

Nghiên cứu trạng thái ứng suất - biến dạng của móng cọc bê tông cốt thép bằng phần tử hữu hạn 3D

Study on the stress - strain of pile foundation by 3D finite element

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG^{1*}, HVCH NGUYỄN XUÂN MINH²

¹Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang

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

*Email: nguyenngocthang@tgu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) 3D để phân tích ứng suất và biến dạng của móng cọc bê tông cốt thép (BTCT) cho công trình dân dụng. Kết quả mô phỏng cho thấy móng cọc bê tông cốt thép có đài móng kích thước 2,0m x 2,0m trên 4 cọc có tiết diện 0,3m x 0,3m, chiều dài 12m, chịu tải trọng tập trung và đúng tâm 1000kN có độ lún là 20,24mm.

Từ khóa: Móng cọc, PTHH; đất yếu; Plaxis 3D Foundation; sức chịu tải.

ABSTRACT

This study uses 3D finite element method to analyze stress and strain of reinforced concrete pile foundation for civil constructions. The simulation results show that the reinforced concrete pile foundation has a foundation plane of size 2.0m x 2.0m on 4 piles with a cross section of 0.3m x 0.3m, a length of 12m, subjected to a concentrated load of 1000kN at the center, resulting in a settlement of 20.24mm.

Keywords: Pile foundation, FEM; soft soil; Plaxis 3D Foundation; bearing capacity.

1. GIỚI THIỆU

Đặc điểm của trạng thái ứng suất - biến dạng trong nền đất do móng cọc BTCT gây ra 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 thặng 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 [1]. Trong đất bão hoà 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 [2].

Lưu Văn Thân (2012) đã nghiên cứu ứng xử của đất nền trong quá trình thi công ép cọc [3]. Tác giả đã tập trung phân tích chuyển vị, ứng suất, áp lực nước lỗ rỗng, sức chịu tải của đất nền xung quanh và dưới mũi cọc khi thi công và sau khi cho cọc nghỉ. Kết quả nghiên cứu, phân tích cho thấy việc xét quá trình thi công ép cọc cho phép thu nhận giá trị khả năng chịu tải của cọc cao hơn. Trong lớp đất tốt, phạm vi chuyển vị của đất do ảnh hưởng của việc ép cọc có giá trị xấp xỉ 3 lần bề rộng cọc, còn trong các lớp đất yếu, phạm vi này lớn hơn.

Fatemeh, V. 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 [4]. Phương pháp đặc trưng ứng suất được sử dụng để phân tích ứng suất bên dưới và xung quanh cọc, các thông số địa kỹ thuật phải được thí nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường để sử dụng trong mô hình số. Để làm được điều này, dữ liệu của thí nghiệm CPT được kết hợp trực tiếp và gián tiếp vào các phân tích để ước tính các thông số chống cắt của đất xung quanh cọc và sức chịu tải của cọc.

Shuntaro, T. et al. (2018) đánh giá ứng xử giới hạn của nhóm cọc bằng thí nghiệm thực tế chịu tải bên và bằng phương pháp phân tích số [5]. Các tải trọng thí nghiệm được thực hiện bằng cách chắt tải bên trong bốn chứa khí hóa lỏng để tác dụng lên hệ móng cọc của công trình. Từ các kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu lực và mức độ hư hỏng của nền bốn chứa thực tế và độ bền của bốn. Ngoài ra, ứng xử của móng nhóm cọc đối với phân bố tải trọng và so sánh với thiết kế.

2. MÓNG CỌC BTCT TẠI VIỆT NAM VÀ CÁC TIÊU CHUẨN ÁP DỤNG

Móng cọc BTCT được dùng rộng rãi trong các lĩnh vực xây dựng các công trình thủy lợi, dân dụng, công nghiệp, cầu đường, cảng biển... Công nghệ móng cọc không ngừng phát triển, chất lượng thi công móng cọc ngày càng được nâng cao, các phương tiện giám sát, quản lý chất lượng móng cọc cũng hiện đại hơn.

Cùng với sự phát triển của các loại cọc thì các tiêu chuẩn thiết kế cũng ra đời và phục vụ cho công tác tính toán thiết kế móng cọc như:

Tiêu chuẩn ngành 20TCN 21:1986 về móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế [6]. Tiêu chuẩn này áp dụng cho thiết kế các móng cọc của nhà và công trình. Tiêu chuẩn này hướng dẫn tính toán thiết kế nhiều các loại cọc như: Cọc khoan nhồi, cọc đóng BTCT, cọc thép.

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 189:1996 về móng cọc tiết diện nhỏ - Tiêu chuẩn thiết kế [7]. Tiêu chuẩn này áp dụng cho các loại cọc có chiều rộng tiết diện nhỏ hơn 250 mm, được thi công bằng phương pháp đóng hoặc ép.

Tiêu chuẩn xây dựng TCXD 205:1998 về móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế [8]. Tiêu chuẩn thiết kế móng cọc được áp dụng cho các công trình thuộc lĩnh vực xây dựng dân dụng và công nghiệp, giao thông, thủy lợi và các ngành có liên quan khác. Tiêu chuẩn này hướng dẫn tính toán thiết kế nhiều các loại cọc như: Cọc khoan nhồi, cọc đóng BTCT, cọc thép.

TCVN 10304:2014 về móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế [9]. Tiêu chuẩn này được áp dụng để thiết kế móng cọc của nhà và công trình xây dựng mới hoặc công trình cải tạo xây dựng lại. Tiêu chuẩn này hướng dẫn tính toán thiết kế nhiều các loại cọc như: Cọc khoan nhồi, cọc đóng BTCT, cọc thép.

Ngoài ra còn rất nhiều các tiêu chuẩn về thi công, kiểm tra chất lượng của cọc, các tiêu chuẩn về địa chất phục vụ cho công tác tính toán thiết kế móng cọc.

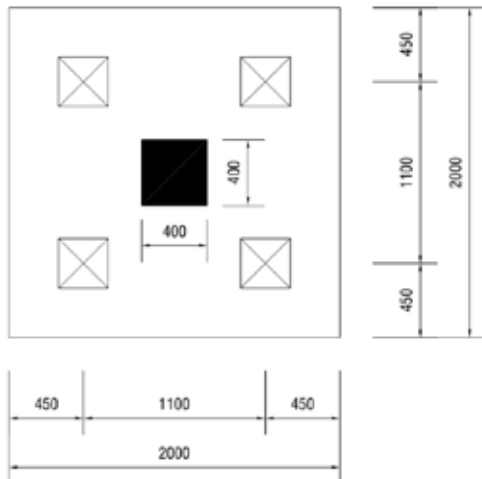
3. MÔ PHỎNG PHÂN TÍCH MÓNG CỌC BTCT

3.1. Giới thiệu Plaxis 3D Foundation

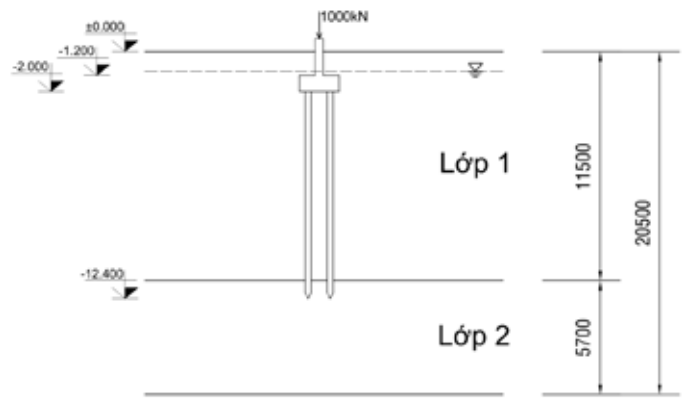
Plaxis 3D Foundation là một chương trình PTHH không gian ba chiều, ứng dụng vào việc phân tích kết cấu móng cho các công trình xây dựng trong đất liền và trên biển. Nhờ việc ứng dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật, chương trình này cho phép người sử dụng giải quyết những bài toán kết cấu phức tạp bằng những 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. Phương pháp mô hình hóa của Plaxis 3D Foundation gồm các bước: Biểu diễn mặt bằng công trình, mô phỏng các lớp đất, mô phỏng cấu trúc công trình, xác định tính chất vật liệu, tạo lưới phần tử (2D - 3D) và xác định các bước tính toán.

3.2. Mô hình tính toán

Thực hiện mô phỏng móng cọc BTCT có đài móng kích thước 2,0m x 2,0m trên 4 cọc có tiết diện 0,3m x 0,3m, chiều dài 12m. Móng chịu tải trọng tập trung và đứng tâm 1000kN (Hình 1 và Hình 2).



Hình 1. Mặt bằng móng cọc



Hình 2. Mặt cắt ngang móng cọc

3.3. Thông số đầu vào

Địa chất công trình dùng trong nghiên cứu được Phòng thí nghiệm chuyên ngành xây dựng LAS-XD 1513 cung cấp khi khoan 01 hố khoan như sau: Lớp 1 có chiều dày trung bình 11m, 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 m, thành phần chủ yếu là sét, sét màu nâu vàng, màu xanh, trạng thái nửa cứng. Càng đi sâu thì trạng thái đất tốt hơn [10].

Tính chất cơ lý của các lớp đất (Bảng 1): Từ kết quả thí nghiệm trong phòng kết hợp với kết quả khảo sát hiện trường thì cấu trúc địa chất tại vị trí hố khoan số 1 nguy hiểm nhất được chia thành các lớp như sau:

Lớp 1: Bùn sét, màu xám xanh, đáy lớp xen kẹp cát, bề dày lớp 11,50m

Lớp 2: Sét, màu nâu vàng, xám xanh, xám nâu, trạng thái nửa cứng, bề dày lớp 5,70m.

Lớp 3: Sét pha, màu nâu vàng, nâu đỏ, xám xanh trạng thái nửa cứng, bề dày lớp 3,30m.

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất

STT	Chỉ tiêu cơ lý	Ký hiệu	Lớp 1 Bùn sét	Lớp 2 Sét	Lớp 3 Sét pha
1	Thành phần hạt:				
	- Hàm lượng hạt sét		48,5	33,8	24,5
	- Hàm lượng hạt bụi	P (%)	48,6	54,7	66,7
	- Hàm lượng hạt cát		2,9	11,5	8,8
2	Độ ẩm tự nhiên	$W_n(\%)$	127,0	23,5	23,4
3	Dung trọng ướt	$\gamma_m(g/cm^3)$	1,345	1,968	1,986
4	Tỷ trọng	$\gamma_s(g/cm^3)$	2,693	2,700	2,687
5	Độ ẩm giới hạn chảy	$W_L(\%)$	87,1	41,0	37,0
6	Độ ẩm giới hạn dẻo	$W_P(\%)$	40,2	21,8	20,9
7	Chỉ số dẻo	I_p	46,9	19,2	16,1
8	Độ sệt	B	1,85	0,09	0,16
9	Góc ma sát trong	$\varphi(^{\circ})$	5°23'	16°45'	20°40'
10	Lực dính	$C(kg/cm^2)$	0,032	0,429	0,461
11	Cường độ đất nền	$R_o(kg/cm^2)$	0,31	2,76	3,40

Đất là vật liệu phức tạp gồm 3 thành phần tạo thành: hạt đất, nước và khí. Khi chịu tải trọng ngoài, tải trọng này gần như được gánh đỡ bởi phần nước tạo thành áp lực nước lỗ rỗng thẳng đứng trong đất. Theo thời gian, áp lực nước lỗ rỗng thẳng đứng sẽ tiêu tán đồng thời với quá trình này, các hạt đất sẽ gánh đỡ phần áp lực do nước truyền sang.

Chính điều này gây ra sự phức tạp trong quá trình tính toán và thiết kế nền. Phần mềm Plaxis chia ra làm 3 loại vật liệu ứng xử: Drained (thoát nước), Undrained (không thoát nước) và Non-porous (không thấm nước). Các đặc trưng vật liệu của các lớp đất và móng cọc BTCT trong Plaxis 3D Foundation được thí nghiệm, tính toán và trình bày trong các Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Thông số các lớp đất trong mô hình PTHH

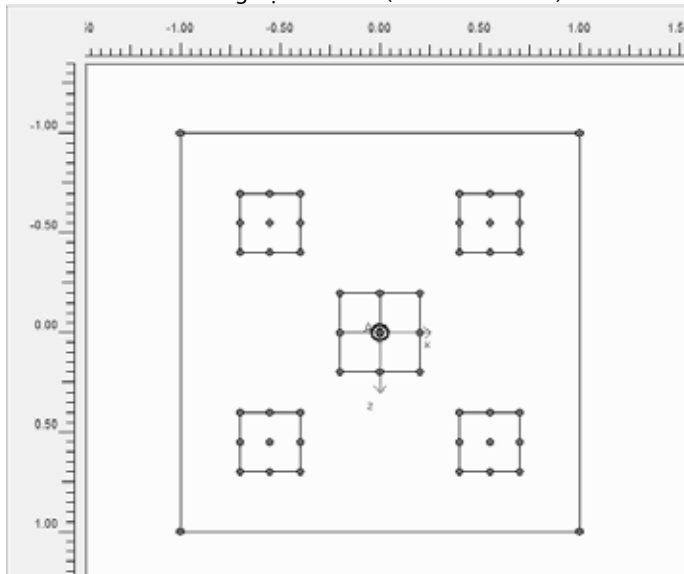
STT	Tham số	Ký hiệu	Lớp 1	Lớp 2
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Undrained	Undrained
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	13,45	19,68
4	Dung trọng bão hòa (kN/m ³)	γ_{sat}	13,72	20,12
5	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	628,4	23074,4
6	Hệ số Poisson (-)	ν	0,35	0,35
7	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 3. Thông số móng cọc BTCT trong mô hình PTHH

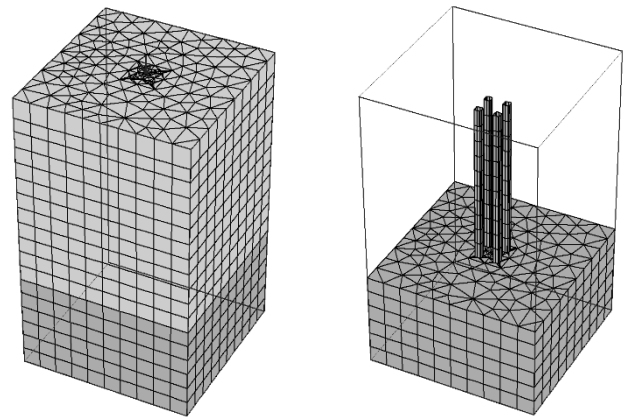
STT	Tham số	Ký hiệu	BTCT
1	Mô hình	Model	Linear - elastic
2	Ứng xử vật liệu	Type	Non - porous
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	25,00
4	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	29,2 x 10 ⁶
5	Hệ số Poisson (-)	ν	0,300

3.4. Xây dựng mô hình

Để mô hình hóa cho các lớp đất có thể dùng phần tử tam giác 6 nút hoặc 15 nút. Phần tử hình tam giác 6 nút là phần tử mặc định cho một sự phân tích 2 chiều, cung cấp một phép nội suy là hai cho những sự dịch chuyển. Ma trận độ cứng phần tử được ước lượng bởi phép lấy tích phân số sử dụng tổng của ba điểm ứng suất Gauss. Trong bài toán này dùng phần tử tam giác 15 nút để mô hình hóa nhằm tăng độ chính xác (Hình 3 và Hình 4).

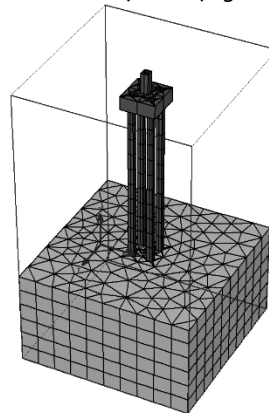


Hình 3. Mô hình PTHH

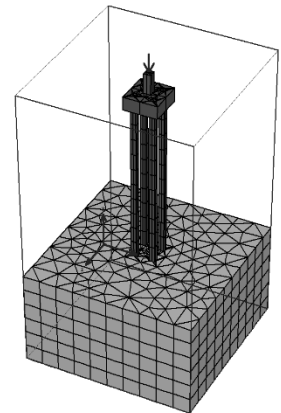


Hình 4. 3D-Mesh

Để định lượng trạng thái ứng suất - biến dạng của khối đất tương tác với cọc cần xét 2 giai đoạn cơ bản sau: Giai đoạn thi công cọc và cho cọc “nghỉ” và giai đoạn cọc làm việc dưới tác dụng của tải trọng công trình. Rõ ràng 2 giai đoạn này sẽ ảnh hưởng lẫn nhau và đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành khả năng chịu tải của cọc. Do đó quá trình mô phỏng phân tích móng cọc BTCT được xét trong hai trường hợp: (1) Chưa chịu tải trọng công trình và (2) chịu tải trọng như Hình 5 và Hình 6.



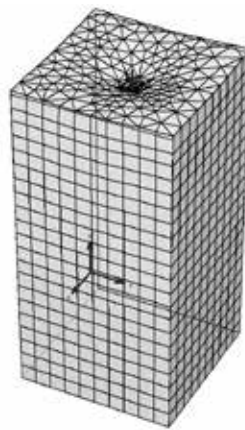
Hình 5. Móng cọc BTCT chưa chịu tải



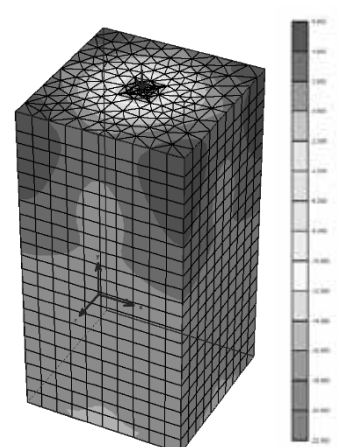
Hình 6. Móng cọc BTCT chịu tải

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

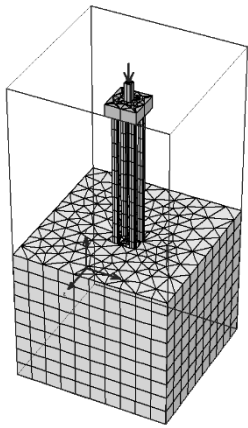
Biến dạng của nền hệ nền-móng và móng BTCT được thể hiện từ Hình 7 đến Hình 10.



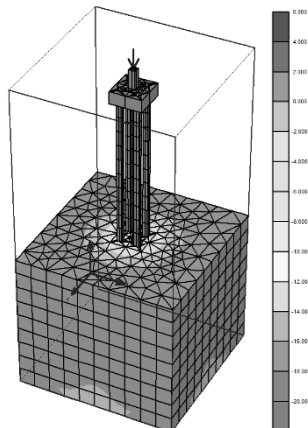
Hình 7. Tổng chuyển vị của nền và móng



Hình 8. Chuyển vị theo phương đứng của nền và móng

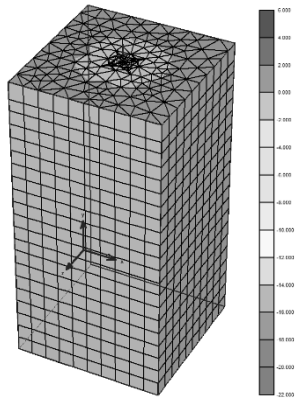


Hình 9. Tổng chuyển vị của móng cọc BTCT

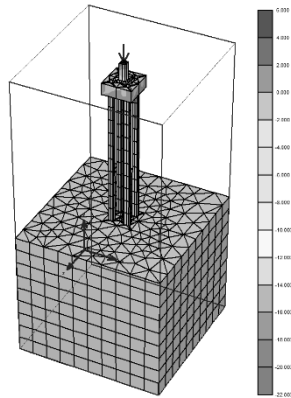


Hình 10. Chuyển vị theo phương đứng của móng cọc BTCT

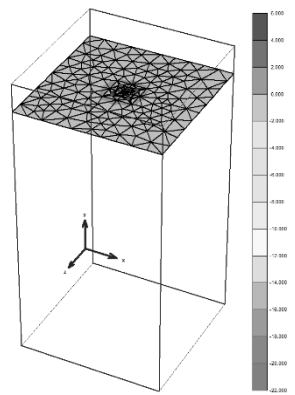
Sự phân bố ứng suất của nền hệ nền-móng và móng BTCT được thể hiện từ Hình 11 đến Hình 14.



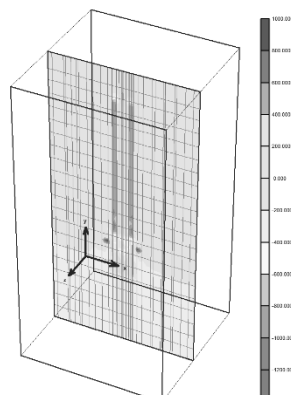
Hình 11. Sự phân bố ứng suất hữu hiệu trong nền và móng



Hình 12. Sự phân bố ứng suất hữu hiệu trong móng cọc BTCT



Hình 13. Sự phân bố ứng suất tổng tại đầu cọc BTCT



Hình 14. Sự phân bố ứng suất tổng trong cọc BTCT

Để chịu được tải trọng lớn, móng cọc thường được cấu tạo bởi một nhóm cọc, tuy nhiên khi khoảng cách giữa các cọc không đủ lớn, sẽ hình thành trong vùng đất xung quanh các cọc hiện tượng chống ứng suất chống cắt do ma sát bên và do sức chống mũi của các cọc gây ra.

Độ lớn ứng suất trong vùng chống ứng suất này phụ thuộc vào

nhiều yếu tố: Khoảng cách cọc; Chiều dài cọc; Hình dạng cọc; Số lượng cọc; Độ lớn của tải trọng tác dụng vào nhóm cọc và tính chất của nền đất xung quanh nhóm cọc... Hiện tượng chống ứng suất làm suy giảm ma sát giữa cọc - đất và sức chống mũi của cọc dẫn đến giảm khả năng chịu lực và gia tăng chuyển vị của nhóm cọc so với cọc đơn. Để giảm ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm, có thể gia tăng các khoảng cách cọc nhằm giảm độ lớn của ứng suất trong các vùng chống lún, tuy nhiên điều này sẽ gây bất lợi cho khả năng chịu lực của đài cọc dẫn đến sự phân phối các lực tác dụng vào đầu cọc trong nhóm không đồng đều, do vậy trong thực tế ứng xử của nhóm cọc khi chịu tải hoàn toàn khác với ứng xử của cọc đơn.

5. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp phần tử hữu hạn không gian ba chiều có thể mô phỏng và thể hiện rõ trạng thái ứng suất - biến dạng của móng cọc bê tông cốt thép theo các phương khác nhau bằng các hình ảnh có độ tương phản và phân giải cao.

Kết quả mô phỏng cho thấy móng cọc BTCT có đài móng kích thước 2,0m x 2,0m trên 4 cọc có tiết diện 0,3m x 0,3m, chiều dài 12m, chịu tải trọng tập trung và đúng tâm 1000kN có độ lún là 20,24mm. Độ lún này nhỏ hơn độ lún cho phép khi thiết kế móng công trình dân dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Châu Ngọc Ẩn. *Nền Móng*. NXB Đại học Quốc gia TP.HCM, HCM, 2014.
- [2] Nguyễn Ngọc Thắng, Bùi Hữu Hiệp, Nguyễn Phúc Toàn, "Nghiên cứu ứng suất và biến dạng của nền móng công trình lân cận do thi công ép cọc," *Tạp chí Xây dựng*, Bộ Xây dựng, số 2, trang 96-99, 2022.
- [3] Lưu Văn Thân. *Ứng xử của đất nền trong quá trình thi công ép cọc*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, 2012.
- [4] Fatemeh V., et al. "Load-Displacement Behavior of Driven Piles in Sand Using CPT Based Stress and Strain Fields", *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, 2018.
- [5] Shuntaro T., et al., "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, 2018.
- [6] 20TCN 21:1986: *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [7] TCVN 189:1996: *Móng cọc tiết diện nhỏ - tiêu chuẩn thiết kế*.
- [8] TCXD 205:1998: *Móng cọc - tiêu chuẩn thiết kế*.
- [9] TCVN:10304-2014: *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [10] Công ty TNHH tư vấn và kiểm định xây dựng Mỹ Tho, *Hồ sơ báo cáo địa chất công trình tại TP Mỹ Tho - tỉnh Tiền Giang*, 2021.