

# PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ PHỤT VỮA THÂN CỌC ĐẾN SỰ GIA TĂNG SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC KHOAN NHỒI

Nguyễn Văn Tùng<sup>1</sup>, Huỳnh Quốc Thiện<sup>2</sup>, Trà Hữu Thời<sup>2</sup>, Phan Thiên Long<sup>2</sup>, Lại Văn Quý<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Giao Thông Vận Tải Thành Phố Hồ Chí Minh.

<sup>2</sup>Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa - Đại Học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh.

\*Tác giả liên hệ

Nhận ngày 02/9/2020, chỉnh sửa ngày 25/01/2021, chấp nhận đăng 25/03/2021

## Tóm tắt

Bài báo tập trung phân tích và đánh giá hiệu quả của phương pháp phụt vữa thân cọc đến việc tăng sức chịu tải của cọc thông qua kết quả thử tĩnh 2 cọc khoan nhồi có phụt vữa và không phụt vữa ở dự án Tòa nhà hữu nghị Việt Nam - Slovakia (Friendship Tower) quận 1, thành phố Hồ Chí Minh. Hiệu quả phụt vữa thân cọc được đánh giá thông qua việc so sánh tỷ số ma sát thành đơn vị  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>) theo chỉ số NSPT từ kết quả thí nghiệm của cọc phụt vữa và không phụt vữa. Kết quả cho thấy rằng phụt vữa thân cọc làm tăng ma sát đơn vị từ 1,7-2,9 lần. Hiệu quả phụt vữa trong đất cát cao hơn trong đất sét. Ngoài ra, phương pháp mô phỏng số bằng Plaxis 3D được sử dụng để phân tích sức chịu tải cực hạn của cọc phụt vữa và không phụt vữa cùng 1 chiều dài. Giải pháp phụt vữa thân cọc làm tăng 25-30% sức chịu tải cực hạn của cọc.

**Từ khóa:** Phụt vữa thân cọc, sức chịu tải cực hạn, ma sát đơn vị, độ lún giới hạn

## Abstract

The paper focuses on analyzing and evaluating the effectiveness of Shaft-grouting technique to increase the shaft resistance of bored piles through the pile load test results of non-grouted bored piles and grouted bored piles at Friendship Tower project in District 1, Ho Chi Minh City. The efficiency of shaft-grouting is assessed by comparing the ratio of the unit friction  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>) with NSPT index from the test results of non-grouted bored piles and grouted ones. The results showed that the shaft-grouting increased unit friction by 1.9-2.7 times. The efficiency of shaft-grouting for bored piles in sandy soils is higher than in clayey soils. The numerical simulation by Plaxis 3D was used to analyze the limited load capacity of the non-grouted bored piles and grouted bored piles in the same length. The limited load capacity of grouted pile increases by 25-30% compared to the non-grouted pile.

**Keywords:** shaft-grouting, limited load capacity, unit friction, allowable settlement

## 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây cùng với sự phát triển kinh tế mạnh mẽ của đất nước ngành xây dựng đóng một vai trò đặc biệt quan trọng. Tại các đô thị lớn như Hồ Chí Minh, Đà Nẵng, Hà Nội ngày càng nhiều công trình cao tầng được xây dựng với chiều cao ngày càng tăng để đáp ứng nhu cầu về nơi ở, nơi làm việc của người dân. Các giải pháp móng cho các công trình cao tầng và siêu cao tầng đòi hỏi về khả năng chịu tải lớn. So với các loại cọc khác, thì cọc khoan nhồi có nhiều ưu điểm về mặt kỹ thuật chiều sâu hạ cọc lớn, sức chịu tải lớn. Tuy nhiên, trong quá trình thi công cọc luôn chứa đựng các nguy cơ mũi cọc tồn tại lớp bùn cặn lắng gây ảnh hưởng không tốt và làm suy giảm đáng kể sức kháng mũi. Do đó, thành phần sức kháng ma sát dọc thân cọc có ý nghĩa rất quan trọng trong sức chịu tải của cọc khoan nhồi.

Có nhiều giải pháp để làm tăng ma sát thành của cọc khoan nhồi điển hình như giải pháp phụt vữa thân cọc bằng áp lực cao (Shaft Grouting). Giải pháp này làm tăng đáng kể sức kháng ma sát thân cọc, nâng cao sức chịu tải cọc, từ đó giúp giảm số lượng, chiều dài cọc, tiết kiệm vật liệu và thời gian thi công, mang lại hiệu quả kinh tế cao. Đã có nhiều công trình nghiên cứu của các tác giả trên thế giới về phụt vữa thân cọc như Gouvenot và Gabaix (1975) [1], Stocker (1983) [2], Bruce (1986) [3], Troughton và Stocker (1996) [4], Littlechild, Plumbridge và Free (1998) [5]. Các

tác giả đã chứng minh rằng, biện pháp phun vữa áp lực cao dọc thân cọc có thể giúp tăng sức kháng ma sát từ 1,5-3 lần so với các cọc thông thường. Ngoài ra, các nghiên cứu còn cho thấy rằng xét về sự làm việc lâu dài của cọc hầu như không xảy ra hiện tượng suy giảm sức chịu tải đối với các cọc được phụt vữa.

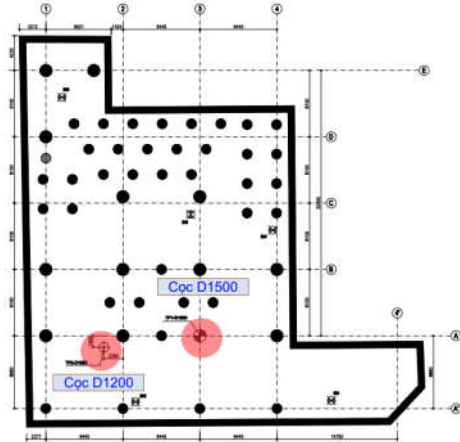
Tuy nhiên ở Việt Nam những đề tài nghiên cứu về hiệu quả của giải pháp phụt vữa thân cọc trong việc gia tăng sức chịu tải cực hạn của cọc còn rất hạn chế. Đặc biệt là đánh giá tổng quát sự gia tăng sức chịu tải cực hạn của cọc có sử dụng phụt vữa và không có sử dụng phụt vữa. Đánh giá hiệu quả phụt vữa trong đất cát hay đất sét mang lại hiệu quả cao hơn. Ngoài ra phương pháp số chưa được sử dụng để mô phỏng chính xác ứng xử của cọc phụt vữa.

Do đó, trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành phân tích, đánh giá hiệu quả của giải pháp phụt vữa dọc thân cọc cho 1 dự án cụ thể ở điều kiện địa chất Việt Nam, dự án tòa nhà hữu nghị Việt Nam – Slovakia (Friendship Tower). Từ kết quả thí nghiệm nén thử tĩnh của 2 cọc, cọc D1200 chiều dài L=65m phụt vữa ở độ sâu -42m đến -64m, cọc D1500 chiều dài L=80m không phụt vữa, tác giả tổng hợp và so sánh ma sát đơn vị đo được tại các vị trí thân cọc có phụt vữa và không phụt vữa. Ngoài ra, phương pháp mô phỏng số bằng phần mềm Plaxis 3D và các phương pháp giải tích được sử dụng để đánh giá sức chịu tải cực hạn của cọc dựa

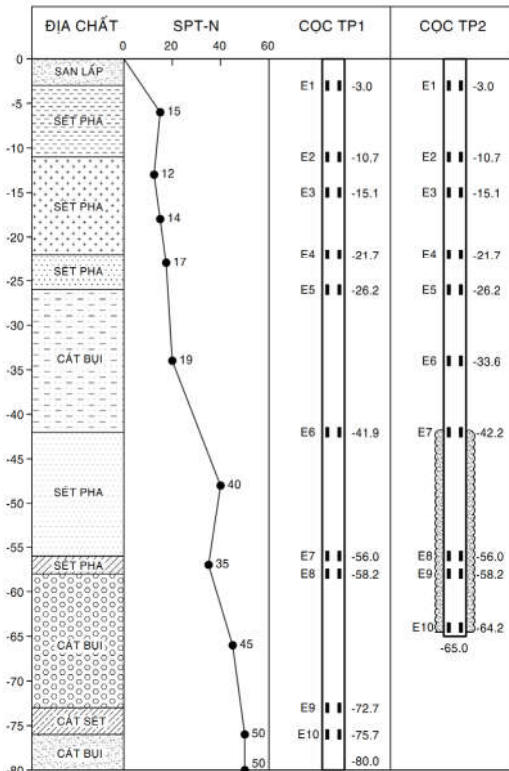
vào độ lún giới hạn  $S_{max}$ . Từ những phân tích một số kết luận và kiến nghị về hiệu quả của pháp pháp phục vữa dọc thân cọc được đề xuất.

**2. Tổng quan dự án**

Dự án án tòa nhà hữu nghị Việt Nam – Slovakia (Friendship Tower) tọa lạc tại số 31 đường Lê Duẩn, Quận 1, thành phố Hồ Chí Minh. Quy mô dự án bao gồm 4 tầng hầm và 21 tầng cao, tổng diện tích sàn 19000m<sup>2</sup>, mục đích sử dụng làm văn phòng làm việc. Với mục đích kiểm tra sức chịu tải thiết kế của có xử lý phục vữa thân cọc và không phục vữa thân cọc, dự án bố trí thí nghiệm thử tĩnh cho 2 cọc khác nhau. Cọc khoan nhồi không phục vữa (D1500\_TP1): Đường kính cọc 1500mm, chiều dài 80,0m. Cọc khoan nhồi đường có phục vữa D1200 (TP2): Đường kính cọc 1200mm, chiều dài 65,0m, phục vữa từ -42,0m đến -64,0m. vị trí 2 cọc thử tĩnh được thể hiện như Hình 1.



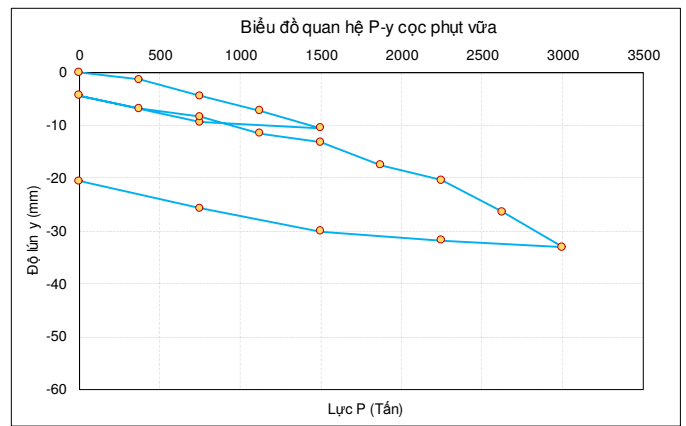
**Hình 1.** Vị trí cọc thử tĩnh TP1 (D1500) và TP2 (D1200).



**Hình 2.** Sơ đồ cọc thử tĩnh, cao độ bố trí strain gauge và địa chất.

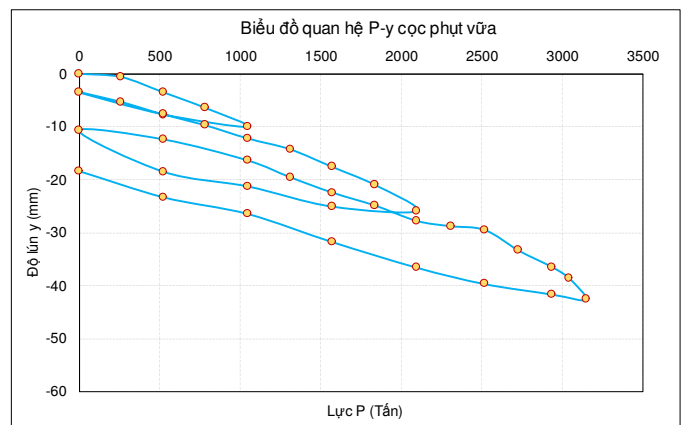
Nhằm mục đích xác định ma sát đơn vị dọc thân cọc, 10 vị trí strain gauge được bố trí để đo gián tiếp ma sát đơn vị trung bình dọc thân cọc của các lớp đất. Các vị trí bố trí strain gauge của cọc TP1 và TP2 được thể hiện ở Hình 2. Ngoài ra Hình 2 còn thể hiện các lớp đất và giá trị  $N_{SPT}$  tương ứng của hố khoan ngay tại vị trí 2 cọc thử TP1 và TP2.

Cọc TP1 được thí nghiệm với 2 chu kỳ gia và dỡ tải liên tục. Chu kỳ 1 gia tải 100% tải trọng thiết kế (tương đương 1500T), tổng độ lún đầu cọc là 10,53 mm. Sau khi giảm tải hoàn toàn, độ lún dư còn lại là 4,35 mm. Chu kỳ 2 gia tải 200% tải trọng thiết kế (tương đương 3000T), tổng độ lún đầu cọc là 33,04 mm. Sau khi giảm tải hoàn toàn, độ lún dư còn lại là 20,53 mm. Kết quả tải trọng tác dụng P(tấn) và độ lún đầu cọc y(mm) tương ứng từ kết quả thử tĩnh cọc TP1 được thể hiện Hình 3.



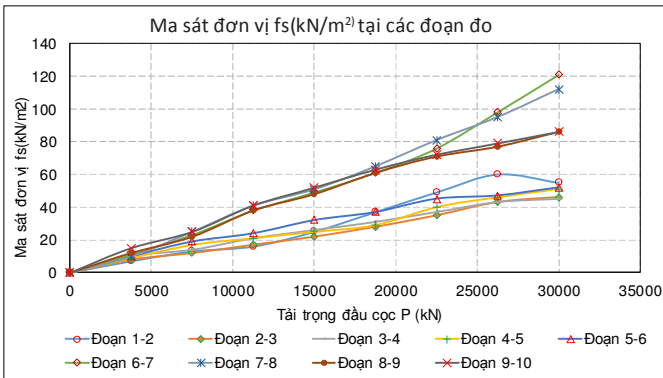
**Hình 3.** Kết quả thử tĩnh cọc TP1.

Cọc TP2 được thí nghiệm với 3 chu kỳ liên tục gia và dỡ tải. Chu kỳ 1 gia tải 100% tải trọng thiết kế (tương đương 1050T), tổng độ lún đầu cọc là 10,02 mm. Sau khi giảm tải hoàn toàn, độ lún dư còn lại là 3,48 mm. Chu kỳ 2 gia tải 200% tải trọng thiết kế (tương đương 2100T), tổng độ lún đầu cọc là 25,87 mm. Sau khi giảm tải hoàn toàn, độ lún dư còn lại là 10,73 mm. Chu kỳ 3 gia tải 300% tải trọng thiết kế (tương đương 3150T), tổng độ lún đầu cọc là 42,59 mm. Sau khi giảm tải hoàn toàn, độ lún dư còn lại là 18,35 mm. Kết quả tải trọng tác dụng P(tấn) và độ lún đầu cọc y(mm) tương ứng từ kết quả thử tĩnh được thể hiện Hình 4.

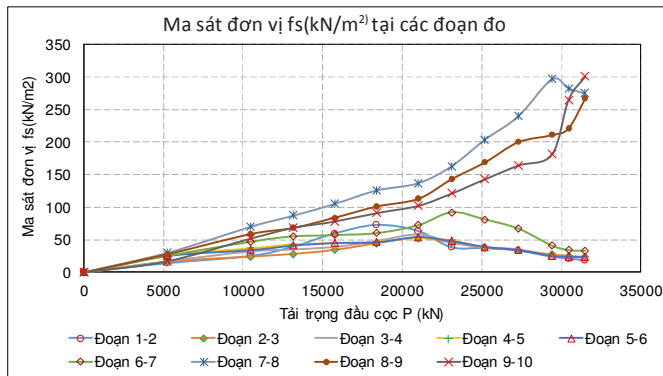


**Hình 4.** Kết quả thử tĩnh cọc TP2.

Ma sát đơn vị  $f_s(kN/m^2)$  đo được tại các đoạn thân cọc của cọc TP1 và cọc TP2 được thể hiện lần lượt Hình 5 và Hình 6.



Hình 5. Ma sát đơn vị đo được tại các đoạn cọc TP1.

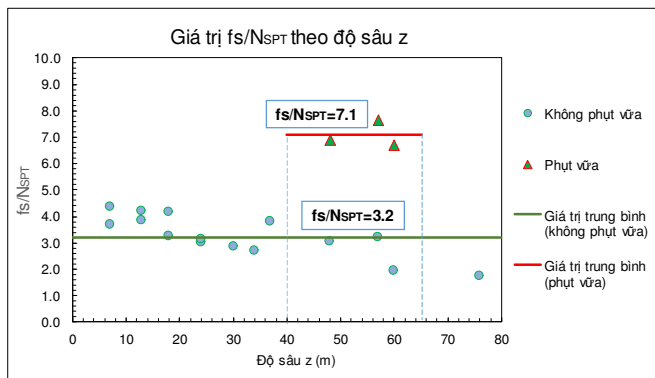


Hình 6. Ma sát đơn vị đo được tại các đoạn cọc TP2.

Dựa vào kết quả ma sát đơn vị  $f_s$  đo được, nhóm tác giả tiến hành tổng hợp ma sát đơn vị theo độ sâu cùng với chỉ số  $N_{SPT}$  tương ứng trong các đoạn thân cọc. Giá trị tổng hợp được thể hiện trong Bảng 1. Số liệu được tổng hợp trong mục này được sử dụng đánh giá so sánh ma sát đơn vị ở mục tiếp theo.

**3. Phân tích hiệu quả tăng ma sát đơn vị  $f_s(kN/m^2)$**

Giá trị  $f_s/N_{SPT}$  theo độ sâu  $z$  từ kết quả thí nghiệm đo đạt của 2 cọc TP1 và TP2 được thể hiện ở Hình 7. Đối với đoạn cọc không phụt vữa giá trị trung bình này là 3,2, đối với đoạn cọc phụt vữa giá trị này tăng đến 7,1. Điều này có nghĩa là tại những vị trí thân cọc được phụt vữa ma sát đơn vị  $f_s(kN/m^2)$  tăng 2,2 lần so với những vị trí không phụt vữa. Điều này cũng dễ dàng thấy được từ bảng tổng hợp ma sát đơn vị theo độ sâu Bảng 1. Tại vị trí độ sâu phụt vữa (-42m đến -64m) của cọc TP2, giá trị ma sát đo được cao hơn gấp 2,2 đến 2,3 lần so với đoạn cọc không phụt vữa của cọc TP1 tương ứng cùng độ sâu.

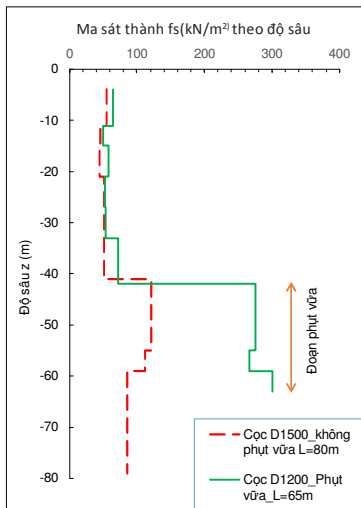


Hình 7. Giá trị  $f_s/N_{SPT}$  theo độ sâu.

**Bảng 1.** Ma sát đơn vị  $f_s$  và chỉ số  $N_{SPT}$  theo độ sâu.

Dự án		Friendship Tower					
Vị trí		Quận 1, TP. Hồ Chí Minh					
Tên cọc		TP1			TP2		
Tiết diện cọc (mm)		D1500			D1200		
Chiều dài cọc (m)		80			65		
Tải thiết kế (T)		1500			1000		
Tải thử tĩnh lớn nhất (T)		3000			3150		
Ghi chú		Không phụt vữa			Phụt vữa từ cao độ -42m đến -64m		
Cao độ (m)	Lớp đất	$N_{SPT}$	$f_s(kN/m^2)$	$f_s/N_{SPT}$	$f_s(kN/m^2)$	$f_s/N_{SPT}$	
0	San lấp	-	-	-	-	-	
2	San lấp	-	-	-	-	-	
4	Sét pha	15	55	3,67	65	4,33	
6							
8							
10							
12	Sét pha	12	46	3,83	50	4,17	
14							
16	Sét pha	14	45	3,21	58	4,14	
18							
20							
22							
24	Cát bụi	17	51	3,00	53	3,12	
26							
28	Cát bụi	19	51	2,68	54	2,84	
30							
32							
34							
36							
38							
40							
42					Sét pha	40	121
44							
46							
48							
50							
52							
54							
56	Sét pha	35	112	3,20	267	7,63	
58							
60	Cát bụi	45	86	1,91	301	6,69	
62							
64							
66							
68							
70							
72							
74	Cát sét	50	86	1,72	-	-	
76							
78							
80							

Hình 8 thể hiện ma sát thành đơn vị  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>) lớn nhất đo được theo độ sâu từ thí nghiệm cọc TP1 và cọc TP2. Có thể nhận thấy rằng đối với đoạn cọc không phụt vữa (-0m đến -42m) ma sát thành đo được ở cả 2 cọc TP1 và TP2 không có sự khác biệt quá lớn, giá trị  $f_s$  đo được là như nhau. Điều này hoàn toàn trái ngược với đoạn cọc được phụt vữa (-42m đến -64m) của cọc TP2. Trong đoạn cọc phụt vữa này có sự khác biệt rất lớn và rõ ràng về giá trị ma sát đơn vị  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>). Giá trị  $f_s$  tăng gấp khoảng 2,2 lần so với đoạn không phụt vữa cùng chiều sâu tương ứng. Từ đây có thể thấy được hiệu quả của giải pháp phụt vữa dọc thân cọc làm tăng ma sát đơn vị  $f_s$ .



**Hình 8.** Giá trị ma sát đơn vị theo độ theo độ sâu cọc TP1 và TP2.

Để làm rõ hơn hiệu quả phụt vữa thân cọc trong đất cát hay đất sét làm tăng giá trị ma sát đơn vị nhiều hơn so với không phụt vữa, nhóm tác giả tiến hành phân chia ma sát đơn vị đo được  $f_s$  theo loại đất khác nhau và tổng hợp giá trị trung bình trong Bảng 2 bên dưới. Kết quả cho thấy rằng hiệu quả phụt vữa trong đất cát cao hơn so với đất sét nhiều. Cụ thể Bảng 2 cho thấy hiệu quả phụt vữa cho đoạn cọc nằm trong đất sét chỉ làm tăng ma sát  $f_s$  đơn vị lên 1,9 so với không phụt vữa, trong khi đó con số này đối với đất cát là tăng 2,7 lần.

**Bảng 2.** Tỷ số  $f_s/N_{SPT}$  cho đoạn cọc phụt vữa và không phụt vữa từ kết quả thí nghiệm.

Loại đất	$f_s/N_{SPT}$		Tỷ số
	Không phụt vữa	Phụt vữa	
Cát	2,7	7,3	2,7
Sét	3,5	6,7	1,9

Để chứng minh việc phụt vữa trong đất cát mang lại hiệu quả nhiều hơn trong đất sét tác giả tiến hành so sánh kết quả ma sát đơn vị  $f_s$  đo được trong đất cát và đất sét của đoạn cọc phụt vữa với giá trị quy định trong tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc theo TCVN 10304 : 2014 [2]. Bảng 3 cho thấy khi tính toán ma sát đơn vị  $f_s$  cho cọc theo TCVN 10304 : 2014 [2], đối với đất cát  $f_s=3,3N_{SPT}$ , đối với đất sét  $f_s=\alpha 6,25N_{SPT}$  ( $f_s=3,2N_{SPT} - 6,25N_{SPT}$ ). So với ma sát đơn vị  $f_s/N_{SPT}$  đo được của đoạn cọc phụt vữa đối với đất cát sẽ tăng 2,2 lần trong khi đất sét tăng từ 1,1 đến 2,1 lần trung bình 1,6 lần.

**Bảng 3.** Tỷ số  $f_s/N_{SPT}$  từ kết quả thí nghiệm so với tính toán theo TCVN 10304:2014.

Loại đất	$f_s/N_{SPT}$		Tỷ số
	Không phụt vữa TCVN 10304:2014	Phụt vữa	
Cát	3,3	7,3	2,2
Sét	$\alpha 6,25$ (3,2-6,25)	6,7	1,1-2,1 (1,6)

**4. Mô phỏng ứng xử cọc bằng phương pháp phần tử hữu hạn**

Trong mục này nhóm tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Plaxis 3D 2019) để phân tích ứng xử của cọc dựa trên kết quả thử tĩnh. Mục tiêu của phần này là tìm ra cách mô phỏng chính xác ứng xử cọc bằng phương pháp số dựa trên các thông số địa chất, mô hình đất và những tương quan về độ cứng đất. Kết quả trong mục này có thể áp dụng cho việc dự đoán trước sức chịu tải cọc bằng phương pháp mô phỏng số. Mô hình Hardening Soil được lựa chọn để phân tích kết quả thử tĩnh cọc, bởi vì đây là mô hình nâng cao có sử dụng độ cứng dờ tải  $E_{ur}$  phù hợp với ứng xử dờ tải khi thử tĩnh cọc, ngoài ra mô hình có xét đến thành phần biến dạng dẻo của đất. So với các mô hình đất khác như Mohr-Coulomb, Soft soil thì mô hình Hardening Soil là mô hình thích hợp nhất dùng mô phỏng thử tĩnh cọc.

**4.1. Cọc PT2**

Căn cứ vào cao độ gắn các đầu đo biến dạng dọc thân cọc. Các lớp đất sử dụng để mô hình Plaxis 3D ứng xử của cọc được phân chia theo các vị trí tương ứng như Bảng 1. Trong mô hình phân tích biến dạng bằng Plaxis 3D, 2 thông số quan trọng nhất là thông số độ bền bao gồm lực dính  $c$  và góc ma sát  $\varphi$  và thông số về độ cứng  $E$ , các thông số này ảnh hưởng trực tiếp và đáng kể đến kết quả chuyển vị và nội lực cọc.

Về mặt xác định thông số độ bền cho mô hình phân tích cọc, thông số độ bền chính là ma sát đơn vị  $f_s$  (kN/m<sup>2</sup>) đo được tại các đoạn cọc khác nhau, hay hiểu 1 các đơn giản đó là thông số kháng cắt hoặc lực dính giữa cọc và đất  $c$  (kNm<sup>2</sup>). Còn thành phần góc ma sát  $\varphi$  đã chuyển toàn bộ sang ma sát đơn vị  $f_s$  phụ thuộc vào áp lực ngang do đó có thể xem  $\varphi=0$  và  $c=f_s$  trong trường hợp này. Giá trị  $f_s$  đối với đoạn cọc không phụt vữa nằm trong phạm vi  $f_s=(2,8-4,3)N_{SPT}$ , trung bình là  $f_s=3,2N_{SPT}$ . Giá trị  $f_s$  đối với đoạn cọc phụt vữa nằm trong phạm vi  $f_s=(6,7-7,3)N_{SPT}$ , trung bình là  $f_s=7,1N_{SPT}$ . Trên thực tế dựa trên chỉ số  $N_{SPT}$  trung bình của đoạn cọc theo độ sâu ta có thể ước lượng được giá trị lực dính  $c$  thông qua ma sát đơn vị  $f_s$  tính từ  $N_{SPT}$ .

Về thông số độ cứng  $E$  của các lớp đất được lấy theo tương quan với giá trị  $f_s E=500f_s$ . Các giá trị độ cứng  $E_{oed}$  và  $E_{ur}$  lấy theo khuyến cáo của Plaxis. Sự phân chia các lớp đất theo độ sâu, thông số độ bền và độ cứng của các lớp đất cho mô hình phần tử hữu hạn được tổng hợp trong Bảng 4.

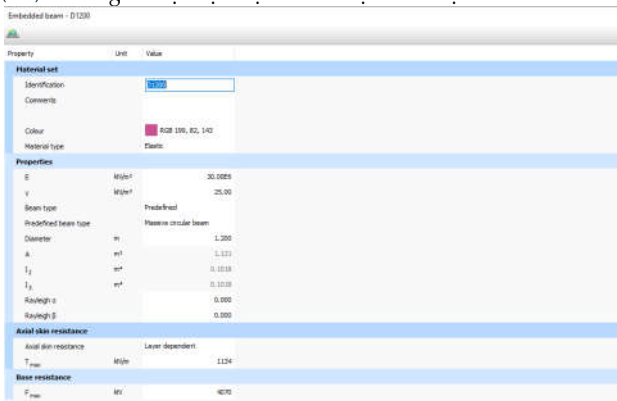
Cọc được mô hình bằng phần tử Embedded Beam với mô đun đàn hồi cọc tương ứng với lát liệu làm cọc và ma sát đơn vị phụ thuộc vào lớp đất. Đường kính cọc được khai báo là 1,2m. Khai báo vật liệu cọc trong mô hình Plaxis được thể hiện Hình 7.

Trong Axial skin resistance của vật liệu cọc chọn layer dependent tức là ma sát đơn vị  $f_s$  của cọc sẽ phụ thuộc trực tiếp

**Bảng 4.** Thông số địa chất mô hình cọc TP2.

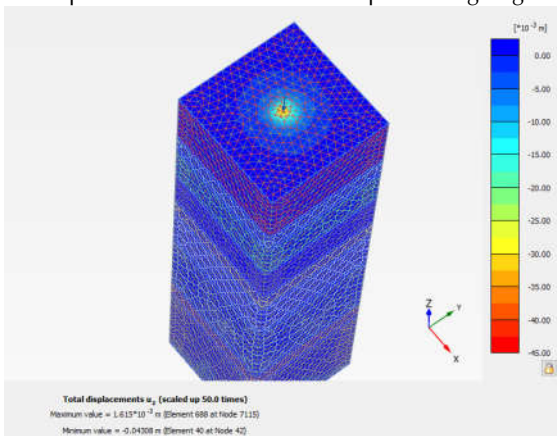
Lớp đất	Depth (m)	$f_s/N_{spt}$	$N_{spt}$	$C=fs$ (kPa)	$\phi$ (độ)	$E_{50}^{ref}$ (kPa)	$E_{oed}^{ref}$ (kPa)	$E_{ur}^{ref}$ (kPa)	$\nu$	$m$
Lớp 1. Sét pha	0-10	4,33	15	65	0				0,2	1
Lớp 2. Sét pha	0-14	4,17	12	50	0				0,2	1
Lớp 3. Sét pha	14-21	4,14	14	58	0				0,2	1
Lớp 4. Cát pha	21-25	3,12	17	53	0				0,2	0,5
Lớp 5. Cát pha	25-32	2,84	19	54	0	$500f_s$	$E_{50}^{ref}$	$3E_{50}^{ref}$	0,2	0,5
Lớp 6. Cát pha	32-41	3,79	19	72	0				0,2	0,5
Lớp 7. Sét pha	41-55	6,88	40	275	0				0,2	1
Lớp 8. Sét pha	55-57	7,63	35	267	0				0,2	1
Lớp 9. Cát pha	57-75	6,69	45	301	0				0,2	0,5

vào thông số độ bền c của các lớp đất. Giá trị  $T_{max}(kN/m)$  là sức kháng ma sát thành lớn nhất theo độ sâu của cọc. Trong tính toán ma sát huy động thì giá trị ma sát huy động của cọc không vượt quá  $T_{max}$ . Giá trị này được lấy từ kết quả đo ma sát  $f_s$  lớn nhất nhân với chu vi cọc. Về sức kháng mũi  $F_{max}(kN)$  là giá trị lực lớn nhất huy động ở mũi cọc. Giá trị này được lấy theo giá trị lớn nhất sức kháng mũi  $f_b(kN/m^2)$  đo được tại mũi cọc nhân với diện tích cọc  $A_b(m^2)$ . Thông số vật liệu cọc TP2 được thể hiện Hình 7.



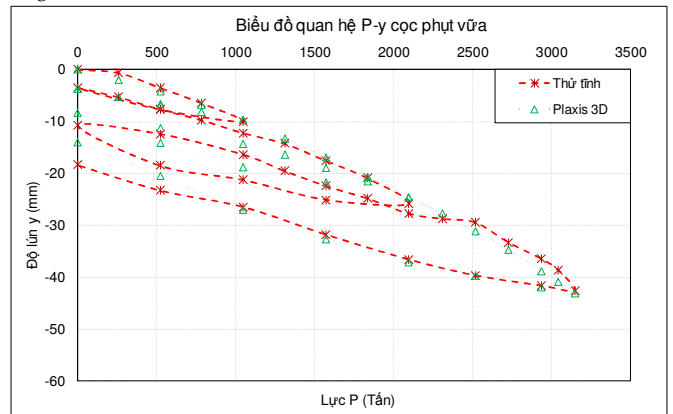
**Hình 7.** Thông số vật liệu cọc TP2.

Hình 9 thể hiện biến dạng của cọc TP2 ở cấp tải lớn nhất 3150T. Hình 10 so sánh kết quả độ lún đầu cọc từ kết quả thử tĩnh và kết quả mô hình Plaxis 3D với cấp tải tương ứng.

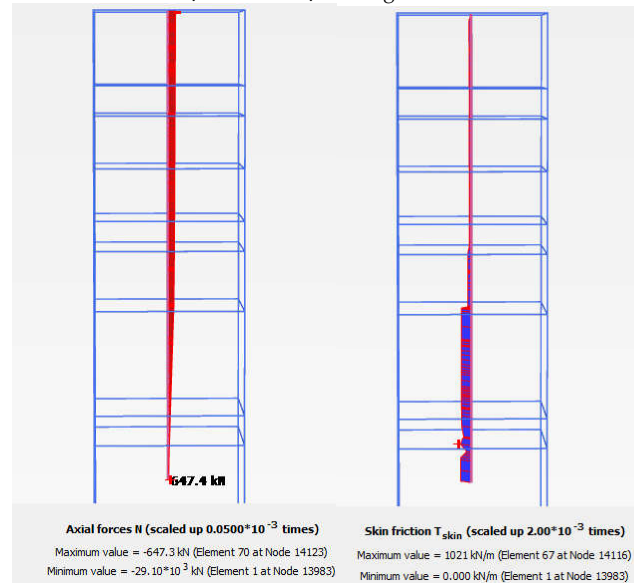


**Hình 9.** Kết quả mô phỏng cọc TP2 cấp tải 3150T.

Hình 11 thể hiện kết quả lực dọc thân cọc và ma sát thành huy động của cọc TP2 ở cấp tải lớn nhất 3150T. Kết quả ma sát thành  $F_s(kN)$  của cọc TP2 từ thử tĩnh cọc và từ kết quả mô phỏng bằng Plaxis 3D được so sánh ở Hình 12.



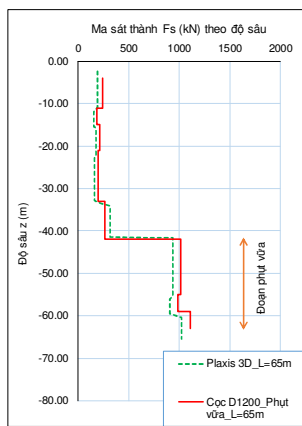
**Hình 10.** So sánh độ lún đầu cọc TP2 giữa thử tĩnh và Plaxis 3D.



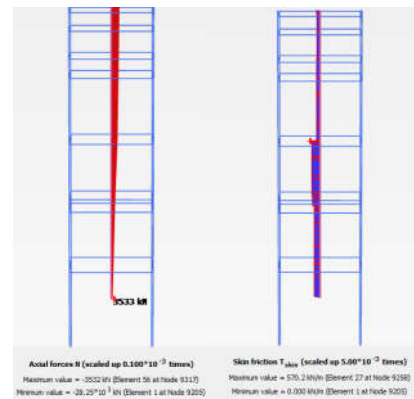
**Hình 11.** Lực dọc thân cọc và ma sát thành cọc TP2 từ mô hình Plaxis 3D.

**Bảng 5.** Thông số địa chất mô hình cọc TP1.

Lớp đất	Depth (m)	$f_s/N_{spt}$	$N_{spt}$	$C=fs$ (kPa)	$\phi$ (độ)	$E_{50}^{ref}$ (kPa)	$E_{oed}^{ref}$ (kPa)	$E_{ur}^{ref}$ (kPa)	$\nu$	$m$
Lớp 1. Sét pha	0-10	3,67	15	55	0				0,2	1
Lớp 2. Sét pha	0-14	3,83	12	46	0				0,2	1
Lớp 3. Sét pha	14-21	3,21	14	45	0				0,2	1
Lớp 4. Cát pha	21-25	3,00	17	51	0				0,2	0,5
Lớp 5. Cát pha	25-41	2,68	19	51	0	$500f_s$	$E_{50}^{ref}$	$3E_{50}^{ref}$	0,2	0,5
Lớp 6. Cát pha	41-55	3,03	40	121	0				0,2	0,5
Lớp 7. Sét pha	55-57	3,20	35	112	0				0,2	1
Lớp 8. Sét pha	57-72	1,91	45	86	0				0,2	1
Lớp 9. Cát pha	72-100	1,72	50	86	0				0,2	0,5



**Hình 12.** So sánh mà sát thành  $F_s$  (kN) cọc TP2 giữa thử tĩnh và Plaxis 3D.

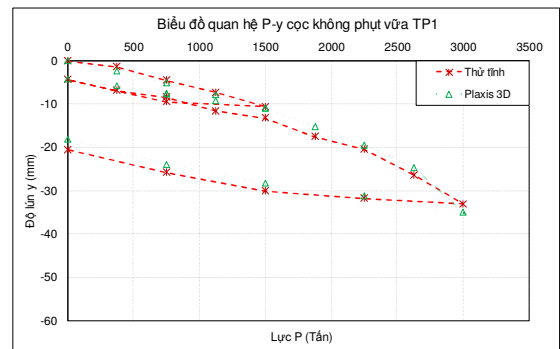


**Hình 13.** Lực dọc thân cọc và ma sát thành cọc TP2 từ mô hình Plaxis 3D.

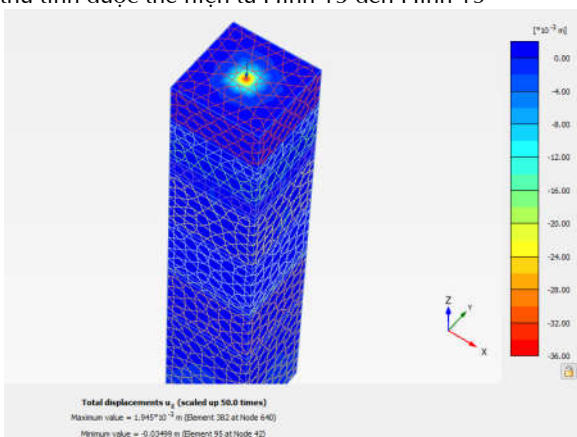
**4.2. Cọc PT1**

Thông số địa chất sử dụng mô phỏng cọc TP1 cũng tương tự như cọc TP2. Giá trị  $f_s$  đối với đoạn cọc không phụt vừa nằm trong phạm vi  $f_s=(2,8-4,3)N_{spt}$ , trung bình là  $f_s= 3,2N_{spt}$  và giá trị độ cứng  $E=500f_s$ . Bảng 5 thể hiện thông số địa chất sử dụng mô phỏng cọc TP1. Về thông số vật liệu cọc cũng sử dụng phần tử Embedded Beam với mô đun đàn hồi cọc tương ứng với lát liệu làm cọc và ma sát đơn vị phụ thuộc vào lớp đất. Đường kính cọc được khai báo là 1,5m.

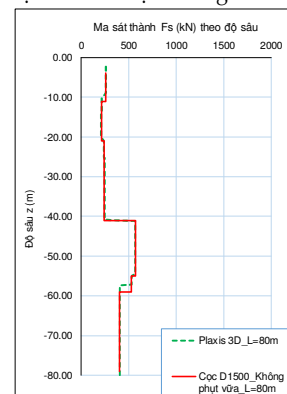
Kết quả phân tích cọc TP2 bằng Plaxis 3D và so sánh với kết quả thử tĩnh được thể hiện từ Hình 13 đến Hình 15



**Hình 14.** So sánh độ lún đầu cọc TP1 giữa thử tĩnh và Plaxis 3D.



**Hình 15.** Kết quả mô phỏng cọc TP1 cấp tải 3000T.



**Hình 15.** So sánh mà sát thành  $F_s$  (kN) cọc TP1 giữa thử tĩnh và Plaxis 3D.

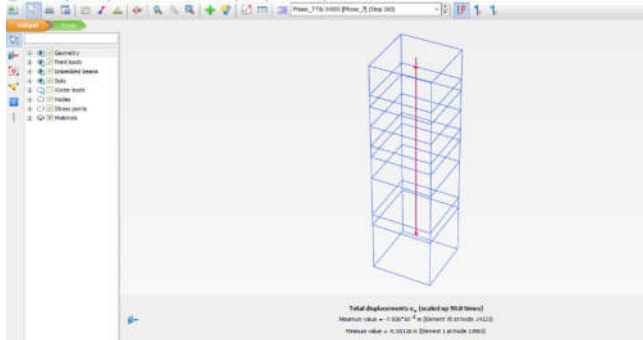
**4.3. Nhận xét**

Kết quả phân tích bằng Plaxis 3D được so sánh với kết quả thí nghiệm ở Hình 10, 12, 14, 15 là khá trùng khớp với nhau, sai số không đáng kể. Cụ thể cọc TP1 tại cấp tải lớn nhất ở chu kỳ 2 độ lún đầu cọc đo được từ kết quả thử tĩnh là 33,04mm trong khi đó giá trị từ mô phỏng 3D là 35,0mm sự khác biệt là 6%. Cọc TP1 tại cấp tải lớn nhất chu kỳ 3 độ lún đầu cọc từ thử tĩnh là 42,59mm trong khi mô phỏng Plaxis 3D cho kết quả độ lún 43,1mm, sai số là 2%. Kết quả này chứng minh phương pháp mà nhóm tác giả sử dụng để mô phỏng cho cọc đoạn cọc phụt vữa và đoạn cọc không phụt vữa là đủ độ tin cậy.

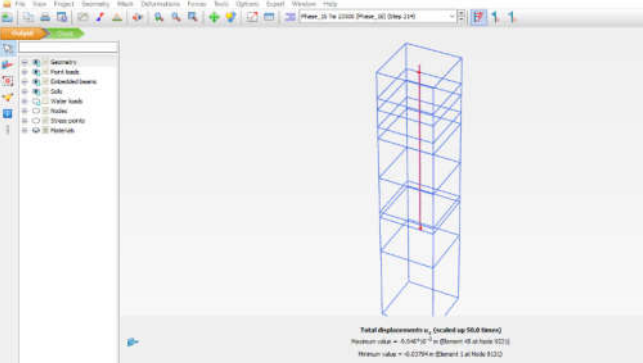
Sự khác biệt giữa mô phỏng đoạn cọc phụt vữa và không phụt vữa trong cọc TP1 L=65m này là giá trị độ bền c và độ cứng E của các lớp đất. Tại các đoạn cọc không phụt vữa giá trị  $c=fs$  đưa vào mô hình, trong đó giá trị  $fs$  trung bình  $fs=3,2N_{SPT}$  và  $E=500fs$ . Tại các đoạn cọc được phụt vữa giá trị  $fs$  trung bình được lấy là  $fs=7,1N_{SPT}$  và  $E=500fs$ . Sự khác biệt chỉ là sự gia tăng độ bền và độ cứng của đất tại các đoạn cọc phụt vữa và đường kính cọc giữ nguyên không tăng.

Từ phương pháp tiếp cận này có thể áp dụng mô phỏng số để mô phỏng so sánh sức chịu tải cực hạn của cọc không phụt vữa và có phụt vữa cùng chiều dài dựa trên biểu đồ quan hệ tải trọng P và độ lún đầu cọc y từ kết quả mô phỏng. Phương pháp này hiểu đơn giản là phương pháp thử tĩnh trên mô hình cũng tương tự như thử tĩnh hiện trường, kết quả là biểu đồ P-y được xác định, dựa vào biểu đồ này có thể xác định sức chịu tải cực hạn theo các phương pháp khác nhau về độ lún giới hạn  $S_{max}$ . Cách tiếp cận này sẽ được áp dụng ở mục kế tiếp mục 5 để đánh giá hiệu quả tăng sức chịu tải của cọc phụt vữa.

**5. Phân tích hiệu quả cọc phụt vữa và không phụt vữa dựa trên sức chịu tải cực hạn**



Hình 16. Kết quả độ lún đầu cọc TP2 cấp tải trọng 3450 tấn.



Hình 17. Kết quả độ lún đầu cọc TP3 cấp tải trọng 2350 tấn.

Trong mục này nhóm tác giả sử dụng phương pháp tiếp cận trên để mô phỏng đoạn cọc phụt vữa và không phụt vữa như đã trình bày và kiểm chứng bằng kết quả thực tế ở Mục 4. Mục tiêu mục này là đánh giá sức chịu tải cực hạn của cọc phụt vữa và không phụt vữa cùng 1 chiều dài L.

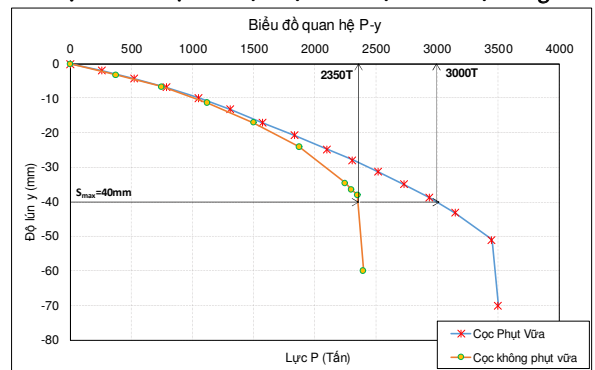
Cọc phụt vữa TP2 đường kính 1200mm chiều dài 65m phụt vữa đoạn cọc -42m đến -64m (đã được mô hình kiểm chứng với kết quả thử tĩnh) được sử dụng để so sánh với cọc TP3 đường kính 1200mm chiều dài 65m và không phụt vữa (cọc được mô hình, dựa trên mô hình cọc TP1 chiều dài và đường kính cọc được giảm xuống để so sánh).

Phần mềm plaxis 3D được sử dụng để phân tích sức chịu tải cực hạn của cọc thông qua biểu đồ quan hệ P-y. Tải trọng P được tác dụng liên tục đến khi nào cọc đạt trạng thái phá hoại (không đỡ tải). Mục tiêu của việc gia tải liên tục không đỡ tải là tìm quan hệ đường cong tải trọng P và độ lún đầu cọc y và điểm phá hoại. Dựa vào các phương pháp xác định sức chịu tải cực hạn để đánh giá sức chịu tải cực hạn của 2 cọc TP2 và TP3.

**Bảng 6.** Kết quả tính toán độ lún đầu cọc cho cọc TP2 và TP3 bằng Plaxis 3D.

Cọc TP2		Cọc TP3	
Tải trọng (Tấn)	Độ lún đầu cọc (mm)	Tải trọng (Tấn)	Độ lún đầu cọc (mm)
0	0	0	0,0
375	-3,2	262	-2,0
750	-6,7	525	-4,3
1125	-11,3	787	-6,8
1500	-17,1	1050	-9,8
1875	-24,0	1312	-13,2
2250	-34,5	1575	-17,0
2300	-36,3	1837	-20,7
2350	-38,0	2100	-24,7
2400	-60,0	2310	-27,9
-	-	2520	-31,2
-	-	2730	-34,9
-	-	2940	-38,8
-	-	3150	-43,1
-	-	3450	-51,0
-	-	3500	-70,0

**5.1. Xác định sức chịu tải cực hạn của cọc theo độ lún giới hạn**



Hình 18. Xác định sức chịu tải cực hạn cọc TP2 và TP3.

Theo TCVN 10304:2014 sức chịu tải cực hạn của cọc từ kết quả thí nghiệm thử tĩnh được xác định theo độ lún S.

$$S = \xi S_{gh} + S_e \tag{1}$$

**S<sub>gh</sub>** là độ lún giới hạn trung bình của móng nhà hoặc công trình cần thiết kế **S<sub>gh</sub>=10cm** theo Mục 1, phụ lục E, TCVN 10304:2014 [1].

**S<sub>e</sub>** là biến dạng đàn hồi của cọc từ thí nghiệm thử tĩnh. **Hệ số ξ** lấy bằng 0,2 khi thử cọc với độ lún ổn định quy ước theo quy định trong TCVN 9393:2012 [2].

Nếu độ lún **S** xác định theo công thức (1) lớn hơn 40mm thì trị riêng của sức chịu tải cực hạn của cọc **R<sub>c,u</sub>** lấy bằng tải trọng tương ứng với độ lún **S = 40mm**. Trong trường hợp này độ lún tương ứng sức chịu tải cho phép của cọc được hiểu là 40mm. Vì vậy **S<sub>max</sub>=40mm** sẽ được lựa chọn để xác định sức chịu tải cực hạn của cọc dựa trên biểu đồ P-y.

Hình 18 thể hiện kết quả xác định sức chịu tải cực hạn của cọc phụt vữa TP2 và cọc không phụt vữa TP3 cùng chiều dài **L=65m**.

**5.2. Tính toán sức chịu tải cực hạn theo TCVN 10304:2014**

Sức chịu tải cọc theo TCVN 10304: 2014 dựa vào chỉ số **N<sub>SPT</sub>** được sử dụng để dựa đoán sức chịu tải cực hạn của cọc TP3 chiều dài 65m. Kết quả tính toán theo TCVN 10304:2014 là 2395 tấn. Nhược điểm của phương pháp này là chỉ xác định sức chịu tải cực hạn không tính toán được độ lún đầu cọc. Tuy nhiên đây cũng là 1 cơ sở đủ độ tin cậy để so sánh với kết quả mô phỏng bằng Plaxis 3D.

**Bảng 7.** Kết quả dự đoán sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp.

Loại cọc	Cọc không phụt vữa D1200 L=65m TP3		Cọc phụt vữa L D1200 L=65m TP2
	TCVN 10304:2014	Phần tử hữu hạn	Thử tĩnh
Sức chịu tải cực hạn (Tấn)	2395	2350	3000

**5.3. Nhận xét**

Kết quả Bảng 7 cho thấy, đối với cọc TP3 cọc không phụt vữa sức chịu tải cực hạn tính toán theo chỉ số **N<sub>SPT</sub>** theo TCVN 10304:2014 và sức chịu tải cực hạn xác định theo độ lún giới hạn **S<sub>max</sub>** từ kết quả mô phỏng số là giống nhau, sự sai khác là 2%. Điều này cho thấy độ chính xác và độ tin cậy của mô hình 3D, có thể dùng so sánh đánh giá với cọc phụt vữa.

So sánh sức chịu tải cực hạn của cọc phụt vữa 1/3 chiều dài cọc ở vị trí gần mũi cọc (TP2, L=65m, D=1200mm, R<sub>c,u</sub>=3000T) và cọc không phụt vữa thân cọc (TP2, L=65m, d=1200mm, R<sub>c,u</sub>=2350T), sức chịu tải cực hạn của cọc tăng 25%-30%.

Ngoài ra ở giai đoạn ban đầu 50% tải cực hạn tức là với cấp tải nhỏ hơn 1500T (Hình 18), ta thấy rằng độ lún cọc phụt vữa và không phụt vữa là như nhau xấp xỉ 17mm. Có thể thấy rằng với độ lún nhỏ hơn 20mm thì hiệu quả của đoạn phụt vữa ở độ sâu (-42m đến -64m) chưa phát huy sức chịu tải. Khi tải trọng tiếp tục tăng lớn hơn 1500T thì độ lún của cọc không phụt vữa nhiều hơn cọc phụt vữa. Có thể là do đoạn cọc phụt vữa làm giảm độ lún, tăng khả năng chịu tải cọc khi độ lún đầu cọc lớn hơn 20mm.

**Kết luận**

Bài báo tiến hành phân tích hiệu quả của giải pháp phụt vữa thân cọc cho 1 dự án cụ thể địa chất quận 1 thành phố Hồ Chí Minh, một số kết quả thu được như sau:

Giá trị trung bình **f<sub>s</sub>/N<sub>SPT</sub>** từ kết quả thí nghiệm đối với đoạn cọc không phụt vữa là 3,2, đối với đoạn cọc không phụt vữa là 7,1. Đoạn cọc phụt vữa ma sát đơn vị tăng trung bình 2,2 lần so với đoạn cọc không phụt vữa.

Hiệu quả phụt vữa cho đoạn cọc trong đất sét cao hơn so với trong đất sét. Cụ thể phụt vữa cho đoạn cọc nằm trong đất cát làm tăng 2,7 lần ma sát đơn vị trong khi phụt vữa cho đoạn cọc nằm trong đất sét ma sát đơn vị chỉ tăng 1,9 lần.

So sánh ma sát đơn vị của đoạn cọc phụt vữa với ma sát đơn vị qui định trong tính toán sức chịu tải cọc theo TCVN 10304: 2014 [đối với đất cát **f<sub>s</sub>=3,3N<sub>SPT</sub>**, đối với đất sét **f<sub>s</sub>=(3,2-6,25N<sub>SPT</sub>)**]. Đoạn cọc phụt vữa trong đất cát tăng 2,2 lần ma sát đơn vị trong khi đoạn cọc phụt vữa trong đất sét sẽ tăng trung bình 1,6 lần.

Sử dụng mô hình Hardening Soil với thông số độ bền của đất **c=fs kN/m<sup>2</sup>**, trong đó giá trị **f<sub>s</sub>** đối với đoạn cọc không phụt vữa nằm trong phạm vi **f<sub>s</sub>=(2,8-4,3)N<sub>SPT</sub>**, trung bình là **f<sub>s</sub>= 3,2N<sub>SPT</sub>**, đối với đoạn cọc phụt vữa nằm trong phạm vi **f<sub>s</sub>=(6,7-7,3)N<sub>SPT</sub>**, trung bình là **f<sub>s</sub>=7,1N<sub>SPT</sub>** và thông số độ cứng của đất **E=500f<sub>s</sub>** để mô phỏng ứng xử của cọc phụt vữa và không phụt vữa là hoàn toàn phù hợp với kết quả thử tĩnh. Kết quả đã được kiểm chứng bằng kết quả thực tế của cọc TP1 và TP2 và sức chịu tải cực hạn theo TCVN 10304:2014.

Hiệu quả phụt vữa 1/3 chiều dài thân cọc của cọc TP1 (chiều dài **L=65m**, phụt vữa -42m đến -64m) làm tăng sức chịu tải cực hạn của cọc lên 25%-30% so với cọc cùng chiều dài không phụt vữa thân cọc.

Hiệu quả làm việc của đoạn cọc phụt vữa 1/3 chiều dài cọc TP1 chỉ phát huy tác dụng khi tải trọng tác dụng đầu cọc lớn hơn 50% tải cực hạn và độ lún đầu cọc lớn hơn 20mm. Trước giai đoạn này ứng xử cọc phụt vữa và không phụt vữa là như nhau về độ lún đầu cọc, hiệu quả ma sát huy động của cọc phụt vữa chưa được phát huy.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Gouvenot, D., & Gabiax, F. D. (1975). A new foundation technique using piles sealed by concrete under high pressure. In Proc., 7th Annual Offshore Technical Conf.
- [2] Stocker, M. (1983). The influence of post-grouting on the loadbearing capacity of bored piles. In the Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, Finland, pp. 167-170.
- [3] Bruce, D. A. (1986). Enhancing the performance of large diameter piles by grouting. Ground Engineering, 19(4), 9-15.
- [4] Troughton, V.M. and Stocker, M. (1996). Based and shaft grouted piles. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering, 119(3): 186-192
- [5] Littlechild, B. D., Plumbridge, G. D., & Free, M. W. (1998). Shaft grouted piles in sand and clay in Bangkok. In Proc. 7th International Conference and Exhibition on Piling and Deep Foundations (pp. 171-178).
- [6] Bộ Xây dựng (2014), TCVN 10304:2014, Móng cọc- Tiêu chuẩn thiết kế, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [7] Bộ Xây dựng (2012), TCVN 9393:2012, Cọc – Phương pháp thí nghiệm bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục, NXB Xây dựng, Hà Nội.