

# Nghiên cứu gia cố cọc bê tông cốt thép ứng lực trước công trình cầu cảng bằng bọc tấm FRP

■ TS. TRẦN LONG GIANG

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**TÓM TẮT:** Các công trình cầu cảng thường được xây dựng ở các vị trí cửa sông và cửa biển, tại những vị trí này môi trường xâm thực mạnh làm cho cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) thường bị ăn mòn, xâm thực dẫn đến cốt thép bị han gỉ nhanh chóng, ảnh hưởng nghiêm trọng tới tuổi thọ của công trình. Việc phân tích, đánh giá mức độ xâm thực cũng như ảnh hưởng của các vết nứt trong các cấu kiện BTCT, đặc biệt là hệ thống cọc BTCT ứng suất trước của cầu cảng đóng vai trò rất quan trọng vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng khai thác và tuổi thọ của công trình. Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất sử dụng tấm FRP để bọc bên ngoài các cọc BTCT ứng lực trước bị nứt nhằm tăng cường khả năng chịu lực cho kết cấu.

**TỪ KHÓA:** Cọc bê tông cốt thép, cầu cảng, FRP wrap, vết nứt bê tông, khả năng chịu lực.

**ABSTRACT:** Jetties are often constructed at the locations of the estuaries and sea boundaries. In these locations, the strong aggressive environment makes reinforced concrete structures corroded and eroded quickly, leading to damaged reinforcement, that affecting the life of the construction. The analysis and assessment of the degree of concrete cracks as well as the influence of cracks in reinforced concrete structures, especially the prestressed reinforced concrete piles of the jetty plays an important role, because it directly affects the operation and service life of the works. In this study, the author proposed strengthening cracked precast concrete piles of jetties by FRP wrap.

**KEYWORDS:** Reinforced concrete pile, jetty, FRP wrap, concrete cracks, strength capacity.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các công trình cầu cảng sử dụng cọc BTCT ứng lực trước là khá phổ biến, tuy nhiên các cọc này thường làm việc trong vùng mực nước dao động thường xuyên dẫn đến bị ảnh hưởng rất nhiều bởi điều kiện tự nhiên như dòng chảy, thủy triều và vi sinh vật nơi xây dựng công trình dẫn đến sau khoảng 10 năm cọc bê tông thường bị xâm thực mạnh gây han gỉ cốt thép và nứt cọc làm ảnh hưởng

đến tuổi thọ công trình. Do đó, cần nghiên cứu gia cố các cọc BTCT ứng suất trước bị nứt để đảm bảo tuổi thọ công trình cầu cảng theo thiết kế.



Hình 1.1: Cọc BTCT ứng suất trước cầu cảng bị nứt trong khu vực thủy triều lên xuống [1]

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp thực nghiệm hiện trường (thử động PDA) để đánh giá sức chịu tải của cọc ứng lực trước tại thời điểm hiện tại, dùng phương pháp so sánh kết hợp với mô hình toán để đưa ra phương án gia cường cho các cọc BTCT ứng lực trước bị nứt của công trình cầu cảng bằng cách bọc tấm FRP.

## 2. XÁC ĐỊNH SỨC CHỊU TẢI CỌC THEO PHƯƠNG PHÁP THỬ ĐỘNG PDA

### 2.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp thử động PDA

Đầu những năm 60, sau khi máy tính ra đời, các nhà nghiên cứu đã xây dựng một thuật toán để xác định lời giải cho sự truyền sóng thực tế và được gọi là “phương trình sóng” trong phân tích động cọc. Giữa những năm 60, được

ự tài trợ của Cục Đường bộ Liên bang Mỹ, Goble, Rausche và các cộng sự ở Viện Công nghệ Case đã phát triển và xây dựng thành công phần mềm với mô hình hệ búa-cọc-đất liên tục và được ứng dụng khá rộng rãi với tên gọi là "Phương pháp thử động biến dạng lớn". Tên gọi này xuất phát từ nguyên lý cơ bản của phương pháp là phải tác động một lực lên cọc thích hợp để gây biến dạng đủ lớn, để phát huy được sức kháng lớn nhất của hệ cọc-đất.

Nội dung của phương pháp này như sau: Khi một thanh chịu va chạm ở một đầu với một khối lượng thì một vùng nhỏ vật liệu ban đầu bị nén. Sự nén này gây nên một biến dạng  $\epsilon$  và có một lực  $F$  được xác định theo công thức:

$$F = \epsilon.A.E \quad (1)$$

Trong đó:  $A$  - Diện tích tiết diện ngang và  $E$  là mô-đun đàn hồi của thanh.

Khi đó,  $F$  gây nén đoạn bên cạnh. Đồng thời, do vật liệu bị nén gây ra sự chuyển động của các phần tử. Do đó, chúng ta nói về tốc độ hạt  $u$  trong thanh, khi cho một phần tử có khối lượng  $m$  một tốc độ trong một khoảng thời gian  $\Delta t$ , thì phần tử đó sẽ được gia tốc và gây nên một lực quán tính  $(u/\Delta t)m$ . Lực quán tính này cân bằng với lực biến dạng, vì được đặt trong thời gian gia tốc phần tử nên biến dạng sẽ được truyền với tốc độ nhất định  $c$ , được gọi là tốc độ sóng ứng suất (m/s) [3].

Sóng được truyền từ một điểm đang đứng yên, trong khoảng thời gian  $\Delta t$  sóng truyền được một khoảng  $\Delta L = \Delta t.c$  do vật liệu bên dưới điểm này bị nén, điểm dịch chuyển một đoạn  $\delta$ .

Biến dạng này được gây bởi một biến dạng trên khoảng  $\Delta L$ , do đó:

$$\epsilon = \frac{\delta}{\Delta L} \quad (2)$$

Thay  $\Delta L$  bằng  $\Delta t.c$  sẽ có:

$$\epsilon = \frac{\delta}{\Delta T.c} \quad (3)$$

Do điểm này truyền đi một khoảng  $\delta$  trong thời gian  $\Delta t$  nên ta có tốc độ truyền:

$$u = \frac{\delta}{\Delta T} \quad (4)$$

Thay (4) vào (3) ta có:

$$\epsilon = \frac{u}{c} \quad (5)$$

Do vậy, biến dạng trong vật liệu thanh tỷ lệ với tốc độ phần tử tại cùng một điểm, vậy ứng suất  $\sigma$  được xác định như sau:

$$\sigma = \frac{u.E}{c} \quad (6)$$

Hoặc lực  $F$ :

$$F = u \cdot \frac{E.A}{c} \quad (7)$$

Hằng số tỷ lệ  $EA/c$  thường được gọi là trở kháng (ký hiệu là  $Z$ ) vì nó là lực mà cọc chống lại sự thay đổi đột ngột một (m/s) của tốc độ.

Cần lưu ý khi một sóng đi lên với các lực nén sẽ mang dấu âm, trong trường hợp này lực  $F$  được xác định [3]:

$$F = -u \cdot \frac{E.A}{c} \quad (8)$$

## 2.2. Lựa chọn công trình nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn các cọc BTCT ứng suất trước thuộc cầu cảng Bến Nghé, phường Phú Hữu, Quận 9, TP. Hồ Chí Minh do tại vị trí xây dựng cầu cảng, môi trường có đặc thù khí hậu nóng ẩm, mưa nhiều, thủy triều 2 lần lên và 2 lần xuống trong ngày tạo ra sự ăn mòn mạnh đối với kết cấu BTCT, đồng thời công trình có đầy đủ số liệu phục vụ cho việc đánh giá sức chịu tải cọc trước và sau khi có vết nứt xuất hiện trên thân cọc trong vùng mực nước thủy triều lên xuống (Hình 2.1).



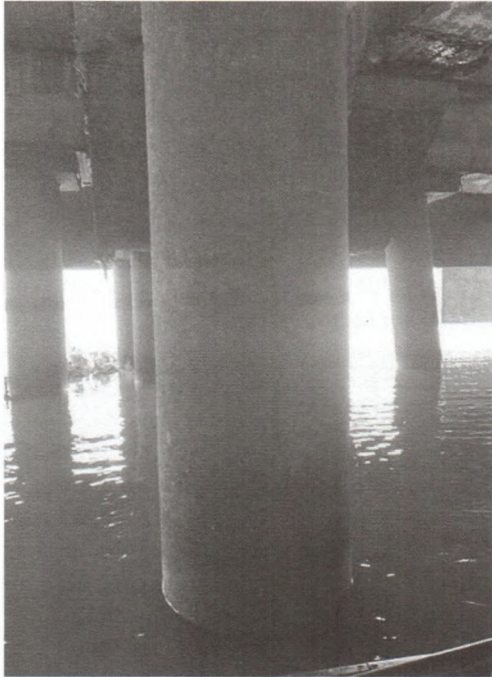
Hình 2.1: Vị trí công trình lựa chọn để nghiên cứu [2]

Cầu cảng có 5 phân đoạn, kết cấu nền cọc như sau: Theo phương ngang có 11 cọc được đóng thành 9 hàng, trong đó có 2 hàng cọc đóng chụm đôi (hàng cọc thứ 2 và thứ 6 tính từ ngoài sông vào), mỗi hàng gồm 2 cọc đóng xiên 6:1, còn lại 7 hàng cọc đơn đóng thẳng. Tổng số cọc của cầu chính là 660 cọc. Mô tả chi tiết về công trình thử nghiệm được trình bày trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Các thông số kỹ thuật của công trình thử nghiệm

STT	Nội dung	Thông số kỹ thuật
1	Năm đưa vào khai thác	2008
2	Kích thước bến	320x33
3	Cao trình đáy thiết kế	-12,3 (hải đồ)
4	Trọng tải tàu container/ Lượng giãn nước	30.000 DWT D = 42.820 T
	LxBxTc	218x30,2x11,1
5	Cọc BTCT	D600-380
6	Đệm tàu HOM1000H	E = 55,0 Tm; P = 105,1T
7	Bích neo	150 T

Qua khảo sát phát hiện nhiều cọc có vết nứt và các vết nứt thân cọc xảy ra trong khu vực mực nước dao động (Hình 2.2), trung bình mỗi cọc có 2 - 3 vết nứt, chiều dài vết nứt dao động từ 20 - 150 cmm, độ rộng vết nứt 0,3 - 1,0 mm, có hiện tượng xâm thực ăn mòn bê tông do sinh vật (hà, sò...) trong môi trường nước gây ra, các vết nứt dọc thân cọc và trùng với vị trí cốt thép ứng suất trước. Như vậy, các cọc không đảm bảo điều kiện làm việc theo quy định [4]. Cần phải đánh giá sức chịu tải của cọc hiện trạng để có các biện pháp khắc phục và sửa chữa, đảm bảo an toàn cho công trình.



Hình 2.2: Các vết nứt xảy ra do tác động tổng hợp trong khu vực mực nước thủy triều dao động [2]

**2.3. Khả năng chịu tải của cọc ban đầu**

Trong quá trình thi công xây dựng cầu cảng Bến Nghé vào năm 2008, công tác xác định sức chịu tải của cọc ở hiện trường được tiến hành cho 5 cọc của cầu chính. Kết quả thí nghiệm PDA cho 5 cọc được trình bày trong Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Kết quả thí nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng phương pháp biến dạng lớn (PDA) trong quá trình thi công xây dựng

STT	Tên cọc	Ngày thí nghiệm	Sức chịu tải thí nghiệm (Tấn)
1	C1	15/12/2007	368,0
2	C2	11/12/2007	371,4
3	C3	3/11/2007	351,9
4	C4	29/10/2007	376,8
5	C5	1/10/2007	391,7

Căn cứ vào kết quả thử PDA của cọc trong giai đoạn thi công xây dựng được trình bày ở bảng trên có thể thấy sức chịu tải của các cọc là rất tốt (trên 350 tấn) và tương đối đồng đều, đạt giá trị trung bình 363,77 (tấn).

**2.4. Khả năng chịu tải cọc sau khi có vết nứt**

Công tác thí nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng phương pháp PDA được thực hiện cho 2 cọc của cầu cảng

ở phân đoạn 1, cọc C1 có các vết nứt dọc thân cọc ngăn v cọc C2 có vết nứt thân cọc dài nhằm mục đích xác định sức chịu tải tại thời điểm hiện tại của các cọc.

Để tiến hành công tác thí nghiệm PDA cho 2 cọc tại vị trí này cần tiến hành phá dỡ bê tông bản mặt cầu, dẫn ngang và dầm dọc để lộ các đầu cọc, phạm vi phá dỡ sẽ cho đủ để lắp đặt thiết bị và người thực hiện các thao tác chuẩn bị, đo đạc và quan sát.

Căn cứ theo báo cáo kết quả thí nghiệm PDA do Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Hàng hải thực hiện tháng 02/2021, sức chịu tải của 2 cọc C1 và C2 như sau (Bảng 2.3).

Bảng 2.3. Kết quả thí nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng phương pháp biến dạng lớn (PDA)

STT	Tên cọc	Ngày thí nghiệm	Sức chịu tải thí nghiệm (Tấn)
1	C1	25/02/2021	297,06
2	C2	25/02/2021	209,75

Tiến hành so sánh ta thấy sức chịu tải của cọc bị ảnh hưởng rất nhiều khi có vết nứt xảy ra, giảm 22,5% sức chịu tải khi vết nứt ngắn (20 - 40 cm) và giảm đến 73,4% sức chịu tải khi vết nứt dài (100 - 150 cm).

**3. GIẢI PHÁP GIA CỐ CỌC BỊ NỨT BẰNG BỌC TẮM FRP**

FRP là loại hỗn hợp liên kết bao gồm: Polyester hoặc Epoxy và sợi thủy tinh nên còn gọi là composite. Hiện nay, vật liệu FRP được ứng dụng rộng rãi trong việc chế tạo các sản phẩm có tính ưu việt và chịu được những điều kiện thời tiết khắc nghiệt, chịu được sự hao mòn hóa học, chịu được sự đàn hồi, chống mài mòn có độ bền cơ học...

Để chống lại hiện tượng ăn mòn cốt thép và tăng cường khả năng chịu lực của các cọc BTCT bị nứt, hiện nay các đơn vị thiết kế thường sử dụng phương pháp bọc các cọc cần gia cường bằng các tấm composite sợi cacbon. Việc tính toán gia cường sử dụng tiêu chuẩn ACI 440-R2 của Mỹ. Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất giải pháp này để gia cường cho các cọc BTCT ứng lực trước bị nứt của cầu cảng Bến Nghé.

**3.1. Thông số kỹ thuật của tấm FRP gia cố**

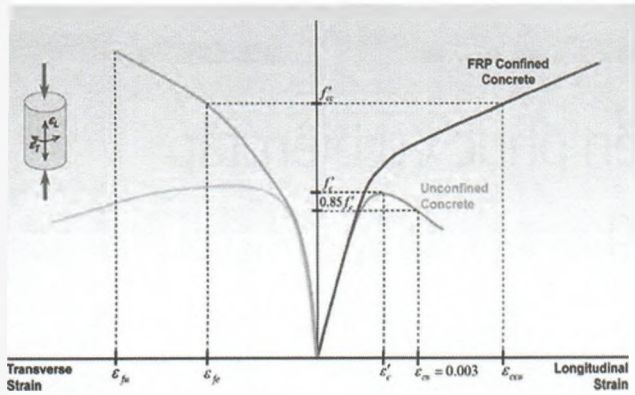
Tính chất cơ lý của một số loại vật liệu FRP trên thị trường hiện nay được tóm tắt trong Bảng 3.1. Trong nghiên cứu này vật liệu CFRP được lựa chọn vì có sẵn trên thị trường.

Bảng 3.1. Tính chất cơ lý của vật liệu FRP

Tính chất cơ học	Thép	GFRP	CFRP	AFRP
Giới hạn chảy, MPa	276...517	Không có	Không có	Không có
Cường độ chịu kéo, MPa	483...690	483...1600	400...3690	1720...2540
Mô-đun đàn hồi, $\times 10^3$ MPa	200	35...51	120...580	41...125
Biến dạng tỉ đối chảy, %	0,14...0,25	Không có	Không có	Không có
Biến dạng tỉ đối tại thời điểm đứt, %	6...12	1,2...3,1	0,5...1,7	1,9...4,4

**3.2. Nguyên lý tính toán**

Nguyên lý của phương pháp gia cường các cọc bị nứt bằng bọc tấm FRP như sau: Khi bọc bê tông bằng tấm FRP sẽ cho phép tăng cường khả năng chịu nén và biến dạng của bê tông, đồng thời phát huy được khả năng chịu kéo cao của vật liệu FRP.



Hình 3.1: Nguyên lý gia cường bằng phương pháp bọc tấm FRP

Cường độ chịu nén và biến dạng lớn nhất đạt được khi gia cường cấu kiện bằng tấm FRP được xác định theo công thức sau [5]:

$$f_{cc'} = f_c' + \varphi_f 3,3 k_a f_l \tag{9}$$

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon_c' \left[ 1,5 + 12 k_b \frac{f_l}{f_c'} \left( \frac{\epsilon_f f_c}{\epsilon_c'} \right)^{0,45} \right] \tag{10}$$

Trong đó:

$f_c'$  - Cường độ chịu nén của bê tông ban đầu lúc chưa gia cường;

$f_l$  - Áp lực do tấm FRP gây ra được xác định theo công thức;

$$f_l = \frac{2 E_f n t_f \epsilon_f \epsilon_c}{D} \tag{11}$$

$E_f$  - Mô-đun đàn hồi của tấm composite;

$n$  - Số lớp FRP gia cường;

$D$  - Đường kính của cọc,  $D = 600$  mm;

$\epsilon_c'$  - Biến dạng ban đầu của tấm FRP gia cố;

$k_a$  và  $k_b$  - Hệ số hình dạng, đối với tiết diện hình tròn thì

$$k_a = k_b = 1;$$

$\varphi_f$  - Hệ số triết giảm cường độ dao động từ 0,65 - 0,90

lấy theo ACI 440-2R;  $\varphi_f = 0,65$  với hạng mục cầu tàu;

$\epsilon_{ccu}$  - Biến dạng tối đa của bê tông sau khi gia cường tấm FRP;

$\epsilon_c'$  - Biến dạng lớn nhất của bê tông trước khi gia cường tấm FRP;

$\epsilon_{fc}$  - Biến dạng tăng thêm sau khi gia cường tấm FRP.

### 3.3. Kết quả tính toán

Chiều dày của tấm bọc FRP được chọn là 0,2 mm. Số lớp tấm FRP gia cường được thay đổi tăng dần từ 1 - 5 để xác định sự thay đổi khả năng chịu lực của kết cấu, quá trình lặp lại cho đến khi khả năng chịu lực của kết cấu đạt đến trạng thái thiết kế ban đầu. Kết quả quá trình tính toán được trình bày trong Bảng 3.2.

Bảng 3.2. Khả năng chịu tải của cọc sau khi gia cường

Số lớp tấm FRP	Sức chịu tải cọc được gia cường (Tấn)	Tỷ lệ $f/f_c'$
1,0	335,0	0,04
2,0	359,2	0,07
3,0	383,3	0,11
4,0	407,5	0,15
5,0	432,1	0,18

Từ kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 3.2 ta thấy khi số lớp FRP  $n = 2$  thì khả năng chịu lực của cọc gia

cường là 359,2 tấn tương đương với giá trị trung bình sức chịu tải cọc ban đầu, đồng thời kiểm tra tỷ lệ  $f/f_c'$  theo quy định của ACI 440.2R-08 phải nhỏ hơn 0,08, [5]. Như vậy, việc gia cường 2 lớp là phù hợp.

### 4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nguyên nhân cũng như ảnh hưởng của các vết nứt đến khả năng chịu lực của cọc BTCT ứng lực trước dùng trong công trình cầu cảng đã được chỉ ra. Kết quả khảo sát, thí nghiệm PDA tại hiện trường cho thấy:

- Nguyên nhân của các vết nứt trên thân cọc (phổ biến ở đoạn mực nước dao động) là do bê tông cọc bị xâm thực nên giảm hoặc không còn đảm bảo chức năng bảo vệ cốt thép tại khu vực này dẫn đến cốt thép bị han rỉ và gây ra các vết nứt trong bê tông đặc biệt là trong khu vực nước mặn.

- Qua thí nghiệm PDA 2 cọc C1 và C2 thấy khả năng chịu lực của cọc giảm nhiều so với số liệu kiểm định do Viện Khoa học và Công nghệ GTVT thực hiện vào thời điểm năm 2007 (giá trị trung bình là 363,77 (tấn)).

- Việc gia cường các cọc BTCT ứng lực trước bằng cách bọc các tấm FRP có nhiều ưu việt so với các phương án truyền thống, đặc biệt trong điều kiện thi công sửa chữa công trình tại những nơi có nước thủy triều dao động liên tục, việc tính toán số lớp FRP tối ưu có thể sử dụng phương pháp tính được trình bày trong bài báo này.

- Căn cứ vào kết quả nghiên cứu này, các đơn vị liên quan công trình nói trên cần tiến hành đồng thời việc xử lý các vết nứt cọc với việc gia cường kết cấu cọc bị nứt để đảm bảo an toàn công trình, không làm ảnh hưởng đến việc khai thác cầu cảng theo thiết kế ban đầu.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT 21-22:110.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Báo cáo khảo sát hiện trạng số 19/2021/TKCT Do Công ty Cổ phần Tư vấn xây dựng công trình hàng hải, thực hiện tháng 02/2021.
- [2]. Báo cáo kết quả thí nghiệm PDA của Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ hàng hải, thực hiện tháng 02/2021.
- [3]. TCVN 11321 - 2016, Phương pháp thử cọc động biến dạng lớn.
- [4]. TCVN 9436:2012, Kết cấu bê tông và BTCT - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
- [5]. ACI 440.2R-08 (2008), Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute.

Ngày nhận bài: 11/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 02/7/2022

Người phản biện: PGS. TS. Đào Văn Tuấn

TS. Nguyễn Thị Hồng Hạnh