

Sự chia tải trọng của bè và cọc trong móng bè cọc

Load sharing raft and piles in piled raft foundation

> **VÕ VĂN ĐẤU^{1,2}, VÕ PHÁN², TRẦN VĂN TUẤN¹, TRẦN NHẬT LÂM¹, HUỖNH MỸ DUNG³**

¹Trường Bách khoa - Trường Đại học Cần Thơ

Email: vvdau@ctu.edu.vn, vvdau.sdh221@hcmut.edu.vn, tvantuan@ctu.edu.vn, tnham@ctu.edu.vn

²Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: vphan54@yahoo.com

³Lớp KTXD công trình giao thông K48, Trường Bách khoa - Trường Đại học Cần Thơ,

Email: dungb2204222@student.ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Hiện nay, trong thiết kế móng cọc cho công trình chịu tải trọng lớn, thường chỉ tính cọc chịu toàn bộ tải trọng, bỏ qua phần tải mà bè móng tiếp xúc với đất gánh đỡ. Điều này gây lãng phí trong tính toán khả năng chịu tải của móng. Do thiết kế móng bè cọc phức tạp và thiếu giải pháp hiệu quả cho công trình chịu tải lớn, nghiên cứu này phát triển mô hình số để phân tích sự chia tải giữa cọc và bè. Mô hình dựa trên phân tích lý thuyết, thí nghiệm mô hình nhỏ và phần tử hữu hạn, xem xét các tương tác phức tạp như cọc - cọc, cọc - bè, bè - đất và cọc - đất. Nghiên cứu đánh giá sự chia tải theo số lượng cọc, khoảng cách và kích thước bè qua thí nghiệm mô hình và đối sánh với phương pháp số trường hợp 1 cọc đơn, nhóm cọc 2x2 và nhóm cọc 3x3. Cọc có tiết diện tròn, đường kính 38 mm và dài 1200 mm. Dựa trên kết quả nghiên cứu, mô hình cơ sở thiết kế được xây dựng để dự đoán độ lún và phân bố tải trọng giữa bè và cọc. Kết quả cho thấy quy trình thiết kế móng bè cọc hiệu quả có thể dựa trên hai tiêu chí chính: độ lún và phân chia tải trọng giữa bè và cọc. Phương pháp thiết kế đề xuất phù hợp cho giai đoạn thiết kế sơ bộ móng bè cọc.

Từ khóa: Bè cọc, chia tải, mô hình tỉ lệ nhỏ, độ lún.

ABSTRACT

Current pile foundation design for large-load structures often assumes piles alone bear the entire load, neglecting the contribution of the mat foundation in contact with the soil, leading to inefficiencies in load-bearing calculations. Due to the complexity of piled raft foundations and a lack of efficient design solutions, this study develops a numerical model to analyze load-sharing between raft and piles, incorporating theoretical analysis, small-scale model experiments, and finite element methods to address complex interactions such as pile-to-pile, pile-to-raft, raft-to-soil and pile-to-soil. By examining load distribution based on factors like pile quantity, spacing, and raft size, with cases including a single pile, the pile groups consisted of 2x2 piles and 3x3 piles, the study establishes a design model to predict settlement and load distribution between raft and piles. The results indicate that an efficient design approach for piled raft foundations can focus on two primary criteria: settlement and load-sharing, making this method suitable for preliminary foundation design.

Keywords: Piled raft; load-sharing; small-scale model; settlement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Móng bè cọc đã được sử dụng nhiều ở các quốc gia trên thế giới cho các loại đất khác nhau. Trước đây móng bè cọc chỉ sử dụng cho một số loại đất nhất định. Tuy nhiên ngày nay nó được sử dụng cho hầu hết các loại đất và sử dụng cho các công trình như tòa nhà cao tầng, công trình cầu, các nhà máy công nghiệp lớn. Móng bè cọc được sử dụng cho các công trình xây dựng bởi vì đáp ứng khả năng về sức chịu tải và giảm độ lún cũng như hạn chế độ lún lệch đáng kể của các móng, những ưu điểm đó là do sự đóng góp của bè vào khả năng chịu tải cũng như bố trí cọc hợp lý. Katzenbach (2000) cho thấy một số ưu điểm của móng bè cọc và đưa ra một số ví dụ về các ứng xử của bè và cọc trên đất sét cứng. Hemsley (2000) cũng chỉ ra việc sử dụng bè cọc cho các công trình trên các loại đất khác nhau từ một số nghiên cứu trên thế giới. Thiết kế hiệu quả của móng bè

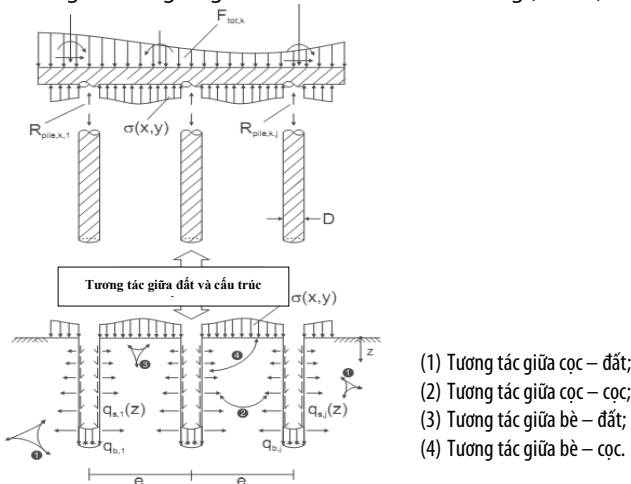
cọc được trình bày bởi Randolph (1994), Poulos (2001). Có nhiều phương pháp được đề xuất để phân tích móng bè cọc như nghiên cứu của Burland (1995) cũng đưa ra quy trình thiết kế móng bè cọc đơn giản, trong đó các cọc được thiết kế để hoạt động nhằm giảm độ lún; Horikoshi và các cộng sự. (1999) phát triển phương pháp tổng thể để tính toán móng bè cọc. Poulos (2000) và Poulos (2001a, 2001b) đã tổng hợp nhiều phương pháp tính toán đơn giản và phương pháp số để xuất cho thiết kế của bè cọc. Moyes và cộng sự (2005) cũng đã chỉ ra rằng móng bè cọc đáp ứng được khả năng chịu tải cần thiết mà vẫn tiết kiệm được chi phí ước tính khoảng 30% so với các hệ thống móng cọc thông thường và Mandolini với các cộng sự. (2005) đã nêu rằng việc chia tải giữa cọc và bè là một đại lượng cơ bản trong các phương pháp thiết kế tiên tiến và trong các quy định mới về móng bè cọc.

Nhìn chung, trong hệ thống móng bè cọc, riêng bè cũng có thể cung cấp được khả năng chịu lực cần thiết nhưng không thể kiểm soát được độ lún. Do đó, các cọc đóng vai trò quan trọng trong việc giảm độ lún, giảm độ lún lệch của bè. Do đó, sự kết hợp bè và cọc trong một hệ thống móng bè cọc được coi là hệ thống rất phức tạp nhưng toàn diện. Tuy nhiên hiện nay ở Việt Nam, các tiêu chuẩn thiết kế đối với móng bè cọc chưa được hình thành, có thể vì 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. Sự phức tạp của loại móng này là do sự hiện diện của nhiều yếu tố tương tác liên quan đến hệ thống như tương tác cọc-cọc, cọc-bè, bè-đất và cọc-đất. Vì vậy cần nhiều nghiên cứu về sự chia tải trọng của bè và cọc trong những điều kiện khác nhau của hệ móng bè cọc.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Phương pháp giải tích

Theo Katzenbach và cộng sự (2000) đã chỉ ra trong móng bè cọc tồn tại 4 tương tác tương hỗ giữa đất và các kết cấu của móng (Hình 1):



Hình 1. Tương tác giữa đất và cấu trúc móng bè cọc (Katzenbach và các cộng sự, 2000)

Trên thế giới có rất nhiều phương pháp tính toán móng bè cọc. Tuy nhiên, năm 1997, Poulos chia các phương pháp phân tích tính toán móng bè cọc thành 3 nhóm: Phân tích toán giản lược; Phân tích tính toán gần đúng bằng máy tính; và phương pháp tính toán chính xác bằng máy tính. Các phương pháp tính toán đơn giản bao gồm các tác giả: Poulos and Davis (1980), Randolph (1983, 1994) (phương pháp PDR) và Burland (1995); Các phương pháp tính toán chính xác hơn bằng máy tính bao gồm: Phương pháp phần tử biên, trong đó bè và cọc là hệ riêng lẻ, sử dụng lý thuyết đàn hồi (Sinha, 1997).

Quan điểm thiết kế móng bè cọc:

Theo Poulos 2001, tác giả có 3 quan điểm thiết kế như sau:

(1) Tải trọng làm việc, cọc gánh tải trọng từ 35% đến 50% sức chịu tải cực hạn, quan hệ tải trọng và độ lún của cọc là tuyến tính. Tải trọng tác dụng lên móng gần như do cọc tiếp nhận.

(2) Bè được thiết kế tiếp nhận phần lớn tải trọng tác dụng lên móng, ở tải trọng làm việc, sức chịu tải của cọc được huy động từ 70% đến 100%. Quan hệ tải trọng - độ lún là phi tuyến, cọc được thiết kế với nhiệm vụ làm giảm độ lún của bè.

(3) Bè được thiết kế để gánh toàn bộ tải trọng lên móng, các cọc chỉ tiếp nhận 1 phần của tải trọng và cọc được bố trí nhằm để giảm lún lệch.

Để thay đổi các quan điểm chưa chính xác về móng bè - cọc, các chuyên gia cơ đất tìm cách đưa lý thuyết tính toán hệ thống móng này, trong đó nổi bật là Poulos & Davis (1980), Fleming và các cộng

sự (1992), Randolph (1994), Burland (1995), Katzenbach (1998) và những nghiên cứu gần đây của Poulos (1994, 2001a, 2001b). Áp dụng phương trình Midlin của bán không gian đàn hồi vào trong bài toán móng bè - cọc và những thử nghiệm thực tế để phân tích bài toán, Poulos đã đưa ra một mô hình gần đúng với thực tế. Mô hình này được sử dụng rộng rãi để xây dựng nhiều công trình và tiếp tục được phát triển trên thế giới.

Phương pháp Poulos - David - Randolph (PDR) về thiết kế móng bè cọc, móng được chia ra gồm 2 phần: bè và cọc. Poulos (2001) đã nêu rằng đối với thiết kế móng bè cọc, các khía cạnh quan trọng nhất là khả năng chịu tải cực hạn, độ lún tối đa và độ lún lệch dưới tải trọng thẳng đứng. Mặt khác, ông báo cáo rằng các vấn đề khác như khả năng chịu tải lớn nhất đối với các mô men và tải trọng ngang, mô men và lực cắt đối với thiết kế kết cấu bè, tải trọng và mô men cọc đối với thiết kế cọc nên được xem xét kỹ lưỡng và ít nhất là ở giai đoạn thiết kế kỹ thuật.

2.2. Phương pháp thực nghiệm

Fioravante và cộng sự (2008) đã thử nghiệm mô hình hóa hệ móng bè cọc trên đất cát bằng máy ly tâm để nghiên cứu vai trò của cọc giảm độ lún và xác định sự chia sẻ tải trọng giữa bè và các cọc. Họ quan sát thấy độ lún của bè giảm khi số lượng cọc tăng. Kết quả cho thấy cọc dịch chuyển có hiệu quả hơn trong việc làm giảm độ lún của bè so với cọc không dịch chuyển. Nhóm nghiên cứu phát hiện ra rằng sự đóng góp của bè bắt đầu khi các cọc đạt đến khả năng chịu tải cực đại. Họ cũng quan sát thấy rằng độ cứng của bè cọc tăng lên khi số lượng cọc dưới bè tăng lên.

Sharafkhal và Shooshpasha (2017) nghiên cứu về ứng xử của nhóm cọc tự do và bè cọc trong phòng thí nghiệm bằng mô hình vật lý với các trường hợp bố trí cọc với khoảng cách khác nhau. Vật liệu trong mô hình của Sharafkhal 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. Phân bố tải trọng lên cọc với s/d là 2,6 và 5,2, tải trọng lên cọc tương ứng khoảng 87% và 71%.

Bhartiya và các cộng sự (2020), nghiên cứu mô hình vật lý nhằm xác định dự đoán độ lún của bè cọc trong thiết kế sơ bộ. Tương tác giữa cọc và đất phụ thuộc vào chiều dài cọc, đường kính, tương tác giữa nhóm cọc và đất phụ thuộc vào khoảng cách cọc, số lượng cọc với diện tích của bè, và các thông số này xác định độ cứng của nhóm cọc. Độ cứng móng bè cọc phụ thuộc vào tương tác ba chiều giữa bè, cọc và đất, và có thể được ước tính từ độ cứng riêng của bè và nhóm cọc. Cọc thường chịu 70% -90% tổng tải trọng thẳng đứng tác dụng lên hệ thống móng bè cọc.

Nghiên cứu mô hình vật lý nhằm xác định sự phân bố tải trọng giữa bè và cọc trong móng bè cọc với các trường hợp kích thước bè, khoảng cách cọc cũng như số lượng cọc khác nhau. Hơn nữa, ảnh hưởng của sự tương tác giữa các chỉ tiêu hình học của bè và cọc với một số tính chất cơ học quan trọng trong điều kiện đất khác nhau trong điều kiện cụ thể sẽ ảnh hưởng nhiều đến sự phân bố tải trọng lên bè và cọc trong hệ móng bè cọc.

2.3. Phương pháp Phần tử hữu hạn

Prakoso và Kulhawy (2001) đã sử dụng các mô hình phần tử hữu hạn để dự đoán ứng xử của móng bè cọc và đề xuất một quy trình thiết kế dựa vào chuyển vị của móng bè cọc. Họ đã sử dụng PLAXIS trong nghiên cứu của mình và mang lại kết quả đầy đủ để phân tích hệ thống bè cọc mà không mất quá nhiều thời gian cho việc lập mô hình và tính toán.

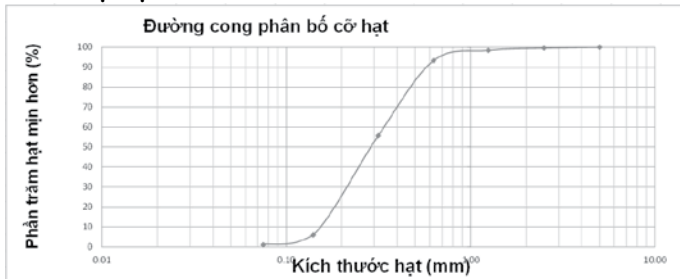
Phương pháp phần tử hữu hạn trong phân tích ứng suất - biến dạng móng bè cọc là một trong những phương pháp hiện đại được

ứng dụng nhiều với độ tin cậy cao (Bhartiya và cộng sự, 2002), và kết quả nghiên cứu cũng cho thấy hình dạng hình học của bệ không ảnh hưởng nhiều đến kết quả phân bố ứng suất của hệ, biến dạng của bệ tăng với sự tăng của khoảng cách cọc và giảm với sự tăng của kích thước và chiều dài cọc.

Phần mềm thuật toán thương mại Plaxis được dùng để mô phỏng phân tích các bài toán địa kỹ thuật bằng nhiều loại mô hình khác nhau như: Mô hình Linear Elastic, Mohr – Coulomb, Hardening – Soil, Soft Soil model, Soft Soil creep. Mỗi mô hình toán sẽ phù hợp với những loại đất nền khác nhau để mô tả ứng xử, mối quan hệ tương hỗ giữa bệ, cọc và đất nền trong việc phân chia tải trọng của móng bệ cọc.

3. VẬT LIỆU VÀ THIẾT BỊ NGHIÊN CỨU

3.1 Vật liệu cát



Hình 2. Đường cong phân bố cỡ hạt của mẫu đất

Mô hình được thực hiện trên vật liệu cát, cát sử dụng trong thí nghiệm là loại cát có thành phần hạt như hình 2 được chế bị đất theo phương pháp đầm nén tại độ ẩm tự nhiên. Trước khi thí nghiệm cần kiểm tra dung trọng và độ ẩm để xác định các thông số tương ứng, những thông số này dùng để tính toán và mô phỏng trong mô hình thí nghiệm. Trong mô hình thí nghiệm, mẫu đất được thí nghiệm xác định dung trọng lúc thí nghiệm là $\gamma = 18.62 \text{ kN/m}^3$, do đó $c = 0.055 \text{ kN/m}^2$ và $\phi = 31,5^\circ$ và độ chặt tương đối $D_r = 82.7\%$ được chọn để nghiên cứu.

3.2 Vật liệu bệ và cọc

3.2.1 Vật liệu bệ

Với giả thiết đài cọc cứng, vì thế độ cứng của đài cọc là thông số cần được tính toán để đảm bảo độ chính xác của giả thiết ban đầu. Để tăng độ cứng và giảm trọng lượng của đài, ta lựa chọn vật liệu thép cho đài cọc. Theo lý thuyết độ cứng của đài cọc có thể được tính toán, như sau:

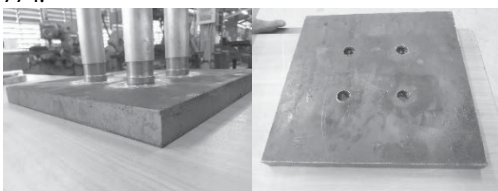
Đài cọc hình vuông: Horikoshi và Randolph (1997) đã đề nghị công thức xác định độ cứng tỷ lệ giữa đài cọc và đất theo công thức:

$$K_{rs} = 5,57 \frac{E_r (1 - \nu_s^2)}{E_s (1 - \nu_r^2)} \left(\frac{t_r}{B_r} \right)^3 \quad (1)$$

Trong đó: B ; t_r – là chiều rộng và chiều cao của đài cọc vuông.

Theo nghiên cứu của Horikoshi và Randolph (1997) ta có thể quan niệm đài cọc tuyệt đối cứng khi tỷ số độ cứng có giá trị $K_{rs} \approx 1000$.

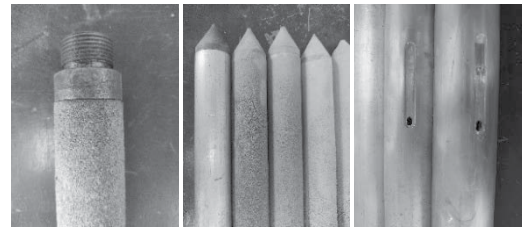
Đài cọc hình vuông có kích thước: 300x 300(mm), chọn độ dày của đài cọc $t_r = 25$ (mm), ứng với độ cứng đương đối giữa đài và đất là $K_{rs} \approx 1774$.



Hình 3. Cấu tạo bệ cọc

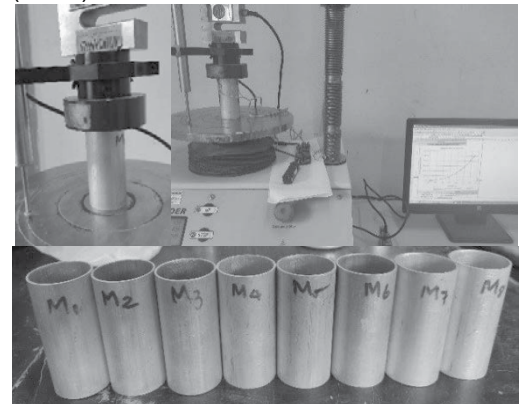
3.2.2 Vật liệu cọc

Cọc được chế tạo bằng hộp kim nhôm, hình trụ có đường kính $d = 38 \text{ mm}$; chiều dày ống 1,36; chiều dài của cọc là 1200 mm. Cọc được gia công ở đầu và mũi cọc bằng thép Có đầu đóng xuống đất vát nhọn, đầu còn lại tạo ren liên kết cọc vào đài, cố định với đế bệ cọc. 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 4). Vị trí đo biến dạng dọc theo thân cọc được gia công vào thân cọc với độ sâu 0.4 mm, rộng 5 mm, dài 50 mm, Công việc gắn kết các strain gauge vào cọc đòi hỏi kỹ năng, sự tỉ mỉ, cẩn thận với chất kết dính liên kết phù hợp với vật liệu làm cọc, đồng thời phủ lớp chất kết dính và làm nhám bề mặt vật liệu cọc để bảo vệ strain gauge.



Hình 4. Cấu tạo hệ cọc

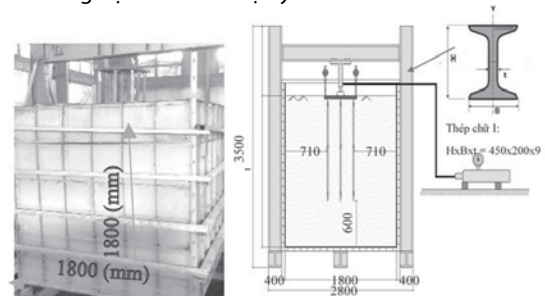
Mô đun đàn hồi của cọc được xác định qua độ dốc của đường cong quan hệ giữa ứng suất và biến dạng trong vùng biến dạng đàn hồi bằng cách thí nghiệm nhiều mẫu khác nhau. Mô đun đàn hồi của cọc có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả đo biến dạng dọc trục của cọc (hình 5).



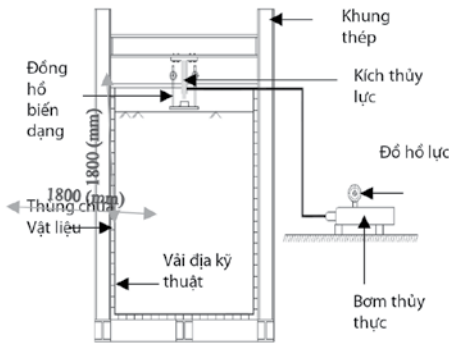
Hình 5. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của cọc

3.2.3 Khung thép chứa mẫu

Mô hình với khung thép chữ I dùng để lắp đặt thùng chứa vật liệu và kích thủy lực (hình 6). 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.



Hình 6. Khung thép và thùng chứa mẫu thí nghiệm



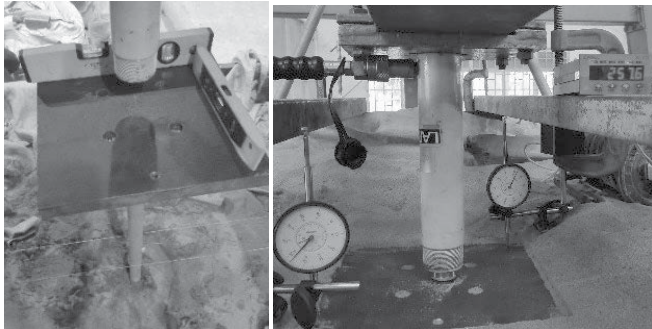
Hình 7. Mặt cắt dọc mô hình nghiên cứu

Mô hình được bố trí với tấm nền có bề dày 2cm và đường kính 35 cm đặt lên nền cát và dưới tấm nền nhỏ hơn có bề dày 5 cm và đường kính 10 cm. Kịch 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.

Bảng 1. Các trường hợp nghiên cứu móng bè cọc

STT	Trường hợp	Kích thước bè (mm)	Số lượng cọc	Khoảng cách cọc (mm)
1	B300	300x300	0	
2	B300-1c	300x300	1	
3	B300-4c-2.5d	300x300	4	2,5d
4	B300-4c-5d	300x300	4	5d
5	B490	490x490	0	
6	B490-1c	490x490	1	
7	B490-4c-2.5d	490x490	4	2,5d
8	B490-4c-5d	490x490	4	5d
9	B490-9c-5d	490x490	9	5d
10	B490-9c-2.5d	490x490	9	2,5d

Bộ đo đặc quan trắc: đồng hồ đo chuyển vị với độ chính xác 0.01mm, hành trình tối đa là 50 mm.



Hình 8. Lắp đặt các mô hình móng bè cọc

Phân tích thí nghiệm từ kết quả đo biến dạng của cọc, 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:

$$P_i = \Delta\mu_{\epsilon_i} \times E_p \times A_p \tag{2}$$

Với: E_p - Mô đun đàn hồi của vật liệu cọc; A_p - Diện tích tiết diện ngang của cọc; $\Delta\mu_{\epsilon_i}$ - Giá trị biến dạng dọc trực của cọc đo tại cao trình thứ i, xác định theo công thức (3):

$$\Delta\mu_{\epsilon_i} = R_0 - R_i^j \tag{3}$$

Trong đó: R_0 : Trị số biến dạng ban đầu tại cao trình thứ i; R_i^j : Trị số biến dạng tại cao trình thứ i ứng với cấp tải thứ j;

Thông số đất nền và cọc trong mô phỏng bằng Plaxis được sử dụng như trong mô hình thí nghiệm vật lý và phương pháp giải tích.

Bảng 2. Thông số đầu vào dùng mô phỏng móng bè – cọc bằng phần mềm Plaxis

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Ứng xử của nền đất	Type		Hardening soil
Ứng xử của vật liệu			drained
Chiều dày lớp đất		m	1.8
Dung trọng riêng tự nhiên	γ_{unsat}	kN/m ³	18.62
Dung trọng riêng bão hòa	γ_{sat}	kN/m ³	18.75
Lực dính đơn vị	c	kN/m ²	5.5
Góc ma sát trong	ϕ	độ (°)	32
Hệ số poisson	ν	-	0.3
Góc giãn nở	ψ	độ (°)	2
Mô đun cắt tuyến tham chiếu	E_{50}^{ref}	kN/m ²	50.000
Mô đun dãn tải tham chiếu	E_{ur}^{ref}	kN/m ²	150.000
Hệ số thấm ngang	K_x	cm/s	10 ⁻³
Hệ số thấm đứng	K_y	cm/s	10 ⁻³

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả nghiên cứu bằng phương pháp PDR

Dựa vào lý thuyết PDR, tính toán phân bố tải trọng của móng bè cọc cho bè 1, 4, 9 cọc, theo khoảng cách cọc 2,5d và 5d cho hệ móng bè 4 cọc và 9 cọc.

Bảng 3. Kết quả tính toán phương pháp PDR trường hợp Bè – 490 – 2,5D – 4c

Bè – 490 – 2,5D – 4c						
V	Vp	Vr	Kr	Kp	Pp	Pr
(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	%	%
2,19	1,73	0,46	37,8	58,3	78,80	21,20
4,68	3,69	0,99	36,8	46,2	78,78	21,22
7,17	4,99	2,18	35,6	42,0	69,53	30,47
9,67	6,33	3,34	34,4	37,6	65,47	34,53
12,2	7,23	4,97	32,8	34,6	59,27	40,73
14,7	8,25	6,45	31,3	31,3	56,12	43,88
17,2	8,59	8,61	29,2	30,2	49,95	50,05

Bảng 4. Kết quả tính toán phương pháp PDR trường hợp Bè – 490 – 5D – 4c

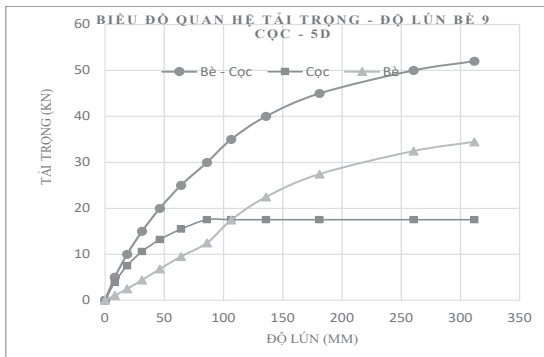
Bè – 490 – 5D – 4c						
V	Vp	Vr	Kr	Kp	Pp	Pr
(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	%	%
0	0,00	0,00	37,8	38,7		
2,19	1,16	1,03	36,8	36,2	52,80	47,20
4,68	2,24	2,44	35,4	33,8	47,96	52,04
7,17	3,15	4,02	33,8	31,9	43,93	56,07
9,67	4,04	5,63	32,1	29,9	41,79	58,21
12,2	4,82	7,38	30,4	28,2	39,53	60,47
14,7	5,75	8,95	28,8	26,2	39,14	60,86
17,2	6,08	11,12	26,6	25,5	35,34	64,66

Bảng 5. Kết quả tính toán phương pháp PDR trường hợp Bè – 490 – 2.5D – 9c

Bè – 490 – 2,5D – 9c						
V	Vp	Vr	Kr	Kp	Pp	Pr
(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	%	%
0	0.00	0.00	410.0	631.0	0.00	0.00
4,68	3.94	1.06	400.5	559.3	78.8	21.2
9,67	7.49	2.51	387.6	494.6	74.9	25.1
12,2	10.56	4.44	370.4	438.7	70.4	29.6
14,7	13.15	6.85	349.0	391.5	65.75	34.25
17,2	15.42	9.58	324.6	350.2	61.68	38.32

Bảng 6. Kết quả tính toán phương pháp PDR trường hợp Bè – 490 – 5D – 9c

Bè – 490 – 5D – 9c						
V	Vp	Vr	Kr	Kp	Pp	Pr
(kN)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	%	%
2,19	1,66	0,53	37,3	50,8	75,79	24,21
4,68	3,45	1,23	36,6	47,4	73,79	26,21
7,17	5,11	2,06	35,7	44,3	71,32	28,68
9,67	6,65	3,02	34,8	41,5	68,78	31,22
12,2	8,08	4,12	33,7	38,8	66,24	33,76
14,7	9,37	5,33	32,5	36,4	63,77	36,23
17,2	10,59	6,61	31,2	34,1	61,57	38,43



Hình 9. Lắp đặt các mô hình móng bè cọc

3.2 Kết quả mô phỏng bằng Plaxis

Thông số đất nền và cọc trong mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D sử dụng như trong mô hình thí nghiệm vật lý được trình bày ở bảng 2.

Bảng 7. Kết quả tải trọng phân bố lên cọc bằng mô hình Plaxis 3D từ 1,4, 9 cọc

Khoảng cách cọc	Phần trăm cọc gánh, %	
	2.5d	5d
Bè 1 cọc	7.8	7.82
Bè 4 cọc	38.07	38.83
Bè 9 cọc	63.9	65.17

Bảng 8. Kết quả thí nghiệm phân bố tải trọng của cọc với khoảng cách cọc 2.5d

Cấp tải, kN	Tỉ lệ phần trăm cọc gánh, %		
	Bè 1 cọc	Bè 4 cọc	Bè 9 cọc
2.2	7.22	76.34	29.46
4.7	10.35	61.62	48.69
7.2	10.70	57.81	57.29
9.7	9.40	57.49	61.51
12.2	8.46	57.26	63.32
14.7	8.08	57.92	65.06
17.2	7.82	57.85	65.94

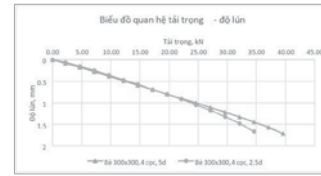
Bảng 9. Kết quả thí nghiệm phân bố tải trọng của cọc với khoảng cách cọc 5d

Cấp tải, kN	Tỉ lệ phần trăm cọc gánh, %		
	Bè 1 cọc	Bè 4 cọc	Bè 9 cọc
2.2	7.22	46.08	66.25
4.7	10.35	41.76	66.77
7.2	10.70	42.19	65.59
9.7	9.40	42.51	64.60
12.2	8.46	42.74	64.13
14.7	8.08	42.08	64.60
17.2	7.82	42.15	65.58

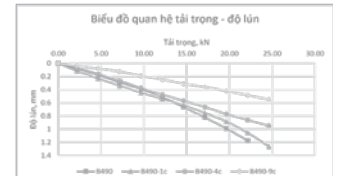
3.3 Kết quả nghiên cứu bằng phương pháp thực nghiệm

Kết quả thí nghiệm móng bè cọc trong mô hình được tổng hợp thông qua các biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún, phân bố tải trọng lên cọc theo số lượng cọc và khoảng cách cọc.

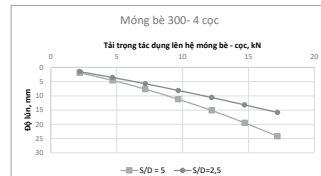
Độ cứng của hệ thống móng bè cọc là sự kết hợp giữa độ cứng của bè và độ cứng của cọc. Đối với móng bè cọc, mối quan hệ tải trọng-lún ban đầu là tuyến tính vì cả bè và cọc vẫn còn đàn hồi. Khi khả năng chịu tải của cọc được huy động hoàn toàn, độ cứng của cọc giảm đáng kể.



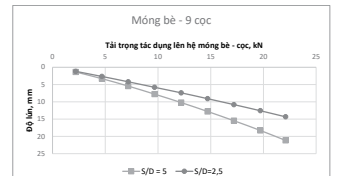
Hình 10. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ lún của bè B300-4c



Hình 11. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ lún của bè B490

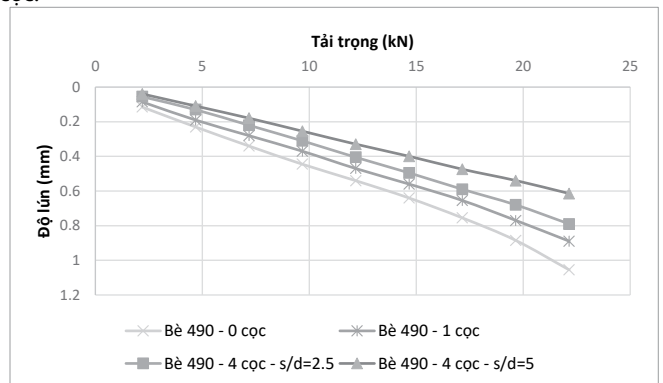


Hình 12. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ lún của bè B300



Hình 13. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ lún của bè B300-4c

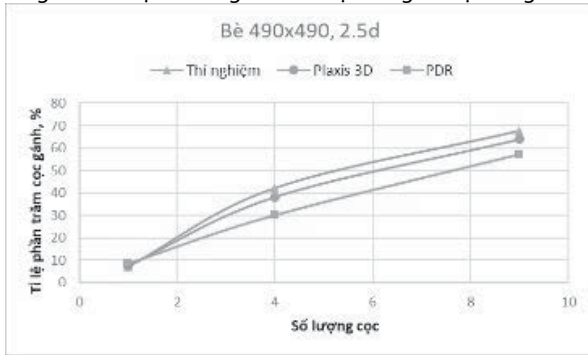
Từ đường cong quan hệ tải trọng- độ lún có thể thấy rằng: Phần đầu tiên là tuyến tính vì mối quan hệ tải trọng- độ lún của cọc và bè vẫn còn đàn hồi, phần tiếp theo là không tuyến tính vì cọc đã đạt đến sức chịu tải cực hạn. Độ cứng của hệ thống bè cọc bằng độ cứng của riêng bè. Tuy nhiên, vì độ cứng của cọc vẫn còn tương đối cao nên điều này sẽ có một số tác động đến độ cứng của hệ thống bè cọc.



Hình 14. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ lún của bè B300-4c

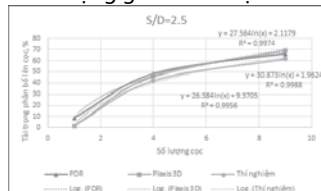
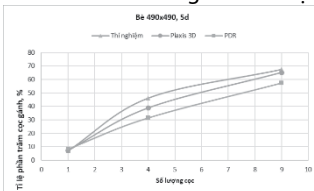
Từ các biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún trên ta thấy rằng độ lún của móng đóng vai trò quan trọng nhất trong việc phân phối tải trọng giữa các thành phần móng. Sự chia sẻ tải trọng của bè và cọc

phụ thuộc chủ yếu vào độ lún của hệ móng. Tải trọng mà bệ chịu có thể tăng lên khi độ lún tăng lên của hệ móng bệ cọc tăng lên.



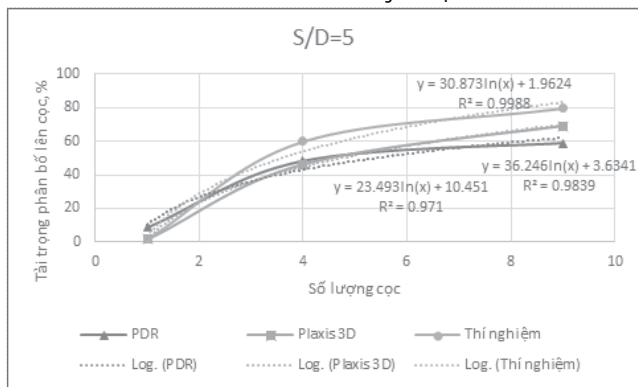
Hình 15. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng cọc.

Ảnh hưởng của khoảng cách cọc đến việc chia tải giữa cọc và bệ được thể hiện trong Hình 15 và hình 16. Có thể thấy rằng khoảng cách cọc không ảnh hưởng đến việc chia tải giữa cọc và bệ trong trường hợp bệ cọc được hỗ trợ bởi 1 cọc trong khi đó nhóm cọc 2x2 và 3x3 có ảnh hưởng lớn đến sự chia tải trọng giữa bệ và cọc.



Hình 16. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng đến 9 cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 5d

Hình 17. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 2.5d



Hình 18. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 5d.

Khi khoảng cách cọc tăng, độ cứng của nhóm cọc lớn do sự giảm tương tác giữa các cọc. Ngoài ra, việc phân bố cọc tốt giúp giảm độ lún chênh lệch giữa tâm và mép bệ. Tuy nhiên, khi khoảng cách cọc nhỏ, tất cả các cọc đều nằm dưới tâm bệ, trong trường hợp này, sẽ có sự chênh lệch lớn giữa độ lún tại tâm và mép bệ. Độ lún tại mép bệ sẽ lớn và do đó ứng suất tiếp xúc giữa bệ và đất cũng sẽ lớn, do đó có sự chia tải trọng rõ ràng giữa bệ và cọc.

Khi tính toán bằng phương pháp PDR và Plaxis 3D cho thấy rằng, tải trọng phân bổ lên cọc trong thí nghiệm mô hình đến 9 cọc có xu hướng tăng theo số lượng cọc. Tuy nhiên khi khoảng cách cọc tăng đến 5d thì tải trọng phân bổ lên cọc của phương này có cùng xu hướng với Plaxis 3D và PDR nhưng tải phân bổ lên cọc cao hơn.

4. KẾT LUẬN

Tải trọng tác dụng lên hệ móng bệ cọc được chia cho cả bệ và cọc, tải trọng được phân bổ lên cọc tăng khi số lượng cọc tăng. Đối

với 3 phương pháp: phương pháp giải tích, phương pháp thí nghiệm và mô phỏng Plaxis 3D có tải trọng phân bổ lên cọc theo tỉ lệ tăng có xu hướng giống nhau.

Trong nghiên cứu này, một mô hình tỉ lệ nhỏ đơn giản đã được phát triển để dự đoán độ lún và sự chia sẻ tải trọng giữa bệ và cọc trong hệ móng bệ cọc. Mô hình này có thể cung cấp có giá trị cho các kỹ sư nền móng để tham khảo thiết kế móng bệ cọc, đặc biệt là trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế và có thể để tiến hành các nghiên cứu khả thi để so sánh các phương án thay thế.

Đối với thiết kế móng bệ cọc, đặc biệt là trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, độ lún của hệ móng và sự chia sẻ tải trọng giữa bệ và cọc là các tiêu chí quan trọng nhất để có được thiết kế hiệu quả và kinh tế.

Bằng mô hình tỉ lệ nhỏ với tính chất cơ lý của đất nền ở điều kiện đất cát, kết quả chỉ ra rằng khi số lượng cọc tăng tải trọng phân bổ lên cọc tăng. Tỉ lệ do bệ chịu từ 30-40%, điều này phù hợp với đề xuất của những nghiên cứu trước rằng móng bệ cọc hoạt động hiệu quả hơn nếu bệ chịu ít nhất 30% tải trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 9393: 2012 (2012). Cọc – Phương pháp thử hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. NXB Xây dựng, Hà nội.
2. Bhartiya, Priyanka, Tanusree Chakraborty, Dipanjan Basu, và M Asce. 2020. "Settlement Estimation of Piled Rafts for Initial Design". 146(2): 1–17
3. Burland, J.B. (1995). Piles as settlement reducers. Keynote Address, 18th Italian Congress on Soil Mechanics. Pavia, Italy
4. Fleming, W. G. K., et al. (1992). Piling Engineering. 2nd Ed. Blackie A & P, John Wiley & Sons, Inc.
5. Fioravante, V., Giretti, D. and Jamiolkowski, M "Physical Modeling of Raft on Settlement Reducing Piles". From Research to Practice in Geotechnical Engineering Congress 2008. ASCE. pp. 206-229. 2008.
- 6.
7. Hemsley, J. A. (2000). Developments in raft analysis and design. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 487-605.
8. 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.
9. Katzenbach, R., and O. Reul. "Theme lecture: design and performance of piled rafts." Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg. Vol. 4. 1997.
10. 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.
11. PLAXIS 3D Manual 2018
12. Poulos, H. G. and Davis, E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. New York: John Wiley
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. M. F. Randolph, Design of piled raft foundations: Cambridge University Engineering Department, 1983.
16. Randolph, M. F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. State of the Art Rep., Proc., 13th ICSMFE, Vol. 5, 61–8.
17. Sinha, J. (1997). Piled raft foundations subjected to swelling and shrinking soils. PhD Thesis, Univ. of Sydney, Australia.
18. Sharafkhan, Mehdi, và Issa Shooshpasha. "Physical modeling of behaviors of cast-in-place concrete piled raft compared to free-standing pile group in sand" Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017.
19. Võ Văn Đầu, Võ Phán, Trần Văn Tuấn. Thiết lập mô hình vật lý xác định sự phân bố tải trọng dọc trục của cọc trong hệ móng bệ cọc. Tạp chí Xây dựng. 2021. 10. 119-123.