Ảnh hưởng của bề rộng vết nứt đến khả năng chịu lực của cọc bê tông cốt thép ứng suất trước dùng trong công trình cầu cảng

■ **TS. TRẦN LONG GIANG**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Hiện tượng nứt kết cấu bê tông cốt thép là mối lo phổ biến của các chủ đầu tư và người sử dụng công trình, đặc biệt là 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 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 bê tông cốt thép, đặc biệt là hệ thống cọc bê tông cốt thép 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, phương pháp thử động PDA được kết hợp với mô hình toán học được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của bề rộng vết nứt bê tông lên sức chịu tải của cọc bê tông cốt thép ứng suất trước. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi các vết nứt có bề rộng nhỏ hơn 0,05 mm xuất hiện sức chịu tải của cọc bị ảnh hưởng không nhiều, đặc biệt là các vết nứt có bề rộng vượt quá giới hạn cho phép theo TCVN 5574:2012 thì khả năng chịu tải của cọc vẫn đảm bảo theo trạng thái giới hạn I.

TỪ KHÓA: Cầu cảng, phương pháp thử động, bề rộng vết nứt, khả năng chịu lực, cọc bê tông ứng suất trước.

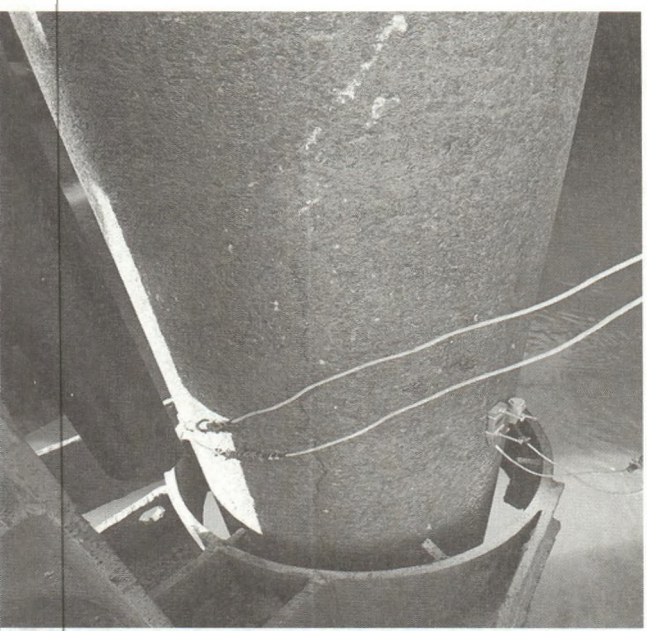
ABSTRACT: Jetties are often constructed at the locations of the estuaries and sea boundaries. In these locations, the strong aggressive environment makes reinforced concrete structures corroded and eroded quickly, leading to damaged reinforcement, that affecting the life of the construction. The analysis 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 PDA method is combined with the comparative method to evaluate the effect of concrete cracks on the load capacity of prestressed reinforced concrete piles. The study has shown that when the crack width less than 0.05 mm, the bearing capacity of the pile is slightly affected, especially when the cracks width exceeding the limit value according to TCVN 5574:2012, the load capacity of the pile is still guaranteed according to limit state I.

KEYWORDS: Jetty, pile driving analyzer, crack width, strength capacity, reinforced concrete pile.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu hướng sử dụng cọc bê tông cốt thép ứng suất trước trong công trình thủy đang ngày càng 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 dẫn đến han gỉ cốt thép (bề mặt bê tông bị thấm, bị rỗ, bê tông dọc theo các thanh cốt thép bị nứt do cốt thép bị xâm thực nở thể tích...) và gây nứt cọc làm ảnh hưởng đến tuổi thọ công trình [1, 2]. Do đó, cần nghiên cứu ảnh hưởng của các vết nứt đến khả năng chịu lực của cọc bê tông cốt thép ứng suất trước dùng trong công trình cầu cảng làm cơ sở cho gia cố công trình để đảm bảo tuổi thọ công trình cầu cảng theo thiết kế [3, 4].

Trong nghiên cứu này, tác giả kết hợp phương pháp thử động PDA với phương pháp so sánh để xác định mức độ ảnh hưởng các vết nứt đến khả năng chịu lực của cọc bê tông cốt thép ứng suất trước dùng trong công trình cầu cảng... [5, 6], đồng thời đưa ra giải pháp ứng dụng vật liệu FRP, một loại vật liệu mới có nhiều tính năng vượt trội so với thép truyền thống, [7] đã và đang được ứng dụng trong thi công xây dựng công trình thủy ở Việt Nam gần đây, [8] để gia cường các cọc bị nứt.



Hình 1.1: Cọc bê tông cốt thép ứng suất trước cầu cảng bị nứt [1]

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

Từ cuối thế kỷ trước, các nhà khoa học đã chứng minh rằng công tác đóng cọc hoàn toàn có thể mô phỏng một cách chính xác bằng lý thuyết truyền sóng. Lời giải cho phương trình truyền sóng một chiều đã được phát triển với các phương trình mô tả các bước của quá trình đóng cọc. Tuy nhiên, do nhiều khó khăn khi mô tả sự tương tác búa-cọc-đất, nên các kết quả đạt được theo tính toán giải tích còn hạn chế. Đầu những năm 60, sau khi máy tính ra đời, Smith đã xây dựng một thuật toán xác định quá trình truyền sóng thực tế và được gọi là "phương trình sóng" trong phân tích đóng cọc. Giữa những năm 60, được sự 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 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 tìm ra được sức kháng lớn nhất của hệ cọc-đất.

Khi một thanh có va chạm ở một đầu với một khối lượng thì một vùng nhỏ vật liệu ban đầu bị nén. Sự nén này gây nén một biến dạng ε và một lực F được xác định theo công thức:

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

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 dịch chuyển với tốc độ trong một khoảng thời gian Δt, thì phần tử đó sẽ được gia tốc và gây nên một lực quán tính (u/Δt)m.

Sóng được truyền từ một điểm đang đứng yên, trong khoảng thời gian Δt sóng truyền được một khoảng ΔL = Δt.c do vật liệu bên dưới điểm này bị nén, nên điểm dịch chuyển một đoạn δ. Trong đó, c là tốc độ sóng.

Biến dạng này được sinh ra trên khoảng ΔL, do đó:

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

Thay ΔL bằng Δt.c sẽ có:

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

Do điểm này truyền đi một khoảng δ trong thời gian Δt nên tốc độ truyền được xác định theo công thức:

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

Thay (4) vào (3) ta có:

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

Ứng suất σ sẽ được xác định như sau:

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

Hay lực F:

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

2.2. Thiết bị đo thử tải

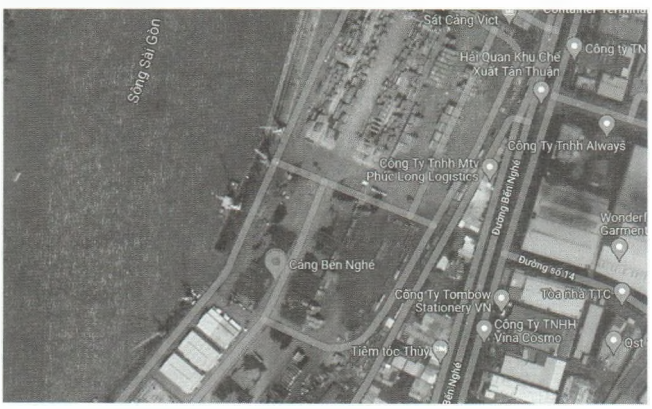
Các thiết bị dùng để xác định sức chịu tải của cọc theo phương pháp PDA *(Hình 2.1)* bao gồm:

- Máy PDA;
- 2 đầu đo gia tốc;
- 2 đầu đo biến dạng;
- Hệ thống cáp dẫn;
- Card chuyên dụng thu nhận số liệu;
- Chương trình phần mềm xử lý CAPWAP;
- Máy tính chuyên dụng;
- Búa thử động hoặc búa diesel ≥ 3,2 tấn;
- Chiều cao rơi H và tải trọng của búa phụ thuộc vào tải trọng thí nghiệm yêu cầu (P), tải trọng này do thiết kế quy định.

Hình 2.1: Thiết bị kiểm tra sức chịu tải của cọc theo phương pháp PDA [2]

2.3. Lựa chọn công trình nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn các cọc bê tông cốt thép 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 hai lần lên và hai lần xuống trong ngày tạo ra sự ăn mòn mạnh đối với kết cấu bê tông cốt thép, đồng thời có đầy đủ điều kiện để thu thập số liệu phục vụ cho công tác nghiên cứu *(Hình 2.2)*.



Hình 2.2. Cầu cảng Bến Nghé, phường Phú Hữu, Quận 9, TP. Hồ Chí Minh

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. Bước cọc theo phương ngang thứ tự từ ngoài sông vào là: 1,9 + 4x4,5 + 3x3,9 m, hàng cọc ngoài cùng đóng cách tuyến mép bến là 0,9 m; bước cọc theo phương dọc là 5,6 m. 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*.

Qua khảo sát, tổng số cọc phát hiện có vết nứt là 45 cọc (19 cọc tại phân đoạn 1 và 26 cọc tại phân đoạn 2). 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 cm, độ rộng vết nứt 0,3 - 1,1 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 [9]. Cần phải có các biện pháp khắc phục và sửa chữa ngay.

Bảng 2.1. Các thông số kỹ thuật của công trình thử nghiệm [1]

TT	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 bê tông cốt thép	D600-380
6	Đệm tàu HOM1000H	E = 55,0 Tm; P = 105,1 T
7	Bích neo	150 T

3. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA VẾT NỨT ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP ỨNG SUẤT TRƯỚC

3.1. 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 3.1*.

Bảng 3.1. 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 [2]

TT	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	01/10/2007	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 còn rất tốt (trên 350 tấn) và tương đối đồng đều, đạt giá trị trung bình 363,77 (tấn).

3.2. Khả năng chịu tải cọc sau khi có vết nứt

Để đánh giá ảnh hưởng của bề rộng vết nứt đến sự suy giảm sức chịu tải của cọc, 3 trạng thái được lựa chọn để phân tích, so sánh bao gồm: (1) cọc không xuất hiện vết nứt, (2) cọc xuất hiện vết nứt với bề rộng nhỏ hơn 0,5 mm và (3) cọc xuất hiện các vết nứt với bề rộng lớn hơn 0,5 mm. Sức chịu tải của cọc không có vết nứt được xác định dựa theo kết quả thử nghiệm cọc trong quá trình thi công cầu cảng vào năm 2007, kết quả trình bày trong *Bảng 3.1*. Dựa vào kết quả *Bảng 3.1* có thể thấy sức chịu tải các cọc ở trạng thái nguyên vẹn đều lớn hơn 350 (tấn).

Hình 3.1: Công tác phá dỡ bản mặt cầu và dầm để thí nghiệm PDA cọc C1 và C2 [2]

Đối với trạng thái (2) và (3), sức chịu tải được xác định theo phương pháp PDA dựa trên khảo sát và đánh giá hiện trạng mức độ nứt các cọc. 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 với bề rộng từ 0,3 mm đến 0,5 mm và cọc

C2 có vết nứt thân cọc với bề rộng lớn hơn 0,5 mm đến 1,1 mm 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, dầm ngang và dầm dọc để lộ các đầu cọc, phạm vi phá dỡ sao cho đủ để lắp đặt thiết bị và người thực hiện các thao tác chuẩn bị, đo đạc và quan sát *(Hình 3.1)*.

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 *Bảng 3.2*. Có thể nhận thấy sức chịu tải các cọc giảm xuống dưới 300 (tấn) sau khi có vết nứt xuất hiện (giá trị trung bình là 363,77 tấn).

Bảng 3.2. Kết quả thí nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng phương pháp (PDA) [2]

TT	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 có bề rộng từ 0,3 - 0,5 mm và giảm đến 73,4% sức chịu tải khi vết nứt có bề rộng trên 0,5 - 1,1 mm.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nguyên nhân cũng như ảnh hưởng của các vết nứt đến khả năng chịu lực của cọc bê tông cốt thép ứng suất 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 sức chịu tải hiện trường 2 cọc C1 và C2 thấy khả năng chịu lực của cọc giảm đáng kể 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). Còn so sánh, đối chiếu với Hồ sơ tính toán thiết kế thì sức chịu tải của cọc thực tế như trên cơ bản đảm bảo yêu cầu thiết kế (giá trị nội lực từ kết quả tính toán kết cấu là: M = 17,27 Tm, N = 158,03 tấn; sức chịu tải tính toán của cọc theo đất nền P_n = 223,3 tấn; theo vật liệu cọc P_n = 227,17 tấn.

- Theo quy định của Bảng 2 của TCVN 5574:2012 [10] thì bề rộng vết nứt của cấu kiện bê tông không cho phép vượt quá 0,4 mm, còn theo quy định trong Bảng 4 của TCVN 7888:2014 [11] thì nếu bề rộng vết nứt của cọc bê tông cốt thép ứng suất trước lớn hơn 0,05 mm, thì cọc được coi như không đáp ứng yêu cầu thiết kế và không đảm bảo điều kiện về chịu lực. Tuy nhiên, qua thí nghiệm hiện trường ta thấy khả năng chịu tải của cọc tuy giảm đến 30% nhưng vẫn lớn hơn giá trị sức chịu tải trọng trong thiết kế ban đầu. Vì vậy, kiến nghị trong tính toán chỉ nên khống chế ứng suất trong cốt thép và bê tông, không cần khống chế bề rộng vết nứt.

- Căn cứ vào kết quả nghiên cứu trình bày ở trên, các đơn vị liên quan công trình cần tiến hành duy tu, sửa chữa định kỳ, xử lý các vết nứt cọc nhằm khống chế không cho vết nứt phát triển thêm, 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]. *Report on pile test results of jetty No. 1 of Ben Nghe Port, No. 19/2021/TKCT by Maritime Construction Consulting Joint Stock Company*, February 2021.

[2]. *Report of PDA test on prestressed concrete piles for jetty No. 1 of Ben Nghe Port, by the Institute of Marine Science and Technology*, February 2021.

[3]. T.B. Nguyen (8/2012), *The cause of concrete and reinforced concrete erosion in irrigation works - Solutions to overcome and prevent*, Journal of water resources Science and Technology.

[4]. M. T. Vo (2021), *Influence of limited crack width in the design of reinforced concrete structures in coastal areas, Journal of Construction Science and Technology* , vol.3.

[5]. V. N. Nguyen, NB Nguyen, *Designing reinforced concrete structures according to requirements on crack formation and expansion according to TCVN5574:2012 and SP63.13330-2012*, Journal of Construction Science and Technology, no.3.

[6]. TCVN 11321 - 2016, *Piles - High-strain dynamic testing.*

[7]. L.G. Tran (Feb 2020), *Experimental study on using Fibre Reinforced Polymer (FRP) bar for replacing steel bar in the design of elements of sea dike*, Journal of Transportation Science and Technology, vol.35.

[8] L.G Tran, G. Hoang (01/2016), *Study application of thin wall reinforced composite concreteblock for construction of breakwaterts*, Journal of Marine Science and Technology, vol.45.

[9]. TCVN 9346:2012, *Concrete and reinforced concrete structures - Requirements of protection from corrosion in marine environment.*

[10]. TCVN 5574: 2012, *Concrete and reinforced concrete structures - Design standards.*

[11]. TCVN 7888:2014, *Pretensioned spun concrete piles.*

Ngày nhận bài: 19/5/2022
Ngày chấp nhận đăng: 11/6/2022
Người phản biện: PGS. TS. Đào Văn Tuấn
TS. Nguyễn Thị Hồng Hạnh