

ƯỚC LƯỢNG SỨC CHỊU TẢI GIỚI HẠN CỦA CỌC BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP NGOẠI SUY ĐƯỜNG CONG NÉN TĨNH METHOD TO DETERMINE PILE CAPACITY BY ESTIMATING ULTIMATE LOAD FROM STATIC LOAD TEST

ThS. NGUYỄN XUÂN TRƯỜNG¹, TS. PHẠM VIỆT ANH², TS. LÊ HỒNG HẠNH³

¹Viện KHCN Xây dựng

^{2,3}Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: truong12geo.ibst@gmail.com, +84 936 585 522

Tóm tắt: Thí nghiệm nén tĩnh cọc được xem là thí nghiệm đánh giá chính xác nhất khả năng chịu tải của cọc và được dùng để kiểm chứng giá trị sức chịu tải của cọc xác định bằng các phương pháp khác. Tuy vậy không phải lúc nào cọc thí nghiệm cũng được nén đến tải trọng phá hoại. Trong trường hợp đó, việc ước lượng được chính xác sức chịu tải giới hạn của cọc sẽ làm cho thiết kế tiết kiệm mà vẫn đảm bảo an toàn. Một số phương pháp thông dụng bao gồm phương pháp Davisson, phương pháp Decourt, phương pháp 90% Brinch Hassen, ... Bài báo đề xuất cách ước lượng sức chịu tải bằng cách sử dụng kết hợp các phương pháp trên. Các tính toán sau đó được so sánh với kết quả đo sức chịu tải giới hạn từ một vài thí nghiệm nén tĩnh cọc thực tế, từ đó đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp đề xuất.

Từ khóa: thí nghiệm nén tĩnh cọc, sức chịu tải giới hạn, ngoại suy, đường cong P-S.

Abstract: The static loading test is considered to be the most accurate method to evaluate the pile capacity. It is used to verify the pile capacity determined by other methods. However, in many cases, the test pile was not loaded until failure. In these cases, an accurate estimate of the ultimate load will ensure an economical design while maintaining safety requirements. Some common methods that are used to determine the pile capacity are the Davisson's offset limit method, the Decourt extrapolation, the Brinch Hassen 90% criterion, ... This paper proposes an alternate method of estimating the ultimate load by combining these methods above. Then the estimated pile capacity is compared with the measured pile capacity from the static load test, and the promise of the proposed method is discussed.

Keywords: *static loading test, pile capacity, extrapolation, load-settlement curve*

1. Đặt vấn đề

Thí nghiệm nén tĩnh cọc được xem là thí nghiệm đánh giá chính xác nhất khả năng chịu tải của cọc theo đất nền và được dùng để kiểm chứng giá trị sức chịu tải của cọc xác định bằng các phương pháp khác [1]. Kết quả thí nghiệm cho phép xây dựng đường cong quan hệ tải trọng – chuyển vị, là cơ sở để xác định sức chịu tải giới hạn (SCT) của cọc. Theo [2], SCT của cọc đơn bằng tải trọng tương ứng với điểm đường cong quan hệ tải trọng – chuyển vị biến đổi độ dốc đột ngột. Tuy vậy không phải đường cong thí nghiệm nén tĩnh nào cũng có điểm uốn rõ ràng, do cọc chưa được nén đến tải trọng phá hoại vì lý do kinh tế. Trong trường hợp đó, việc ước lượng được chính xác SCT của cọc là yêu cầu thiết yếu để đảm bảo cho việc thiết kế tiết kiệm mà vẫn an toàn.

Có đến khoảng một chục phương pháp ngoại suy khác nhau để xác định SCT của cọc, như là phương pháp Vander Veen [3], phương pháp 80% và phương pháp 90% Brinch Hassen [4], phương pháp De Beer [5], phương pháp Fuller & Hoy [6], phương pháp Chin-Kondner [7][8], phương pháp Davisson [9], phương pháp Mazurkiewicz [10], phương pháp Butler & Hoy [11] và phương pháp Decourt [12]. Tuy nhiên đến nay không thể kết luận phương pháp nào chính xác hơn phương pháp nào. TCVN 9393-2012 chỉ dừng lại ở việc đề xuất các phương pháp có thể sử dụng mà không chỉ định riêng bất kỳ một phương pháp nào. Trong từng trường hợp cụ thể, tùy theo điều kiện địa chất và tùy theo kinh nghiệm bản thân mà kỹ sư thiết kế sẽ quyết định chọn sử dụng phương pháp thích hợp.

Giữa các kết quả nghiên cứu đã được công bố cũng không có một kết luận thống nhất. Từ kết quả tính toán cho 64 cọc CFA theo 6 phương pháp khác nhau (Davisson, Hassen, Chin, De Beer, Mazurkiewicz và Decourt), Abdelrahman và các cộng sự [13] cho rằng 3 phương pháp Chin, Mazurkiewicz và Decourt cho kết quả chính xác hơn và phương pháp Davisson cho kết quả kém chính xác nhất. Trái lại, Hasnat và các cộng sự [14], dựa trên kết quả tính toán và thí nghiệm của 17 cọc đóng và 3 cọc khoan nhồi lại kết luận rằng phương pháp Davisson có sai số ít hơn so với phương pháp Decourt và phương pháp 80% Hassen. Nguyên nhân là do các đường cong ngoại suy chỉ là những diễn dịch gần đúng của kết quả thí nghiệm. Kết quả xác định SCT theo mỗi phương pháp chỉ gần với kết quả thực mà không phải là kết quả chính xác.

Mặc dù các phương pháp ngoại suy có thể lựa chọn xấp xỉ quan hệ tải trọng – chuyển vị đầu cọc bằng các đường cong khác nhau: parabol (Brinch Hassen, Mazurkiewicz) hoặc hyperbol (Chin-Kondner, Decourt), kết quả tính toán theo các phương pháp khác nhau cũng không lệch nhau quá xa chứng tỏ tại vị trí SCT giới hạn các đường cong này gần trùng nhau và cũng gần với đường cong thực. Trong nghiên cứu này, các tác giả phát triển phương pháp ước lượng sức chịu tải giới hạn của cọc, bằng cách kết hợp đồng thời các phương pháp ngoại suy khác nhau, nhằm cho kết quả ước lượng SCT của cọc chính xác hơn. Phương pháp này, sử dụng quan niệm về cách xác định SCT của Davisson và Hassen trên cơ sở các đường cong ngoại suy của Chin-Kondner và Decourt. Các tác giả đã đưa ra 04 phương pháp xác định sức chịu tải giới hạn của cọc gồm giao điểm đường Davisson với đường cong Chin-Kondner; giao điểm của

đường Davisson với đường cong Decourt; quan điểm 90% Brinch Hassen trên đường cong Chin-Kondner và quan điểm 90% Brinch Hassen trên đường cong Decourt.

2. Giao điểm của đường Davisson với đường cong Chin-Kondner

Phương pháp ngoại suy Chin-Kondner thường cho kết quả lớn hơn phương pháp Davisson 20-40% [15], [16]. Do đó trước tiên có thể dùng phương pháp Chin-Kondner để ngoại suy ra đường cong P-S, tiếp đó kết hợp với cách xác định SCT của Davisson để xác định được giá trị SCT đáng tin cậy hơn.

Theo phương pháp Chin-Kondner, đồ thị (S/P; S) của kết quả thí nghiệm có dạng đường thẳng, có hệ số góc C_1 và cắt trục S/P tại C_2 :

$$\frac{S}{P} = C_1 \times S + C_2 \tag{1}$$

Đường cong tải trọng – chuyển vị theo phương pháp Chin-Kondner có dạng:

$$P = \frac{S}{C_1 S + C_2} \tag{2}$$

với C_1, C_2 là 2 hằng số.

Theo Davisson SCT giới hạn của cọc được xác định bằng tải trọng tương ứng với chuyển vị của cọc bằng biến dạng đàn hồi chịu nén của cọc (PL/EA) cộng với 0.15 inch (3.8 mm) cộng với D/120, với D là đường kính của cọc:

$$S_{gh} = \frac{P_{gh}L}{EA} + 3.8 + \frac{D}{120} \tag{3}$$

trong đó: E - modun biến dạng của cọc, A - diện tích tiết diện cọc.

Giao điểm của (1) và (2) ta có, SCT giới hạn của cọc P_{gh} là nghiệm của phương trình:

$$\left(\frac{C_1 L}{AE}\right) P_{gh}^2 + \left[C_1 \left(3.8 + \frac{D}{120}\right) + C_2 - \frac{L}{AE}\right] P_{gh} - \left(3.8 + \frac{D}{120}\right) = 0 \tag{4}$$

3. Giao điểm của đường Davisson với đường cong Decourt

Theo Decourt, nếu biểu diễn mối quan hệ P/S và P sẽ được đồ thị có dạng đường thẳng gần đúng có hệ số góc C_3 và cắt trục P/S tại C_4 :

$$\frac{P}{S} = C_3 P + C_4 \tag{5}$$

Tải trọng giới hạn P_{gh} được xác định từ giao điểm của đường thẳng Davisson (3) với đường cong Decourt, xác định từ phương trình:

$$P = \frac{C_4 S}{1 - C_3 S} \tag{6}$$

và là nghiệm của phương trình:

$$\left(\frac{C_3 L}{AE}\right) P_{gh}^2 + \left[C_3 \left(3.8 + \frac{D}{120}\right) + \frac{C_4 L}{AE} - 1\right] P_{gh} - \left(3.8 + \frac{D}{120}\right) C_4 = 0 \tag{7}$$

4. Áp dụng quan điểm 90% Brinch Hassen trên đường cong Chin-Kondner

Theo quan điểm 90% Brinch Hassen, điểm $(0.9P_{gh}, 0.5S_{gh})$ cũng thuộc đường cong tải trọng – độ lún. Thay thế điểm này vào đường cong ngoại suy Chinkdner (1), ta có:

$$0.9P_{gh} = \frac{\frac{1}{2}S_{gh}}{C_1 \frac{1}{2}S_{gh} + C_2} \tag{8}$$

Kết hợp với phương trình:

$$P_{gh} = \frac{S_{gh}}{C_1 S_{gh} + C_2} \tag{9}$$

Ta xác định được độ lún giới hạn S_{gh} và SCT giới hạn P_{gh} như sau:

$$S_{gh} = \frac{8C_2}{C_1} \text{ và } P_{gh} = \frac{8}{9C_1} \tag{10}$$

SCT thu được nhỏ hơn so với SCT tính theo phương pháp Chin-Kondner:

$$P_{gh} = \frac{1}{C_1} \tag{11}$$

5. Áp dụng quan điểm 90% Brinch Hassen trên đường cong Decourt

Tương tự, áp dụng quan điểm 90% của Brinch Hassen với đường cong ngoại suy của Decourt, độ lún giới hạn S_{gh} và SCT giới hạn P_{gh} là nghiệm của hệ phương trình sau:

$$0.9P_{gh} = \frac{0.5S_{gh} C_4}{1 - 0.5C_3 S_{gh}} \tag{12}$$

$$P_{gh} = \frac{S_{gh} C_4}{1 - C_3 S_{gh}}$$

Giải hệ phương trình ta thu được SCT giới hạn P_{gh} như sau:

$$S_{gh} = -\frac{8}{C_3} \text{ và } P_{gh} = -\frac{8C_4}{9C_3} \tag{13}$$

SCT thu được cũng nhỏ hơn so với SCT tính theo phương pháp Decourt:

$$P_{gh} = -\frac{C_4}{C_3} \tag{14}$$

6. So sánh SCT xác định theo phương pháp kết hợp 90% Hassen với các đường cong Chin-Kondner, với đường cong Decourt và SCT thực

Trong nghiên cứu này, để kiểm nghiệm lại mô hình xác định sức chịu tải đề xuất, các tác giả đã so sánh kết quả sức chịu tải xác định theo các phương pháp với sức chịu tải được xác định từ điểm uốn trong các thí nghiệm nén tĩnh đến phá hoại cọc (sau đây được gọi tắt là SCT thực). Kết quả thí nghiệm được sử dụng gồm 01 cọc thí nghiệm nén tĩnh đến phá hoại – cọc HG2 ở Việt Nam, và 04 cọc tại Harcourt, Nigeria theo [17], do không có nhiều thí nghiệm nén tĩnh cọc đến phá hoại ở Việt Nam, cũng như các tài liệu chỉ đưa ra kết quả về SCT của cọc, ít có tài liệu có cả đường cong thí nghiệm nén tĩnh.

Bảng 1. Sức chịu tải giới hạn của cọc xác định theo các phương pháp

		Harcourt, Nigeria [17]				Việt Nam
		Cọc số 1	Cọc số 2	Cọc số 3	Cọc số 4	Cọc HG2
Kích thước	mm	D508	D400	D400	D400	250x250
Độ dài	m	28	28	28	28	20.6
Loại cọc		Cọc thép đóng	Cọc rỗng dư ứng lực đóng	Cọc rỗng dư ứng lực đóng	Cọc rỗng dư ứng lực đóng	Cọc ép BTCT
SCT thực	T	195.0	105.0	112.0	73.0	50.75
Davisson	T	68.0	75.0	85.0	72.0	---
Chin-Kondner	T	256.4	121.9	120.5	74.6	95.2
Hassen 80%	T	233.1	111.5	117.7	81.7	
Decourt	T	261.7	120.3	113.2	88.5	84.8
Mazurkiewicz	T	205.0	110.0	120.0	76.0	
90%Hassen -Chin	T	227.9	108.3	107.1	66.3	84.6
90%Hassen - Decourt	T	232.6	106.9	100.6	78.6	75.4

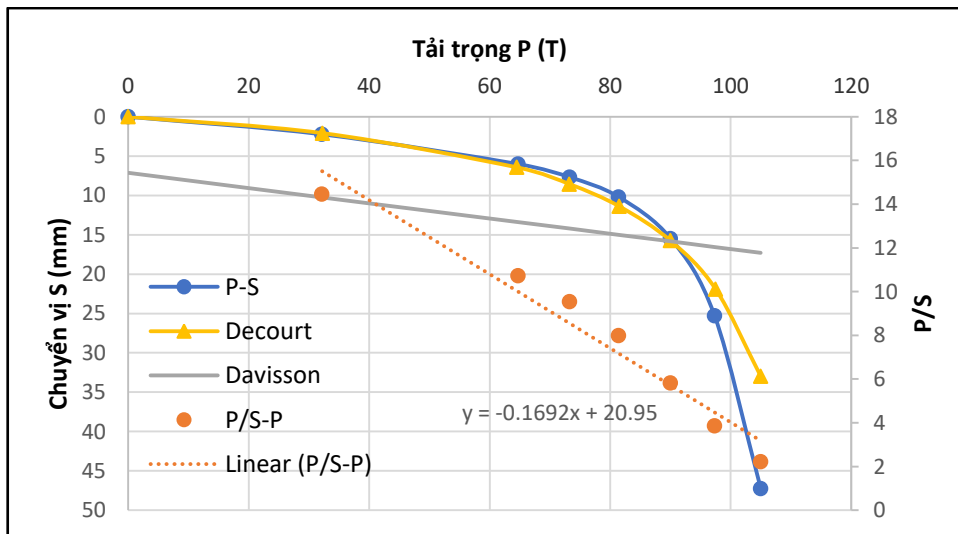
Bảng 1 tổng hợp số liệu xác định SCT giới hạn của cọc, xác định theo 2 phương pháp đề xuất, phương pháp kết hợp 90% Hassen với đường cong Chin-Kondner và với đường cong Decourt, các đường cong này được ngoại suy từ kết quả thí nghiệm, với số liệu đầu vào là các cặp (P_i, S_i) trước khi đường cong xuất hiện điểm uốn. Kết quả xác

định được so sánh với SCT giới hạn của cọc được Birid đã tính toán theo 5 phương pháp khác nhau (Davisson, 80% Hassen, Chin-Kondner, Decourt, Mazurkiewicz) và so sánh với SCT thực được từ thí nghiệm nén tĩnh cọc (SCT thực là sức chịu tải giới hạn xác định bằng tải trọng tương ứng với điểm đường cong bắt đầu biến đổi độ dốc, điểm uốn).

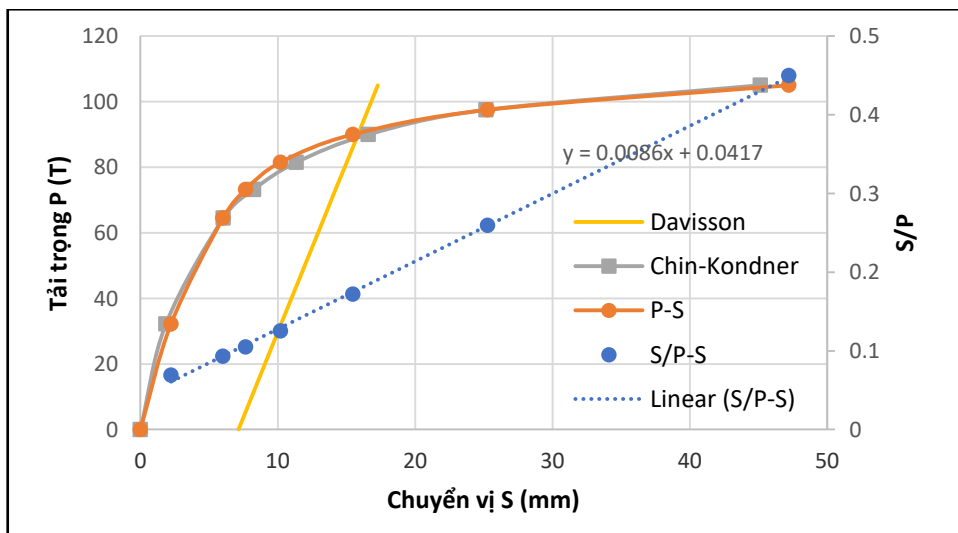
Kết quả tính toán cho thấy, giá trị SCT cọc xác định theo phương pháp áp dụng quan điểm 90% trên các đường cong ngoại suy Chin-Kondner và đường cong Decourt tương ứng bằng 8/9 giá trị SCT xác định theo phương pháp Chin-Kondner và phương pháp Decourt, giá trị SCT này cũng tương đối sát so với SCT thực được xác định từ thí nghiệm nén tĩnh phá hoại cọc.

7. So sánh SCT xác định theo phương pháp kết hợp Davisson với các đường cong Chin-Kondner, với đường cong Decourt và SCT thực

Kết quả thí nghiệm 05 cọc cũng được so sánh với phương pháp đề xuất kết hợp Davisson với các đường cong Chin-Kondner, với đường cong Decourt, được ngoại suy từ các cặp (P_i, S_i) tương tự như trong mục 6. Dưới đây thể hiện kết quả tính toán với 02 cọc điển hình, cọc số 02 của Niregia và cọc HG2 của Vietnam. Trong trường hợp cọc số 2 của Niregia [17], các đường cong ngoại suy Decourt và Chin-Kondner rất gần với đường cong thực nên giao điểm của đường Davisson với các đường cong ngoại suy hầu như trùng với giao điểm của đường Davisson và đường cong P-S thực (hình 1 và hình 2).



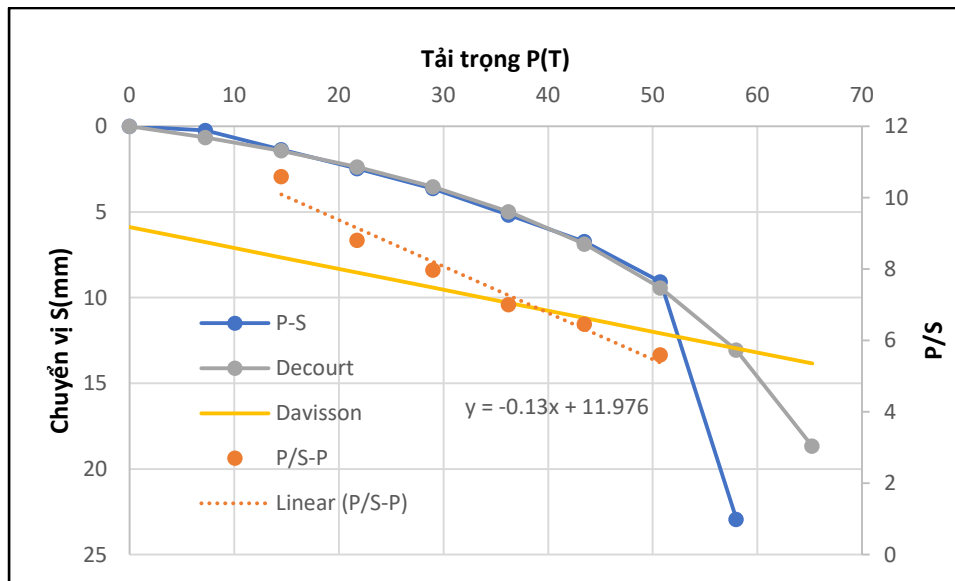
Hình 1. Giao của đường Davisson với đường Decourt và đường cong P-S (từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh), cọc số 2 Harcourt, Niregia [17]



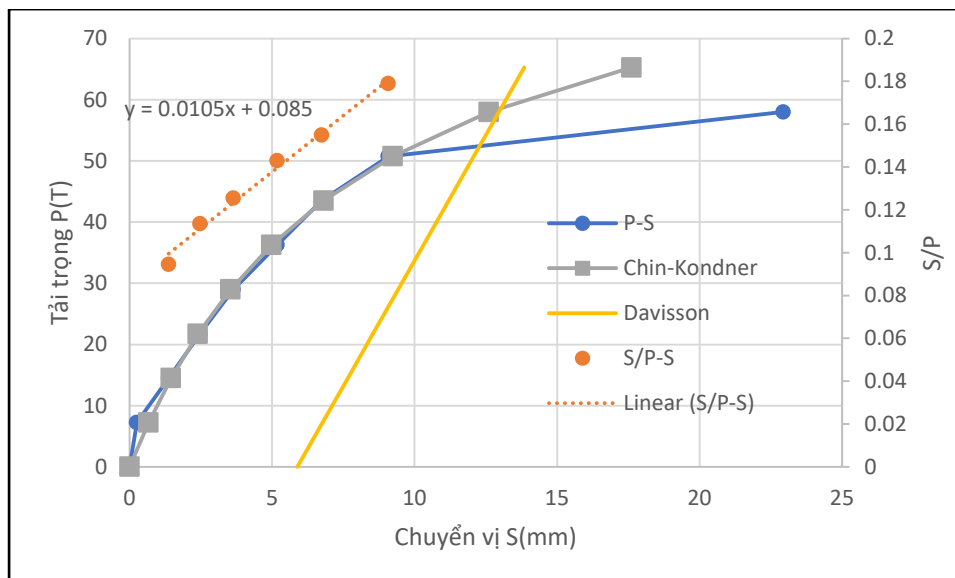
Hình 2. Giao của đường Davisson với đường Chin-Kondner và đường cong P-S (từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh), cọc số 2 Harcourt, Niregia [17]

Với cọc HG2, đường Davisson giao với đồ thị ngoại suy Decourt tại điểm $P=58T$ và $S=13mm$ (hình 3) và giao với đồ thị ngoại suy Chin-Kondner tại điểm $P=59T$ (hình 4). Giá trị SCT

xác định theo cách này gần SCT thực hơn so với các phương pháp kết hợp 90% Hassen với đường ngoại suy Chin-Kondner hoặc với đường ngoại suy Decourt.



Hình 3. Đường cong nén tĩnh cọc HG2 đường cong P-S, đường ngoại suy kết quả nén tĩnh theo Decourt và đường Davisson



Hình 4. Đường cong nén tĩnh cọc HG2 đường cong P-S, đường ngoại suy kết quả nén tĩnh theo Chin-Kondner và đường Davisson

8. Kết luận

Nghiên cứu đã đề xuất 04 phương pháp mới để ước lượng sức chịu tải giới hạn của cọc dựa trên kết quả thí nghiệm nén tĩnh, trong các trường hợp thí nghiệm chưa phá hoại, đường cong tải trọng – độ lún chưa xuất hiện điểm uốn rõ ràng, nhằm ước lượng tốt hơn nữa sức chịu tải giới hạn của cọc. Mô hình đề xuất đã được kiểm nghiệm với 05 kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc, kết quả tính toán từ mô hình (phương pháp đề xuất) tương đối gần với kết quả SCT thực. Tuy nhiên, số lượng kết quả thí nghiệm kiểm nghiệm còn hạn chế, số lượng ít, cần phát triển hơn nữa kiểm nghiệm với tập hợp mẫu

kiểm nghiệm lớn hơn để có kết quả tin cậy hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 10304:2014. Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
2. TCVN 9393:2012. Cọc – Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
3. Vander Veen, C. (1953). The bearing capacity of a pile. Proc. of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, 2:84-90.
4. Hansen, J. B. (1963). Discussion on Hyperbolic

- Stress-Strain Response. Cohesive Soils. *Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, American Society of Civil Engineers*, 89(4):241-242.
5. De Beer, E. E. (1968). Proefondervindlijke bijdrage tot de studie van het grensdraag vermogen van zand onder funderingen op staal. *Tijdschrift der Openbar Verken van België*.
 6. Fuller, F. M., Hoy, H. E. (1970). Pile load tests including quick-load test method, conventional methods, and interpretations. *49th Annual Meeting of the Highway Research Board, Highway Research Board*, 333 :78-86.
 7. Kondner, R. (1963). Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers*, 89(1):115-144.
 8. Chin, F.K. (1970). Estimation of the Ultimate Load of Piles from Tests Not Carried to Failure. *Proceedings of Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore City*, 81-92.
 9. Davisson, M. T. (1972). High capacity piles. *Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, American Society of Civil Engineers, Illinois Section, Chicago*, 81-112.
 10. Mazurkiewicz, B.K. (1972). Load Testing of Piles According to the Polish Regulations. Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, *Commission on Pile Research, Stockholm, Report No. 35*.
 11. Butler, H. D., Hoy, H. E. (1976). User's manual for The Texas quick-load method for foundation load testing. *Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Development. Washington D.C.*
 12. Decourt, L. (1999). Behavior of foundations under working load conditions. *Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz Dolguassu, Brazil*, 4:453 - 488.
 13. Abdelrahman, G.E., Shaarawi, E.M. and Abouzaid, K.S. (2003). Interpretation of axial pile load test results for continuous flight auger piles. *Emerging Technologies in Structural Engineering. Proceeding of the 9th Arab Structural Engineering Conference, Abu Dhabi, UAE*, 791-801.
 14. Hasnat, A., Farid Uddin, A. R. M., Haque, E., Saha, P., Rahman, M.W. (2012). Ultimate load capacity of axially loaded vertical piles from full scale load test results interpretations-applied to 20 case histories. *Proceedings of the 1st International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD-2012), Kuet, Khulna, Bangladesh*, 1-9.
 15. Fellenius, B. H. (1980). The analysis of results from routine pile loading tests. *Ground Engineering*, 13(6):19-31.
 16. Fellenius, B. H. (2001). What Capacity Value to Choose from the Results a Static Loading Test. *The Newsletter of the Deep Foundations Institute, Fulcrum*, 19-22.
 17. Birid, K.C. (2017). Evaluation of Ultimate Pile Compression Capacity from Static Pile Load Test Results. *Proceedings of the 1st GeoMEast International Congress and Exhibition, Egypt*, 1-14.
- Ngày nhận bài: 17/12/2021.
Ngày nhận bài sửa: 24/12/2021.
Ngày chấp nhận đăng: 24/12/2021.