

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT**

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM  
VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

**NGUYỄN MẠNH TƯỜNG**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC TẢI TRỌNG  
TÍNH VÀ ĐỘNG TỚI SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC  
KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**CHUYÊN NGÀNH: ĐỊA KỸ THUẬT XÂY DỰNG**

**MÃ SỐ: 9.58.02.11**

**THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH – NĂM 2021**

Công trình được hoàn thành tại:

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

**Người hướng dẫn khoa học:**

**PGS. TS. CHÂU NGỌC ẨN**

**Phản biện 1: PGS. TS. Trần Tuấn Anh.**

**Phản biện 2: PGS. TS. Hoàng Việt Hùng.**

**Phản biện 3: PGS. TS. Võ Ngọc Hà.**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá Luận án Tiến sĩ cấp Viện, họp tại: Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, số 658 Đại lộ Võ Văn Kiệt, Phường 1, Quận 5, TP. Hồ Chí Minh vào hồi ... giờ..... ngày..... tháng ..... năm 2021

Có thể tìm hiểu Luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài.

Thành phố Hồ Chí Minh (TP. HCM) tập trung nhiều công trình xây dựng dân dụng công nghiệp. Tuy nhiên, khu vực này nằm trên vùng đất yếu có sức chịu tải kém, đặc biệt với tải trọng động. Tại các khu công nghiệp đặt móng máy chịu những tải trọng động có tần số, biên độ, cường độ khác nhau. Những tải trọng trên từ công trình truyền xuống cọc, hoặc từ nền đất xung quanh ảnh hưởng tới cọc gây ra cho bản thân cọc, vùng biến dạng cực hạn xung quanh cọc những ảnh hưởng khác nhau. Nghiên cứu tính toán sức chịu tải trọng động của móng cọc gác đỡ cho công trình cũng như tìm ra sự suy giảm sức chịu tải sau khi công trình chịu tải trọng động là cần thiết hiện nay. Việc tính toán ảnh hưởng của tải trọng động tới sức chịu tải của cọc có rất nhiều phương pháp nhưng cho kết quả phân tán. Phương pháp thử tĩnh tin cậy nhưng tốn kém và mất thời gian và không có kết quả về ảnh hưởng tải trọng động tới sức chịu tải cọc. Để kể thêm đến ảnh hưởng của tải trọng động tới sức chịu tải cọc được nhân thêm hệ số vào kết quả sức chịu tải tĩnh của cọc. Việc xây dựng mô hình thí nghiệm để xác định các thông số tính toán cọc nền công trình của đất nền đã được thực tế chứng minh có khả năng mô phỏng tốt hoạt động cọc trong nền đất. Thông qua việc phân tích so sánh kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc và mô phỏng với các thông số động khác nhau tìm ra bộ thông số của đất nền để mô phỏng trạng thái ứng suất - biến dạng của cọc và ứng xử của nền đất xung quanh cọc có biến dạng dẻo.

### 2. Mục đích của đề tài.

Nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh tìm ra mô hình đất phù hợp và lựa chọn thông số hợp lý. Xem xét áp dụng mô hình đất phù hợp để nghiên cứu lộ trình ứng suất với các tính chất và điều kiện khác nhau của nền đất. Lựa

chọn các thông số mô hình của đất nền để mô phỏng trạng thái ứng suất – biến dạng của cọc và ứng xử của nền đất trong vùng có biến dạng dẻo xung quanh cọc. Nghiên cứu điều kiện địa chất công trình, địa chất thủy văn và phân tích đánh giá khả năng ảnh hưởng tới sức chịu tải khi có tải trọng động tại khu vực. Nghiên cứu, xây dựng mô hình vật lý tỉ lệ nhỏ, tiến hành các thí nghiệm gia tải động lên cọc nhằm xác định ảnh hưởng của tải trọng động tới sức chịu tải và độ lún của cọc. Phân tích ứng xử động của cọc khi chịu tác động của tải trọng động với các tần số khác nhau. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ L/D, hiệu ứng cọc - nền, xem xét sức chịu tải tức thời khi chịu tải trọng động. Thiết lập các tương quan Lực – Biến dạng, Lực – Sức kháng mũi, Lực – Tỉ lệ Sức kháng bên/Sức kháng mũi trong cọc chịu tải trọng động trên nền đất cát TP. HCM.

### 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

❖ Đối tượng nghiên cứu của luận án là cọc chịu nén đứng tâm chịu ảnh hưởng của tải trọng động trong môi trường cát.

❖ Phạm vi nghiên cứu: Nền đất khu vực nhiều lớp bên trên là các lớp đất bùn sét có sức chịu tải kém, bên dưới là các lớp cát được lựa chọn đặt mũi cọc trong phạm vi này. Do vậy nghiên cứu của luận án tập trung vào ảnh hưởng tải trọng động lên cọc trong lớp đất cát mịn trạng thái chặt vừa khu vực TP. HCM. Đây là lớp đất phổ biến và được đánh giá chịu lực khá tốt khi chịu tải tĩnh. Từ đó cần nghiên cứu cọc khi chịu tải trọng động sẽ bị suy giảm và các ảnh hưởng của ma sát cho đoạn cọc trong lớp đất này lên sức chịu tải cọc. Nghiên cứu cọc đơn chịu tải dọc trục thẳng đứng. Mô hình thí nghiệm sử dụng đài cọc tuyệt đối cứng để loại bỏ mọi ảnh hưởng của phân bố tải trọng và kết quả đo. Ảnh hưởng của liên kết cọc - đài cọc được bỏ qua không khảo sát trong nghiên cứu. Tải trọng tác động trên móng là tải tuần hoàn. Tần số nghiên

cứu ảnh hưởng là tần số kích thích gây ra đáp ứng cơ hệ, không nghiên cứu đến tần số đáp ứng của hệ cọc - đài cọc.

#### **4. Nội dung nghiên cứu**

Tổng quan các phương pháp tính toán ảnh hưởng tải trọng tĩnh và động tới sức chịu tải của cọc theo thí nghiệm hiện trường và các nghiên cứu khác trên thế giới. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp số trong phân tích tính toán sức chịu tải cọc. Lựa chọn mô hình phù hợp với kết quả thí nghiệm nén tĩnh để mô phỏng tìm sức chịu tải phá hoại. Nghiên cứu chế tạo mô hình vật lý tỉ lệ xác định ảnh hưởng của tải trọng động tới sức chịu tải của cọc. Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của tải trọng động tới sức chịu tải cọc. Khảo sát cơ chế phân bố lực dọc trong thân cọc, sự thay đổi ứng suất tiếp được huy động giữa thành cọc và đất theo tần số. Phân tích ảnh hưởng của tải trọng động tới ứng xử động của cọc, thiết lập các tương quan ứng suất, biến dạng, tần số trên các loại cọc có L/D khác nhau.

#### **5. Phương pháp nghiên cứu**

Phương pháp thống kê: Thu thập, phân tích, tổng hợp các kết quả nghiên cứu. Xử lý thống kê, phân tích các kết quả thí nghiệm, thiết lập các mối tương quan bằng các phần mềm xử lý số liệu hiện đại. Phương pháp thực nghiệm: Nghiên cứu thực nghiệm tiến hành các thí nghiệm mô hình vật lý trong phòng để làm căn cứ phân tích so sánh, đối chiếu kết quả. Phương pháp mô phỏng số: Nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh thông qua sử dụng phần mềm Plaxis để phân tích so sánh. Sử dụng các phần mềm xử lý số liệu tìm ra kết quả giữa mô phỏng số và thí nghiệm hiện trường tìm ra các tương quan trong mô hình đất nền.

#### **6. Những điểm mới của luận án**

1) Xây dựng mô hình thí nghiệm nén tĩnh cọc để nghiên cứu các ảnh hưởng của các thông số vật lý lên sức chịu tải cọc khi chịu tải tĩnh và suy giảm

khi chịu tải trọng động với nền cát. Từ đó nghiên cứu các ảnh hưởng của thông số động lực học lên ứng suất – biến dạng, sức chịu tải của cọc và tìm ra các tương quan.

2) Đề xuất các phương trình tương quan Độ lún – Tần số cho loại cọc có bề mặt trơn, cọc có bề mặt nhám. Các phương trình tương quan giữa Lực - Ma sát đơn vị - Sức kháng mũi, Lực - Tỷ lệ  $F_s0/Sức$  kháng mũi, Lực - Tỷ lệ  $F_s1/Sức$  kháng mũi cho các loại cọc có L/D khác nhau.

3) Thực hiện mô phỏng số thí nghiệm nén tĩnh tìm ra mô hình MCC có các kết quả gần nhất so với kết quả thí nghiệm nén tĩnh. Nghiên cứu cho thấy các thông số ảnh hưởng mạnh nhất tới kết quả mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh. Sử dụng mô hình MCC mô phỏng nén phá hoại để tìm ra sức chịu tải cực hạn của cọc.

4) Đề xuất các hệ số tương quan trong thí nghiệm nén tĩnh  $\lambda/\kappa$  trong chu kỳ 1, chu kỳ 2 và tương quan chung  $\lambda/\kappa$  trong cả 2 chu kỳ. Các phương trình tương quan thông số M, Lambda, Kappa trong mô hình MCC của phần mềm Plaxis trong mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh xác định sức chịu tải cọc.

## **7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

Đề tài bước đầu góp phần làm sáng tỏ ảnh hưởng của tải trọng động tĩnh và động thông qua mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh cũng như thí nghiệm mô hình vật lý tỉ lệ nhỏ. Qua đó đề xuất các phương trình tương quan giữa tần số và độ lún, lực và biến dạng, mối quan hệ lực và sức kháng.

Kết quả nghiên cứu cung cấp số liệu để làm cơ sở phục vụ cho việc phân tích ảnh hưởng tải trọng động trong thiết kế sức chịu tải cọc có xét đến ảnh hưởng tải trọng động có thể xuất hiện trong điều kiện xây dựng TP.HCM hiện nay giúp cho việc dự báo sức chịu tải cọc chính xác hơn.

## Chương 1.

### NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG TỚI SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC

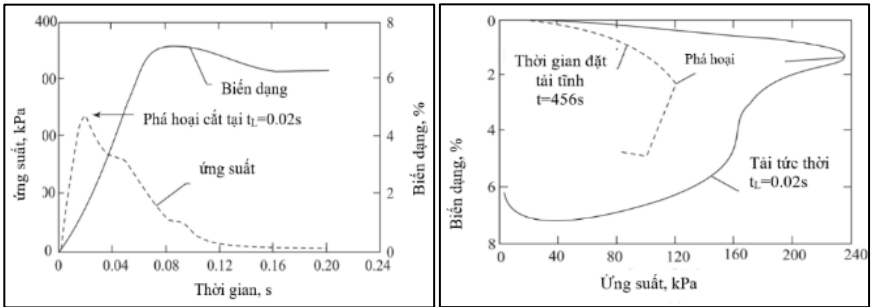
#### 1.1. Đặt vấn đề.

#### 1.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tải trọng động.

#### 1.3. Đặc trưng sức chống cắt dưới ảnh hưởng của tải trọng tức thời.

#### 1.4. Cường độ, biến dạng dưới ảnh hưởng của tải trọng tức thời.

Casagrande và Shannon [1, 39] đã thí nghiệm tạo ra các tải xung với thời gian gia tăng tải là  $t_L=0.2s$ .



Hình 1.11: Ứng suất – Biến dạng thí nghiệm nở hông với tải tức thời.

#### 1.5. Nghiên cứu dao động của móng với đặc trưng động từ móng tác động xuống nền đất.

#### 1.6. Nghiên cứu liên quan đến hướng nghiên cứu của đề tài.

Theo Han (2018) nghiên cứu mô hình thí nghiệm hiện trường cọc đóng để tìm sức chịu tải và ứng suất tồn trữ trong cọc. Theo Naggar (2019) nghiên cứu thiết lập mô hình tính truyền năng lượng sóng ứng suất trong nền bán không gian. Kết quả mô phỏng cho cọc được so sánh với các phần mềm đối chứng cho các hiệu ứng tần số với các ảnh hưởng vật lý khác nhau.

### 1.7. Nghiên cứu tính toán sức chịu tải bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Theo Wu (2020), Tolun (2020), Rajpoot (2020), Lin (2020) mô phỏng số các mô hình khác nhau cho cọc để nghiên cứu phản ứng động của nền - cọc. Ahmed (2015), Azizkandi (2018), Chaudhuri (2020), Zhang (2020), Lou (2020), Yan (2016), Liu (2020), Zhu (2020) nghiên cứu ảnh hưởng tải trọng động và tìm được các kết quả khá hợp lý cho hướng nghiên cứu mô phỏng số.

### 1.8. Nghiên cứu mô hình thí nghiệm tỉ lệ nhỏ cọc chịu tải trọng động.

Garala (2020) thí nghiệm ly tâm cọc nhôm. Rui He (2019) nghiên cứu mô hình cọc đơn chịu động với các tần số. Huang (2020), Mishra (2019), Li (2020), Subramanya (2019), Varghese (2020), Zhanfang (2020), Yi (2017), Zhou (2019), nghiên cứu thiết kế các mô hình chịu tải trọng động.

### 1.9. Kết luận

1) Việc nghiên cứu thêm ảnh hưởng của tải trọng động bên cạnh tải trọng tĩnh lên móng cọc công trình trong khu vực là điều cần quan tâm khi thiết kế thi công nền móng. Các công thức xác định độ lún móng chưa xét hết các thông số ảnh hưởng độ nhám, tỉ số L/D, tính chất cơ lý đất nền... Khi tốc độ biến dạng tăng:  $c_{u(dynamic)}/c_{u(static)}=1.5$ , giảm góc ma sát trong của đất,  $\varphi'_{(động)} = \varphi'_{(tĩnh)} - 2^0$ .

2) Braja M. Das (2011) đã đưa thêm các thông số: Tần số của tải trọng động, Lực tuần hoàn Q, Độ cứng đàn hồi k của hệ thống móng. Ahmed (2015) chưa tính toán được hiệu ứng của giảm chấn so với chiều dài cọc trong đất. Khi tính sức chịu tải động của cọc từ sức chịu tải của cọc đơn có xét đến ảnh hưởng của tải trọng động, các quy định trong các tiêu chuẩn xây dựng Việt nam chưa cung cấp đủ thông tin cần thiết để áp dụng.

3) Ảnh hưởng của những tải trọng động trong các công trình có tần số, biên độ, cường độ khác nhau gây ra những đáp ứng khác nhau cho hệ cọc - nền. Tải trọng trên từ công trình truyền xuống cọc, nền đất xung quanh ảnh



hưởng tới cọc gây ra cho bản thân cọc, vùng biến dạng cực hạn xung quanh cọc trong nền đất khu vực cụ thể cũng cần xem xét thêm. Nghiên cứu bằng mô phỏng số thí nghiệm nén tĩnh và thí nghiệm mô hình cọc chịu tải trọng động có thể đáp ứng được một phần những yêu cầu đề ra.

## Chương 2.

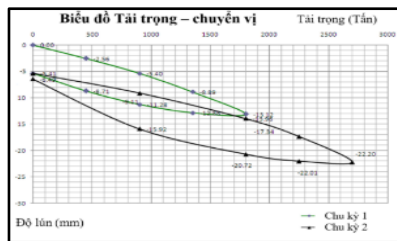
### NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ TRONG PHÂN TÍCH TÍNH TOÁN SỨC CHỊU TẢI CỌC.

#### 2.1. Đặt vấn đề.

Kết hợp công thức bán thực nghiệm của đơn vị thi công nền móng, thí nghiệm hiện trường, mô phỏng số là hướng nghiên cứu có giá trị khoa học và thực tiễn trong tính toán sức chịu tải cọc thông qua phân tích đánh giá ứng suất - biến dạng nền móng dưới móng cọc bằng việc sử dụng phần mềm Plaxis với các mô hình nền. Phân tích ứng suất biến dạng nền đất móng sâu thông qua mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh cọc có gắn đầu đo ứng suất - biến dạng trong thân cọc khi phân tích ngược thí nghiệm tìm ra các thông số đất nền phù hợp với kết quả nén tĩnh.

#### 2.2. Tổng quan việc xác định sức chịu tải bằng thí nghiệm nén tĩnh.

#### 2.3. Nghiên cứu thí nghiệm nén tĩnh cọc khu vực TP. HCM.

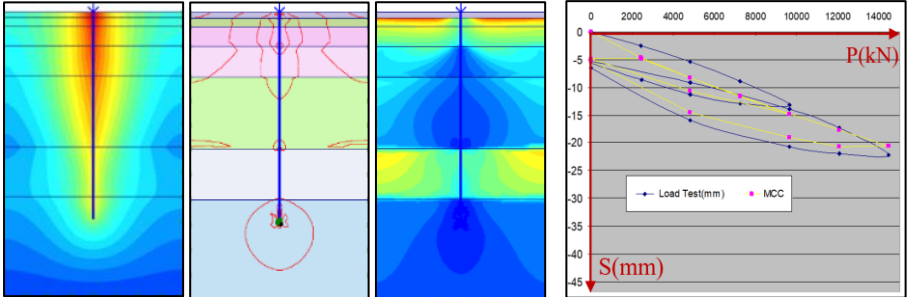


Hình 2. 1: Thí nghiệm và biểu đồ các kết quả Load Test

## 2.4. Tính toán sức chịu tải của cọc dựa trên thí nghiệm nén tĩnh.

$$S = \xi \cdot S_{gh}, \quad S = \xi \cdot S_{gh} = 0,2 \times 80 = 16 \text{ mm.}$$

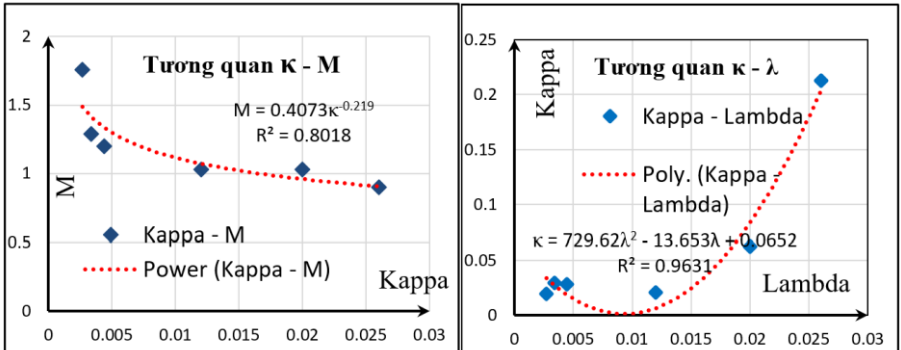
## 2.5. Nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh để xác định sức chịu tải trong Plaxis.



Hình 2. 10: Kết quả mô phỏng MCC với LoadTest

## 2.6. Phân tích kết quả theo mô hình (MCC) và thí nghiệm nén tĩnh.

### 2.6.1. Thiết lập mối tương quan thông số mô hình.



Hình 2. 24: Đồ thị biểu diễn thông số  $\kappa - \lambda$

Kết quả tương quan các thông số trong mô hình MCC như sau:

M – Kappa:  $M = 0.4073\kappa^{-0.219}$ ; Lambda – Kappa:  $\kappa = 729.62\lambda^2 - 13.653\lambda + 0.0652$

2.6.2. *Phân tích so sánh kết quả tính toán MCC và thí nghiệm nén tĩnh.*

**2.7. Nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm nén phá hoại 250% $P_{TK}$ .**

**2.8. Nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm tìm sức chịu tải theo chuyển vị giới hạn quy ước.**

**2.9. Kết luận**

1) Mô hình MCC phù hợp được phát triển cho các phần mềm tính toán nền móng. Việc phân tích mô hình MCC trong khi sử dụng phần mềm Plaxis kết hợp với so sánh kết quả thí nghiệm nén tĩnh là cơ sở đánh giá chính xác ứng suất biến dạng trong nền đất.

2) Theo kết quả thí nghiệm có  $\lambda / \kappa = 13.12/5.41 = 2.4$  (CK1) và  $\lambda / \kappa = 22.2/6.49 = 3.4$  (CK2), tương quan  $\lambda / \kappa \sim 3$ .

3) Tương quan M – Kappa:  $M = 0.4073\kappa^{-0.219}$

4) Tương quan Lambda – Kappa:  $\kappa = 729.62\lambda^2 - 13.653\lambda + 0.0652$

### Chương 3.

## NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÔ HÌNH VẬT LÝ TỈ LỆ ĐỂ XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG TỚI SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC.

### 3.1. Đặt vấn đề.

Mô hình nghiên cứu xem xét các ảnh hưởng của tải trọng lên ứng suất – Biến dạng theo suốt chiều dài thân cọc và mũi cọc, mô phỏng thay đổi tùy biến được nhiều các yếu tố ảnh hưởng tải trọng tĩnh và động lên sức chịu tải cọc.

### 3.2. Phân tích thứ nguyên.

Theo các nghiên cứu và thực tế chứng minh, tần số  $f$  có ảnh hưởng quyết định tới chuyển vị của của cọc:  $f = g(L; D; \gamma; \varphi; c; d)$

Biến đổi Pi phương trình  $g \left\{ \frac{L}{D}; \frac{d}{D}; \varphi; \frac{c.f}{\gamma^{1/2}} \right\} = 0$

Các thông số nghiên cứu từ 7 đại lượng độc lập sau khi biến đổi Pi còn 4 đại lượng phụ thuộc. Sự phụ thuộc, liên quan giữa các đại lượng cho thấy mức độ, tầm quan trọng của các đại lượng với thông số của động lực học do tải trọng động bên ngoài tác dụng lên ảnh hưởng tới độ lún, chuyển vị của cọc.

**3.3. Yêu cầu về tương tự mô hình.**

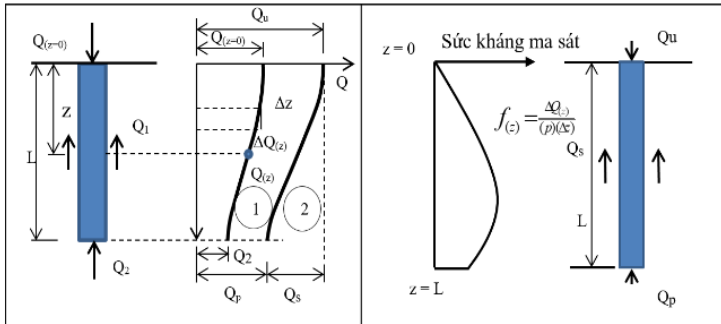
**3.4. Ưu nhược điểm của mô hình vật lý tỉ lệ nhỏ.**

**3.5. Triển khai mô hình.**

**3.6. Lựa chọn vật liệu và tỉ lệ mô hình.**

**3.7. Phân tích sức chịu tải giới hạn của cọc.**

**3.8. Cơ chế truyền ứng suất.**



Hình 3.  
1: Cơ chế truyền ứng suất và Sức kháng huy động.

**3.9. Phương trình xác định sức chịu tải của cọc.**

$Q_u = Q_s + Q_p$ . Lực dọc Strain gauge thứ  $i$ :  $P_i = \Delta\mu\epsilon_i \times EA$ .

**3.10. Nghiên cứu phân bố lực dọc theo kết quả TN hiện trường.**

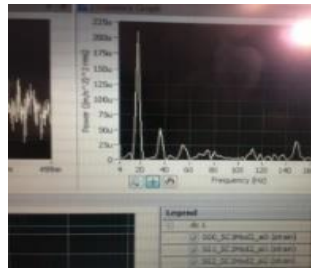
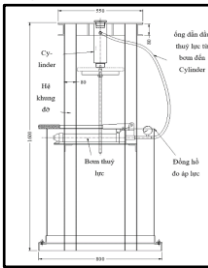
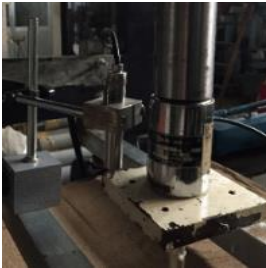
**3.11. Nghiên cứu cọc sử dụng trong mô hình thí nghiệm.**



Hình 3. 2. Straingage, Cọc tron, cọc nhám.

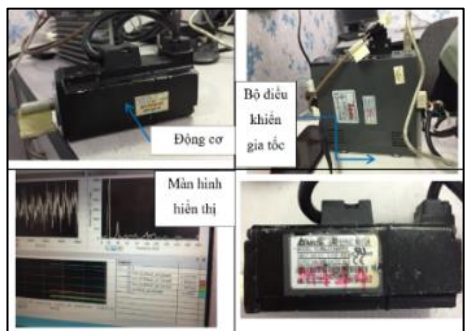
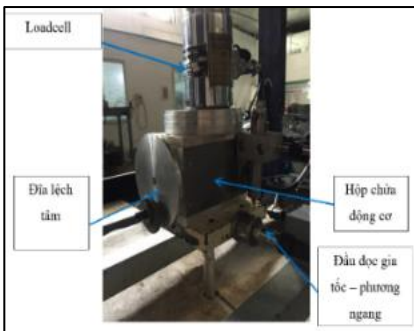
3.12. Hệ phản lực.

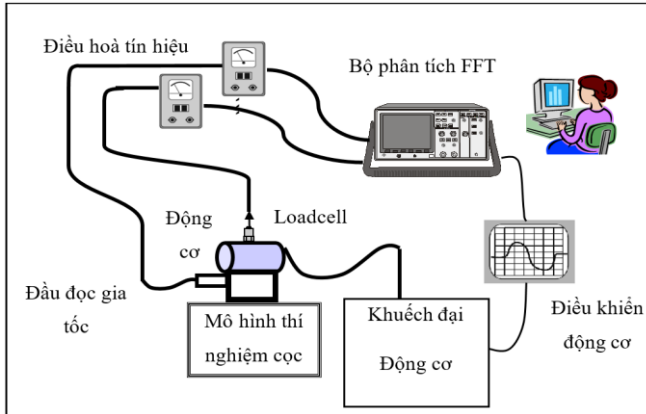
3.13. Thiết bị đo tải trọng.



Hình 3. 3: Bộ xử lý tín hiệu cho các thiết bị và kết nối

3.14. Hệ thống gia tải động.





Hình 3. 4: Sơ đồ lắp đặt hệ thống thiết bị thí nghiệm mô hình

### 3.15. Trình tự các bước thí nghiệm trên mô hình.

3.15.1. Nén đất trong thùng.

3.15.2. Trình tự nén mẫu đất trong thùng.

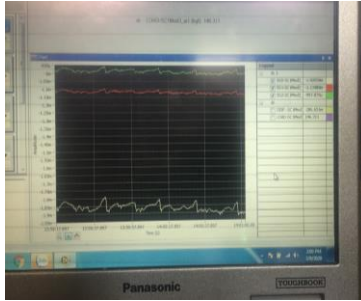
3.15.3. Quy trình hạ cọc.



Hình 3. 5: Quá trình hạ cọc – Kiểm tra độ thẳng đứng và tiến hành ép

3.15.4. Quy trình nén tĩnh cọc.

Tiến hành nén tĩnh để xác định sức chịu tải cực hạn và khả năng chịu lực tối đa. Kết nối các strain gauges, load cell vào đầu đọc dữ liệu.



Hình 3. 6:  
Thí nghiệm nén tĩnh cọc,  
màn hình  
hiển thị kết  
quả.



Hình 3. 7:  
Bộ xử lý tín  
hiệu kết nối đầu  
đọc gia tốc và  
đầu đo

### 3.15.5. Gia tải tiêu chuẩn.

## 3.16. Kết luận

1) Thí nghiệm trên mô hình vật lý tỉ lệ nhỏ có thể đảm bảo cho các điều kiện tương thích cũng như giảm giá thành. Trong khi đó có thể tăng các lựa chọn cho thông số đầu vào so với thí nghiệm tỉ lệ lớn ngoài hiện trường.

Nghiên cứu ảnh hưởng của chỉ tiêu cơ lý đất, tỉ lệ  $L/D$  đến độ lún, chuyển vị và sức chịu tải cọc đủ đảm bảo cho thí nghiệm phù hợp.

2) Việc nghiên cứu tiến hành thí nghiệm ảnh hưởng của các thông số hình học của cọc  $L/D$ , chỉ tiêu cơ lý của đất  $c$ ,  $\gamma$ , thông số của động lực học do tải trọng động bên ngoài tác dụng tới độ lún, chuyển vị của cọc đảm bảo việc giảm các thông số thí nghiệm nhưng vẫn có kết quả chấp nhận ở mức cho

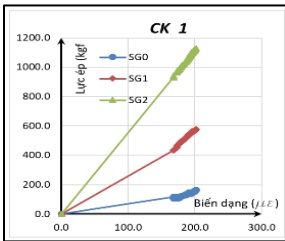
phép. Các nghiên cứu thiết kế hệ thống kết cấu mô hình đảm bảo vấn đề tỷ lệ và các vấn đề liên quan tương tác cọc – đất.

3) Nghiên cứu thiết kế lắp đặt hệ thống thiết bị thí nghiệm đo ảnh hưởng tải trọng động lên ứng xử của cọc, sức chịu tải đủ đảm bảo cho thí nghiệm đạt tiêu chuẩn, mục tiêu đề ra. Sau khi tiến hành với cọc nền tĩnh, cho cọc nghỉ theo đúng thời gian, tiến hành thí nghiệm động trên đài cọc để nghiên cứu ứng xử của cọc.

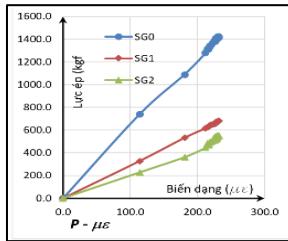
## Chương 4.

### THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG TỚI SỨC CHỊU TẢI CỌC.

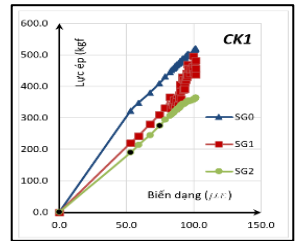
#### 4.1. Kết quả thí nghiệm nén tĩnh trên cọc L40.



Cọc L40



Cọc L50



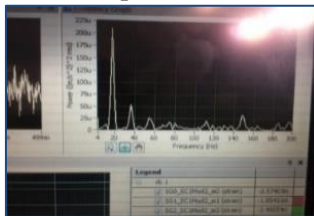
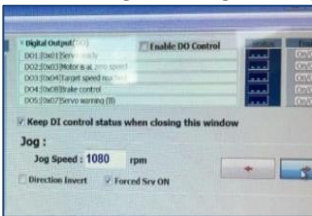
Cọc L60

#### 4.2. Kết quả đo cọc L50.

#### 4.3. Kết quả đo cọc L60 tại chu kỳ 1 và chu kỳ 2.

#### 4.4. Thí nghiệm gia tải động lên cọc.

Thông số động được gia tải trên phần mềm điều khiển tốc độ.

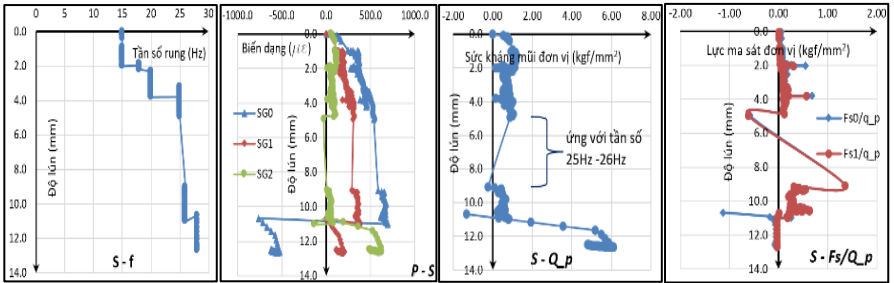


Hình 4. 9:  
Tương quan tần số giữa điều khiển và đầu đo gia tốc

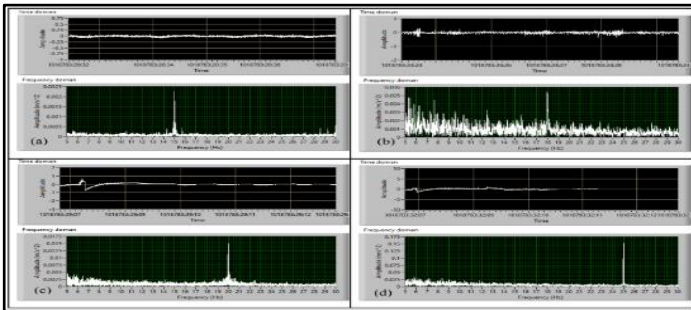


### 4.5. Kết quả thí nghiệm động trên đài cọc và ứng xử của cọc.

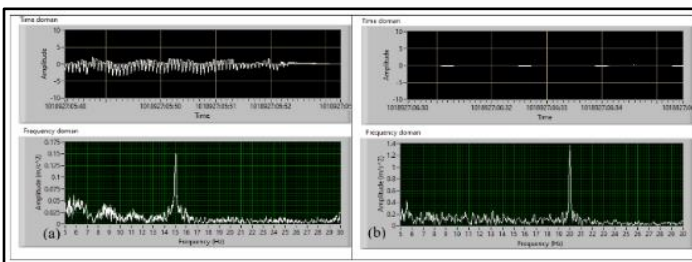
#### 4.5.1. Kết quả trên cọc L40 – nhám



Hình 4. 13: Quan hệ Độ lún – tần số - Sức kháng cọc L40

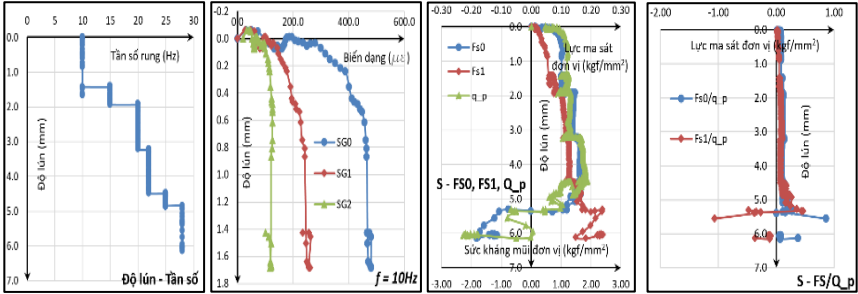


Hình 4. 15:  
Kết quả phân tích tần số FFT cọc L40 nhám

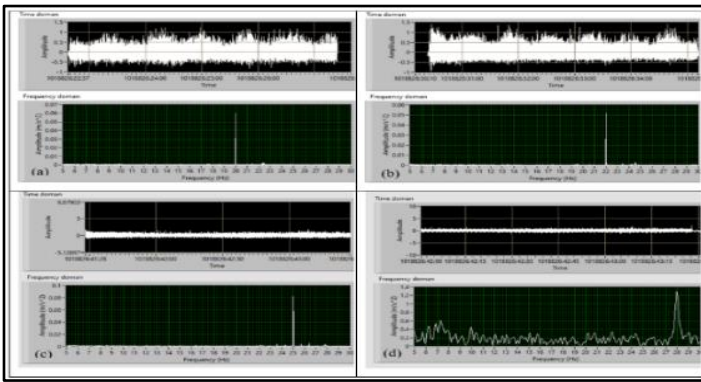


Hình 4. 17:  
Kết quả phân tích tần số FFT cọc L40 tron

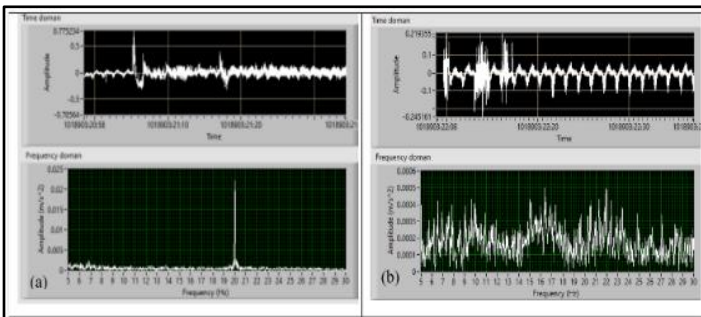
#### 4.5.2. Kết quả trên cọc L50 – nhám



Hình 4. 19: Biểu đồ Độ lún – Tần số - Sức kháng L50

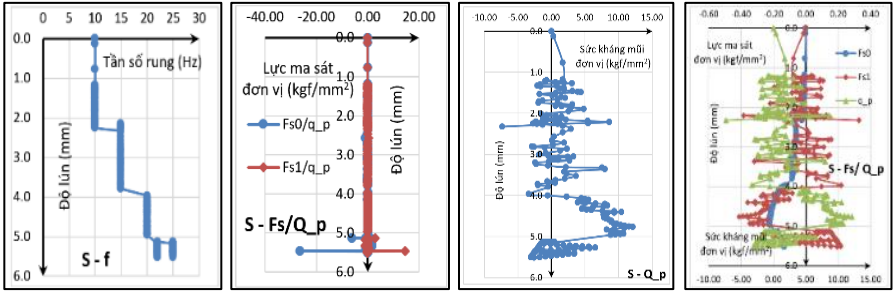


Hình 4. 25:  
Kết quả phân tích tần số FFT cọc L50 nhám

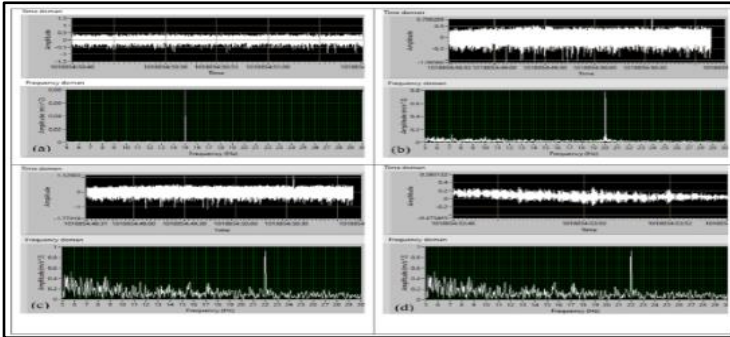


Hình 4. 26:  
Kết quả phân tích FFT cọc L50 trơn tại tần số phá hoại.

4.5.3. Kết quả trên cọc L60 – nhám

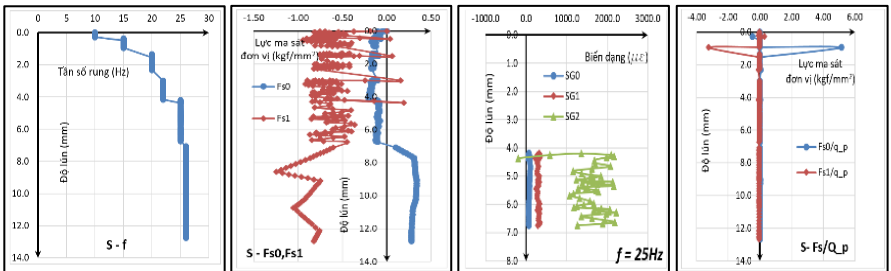


Hình 4. 29: Biểu đồ Độ lún – Biến dạng cọc L60 nhám

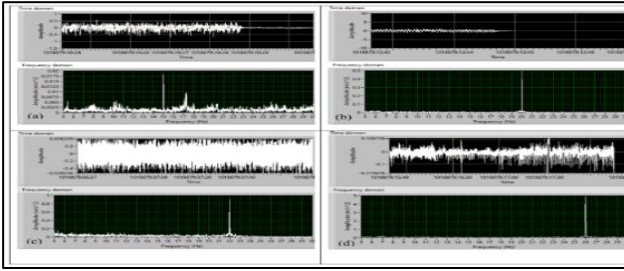


Hình 4. 31: Kết quả phân tích tần số FFT cọc L60 nhám

4.5.4. Kết quả trên cọc L60 – trơn



Hình 4. 34: Biểu đồ Độ lún – Sức kháng cọc L60 trơn



Hình 4. 38: Kết quả phân tích tần số FFT cọc L60 tron

#### 4.6. Một số hình ảnh thí nghiệm.

#### 4.7. Kết luận

1) Tương quan giữa Độ lún - Tỷ lệ lực ma sát đơn vị và sức kháng mũi cho thấy tỉ lệ tương đối là đồng nhất suốt quá trình thí nghiệm nén. Tỷ số  $F_{s0}/Q_p$  cho thấy mức độ phân bố của sức kháng bên phần thân gần đầu cọc rất lớn. Với  $L/D > 25$ , cọc xuất hiện mô men uốn gây phá hoại cục bộ và phá hoại tổng thể dọc theo thân cọc tại vị trí có nội lực lớn.

2) Nghiên cứu ảnh hưởng của tần số lên cọc cho thấy: Khi thí nghiệm nén tĩnh sức chịu tải cọc có xu thế giảm xuống. Sức chịu tải giảm do bởi một số nguyên nhân như do uốn dọc chứ không phải do tụt cọc và dẫn đến phá hoại. Theo nhiều nghiên cứu đã chứng minh, khi cọc dài dẫn đến bị xiên, bị uốn, gãy, ảnh hưởng tới độ lún, sức chịu tải.

3) Nghiên cứu các loại cọc có  $L/D$  và độ nhám khác nhau để có cái nhìn tổng quan về sức chịu tải cọc khi chịu tải tĩnh và tải động. Mỗi quan hệ của Độ lún cọc ứng với tần số khác nhau; Quan hệ Độ lún - Tỷ lệ lực ma sát đơn vị và sức kháng mũi theo độ sâu cọc khác nhau cho thấy với tần số cụ thể tỉ lệ  $L/D$  ảnh hưởng rõ rệt nhất đến sức chịu tải.

4) Tần số từ 15Hz đến 20Hz, biến dạng tại gần đầu cọc có biến đổi trị số lớn. Từ tần số 22Hz cho đến 28Hz, biến dạng có trị số tuyệt đối cao diễn tả

ứng xử khi chịu tần số dao động. Dịch chuyển qua vị trí cân bằng của đài cọc tăng lên nhanh chóng dẫn đến phá hoại ma sát bên.

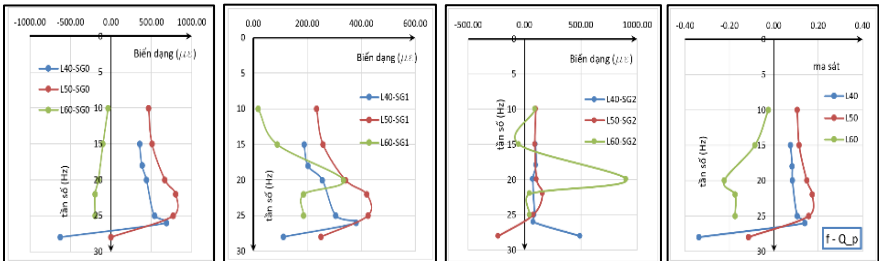
5) Với cọc L50 nhám, biểu đồ  $S - \mu\epsilon$  biến dạng tại đầu cọc lớn, biến dạng nén tăng mạnh. Trị số tăng lên gấp 8 lần so với mũi cọc và chuyển qua chịu kéo đoạn đầu cọc. Cọc L50 trơn, Độ lún - Sức kháng mũi đơn vị bắt đầu suy giảm và đổi dấu sức kháng tại tần số 28Hz khi độ lún không tăng. So với cọc nhám, tại độ lún 6mm mới có hiện tượng chuyển đổi dấu. Tương quan độ lún và ma sát bên 2 loại Trơn - Nhám tương đương nhau.

6) Phân tích phổ tần số cọc trơn gia tốc đỉnh tăng rất nhanh so với cọc nhám. Cường độ biến đổi phân tích trên miền thời gian cọc L60 trơn biến đổi mãnh liệt, tương ứng với gia tốc tăng gấp 4 lần so với cọc L60 nhám.

## Chương 5.

### PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CHO THỰC TẾ

#### 5.1. Môi quan hệ biến dạng sức kháng cọc đối với tần số.

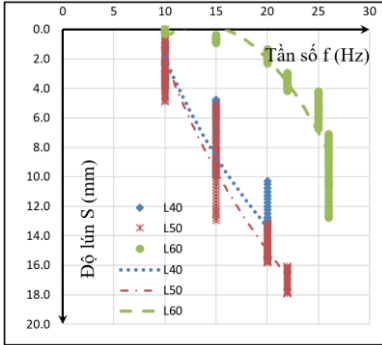


Hình 5. 1: Biểu đồ Tần số - Biến dạng - Sức kháng mũi  $Q_p$ .

#### 5.2. So sánh kết quả thí nghiệm các cọc L/D khác nhau

#### 5.3. So sánh kết quả thí nghiệm các cọc có độ nhám khác nhau

#### 5.4. So sánh mối quan hệ Độ lún - Tần số các cọc trơn

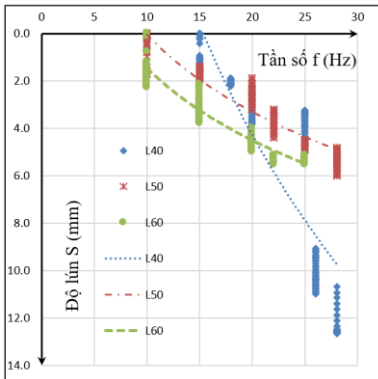


Hình 5.12: Đồ thị tương quan Độ lún - Tần số (cọc trơn)

Bảng 5. 1: Phương trình tương quan Độ lún – Tần số cọc trơn

STT	L/D	Phương trình tương quan
1	20	$S = 16.592\ln(f) - 36.313.$
2	25	$S = 18.69\ln(f) - 41.02.$
3	30	$S = 0.0568f^2 - 1.558f + 10.405.$

#### 5.5. So sánh mối quan hệ Độ lún - Tần số các cọc nhám

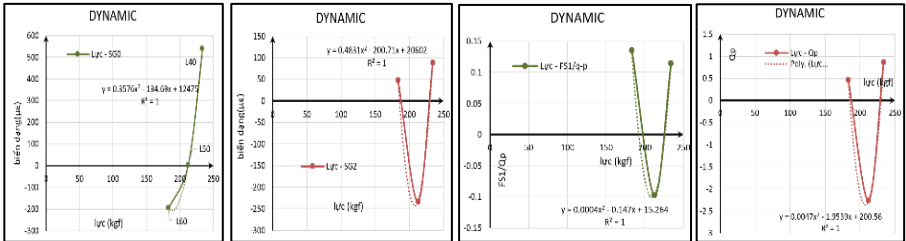


Hình 5. 13: Đồ thị tương quan Độ lún - Tần số (cọc nhám)

Bảng 5. 2: Phương trình tương quan Độ lún – Tần số cọc nhám

STT	L/D	Phương trình tương quan
1	20	$S = 16.176\ln(f) - 44.182$
2	25	$S = 4.7084\ln(f) - 10.802$
3	30	$S = 4.4045\ln(f) - 8.6904$

### 5.6. Nghiên cứu Lực - Biến dạng thân cọc khi chịu tần số phá hoại.



Hình 5. 14: Kết quả Lực – Biến dạng đầu cọc tại tần số phá hoại

### 5.7. Phân tích lộ trình ứng suất nền đất khi chịu tải trọng động.

### 5.8. Tính toán áp dụng kết quả nghiên cứu cho cọc trong thực tế

#### 5.8.1. Các thông số tính toán tỉ lệ cho cọc trong thực tế

#### 5.8.2. Thiết lập tỉ lệ thực cho tương quan Độ lún - Tần số cọc tron.

Bảng 5. 4: Phương trình Độ lún – Tần số cọc tron thực tế

STT	L/D	Phương trình tương quan
1	20	$S = 0.66\ln f - 2.51$
2	25	$S = 0.75\ln f - 2.5$
3	30	$S = 0.0009f^2 - 0.012f + 0.416$

#### 5.8.3. Thiết lập tỉ lệ thực cho tương quan Độ lún - Tần số cọc nhám.

Bảng 5. 5: Phương trình Độ lún – Tần số cọc nhám thực tế

STT	L/D	Phương trình tương quan
-----	-----	-------------------------

1	20	$S = 0.65lnf - 2.81$
2	25	$S = 0.19lnf - 0.73$
3	30	$S = 0.17lnf - 0.62$

5.8.4. Kết quả của lực và biến dạng dọc thân cọc khi phá hoại.

5.8.5. Phương trình tương quan tại tần số phá hoại cọc trong thực tế

Bảng 5. 3: Phương trình tương quan tại tần số phá hoại thực tế

STT	Vị trí	Phương trình tương quan
Lực – Biến dạng		
1	SG0	$S = 223.5P^2 - 84181.25P + 12475.$
2	SG1	$S = 4.625P^2 - 459.44P + 71.857.$
3	SG2	$S = 301.94P^2 - 125443.75P + 20602$
Sức kháng ma sát – Lực		
4	FS0	$F = 0.125P^2 - 38.187P + 5.6599$
5	FS1	$F = -0.125P^2 + 57.062P - 9.3687$
6	$Q_p$	$F = 2.937P^2 - 1221.18P + 200.56$
Lực - Tỷ lệ Sức kháng bên/ Sức kháng mũi		
7	Đầu cọc	$FS0/Q_p = -0.125P^2 + 63.56P - 11.608$
8	Mũi cọc	$FS1/Q_p = 0.25P^2 - 91.875P + 15.264$

## 5.9. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy tại các vị trí khác nhau ứng suất - biến dạng theo suốt dọc thân cọc thay đổi rõ rệt với các loại cọc có L/D khác nhau. Đồ thị dựa trên dữ liệu các cọc L40, L50, L60, kết quả chọn lấy tại thời điểm độ lún 6mm thời điểm cọc bị phá hoại để so sánh phân tích tìm ra các tương quan.

1) Nghiên cứu mối quan hệ của Độ lún cọc ứng với tần số khác nhau; Trị số Độ lún - biến dạng; Quan hệ Độ lún - sức kháng mũi đơn vị - ma sát bên đơn vị; Quan hệ Độ lún - Tỷ lệ lực ma sát đơn vị và sức kháng mũi theo



độ sâu cọc khác nhau cho thấy với tần số cụ thể thì tỉ lệ  $L/D$  sẽ ảnh hưởng rõ rệt nhất đến sức chịu tải.

2) Cọc L40, bắt đầu tần số 26Hz trị số  $Q_p$  bị suy giảm mạnh. Tại tần số 28Hz đáp ứng mũi cọc với tần số làm cho sức kháng mũi tăng đột ngột. Lực nén trùng với sóng ứng suất gây ra sức kháng tăng mạnh theo cơ chế phá hoại mũi cọc. Cọc L50 có  $Q_p$  khá ổn định và mất sức chịu tải tại độ lún  $S = 5\text{mm}$ .

3) Với tần số bắt đầu 15Hz đến 20Hz, biến dạng của strain gages phần thân cọc và mũi cọc có dao động nhỏ, biến dạng tại gần đài cọc có biến đổi trị số lớn. Từ tần số 22Hz cho đến 28Hz, biến dạng có trị số tuyệt đối cao diễn tả ứng xử khi chịu tần số dao động. Dịch chuyển qua vị trí cân bằng của đài cọc tăng lên nhanh chóng dẫn đến phá hoại ma sát bên.

4) Trên suốt chiều dài cọc, phân tích tìm ra các mối quan hệ Lực - ma sát đơn vị - sức kháng mũi cũng như quan hệ lực - tỉ lệ  $FS0$ /sức kháng mũi, quan hệ lực - tỉ lệ  $FS1$ /sức kháng mũi với các phương trình tương quan được thiết lập trong chương 5 của luận án.

5) Cọc có  $L/D$  từ 20 trở lên, với cọc nguyên mẫu D400mm, tỉ lệ 1/25, tần số có hệ số tỉ lệ  $(1/25)^{-1/2}$  (tỉ lệ = 5). Với dải tần số từ 22Hz đến 28Hz, trung bình là 25Hz, cọc có  $L/D > 20$  nội lực đạt giá trị nguy hiểm, độ lún tăng nhanh, sức chịu tải đất nền cọc giảm mạnh. Có thể suy đoán trong thực tế tần số khoảng 5Hz có thể làm cọc  $L/D = 20$  chìm vào trong đất, các mối nối cọc bê tông cốt thép có thể bị hư hỏng.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

1) Mô hình đàn hồi - dẻo CamClay cải tiến có thể diễn tả ứng xử nền - cọc đạt đến tải phá hủy với bộ thông số cơ bản  $M, \lambda, \kappa$ . Trong phạm vi bài toán khảo sát với  $\lambda = 2,4\kappa$  (CK1);  $\lambda = 3,4\kappa$  (CK2) và  $\lambda/\kappa \approx 3$ . Nhằm mục đích

tham khảo khi phân tích tính toán các bài toán tương tự, NCS đề xuất tương quan:  $M = 0,407\kappa^{-0,219}$ .

2) Từ thí nghiệm tải động trên mô hình thu nhỏ, NCS thu được một số kết quả đáng lưu ý:

a) Tần số của tải trọng tuần hoàn ảnh hưởng quyết định đến sức chịu tải theo đất nền của cọc.

b) Độ mảnh  $L/D$  của cọc ảnh hưởng rất lớn lên sức chịu tải động của cọc. Với dải tần số từ 22Hz đến 28Hz, trung bình là 25Hz, cọc có  $L/D > 20$  nội lực đạt giá trị nguy hiểm, độ lún tăng nhanh, sức chịu tải đất nền cọc giảm mạnh. Có thể suy đoán trong thực tế tần số khoảng 5Hz có thể làm cọc  $L/D = 20$  chìm vào trong đất, các mối nối cọc bê tông cốt thép có thể bị hư hỏng.

c) NCS đề xuất tương quan giữa độ lún của cọc và tần số tải trọng động tuần hoàn tác động lên cọc:

❖ Mặt bên của cọc trơn láng:

- ( $L/D = 20$ ) là  $S = 0,66\ln f - 2,51$
- ( $L/D = 25$ ) là  $S = 0,75\ln f - 2,5$
- ( $L/D = 30$ ) là  $S = 0,0009f^2 - 0,012f + 0,416$

❖ Mặt bên của cọc nhám:

- ( $L/D = 20$ ) là  $S = 0,65\ln f - 2,81$
- ( $L/D = 25$ ) là  $S = 0,19\ln f - 0,73$
- ( $L/D = 30$ ) là  $S = 0,17\ln f - 0,62$

## 2. Kiến nghị

1) Thí nghiệm đã tiến hành chỉ xét điều kiện đầu cọc tự do chưa có sự hiện diện của đài cọc, nên chưa xét điều kiện ngầm có làm giảm sự giảm tải nền cọc hay không.

2) Những tương quan đề xuất chỉ với số thí nghiệm hạn hẹp nên có thể chưa đạt độ chính xác cao, do đó khi sử dụng cần sự kiểm chứng nhất định.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyễn Mạnh Tường (2019), "Phân tích đáp ứng động của cọc dưới tải trọng động tại khu vực thành phố Hồ Chí Minh", *Tạp chí Xây dựng*.
2. Nguyễn Mạnh Tường (2019), "Phân tích cơ sở lý thuyết và cách tính toán sức chịu tải cọc thông qua thí nghiệm động trên nền đất yếu khu vực phía Nam", *Tạp chí Xây dựng*.
3. Châu Ngọc Ân, Nguyễn Mạnh Tường (2020), " Nghiên cứu tổng quan về tải trọng động và ảnh hưởng tới các nền đất khác nhau ", *Tuyển tập kết quả Khoa học và công nghệ – Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*.
4. Châu Ngọc Ân, Nguyễn Mạnh Tường (2020), " Mô hình địa kỹ thuật vật lý - nghiên cứu thiết kế mô hình vật lý nhằm nghiên cứu đáp ứng động của cọc khi chịu tải trọng động ", *Tuyển tập kết quả Khoa học và công nghệ – Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*.