

Nghiên cứu ứng suất và biến dạng của nền móng công trình lân cận do thi công ép cọc

Study on the stress and strain of neighboring building foundations due to pile driving

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG^{1*}; THS BÙI HỮU HIỆP¹

¹Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang;

*Email: nguyenngocthang@tgu.edu.vn

THS NGUYỄN PHÚC TOÀN²

²Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường ĐH Kinh tế công nghiệp Long An

TÓM TẮT

Thi công cọc ép cọc vào trong đất là một trong những khâu thi công quan trọng của các công trình xây dựng và đặc biệt đối với công trình mới trong các thành phố lớn. Khó khăn khi đóng cọc thi công công trình mới sẽ ảnh hưởng bất lợi đến nền móng những công trình lân cận, liền kề. Nghiên cứu này sẽ đề xuất biện pháp đánh giá trạng thái ứng xử của quá trình ép móng cọc bằng phương pháp mô phỏng số. Kết quả phân tích cho thấy sự ảnh hưởng của quá trình thi công ép cọc đến ứng suất và biến dạng nền móng của công trình trong điều kiện mặt bằng chật hẹp. Từ đó đưa ra các giải pháp khắc phục những khó khăn để công trình nhà được xây chen hiệu quả.

Từ khóa: Công trình lân cận; cọc xây chen; ứng suất; biến dạng; phân tử hữu hạn

ABSTRACT

The driving of pile into the ground is one of the important tasks of construction works and especially for new buildings in big city. Difficulties in driving piles for new construction will adversely affect the foundations of neighboring and adjacent building. This research proposes a measure to assess the state of conduct of the pile driving process using a numerical simulation method. The results of the analysis showed the effect of the adjacent pile process to the stress and strain of the neighboring building foundation in cramped land for construction conditions. In order to provide solutions to overcome difficulties for the adjacent building be effective.

Keywords: Neighboring building; adjacent pile; stress; strain; finite element

1. GIỚI THIỆU

Việc xây dựng công trình mới gần công trình đã xây trước đó thường gặp trong một số trường hợp gây nguy hiểm sau: Biến dạng nhà do đào hố móng hoặc hào ở gần làm trôi đất ở đáy hố móng mới do đất ở đáy hố móng cũ bị trượt; Biến dạng nhà do tác động động lực của máy thi công; Biến dạng của nhà do hút nước ngầm ở hố móng công trình mới, sẽ xảy ra hiện tượng rửa trôi đất ở đáy móng cũ hoặc làm tăng áp lực của đất tự nhiên do không còn áp lực đẩy nổi của nước và dẫn đến lún thêm; Biến dạng của nhà cũ trên cọc ma sát khi xây dựng gần nhà mới trên móng bè tại vùng tiếp giáp nhà mới cọc chịu ma sát âm, nền đất bị lún và sức chịu tải của cọc bị giảm đi; Biến dạng nhà cũ do đổ vật liệu ở gần nhà hoặc san nền bằng đất đắp nhân tạo làm hỏng cấu trúc tự nhiên của đất, nhất là khi gặp đất sét yếu ở gần đáy móng [1].

Đặc điểm của trạng thái ứng suất - biến dạng trong nền đất do thi công cọc được thể hiện như sau: Thứ nhất là sự tương tác giữa cọc và khối đất xung quanh xuất hiện khi bắt đầu thi công ép cọc cho đến khi công trình hoàn thành đưa vào sử dụng. Khi đó, khối đất hình thành các trạng thái ứng suất - biến dạng khác nhau tại các vị trí dưới mũi và xung quanh cọc. Tính chất cơ lý của đất trong đó bao gồm độ bão hòa, độ bền và tính biến dạng. Trong đó, tính biến dạng đóng vai trò quan trọng và có ảnh hưởng lên quá trình hình thành và thay đổi trạng thái ứng suất - biến dạng của khối đất trong vùng ảnh hưởng tiếp xúc với cọc. Thứ hai là sau khi thi công ép cọc, đất xuất hiện áp lực nước lỗ rỗng thịnh dư, áp lực này bị tiêu tán sẽ làm trạng thái ứng suất - biến dạng của đất trong vùng ảnh hưởng thay đổi theo thời gian [2, 3]. Trong đất bão hòa nước, quá trình thay đổi ứng suất trong đất sẽ diễn ra cùng với quá trình cố kết thắm và tiêu tán áp lực nước trong lỗ rỗng khi đó giá trị ứng suất hữu hiệu tăng lên theo thời gian và đạt đến giá trị ổn định. Do đó để định lượng trạng thái ứng suất - biến dạng của khối đất tương tác với cọc cần xét 2 giai đoạn cơ bản là giai đoạn thi công cọc và cho cọc “nghỉ” và giai đoạn cọc làm việc dưới tác dụng của tải trọng công trình. Hai giai đoạn này sẽ ảnh hưởng lẫn nhau và đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành khả năng chịu tải của cọc.

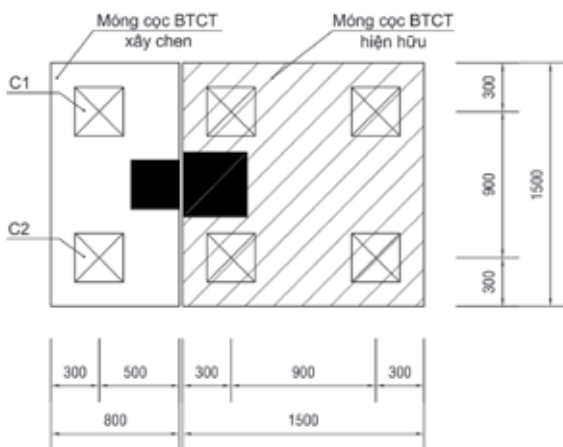
Đã có nhiều nghiên cứu về sự chuyển vị của đất do quá trình ép cọc đến công trình lân cận và các ảnh hưởng bất lợi đến các cọc vừa được ép trước đó. Antonios V. Et al. (2018) nghiên cứu cho công trình thực tế tại East Baton Rouge, Louisiana về sự chuyển vị ngang của đất nền khi đóng cọc vào đất sét mềm [4], Fatemeh Valikhah et al. (2018) đã đề xuất một phương pháp phân tích số mới để ước tính ứng xử của tải trọng - chuyển vị và sức chịu tải của cọc đóng trong đất cát bằng cách sử dụng kết quả của thí nghiệm CPT [5]. Cesar Sagasetta và Andrew J. Whittle (2021) có một nghiên cứu về sự di chuyển của đất khi cọc được đóng vào nền đất sét [6]. Peng Zhou et al. (2020) cũng đã nghiên cứu ứng xử bên của cọc đơn hiện có khi có sự xâm nhập của cọc liền kề trong đất sét không thoát nước khi

ép cọc [7]. Shuntaro Teramoto et al. (2018) đánh giá ứng xử tới hạn của nhóm cọc bằng thí nghiệm thực tế và bằng phương pháp phần tử số [8].

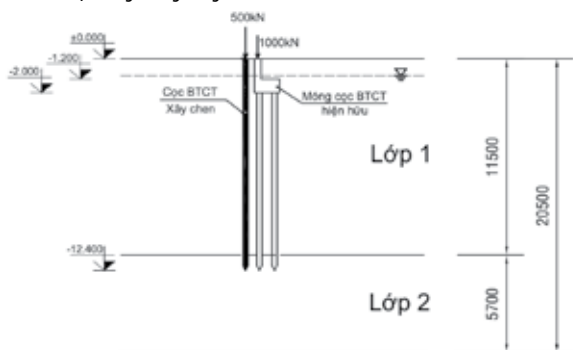
Các nghiên cứu được phân tích bằng cách sử dụng dữ liệu tổng hợp từ nhiều nguồn khác nhau, từ ước tính sơ bộ về chuyển vị công trình do đóng cọc liền kề đến các kết quả đo chuyển vị của nền đất khi đóng cọc đơn trong mô hình ở phòng thí nghiệm [9-12]. Tuy nhiên nghiên cứu về sự tương tác giữa các cọc, giữa cọc và đất nền đến ứng suất và biến dạng nền móng công trình lân cận chưa được các tác giả quan tâm nghiên cứu và phân tích sâu. Nghiên cứu này nhằm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích ảnh hưởng của quá trình thi công ép cọc đến ứng suất và biến dạng nền móng công trình lân cận. Kết quả nghiên cứu nhằm đề xuất phương án ép cọc hợp lý cho điều kiện địa chất TP Mỹ Tho, tỉnh Tiền Giang và các khu vực có địa chất tương tự.

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Thực hiện nghiên cứu trong điều kiện công trình nhà dân dụng xây chen tại TP Mỹ Tho với số liệu về điều kiện địa chất và tải trọng móng công trình liền kề được lấy phù hợp với công trình thực tế (Hình 1 và Hình 2). Điều kiện làm việc của công trình gồm 2 giai đoạn: Giai đoạn ban đầu đã có móng cọc bê tông cốt thép (BTCT) của công trình hiện hữu. Đài móng kích thước 2,0 m x 2,0 m đặt trên 4 cọc có tiết diện 0,3 m x 0,3 m, chiều dài 10,0 m. Móng chịu tải trọng 1000 kN. Giai đoạn thi công ép cọc BTCT 0,3 m x 0,3 m với các điều kiện xem xét, phân tích: Số lượng cọc: 1 cọc và 02 cọc; Chiều sâu mũi cọc: 5,0 m, 10,0 m và 12,4 m; Vị trí ép cách mép móng hiện hữu: 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m; Lực ép 500 kN [13]. Quá trình ép cọc được thực hiện theo TCVN 9394 : 2012 để phân tích ứng suất và biến dạng đến nền móng công trình lân cận do quá trình thi công ép cọc BTCT gây ra. [14, 15]



Hình 1. Mặt bằng móng công trình

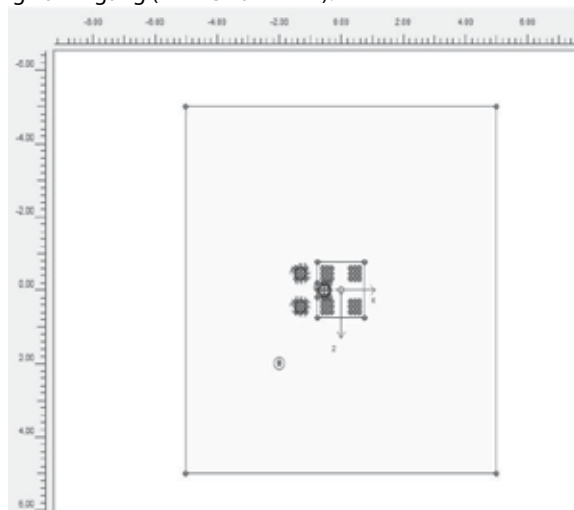


Hình 2. Mặt cắt ngang móng công trình

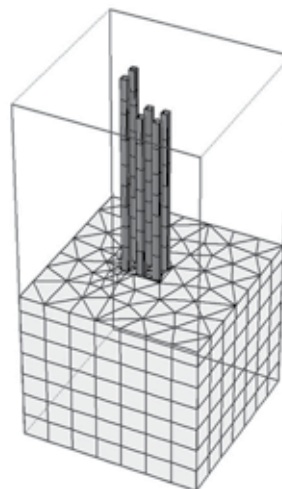
Để có số liệu về các tính chất của đất tự nhiên, một hố khoan 30 m được khoan khảo sát và thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất. Từ kết quả thí nghiệm trong phòng kết hợp với kết quả khảo sát hiện trường thì cấu trúc địa chất công trình được đánh giá sơ bộ như: Lớp 1 có chiều dày trung bình 11,0 m, trạng thái đất chủ yếu là hữu cơ, sét, sét pha, bùn sét... Tầng trầm tích mềm yếu, sức chịu tải và độ bền thấp; Lớp 2 nằm dưới đáy lớp 1 có chiều dày trung bình 6,0 m, thành phần chủ yếu là sét, sét màu nâu vàng, màu xanh, trạng thái nửa cứng. Càng đi sâu thì trạng thái đất càng tốt hơn.

3. MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Plaxis 3D Foundation là một chương trình phần tử hữu hạn (PTHH) không gian ba chiều, ứng dụng vào việc phân tích kết cấu móng cho các công trình xây dựng trong đất liền và trên biển. Nhờ việc ứng dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật, chương trình này cho phép người sử dụng giải quyết những bài toán kết cấu phức tạp bằng những dữ liệu đầu vào đơn giản. Kết quả của bài toán cho ta các trị số ứng suất, biến dạng... tại từng vị trí trong móng cũng như toàn bộ móng. Quá trình tính toán trong Plaxis 3D Foundation được bắt đầu với việc thiết lập mô hình tính toán. Mô hình tính toán cho nghiên cứu này là sự kết hợp của hình trụ hố khoan và các mặt phẳng nằm ngang (Hình 3 và Hình 4).



Hình 3. Mô hình PTHH trong Plaxis 3D Foundation



Hình 4. Lưới PTHH

Các đặc trưng vật liệu của các lớp đất và cọc BTCT trong Plaxis 3D Foundation được tính toán và thể hiện trong các Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Thông số các lớp đất trong mô hình Plaxis

STT	Tham số	Ký hiệu	Lớp 1	Lớp 2
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Undrained	Undrained
3	Dung trọng tự nhiên, kN/m ³	γ_{unsat}	13,45	19,68
4	Dung trọng bão hòa, kN/m ³	γ_{sat}	13,72	20,12
5	Mô đun tổng biến dạng (kN/m ²)	E	628,4	23074,4
6	Hệ số Poisson (-)	ν	0,35	0,35
7	Cường độ kháng cắt (kN/m ²)	c_{ref}	3,20	42,90
8	Góc ma sát trong (°)	φ	5°23'	16°45'
9	Góc dẫn nở (°)	ψ	0°	0°

Bảng 2. Thông số cọc BTCT trong mô hình Plaxis

STT	Tham số	Ký hiệu	Cọc BTCT
1	Mô hình	Model	Linear - elastic
2	Ứng xử vật liệu	Type	Non - porous
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	25
4	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	29,2 x 10 ⁶
5	Hệ số Poisson (-)	ν	0,300

Quá trình thi công ép cọc được mô phỏng theo trình tự như ở Bảng 3.

Bảng 3. Các giai đoạn tính toán khi ép cọc xây chen

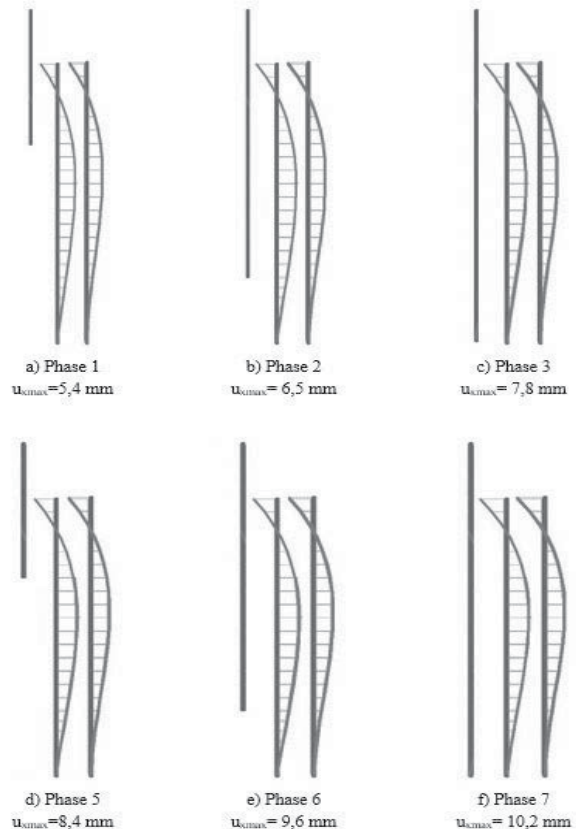
Phase	Công tác	Cal. type	Loading input
Ban đầu	N/A	Plastic	N/A
Phase 1	Ép cọc C1 đến độ sâu 5,0 m	Plastic	Staged construction
Phase 2	Ép cọc C1 đến độ sâu 10,0 m	Plastic	Staged construction
Phase 3	Ép cọc C1 đến độ sâu 12,4 m	Plastic	Staged construction
Phase 4	Dỡ tải ép	Plastic	Staged construction
Phase 5	Ép cọc C2 đến độ sâu 5,0 m	Plastic	Staged construction
Phase 6	Ép cọc C2 đến độ sâu 10,0 m	Plastic	Staged construction
Phase 7	Ép cọc C2 đến độ sâu 12,4 m	Plastic	Staged construction

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ THẢO LUẬN

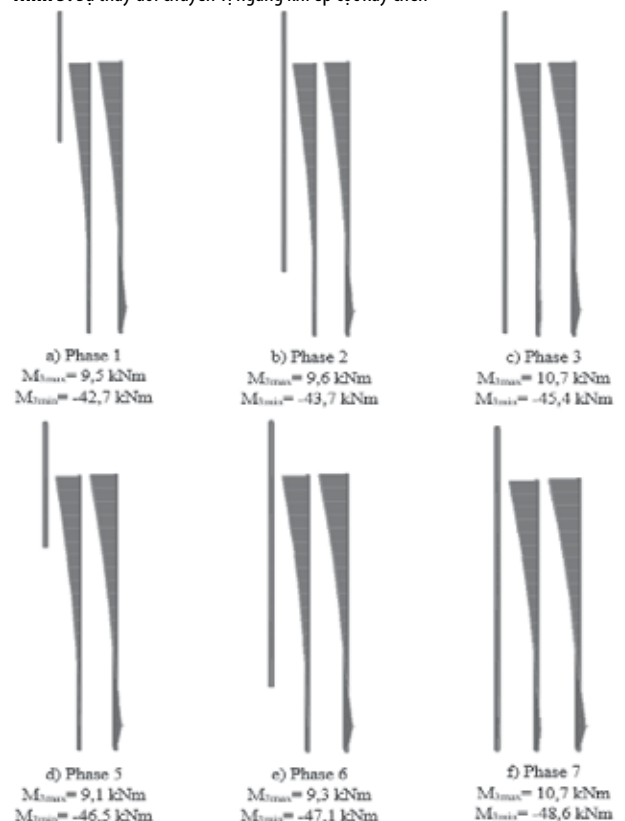
Kết quả phân tích cho thấy rằng khi công trình hiện hữu làm việc trong điều kiện bình thường, tức là không có công trình xây chen, thì chuyển vị đứng của hệ nền móng mà chủ yếu là móng đã ổn định, chuyển vị đứng rất nhỏ, $U_y = -0,6$ mm; ứng suất hữu hiệu tại chân cọc của móng cọc là $-273,7$ kN/m².

Chuyển vị theo phương đứng và sự phân bố ứng suất hữu hiệu của hệ nền-móng và trong cọc BTCT công trình hiện hữu khi bị ép cọc xây chen có sự tăng lên $U_y = 15,9$ mm, nguyên nhân chủ yếu là công tác ép cọc gây ra, sự gia tăng chuyển vị đứng này xuất hiện tại các cọc ép xây chen. Sự chuyển vị đứng của móng công trình hiện hữu không gia tăng. Điều này đúng với lý thuyết vì cọc xây chen sẽ

làm ảnh hưởng đến chuyển vị ngang cho nền móng công trình hiện hữu. Kết quả mô phỏng chuyển vị ngang này được chỉ rõ tại Hình 5.



Hình 5. Sự thay đổi chuyển vị ngang khi ép cọc xây chen



Hình 6. Sự thay đổi ứng suất của cọc khi ép cọc xây chen

Quá trình ép cọc sẽ làm khối đất xung quanh bị phá hoại và dịch chuyển do sự chiếm chỗ của cọc. Khi ép cọc vào nền đất, đất xung quanh cọc có xu hướng chuyển vị ngang là chủ yếu. Hình 5 cho thấy rằng khi ép đoạn cọc thứ nhất C1, độ sâu mũi cọc đạt 5,0 m (Phase 1) thì cọc bắt đầu gây ảnh hưởng làm cho cọc của móng công trình hiện hữu chuyển vị ngang $U_x = 5,4$ mm. Sự chuyển vị ngang này cũng tăng lên khi mũi cọc đạt độ sâu 10,0 m và 12,4 m tương ứng với chuyển vị ngang $U_x = 6,5$ mm (Phase 2) và $U_x = 7,8$ mm (Phase 3). Sau khi ép xong đoạn cọc C1 dần ép được đỡ tải để chuyển sang vị trí mới để ép đoạn cọc C2, sự chuyển vị ngang của cọc hiện hữu cũng được phân tích tại mũi cọc C2 khi đạt độ sâu ép 5,0 m, 10,0 m và 12,4 m. Việc ép cọc C2 vào nền đất đã làm cho nền đất nén chặt hơn do cọc C2 tiếp tục chiếm chỗ và gây ra sự chuyển vị ngang của nền đất đồng thời tác động lên hệ nền-móng công trình hiện hữu, chuyển vị ngang lớn nhất của cọc đạt giá trị $U_x = 10,2$ mm (Phase 7) khi mũi cọc C2 đạt cao độ thiết kế.

Kết quả mô phỏng cũng đã thể hiện được sự gia tăng moment uốn trong các cọc của móng công trình hiện hữu từ Hình 6a đến Hình 6f trong quá trình thi công ép cọc C1 và C2. Giá trị moment dương tăng từ 9,5 kNm lên 10,7 kNm, giá trị moment âm tăng từ 42,7 kNm khi mũi đoạn cọc C1 đạt độ sâu 5,0 m, lên 48,6 kNm khi mũi cọc C2 đạt cao độ thiết kế 12,4 m. Sự xuất hiện moment uốn trong cọc sẽ gây bất lợi cho cọc như xuất hiện vết nứt, sau đó gây ra thấm và ăn mòn cốt thép trong cọc theo thời gian. Về tức thời sự chênh lệch giữa moment dương và moment âm lớn có thể làm gây cọc và sập đổ công trình.

Khi cọc được ép vào đất, do có sự dồn ép đất thông qua tải trọng tác dụng lên đầu cọc, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư xung quanh và dưới mũi cọc tăng lên. Trong thời gian thi công ép cọc, giá trị áp lực nước lỗ rỗng thặng dư lớn nhất được quan sát thấy ở phạm vi xung quanh mũi cọc. Khi áp lực nước lỗ rỗng thặng dư có giá trị lớn ở mũi cọc, ứng suất nén ngang hướng hữu hiệu nhỏ, sức chống cắt của đất trong phạm vi mũi cọc bé, nên việc ép cọc sẽ dễ dàng hơn nếu thực hiện ép liên tục.

Sau khi ép đến độ sâu thiết kế, cọc được cho nghỉ, trong khoảng thời gian này áp lực nước lỗ rỗng tiêu tán dần. Lớp đất bên dưới có hệ số thấm lớn nên áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tiêu tán gần như hoàn toàn. Vùng xung quanh cọc trong lớp đất sét yếu có hệ số thấm bé nên thời gian chấm dứt cố kết thấm lâu hơn.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy đã có sự ảnh hưởng của quá trình thi công ép cọc đến ứng suất và biến dạng nền móng của công trình lân cận. Với mục tiêu nghiên cứu là khắc phục tình trạng xây dựng nhà ảnh hưởng đến nhà liền kề, việc lựa chọn giải pháp móng chưa đủ mà cần có giải pháp thi công không ảnh hưởng tới công trình lân cận.

Khi chưa xây chen chuyển vị theo phương đứng của móng cọc BTCT công trình hiện hữu là 0,6 mm, nhưng khi xây chen cọc BTCT kích thước 0,3 m x 0,3 m, chiều dài cọc 10,0 m, vị trí ép cách mép móng hiện hữu 0,5 m thì chuyển vị này lên đến 15,9 mm. Ứng suất hữu hiệu trong móng cọc BTCT công trình hiện hữu khi chưa xây chen là $-273,7$ kN/m², khi xây chen là $-3490,0$ kN/m². Sau khi ép xong 2 đoạn cọc C1 và C2 chuyển vị ngang của cọc công trình hiện hữu là 10,2 mm và xuất hiện moment uốn 48,6 kNm.

Phương án thi công ép cọc BTCT cách mép móng công trình hiện hữu 0,5 m cho khu vực TP Mỹ Tho trong nghiên cứu sẽ góp phần định hướng cho chủ đầu tư, tư vấn thiết kế, cơ quan quản lý chất lượng xây dựng sử dụng hợp lý công nghệ, máy và thiết bị thi công khi xử lý nền móng trong điều kiện mặt bằng chật hẹp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Bá Kế (2011). *Sự cố nền móng công trình*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [2] Châu Ngọc Ẩn (2012). *Nền Móng*. Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP.HCM.
- [3] Poulos, H.G. (1964). Behavior of laterally loaded piles. II - Pile groups. *Proc. of ASCE*, vol. 90, no. EM3, pp. 223-254.
- [4] Antonios Vytiniotis, Brendan Casey, David W. Sykora (2018). Lateral Soil Movements Due to Pile Driving: A Case Study in Soft Clays. *Conference Paper June 2018*.
- [5] Fatemeh Valikhah, Abolfazl Eslami, Mehdi Veiskarami (2018). Load-Displacement Behavior of Driven Piles in Sand Using CPT-Based Stress and Strain Fields. *International Journal of Civil Engineering*.
- [6] Cesar Sagasetta and Andrew J. Whittle (2021). Prediction of ground movements due to pile driving in clay. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 127(1): pp. 55-66.
- [7] Pan Zhou, Jingpei Li, Liang Li, FengXie (2021). Analysis of the existing pile response induced by adjacent pile driving in undrained clay. *Computers and Geotechnics*, vol. 138, 104319. DOI: 10.1016/j.compgeo.2021.104319.
- [8] Shuntaro Teramoto, Tomonari Niimura, Tomihiro Akutsu, Makoto Kimura (2018). Evaluation of ultimate behavior of actual large-scale pile group foundation by in-situ lateral loading tests and numerical analysis. *Soils and Foundations*, vol. 58, pp. 819-837. DOI: 10.1016/j.sandf.2018.03.011.
- [9] Randolph, M. F. and Wroth, C. P. (1979). Driven pile in clay - the effects of installation and subsequent consolidation. *Geotechnique*, vol. 29, No. 4, pp 361-393.
- [10] M. Shakeel, Charles W.W. Ng (2018). Settlement and load transfer mechanism of a pile group adjacent to a deep excavation in soft clay. *Computers and Geotechnics*, vol. 96, pp. 55-72. DOI: 10.1016/j.compgeo.2017.10.010.
- [11] Jue Wang, S.H. Lo, Ding Zhou (2014). Effect of a forced harmonic vibration pile to its adjacent pile in layered elastic soil with double-shear model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 67, pp. 54-65. DOI: 10.1016/j.soildyn.2014.09.001.
- [12] Nguyễn Ngọc Thăng, Nguyễn Trường Hải (2021). Nghiên cứu sự phân bố tải trọng trong quá trình làm việc của móng bè cọc. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Viện vật liệu xây dựng*, Bộ Xây dựng, số 4/2021, trang 67-72. DOI: 10.54772/jomc.04.2021.156.
- [13] TCVN 10304:2014. *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14] TCVN 9394:2012, *Đóng và ép cọc - Tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15] Viện khoa học công nghệ Xây dựng (1994). *Quy trình đóng cọc trong vùng xây chen*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.