

Nghiên cứu hiệu ứng nhóm cọc bằng các thí nghiệm nén tĩnh trên mô hình vật lý tỷ lệ

Research pile group effects by modeling of axially loaded tests

Ngày nhận bài: 6/2/2016

Ngày sửa bài: 25/4/2016

Ngày chấp nhận đăng: 13/5/2016

Bạch Vũ Hoàng Lan, Trần Thị Trâm

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả phân tích hiệu ứng nhóm cọc thông qua các thí nghiệm nén tĩnh kết hợp với đo biến dạng của ba cọc đơn và ba nhóm 9 cọc làm việc trong nền đất sét yếu trên mô hình vật lý tỷ lệ. Các thí nghiệm tiến hành trên nền đất sét chế bị trong thùng thí nghiệm, thùng này có kích thước dài, rộng và cao lần lượt là 700mm×700mm×800mm. Cọc chế tạo bằng ống nhôm, có đường kính $d=16\text{mm}$, với ba loại chiều dài cọc là 320mm (20d), 400mm (25d) và 480mm (30d). Khoảng cách giữa các cọc trong nhóm bằng ba lần đường kính cọc (3d). Để đo biến dạng dọc trục mỗi cọc được lắp đặt strain gages tại 3 cao trình khác nhau. Kết quả tính toán hệ số nhóm của các nhóm 9 cọc là 0.641, 0.633, 0.619 sắp xếp theo thứ tự nhóm có chiều dài cọc tăng dần, tương ứng với giá trị của hệ số độ lún là 2.24; 2,31, 2.35. Các phân tích cho thấy hiệu ứng nhóm rõ rệt hơn khi tăng chiều dài cọc, dẫn đến giảm khả năng chịu lực và gia tăng độ lún của nhóm cọc.

Từ khóa: móng cọc, thí nghiệm mô hình, hệ số nhóm, hệ số độ lún

ABSTRACT:

The paper presents the analysis of pile group effects from results of the static load tests and strain measurements on small scale models of single piles and three 9- pile groups in soft clay. The tests were conducted in a clay soil bed prepared in a test tank, which has dimension 700mm×700mm×800mm. The model piles were made of aluminum tubes, in 16mm diameter (d) and having embedded length about 320mm (20d), 400mm (25d) và 480mm (30d). The center-to-center distance of piles in groups is about 3 times of pile diameter. Three strain gauges were installed along the pile length to indicate axial strains of different levels pile. The test results calculated the pile group efficiency about 0.641, 0.633 and 0.619; the groups settlement ratio have about 2.24; 2,31 and 2.35 respectively for increment of pile lengths All discussion suggested that significant effect to group having longer pile length to reduce capacity of pile group and rise settlement of these.

Keywords: pile foundation, model test, group efficiency, group settlement ratio

Bạch Vũ Hoàng Lan

Khoa Xây dựng, Trường đại học Kiến Trúc, Tp Hồ Chí Minh, Việt nam, E-mail: lan.bachvuhoang@uah.edu.vn

bachvuhoang@uah.edu.vn

ĐT: 0903 696 740

Trần Thị Trâm

Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà nội, Việt nam E-mail: ducnt1209@yahoo.com

[yahoo.com](mailto:ducnt1209@yahoo.com).

1 GIỚI THIỆU

Khi khoảng cách giữa cọc trong một nhóm cọc không đủ lớn thì sự tương tác giữa cọc-đất-cọc trong nền đất dính sẽ làm giảm khả năng làm việc của nhóm nếu so sánh với cọc đơn làm việc trong cùng điều kiện. Ngược lại, trong nền đất rời các nghiên cứu của Vesic (1977) đã cho thấy quá trình ép hoặc đóng cọc làm nén chặt nền đất xung quanh cọc, do vậy hiệu ứng nhóm cọc trong các trường hợp này thường không đáng kể. Để thực hiện các thí nghiệm hiện trường cho nhóm cọc phải cần có chi phí khá lớn, do vậy phần lớn các nghiên cứu về sức chịu tải của nhóm cọc đều sử dụng mô hình thí nghiệm thu nhỏ. Nhiều tác giả như: Whitaker (1957), Vesic (1967), Itoh và Yamagata (1998)... đã có các thí nghiệm về hiệu ứng nhóm cọc trong nền đất dính, tuy nhiên phần lớn nội dung nghiên cứu tập trung vào các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu ứng nhóm, như: số lượng cọc, khoảng cách giữa các cọc, mặt bằng bố trí cọc... mà ít khi xét đến tác động của chiều dài cọc đến giá trị hệ số nhóm cũng như hệ số độ lún của nhóm cọc.

Để hiểu rõ hơn về cơ chế làm việc của nhóm cọc, bài báo trình bày kết quả tính toán hiệu ứng nhóm, thông qua việc phân tích lực phân phối vào các vị trí cọc, ma sát đơn vị và cường độ sức kháng mũi của cọc đơn và các cọc trong nhóm, xét đến ảnh hưởng của chiều dài cọc. Các thí nghiệm nén tĩnh nhóm cọc và cọc đơn được thực hiện trên mô hình vật lý tỷ lệ. Các nhóm cọc nghiên cứu làm trong nền đất sét trạng thái dẻo mềm, có đường kính cọc $d=16\text{mm}$, với 3 loại chiều dài cọc nằm trong đất lần lượt là 20d, 25d và 30d.

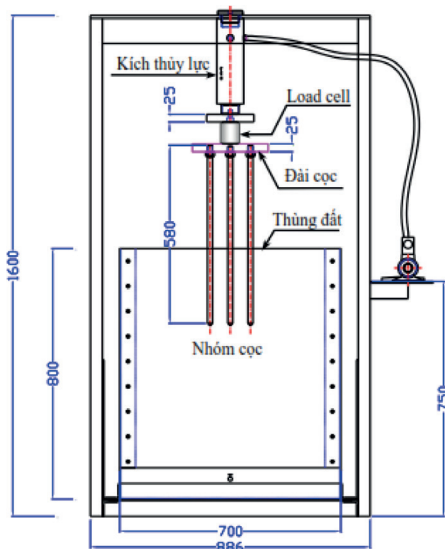
2 THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ QUY TRÌNH THỬ TÍNH CỌC

2.1 Thiết bị thí nghiệm

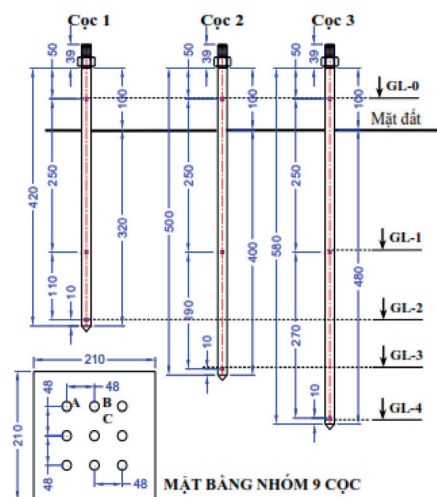
Để mô phỏng nền đất tự nhiên trong thí nghiệm mô hình ta thực hiện chế bị bằng phương pháp đầm nén đất tại độ ẩm tự nhiên trong một thùng chứa. Đất sét được lấy từ hiện

trường có trạng thái dẻo mềm, dung trọng tự nhiên $g=16.5\text{kN/m}^3$, được đảm quản để giữ nguyên độ ẩm $W=40.3\%$. Đất được đưa vào thùng thành từng lớp dày 15cm đến 20cm rồi được nén trước bằng kích thủy lực, sau đó sử dụng chày proctor cải tiến để đảm cho đến khi trọng lượng riêng của đất trong thùng đạt đến giá trị dung trọng tự nhiên. Thùng đất được chế tạo bằng thép tấm dày 5mm, có kích thước dài, rộng, cao lần lượt là 700mm 700mm 800mm (Hình 1).

Hệ thống gia tải bằng kích thủy lực và thùng chứa đất đều được lắp đặt trên hệ khung thép. Kích thủy lực có lực nén tối đa 200kN và được kiểm tra lực nén bằng đồng hồ đo áp và load cell lắp đặt giữa đài cọc và kích thủy lực (Hình 1).



Hình 1. Mặt cắt ngang thiết bị thí nghiệm nén tĩnh cọc



Hình 2. Các cao trình gắn strain gage trên ba loại chiều dài cọc và mặt bằng của nhóm 9 cọc

Cọc thí nghiệm chế tạo bằng các ống nhôm có đường kính 16mm; ống nhôm có chiều

dày 0.5mm; tổng chiều dài của ba loại cọc là 420mm, 500mm và 580mm, với chiều dài phần cọc trong đất tương ứng 320mm (20d), 400mm (25d) và 480mm (30d). Mỗi nhóm 9 cọc sẽ có 3 vị trí: cọc góc (A), cọc biên (B) và cọc giữa (C), được lắp strain gage để đo biến dạng dọc trục. Strain gages được gắn các ở 3 cao trình khác nhau trên mỗi cọc, trong đó GL-0 là cao trình nằm trên mặt đất (Hình 2).

Đài cọc làm bằng thép tấm có kích thước 210mm 210mm 25mm, được khoan và ren sẵn các lỗ để liên kết cọc vào với đài. Trên các đầu cọc được cấu tạo thêm một đai ốc có tác dụng cố định cọc vào đài. Khoảng cách giữa các cọc trong nhóm là 48mm bằng 3 lần đường kính cọc.

Số lượng các thí nghiệm nén tĩnh của cọc đơn và ba nhóm 9 cọc được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Thống kê thí nghiệm cọc đơn và nhóm cọc

STT	Số lượng cọc	Khoảng cách cọc	Tổng chiều dài cọc	Chiều dài cọc trong đất
1	1	-	420 mm	320 mm
2	1	-	500 mm	400 mm
3	1	-	580 mm	480 mm
4	9	48 mm	420 mm	320 mm
5	9	48 mm	500 mm	400 mm
6	9	48 mm	580 mm	480 mm

2.2 Quy trình thử tĩnh cọc

Các cọc trong nhóm được liên kết cố định vào đài trước khi được ép xuống đất trong thùng thí nghiệm. Thí nghiệm nén tĩnh cọc đơn và nhóm cọc đều sử dụng quy trình thử tải nhanh để tránh hiện tượng từ biến của nền đất và tồn tại các biến dạng dư trong cọc do tác động của việc lưu tải.

Thông thường khi thí nghiệm nén tĩnh các loại cọc ép hoặc đóng, sức chịu tải giới hạn của cọc được xác định ứng với khi độ lún cọc bằng 10% đường kính cọc. Trong thí nghiệm trên mô hình vật lý tỷ lệ, đường kính cọc khá nhỏ $d=16\text{mm}$, nếu chỉ tác dụng lực nén đến khi độ lún của cọc đạt 1.6mm, thì cọc chưa thể huy động hết lực ma sát giữa cọc và đất, vì vậy ta sử dụng công thức tính giá trị độ lún cho cọc thử tĩnh theo tiêu chuẩn Snip, với hệ số $x=0.1$:

$$S = \xi S_{gh} = \delta (\text{mm}) \quad (1)$$

Trong đó: ξ = Hệ số chuyển từ độ lún giới hạn sang độ lún ổn định cọc khi thử tĩnh; S_{gh} = Độ lún giới hạn của công trình dân dụng ($S_{gh} = 80\text{mm}$);

Các thí nghiệm nén tĩnh cho cọc đơn sử dụng từ 6 đến 8 cấp tải và giảm tải, trị số của mỗi cấp là 20N, cọc được nén cho đến khi bị phá hoại (cọc bị tụt). Mỗi cấp tải được giữ trong 5 phút, riêng cấp tải lớn nhất được giữ trong vòng 10 phút, ghi số liệu được ghi sau mỗi 2.5 phút.

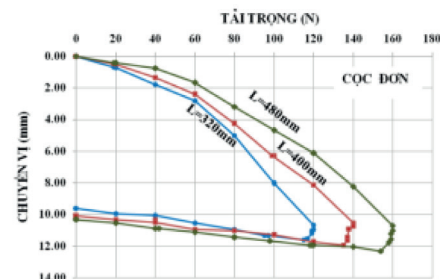
Thí nghiệm nén tĩnh cho ba nhóm 9 cọc sử

dụng từ 5 đến 7 cấp tải và giảm tải, mỗi cấp có biên độ là 150N. Tải được tăng theo từng cấp cho đến khi các nhóm cọc bị phá hoại, thì tiến hành giai đoạn giảm tải. Thời gian giữ tải và ghi số liệu tại mỗi cấp tải được thực hiện giống như đối với thí nghiệm cọc đơn.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

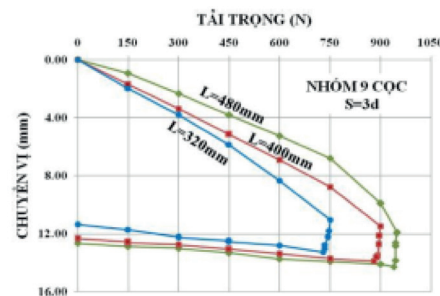
3.1 Đo Tải trọng – Chuyển vị

Hình 3 thể hiện đồ thị giữa tải trọng và độ lún theo từng cấp tải của quá trình nén tĩnh cọc đơn với ba loại chiều dài cọc. Kết quả ghi nhận từ các đồ thị cho thấy các cọc bị nén tụt tại các cấp tải lần lượt là 120N, 140N và 160N, ứng với chuyển vị của các cọc từ 11mm đến 12mm. Tải trọng giới hạn của 3 loại chiều dài cọc xác định tại độ lún qui định 8mm, lần lượt là: 99N, 118N và 137N.



Hình 3. Đồ thị Tải trọng – Chuyển vị của cọc đơn với các chiều dài cọc lần lượt là 320mm, 400mm và 480mm

Hình 4 biểu diễn quan hệ giữa tải trọng và độ lún theo từng cấp tải của thí nghiệm nén tĩnh ba nhóm 9 cọc. Kết quả thí nghiệm cho thấy tải phá hoại của các nhóm có chiều dài cọc 320mm, 400mm và 480mm lần lượt là 750N, 900N và 950N. Tải trọng giới hạn của các nhóm cọc xác định tại độ lún qui định 8mm, là 580N, 675N và 770N sắp xếp theo thứ tự nhóm có chiều dài cọc tăng dần.



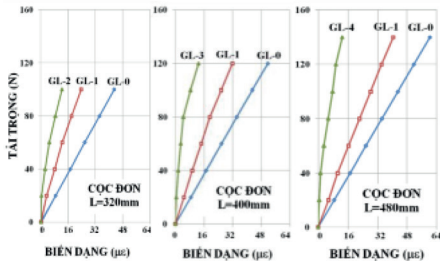
Hình 4. Đồ thị Tải trọng – Chuyển vị của các nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc lần lượt là 320mm, 400mm và 480mm

3.2 Đo biến dạng

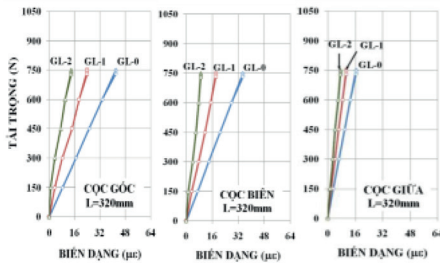
Đồ thị quan hệ giữa tải trọng và biến dạng của các cọc đơn với 3 loại chiều dài cọc được biểu diễn trên Hình 5. Biến dạng lớn nhất trong cọc ghi nhận được tại cấp tải 137N là 60.2me (micro strain) của cọc có chiều dài 480mm.

Kết quả từ các đồ thị cho thấy số đọc của strain gage (GL-0) gắn tại cao trình đầu cọc thể

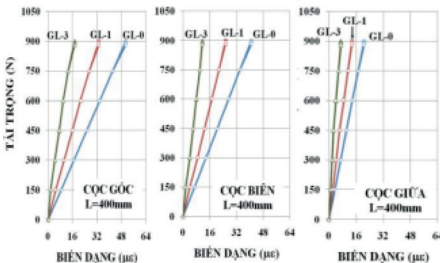
hiện trị số của lực tác dụng vào từng đầu cọc là các đường thẳng, còn ở các cao trình khác ứng với các strain gages GL-1, GL-2, GL-3 và GL-4 do có ảnh hưởng bởi ma sát giữa cọc và đất nền các đồ thị không còn ở dạng tuyến tính nữa.



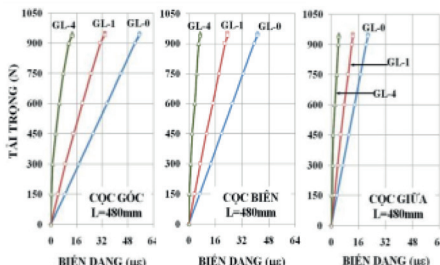
Hình 5. Đồ thị Tải trọng – Biến dạng của các cọc đơn với các chiều dài cọc lần lượt là 320mm, 400mm và 480mm



Hình 6. Đồ thị Tải trọng – Biến dạng của các vị trí cọc trong nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc là 320mm



Hình 7. Đồ thị Tải trọng – Biến dạng của các vị trí cọc trong nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc là 400mm,



Hình 8. Đồ thị Tải trọng – Biến dạng của các vị trí cọc trong nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc là 480mm,

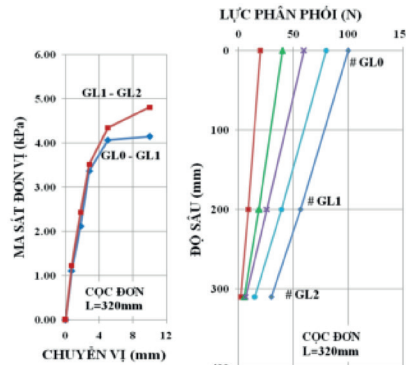
Hình 6 – 8 thể hiện kết quả biến dạng ghi nhận được từ các strain gages của các cọc ở vị trí góc, biên và giữa của các nhóm 9 cọc với 3 loại chiều dài cọc khác nhau. Giá trị biến dạng lớn nhất ghi nhận được tại cọc góc trong nhóm cọc dài 480mm là 52.5me. Các đồ thị đều cho

thấy có sự khác biệt đáng kể về biến dạng tại các vị trí cọc trong nhóm cọc, theo thứ tự từ lớn đến nhỏ là cọc góc, cọc biên và cọc giữa. Kết quả này cho thấy sự phân phối lực không đồng đều vào các cọc trong nhóm cọc có đài cứng, dẫn đến khả năng chịu tải của nhóm cọc giảm xuống so với cọc đơn có chiều dài tương ứng.

4 PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

4.1 Cọc đơn

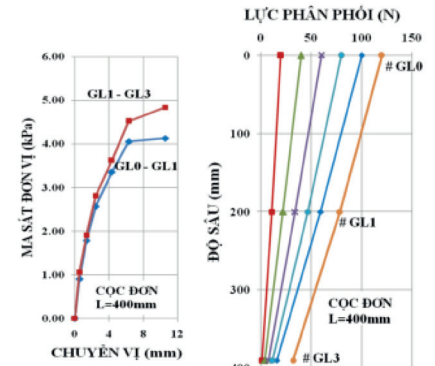
Mô đun đàn hồi của ống nhôm là $E=95\text{Gpa}$, được xác định bằng các thí nghiệm kéo các mẫu nhôm sử dụng làm cọc. Độ cứng của cọc (EA) được sử dụng khi tính lực phân phối dọc theo thân cọc, hệ số ma sát và sức kháng đơn vị giữa cọc-đất từ số liệu về biến dạng ghi nhận ở các strain gage.



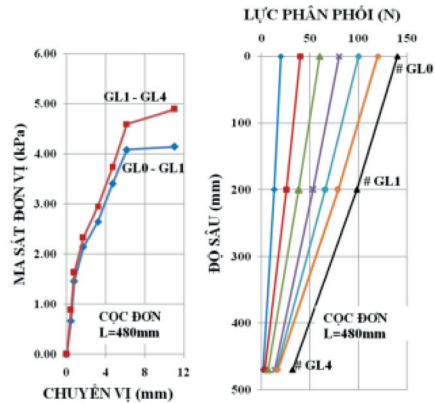
Hình 9. Ma sát đơn vị và lực phân phối theo độ sâu của cọc đơn có chiều dài 320mm

Hình 9 – 11 trình bày sự biến thiên ma sát đơn vị theo chuyển vị của hai đoạn cọc trên mỗi cọc đơn. Kết quả tính toán cho thấy ở các cấp tải nhỏ trị số ma sát đơn vị giữa hai đoạn cọc không có sự khác biệt đáng kể, sự gia tăng ma sát đơn vị ở đoạn mũi cọc diễn ra chủ yếu ở các cấp tải cuối. Giá trị ma sát đơn vị của đoạn cọc đầu (GL0-GL1) trong ba loại cọc khá đương đồng với nhau, trong khi đó ma sát đơn vị của đoạn cọc cuối có sự gia tăng đáng kể ở các cọc có chiều dài cọc lớn. Hệ số ma sát lớn nhất tính được của đoạn mũi (GL1-GL4) của cọc dài 480mm là 4.91(kPa) tại cấp tải 137N.

Các đồ thị biểu diễn sự phân phối lực dọc theo thân cọc (Hình 9–11) đều cho thấy ở 3 loại cọc với chiều dài cọc khác nhau lực phân phối vào mũi cọc ở cấp tải cuối có giá trị vượt trội so với các cấp tải khác, điều này cho thấy khi cọc chịu tải, thành phần ma sát thành sẽ được huy động trước so với sức kháng ở mũi cọc.



Hình 10. Ma sát đơn vị và lực phân phối theo độ sâu của cọc đơn có chiều dài 400mm



Hình 11. Ma sát đơn vị và lực phân phối theo độ sâu của cọc đơn có chiều dài 480mm

Bảng 2. Cường độ sức kháng mũi của các cọc đơn

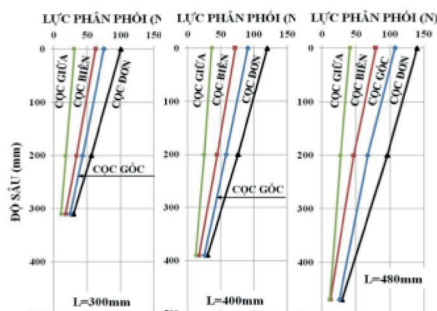
Cấp tải trọng (N)	Sức kháng đơn vị tại mũi cọc (kPa)		
	L=320 mm	L=400 mm	L=480 mm
20	10.2	6.7	6.6
40	26.2	19.7	16.3
60	35.2	34.9	34.5
80	74.9	68.6	61.6
100	157.8	80.3	75.7
120	-	158.2	83.2
140	-	-	159.8

Bảng 2, biểu diễn cường độ sức kháng mũi của ba loại cọc ứng các từng cấp tải. Kết quả tính toán cho thấy, sức kháng mũi ở các cấp tải cuối của cả 3 loại cọc đều có giá trị vượt trội so với các tải liên kế, điều này cho thấy sức kháng mũi gia tăng đáng kể khi chuyển vị của đầu cọc trong khoảng từ 8mm đến 11mm. Sức kháng mũi tại cấp tải giới hạn có xu hướng tăng dần theo chiều dài cọc, cho thấy qui luật càng xuống sâu thì sức kháng của đất càng tăng, tuy nhiên độ tăng này khá nhỏ vì các thí nghiệm thực hiện trên mô hình tỷ lệ nhỏ.

4.2 Nhóm 9 cọc

Hình 12 biểu diễn lực phân phối theo độ sâu của các cọc (góc, biên và giữa) trong ba nhóm 9 cọc, được so sánh với đại lượng tương ứng của cọc đơn có cùng chiều dài tại cấp tải trọng giới

hạn. Các đồ thị này đều cho thấy giá trị lực phân phối vào các cọc trong nhóm nhỏ hơn nhiều so với cọc đơn làm việc trong cùng điều kiện và trị số lực phân phối vào từng vị trí cọc trong nhóm theo thứ tự giảm dần từ cọc góc, cọc biên đến cọc giữa



Hình 12. Lực phân phối theo độ sâu của cọc đơn và các cọc trong ba nhóm 9 cọc

Bảng 3. Hệ số ma sát và cường độ sức kháng mũi của các vị trí cọc trong nhóm 9 cọc tại cấp tải trọng giới hạn

Chiều dài cọc (mm)	Vị trí cọc	Ma sát đơn vị (kPa)		Sức kháng mũi (kPa)
		Đoạn đầu	Đoạn mũi	
320	Cọc góc	3.25	3.39	122.1
	Cọc biên	2.74	2.93	85.7
	Cọc giữa	1.17	1.27	54.1
400	Cọc góc	3.25	3.59	126.9
	Cọc biên	2.73	2.99	86.6
	Cọc giữa	1.18	1.44	60.6
480	Cọc góc	3.27	3.74	127.8
	Cọc biên	2.72	3.09	82.6
	Cọc giữa	1.18	1.48	55.9

Các giá trị ma sát đơn vị, sức kháng mũi của các vị trí cọc trong các nhóm 9 cọc tại cấp tải giới hạn được thể hiện trên Bảng 3. Kết quả tính toán hệ số ma sát cho thấy ở đoạn cọc đầu, ma sát đơn vị của các cọc ở vị trí tương ứng trong các nhóm cọc có giá trị tương đương nhau, tuy nhiên ở đoạn mũi cọc giá trị ma sát đơn vị tăng dần theo chiều dài cọc. Ảnh hưởng hiệu ứng nhóm dẫn đến sự suy giảm ma sát giữa cọc – đất, thể hiện rõ qua trị số ma sát đơn vị tại cấp tải giới hạn của các cọc trong nhóm có chiều dài cọc 480mm lần lượt là 3.74kPa; 2.72kPa và 1.18kPa bé hơn nhiều so với giá trị tương ứng của cọc đơn là 4.91kPa.

Cường độ sức kháng mũi ứng với cấp tải trọng giới hạn tại các vị trí cọc tương ứng trong 3 nhóm không có sự chênh lệch đáng kể, tuy nhiên khá nhỏ so với chỉ số tương ứng tại cao trình mũi cọc đơn, nhất là đối với các cọc ở vị trí trung tâm của nhóm cọc, điều này là minh chứng cho thấy sự chống ứng suất tại cao trình mũi cọc làm giảm đáng kể cường độ sức kháng mũi của nhóm cọc.

Bảng 4 tập hợp kết quả tính hiệu suất sử dụng cọc tính bằng công thức (2) của từng vị trí cọc trong nhóm khi so sánh với cọc đơn có cùng

chiều dài tại cấp tải giới hạn (ứng với độ lún là 8mm). Khi chiều dài cọc giảm thì sự chênh lệch hiệu suất giữa các cọc trong nhóm giảm theo, cho thấy lực tác dụng được phân phối đồng đều hơn vào các cọc trong nhóm. Hệ số nhóm cọc xác định bằng công thức (3) có xu hướng giảm khi ta tăng dần chiều dài cọc, ngược lại hệ số độ lún tính bằng công thức (4) lại tăng thêm trong các nhóm có chiều dài cọc lớn.

Bảng 4. Hiệu suất sử dụng cọc, hệ số nhóm và hệ số độ lún các cọc trong các nhóm 9 cọc tại cấp tải trọng giới hạn

Chiều dài cọc (mm)	Hiệu suất sử dụng cọc			Hệ số nhóm (η)	Hệ số độ lún (R_s)
	Cọc góc	Cọc biên	Cọc giữa		
320	0.752	0.756	0.758	0.641	2.24
400	0.625	0.598	0.567	0.633	2.31
480	0.311	0.302	0.291	0.619	2.35

$$\eta_p = \frac{N_p}{Q_p} \quad (2)$$

$$\eta_g = \frac{Q_g}{nQ_p} \quad (3)$$

$$R_s = \frac{S_g}{S_p} \quad (4)$$

Trong đó: η_p ; η_g = Hiệu suất sử dụng cọc và hệ số nhóm cọc; N_p = Lực phân phối vào từng vị trí cọc trong nhóm ứng với cấp tải trọng giới hạn Q_g ; n = số lượng cọc trong nhóm; Q_p ; Q_g = Sức chịu tải giới hạn của cọc đơn và nhóm cọc; R_s = Hệ số độ lún của nhóm cọc; S_g = độ lún của

nhóm cọc tại cấp tải trọng giới hạn; S_p = độ lún của cọc đơn ứng với tải trọng trung bình b ì n h của cọc trong nhóm.

5 KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả thí nghiệm nền tĩnh kết hợp với đo đặc biến dạng dọc trục của các cọc đơn và các nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc thay đổi được thực hiện trên mô hình vật lý tỷ lệ. Các kết quả tính toán và phân tích số liệu thí nghiệm cho thấy:

- Trong nhóm cọc ma sát, đầu tự do, có dài cọc cứng làm việc trong nền sét yếu, tải trọng nền khi tác dụng vào nhóm cọc sẽ không phân phối đồng đều cho các cọc trong nhóm. Thí nghiệm với ba nhóm 9 cọc có khoảng kính cọc, cho thấy tải trọng phân

phối cho cọc giữa và cọc biên chỉ bằng khoảng 38% và 79% so với cọc góc, điều này làm giá trị hệ số nhóm xác định được khá nhỏ và biến thiên trong khoảng 0.62 đến 0.64.

- Hệ số ma sát và sức kháng đơn vị của các cọc trong nhóm bé hơn so với giá trị tương ứng của cọc đơn, nhất là đối với cọc ở vị trí giữa nhóm. Đây là minh chứng cho thấy với khoảng cách giữa các cọc bằng ba lần đường kính cọc hiện tượng chống ứng suất xảy ra ở vùng đất xung quanh và mũi cọc là đáng kể, dẫn đến độ lún của các nhóm 9 cọc trong thí nghiệm gấp từ 2.24 đến 2.35 lần so với độ lún của các cọc đơn tại cấp tải tương ứng.
- Kết quả tính toán hệ số nhóm và hệ số độ lún của nhóm 9 cọc với các chiều dài cọc lần lượt là 20d, 25d và 30d (d- đường kính cọc) cho thấy khi tăng chiều dài cọc hiệu ứng nhóm sẽ làm giảm khả năng chịu lực và gia tăng độ lún của nhóm cọc, đây cũng là vấn đề cần lưu ý khi sử dụng kết quả nền tĩnh cọc đơn trong thiết kế móng cọc có chiều dài cọc lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bowles J.E (1997). Foundation Analysis and Design. *Mc.Raw. Hill*.
- Catalogue of scaling laws (2007). ISSMGE - TC2 - Physical Modelling in Geotechnics.
- H.G.Poulos & E.H.Davis (1980). Pile Foundation Analysis and Design. *Jonh Wiley, New York*.
- T. Whitaker (1957). Experiments with model piles in groups. *Geotechnique Volume 7, Issue 4*. 147-167pp.
- Taiye W. Adejumo & I.L. Boilo (2013). Modeling of Axially Loaded Pile Group Settlement in Soft Compressive Clay. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG)*. Volume 2, Issue 3. 98-103pp.
- TCVN 9393: 2012 (2012). Cọc – Phương pháp thử nghiệm bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. *NXB Xây dựng, Hà nội*.
- TCVN 10304:2014 (2014). Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế. *NXB Xây dựng, Hà nội*.