

**XÁC ĐỊNH SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC TỪ  
CÁC SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM NÉN TĨNH CỌC  
DETERMINATION OF PILE BEARING CAPACITY  
BY PILES STATIC LOAD TEST DATA**

Trần Đức Hiếu

*Viện Khoa học công nghệ xây dựng*

*Email: duchieu.dktibst@gmail.com*

*DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-23>*

**TÓM TẮT:** Trong việc xác định sức chịu tải cọc, xác định theo thí nghiệm nén tĩnh vẫn được xem là phương pháp có độ tin cậy cao và có thể được dùng để kiểm chứng các tính toán sức chịu tải cọc bằng các phương pháp khác (BS EN 1997-1:2004, 7.4.1(1)P). Trong thực tế thường rất khó xác định điểm cực hạn của cọc từ đường cong liên tục thể hiện quan hệ tải trọng độ lún (BS EN 1997-1:2004, 7.6.1.1(3)). Do đó việc xác định sức chịu tải cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh hiện nay còn chưa thống nhất giữa các hệ thống tiêu chuẩn. Bên cạnh đó mỗi tiêu chuẩn lại quy định các quy trình thí nghiệm nén tĩnh cọc khác nhau dẫn đến các phương pháp xác định sức chịu tải cọc khác nhau. Bài viết thực hành tính toán sức chịu tải cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh theo các phương pháp khác nhau từ đó so sánh kết quả và đưa ra các nhận xét.

**TỪ KHÓA:** Cọc, sức chịu tải cọc, nén tĩnh.

*ABSTRACTS: In determining pile bearing capacity, static load testing is still considered a highly reliable method and can be used to verify pile load calculations by other methods (BS EN 1997-1:2004, 7.4.(1)P). In practice, often difficult to define an ultimate limit state from a load settlement plot showing a continuous curvature (BS EN 1997-1:2004, 7.6.1.1(3)). Therefore, the determination of pile load capacity from static compression test results is currently not consistent among standard systems. Besides, each standard stipulates different pile static compression test procedures leading to different methods of determining pile load capacity. The article practices calculation of pile load capacity from static compression test results by different methods, thereby comparing the results and making comments.*

*KEYWORDS: Pile, static load test.*

## 1. GIỚI THIỆU

Sức chịu tải của cọc có thể xác định ngoài hiện trường theo các phương pháp thí nghiệm thử cọc bằng tải tĩnh, thí nghiệm thử cọc bằng tải động và thí nghiệm xuyên đất. Trong đó thí nghiệm thử tải tĩnh đánh giá chính xác nhất khả năng chịu tải của cọc và dùng để kiểm chứng giá trị sức chịu tải của cọc xác định bằng các phương pháp khác [1]. Điều này cũng được quy định tại tiêu chuẩn châu Âu (BS EN 1997-1:2004) mục 7.4.(1)P [3].

Tải trọng khi thử tĩnh cọc đạt tới trị số làm cho độ lún của cọc tăng lên liên tục mà không tăng thêm tải thì cọc rơi vào trạng thái bị phá hoại và giá trị tải trọng đó được xem là sức chịu tải cực hạn của cọc.

Điều này thường khó đạt được trong các thí nghiệm nén tĩnh vì khi đó chuyển vị đầu cọc là rất lớn và cần tải trọng rất lớn để đạt được điều này. Thí nghiệm sẽ rất tốn kém thậm chí trong nhiều trường hợp xảy ra phá hoại vật liệu cọc trước khi đạt đến chuyển vị lớn (chẳng hạn mũi cọc đặt vào đá gốc hay cuội sỏi). Do đó, trong hầu hết các tiêu chuẩn, sức chịu tải của cọc hoặc tải trọng cuối cùng được xác định theo một số định nghĩa dựa trên quan hệ tải trọng – độ lún thu được từ thí nghiệm nén tĩnh. Tuy nhiên giá trị độ lún giới hạn quy định tại các tiêu chuẩn lại rất khác nhau, có tiêu chuẩn quy định theo tỷ lệ đường kính cọc, có tiêu chuẩn lại quy định theo độ lún giới hạn công trình.

Mỗi quy trình thí nghiệm cọc cũng như phương pháp xác định sức chịu tải cọc đều có những ưu điểm cũng như hạn chế riêng. Người thiết kế cần căn cứ trên mục đích thí nghiệm, điều kiện địa chất, loại cọc, điều kiện hiện trường... để lựa chọn quy trình thí nghiệm cũng như phương pháp xác định sức chịu tải cọc phù hợp để đạt được hiệu quả cao nhất.

Bên cạnh quy trình thí nghiệm tiêu chuẩn và chuyển vị giới hạn 10% đường kính cọc nêu tại chính văn, Tiêu chuẩn TCVN 9393:2012 còn đề cập đến các quy trình thí nghiệm đặc biệt (Phụ lục D) cũng như đưa ra nhiều phương pháp để xác định sức chịu tải cọc (Phụ lục E) [3].

Trên cơ sở tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc tại một công trình cụ thể theo các phương pháp khác nhau, bài báo so sánh, làm rõ các phương pháp xác định sức chịu tải cọc giúp người thiết kế có thêm thông tin để lựa chọn quy trình thí nghiệm cũng như phương pháp xác định sức chịu tải đáp ứng được mục tiêu thiết kế.

## 2. TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH SỨC CHỊU TẢI CỌC

### 2.1. Các phương pháp xác định sức chịu tải cực hạn của cọc

Đường cong quan hệ tải trọng – độ lún được vẽ từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc sẽ được sử dụng để xác định sức chịu tải cọc theo các phương pháp khác nhau.

Cọc được xem là phá hoại nếu độ lún tăng nhanh trong khi tải trọng không tăng hoặc cọc không còn khả năng mang tải. Trong thực tế thường khó xác định được sức chịu tải của cọc do đó hầu hết các tiêu chuẩn đều quy định cọc phá hoại tại giá trị độ lún giới hạn chẳng hạn như 10% đường kính (BS EN 1997-1:2004, 7.6.1.1(3)[3]), 5% đường kính (O'Neill & Reese 1999), 1.5inch (38mm)[8] hay 0.75inch (19mm). Dưới đây là một số phương pháp xác định sức chịu tải cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh đã được công bố.

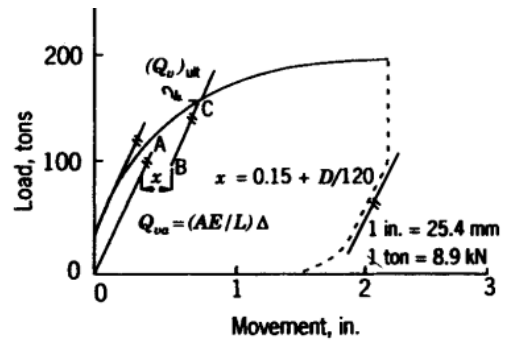
#### 2.1.1. Phương pháp Davisson (1972)

Sức chịu tải của cọc tương ứng với điểm giao cắt giữa đường thẳng  $S_f$  và đường cong tải trọng – độ lún của cọc.

$$S_f = (Q_{va})L/AE + 0.15 + D/120 \text{ (in)} \quad (1)$$

Phương pháp ban đầu dùng cho cọc ép, thí nghiệm theo quy trình nén nhanh (QM test).

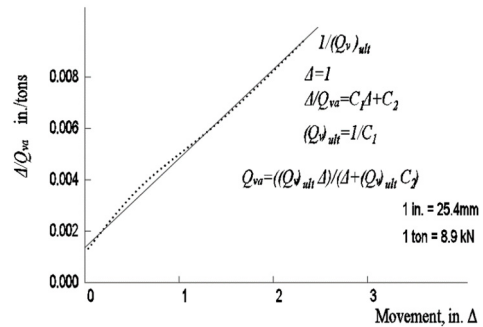
Ưu điểm: Đường  $S_f$  vẽ được trước khi thí nghiệm do đó có thể dùng làm tiêu chí cho thí nghiệm.



Hình 1. Phương pháp Davisson 1972

#### 2.1.2. Phương pháp Chin (1970,1971)

Vẽ đường quan hệ giữa độ lún ( $\Delta$ ) và tỷ số độ lún/tải trọng ( $\Delta/Q_{va}$ ) trong đó  $Q_{va}$  là tải trọng tương ứng với độ lún ( $\Delta$ ). Sức chịu tải cực hạn của cọc  $(Q_v)_{ult}$  chính là nghịch đảo độ dốc của đường quan hệ chuyển độ lún ( $\Delta$ ) và tỷ số độ lún/tải trọng ( $\Delta/Q_{va}$ ).

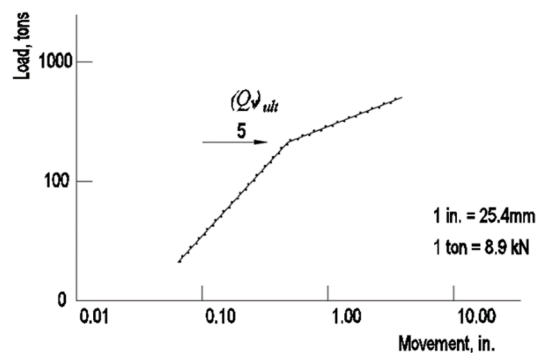


Hình 2. Phương pháp Chin (1970, 1971)

Phương pháp này có thể áp dụng cho cả quy trình thí nghiệm gia tải nhanh và gia tải chậm tuy nhiên chỉ phù hợp với thí nghiệm mà thời gian giữ tải các cấp là đều nhau. Lưu ý các điểm dữ liệu không nằm trên đường thẳng cho đến khi tải thí nghiệm vượt qua giới hạn Davisson.

Phương pháp này không nên áp dụng đối với thí nghiệm theo quy trình tiêu chuẩn của TCVN 9393:2012 do theo quy trình này thời gian giữ tải các cấp là khác nhau.

#### 2.1.3. Phương pháp De Beer



Hình 3. Phương pháp De Beer

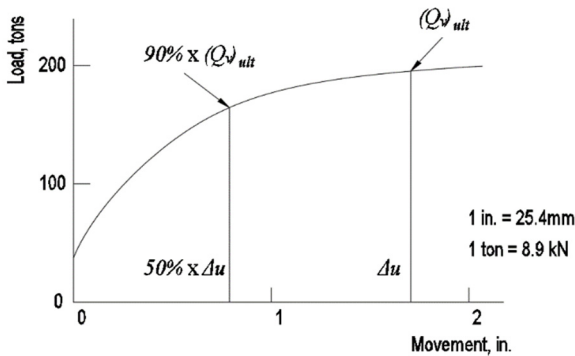
Theo phương pháp này, đường quan hệ tải trọng – độ lún của cọc được thể hiện với tỷ lệ logarit. Các điểm số liệu thí nghiệm sẽ nằm trên hai đường thẳng. Sức chịu tải cực hạn của cọc tương ứng với giao điểm của hai đường thẳng này.

Phương pháp này phù hợp với thí nghiệm theo quy trình gia tải chậm.

#### 2.1.4. Phương pháp 90% của Brinch Hansen

Đây là phương pháp thử dần:

- Vẽ đường cong tải trọng – chuyển vị;
- Tìm giá trị sức chịu tải cực hạn  $(Q_v)_{ult}$  và  $\Delta_u$  sao cho với tải trọng thí nghiệm  $90\%(Q_v)_{ult}$  thì chuyển vị đầu cọc bằng  $50\% \Delta_u$ .

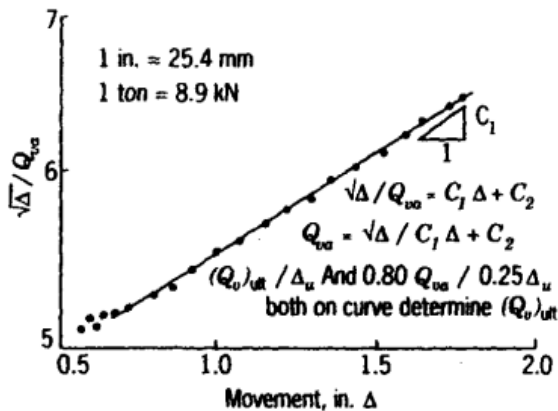


Hình 4. Phương pháp 90% của Brinch Hansen

Phương pháp này phù hợp với thí nghiệm nén tĩnh theo quy trình thí nghiệm với chuyển vị không đổi (CRP test).

#### 2.1.5. Phương pháp 80% của Brinch Hansen

Cách xác định (hình 5):



Hình 5. Phương pháp 80% của Brinch Hansen

Vẽ đường cong quan hệ giữa  $\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_{9a}}$  và  $\Delta$  ( trong đó  $Q_{9a}$  là tải trọng tương ứng với độ lún  $\Delta$ );

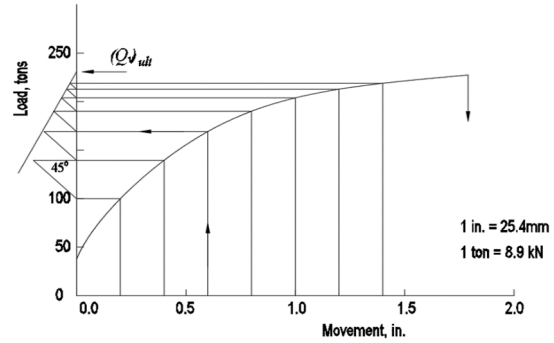
Giá trị sức chịu tải cực hạn  $(Q_v)_{ult}$  và chuyển vị tương ứng  $\Delta_u$  cho bởi công thức sau.

$$(Q_v)_{ult} = \frac{1}{2\sqrt{C_1 C_2}} \quad (2)$$

$$\Delta_u = \frac{C_2}{C_1} \quad (3)$$

Phương pháp này phù hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm gia tải tốc độ chậm.

#### 2.1.6. Phương pháp Mazurkiewicz



Hình 6. Phương pháp Mazurkiewicz

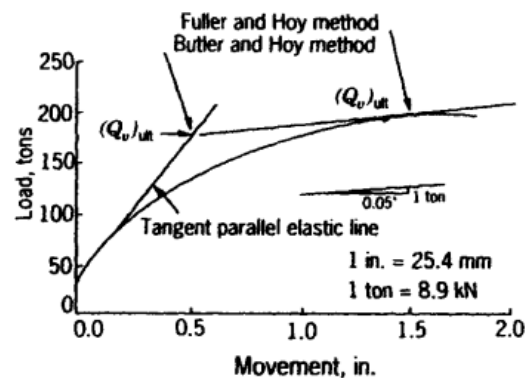
Cách xác định sức chịu tải cực hạn của cọc theo phương pháp của Mazurkiewicz được trình bày như Hình 6. Phương pháp này giả thiết đường cong tải trọng – độ lún xấp xỉ đường parabol.

#### 2.1.7. Phương pháp Fuller and Hoy và Phương pháp Butler and Hoy

Theo Fuller and Hoy sức chịu tải cực hạn của cọc tương ứng với trên đường cong có độ nghiêng 0.05 inch/tấn.

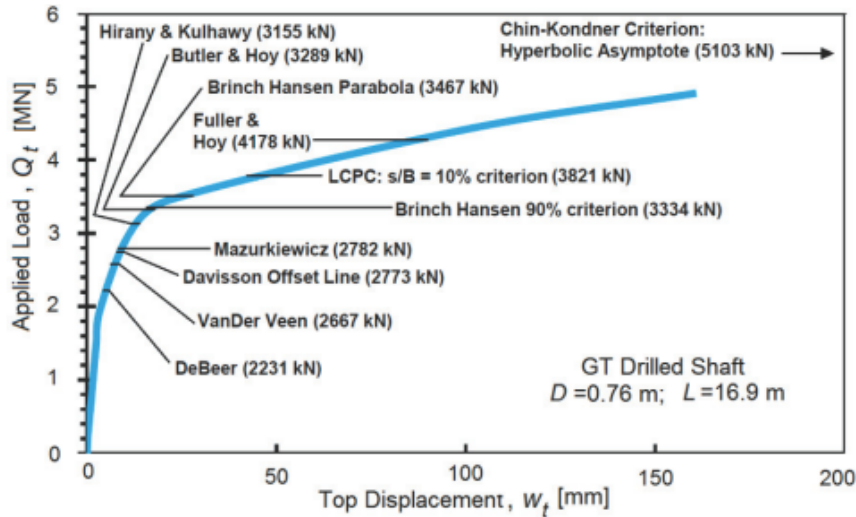
Phương pháp này phù hợp với quy trình gia tải nhanh (QM) tuy nhiên không phù hợp với cọc có chiều dài lớn (độ lún đàn hồi lớn).

Theo Butler and Hoy sức chịu tải cực hạn của cọc tương ứng với giao điểm của tiếp tuyến với đường cong quan hệ tải trọng – độ lún có độ nghiêng 0.05 inch/tấn và đoạn thẳng ban đầu của đường cong (đoạn đàn hồi) hoặc đường thẳng đi qua gốc tọa độ song song với đường đỡ tải.



Hình 7. Phương pháp Fuller and Hoy

Phương pháp này phù hợp với quy trình gia tải nhanh (QM).



**Hình 8. Sức chịu tải cực hạn của cọc xác định theo các phương pháp khác nhau (Hirany and Kulhawy [7])**

**Nhận xét:** Với mỗi cọc thí nghiệm cụ thể chỉ có một giá trị duy nhất được gọi là sức chịu tải cực hạn. Tuy nhiên mỗi quy trình thí nghiệm, mỗi phương pháp xác định dựa trên các tiêu chí khác nhau sẽ xác định các giá trị sức chịu tải cực hạn khác nhau. Hình 8 là tổng hợp sức chịu tải cực hạn của cọc khoan nhồi đường kính 0.76m (30inch) được thực hiện tại Viện công nghệ Georgia [7].

**2.2. Sức chịu tải cực hạn của cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh theo tiêu chuẩn TCVN 10304:2014**

Tiêu chuẩn 10304:2014 quy định quy trình thí nghiệm phải tuân theo TCVN 9393:2012.

Trị riêng sức chịu tải trọng nén của cọc  $R_{c,u}$  lấy bằng tải trọng thử cọc ứng với độ lún  $S$  được xác định theo công thức:

$$S = S_{gh} \tag{4}$$

Trong đó  $S_{gh}$  là độ lún giới hạn trung bình của móng nhà hoặc công trình (quy định tại TCVN 9362:2012),  $\xi=0.2$  là hệ số chuyển tiếp từ độ lún giới hạn của công trình sang độ lún của cọc thử. Nếu  $S$  lớn hơn 40mm thì lấy  $S=40$ mm.

$$S = S_{gh} + S_e \tag{5}$$

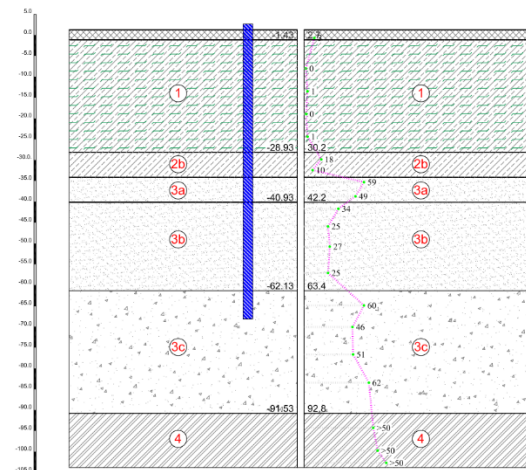
$$S_e = \beta \frac{NL}{EA} \tag{6}$$

Với cọc có chiều dài lớn cho phép kể thêm độ lún đầu cọc do biến dạng đàn hồi của vật liệu cọc ( $S_e$ ) xác định theo công thức (6). Độ lún  $S$  để xác định sức chịu tải cực hạn được xác định theo công thức (5).

**3. XÁC ĐỊNH SỨC CHỊU TẢI CỌC TỪ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM NÉN TĨNH THEO CÁC PHƯƠNG PHÁP KHÁC NHAU**

**3.1. Thông tin cọc thí nghiệm**

Thí nghiệm nén tĩnh được thực hiện trên cọc khoan nhồi đường kính 1200 (mm) tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh. Cọc dài 68m từ mặt đất, mũi cọc đặt vào lớp cát hạt trung đến thô, trạng thái chặt (Lớp đất 3c như hình dưới).



Lớp 1: Sét trạng thái chảy.

Lớp 2b: Sét trạng thái dẻo cứng.

Lớp 3a: Cát hạt trung trạng thái chặt.

Lớp 3b: Cát hạt mịn đến trung, trạng thái chặt vừa.

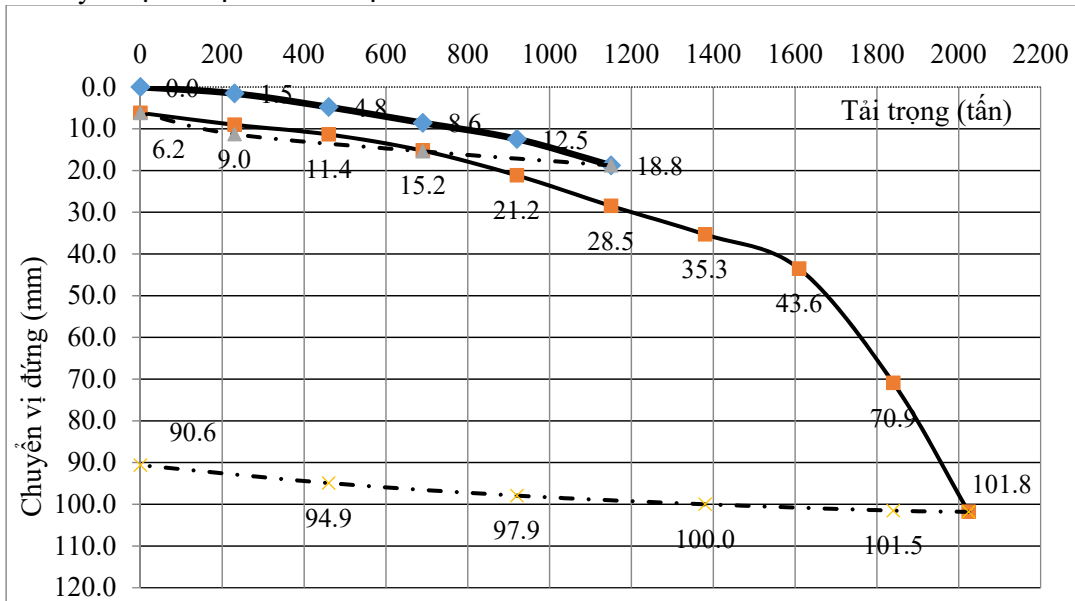
Lớp 3c: Cát hạt trung đến thô, trạng thái chặt.

Lớp 4: Sét trạng thái cứng.

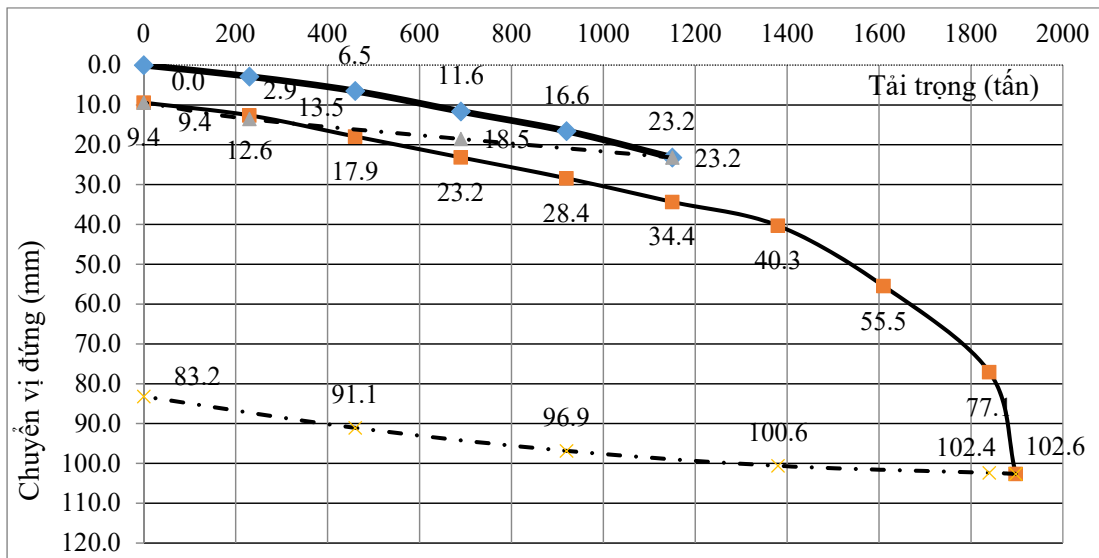
**Hình 9. Trụ địa chất và chiều sâu cọc**

Cọc được thí nghiệm theo TCVN 9393:2012 - Cọc – Phương pháp thử nghiệm tại hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. Cọc TN1 chuyển vị đầu cọc lớn nhất đạt 101.82 mm tại cấp tải 2024 Tấn. Cọc TN2 chuyển vị đầu cọc lớn nhất đạt 102.63 mm

tại cấp tải 1898 Tấn. Cả cọc TN1 và TN2 đều có chuyển vị đầu cọc tương đối lớn phù hợp sử dụng để tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp khác nhau.



Hình 10. Biểu đồ quan hệ tải trọng độ lún cọc TN1



Hình 11. Biểu đồ quan hệ tải trọng độ lún cọc TN2

### 3.2. Sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp khác nhau

Từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh 02 cọc (TN1 và TN2) như trên, tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp khác nhau ta được các giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc như Bảng 1.

Sức chịu tải cực hạn theo phương pháp De Beer, TCVN 10304:2014, Davisson (1972) cho kết quả khá tương đồng.

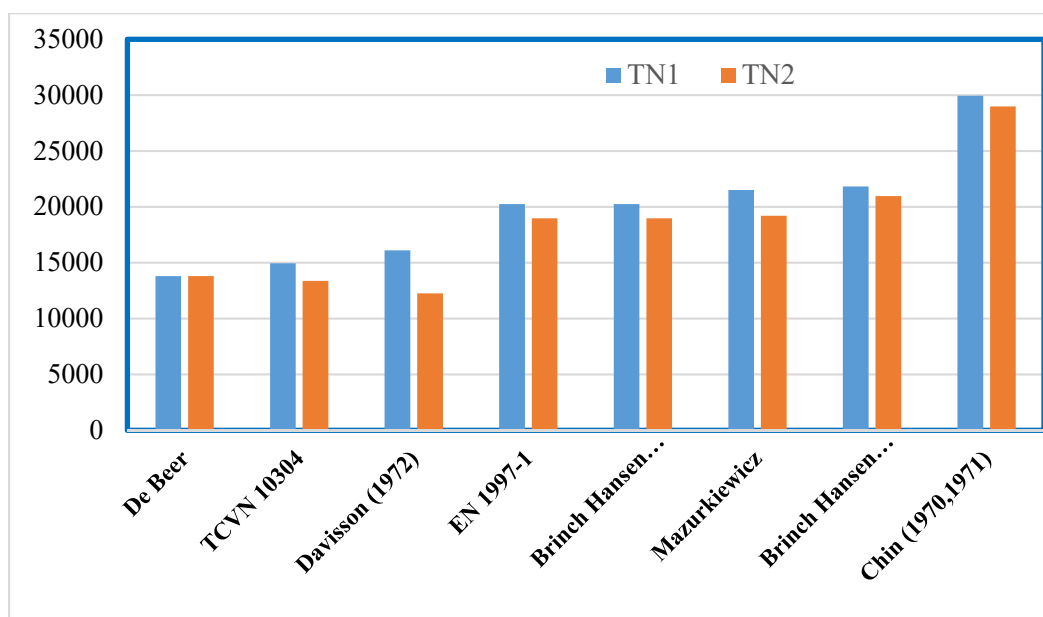
Phương pháp Brinch Hansen (90%), và BS EN 1997-1:2004 cho kết quả tương đồng có thể do cọc chưa nền đến trạng thái phá hoại.

Phương pháp Mazurkiewicz, Brinch Hansen (80%), Chin (1970,1971) là các phương pháp ngoại suy do đó cho giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc lớn hơn tải trọng thí nghiệm lớn nhất.

**Bảng 1. Kết quả tính sức chịu tải cực hạn của cọc**

Stt	Phương pháp xác định	Sức chịu tải cực hạn cọc (KN)	
		TN1	TN2
1	De Beer	13800	13800
2	TCVN 10304	14940	13370
3	Davisson (1972)	16100	12250
4	BS EN 1997-1:2004	20240	18970
5	Brinch Hansen (90%)	20240	18970
6	Mazurkiewicz	21500	19200
7	Brinch Hansen (80%)	21823	20965
8	Chin (1970,1971)	29940	28980

Xác định sức chịu tải cực hạn của cọc theo BS EN 1997-1:2004, cũng như Brinch Hansen (90%) yêu cầu cọc phải được thí nghiệm tới trạng thái phá hoại hoặc biến dạng lớn. Với cọc khoan nhồi đường kính lớn có mũi cọc đặt lên các lớp đất tốt thì việc thí nghiệm đến trạng thái phá hoại thường gặp nhiều khó khăn. Sức chịu tải cực hạn của cọc TCVN 10304:2014 và Davisson (1972) thường tương ứng với chuyển vị đầu cọc nhỏ hơn.



**Hình 12. Sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp**

Các phương pháp ngoại suy để xác định sức chịu tải cực hạn của cọc như Mazurkiewicz, Brinch Hansen (80%), Chin (1970,1971) thường cho giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc lớn do đó chỉ nên sử dụng cho các giai đoạn thiết kế ban đầu, thí nghiệm thăm dò.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Xác định sức chịu tải cọc từ thí nghiệm nén tĩnh cho kết quả đáng tin cậy nhất. Tuy nhiên có rất nhiều phương pháp xác định sức chịu tải cọc từ kết quả nén tĩnh, mỗi phương pháp cho giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc khác nhau.

Tùy thuộc quy trình thí nghiệm và kết quả thí nghiệm thu được (cấp tải cao nhất, chuyển vị lớn nhất) có thể lựa chọn phương pháp xác định sức chịu tải cọc phù hợp.

Mỗi phương pháp xác định sức chịu tải cực hạn của cọc khác nhau có độ tin cậy khác nhau. Việc xác định thiết kế sức chịu tải cọc cần phải đồng bộ từ

xác định sức chịu tải cực hạn đến sức chịu tải tính toán theo cùng một tiêu chuẩn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn quốc gia (2014). *TCVN 10304:2014 Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế.*
- [2] Tiêu chuẩn quốc gia (2012). *TCVN 9393:2012 Cọc – Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục.*
- [3] BS EN 1997-1 (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules.*
- [4] [http://thuvienso.hau.edu.vn:8888/dspace/bitstream/hau/5002/16/16532\\_09.pdf](http://thuvienso.hau.edu.vn:8888/dspace/bitstream/hau/5002/16/16532_09.pdf).
- [5] ASTM International (1981). *ASTM 1143: Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load.*
- [6] Fellenius, B. H. “Test Load of Piles and New Proof Testing Procedure”, *J. Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 101, No. GT9, 1975, pp. 855-869.

- [7] HIRANY A., KULHAWY F.H., *Conduct and interpretation of load tests on drilled shaft foundations*, Report EL-5915, 1988, Vol. 1, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, www.epri.com.
- [8] Fellenius B. H. *What Capacity Value to Choose from the Results a Static Loading Test*. Deep Foundation Institute, Fulcrum Winter 2001, pp. 19 – 22.
- [9] Shamsheer Prakash, Hari D. Sharma. *Pile Foundations in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- [10] Trần Đức Hiếu (2021). *Một số quy trình và phương pháp xác định sức chịu tải cọc từ kết quả nén tĩnh*, Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học cán bộ trẻ lần thứ XVI, tr.561-570.