

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA CỌC ĐƠN THÔNG QUA HIỆU CHỈNH ĐƯỜNG CONG T-Z ỨNG VỚI SỐ LIỆU NÉN TÍNH CỌC

ThS. NCS. **PHẠM TUẤN ANH**

Trường Đại học Công nghệ GTVT

PGS.TS. **NGUYỄN TƯƠNG LAI**

Học Viện kỹ thuật quân sự

TS. **TRỊNH VIỆT CƯỜNG**

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sự làm việc của cọc đơn thông qua việc sử dụng đường cong T-Z. Hiện nay, các thiết bị thí nghiệm hiện đại cho phép đo đặc chính xác biến dạng dọc thân cọc trong các thí nghiệm nén tĩnh cọc. Như vậy, ngoài kết quả chuyển vị đỉnh cọc, ta hoàn toàn xác định được sự phân bố tải trọng nén dọc theo thân cọc, từ đó hiệu chỉnh được đường cong T-Z cho gần đúng với sự làm việc của cọc thật. Việc hiệu chỉnh này giúp cho người thiết kế có được mô hình tính cọc theo đường cong T-Z dạng đơn giản mà vẫn đảm bảo độ chính xác và tin cậy của kết quả tính.

Từ khóa: Cọc đơn, tương tác cọc – đất, hiệu chỉnh đường cong T-Z.

1. Đặt vấn đề

Trong bài toán tương tác giữa cọc với đất nền, ta có thể sử dụng mô hình Winkler với lò xo phi tuyến, tuân theo quy luật đường cong T-Z để phân tích cọc chịu tải trọng đứng, đường cong này thể hiện mối quan hệ giữa ma sát bên/chuyển vị thân cọc cũng như phản lực mũi/chuyển vị mũi cọc.

Mô hình đường cong T-Z đã được chấp nhận trong một số tiêu chuẩn như AASHTO (1998) LRFD Bridge Design Specifications [7], được hiệp hội dầu khí Mỹ API khuyến cáo để xác định độ lún cọc đơn dưới tải trọng làm việc.

Lý thuyết và các dạng đường cong T-Z được nhiều nhà khoa học công bố như Coyle và Reese (1966)[3], Duncan và Chang (1970)[5], Randolph và Wroth (1978)[6].

Các dạng đường cong này thường được cho dưới dạng phương trình và sử dụng các chỉ tiêu cơ lý của đất để xác định tham số. Tuy nhiên khi áp dụng các đường cong này vào tính toán trong điều

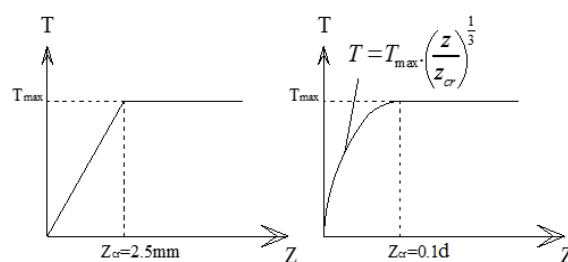
kiện cụ thể các khu vực của Việt Nam thường cho sai số lớn so với kết quả quan trắc.

Xuất phát từ vấn đề này, bài báo trình bày phương pháp xây dựng và hiệu chỉnh đường cong T-Z dựa vào kết quả nén tĩnh đến phá hoại một số cọc khoan nhồi. Kết quả của bài báo cho phép các kỹ sư thiết kế nền móng ứng dụng các mô hình đường cong T-Z hiệu chỉnh này vào trong thiết kế công trình ở các công trình có điều kiện địa chất và công nghệ thi công cọc tương tự.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Mô hình đường cong T-Z

Có rất nhiều dạng mô hình đường cong T-Z khác nhau ứng với loại đất và trạng thái của đất. Trong phạm vi nghiên cứu, bài báo sử dụng dạng phương trình đường cong T-Z do Reese (1966)[3] đề xuất để minh họa.



a – Sức kháng bên b-Sức kháng mũi
Hình 1. Mô hình đường cong T-Z

Với d là cạnh cọc vuông hoặc đường kính cọc tròn.

Mô hình đường cong này gồm 2 đoạn, đàn hồi tuyến tính và chảy dẻo. Giá trị tải trọng giới hạn của giai đoạn đàn hồi là T_{max} , ứng với nó là chuyển vị giới hạn đàn hồi Z_{cr} . Khi tải trọng tác dụng lớn hơn T_{max} , giữa đất và cọc xảy ra hiện tượng trượt cục bộ, khi đó tải trọng không tăng nhưng biến dạng tăng dần. Độ cứng lò xo sẽ giảm dần đến giới hạn bền của đất.

Như vậy, việc xây dựng mô hình đường cong này là phải xác định chính xác 2 tham số $T_{\max}$ và Z_{cr} .

Theo Reese, chuyển vị giới hạn đàn hồi của đất rời lấy gần đúng $Z_{cr} = 2,5\text{mm}$.

Theo API (1986), ma sát bên cực đại f_s được xác định từ sức kháng cắt hữu hiệu của đất S'_u :

$$f_s(z) = \lambda(z) \cdot S'_u(z) \quad (1)$$

trong đó: $\lambda(z)$ là hệ số hiệu chỉnh lấy theo thực nghiệm.

Theo mô hình đàn dẻo Mohr-Coulomb, giá trị f_s xác định theo định luật Mohr-Coulomb như sau:

$$f_s(z) = \sigma'_h(z) \cdot \tan \delta \quad (2)$$

trong đó: $\sigma'_h(z)$ - ứng suất hữu hiệu theo phương ngang ở bề mặt cọc tại độ sâu z ; δ - góc ma sát giữa đất và cọc.

Tải trọng giới hạn của giai đoạn đàn hồi:

$$T_{\max}(z) = f_s(z) \pi d L_i \quad (3)$$

trong đó: d - đường kính cọc, L_i - chiều dài đoạn cọc được chia ra.

Như vậy, giới hạn chuyển vị đàn hồi được xác định theo công thức:

$$w_0(z) = \frac{T_{\max}(z)}{k(z)} \quad (4)$$

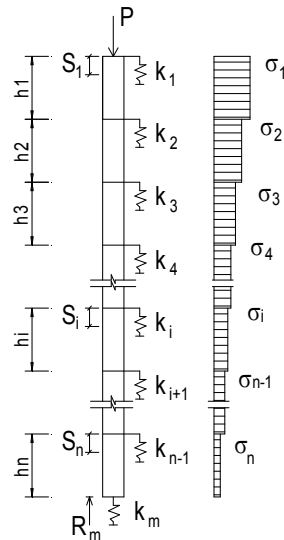
trong đó: $k(z)$ - độ cứng gối lò xo đất trong giai đoạn đàn hồi tuyến tính.

Để tham khảo, $k(z)$ được quy đổi từ mô đun biến dạng E và đường kính cọc theo kết quả [2].

2.2 Bài toán tính lún cọc đơn

Để giải bài toán tương tác cọc – đất, tác giả sử dụng phương pháp tính lún cọc đơn có xét đến biến dạng bản thân vật liệu làm cọc dựa trên nguyên lý truyền tải trọng.

Xét một cọc đơn có chiều dài L , diện tích tiết diện ngang A chịu tải trọng nén dọc trục P đặt ở đỉnh cọc. Mô đun đàn hồi của vật liệu làm cọc là E . Cọc được chia làm n đoạn và mỗi đoạn gắn các lò xo đứng kiểu Winkler thay cho tương tác giữa đất và cọc như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tính lún cọc đơn

Việc tính toán được bắt đầu ở phần mũi cọc và tính ngược lên đỉnh cọc. Ẩn số chưa biết là các phản lực mũi cọc, ký hiệu là R_m . Giả thiết R_m bắt đầu bằng 0 (không huy động sức chống mũi) và tăng dần lên.

Bước 1: Tính lún đoạn cọc mũi (đoạn n)

Vì chưa biết giá trị R_m nên ta giả thiết trước R_m

Biến dạng tổng cộng của đoạn n:

$$S_n = \frac{R_m}{K_m} + \frac{R_m \cdot h_n}{EA} \quad (5)$$

Ứng suất pháp ở đỉnh đoạn n:

$$\sigma_n = \frac{R_m}{A} \quad (6)$$

Bước 2: Tính lún đoạn thứ (n-1)

Ta có:

Phản lực lò xo đoạn (n-1):

$$R_{n-1} = S_n \cdot k_{n-1} \quad (7)$$

Biến dạng của đoạn (n-1):

$$S_{n-1} = \frac{R_{n-1}}{K_{n-1}} + \frac{R_{n-1} \cdot h_{n-1}}{EA} \quad (8)$$

Ứng suất pháp ở đỉnh đoạn (n-1):

$$\sigma_{n-1} = \sigma_n + \frac{R_{n-1}}{A} \quad (9)$$

Bước 3: Tiếp tục lặp lại bước 2 lên đến đỉnh cọc, tại đó sẽ xác định được chuyển vị đỉnh S_1 và ứng suất pháp ở đỉnh σ_1 .

So sánh giá trị lực tác dụng P ban đầu với lực dọc $P' = \sigma_1 \cdot A$, nếu chưa bằng nhau thì tăng R_m và lặp lại từ bước 1.

Với bài toán lò xo phi tuyến theo đường cong T-Z, phản lực R_m được chia làm nhiều cấp nhỏ và tiến hành lặp, độ cứng lò xo sẽ thay đổi ứng với trạng thái ứng suất biến dạng của đường cong T-Z lựa chọn. Khi chuyển vị nhỏ hơn Z_{cr} , lò xo làm việc trong giai đoạn tuyến tính và khi chuyển vị vượt qua Z_{cr} , giữa đất và cọc xảy ra hiện tượng trượt cục bộ, lò xo chuyển sang giai đoạn làm việc phi tuyến.

2.3 Thiết bị đo biến dạng và xử lý kết quả

Chuyển vị đỉnh và biến dạng dọc thân cọc được đo bằng thiết bị Retrieable Extensometer Model A-9 do hãng GeoKon (USA) sản xuất.

Thiết bị này được lắp đặt trong các ống sonic (siêu âm) để đo biến dạng của bê tông trước khi thí nghiệm nén tĩnh. Các đầu đo được đặt ở 2 mặt cắt khác nhau trong thân cọc.

Biến dạng giữa 2 mặt cắt này được xác định từ công thức:

$$D = (R_1 - R_0) \cdot C \cdot F \quad (\text{mm}) \quad (10)$$

trong đó: R_1 - chỉ số đọc hiện tại; R_0 - chỉ số đọc ban đầu; C - hệ số hiệu chỉnh; F - hệ số chuyển đổi đơn vị đo.

Từ biến dạng của đoạn cọc thứ i , ta có biến dạng tương đối ε_i :

$$\varepsilon_i = \frac{D_i}{L_i} \quad (11)$$

trong đó: L_i là chiều dài đoạn cọc i .

Mô đun đàn hồi của cọc tại cấp tải trọng thứ k ký hiệu là E_k được xác định như sau:

$$E_k = \frac{4 \cdot P_k}{\pi \cdot d^2 \cdot \varepsilon_1} \quad (12)$$

trong đó: P_k là tải trọng tác dụng lên đỉnh cọc, ε_1 là biến dạng tương đối tại đoạn đỉnh cọc.

Như vậy, trong quá trình thí nghiệm, E_k thay đổi phụ thuộc từng cấp tải trọng và biến dạng tương đối.

Lực dọc ở đoạn i bất kỳ ở cấp tải trọng k được xác định như sau:

$$N_i^k = \varepsilon_i^k \cdot E_k \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (13)$$

trong đó: d là đường kính cọc.

Từ các giá trị N_i^k ta dựng được biểu đồ phân bố lực dọc trong cọc theo chiều sâu, với các cấp tải khác nhau.

2.4 Xác định các thông số của đường cong T-Z qua kết quả nén tĩnh cọc

Giả thiết ta đã đo được các thông số của đoạn cọc i bất kỳ.

Tại cấp tải k , ta có N_i^k là lực dọc trong đoạn i ; S^k là chuyển vị đỉnh cọc; D_i là biến dạng tuyệt đối giữa điểm đầu và cuối đoạn i .



Hình 3. Thiết bị Exetensometer A-9

* Với đường cong T-Z ở thân cọc:

Ma sát bên đơn vị huy động tại cấp thứ k như sau:

$$f_{si}^k = \frac{N_{i-1}^k - N_i^k}{\pi d \cdot L_i} \quad (14)$$

Chuyển vị tuyệt đối của đoạn cọc thứ i :

$$S_i^k = S^k - \sum_{j=1}^i D_j \quad (15)$$

* Với đường cong T - Z ở mũi cọc:

Lực dọc mũi cọc ở cấp tải thứ k đã xác định được là N_m^k .

Chuyển vị mũi cọc:

$$S_m^k = S^k - \sum_{j=1}^n D_j \quad (16)$$

với n là tổng số đoạn cọc chia ra.

Tại thời điểm cọc phá hoại, từ các giá trị lực dọc cực hạn ta xác định được giá trị $f_{s \max}$ và $N_{m \max}$. Từ đó có thể dựng được các đường cong T-Z ứng với từng đoạn thân cọc và mũi cọc

3. Ví dụ minh họa

Công trình khu dân cư Phước Nguyên Hưng, thành phố Hồ Chí Minh, địa tầng khu vực thí nghiệm như sau:

Bảng 1. Số liệu địa chất khu vực

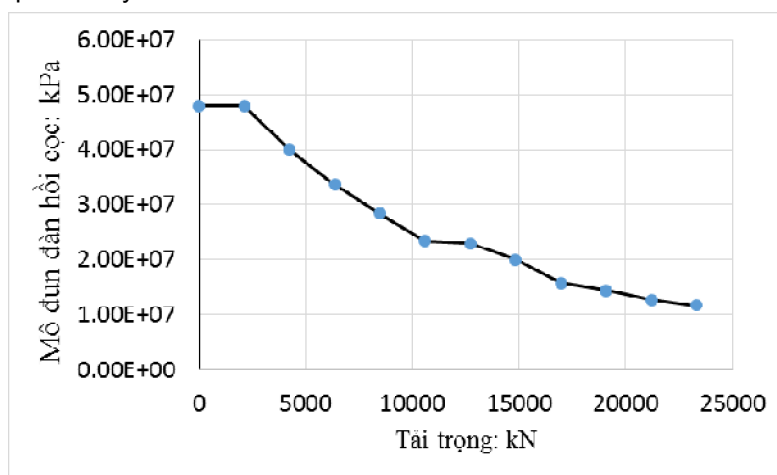
TT	Tên đất	Chiều dày (m)	γ (kN/m ³)	E (kPa)
1	Sét dẻo	15,0	15.1	1120
2a	Sét cứng	6,0	19.7	6450
3	Sét pha	10,0	20.3	9740
4b	Sét cứng	6,0	20.6	6640
5	Sét pha	4	20.7	9890
6	Cát lẫn sét	9	21.1	8110
7	Sét pha dẻo	11	20.4	9150
8a	Cát pha	2	20.5	8550
9	Cát pha	17	20.6	9460

Cọc khoan nhồi thí nghiệm UTP1 và UTP2, đường kính 1200mm và 1000mm dài 60m. Cọc UTP1 được nén tới tải trọng phá hoại, sử dụng kết quả chu kỳ 2. Cọc UTP2 được nén tới tải trọng làm việc, sử dụng kết quả chu kỳ 1.

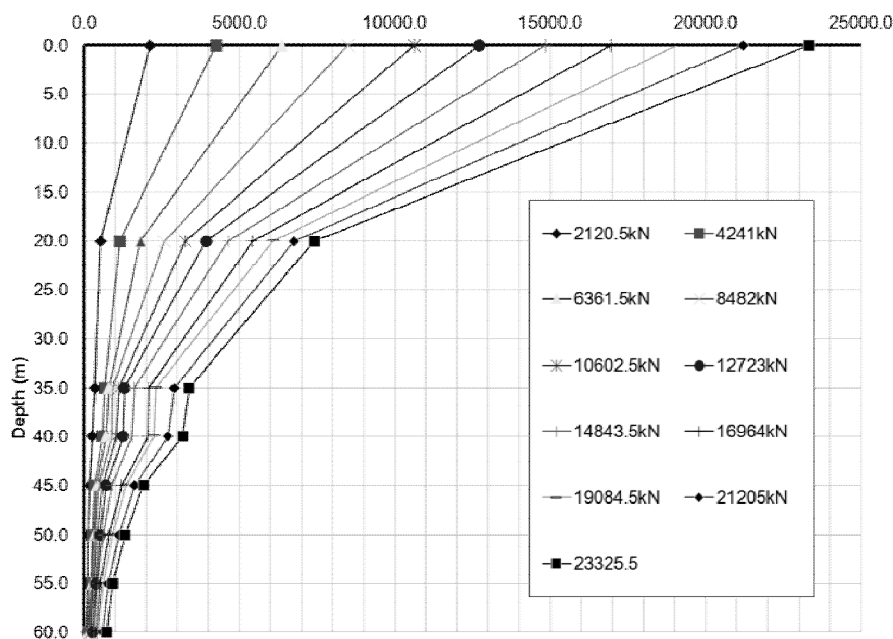
Có 8 đầu đo được lắp dọc theo thân cọc ứng với các phân đoạn cọc: (0-5), (5-20), (20-35), (35-40), (40-45), (45-50), (50-55), (55-60)m.

Quá trình xử lý theo các phân tích như ở phần 2.3.

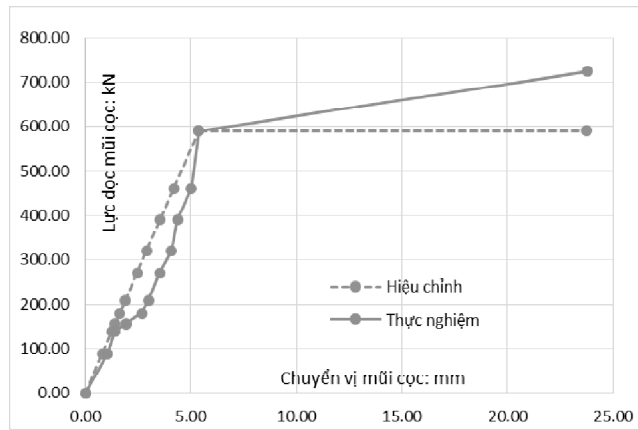
Kết quả tính toán như sau:



Hình 4. Mô đun đàn hồi cọc UTP1



Hình 5. Biểu đồ phân bố lực dọc cọc UTP1



Hình 6. Đường cong T-Z mũi cọc UTP1

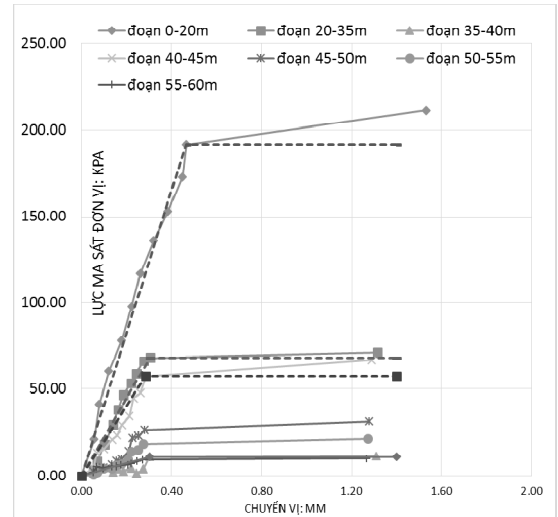
Ứng với đoạn mũi cọc, $T_{\max}=590,29$ kN và $Z_{cr}=5,36$ mm.

Với các đoạn thân cọc, kết quả trong bảng như sau:

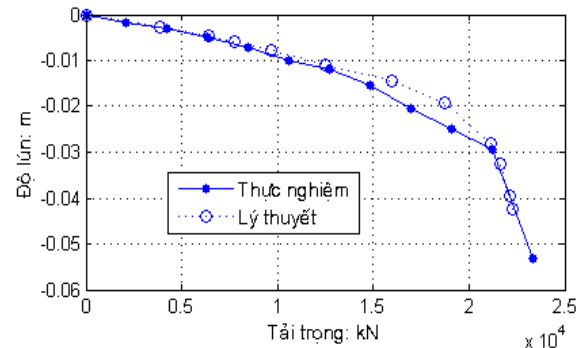
Bảng 2. Thông số đường cong T-Z

Đoạn cọc	f_s (Kpa)	Z_{cr} (mm)
1	191.6605	0.4663
2	68.2615	0.3043
3	11.0901	0.3013
4	57.3553	0.2862
5	26.4881	0.2792
6	18.4776	0.2743
7	9.3456	0.2719

Căn cứ vào các đường cong T-Z vừa hiệu chỉnh được, tác giả lập chương trình tính StaticTZ bằng MATLAB để xác định độ lún cọc dưới các cấp tải:

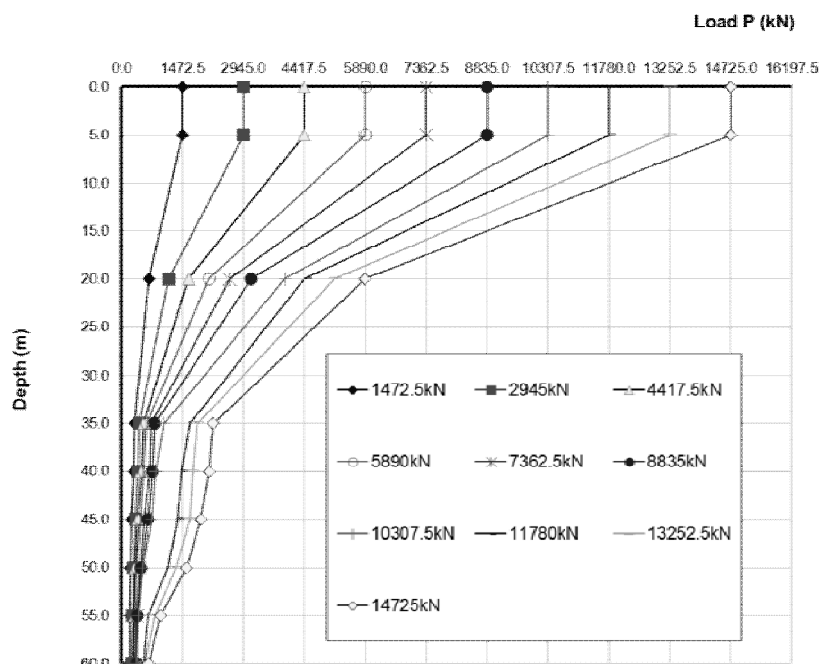


Hình 7. Đường cong T-Z thân cọc UTP1



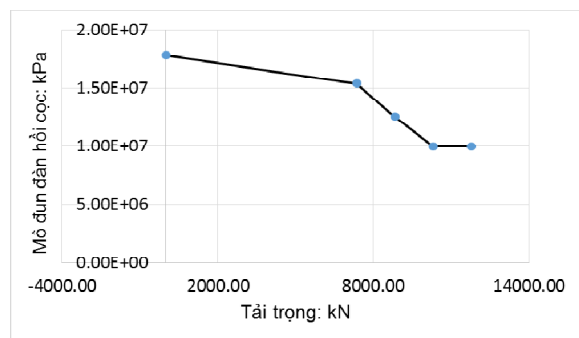
Hình 8. Quan hệ tải trọng- độ lún cọc bằng StaticTZ và thí nghiệm nén tĩnh cọc UTP1

Với cọc UTP2, do không có kết quả nén phá hoại nên ta sử dụng lại kết quả trong bảng 2 để tính toán và xác định sơ bộ sức chịu tải cực hạn của cọc.



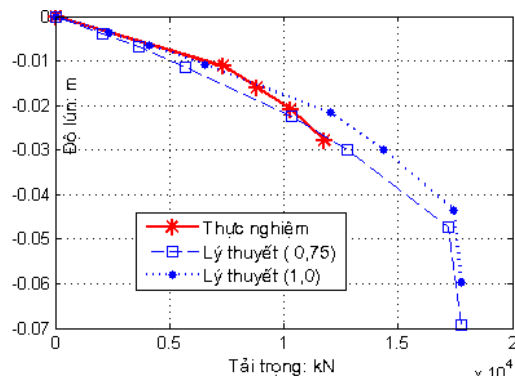
Hình 9. Biểu đồ phân bố lực dọc cọc UTP2

Biểu đồ quan hệ tải trọng- độ lún cọc UTP2 không hoàn toàn tuyến tính mà có 1 đoạn gãy khúc khá rõ rệt dẫn đến sai số của StaticTZ, tác giả tiến hành hiệu chỉnh đường cong bằng hệ số hiệu chỉnh 0,75. Hệ số này nhân trực tiếp với độ dốc của đường cong T-Z trong giai đoạn đàn hồi tuyến tính.



Hình 10. Mô đun đàn hồi cọc UTP2

Đường quan hệ lý thuyết - thí nghiệm đã hội tụ và tải trọng nén phá hoại được dự báo là 17400 kN, ứng với độ lún 4,3mm.



Hình 11. Quan hệ tải trọng- độ lún cọc bằng StaticTZ và thí nghiệm nén tĩnh cọc UTP2

Nhận xét: Trên cơ sở hiệu chỉnh đường cong T-Z kết quả đường cong tải trọng – độ lún tính được từ StaticTZ gần trùng với kết quả thí nghiệm, sai số là có thể chấp nhận được.

Sai số xuất hiện là do đường cong T-Z thực ở giai đoạn đàn hồi không phải là đường thẳng, do đó trong một số trường hợp cần phải hiệu chỉnh theo thực nghiệm.

4. Kết luận

- Kết quả đo biến dạng các đoạn thân cọc cho thấy rằng, mô đun đàn hồi cọc giảm ứng với sự gia tăng tải trọng đỉnh cọc.

- Mô hình đường cong T-Z có thể sử dụng ở dạng đơn giản gồm 2 đoạn đàn hồi và chảy dẻo, kết quả tính toán cho thấy khi thay bằng đường cong hiệu chỉnh, quan hệ tải trọng – độ lún cọc sát với thực tế quan trắc được. Tuy nhiên, khi địa chất phức tạp cần phải hiệu chỉnh để kết quả hội tụ.

- Đường cong T-Z hiệu chỉnh ở trên có thể được sử dụng để tính toán các cọc còn lại trong công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Tuấn Anh (2016), “Nghiên cứu hiệu ứng nhóm của móng cọc chịu tải trọng thẳng đứng bằng lời giải Mindlin”, Tạp chí Cầu đường Việt nam (8/2016).
- [2]. Viện KHCN GTVT (2006), “Phân tích và lựa chọn các phương pháp tính hệ số nền”, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, tháng 11.
- [3]. Coyle and Reese (1966), “Load transfer for axially loaded piles in clay”, *ASCI Vol 92, No. SM2*.
- [4]. J.E. Bowles (1997), “Foundation Analysis and Design”, McGraw-Gill Companies, Inc.
- [5]. DUNCAN, J. M. and CHANG, C. Y (1970). "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils". *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 96, pp 1629-1653*.
- [6]. RANDOLPH M.F and WROTH, C.P (1978). “Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles”. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol 104, pp 1465-1488*.
- [7]. AASHTO (1998), the American Association of State Highway and Transportation Officials, *LRFD Bridge Design Specification*.

Ngày nhận bài: 22/11/2016.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 04/01/2017.