

Lựa chọn hệ số an toàn khi xác định sức chịu tải cho phép của cọc khoan nhồi

Choosing the safety factors when determining the permissible bearing capacity of bored piles

Nguyễn Thị Thanh Hương

Tóm tắt

Bài báo đề xuất phương pháp xác định hệ số an toàn hợp lý khi xác định sức chịu tải cho phép của cọc dựa trên việc phân tích cơ chế truyền tải trọng dọc trục của cọc vào đất nền thông qua sự phát triển ma sát hông và sức kháng mũi theo chuyển vị của cọc.

Từ khóa: Hệ số an toàn

Abstract

This paper suggests the appropriate value of safety factors used for bearing-capacity of pile calculation based on the analysis of the load-transfer mechanism of the pile to the foundation through skin friction and end-bearing which depend on the settlement of the pile.

Key words: Safety-factors

1. Đặt vấn đề

Cọc được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng có tải trọng lớn hay tại khu vực có địa chất có tính biến dạng lớn, với mục đích truyền tải trọng xuống các lớp đất sâu hơn có khả năng chịu lực cần thiết. Cơ chế truyền tải trọng của cọc vào các lớp đất nền thông qua ma sát hông quanh thân cọc và sức kháng mũi cọc. Đối với cọc thi công thông thường sự hình thành và phát triển sức chịu tải của cọc do ma sát và sức kháng mũi phụ thuộc vào sự dịch chuyển tương đối giữa cọc và đất nền và có khuynh hướng phát triển khác nhau. Thành phần ma sát hông phát triển rất sớm và đạt đến giá trị cực hạn khi cọc có chuyển vị nhỏ, trong khi đó thành phần chịu mũi chỉ phát triển và đạt đến giá trị cực hạn khi cọc có chuyển vị đủ lớn. Do đó, sức kháng hông và sức kháng mũi của cọc đạt giá trị tối đa không xảy ra đồng thời mà có sự phân phối tải trọng cho thành phần ma sát và thành phần mũi chịu. Như vậy, việc cộng hai thành phần ma sát hông cực hạn và sức kháng mũi cực hạn thành sức chịu tải cực hạn của cọc thực chất không hợp lý. Do đó, cần đề xuất phương pháp điều chỉnh sai số này bằng cách sử dụng hệ số an toàn cho ma sát hông FSs, cho sức kháng mũi FS_p và hệ số an toàn chung FS.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Cơ chế huy động sức chịu tải của cọc trong thực tế

Khi cọc làm việc, ma sát hông xung quanh cọc được xem là huy động trước và sau đó sức mang tải mũi sẽ được huy động ở các mức độ khác nhau. Đặc điểm huy động sức mang tải mũi của cọc phụ thuộc nhiều vào phương pháp thi công cọc.

Nhiều thí nghiệm đo mức độ huy động ma sát hông và sức cản mũi của cọc khoan nhồi cho thấy: Cọc huy động ma sát hông trước và đạt cực hạn khi chuyển vị còn rất nhỏ (khoảng 1%D, D: đường kính cọc), nhưng sức cản mũi huy động rất chậm chạp khi chuyển vị của cọc lớn (khoảng 5%D) giá trị này mới đạt đến cực hạn.

Đặc điểm huy động chậm chạp sức mang tải mũi của cọc khoan nhồi có thể được giải thích xuất phát từ công nghệ thi công. Thực tế, cho thấy lượng mùn khoan lắng đọng dưới đáy hố khoan là lớn, không thể làm sạch hoàn toàn trước khi đổ bê tông và chất lượng bê tông mũi cọc đã bị giảm đáng kể.

Để cải thiện tình hình này, biện pháp thi công thổi rửa gia cường chân cọc khoan nhồi đã và đang được áp dụng rộng rãi, thực tế cho thấy sức mang tải mũi đã được huy động đáng kể.

Tuy nhiên, phương pháp thổi rửa gia cường mũi cọc khoan nhồi không phải lúc nào cũng được thực hiện. Điều đó có nghĩa sức kháng mũi sẽ huy động rất chậm. Do vậy, hệ số an toàn cần được lựa chọn hợp lý để có thể dự báo sức chịu tải cho phép của cọc gần với thực tế thi công.

2.2 Tính toán sức chịu tải của cọc theo các hệ số an toàn

Sức chịu tải cực hạn của cọc Q_u (kN) bao gồm:

$$Q_u = Q_{su} + Q_{pu} = A_s f_{su} + A_p q_{pu} \quad (1)$$

trong đó:

Q_{su} : Ma sát hông cực hạn, kN;

Q_{pu} : Sức kháng mũi cực hạn, kN;

A_s : Diện tích xung quanh cọc tiếp xúc với đất, m²;

A_p : Diện tích mũi cọc, m²;

f_{su} : Ma sát hông đơn vị cực hạn, kN/m²;

q_{pu} : sức kháng mũi đơn vị cực hạn, kN/m².

Sức chịu tải cho phép của cọc Q_a :

$$Q_a = \frac{Q_u}{FS} = \frac{Q_{su}}{FS_s} + \frac{Q_{pu}}{FS_p} \quad (2)$$

ThS. Nguyễn Thị Thanh Hương

Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Xây dựng

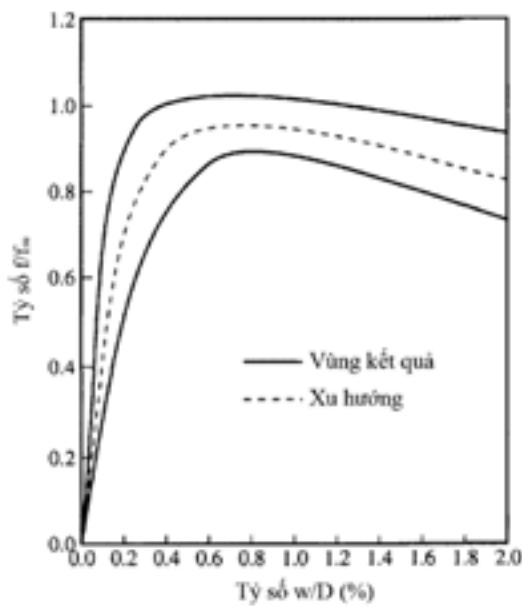
Email: huongkxd@yahoo.com

ĐT: 0983695880

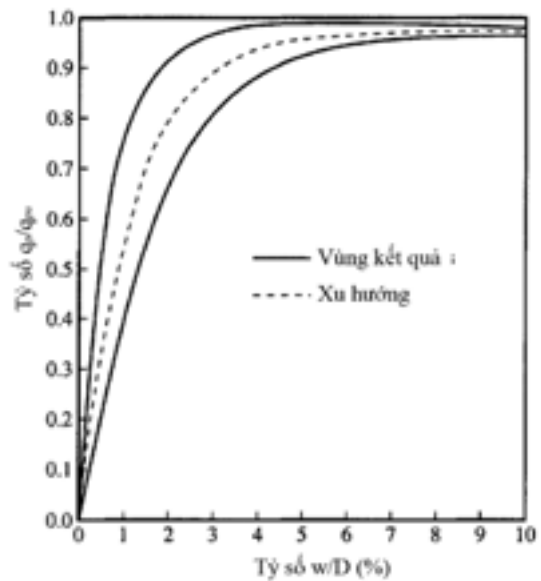
Ngày nhận bài: 3/6/2019

Ngày sửa bài: 5/6/2019

Ngày duyệt đăng: 9/3/2022



Hình 1: Biểu đồ quan hệ f-w cho đất dính



Hình 2: Biểu đồ quan hệ q-w cho đất dính

hoặc

$$Q_a = \frac{Q_u}{FS} \quad (3)$$

Giá trị FS, FS_s, FS_p thường lấy từ 2 đến 3.

2.3. Xác định sức chịu tải của cọc theo chuyển vị cho phép

2.3.1 Cơ chế truyền tải trọng dọc trục

Khi cọc chịu tải trọng tác dụng P, tăng dần tải trọng, nếu độ lún tương đối giữa cọc so với độ lún của đất mà lớn hơn thì cọc có xu hướng đi xuống, xung quanh cọc xuất hiện các lực chống trượt gọi là ma sát hông, khi cọc lún đến một giá trị nào đó thì ma sát hông đạt giá trị cực hạn. Cơ chế này gọi là sự hình thành và phát triển thành phần ma sát, sau khi hình thành lực ma sát cọc có sức chịu tải do ma sát gọi là sức kháng hông. Song song đó, thành phần mũi cọc bắt đầu chịu lực gọi là sức kháng mũi, khi cọc lún đến một giá trị nào đó vùng đất ở mũi cọc dần dần đạt đến trạng thái cân bằng giới hạn và sức kháng mũi đạt đến giá trị cực hạn, nếu tiếp tục tăng P thì đất ở mũi cọc bị phá hoại, cơ chế này gọi là sự hình thành và phát triển sức kháng mũi và cọc có sức chịu tải ở mũi cọc.

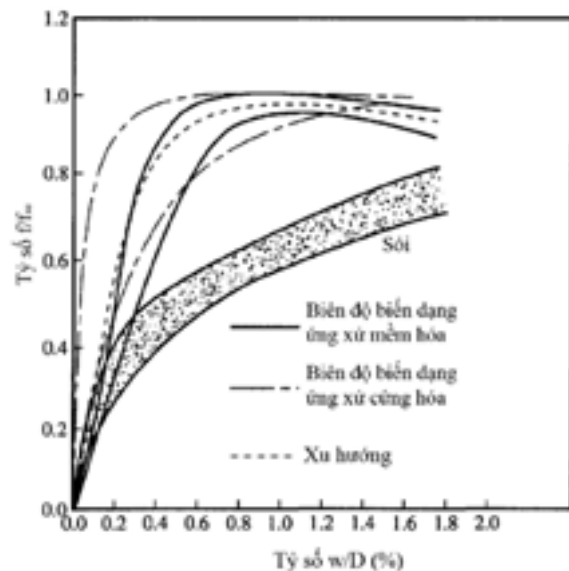
Như vậy, sự hình thành và phát triển của thành phần ma sát hông và sức kháng mũi đều phụ thuộc vào sự dịch chuyển của cọc. Nói cách khác, sức chịu tải của cọc phụ thuộc vào độ lún của cọc. Vì vậy, bài toán tính toán sức chịu tải của cọc còn phụ thuộc vào chuyển vị cho phép của cọc.

2.3.2 Quan hệ giữa sức kháng hông, sức kháng mũi theo chuyển vị cọc

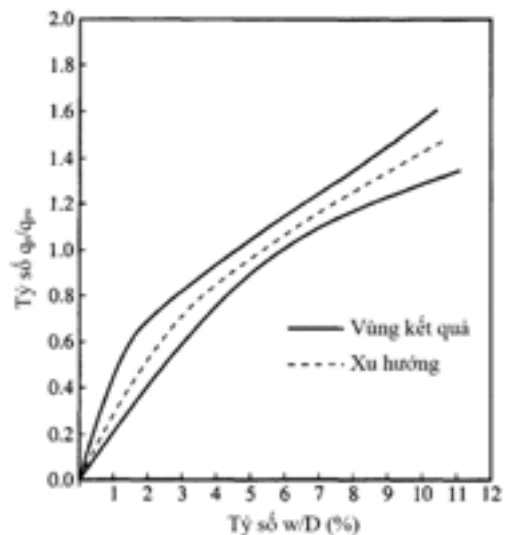
Nhiều tác giả đã nghiên cứu mối quan hệ giữa sức kháng hông, sức kháng mũi theo chuyển vị của cọc, đặt biệt Resse và O'Neill (1999) [6] đã thiết lập mối quan hệ phi tuyến giữa sức kháng hông đơn vị và chuyển vị cọc (quan hệ f-w), quan hệ phi tuyến giữa sức kháng mũi đơn vị và chuyển vị cọc (quan hệ q-w) cho đất dính và đất không dính.

Trường hợp cọc trong đất dính (hình 1, 2):

Trong đó: w: chuyển vị cọc (m); D: đường kính cọc (m); f: ma sát mặt hông của cọc; f_{su}: ma sát cực hạn ở mặt hông của cọc; q_p: sức kháng mũi; q_{pu}: sức kháng mũi cực hạn.



Hình 3: Biểu đồ quan hệ f-w cho đất hỗn hợp



Hình 4: Biểu đồ quan hệ q-w đất hỗn hợp

Trường hợp cọc trong đất hỗn hợp (hình 3, 4):

2.3.3 Trình tự tính toán sức chịu tải của cọc từ các quan hệ $f-w$ và $q-w$

Bước 1: Tính toán sức kháng hông cực hạn Q_{su} và sức kháng mũi cực hạn Q_{pu}

Bước 2: Sử dụng các biểu đồ từ hình 1 đến hình 4 thiết lập mối quan hệ giữa sức kháng hông và sức kháng mũi theo chuyển vị của cọc.

Bước 3: Xác định sức chịu tải cọc tổng cộng theo từng chuyển vị cọc tương ứng.

2.4 Xác định sức chịu tải cho phép của cọc

Sức chịu tải cho phép của cọc được xác định là giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

- Giá trị sức chịu tải cho phép ứng với hệ số an toàn FS_s , FS_p và FS theo công thức (2) hoặc (3)

- Giá trị sức chịu tải cho phép ứng với chuyển vị cho phép.

2.5 Lựa chọn hệ số an toàn hợp lý

Như đã phân tích, sức kháng hông và sức kháng mũi của cọc có giá trị biến thiên phụ thuộc vào chuyển vị của cọc. Do đó, các hệ số an toàn của cọc được xác định như sau:

$$FS_s = \frac{Q_{su}}{Q_{s(w)}} \quad (4)$$

$$FS_p = \frac{Q_{pu}}{Q_{p(w)}} \quad (5)$$

$$FS = \frac{Q_u}{Q_{t(w)}} = \frac{Q_u}{Q_{s(w)} + Q_{p(w)}} \quad (6)$$

với $Q_{s(w)}$, $Q_{p(w)}$, $Q_{t(w)}$: lần lượt là sức kháng hông, sức kháng mũi, sức chịu tải của cọc ứng với chuyển vị w (kN).

3. Ví dụ và kết quả tính toán

Sức chịu tải cực hạn của cọc được xác định theo phụ lục G của TCVN 10304-2014 [1].

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su} = q_b \cdot A_b + u \cdot \sum (f_{c,i} \cdot l_{c,i} + f_{s,i} \cdot l_{s,i}), \quad (7)$$

trong đó: Đối với cọc khoan nhồi:

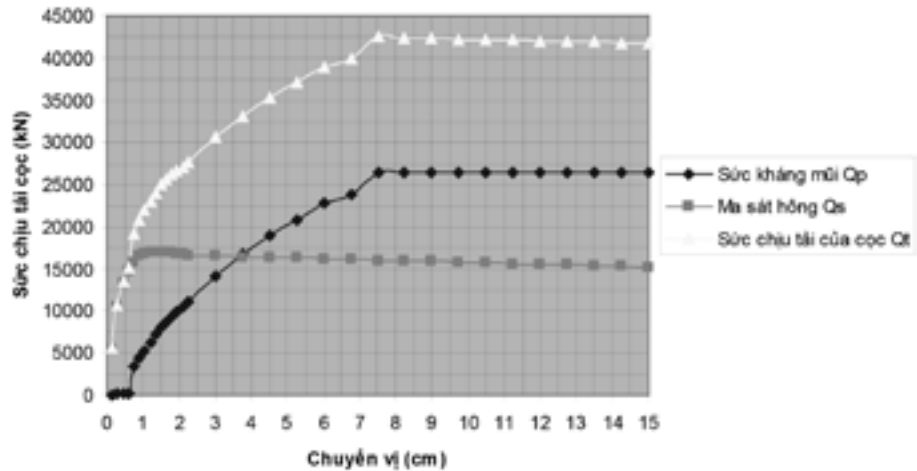
- $q_b = 150N_{30}$ khi mũi cọc nằm trong đất rời.

- $q_b = 9C_u$ khi mũi cọc nằm trong đất dính;

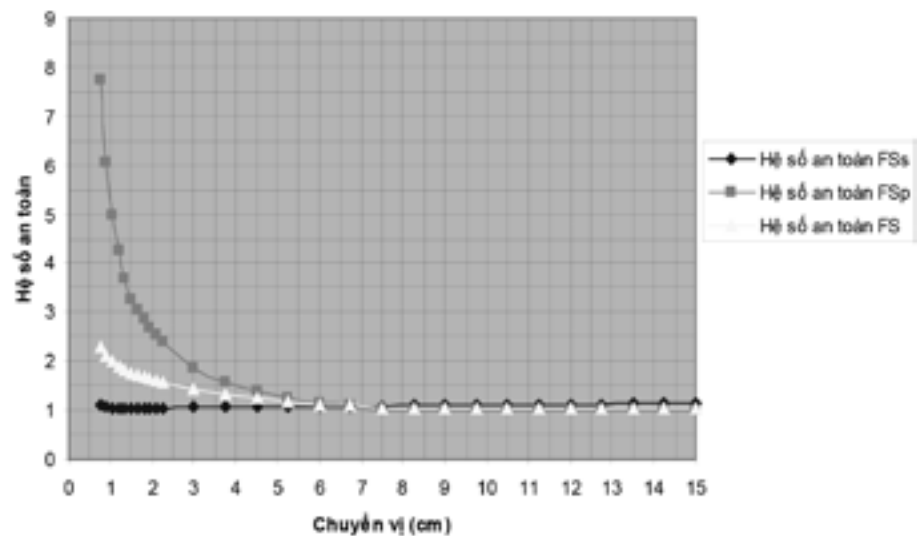
- f_{si} - Cường độ sức kháng trung bình trên đoạn cọc nằm trong lớp đất rời thứ i ;

$$f_{s,i} = \frac{10 \cdot N_{s,i}}{3};$$

với N_{si} là chỉ số SPT trung bình trong lớp đất rời thứ i .



Hình 5. Quan hệ sức chịu tải - chuyển vị cọc khoan nhồi $D = 1,5m$



Hình 6. Quan hệ hệ số an toàn - chuyển vị của cọc khoan nhồi $D = 1,5m$

$$f_{c,i} = \alpha_p \cdot f_{L} \cdot c_{u,i};$$

với: α_p - Hệ số điều chỉnh cho cọc đóng, phụ thuộc vào tỷ lệ giữa sức kháng cắt không thoát nước của đất dính C_u và trị số trung bình của ứng suất pháp hiệu quả thẳng đứng, xác định theo biểu đồ G.2a;

f_L - Hệ số điều chỉnh theo độ mảnh h/d của cọc đóng, xác định theo biểu đồ G.2b; với cọc khoan nhồi $f_L = 1$;

C_u - Cường độ kháng cắt không thoát nước của đất dính, có thể xác định theo công thức $C_u = 6,25N_{30}$; với N_{ci} là chỉ số SPT của đất dính.

l_{si} - Chiều dài đoạn cọc trong lớp đất rời thứ i

l_{ci} - Chiều dài đoạn cọc trong lớp đất dính thứ i

u - Chu vi tiết diện ngang cọc; D - Đường kính cọc;

A_b - Diện tích tiết diện ngang chân cọc

3.1 Địa chất tại Hà Nội: Tòa tháp A, lô đất CT2, khu đô thị Kim Văn Kim Lữ

Cọc khoan nhồi đường kính $D = 1,5m$. Để đài tại độ sâu 5,5m kể từ mặt đất tự nhiên. Chân cọc cắm vào lớp 9 cuội sỏi đa khoáng 2 m. Với điều kiện địa chất thực tế tính toán tra đồ thị được $\alpha_p = 1$.

$D = 1,5m$; $A_b = 1,766 m^2$; $u = 4,71 m$.

$Q_{pu} = 150 \cdot 100 \cdot 1,766 = 26493,75$ (kN);

Bảng 1. Tính toán sức chịu tải cọc khoan nhồi D=1,5m (địa chất tại Hà Nội)

STT	Lớp đất	Chiều dày (m)	N ₃₀	C _u (kPa)	f _{ci} l _{ci} (kN/m)	f _{si} l _{si} (kN/m)
1	Đất lấp	2,5				
2	Cát hạt mịn chặt vừa	16,7	12			548,00
3	Sét pha	3,8	9	56,25	213,75	
4	Sét pha dẻo cứng, đôi chỗ nửa cứng	2,7	16	100,00	270,00	
5	Sét pha lẫn hữu cơ, dẻo mềm	10,3	11	68,75	708,13	
6	Sét pha lẫn kết vón, nửa cứng đến cứng	3,8	22	137,50	522,50	
7	Cát hạt mịn, rất chặt	3,7	36			444,00
8	Cát sạn, lẫn sỏi, lẫn cát sạn, rất chặt	1,7	59			334,33
9	Cuội sỏi đa khoáng, lẫn cát sạn, rất chặt	2,0	100			666,67
	Tổng cộng				1714,38	1993,00

Bảng 2. So sánh lựa chọn hệ số an toàn trong tính toán sức chịu tải cọc

Chuyển vị (cm)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	Q _t (kN)	FS _s	FS _p	FS	Q _a (kN)
7,50	26493,75	16016,68	42510,43	2	3	2,52	16839,6
						3,00	14170,1
15,00	26493,75	15233,63	41727,38	2	3	2,54	16448,1
						3,0	13909,1

Bảng 3. Tính toán sức chịu tải cọc khoan nhồi D=1,0m (địa chất tại tp.HCM)

STT	Lớp đất	Chiều dày (m)	N ₃₀	C _u (kPa)	f _{ci} l _{ci} (kN/m)	f _{si} l _{si} (kN/m)
1	Đất cát lấp	2,6				
2	Sét rất dẻo	5,2	1			
3	Sét ít dẻo	1,9	6	37,50	71,25	
4	Cát pha	4,8	9	56,25	270,00	
5	Cát lẫn bụi	24,9	18			1494,00
6	Sét ít dẻo	7,2	18	112,50	810,00	
7	Sét ít dẻo kẹp cát	3,2	22	137,50	440,00	
8	Cát lẫn bụi đôi chỗ sạn sỏi	5,5	23			421,67
	Tổng cộng				1591,25	1915,67

Bảng 4. So sánh lựa chọn hệ số an toàn trong tính toán sức chịu tải cọc

Chuyển vị (cm)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	Q _t (kN)	FS _s	FS _p	FS	Q _a (kN)
5,0	2708,25	10100,44	12808,69	2	3	2,15	5952,97
						3,00	4269,56
10,0	2708,25	9606,63	12314,88	2	3	2,16	5706,07
						3,00	4104,96

$$Q_{su} = 4,71 \cdot (1714,38 + 1993,00) = 17461,74 \text{ (kN)};$$

$Q_u = 26493,75 + 17461,74 = 43955,49 \text{ (kN)}$ (Chi tiết tính toán được trình bày trong bảng 1).

Tra đồ thị hình 3 và hình 4 tính toán các giá trị Q_p và Q_s và Q_t theo chuyển vị của cọc thể hiện trên hình 5.

Từ kết quả tính toán ở bảng 2 nhận thấy ma sát hông hình thành và phát triển sớm đạt giá trị lớn nhất Q_{su} = 16991,61kN ứng với chuyển vị nhỏ (1,5cm) lúc đó sức kháng mũi mới chỉ đạt 30% giá trị cực hạn. Sức kháng mũi đạt giá trị cực hạn tương ứng với chuyển vị 7,5cm (w/D = 5%). Ứng với mỗi độ lún khác nhau thì thành phần ma sát hông và thành phần sức

kháng mũi có giá trị khác nhau, sức chịu tải cực hạn của cọc bằng tổng sức kháng hông cực hạn và sức kháng mũi cực hạn là không hợp lý do không xảy ra đồng thời, điều chỉnh sai số này bằng cách sử dụng các hệ số an toàn, FS_s có giá trị từ 1,03 đến 1,15, FS_p có giá trị biến động từ 1.0 đến 7,73, giá trị FS khá ổn định có giá trị từ 1,03 đến 2,54. Hệ số FS_s; FS được thể hiện trên hình 6.

Do [1] không quy định hệ số an toàn FS khi tính toán xác định sức chịu tải của cọc (phụ lục G theo công thức của Viện kiến trúc Nhật Bản) nên việc xác định sức chịu tải cho phép trở nên khó khăn đối với công việc thiết kế. Nếu lựa chọn

FS= 3 cho công thức xác định sức chịu tải cọc theo tiêu chuẩn Nhật Bản [2] thì không tận dụng được tối đa khả năng làm việc của cọc. Tính toán lựa chọn hệ số an toàn được thể hiện ở bảng 2.

3.2 Địa chất tại thành phố Hồ Chí Minh: Dùng địa chất tại công trình Chung cư 584 Lilama, phường 6, quận Gò Vấp

Cọc khoan nhồi đường kính $D = 1,0\text{m}$. Đế đài tại độ sâu $5,3\text{m}$ kể từ mặt đất tự nhiên. Chân cọc cắm vào lớp 8 cát lẫn bụi đồi chỗ sạn sỏi $5,5\text{m}$. Với điều kiện địa chất thực tế tính toán tra đồ thị được $\alpha_p = 1$.

$$D = 1,0\text{m}; A_b = 0,785\text{ m}^2;$$

$$u = 3,14\text{ m}$$

$$Q_{pu} = 150.23.0,785 \\ = 2708,25\text{ (kN)};$$

$$Q_{su} = 3,14.(1591,25 + 1915,67) \\ = 11011,72\text{ (kN)};$$

$$Q_u = 2708,25 + 11011,72 \\ = 13719,97\text{ (kN)}$$

(Chi tiết tính toán được trình bày trong bảng 3).

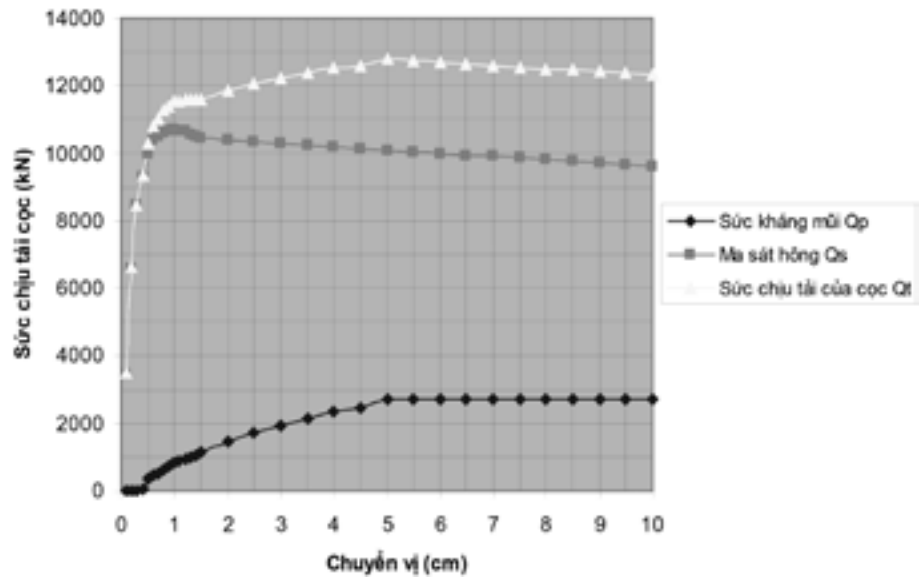
Các tính toán tương tự đối với địa chất ở Hà Nội, tuy nhiên do đất tại TP Hồ Chí Minh ở độ sâu lớn hơn 50m chỉ số $N_{30} = 23$ quá nhỏ nên sức kháng mũi nhỏ, sức chịu tải cọc giảm đáng kể. FS_s có giá trị từ $1,03$ đến $1,15$, FS_p có giá trị biến động từ $1,0$ đến $7,73$, giá trị FS khá ổn định có giá trị từ $1,07$ đến $1,33$. Kết quả tính toán được thể hiện trên hình 7 và hình 8.

4. Kết luận

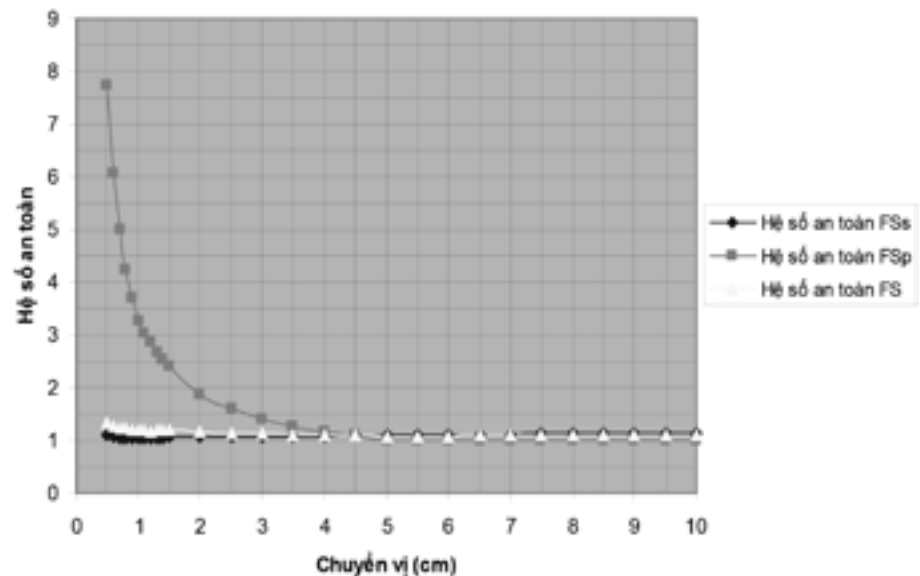
Các hệ số an toàn FS_s , FS_p và FS thể hiện trong các tiêu chuẩn thiết kế hiện nay dẫn đến chịu tải cho phép của cọc nhỏ hơn nhiều so với sức chịu tải thực tế của chúng, thiên về an toàn và chưa tận dụng hết sức chịu tải của cọc.

Để tận dụng hết sức chịu tải của cọc, giá trị FS_s chọn từ $1,0$ đến $2,0$, giá trị FS_p biến động khá lớn và trong trường hợp chuyển vị cho phép của cọc khá lớn thì FS_p chọn từ $1,0$ đến $3,0$, giá trị FS từ $1,10$ đến $2,50$ (giá trị FS ít biến động và khá tin cậy).

Trên đây là một vài kiến nghị về phương pháp lựa chọn hệ số an toàn hợp lý trong việc xác định sức chịu tải cho phép theo tính toán của cọc khoan nhồi./.



Hình 7. Quan hệ sức chịu tải - chuyển vị cọc khoan nhồi $D = 1,5\text{m}$



Hình 8. Quan hệ hệ số an toàn - chuyển vị của cọc khoan nhồi $D = 1,5\text{m}$

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 10304-2014 Móng cọc. Tiêu chuẩn thiết kế.
2. TCXD 205 - 1998 Móng cọc. Tiêu chuẩn thiết kế
3. Shamsher Prakash, Hari D. Sharma, Móng Cọc Trong Thực Tế Xây Dựng, NXB Xây Dựng, 1999.
4. Donald P. Coduto, PE, GE, Foundation Design - Principles and Practice, Prentice - Hall, 1994
5. M.J. Tomlinson, Pile Design and Construction Practice, 4th Edition E & FN Spon, 1994.
6. Kam W. Ng, Sri Sritharan, Jeremy C. Ashlock, Development of Preliminary Load and Resistance Factor Design of Drilled Shafts in Iowa, 10-2014.