

Đánh giá sức chịu tải của móng cọc công trình bằng phần mềm phân tích phần tử hữu hạn 3D

Nguyễn Anh Ngữ¹, Hồ Đình Chương¹, Lê Minh Tân¹, Trần Phương Bách¹, Nguyễn Xuân Thành¹, Hoàng Công Vũ^{1*}

¹ Khoa Kỹ thuật & Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Tp. Quy Nhơn, Bình Định

TỪ KHOÁ

Móng cọc
Phân tích phần tử hữu hạn
Plaxis 3D Foundation

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu về khả năng đánh giá sức chịu tải của móng cọc ở các khía cạnh xét đến ảnh hưởng của khoảng cách giữa các cọc, số lượng cọc và chiều dài cọc có xét tới hiệu ứng nhóm trong điều kiện địa chất cụ thể, thông qua việc sử dụng phần mềm Plaxis 3D Foundation.

KEYWORDS

Pile foundation
Finite element analysis
Plaxis 3D Foundation

ABSTRACT

This paper investigates the capability to assess the load-bearing capacity of pile foundations from various perspectives, considering the influence of pile spacing, the number of piles, and pile length, while also examining group effects under specific geological conditions, through the utilization of Plaxis 3D Foundation software.

1. Giới thiệu

Theo một số quan điểm thiết kế móng cọc hiện nay, đài móng được xem là tuyệt đối cứng và chưa xem xét đến sự làm việc của đất nền dưới đáy đài nên chưa phản ánh đúng thực tế.

Bên cạnh đó, quá trình thi công cọc đại trà có thể xảy ra tình huống một số cọc không đạt chiều dài theo thiết kế. Khi đó, nếu vẫn tính toán theo lý thuyết thông thường có thể phản ánh không chính xác sự làm việc thực tế của hệ cọc và đài móng.

Hiện nay các công trình tính toán hiệu ứng nhóm cọc theo các Tiêu chuẩn nước ngoài khá nhiều, tuy nhiên kết quả còn phân tán. Theo các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành (TCVN 10304-2012, TCN 272-05) cũng như các sổ tay thiết kế đều mới chỉ dẫn về tính toán thiết kế móng cọc khi các cọc trong móng có cùng chiều dài, chưa có chỉ dẫn về tính toán thiết kế cho trường hợp móng cọc có các cọc với chiều dài khác nhau.

Xuất phát từ vấn đề này, bài báo trình bày phương pháp phân tích sự làm việc của móng cọc với số lượng cọc, khoảng cách cọc và chiều dài cọc thay đổi sử dụng phần mềm Plaxis 3D Foundation.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Tính toán móng cọc [1], [3]

Với giả thuyết đài cọc tuyệt đối cứng, tải sẽ phân bố đều hoặc theo quy luật tuyến tính lên tất cả các cọc bên dưới, ngược lại khi đài cọc mềm thì sự phân bố các cọc tùy thuộc vào biến dạng uốn của đài, các cọc ngoài biên sẽ chịu tải ít hơn do đài cọc biến dạng lớn nhất ở tâm. Khi móng cọc chịu lực lệch tâm, tải tác động lên mỗi cọc trong nhóm không đều nhau và được xác định theo công thức sau:

$$P_i = \frac{N}{n} \pm \frac{M_y}{\sum x_i^2} \times x_i \pm \frac{M_x}{\sum y_i^2} \times y_i \quad (1)$$

*Liên hệ tác giả: hoangcongvu@qnu.edu.vn

với:

M_y : mômen theo phương trục y

M_x : mômen theo phương trục x

x_i : khoảng cách tính từ trục cọc thứ I đến trục đi qua trọng tâm của đài theo phương x

y_i : khoảng cách tính từ trục cọc thứ I đến trục đi qua trọng tâm của đài theo phương y

Điều kiện an toàn cho các cọc trong móng cọc như sau:

$$P_{max} \leq Q_a^{tk} \quad (2)$$

Với sức chịu tải cho phép của cọc:

$$Q_a^{tk} = \frac{\gamma_0}{\gamma_n} \times \frac{R_{c,k}}{\gamma_k} \quad (3)$$

trong đó:

γ_0 là hệ số điều kiện làm việc, lấy bằng 1 với cọc đơn và bằng 1,15 trong móng nhiều cọc

γ_n là hệ số tin cậy về tầm quan trọng của công trình, lấy bằng 1,2; 1,15; 1,1 tương ứng với tầm quan trọng của công trình cấp I, II và III [5]

γ_k là hệ số tin cậy theo đất [5]

2.2. Mô hình Mohr - Coulomb trong Plaxis [2]

Mô hình Mohr - Coulomb (MC) là mô hình gần đúng về mối quan hệ của đất. Đây là mô hình đàn hồi - thuần dẻo dựa trên cơ sở định luật Hook kết hợp với tiêu chuẩn phá hoại Mohr - Coulomb. Trong mô hình đàn hồi - thuần dẻo, biến dạng và tốc độ biến dạng được phân tích thành hai thành phần: phần đàn hồi và phần thuần dẻo. Định luật Hook được sử dụng để thể hiện mối quan hệ giữa gia tăng ứng suất và biến dạng. Mô hình gồm 5 thông số cơ bản: module đàn hồi E, hệ số Poisson ν , lực dính của đất c, góc ma sát trong φ và góc nở của đất ψ .

3. Ví dụ tính toán

3.1. Bài toán

Thông số đầu vào: móng cọc khoan nhồi bê tông cốt thép, đường kính cọc $D=0,5m$, cọc dài $14,5m$; bê tông cọc B30 có $E_p=30.10^6kPa$, đất nền có các thông số như ở Bảng 1.

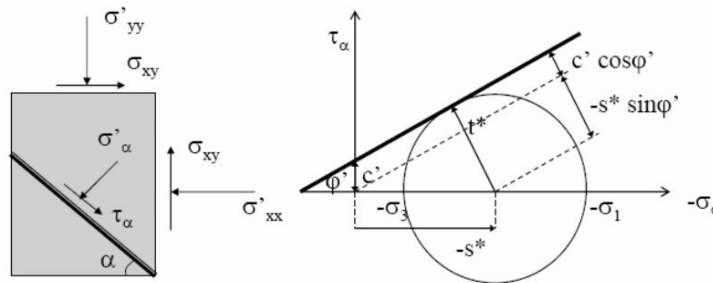
Mô hình móng 3 cọc và móng 9 cọc trong phần mềm Plaxis 3D Foundation (Hình 2).

Dùng phần mềm Plaxis 3D Foundation để phân tích móng 3 cọc và móng 9 cọc có cùng chiều dài và khoảng cách tim cọc thay đổi để tính hệ số hiệu ứng nhóm. Kết quả được so sánh với công thức thực nghiệm của Converse-Labarre (1980), TCN 272-05 và kết quả thí nghiệm của giáo sư Al-Mhaidib, A.I (2001) [4], kết quả như trên Hình 3 và Hình 4.

Công thức Converse-Labarre để tính hệ số hiệu ứng nhóm:

$$\eta = 1 - 2 \cdot \frac{Arctg(D/S)}{\pi} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \quad (4)$$

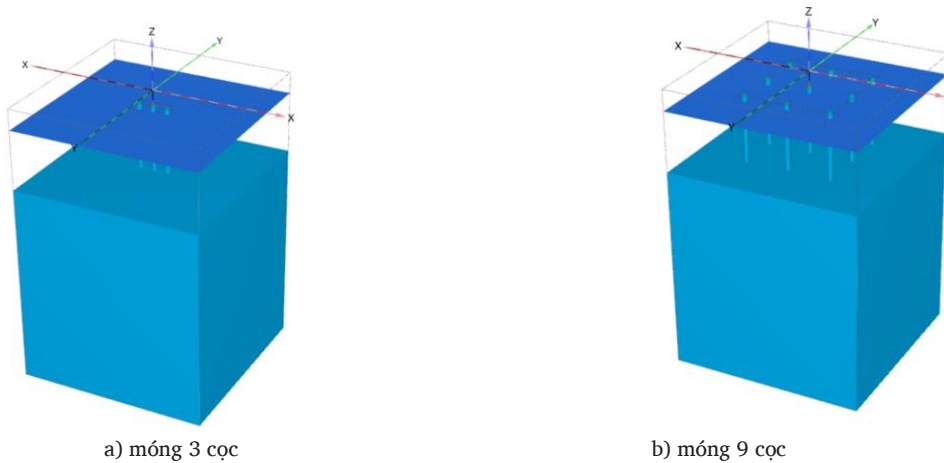
trong đó: m và n - số cọc trong một hàng và số hàng cọc; S - khoảng cách tim cọc; D - đường kính cọc.



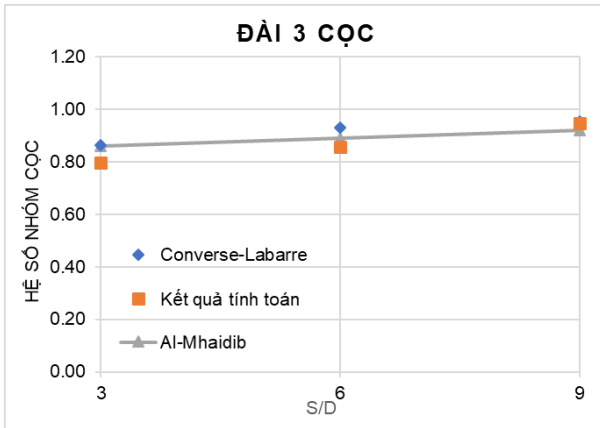
Hình 1. Tiêu chuẩn hiệu suất Mohr-Coulomb.

Bảng 1. Thông số địa chất.

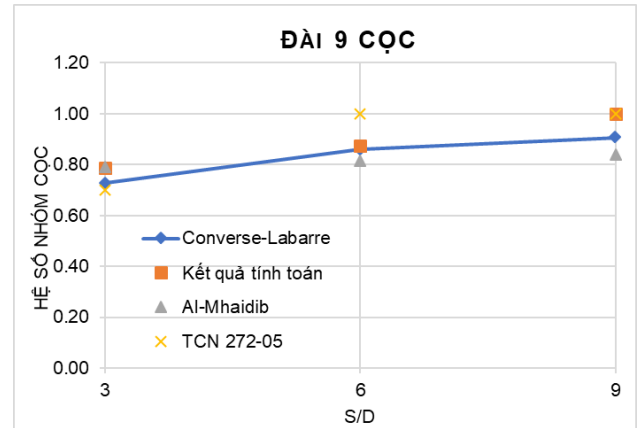
Thông số	Ký hiệu	Loại vật liệu					Đơn vị
		Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4	Cọc	
Mẫu vật liệu	Model	M-C	M-C	M-C	M-C	ĐHTT	-
Loại vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	Drained	Non-porous	-
Dày	-	8,5	3,0	2,5	15,5	-	m
TL riêng đất trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	17,4	17,2	17,2	17,2	25	kN/m^3
TL riêng đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	18,5	18	19	20	-	kN/m^3
Module đàn hồi	E	22000	20000	3500	24500	$3.00E+07$	kN/m^2
Hệ số poisson	ν	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Lực dính đơn vị	c	0,6	0,5	13	0,9	-	kN/m^2
Góc ma sát trong	Φ	30,15	28,25	6,2	31,45	-	Độ



Hình 2. Mô hình móng cọc bằng Plaxis 3D Foundation V.22.



Hình 3. So sánh hệ số nhóm móng 3 cọc với các kết quả đã công bố.

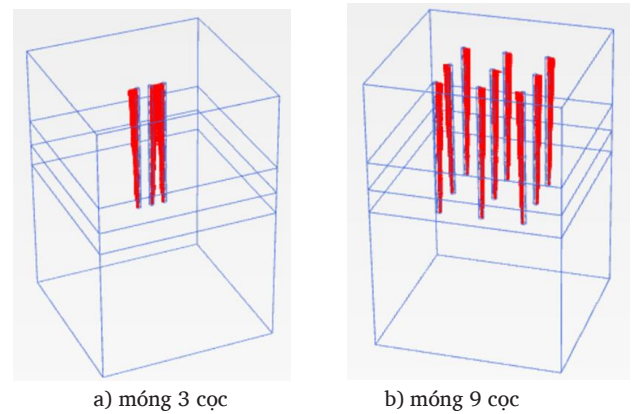


Hình 4. So sánh hệ số nhóm móng 9 cọc với các kết quả đã công bố.

Nhận xét: Trường hợp móng 3 cọc và móng 9 cọc cho kết quả tính khá sát với công thức thực nghiệm, TCN 272-05 và kết quả thí nghiệm, điều này cho thấy phương pháp tính có cơ sở tin cậy. Trên cơ sở đó tiếp tục sử dụng phần mềm Plaxis 3D Foundation để khảo sát cho một số trường hợp móng có khoảng cách cọc thay đổi, số lượng cọc thay đổi và chiều dài cọc thay đổi.

3.2. Xét ảnh hưởng của khoảng cách giữa các cọc đến sức chịu tải của nhóm cọc

Xét các bài toán móng cọc khoan nhồi D500, chiều dài cọc $L=14,5m$; móng chịu tải thẳng đứng tại tâm đài móng $N = 6000kN$, số lượng cọc cố định là 9 cọc, tỷ số S/D thay đổi từ 2,0; 2,5; 3; 4,0; 6,0 đến 6,5. Kết quả sức chịu tải của cọc trong móng (P_n) được thể hiện ở Bảng 2.



Hình 5. Nội lực trong cọc.

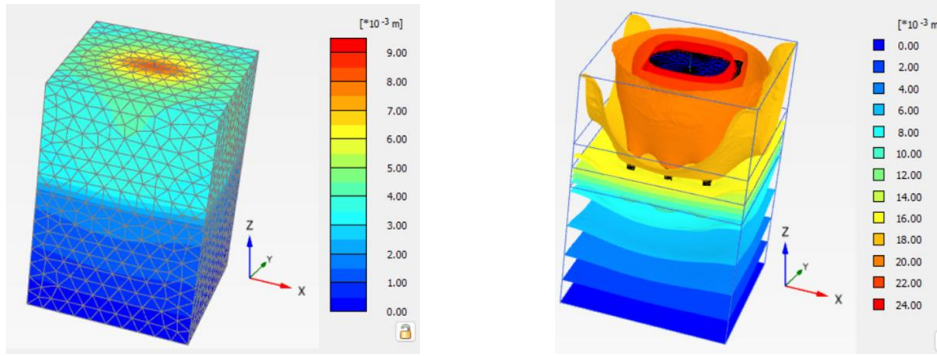
Bảng 2. Kết quả sức chịu tải của cọc trong móng khi thay đổi khoảng cách cọc.

STT	Số cọc	S/D	P_n (kN)	Hệ số hiệu ứng nhóm η		
				Plaxis 3D	Theo công thức	Theo 22TCN-272-05
1	9	2	678,2	0,864	0,606	0,65
2	9	2,5	664,5	0,846	0,676	0,65
3	9	3	663,9	0,845	0,726	0,70
4	9	4	665,7	0,847	0,791	0,80
5	9	5	687,7	0,876	0,832	0,88
6	9	6	742,0	0,945	0,859	1,00
7	9	6,5	699,8	0,891	0,870	1,00

Nhận xét: Bài toán mô hình bằng Plaxis 3D Foundation cho kết quả tính toán hệ số hiệu ứng nhóm khi khoảng cách cọc thay đổi xấp xỉ với công thức thực nghiệm và theo 22 TCN 272-05. Kết quả bài toán cho thấy, với cùng điều kiện địa chất, cùng chiều dài cọc và số lượng cọc trong móng thì sức chịu tải của từng cọc riêng rẽ càng giảm khi tỷ số S/D càng giảm. Khi khoảng cách $S/D=2,5$ thì hệ số hiệu ứng nhóm $\eta=0,846$; khi khoảng cách $S/D=6,0$ thì hệ số hiệu ứng nhóm $\eta=0,945$.

3.3. Xét ảnh hưởng của số lượng cọc đến sức chịu tải của nhóm cọc

Xét các bài toán cho đài móng cọc khoan nhồi D500 kích thước $3,5m \times 3,5m$; chiều dài cọc $L=14,5m$; móng chịu tải thẳng đứng tại tâm đài móng $N = 5000kN$, khoảng cách cọc cố định là 2,5, số lượng cọc thay đổi từ 1; 2; 4; 6; 9. Kết quả độ lún tại tâm đáy khối móng quy ước và sức chịu tải của nhóm cọc trong móng (ΣP_i) được thể hiện ở Bảng 3.



Hình 6. Chuyển vị tổng thể của bộ móng.

Bảng 3. Kết quả độ lún và sức chịu tải của nhóm cọc khi thay đổi số lượng cọc.

Số cọc	Đài	S/D	Lún (cm)	ΣP_i	Hệ số hiệu ứng nhóm η
1	3,5x3,5	2,5	6,69	1248,311	1
2	3,5x3,5	2,5	5,291	1115,858	0,90
4	3,5x3,5	2,5	3,533	890,239	0,71
6	3,5x3,5	2,5	2,664	711,605	0,57
9	3,5x3,5	2,5	2,107	572,988	0,46

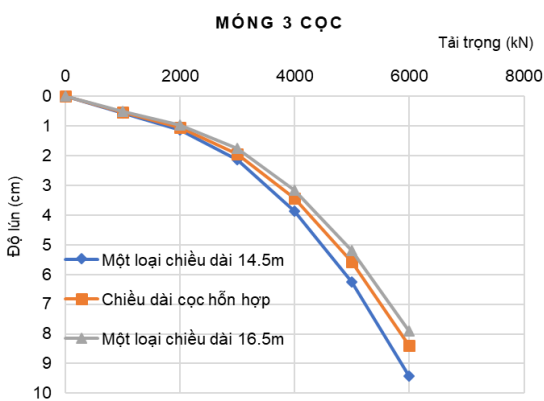
Nhận xét: Kết quả bài toán chạy trên mô hình Plaxis 3D Foundation gần tương đương với kết quả tính theo công thức thực nghiệm (4). Kết quả phân tích cho thấy khi với cùng kích thước đài móng, cùng điều kiện địa chất, chiều dài cọc như nhau và khoảng cách giữa các cọc là $S/D=2,5$ thì khi đài móng càng nhiều cọc thì sức chịu tải của từng cọc riêng rẽ trong móng càng giảm. Khi số lượng cọc càng tăng thì hệ số hiệu ứng nhóm càng nhỏ.

3.4. Xét ảnh hưởng của chiều dài cọc đến sức chịu tải của nhóm cọc

Khảo sát trường hợp móng 3 cọc, xét 3 trường hợp khác nhau:

- a) Các cọc có cùng chiều dài 14,5 m
- b) Cọc giữa dài $L=16,5$, các cọc biên dài 14,5 m
- c) Các cọc có cùng chiều dài 16,5 m

Kết quả tính toán quan hệ tải trọng – độ lún được trình bày trên Hình 7.



Hình 7. Quan hệ tải trọng – độ lún móng 3 cọc.

Nhận xét:

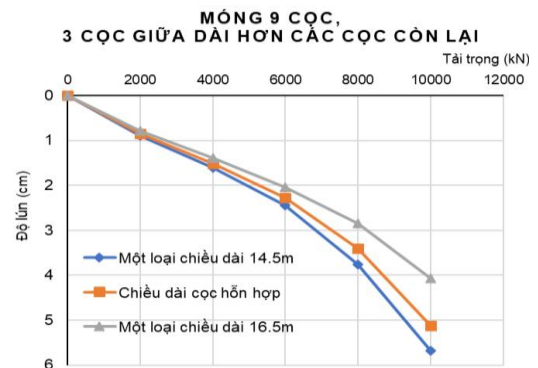
- Từ các kết quả trình bày trên hình 7 ta thấy: Độ cứng của cọc ở giữa khá lớn so với 2 cọc còn lại ở biên, điều này là do cọc ở giữa được tăng cường chiều dài và hiệu ứng nhóm của móng 3 cọc là không đáng kể.

- Kết quả phân tích Plaxis 3D Foundation cho thấy hiệu quả của trường hợp móng hỗn hợp các loại chiều dài cọc nằm ở khoảng giữa 2 trường hợp còn lại. Điều đó cho thấy tính khả thi khi sử dụng loại móng này.

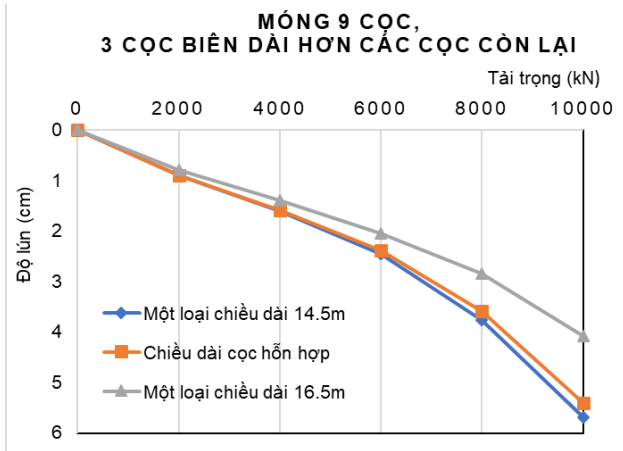
Khảo sát trường hợp móng 9 cọc, xét 4 trường hợp khác nhau:

- a) Các cọc có cùng chiều dài 14,5m
- b) 3 cọc giữa dài $L=16,5$, các cọc còn lại dài 14,5m
- c) Các cọc có cùng chiều dài 16,5m
- d) 3 cọc biên dài $L=16,5$, các cọc còn lại dài 14,5m

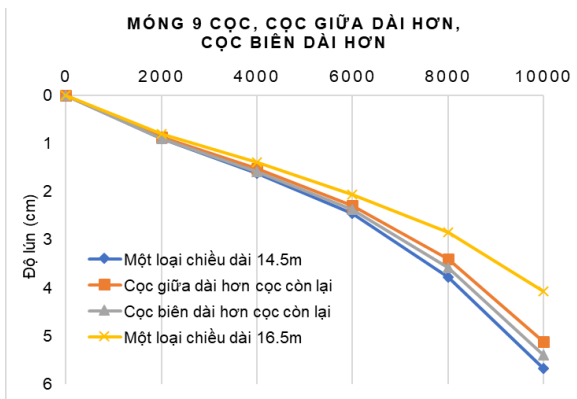
Kết quả tính toán quan hệ tải trọng – độ lún được trình bày trên Hình 8 đến Hình 10.



Hình 8. Quan hệ tải trọng – độ lún móng 9 cọc khi 3 cọc giữa dài hơn các cọc còn lại.



Hình 9. Quan hệ tải trọng – độ lún móng 9 cọc khi 3 cọc biên dài hơn các cọc còn lại.



Hình 10. Quan hệ tải trọng – độ lún móng 9 cọc khi so sánh các vị trí cọc dài.

Từ các kết quả trình bày trên hình 8 đến hình 10 ta thấy:

- Các cọc giữa cho thấy độ cứng lớn hơn nhiều so với các cọc còn lại do chiều dài cọc được tăng cường. Tuy nhiên do số lượng cọc nhiều, hiệu ứng nhóm đã ảnh hưởng làm cho cọc này yếu hơn so với cọc tương tự ở trường hợp móng 3 cọc.

- Các cọc được tăng cường chiều dài thì độ cứng lớn hơn nhiều so với các cọc còn lại. Tuy nhiên khi tăng cường chiều dài 3 cọc giữa

sẽ cho độ cứng lớn hơn khi tăng cường chiều dài 3 cọc ở biên. Bên cạnh đó, móng 9 cọc có số lượng cọc nhiều, ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm làm cho cọc này yếu hơn so với cọc tương tự ở trường hợp móng 3 cọc.

- Kết quả phân tích Plaxis 3D Foundation cho thấy hiệu quả của trường hợp móng có chiều dài cọc hỗn hợp vẫn nằm ở khoảng giữa 2 trường hợp còn lại. Tuy nhiên việc chỉ tăng cường chiều dài 1 cọc không giúp sức chịu tải tổng thể tăng nhiều khi tăng cường chiều dài 3 cọc.

4. Kết luận

Khi tính toán trên mô hình Plaxis 3D, các kết quả tính ra tương đồng với các kết quả theo công thức thực nghiệm và các giá trị khuyến nghị trong Tiêu chuẩn 22 TCN 272-05. Tuy nhiên, kết quả tính toán bài toán theo mô hình Plaxis 3D thiên về tận dụng vật liệu tốt hơn. Trường hợp thay đổi số lượng cọc và khoảng cách cọc, khi lấy theo Tiêu chuẩn 22 TCN 272-05 sẽ thiên về an toàn hơn, dẫn tới lãng phí vật liệu khi thiết kế.

Kết quả nghiên cứu dùng phương pháp phần tử hữu hạn bằng Plaxis 3D Foundation cho phép phân tích được sự làm việc của móng cọc trong trường hợp các cọc có chiều dài khác nhau. Điều này giúp các kỹ sư dễ dàng áp dụng vào thực tiễn khi quá trình thi công cọc đại trà có thể xảy ra tình huống nền đất bị nén chặt hoặc địa hình cứng, nhiều đá to dẫn đến một số cọc không đạt chiều dài như thiết kế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Anh Hoàng, Nền và móng, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2010.
- [2]. Đỗ Văn Đệ, Phần mềm Plaxis 3D Foundation ứng dụng vào tính toán móng và công trình ngầm, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2012.
- [3]. Tô Văn Lận, Nền và móng dùng cho sinh viên ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2018.
- [4]. Al-Mhaidib, A.I.(2001), Loading Rate Effecton Piles in Clay from Laboratory Model Tests, Journal of King Saud University, Vol.13, No.1, pp. 39-55.
- [5]. TCVN 10304:2014: Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [6]. 22TCN 272-05: Tiêu chuẩn thiết kế cầu