

THIẾT LẬP MÔ HÌNH VẬT LÝ XÁC ĐỊNH SỰ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG DỌC TRỤC CỦA CỌC TRONG HỆ MÓNG BÈ CỌC

VÕ VĂN ĐÀU^{*,**}, VÕ PHÁN^{*}, TRẦN VĂN TUẤN^{**}

Physical model establishment for determining the axial load distribution on piles in pile raft foundation

Abstract: *The paper focuses on determining the axial load distribution of a raft and piles in the pile raft system based on the number of piles, pile spacing, and different dimensions of the raft in the pile raft foundation by a small-scale model. The cylindrical model pile was 38 mm in diameter, 1200 mm long, and pile spacing was 2.5 and 5 times of pile diameter. The number of piles arranged in the raft foundation were 1, 4 and 9 piles. The square raft size was 300 and 490 mm, respectively. Experiment methods were used to determine the axial load distribution of single pile and pile group with consideration of soil parameters in the laboratory. The results show that, the axial load distribution of the pile changes when the applied loads on pile raft foundation system change. In addition, the number and pile spacing increase, the ratio of axial load distribution of the pile increases.*

Keywords: *pile raft, axial load, small-scale model, load distribution*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Móng bè cọc đã được sử dụng nhiều cho các công trình xây dựng bởi vì cả hai khả năng chịu tải và giảm độ lún cũng như hạn chế khả năng lún lệch của các móng được cải thiện đáng kể, so với móng cọc thông thường. Theo Katzenbach et al. (2000)[12] cho thấy nhiều ưu điểm của bè cọc và đưa ra một số ví dụ về các ứng dụng của bè cọc trên đất sét cứng. Hemsley (2000)[8] chỉ ra việc sử dụng bè cọc cho các công trình trên các loại đất khác nhau. Nói chung, thiết kế kinh tế nhất của bè cọc được trình bày bởi Randolph (1994)[17], Poulos (2001)[14]. Có nhiều phương pháp được đề xuất để phân tích móng bè cọc như nghiên cứu của

Burland (1995) cho thấy một quy trình thiết kế đơn giản của bè cọc, trong đó các cọc được thiết kế để hoạt động như gia giảm độ lún; Horikoshi et al. (1997)[9] phát triển một phương pháp để tính toán giải quyết tổng thể của bè cọc. Poulos (2000)[13] và Poulos (2001a, 2001b)[13][14] đã tổng hợp nhiều phương pháp tính toán đơn giản và phương pháp số đề xuất cho thiết kế của bè cọc.

Trong các phương pháp thiết kế, móng bè đóng cọc trở nên kinh tế vì sức chịu tải của bè và cọc được sử dụng đồng thời và hỗ trợ cho nhau. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn thiết kế đối với móng bè đóng cọc chưa được hình thành. Bởi lẽ, trong quá trình làm việc với các tải trọng khác nhau tác dụng lên hệ móng bè cọc cho ta sự phân bố tải trọng dọc trục trong cọc đơn cũng như của nhóm cọc sẽ khác nhau. Vì vậy nghiên cứu thiết kế mô hình vật lý trong điều kiện đất cát để nghiên cứu sự phân bố tải trọng dọc trục

* Trường Đại học Bách Khoa Tp HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Q.10, Tp HCM

** Khoa Công nghệ - Trường Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, Q. Ninh Kiều, Tp. Cần Thơ

Email: vvdau@ctu.edu.vn

ĐT: 0947180418

trong cọc đơn và nhóm cọc của hệ móng bè cọc được thực hiện.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở thiết lập mô hình

Nghiên cứu về ứng xử của bè không có cọc và có cọc trong phòng thí nghiệm bằng mô hình vật lý với các trường hợp bố trí cọc ở các khoảng cách từ tâm cọc này đến tâm cọc kia khác nhau (Sharafkhan và Shooshpasha 2017)[16]. Vật liệu trong mô hình của Sharafkhan và Shooshpasha là cát, cát được đưa và thùng chứa theo từng lớp với chiều cao tổng là 80 cm và chiều dày mỗi lớp là 10 cm. Thùng chứa cát được làm bằng kết cấu thép với kích thước 1.3x1.3x1.0 (m) được đặt trên sàn bê tông cốt thép 2.2x2.2x3.0 (m). Độ lún của cọc được xác định bằng đồng hồ đo biến dạng đặt ở vị trí đầu cọc trên bè. Vật liệu trong nghiên cứu [16] với các thông số về chỉ tiêu cơ lý được thí nghiệm như dung trọng, tỷ trọng, chỉ số thành phần hạt, cỡ hạt trung bình, sức chống cắt đơn vị. Thí nghiệm xác định chỉ tiêu cường độ cọc và bè như sức chịu nén và khối lượng riêng.

Một số nghiên cứu như sau: Goto và các cộng sự (2013)[7] đã nghiên cứu sự phân bố ứng suất xung quanh nhóm cọc, so sánh sự làm việc của nhóm cọc với cọc đơn có tiết diện tương đương. Vật liệu đất cát, cọc ống tròn bằng nhôm có đường kính $d = 40$ mm và $d = 32$ mm, chiều dài cọc $L = 1000$; 1300 mm. Các nhóm 3x3 cọc. Khoảng cách cọc $S = 2.5d$ và $5d$. Thùng hình hộp bằng thép: $B = L = 1600$ mm; chiều cao $H = 1650$ mm. Jaymin và cộng sự (2014)[11] đã nghiên cứu ứng xử khi chịu lực thẳng đứng của móng bè cọc với các chiều dài khác nhau, Vật liệu đất dùng để thí nghiệm là đất cát, cọc thép tròn đường kính $d = 10$ mm ($L/d=20$), chiều dài cọc $L = 200$ mm, nhóm 2x2 và 3x3 cọc, thùng hình hộp $B = L = 850$ mm, chiều cao $H = 500$ mm. Bajad và Sahu (2008)[5] đã khảo sát ảnh hưởng của sự tương tác giữa các cọc và bè của móng bè cọc thẳng

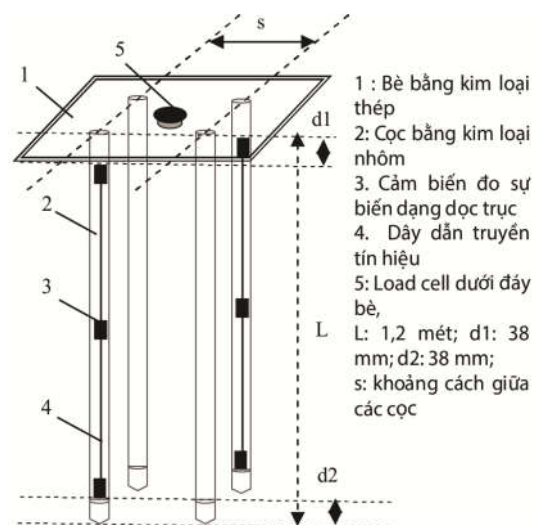
đứng nằm trên đất sét mềm trên mô hình trong phòng thí nghiệm. Vật liệu đất dung để thí nghiệm là đất sét mềm, cọc thép hình tròn đường kính $d=10$ mm, chiều dài cọc $L= 100$; 200 mm, Các nhóm 2x2 ; 3x3 và 4x4 cọc, thùng tròn chứa đất có $D=570$ mm; $H=500$ mm.

Nghiên cứu mô hình vật lý nhằm xác định độ lún dự đoán của bè cọc trong thiết kế sơ bộ (Bhartiya và cộng sự, 2020)[6] với các trường hợp hình dạng, kích thước bè, số lượng cọc cũng như chiều dày của bè khác nhau được thiết lập trong mô hình vật lý. Nghiên cứu thực hiện trên mô hình bè – cọc và bè không cọc nhằm xác định sự phân bố sức chịu tải của thành phần bè và thành phần cọc.

2.2. Thiết lập mô hình và thí nghiệm xác định phân bố tải trọng dọc trục

Kích thước bè và cọc: Trong nghiên cứu này cọc nhôm có đường kính $d = 38$ mm, chiều dài cọc $l_c = 1200$ mm được sử dụng. Kích thước bè vuông được chọn là 300x300 (mm) và 490x490 (mm) cho các trường hợp bố trí cọc trong với số lượng cọc và khoảng cách các cọc khác nhau. Mô hình cọc và liên kết cọc - bè với các kích thước cọc và bè được thể hiện trong hình 1.

Cọc được chế tạo bằng ống nhôm có đường kính $d = 38$ mm; chiều dày ống 1.36 mm; chiều dài của cọc là 1.200 mm.



Hình 1: Sơ đồ mô tả hệ thống đo biến dạng dọc trục cho móng bè cọc

Chi tiết Hình 1:

1 : Đế bê bằng kim loại kích thước dài x rộng x dày lần lượt là 300 x 300 x 0.25 mm; và 490 x 490 x 0.25 mm, đảm bảo không biến dạng

2: Cọc bằng kim loại nhôm có đầu đóng xuống đất vát nhọn, đầu còn lại tạo ren liên kết cọc vào đài, cố định với đế bê cọc

3. Cảm biến đo sự biến dạng dọc trục (strain gauge), đặt ở mặt ngoài của mỗi cọc và có hướng hướng ra ngoài của nhóm 04 cọc của móng bê cọc

4. Dây dẫn truyền tín hiệu

5. Load cell, đặt ở tâm, mặt dưới đế bê; đo tải trọng áp lên bê cọc

L: 1,2 mét; d1: 38 mm; d2: 38 mm; s: khoảng cách giữa các cọc.

Đài cọc làm bằng thép tấm có chiều dày 25mm, được ren sẵn các lỗ để liên kết cọc vào với đài.

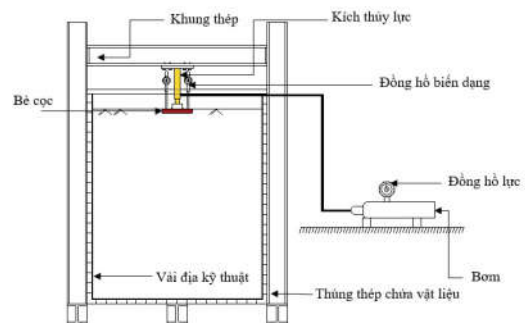
Mũi cọc và đầu cọc được thiết kế liên kết vào bê bằng liên kết với thép, ba vị trí dọc theo thân cọc được dán cảm biến đo biến dạng, cảm biến được đặt bên ngoài cọc nhôm. Sau khi các cảm biến đo biến dạng được thiết lập, các chốt xung quanh vị trí liên kết mũi và đỉnh cọc được lắp nhằm liên kết chặt cọc và đài cọc.

Bố trí bê và cọc: Bố trí số lượng cọc và khoảng cách cọc trong bê trong nghiên cứu này được thực hiện với 10 trường hợp, với $s = 2.5d$ và $s = 5d$.

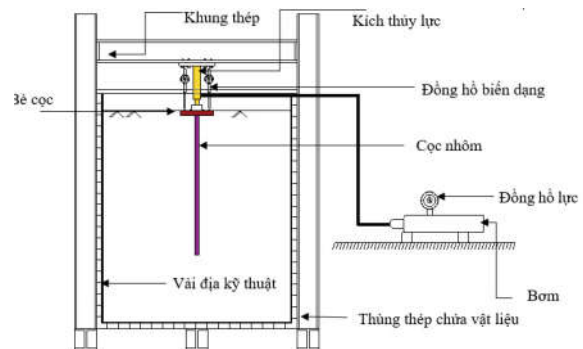
Đối với các mô hình nén cọc với các trường hợp bố trí cọc trong bê khác nhau, phương pháp xác định phân bố tải của bê và cọc dưới tác động của tải trọng. Mô hình được thực hiện trên vật liệu cát, khung thép chữ I được áp dụng để lắp đặt thùng chứa vật liệu và kích thủy lực. Thùng chứa vật liệu được làm bằng thép với về dày tấm thép là 2.5 mm, kích thước lập phương 1.8x1.8x1.8 (m) với các sườn gia cố và các thanh thép hộp bao quanh thùng chứa vật liệu. Vải địa kỹ thuật được sử dụng bao quanh lòng của thùng chứa vật liệu tránh thoát cát và nước ra ngoài trong quá trình thí nghiệm mô hình vật lý.

Mô hình bố trí thí nghiệm xác định phân bố tải trường hợp có cọc và không có cọc được thể hiện từ Hình 2 đến Hình 5.

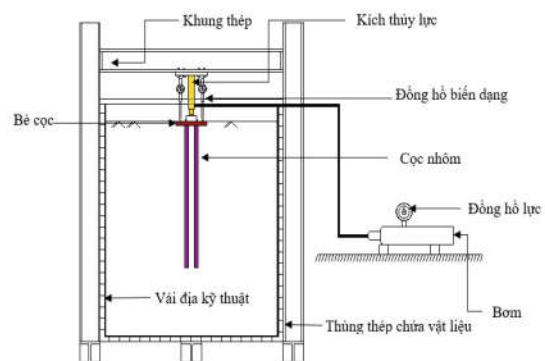
Mô hình bố trí thí nghiệm với tám nén có bê dày 2 cm và đường kính 35 cm đặt lên nền cát và dưới tám nén nhỏ hơn có bê dày 5 cm và đường kính 10 cm. Kích thủy lực với khả năng tác dụng lực dọc trục là $P_{max} = 100$ kN. Đối với xác định chuyển vị của hệ móng bê cọc, hai đồng hồ đo chuyển vị được lắp đối xứng hai bên bê, vị trí đặt đồng hồ đo chuyển vị nền được lắp ngoài gần sát biên nhằm xác định chuyển vị lớn nhất.



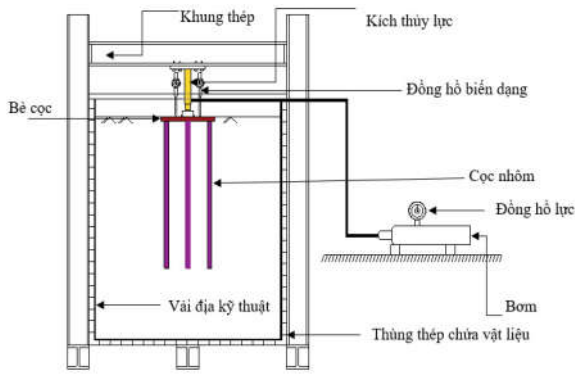
Hình 2: Mặt cắt dọc mô hình thí nghiệm nén bê không có cọc



Hình 3: Mặt cắt dọc mô hình thí nghiệm nén bê 1 cọc



Hình 4: Mặt cắt dọc mô hình thí nghiệm nén bê 4 cọc



Hình 5: Mặt cắt dọc mô hình thí nghiệm nén bê 9 cọc

2.3. Quy trình gia tải nén tĩnh cọc[1]

Trong phạm vi của nghiên cứu này, các thí nghiệm nén tĩnh cọc kết hợp với đo biến dạng dọc trục cọc, được sử dụng quy trình thử tải nhằm rút ngắn thời gian thí nghiệm; Quy trình thử tải nhanh thực hiện trên nguyên tắc:

Tải trọng thí nghiệm được gia tải từng cấp, mỗi cấp tải tăng tương đương với khoảng 10% đến 15% tải trọng thiết kế. Thời gian giữ tải ở mỗi cấp là 10 phút; Thời gian đọc số liệu là 0 - 2.5 - 5 phút;

Khi thí nghiệm nén tĩnh các loại cọc ép hoặc đóng, sức chịu tải cực hạn quy ước của cọc thường được xác định ứng với khi độ lún tại đầu cọc bằng 10% đường kính cọc (10%d). Tại cấp tải lớn nhất, tiến hành giữ tải trong 10 phút, ghi kết quả sau mỗi 2.5 phút

2.4. Các thông số vật liệu

Vật liệu làm cọc

Các thí nghiệm nén tĩnh cọc có kết hợp với đo biến dạng, vì thế cọc cần có các biến dạng đủ lớn, do vậy vật liệu và tiết diện cọc là yếu tố quan trọng:

- Sử dụng cọc ống giúp giảm được diện tích tiết diện cọc, giảm vật liệu và trọng lượng cọc nhưng không làm thay đổi khả năng chịu lực theo đất nền của cọc, khi so với cọc đặc có đường kính tương đương.

Cọc được phủ một lớp sika để quét 1 lớp cát mỏng, hình thành cọc có mặt ngoài nhám để cọc tiếp xúc với đất có độ ma sát cao.



Hình 6: Gia công phủ lớp cát mặt ngoài của cọc

- Mô đun đàn hồi của ống nhôm là $E_{nhôm} = 24 \text{ GPa}$, chọn vật liệu nhôm cho cọc mẫu, giúp ta có các trị số biến dạng dọc trục trong cọc lớn hơn.

- Xác định mô đun đàn hồi của cọc bằng các thí nghiệm nén các ống nhôm có đường kính $d=38\text{mm}$.

Vật liệu làm bê

Các thí nghiệm nén tĩnh móng bê cọc trong phòng được thực hiện trên hai nhóm cọc là 2x2 và 3x3 cọc; Từ đường kính cọc với tỷ lệ giữa khoảng cách và đường kính cọc trong nhóm là: $S/d = 2.5$ và $5d$, ta được kích thước bê là 300x300 mm và 490x490 mm. Từ nghiên cứu của Jaymin[11] và Theo Horikoshi[9] và Randolph (1997)[17], chiều dày bê được chọn cho thí nghiệm là 25 mm.

2.5 Kích thước của thùng chứa đất thí nghiệm

Để mô phỏng nền đất trong mô hình vật lý tỷ lệ nhỏ cần có một thùng chứa đất. Các nhóm cọc thí nghiệm đều có mặt bằng đối xứng, nên ta chọn thùng có tiết diện vuông. Thùng làm bằng thép để đảm bảo độ cứng, không bị biến dạng trong quá trình thí nghiệm. Tổng hợp các nghiên cứu mô hình thí nghiệm của một số tác giả trên thế giới, với mục tiêu sử dụng cho các thí nghiệm nén tĩnh các nhóm cọc với tỷ lệ nhỏ, ta chọn kích thước thùng chứa đất trong thí nghiệm có hình hộp vuông có cạnh $B = 1800 \text{ mm}$ và chiều cao thùng là $H = 1800 \text{ mm}$.

2.6 Thí nghiệm xác định các thông số đất

Đất sử dụng trong thí nghiệm là loại cát sạch được chế bị đất theo phương pháp đầm nén tại độ ẩm tự nhiên, dựa trên nguyên tắc: Tại một độ ẩm xác định, mẫu đất khi đầm nén sẽ đạt được độ chặt nhất định. Ứng với mỗi độ chặt đó được đem xác định lực dính c và góc ma sát ϕ . Mẫu đất được xem như chế bị xong khi đầm nén đạt tới trọng lượng thể tích tương ứng với độ ẩm tối thuận của mẫu đất.

Bảng 1: Các chỉ tiêu của vật liệu đất [3]

KKý hiệu mẫu	Độ ẩm (ω), %	Dung trọng		Lực dính (C) kN/m ²	Góc ma sát (ϕ) Độ
		Ướt γ_w kN/m ³	Khô (γ_d), kN/m ³		
1	2	3	4	7	8
M1	5,51	16,21	15,36	2,2	30,92
M2	8,66	17,08	15,72	4,8	30,99
M3	12,01	18,12	16,18	5,1	31,49
M4	14,49	18,62	16,26	5,5	32

2.7 Thí nghiệm và phân tích đo đạc

Phân tích thí nghiệm từ kết quả đo biến dạng dọc trên, từ giá trị biến dạng dọc trực thu được của các strain gauge, giá trị tải trọng phân bố của cọc tại các cao trình tương ứng, bằng công thức: $P_i = \Delta\mu[i] \times E_p A_p$

Với: E_p - Mô đun đàn hồi của vật liệu cọc; A_p - Diện tích tiết diện ngang của cọc; $\Delta\mu[i]$ - giá trị biến dạng dọc trực của cọc đo tại cao trình thứ i , xác định theo công thức:

$$\Delta\mu[i] = R_0 - R_i^1$$

Trong đó: R_0 ($\mu\epsilon$) - Trị số biến dạng ban đầu tại cao trình thứ i ; R_i^1 ($\mu\epsilon$) - Trị số biến dạng tại cao trình thứ i ứng với cấp tải thứ j ;

Đối với thí nghiệm mô hình, giá trị mô đun của cọc nhôm là $E_p = 24000$ MPa, cọc có đường kính $d = 38$, $A_p = 0,00113$ m²



Hình 7: Mô hình thùng chứa đất thí nghiệm nén hệ móng bè-cọc

Mô hình thí nghiệm theo tỉ lệ nhỏ với kích thước thùng chứa vật liệu cát thỏa mãn điều kiện biên, đối với bề lớn 490x490 mm, khoảng cách từ cọc biên đến mép thùng là 691 mm (lớn hơn $11d = 418$ mm), khoảng cách từ mũi cọc đến đáy thùng là 500 mm (lớn hơn $10d = 380$ mm). Kích thước thùng đủ lớn để tránh sai số do ảnh hưởng của hiệu ứng biên và sự phân phối ứng suất trong nền đất xung quanh nhóm cọc.



Hình 8: Thí nghiệm xác định mô đun của đất nền[2]

Mô hình bố trí thí nghiệm với tấm nén có bề dày 2 cm và đường kính 35 cm đặt lên nền cát và dưới tấm nén nhỏ hơn có bề dày 5 cm và đường kính 10 cm. Kích thủy lực với khả năng tác dụng lực dọc trực là $P_{max} = 100$ kN. Đối với xác định chuyển vị của hệ móng bè cọc, hai đồng hồ đo chuyển vị được lắp đối

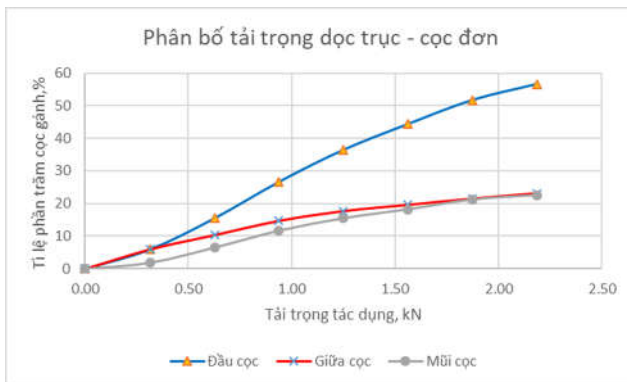
xứng hai bên bè, vị trí đặt đồng hồ đo chuyển vị nền được lắp ngoài gần sát biên nhằm xác định chuyển vị lớn nhất.



Hình 9: Lắp đặt thiết bị quan trắc, đo biến dạng dọc thân cọc

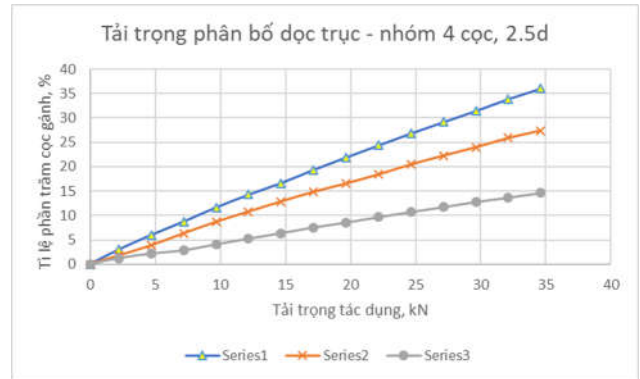
Tỷ số giữa chiều dài và đường kính cọc của các nghiên cứu về nhóm cọc là $L/d = 12-40$. Trong nghiên cứu này, cọc dùng trong thí nghiệm là $L/d = 30$, $L = 1200$ mm là hợp lý.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



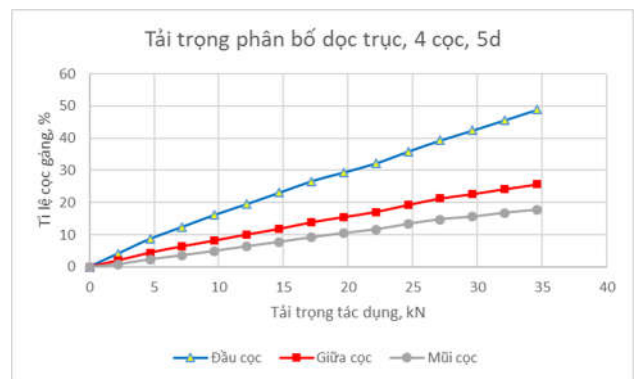
Hình 10: Phân bố tải trọng dọc trục của cọc đơn

Đối với tải trọng phân bố dọc trục dọc theo thân cọc (hình 10), tải trọng phân bố tại đầu cọc chiếm 58%, còn lại tải trọng phân bố tại vị trí giữa cọc và mũi cọc, mỗi vị chỉ chiếm khoảng 20%.



Hình 11: Phân bố tải trọng dọc trục của cọc trong móng bè 4 cọc, khoảng cách cọc 2,5d

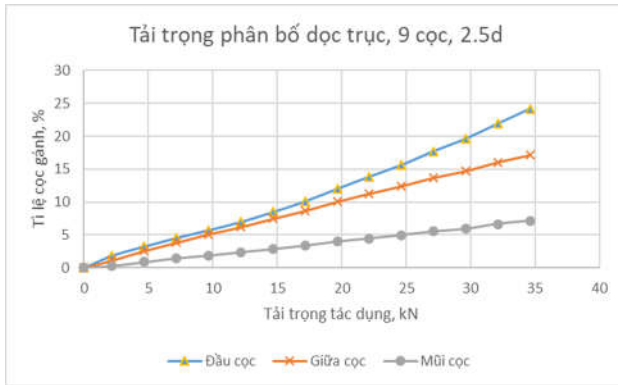
Đối với hệ móng bè cọc bè có kích thước 300x300 mm, số lượng cọc là 4 cọc, khoảng cách cọc là 2,5d (hình 11), tỷ lệ phân bố dọc trục tại vị trí đầu cọc 35%, giữa cọc 28% và mũi cọc là 15%.



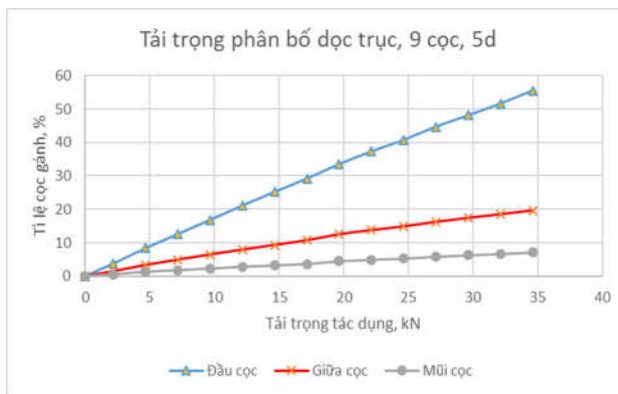
Hình 12: Phân bố tải trọng dọc trục của cọc trong móng bè 4 cọc, khoảng cách cọc 5d

Khi khoảng cách cọc được tăng lên gấp đôi (5d), Tải trọng phân bố lên cọc tăng lên rõ rệt, cụ thể ở vị trí đầu cọc là 50%, giữa cọc là 25% và mũi cọc là 18%.

Tương tự, đối với hệ móng bè cọc có kích thước 490x490 mm, có số lượng cọc là 4 cọc, khoảng cách cọc là 2,5d (hình 13), tỷ lệ phân bố dọc trục tại vị trí đầu cọc 25%, giữa cọc 17% và mũi cọc là 7%. Trong khi đó khoảng cách cọc tăng lên 5d (hình 14), tỷ lệ phân bố dọc trục tại vị trí đầu cọc 56%, giữa cọc 20% và mũi cọc là 7%.



Hình 13: Phân bố tải trọng dọc trục của cọc trong móng bè 9 cọc, khoảng cách cọc 2,5d



Hình 14: Phân bố tải trọng dọc trục của cọc trong móng bè 4 cọc, khoảng cách cọc 5d

4. KẾT LUẬN

Mô hình thí nghiệm theo tỉ lệ nhỏ với kích thước thùng chứa vật liệu cát thỏa mãn điều kiện biên, kích thước thùng đủ lớn để tránh sai số do ảnh hưởng của hiệu ứng biên và sự phân phối ứng suất trong nền đất xung quanh nhóm cọc.

Cọc ống nhôm được sử dụng nhằm giảm được diện tích tiết diện cọc, giảm vật liệu và trọng lượng cọc nhưng không làm thay đổi khả năng chịu lực theo đất nền của cọc, khi so với cọc thép hay cọc đặc có đường kính tương đương.

Khi tải trọng tác dụng lên hệ móng bè cọc tăng thì tải trọng phân bố dọc theo thân cọc tăng theo và phân bố giảm dần từ đầu cọc đến mũi cọc.

Tỉ lệ tải trọng phân bố dọc trục đối với cọc đơn lớn hơn các cọc trong móng bè cọc có số cọc tương ứng 4 cọc và 9 cọc có khoảng cách cọc là 2,5d (35% - 50%).

Khi số lượng cọc tăng, tỉ lệ tải trọng phân bố dọc trục của cọc cũng tăng. Tuy nhiên tỉ lệ phân bố dọc trục tại vị trí giữa cọc và mũi cọc giảm đáng kể.

Đối với khoảng cách cọc tăng từ 2.5d, đến 5d, nhóm bè 4 cọc, tỉ lệ phân bố dọc trục lên cọc tăng từ mũi cọc đến đầu cọc. Tuy nhiên đối với bè 9 cọc, tỉ lệ tải trọng phân bố tại đầu cọc tăng gấp đôi, trong khi đó tại vị trí giữa cọc và mũi cọc gần như không thay đổi (Hình 13, Hình 14).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 9393: 2012 (2012). Cọc – Phương pháp thử nghiệm trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. NXB Xây dựng, Hà nội.
2. TCVN 9354:2012 (2012). Đất xây dựng - Phương pháp xác định môđun biến dạng tại hiện trường bằng tấm nén phẳng. NXB Xây dựng, Hà nội
3. TCVN 4199:2012 (2012). Phương pháp xác định sức chống cắt trong phòng thí nghiệm ở máy cắt phẳng. NXB Xây dựng, Hà nội.
4. Adejumo T.W. et al (2013). “Modeling of axially loaded pile group settlement in soft compressive clay”; International Journal Of Remote Sensing & Geoscience
5. Bajad S.P., Sahu R.B.; (2008) “An Experiment Study on the Behaviour of Vertically Loaded Piled Raft on Soft Clay”. International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), India; page 84 – 91
6. Bhartiya, Priyanka, Tanusree Chakraborty, Dipanjan Basu, và M Asce. 2020. “Settlement Estimation of Piled Rafts for Initial Design”. 146(2): 1–17.
7. Goto S.; Aoyama S.; Liu B.; Towhata I.; Takita A.; Renzo A.A.;(2013) “Model loading

test in large soil tank on group behaviour of piles”; Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.

8. Hemsley, J. A. (2000). Developments in raft analysis and design. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 487–605.

9. Horikoshi K., Randolph M. F. (1997). “On the definition of raft – soil stiffness ratio for rectangular rafts”; Geotechnique, Vol.47; No 5; page 1055 – 1061;

10. Jaymin D. Patil *, Sandeep A. Vasanwala., Chandresh H. Solanki. “Behaviour of Vertically Loaded Piled Raft”, International Journal of Geological and Geotechnical Engineering, Vol. 1: Issue 1

11. Jaymin D. Patil (2014). “An experiment investigation on behaviour of piled raft foundation”; International Journal of Geomatics and Geosciences; Volume 5.

12. Katzenbach, R., Arslan, U., and Moormann, C. (2000). Piled raft foundations

projects in Germany. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 323–392.

13. Poulos, H. G. (2000). Practical design procedures for piled raft foundations. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 425–467.

14. Poulos, H. G. (2001a). Methods of analysis of piled raft foundations. A report prepared on behalf of technical committee TC18 on piled foundations. ISSMGE.

15. Poulos, H. G. (2001b). Piled raft foundations: Design and applications. Geotechnique, 51 (2), 95–113.

16. Sharafkhah, Mehdi, và Issa Shooshpasha. 2017. “Physical modeling of behaviors of cast-in-place concrete piled raft compared to free-standing pile group in sand”.

17. Randolph, M. F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. State of the Art Rep., Proc., 13th ICSMFE, Vol. 5, 61–82.

Người phân biện: PGS, TS. TÔ VĂN LẶN