

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆN TƯỢNG MA SÁT ÂM TRONG THIẾT KẾ MÓNG CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP CHO CÔNG TRÌNH NHÀ CAO TẦNG TẠI QUẬN 7-TP.HCM

THE INFLUENCE OF NEGATIVE SKIN FRICTION PHENOMENON ON REINFORCED CONCRETE PILE DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN DISTRICT 7 - HCM CITY

Lê Phương, Trương Anh Tuấn, Đào Nguyên An

ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Từ khi ma sát âm được biết đến trong sự làm việc của móng cọc, trên thế giới đã có một số lượng đáng kể những nghiên cứu về vấn đề này với mục tiêu xác định bản chất cũng như giá trị của ma sát âm trong các giai đoạn phát triển của nền. Chẳng hạn sự cố kết của lớp sét yếu do sự xuất hiện của cọc (Fellenius-1972), sự đắp nền mới (Bozozuk-1972), do sự dao động của mực nước ngầm (Auvinet và Hanell-1981).

Ở nước ta, hiện tượng ma sát âm cũng đã ngày càng được quan tâm đến nhiều hơn trong công tác thiết kế thi công móng sâu, đặc biệt là những vùng có nền đất yếu như đồng bằng sông Cửu Long và khu vực quận 7 – TP HCM. Thông qua việc tập hợp các tài liệu trong và ngoài nước, tìm hiểu lý thuyết tính toán ma sát âm của giáo sư Joseph E. Bolwes và mô hình tính toán trên phần mềm Plaxis với thực tế địa chất quận 7 – TP HCM, chúng tôi đã chứng minh và trình bày được sự ảnh hưởng của ma sát âm đối với móng cọc ở địa bàn này, từ đó đề ra một số biện pháp nhằm hạn chế khắc phục hiện tượng ma sát âm.

ABSTRACT

Since negative skin friction was known in pile foundation's behaviour, there have been many research and science reports on this problem in the world, in order to discover the essence and value of negative skin friction in foundation's development stages. Namely, the reconsolidation of highly sensitive soils due to pile installation (Fellenius 1972), recent embankment fill (Bozozuk 1972), water table fluctuation (Auvinet and Hanell 1981).

In our country, nowadays, negative skin friction is getting more attention in design and construction work of deep foundation, especially in the soft soil area, such as in District 7 – HCM City. Based on gathering documents, studying the calculation theory of Dr. Joseph E. Bolwes and setting up the calculated model on Plaxis, with the real geologic of District 7 – HCM City, we demonstrated and showed the influence of negative skin friction on pile in this area, and found out some solutions to this problem.

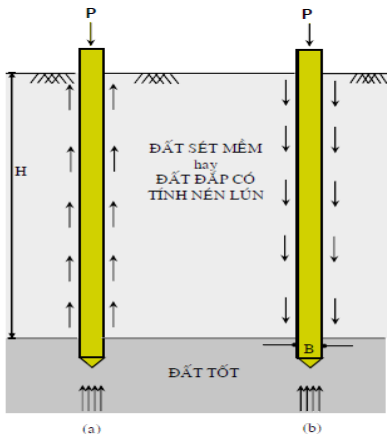
1. GIỚI THIỆU

Sự hình thành ma sát bề mặt ở cọc cũng tuân theo quy luật hình thành lực ma sát giữa bất kỳ hai vật thể nào trong tự nhiên. Chuyển vị tương đối giữa cọc và đất là nguyên nhân sinh ra ma sát trên bề mặt cọc, tùy theo chiều chuyển động này

mà ta có các trường hợp ma sát dương và âm tác dụng lên cọc.

Khi cọc chịu tác động của tải trọng nén, nó sẽ có xu hướng lún xuống. Trong giai đoạn đầu, khi đang thi công cọc hoặc vừa thi công cọc xong,

nói chung đất xung quanh cọc sẽ lún ít hơn độ lún của cọc. Do đó, sức kháng bên giữa đất và cọc sẽ có tác dụng kháng lại tải trọng ngoài, còn gọi là ma sát dương.



Hình 1. Cọc trong đất mềm và chông vào lớp đất tốt

(a) Lực ma sát dương ngay và trong khi đóng cọc – (b) Lực ma sát âm

Hình 1 Cọc chịu ma sát trong đất ([3])

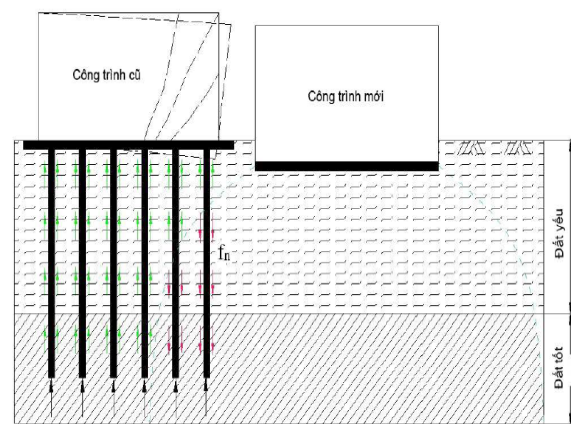
- (a) Lực ma sát dương.
(b) Lực ma sát âm.

Khi đất xung quanh thân cọc lún nhiều hơn độ lún của cọc, chuyển vị tương đối giữa cọc và đất sẽ có chiều ngược lại, sức kháng bên giữa cọc và đất lúc này cũng có chiều ngược lại. Sức kháng bên này không kháng lại tải trọng ngoài mà còn góp phần đẩy cọc xuống, đó gọi là sức kháng bên âm. (thuật ngữ quen gọi là ma sát âm).

Tùy vào từng trường hợp, ma sát âm sẽ tác dụng lên một phần thân cọc hay toàn bộ chiều dài cọc, phụ thuộc vào chiều dày lớp đất yếu chưa cố kết. Lực ma sát âm có khuynh hướng kéo cọc đi xuống và làm tăng lực tác dụng lên cọc. Trong trường hợp ma sát âm tác dụng lên toàn bộ thân cọc thì rất nguy hiểm, vì lúc này sức chịu tải cọc không những không kể đến sức chịu tải ma sát bên giữa đất và cọc (ma sát dương), mà cọc còn chịu lực do ma sát âm kéo xuống.

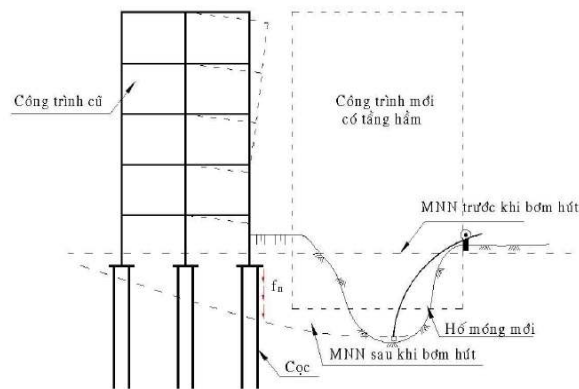
Một số sự cố thường gặp trong thi công do hiện tượng ma sát âm tại các công trình nhà cao tầng tại quận 7 thành phố Hồ Chí Minh:

- Thi công ép cọc: trong quá trình ép cọc ở khu vực có địa chất yếu với lớp sét chưa cố kết dày, khi đang ép một cọc thì cọc bên cạnh bị sai lệch vị trí so với vị trí ép ban đầu.
- Xây dựng công trình mới sát công trình cũ trên nền đất yếu. Tải trọng công trình mới làm phát sinh ứng suất trong đất, dẫn đến quá trình lún cố kết của lớp đất yếu bên dưới, từ đó phát sinh ma sát âm tác dụng lên hệ cọc công trình cũ. (Hình 2)



Hình 2: Ma sát âm phát sinh khi xây công trình lân cận. ([3])

- Bơm hút nước ngầm khi thi công tầng hầm hoặc khai thác nước ngầm trong thành phố. Ma sát âm đi kèm với hiện tượng cát chảy gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến công trình lân cận. (Hình 3)



Hình 3: Ma sát âm phát sinh do bơm hút nước ngầm. ([3])

- Trong trường hợp ma sát âm phát triển quá lớn có thể phá hoại cọc. Sự cố thực tế từ công trình móng cọc trên nền sét yếu ở Bangkok - Thái Lan là một ví dụ điển hình. (Hình 4)

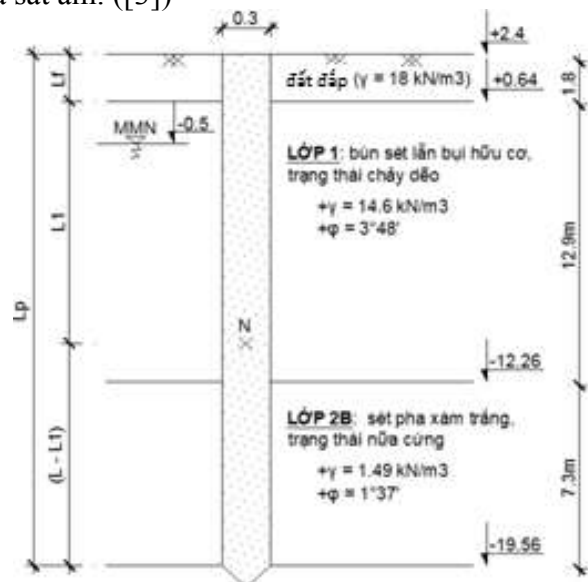


Hình 4: Sự cố cọc bị bứt ra khỏi đài dưới tác động của ma sát âm. ([3])

II. XÁC ĐỊNH GIÁ TRỊ CỦA MA SÁT ÂM THEO LÝ THUYẾT CỦA DR. JOSEPH E. BOLWES.

Tính toán xác định giá trị ma sát âm trên cọc dài 22m, đường kính 0.3m theo lý thuyết ở mục 18.8 - Foundation analysis and design – fifth edition.

Các thông số cơ bản về cọc.



Hình 5. Các thông số cơ bản về cọc

Tải trọng đất đắp tại mặt trên lớp 1:

$$q_0 = \gamma_f \cdot L_f = 18 \cdot 1.8 = 32.4 \text{ (kPa)}$$

Chiều dài tính toán cọc:

$$L = L_p - L_f = 22 - 1.8 = 20.2 \text{ (m)}$$

Giả sử điểm trung hòa N ở lớp 1.

Xác định L_1 :

$$L_1 = \frac{L}{L_1} \left(\frac{L}{2} + \frac{q_0}{\gamma'} \right) - \frac{2q_0}{\gamma'} \quad (1)$$

Với: $L = 20.2 \text{ (m)}$, $q_0 = 32.4 \text{ (kPa)}$,

$$\gamma' = 4.7 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Giải phương trình (1) với đk: $0 \leq L_1 \leq 12.9$

Ta xác định được vị trí mặt phẳng trung hòa:

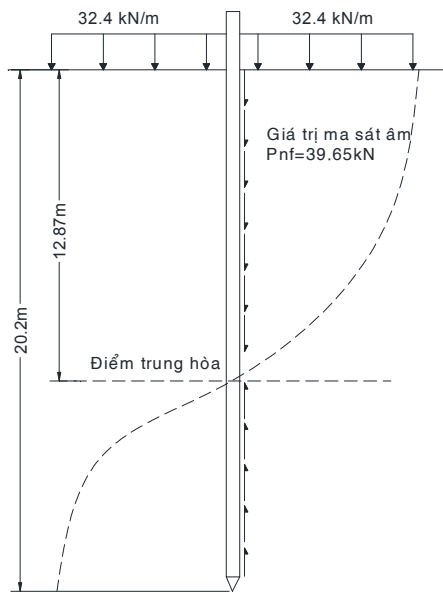
$$L_1 = 12.87 \text{ (m)}$$

$$\text{Tính } P_{nf}: P_{nf} = \int_0^{L_1} \alpha' \cdot p' \cdot q \cdot K \cdot dz \quad (2)$$

$$\begin{cases} \alpha' = 0.667 \text{tg}^3 48' = 0.044 \\ p' = 0.3 \times 4 = 1.2 \text{ (m)} \\ K = 1 - \sin \varphi = 0.9 \\ q = q_0 + \gamma' \cdot z \text{ (kPa)} \end{cases}$$

Tính tích phân (2) ta được

$$P_{nf} = 39.655 \text{ (kN)}$$



Hình 6: Biểu đồ phân bố lực ma sát tác dụng lên cọc

Nhận xét: Đây là một phương pháp đơn giản để xác định vị trí mặt phẳng trung hòa và giá

trị lực ma sát âm, có thể dễ dàng ứng dụng với quy phạm Việt Nam như sau:

- Xác định vị trí mặt phẳng trung hòa theo công thức (1).

- Giá trị ma sát âm thiên về an toàn lấy bằng ma sát dương với chiều ngược lại, độ lớn xác định theo công thức (2) hoặc theo TCXDVN 205-1998.

- Tải trọng kéo xuống tính toán phải được cộng thêm vào tải trọng tải thẳng đứng tính toán áp dụng cho móng sâu khi đánh giá khả năng chịu tải theo trạng thái giới hạn về cường độ.

- Phải cộng tải trọng kéo xuống vào tải trọng thẳng đứng dùng cho các móng sâu khi đánh giá độ lún ở trạng thái giới hạn sử dụng.

III. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN MA SÁT ÂM BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS:

Plaxis là một phần mềm phân tử hữu hạn (PTHH) với nhiều tính năng mạnh mẽ phục vụ tính toán thiết kế bài toán về địa kỹ thuật.

Tuy nhiên đất nền được mô hình hóa theo phương pháp PTHH đòi hỏi những thông số đầu vào phải phản ánh đúng ứng xử thực tế của đất.

Đề tài đề xuất các thông số đầu vào dựa trên các thí nghiệm địa chất như sau:

- Sử dụng Mô hình Mohr Coulomb mô hình ứng xử đất nền.

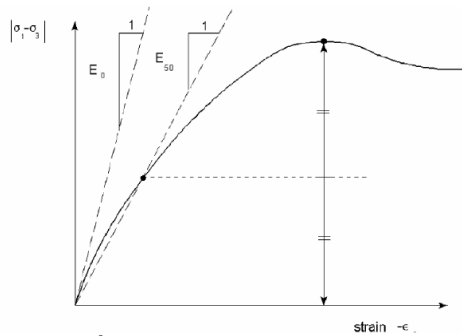
- Các thông số của mô hình xác định dựa trên phương pháp phân tích ứng suất hữu hiệu.

- Sự phát triển ma sát âm trong cọc thông qua quá trình cố kết của đất nên việc tính toán ứng xử của đất phải là một quá trình dài hạn (ứng xử thoát nước).

- Các thông số sức kháng cắt lấy từ thí nghiệm nén 3 trục CU (Consolidated-Undrained). Có thể sử dụng thí nghiệm cắt trục tiếp.

- Thông số về độ cứng E' xác định thông qua thí nghiệm UU, CU hay thí nghiệm nén cố kết ở từng cấp tải trong tác dụng lên đất nền.

- Xác định E' từ thí nghiệm UU và nén cố kết.



• Từ đồ thị xác định được E_{u50} , E_{oed} . Suy ra E' theo công thức:

$$G = \frac{E_u}{2(1+\nu_u)} = \frac{E'}{2(1+\nu')}, \nu_u = 0.5$$

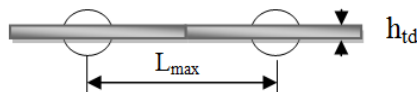
$$\rightarrow E' = \frac{E_u(1+\nu')}{1.5}$$

$$E'_{oed} = E' \frac{1-\nu'}{(1-2\nu')(1+\nu')}$$

• ν' hệ số Poisson lấy theo công thức kinh nghiệm: $\nu' = 0.25 + 0.00225PI$ (Worth 1975), PI là chỉ số dẻo.

• Xác định hệ số thấm k_x, k_y từ thí nghiệm nén cố kết.

Các thông số về cọc trong Plaxis 2D phải được tính toán lại các thông số độ cứng EI, EA tương đương cho 1m bề rộng.



• Đối với cọc vuông cạnh D:

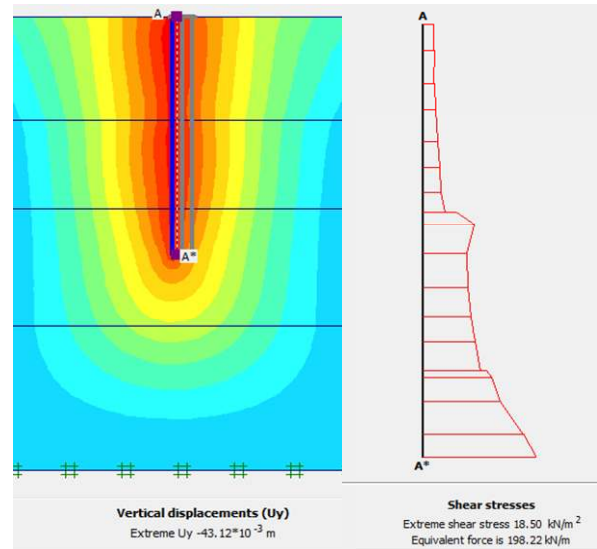
$$I_{td} = \frac{L_{max} \times h_{td}^3}{12} = \frac{D^4}{12} \Rightarrow h_{td} = \sqrt[3]{\frac{D^4}{L_{max}}}$$

• Đối với cọc tròn đường kính D:

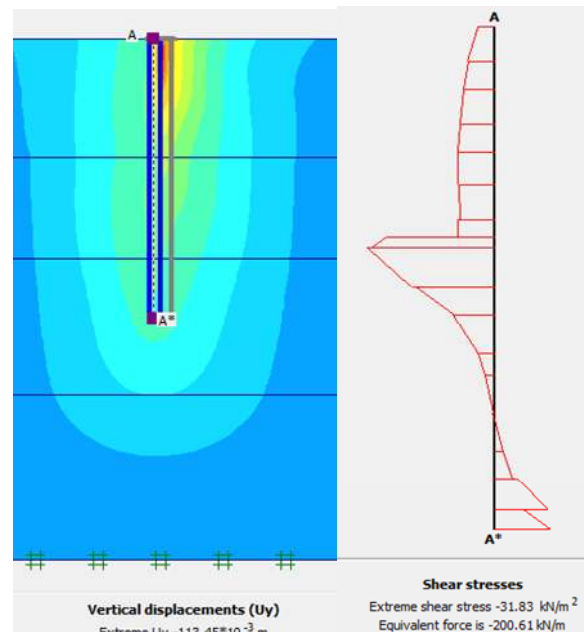
$$I_{td} = \frac{L_{max} \times h_{td}^3}{12} = \frac{\pi D^4}{64} \Rightarrow h_{td} = \sqrt[3]{\frac{3D^4}{16L_{max}}}$$

Với những lý thuyết như trên, nhóm nghiên cứu đã mô hình, tính toán giá trị ma sát âm đối với từng phương án móng cọc với địa chất ở quận 7. Một số kết quả tính toán:

a. Quá trình thi công cọc ép cọc:



Hình 6. Chuyển vị và ứng suất tiếp của cọc 1 sau khi vừa ép cọc.



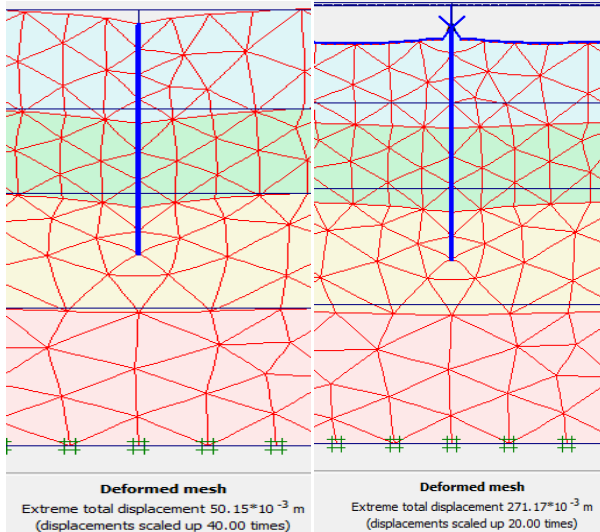
Hình 8. Chuyển vị và ứng suất tiếp của cọc 1 sau khi cọc thứ 2 ép xong.

Nhận xét: ma sát âm ảnh hưởng lớn đến quá trình thi công ép cọc:

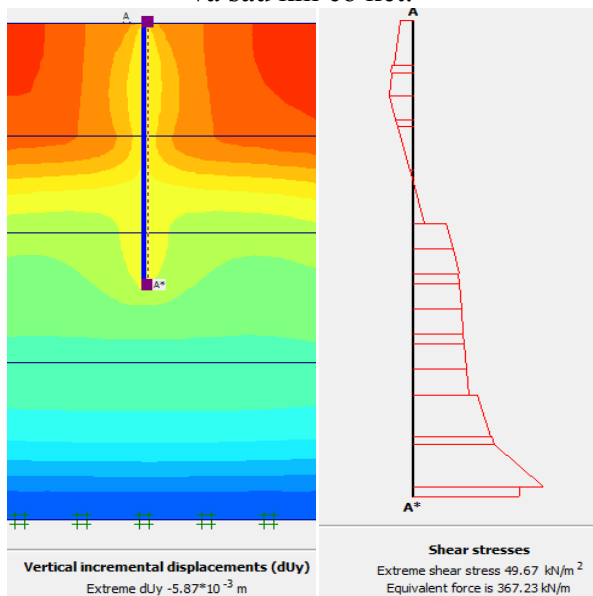
• Một cọc sau khi dỡ tải nếu tiếp tục ép tiếp cọc tiếp theo bên cạnh cọc cũ thì sự lún do quá trình ép làm thay đổi ứng suất tiếp bên cọc cũ, lực ma sát âm tác dụng lên cọc cũ bắt đầu xuất hiện và phát triển dần.

• Ảnh hưởng này gây sai lệch vị trí cọc so với thiết kế, ảnh hưởng tuy không đủ lớn để phá hủy cọc nhưng gây khó khăn cho thi công và sự hoạt động bình thường của cọc sau này.

b. Ảnh hưởng của ma sát âm đối với cọc đúc sẵn (cọc đơn).



Hình 7: Ứng xử của cọc và nền trước và sau khi cố kết.



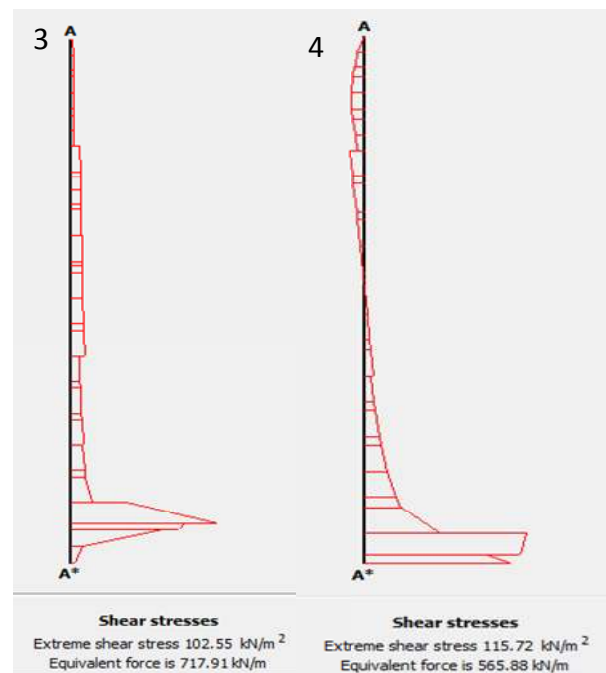
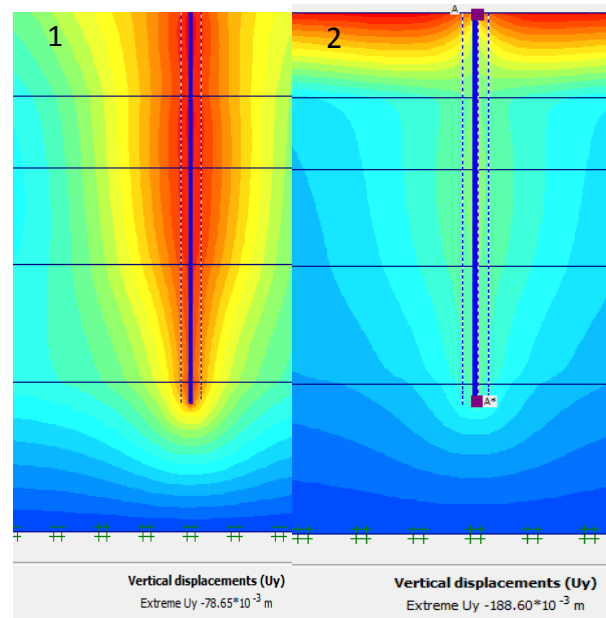
Hình 9: Biểu đồ chuyển vị đứng và ứng suất tiếp mặt bên cọc sau khi kết thúc cố kết.

Nhận xét:

• Chuyển vị của cọc nhỏ hơn so với chuyển vị đất xung quanh cọc, điều này làm xuất hiện những khe hở giữa đất và đài cọc, làm xuất hiện các ứng suất phát sinh trong đài và cọc mà quá trình tính toán không kể đến.

• Khi quá trình cố kết phát triển thì các lớp đất ở mũi cọc cũng bắt đầu cố kết, dẫn đến sự gia tăng độ lún của móng và có thể vượt qua giá trị độ lún cho phép theo quy phạm.

c. Ảnh hưởng của ma sát âm đối với cọc nhồi.



Hình 10: Biểu đồ chuyển vị đứng và ứng suất tiếp của cọc: 1,3 Sau khi chắt tải; 2.Nền cố kết được 1 năm; 4. Nền cố kết hoàn toàn.

Nhận xét:

- Đối với địa chất đặc trưng quận 7 thì ảnh hưởng của ma sát âm đến sức kháng bên của cọc nhồi có thể từ 10-20 % sức kháng bên của cọc, mặt phẳng trung hòa xuất hiện trong khoảng (1/3-1/2) chiều dài cọc.

- Giá trị ma sát âm nhỏ hơn nhiều so với khả năng chịu nén của vật liệu làm cọc, mặt khác mũi cọc được đặt trên lớp đất tốt nên trường hợp này ma sát âm có tác dụng tích cực như một phần dự ứng lực trong cọc có tác dụng chống lại các một số chuyển vị ngang không mong muốn tác dụng lên cọc.

IV. CÁC GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, THI CÔNG MÓNG HẠN CHẾ ẢNH HƯỞNG CỦA MA SÁT ÂM.

Giải pháp cọc ép với địa chất quận 7 cho thấy nhiều yếu điểm:

- Với lớp địa tầng đất yếu khá dày nên sức chịu tải theo đất nền của cọc bê tông cốt thép đúc sẵn thu được là khá nhỏ, điều này làm cọc không phát huy được hết sức chịu tải theo vật liệu.

- Phương án này lại dễ đưa đến việc bố trí cọc dày đặc, “ruộng cọc”, mà quá trình thi công cọc ép cũng đã xuất hiện ma sát âm như phân tích ở trên nên khó đảm bảo chất lượng thi công cọc.

Giải pháp cọc nhồi phù hợp với địa chất quận 7. Phương án này không những làm giảm những ảnh hưởng của ma sát âm mà còn có thể phát triển thành phần lực trên theo hướng tích cực như một dự ứng lực trong cọc.

Phương án thiết kế móng cọc nếu kết hợp với các giải pháp thiết kế tầng hầm sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao:

- Địa chất quận 7 lớp đất yếu nguy hiểm dày khoảng 14 m. Lớp đất này hầu như không có ảnh hưởng đến sức chịu tải cọc mà chủ yếu gây ra ma sát âm tác dụng lên cọc.

- Lớp đất phía dưới tầng hầm chịu lực tốt hơn (do có áp lực tiền cố kết lớn) có thể đưa ra nhiều phương án thiết kế móng mang lại hiệu quả kinh

tế tối ưu như móng bè trên nền cọc nhồi.

V. KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ

a. Kết luận

Từ những kết quả thu được ta rút ra các kết luận sau:

- Ma sát âm hay sức kháng bên âm là một thành phần lực sinh ra trong các trường hợp độ lún của lớp đất xung quanh cọc lớn hơn độ lún của cọc.

- Giá trị ma sát âm thiên về an toàn có thể xem bằng ma sát dương nhưng có chiều ngược lại và vùng ảnh hưởng của nó được xác định qua vị trí mặt phẳng trung hòa.

- Đề tài đề xuất việc xác định vị trí của mặt phẳng trung hòa theo thuật toán của Bowles, tuy phương pháp này chưa thể hiện được hết các quá trình phát triển của mặt phẳng trung hòa theo thời gian cố kết nhưng nó là một thuật toán đơn giản, dễ ứng dụng vào thực tế tính toán theo quy phạm nước ta.

- Một cách khác để xác định vị trí mặt phẳng trung hòa và sự phát triển của nó theo thời gian là sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis như trình bày như trên.

b. Kiến nghị:

Cần xem xét ảnh hưởng của ma sát âm trong các trường hợp sau:

- Cọc xuyên qua các lớp đất yếu với độ cố kết còn bé như sét yếu, bùn, than bùn...

- Ở những nơi nền công trình được nâng cao với với chiều dày lớn hơn 1 (m) trên lớp đất yếu hay phụ tải nền với tải trọng lớn từ 20 (kPa) trở lên.

- Mực nước ngầm bị hạ thấp đáng kể do quá trình thi công công trình mới hay do khai thác nước ngầm trong thành phố.

- Quá trình thi công cọc ép của một số công trình xây chen có thể gây ra ma sát âm đối các cọc biên của công trình cũ.

- Thiết kế cọc nổi trên nền đang cố kết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Joseph E. Bolwes, *Foundation Analysis and Design*. Fifth edition, Page 1053, McGraw-Hill Book Co. Singapore, 1997.
- [2] TS. Đậu Văn Ngo, “Nghiên cứu ảnh hưởng của ma sát âm đến công trình và các biện pháp làm giảm thiểu ma sát âm.” *Science & Technology Development*, Vol 12, No. 06 – 2009.
- [3] Nguyễn Hiếu Nghị “Nhóm 3 ĐKTXD 2008” , Báo cáo tiểu luận môn học Móng cọc – Ma sát âm. Tháng 6/2009.
- [4] TS. Nguyễn Minh Tâm, Bài giảng ứng dụng Plaxis trong tính toán địa kỹ thuật.
- [5] Tiêu chuẩn thiết kế móng cọc - TCXDVN 205-1998.
- [6] Tiêu chuẩn thiết kế cầu - 22 TCN 272.
- [7] Dr Bengt H. Fellenius, 1984, *Negative skin friction and Settlement on pile*.
- [8] Vũ Công Ngữ, Nguyễn Thái, *Móng cọc phân tích và thiết kế*. NXB Khoa Học và Kỹ Thuật.
- [10] Châu Ngọc Ân, *Cơ Học Đất*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [11] Richard P. Long & Kent A. Healy, tháng 3/1974, “Final report Negative skin friction on pile.”
- [12] Ali Sharif, *Negative skin friction on single pile in clay to direct and indirect loading*. 1998.
- [13] E.E. Alonso, A. Josa and A. Ledesma, “Negative skin friction on piles: A simplified analysis and prediction procedure,” 1984. *Geotechnique* 34, No.3, 341-357.
- [14] *Manuals Plaxis 2D Foundation*, 2001, A. Abalkema Publishers.