



KIỂM NGHIỆM PHƯƠNG PHÁP MẶT TRUNG HÒA TRONG TÍNH TOÁN LÚN CỦA NHÓM CỌC

Dương Diệp Thúy¹, Phạm Quang Hưng²

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp mặt trung hòa trong tính toán lún của nhóm cọc có xét đến ảnh hưởng của ma sát âm cho nền đất yếu và có tải trọng san lấp. Phương pháp này được sử dụng để tính toán lún cho 3 đài cọc có số lượng cọc khác nhau và so sánh kết quả tính toán với số liệu quan trắc thực tế. Kết quả tính toán cho thấy rằng với đài cọc có số lượng cọc nhỏ phương pháp mặt trung hòa cho kết quả tương đối gần với kết quả quan trắc. Tuy nhiên, với những đài cọc có kích thước lớn, kết quả tính lún lớn hơn so với kết quả quan trắc.

Từ khóa: Ma sát âm; lún nhóm cọc; phương pháp mặt trung hòa.

Summary: The paper presents a neutral plane method for calculation settlement of pile group which takes into account the effect of negative skin friction and overburden load. The described method was applied to calculate settlement for 3 pile foundation and compared the results with the monitored data. The calculation results show that the calculation results for pile foundations with relative small number of piles agree quite well with the monitored data. However, for the pile foundation with a large number of pile, calculated settlement is higher than the monitored data.

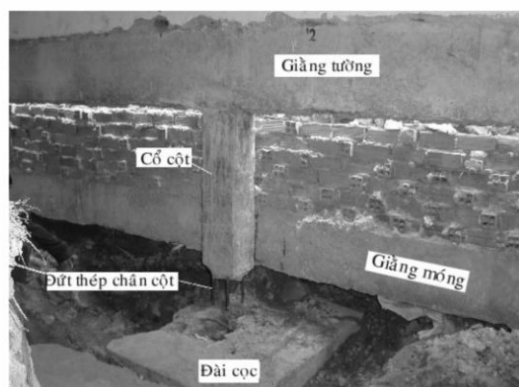
Keywords: Negative skin friction; settlement of pile group; neutral plane method.

Nhận ngày 3/10/2014, chỉnh sửa ngày 28/10/2014, chấp nhận đăng 31/3/2015



1. Tổng quan về ma sát âm

Ma sát âm trên cọc là yếu tố không thể bỏ qua khi thiết kế móng cọc trong khu vực mới san nền trên đất yếu và trong vùng chịu ảnh hưởng của hiện tượng hạ mực nước ngầm. Theo [8] hiện tượng ma sát âm trên cọc có thể là nguyên nhân chính dẫn đến một số sự cố nền móng của rất nhiều công trình xây dựng ở Việt Nam, ví dụ như: Văn phòng khoa Vật lý thuộc trường Đại học Sư phạm Hà Nội, nhà máy tại khu công nghiệp Đình Vũ, Hải Phòng. Hình 1 mô tả hiện tượng phá hoại chân cột gây hư hỏng cho công trình móng cọc do ma sát âm ở Bà Rịa - Vũng Tàu.



Hình 1. Sự cố móng cọc ở Bà Rịa - Vũng Tàu [8]

Theo tiêu chuẩn TCXD 189:1996 [5] và TCXD 205:1998 [4], ma sát âm là hiện tượng đất xung quanh cọc bị lún có kết lớn hơn chuyển vị xuống dưới hoặc biến dạng nén của cọc. Việc này gây thêm một tải trọng hướng xuống lên cọc. Ma sát âm làm giảm khả năng chịu tải của cọc và khuyến cáo cần xem xét khả năng xuất hiện của nó khi tính toán sức chịu tải của cọc trong các trường hợp sau: Sự cố kết chưa kết thúc của trầm tích hiện đại và trầm tích kiến tạo; sự tăng độ chặt của đất rời dưới tác dụng của trọng lực; tăng ứng suất hữu hiệu trong đất do mực nước ngầm bị hạ thấp; tồn nền do quy hoạch có chiều dày lớn hơn 1m; phụ tải trên nền kho lớn hơn 20kN/m²; sự giảm thể tích của đất do chất hữu cơ trong đất bị phá hủy.

¹ThS, Khoa Công nghệ Thông tin. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: thuyxd0582@gmail.com.

²PGS. TS, Bộ Giáo dục và Đào tạo.

Ma sát âm đối với móng cọc là hiện tượng phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: Loại cọc, chiều dài cọc, phương pháp hạ cọc, mặt cắt ngang của cọc, bề mặt tiếp xúc giữa cọc và nền đất; đặc tính cơ lý của đất; tải trọng (chiều cao đắp nền, phụ tải...); thời gian kể từ khi thi công cọc.

Đã có rất nhiều nghiên cứu về cọc chịu ma sát âm [11], [12] và [13] trong đó các tác giả đã nghiên cứu và đề ra phương pháp tính với bài toán móng cọc chịu ma sát âm. Ở Việt Nam hiện nay một số tác giả như [1], [7] và [8] đã có những nghiên cứu về cọc chịu ma sát âm cho nền đất yếu của Đồng bằng Sông Cửu Long. Các nghiên cứu này tập trung giải quyết vấn đề sức chịu tải của cọc và lún của cọc đơn.

Phương pháp mặt trung hòa của Fellenius [11] là một trong những phương pháp tính toán lún khá phổ biến có xét đến ảnh hưởng của ma sát âm và được nhiều nơi trên thế giới sử dụng như hướng dẫn thiết kế của Cục quản lý Đường cao tốc liên bang - Bộ Giao thông Hoa kỳ HFWA-NHI-05-042 [10], tiêu chuẩn thiết kế móng của Singapore CP4:2003 [14], ngoài ra còn có các tiêu chuẩn của Hồng Kông, Úc và một số nước khác. Trong phạm vi bài báo này các tác giả tiến hành so sánh kết quả tính toán lún của nhóm cọc chịu ma sát âm theo phương pháp mặt trung hòa với số liệu quan trắc lún cho một số đài cọc có kích thước khác nhau tại huyện U Minh, tỉnh Cà Mau.



2. Cơ sở lý thuyết

Hai thành phần ảnh hưởng lớn đến sức chịu tải cũng như lún của nhóm cọc là ma sát bên và sức kháng mũi. Phương pháp móng khối quy ước thì thành phần ma sát được kể đến thông qua góc mở α hoặc $\phi_{tb}/4$. Theo [11] cùng với tải trọng tác dụng lên cọc thành phần ma sát và sức kháng mũi được sử dụng để xác định mặt trung hòa. Mặt phẳng trung hòa là mặt phẳng mà tại vị trí đó tính tải tác dụng lên cọc và lực ma sát âm cân bằng với sức kháng mũi và ma sát dương. Phía trên mặt trung hòa, độ lún của nền đất lớn hơn độ lún của cọc. Do đó tải trọng được truyền từ đất sang cọc. Bên dưới mặt trung hòa, độ lún của nền đất bé hơn độ lún của cọc và tải trọng được truyền từ cọc sang đất. Mặt phẳng trung hòa cũng là mặt phẳng có ứng suất lớn nhất để kiểm tra khả năng chịu tải của vật liệu cọc và là vị trí tính toán lún. Có rất nhiều phương pháp xác định thành phần ma sát bên và sức kháng mũi. Theo [10] để tính toán sức kháng ma sát và kháng mũi có thể dựa vào phương pháp ứng suất toàn phần và ứng suất hữu hiệu.

2.1 Cách xác định sức kháng ma sát và kháng mũi

Xác định ma sát bên và sức kháng mũi có thể xác định theo các phương pháp tra bảng hoặc theo công thức tính. Trong phạm vi bài báo tác giả giới thiệu một số phương pháp tính: 1) phương pháp ứng suất toàn phần (phương pháp α); 2) phương pháp ứng suất hữu hiệu (phương pháp β) và 3) Theo TCVN 10304:2014 [6]

a) Phương pháp α

+ Ma sát đơn vị được xác định theo công thức:

$$f_s = c_a = \alpha c_u \quad (1)$$

trong đó: c_u là sức kháng cắt không thoát nước (kPa) và α là hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào cường độ của đất sét, đường kính cọc, phương pháp hạ cọc và thời gian tác dụng.

+ Sức kháng mũi đơn vị được xác định theo công thức:

$$q_t = c_u N_c \quad (2)$$

trong đó: N_c là hệ số không thứ nguyên phụ thuộc vào đường kính cọc và chiều sâu chôn cọc. Thông thường giá trị N_c được lấy bằng 9 cho trường hợp móng sâu [16].

b) Phương pháp ứng suất hữu hiệu (phương pháp β)

+ Ma sát đơn vị được xác định theo công thức:

$$f_s = \beta \cdot \bar{p}_0 \quad (3)$$

trong đó: β là hệ số được xác định theo công thức $= K_s \tan \delta$; K_s là hệ số áp lực đất; $\bar{p}_0$ là ứng suất hữu hiệu trung bình dọc thân cọc và δ là góc ma sát giữa cọc và đất.

Fellenius [11] đã chỉ ra rằng hệ số β phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như thành phần hạt, góc ma sát, thành phần khoáng vật trong đất, cường độ của đất, phương pháp hạ cọc... Tuy nhiên, giá trị của hệ số β chỉ nằm trong khoảng đề xuất và hiếm khi vượt quá 1.

+ Sức kháng mũi đơn vị được xác định theo công thức

$$q_t = p_t N_t \quad (4)$$

trong đó N_t hệ số phụ thuộc vào loại đất và góc ma sát ϕ' . Giá trị N_t có thể xác định theo [8].

c) Theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10304:2014 [6]

Ma sát được xác định theo công thức sau:

$$P_n = u \sum_0^{h_s} f_i l_i \quad (5)$$

trong đó: u là chu vi tiết diện ngang thân cọc; l_i là chiều dài đoạn cọc nằm trong lớp đất i ; h_s là độ sâu tính toán và f_i là cường độ sức kháng trên thân cọc.

$$\phi_i = \zeta \sigma_{\zeta i} \tan \varphi_i + \chi_i \quad (6)$$

Các thông số được xác định theo [6].

2.2 Tính lún của nhóm cọc theo phương pháp mặt trung hòa

Theo Fellenius [11] đưa ra cách xác định móng khối tương đương dựa trên việc xác định vị trí của mặt trung hòa. Mặt trung hòa xuất hiện ở độ sâu mà tổng tải trọng do tính tải cộng với ma sát âm cân bằng với ma sát dương cộng với sức kháng mũi. Phía trên mặt trung hòa, độ lún của nền đất lớn hơn độ lún của cọc. Do đó tải trọng được truyền từ đất sang cọc. Bên dưới mặt trung hòa, độ lún của nền đất bé hơn độ lún của cọc và tải trọng được truyền từ cọc sang đất. Như vậy, độ lún của cọc được xác định bởi vùng đất chịu nén bên dưới trục trung hòa. Các bước để xác định độ lún của nhóm cọc theo [11]:

i) Xác định sức chịu tải cực hạn của cọc, Q_u .

ii) Vẽ đường tải trọng cực hạn (đường cong A): Bắt đầu từ mũi cọc lấy giá trị ban đầu bằng sức kháng mũi và vẽ đường cong A với phương trình:

$$R_t + f_s \cdot A_s \quad (7)$$

trong đó, R_t là sức kháng mũi đầu cọc được xác định như sau:

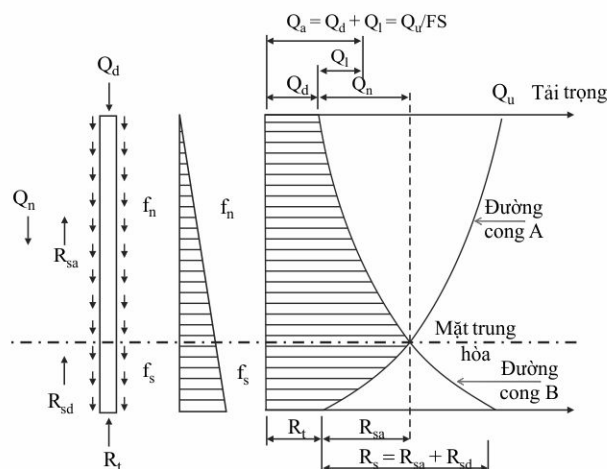
$$R_t = q_t \cdot A_t \quad (8)$$

Với A_t là diện tích mũi cọc và q_t là sức kháng mũi đơn vị có thể xác định theo công thức (2) hoặc (4); f_s là ma sát đơn vị và A_s là diện tích xung quanh đoạn cọc tính toán.

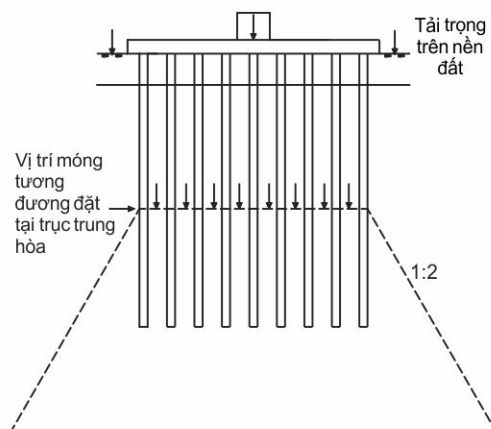
iii) Vẽ đường tải trọng trong cọc: Bắt đầu từ đỉnh cọc, giá trị ban đầu bằng giá trị tính tải, vẽ đường cong với phương trình: $Q_d + f_s \cdot A_s$.

Giao của hai đường cong cho ta vị trí trục trung hòa và phần ma sát bên trên trục trung hòa sẽ là ma sát âm và phần bên dưới trục trung hòa là ma sát dương. Lúc này:

$$Q_d + R_{sa} = R_t + R_{sd} \quad (9)$$



Hình 2. Cách xác định vị trí mặt trung hòa



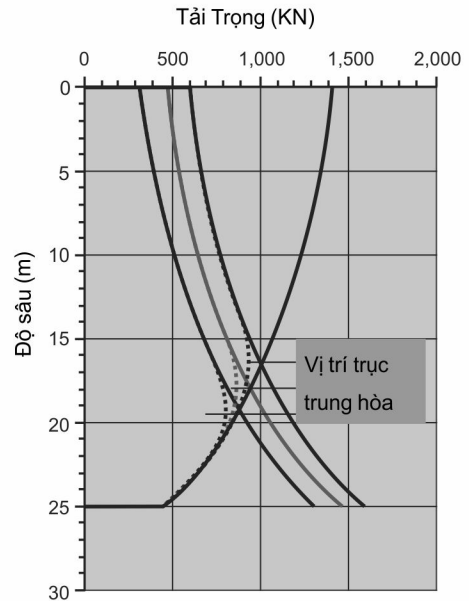
Hình 3. Mô hình tính lún nhóm cọc theo Fellenius (2004)[12]

trong đó: Q_d là tĩnh tải; Q_n là tải trọng do ma sát âm; Q_u là sức chịu tải cực hạn của cọc; R_s là ma sát bên; R_{sa} là ma sát âm; R_{sd} là ma sát dương và f_n là ma sát âm đơn vị.

Theo [12] đã chỉ ra rằng độ lún của nhóm cọc trong khoảng giữa trục trung hòa và mũi cọc thường là nhỏ. Do độ cứng tương đương giữa cọc đất trong khu vực này là lớn. Trong hầu hết các trường hợp tính toán độ lún của nhóm cọc có thể bỏ qua độ lún tại khu vực này.

Tải trọng của nhóm phân bố bên dưới mặt trung hòa mở rộng theo góc 30° . Cũng giống như các phương pháp khác, giới hạn tính lún trong phạm vi nền đất chịu nén với ứng suất bản thân bằng 5 đến 10 lần ứng suất gây lún.

Như vậy, việc tính toán lún của nhóm cọc phụ thuộc vào vị trí của trục trung hòa. Tuy nhiên, vị trí của trục trung hòa lại không cố định nó phụ thuộc vào giá trị của tĩnh tải Q_d tác dụng lên cọc và chiều sâu của mũi cọc đặt trong lớp đất tốt (theo phương trình 9). Trong Hình 4 mô tả vị trí của trục trung hòa thay đổi khi tĩnh tải Q_d thay đổi. Khi $Q_d = 300\text{kN}$; 500kN và 600kN thì trục trung hòa tương ứng ở độ sâu 19m; 17,5m và 16,5m. Như vậy, khi tải trọng tác dụng lên cọc nhỏ vị trí trục trung hòa nằm càng sâu và ma sát âm càng lớn. Ngược lại khi tải trọng tác dụng lên cọc tăng lên thì trục trung hòa lại nằm ở trên và ma sát âm lại càng nhỏ. Đó cũng là nguyên nhân giải thích ma sát âm không làm thay đổi sức chịu tải của cọc mà bản chất là tăng tải trọng tác dụng lên cọc. Cũng như vậy, khi mũi cọc đặt trong lớp đất tốt hay yếu sẽ làm ảnh hưởng tới sức kháng mũi R_f đồng thời làm thay đổi vị trí của trục trung hòa.



Hình 4. Vị trí trục trung hòa thay đổi khi thay đổi tĩnh tải tác dụng



3. So sánh kết quả tính toán với số liệu quan trắc với một số đài móng

3.1 Giới thiệu về địa chất

Nền đất tại khu vực khảo sát gồm các lớp:

Kết quả tính toán và số liệu địa chất cũng như kết quả quan trắc lún đo được của một số hạng mục thuộc dự án tại huyện U Minh, tỉnh Cà Mau [2].

+ Lớp 1: Cát san lấp dày 3,8m;

+ Lớp 2: Bùn sét ở trạng thái nhão với chiều dày 15,5 m. Giá trị sức kháng cắt không thoát nước trung bình $c_u = 40\text{kPa}$ và $q_c = 0,441\text{MN/m}^2$;

+ Lớp 3: Sét ở trạng thái cứng đến rất cứng với chiều dày 7 m. Kết quả thí nghiệm xuyên tĩnh hiện trường cho giá trị $q_c = 2,244\text{MN/m}^2$;

+ Lớp 4: Sét đôi chỗ lẫn cát ở trạng thái cứng đến rất cứng.

Mực nước ngầm ở độ sâu 10m. Mũi cọc được đặt trong lớp đất số 4 với các chỉ tiêu cơ lý của thể hiện như Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của lớp đất 4

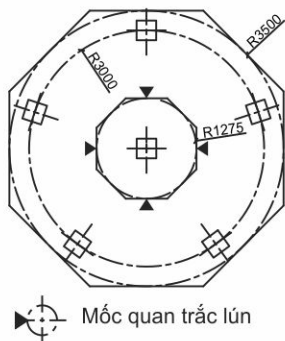
Độ sâu (m)	γ (kG/cm ³)	e_0	C_c	C_r	P_c (kG/cm ³)
33 – 33,5	1,93	0,771	0,179	0,032	3,22
42 – 42,5	1,82	0,944	0,422	0,083	7,14

3.2 Đài móng M1

Móng M1 là kết cấu đỡ bồn chứa [15] với sơ đồ mặt bằng cọc và bố trí hệ thống quan trắc như Hình 5. Thời gian quan trắc 02 năm từ 26/12/2011 đến 1/12/2013. Đồ thị kết quả quan trắc lún như Hình 6 (số liệu được lấy trung bình từ 4 mốc đo).

Tổng tải trọng tác dụng là 160 kN/m^2 (bao gồm tĩnh tải và hoạt tải dài hạn).

Thông số cọc: Cọc vuông $500 \times 500 \text{ mm}$. Chiều dài cọc 38 m .



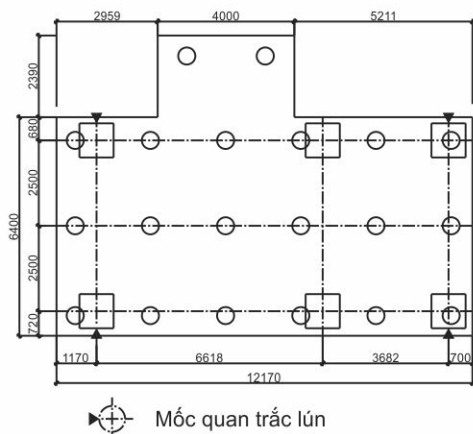
Hình 5. Sơ đồ móng và vị trí lắp đặt thiết bị quan trắc

3.3 Đài móng M2

Sơ đồ mặt bằng cọc [9] và sơ đồ bố trí hệ thống quan trắc như Hình 7. Thời gian quan trắc 02 năm từ 26/12/2011 đến 1/12/2013. Biểu đồ quan trắc lún như Hình 8 (số liệu được lấy trung bình từ 4 mốc đo).

Tổng tải trọng tác dụng là 213 kN/m^2 (bao gồm tĩnh tải và hoạt tải dài hạn).

Thông số cọc: Đường kính cọc $D500$. Chiều dài cọc 30 m .



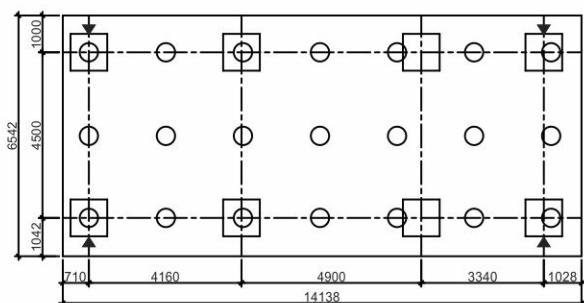
Hình 7. Sơ đồ móng và vị trí lắp đặt thiết bị quan trắc

3.4 Đài móng M3

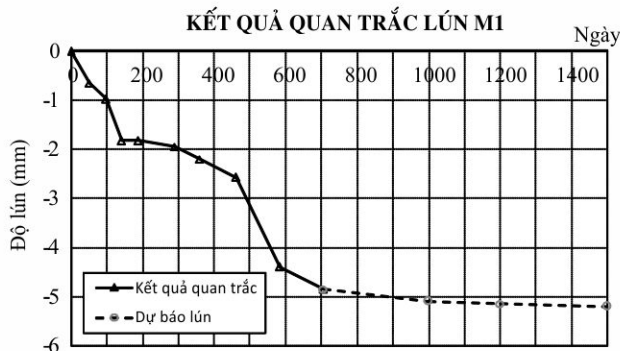
Sơ đồ mặt bằng cọc [9] và sơ đồ bố trí hệ thống quan trắc như Hình 9. Thời gian quan trắc 02 năm từ 26/12/2011 đến 1/12/2013. Biểu đồ quan trắc lún như Hình 10 (số liệu được lấy trung bình từ 4 mốc đo).

Tổng tải trọng tác dụng là 227 kN/m^2 (bao gồm tĩnh tải và hoạt tải dài hạn).

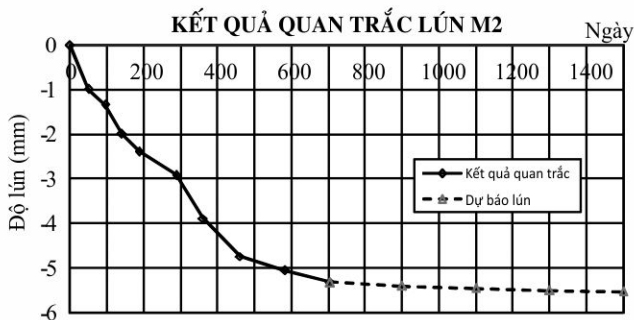
Thông số cọc: Cọc tròn có đường kính 500 mm với chiều dài cọc là 30 m .



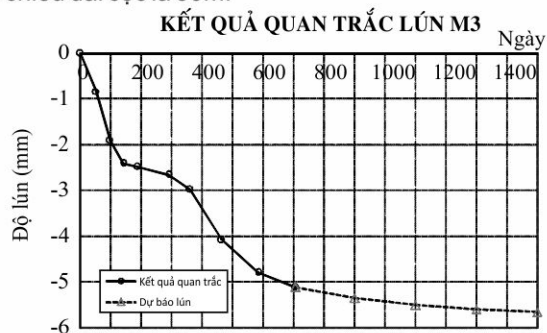
Hình 9. Sơ đồ móng và vị trí lắp đặt thiết bị quan trắc



Hình 6. Kết quả quan trắc lún [3]



Hình 8. Kết quả quan trắc lún [3]



Hình 10. Kết quả quan trắc lún [3]

3.5 Tổng hợp kết quả tính toán

Kết quả tính toán cho các đài móng được thể hiện như Bảng 2:

Bảng 2. Kết quả tính lún

Móng	L (m)	Tải trọng/1 cọc (kN)	D (m)	Khoảng cách cọc (m)	Số cọc	Vị trí mặt trung hòa (m)	Fellenius (cm)	Quan trắc (cm)
M1	38	1.304	0,5	3-3,5	6	10,3	0,36	0,52
M2	30	707	0,5	2,1-2,5	20	18,8	1,15	0,55
M3	30	603	0,5	2,1-2,25	21	20,2	1,65	0,53

*Chú ý: Số liệu quan trắc là giá trị trung bình thu được từ các mốc đo. Tốc độ lún trung bình của các hạng mục từ 2 đến 2,5mm/năm; thời gian quan trắc lún là 2 năm; Giá trị quan trắc là giá trị được ngoại suy vị trí trục trung hòa được tính từ mặt đất.

3.6 Nhận xét

Dựa vào kết quả tính toán ở trên ta có thể thấy rằng:

+ Với móng M1 có kích thước nhỏ và tải trọng tác dụng lên cọc lớn nên vị trí trục trung hòa nằm khá gần mặt đất nên thành phần ma sát âm tác động lên cọc là ít. Bên cạnh đấy, khoảng cách các cọc lớn hơn 6 lần đường kính cọc nên các cọc làm việc như cọc đơn. Kết quả tính toán theo [11] nhỏ hơn kết quả quan trắc được.

+ Với đài móng M2 và M3 có số lượng cọc, khoảng cách các cọc gần giống nhau (khoảng xấp xỉ 4 lần đường kính cọc), tải trọng tác dụng lên cọc có khác nhau và vị trí mặt trung hòa có sự thay đổi. Kết quả tính toán và số liệu quan trắc thu được có sự chênh lệch.

+ Việc xác định mặt trung hòa đang được xác định từ cọc đơn và áp dụng cho cả nhóm cọc nên tỏ ra chưa hoàn toàn hợp lý. Sự phân bố ma sát âm do lún của nền đất xung quanh có sự sai khác giữa cọc đơn và nhóm cọc.

+ Với số lượng móng tính toán và quan trắc là ít nên kết quả chưa mang tính đại diện.

+ Chú ý rằng kết quả so sánh giữa các phương pháp và số liệu quan trắc sau khi đã ngoại suy có thể có những sai sót nhất định do kết quả dự báo theo các phương pháp là độ lún cuối cùng còn các móng chưa tụt lún hoàn toàn và giá trị so sánh được ngoại suy từ đồ thị quan trắc lún.



4. Kết luận

Dựa vào kết quả tính toán phân tích với 03 móng ở trên có thể đưa ra một số kết luận sơ bộ như sau: Tải trọng tác dụng lên cọc ảnh hưởng đến thành phần ma sát âm và vị trí trục trung hòa đồng thời ảnh hưởng tới độ lún của kết cấu; Việc tính toán dự báo độ lún của nhóm cọc theo phương pháp mặt trung hòa cho nền đất yếu có chịu tải trọng đất đắp với những đài móng có số lượng cọc nhỏ gần với số liệu quan trắc; Với những đài móng có kích thước và số lượng cọc lớn cần có những nghiên cứu để điều chỉnh để kết quả dự báo sát với sự làm việc thực tế của móng hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Đậu Văn Ngộ (2009), "Nghiên cứu ảnh hưởng của ma sát âm đến công trình và các biện pháp làm giảm thiểu ma sát âm", *Tạp chí phát triển KH&CN*, tập 12, số 06 trang 96 đến 103.
2. *Kết quả khảo sát địa kỹ thuật (2010)*, Nhà máy Đạm Cà Mau, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng miền nam - Bộ Xây dựng.
3. *Kết quả quan trắc lún (2013)*, Trung tâm tư vấn trắc địa và xây dựng - Viện khoa học và công nghệ Bộ Xây dựng (CSCE - IBST).
4. Tiêu chuẩn Xây dựng TCVN 205-1998, *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*.

5. Tiêu chuẩn Xây dựng TCXD 189:1996, *Móng cọc tiết diện nhỏ - Tiêu chuẩn thiết kế*.
6. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 10304:2014, *Móng cọc - tiêu chuẩn thiết kế*
7. Trần Huy Thanh (2012), “Ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm đến sức chịu tải của cọc trong công trình nền cọc cao trên nền đất yếu”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng Hải*, số 32-11/2012 trang 23 đến 28.
8. Trịnh Việt Cường (2012), “Ma sát âm trên cọc và ảnh hưởng của nó đối với công trình xây dựng”, *Viện khoa học công nghệ Xây dựng- Bộ Xây dựng*, trang 92-99.
9. *CO2 Removal Structure - Camau fertilizer Plant*, WuHuan Engineering Co., Ltd
10. FHWA NHI-05-042 (2006), *Design and Construction of Driven Pile Foundations*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, April 2006.
11. Fellenius BH (1991), *Pile foundations, In Foundation Engineering Handbook*, 2nd edn (Fang H-Y (ed.)), Chapman & Hall, New York, pp. 511–536.
12. Fellenius BH (2004), “Unified design of piled foundations with emphasis on settlement analysis”, *Geo-Institute Geo- TRANS Conference, Los Angeles, July 27-30, 2004*, GSP 125, pp. 253-275.
13. Poulos HG and Davis EH (1980), *Pile Foundation Analysis and Design*, Wiley, New York, 80 Geotechnical Engineering 163.
14. Singapore Standard CP4 (2003), *Code of Practice for foundations*.
15. *Structure for CO2 Compression building - Camau fertilizer Plant*, WuHuan Engineering Co., Ltd
16. Tomlinson, M.J. (1980), *Foundation Design and Construction*, Fourth Edition, Pitman Advanced Publishing Program.