trét có thể trét lên bề mặt sơn lót còn ướt không cần đợi sơn khô.

Bước 4 : Phủ lớp keo thứ nhất.

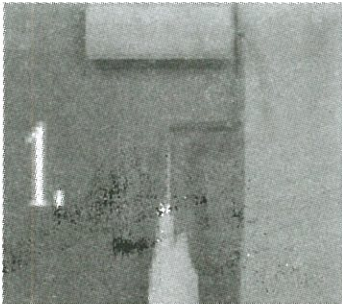
Keo được quét lên bề mặt đã được sơn lót và làm phẳng bằng cọ lăn. Thông thường nên lăn lớp keo dày khoảng **15mil** đến **20mil** tùy thuộc loại keo. Lượng keo sử dụng cũng phụ thuộc vào từng loại FRP được sử dụng.

Bước 5 : Dán tấm FRP.

Tấm FRP cần được đo và cắt sẵn trước khi đặt lên bề mặt cần gia cố. Tấm FRP được đặt lên bề mặt bê tông và được ấn nhẹ nhàng vào lớp keo dán. Trước khi lột lớp giấy dán mặt sau, dùng con lăn bằng cao su lăn theo hướng sợi cho keo dễ dàng ngấm vào các sợi riêng rẽ. Con lăn không bao giờ được lăn theo hướng vuông góc với hướng sợi để tránh sợi có thể bị hỏng.

Bước 6: Phủ lớp keo thứ hai.

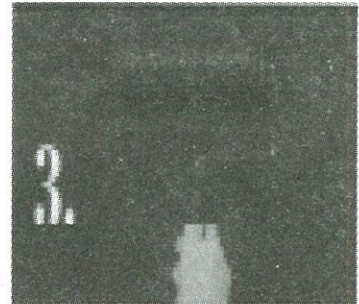
Lớp keo thứ hai có thể được phủ lên sau 30 phút kể từ khi đặt và lăn tấm FRP. Đến lúc này lớp keo đầu tiên đã rút hết vào vào tấm FRP. Lớp keo thứ hai được quét lên tấm FRP bằng cọ lăn cỡ trung với chiều dày khoảng 15mil đến 20mil.



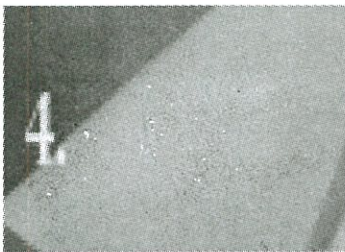
Sơn lót kết cấu



Phủ bột trét làm phẳng



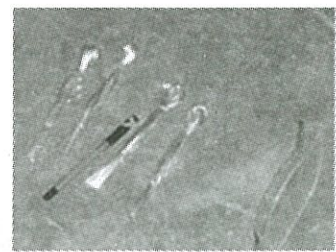
Phủ lớp keo thứ nhất



Dán tấm FRP



Phủ lớp keo thứ hai



Neo bằng sợi thủy tinh



Lắp đặt neo sợi thủy tinh



Neo bằng bu lông neo



Neo bằng bản thép

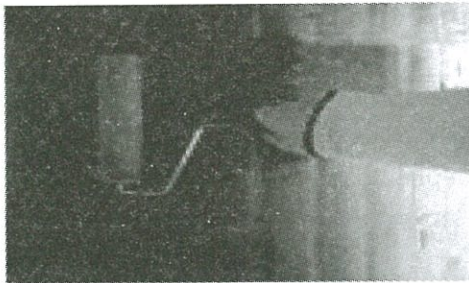
4.2. Quá trình thi công dán tấm FRP theo kiểu ướt (wet lay-up):

Phương pháp dán tấm FRP theo kiểu ướt về trình tự rất giống với phương pháp khô. Tuy nhiên phương pháp ướt có khác biệt trong bước thoa keo nhúng nhựa tấm FRP.

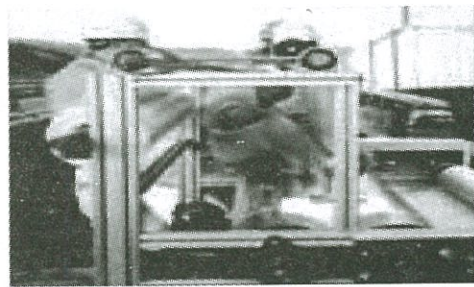
Khi dán tấm FRP bằng phương pháp ướt ta chỉ sử dụng tấm vải FRP dạng khô chưa tẩm nhựa. Tấm FRP khô sẽ được tẩm nhựa đến khi bão hòa và được dán lên bề mặt bê tông đã được xử lý kỹ.

Ưu điểm của phương pháp dán ướt là có thể sử dụng cho cấu kiện có kích thước lớn (cột đường kính lớn, mặt đáy sàn, dán bọc ba mặt dầm), liên kết giữa lớp FRP với bề mặt bê tông cũng như liên kết giữa các tấm FRP được đảm bảo hơn, sẽ ít có trường hợp bị phá hoại liên kết. Tuy nhiên, khi dùng phương pháp dán ướt sẽ sử dụng một lượng keo dán rất lớn nên thời gian đợi cho tấm FRP khô keo sẽ lâu hơn làm cho thời gian thi công kéo dài hơn. Quá trình thoa keo tẩm nhựa cho tấm FRP có thể sử dụng máy tẩm nhựa đối với tấm vải FRP có bề rộng lớn hoặc có thể dùng phương pháp thủ công bằng tay đối với tấm FRP có bề rộng nhỏ. Các bước tiến hành tương tự như phương pháp thi công dán khô.

Sau đây là quá trình dán tấm FRP theo phương pháp ướt:



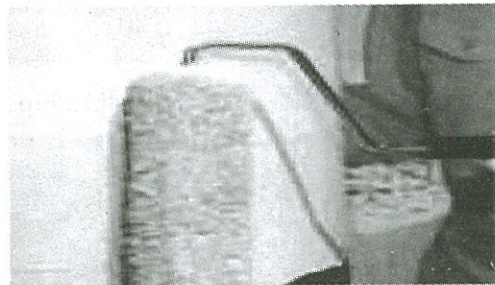
Sau khi chuẩn bị bề mặt, chỉ cần tiến hành lăn keo lên bề mặt bê tông



Tẩm nhựa vào tấm FRP đến khi bão hòa trước khi dán vào cột



Dán tấm FRP đã tẩm nhựa lên bề mặt bê tông đã được sơn keo



Sau khi keo khô, tiến hành sơn bảo vệ bề mặt tấm FRP

5. ƯU ĐIỂM VÀ NHƯỢC ĐIỂM CỦA PHƯƠNG PHÁP SỬA CHỮA, GIA CỐ BẰNG TẤM FRP

5.1. Ưu điểm

Ưu điểm của phương pháp sửa chữa, gia cố kết cấu bê tông cốt thép bằng tấm FRP được thể hiện rõ ở hai mặt đó là ưu điểm của vật liệu FRP và ưu điểm của phương pháp thi công lắp đặt tấm FRP.

Nhờ tận dụng được các tính chất ưu việt của vật liệu FRP như khả năng chịu lực và mô đun đàn hồi rất cao, khối lượng nhẹ, có tính chống ăn mòn cao, cách điện, cách nhiệt tốt và đặc biệt có khả năng đồng nhất làm việc với các kết cấu làm bằng bê tông, bê tông cốt thép, thép,

gỗ ... đã giúp cho phương pháp sửa chữa, gia cố kết cấu bằng tấm FRP trở thành một giải pháp chọn lựa tốt khi chọn phương án sửa chữa, gia cố công trình. Mặt khác, do vật liệu FRP được sản xuất đa dạng về chủng loại sợi và được dệt theo nhiều dạng khác nhau nên có thể dễ dàng chọn lựa chủng loại FRP giúp tiết kiệm được vật liệu.

Ngoài ra, phương pháp thi công lắp đặt tấm FRP cũng rất dễ dàng, không đòi hỏi phải cần thiết nhiều nhân công, máy móc thiết bị. Quá trình thi công diễn ra nhanh chóng, ít bị chú ý nên giải quyết được vấn đề thi công sửa chữa khi công trình vẫn đang hoạt động. Khối lượng gia cố cũng rất nhỏ, không đáng kể, công trình nhanh đi vào hoạt động sau khi sửa chữa, gia cố.

Ngoài các ưu điểm trên, phương pháp sửa chữa, gia cố kết cấu bê tông cốt thép bằng tấm FRP còn làm cho cấu kiện cần sửa chữa, gia cố không tăng kích thước tiết diện, không làm thay đổi đến mỹ quan công trình, không ảnh hưởng đến công năng sử dụng của công trình.

Kết hợp ưu điểm của vật liệu và ưu điểm của phương pháp thi công đã làm cho phương pháp sửa chữa, gia cố kết cấu bê tông cốt thép bằng tấm FRP vượt trội hơn các phương pháp khác và trở thành một giải pháp hàng đầu khi sửa chữa, gia cố công trình.

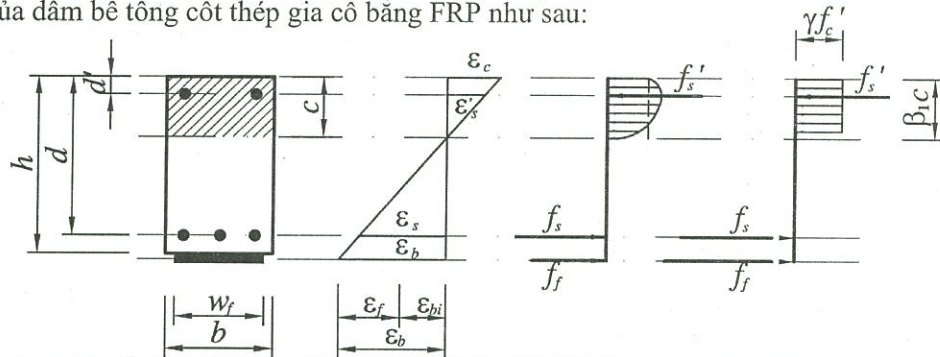
5.2. Nhược điểm

Hiện nay, vật liệu FRP vẫn còn có giá thành cao nên chi phí khi sử dụng phương pháp dán tấm FRP sử dụng trong công tác sửa chữa, gia cố các công trình xây dựng dân dụng vẫn còn tương đối cao hơn các phương pháp bọc ngoài bằng bê tông cốt thép hoặc thép. Tuy nhiên, trong các trường hợp sửa chữa, gia cố cầu lại có kinh phí thấp hơn so với phương pháp ứng lực. Một khuyết điểm đáng chú ý khi sử dụng phương pháp dán tấm FRP sửa chữa, gia cố cho các cấu kiện bê tông cốt thép là vấn đề phá hoại của liên kết keo dán và bị phá hoại bởi tia UV.

Tuy nhiên, các khuyết điểm trên có thể được khắc phục. Trong thời gian tới giá thành của vật liệu FRP sẽ giảm xuống do sự cải tiến trong công nghệ sản xuất và nhu cầu sử dụng ngày càng tăng. Để ngăn ngừa và giảm thiểu vấn đề phá hoại liên kết chúng ta có thể tiến hành xử lý kỹ bề mặt bê tông, tính toán thiết kế và bố trí các dạng neo chống lại hiện tượng tách lớp khi dán. Việc khắc phục phá hoại của tia UV có thể được ngăn chặn bằng các sơn lên bề mặt tấm FRP một lớp sơn đặc biệt chống lại sự phá hoại của tia UV.

6. KHẢ NĂNG CHỊU UỐN CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP GIA CỐ BẰNG FRP

Phương pháp tính này dựa theo ACI 318-85 (1999). Quá trình tính toán thiết kế khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép gia cố bằng FRP như sau:



Sơ đồ mặt cắt dầm bê tông cốt thép gia cố bằng tấm FRP theo ACI 318-95 (1999)

Bước thứ nhất: Tính toán sơ bộ chọn số lớp FRP cần thiết.

- Khả năng chịu uốn của dầm bê tông cốt thép cũ:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ với } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \text{ và } \phi = 0,9$$

Nếu $\phi M_n \geq M_u$ thì không cần gia cố, nếu $\phi M_n < M_u$ thì cần phải gia cố.

- Diện tích tấm FRP cần thiết để gia cố: $A_f = \frac{T}{\phi 0,85 f_{fu}}$ với $T = \frac{M_u - \phi M_n}{0,9d}$

- Tính toán số lớp tấm FRP: $n_f = \frac{A_f}{w_f t_f}$; chọn n_f là số nguyên.

Bước thứ hai: Tính toán biến dạng ban đầu ở đáy dầm tại thời điểm thi công dán tấm FRP.

- Xác định trạng thái làm việc của bê tông tại thời điểm thi công dán tấm FRP. Trong trường hợp $M_{cr} < M_{ip}$ bê tông đang làm việc ở trạng thái nứt (*cracked*) và nếu $M_{cr} \geq M_{ip}$ thì bê tông làm việc ở trạng thái không nứt (*uncracked*).

- Mô men nứt của dầm bê tông: $M_{cr} = f_r S_m$ với $f_r = 7,5 \sqrt{f_c'}$ và $S_m = \frac{I_g}{h/2}$

- Biến dạng ban đầu của bê tông tại mặt dưới của dầm ở trạng thái nứt: $\varepsilon_{bi} = \frac{M_{ip}(h - kd)}{I_{cr} E_c}$

với $kd = \frac{\sqrt{((E_s/E_c)A_s)^2 + 2b(E_s/E_c)A_s d} - (E_s/E_c)A_s}{b}$

và $I_{cr} = b \frac{(kd)^3}{12} + bkd \left(\frac{kd}{2} \right)^2 + \frac{E_s}{E_c} A_s (d - kd)^2$

- Biến dạng ban đầu của dầm bê tông dự ứng lực ở trạng thái không nứt:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{ip} c_b}{I_g E_c} - \frac{P_e}{A_c E_c} \left(1 + \frac{e c_b}{r_g^2} \right)$$

Bước thứ ba: Xác định mô hình phá hoại của dầm bê tông cốt thép gia cố bằng FRP

- Nếu $\varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi} > \varepsilon_{cu} \left(\frac{h - c}{c} \right)$, dầm phá hoại theo mô hình bê tông bị vỡ (*crushing concrete*).

- Nếu $\varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi} < \varepsilon_{cu} \left(\frac{h - c}{c} \right)$, dầm phá hoại theo mô hình tấm FRP bị đứt (*FRP rupture*).

Ta giả định giá trị $c = 0,15d$ để tính toán xác định mô hình phá hoại của dầm. Giá trị chính xác sẽ được xác định ở các bước tính sau.

6.1. Trường hợp thứ nhất: Khi dầm FRP bị phá hoại theo mô hình bê tông bị vỡ (*crushing concrete*).

Khi kết cấu bị phá hoại theo mô hình bê tông bị vỡ (*crushing concrete*), biến dạng của bê tông ở trạng thái phá hoại sẽ đạt giá trị biến dạng lớn nhất cho phép $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$. Mà theo ACI 318-

85 (1999) thì giá trị ε_{cu} được lấy là **0,003**. Dựa vào biểu đồ biến dạng ta có thể xác định lần lượt các giá trị.

- Biến dạng của cốt thép chịu kéo : $\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d - c}{c} \right)$
- Biến dạng của cốt thép chịu nén : $\varepsilon'_s = \varepsilon_{cu} \left(\frac{c - d'}{c} \right)$
- Biến dạng của tấm FRP được tính như sau : $\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \left(\frac{h - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi}$

Bởi vì khi này bê tông ở trạng thái biến dạng lớn nhất cho phép nên phần hình chữ nhật ứng suất chịu nén của bê tông có thể lấy theo ACI 318-85 (1999) tại mục 10.2.7.3.

- Khi này giá trị $\gamma = 0,85$ và $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 4000}{1000}$ với điều kiện $0,65 \leq \beta_1 \leq 0,85$
- Ứng suất của cốt thép chịu kéo : $f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$
- Ứng suất của cốt thép chịu nén : $f'_s = E_s \varepsilon'_s \leq f_y$
- Ứng suất của tấm FRP : $f_f = E_f \varepsilon_f$

Khi này giá trị giá định ban đầu của c sẽ được xác định và kiểm tra lại theo công thức :

$$c = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s + A_f f_f}{0,85 f'_c \beta_1 b}$$

Sau khi xác định được giá trị c theo công thức trên ta cần kiểm tra lại điều kiện phá hoại của dầm theo mô hình phá hoại do bê tông vỡ (*crushing concrete*) hoặc phá hoại do tấm FRP bị đứt (*FRP rupture*). Nếu giá trị c tìm được theo công thức trên đảm bảo điều kiện mô hình phá hoại do bê tông vỡ (*crushing concrete*) thì sẽ sử dụng c cho các bước tính sau. Còn nếu không thỏa thì chuyển sang tính toán theo mô hình phá hoại do tấm FRP bị đứt (*FRP rupture*).

6.2. Trường hợp thứ hai: Khi dầm FRP bị phá hoại theo mô hình tấm FRP bị đứt (*FRP rupture*).

Quá trình tính toán trong trường hợp dầm phá hoại theo mô hình tấm FRP bị đứt (*FRP rupture*) tương tự như trường hợp trên. Khi này biến dạng của FRP sẽ đạt giá trị biến dạng lớn nhất cho phép. Giá trị này được xác định theo loại vật liệu FRP và do nhà sản xuất cung cấp. Dựa vào $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu}$ ta có :

- Biến dạng của tấm FRP : $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu} = \varepsilon_b - \varepsilon_{bi}$
- Biến dạng của bê tông : $\varepsilon_c = (\varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{c}{h - c} \right)$
- Biến dạng của cốt thép chịu kéo : $\varepsilon_s = (\varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{h - c} \right)$

- Biến dạng của cốt thép chịu nén : $\epsilon'_s = (\epsilon_{fu} + \epsilon_{bi}) \left(\frac{c - d'}{h - c} \right)$

Ứng suất của cốt thép chịu nén và chịu kéo được xác định theo công thức (5.20) và (5.21). Đối với bê tông khi này biến dạng chưa đạt đến giá trị cho phép lớn nhất nên phân ứng suất chịu nén của bê tông lấy theo Whitney (dùng trong ACI 318-85 (1999)) là không thích hợp. Khi này để xác định tổng lực nén của phần bê tông sẽ được xác định dựa theo công thức của Todeschini (1964). Khi này ta có:

$$\beta_1 = 2 - \frac{4 \left[(\epsilon_c / \epsilon'_c) - \tan^{-1} (\epsilon_c / \epsilon'_c) \right]}{(\epsilon_c / \epsilon'_c) \ln \left(1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2 \right)}$$

$$\gamma = \frac{0,90 \ln \left(1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2 \right)}{\beta_1 (\epsilon_c / \epsilon'_c)}$$

với $\epsilon'_c = \frac{1,71 f'_c}{E_c}$ và giá trị $\tan^{-1} (\epsilon_c / \epsilon'_c)$ tính bằng radian.

Dùng phương pháp cân bằng lực ta xác định chiều cao giả định c như sau :

$$c = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s + A_f f_f}{\gamma'_c \beta_1 b}$$

Sau khi tính toán giá trị c theo công thức trên ta phải kiểm tra điều kiện phá hoại của dầm. Nếu đảm bảo điều kiện dầm phá hoại theo mô hình tâm FRP bị đứt (*FRP rupture*) thì ta có thể tiếp tục tính toán tìm giá trị của c bằng cách lấy giá trị trung bình của c vừa tìm được và giá trị c giả định ban đầu làm một giá trị c giả định mới để tiếp tục tính toán lại để tìm giá trị c mới. Giá trị c cần tìm sẽ được xác định khi nó gần bằng với giá trị c giả định với một sai số cho phép và sẽ được dùng cho các bước tính sau.

Bước thứ tư: Xác định khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép gia cố bằng FRP.

Khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép gia cố bằng FRP được tính toán theo công thức sau :

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{\beta_1 c}{2} - d' \right) + 0,85 A_f f_f \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Khả năng chịu lực của dầm là ϕM_n phải lớn hơn mô men uốn tính toán M_u (có hệ số).

Giá trị ϕ khi này được xác định như sau :

$$\phi = \begin{cases} 0,90 & \text{khi } \epsilon_s \geq 2\epsilon_{sy} \\ 0,50 + 0,20 \frac{\epsilon'_s}{\epsilon_{sy}} & \text{khi } \epsilon_{sy} < \epsilon_s < 2\epsilon_{sy} \\ 0,70 & \text{khi } \epsilon_s \leq \epsilon_{sy} \end{cases}$$

Bước thứ năm: Kiểm tra khả năng làm việc kết cấu khi đã dán tấm FRP và chịu tải.

- Chiều cao trục khi bị nứt kd xác định từ công thức :

$$\frac{(kd)^2 b}{2} - \frac{E_s}{E_c} A_s (d - kd) - \frac{E_f}{E_c} A_f (h - kd) = 0$$

- Ứng suất kéo của cốt thép ở trạng thái chịu mô men M_s (không nhân hệ số) phải thỏa điều kiện :

$$f_s = \frac{[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f (h - kd/3)](d - kd) E_s}{A_s E_s (d - kd/3)(d - kd) + A_s' E_s (kd/3 - d')(kd - d') + A_f E_f (h - kd/3)(h - kd)} \leq 0,80 f_y$$

- Ứng suất nén của cốt thép khi này phải thỏa điều kiện : $f_s' = f_s \frac{kd - d'}{d - kd} \leq 0,40 f_y$

- Ứng suất của bê tông phải thỏa điều kiện : $f_c = f_s \left(\frac{E_c}{E_s} \right) \frac{kd}{d - kd} \leq 0,5 f_c'$

- Ứng suất của tấm FRP phải thỏa điều kiện :

$$f_f = f_s \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \frac{h - kd}{d - kd} - \varepsilon_{bi} E_f \leq 0,33 C_D C_E f_{fu}$$

Giá trị $C_D = 1,00$ và $C_E = 0,65 \sim 1,00$ đối với sợi Các bon (*Carbon Fibre*).

Giá trị $C_D = 0,30$ và $C_E = 0,60 \sim 1,00$ đối với sợi Thủy tinh (*Glass Fibre*).

7.KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP GIA CỐ BẰNG FRP

Để tính toán khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép gia cố bằng FRP chịu nén đúng tâm theo theo ACI 318-95 (1999) người ta dựa theo công thức tính toán khả năng chịu nén của bê tông bị bó bằng FRP của *Saadatmanesh* (1994) hoặc công thức của *Saaman* (1998). Công thức tính toán khả năng chịu nén của bê tông bị bó bằng FRP tổng quát cho cả hai loại tiết diện tròn và chữ nhật theo hai tác giả trên lần lượt như sau:

7.1.Tính toán khả năng chịu nén của bê tông bị bó bằng FRP theo Saaman (1998):

Công thức tính toán khả năng chịu nén của bê tông bị bó bằng FRP của *Saaman* (1998) dạng tổng quát như sau:

$$f_{cc}' = f_c' + 3,38 f_r^{0,7} \text{ (ksi)}$$

- Đối với tiết diện tròn : $f_r = \frac{2 f_{fu} t_{wf}}{D}$

- Đối với tiết diện chữ nhật : $f_r = \max \{ f_{rx}, f_{ry} \}$; với các giá trị f_{rx}, f_{ry} theo các công thức :

$$f_{rx} = \frac{A_e}{A_c} \rho_{fx} f_{fu}; \rho_{fx} = 2 \frac{t_{wf}}{t_x}$$

$$f_{ry} = \frac{A_e}{A_c} \rho_{fy} f_{fu}; \rho_{fy} = 2 \frac{t_{wf}}{t_y}$$

với A_e là diện tích tiết diện chịu tác dụng bó của FRP của tiết diện chữ nhật, theo *Sheikh và Uzumeri* (1980) ta có thể tính A_e theo công thức sau :

$$A_e = t_x t_y - \left(\frac{w_x^2 + w_y^2}{3} \right) - A_{sc} - (4 - \pi) r^2$$

Và ta cũng có $f_{fu} = \frac{\varepsilon_{fu} E_f}{\gamma_f}$; $\gamma_f = 1,1$ đối với vật liệu CFRP và $\gamma_f = 1,8$ đối với vật liệu GFRP.

Giá trị ε_{fu} có thể lấy bằng 0,3% ~ 0,5% tức là 0,003 ~ 0,005 theo Restrepol và De Vino (1996).

7.2. Khả năng chịu lực cột bê tông cốt thép gia cố bằng FRP chịu nén đúng tâm:

Theo ACI 318-95 (1999) ta có công thức tính toán khả năng chịu lực của bê tông không bị bó chịu nén đúng tâm theo công thức sau đây:

$$P_n = 0,85 f'_c (A_c - A_s) + A_s f_y$$

Công thức tính toán khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép gia cố bằng FRP chịu nén đúng tâm như sau:

$$P_n = 0,85 f'_c (A_c - A_e - A_s) + 0,85 f'_{cc} A_e + A_s f_y$$

8. KẾT LUẬN KIẾN NGHỊ

Phương pháp sửa chữa, gia cố công trình bê tông cốt thép bằng tấm dán FRP đã được sử dụng rộng rãi tại Nhật Bản, Mỹ, Châu Âu ... và đã bắt đầu xuất hiện ở các nước Đông Nam Á lân cận Việt Nam. Trong nội dung báo cáo chỉ đề cập nghiên cứu tìm hiểu về phương pháp mới này nhằm có thể áp dụng sửa chữa, gia cố các công trình bê tông cốt thép.

Qua nghiên cứu chúng ta có thể nhận thấy rõ được các ưu điểm của phương pháp sửa chữa, gia cố bằng tấm dán FRP ở các mặt: vật liệu FRP có cường độ và độ bền rất cao, khối lượng riêng thấp, thi công dễ dàng nhanh chóng, ít tổn nhân công, không cần máy móc đặc biệt, có thể thi công trong điều kiện mặt bằng chật hẹp, không ảnh hưởng đến xung quanh nên có thể tiến hành thi công khi công trình vẫn tiếp tục hoạt động, khối lượng gia cố thấp, không làm thay đổi kiến trúc và công năng của công trình, đảm bảo tính mỹ thuật cao, không cần bảo trì.

Việc nghiên cứu của đề tài cung cấp thêm thông tin về vật liệu FRP, các phương pháp thi công và các công thức tính toán thiết kế sửa chữa, gia cố công trình bê tông cốt thép bằng tấm dán FRP. Nội dung đề tài đề cập đến việc áp dụng phương pháp sửa chữa, gia cố công trình bê tông cốt thép bằng tấm dán FRP cho tất cả các loại cấu kiện dầm, bản, cột.

Việc áp dụng phát triển phương pháp sửa chữa, gia cố công trình bê tông cốt thép bằng tấm dán FRP trong điều kiện tại Việt Nam đã và đang xâm nhập vào thị trường xây dựng ở Việt Nam như sửa chữa các đài nước có từ trước những năm 1975 hoặc như được sử dụng trong công trình Mê Linh Point tại TP HCM. Chúng tôi tin rằng phương pháp sửa chữa bằng vật liệu FRP sẽ có chỗ đứng cao khi mọi người hiểu rõ về các tính chất ưu việt của phương pháp này.

REPAIRING AND STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY USING FRP (FIBER REINFORCED POLYMER)

Ngo Quang Tuong

University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *From the years of nineties, in the developed countries a new method of using FRP (Fiber Reinforced Polymer) materials for repairing and strengthening reinforced concrete structures has been studied and applied. This new method can help to utilize the advantages of high strength capacity of FRP materials. Moreover, the easy application of this method has made it become an ideal solution to choose when repairing and strengthening reinforced concrete structures. In spite of a little disadvantage of pricing, this new method still highly be recommended as it has much more advantages such as: easy and quick application, high performance, no need to use coffer and to ruin concrete structure, etc. Especially, it is usually used for constructions that required characteristics of high water resistance and high resistance to corrosion.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.G. Teng, J.F. Chen, S.T. Smith and L. Lam, *FRP Strengthened RC Structure*, John Wiley & Sons, 236 p, (2002).
- [2]. BS 8110, *Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and Construction (BS 8110-97)*, British Standard Institution, London, UK, 121 p, (1997).
- [3]. ACI Committee 318-95, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95)*, American Concrete Institute (ACI), Fifth Printing, Farmington Hills, Michigan, USA, 369 pp, (1999).
- [4]. ACI Committee 440R, *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) for Concrete Structures*, ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, American Concrete Institute, Detroit, MI, 68 pp, (1996).
- [5]. ACI Committee 440H, *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 97 pp, (2000)
- [6]. Arthur H. Nilson, *Design of concrete structures*, Twelfth Edition, The McGraw-Hill, 780 p, (1997).
- [7]. W.H. Mosley and J.H. Bungey, *Reinforced concrete design*, Fourth Edition, Macmillan, 388 p., (1993).
- [8]. Mahmoud T. El-Mihilmy and Joseph W. Tedesco, *Analysis of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates*, Journal of Structural Engineering, June 2000, pp. 684- 691, (2000).
- [9]. Vistasp M. Karbhari, *Use of Composite Materials in Civil Infrastructure in Japan*, October (1998).
- [10]. Masterbuilders Inc., *MBrace Composite Strengthening System Engineering Design Guidelines*, 2nd Edition, Masterbuilders Inc., Cleveland, Ohio, 125 p, (1998)