

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Nguyễn Thanh Sang

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA CỌC ỚNG THÉP CÓ CÁCH
XOẮN TRONG NỀN CÁT SẠM SẠM HỒ

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông

Mã số : 9 58 02 05

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2024

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học: PGS,TS Nguyễn Tương Lai

Phản biện 1: PGS,TS Hoàng Việt Hùng

Phản biện 2: PGS,TS Bùi Trường Sơn

Phản biện 3: PGS,TS Nguyễn Đức Mạnh

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số: 19/QĐ-HV ngày 02 tháng 01 năm 2024 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật quân sự vào hồi: Giờ ngày tháng năm 2024.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật quân sự.
- Thư viện Quốc Gia.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Thực tiễn khai thác và nghiên cứu cho thấy các công trình biển sử dụng móng cọc ống thép tròn trơn truyền thống xây dựng trên nền san hô tại một số vùng biển đảo Việt Nam có sự suy giảm sức kháng nhanh hơn sự suy giảm độ bền của kết cấu, dẫn đến giảm tuổi thọ khai thác công trình.

Do vậy, đặt ra vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu áp dụng những công nghệ mới trong xây dựng của các công trình được đầu tư trên các vùng biển đảo xa bờ thuộc thềm lục địa của Việt Nam nhằm củng cố an ninh quốc phòng kết hợp phát triển kinh tế biển. Đây là cơ sở đặt ra để tác giả tập trung nghiên cứu nhằm đề xuất những luận cứ khoa học và thực tiễn về giải pháp thiết kế cọc cải tiến áp dụng cho công trình xây dựng trên các vùng biển đảo.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép được gia cường thêm các cánh xoắn trong nền cát sạn san hô, nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc tính toán, thiết kế, xây dựng móng cọc của công trình xây dựng trên nền san hô ở khu vực biển đảo xa bờ thuộc chủ quyền của Việt Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu: Cọc ống thép có và không có cánh xoắn của móng cọc các công trình xây dựng trong nền cát sạn san hô.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu bài toán cọc đơn ống thép có và không có cánh xoắn làm việc trong nền cát sạn san hô đồng nhất, hạt thô lớn nhất không quá 20 mm và chịu tải trọng tĩnh.

4. Phương pháp nghiên cứu trong luận án

Phương pháp nghiên cứu áp dụng trong luận án là nghiên cứu lý thuyết, mô hình toán, kết hợp với thực nghiệm.

5. Nội dung nghiên cứu và cấu trúc của luận án

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết và bố cục của luận án;

Chương 1. Tổng quan về cọc ống thép có cánh xoắn và nền cát sạn san hô;

Chương 2. Nghiên cứu thực nghiệm xác định các tham số mô hình nền cát sạn san hô;

Chương 3. Nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô;

Chương 4. Nghiên cứu ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn xét đến biến động tham số nền cát sạn san hô;

Kết luận và kiến nghị: Tổng hợp các kết quả nghiên cứu những đóng góp mới của luận án và kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo.

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

- Ý nghĩa khoa học của luận án: kết quả nghiên cứu nhằm bổ sung cơ sở dữ liệu khoa học để tính toán sức chịu tải của cọc có các cánh xoắn khác nhau trong nền cát sạn san hô, phục vụ thiết kế móng cọc trong môi trường nền có tính đặc thù khi xây dựng các công trình biển đảo, công trình đặc biệt nhằm đảm bảo an ninh quốc phòng.

- Ý nghĩa thực tiễn của luận án: kết quả nghiên cứu đạt được sẽ góp phần bổ sung những kiến nghị kết cấu cọc ống thép được cải tiến khi bổ sung các cánh xoắn phù hợp thực tiễn, làm tăng sức chịu tải của móng cọc công trình xây dựng trong môi trường nền cát sạn san hô. Áp dụng trực tiếp cho các công trình xây dựng trên vùng biển, đảo của Việt Nam.

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ CỌC ỐNG THÉP CÓ CÁNH XOẮN VÀ NỀN CÁT SẠN SAN HÔ

1.1. Tổng quan về móng cọc và cọc ống thép có cánh xoắn

Cấu tạo của móng cọc thường gồm đài cọc và cọc. Do đó, đặc điểm làm việc của móng cọc được hình thành qua tương tác giữa cọc và nền; giữa cọc và cọc; tương tác giữa nền và đài móng và giữa cọc và đài móng. Trong đó, sự làm việc của cọc trong nền được đánh giá thông qua tương tác của cọc với nền, bao gồm sự truyền tải dọc theo thân cọc tạo nên sức kháng bên của cọc và dưới mũi cọc tạo nên sức kháng mũi của cọc.

Cọc ống thép có cánh xoắn gồm: Cọc có cánh xoắn liên tục trên thân cọc, sử dụng với các cọc có chiều dài không lớn như cọc neo hay cọc gia cố chống lở cho móng. Cọc có cánh xoắn độc lập và không liên tục trên thân cọc, trong đó vị trí các cánh xoắn có thể thay đổi, nên phù hợp trong các trường hợp cả cọc ngắn và cọc dài. Cọc được thi công hạ vào nền bằng thiết bị khoan xoay khi đồng thời tạo lực nén và mô men xoắn.

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trên thế giới đã chỉ ra rằng, với các cọc cải tiến có tiết diện cọc thay đổi trên thân cọc hoặc có các cánh xoắn gia cường thường làm tăng diện tích truyền tải của cọc vào nền và do đó làm tăng sức kháng hoặc sức chịu tải của cọc. Đây là cơ sở quan trọng để tác giả nghiên cứu và kiến nghị các cấu hình cánh xoắn hợp lý của cọc ống thép sử dụng trong các công trình xây dựng trên nền cát sạn san hô.

1.2. Tổng quan về nền san hô và cát sạn san hô

Ở Việt Nam, nền san hô nói chung và cát sạn san hô nói riêng phân bố tại khu vực các đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hoà. Các kết quả nghiên cứu về san hô và nền san hô chỉ ra rằng, đặc trưng quan trọng và có sự khác biệt rất

lớn so với nền đất rời thông thường là sức kháng cắt của san hô ngoài góc ma sát trong lớn còn đồng thời bao gồm lực dính đơn vị biểu kiến, đây là lực dính do sự cài móc giữa các thành phần hạt trong hỗn hợp san hô.

Do cấu trúc nền san hô có độ rỗng cao, bản thân các hạt cát sạn san hô cũng có cấu trúc tinh thể rỗng, giòn và dễ bị ép vỡ nên đặc trưng biến dạng và quan hệ ứng xử cơ học phức tạp, phụ thuộc nhiều vào cấp phối hạt, trạng thái độ chặt, độ ẩm và lịch sử hình thành. Do đó, việc mô hình hóa ứng xử của nền san hô trong bài toán cơ học công trình vẫn đang là thách thức lớn đối với các nhà khoa học ở Việt Nam cũng như trên thế giới.

Tại các đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hoà đã và đang đặt ra nhu cầu cấp thiết xây dựng các công trình hàng hải (cầu cảng, âu tàu, trụ tiêu báo hiệu hàng hải), hệ thống công trình năng lượng sạch,... Đây là những công trình xây dựng ở vùng nước chịu tác động thường xuyên của sóng gió bất lợi.

1.3. Tình hình nghiên cứu tương tác cọc đơn và nền trên thế giới

- Phương pháp nghiên cứu theo mô hình hệ số nền: Mô hình dầm-cột trên nền Winkler cho phân tích cọc đơn; Mô hình dầm-cột trên các liên kết phi tuyến t-z; Q-z và p-y.

- Phương pháp phân tích theo mô hình liên tục: Có thể sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn hoặc phương pháp phần tử hữu hạn.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm theo mô hình vật lý ngoài hiện trường hoặc trong phòng thí nghiệm theo tỉ lệ nhất định.

1.4. Tình hình nghiên cứu cọc đơn trong nền san hô ở Việt Nam

Giai đoạn 2000÷2015, các đề tài nghiên cứu thuộc chương trình KC-09 do Hoàng Xuân Lương và các cộng sự đã nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình cọc đơn, móng cọc ống thép trên nền san hô.

Năm 2006, Nguyễn Thái Chung đã xây dựng chương trình tính toán theo phương pháp PTHH xét đến tương tác một chiều khi kể đến sự tách, trượt trên bề mặt của kết cấu cọc ống thép với nền san hô, các mô hình vật liệu giả thiết ứng xử đàn hồi tuyến tính.

Giai đoạn 2016÷2020, Nguyễn Tương Lai và các cộng sự tại Học viện KTQS đã nghiên cứu thực nghiệm mô hình cọc tại hiện trường và mô hình cọc trên nền san hô tái chế tạo trong bờ để nghiên cứu cơ chế hình thành và biến đổi của sức kháng ma sát giữa cọc ống thép với nền san hô rời.

Giai đoạn 2011÷2019, Vũ Anh Tuấn đã nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép tròn trơn trong nền san hô chịu tải trọng tĩnh và tải trọng chu trình theo phương pháp lý thuyết và thực nghiệm khi xét tương tác giữa cọc với nền san hô được thay thế bằng các lò xo biến dạng.

1.5. Những vấn đề rút ra từ nghiên cứu tổng quan

1) Nghiên cứu về cọc đơn là cơ sở để thiết kế móng cọc cũng như những nghiên cứu về móng cọc công trình. Để nghiên cứu về sự làm việc của cọc trong nền cần kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm;

2) Đã có nhiều kết quả nghiên cứu về sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn trong các nền đất cát và đất sét thông thường, nhưng mới chỉ có rất ít nghiên cứu sơ bộ về sự làm việc của loại cọc này trong nền san hô;

3) Nền san hô phân bố nhiều vùng biển, đảo trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Những đặc điểm phức tạp trên đòi hỏi cần tiếp tục được nghiên cứu đầy đủ hơn để có thể cung cấp luận cứ khoa học chính xác và chặt chẽ cho việc thiết kế, xây dựng công trình trên nền cát sạn san hô.

1.6. Nhiệm vụ nghiên cứu của luận án

1) Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử ma sát giữa tấm thép với nền cát sạn san hô và các tham số mô hình cát sạn san hô để vận dụng vào tính toán tương tác của cọc ống thép trong nền cát sạn san hô;

2) Sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn (PTHH) để nghiên cứu sự làm việc và ứng xử của cọc ống thép có các cánh xoắn khác nhau trong nền cát sạn san hô nhằm đánh giá sự làm việc và hiệu quả về sức chịu tải của cọc có cánh xoắn này so với cọc tròn trơn truyền thống. Từ đó kiến nghị kết cấu cánh xoắn hợp lý trong phạm vi nghiên cứu;

3) Đề xuất mô hình và xây dựng chương trình tính sức chịu tải của cọc ống thép có cánh xoắn theo lý thuyết độ tin cậy khi xét đến sự biến động một số tham số ngẫu nhiên của nền cát sạn san hô.

Chương 2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ MÔ HÌNH NỀN CÁT SẠN SAN HÔ

2.1. Đặt vấn đề

Luận án xác định ứng xử và giá trị các tham số mẫu cát sạn san hô theo phương pháp thực nghiệm trên thiết bị nén ba trục tĩnh và cắt phẳng tĩnh trong phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật tại Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, kết hợp thực nghiệm xác định sức kháng ma sát của cọc ống thép với nền san hô tại hiện trường ở 01 đảo nổi xa bờ trên Biển đông thuộc tỉnh Khánh Hoà trong phạm vi khu vực chủ quyền của Việt Nam.

2.2. Nghiên cứu thực nghiệm tương tác giữa cát sạn san hô và tấm thép trong phòng thí nghiệm

1. Mẫu và thiết bị thí nghiệm

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, tác giả thu thập hỗn hợp cát

sạn san hô ở địa tầng lớp 1 tại đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hoà để chế bị mẫu thí nghiệm trong phòng. Trước khi thí nghiệm, phân loại và lựa chọn thành phần mẫu cát sạn san hô có kích thước hạt thô lớn nhất 20 mm. Đối với mẫu cát sạn hô thì các hạt có kích thước lớn hơn 5 mm được loại bỏ. Đặc trưng cơ lý của mẫu thí nghiệm được trình bày trên Bảng 2.1:

Bảng 2.1. Đặc trưng cơ lý của mẫu san hô thí nghiệm

| STT | Đặc trưng cơ lý | Mẫu cát sạn san hô | Mẫu cát san hô |
|-----|--|--------------------|----------------|
| 1 | Khối lượng riêng, ρ_s (T/m ³) | 2,61 | 2,71 |
| 2 | Hệ số rỗng lớn nhất e_{max} | 0,76 | 1,16 |
| 3 | Hệ số rỗng nhỏ nhất e_{min} | 0,46 | 0,58 |
| 4 | Đường kính hạt trung bình D_{50} (mm) | 0,83 | 0,36 |
| 5 | Độ chặt tương đối, D_c (%) | 70,0 | 70,0 |

Xác định thành phần cấp phối của mẫu cát sạn san hô ở độ chặt tương đối $D = 70\%$ được thể hiện trên Bảng 2.2:

Bảng 2.2. Thành phần cấp phối của các mẫu thí nghiệm

| STT | Khối lượng trên sàng | Cắt phẳng 63,5 mm | Cắt phẳng 100 mm | Nén 3 trục 100 mm |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | Kích thước cỡ sàng < 20 mm | 21,68 | 52,93 | 492,15 |
| 2 | Kích thước cỡ sàng 5,0 mm | 13,16 | 32,12 | 298,65 |
| 3 | Kích thước cỡ sàng 2,0 mm | 4,38 | 10,69 | 99,55 |
| 4 | Kích thước cỡ sàng 1,0 mm | 8,77 | 21,41 | 199,10 |
| 5 | Kích thước cỡ sàng 0,5 mm | 17,94 | 43,79 | 407,14 |
| 6 | Kích thước cỡ sàng 0,25 mm | 16,31 | 39,81 | 370,23 |
| 7 | Kích thước cỡ sàng 0,10 mm | 16,95 | 41,38 | 384,77 |
| 8 | Kích thước cỡ sàng < 0,1 mm | 8,92 | 21,77 | 202,45 |
| Tổng cộng khối lượng mẫu (g) | | 108,11 | 263,94 | 2454,05 |

Trên cơ sở khối lượng các thành phần như trên, các thí nghiệm cắt phẳng mẫu cát sạn san hô và cát san hô được tiến hành trên máy cắt phẳng tự động “Shearmatic” sản xuất năm 2017 của hãng Controls - Italia tại Phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật - Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt.

2. Nội dung thí nghiệm

- Đối với mẫu cát san hô: Thí nghiệm 16 mẫu ứng với các trường hợp áp lực nén mẫu lần lượt là: $P_0 = 100$ kPa; 200 kPa; 300 kPa; 400 kPa.

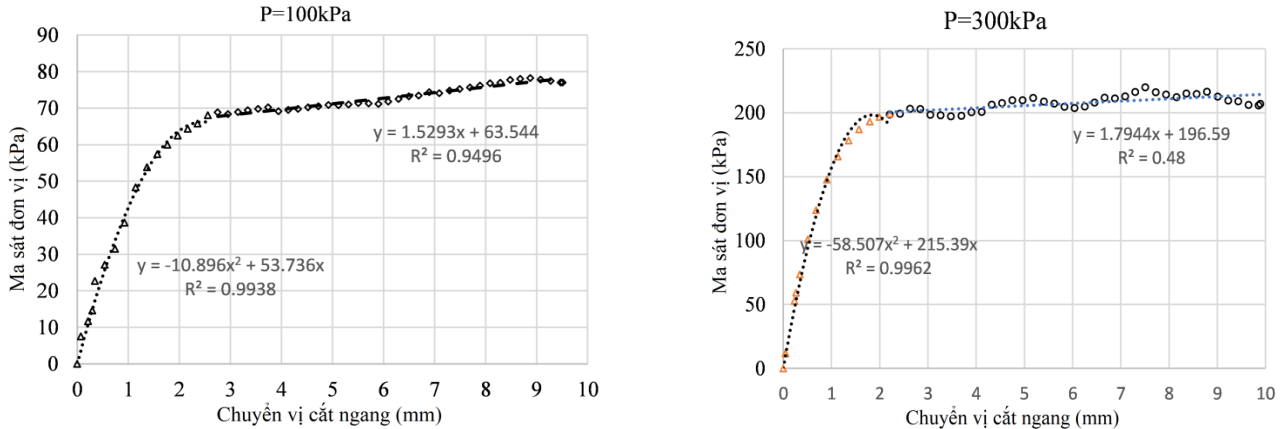
- Đối với mẫu cát sạn san hô: Thí nghiệm 16 mẫu trên hộp mẫu có đường kính 63,5 mm ứng với các cấp áp lực nén mẫu là: $P_0 = 50$ kPa; 100 kPa; 150 kPa; 200 kPa và 300 kPa. Đồng thời, thí nghiệm 12 mẫu trên hộp mẫu đường kính 100 mm ứng với các cấp áp lực nén mẫu là: $P_0 = 100$ kPa;

150 kPa; 200 kPa và 300 kPa.

3. Kết quả thí nghiệm

a) Thí nghiệm cắt phẳng tĩnh

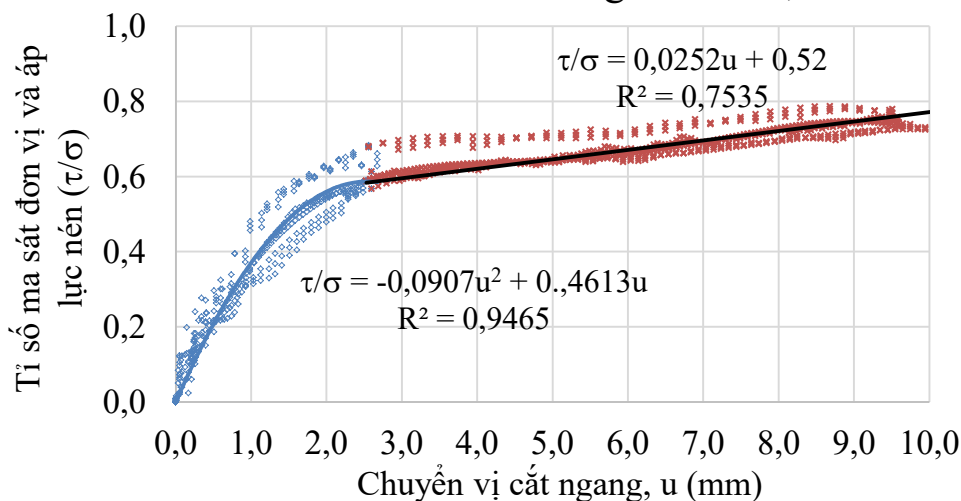
Phân tích và xử lý số liệu từ kết quả thực nghiệm, tác giả nhận được sự phát triển sức kháng ma sát trên bề mặt tương tác của cát san hô và cát sạn san hô với bề mặt tấm thép cùng với sự gia tăng chuyển vị cắt ngang tương đối giữa hai vật liệu cát san hô và cát sạn san hô với tấm thép đó được thể hiện trên Hình 2.1:



Hình 2.1. Tương quan sức kháng ma sát với chuyển vị cắt ngang

Phân tích hồi quy nhận được tương quan phi tuyến giữa áp lực nén mẫu với ứng suất cắt phẳng. Xác định được góc ma sát ngoài trung bình của cát san hô là $27,9^\circ$ với hệ số suy giảm cường độ trung bình là 0,53. Trong khi đó, thử nghiệm cắt phẳng giữa cát sạn san hô và tấm thép trong cùng một phạm vi áp lực nén, góc ma sát ngoài giữa tấm thép với cát sạn san hô trung bình là $30,66^\circ$ và hệ số suy giảm cường độ trung bình là 0,56.

Kết quả thể hiện trên Hình 2.1 cho thấy, chuyển vị tới hạn của sức kháng ma sát tĩnh đối với cát sạn san hô trung bình là 2,5 mm.

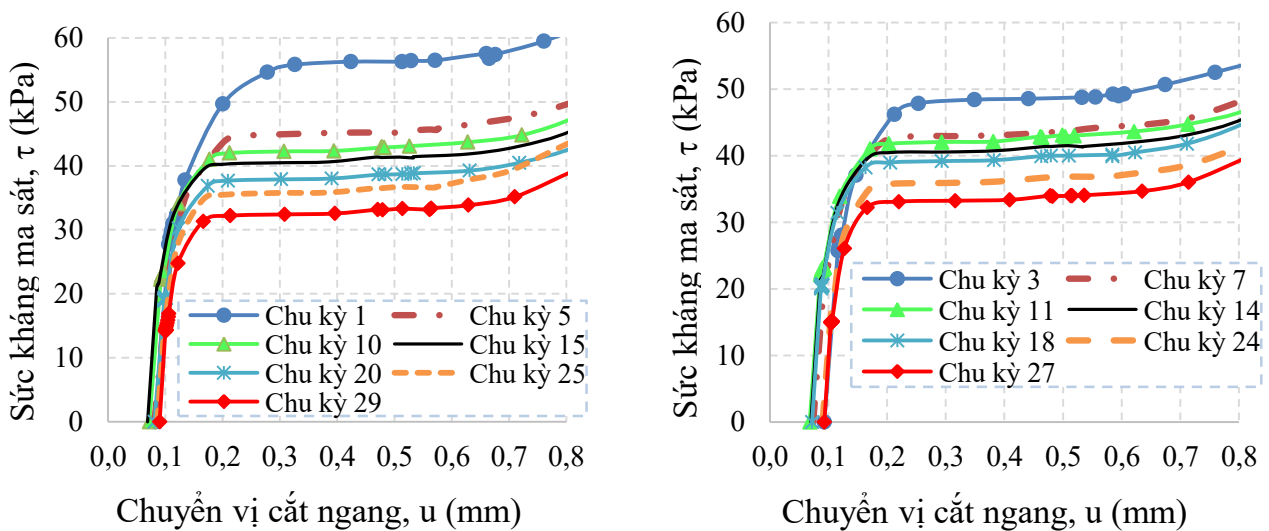


Hình 2.2. Tương quan tỷ số giữa sức kháng ma sát và áp lực nén mẫu với chuyển vị cắt ngang

Tương quan giữa tỉ số sức kháng ma sát và áp lực nén mẫu với chuyển vị cắt ngang, được thể hiện trên Hình 2.2.

b) Thí nghiệm cắt phẳng tĩnh lặp

Tiến hành thí nghiệm 03 mẫu cắt tĩnh nhưng được lặp lại trên máy cắt phẳng với tốc 0,7 mm/phút và biên độ của tải lặp là 1,6 mm. Áp lực nén mẫu theo phương pháp tuyến trong các trường hợp là $P_0 = 100$ kPa, mẫu thí nghiệm có cấp phối tương tự trường hợp thí nghiệm cắt phẳng tĩnh. Đồ thị tương quan giữa sức kháng ma sát với chuyển vị cắt ngang của mẫu cát sạn san hô được thể hiện trên Hình 2.3:



Hình 2.3. Tương quan giữa sức kháng ma sát với chuyển vị cắt ngang

Từ kết quả nghiên cứu trên các đồ thị Hình 2.3 cho thấy, sức kháng ma sát có sự suy giảm sau mỗi chu kỳ cắt lặp lại so với chu kỳ trước đó. Đồng thời, sức kháng ma sát ở các chu kỳ gia tải cơ bản có sự gia tăng biến thiên theo chuyển vị cắt, nhưng có các giai đoạn ổn định sức kháng ma sát khi tăng chuyển vị cắt ngang từ 0,2 mm đến 0,6 mm. Hiện tượng này có thể do sự trượt tương đối giữa mẫu cát sạn san hô với tấm thép.

2.3. Nghiên cứu thực nghiệm ma sát giữa cọc ống thép và nền san hô trên mô hình vật lý

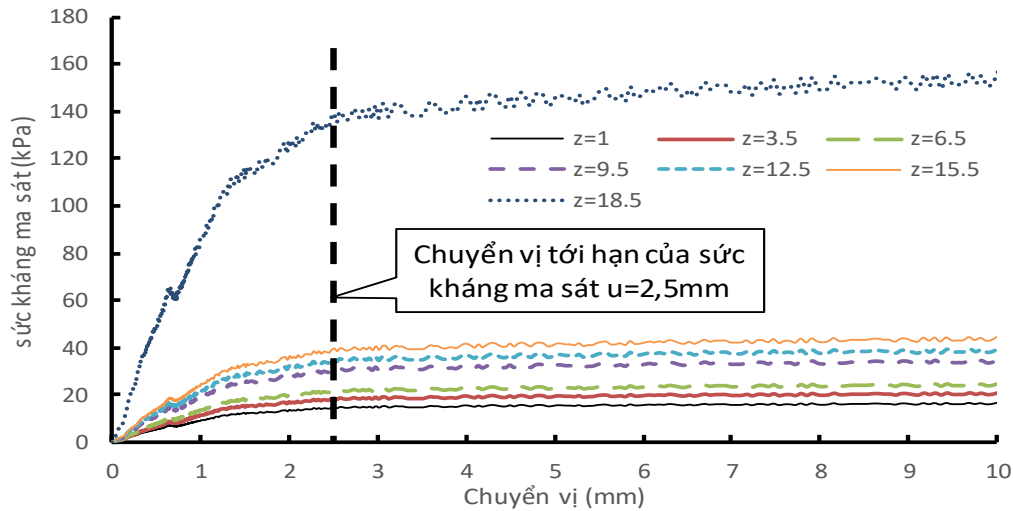
1. Mô tả thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm hiện trường ma sát cọc ống thép với nền cát sạn san hô lần cành nhánh theo nhiệm vụ của đề tài cấp quốc gia, mã số ĐTDL-CN.17/15, mà tác giả là một thành viên chính tham gia thí nghiệm.

Thời gian thí nghiệm hiện trường từ 5/2016 đến 7/2016. Cọc thí nghiệm là cọc ống thép đường kính 0,2 m dài 21 m. Mỗi cọc thí nghiệm đều bố trí thiết bị đo trên thân cọc, gồm đầu đo biến dạng dọc trục cọc, đầu đo áp lực đất và đầu đo áp lực nước lỗ rỗng theo phương ngang tại 07 vị trí có chiều sâu khác nhau dọc thân cọc ký hiệu từ e_1 đến e_7 .

2. Kết quả thí nghiệm

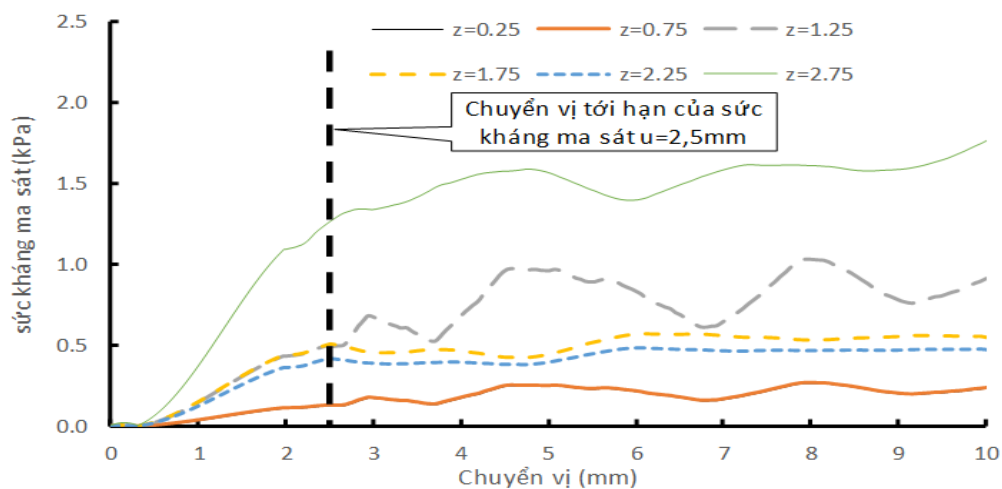
Từ số liệu thực nghiệm biến dạng, tính toán sức kháng ma sát tại các độ sâu của cọc theo phương pháp gián tiếp, nhận được tương quan sức kháng ma sát dọc thân cọc với chuyển vị khi thí nghiệm nhỏ tĩnh cọc, kết quả trình bày trên Hình 2.4:



Hình 2.4. Tương quan giữa sức kháng ma sát với chuyển vị khi thí nghiệm nhỏ cọc D200 tại đảo TSL

Kết quả nghiên cứu trên đồ thị Hình 2.4 cho thấy, chuyển vị tới hạn của sức kháng ma sát trung bình là 2,5 mm. Kết quả này khá phù hợp với kết quả nghiên cứu xác định sức kháng ma sát từ thí nghiệm cát phẳng trong phòng thí nghiệm đã được trình bày trong phần 2.2.

Thí nghiệm trên mô hình cọc trong nền san hô chế bị ở phòng thí nghiệm, gồm nén tĩnh và nén lặp dọc trục tại đầu cọc. Cọc thí nghiệm là ống thép dài 3,67 m, dày 3 mm, đường kính 127 mm hạ trong bể thép chứa san hô, kích thước 2 x 2 x 4 m. Kết quả thí nghiệm thể hiện trên Hình 2.5:



Hình 2.5. Tương quan giữa sức kháng ma sát với chuyển vị khi thí nghiệm nhỏ cọc đường kính D127 mm

2.4. Nghiên cứu thực nghiệm xác định tham số nền cát sạn san hô trong phòng thí nghiệm

1. Mẫu và thiết bị thí nghiệm

Thí nghiệm nén 3 trục với các mẫu nền cát sạn san hô có kích thước hạt thô lớn nhất là $D_{\max} = 20$ mm. Mẫu thí nghiệm được xác định khi sử dụng bộ sàng tiêu chuẩn có các kích thước 20 mm; 10 mm; 5 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,1 mm và nhỏ hơn 0,1 mm. Trên cơ sở kích thước mẫu thí nghiệm nén 3 trục có đường kính 10 cm và chiều cao 20 cm, độ chặt mẫu thí nghiệm nghiên cứu là 70%, tính toán khối lượng thành phần tương ứng với mỗi kích thước cỡ sàng đã trình bày trên Bảng 2.2 ở Phần 2.2. Tham số cơ lý của mẫu thí nghiệm thể hiện trên Hình 2.3:

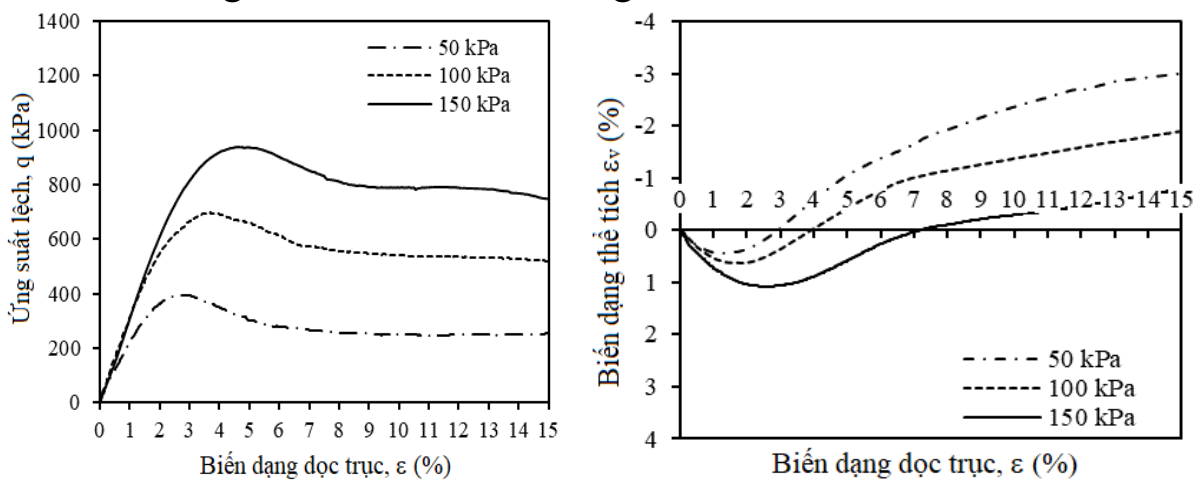
Bảng 2.3. Tham số cơ lý các mẫu cát sạn san hô thí nghiệm

| Tham số | ρ_s (t/m ³) | e_{\max} | e_{\min} | D_{50} (mm) | C_u | C_s |
|---------|------------------------------|------------|------------|---------------|-------|-------|
| Giá trị | 2,616 | 0,763 | 0,469 | 0,83 | 13,20 | 0,68 |

Thực hiện các thí nghiệm trong điều kiện thoát nước trên thiết bị thí nghiệm nén 3 trục trong phòng thí nghiệm, gia tải tĩnh của mẫu cát sạn san hô có độ chặt tương đối là $D_c = 70\%$ với các trường hợp áp lực hông thay đổi: $P_0 = 50$ kPa; 100 kPa và 150 kPa. Mẫu có chiều cao bằng 10 lần và chiều rộng bằng 5 lần kích thước hạt lớn nhất. Kích thước các mẫu thí nghiệm lựa chọn có đường kính 100 mm và chiều cao của mẫu là 200 mm.

2. Kết quả thí nghiệm

Trên Hình 2.6 thể hiện kết quả ứng xử của mẫu cát sạn san hô khi thí nghiệm nén 3 trục tĩnh thông qua đường cong tương quan giữa biến dạng dọc trục với ứng suất lệch và biến dạng thể tích.



a. Tương quan biến dạng dọc trục và ứng suất lệch

b. Tương quan biến dạng dọc trục và biến dạng thể tích

Hình 2.6. Kết quả thí nghiệm nén 3 trục mẫu cát sạn san hô

Kết quả phân tích số liệu thực nghiệm và tính toán xác định các tham số chống cắt ở trạng thái cực đỉnh và trạng thái dư cũng như góc trương nở của mẫu cát sạn san hô thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 2.4:

Bảng 2.4. Tham số chống cắt của mẫu cát sạn san hô thí nghiệm

| Tham số chống cắt cực đỉnh | | Tham số chống cắt trạng thái dư | |
|----------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| φ_p (°) | c_p (kPa) | φ_r (°) | c_r (kPa) |
| 46,49 | 29,83 | 44,96 | 7,09 |

Từ đồ thị tương quan giữa biến dạng dọc trục và ứng suất lệch trên Hình 2.6, xác định được mô đun biến dạng (E_{50}) trường hợp cực đỉnh tương ứng với $P_0 = 50$ kPa; $P_0 = 100$ kPa và $P_0 = 150$ kPa. Hệ số Poisson (ν) và góc trương nở (ψ) được xác định theo đồ thị tương quan giữa biến dạng dọc trục với biến dạng thể tích. Tổng hợp kết quả thực nghiệm đã phân tích, xử lý số liệu, tác giả nhận được giá trị các tham số nền cát sạn san hô và trình bày trên Bảng 2.5:

Bảng 2.5. Tổng hợp các tham số mẫu cát sạn san hô thí nghiệm

| Mô hình Mohr - Coulomb | Ψ (độ) | φ (độ) | c (kN/m ²) | γ_{sat} (kN/m ³) | γ_{unsat} (kN/m ³) | ν | E (kN/m ²) |
|------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|--|--|-------|---------------------------|
| | 9,52 | 46,49 | 29,83 | 20,38 | 16,80 | 0,34 | 30,86E+3 |

2.5. Kết luận chương 2

1) Sử dụng thiết bị thí nghiệm cắt phẳng trong phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật tại Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt để cải tiến thiết bị bằng cách bổ sung tấm thép vào hộp mẫu của thiết bị thay cho cát sạn san hô nhằm xác định tham số tương tác của cát sạn san hô hạt thô lớn nhất 20 mm với tấm thép.

2) Thí nghiệm các mẫu nền cát sạn san hô của cấp phối có kích thước hạt thô lớn nhất là $D_{max} = 20$ mm ở độ chặt tương đối 70% trên máy thí nghiệm nén 3 trục trong điều kiện thoát nước với các trường hợp áp lực hông $P_0 = 50$ kPa; 100 kPa và 150 kPa ở phòng thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm đã xác định được các tham số cát sạn san hô cần thiết của mô hình Mohr - Coulomb để phục vụ bài toán nghiên cứu.

3) Làm sáng tỏ sức kháng ma sát khi xét tương tác giữa bề mặt tấm thép và mẫu cát sạn san hô. Kết quả nhận được từ thực nghiệm mẫu cát sạn san hô là luận cứ khoa học của bộ số liệu tham số đầu vào để tính toán, khảo sát nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn gia cường trong chương 3 và lập luận sử dụng một số tham số là giá trị kì vọng khi xét đến sự biến động ngẫu nhiên của cát sạn san hô để nghiên cứu ứng xử của cọc công thép trong chương 4 của luận án.

Chương 3. NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA CỌC ỚNG THÉP CÓ CÁNH XOẮN TRONG NỀN CÁT SẠN SAN HỒ

3.1. Mục tiêu nghiên cứu và các giả thiết tính toán

1. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn nhằm đánh giá ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô khi xét với các cấu hình cánh xoắn khác nhau, làm cơ sở luận cứ khoa học đề xuất giải pháp kết cấu cọc nói riêng và móng cọc công trình xây dựng nói chung khi được đầu tư nghiên cứu, thiết kế và thi công trên khu vực thềm san hô ở các đảo xa bờ thuộc chủ quyền của Việt Nam.

2. Các giả thiết và giới hạn nghiên cứu

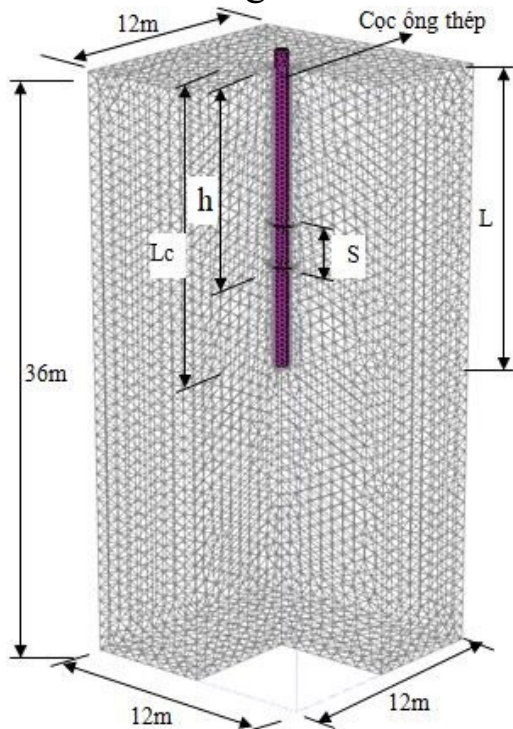
– Cọc không bị phá hoại, vật liệu kết cấu cọc ống thép ứng xử trong giai đoạn đàn hồi, phân tích tuyến tính. Cọc liên kết vào nền cát sạn san hô theo phương thẳng đứng và đã ổn định.

– Nền cát sạn san hô trong mô hình có tính chất của lớp vật liệu được coi như đồng nhất, đẳng hướng, mô hình vật liệu đàn dẻo phi tuyến.

– Khi chịu tải, trên bề mặt tiếp xúc của kết cấu và nền có thể xảy ra sự trượt và tách tương đối của kết cấu cọc so với nền.

3.2. Mô phỏng số cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô

Xây dựng các mô hình số 3 chiều của cọc ống thép có và không có cánh xoắn làm việc đồng thời với nền cát sạn san hô theo phương pháp PTHH.



Hình 3.1. Mô hình bài toán khảo sát trường hợp cọc có 2 cánh

Tham số cát sạn san hô:

- Loại nền: Cát sạn san hô;
- Mô hình: Mohr-Coulomb (MC);
- Mô đun biến dạng: E;
- Góc ma sát trong: φ ;
- Lực dính đơn vị biểu kiến: c;
- Hệ số Poisson: ν ;
- Trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà: γ_{sat} ;

Tham số cọc ống thép:

- Mô hình: Đàn hồi tuyến tính (EL);
- Mô đun đàn hồi: $E_c = 2,0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$;
- Hệ số Poisson: $\nu_c = 0,3$;
- Chiều dài cọc: $L_c = 9; 12; 15; 18 \text{ m}$;
- Chiều dài cọc trong nền: $L = L_c - 1 \text{ m}$;
- Đường kính cọc: $d = 0,6 \text{ m}$;
- Đường kính cánh: $D = 0,9; 1,2; 1,5; 1,8 \text{ m}$;
- Độ sâu vị trí cánh trên thân cọc: h;
- Khoảng cách cánh: $S = 1,2; 1,8; 2,4; 3,0 \text{ m}$

Cấu tạo mô hình và tham số của cọc ống thép có cánh xoắn (cọc tròn trơn, cọc có 01 cánh xoắn và cọc có 02 cánh xoắn), nền cát sạn san hô của bài toán khảo sát thể hiện trên Hình 3.1.

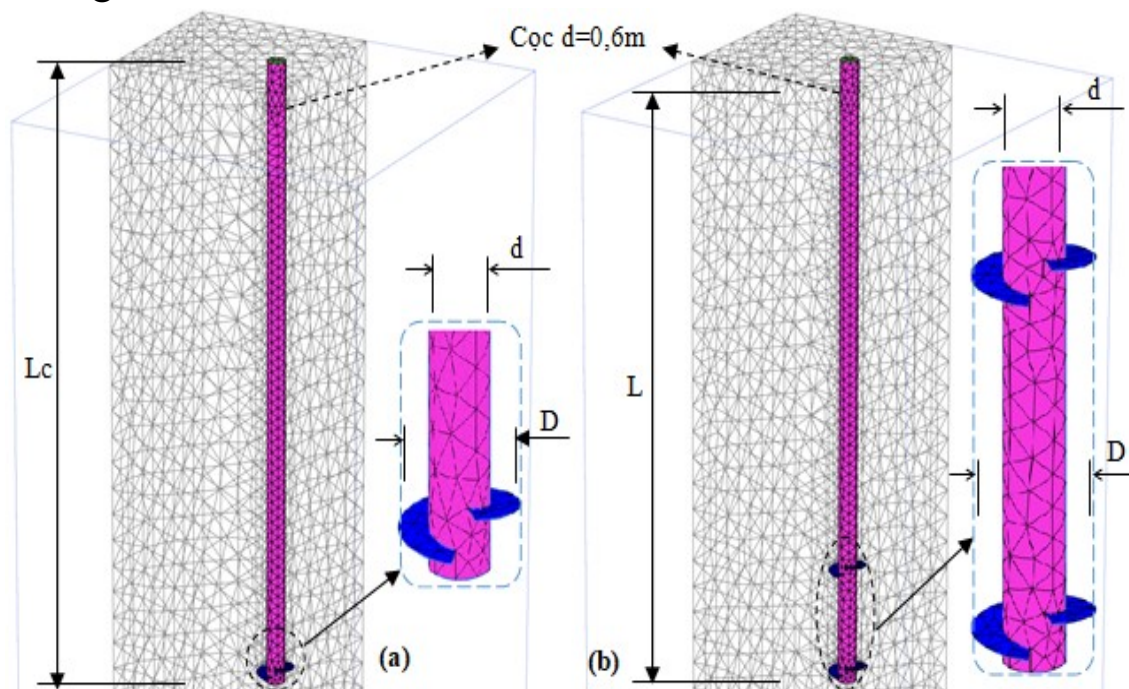
Biên khối nền cát sạn san hô trong bài toán khảo sát, tác giả lựa chọn sao cho: Chiều rộng khối nền $B \geq 20 \cdot d = 12 \text{ m}$, (trong đó: d là đường kính ngoài của cọc), chọn $B = 12 \text{ m}$. Chiều cao khối nền $H_n \geq L + 20 \cdot d = 29 \text{ m}$, (L là chiều dài cọc trong nền), chọn $H_n = 36 \text{ m}$.

Tham số của mô hình nền nghiên cứu là cát sạn san hô ở trạng thái chặt vừa đã được thực nghiệm trong chương 2 của Luận án (Bảng 3.1)

Bảng 3.1. Tham số mô hình nền cát sạn san hô tính toán

| Ψ (độ) | φ (độ) | c (kN/m ²) | γ_{sat} (kN/m ³) | γ_{unsat} (kN/m ³) | ν | E (kN/m ²) | R_{inter} | e_0 |
|----------------|-------------------|-----------------------------|---|---|-------|-----------------------------|--------------------|-------|
| 9,52 | 46,49 | 29,83 | 20,38 | 16,80 | 0,34 | 30,86E+3 | 0,56 | 0,56 |

Ứng dụng phần mềm phân tích PLAXIS 3D mô hình hoá tương tác của nền cát sạn san hô với cọc ống thép, sử dụng phần tử tiếp xúc thông qua hệ số suy giảm cường độ R_{inter} đã được thí nghiệm ở chương 2. Mô hình tương tác được thể hiện như trên Hình 3.2:



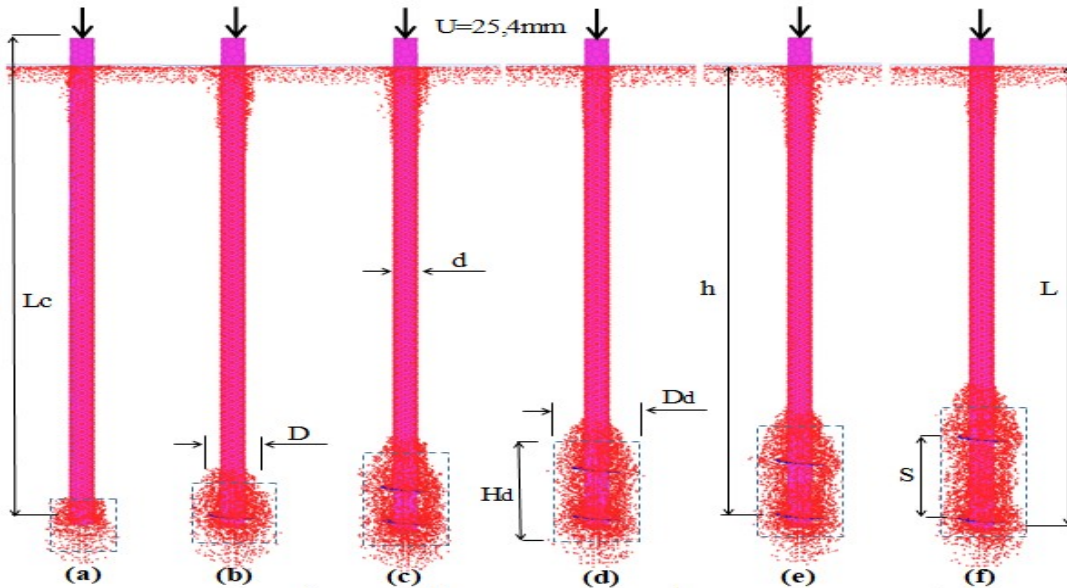
Hình 3.2. Mô hình cọc trường hợp có 01 và 02 cánh xoắn trong nền

3.3. Khảo sát sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn chịu tải trọng tĩnh dọc trục

1. Ảnh hưởng số lượng và khoảng cách cánh xoắn

Khảo sát sự làm việc của cọc trong các trường hợp sau: (a) - cọc tròn trơn; (b) - cọc có 01 cánh ở mũi; (c) - cọc có 02 cánh với $S=2d$; (d) - cọc

có 02 cánh với $S=3d$; (e): cọc có 02 $S=4d$; (f) - cọc có 02 cánh $S=5d$. Sự phát triển vùng biến dạng dẻo các trường hợp tính toán khác nhau được thể hiện trên Hình 3.3:

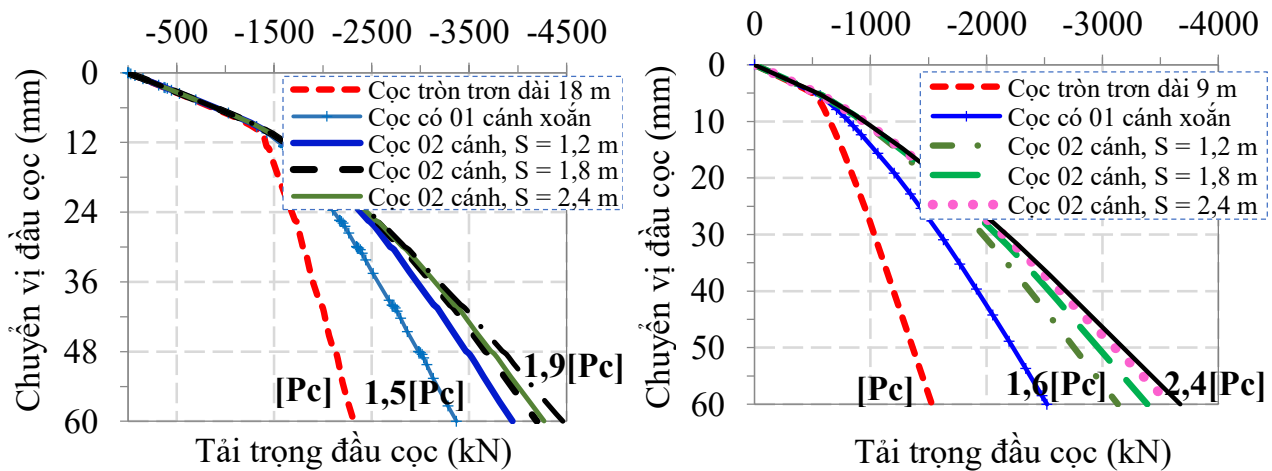


Hình 3.3. Sự phát triển vùng biến dạng dẻo trong nền cát sạn san hô

Kết quả tính toán trên Hình 3.3 đã chỉ ra rằng, số lượng và khoảng cách cánh xoắn ảnh hưởng đến sự phát triển vùng biến dạng dẻo trong nền, đồng nghĩa với việc làm thay đổi cơ chế truyền tải bên của cọc ra nền.

Để đánh giá định lượng sự ảnh hưởng số lượng và khoảng cách của cánh xoắn, tác giả tổng hợp sự phát triển tương quan giữa tải trọng và chuyển vị đầu cọc trong các trường hợp mô hình cọc ống thép có 2 cánh xoắn so sánh với cọc có 01 cánh xoắn ở mũi và trường hợp cọc tròn trơn có chiều dài thay đổi khác nhau tương ứng là 9 m; 12 m; 15 m và 18 m.

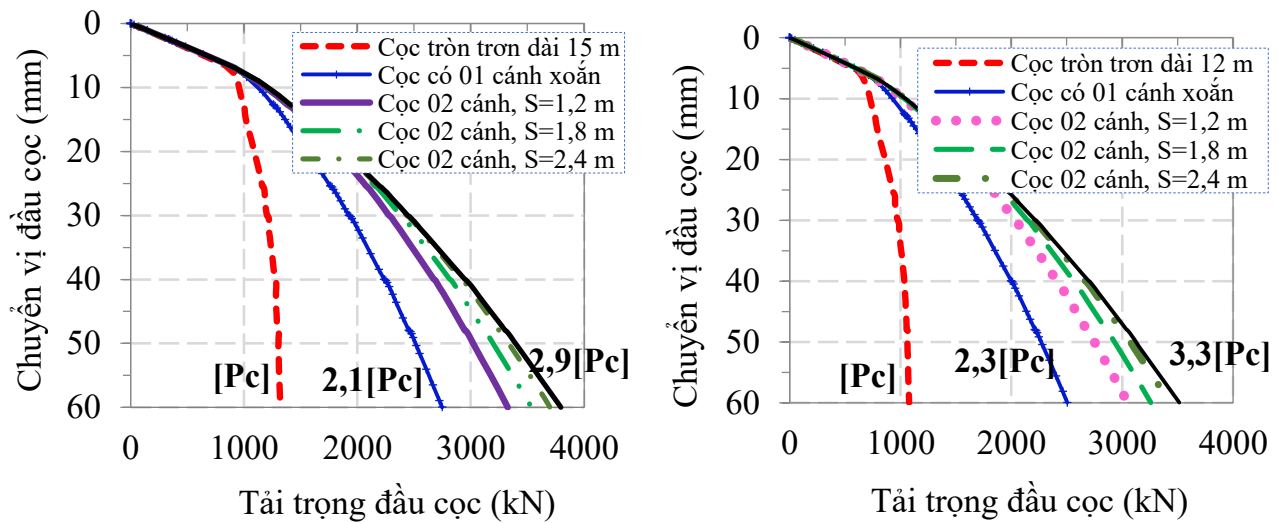
Kết quả khảo sát khi cọc chịu nén được trình bày trên Hình 3.4:



Hình 3.4. Tương quan tải trọng và chuyển vị (dài 18 m và 9 m chịu nén)

Phân tích đồ thị tương quan giữa tải trọng và chuyển vị đầu cọc trên Hình 3.4 cho thấy ảnh hưởng của số cánh xoắn làm thay đổi đáng kể ứng

xử của cọc. Đối với cọc có cánh xoắn thì độ cứng chống chuyển vị đầu cọc giảm ít hơn đáng kể, đặc biệt là khi cọc có 02 cánh xoắn.

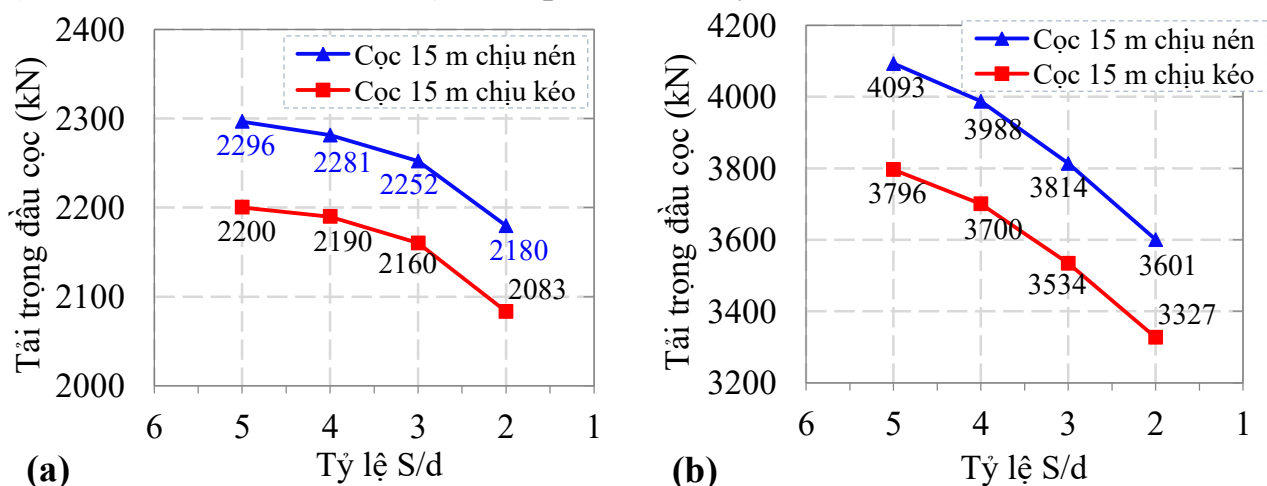


Hình 3.5. Tương quan tải trọng và chuyển vị (dài 12 m và 15 m chịu nhỏ)

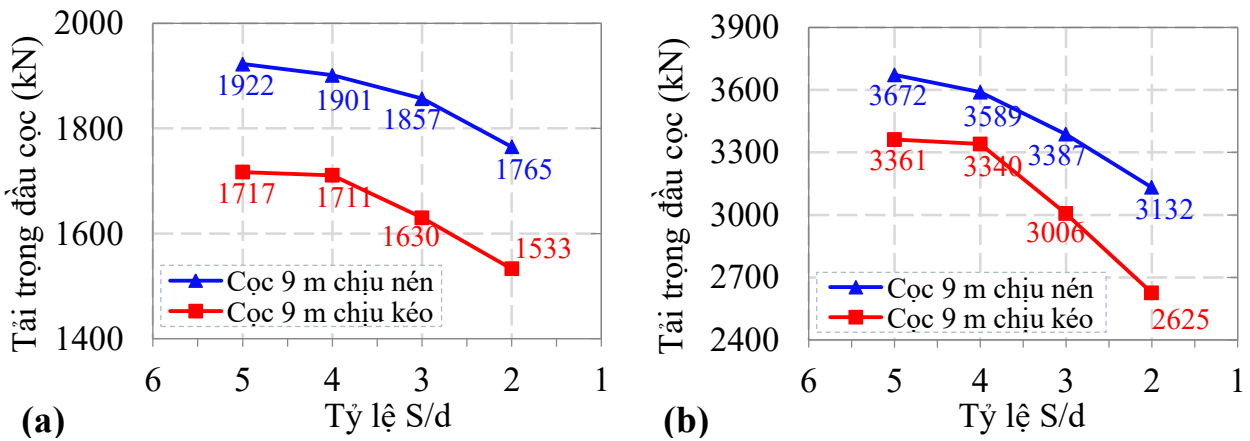
Kết quả nghiên cứu trường hợp cọc chịu nhỏ trên Hình 3.5 cho thấy, đối với cọc tròn trơn khi tăng chuyển vị đầu cọc từ 50% chuyển vị cực hạn (30 mm) nhưng tải trọng đầu cọc hầu như không có sự thay đổi đáng kể, chứng tỏ đã vượt quá sức kháng của cọc. Nhưng trường hợp cọc có cánh xoắn (kể cả cọc 01 cánh đơn ở mũi) không xảy ra hiện tượng này.

Sức chịu nén và sức kháng nhỏ của cọc có 01 cánh xoắn tăng từ 1,5 đến 2,3 lần so với cọc tròn trơn, giá trị này tăng từ 1,9 đến 3,9 lần đối với cọc có 2 cánh xoắn. Do vậy, kiến nghị lựa chọn cọc từ 2 cánh xoắn trở lên.

Để đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách cánh đến sức kháng của cọc, tác giả tổng hợp số liệu khảo sát và xây dựng các đồ thị tương quan giữa tải trọng đầu cọc với tỷ lệ khoảng cách của cánh và đường kính của cọc (S/d) ở chuyển vị giới hạn ($U_{gh} = 25,4$ mm - hình a) và chuyển vị cực hạn ($[U_c] = 60,0$ mm - hình b), kết quả trình bày trên Hình 3.6 và Hình 3.7:



Hình 3.6. Biến thiên tải trọng đầu cọc của cọc dài 15 m

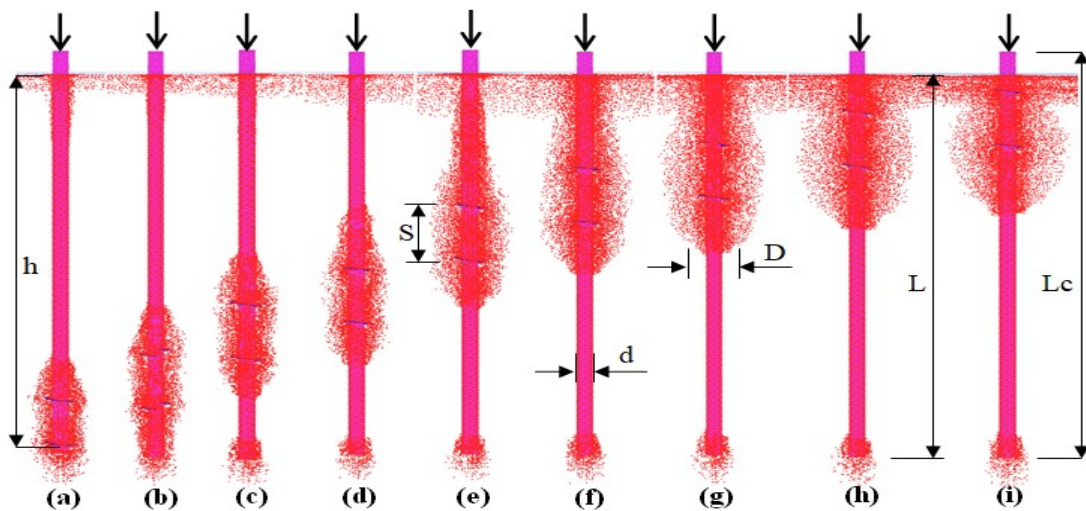


Hình 3.7. Biến thiên tải trọng đầu cọc của cọc dài 9 m

Từ kết quả trình bày trên các Hình 3.6 đến Hình 3.7 cho thấy, sự thay đổi tải trọng đầu cọc của các cọc có chiều dài khác nhau ở cả trường hợp chuyển vị giới hạn U_{gh} và chuyển vị cực hạn $[U_c]$ tăng không đáng kể khi tỉ lệ giữa khoảng cách cánh xoắn và đường kính cọc $S/d > 4,0$, nhưng tải trọng đầu cọc giảm nhanh khi $S/d < 3,0$. Do vậy, tác giả kiến nghị khoảng cách hiệu quả giữa các cánh xoắn lựa chọn trong khoảng từ 3 đến 4 lần đường kính ngoài của cọc (tương ứng tỷ lệ $S/d = 3,0$ đến $4,0$).

2. Ảnh hưởng độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc

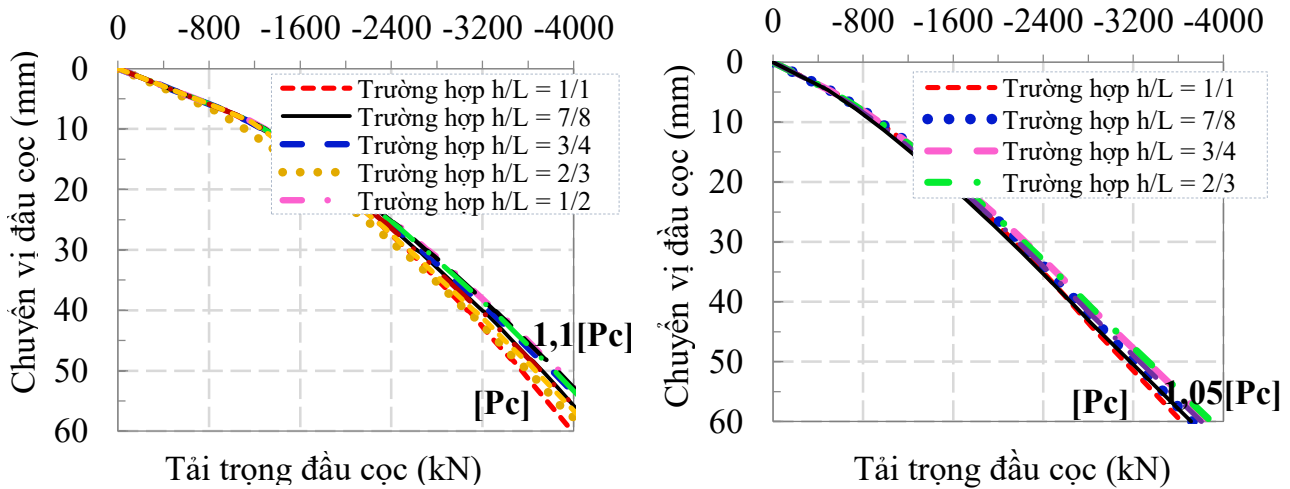
Mô hình số các bài toán khảo sát cọc ống thép có 2 cánh xoắn đường kính $D = 2d = 1,2$ m và khoảng cách của cánh (S) sao cho: $S/d = 4$ theo kiến nghị ở phần trên. Vị trí của cánh thay đổi theo chiều sâu cọc trong các trường hợp: (a): tỷ số $h/L = 1/1$; (b): tỷ số $h/L = 7/8$; (c): tỷ số $h/L = 3/4$; (d): $h/L = 2/3$; (e): $h/L = 1/2$; (f): $h/L = 1/2,5$; (g): $h/L = 1/3$; (z): $h/L = 1/4$; (i): $h/L = 1/5$. Vùng biến dạng dẻo trong nền cát sạn san hô trên Hình 3.8:



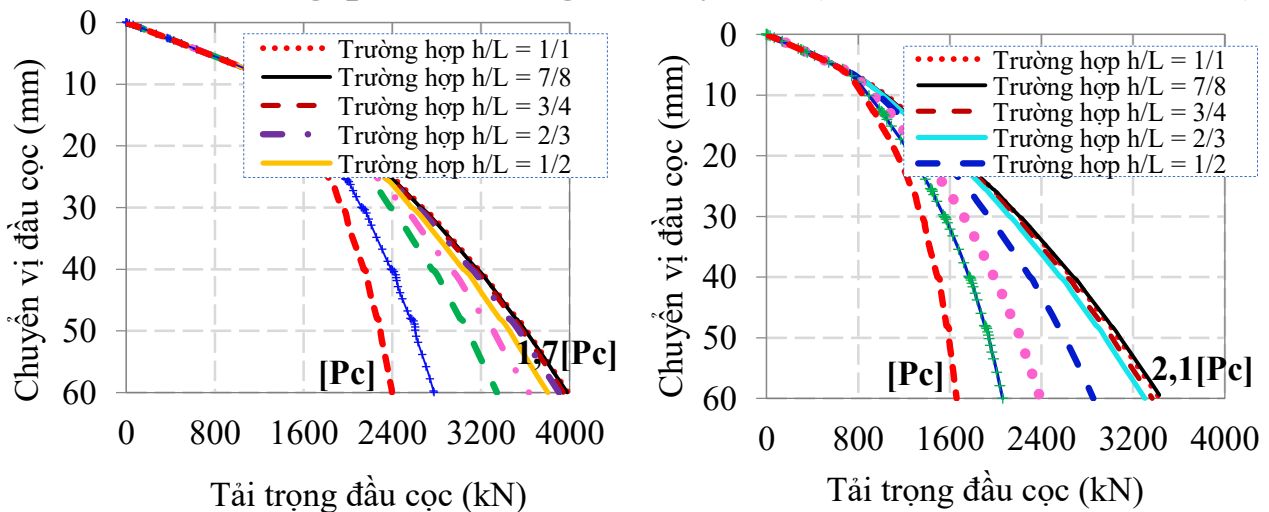
Hình 3.8. Phạm vi phát triển vùng biến dạng dẻo trong nền cát sạn san hô

Kết quả trên Hình 3.8 cho thấy, tại các vị trí của cánh xoắn dọc theo chiều sâu cọc, vùng biến dạng dẻo phát triển ở mặt bên cọc, mũi cọc và xung quanh phạm vi khối nền giữa 2 cánh xoắn. Tuy nhiên, phạm vi ảnh

hường ra xung quanh có sự khác nhau nên cần xem xét lựa chọn khoảng cách của các cọc ống thép có cánh xoắn trong móng cọc hợp lý và xét tới ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm cọc trong các hướng nghiên cứu tiếp theo.



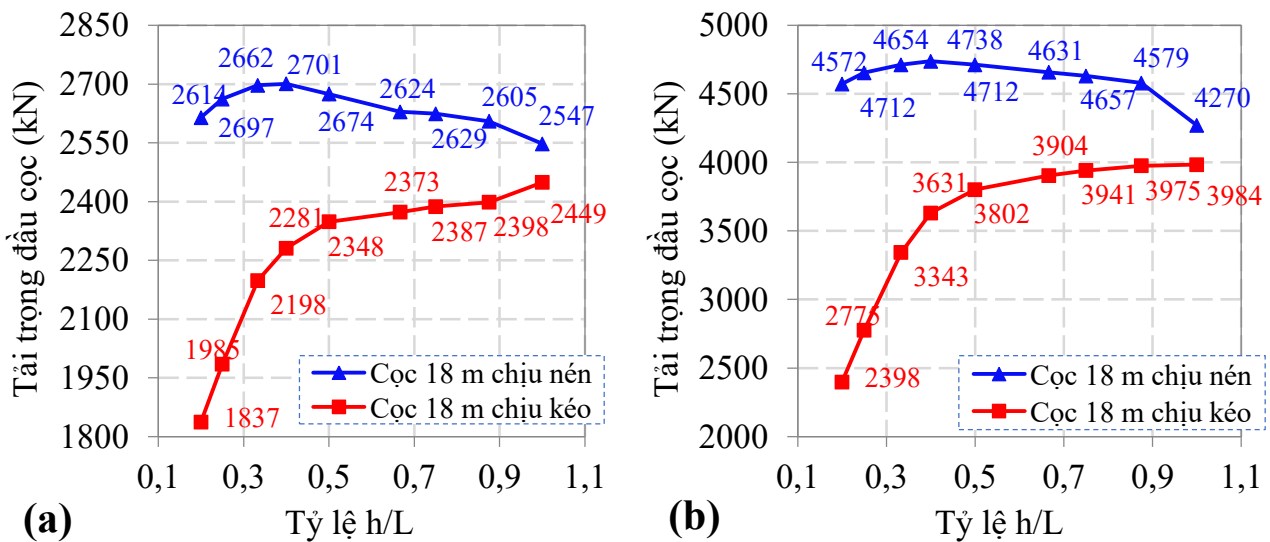
Hình 3.9. Tương quan tải trọng và chuyển vị (cọc 15 m và 9 m chịu nén)



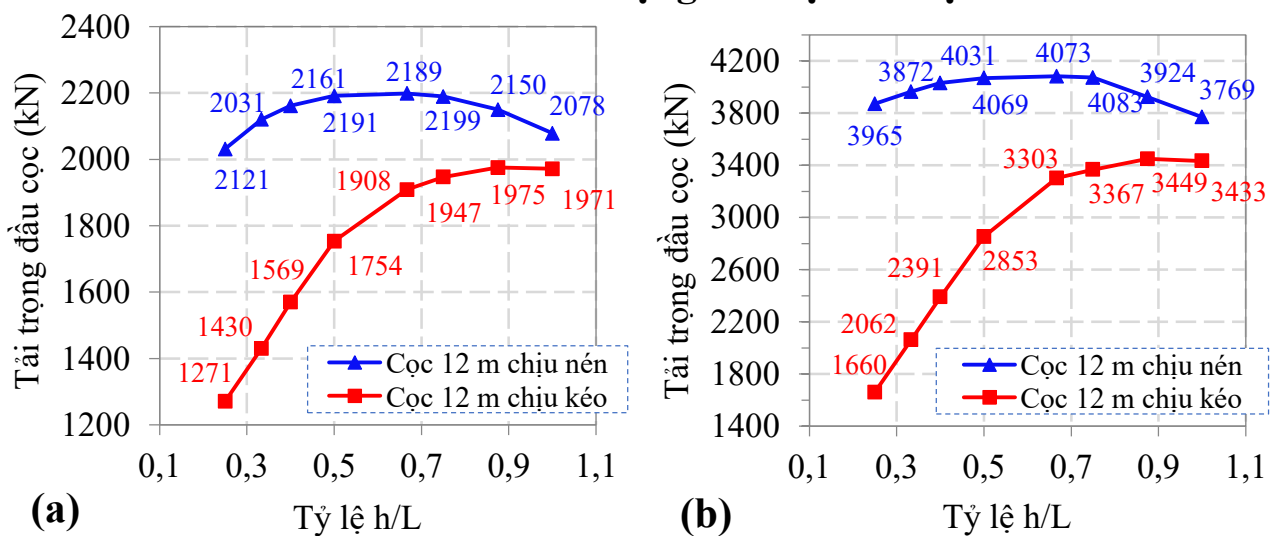
Hình 3.10. Tương quan tải trọng và chuyển vị (cọc 18 m và 12 m chịu kéo)

Kết quả trên đồ thị Hình 3.9 cho thấy, khi cọc chịu nén dọc trục, độ sâu vị trí của cánh xoắn ảnh hưởng không đáng kể đến sức chịu tải của cọc, chênh lệch từ 1,05 đến 1,1 lần khi cọc đạt đến chuyển vị cực hạn tại đầu cọc. Tuy nhiên, trường hợp cọc chịu nhỏ thì sự khác biệt này phản ánh rõ nét như trên Hình 3.10. Vị trí cánh xoắn càng sâu thì sức kháng nhỏ của cọc càng lớn với sự khác biệt có thể đến từ 1,7 đến 2,1 lần tại chuyển vị cực hạn đầu cọc. Tuy nhiên, khi độ sâu cánh xoắn lớn hơn 1/2 chiều sâu hạ cọc trong nền thì hiệu quả gia tăng sức kháng nhỏ bắt đầu tăng ít dần.

Tổng hợp ảnh hưởng độ sâu vị trí của cánh xoắn đến sự sức chịu tải của cọc dài 18 m và 12 m ở chuyển vị giới hạn (hình a) và chuyển vị cực hạn (hình b) trong các trường hợp vị trí của các cánh thay đổi dọc theo chiều sâu cọc được thể hiện trên các đồ thị Hình 3.11 và Hình 3.12:



Hình 3.11. Biến thiên tải trọng đầu cọc của cọc dài 18 m



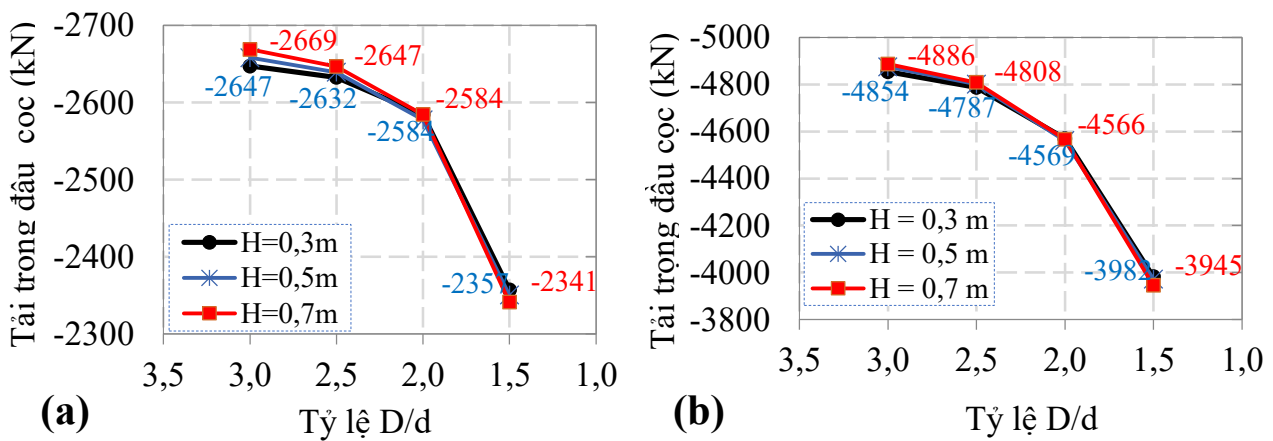
Hình 3.12. Biến thiên tải trọng đầu cọc của cọc dài 12 m

Khi cọc chịu tải trọng nén (đường xanh), vị trí cánh xoắn ảnh hưởng không nhiều đến chuyển vị đầu cọc và sức chịu tải của cọc. Sự khác biệt thể hiện rõ rệt khi cọc chịu nhỏ (đường đỏ), vị trí cánh xoắn càng sâu thì sức kháng nhỏ của cọc càng lớn, nguyên nhân là do có sự khác biệt về sức kháng bên của cọc có cánh xoắn khi chịu nhỏ. Kiến nghị lựa chọn độ sâu vị trí cánh xoắn từ $1/2 \div 4/5$ chiều sâu hạ cọc trong nền cát sạn san san hô.

3. Khảo sát ảnh hưởng của đường kính và bước cánh xoắn

Xây dựng các mô hình số cọc dài 18 m có 2 cánh xoắn với $S = 4d = 2,4$ m; $z/L = 3/4$. Nhưng có đường kính cánh thay đổi: $D/d = 1,5; 2,0; 2,5$ và $3,0$. Mỗi trường hợp đường kính cánh xét tương ứng sự thay đổi bước cánh (H -chiều cao một vòng cánh) sao cho: $H/d = 0,5; 0,833$ và $1,167$.

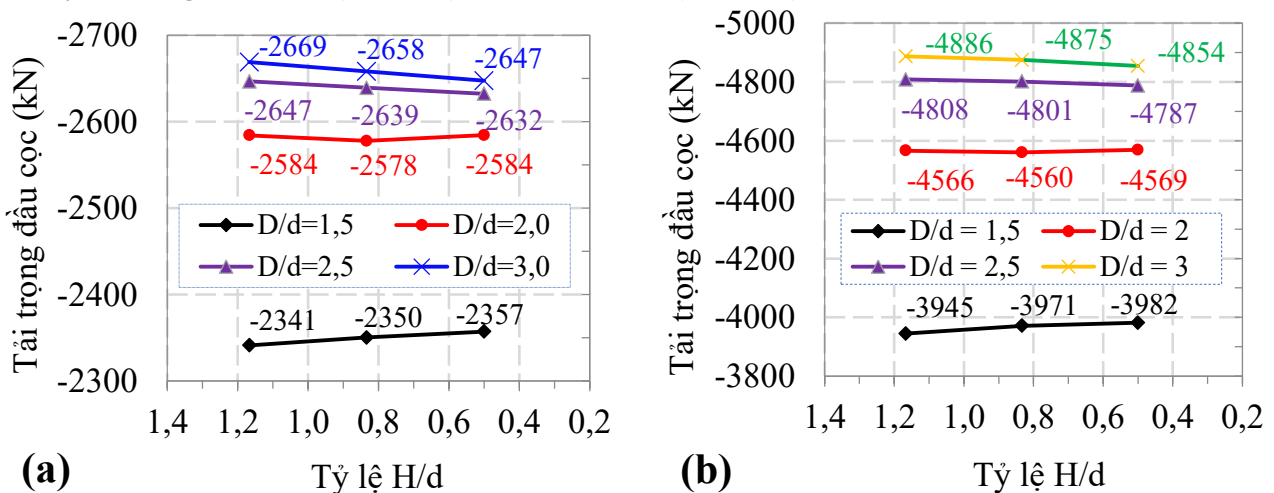
Tương quan tỷ lệ đường kính cánh (D) và đường kính cọc (d) với tải trọng đầu cọc ở chuyển vị giới hạn (hình a) và chuyển vị cực hạn (hình b) được thể hiện như trên Hình 3.13:



Hình 3.13. Biến thiên tải trọng đầu cọc theo đường kính cánh

Kết quả khảo sát trên đồ Hình 3.13 cho thấy, sức chịu tải của cọc tăng tỉ lệ thuận với sự tăng đường kính của cánh. Thể hiện rõ nét khi đường kính cánh xoắn lớn hơn 2 lần đường kính cọc. Nhưng khi tỷ lệ này lớn hơn 2,5 lần thì sức chịu tải của cọc tăng lên không đáng kể. Do vậy, kiến nghị đường kính của cánh có thể lựa chọn từ 2 đến 3 lần đường kính của cọc.

Tổng hợp ảnh hưởng của bước cánh đến sự làm việc của cọc trong các trường hợp đường kính cánh thay đổi theo tỷ lệ $D/d=1,5; 2,0; 2,5$ và $3,0$ ở chuyển vị giới hạn (hình a) và cực hạn (hình b) được thể hiện như sau:



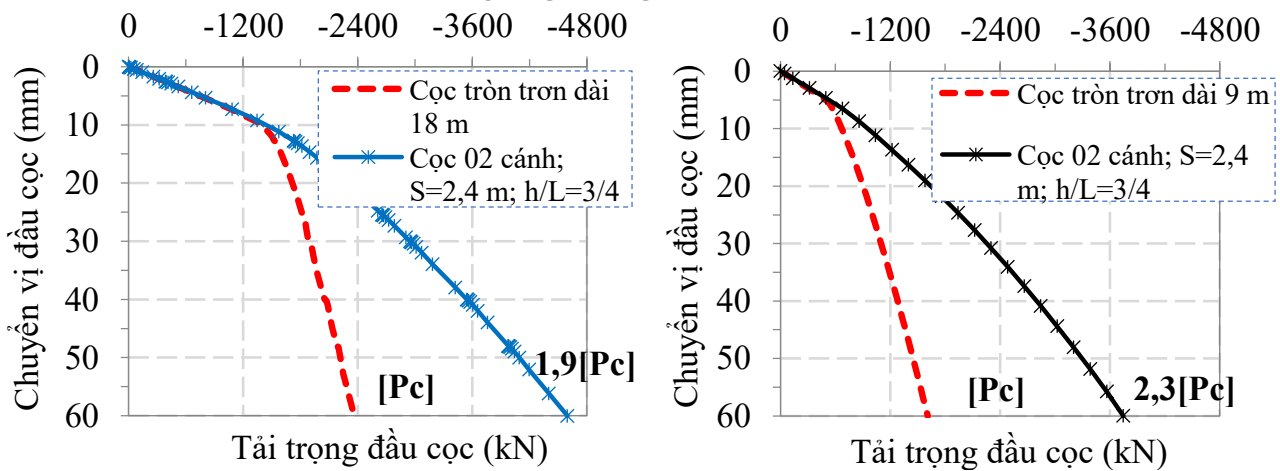
Hình 3.14. Biến thiên tải trọng đầu cọc theo bước cánh

Kết quả khảo sát nhận được trên đồ thị Hình 3.14 cho thấy, đồ thị tương quan giữa tỷ lệ bước cánh và đường kính của cọc với tải trọng tại đầu cọc có độ dốc khá nhỏ (gần như nằm ngang), chứng tỏ sức chịu tải của cọc với các bước cánh khác nhau có sự thay đổi nhỏ. Do đó, bước cách trong bài toán khảo sát ảnh hưởng không đáng kể đến sức chịu tải của cọc ống thép có 02 cánh xoắn trong nền cát sạn san hô.

3.4. Khảo sát sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn chịu đồng thời tải trọng tĩnh dọc trục và ngang

Khảo sát cọc ống thép tròn trơn và có 2 cánh xoắn với độ sâu vị trí

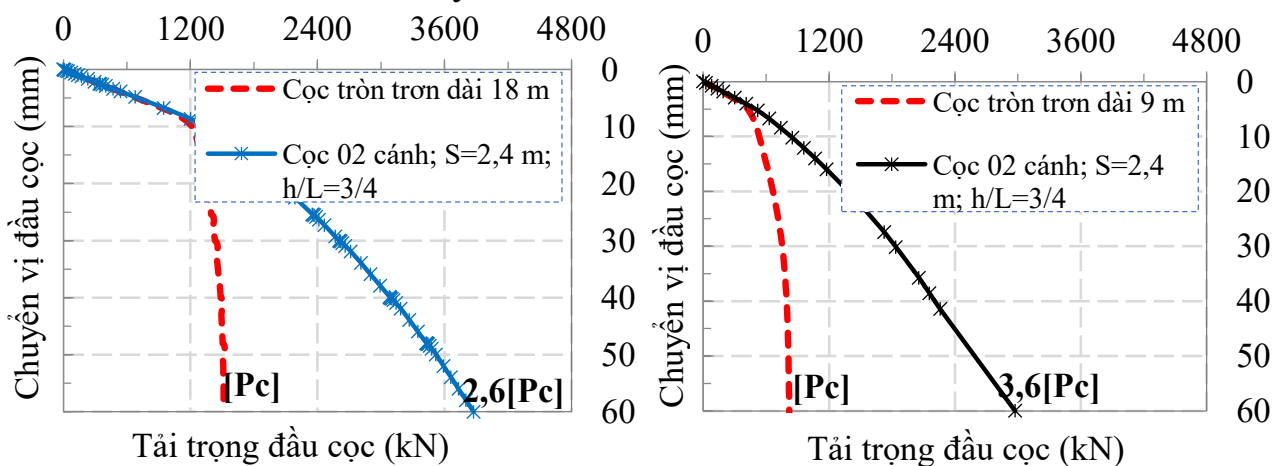
cánh xoắn bằng $3/4$ lần chiều dài của cọc trong nền ($h/L=3/4$) và có chiều dài 18 m; 15 m; 12 m và 9 m). Kết quả nghiên cứu trong trường hợp cọc dài 18 m; 9 m chịu nén và ngang đồng thời thể hiện trên đồ thị Hình 3.15:



Hình 3.15. Tương quan chuyển vị và tải trọng đầu cọc (dài 18 m và 9 m)

Kết quả cho thấy, khi chịu đồng thời nén dọc trục và theo phương ngang thì sức chịu tải ứng với chuyển vị cực hạn của cọc ống thép có 02 cánh xoắn tăng từ 1,9 đến 2,3 lần so với cọc tròn trơn có cùng mô hình.

Trường hợp cọc chịu nhỏ và tải ngang đồng thời, đồ thị tương quan tải trọng và chuyển vị đỉnh cọc của cọc có 2 cánh xoắn dài 18 m và 9 m so với cọc tròn trơn được trình bày trên Hình 3.16:



Hình 3.16. Tương quan chuyển vị và tải trọng đầu cọc (dài 18 m và 9 m)

Trong trường hợp chịu kéo và tải trọng phương ngang đồng thời, hiệu quả sức chịu tải ở chuyển vị cực hạn của cọc ống thép tăng lên rất lớn từ 2,6 đến 3,6 lần so với cọc tròn trơn có chiều dài, đường kính tương ứng.

3.5. Kết luận chương 3

Với nội dung thực hiện và các kết quả nghiên cứu đã đạt được, tác giả luận án rút ra kết luận chính của chương 3 như sau:

1) Làm sáng tỏ sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô khi xét ảnh hưởng của số lượng và khoảng cách cánh xoắn.

So sánh sức chịu tải của cọc có 02 cánh xoắn tăng từ $1,9 \div 2,4$ lần khi chịu nén và tăng từ $2,6 \div 3,9$ lần khi chịu kéo. Kiến nghị từ 02 cánh xoắn trở lên và khoảng cách của cánh hiệu quả từ $3 \div 4$ lần đường kính của cọc;

2) Khi cọc chịu nén, độ sâu cánh xoắn không ảnh hưởng đáng kể đến sức chịu tải của cọc (từ $1,05 \div 1,1$ lần). Nhưng khi chịu nhổ thì yếu tố này ảnh hưởng khá rõ nét (tăng từ 1,7 đến 2,1 lần). Kiến nghị độ sâu vị trí cánh trên thân cọc hiệu quả từ $1/2 \div 4/5$ chiều sâu cọc trong nền cát sạn san hô;

3) Kiến nghị để hài hoà sức chịu tải và khả năng của thiết bị thi công hạ cọc trong nền cát sạn san hô, có thể lựa chọn đường kính cánh có khoảng từ $2 \div 3$ lần đường kính của cọc;

4) Kết quả nhận được thể hiện bước cánh ảnh hưởng không đáng kể đến sự làm việc của cọc trong nền cát sạn san hô. Kiến nghị tùy theo điều kiện nền cát sạn san hô cụ thể để lựa chọn bước cánh phù hợp;

5) Hiệu quả của cọc ống thép có 2 cánh xoắn còn được phản ánh khá rõ khi cọc chịu tải trọng trục và ngang đồng thời, sức chịu tải ở chuyển vị cực hạn của cọc ống thép có 2 cánh xoắn tăng từ 1,9 đến 2,3 lần so với cọc tròn trơn khi chịu nén dọc trục và ngang đồng thời. Trong khi đó khi chịu nhổ dọc trục và ngang đồng thời thì sức chịu tải tăng từ 2,6 đến 3,6 lần.

Chương 4. NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA CỌC ỐNG THÉP CÓ CÁNH XOẮN XÉT ĐẾN BIẾN ĐỘNG THAM SỐ NỀN CÁT SẠN SAN HÔ

4.1. Đặt vấn đề

Trong chương này, tác giả sử dụng ngôn ngữ lập trình phần mềm MATLAB Version 7.6.0.324 để xây dựng chương trình tính toán sức chịu tải của cọc cho phép đánh giá ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn xét đến sự biến động của tham số ngẫu nhiên nền cát sạn san hô đã xác định giá trị trung bình bằng phương pháp thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu của chương 4 là xác định được các hàm hồi quy đánh giá ứng xử của cọc ống thép có và không có cánh xoắn xét đến biến động góc ma sát trong, góc ma sát ngoài và trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà cát sạn san hô.

4.2. Xây dựng chương trình tính toán ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô

1. Xây dựng chương trình tính toán

a) Mô hình tính toán

Luận án sử dụng phần mềm có mã nguồn mở để vận dụng ưu thế của lý thuyết mô phỏng số Monte-Carlo tính toán sức chịu tải của cọc theo lý thuyết độ tin cậy (ĐTC). Để kiểm chứng kết quả tính toán, tác giả so sánh

với kết quả tiên định theo phương pháp trạng thái giới hạn (TTGH). Do đó, chương trình xây dựng gồm module tính toán sức chịu tải của cọc theo phương pháp TTGH và lý thuyết ĐTC như sau:

- Theo phương pháp TTGH:

Sử dụng lý thuyết tính toán sức chịu tải dọc trục của Viện dầu khí Hoa Kỳ (API). Kết quả tính được kiểm chứng với bài toán tương tự khi sử dụng phần mềm thương mại PileAXL 2.2 của Hoa Kỳ để khẳng định độ tin cậy của chương trình.

- Phương pháp lý thuyết ĐTC:

Ứng dụng lý thuyết mô phỏng số Monte-Carlo xét sự thay đổi ngẫu nhiên các tham số cát sạn san hô trong một biên độ nhất định để tính toán sức chịu tải của cọc. Vận dụng tiêu chuẩn quốc gia của Trung Quốc “GB 50153-2008” để khảo sát.

Sức chịu tải của cọc ống thép tròn trơn khi chịu tác dụng của tải trọng nén dọc trục được xác định theo biểu thức sau:

$$[P_c] = Q_f + Q_p, \quad (4.1)$$

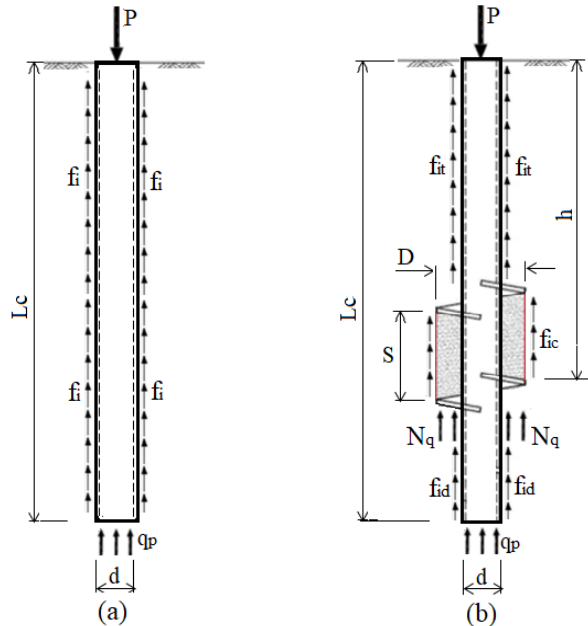
trong đó: $Q_f = u_c \cdot \sum f_i \cdot \Delta z_i$ và $Q_p = q_p \cdot A_p$ là sức kháng bên và mũi của cọc; q_p là sức kháng mũi đơn vị của cọc; f_i - sức kháng bên đơn vị của cọc.

Đối với cọc có 02 cánh xoắn, theo kết quả phân tích sự phát triển vùng biến dạng dẻo trong nền ở khu vực xung quanh cọc và mũi cọc trong chương 3, tác giả thực hiện quy đổi đoạn cọc trong phạm vi 02 cánh làm việc như đoạn cọc có đường kính bằng đường kính của cánh. Khi đó, sức chịu tải cọc xác định theo biểu thức sau:

$$[P_c] = (Q_{ft} + Q_{fc} + Q_{fd}) + (Q_p + Q_c), \quad (4.2)$$

trong đó: $Q_{ft} = u_1 \cdot \sum f_{it} \cdot \Delta z_{it}$; $Q_{fd} = u_1 \cdot \sum f_{id} \cdot \Delta z_{id}$; $Q_{fc} = u_2 \cdot \sum f_{ic} \cdot \Delta z_{ic}$; là sức kháng bên của đoạn cọc phía trên cánh; dưới cánh và giữa 2 cánh; f_{it} ; f_{id} ; f_{ic} - sức kháng bên đơn vị của đoạn cọc trên cánh, đoạn cọc dưới của cánh và đoạn cọc giới hạn giữa 2 cánh.

$Q_p = q_p \cdot A_p$; và $Q_c = 2 \cdot D \cdot \gamma \cdot (N_q - 1) \cdot A_c$; lần lượt là sức kháng của mũi cọc và sức kháng do phản lực của cánh dưới khi cọc chịu nén.



Hình 4.1. Mô hình tính sức chịu tải của cọc

(a - Cọc tròn trơn; b - cọc có 2 cánh quy ước tính theo khối nền)

Sức kháng bên đơn vị của đoạn cọc thứ i xác định như sau:

$$f_i = k \cdot \text{tg}(\delta) \cdot \sigma'_v = \beta \cdot \sigma'_v = \beta \cdot \sum \gamma_i h_i, \quad (4.3)$$

trong đó: γ_i - trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà của cát sạn san hô tại chiều sâu đoạn cọc tính toán thứ i ; β - hệ số áp lực ngang ($\beta = k \cdot \text{tg}(\delta)$ - đoạn cọc trơn; $\beta = k \cdot \text{tg}(\varphi)$ đối với đoạn cọc có cánh)

Sức kháng mũi đơn vị của cọc được xác định theo biểu thức sau:

$$q_p = N_q \sigma'_v = [e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)] [\gamma \cdot h], \quad (4.4)$$

trong đó: N_q là hệ số sức chịu tải mũi cọc phụ thuộc vào góc ma sát trong φ (trường hợp khi $\varphi > 40^\circ$ thì $N_q = 50$).

Với mỗi giá trị tham số tiền định sẽ xác định được sức chịu tải theo các biểu thức trên. Để xét đến sự thay đổi các tham số nền cát sạn san hô trong một biên độ hữu hạn, tác giả ứng dụng lý thuyết Monte-Carlo và tính sức chịu tải của cọc theo lý thuyết theo lý thuyết độ tin cậy như sau:

$$[P_c] = F^{-1}(1 - P_s), \quad (4.5)$$

trong đó: $[P_c]$ - sức chịu tải cần xác định của cọc theo lý thuyết độ tin cậy; P_s - xác suất an toàn, phụ thuộc vào cấp an toàn và đặc điểm phá hoại của kết cấu cọc (chọn $P_s = 0,9993189$ - cấp an toàn II, phá hoại từ từ).

Luận án khảo sát đối với trường hợp mức độ tin cậy mong muốn là 90% ($P_s = 0,9993189$); số phép thử Monte-Carlo là: $N_{mc} = 309.610$. Độ nhạy của các tham số khảo sát tham khảo là 0,05. Giá trị độ lệch và phạm vi biến động của các tham số cát sạn san hô khảo sát thể hiện trên Bảng 4.1:

Bảng 4.1. Độ lệch và phạm vi biến động các tham số khảo sát

| Tham số khảo sát | Trung bình | Độ lệch | Phạm vi biến động |
|---|------------|---------|-------------------|
| Góc ma sát trong, φ (độ) | 46,49 | 2,32 | 39,52 -:- 53,46 |
| Góc ma sát ngoài, δ (độ) | 30,66 | 1,53 | 26,06 -:- 35,26 |
| Trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà γ_{sat} (T/m^3) | 20,40 | 1,02 | 17,34 -:- 23,46 |

b) Thuật toán của chương trình

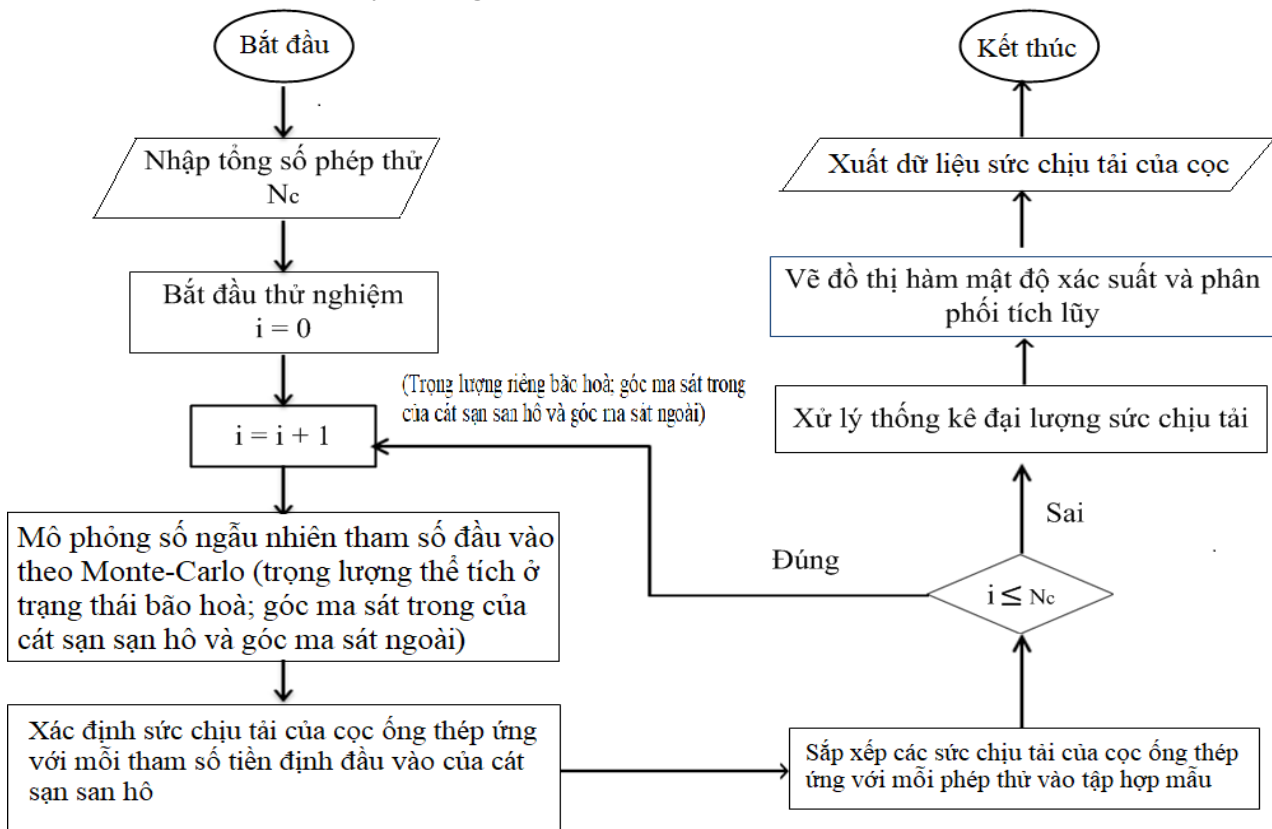
+ Giai đoạn 1: Mô hình hóa các biến ngẫu nhiên đầu vào từ các hàm phân phối xác suất cho trước của chúng.

+ Giai đoạn 2: Tính toán tiền định theo các thể hiện đầu vào để nhận các thể hiện đầu ra sức chịu tải của cọc.

+ Giai đoạn 3: Xử lý thống kê các thể hiện đầu ra để tìm các đặc trưng xác suất của nó và kiểm tra các giả thiết thống kê.

c) Sơ đồ khối của chương trình tính

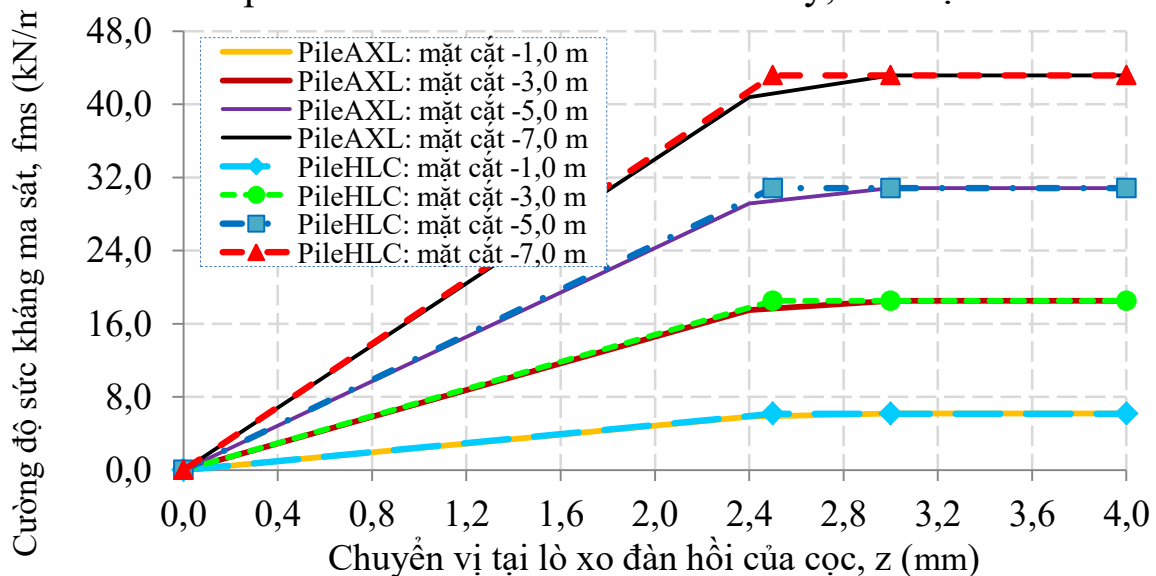
Chương trình tính toán ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn theo phương pháp độ tin cậy “PileHLC” khi ứng dụng lý thuyết mô phỏng số Monte-Carlo được xây dựng theo sơ đồ khối như trên Hình 4.2:



Hình 4.2. Sơ đồ khối chương trình tính toán sức chịu tải của cọc

2. Kiểm tra độ tin cậy chương trình tính toán

So sánh quy luật sức kháng ma sát bên qua đường cong t-z tại các mặt cắt dọc chiều sâu cọc: -1,0 m đến -7,0 m của chương trình tính toán “PileHLC” so với phần mềm “PileAXL” của Hoa Kỳ, thể hiện trên Hình 4.3:



Hình 4.3. Đường cong t-z tại các mặt cắt theo chiều sâu cọc

Từ các kết quả trên đồ thị Hình 4.3, có thể thấy chương trình tác giả đã xây dựng để làm cơ sở đánh giá ứng xử của cọc ống thép theo phương pháp độ tin cậy là có độ chính xác và tin cậy cao.

4.3. Khảo sát ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô xét đến sự biến động tham số nền

1. Mô hình bài toán khảo sát

Mô hình bài toán khảo sát ứng xử của cọc ống thép tròn trơn dài 8 m, đường kính ngoài $d = 0,6$ m và cọc có 02 cánh xoắn đường kính 1,2 m, khoảng cách cánh là 1,8 m, độ sâu vị trí cánh xoắn là 6 m. Tác giả đánh giá ứng xử của cọc qua mối tương quan giữa sức chịu tải của cọc tròn trơn và cọc có 2 cánh xoắn khi chuyển vị giới hạn đầu cọc: $U_{gh} = 25,4$ mm.

Khảo sát ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn khi xét đến sự biến động các tham số ngẫu nhiên cát sạn san hô được tổng hợp trên Bảng 4.2:

Bảng 4.2. Tham số mô hình nền cát sạn san hô khảo sát

| Đặc trưng độ tin cậy | Góc ma sát trong φ (độ) | Góc ma sát ngoài δ (độ) | Lực dính đơn vị biểu kiến c (kN/m ²) | Trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà | Mô đun biến dạng E (kN/m ²) |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------------|--|---|---|
| Kỳ vọng | 46,49 | 30,66 | 29,83 | 20,40 | 30,86E+3 |
| Độ nhảy | 0,05 | 0,05 | - | 0,05 | - |
| Độ lệch | 2,32 | 1,53 | - | 1,02 | - |

2. Kết quả khảo sát

a) Ứng xử của cọc ống thép xét biến động góc ma sát trong

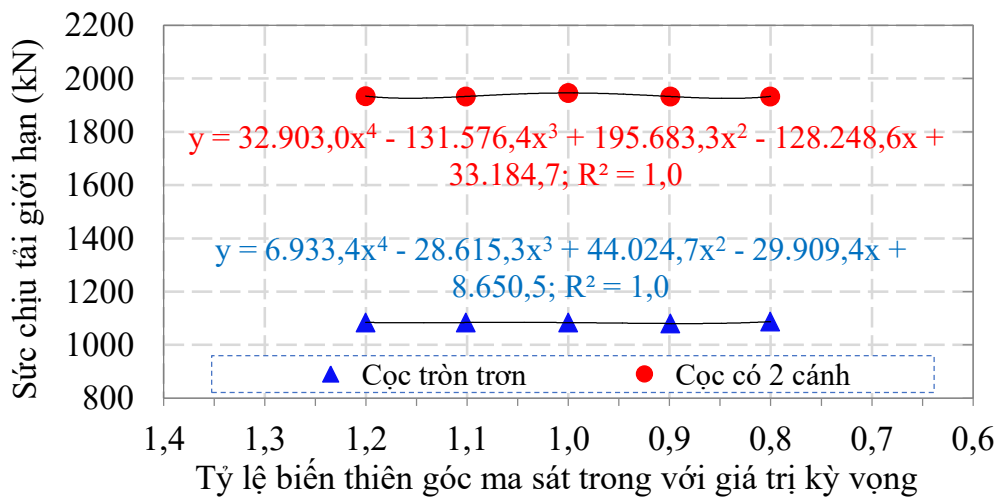
Để đánh giá ứng xử của cọc ống thép, tác giả khảo sát sức chịu tải của cọc ở các trường hợp độ lệch của góc ma sát trong lần lượt là: $1,63^0$; $1,86^0$; $2,09^0$; $2,32^0$; $2,65^0$; $2,79^0$ và $3,02^0$.

Kết quả tính toán được tổng hợp trên Bảng 4.3 sau:

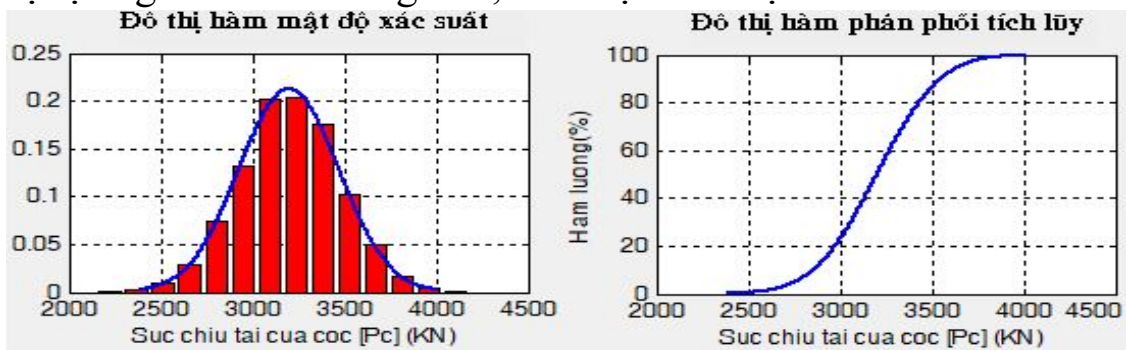
Bảng 4.3. Sức chịu tải giới hạn của cọc ống thép (P_{gh})

| Độ lệch góc ma sát trong (độ) | Cọc tròn trơn truyền thống | | | Cọc có 2 cánh xoắn | | |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) |
| 1,63 | 1057,14 | 1085,38 | 2,67 | 1864,29 | 1931,33 | 3,60 |
| 1,86 | 1057,14 | 1087,55 | 2,88 | 1864,29 | 1932,98 | 3,68 |
| 2,09 | 1057,14 | 1080,37 | 2,20 | 1864,29 | 1932,68 | 3,67 |
| 2,32 | 1057,14 | 1083,76 | 2,52 | 1864,29 | 1945,95 | 4,38 |
| 2,56 | 1057,14 | 1084,08 | 2,55 | 1864,29 | 1932,82 | 3,68 |
| 2,79 | 1057,14 | 1084,45 | 2,58 | 1864,29 | 1934,02 | 3,74 |
| 3,02 | 1057,14 | 1076,66 | 1,85 | 1864,29 | 1929,27 | 3,49 |

Biểu đồ tương quan giữa sức chịu tải giới hạn của cọc ứng với độ biến thiên góc ma sát trong theo lý thuyết ĐTC thể hiện như trên Hình 4.4:



Hình 4.4. Tương quan sức chịu tải của cọc và biến thiên góc ma sát trong
 Đồ thị hàm mật độ xác suất và hàm phân phối tích lũy trong trường hợp độ lệch góc ma sát trong là $2,32^0$ được thể hiện trên Hình 4.5:



Hình 4.5. Đồ thị hàm mật độ xác suất và hàm phân phối tích lũy

Kết quả khảo sát đã xây dựng được các hàm tính toán sức chịu tải của cọc ống thép tròn trơn và cọc có 2 cánh xoắn khi xét đến sự biến động ngẫu nhiên góc ma sát trong của nền cát sạn san hô từ: $39,52^0$ đến $53,46^0$.

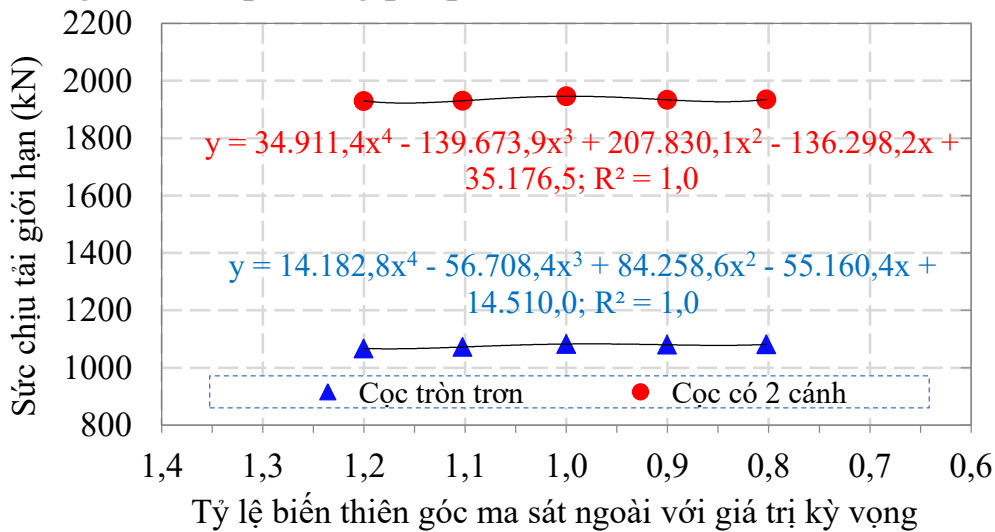
c) Ứng xử của cọc ống thép xét biến động góc ma sát ngoài

Luận án khảo sát sức chịu tải của cọc trong các trường hợp độ lệch của góc ma sát ngoài là: $1,07^0$; $1,23^0$; $1,38^0$; $1,53^0$; $1,69^0$; $1,84^0$ và $1,99^0$. Kết quả tính toán được tổng hợp như sau:

Bảng 4.4. Sức chịu tải giới hạn của cọc ống thép (P_{gh})

| Độ lệch góc ma sát ngoài (độ) | Cọc tròn trơn truyền thống | | | Cọc có 2 cánh xoắn | | |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) |
| 1,07 | 1057,14 | 1084,79 | 2,62 | 1864,29 | 1934,99 | 3,79 |
| 1,23 | 1057,14 | 1081,32 | 2,29 | 1864,29 | 1934,91 | 3,79 |
| 1,38 | 1057,14 | 1080,00 | 2,16 | 1864,29 | 1933,68 | 3,72 |
| 1,53 | 1057,14 | 1082,57 | 2,41 | 1864,29 | 1945,95 | 4,38 |
| 1,69 | 1057,14 | 1072,27 | 1,43 | 1864,29 | 1930,25 | 3,54 |
| 1,84 | 1057,14 | 1067,24 | 0,96 | 1864,29 | 1929,96 | 3,52 |
| 1,99 | 1057,14 | 1064,12 | 0,66 | 1864,29 | 1928,19 | 3,43 |

Biểu đồ tương quan giữa sức chịu tải của cọc ứng với độ biến thiên góc ma sát ngoài theo phương pháp ĐTC được thể hiện trên Hình 4.6



Hình 4.6. Tương quan sức chịu tải của cọc và biến thiên góc ma sát ngoài

Kết quả khảo sát đã xây dựng được các hàm tính toán sức chịu tải của cọc ống thép tròn trơn và cọc có 2 cánh xoắn khi xét đến sự biến động ngẫu nhiên góc ma sát ngoài của nền cát sạn san hô từ $26,06^0$ đến $35,26^0$.

d) Ứng xử của cọc ống thép xét biến động trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà

Khảo sát sức chịu tải của cọc trong các trường hợp độ lệch trọng lượng thể tích của cát sạn san hô ở trạng thái bão hoà gồm: $0,82 \text{ kN/m}^3$; $0,92 \text{ kN/m}^3$; $1,02 \text{ kN/m}^3$; $1,12 \text{ kN/m}^3$ và $1,22 \text{ kN/m}^3$.

Kết quả tính toán sức chịu tải của cọc được tổng hợp trên Bảng 4.5:

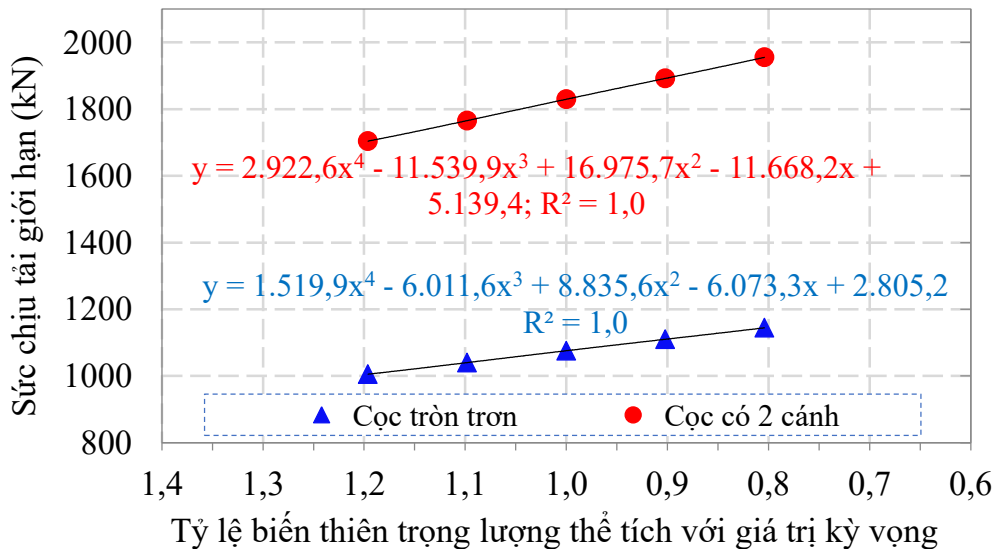
Bảng 4.5. Sức chịu tải giới hạn của cọc ống thép (P_{gh})

| Độ lệch trọng lượng thể tích (kN/m^3) | Cọc tròn trơn truyền thống | | | Cọc có 2 cánh xoắn | | |
|--|----------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) | Phương pháp TTGH (kN) | Phương pháp ĐTC (kN) | Chênh lệch (%) |
| 0,82 | 1057,14 | 1144,53 | 8,27 | 1771,43 | 1955,26 | 10,38 |
| 0,92 | 1057,14 | 1110,15 | 5,01 | 1771,43 | 1891,97 | 6,80 |
| 1,02 | 1057,14 | 1075,82 | 1,77 | 1771,43 | 1829,52 | 3,28 |
| 1,12 | 1057,14 | 1040,24 | -1,60 | 1771,43 | 1765,52 | -0,33 |
| 1,22 | 1057,14 | 1005,48 | -4,89 | 1771,43 | 1704,06 | -3,80 |

Kết quả tính toán sức chịu tải của cọc theo phương pháp độ tin cậy so với phương pháp trạng thái giới hạn cho thấy, độ lệch của trọng lượng thể tích ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của cọc, khi độ lệch là 1,12 và 1,22 thì sức chịu tải của cọc theo phương pháp độ tin cậy nhỏ hơn phương pháp trạng thái giới hạn, còn khi độ lệch là 0,82 và 0,92 thì chênh lệch giữa 2

phương pháp tính toán tăng lên nhanh từ 5,01% đến 10,38%. Do vậy, kiến nghị tính toán với độ lệch trọng lượng thể tích là 1,02.

Tương quan giữa sức chịu tải của cọc ống thép với độ biến thiên trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà theo phương pháp độ tin cậy thể hiện như trên Hình 4.7



Hình 4.7. Tương quan sức chịu tải của cọc và biến thiên trọng lượng thể tích

Kết quả khảo sát xây dựng hàm tương quan tính toán sức chịu tải của cọc ống thép tròn trơn và cọc có 2 cánh xoắn khi xét đến sự biến động hữu hạn tham số ngẫu nhiên trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà của nền cát sạn san hô từ 17,34 đến 23,46 kN/m³.

4.4. Kết luận chương 4

Kết quả nghiên cứu đạt được trong chương 4 của luận án bao gồm các nội dung chính như sau:

- Lập chương trình “PileHLC” nghiên cứu ứng xử của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền cát sạn san hô vùng biển đảo xa bờ thuộc Khánh Hoà. Trong đó, sử dụng lý thuyết tính toán theo trạng thái giới hạn kết hợp phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo để giải lập các bài toán tiền định khi xét đến biến động ngẫu nhiên của tham số nền cát sạn san hô;

- Xây dựng hàm tương quan bậc 4 đánh giá sự làm việc của cọc ống thép tròn trơn và cọc có 02 cánh xoắn khi xét đến sự biến động tham số ngẫu nhiên góc ma sát trong của nền cát sạn san hô từ 39,52⁰ đến 53,46⁰, chênh lệch tính toán so với phương pháp TTGH từ 1,46% đến 4,38%;

- Đánh giá sự làm việc của cọc ống thép tròn trơn và cọc có 02 cánh xoắn khi xây dựng hàm tương quan xét đến sự biến động của tham số ngẫu nhiên góc ma sát ngoài giữa cọc ống thép và nền cát sạn san hô từ 26,06⁰ đến 35,26⁰, chênh lệch so với phương pháp TTGH từ 1,75% đến 4,38%;

- Xây dựng hàm tương quan cho phép đánh giá sự làm việc của cọc

ống thép tròn trơn và cọc có 02 cánh xoắn xét sự biến động trọng lượng thể tích của nền cát sạn san hô ở trạng thái bão hoà từ 17,34 đến 23,46 kN/m³, chênh lệch với phương pháp TTGH từ 0,33% đến 10,38%.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận những đóng góp mới của luận án

1) Tiến hành các thí nghiệm trong phòng và hiện trường nhằm làm sáng tỏ cơ chế hình thành và phát triển sức kháng ma sát giữa cọc ống thép với cát sạn san hô. Các kết quả cho thấy, góc ma sát ngoài giữa cát sạn san hô và bề mặt thép làm cọc trung bình là 30,660, chuyển vị tới hạn của sức kháng ma sát đạt được trung bình là 2,5 mm.

2) Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số của cọc ống thép có cánh xoắn (số lượng cánh xoắn, độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc, khoảng cách cánh xoắn, bước cánh xoắn, đường kính cánh xoắn) và ảnh hưởng sự biến động của các tham số nền cát sạn san hô (góc ma sát trong, góc ma sát ngoài, trọng lượng thể tích) đến sự làm việc của cọc và chuyển vị đầu cọc ống thép. Kết quả nghiên cứu cho thấy sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn tăng từ 1,9 đến 3,9 lần, và giảm chuyển vị đầu cọc từ 2,8 đến 6,3 lần so với cọc ống thép tròn trơn truyền thống.

3) Ứng dụng lý thuyết mô phỏng số Monte - Carlo xây dựng thuật toán, chương trình được gọi là "PileHLC" để tính sức chịu tải của cọc ống thép tròn trơn và cọc ống thép có 02 cánh xoắn trong nền cát sạn san hô khi xét đến đặc trưng ngẫu nhiên của một số tham số nền tính toán.

2. Kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo

1) Cần tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm xác định các tham số mô hình nền đầy đủ để vận dụng vào bài toán cọc ống thép có các cánh xoắn khi xét tới tải trọng động có tính lặp theo thực tế khai thác công trình. Đồng thời, tiến hành thêm nhiều thực nghiệm với các cấp phối khác nhau để kiểm định quy luật phân bố của các tham số nền cát sạn san hô nghiên cứu.

2) Tiếp tục nghiên cứu sự làm việc của cọc ống thép cải tiến bằng các cánh xoắn trong các điều kiện nền san hô khác nhau chịu tác dụng các trường hợp tải trọng phức tạp để tối ưu hóa các tham số của cánh xoắn.

3) Nghiên cứu thực nghiệm cọc ống thép có các cánh xoắn khác nhau theo phương pháp mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm với tỷ lệ nhất định hoặc thí nghiệm hiện trường trên các cọc phù hợp thiết kế và thực tiễn thi công nhằm kiểm chứng kết quả nghiên cứu theo thực nghiệm. Đồng thời đánh giá sự biến động của tham số nền cát sạn san hô sau khi hạ cọc ổn định vào trong nền.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

- [1] Phạm Đức Phong, Nguyễn Hải Hưng, Nguyễn Thanh Sang (2017), *Phân tích tương tác của móng – cọc – nền theo mô hình Gibson tổng quát*, Tạp chí xây dựng Việt Nam, số tháng 7 năm 2017, ISSN 0866-0762.
- [2] Nguyễn Thanh Sang, Trần Nam Hưng, Nguyễn Trường Toán (2018), *Nghiên cứu tương tác cọc đơn và nền chịu tác dụng của tải trọng lặp dọc trục*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 7 năm 2018, ISSN 1859-459X.
- [3] Nguyễn Thanh Sang, Nguyễn Tương Lai, Cao Văn Hòa, Mai Đăng Nhân (2019), *Nghiên cứu thực nghiệm tương tác giữa cọc đơn và nền san hô chịu tác dụng của tải trọng lặp*, Tạp chí Khoa học và kỹ thuật số 204 tháng 12 năm 2019, ISSN 1859-0209.
- [4] Cao Van Hoa, Vu Anh Tuan, Nguyen Thanh Sang, Nguyen Tuong Lai, Pham Duc Tiep (2020), *Effect of Grain Size on Shear Strength of Coral Gravel Sand*, *Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Civil Engineering*, ICSCCE 2020, 26–27, Hanoi, Vietnam, Lecture Notes in Civil Engineering (scopus), ISSN 2366-2557.
- [5] Nguyễn Thanh Sang, Nguyễn Tương Lai, Trần Nam Hưng, Nguyễn Quốc Văn, *Nghiên cứu ứng xử của cọc đơn trong nền bão hòa nước chịu tác dụng của tải trọng lặp dọc trục theo phương pháp phần tử hữu hạn*, Tạp chí Người xây dựng số 3&4 năm 2021, ISSN 0866-8531.
- [6] Nguyễn Tương Lai, Nguyễn Thanh Sang, Phạm Đức Tiệp, Hoàng Quốc Long (2022), *Ảnh hưởng các tham số cánh xoắn đến sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền san hô chịu tải trọng dọc trục*, Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 11 năm 2022, ISSN 2354-0818.
- [7] Nguyễn Thanh Sang, Nguyễn Tương Lai, Hoàng Quốc Long, Phạm Đức Tiệp (2023), *Nghiên cứu ứng xử của cọc ống thép chịu tải dọc trục sử dụng các mô hình nền khác nhau*, Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 01 năm 2023, ISSN 2354-0818.
- [8] Nguyen Thanh Sang, Nguyen Tuong Lai, Pham Duc Tiep (2023), *Experimental study of interface shear characteristics between calcareous soil and steel, application to estimate axial bearing capacity of steel pile*, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng - Viện Khoa học công nghệ xây dựng, số 01 năm 2023, ISSN 1859-1566.
- [9] Nguyễn Thanh Sang (2023), *Nghiên cứu đề xuất các tham số cánh xoắn của cọc vít làm việc trong nền san hô bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, Báo cáo tại Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ tại Học viện Kỹ thuật quân sự tháng 3 năm 2023.