

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

PHAN THANH CẦU

**NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẠ CỌC ỐNG THÉP TRÊN NỀN SAN HỒ
TẠI ĐẢO TRƯỜNG SA CỦA BỘ CÔNG TÁC KIỂU XOAY-ÉP
LẮP TRÊN MÁY ĐÀO THỦY LỰC**

Chuyên ngành : Kỹ thuật Cơ khí Động lực

Mã số : **9 52 01 16**

**TÓM TẮT
LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

Hà Nội - 2020

Công trình được hoàn thành tại:
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. TS Trần Hữu Lý – Tổng cục Kỹ thuật**
- 2. TS Nguyễn Thế Minh – Binh chủng Công binh**

Phản biện 1:

GS. TS. Trần Văn Tuấn - Trường Đại học Xây dựng

Phản biện 2:

PGS. TS. Nguyễn Văn Vịnh - Trường Đại học GTVT

Phản biện 3:

PGS. TS. Bùi Hải Triều - Trường Đại học Công nghệ GTVT

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số 4587/QĐ-HV ngày 23 tháng 12 năm 2020 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi ... giờ ... phút, ngày tháng... năm 2020

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Xây dựng công trình biển đảo hiện nay là nhiệm vụ quan trọng hàng đầu trong chiến lược an ninh quốc phòng, giữ gìn biển đảo và toàn vẹn lãnh thổ của Việt Nam. Các công trình biển ven đảo và xa bờ hiện nay khi xây dựng sử dụng phổ biến là dùng móng trọng lực vì vậy rất công, tốn kém. Các phương pháp hạ cọc chủ yếu bao gồm: phương pháp đóng cọc, phương pháp sử dụng búa rung, phương pháp đào trong và phương pháp xoay.

Thiết bị xoay-ép hạ cọc ống thép do nước ngoài chế tạo có tính năng hiện đại, thi công hiệu quả và năng suất cao, tuy nhiên sản phẩm chưa phổ biến ở nước ta do giá thành cao và khó đưa ra đảo vì kích thước lớn. Xuất phát từ nhu cầu cần có thiết bị hạ cọc ống thép trên nền san hô với điều kiện phù hợp của quân đội để xây dựng công trình biển đảo, gần đây, một số nhà khoa học của Học viện Kỹ thuật quân sự đã có những nghiên cứu thiết kế, chế tạo bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép tích hợp vào máy đào thủy lực phục vụ thi công trong điều kiện địa hình nền san hô trên đảo. Các kết quả nghiên cứu bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép được chế tạo tại nhà máy Z49 để thực hiện nhiệm vụ hạ cọc ống thép tại quần đảo Trường Sa tới nay vẫn chưa được công bố. Bên cạnh đó môi trường san hô tại quần đảo Trường Sa cũng có những đặc điểm riêng biệt so với các khu vực khác trên thế giới. Chính vì vậy "*Nghiên cứu khả năng hạ cọc ống thép trên nền san hô tại đảo Trường Sa của bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực*" nhằm làm cơ sở khoa học cho việc chọn máy thi công, thiết kế mới và khai thác hiệu quả bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu của đề tài.

Mục tiêu nghiên cứu của luận án là xác định khả năng hạ cọc ống thép với công suất và mô men đã có của bộ công tác xoay-ép hạ cọc vào nền san hô tại khu vực đảo Trường Sa.

3. Đối tượng nghiên cứu.

Đối tượng nghiên cứu là bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép bằng thủy lực được chế tạo tại Nhà máy Z49 (có tốc độ xoay: $5 \div 20$ vòng/phút, tốc độ hạ cọc $0,1 \div 0,8$ m/phút), bộ công tác lắp trên máy đào thủy lực phục vụ hạ cọc ống thép vào nền san hô tại khu vực đảo Trường Sa.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu của luận án là sự kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm. Lý thuyết động lực học áp dụng để xây dựng các mô hình vật lý - toán của cơ hệ. Việc giải hệ phương trình vi phân chuyển động của cơ hệ được thực hiện bằng chương trình tính toán số viết trong phần mềm MATLAB. Thực nghiệm để xác định giá trị các thông số đầu vào và kiểm nghiệm những kết quả tính toán lý thuyết.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

5.1. Ý nghĩa khoa học

- Nghiên cứu, xây dựng mô hình tương tác, mô hình động lực học quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép. Thiết lập được hệ phương trình vi phân chuyển động, từ đó xác định khả năng làm việc của bộ công tác xoay-ép hạ cọc vào nền san hô tại quần đảo Trường Sa.

- Xác định được các thông số ảnh hưởng đến quá trình làm việc của bộ công tác. Xác định được chế độ làm việc hợp lý để hạ được cọc và xác định độ sâu hạ cọc tối đa của bộ công tác.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Đã xây dựng được phương pháp đo các thông số động học, động lực học của cơ hệ trong thực nghiệm. Từ đó xác định gián tiếp được các thành phần lực cản của nền san hô tác dụng lên ống thép.

- Kết quả xác định các thông số làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc làm cơ sở cho quá trình thi công hạ cọc làm việc ổn định, hạ được cọc theo chiều sâu thiết kế, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng bộ công tác xoay-ép hạ cọc.

6. Tính mới của Luận án

- Nghiên cứu xây dựng được mô hình tính các thành phần lực cản tác dụng lên bộ công tác khi xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô.

- Xây dựng được mô hình động lực học cho bài toán hạ cọc ống thép vào nền san hô bằng bộ công tác xoay-ép hạ cọc có tính đến cơ chế tương tác giữa các lớp san hô với cọc ống thép trong quá trình hạ cọc.

- Xây dựng phương pháp xác định thông số làm việc hợp lý và độ sâu hạ cọc ống thép với các thông số kỹ thuật đã có của bộ công tác trong điều kiện địa chất nền san hô tại quần đảo Trường Sa.

- Đã xây dựng thực nghiệm lần đầu tiên xác định các thông số khi xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô ở Trường Sa.

7. Bố cục của luận án.

Ngoài phần mở đầu, phần kết luận và danh mục các tài liệu tham khảo, các nội dung chính của luận án được chia thành 04 chương.

Luận án được bố cục theo 4 chương sau:

Chương 1. (Tổng quan về vấn đề nghiên cứu) tổng hợp và phân tích về nền san hô, nghiên cứu tổng quan về các phương pháp và thiết bị hạ cọc ống thép, giới thiệu về bộ công tác xoay ép hạ cọc, phân tích các công trình nghiên về tương tác cọc nền và mô hình động lực học. Từ những nội dung trên xây dựng mục tiêu và nhiệm vụ của luận án.

Chương 2. (Động lực học bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực) tiến hành xây dựng mô hình tương tác tính các thành phần lực cản, mô hình toán và giải bài toán động lực học làm cơ sở khoa học để tính toán lựa chọn chế độ làm việc hợp lý bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô.

Chương 3. (Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng làm việc, xác định thông số làm việc hợp lý và khả năng hạ cọc của bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực) khảo sát lực cản, mô men cản tác dụng lên ống thép khi thay đổi đường kính cọc và trọng lượng riêng của san hô thay đổi. Trên cơ sở đó, xác định chế độ làm việc hợp lý nhằm xác định khả năng hạ cọc tối đa của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô ở điều kiện địa chất ở Trường Sa.

Chương 4. (Nghiên cứu thực nghiệm) tiến hành làm thực nghiệm xác định các thông số động lực học của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép vào nền san hô ở đảo Trường Sa. Một số kết quả được sử dụng làm đầu vào cho việc giải bài toán động lực học ở chương 2. Một số kết quả được sử dụng để so sánh giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm nhằm rút ra kết luận về tính sát thực của mô hình động lực học.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về môi trường đá san hô

Theo các tài liệu nghiên cứu chiều sâu (< 10 m) tính từ mặt đảo, qua công tác khoan thăm dò và thí nghiệm, ta có thể nêu đặc điểm của các lớp từ trên xuống dưới như sau:

Lớp số 1: Căn cứ vào các tài liệu khảo sát và các lỗ khoan địa chất, lớp số 1 có thể chia thành hai phụ lớp như sau:

Phụ lớp 1: Bao gồm cát sạn màu vàng, trắng sữa có kết cấu xốp rời, bão hoà nước.

Phụ lớp số 2: Bao gồm san hô cành mềm màu trắng ngà, đôi chỗ xen kẹp cát sạn. Mức độ gắn kết của lớp này yếu.

Lớp số 2: Bao gồm san hô tảng cứng, màu trắng sữa, trong lớp này đôi chỗ kẹp san hô cành và cát sạn. Lớp này tương đối cứng được sử dụng làm lớp đặt móng cho công trình và qua quá trình khai thác đã chứng tỏ sự đúng đắn của lựa chọn này (Hình 1.1).



Hình 1.1. Phân lớp địa tầng nền san hô

San hô là các sinh vật biển, các cá thể này tiết ra cacbonat canxi (đá vôi) để tạo bộ xương cứng, khi sống chúng có khung vỏ và nhân, khi san hô chết tạo thành lỗ rỗng trong khung vỏ san hô, sóng gió có thể làm vỡ một bộ phận của chúng, nhưng những mảnh vụn đó lại lấp đầy khoảng trống trong “rừng san hô” làm cho chúng càng thêm chắc chắn.

Nền san hô là một yếu tố chính rất quan trọng trong bài toán xoay-ép hạ cọc ống thép khi thi công cọc tại Trường Sa. Tính chất cơ lý và cấu trúc của san hô sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định các thành phần lực cản lên cọc ống thép. Ở nước ta chưa có công trình nào nghiên cứu chi tiết xác định cơ chế tương tác giữa cọc ống thép với san hô cũng như xây dựng mô hình san hô dưới tác dụng của lực động. Đặc tính động của nền san hô được đặc trưng bởi áp lực nền, chiều sâu hạ cọc, tính chất cơ lý của từng lớp san hô.

Nhận xét:

- Nhìn chung địa chất bề mặt của đảo chủ yếu là cát, sỏi, sạn, cành nhánh san hô màu xám trắng có độ rỗng lớn;

Nghiên cứu đặc điểm hình thành và tính chất cơ lý của các lớp đá san hô trong cấu trúc địa chất của các đảo chúng ta thấy:

- Trên cùng là lớp cát, sạn san hô lẫn ít cuội, sỏi nhỏ, ở trạng thái vụn rời.

- Nằm dưới lớp một là lớp cành, nhánh san hô lẫn ít cát, sạn.

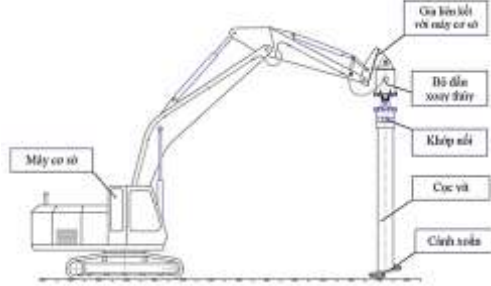
- Dưới cùng là lớp đá san hô (san hô gốc). Có kết cấu đặc xít, vững chắc, nên khả năng chịu lực khá cao.

- San hô là vật liệu giòn, quan hệ ứng suất – biến dạng gần tuyến tính, liên kết giữa nền san hô và kết cấu có tính chất một chiều. Nền san hô phân lớp, trong đó mỗi lớp nền là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng, đàn hồi tuyến tính;

- Lớp đá san hô phân bố ở độ sâu > 7 m, lớp này chủ yếu là san hô gốc tảng cứng. Lớp này tương đối cứng và thường được sử dụng làm lớp đặt móng cho công trình.

1.2. Tổng quan về các phương pháp và thiết bị hạ cọc ống thép

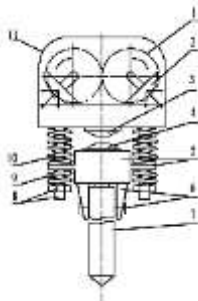
1.2.1. Phương pháp và thiết bị hạ cọc vít ống thép



Hình 1.2. Thiết bị thi công cọc vít ống thép lắp trên máy đào thủy lực

Công nghệ này giảm tiếng ồn, độ rung chấn thấp, không gây ô nhiễm môi trường, không có đất thải, không ảnh hưởng đến nước ngầm, giảm thiểu được lượng xe máy thi công, khả năng thi công nhanh, từ đó đem lại hiệu quả kinh tế cao cho các dự án, thân thiện với môi trường. Tuy nhiên phương pháp vít cọc chỉ phù hợp với thi công trên nền đất, nếu nền gặp vật liệu cứng như đá, bê tông... thì hiệu quả hạ cọc sẽ bị hạn chế do lực cản của nền tác dụng lên cánh vít ở đầu cọc

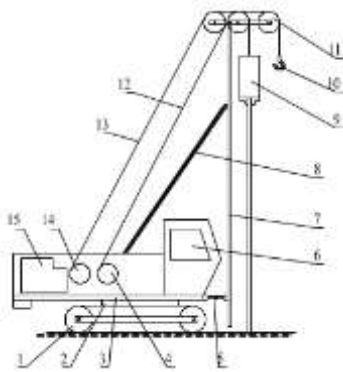
1.2.2. Phương pháp và thiết bị hạ cọc ống thép bằng búa va rung



Hình 1.3. Sơ đồ búa va rung hạ cọc ống thép

Với phương pháp hạ cọc thép bằng búa rung thiết bị nhỏ gọn dễ dàng thi công tác tại các công trường chật hẹp như: trung tâm thành phố, góc hẹp, cầu cống..., giảm thời gian thi công, sử dụng được ở nhiều địa hình, không ảnh hưởng đến các công trình xung quanh, giảm khả năng vỡ rạn đầu cọc, hoạt động không gây tiếng ồn và ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên cần đến nhiều công cụ máy móc và chỉ phù hợp với nền đất yếu, khi gặp nền cứng dễ gây phá hủy cọc và hiệu quả hạ cọc bị hạn chế.

1.2.3. Phương pháp và thiết bị thi công hạ cọc ống thép bằng búa đóng



Hình 1.4. Sơ đồ thiết bị thi công hạ cọc ống thép bằng búa đóng

Thiết bị thi công này thường gây tiếng ồn, gây ô nhiễm, gây chấn động rất lớn, ảnh hưởng đến môi trường xung quanh và làm hỏng các công trình lân cận... do đó phương pháp đóng cọc thường bị cấm áp dụng ở trong thành phố, thị xã, khu vực đông dân cư... Hơn nữa, với đất tốt, có thể không đóng được cọc xuống vì đầu cọc thường bị vỡ, méo, v.v... tốc độ đóng chậm nên năng suất đóng cọc không cao. Phương pháp này được sử dụng để đóng những cọc gỗ, cọc thép, cọc bê tông cốt thép loại nhỏ, cọc ống có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng 45 cm và các loại ván dài không quá 8 m.

1.2.4. Phương pháp khoan xoay hạ cọc ống thép



Hình 1.5. Thiết bị xoay hạ cọc ống thép di chuyển bước

Khoan xoay là phương pháp dùng lực tĩnh nên không làm ảnh hưởng đến địa chất quanh cọc, cũng như các công trình và nền quanh khu vực thi công. Với phương pháp này, do xoay tròn liên tục nên tốc độ khoan nhanh và khi khoan qua tầng đá san hô thì ma sát trên ống thép nhỏ hơn đáng kể (Hình 1.5), thêm vào đó trên mũi cọc ống thép có bố trí các răng cắt để phá vỡ nền đá san hô trong quá trình xoay-ép dẫn tiến cọc vào nền.

Nhận xét: Trong các phương pháp thi công hạ cọc ống thép vào nền thì phương pháp xoay tròn là phù hợp với điều kiện thi công hạ cọc ống thép trên nền san hô, khi hạ cọc ống thép đến tầng san hô tảng

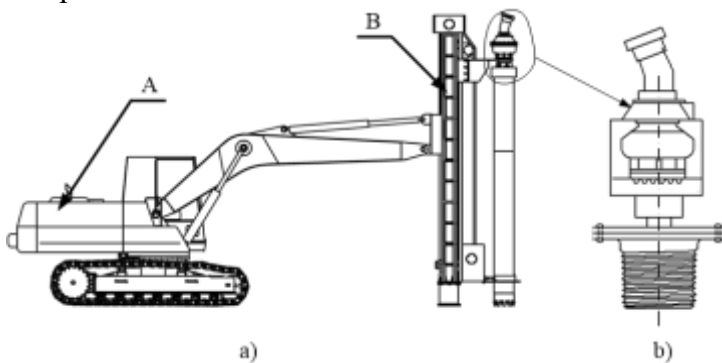
cứng các răng cắt bố trí ở mũi cọc sẽ cắt san hô tạo thành một hình vành khăn để giảm lực cản và bảo vệ cọc không bị biến dạng trong quá trình hạ cọc vào nền. Chính vì vậy luận án tập trung nghiên cứu bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô.

1.2.5. Bộ công tác xoay - ép hạ cọc ống thép

1.2.5.1. Bộ công tác xoay - ép hạ cọc

Bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép được nghiên cứu tích hợp lên xe cơ sở là máy xúc thủy lực bánh xích để tận dụng nguồn thủy lực của máy và khả năng cơ động ở địa hình phức tạp ở đảo san hô (Hình 1.6). Bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép bên cạnh khả năng hạ cọc tương đương với máy hạ cọc chuyên dụng khác, khi cần thiết có thể thay thế bộ công tác xoay-ép hạ cọc bằng thiết bị công tác khác như gầu xúc, búa đục, đầu cắt,... để phục vụ công tác xây dựng công trình, đáp ứng đa dạng yêu cầu công việc khi thi công ngoài đảo. Mặt khác, xe cơ sở bánh xích có thể làm việc cả trên cạn, dưới nước ở độ sâu nhỏ hoặc đặt trên xà lan để thi công ở độ sâu lớn nên tính cơ động cao, phù hợp với điều kiện thi công tại các đảo ở Trường Sa.

Thiết bị hạ cọc bao gồm xe cơ sở là máy xúc Komatsu bánh xích PC450 và bộ công tác xoay-ép hạ cọc thép.



A - Máy cơ sở; B- Bộ công tác ;
a) Bộ công tác lắp trên máy đào thủy lực;
b) Mô tơ và đầu xoay ống thép

Hình 1.6. Bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép lắp trên máy đào PC-450

1.2.5.2. Cọc ống thép

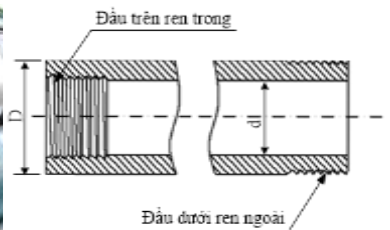
Cọc ống thép có đường kính ngoài $D = 300$ mm, đường kính trong $d = 287$ mm, mỗi đoạn ống thép có chiều dài $l = 3000$ mm. Trong luận án sử dụng loại cọc ống thép không bịt đầu, cọc ống thép hạ đầu tiên một đầu có gắn 16 răng cắt bố trí trên một mặt phẳng (Hình 1.4), đầu còn lại có ren trong để lắp ống tiếp theo, các ống thép tiếp theo hai đầu có ren để nối các đốt cọc ống thép (một đầu có ren trong, một đầu có ren ngoài) (Hình 1.5).



Hình 1.7. Cọc ống thép hạ đầu tiên gắn răng cắt



Hình 1.8 Cọc ống thép hạ tiếp theo



1.3. Nguyên lý cực đại Pontryagin

Để giải bài toán điều khiển tối ưu có thể áp dụng ba phương pháp điều khiển tối ưu:

- Phương pháp biến phân
- Phương pháp quy hoạch động Bellman
- Phương pháp điều khiển tối ưu theo nguyên lý cực đại của Pontryagin.

Tùy thuộc vào từng đối tượng cụ thể để lựa chọn phương pháp điều khiển tối ưu theo chất lượng điều khiển mong muốn.

Trong bài toán tìm tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay tối ưu cọc ống thép, tác giả sử dụng nguyên lý cực đại của Pontryagin (Pontryagin's Maximum Principle - PMP) là phù hợp, vì thời gian xoay ép cọc ống thép chưa biết.

Các bước thực hiện giải bài toán điều khiển tối ưu theo nguyên lý cực đại Pontryagin

- Bước 1: Thiết lập phương trình vi phân trạng thái
- Bước 2: Lập tiêu chuẩn tối ưu
- Bước 3: Lập hàm Hamilton dạng

- Bước 4: Lập phương trình Euler – Lagrange
- Bước 5: Lập phương trình vi phân mục tiêu bằng cách đặt biến phụ $z(x)$ với điều kiện đầu $z(0) = 0$
- Bước 6: Giải hệ hỗn hợp phương trình vi phân điều khiển (phương trình vi phân trạng thái, phương trình Euler – Lagrange, phương trình vi phân mục tiêu) với điều kiện biên. Số các phương trình vi phân bằng số các điều kiện biên.

1.4. Tổng quan các nghiên cứu trong nước, quốc tế có liên quan đến luận án

1.4.1. Các công trình nghiên cứu ở nước ngoài

Các tác giả Ewa Hazla, David J. White và các cộng sự đã nghiên cứu mô hình tương tác giữa thân ống khoan với môi trường đất đá trong quá trình xoay-ép hạ cọc vào nền.

Các tác giả Tác giả Eva M. Navarro-López, M. Zamanian và các cộng sự, Lin Li và nnk đã tiến hành nghiên cứu mô hình động lực học ống khoan.

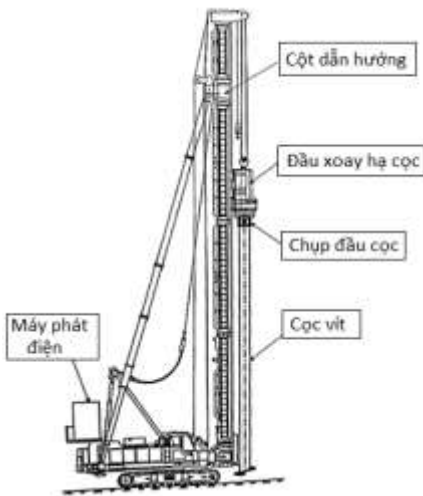
Đối tượng nghiên cứu của các tác giả là tương tác ống khoan với môi trường đất đá, động lực học ống khoan do đó những nội dung cần tìm hiểu phân tích, đánh giá để xây dựng phương pháp nghiên cứu phù hợp cho luận án gồm: Các thành phần lực cản tác dụng lên ống thép và răng cắt; động lực học bộ công tác xoay - ép hạ cọc trên nền san hô.

1.4.2. Các công trình nghiên cứu trong nước

1.4.2.1. Nghiên cứu về tương tác cọc – nền

Năm 2010, trong phạm vi điều tra khảo sát của Dự án nhánh ĐTB11.3, các nhà khoa học của Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt do tác giả Nguyễn Trương Lai chủ trì đã thực hiện thí nghiệm đo ma sát cọc-nền san hô tại đảo Trường Sa Lớn và đảo Phan Vinh thuộc quần đảo Trường Sa. Các tác giả nghiên cứu tương tác giữa cọc và nền san hô mới đề cập đến tác dụng của tải trọng tĩnh và chủ yếu xác định ma sát cọc-nền để chịu tải trọng của công trình, các tác giả chưa đề cập đến tương tác cọc-nền trong quá trình hạ cọc

1.4.2.2. Nghiên cứu về thiết bị thi công cọc vít ống thép



Hình 1.9. Sơ đồ thiết bị thi công cọc vít theo công nghệ ôm xoay đầu cọc

Đề tài “Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ thiết kế và chế tạo thiết bị thi công cọc vít cỡ vừa và nhỏ lắp trên máy cơ sở có sẵn phục vụ xây dựng móng cọc cho các công trình giao thông đô thị ở Việt Nam”, 2018-2019, mã số DT183019 do tác giả Nguyễn Chí Minh Chủ nhiệm đề tài đã nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm thành công máy xoay hạ cọc vít CV-DT183019 kiểu chụp xoay đầu cọc lắp trên máy cơ sở có sẵn là máy đóng cọc bánh xích (Hình 1.7).

Công nghệ này có ưu điểm không gây rung động, ít gây ồn; không tạo chất thải trong quá trình thi công, không gây ô nhiễm đất; sức kháng mũi cọc cao, khả năng chịu nhổ tốt, thi công nhanh. Tuy nhiên nhóm nghiên cứu mới thử nghiệm ở nền đất, chưa đề cập đến thử nghiệm ở nền đá hoặc nền san hô. Mặt khác do đường kính cánh vít lớn nên phương pháp hạ cọc vít ống thép chỉ phù hợp với thi công trên nền đất, nếu nền cứng như đá, bê tông... thì hiệu quả hạ cọc sẽ bị hạn chế do lực cản của nền tác dụng lên cánh vít ở đầu cọc.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Trên cơ sở nghiên cứu về nền đá san hô và thống kê và phân tích tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về vấn đề nghiên cứu nhận thấy:

- Nền san hô được hình thành ở nơi biển đảo, có cấu tạo phân lớp rõ rệt, san hô là vật liệu giòn, độ rỗng lớn. Việc thi công hạ cọc ống thép trên nền san hô với bộ công tác xoay-ép hạ cọc là công việc đặc thù trong điều kiện làm việc phức tạp, khó khăn, đặc biệt cần đảm bảo các điều kiện về chiến thuật và bí mật quân sự.

- Sử dụng bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép tích hợp trên máy cơ sở là máy đào thủy lực bánh xích là phương pháp khả thi, phù hợp với thi công hạ cọc ống thép xây dựng các công trình nơi biển đảo. Các nghiên cứu của các nhà khoa học trong nước và trên thế giới chưa có công trình nào về bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép vào nền san hô, chưa có mô hình động lực học và nghiên cứu về thông số làm việc hợp lý bộ công tác. Luận án tập trung nghiên cứu tương tác giữa cọc ống thép với nền san hô ở Trường Sa, nghiên cứu về động lực học, từ đó sử dụng nguyên lý cực đại của Pontryagin xác định thông số làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép, để có chiều sâu hạ các loại cọc lý thuyết lớn nhất với bộ công tác

xoay-ép đã có. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở cho việc thiết kế, lựa chọn và khai thác thiết bị trong điều kiện thực tế.

- Bên cạnh việc nghiên cứu lý thuyết, luận án cần tiến hành nghiên cứu thực nghiệm nhằm xác định các thông số đầu vào phục vụ việc khảo sát lý thuyết và kiểm chứng độ tin cậy của mô hình động lực học đã xây dựng cũng như các kết quả khảo sát.

CHƯƠNG 2. ĐỘNG LỰC HỌC BỘ CÔNG TÁC KIỂU XOAY-ÉP LẤP TRÊN MÁY ĐÀO THỦY LỰC

2.1. Cơ sở khoa học nghiên cứu động lực học bộ công tác kiểu xoay-ép lấp trên máy đào thủy lực

2.1.1. Các thông số đặc trưng cho chế độ làm việc của bộ công tác xoay hạ cọc ống thép

Thấy rằng tốc độ hạ ống thép vào nền san hô và tốc độ xoay ống thép là những thông số làm việc quan trọng có ảnh hưởng tới hiệu quả làm việc bộ công tác xoay hạ cọc. Để đánh giá được hiệu quả của bộ công tác trong quá trình làm việc cần đảm bảo các yêu cầu sau, lực dẫn tiến và mô men xoay phải đạt giá trị cần thiết để phá hủy kết cấu đá san hô, đồng thời tốc độ xoay ống thép phải đủ lớn để bóc lớp đá san hô khi răng cắt ăn sâu vào môi trường đá san hô. Bên cạnh đó, để duy trì sự tiếp xúc giữa răng cắt và môi trường đá san hô, tốc độ dẫn tiến phải tỷ lệ với tốc độ xoay khi xoay-ép ống thép vào môi trường đá san hô, lực dẫn tiến luôn phải tạo ra một phản lực tĩnh từ môi trường đá san hô. Nếu một trong các thông số trên quá lớn hoặc quá nhỏ đều làm giảm năng suất của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép.

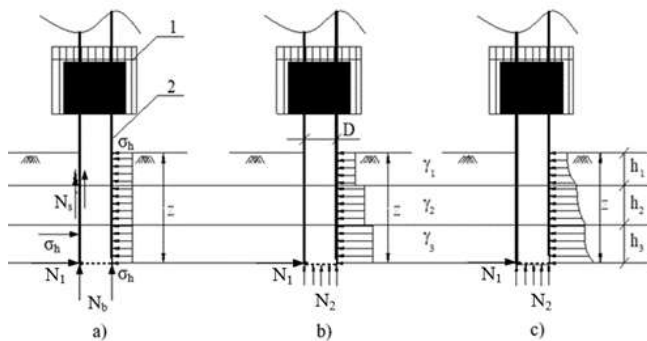
2.1.2. Các thông số động lực học cần xác định của quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép

Các thông số động lực học cần xác định của quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép là gia tốc, vận tốc, chuyển vị của chuyển động xoay và chuyển động tịnh tiến. Đây là các thông số phản ánh đặc trưng động lực học của hệ trong quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền san hô, qua các thông số này cho phép chúng ta xác định được trạng thái dao động của cọc ống thép và có thể khảo sát được ảnh hưởng của sự thay đổi các thành phần lực cản của các lớp san hô đến sự thay đổi các thông số động lực học của toàn hệ, từ đó phân tích và đưa ra các nhận xét, đánh giá, điều chỉnh hoặc lựa chọn các thông số động học (tốc độ vòng xoay, tốc độ dẫn tiến) của bộ công tác xoay-ép hạ cọc phù hợp trong quá trình thi công với từng đối tượng cụ thể.

2.2. Tương tác giữa cọc ống thép với nền san hô khi xoay-ép hạ

2.2.1. Xây dựng mô hình tương tác của cọc ống thép với nền san hô

2.2.1.1. Mô hình tương tác các loại nền san hô



a - trọng lượng riêng san hô không thay đổi;
b - trọng lượng riêng san hô thay đổi bậc;
c - trọng lượng riêng san hô thay đổi phi tuyến

Hình 2.1. Mô hình tương tác giữa cọc thép và nền san hô trong quá trình xoay-ép hạ cọc

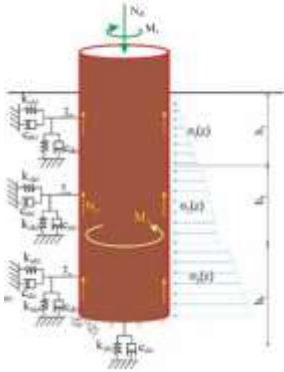
2.2.1.2. Phân tích sự khác nhau giữa hạ cọc ống thép vào nền đất với nền san hô

Qua thực tế thực nghiệm hạ cọc ống thép trên nền đất tại Cầu Mai Lĩnh thấy rằng khi hạ cọc vào nền đất có tồn tại lực ma sát bên trong giữa cọc và đất bên trong lòng cọc chỉ khi có dịch chuyển tương đối giữa cọc và đất. Khi cọc dịch chuyển vào nền đất, đất bên trong lòng cọc sẽ điền đầy vào trong lòng ống thép, do lực dính kết cấu của đất lớn ($0,053 \div 0,24 \text{ daN/cm}^2$), hệ số ma sát trượt giữa đất và thép nhỏ ($0,2 \div 0,4$), khi lực ma sát giữa cọc ống thép với lõi đất đủ lớn lõi đất sẽ chạy theo cọc. Khi đó không còn tồn tại ma sát bên trong cọc, ma sát chỉ tồn tại bên trong cọc ống thép khi đường kính cọc lớn, đối với loại đường kính nhỏ thì có thể bỏ qua thành phần ma sát bên trong lòng cọc. Mặt khác đối với nền đất không cần có răng cắt ở đầu cọc để phá vỡ nền đất vẫn có thể xoay-ép hạ cọc đến độ sâu nhất định, như vậy không tính đến mô men cản cắt, tuy nhiên cần phải tính toán lực cản mũi cọc.

Đối với cát và cành nhánh san hô là vật liệu rời, độ rỗng lớn, có tính chất gần giống như cát vụn, đá san hô là vật liệu gốc tảng cứng và giòn, lực dính kết cấu gần bằng không, khi xoay-ép cọc qua các lớp cát,

cành nhánh và đá san hô. Cát, cành nhánh và lõi đá san hô sẽ dịch chuyển trong lòng ống thép tạo nên ma sát bên trong lòng ống thép, như vậy luôn luôn tồn tại ma sát trong lòng ống thép ta cần phải tính toán. Do lớp cát và cành nhánh san hô là vật liệu rời nên khi xoay-ép hạ cọc, cát san hô và cành nhánh nhỏ luôn luôn điền vào khoảng trống giữa ống thép với nền san hô, cùng với áp lực nền tạo nên ma sát ngoài cọc ống thép. Mặt khác do đá san hô liên khối có kết cấu cứng nên yêu cầu phải có răng cắt để phá vỡ đá san hô, khi tính toán mô men cần phải tính đến mô men cản xoay gây ra tại răng cắt.

Từ những phân tích trên có thể mô hình hóa tương tác cọc ống thép với nền san hô cụ thể ở đảo Trường Sa như hình 2.2.



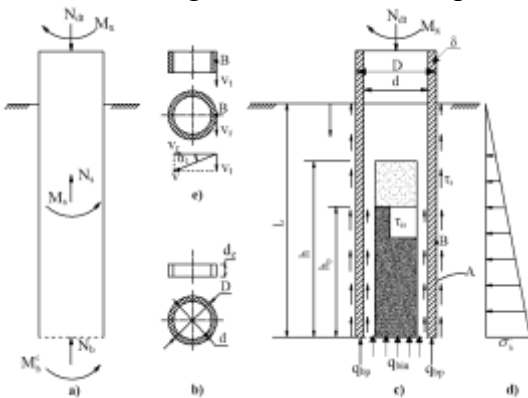
Hình 2.2. Mô hình hóa tương tác cọc ống thép với nền san hô

Đặc trưng của tương tác giữa cọc ống thép với nền san hô phụ thuộc vào các thông số như: áp lực nền san hô tác dụng lên ống thép σ , góc ma sát giữa san hô với thành ống thép δ_{sp} , lực dính kết cấu của san hô c_c , khối lượng riêng của san hô γ , hệ số ma sát giữa thép và san hô μ , góc ma sát trong ϕ là đặc trưng kháng cắt của san hô. Các thông số trên phụ thuộc vào tính chất cơ lý của từng lớp san hô, chiều sâu hạ cọc, nó ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định các thành phần lực cản tác dụng lên ống thép.

2.2.2. Xây dựng mô hình tính toán các thành phần lực cản

2.2.2.1. Các giả thiết khi xây dựng mô hình

- Ống thép thẳng đứng, thoát phoi hoàn toàn, răng sắc không bị mòn;
- Quá trình xoay-ép hạ cọc chỉ có răng cắt mới tham gia quá trình cắt san hô (bố trí theo chu vi của đầu cọc), bỏ qua ma sát cạnh bên răng cắt;
- Khi tính toán các thành phần lực cản xoay-ép hạ cọc, tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay ống thép là không đổi;
- San hô ở trạng thái bão hòa, mỗi lớp nền san hô là vật liệu đồng nhất, san hô biến dạng không đàn hồi.



Hình 2.3. Mô hình tính toán các thành phần lực cản tác dụng lên cọc ống thép

a - sơ đồ cân bằng lực, b - phân bố diện tích ống theo phương dọc trục (z), c - sơ đồ các thành phần ứng suất của san hô tác dụng lên cọc ống thép trong quá trình hạ, d - áp lực san hô tác dụng lên thành cọc ống thép, e - vận tốc trên bề mặt cọc ống thép.

2.2.2.2. Xác định lực cản theo phương thẳng đứng tác dụng lên bề mặt cọc ống thép

Lực cản tác dụng lên bề mặt ống thép theo phương thẳng đứng N_c được phân tích thành các lực cản cơ bản ở mũi cọc ống thép N_b và lực cản trên bề mặt cọc ống thép (N_s bên trong và bên ngoài cọc ống thép):

$$N_c = N_b + N_s \quad (2.1) \quad N_s = N_{sp} + N_{is} \quad (2.2) \quad N_b = q_b \pi (R^2 - r^2) \quad (2.3)$$

Do cọc ống thép là hình tròn có đường kính và tiết diện không đổi nên một phân bố diện tích bề mặt ngoài của cọc ống thép được tính $dA = \pi D dz$, lực cản trượt phân bố tác dụng lên bề mặt ngoài cọc ống thép là τ_s :

$$\tau_s = \sigma_h \tan \delta_s + c_c \quad (2.4)$$

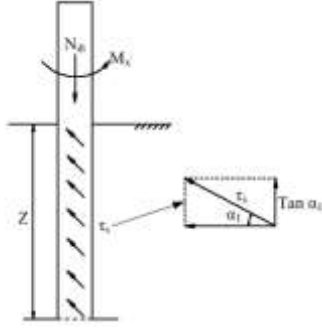
Ứng suất hữu hiệu theo phương ngang của nền san hô tác dụng lên thành cọc được tính:

$$\sigma_h(z) = \gamma(z) \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.5)$$

Xét vận tốc trong quá trình hạ của điểm B bất kỳ trên bề mặt ống thép (Hình 2.2e) ta có:

- v_r là vận tốc dài trong mặt phẳng nằm ngang, (m/ph);
- v là vận tốc trượt, (m/ph);
- v_t là vận tốc hạ dọc theo phương thẳng đứng, (m/ph);
- n vận tốc xoay ống thép, (vòng/phút)
- α_1 là góc giữa vận tốc dẫn tiến và vận tốc vòng dọc ống thép:

$$\tan\alpha_1 = \frac{v_t}{v_r}; n = \frac{60v_t}{D\pi\tan\alpha_1}; \alpha_1 = 0^\circ \div 90^\circ \quad (2.6)$$



Hình 2.4. Đường trượt ma sát đơn vị

Khi đó ta có được đường trượt của ma sát đơn vị (Hình 2.4) và lực cản theo phương thẳng đứng do ứng suất tiếp trên bề mặt ngoài cọc ống thép được tính theo công thức:

$$N_{spi} = \frac{\tan\alpha_1}{\sqrt{1+\tan^2\alpha_1}} \pi D \left(\sum_{i=1}^n h_i (\sigma_{hi} \tan\delta_{si} + c_{ci}) \right) \quad (2.7)$$

Lực cản ma sát theo phương thẳng đứng của lớp san hô trong lòng cọc ống thép được xác định bằng công thức:

$$N_{isi} = \frac{\tan\alpha_1}{\sqrt{1+\tan^2\alpha_1}} \pi d_p (\sigma_{hp} \tan\delta_{sp} + c_p) \quad (2.8)$$

Tổng lực cản tác dụng lên cọc ống thép theo phương thẳng đứng

$$N_{ci} = \pi \left\{ q_b (R^2 - r^2) + \frac{\tan\alpha_1}{\sqrt{1+\tan^2\alpha_1}} \left[D \left(\sum_{i=1}^n h_i (\sigma_{hi} \tan\delta_{si} + c_{ci}) \right) + d_p (\sigma_{hp} \tan\delta_{sp} + c_p) \right] \right\} \quad (2.9)$$

2.2.2.3. Xác định mô men cản theo phương nằm ngang tác dụng lên bề mặt cọc ống thép

Mô men cản trên bề mặt cọc ống thép được phân tích thành mô men cản trượt ở bề mặt bên ngoài cọc ống thép M_{sp} và bên trong cọc ống thép M_{is} .

Mô men cản của bề mặt ngoài cọc ống thép được xác định theo công thức:

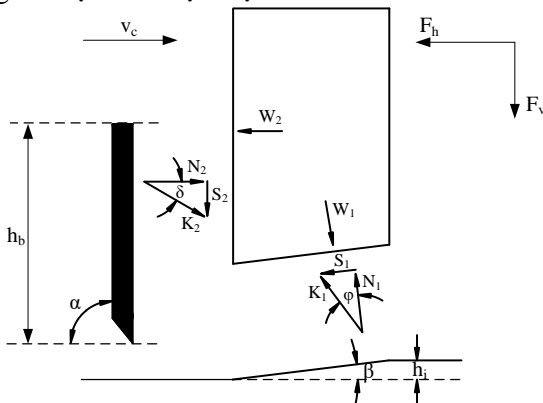
$$M_{spi} = \frac{l}{\sqrt{1+\tan^2\alpha_1}} \pi \frac{D^2}{2} \left(\sum_{i=1}^n h_i (\sigma_{hi} \tan\delta_{si} + c_{ci}) \right) \quad (2.10)$$

Mô men cản của bề mặt trong cọc ống thép được xác định theo công thức:

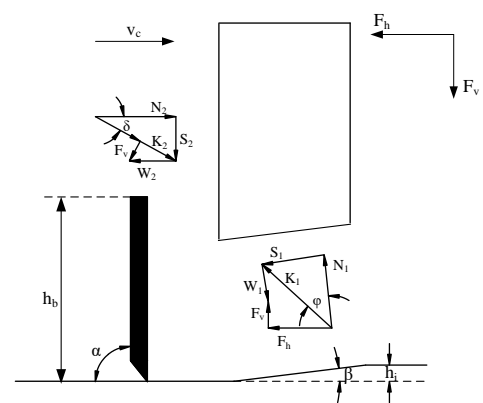
$$M_{isi} = \frac{l}{\sqrt{1+\tan^2\alpha_1}} \frac{\pi d_p^2 h_p}{2} (\sigma_{hp} \tan\delta_{sp} + c_p) \quad (2.11)$$

2.2.2.4. Xác định mô men cản cắt gây ra tại răng cắt

Trong quá trình xoay-ép hạ cọc, mỗi điểm trên cạnh răng cắt thực hiện chuyển động tịnh tiến theo hướng đi sâu xuống dưới và chuyển động xoay, lượng ăn sâu vào san hô của răng cắt phụ thuộc vào lực ép dọc trục. Khi ống thép vừa xoay vừa đi xuống quá trình biến dạng và phá hủy san hô được diễn ra liên tục và đồng thời. Dưới tác dụng của lực ép dọc trục và mô men xoay, răng cắt vừa chuyển động tịnh tiến, vừa chuyển động xoay tròn theo quỹ đạo xoắn vít để cắt và phá vỡ lớp san hô tạo ra một hình vành khăn nhằm làm giảm lực cản dọc trục.



Hình 2.5. Lực tác dụng lên lớp cắt



Hình 2.6. Các lực tác dụng lên răng cắt

a. Khi cắt lớp cát và cành nhánh san hô

Chiều tất cả các lực lên phương ngang và phương đứng ta có:

- Hợp lực theo phương ngang

$$\sum F_h = K_1 \sin(\beta + \phi) - W_1 \sin \beta + W_2 \sin \alpha - K_2 \sin(\alpha + \beta) = 0 \quad (2.12)$$

- Hợp lực theo phương đứng

$$\sum F_v = -K_1 \cos(\beta + \phi) - W_1 \cos \beta + W_2 \cos \alpha - K_2 \cos(\alpha + \beta) = 0 \quad (2.13)$$

- Mô men cản xoay gây ra tại toàn bộ răng khi cắt lớp cát và cành nhánh san hô

$$M_h^c = 4(D+d)(-W_2 \sin \alpha + K_2 \sin(\alpha + \delta)) \quad (2.14)$$

- Từ công thức (2.10), (2.11) và (2.14) tổng mô men cản khi hạ cọc ở lớp cát và cành nhánh san hô

$$M_{ci} = \frac{\pi}{2\sqrt{1+\tan^2 \alpha_1}} \left[D^2 \left(\sum_{i=1}^n h_i (\sigma_{hi} \tan \delta_{si} + c_{ci}) \right) + d^2 h_p (\sigma_{hp} \tan \delta_{sp} + c_p) \right] + 4(D+d) \left[-W_2 \sin \alpha + K_2 \sin(\alpha + \delta) \right] \quad (2.15)$$

b. Khi cắt lớp đá san hô

Chiều tất cả các lực lên phương ngang và phương đứng ta có:

- Hợp lực theo phương ngang

$$\sum F_h = K_1 \sin(\beta + \phi) + C \cos \beta - K_2 \sin(\alpha + \delta) = 0 \quad (2.16)$$

- Hợp lực theo phương đứng

$$\sum F_v = -K_1 \cos(\beta + \phi) + C \sin \beta - K_2 \cos(\alpha + \delta) = 0 \quad (2.17)$$

- Mô men cản xoay gây ra tại toàn bộ răng khi cắt lớp đá san hô

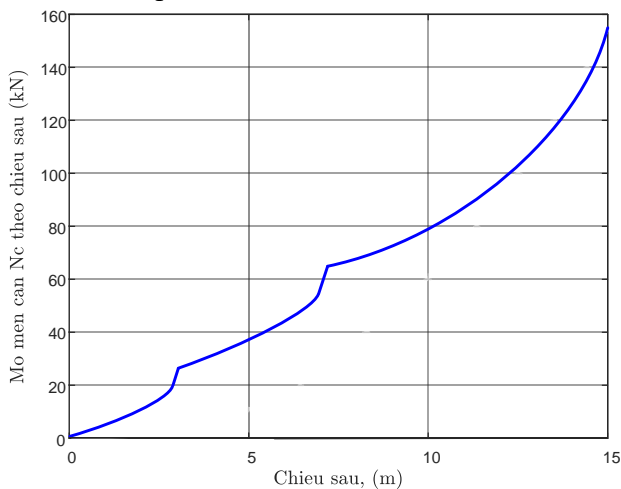
$$M_h^c = 4(D+d) K_2 \cos(\alpha + \delta) \quad (2.18)$$

- Từ công thức (2.10), (2.11) và (2.18) tổng mô men cản khi hạ cọc lớp đá san hô

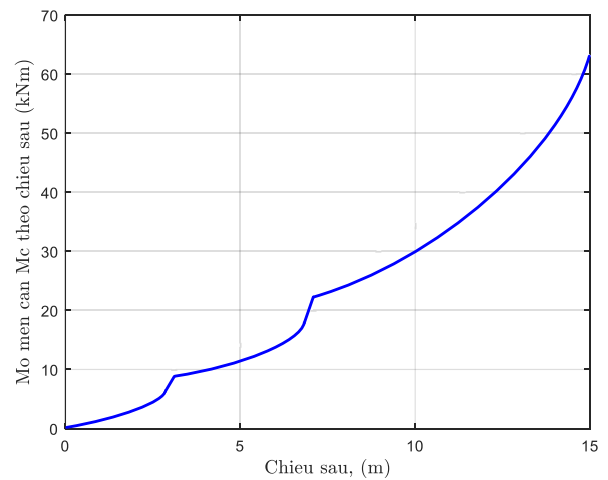
$$M_{ci} = \frac{\pi}{2\sqrt{1+\tan^2 \alpha_1}} \left[D^2 \left(\sum_{i=1}^n h_i (\sigma_{hi} \tan \delta_{si} + c_{ci}) \right) + d^2 h_p (\sigma_{hp} \tan \delta_{sp} + c_p) \right] + 4(D+d) K_2 \cos(\alpha + \delta) \quad (2.19)$$

2.2.3. Khảo sát sự thay đổi lực cản và mô men cản theo chiều sâu

Khảo sát sự thay đổi lực cản N_c và mô men cản M_c thay đổi theo chiều sâu theo biểu thức (2.9) và (2.19) ở tốc độ vòng xoay 20 vòng/phút, ống thép đi qua lớp cát san hô, lớp cành nhánh san hô và đến lớp đá san hô ở độ sâu 15m. Kết quả khảo sát thể hiện trên đồ thị hình 2.7 và hình 2.8.



Hình 2.7. Sự thay đổi lực cản theo chiều sâu



Hình 2.8. Sự thay đổi mô men cản theo chiều sâu

Ở lớp đá san hô mô men cản và lực cản tăng nhanh thể hiện ở độ dốc của đồ thị, khi đạt độ sâu 10 m đến 15 m hình dáng đồ thị mô men cản và lực cản tăng nhanh. Quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép, khi chuyển từ lớp này sang lớp khác, mô men cản và lực cản có bước nhảy thể hiện trên đồ thị. Ở độ sâu 3,4 m lớp cát san hô sang lớp cành nhánh san hô đồ thị có bước nhảy, mô men cản 0,95 kN.m, lực cản 2,56 kN. Ở độ sâu 6,5 m lớp cành

nhánh san hô sang lớp đá san hô đồ thị có bước nhảy, mô men cản 2,29 kN.m, lực cản 5,725 kN. Kết quả khảo sát đến độ sâu 15 m tổng lực cản $N_c = 154,205 \text{ kN}$ và tổng mô men cản $M_c = 63,84 \text{ kN.m}$.

Bảng 2.1. Kết quả tính toán lý thuyết giá trị mô men cản M_c và lực cản N_c

Độ sâu Z(m)	1	4	8	12	15
Giá trị M_c (kNm)	6,20	12,87	26,20	42,87	63,84
Giá trị N_c (kN)	15,11	31,17	63,30	103,45	154,205

2.2.4. So sánh kết quả tính toán lực cản và mô men cản giữa mô hình lý thuyết với thực nghiệm

Bảng 2.2. So sánh kết quả mô men cản giữa lý thuyết và thực nghiệm

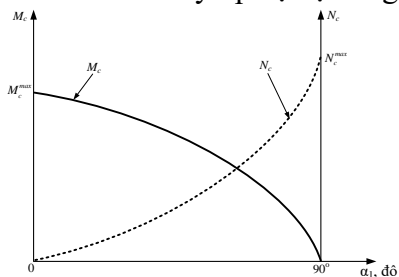
Độ sâu Z(m)	Giá trị mô men cản xoay M_c (kNm) tại các độ sâu của các cọc thí nghiệm		Sai số (%)
	Lý thuyết	Thực nghiệm	
1	6,20	5,28	14,83
4	12,87	11,77	8,54
8	26,20	23,36	10,84
12	42,87	38,33	10,59
15	63,84	56,88	10,9
Sai số trung bình			11,14

Bảng 2.3. So sánh kết quả lực cản giữa lý thuyết và thực nghiệm

Độ sâu Z(m)	Giá trị lực cản ma sát N_c (kN) trên thân cọc theo phương thẳng đứng		Sai số (%)
	Lý thuyết	Thực nghiệm	
1	15,11	13,11	13,24
4	31,17	27,58	11,52
8	63,30	59,38	6,19
12	103,45	97,51	5,74
15	154,205	143,47	6,96
Sai số trung bình			8,73

2.2.5. Quy luật biến thiên và mối quan hệ giữa các thông số đặc trưng cho chế độ làm việc của bộ công tác xoay-ép hạ cọc

Ta có quy luật biến thiên của lực cản N_c và mô men cản M_c theo α_1 , đồng thời vận tốc dẫn tiến v_t và tốc độ vòng xoay n bị ràng buộc lẫn. Như vậy, mỗi giá trị α_1 chúng ta sẽ nhận được giá trị N_c và M_c tương ứng như đồ thị hình 2.9. Mặt khác tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay ống thép cũng phải tỷ lệ với nhau theo α_1 mới đảm bảo xoay-ép hạ cọc ống thép vào nền san hô.



Hình 2.9. Quy luật biến thiên của N_c và M_c theo α_1

Theo hình 2.9, khi α_1 nhỏ thì N_c nhỏ thì M_c lớn và ngược lại. Tuy nhiên, khi N_c nhỏ thì mô men cản xoay M_c lớn, đồng thời với v_t lớn thì tốc độ xoay n cũng lớn làm cho công suất xoay cọc ống thép lớn, công suất của mô tơ xoay cọc và công suất nguồn của máy cơ sở không đáp ứng được. Vì vậy, để xác định được thông số làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép cần phải khảo sát các giá trị N_c , M_c , n , v_t theo α_1 phụ thuộc vào tính năng kỹ thuật về tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay của mô tơ dẫn động, thỏa mãn các yêu cầu của quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép.

Bảng 2.4. Sự biến thiên N_c và M_c theo α_1

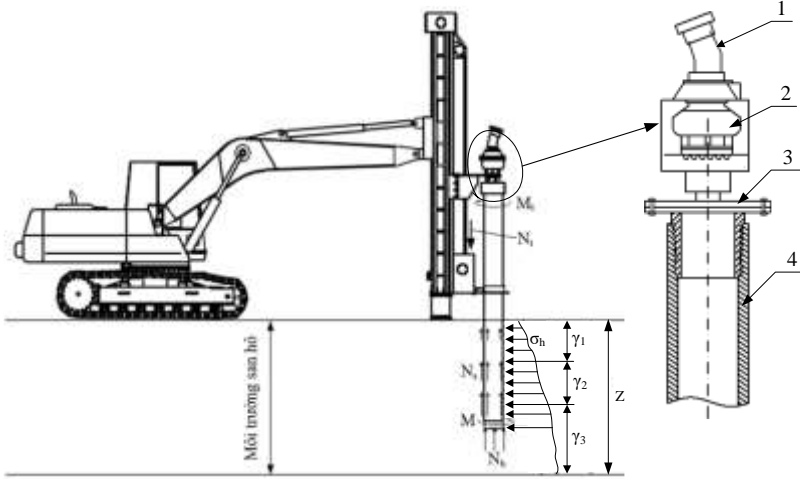
α_1 (Độ)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
N_c (kN)	14,61	28,25	54,26	79,99	107,70	140,15	182,41	247,04	382,22	618,24
M_c (kN.m)	20,03	19,26	17,88	16,63	15,40	14,11	12,64	10,79	8,09	2,74

2.3. Mô hình động lực học bộ công tác xoay hạ cọc ống thép

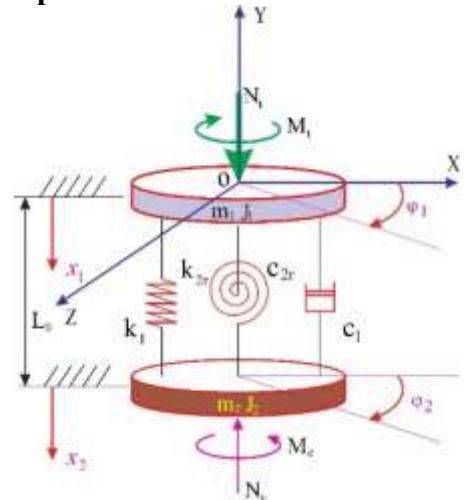
2.3.1. Các giả thiết xây dựng mô hình động lực học

- + Máy cơ sở đủ công suất dẫn động, đảm bảo ổn định trong quá trình di chuyển và xoay-ép hạ cọc;
- + Nền san hô phân lớp, trong đó coi mỗi lớp nền là lớp san hô đồng nhất, đẳng hướng, đàn hồi tuyến tính;
- + Đầu xoay, ống thép, mũi ống thép là những vật rắn tuyệt đối;
- + Lực dẫn tiến bộ phận công tác đặt đúng tâm ống thép;
- + Bỏ qua ma sát trượt giữa cần với cụm rãnh trượt;
- + Các phoi san hô được thoát hết hoàn toàn trong quá trình xoay hạ cọc vào môi trường san hô;
- + Giả thiết cho phân tích toán quá trình xoay-ép hạ cọc, cọc ống thép thẳng đứng đúng tâm, sử dụng ống thép không bịt đầu, đầu gắn 16 răng cắt.

2.3.2. Mô hình động lực học bộ công tác khoan xoay hạ cọc ống thép



Hình 2.10. Mô hình vật lý bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép



Hình 2.11. Mô hình động lực học bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép

2.3.3. Thiết lập phương trình vi phân chuyển động

Áp dụng phương trình Lagrange loại II cho cơ hệ gồm đầu xoay, ống thép để viết phương trình vi phân chuyển động

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (i = 1 \div 4) \quad (2.20)$$

Trong đó $\mathbf{q} = [q_i] = [x_1 \ \varphi_1 \ x_2 \ \varphi_2]^T$ là véc tơ tọa độ suy rộng độc lập.

- Động năng của cơ hệ

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\varphi}_2^2 \quad (2.21)$$

- Thế năng của cơ hệ

$$\Pi = \frac{1}{2} k_1 (x_2 - x_1)^2 + \frac{1}{2} k_{2r} (\varphi_2 - \varphi_1)^2 \quad (2.22)$$

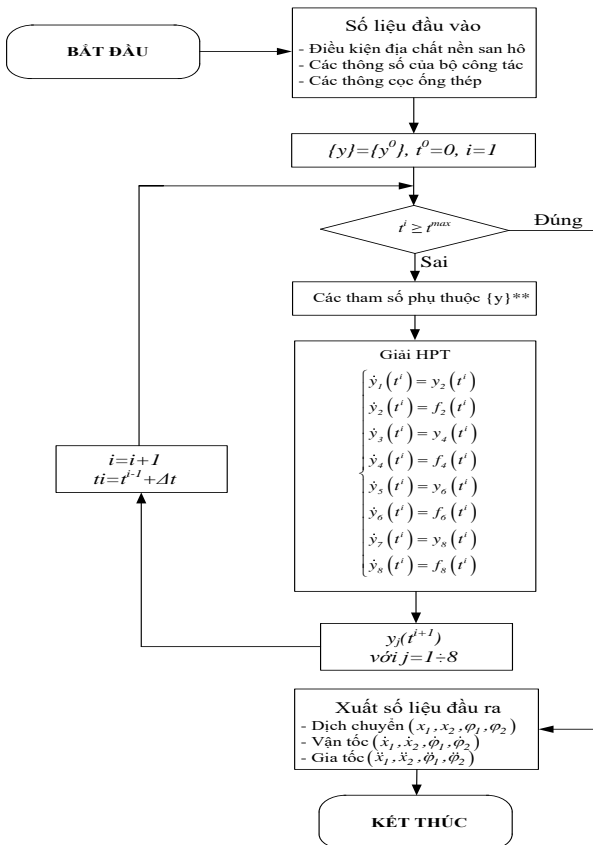
- Hàm hao tán của cơ hệ

$$\Phi = \frac{1}{2} c_1 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} c_{2r} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2 \quad (2.23)$$

- Véc tơ lực suy rộng: $\mathbf{Q} = [N_t \ M_t \ -N_c \ -M_c]^T$

- Hệ phương trình chuyển động của bộ công tác xoay-ép hạ cọc:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 - c_1 \dot{x}_2 + k_1 x_1 - k_1 x_2 = N_t \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + k_{2r} \dot{\varphi}_1 - k_{2r} \dot{\varphi}_2 + c_{2r} \varphi_1 - c_{2r} \varphi_2 = M_t \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1 \dot{x}_1 + c_1 \dot{x}_2 - k_1 x_1 + k_1 x_2 = -N_{ci} \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - k_{2r} \dot{\varphi}_1 + k_{2r} \dot{\varphi}_2 - c_{2r} \varphi_1 + c_{2r} \varphi_2 = -M_{ci} \end{cases} \quad (2.24)$$



Hình 2.12. Sơ đồ thuật toán giải hệ phương trình vi phân

Từ hệ phương trình vi phân thiết lập được ta có thể xác định được dịch chuyển của ống thép, xác định qui luật ảnh hưởng của các thông số động lực học đến quá trình xoay hạ cọc ống thép. Sử dụng phương pháp Runge-Kutta biến đổi 4 phương trình vi phân cấp 2 về 8 phương trình vi phân cấp 1 để giải ta nhận được sơ đồ thuật toán giải hệ phương trình vi phân (2.24) thể hiện trên hình 2.12.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Nội dung nghiên cứu của chương đã thu được những kết quả sau:

1 Đã xây dựng được mô hình tương tác giữa cọc ống thép với nền san hô trong quá trình xoay-ép hạ cọc, có tính đến các yếu tố tính chất cơ lý của nền và các thông số kết cấu của cọc ống thép, tính toán lực cản và mô men cản tác dụng lên ống thép theo chiều sâu. Kết quả khảo sát: ở độ sâu 3,4 m lớp cát san hô sang lớp cành nhánh san hô đồ thị có bước nhảy, mô men cản 0,947 kN.m, lực cản 2,29 kN. Ở độ sâu 6,5 m lớp cành nhánh san hô sang lớp đá san hô đồ thị có bước nhảy, mô men cản 2,37 kN.m, lực cản 5,725 kN. Ở độ sâu 15 m tổng lực cản $N_c = 154,205 \text{ kN}$ và tổng mô men cản $M_c = 63,84 \text{ kN.m}$.

2. So sánh kết quả tính toán mô hình lý thuyết với thực nghiệm: lực cản và mô men cản sai số nằm trong khoảng $8,73 \div 11,14$. Có được kết quả trên là do luận án đã xây dựng được mô hình tương tác, mô hình tính các thành phần lực cản giữa cọc ống thép với nền san hô phù hợp với thực tế, sai số nằm trong giới hạn cho phép có thể chấp nhận được.

3. Đã xây dựng được mô hình động lực học của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép với 2 khối lượng và 4 bậc tự do độc lập. Trong mô hình nghiên cứu tác giả đã đề cập:

- + Tính đến độ cứng và hệ số giảm chấn xoay của khớp nối ren liên kết cụm đầu xoay và cọc thép;
- + Đã xét đến các lực cản xoay, lực cản theo phương thẳng đứng bên trong và bên ngoài ống thép, lực cản cắt nền san hô tác dụng lên răng cắt. Đây cũng là tính mới của mô hình nghiên cứu.

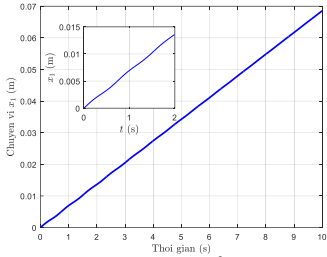
4. Thiết lập được hệ phương trình vi phân mô tả đặc tính chuyển động của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép khi tương tác với nền san hô trong quá trình xoay-ép hạ cọc vào nền san hô.

CHƯƠNG 3. KHẢO SÁT CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHẢ NĂNG LÀM VIỆC, XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ LÀM VIỆC HỢP LÝ VÀ KHẢ NĂNG HẠ CỌC CỦA BỘ CÔNG TÁC KIỂU XOAY-ÉP LẮP TRÊN MÁY ĐÀO THỦY LỰC

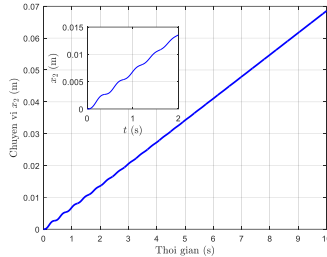
3.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng làm việc của bộ công tác

3.1.1. Khảo sát các thông số động lực học

Tiến hành khảo sát các yếu tố ảnh hưởng với điều kiện ở môi trường đá san hô bão hòa có $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ta nhận được một số kết quả thể hiện trên hình 3.1 đến hình 3.18.

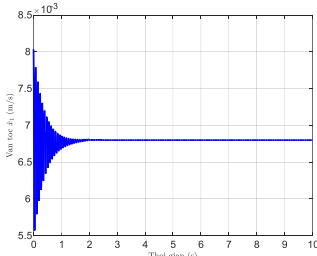


Hình 3.1. Chuyển vị của khâu 1

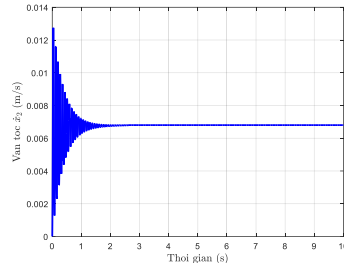


Hình 3.2. Chuyển vị của khâu 2

Từ đồ thị hình 3.1 và hình 3.2 cho thấy thời gian đầu cụm đầu xoay (khâu 1) và cọc thép (khâu 2) gần như chuyển vị cùng pha, khảo sát trong thời gian 10 giây chuyển vị của khâu 1 và khâu 2 đạt giá trị là 0,0685 m. Tuy nhiên do lực cản của san hô tác động lên ống thép (khâu 2) nên sự dao động của khâu 2 lớn hơn khâu 1 (hình phụ).

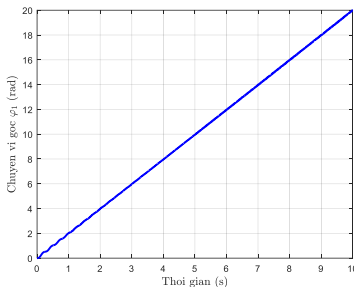


Hình 3.3. Vận tốc chuyển vị của khâu 1

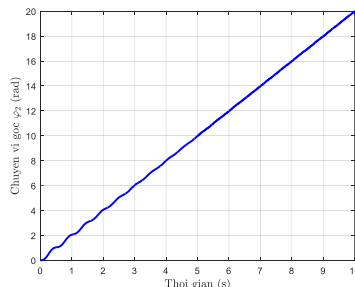


Hình 3.4. Vận tốc chuyển vị của khâu 2

Đồ thị hình 3.3 và hình 3.4 thể hiện cụ thể vận tốc chuyển vị của các khâu, giá trị tốc độ chuyển vị trung bình của 2 khâu là 0,0068 m/s (0,408m/ph).

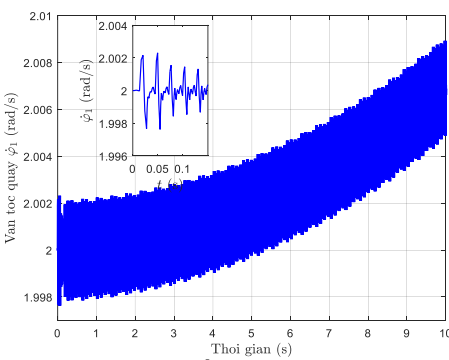


Hình 3.5. Chuyển vị góc của khâu 1

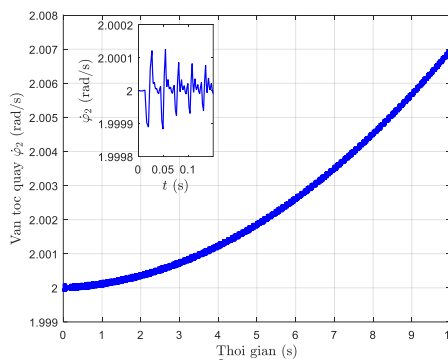


Hình 3.6. Chuyển vị góc của khâu 2

Đặc tính chuyển động xoay của các khâu được thể hiện trên hình 3.5 và hình 3.6. Dễ dàng nhận thấy về xu hướng thay đổi của các đại lượng gần như tương đồng ở cụm đầu xoay (khâu 1) và cọc thép (khâu 2) với chuyển vị góc tăng theo thời gian, khảo sát trong thời gian 10 giây giá trị chuyển vị góc của khâu 1 và khâu 2 đạt giá trị 20 rad.

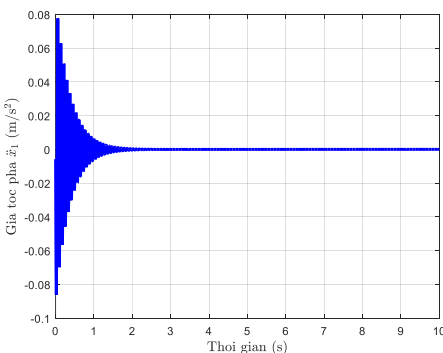


Hình 3.7. Vận tốc xoay của khâu 1

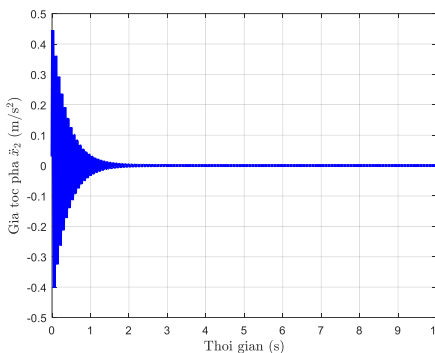


Hình 3.8. Vận tốc xoay của khâu 2

Dựa trên hình 3.7 và hình 3.8, có thể thấy tốc độ xoay của khâu 1 và khâu 2 có sự khác biệt, điểm khác biệt cần được kể đến là thời gian chuyển động khác pha của 2 khâu ở giai đoạn đầu là rất ngắn ($t < 0,05$ giây), giá trị vận tốc xoay trung bình của khâu 1 và khâu 2 là 2,0025 (rad/s).

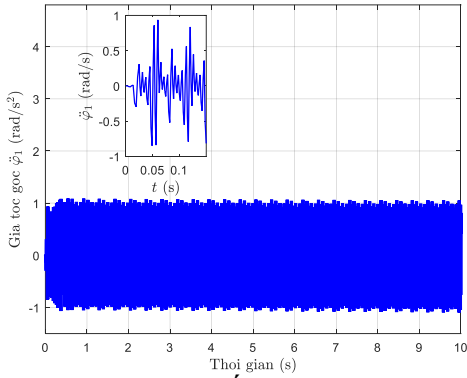


Hình 3.9. Gia tốc dịch chuyển pha của khâu 1 theo thời gian

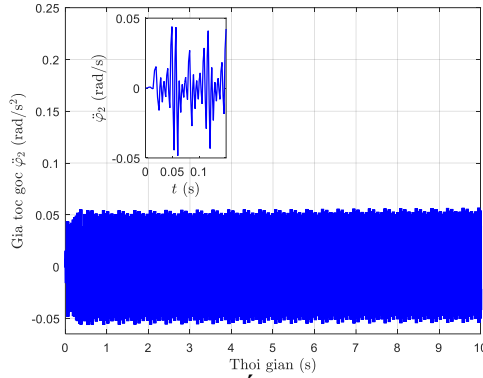


Hình 3.10. Gia tốc dịch chuyển pha của khâu 2 theo thời gian

Đồ thị hình 3.9 và hình 3.10 thể hiện gia tốc dịch chuyển pha của 2 khâu, ta thấy rằng khi bắt đầu xoay-ép hạ cọc ống thép sự dao động của 2 khâu rất lớn trong thời gian 0,6 giây, sự dao động của khâu 2 lớn hơn khâu 1 do lực cản của nền san hô tác dụng lên cọc ống thép, giá trị dao động lớn nhất tương ứng là 0,45 m/s² (khâu 2) và 0,078 m/s² (khâu 1).



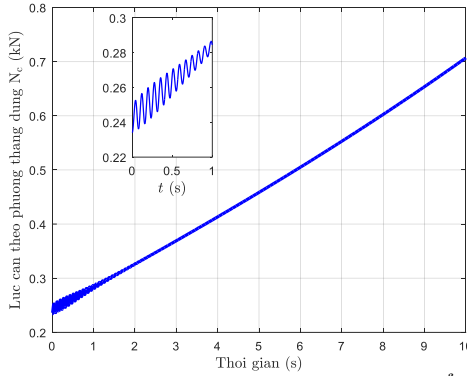
Hình 3.11. Gia tốc góc của khâu 1 theo thời gian



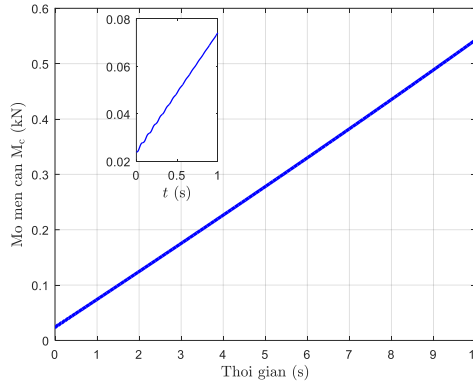
Hình 3.12. Gia tốc góc của khâu 2 theo thời gian

Hình 3.11 và hình 3.12 thể hiện dịch chuyển gia tốc góc của các khâu, dao động của các khâu có sự tương đồng, khâu 1 lớn hơn gia tốc dao động của khâu 2, giá trị dao động lớn nhất của chúng tương ứng lần lượt là 1,1 rad/s² (khâu 1) và 0,057 rad/s² (khâu 2).

3.1.2. Khảo sát lực cản theo phương thẳng đứng và mô men cản tác dụng lên ống thép khi xoay-ép hạ cọc



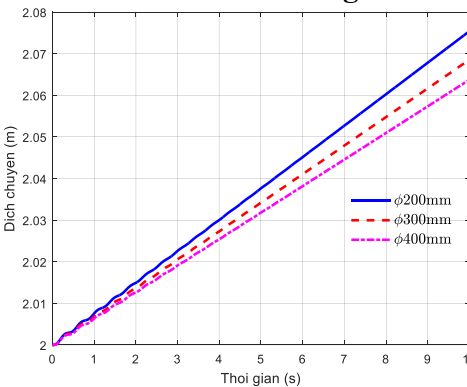
Hình 3.13. Lực cản theo phương thẳng đứng tác dụng lên ống thép



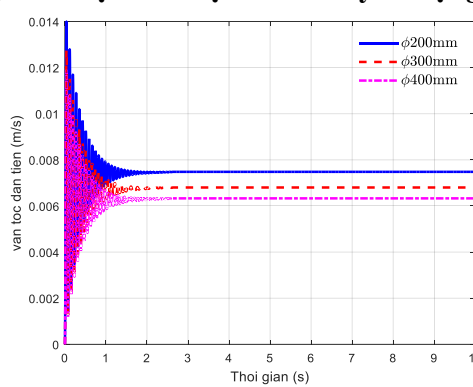
Hình 3.14. Mô men cản tác dụng lên ống thép

Từ đồ thị hình 3.13 và hình 3.14 thấy rằng lực cản theo phương thẳng đứng và mô men cản xoay tăng theo thời gian, khi chiều sâu hạ cọc tăng lên thì giá trị thành phần lực cản tăng lên, khảo sát trong thời gian 10 giây lực cản thẳng đứng tăng 0,5274 kN, mô men cản tăng 0,5485 kNm. Kết quả khảo sát lý thuyết lực cản và mô men cản so với thực nghiệm có tính tương đồng, phù hợp với thực nghiệm.

3.1.3. Khảo sát ảnh hưởng của đường kính cọc đến đặc tính chuyển động tịnh tiến của cọc ống thép



Hình 3.15. Ảnh hưởng của đường kính cọc đến dịch chuyển ống thép

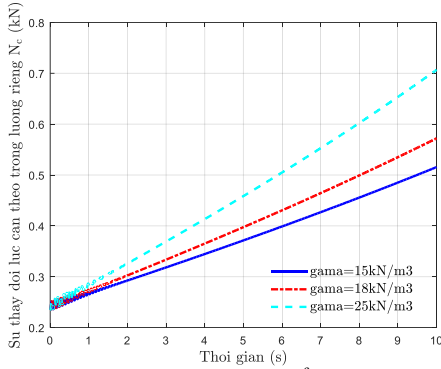


Hình 3.16. Ảnh hưởng của đường kính cọc đến vận tốc dẫn tiến ống thép

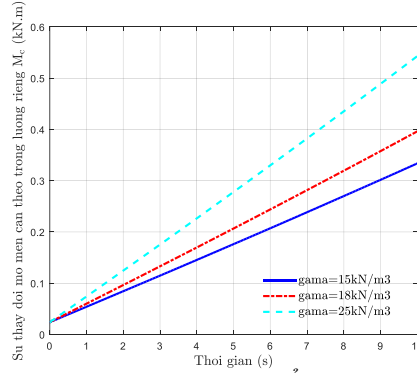
Đồ thị Hình 3.15 thể hiện dịch chuyển của khâu 2 với đường kính lần lượt là $\phi 200$ mm, $\phi 300$ mm, $\phi 400$ mm, thấy rằng cùng tốc độ vòng xoay và tốc độ dẫn tiến thì với đường kính cọc thép lớn hơn thì tốc độ dịch chuyển thâm nhập vào nền chậm hơn so với đường kính cọc thép nhỏ hơn, cụ thể khảo sát trong thời gian từ 0 ÷ 10 giây cọc ống thép $\phi 200$ mm dịch chuyển đạt giá trị 0,0754m,

ống thép $\phi 300$ mm dịch chuyển đạt giá trị 0,0685m, ống thép $\phi 400$ mm dịch chuyển đạt giá trị 0,0637m. Đồ thị hình 3.16 thể hiện vận tốc dịch chuyển của khâu 2 với các đường kính khác nhau, ống thép $\phi 200$ mm tốc độ dịch chuyển đạt giá trị quanh tốc độ ổn định là 0,00748 m/s, ống thép $\phi 300$ mm tốc độ dịch chuyển đạt giá trị quanh tốc độ ổn định là 0,0068 m/s, ống thép $\phi 400$ mm tốc độ dịch chuyển đạt giá trị quanh tốc độ ổn định là 0,00633 m/s. Điều đó khẳng định rằng đường kính cọc ảnh hưởng rất lớn đến lực cản và mô men cản của nền tác dụng lên cọc thép. Kết quả khảo sát lý thuyết phù hợp với thực nghiệm tại hiện trường.

3.1.4. Khảo sát ảnh hưởng trọng lượng riêng của nền san hô đến lực cản và mô men cản khi xoay-ép hạ cọc



Hình 3.17. Sự thay đổi lực cản khi hạ cọc vào các lớp san hô khác nhau



Hình 3.18. Sự thay đổi mô men cản khi hạ cọc vào các lớp san hô khác nhau

Từ đồ thị hình 3.17, hình 3.18 ta thấy rằng trong lượng riêng của từng lớp san hô ảnh hưởng lớn đến quá trình xoay-ép hạ cọc, khi trọng lượng riêng tăng thì đồng nghĩa với lực cản và mô men cản tăng theo. Khảo sát trong thời gian 10 giây với từng lớp san hô kết quả cho ta thấy $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ lực cản tăng 0,2814 kN và mô men cản tăng 0,3098 kNm, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ lực cản tăng 0,338 kN và mô men cản tăng 0,3723 kNm, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ lực cản tăng 0,4726 kN và mô men cản tăng 0,519 kNm.

3.1.5. So sánh kết quả tính toán vận tốc dẫn tiến ống thép giữa mô hình lý thuyết với thực nghiệm

Bảng 3.1. So sánh kết quả vận tốc dẫn tiến giữa lý thuyết và thực nghiệm

Vận tốc dẫn tiến (m/s)		Sai số (%)
Lý thuyết	Thực nghiệm	
0,0068	0,0058	14,7

Kết quả vận tốc dẫn tiến tính toán mô hình lý thuyết phù hợp thực nghiệm xoay-ép hạ cọc ở nền đá san hô, sai số vận tốc dẫn tiến là $v_t = 14,7\%$.

3.2. Xác định thông số làm việc hợp lý và khả năng hạ cọc của bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực

3.2.1. Phát biểu bài toán

Xác định tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay cọc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép có đường kính khác nhau ở môi trường đá san hô tại đảo Trường Sa với công suất và mô men dẫn động bộ công tác cho trước, sao cho chiều sâu hạ cọc đạt giá trị tối đa tương ứng với từng loại đường kính cọc, thỏa mãn các điều kiện của quá trình xoay-ép hạ cọc ống thép.

3.2.2. Xác định thông số làm việc hợp lý

3.2.2.1. Xây dựng hàm mục tiêu và thuật toán giải

Hàm mục tiêu

$$x_2(T) \rightarrow \max \text{ (chiều sâu đạt max) với } T \text{ thời gian xoay-ép chưa biết.}$$

Thông số điều khiển

$$u = \alpha_i \text{ (}\alpha_i \text{ phụ thuộc vào } v_t \text{ và } v_r, \text{ ứng với mỗi } v_{ti} \text{ và } v_{ri} \text{ ta có } \alpha_{li} \text{ tương ứng)}$$

Điều kiện biên

$$\text{Tại } t = T \text{ thì } \dot{x}_2(T) = 0$$

Điều kiện đầu

$$x_1(0) = 0, x_2(0) = 0$$

Điều kiện ràng buộc

$$\text{Tại } t = 0 \text{ thì } \begin{cases} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0 \\ \dot{x}_1(0) = 0, \dot{x}_2(0) = 0 \\ \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = \omega_0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\alpha_{1min} \leq \alpha_i \leq \alpha_{1max} \quad (3.2)$$

Thuật toán giải

Sử dụng lý thuyết điều khiển tối ưu, áp dụng nguyên lý cực đại Pontryagin tiến hành theo các bước

Bước 1: Biểu diễn hàm mục tiêu dưới dạng phiếm hàm

$$J = \int_0^T \dot{x}_2 dt = \int_0^T \dot{x}_2 T d\tau = \int_0^l (T \dot{x}_2) d\tau \quad (3.3)$$

Bước 2: Lập phương trình trạng thái theo biến τ

$$\begin{aligned}
 y_1' &= \frac{dy_1}{d\tau} = y_5 & &= f_1 \\
 y_2' &= \frac{dy_2}{d\tau} = y_6 & &= f_2 \\
 y_3' &= \frac{dy_3}{d\tau} = y_7 & &= f_3 \\
 y_4' &= \frac{dy_4}{d\tau} = y_8 & &= f_4 \\
 y_5' &= \frac{d^2 x_1}{d\tau^2} = T^2 \ddot{x}_1 = \frac{T^2}{m_1} (N_t - c_1 y_5 + c_1 y_7 - k_1 y_1 + k_1 y_3) & &= f_5 \\
 y_6' &= \frac{d^2 \varphi_1}{d\tau^2} = T^2 \ddot{\varphi}_1 = \frac{T^2}{J_1} (M_t - k_{2r} y_6 + k_{2r} y_8 - c_{2r} y_2 + c_{2r} y_4) & &= f_6 \\
 y_7' &= \frac{d^2 x_2}{d\tau^2} = T^2 \ddot{x}_2 = \frac{T^2}{m_2} (N_c + c_1 y_5 - c_1 y_7 + k_1 y_1 - k_1 y_3) & &= f_7 \\
 y_8' &= \frac{d^2 \varphi_2}{d\tau^2} = T^2 \ddot{\varphi}_2 = \frac{T^2}{J_2} (M_c + k_{2r} y_6 - k_{2r} y_8 + c_{2r} y_2 - c_{2r} y_4) & &= f_8
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Bước 3: Lập Hàm Hamilton bằng cách đưa vào thêm 8 biến liên hợp

$$H = T\dot{x}_2 + \sum_1^8 p_i f_i = \frac{dx_2}{d\tau} + \sum_1^8 p_i f_i = y_7 + p_1 f_1 + p_2 f_2 + p_3 f_3 + p_4 f_4 + p_5 f_5 + p_6 f_6 + p_7 f_7 + p_8 f_8 \tag{3.5}$$

Bước 4: Xác định biến điều khiển tối ưu $u^* = \alpha_1^*$

$$\text{Điều kiện cần để hàm Hamilton đạt cực đại theo } u \text{ là: } \frac{\partial H}{\partial \alpha_1} = 0 \tag{3.6}$$

Từ (3.6) ta thu được α_1^* theo u và p

Bước 5: Thay α_1^* là hàm của u và p vào phương trình trạng thái và phương trình liên hợp

$$p_i' = \frac{dp_i}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial y_i} \quad (i = 1, 2, \dots, 8) \tag{3.7}$$

Bước 6: Giải hệ hỗn hợp $8 + 8 + 1 = 17$ phương trình vi phân

$$\begin{cases}
 y_i' = f_i \quad (i = \overline{1, 8}) \\
 p_i' = -\frac{\partial H}{\partial y_i} \quad (i = \overline{1, 8}) \\
 T' = \frac{dT}{d\tau} \\
 0 \leq \tau \leq 1
 \end{cases} \tag{3.8}$$

Với điều kiện đầu: $y_i(0)$ ($i = \overline{1, 7}$) đã biết (chú ý $y_8(0)$ chưa biết do T chưa biết) \Leftrightarrow 7 điều kiện đầu.

Bổ sung thêm điều kiện biên: $\dot{x}_2(T) = 0$. Do đó $y_7(1) = 0$

Điều kiện hoành (xác định điều kiện cuối của biến liên hợp) $p_i(1) = 0$

Bước 7: Giải hệ hỗn hợp 17 phương trình vi phân, ta thu được thông số hợp lý y^* và thời gian T^*
 \Rightarrow Tốc độ dẫn tiến và tốc độ xoay cọc hợp lý:

$$\begin{cases}
 v_t^* = \frac{1}{T^*} y_7^* \\
 v_r^* = \frac{1}{T^*} y_8^*
 \end{cases} \tag{3.9}$$

3.2.2.2. Các thông số yêu cầu

Điều kiện địa chất đó là: mật cắt cột địa chất (n_i, h_i), tính chất cơ lý của nền san hô ($q_c, q_b, \sigma_{hi}, \sigma_{hp}, c_i, \delta_{si}, \delta_{sp}, \phi, \mu, \gamma$);

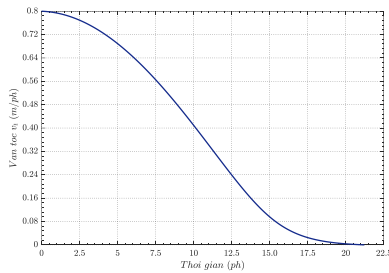
- Đối với cọc ống thép cần hạ (D, d, l, h_p).

- Dẫn động xoay cọc ống thép của bộ công tác là loại mô tơ di chuyển Solar 200W-V (Travel Motor 200W-V), dẫn động dẫn tiến cọc ống thép là loại mô tơ di chuyển Solar 130W-V (Travel Motor 130W-V), gồm hai thông số là tốc độ vòng xoay n thay đổi từ $5 \div 20$ vòng/phút và vận tốc dẫn tiến v_t thay đổi từ $0,1 \div 0,8$ m/phút, còn các thông số khác của bộ công tác và hai mô tơ không thay đổi, các thông số của san hô sử dụng để tính toán dựa trên các số liệu của chương 1.

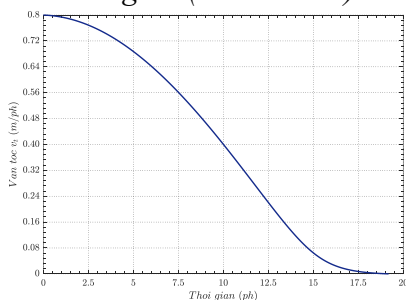
3.2.2.3. Xác định thông số làm việc hợp lý của bộ công tác kiểu xoay-ép lắp trên máy đào thủy lực

Để có căn cứ lựa chọn thông số làm việc hợp lý của bộ công tác, trước tiên tiến hành khảo sát cho trường hợp cụ thể là: sự phụ thuộc của các yếu tố cần (lực cần và mô men cần), đặc tính san hô và cả quan hệ tương đối giữa hai vận tốc dẫn tiến v_t và vận tốc xoay cọc n ràng buộc với nhau thông qua biểu thức (2.6). Với vùng khuyến cáo làm việc của bộ công tác xoay-ép hạ cọc, các giá trị vận tốc chuyển động của cọc thép được giới hạn trong khoảng: vận tốc dẫn tiến cọc ống thép $v_t = 0,10 \div 0,80$ m/ph ta có vùng thay đổi $v_t = 0,00167 \div 0,1334$ m/s. Tốc độ xoay cọc n từ $5 \div 20$ vòng/phút ta có vùng thay đổi của v_r là $0,0785 \div 0,314$ m/s. Như vậy ta có thể thấy rằng giá trị tỷ số vận tốc $\tan \alpha_1$ có thể thay đổi từ $0,0425 = 0,8/(0,314 \cdot 60)$ đến $0,0212 = 0,1/(0,0785 \cdot 60)$. Tính toán các thông số hợp lý với các tham số như sau: vận tốc dẫn tiến nhỏ nhất $v_t = 0,1$ m/phút; Tốc độ xoay ống thép nhỏ nhất $n = 5$ vòng/phút; Đường kính cọc ống thép $D = 0,3$ m, chiều dài mỗi đoạn cọc $l = 3$ m.

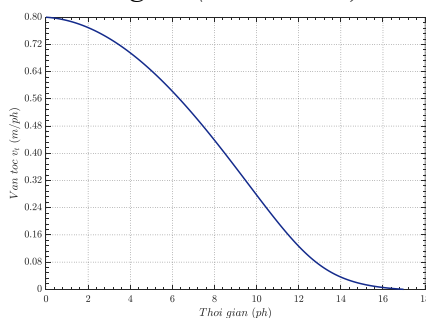
Sử dụng phần mềm Maple giải hệ phương trình hỗn hợp (3.8) xác định các thông số hợp lý của hệ phương trình (3.9), với đường kính cọc $D = 200$ mm, $D = 300$ mm, $D = 400$ mm hạ cọc trên nền đá san hô ta nhận được kết quả theo đồ thị hình 3.19, hình 3.20, hình 3.21, hình 3.22, hình 3.23, hình 3.24, giá trị các thông số làm việc hợp lý của bộ công tác thể hiện trong, bảng 3.3, bảng 3.4, bảng 3.5.



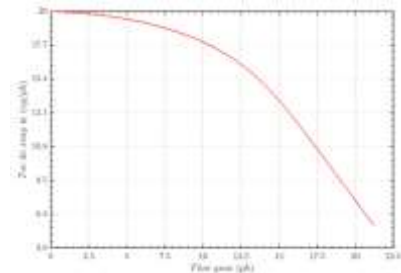
Hình 3.19. Đồ thị vận tốc dẫn tiến biến thiên theo thời gian ($D=200$ mm)



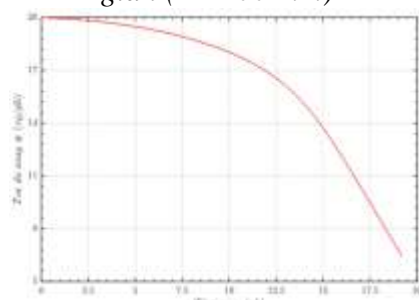
Hình 3.21. Đồ thị vận tốc dẫn tiến biến thiên theo thời gian ($D=300$ mm)



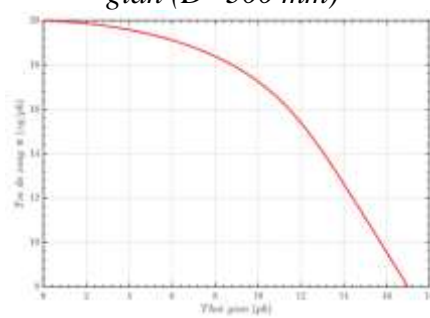
Hình 3.23. Đồ thị vận tốc dẫn tiến biến thiên theo thời gian ($D=400$ mm)



Hình 3.20. Đồ thị tốc độ xoay biến thiên theo thời gian ($D=200$ mm)



Hình 3.22. Đồ thị tốc độ xoay biến thiên theo thời gian ($D=300$ mm)



Hình 3.24. Đồ thị tốc độ xoay biến thiên theo thời gian ($D=400$ mm)

Bảng 3.2. Chế độ làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền đá san hô (D=200 mm)

TT	α_1 (độ)	n (v/ph)	v_t (m/ph)
1.	21.80140949	20	0.8
2.	21.66001543	19.95789	0.792608
3.	21.34577458	19.88289	0.777032
4.	20.80841677	19.82599	0.753452
5.	20.06216542	19.77388	0.722141
6.	19.12321825	19.71157	0.683469
7.	18.00318015	19.62899	0.637905
8.	16.77109024	19.44534	0.586019
9.	16.17285307	19.31116	0.560049
10.	15.36490432	19.23297	0.528497
11.	14.75498925	19.21881	0.506168
12.	14.6306821	18.82599	0.491457
13.	12.85547812	18.50132	0.422224
14.	9.519002379	17.59755	0.295082
15.	8.073097963	16.50547	0.234117
16.	6.888934118	15.25344	0.184288
17.	6.101264218	13.90382	0.14862
18.	5.744465522	12.5098	0.125845
19.	5.775486258	11.09912	0.112261
20.	7.200776088	8.265427	0.104428
21.	0	7.265427	0

Bảng 3.4. Chế độ làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền đá san hô (D=400 mm)

TT	α_1 (độ)	n (v/ph)	v_t (m/ph)
1.	11.30993247	20	0.8
2.	11.22800101	19.9636031	0.79324413
3.	11.04673198	19.9007489	0.777197399
4.	10.76703828	19.81057624	0.752074377
5.	10.39046842	19.6916297	0.718215656
6.	9.919252285	19.54173704	0.67608957
7.	9.356372449	19.35781362	0.626296739
8.	8.705677813	19.13555902	0.569580595
9.	7.972076111	18.86898882	0.506849953
10.	7.506900726	16.54970942	0.439225889
11.	6.529328254	16.16580218	0.368137462
12.	5.483843461	15.70018014	0.295512518
13.	4.388858662	15.1285628	0.22412525
14.	3.27635374	14.41873036	0.158037146
15.	2.20222782	13.5374849	0.102391148
16.	1.246460106	12.4752956	0.061105842
17.	0.656874984	11.27121648	0.033989394
18.	0.533981545	9.98925698	0.017603027
19.	0.404859396	8.6754341	0.00815998
20.	0.172575043	7.35099854	0.002878593
21.	0	6.02381792	0

Bảng 3.3. Chế độ làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép trên nền đá san hô (D=300 mm)

TT	α_1 (độ)	n (v/ph)	v_t (m/ph)
1.	14.93141718	20	0.8
2.	14.86021676	19.95562949	0.794242206
3.	14.66768618	19.88637336	0.780766002
4.	14.35419579	19.79152192	0.759710628
5.	13.92059585	19.66984909	0.731294978
6.	13.36826527	19.51951076	0.695816989
7.	12.69918098	19.33788037	0.653653364
8.	11.91601192	19.12129023	0.605260371
9.	11.02225014	18.86462299	0.551177171
10.	10.02241298	18.56065364	0.492034625
11.	8.922406319	18.19895947	0.428575939
12.	7.730289585	17.76405923	0.361703763
13.	6.458109867	17.23217903	0.292589626
14.	5.126713802	16.56583563	0.222937051
15.	3.778689058	15.70706193	0.155609114
16.	2.507131114	14.58296657	0.095778684
17.	1.469767247	13.16720166	0.050676423
18.	0.774175254	11.55388718	0.023418683
19.	0.367218852	9.864574244	0.009483702
20.	0.137308283	8.155830332	0.0029318
21.	0	6.443446232	0

Đồ thị hình 3.19 và hình 3.20 thể hiện dải vận tốc dẫn tiến và dải tốc độ xoay cọc ống thép D=200 mm theo thời gian, thời gian dừng T = 21,22 phút. Giá trị α_1 ứng với từng vận tốc dẫn tiến và tốc độ xoay cọc theo bảng 3.2, thông số làm việc hợp lý: vận tốc dẫn tiến $v_t = 0,49$ m/ph, tốc độ xoay cọc $n = 18,83$ v/ph ứng với $\alpha_1 = 14,63$ độ.

Đồ thị hình 3.21 và hình 3.22 thể hiện dải vận tốc dẫn tiến và dải tốc độ xoay cọc ống thép D=300 mm theo thời gian, thời gian dừng T = 19,1892 phút. Giá trị α_1 ứng với từng vận tốc dẫn tiến và tốc độ xoay cọc theo bảng 3.3, thông số làm việc hợp lý: vận tốc dẫn tiến $v_t = 0,36$ m/ph, tốc độ xoay cọc $n = 17,76$ v/ph ứng với $\alpha_1 = 7,73$ độ.

Đồ thị hình 3.23 và hình 3.24 thể hiện dải vận tốc dẫn tiến và dải tốc độ xoay cọc ống thép D=400 mm theo thời gian, thời gian dừng T = 17,68 phút. Giá trị α_1 ứng với từng vận tốc dẫn tiến và tốc độ xoay cọc theo bảng 3.4, thông số làm việc hợp lý: vận tốc dẫn tiến $v_t = 0,295$ m/ph, tốc độ xoay cọc $n = 15,7$ v/ph ứng với $\alpha_1 = 5,48$ độ.

3.2.3. Khảo sát xác định khả năng hạ cọc

3.2.3.1. Bộ số liệu đầu vào

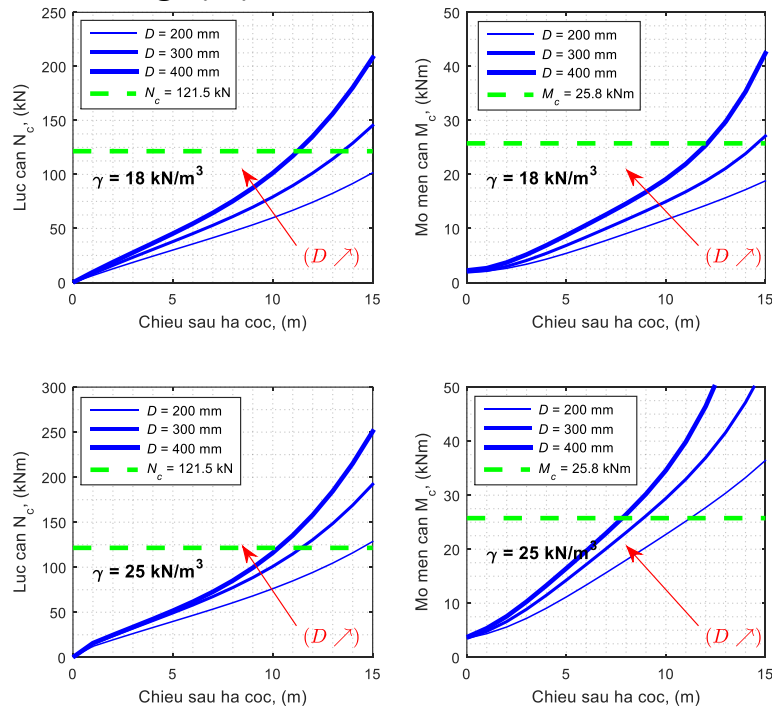
Khả năng làm việc tối đa của bộ công tác xoay-ép được tính thông qua mô men lớn nhất mà mô tơ dẫn động dẫn tiến và mô tơ xoay cọc có thể tạo ra được. Theo thiết kế, mô tơ xoay kéo xích và mô tơ xoay cọc có thể tạo ra mô men lớn nhất lần lượt là $M_k^{max} = 607$ Nm và $M_x^{max} = 770$ Nm. Do đó ta có thể tính ra được lực ép và mô men xoay cọc tối đa mà bộ công tác có thể xoay-ép cọc được là:

$$F_t^{max} = \frac{M_k^{max} \cdot i_t \cdot \eta_t}{R_t} \quad (3.10)$$

$$M_t^{max} = M_x^{max} \cdot i_r \cdot \eta_r \quad (3.11)$$

Sử dụng các thông số đầu vào của hệ thống gồm: bán kính bánh sao xoay xích, $R_t = 0,125$ m; tỉ số truyền và hiệu suất truyền động của cơ cấu xoay xích, $i_t = 26,347$; $\eta_t = 0,95$, chúng ta tìm được các giá trị $F_t^{max} = 121,5$ kN và $M_t^{max} = 25,8$ kNm

3.2.3.2. Kết quả khảo sát khả năng hạ cọc



Hình 3.25. Kết quả tính toán lý thuyết sự phụ thuộc của lực cản (trái) và mô men cản (phải) vào đường kính ống thép ($D=200/300/400$ mm) và đặc tính của san hô $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ (trên) và $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ (dưới)

Dựa trên đồ thị hình 3.25 với lực ép và mô men xoay của hai mô tơ đã tính ở trên (lực ép lớn nhất 127,9 kN và mô men xoay lớn nhất 26,5 kNm thể hiện đường nét đứt trên đồ thị) khi hạ cọc với vận tốc dẫn tiến và tốc độ vòng xoay hợp lý đã xác định tại mục 3.2.2.3. Nếu hạ cọc ở nền san hô lớp cành nhánh $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ đối với cọc ống thép $D = 400$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 12,5 m, đối với cọc ống thép $D = 300$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 14,5 m, đối với cọc ống thép $D = 200$ mm thì hạ được cọc sâu hơn 15 m. Đối với nền đá san hô $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ cọc ống thép $D = 400$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 7,75 m, đối với cọc ống thép $D = 300$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 8,8 m, đối với cọc ống thép $D = 200$ mm hạ được cọc 11,3 m.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương 3 đã đạt được các kết quả sau:

- Khảo sát một số thông số đặc trưng cho chế độ làm việc của bộ công tác thông qua mô hình động lực học đã xây dựng ở chương 2 về: chuyển vị, vận tốc dẫn tiến, gia tốc của khâu 1 và khâu 2 với hai chuyển động dẫn tiến và xoay cọc ống thép (kết quả khảo sát thể hiện ở mục 3.1.1).

- Khảo sát sự thay đổi lực cản và mô men cản khi xoay-ép hạ cọc (kết quả khảo sát thể hiện ở mục 3.1.2), ảnh hưởng của đường kính cọc đến dịch chuyển và vận tốc dịch chuyển (kết quả khảo sát thể hiện ở mục 3.1.3), sự thay đổi lực cản và mô men cản khi thay đổi trong lượng riêng của từng lớp san hô (kết quả khảo sát thể hiện ở mục 3.1.4).

- So sánh kết quả tính toán mô hình lý thuyết với thực nghiệm: vận tốc dẫn tiến sai số 14,7%. Có được kết quả trên là do luận án đã xây dựng được mô hình động lực học phù hợp với thực tế, sai số nằm trong giới hạn cho phép có thể chấp nhận được.

- Đã xác định được thông số làm việc hợp lý của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép với đường kính cọc ống thép khác nhau. Với cọc ống thép $D=200$ mm $n=18,83$ v/ph và $v_t=0,49$ m/ph, ứng với góc $\alpha_l=14,63$ độ. Với đường kính cọc ống thép $D=300$ mm $n=17,76$ v/ph và $v_t=0,36$ m/ph ứng với góc $\alpha_l=7,73$ độ. Với đường kính cọc ống thép $D=400$ mm $n=15,7$ v/ph và $v_t=0,295$ m/ph ứng với góc $\alpha_l=5,48$ độ.

- Khảo sát khả năng hạ cọc của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép với với các đường kính $D=200 \div 400$ mm khi hạ cọc vào nền san hô khác nhau. Với nền đá san hô cọc ống thép $D=400$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 7,75 m, đối với cọc ống thép $D=300$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 8,8 m, đối với cọc ống thép $D=200$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa 11,3 m.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

4.1. Mục tiêu, các thông số làm thực nghiệm và trang thiết bị thực nghiệm

4.1.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

- Đo áp suất và lưu lượng mô tơ xoay cọc và mô tơ dẫn tiến cọc để tính gián tiếp thông số đầu vào phục vụ giải bài toán động lực học ở Chương 2, khảo sát ảnh hưởng của các thông số làm việc đến quá trình khoan ở Chương 3.

- Kiểm tra kết quả tính toán lý thuyết, so sánh độ sai lệch giữa kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm, từ đó đánh giá tính đúng đắn của mô hình nghiên cứu.

- Thực nghiệm sơ bộ trong bờ để kiểm tra sự làm việc của bộ công tác, kiểm tra thiết bị đo lưu lượng và áp suất trước khi đưa ra thực nghiệm trên đảo Trường Sa.

- Thực nghiệm tiến hành tại Đảo Trường Sa lớn – Khánh Hòa từ ngày 15/06/2016 – 25/06/2016.

4.1.2. Các thông số làm thực nghiệm

Các thông số đo trực tiếp trong quá trình thực nghiệm là:

- + Áp suất và lưu lượng của mô tơ xoay cọc;
- + Áp suất và lưu lượng của mô tơ dẫn tiến cọc;
- + Tốc độ xoay cọc.

Từ các thông số áp suất và lưu lượng đã đo trực tiếp ở trên cho phép xác định gián tiếp các thông số thực nghiệm là:

- + Tổng mô men cản và lực cản tác động lên trục của mô tơ xoay cọc và mô tơ dẫn tiến cọc;
- + Công suất tức thời của mô tơ xoay cọc và mô tơ dẫn tiến cọc;
- + Tốc độ dẫn tiến cọc thâm nhập vào nền.



Hình 4.1. Nghiên cứu sinh cùng đoàn cán bộ tại vị trí thực nghiệm trong đất liền cầu Mai Lĩnh



Hình 4.2. Nghiên cứu sinh cùng đoàn cán bộ tại vị trí thực nghiệm Đảo Trường Sa lớn

4.1.3. Trang thiết bị làm thực nghiệm

4.1.3.1. Máy cơ sở và bộ công tác và

- Máy cơ sở là máy xúc PC - 450. Đây là máy xúc hiện đại được Nhật bản sản xuất có áp suất thủy lực làm việc liên tục khoảng 350 Bar và đang được các đơn vị sử dụng rộng rãi trong xây dựng. Sau khi tháo tay gầu máy xúc, thiết bị công tác được lắp lên cần máy xúc tại vị trí của tay gầu, nguồn thủy lực cung cấp dẫn động cho thiết bị để xoay và dẫn tiến cọc ống thép được nối với nguồn thủy lực dẫn động búa đục và nguồn thủy lực dẫn động xi lanh gầu (Hình 4.3).

4.1.3.2. Cọc ống thép

- Cọc ống thép là loại thông dụng được chế tạo tại Việt Nam theo tiêu chuẩn Nhật Bản (Hình 4.4)



Hình 4.4. Cọc ống thép làm thực nghiệm

Hình 4.3. Bộ công tác lắp trên máy xúc PC-450 làm thực nghiệm tại đảo Trường Sa lớn

4.1.3.3. Các đầu đo trực tiếp

Đo áp suất, sử dụng 02 đầu đo OEM-511 do Hãng Huba Control của Thụy Sỹ chế tạo. Đo lưu lượng, sử dụng 02 đầu đo R4S-7HD-25. Đo tốc độ vòng xoay của ống thép, sử dụng đầu đo tốc độ vòng xoay HHT13.

4.1.3.4. Thiết bị ghi và xử lý tín hiệu

Sử dụng thiết bị NI-6009 do Hãng National Instruments của Mỹ chế tạo, có chức năng nhận tín hiệu từ thiết bị đo và đưa đến máy tính. Tín hiệu vào máy tính được xử lý bằng phần mềm DaSyLab 10, thiết lập các kênh đo theo sơ đồ.

4.2. Các bước tổ chức thực nghiệm và xử lý kết quả thực nghiệm

4.2.1. Chuẩn bị làm thực nghiệm

Lựa chọn vị trí, môi trường thực nghiệm:

Vị trí thực nghiệm được tiến hành tại đảo Trường Sa lớn – Huyện Trường Sa – Tỉnh Khánh Hòa.

Môi trường tiến hành thực nghiệm là môi trường đảo san hô hóa thạch bao gồm các lớp:

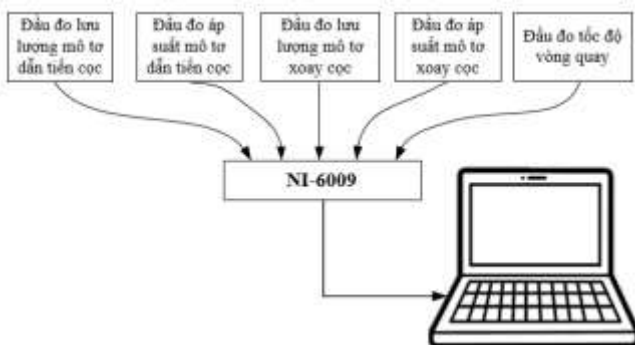
Lớp 1 – Cát san hô lẫn ít sạn, sỏi, màu xám trắng;

Lớp 2 – Sạn gồm cành, nhánh lẫn dăm, tảng san hô màu xám trắng;

Lớp 3 – Đá san hô màu xám trắng, xám vàng.

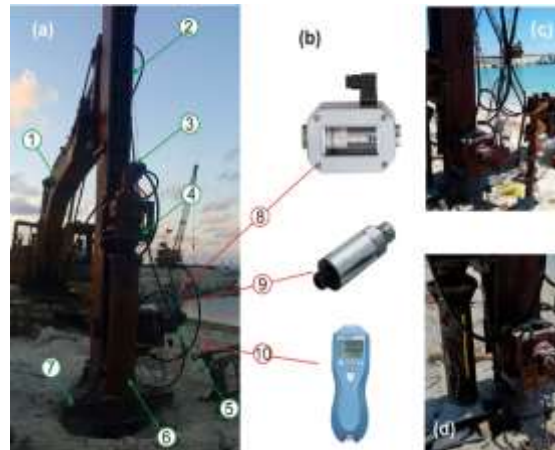
4.2.2. Bố trí các đầu đo và thiết bị đo

a. Sơ đồ nhận tín hiệu của các đầu đo



Hình 4.5. Sơ đồ đấu nối thiết bị đo vào thiết bị nhận tín hiệu và máy tính

b. Sơ đồ bố trí các đầu đo



Hình 4.6. Bố trí các đầu đo

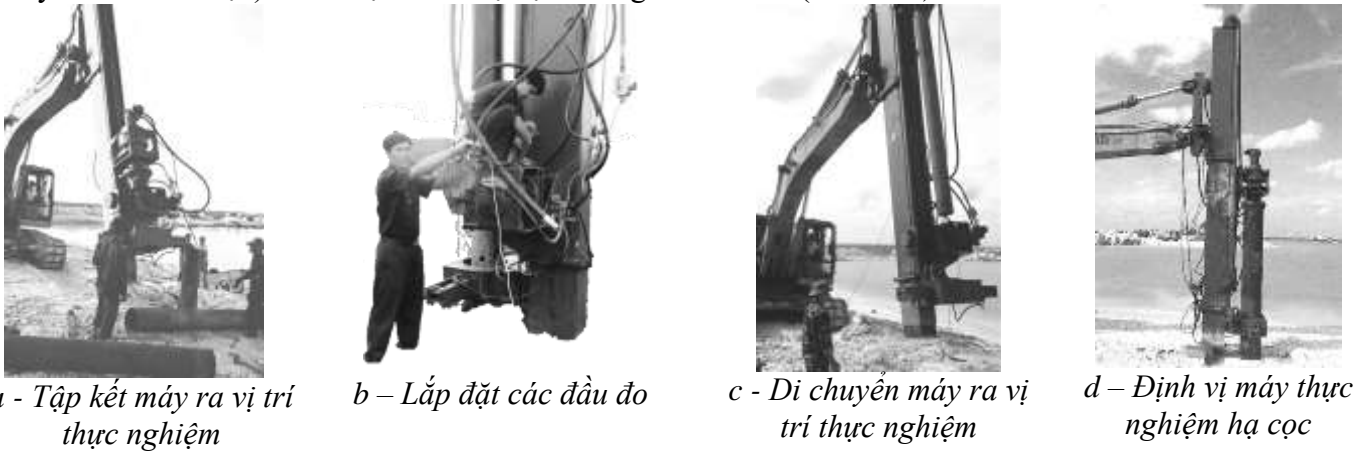
4.3. Tiến hành thực nghiệm

4.3.1. Trình tự tiến hành thực nghiệm

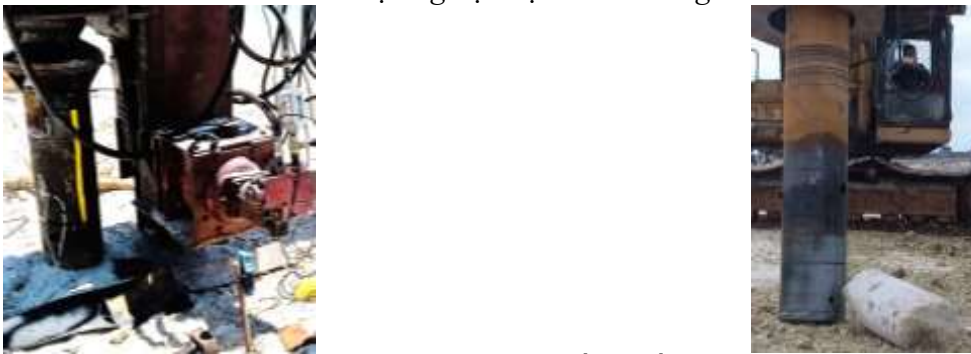
Quá trình thực nghiệm được thực hiện tuần tự theo các bước sau:

- Bước 1: Tập kết toàn bộ máy móc thiết bị ra hiện trường, tháo tay gầu máy xúc, lắp bộ công tác xoay hạ cọc vào máy cơ sở, lắp cọc ống thép (ống thép thứ nhất có răng cắt san hô) vào thiết bị (Hình 4.7a).
- Bước 2: Lắp đặt các đầu đo lên bộ công tác xoay hạ cọc (Hình 4.7b).
- Bước 3: Nổ máy, vận hành đưa bộ công tác xoay-ép hạ cọc vào vị trí thực nghiệm (Hình 4.7c).

- Bước 4: Định vị máy thực nghiệm hạ cọc, đảm bảo máy ổn định trong quá trình làm việc (Hình 4.7d).
- Bước 5: Vận hành bộ công tác xoay hạ cọc, đo các thông số hoạt động của mô tơ thủy lực (xoay và dẫn tiến cọc) ở chế độ chưa hạ ống thép vào nền san hô.
- Bước 6: Vận hành bộ công tác xoay-ép hạ cọc, đo các thông số hoạt động của mô tơ thủy lực (xoay và dẫn tiến cọc) ở chế độ khoan hạ cọc xuống nền san hô (Hình 4.8).



Hình 4.7. Thực nghiệm tại đảo Trường Sa Lớn



Hình 4.8. Vận hành đo các thông số và kết thúc thực nghiệm

4.3.2. Kết quả đo thực nghiệm

Bảng 4.1. Kết quả đo lần 1

Thời gian [s]	Áp suất xoay cọc [bar]	Áp suất dẫn tiến [bar]	Tốc độ vòng xoay [V/ph]	Lưu lượng xoay cọc [L/ph]	Lưu lượng dẫn tiến [L/ph]
00,000	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
00,100	6,38	0,61	20,00	20,97	19,65
00,200	6,78	0,96	20,00	21,07	19,50
.....

Bảng 4.2. Kết quả đo lần 2

Thời gian [s]	Áp suất xoay cọc [bar]	Áp suất dẫn tiến [bar]	Tốc độ vòng xoay [V/ph]	Lưu lượng xoay cọc [L/ph]	Lưu lượng dẫn tiến [L/ph]
00,000	5,83	1,56	20,00	23,43	18,64
00,100	6,57	2,05	20,00	20,40	19,37
00,200	6,94	2,20	20,00	20,39	19,46
.....

Bảng 4.3. Kết quả đo lần 3

Thời gian [s]	Áp suất xoay cọc [bar]	Áp suất dẫn tiến [bar]	Tốc độ vòng xoay [V/ph]	Lưu lượng xoay cọc [L/ph]	Lưu lượng dẫn tiến [L/ph]
00,000	101,51	4,57	20,00	31,57	2,82
00,100	101,14	5,63	20,00	30,87	0,93
00,200	101,18	5,80	20,00	31,55	0,79
.....

4.3.3. Xử lý kết quả thực nghiệm

4.3.3.1. Cơ sở xác định giá trị các tham số thực nghiệm

- Trên cơ sở dữ liệu đo lưu lượng dầu làm việc qua các mô tơ $Q_{t,r}$ ta tìm được tốc độ vòng xoay của các mô tơ dẫn động:

$$n_{t,r} = 10^3 \frac{Q_{t,r}}{V_{t,r} \eta_q} \quad (4.1)$$

- Công suất dẫn động của các mô tơ có thể xác định được theo công thức sau:

$$P_{t,r} = \frac{n_{t,r} Q_{t,r} \Delta p_{t,r}}{600 \eta_{m,h}} \quad (4.2)$$

- ta có thể xác định được lực cản F_{re} (kN) và mô men cản M_{re} (kNm) tổng cộng nhờ cân bằng công suất:

$$F_{re} = \frac{P_t}{v_t}; \quad M_{re} = \frac{P_r}{\omega_r} \quad (4.3)$$

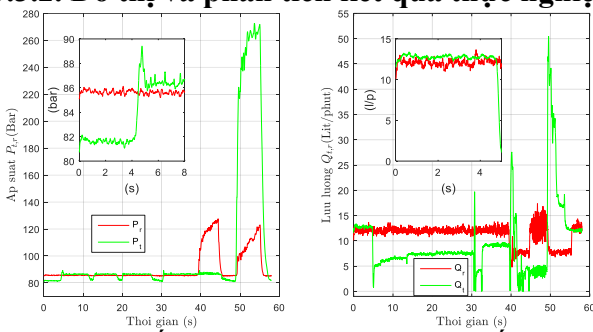
- Hai chuyển động của cọc trong công thức (4.3) được tính như sau:

$$v_t = \frac{\pi n_t R_t}{30 i_t}; \quad \omega_r = \frac{\pi n_r}{30 i_r} \quad (4.4)$$

- Trên cơ sở tốc độ hạ chìm cọc như công thức (4.4), chiều sâu cọc thay đổi theo thời gian được tính bởi công thức (4.5):

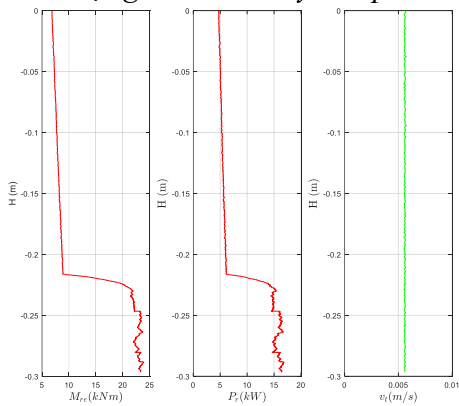
$$H(t) = \int_0^t v_t dt \quad (4.5)$$

4.3.3.2. Đồ thị và phân tích kết quả thực nghiệm

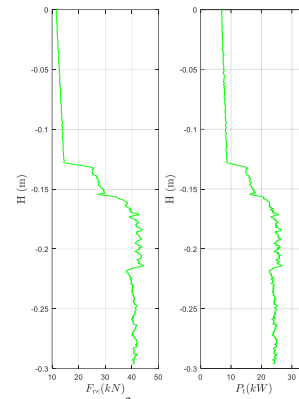


Hình 4.9. Kết quả thí nghiệm đo áp suất và lưu lượng 2 mô tơ xoay và ép

Kết quả đo áp suất và lưu lượng trong thực nghiệm xoay-ép hạ cọc được thể hiện trên hình 4.9 Các thông số làm việc của hệ thống thủy lực: $p \sim 95$ bar và $Q \sim 20$ lít/phút trong hệ thống xoay và ép. Bằng việc sử dụng các biểu thức trong công thức (4.2) và (4.3), sự thay đổi các tham số đặc trưng của quá trình xoay-ép hạ cọc được trình bày tương ứng trên hình 4.10, hình 4.11.



Hình 4.10. Sự thay đổi mô men cản, công suất và vận tốc theo chiều sâu



Hình 4.11. Sự thay đổi lực cản và công suất theo chiều sâu

Hình 4.10 cho thấy tốc độ ép cọc ổn định quanh giá trị 0,0058 m/s, rõ ràng rằng để ổn định được tốc độ này cả khi đi qua lớp đá san hô, công suất tiêu hao của hệ thống thủy lực phải được tăng lên tương ứng (đồ thị P_t và P_r , hình 4.9). Ở thí nghiệm này có thể thấy rằng lực và mô men cản lớn nhất ở lớp cành nhánh san hô là 40,39 kN và 23,26 kNm, cho thấy sự tăng lên đáng kể so với giá trị 14,12 kN và 7,06 kNm ở lớp cành nhánh san hô). Điểm tăng cực bộ trên các đồ thị chính là thời điểm bắt đầu cọc ống thép đi vào lớp đá san hô. Kết quả công suất dẫn động thể hiện trên hình 4.9, hình 4.10 và hình 4.11 được tính trực tiếp từ công thức (4.2) dựa trên dữ liệu áp suất và lưu lượng làm việc đo được.

Bảng 4.4. Kết quả thực nghiệm giá trị mô men cản xoay (M_c)

Độ sâu Z (m)	Giá trị mô men cản xoay M_c (kNm) tại các độ sâu của cọc thí nghiệm			
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Giá trị trung bình
1	5,00	5,39	5,46	5,28
4	12,22	11,75	11,33	11,77
8	25,00	22,51	22,56	23,36
12	39,99	35,84	39,16	38,33
15	58,70	56,01	55,94	56,88

Bảng 4.5. Kết quả thực nghiệm giá trị lực cản (N_c)

Độ sâu Z (m)	Giá trị lực cản ma sát N_c (kN) trên thân cọc theo phương thẳng đứng tại các độ sâu của cọc thí nghiệm			
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Giá trị trung bình
1	14,60	12,86	11,88	13,11
4	29,39	26,32	27,03	27,58
8	52,74	60,22	65,18	59,38
12	97,83	100,78	93,92	97,51
15	131,02	145,25	154,15	143,47

KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

- Việc nghiên cứu thực nghiệm đã được tiến hành với các thiết bị đo hiện đại, và được thực hiện theo qui trình tổ chức chặt chẽ. Quá trình nghiên cứu thực nghiệm đã nhận được một số kết quả sau:

- Đã xây dựng được phương pháp thực nghiệm, xác định các thông số đo trong quá trình thực nghiệm của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép tại thực địa trên nền san hô ở đảo Trường Sa;

- Đã đạt được mục tiêu thực nghiệm là: Xác định được các thông số của áp suất, lưu lượng nguồn thủy lực của mô tơ xoay cọc ống thép và mô tơ dẫn tiến cọc ống thép, từ đó gián tiếp tính được các thông số tổng lực cản và tổng mô men cản tác dụng lên ống thép. Một số kết quả được sử dụng làm đầu vào cho việc giải bài toán động lực học. Đồng thời một số thông số được sử dụng để so sánh giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm nhằm rút ra những kết luận về tính sát thực của mô hình động lực học đã xây dựng ở chương 2.

KẾT LUẬN CHUNG

Nội dung các chương đã giải quyết cơ bản được mục tiêu và nội dung đề ra của Luận án. Những kết quả nghiên cứu của Luận án đạt được như sau:

1. Đã thực hiện nghiên cứu, phân tích tổng quan về môi trường đảo đá san hô tại Trường Sa, các nghiên cứu trong và ngoài nước về lĩnh vực nghiên cứu của luận án. Phạm vi sử dụng của thiết bị hạ cọc, từ đó xây dựng nhiệm vụ nghiên cứu của luận án.

2. Xây dựng được mô hình tương tác giữa cọc ống thép với nền san hô có tính đến các yếu tố tính chất cơ lý của nền và các thông số kết cấu của cọc ống thép. Điểm mới của luận án là nền san hô ở đảo Trường Sa.

3. Xây dựng được mô hình động lực học của bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép với 2 khối lượng và 4 bậc tự do độc lập. Điểm mới của mô hình thể hiện ở chỗ: Tính đến độ cứng và hệ số giảm chấn xoay của khớp nối ren liên kết cụm đầu xoay và cọc thép; Xét đến các lực cản xoay, lực cản theo phương thẳng đứng bên trong và bên ngoài ống thép, lực cản cắt nền san hô tác dụng lên răng cắt. Mô hình của luận án có thể áp dụng cho các loại khoan xoay-ép hạ cọc ống thép khi thi công ở các loại nền như đất, đá, san hô... với các đường kính ống thép khác nhau từ $\phi 200$ mm ÷ $\phi 400$ mm.

4. Đã khảo sát các thông số ảnh hưởng đến chế độ làm việc của bộ công tác. Đã xây dựng được hàm mục tiêu và xác định được thông số làm việc hợp lý, cụ thể: Với cọc ống thép $D = 200$ mm $n = 18,83$ v/ph và $v_t = 0,49$ m/ph, ứng với góc $\alpha_l = 14,63$ độ, với đường kính cọc ống thép $D = 200$ mm $n = 17,76$ v/ph và $v_t = 0,36$ m/ph ứng với góc $\alpha_l = 7,63$ độ, với đường kính cọc ống thép $D = 200$ mm $n = 15,7$ v/ph và $v_t = 0,295$ m/ph ứng với góc $\alpha_l = 5,48$ độ.

5. Đã xác định được khả năng hạ cọc ống thép với công suất của mô tơ dẫn động cho trước cụ thể : đối với nền đá san hô $\gamma = 25$ kN/m³, với cọc ống thép $D = 400$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 7,75 m, đối với cọc ống thép $D = 300$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 8,8 m, đối với cọc ống thép $D = 200$ mm hạ được cọc đến độ sâu tối đa là 11,3 m.

6. Nghiên cứu thực nghiệm ở hiện trường lần đầu tiên tại đảo Trường Sa lớn, với phương tiện và phương pháp đo hiện đại, từ đó đưa ra bộ số liệu phục vụ tính toán các thông số. Kết quả nghiên cứu tính toán lý thuyết phù hợp với nghiên cứu thực nghiệm với sai số nằm trong khoảng 8,52% ÷ 14,7% có thể chấp nhận được.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án là: Nghiên cứu xây dựng bộ thông số kết cấu và chế độ làm việc hợp lý phục vụ cho việc chế tạo bộ công tác xoay-ép hạ cọc ống thép đặt trên xà lan thi công hạ cọc trên biển chịu tác động của sóng biển.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Trần Hữu Lý, Phan Thanh Cầu, Trần Văn Hưng (2017), “*Nghiên cứu thực nghiệm xác định mô men cản quay tác dụng lên cọc khi quay hạ cọc ống thép trên nền san hô*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt, tr.284-287.
2. Trần Hữu Lý, Phan Thanh Cầu, Nguyễn Văn Hiển (2017), “*Sự phụ thuộc công suất dẫn động của mô tơ quay vào tốc độ hạ cọc ống thép trên nền san hô*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Tập 11 Số 4, tr.229-234.
3. Tran Huu Ly, Phan Thanh Cau (2017), “*Determine resistance of calcareous soil by experiments on the rotary press-in piler attached on a hydraulic excavator*”, Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, số 186, tr.43-53.
4. Phan Thanh Cầu (2019), “*Nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học thiết bị khoan xoay hạ cọc ống thép vào nền san hô*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 8/2019, tr.16-20.