

# Phân tích ứng dụng và so sánh độ cứng lò xo cọc theo mô hình Column Support và Soil Support

## Application analysis and comparison of pile spring hardness according to Column Support and Soil Support models

Nguyễn Tấn Thanh<sup>1,\*</sup> và Trương Hoàng Phiếu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn Nền móng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây;

<sup>2</sup>Bộ môn Cơ học ứng dụng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây;

\*Tác giả liên hệ: nguyenthanh@mtu.edu.vn

■ Nhận bài: 27/11/2024 ■ Sửa bài: 04/02/2025 ■ Duyệt đăng: 27/05/2025

### TÓM TẮT

Theo phương pháp tính toán kết cấu tổng thể công trình ngầm là tính toán có kể đến sự tương tác giữa đất nền và các bộ phận của kết cấu công trình ngầm. Trong bài báo này một ví dụ cụ thể về sự tương tác giữa móng cọc đài thấp với độ cứng lò xo cọc đã được nêu ra. Việc tính toán độ cứng lò xo tập trung và phân bố ảnh hưởng đến nội lực của đài cọc. Mô phỏng độ cứng lò xo cọc theo mô hình Column Support và Soil Support được tiến hành bằng phần mềm Safe. Kết quả nghiên cứu cho thấy cùng điều kiện địa chất như nhau, mô hình hóa các cọc thành các hệ gối lò xo đàn hồi phân bố chênh lệch nội lực trong đài càng tăng, khoảng dao động lớn nhất là  $(0,20 \div 1,12\%)$ . Dựa vào kết quả này, khi thiết kế kết cấu công trình ngầm chọn lựa mô hình tính phù hợp.

**Từ khóa:** Column Support, Soil Support, Độ cứng lò xo, Lò xo cọc, Mô hình Winkler

### ABSTRACT

According to the method of calculating the overall structure of underground works, the calculation takes into account the interaction between the ground and the components of the underground structure. In this paper, a specific example of the interaction between the low pile cap foundation and the pile spring stiffness has been presented. The calculation of the concentrated and distributed spring stiffness affects the internal force of the pile cap. Simulation of the pile spring stiffness according to the Column Support and Soil Support models was conducted using Safe software. The research results show that under the same geological conditions, modeling the piles into elastic spring bearing systems increases the distribution of the internal force difference in the cap, the largest fluctuation range is  $(0.20 \div 1.12\%)$ . Based on this result, when designing the underground structure, choose the appropriate calculation model.

**Keywords:** Column Support, Soil Support, Spring hardness, Pile spring, Winkler model

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

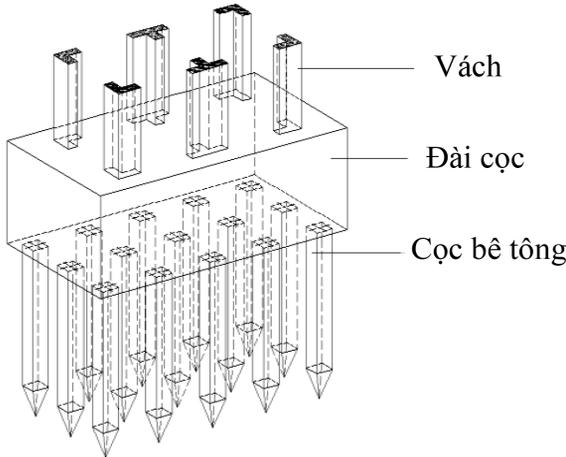
Trong những năm gần đây, công cụ tính toán đã phát triển rất mạnh và việc giải quyết bài toán tương tác móng – nền hoặc tổng thể kết cấu bên trên – móng – nền thuận lợi hơn rất nhiều. Chúng ta không phải cố gắng theo hướng tìm lời giải tích mà dùng phương pháp số đã phát triển. Móng và nền được mô tả bằng những phần tử trong hệ tổng thể, sẽ được phân tích nội lực, biến dạng của móng và hệ kết cấu bên trên, dưới những biến dạng của nền [4-9].

Tuy nhiên, vấn đề đặt ra cần có sự đánh giá hợp lý độ cứng của lò xo tập trung và phân bố từ đó giải quyết bài toán móng cọc đài thấp. Để giải quyết vấn đề trên, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu “Phân tích ứng dụng và so sánh độ cứng lò xo cọc theo mô hình Column Support và Soil Support” với mục đích áp dụng độ cứng lò xo tập trung và độ cứng lò xo phân bố để tính toán một công trình thực tế. Từ đó chọn sơ đồ tính nào phù hợp hơn về tính tiện dụng.

## 2. MÔ HÌNH ĐÀI CỌC VÀ CÔNG THỨC TÍNH TOÁN ĐỘ CỨNG CỦA LÒ XO CỌC

### 2.1. Các giả thuyết ban đầu

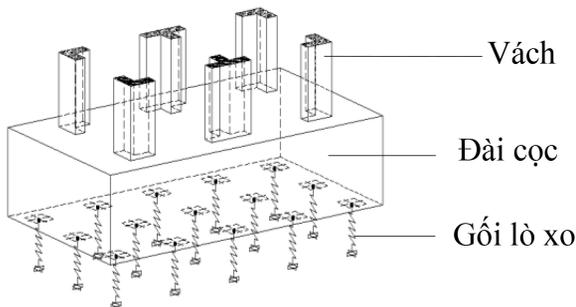
- Bỏ qua ma sát giữa đất và đài móng.
- Bỏ qua trọng lượng đất trên đài móng.
- Cọc chỉ chuyển vị theo phương thẳng đứng.
- Độ cứng của lò xo được xác định theo kết quả thí nghiệm tại hiện trường.



Hình 1. Mô hình tổng quát đài cọc dưới vách thang máy

### 2.2. Mô hình đài cọc Column Support

Mô hình hóa các cọc thành các gối đàn hồi tập trung tại trọng tâm tiết diện cọc, cho cọc chuyển vị theo phương đứng (phương z), ngăn cản cọc chuyển vị theo phương ngang (phương x, y). Gán các liên kết ngăn cản chuyển vị ngang của các cọc theo hai phương tại đầu cọc.



Hình 2. Mô hình hóa các cọc thành các gối lò xo đàn hồi tập trung

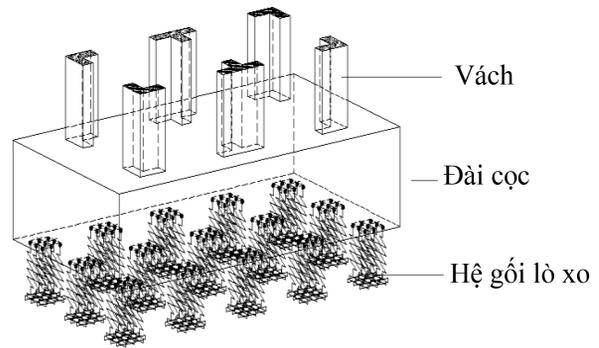
Đặc trưng độ cứng của lò xo được chọn là tại những vị trí cọc thay thế bằng lò xo tập trung đặt tại trọng tâm tiết diện cọc: [10, 11]

$$C_z = \frac{P}{S} \quad (1)$$

$C_z$ : Độ cứng của lò xo tập trung, (kN/m); P: tải trọng thiết kế của cọc, (kN); S: độ lún của cọc, được xác định từ kết quả thí nghiệm cọc tại hiện trường, (m).

### 2.3. Mô hình đài cọc Soil Support

Mô hình hóa các cọc thành các gối đàn hồi phân bố trong phạm vi tiết diện cọc, cho cọc chuyển vị theo phương đứng (phương z), ngăn cản cọc chuyển vị theo phương ngang (phương x, y). Gán các liên kết ngăn cản chuyển vị ngang của các cọc theo hai phương tại đầu cọc.



Hình 3. Mô hình hóa các cọc thành các hệ gối lò xo đàn hồi phân bố

Đặc trưng độ cứng của hệ gối lò xo được chọn là tại vị trí cọc thay thế bằng hệ gối lò xo phân bố trong phạm vi tiết diện cọc:

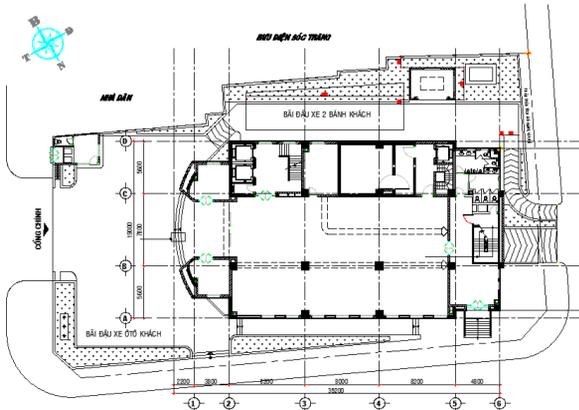
$$C_z = \frac{P}{S \times A} \quad (2)$$

$C_z$ : Độ cứng của hệ gối lò xo (kN/m<sup>3</sup>); P: tải trọng thiết kế của cọc (kN); S: độ lún của cọc, được xác định từ kết quả thí nghiệm cọc tại hiện trường (m); A: diện tích mặt cắt ngang của cọc (m<sup>2</sup>).

## 3. MÔ PHỎNG ĐÀI CỌC BẰNG PHẦN MỀM SAFE

Công trình được tác giả chọn để mô phỏng là công trình Trụ sở làm việc Chi nhánh Ngân hàng Ngoại Thương Sóc Trăng được xây dựng tại phường 3, thành phố Sóc Trăng, tỉnh Sóc Trăng. Tòa nhà có công năng làm khu giao dịch, văn phòng làm việc khu vực đậu xe nội bộ và các kho chuyên dụng (kho tiền, kho lưu trữ hồ sơ), số tầng: 09 tầng cao (01 tầng hầm, 01 tầng trệt, 8 lầu, 1 lầu kỹ thuật). Hệ thống móng công trình được sử dụng bằng cọc bê

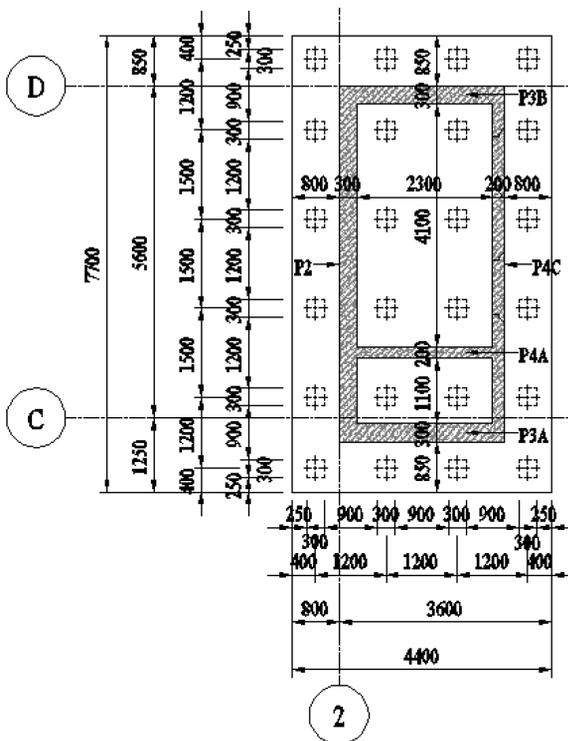
tông cốt thép đúc sẵn tiết diện 300x300, chiều dài cọc 33m. Chiều sâu đáy móng so với mặt đất tự nhiên là 3,3m.



**Hình 4.** Mặt bằng tổng thể công trình Trụ sở làm việc Chi nhánh Ngân hàng Ngoại Thương

**3.1. Tải trọng tác dụng lên móng**

Khảo sát một đài cọc bê tông cốt thép với mặt bằng (Hình 5). Đài cọc dày 1500 mm; Tải trọng tại chân vách được thể hiện (Bảng 1).



**Hình 5.** Mặt bằng đài cọc M3

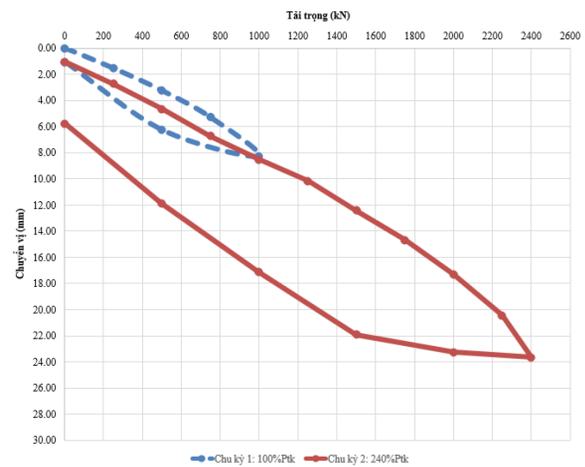
**Bảng 1:** Tải trọng tác dụng tại chân vách

Tên vách	$N_{max}^{tt}$ (kN)	$Q_y^{tt}$ (kN)	$Q_x^{tt}$ (kN)	$M_y^{tt}$ (kN.m)	$M_x^{tt}$ (kN.m)
P3B	4841,77	276,45	54,92	32,24	780,94
P3A	5698,52	466,63	249,50	201,22	656,58
P2	7836,65	175,54	580,07	4291,10	99,97

**3.2. Kết quả thí nghiệm cọc bằng tải trọng tĩnh nén dọc trục**

**3.2.1. Xác định sức chịu tải giới hạn**

Sức chịu tải giới hạn của cọc thí nghiệm được xác định bằng phương pháp đồ thị dựa trên đường cong quan hệ tải trọng – chuyển vị [12-14]

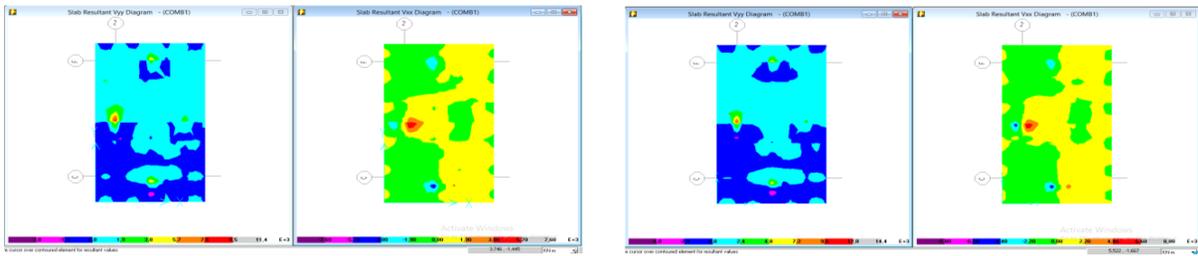


**Hình 6.** Biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị

Bảng 2: Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm cọc thử số 20, công trình Trụ sở làm việc Chi nhánh Ngân hàng Ngoại Thương Sóc Trăng [14, 15].

Chu kỳ thí nghiệm	Tải thí nghiệm (kN)	% Tải trọng thiết kế (%)	Thời gian giữ tải (phút)	Chuyển vị đầu cọc (mm)
Gia tải trước	50	5	10	
	00	0	10	0,00
Chu kỳ 1	250	25	120	1,54
	500	50	120	3,24
	750	75	120	5,28
	1000	100	360	8,28
	500	50	30	6,24
	00	0	120	1,04
Chu kỳ 2	250	25	30	2,71
	500	50	30	4,64
	750	75	30	6,73
	1000	100	120	8,50
	1250	125	120	10,15
	1500	150	360	12,41
	1750	175	120	14,67

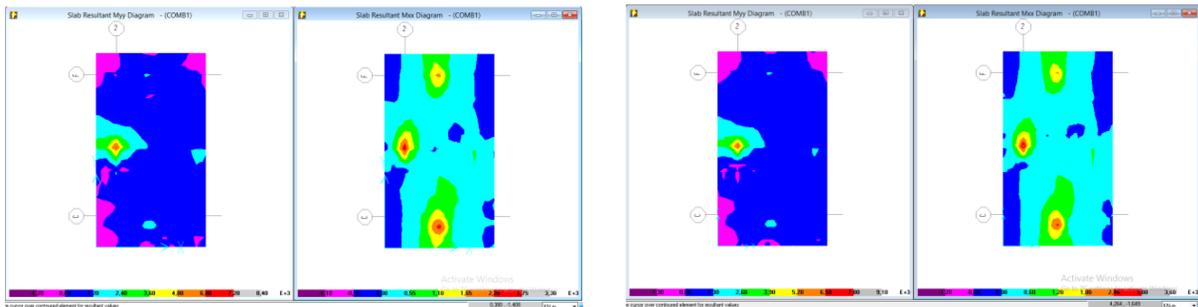




(a) Column support

(b) Soil support

**Hình 9.** Moment uốn trong đài móng trường hợp cọc ép



(c) Column support

(d) Soil support

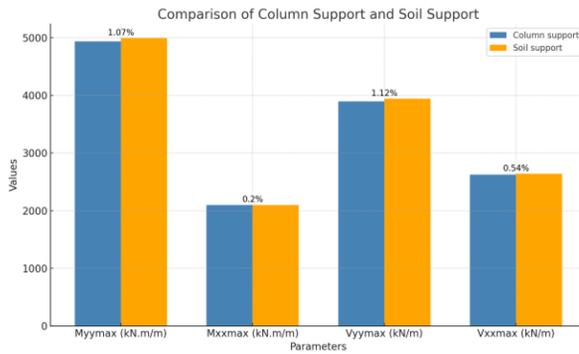
**Hình 10.** Lực cắt trong đài móng trường hợp cọc ép

**Bảng 3:** So sánh kết quả tính toán nội lực lớn nhất trong đài móng theo mô hình Column support và Soil support trường hợp cọc ép

TT	Mô hình	$M_{yy\max}$ (kN.m/m)	$M_{xx\max}$ (kN.m/m)	$V_{yy\max}$ (kN/m)	$V_{xx\max}$ (kN/m)
1	Column support	4937,24	2094,77	3896,75	2624,57
2	Soil support	4990,07	2099,03	3940,62	2638,88
3	Sai số	1,07%	0,20%	1,12%	0,54%

**Bảng 4:** Phân tích ứng dụng mô hình column support và soil support trường hợp cọc ép [1-3]

TT	Nội dung	Mô hình Column support	Mô hình Soil support
1	Chia lưới	Chia nhỏ đài móng, tạo các nút tại các cọc. Do đó, sẽ tạo ra rất nhiều phần tử nút Edit menu  > Divide shell	Chia ảo, khoảng cách chia ảo bằng 1,0 m. Vẫn giữ nguyên các Shell spring lớn Assign menu > Shell > Auto mesh option
2	Độ cứng lò xo cọc	Chia nút và gán độ cứng lò xo tại nút cọc  Assign menu > Joint > Spring	Chọn các Shell tại vị trí là các cọc gán độ cứng lò xo  Assign menu > Shell > Area spring
3	Mức độ hiệu quả	Tốn nhiều thời gian để nhập cho từng nút tại vị trí cọc, khó hiệu chỉnh mỗi khi đã chia thật phần tử nút	Dựng mô hình tính nhanh, dễ dàng hiệu chỉnh mô hình tính khi thay đổi phương án thiết kế cọc



Hình 11. Biểu đồ so sánh kết quả

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. So sánh nội lực

Dựa vào Bảng 3 thể hiện so sánh nội lực trong đài móng khi tính toán theo hai mô hình Column support và Soil support đối với trường hợp cọc ép. Cùng điều kiện địa chất như nhau, mô hình hóa các cọc thành các hệ gối lò xo đàn hồi phân bố chênh lệch nội lực trong đài tăng, khoảng dao động lớn nhất là  $(0,20 \div 1,12\%)$ . Tuy nhiên sử dụng mô hình soil support thì tiện lợi hơn nhiều, do đó nên được sử dụng trong thực tế khi tính toán móng cọc ép.

**Nhận xét:** Sai số giữa hai mô hình nhỏ (dao động từ 0,2% đến 1,12%), cho thấy kết quả tính toán nội lực theo hai phương pháp là tương đối tương đồng và đáng tin cậy.

### 4.2. Phân tích ứng dụng mô hình

Dựa vào Bảng 4 phân tích ứng dụng hai mô hình: chia lưới Column support phải chia nhỏ đài móng tại từng vị trí cọc, dẫn đến nhiều phần tử nút, tốn công chỉnh sửa. Soil support chia lưới đều với khoảng cách 1,0 m, giữ nguyên các Shell lớn, đơn giản hơn. Độ cứng lò xo cọc Column support: gán độ cứng tại từng nút vị trí cọc → phức tạp. Soil support: gán trực tiếp cho các Shell tại vị trí cọc → thuận tiện hơn. Mức độ hiệu quả Column support: tốn thời gian nhập số liệu, khó hiệu chỉnh khi thay đổi thiết kế. Soil support: dựng mô hình nhanh, dễ điều chỉnh khi thay đổi phương án.

### 4.3. Thảo luận

Độ chính xác: Cả hai mô hình cho kết

quả nội lực gần tương đương, chênh lệch nhỏ < 2%. Do đó, về mặt kỹ thuật, mô hình Soil support có thể thay thế Column support trong tính toán nội lực đài cọc ép. Minh chứng lựa chọn phương pháp xác định và xem xét các yếu tố ảnh hưởng đảm bảo tính chính xác cho mô hình [10]

Hiệu quả tính toán: Mô hình Column support phù hợp khi cần nghiên cứu chi tiết ứng xử tại từng cọc, nhưng tốn nhiều thời gian dựng mô hình. Mô hình Soil support có ưu thế về tốc độ, tính linh hoạt khi thay đổi thiết kế (số lượng, vị trí, hoặc độ cứng cọc) [3]. Điều này đặc biệt quan trọng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ hoặc khi cần phân tích nhiều phương án

## 5. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu “Phân tích ứng dụng và so sánh độ cứng lò xo cọc theo mô hình Column Support và Soil Support”, nhóm tác giả đưa ra các kết luận sau:

- Cùng một điều kiện địa chất như nhau, mô hình hóa các cọc thành các hệ gối lò xo đàn hồi phân bố chênh lệch moment trong đài tăng, khoảng dao động lớn nhất là  $(0,20 \div 1,07\%)$ , lực cắt dao động lớn nhất là  $(0,54 \div 1,12\%)$ .

- Việc lựa chọn mô hình soil support lại tỏ ra ưu việt hơn về mặt tính tiện lợi khi dựng hình nhanh, dễ dàng thay đổi độ cứng của lò xo cọc, phương pháp chia lưới. Quan trọng hơn, mô hình này vẫn đảm bảo an toàn cho thiết kế móng cọc ép, đáp ứng yêu cầu về tính chính xác và hiệu quả. Do đó, mô hình soil support nên được ưu tiên áp dụng trong thực tế để tối ưu hóa cả về mặt kinh tế lẫn tiện lợi trong thiết kế nền móng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N.K. Hùng, N.H. Ân và N.N. Phúc, *Thiết kế kết cấu công trình Safe 12*. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2012.

[2] T. Hành, “Bài tập thực hành,” trong *Ứng dụng Etabs - Safe trong thiết kế kết cấu công trình*, T. Hành và N.K. Hùng, Chủ biên. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2012, tr.366-397.

- [3] N.H.A. Tuấn, “Ví dụ kết thúc,” trong *Sap 2000 v10 thực hành phân tích và thiết kế kết cấu*. N.H.A. Tuấn và Đ.Đ. Nhân, Chủ biên. Hà Nội: NXB Khoa học và kỹ thuật, 2008, tr.432-442.
- [4] V. Phán, H.T. Thao và Đ.T. Hải, *Các phương pháp khảo sát hiện trường và thí nghiệm đất trong phòng*. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2015.
- [5] V. Phán, “Thí nghiệm kiểm tra sức chịu tải và chất lượng cọc,” trong *Phân tích và tính toán móng cọc*. V. Phán và H.T. Thao, Chủ biên. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2012, tr.432-442.
- [6] C.N. Ân, “Cọc chịu tải trọng đứng,” trong *Nền móng*. C.N. Ân, Chủ biên. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2010, tr.265-276.
- [7] N.V. Quảng, “Xác định sức chịu tải của cọc,” trong *Nền móng và tầng hầm nhà cao tầng*. N.V. Quảng, Chủ biên. Hà Nội: NXB Xây dựng, 2008, tr.39-40.
- [8] L.A. Hoàng, “Móng cọc,” trong *Nền và móng*. L.A. Hoàng, Chủ biên. Hà Nội: NXB Xây dựng, 2004, tr.126-198.
- [9] T.Q. Hộ, “Sức chịu tải của móng cọc,” trong *Giải pháp nền móng cho nhà cao tầng*. T.Q. Hộ, Chủ biên. Hồ Chí Minh: NXB Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2010, tr.369-406.
- [10] V.M. Ngọc và P.V. Thuyết, “Xác định độ cứng lò xo cọc khi thiết kế hệ móng cọc đài thấp theo mô hình nền winkler,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm Nghiệp*, Số p.h 4, tr. 134–143, 2019.
- [11] N.K. Tường và N.M. Hùng, “Phương pháp xác định hệ số kháng đàn hồi,” *Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu I*, Số 1, tr. 77-83, 2014.
- [12] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCXDVN 205:1998, *Móng cọc - tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội 1998.
- [13] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10304:2014, *Móng cọc - tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội 2014.
- [14] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 9393:2012, *Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục*, Hà Nội 2012.
- [15] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 9394:2012, *Đóng và ép cọc – Thi công và nghiệm thu*, Hà Nội 2012.