

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

HỨA THÀNH THÂN

NGHIÊN CỨU SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỤC CỦA CỌC
CÓ XÉT ĐẾN HIỆN TƯỢNG HÓA LỎNG
CỦA NỀN CÁT KHI CÓ ĐỘNG ĐẤT
Ở THÀNH PHỐ QUY NHƠN

NGÀNH: ĐỊA KỸ THUẬT XÂY DỰNG
MÃ SỐ: 9 58 02 11

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - NĂM 2025

Đề tài được hoàn thành tại

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

Người hướng dẫn khoa học:

1. TS. NGUYỄN NGỌC PHÚC

2. GS.TS. TRẦN THỊ THANH

Phản biện 1: PGS.TS. TÔ VĂN LẬM

Phản biện 2: PGS.TS. NGUYỄN ĐỨC MẠNH

Phản biện 3: PGS.TS. ĐỖ HỮU ĐẠO

Luận án sẽ được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá Luận án Tiến sĩ cấp Viện.
Họp tại Viện Khoa Học Thủy Lợi Miền Nam, số 658 Võ Văn Kiệt,
Phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh.

Vào hồi giờ, ngày tháng năm 2025.

Có thể tìm hiểu Luận án tại:

- Thư viện QUỐC GIA VIỆT NAM
- Thư viện VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM
- Thư viện VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hóa lỏng của đất nền là sự kết hợp hiện tượng sóng với sự bão hòa cổ kết của đất do động đất làm hư hỏng đến kết cấu nền móng của công trình nhà cao tầng. Gần đây, các dư chấn do động đất gây ra đã xuất hiện nhiều hơn ở Việt Nam nói chung và khu vực các tỉnh miền Trung Việt Nam, trong đó, khu vực Thành phố (TP) Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai thuộc khu vực miền Trung nằm trong vùng động đất cấp $6.5 \div 7.0$, nơi tập trung mật độ xây dựng nhà cao tầng, cầu đường ngày càng nhiều, thể hiện ở cả số lượng, chất lượng, quy mô và tầm quan trọng của công trình. Hiện nay, hệ thống móng cọc của công trình nhà cao tầng tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai được hạ xuyên qua các lớp đất nền cát chưa có xét đến khả năng hóa lỏng khi động đất. Chính vì lý do đó, việc nghiên cứu sự thay đổi một số thông số bền của nền đất cát khu vực TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai theo các lộ trình ứng suất nén - kéo chịu tải trọng lặp trên thiết bị ba trục gia tải lặp chu kỳ để tìm được thông số bền động đánh giá sự suy giảm sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét đến khả năng hóa lỏng khi động đất là nhu cầu cấp thiết và có ý nghĩa thực tiễn. Từ các phân tích trên, mục tiêu chính của luận án là nghiên cứu sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét đến khả năng hóa lỏng khi động đất là một vấn đề cần thiết, có ý nghĩa khoa học, góp phần xem xét đầy đủ hơn về phương pháp tính toán móng cọc của công trình tại Việt Nam.

2. Mục tiêu

- Xác định các tính chất cơ học của nền cát khi chịu tải động gồm: chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn và chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư, quy luật biến đổi về chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn, chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư với số vòng lặp chu kỳ n theo các lộ trình ứng suất (CTC, CTC-RTE, RTE) tương ứng với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz.

- Nghiên cứu đề xuất các thông số bền phù hợp (chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn và chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư) bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp tương ứng với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz để tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc đặc BTCT có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai.

3. Nội dung nghiên cứu của luận án

- Nghiên cứu tổng quan về sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất.

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về một số thông số bền động (chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn, chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư) của nền cát có xét khả năng hóa lỏng khi động đất.

- Từ kết quả thu được về chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn, chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp theo các lộ trình ứng suất (CTC, CTC-RTE, RTE) với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz cho nền cát ở khu vực TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai. Từ đó, thiết lập được chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn và chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư tương ứng với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz theo số vòng chu kỳ n.

- Áp dụng tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho tính toán công trình thực tế theo kết quả thí nghiệm ba trục gia tải lặp chu kỳ, công thức lý thuyết và mô phỏng bằng phần mềm Geostudio 2018.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: Xác định chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư của cát trạng thái chặt vừa, để tính toán thiết kế sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho công trình thực tế ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai.

- Phạm vi nghiên cứu: (1). Là đất cát trạng thái chặt vừa, phân bố phổ biến ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai nằm ở độ sâu từ 0 đến 10 m bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp chu kỳ. (2). Luận án tập trung vào nghiên cứu các đặc trưng độ bền động như chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư và chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn của nền cát từ thí nghiệm ba trục gia

tải lặp chu kỳ tương ứng với tần số $f = 1 \text{ Hz}$ và tần số $f = 2 \text{ Hz}$, các thông số này có ảnh hưởng lớn đến sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho thiết kế công trình ở khu vực TP. Quy Nhơn.

5. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp thống kê: có tính kế thừa tài liệu về các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc trong nền đất cát có xét khả năng hóa lỏng khi động đất trong và ngoài nước. Thống kê, phân tích kết quả thí nghiệm đất, đặc điểm địa chất khu vực, tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho một số công trình đã xây dựng tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai.

- Phương pháp thực nghiệm: hiện trường và trong phòng (thực hiện thí nghiệm trong phòng bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp chu kỳ Tritech 100).

- Phương pháp mô phỏng số: Geostudio 2018, so sánh kết quả tính toán với kết quả tính toán lý thuyết cho 02 công trình dân dụng thực tế.

6. Những điểm mới của luận án

- Nghiên cứu thông số bền của đất cát ở khu vực TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai có xét hiện tượng hóa lỏng của đất nền bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp.

- Thiết lập tương quan giữa chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR với chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u .

- Đề xuất sử dụng công thức tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục thân cọc theo đất nền có một số cải tiến (có tính đến chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u) cho nền đất cát ở khu vực TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai có xét đến khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

- Kết quả nghiên cứu của luận án góp phần bổ sung vào phương pháp luận nghiên cứu nền cát trong khu vực nghiên cứu, bước đầu làm sáng tỏ quy luật về sự thay đổi các đặc trưng cơ lý của nền cát phổ biến ở

TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai theo các lộ trình ứng suất CTC, CTC-RTE, RTE cho thiết kế sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất.

- Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và luận chứng để định hướng cho công tác khảo sát, thiết kế sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc trên nền cát phổ biến ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai. Kết quả nghiên cứu của luận án cũng dùng để tham khảo trong công tác thiết kế sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho các khu vực có điều kiện đất nền tương tự.

8. Cấu trúc của luận án

Lời cam đoan - Lời cảm ơn.

Danh mục các bảng biểu, hình vẽ, ký hiệu.

Cấu trúc của luận án gồm các nội dung sau:

Phần mở đầu

Chương 1. Tổng quan về sức chịu tải dọc trục của cọc có xét hiện tượng hóa lỏng của nền cát khi có động đất

Chương 2. Cơ sở lý thuyết về sức chịu tải dọc trục của cọc có xét hiện tượng hóa lỏng của nền cát khi có động đất

Chương 3. Nghiên cứu chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn, chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thặng dư bằng thí nghiệm ba trục gia tải lặp theo các lộ trình ứng suất

Chương 4. Sức chịu tải dọc trục của cọc có xét hiện tượng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho công trình thực tế ở Thành phố Quy Nhơn

Kết luận và kiến nghị

Danh mục tài liệu tham khảo

Danh mục các công trình công bố của tác giả

Phần phụ lục

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ SỨC CHỊU TẢI ĐỘC TRỰC CỦA CỌC CỎ XÉT HIỆN TƯỢNG HÓA LỎNG CỦA NỀN CÁT KHI CỎ ĐỘNG ĐẤT

1.1. Khái quát về hiện tượng hóa lỏng đất nền khi động đất

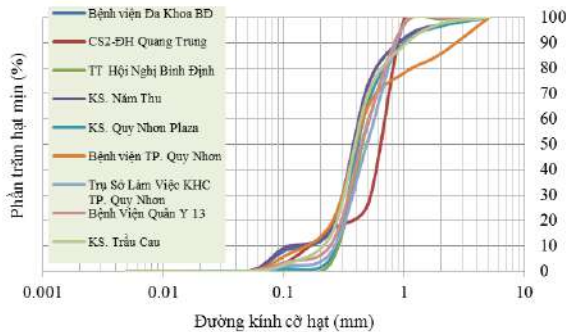
1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

1.4. Nghiên cứu đặc điểm nền đất cát khu vực miền trung

1.4.1. Khái quát về đặc điểm địa chất khu vực miền trung

1.4.2. Đặc điểm địa hình, địa chất khu vực Quy Nhơn Gia Lai



Hình 1. Đường cong phân bố cỡ hạt của địa chất điển hình khu vực ven biển TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai

1.5. Nhận xét chương 1

- Đường cong phân bố cỡ hạt cho nền cát ở khu vực nghiên cứu tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai nằm trong đường ranh giới đường cong đất hóa lỏng của Tsuchida (1970) [27]. Đây là cơ sở để đánh giá sơ bộ nền cát ở khu vực nghiên cứu tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai có xét khả năng hóa lỏng khi có động đất.

- Xem xét tương quan của nền đất cát có xét khả năng hóa lỏng như trạng thái dịch chuyển của nền đất cát nhằm đánh giá biến dạng cắt γ (%) của đất theo sự thay đổi của chỉ số N_{60} , giá trị của biến dạng cắt γ (%) tăng thì giá trị của N_{60} giảm theo Boulanger và nnk (2006), sử dụng hệ số kháng thân β khi tính sức kháng thân của cọc và hệ số

kháng mũi N_t khi tính sức kháng mũi của cọc theo Fellenius và nnk (2008), dựa vào kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn N_{spt} và thí nghiệm cắt trực tiếp trong phòng ($c, \phi, \gamma_w, \dots$) theo Muhunthan và nnk (2017), ... nên còn nhiều hạn chế.

Từ việc nghiên cứu tổng quan trên, nhiệm vụ đặt ra cho luận án như sau:

- Nghiên cứu thiết lập bảng gia tốc nền theo thời gian tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz.
- Từ kết quả thí nghiệm hiện trường, thí nghiệm trong phòng và thí nghiệm ba trục gia tải lập, thiết lập tương quan giữa CSR, r_u theo số vòng lặp chu kỳ n , thiết lập tương quan giữa CSR, r_u theo chỉ số N_{60} , quan hệ giữa góc ma sát trong ϕ và góc ma sát trong có khả năng hóa lỏng ϕ' theo số vòng lặp chu kỳ n tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz.
- Xác định sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi động đất theo các công thức lý thuyết và phương pháp số Geostudio 2018 tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz.
- Đề xuất và kiểm tra chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u theo chỉ số N_{60} tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz nhằm tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát khi có động đất cho khu vực ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai.

Chương 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỤC CỦA CỌC CÓ XÉT HIỆN TƯỢNG HÓA LỎNG CỦA NỀN CÁT KHI CÓ ĐỘNG ĐẤT

2.1. Giới thiệu chung

2.2. Xây dựng bảng gia tốc nền chịu động đất từ phổ phản ứng điều hòa

2.3. Các mô hình đất nền trong phần mềm Geostudio 2018

2.4. Ứng dụng tính toán cho địa tầng khu vực nghiên cứu

2.5. Hệ số kháng hóa lỏng của nền cát được tính theo kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn SPT

2.6. Nghiên cứu các phương pháp xác định sức chịu tải dọc trục của cọc cho nền đất loại cát có xét khả năng hóa lỏng

2.6.1. Sức chịu tải dọc trục của cọc cho nền đất loại cát có xét khả năng hóa lỏng theo Boulanger và nnk

2.6.2. Sức chịu tải dọc trục của cọc cho nền đất loại cát có xét khả năng hóa lỏng theo Fellenius và nnk (2008)

2.6.3. Sức chịu tải dọc trục của cọc cho nền đất loại cát có xét khả năng hóa lỏng theo Muhunthan và nnk. (2017)

2.6.4. Sức chịu tải dọc trục của cọc cho nền đất loại cát có xét khả năng hóa lỏng (đề xuất)

2.7. Chỉ số độ tin cậy β_T

2.8. Nhận xét chương 2

- Xây dựng bảng gia tốc nền chịu động đất từ phổ phản ứng điều hòa theo lý thuyết và bảng gia tốc điều hòa bằng phần mềm Geostudio cho nền đất cát của khu vực địa chất điển hình tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz.

- Phương pháp tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét ảnh hưởng hóa lỏng như phương pháp Boulanger và nnk (2004), phương pháp Fellenius và nnk (2008), phương pháp Muhunthan và nnk (2017), ... còn nhiều hạn chế là chúng phải nhân thêm cho các hệ số có giá trị khá lớn, các phương pháp này cũng có xét đến sự suy giảm đến cường độ sức kháng trung bình trên thân của cọc, tuy nhiên chưa nói rõ được sự suy giảm sức kháng thân của cọc là do thay đổi biến dạng hệ số rỗng e_v hay thay đổi giá trị của chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u .

- Nghiên cứu sự thay đổi các thông số bên động như chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u , chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR, ... cho các lộ trình ứng suất khi nén (CTC), khi kéo (RTE) hay vừa nén vừa kéo (CTC-RTE) theo thời gian hoặc chu kỳ bằng thí nghiệm ba trục gia tải

lập cho mẫu đất cát nhằm thiết lập một số tương quan về thông số bền động (CSR, r_u , ...) tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz, phục vụ tính toán sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng cho nền đất cát điển hình ở TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai sẽ là nội dung chính được trình bày ở Chương 3.

Chương 3

NGHIÊN CỨU CHỈ SỐ ỨNG SUẤT CẮT TUẦN HOÀN, CHỈ SỐ ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỒNG THẠNG DƯ BẰNG THÍ NGHIỆM BA TRỤC GIA TẢI LẬP THEO CÁC LỘ TRÌNH ỨNG SUẤT

3.1. Mục đích, cơ sở lý thuyết và thiết bị về thí nghiệm ba trục gia tải lập

3.1.1. Mục đích về thí nghiệm ba trục gia tải lập

3.1.2. Lộ trình ứng suất trong thí nghiệm ba trục gia tải lập

Lộ trình ứng suất CTC; CTC-RTE và RTE

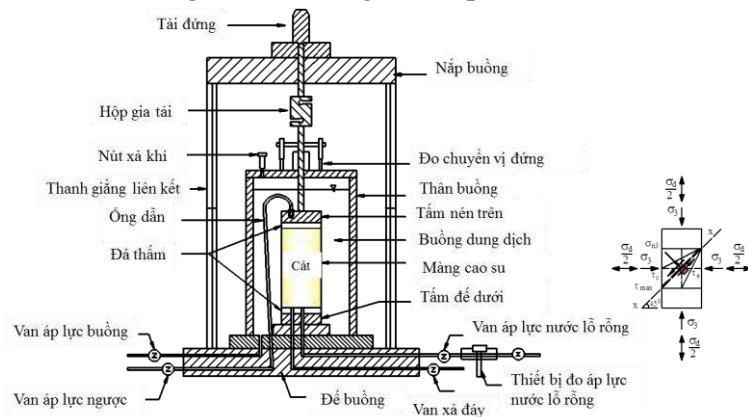
3.1.3. Điều kiện ứng suất của thí nghiệm ba trục gia tải lập cho mẫu đất cát bão hòa

3.1.4. Xác định khoảng biên độ ứng suất thí nghiệm (σ_d)

3.1.5. Tần số dao động tự nhiên cho nền đất cát nghiên cứu

3.1.6. Chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR'

3.1.7. Thiết bị thí nghiệm ba trục gia tải lập



Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị thí nghiệm ba trục gia tải lập Trittech 100

3.2. Thực hiện thí nghiệm

3.2.1. Thí nghiệm theo lộ trình ứng suất CTC, CTC-RTE, RTE

3.2.2. Đặc trưng cơ lý địa chất khu vực nghiên cứu

3.2.3. Mẫu thí nghiệm

3.2.4. Thông số để thí nghiệm ba trục gia tải lặp không thoát nước

3.2.5. Xử lý số liệu thí nghiệm

3.3. Kết quả thí nghiệm

Bảng 3.1. Kết quả thí nghiệm ba trục gia tải lặp không thoát nước

Tổ mẫu	Mẫu	D_r (sau cc)	Tần số (Hz)	Chế độ rung	Biên độ rung (kPa)	Tỷ số ứng suất (CSR')	Biên độ biến dạng (%)	r_u (max)	Trạng thái
1-2m	C1	0.101	1	CTC	7.5	0.286	3.27	100.00	Hóa lỏng hoàn toàn
1-2m	C2	0.343	1	CTC	10	0.150	0.22	3.30	Không
1-2m	C3	0.385	1	CTC-RTE	14	0.212	0.11	4.85	Không
1-2m	C3-1	0.363	1	CTC-RTE	18	0.274	0.17	10.03	Không
1-2m	C3-3	0.488	2	CTC-RTE	30	0.455	0.28	10.91	Không
1-2m	C5	0.298	2	RTE	20	0.556	4.44	70.00	Phá hủy
2-4m	CC1	0.172	2	CTC-RTE	12.5	0.164	1.58	100.00	Hóa lỏng
2-4m	CC1-1	0.174	1	CTC-RTE	12.5	0.165	3.62	100.00	Hóa lỏng hoàn toàn
2-4m	CC2	0.373	2	CTC-RTE	25	0.391	4.15	100.00	Hóa lỏng
2-4m	CC2-2	0.357	1	CTC-RTE	25	0.380	5.84	99.09	Hóa lỏng
2-4m	CC3	0.316	2	RTE	7.5	0.341	1.97	100.00	Hóa lỏng
2-4m	CC3-3	0.255	1	RTE	7.5	0.338	4.37	100.00	Hóa lỏng
2-4m	CC4	0.298	2	CTC-RTE	15	0.417	1.80	100.00	Hóa lỏng hoàn toàn
2-4m	CC4-4	0.251	1	CTC-RTE	15	0.444	3.25	100.00	Hóa lỏng
4-6m	CS1	0.226	1	CTC-RTE	8	0.308	0.08	16.92	Không
4-6m	CS2	0.218	1	CTC-RTE	15	0.577	2.42	100.00	Hóa lỏng
4-6m	CS2-1	0.216	2	CTC-RTE	15	0.536	2.07	100.00	Hóa lỏng
4-6m	CS3	0.251	1	CTC-RTE	8	0.250	1.97	83.75	Phá hủy

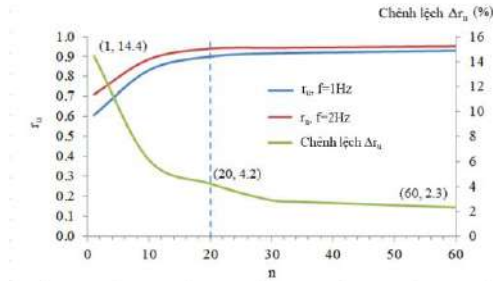
4-6m	CS5	0.353	5	CTC-RTE	14	0.206	0.09	5.29	Không
4-6m	CS7	0.178	2	CTC-RTE	30	0.441	0.14	27.06	Không

3.3.1. Quan hệ giữa thông số của cát với số vòng lặp n cho các mẫu hóa lỏng

3.3.2. Tương quan giữa CSR_{gh} , r_u với số vòng lặp chu kỳ n cho các mẫu cát hóa lỏng

3.3.3. Đường bao ứng suất CSR_{gh} theo số vòng lặp chu kỳ n

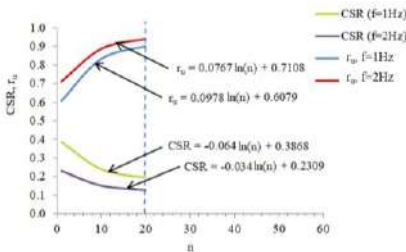
3.3.4. Tương quan giữa r_u theo số vòng lặp chu kỳ n



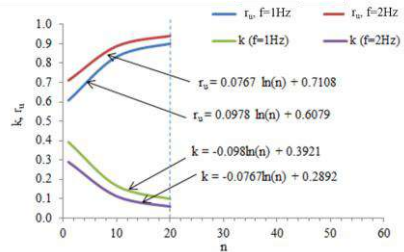
Hình 3.2. Quan hệ giữa r_u , chênh lệch Δr_u và n

3.3.5. Tương quan giữa r_u và CSR cho tần số khác nhau (Hình 3.3)

3.3.6. Tương quan giữa k , r_u theo số vòng lặp chu kỳ n (Hình 3.4)



Hình 3.3. Quan hệ giữa CSR , r_u và n



Hình 3.4. Quan hệ giữa k , r_u , và n

3.4. Nhận xét chương 3

- Xây dựng được đường bao ứng suất CSR_{gh} theo số vòng lặp chu kỳ n tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz.
- Chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR giảm khi số vòng lặp chu kỳ n tăng (n từ 1 vòng đến 20 vòng), thiết lập mối tương quan giữa CSR với

số vòng lặp chu kỳ n như sau: $CSR = -0.064\ln(n) + 0.3868$ cho tần số $f = 1$ Hz, $CSR = -0.034\ln(n) + 0.2309$ cho tần số $f = 2$ Hz.

- Chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u tăng khi số vòng lặp chu kỳ n tăng ($n = 1$ vòng đến 20 vòng), thiết lập được tương quan giữa r_u với n :
 $r_u = 0.0978\ln(n) + 0.6079$ cho tần số $f = 1$ Hz,
 $r_u = 0.0767\ln(n) + 0.7108$ cho tần số $f = 2$ Hz. Cụ thể, khi $n = 1$ vòng thì giá trị của $r_u = 0.60$ tương ứng với tần số 1 Hz và giá trị của $r_u = 0.71$ tương ứng với tần số 2 Hz, khi $n = 20$ vòng thì giá trị của $r_u = 0.90$ tương ứng với tần số 1 Hz và giá trị của $r_u = 0.94$ tương ứng với tần số 2 Hz.

- Với số vòng lặp chu kỳ n từ 1 vòng đến 20 vòng, quan hệ giữa chỉ số r_u và chỉ số CSR là phi tuyến, giá trị của CSR giảm dần khi giá trị của r_u tăng tương ứng với tần số khác nhau, thiết lập được tương quan giữa r_u với CSR: $r_u = -0.8660CSR + 0.8702$ tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, $r_u = -2.255CSR + 1.2316$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

- Với số vòng lặp chu kỳ n từ 1 vòng đến 20 vòng, giá trị của hệ số suy thoái k càng nhỏ khi số vòng lặp chu kỳ n càng lớn tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và tần số $f = 2$ Hz, ở đây k là $\text{tg}\varphi'/\text{tg}\varphi$, với $k = -0.098\ln(n) + 0.3921$ tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và $k = -0.0767\ln(n) + 0.2892$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz. Dựa theo kết quả này có thể bổ sung dự đoán góc nội ma sát suy giảm khi xảy ra hóa lỏng và so sánh với TCVN 10304:2014.

Chương 4

SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỰC CỦA CỌC CÓ XÉT HIỆN TƯỢNG HÓA LỎNG CỦA NỀN CÁT KHI CÓ ĐỘNG ĐẤT CHO CÔNG TRÌNH THỰC TẾ Ở THÀNH PHỐ QUY NHƠN

4.1. Nội dung tính toán sức chịu tải dọc trực của cọc có xét khả năng hóa lỏng

- Tính sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng theo phương pháp Boulanger và nnk (2004), Fellenius và nnk (2008), Muhunthan và nnk (2017), PP4, Geostudio 2018 và TVCN 10304:2014 cho 02 công trình tại TP. Quy Nhơn, tỉnh Gia Lai (công trình Khách Sạn Năm Thu và công trình Bệnh Viện Đa Khoa).

- Sử dụng bộ số liệu từ kết quả thí nghiệm ba trục gia tải lặp chu kỳ tương ứng với tần số $f = 1 \text{ Hz}$, $f = 2 \text{ Hz}$ để mô phỏng tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng cho đất cát bằng phần mềm Geostudio 2018.

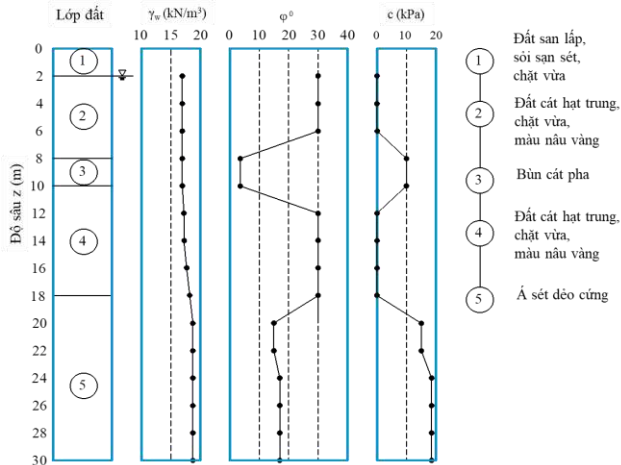
4.2. Ứng dụng tính toán cho công trình Khách Sạn Năm Thu

4.2.1. Giới thiệu

4.2.2. Địa chất công trình

4.2.3. Kết quả thí nghiệm thử tải PDA

Tiến hành thí nghiệm thử tải PDA cọc theo ASTM D4945 cho cọc CTN2-T7 của công trình 10 tầng trên, cọc CTN2-T7 là dạng cọc BTCT có đường kính D600, Mac 300, với cọc CTN2-T7 chiều dài cọc $l_p = 24 \text{ m}$, mũi cọc ở độ sâu nằm trong tầng đất á sét. Tải trọng thiết kế $Q_a = 1400 \text{ kN}$, sức chịu tải giới hạn $Q_{d,PDA} = 2650 \text{ kN}$, sức kháng thân của cọc $R_{TN,s} = 1920 \text{ kN}$, sức kháng mũi của cọc $R_{TN,t} = 730 \text{ kN}$, mực nước ngầm sâu $2.0 \text{ m} \div 3.0 \text{ m}$. Kết quả thí nghiệm theo Hình 4.1.



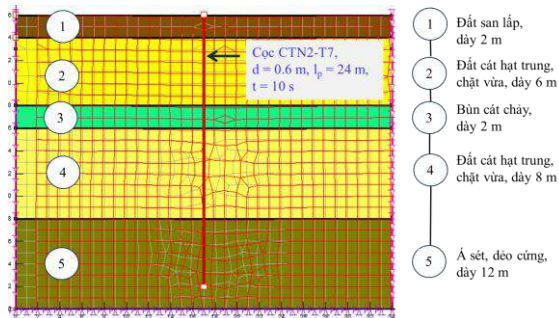
Hình 4.1. Chỉ tiêu cơ lý của công trình Khách Sạn Năm Thu

4.2.4. Mô phỏng và kết quả bằng phần mềm Geostudio 2018

4.2.4.1. Lựa chọn mô hình bài toán

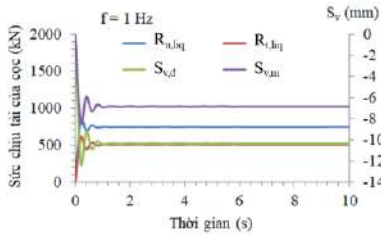
Bảng 4.1. Chỉ tiêu cơ lý và cọc của công trình Khách Sạn Năm Thu

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Đất san lấp	Lớp 2 Cát thô vừa	Lớp 3 Bùn cát hữu cơ	Lớp 4 Cát thô vừa	Lớp 5 Á Sét	Cọc
Mô hình vật liệu	Model	-	Linear Elastic	Equivalent Linear	Linear Elastic	Equivalent Linear	Linear Elastic	Linear Elastic
Ứng xử của vật liệu	Type	-	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Non - porous
Độ sâu	z	m	0 ÷ 2	2 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 18	18 ÷ 30	-
Dung trọng	γ_w	kN/m ³	17.2	17.3	17.2	17.6	19.6	24
Góc ma sát trong	φ	Độ (°)	32.94	30	4	30	14.5	
Lực dính đơn vị	c	kN/m ²	-	0	10	0	19	
Hệ số Poisson	ν	-	0.2	0.3	0.35	0.3	0.35	0.1
Chỉ số nén	ξ	-	0.2	0.24	0.25	0.23	0.22	
Hệ số mô hình (Seed, 1976b)	α	-	0.7	0.72	0.7	0.72	0.7	
Mô đun trượt đàn hồi	G_{max}	kN/m ²	10000	50000	11000	55000	27400	

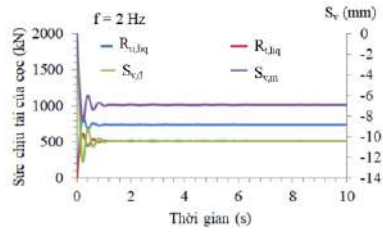


Hình 4.2. Mô phỏng số của công trình sau khi hoàn thành thi công cọc

4.2.4.2. Kết quả áp dụng phần mềm tính toán



Hình 4.3. Quan hệ SCT của cọc, chuyển vị đứng của cọc với thời gian cho tần số $f = 1$ Hz



Hình 4.4. Quan hệ SCT của cọc, chuyển vị đứng của cọc với thời gian cho tần số $f = 2$ Hz

Nhận xét về kết quả áp dụng phần mềm Geostudio 2018

- Sử dụng mô hình đàn hồi tuyến tính (LE), mô hình tuyến tính tương đương (EL) trong phần mô phỏng bằng phần mềm Geostudio để giải bài toán trên. Kết quả là chọn mô hình tuyến tính tương đương (mô hình EL).

- Kết quả, SCT $R_{u,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 714.1 kN và sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 506.4 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, SCT $R_{u,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 706.7 kN và sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 510.5 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz. Độ chênh lệch suy giảm là 41.70 % cho SCT $R_{u,liq}$ của cọc và 30.64 % cho sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, tương tự độ chênh lệch suy giảm là 42.23 % cho SCT $R_{u,liq}$ của cọc và 30.07 % cho sức kháng mũi $R_{t,liq}$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

4.2.5. Xây dựng tương quan và đánh giá kết quả cho cọc khoan nhồi

4.2.5.1. Đánh giá hệ số kháng hóa lỏng FS_{liq} theo độ sâu z

4.2.5.2. Chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR với N_{60}

4.2.5.3. Chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u với N_{60}

4.2.5.4. Sức chịu tải cực hạn dọc trục $Q_{u,liq}$ của cọc theo các phương pháp

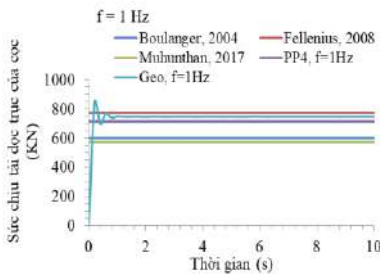
Bảng 4.2. Sức chịu tải cực hạn của cọc và hệ số kháng của cọc

Phương pháp	Sức kháng thân		Sức kháng mũi		Sức chịu tải cực hạn	
	$R_{s,liq}$ (kN)	k_s	$R_{t,liq}$ (kN)	k_t	$R_{u,liq}$ (kN)	k_u
Boulangier và nnk (2004)	115.8	0.06	483.3	0.66	599.1	0.23
Fellenius và nnk (2008)	110.0	0.06	663.1	0.91	773.1	0.29
Muhunthan và nnk (2017)	67.4	0.04	486.3	0.67	553.7	0.21
PP4, $f = 1$ Hz	45.5	0.03	634.1	0.87	679.6	0.26
PP4, $f = 2$ Hz	36.4	0.02	634.1	0.87	670.5	0.25
Geostudio, $f = 1$ Hz	207.7	0.11	506.4	0.69	714.1	0.28
Geostudio, $f = 2$ Hz	196.2	0.10	510.5	0.70	706.7	0.28
PDA	1921.0	1.00	729.0	1.00	2650.0	1.00
TCVN 10304:2014	151.0	0.08	634.1	0.87	785.1	0.30

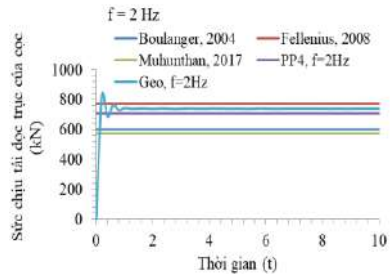
Bảng 4.3. Sức chịu tải cực hạn của cọc và độ suy giảm của cọc

Phương pháp	Sức kháng thân		Sức chịu tải cực hạn	
	$R_{s,liq}$ (kN)	$\Delta R_{s,liq,4-5}$ (%)	$R_{u,liq}$ (kN)	$\Delta R_{u,liq,4-5}$ (%)
PP4, $f = 1$ Hz	45.5	69.80	679.6	13.40
PP4, $f = 2$ Hz	36.5	75.70	670.6	14.60
TCVN 10304:2014	151.0	-	785.1	-

4.2.5.5. Sức chịu tải cực hạn dọc trục $Q_{u,liq}$ của cọc theo thời gian



Hình 4.5. Quan hệ giữa sức chịu tải dọc trục của cọc với thời gian cho tần số $f = 1$ Hz



Hình 4.6. Quan hệ giữa sức chịu tải dọc trục của cọc với thời gian cho tần số $f = 2$ Hz

4.2.5.6. Đánh giá chỉ số độ tin cậy β_T

Theo phương pháp PP4 đề xuất, giá trị của $\beta_T = 2.533$ cho tần số $f = 1$ Hz nhỏ hơn giá trị của $\beta_T = 2.535$ cho tần số $f = 2$ Hz.

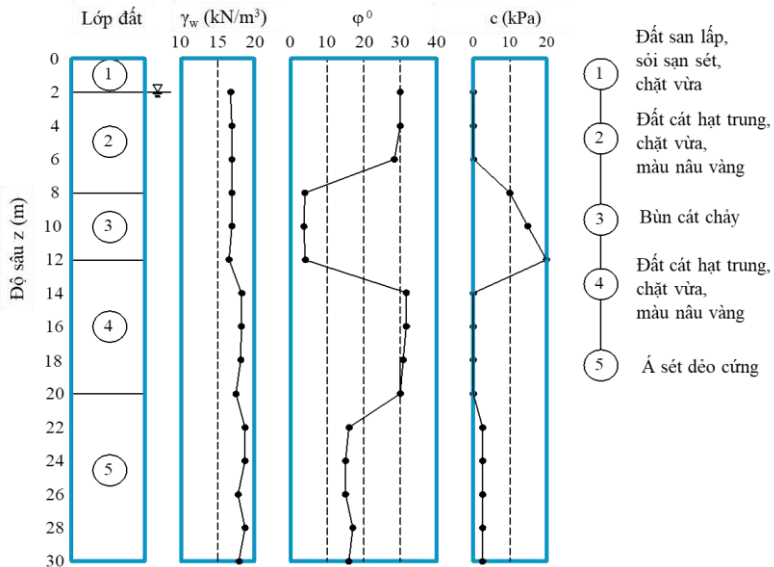
4.3. Ứng dụng tính toán cho công trình Bệnh Viện Đa Khoa tỉnh Bình Định

4.3.1. Thông tin công trình

4.3.2. Địa chất công trình

4.3.3. Kết quả thí nghiệm thử tải tĩnh cho cọc ép khoan dẫn

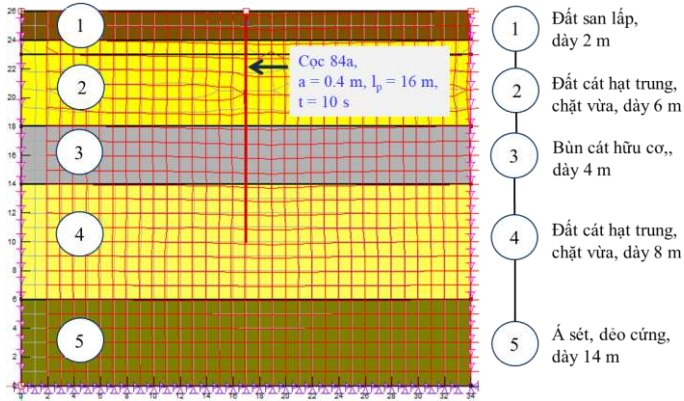
Tiến hành thí nghiệm thử tải tĩnh cọc theo TCVN 269:2002 tại Công trình Bệnh viện Đa Khoa tỉnh Bình Định, hạng mục Nhà Điều Trị 9 Tầng. Cọc vuông bê tông có cạnh 400 mm, Mác 300 có $E = 28.5 \cdot 10^6$ kN/m², chiều dài cọc $l_p = 16$ m, đường kính lỗ khoan là 350 mm (cọc 84a). Thời gian nén tĩnh cọc là 28/02/2011 ÷ 03/03/2011 (05 ngày). Tải trọng thiết kế của cọc $Q_a = 800$ (kN), tải trọng thí nghiệm nén tĩnh của cọc $Q_{d,NT} = 2000$ kN, sức kháng thân của cọc $R_{s,NT} = 1002$ kN, sức kháng mũi của cọc $R_{t,NT} = 998$ kN, hệ số an toàn là 2.5.



Hình 4.7. Chỉ tiêu cơ lý của công trình Bệnh viện Đa Khoa

4.3.4. Mô phỏng và kết quả bằng phần mềm Geostudio 2018

4.3.4.1. Lựa chọn mô hình bài toán



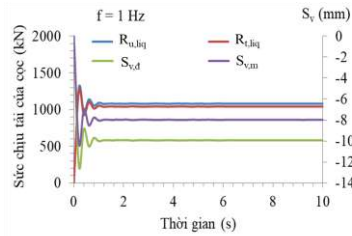
Hình 4.8. Mô phỏng số của công trình sau khi hoàn thành thi công cọc

Bảng 4.4. Chỉ tiêu cơ lý và cọc của công trình Bệnh viện Đa Khoa tỉnh Bình

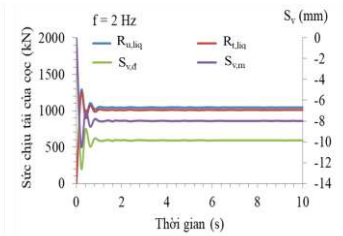
Định, hạng mục Nhà Điều Trị 9 tầng

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Đất san lấp	Lớp 2 Cát thô vừa	Lớp 3 Bùn cát hữu cơ	Lớp 4 Cát thô vừa	Lớp 5 Á Sét dẻo cứng	Cọc
			Linear Elastic	Equivalent Linear	Linear Elastic	Equivalent Linear	Linear Elastic	Linear Elastic
Ứng xử của vật liệu	Type	-	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Non - porous
Độ sâu	z	m	0 ÷ 2	2 ÷ 8	8 ÷ 12	12 ÷ 20	20 ÷ 34	-
Dung trọng	γ_w	kN/m ³	17.2	17.4	16.8	17.3	18.6	24
Góc ma sát trong	φ	Độ (°)	32.94	30	5.4	32	17.4	
Lực dính đơn vị	c	kPa	-	0	12	0	5	
Hệ số Poisson	ν	-	0.2	0.3	0.35	0.3	0.35	0.1
Chỉ số cản	ξ	-	0.2	0.24	0.25	0.23	0.22	
Hệ số (Seed, 1976b)	α	-	0.7	0.72	0.7	0.72	0.7	
Mô đun trượt đàn hồi	$G_{\max}$	kPa	-	50000	11000	55000	27400	

4.3.4.2. Kết quả áp dụng phần mềm tính toán



Hình 4.9. Quan hệ lực dọc của cọc, chuyển vị đứng của cọc với thời gian cho tần số $f = 1$ Hz



Hình 4.10. Quan hệ lực dọc của cọc, chuyển vị đứng của cọc với thời gian cho tần số $f = 2$ Hz

Nhận xét về kết quả áp dụng phần mềm Geostudio 2018

- Sử dụng mô hình đàn hồi tuyến tính (LE), mô hình tuyến tính tương đương (EL) trong phần mô phỏng bằng phần mềm Geostudio để giải bài toán trên. Kết quả là chọn mô hình tuyến tính tương đương (mô hình EL).

- Kết quả, SCT $R_{u,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 947.42 kN và sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 834.43 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, SCT $R_{u,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 898.14 kN và sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc mô phỏng có xét động đất theo mô hình EL là 898.14 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz. Độ chênh lệch suy giảm là 52.63 % cho SCT $R_{u,liq}$ của cọc và 16.39 % cho sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, tương tự độ chênh lệch suy giảm là 55.09 % cho SCT $R_{u,liq}$ của cọc và 18.91 % cho sức kháng mũi $R_{t,liq}$ của cọc tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

4.3.5. Kết quả tính toán và thiết lập tương quan

4.3.5.1. Đánh giá hệ số kháng hóa lỏng FS_{liq} theo độ sâu

4.3.5.2. Chỉ số ứng suất cắt tuần hoàn CSR với N_{60}

4.3.5.3. Chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thặng dư r_u với N_{60}

4.3.5.4. Sức chịu tải cực hạn dọc trục $Q_{u,liq}$ của cọc

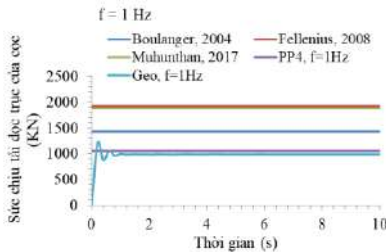
Bảng 4.5. Sức chịu tải cực hạn của cọc và hệ số kháng của cọc

Phương pháp	Sức kháng thân		Sức kháng mũi		Sức chịu tải cực hạn	
	$R_{s,liq}$ (kN)	k_s	$R_{t,liq}$ (kN)	k_t	$R_{u,liq}$ (kN)	k_u
Boulanger và nnk (2004)	50.9	0.05	1379.9	1.38	1430.8	0.72
Fellenius và nnk (2008)	57.9	0.06	1862.8	1.87	1920.7	0.96
Muhunthan và nnk (2017)	38.7	0.04	1838.4	1.84	1877.1	0.94
PP4, $f = 1$ Hz	24.4	0.02	1028.1	1.03	1052.5	0.53
PP4, $f = 2$ Hz	11.6	0.01	1028.1	1.03	1039.7	0.52
Geostudio 2018, $f = 1$ Hz	113.0	0.11	834.4	0.84	947.4	0.47
Geostudio 2018, $f = 2$ Hz	88.9	0.09	809.3	0.81	898.1	0.45
Nén tĩnh	1002.0	1.00	998.0	1.00	2000.0	1.00
TCVN 10304:2014	55.8	0.06	1028.1	1.03	1083.9	0.54

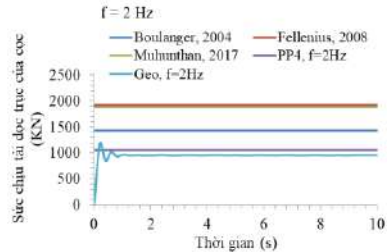
Bảng 4.6. Sức chịu tải cực hạn của cọc và độ suy giảm của cọc

Phương pháp	Sức kháng thân		Sức chịu tải cực hạn	
	$R_{s,liq}$ (kN)	$\Delta R_{s,liq,4-5}$ (%)	$R_{u,liq}$ (kN)	$\Delta R_{u,liq,4-5}$ (%)
PP4, $f = 1$ Hz	24.4	56.27	1054.8	2.68
PP4, $f = 2$ Hz	11.6	79.21	1039.7	4.07
TCVN 10304:2014	55.8	-	1083.9	-

4.3.5.5. Sức chịu tải cực hạn dọc trục $Q_{u,liq}$ của cọc theo thời gian



Hình 4.11. Quan hệ lực dọc trục của cọc, sức chịu tải dọc trục của cọc với thời gian cho tần số $f = 1$ Hz



Hình 4.12. Quan hệ lực dọc trục của cọc, sức chịu tải dọc trục của cọc với thời gian cho tần số $f = 2$ Hz

4.3.5.6. Đánh giá chỉ số độ tin cậy β_T

Theo PP4, giá trị của $\beta_T = 1.704$ tương ứng với tần số $f = 1$ Hz nhỏ hơn giá trị của $\beta_T = 1.707$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

4.4. Nhận xét chương 4

- Chỉ số CSR tăng và chỉ số r_u giảm phi tuyến khi chỉ số N_{60} tăng cho lớp đất cát hạt trung có độ chặt vừa.
- Từ kết quả phân tích cho thấy, tính toán sức chịu tải nén dọc trục cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát từ các phương pháp của Boulanger và nnk (2004), Fellenius và nnk (2008), Muhunthan và nnk (2017), Geostudio 2018 và phương pháp đề xuất của tác giả là tương đồng với nhau, nhưng có chênh lệch so với phương pháp tính theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10304:2014.
- Sự suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc khác nhau với nhiều lý do như tỷ lệ giữa chiều dày lớp cát hóa lỏng ($l_{p,liq}$) và chiều dài cọc (l_p); cấp động đất M_w ; chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dự (r_u); một số hệ số kháng cho thân cọc và mũi cọc được tính theo phương pháp Boulanger và nnk (2004), phương pháp Fellenius và nnk (2008) và phương pháp 4. Cụ thể, đối với công trình Khách Sạn Năm Thu, tỷ số giữa chiều dày lớp cát hóa lỏng ($l_{p,liq} = 14$ m) và chiều dài cọc ($l_p = 24$ m) là 58.3 % và độ suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc là 74 % tương ứng với tần số 1 Hz và 75 % tương ứng với tần số 2 Hz theo phương pháp 4 với trường hợp mũi cọc cắm vào lớp đất sét. Đối với công trình Bệnh Viện Đa Khoa Tỉnh Bình Định, tỷ số giữa chiều dày lớp cát hóa lỏng ($l_{p,liq} = 10$ m) và chiều dài cọc ($l_p = 16$ m) là 62.5 % và độ suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc là 47 % tương ứng với tần số 1 Hz và 48 % tương ứng với tần số 2 Hz theo phương pháp 4 với trường hợp mũi cọc cắm vào lớp đất cát.
- Độ suy giảm $\Delta R_{s,liq,4-5}$ của thân cọc là 56.27 % ÷ 69.80 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 75.70 % ÷ 79.21 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.
- Độ suy giảm $\Delta R_{u,liq,4-5}$ của cọc là 13.40 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 14.60 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz đối với mũi cọc cắm vào

lớp á sét, còn độ suy giảm $\Delta R_{u,liq,4-5}$ của cọc là 2.68 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 4.07 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz đối với mũi cọc cắm vào lớp cát.

- Bảng gia tốc nền tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và $f = 2$ Hz trong khoảng thời gian dao động $t = 10$ s của phần mềm Geostudio 2018, kết quả về lực dọc đầu cọc thay đổi từ thời gian t từ 0 s đến 2.14 s và sau thời gian t từ 2.14 s đến 10 s thì SCT của cọc không thay đổi, đồng thời SCT lớn nhất của cọc tại thời điểm $t = 0.2$ s, trong khi đó gia tốc đỉnh tại thời điểm 2.14 s. Cụ thể, công trình khách sạn Năm Thu thì thời điểm $t = 0.2$ s có giá trị của SCT lớn nhất của cọc là 840.9 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 831.4 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz, khoảng thời gian t từ 2.14 s đến 10 s có giá trị của SCT nhỏ nhất của cọc là 714.1 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 706.7 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz, còn công trình Bệnh viện Đa Khoa thì thời điểm $t = 0.214$ s có giá trị của SCT lớn nhất của cọc là 1046.4 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 1014.9 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz, khoảng thời gian t từ 2.14 s đến 10 s có giá trị của SCT nhỏ nhất của cọc là 947.4 kN tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 898.1 kN tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

- Giá trị của chỉ số độ tin cậy β_T xấp xỉ bằng nhau theo PP4 tương ứng với tần số $f = 1$ Hz, phương pháp Boulanger và nnk (2004), phương pháp Fellenius và nnk (2008) và phương pháp Muhunthan và nnk (2017), còn giá trị của chỉ số độ tin cậy β_T là nhỏ nhất theo phương pháp Geostudio 2018 tương ứng với tần số $f = 1$ Hz.

- Theo PP4 đề xuất, giá trị của chỉ số độ tin cậy β_T là 2.533 tương ứng với $f = 1$ Hz và 2.534 tương ứng với $f = 2$ Hz cho công trình khách sạn Năm Thu và giá trị của chỉ số độ tin cậy $\beta_T = 1.704$ tương ứng với tần số $f = 1$ Hz nhỏ hơn giá trị của chỉ số độ tin cậy $\beta_T = 1.707$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz cho công trình Bệnh viện Đa Khoa, các giá trị của chỉ số độ tin cậy β_T đều thuộc $(0.5 \div 3.5)$.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

1. Sử dụng mô hình Kanai (1957), NCS đã thiết lập được bảng gia tốc nền nhân tạo theo thời gian $T = 10$ s tương ứng với đặc điểm địa chất khu vực nghiên cứu để làm cơ sở xác lập các thông số động lực học phục vụ cho thí nghiệm và mô phỏng tính toán. Cụ thể, kết quả thu được biên độ tần số dao động thích hợp là $f = 1 \text{ Hz} \div 2 \text{ Hz}$ tương ứng với thời gian $T = 10$ s.

2. Từ kết quả của thí nghiệm ba trục gia tải lặp theo các lộ trình ứng suất (CTC, CTC-RTE, RTE) thiết lập được các thông số bền động đặc trưng hóa lòng với số vòng lặp chu kỳ n cho tần số $f = 1 \text{ Hz}$ và tần số $f = 2 \text{ Hz}$:

$CSR = -0.064\ln(n) + 0.3868$ cho $f = 1 \text{ Hz}$; $CSR = -0.034\ln(n) + 0.2309$ cho $f = 2 \text{ Hz}$

$r_u = 0.0978\ln(n) + 0.6079$ cho $f = 1 \text{ Hz}$; $r_u = 0.0767\ln(n) + 0.7108$ cho $f = 2 \text{ Hz}$

- Quan hệ giữa chỉ số r_u và chỉ số CSR là phi tuyến, giá trị của CSR giảm khi giá trị của r_u tăng cho tần số $f = 1 \text{ Hz}$ và $f = 2 \text{ Hz}$,:
 $r_u = -0.8660CSR + 0.8702$ cho tần số $f = 1 \text{ Hz}$, $r_u = -2.255CSR + 1.1616$ cho tần số $f = 2 \text{ Hz}$.

- Với số vòng lặp chu kỳ n từ 1 vòng đến 20 vòng, giá trị của hệ số suy thoái k càng nhỏ khi số vòng lặp chu kỳ n càng lớn tương ứng với tần số $f = 1 \text{ Hz}$ và tần số $f = 2 \text{ Hz}$ với k là tỷ số $\text{tg}\phi'/\text{tg}\phi$, thiết lập được mối quan hệ như sau: $k = -0.098\ln(n) + 0.3921$ tương ứng với tần số $f = 1 \text{ Hz}$, $k = -0.0767\ln(n) + 0.2892$ tương ứng với tần số $f = 2 \text{ Hz}$. Dựa theo kết quả này có thể bổ sung dự đoán góc nội ma sát suy giảm khi xảy ra hóa lỏng và so sánh với TCVN 10304:2014.

3. Kết quả thu được từ việc áp dụng tính toán cho hai công trình

- Kết quả tính toán sức chịu tải nén dọc trục cọc có xét khả năng hóa lỏng của nền cát từ các phương pháp của Boulanger và nnk (2004),

Fellenius và nnk (2008), Muhunthan và nnk (2017), Geostudio 2018 và phương pháp đề xuất của tác giả là tương đồng với nhau, nhưng có chênh lệch so với phương pháp tính theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10304:2014.

- Sự suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc phụ thuộc vào tỷ số giữa chiều dày lớp cát hóa lỏng ($l_{p,liq}$) và chiều dài cọc (l_p) hoặc mũi cọc cắm vào lớp đất cát hay đất sét. Sự suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc càng lớn khi mũi cọc cắm vào lớp đất sét và ngược lại sự suy giảm giữa sức kháng cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng và sức kháng cực hạn của cọc càng nhỏ khi mũi cọc cắm vào lớp đất cát tương ứng với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz.

- Độ suy giảm sức kháng thân $\Delta R_{s,liq,4-5}$ của cọc lớn, cụ thể độ suy giảm $\Delta R_{s,liq,4-5}$ của cọc là 56.27 % ÷ 69.80 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 75.70 % ÷ 79.21 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz.

- Độ suy giảm sức chịu tải $\Delta R_{u,liq,4-5}$ của cọc là 13.40 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 14.60 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz đối với mũi cọc cắm vào lớp á sét, còn độ suy giảm sức chịu tải $\Delta R_{u,liq,4-5}$ của cọc là 2.68 % tương ứng với tần số $f = 1$ Hz và 4.07 % tương ứng với tần số $f = 2$ Hz đối với mũi cọc cắm vào lớp cát.

- Giá trị của chỉ số r_u tương ứng với tần số $f = 1$ Hz nhỏ hơn giá trị của chỉ số r_u tương ứng với tần số $f = 2$ Hz cho các lớp đất cát có xét khả năng hóa lỏng nên giá trị của $R_{u,liq}$ tương ứng với tần số $f = 1$ Hz lớn hơn giá trị của $R_{u,liq}$ tương ứng với tần số $f = 2$ Hz theo PP4.

- Đề xuất công thức tính sức kháng thân $R_{s,liq}$ của cọc theo đất nền có cải tiến (có tính đến chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thặng dư r_u) cho nền đất cát khu vực Quy Nhơn Gia Lai có xét đến hiện tượng hóa lỏng của nền cát khi có động đất ($M_w = 6.5$) tương ứng với tần số 1 Hz và tần số 2 Hz.

2. Kiến nghị

- Xác định chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u với tần số f khác nhau cho đất cát theo độ sâu, từ đó thiết lập các hàm số tính toán tương quan giữa chỉ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư r_u với chỉ số N_{60} có xét đến hàm lượng hạt mịn FC (%) của nền cát có xét khả năng hóa lỏng. Ngoài ra còn phải nghiên cứu thêm cho trường hợp nền đất sét, sét pha.
- Nghiên cứu sức chịu tải cực hạn dọc trục của cọc có xét khả năng hóa lỏng cho nền cát tương ứng với tần số dao động f thay đổi cho từng lớp đất cát mà cọc hạ xuyên qua.
- Nghiên cứu sức chịu tải cực hạn dọc trục của nhóm cọc có xét khả năng hóa lỏng cho nền cát tương ứng với tần số dao động f thay đổi cho từng lớp đất cát mà cọc hạ xuyên qua, khi chịu đồng thời tải dọc trục và tải ngang của nhóm cọc.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Nguyễn Văn Công (2017), *Phân tích khả năng hóa lỏng trong nền cát cho ổn định nền công trình khu vực ven biển tỉnh Bình Định*, Tạp chí Địa Kỹ Thuật, Viện Địa Kỹ Thuật, ISSN: 0868-279X, số 3, trang 51-60.
2. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Phạm Thị Lan (2018), *Đánh giá hiện tượng hóa lỏng trong cát bão hòa nước theo kết quả xuyên tĩnh côn và xuyên tiêu chuẩn*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 2 - 2018, trang 55-60.
3. Hứa Thành Thân, Nguyễn Văn Công, Phạm Thị Lan (2018), *Đánh giá tiềm năng hóa lỏng trong nền cát từ kết quả xuyên tiêu chuẩn theo thời gian*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 11 - 2018, trang 146-152.
4. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Trần Thị Thanh (2019), *Phân tích sức chịu tải của cọc trong nền cát khu vực ven biển tỉnh Bình Định có xét hóa lỏng do động đất*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 5 - 2019, trang 161-165.
5. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Trần Thị Thanh, Nguyễn Văn Công (2020), *Phân tích sức chịu tải của cọc đơn theo thời gian trong nền cát tỉnh Bình Định có xét hóa lỏng do động đất*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 2 - 2020, trang 16-20.
6. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc (2020), *Hiệu quả của đất bão hòa trong nền cát hóa lỏng cho khu vực ven biển của thành phố Quy Nhơn tỉnh Bình Định*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 5 - 2020, trang 39-45.
7. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Trần Thị Thanh (2020), *Hệ số độ tin cậy cho phương pháp đề xuất về sức chịu tải của cọc đơn trong nền cát tỉnh Bình Định có xét hóa lỏng do động đất*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 0866-8762, số 7 - 2020, trang 30-35.

8. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Trần Thị Thanh, Nguyễn Văn Công (2022), *Ảnh hưởng áp lực nước lỗ rỗng thặng dư của đất nền đến sức chịu tải dọc trục cực hạn của cọc có xét khả năng hóa lỏng khu vực Quy Nhơn Bình Định*, Tạp chí Xây Dựng, Bộ Xây Dựng, ISSN: 2734-9888, số 4 - 2022, trang 82-87.
9. Thanh-Than Hua, Ngoc-Phuc Nguyen, Thi-Thanh Tran (2018), *Effection of liquefaction by earthquake due to pore water pressure in sand*, Numerical Analysis in Geotechnics - NAG2018, Ho Chi Minh City, Vietnam.
10. Ngoc-Phuc Nguyen, Thi-Thanh Tran, Thanh-Than Hua (2018), *Analysis the unit resistance along pile by using logical equations and PDA testing results*, 15th Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast ASIA, GEOSEA 2018, Ha Noi, Vietnam, pp. 468-471.
11. Hua Thanh Than, Nguyen Ngoc Phuc, Tran Thi Thanh (2019), *Effect of excess pore water pressure in saturated sandy soil for evaluating liquefaction poterntial during earthquake duration*, 5th International Conference, Science Engineering and Environment, SEE BANGKOK 2019, ThaiLand, ISBN: 978-4-909106032 C3051, pp. 497-505.
12. Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc, Nguyễn Văn Công (2020), *Thiết lập tương quan giữa các thông số bền động với chỉ số SPT trong nền đất loại cát cho khu vực TP. Quy Nhơn tỉnh Bình Định có xét đến hiện tượng hóa lỏng*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường - Trường Đại Học Quảng Trung, Mã số CS/19/21.