

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VỀ SỰ LÀM VIỆC CỦA MÓNG BÈ CỌC TRONG NỀN CÁT CHỊU TẢI TRỌNG NÉN THẲNG ĐỨNG

Vũ Anh Tuấn^{a,*}

^a*Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự,
236 đường Hoàng Quốc Việt, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 01/04/2020, Sửa xong 21/04/2020, Chấp nhận đăng 04/05/2020

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về sự làm việc của móng bè cọc trong nền cát chịu tải trọng nén thẳng đứng. Móng cọc mô hình gồm ba cọc, có và không có cọc xiên. Móng làm việc như móng bè cọc khi đáy bè tiếp xúc với nền đất và sẽ làm việc như móng nhóm cọc khi bè cọc không tiếp xúc với nền đất. Nền đất sử dụng trong thí nghiệm là nền cát khô có độ chặt tương đối là 80%. Từ kết quả thực nghiệm rút ra các kết luận sau: Móng bè cọc có sức kháng lớn hơn nhiều so với móng nhóm cọc tương ứng; Sức kháng của móng cọc có cọc xiên lớn hơn sức kháng của móng cọc không có cọc xiên tương ứng; Bè cọc không chỉ tham gia đáng kể vào chịu lực mà còn là đóng một vai trò quan trọng trong tương tác bè-đất-cọc, sự truyền tải trọng từ bè xuống nền đất giúp tăng sức kháng của cọc trong móng bè cọc so với móng nhóm cọc; Sức kháng của cọc, bao gồm sức kháng mũi và sức kháng ma sát, thay đổi theo chuyển vị lún của móng và phụ thuộc vào loại móng cũng như vị trí của cọc trong móng.

Từ khóa: móng bè cọc; nhóm cọc; thí nghiệm gia tải đứng; cọc xiên; tương tác; cát khô.

EXPERIMENTAL STUDY ON PERFORMANCE OF PILED RAFT FOUNDATION IN SAND SUBJECTED TO VERTICAL COMPRESSIVE LOAD

Abstract

This paper presents experimental results on performance of piled raft foundation in sand subjected to vertical compressive load. Model pile foundations included three piles, with or without batter piles. They were piled raft foundations if the raft was in contact with the model ground while they were pile group foundations if the raft was not in contact with the model ground. The model ground was made of dry sand having a relative density of 80%. The following conclusions are derived from the experimental results: Piled raft foundations have considerably larger resistance than the corresponding pile group foundations; The resistance of the foundations with batter piles is larger than that of the foundations without batter piles; The raft not only shares the load but also plays an important role in raft-soil-pile interaction, the pressure transferred from the raft to the ground increased the resistance of the piles in piled rafts; Pile resistances, including pile tip resistance and pile shaft resistance, change according with settlement of the foundation and depend on foundation type as well as the location of the piles.

Keywords: piled raft; pile group; vertical load test; batter pile; interaction; dry sand.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(2V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2V)-03) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, ở các nước có công nghệ xây dựng phát triển, móng bè cọc được sử dụng ngày càng rộng rãi cho các công trình xây dựng và được xem là một trong những biện pháp tốt

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: vuanhtuan@mta.edu.vn (Tuấn, V. A.)

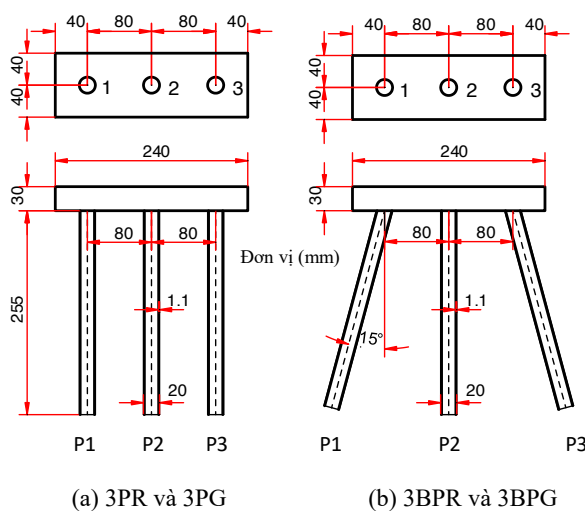
nhất giúp giảm độ lún tổng thể và độ lún lệch của công trình [1–3]. Trên thế giới, một số công trình nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của móng bè cọc đã được tiến hành [4–7]. Các nghiên cứu số về sự làm việc của móng bè cọc cũng được các nhà khoa học trên thế giới tiến hành [8–11]. Tuy vậy, những nghiên cứu đó vẫn chưa giải quyết triệt để tất cả các vấn đề liên quan đến sự làm việc của móng bè cọc cũng như ứng xử cơ học của loại móng này.

Trong nước, việc áp dụng (thiết kế, thi công) móng bè cọc đối với các công trình xây dựng còn rất mới mẻ. Hiện nay trong nước vẫn chưa có các tiêu chuẩn về thiết kế móng bè cọc. Các tiêu chuẩn thiết kế móng cọc của Việt Nam mới chỉ xét đến sự làm việc của móng nhóm cọc, trong đó bỏ qua sự làm việc của bè, mặc dù trong thực tế rất nhiều móng cọc làm việc như móng bè cọc [12–14]. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả kinh tế của phương án thiết kế móng cũng như môi trường khi khối lượng vật liệu sử dụng thi công cọc tăng. Cho đến nay, các nghiên cứu trong nước về ứng xử cơ học nói riêng và sự làm việc của móng bè cọc nói chung còn tương đối hạn chế, cả về số lượng và nội dung nghiên cứu.

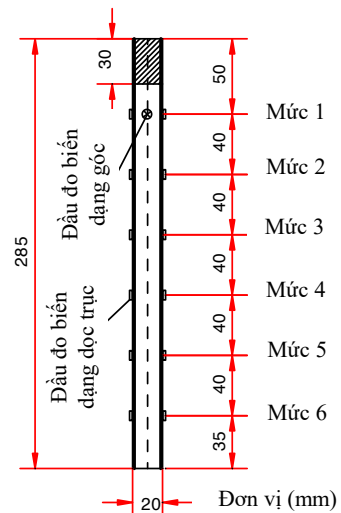
Mục đích chính của nghiên cứu là nhằm so sánh ứng xử cơ học của các loại móng khác nhau (móng bè cọc có và không có cọc xiên; móng bè cọc và móng nhóm cọc tương ứng) trong cùng một điều kiện đất nền và tải trọng, mà không nhằm mô phỏng một kết cấu thực nào. Vì vậy, phạm vi của bài báo chỉ dừng ở nghiên cứu thực nghiệm mô hình kích thước nhỏ trong môi trường cát khô đồng nhất.

2. Mô tả thí nghiệm

2.1. Móng mô hình



Hình 1. Kích thước của các móng mô hình



Hình 2. Kích thước cọc mô hình và vị trí bố trí đầu đo biến dạng

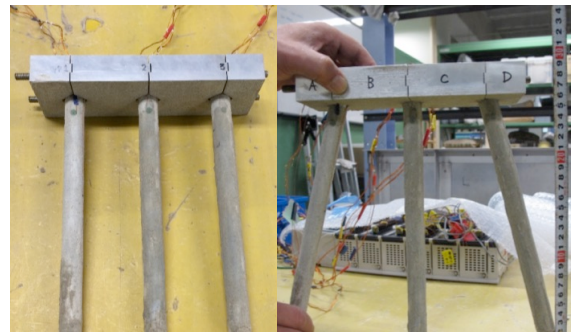
Hình 1 thể hiện kích thước của các móng mô hình được sử dụng trong nghiên cứu này. Các mô hình móng này cũng được sử dụng trong một nghiên cứu khác của Vu và cs. [7]. Bè móng được làm từ dural có mô đun đàn hồi là 68,67 GPa, với kích thước như Hình 1 và có thể xem như là bè cứng. Móng gồm 3 cọc có hoặc không có cọc xiên, hoạt động như móng nhóm cọc (3PG và 3BPG) khi đáy bè không chạm đất, và sẽ là móng bè cọc (3PR và 3BPR) khi đáy bè chạm đất. Trong đó:

- 3PG là móng nhóm cọc có 3 cọc và chỉ có cọc thẳng, không có cọc xiên;
- 3BPG là móng nhóm cọc có 3 cọc và có cọc xiên;
- 3PR là móng bè cọc có 3 cọc và chỉ có cọc thẳng, không có cọc xiên;
- 3BPR là móng bè cọc có 3 cọc và có cọc xiên.

Cọc đầu bịt mô hình được làm từ các ống nhôm có chiều dài 285 mm, đường kính ngoài 20 mm và chiều dày thành ống 1,1 mm (Hình 2). Phần 30 mm đầu cọc sẽ được liên kết cứng với bè móng, vì vậy chiều dài làm việc của cọc là 255 mm. Khoảng cách giữa tim các cọc, s , là 80 mm, bằng 4 lần đường kính cọc. Góc nghiêng của cọc xiên là 15 độ so với phương đứng. Mô đun đàn hồi của cọc, E_p , được xác định từ thí nghiệm uốn cọc. Mô hình cọc này được xây dựng dựa trên cơ sở mô hình tương tự của lai [15]. Dọc thân cọc được bố trí các đầu đo biến dạng. Để tăng sức kháng ma sát của cọc, một lớp mỏng cát được gắn chặt dọc thân cọc. Các đặc tính hình học và cơ học của cọc được thể hiện trong Bảng 1. Hình 3 là ảnh chụp các móng mô hình.

Bảng 1. Đặc tính của cọc sử dụng trong thí nghiệm

Đặc tính	Giá trị
Đường kính ngoài, D (mm)	20
Chiều dày, t (mm)	1,1
Chiều dài làm việc tính từ đáy bè, L (mm)	255
Mô đun đàn hồi, E_p (N/mm ²)	70267
Hệ số Poisson, ν	0,31



Hình 3. Ảnh chụp của các móng mô hình

2.2. Nền đất mô hình

Nền đất mô hình được chế tạo từ cát khô có đặc tính như trong Bảng 2. Đất nền có độ chặt tương đối, D_r , vào khoảng 80% ($\rho_d = 15,04$ kN/m³) được chế bị vào trong hộp đất có kích thước 800 mm × 500 mm × 530 mm. Để kiểm soát được độ chặt của nền đất, trong quá trình chế bị nền được chia nhỏ thành 11 lớp đất phân tổ (10 lớp dày 50 mm và 1 lớp dày 30 mm). Với mỗi lớp phân tổ, một khối lượng cát nhất định được đổ vào và đầm chặt đến khi đạt độ chặt tương đối yêu cầu. Trình tự chế bị nền đất mô hình như sau:

Bước 1: Lần lượt chế bị 5 lớp đất đầu tiên mỗi lớp dày 50 mm (tổng chiều dày là 250 mm) với độ chặt tương đối 80%.

Bước 2: Cố định tạm thời móng mô hình vào vị trí đã xác định bằng các thanh thép vào bộ kẹp.

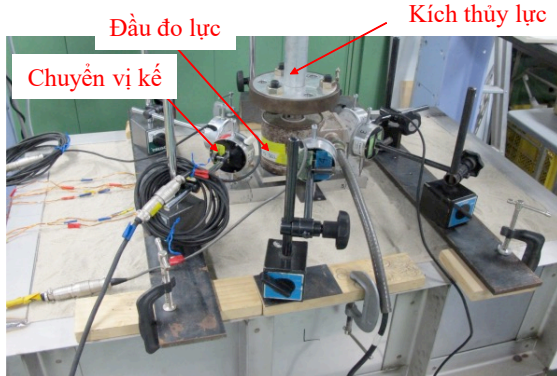
Bước 3: Chế bị các lớp đất tiếp theo (5 lớp dày 50 mm và 1 lớp dày 30 mm) đến khi đạt được chiều dày 530 mm.

Bảng 2. Đặc tính của cát sử dụng trong thí nghiệm

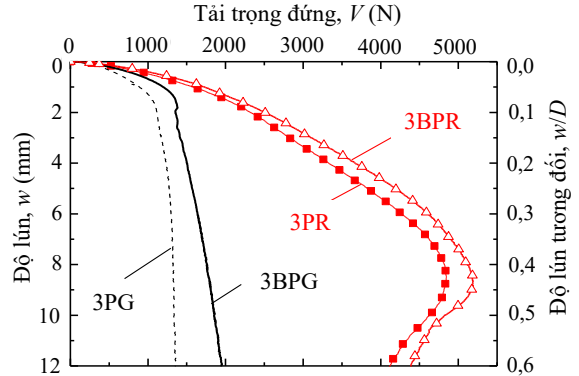
Đặc tính	Giá trị
Dung trọng riêng hạt, ρ_s (kN/m ³)	26,17
Dung trọng khô lớn nhất, $\rho_{d_{\max}}$ (kN/m ³)	15,74
Dung trọng khô nhỏ nhất, $\rho_{d_{\min}}$ (kN/m ³)	12,45
Hệ số rỗng lớn nhất, $e_{\max}$	1,103
Hệ số rỗng nhỏ nhất, $e_{\min}$	0,663

2.3. Biện pháp gia tải

Để gia tải theo phương đứng, sử dụng kích thủy lực và điều khiển theo chuyển vị với tốc độ gia tải khoảng 2 mm/phút. Giá trị lực được thu được từ đầu đo lực đặt tại tâm của mặt bệ móng. Chuyển vị lún của móng được tính thông qua 4 đầu đo chuyển vị đặt tại 4 góc bệ móng (Hình 4).



Hình 4. Bố trí đầu đo trong thí nghiệm gia tải tĩnh theo phương đứng

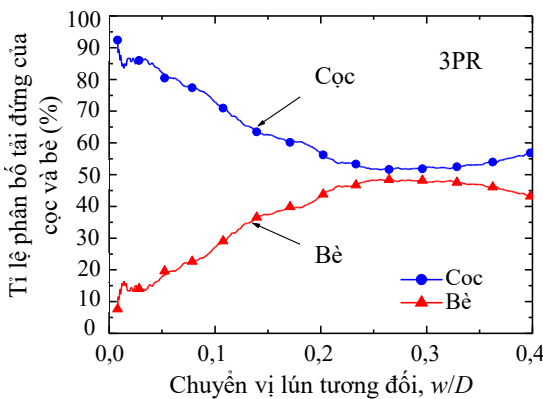


Hình 5. Đường cong Tải trọng - Độ lún của móng

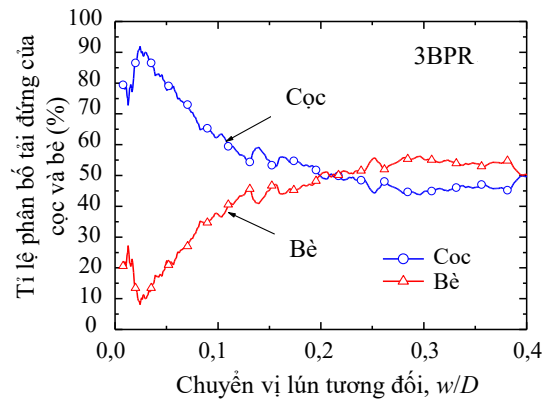
3. Kết quả thí nghiệm

Hình 5 thể hiện đường cong quan hệ Tải trọng-Độ lún cho các trường hợp móng mô hình (3PG, 3BPG, 3PR và 3BPR). Kết quả cho thấy rằng móng bè cọc sử dụng cọc xiên (3BPR) có sức kháng và độ cứng lớn nhất, tiếp đến là móng bè cọc thường (3PR), móng nhóm cọc có cọc xiên (3BPG) và cuối cùng là móng nhóm cọc thường (3PG). Sức kháng của móng cọc có cọc xiên lớn hơn sức kháng của móng cọc chỉ có cọc thẳng.

Kết quả cũng cho thấy ưu thế vượt trội của móng bè cọc so với móng nhóm cọc tương ứng. Sức kháng của móng bè cọc (3PR và 3BPR) lớn hơn nhiều so với sức kháng của móng nhóm cọc tương ứng (3PG và 3BPG), và độ lún của móng bè cọc luôn nhỏ hơn độ lún của móng nhóm cọc tại bất kỳ giá trị tải nào tương ứng.



Hình 6. Tỷ lệ phân bố tải đứng của cọc và bè, trường hợp móng 3PR



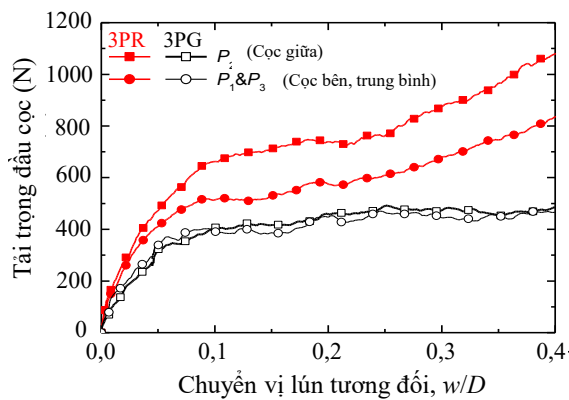
Hình 7. Tỷ lệ phân bố tải đứng của cọc và bè, trường hợp móng 3BPR

Hình 6 thể hiện tỷ lệ phân bố tải đứng của cọc và bè đối với trường hợp móng 3PR. Hình 7 là kết quả tương ứng đối với trường hợp móng 3BPR. Nhận thấy, tại thời điểm khi mới bắt đầu gia tải, hầu

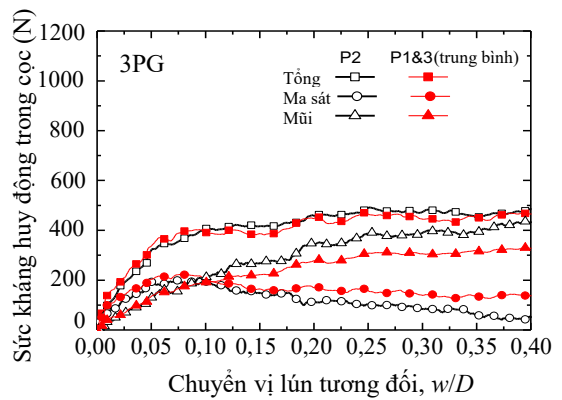
hết tải trọng là do cọc chịu (chiếm khoảng 90% tổng tải trọng của móng). Sau đó, tỉ lệ tải do cọc chịu giảm dần khi độ lún tăng và có xu hướng ổn định ở mức khoảng 50% khi chuyển vị lún tương đối w/D lớn hơn 0,2. Như đã đề cập ở trên trong mục 2 về các bước chế bị mô hình đất nền, lớp đất nền trên cùng được chế bị sau khi cố định tạm mô hình móng bằng bộ phận gá. Vì vậy, phần nền đất trên cùng ngay dưới đáy bệ khó có thể đầm chặt và tiếp xúc hoàn toàn với đáy bệ. Chính vì vậy, khi mới bắt đầu gia tải thì hầu hết tải trọng của móng là do cọc chịu. Khi tải trọng lên móng tăng, độ lún tăng dần khiến cho đáy bệ tiếp xúc hoàn toàn với nền đất, và tải trọng được phân bổ lại giữa cọc và bệ.

Hình 8 thể hiện sự thay đổi tải trọng đầu cọc của cọc giữa (cọc P2) và cọc bên (trung bình của cọc P1 và P3) theo chuyển vị lún tương đối, đối với trường hợp móng 3PR và 3PG. Đối với trường hợp móng nhóm cọc (3PG), tải trọng lên cọc giữa tương đồng với giá trị trung bình tải trọng lên các cọc bên. Còn đối với trường hợp móng bè cọc (3PR), tải trọng lên cọc giữa lớn hơn rõ rệt so với giá trị trung bình tải trọng lên các cọc bên. Kết quả thí nghiệm cũng chỉ ra rằng tải trọng lên mỗi cọc trong móng bè cọc lớn hơn rõ rệt so với tải trọng lên cọc tương ứng trong móng nhóm cọc. Lý do của hiện tượng này cũng như cơ chế chịu lực của các cọc sẽ được làm rõ trong phần tiếp theo của bài báo.

Hình 9 thể hiện sự thay đổi sức kháng huy động trong từng cọc của móng 3PG theo chuyển vị lún tương đối, trong đó sức kháng ma sát, sức kháng mũi và sức kháng tổng đều được thể hiện. Ở đây, sức kháng mũi cọc được xác định bằng lực dọc trục của cọc tại mức 6, và sức kháng ma sát được xác định bằng hiệu của sức kháng tổng xác định tại mức 1 và sức kháng mũi xác định tại mức 6 (xem Hình 2). Hình 10 thể hiện kết quả tương ứng của móng 3PR.



Hình 8. Quan hệ giữa Tải trọng đầu cọc-Chuyển vị lún tương đối

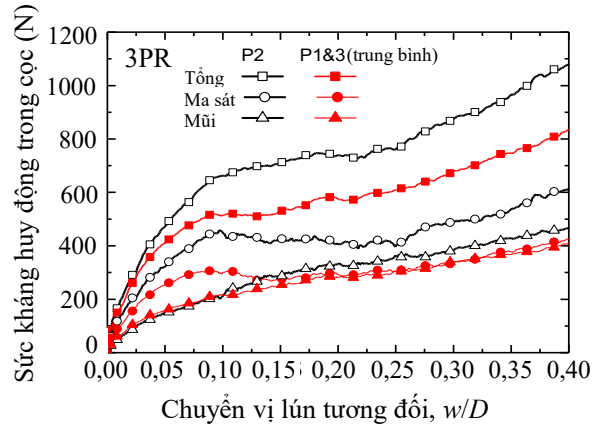


Hình 9. Sức kháng huy động trong cọc, trường hợp móng 3PG

Đối với móng 3PG (Hình 9), sức kháng mũi cọc tăng nhanh khi chuyển vị lún tương đối tăng từ 0 đến 0,25. Sau đó sức kháng mũi cọc có xu hướng ổn định khi chuyển vị tương đối từ 0,25 đến 0,40. Sức kháng ma sát sau khi tăng đến giá trị cực đỉnh tại chuyển vị lún tương đối khoảng 0,08 thì có xu hướng giảm dần đến giá trị ổn định.

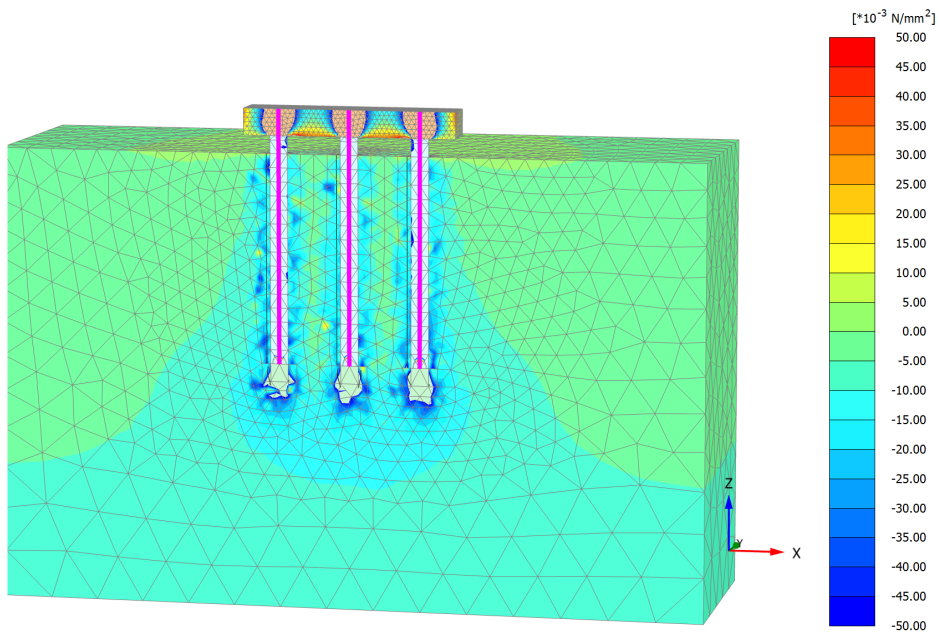
Đối với móng 3PR, (Hình 10), sức kháng mũi tăng đều khi chuyển vị lún tăng. Sức kháng ma sát sau khi tăng đến giá trị cực đỉnh tại chuyển vị lún tương đối là khoảng 0,09 thì giảm nhẹ và ổn định khi w/D thay đổi trong phạm vi từ 0,14 đến 0,25. Sau đó sức kháng ma sát tiếp tục tăng khi chuyển vị lún tăng.

Từ kết quả Hình 9 và 10, nhận thấy rõ ràng rằng cả sức kháng ma sát và sức kháng mũi của các cọc trong móng bè cọc (3PR) đều lớn hơn sức kháng ma sát và sức kháng mũi của móng nhóm cọc (3PG). Điều này là do áp lực truyền từ đáy bệ xuống nền đất (trong trường hợp móng bè cọc) làm tăng ứng suất trong nền đất xung quanh cọc, dẫn đến tăng độ cứng của nền, và kết quả làm tăng sức kháng



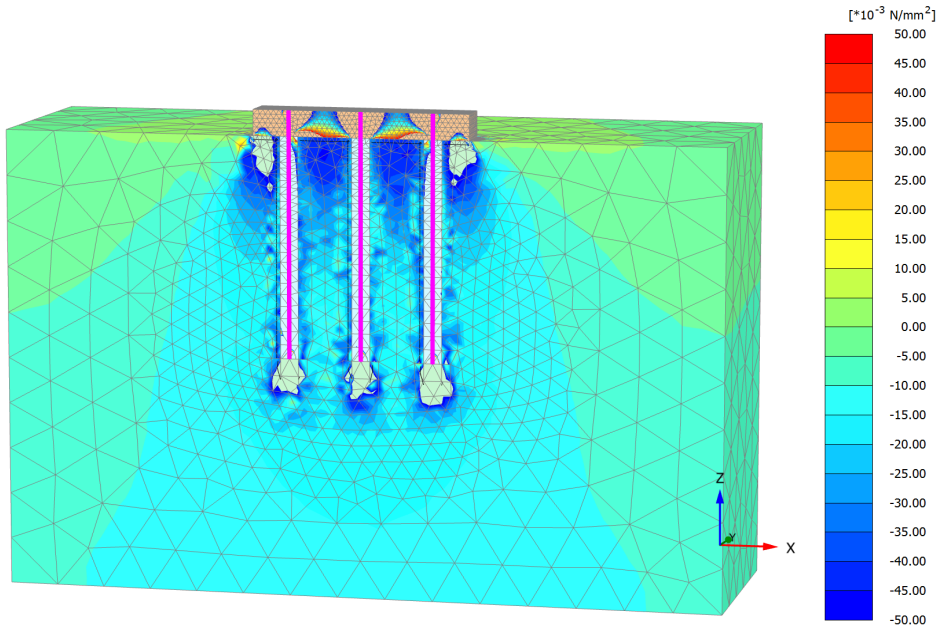
Hình 10. Sức kháng huy động trong cọc, trường hợp móng 3PR

của cọc trong móng bè cọc so với móng nhóm cọc. Đồng thời, chính sự truyền áp lực từ đáy bè xuống nền đất làm cho ứng suất trong nền xung quanh cọc giữa (P2) lớn hơn xung quanh các cọc bên (P1 và P3), khiến cho sức kháng huy động của cọc giữa lớn hơn sức kháng huy động của cọc bên trong trường hợp móng bè cọc. Các kết quả này cũng hoàn toàn tương đồng với các kết quả trong nghiên cứu của Unsever và cs. [6].



Hình 11. Ứng suất trong nền tại chuyển vị lún $w = 4 \text{ mm}$ ($w/D = 0,02$), móng 3PG

Để minh chứng cho lời giải thích ở trên về cơ chế truyền tải trọng từ đáy bè xuống nền đất, tác giả đã tiến hành mô phỏng số bằng phần mềm PLAXIS3D. Chi tiết về nội dung mô phỏng số được trình bày trong tài liệu [16]. Hình 11 thể hiện ứng suất trong nền tại chuyển vị lún $w = 4 \text{ mm}$ ($w/D = 0,02$) đối với móng 3PG. Hình 12 thể hiện kết quả tương ứng đối với móng 3PR. Kết quả chỉ ra rằng ứng suất trong nền đất dưới đáy bè và xung quanh cọc đối với trường hợp 3PR lớn hơn đáng kể so với trường hợp 3PG.



Hình 12. Ứng suất trong nền tại chuyển vị lún $w = 4 \text{ mm}$ ($w/D = 0,02$), móng 3PR

4. Kết luận

Từ những kết quả của nghiên cứu này, rút ra được các kết luận sau:

- Móng bè cọc có sức kháng lớn hơn nhiều so với móng nhóm cọc tương ứng nhờ có sự tham gia cùng chịu tải của bè cọc. Đối với trường hợp cụ thể của nghiên cứu này, tỉ lệ mang tải của bè cọc chiếm từ 10% đến 50% tổng tải trọng của móng. Sức kháng của cọc trong móng bè cọc lớn hơn sức kháng của cọc trong móng nhóm cọc.
- Đối với cả hai trường hợp móng bè cọc và móng nhóm cọc, sức kháng của móng cọc có cọc xiên lớn hơn sức kháng của móng cọc không có cọc xiên tương ứng.
- Bè cọc đóng một vai trò quan trọng trong cơ chế chịu lực của móng bè cọc. Bè cọc không chỉ tham gia đáng kể vào chịu lực cùng với cọc mà còn là đóng một vai trò quan trọng trong tương tác bè-đất-cọc. Chính sự truyền tải trọng từ bè xuống nền đất giúp tăng sức kháng của cọc trong móng bè cọc so với móng nhóm cọc.
- Sức kháng của cọc, bao gồm sức kháng mũi và sức kháng ma sát, thay đổi theo chuyển vị lún của móng; phụ thuộc vào loại móng (móng bè cọc hay móng nhóm cọc) và vị trí của cọc trong móng (cọc giữa hay cọc bên).

Lời cảm ơn

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến giáo sư Matsumoto Tatsunori của đại học Kanazawa, Nhật Bản vì những góp ý quý báu cũng như sự hỗ trợ trong quá trình thực hiện thí nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- [1] Poulos, H. G., Davids, A. J. (2005). [Foundation design for the emirates twin towers, Dubai](#). *Canadian Geotechnical Journal*, 42(3):716–730.

- [2] Poulos, H. G., Small, J. C., Chow, H. (2011). Piled raft foundations for tall buildings. *Geotechnical Engineering*, 42(2):78–84.
- [3] Long, P. D. (2010). Piled raft—a cost-effective foundation method for high-rises. *Geotechnical Engineering*, 41(1):149.
- [4] Matsumoto, T., Fukumura, K., Pastsakorn, K., Horikoshi, K., Oki, A. (2004). [Experimental and analytical study on behaviour of model piled rafts in sand subjected to horizontal and moment loading](#). *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 4(3):01–19.
- [5] Yamashita, K., Yamada, T., Hamada, J. (2011). [Investigation of settlement and load sharing on piled rafts by monitoring full-scale structures](#). *Soils and Foundations*, 51(3):513–532.
- [6] Unsever, Y. S., Matsumoto, T., Shimono, S., Ozkan, M. Y. (2014). Static cyclic load tests on model foundations in dry sand. *Geotechnical Engineering*, 45(2):40–51.
- [7] Vu, A.-T., Matsumoto, T., Kobayashi, S.-I., Nguyen, T.-L. (2018). [Model load tests on battered pile foundations and finite-element analysis](#). *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 18(1):33–54.
- [8] Kitiyodom, P., Matsumoto, T. (2002). [A simplified analysis method for piled raft and pile group foundations with batter piles](#). *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 26(13):1349–1369.
- [9] Unsever, Y. S., Matsumoto, T., Özkan, M. Y. (2015). [Numerical analyses of load tests on model foundations in dry sand](#). *Computers and Geotechnics*, 63:255–266.
- [10] Vu, A. T., Pham, D. P., Nguyen, T. L., He, Y. (2014). [3D finite element analysis on behaviour of piled raft foundations](#). *Applied Mechanics and Materials*, 580:3–8.
- [11] Sơn, N. T. (2013). [Móng bè - cọc \(CPRF\) - Giải pháp hiệu quả cho thiết kế nhà cao tầng & siêu cao tầng tại Việt Nam](#). *Tạp chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 7(3):84–91.
- [12] TCVN 10304:2014. *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [13] TCVN 10400:2015. *Công trình thủy lợi - Đập trụ đỡ - Yêu cầu thiết kế*.
- [14] TCVN 10834:2015. *Móng cọc ống thép dạng cọc đơn dùng cho công trình cầu*.
- [15] Iai, S. (1989). [Similitude for shaking table tests on soil-structure-fluid model in 1g gravitational field](#). *Soils and Foundations*, 29(1):105–118.
- [16] Vu, A. T., Matsumoto, T. (2017). Three- dimensional numerical study on the interaction behaviours of pile group and piled raft foundations. *International Conference Pile*, Bali, Indonesia, F2-1-F2-10.