



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



# A numerically investigate of the improvement of load carrying capacity of square footings utilizing micropiles



Duc Van Bui <sup>1,\*</sup>, Manh Van Nguyen <sup>1</sup>, Trong Dang Nguyen <sup>1</sup>, Truong Nho Vu <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> FUCONS Join Stock Company, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 18<sup>th</sup> May 2022

Revised 29<sup>th</sup> Aug. 2022

Accepted 01<sup>st</sup> Oct. 2022

#### Keywords:

Bearing Capacity,  
Finite Element Analysis,  
Ground Improvement,  
Micropiles.

### ABSTRACT

*This paper is aimed to address an actual case study on the use of micropile technology for improving the bearing capacity of an old building. The numerical simulation results show that the load-carrying capacity of square footing utilizing micropiles is notably increased. The improvement of the bearing capacity of the foundations depends on the strengthening methods, such as inclination angle ( $\alpha$ ), length ( $L$ ), and distance of micropile from the edge of footings ( $S$ ). Specifically, with the same length value of pile used, the bearing capacity reaches the largest magnitude at the  $S/B$  ratios of  $(0.5 \div 0.75)$ . The use of inclined piles yields a larger magnitude of bearing capacity than the vertical ones, these obtained results are contributed to the contribution of the "confining effects" of soil mass underneath the footing as subjected to vertical loads. Additionally, if the soil mass below the footing has a high bearing capacity (firm to stiff clayey soils, medium to dense sandy soils...), the design value of  $L/B$  ratio in the strengthening method should be in range of  $(2.0 \div 3.0)$ , choosing beyond that optimal range is uneconomical since the improvement of bearing capacity is insignificant. In other words, the relationship between stress bulb in soil under the footing and the length of micropile should be taken into consideration to achieve a higher economic efficiency of the strengthening method.*

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [buivanduc@humg.edu.vn](mailto:buivanduc@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).10



# Nghiên cứu đánh giá sự cải thiện sức chịu tải của móng nông sử dụng cọc đường kính nhỏ

Bùi Văn Đức<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Văn Mạnh<sup>1</sup>, Nguyễn Đăng Trọng<sup>1</sup>, Vũ Nho Trường<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Công ty CP Xây dựng FUCONS, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

### Quá trình:

Nhận bài 18/5/2022

Sửa xong 29/8/2022

Chấp nhận đăng 01/10/2022

### Từ khóa:

Cọc đường kính nhỏ,  
Gia cường nền móng,  
Phần tử hữu hạn,  
Sức mang tải của nền.

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày một trường hợp nghiên cứu cụ thể ứng dụng công nghệ cọc đường kính nhỏ để cải thiện sức chịu tải của nền dưới móng nông của công trình cũ. Kết quả nghiên cứu tính toán cho thấy sức chịu tải của nền dưới móng nông cải thiện đáng kể sau khi được gia cường bằng cọc đường kính nhỏ (micropile). Trong đó, hiệu quả cải thiện sức chịu tải của nền phụ thuộc vào phương pháp thiết kế gia cường, bao gồm: góc nghiêng ( $\alpha$ ), chiều dài ( $L$ ), khoảng cách của cọc micropile đến mép móng ( $S$ ). Cụ thể, với cùng một chiều dài cọc thì sức chịu tải của nền sử dụng cọc micropile đạt giá trị lớn nhất khi tỷ số  $S/B$  nằm trong khoảng  $(0,5 \div 0,75)$ ; việc bố trí cọc xiên cải thiện sức chịu tải của nền tốt hơn còn thẳng đứng nhờ vào hiệu ứng nén chặt của đất dưới đáy móng. Bên cạnh đó, khi địa tầng ngay dưới đáy móng gồm các lớp đất có sức chịu tải tương đối tốt (sét trạng thái nửa cứng đến cứng, cát chặt vừa đến chặt,...) thì tỷ số  $L/B$  nên nằm trong khoảng  $(2,0 \div 3,0)$ , vượt quá giá trị này thì mức độ cải thiện sức chịu tải của nền không đáng kể. Nói một cách khác, việc thiết kế chiều dài cọc trong phương án gia cường nên chú ý đến mối tương quan giữa chiều dài cọc và vùng ảnh hưởng (ứng suất) do tải trọng tác dụng dưới đáy móng để đảm bảo hiệu quả về mặt kinh tế của phương án gia cường.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Ứng xử của nền đất dưới móng các công trình đóng vai trò quan trọng và có ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền và tuổi thọ của các công trình xây dựng; trong đó khả năng mang tải của nền dưới

đáy móng hay áp lực dưới đáy móng có ý nghĩa quyết định chính đến phương án thiết kế cả về quy mô, giải pháp kiến trúc và kết cấu công trình (Terzaghi và nnk., 1996; Van Baars, 2018), đặc biệt đối với các công trình cũ đã đưa vào sử dụng trong khoảng thời gian dài nhất định cần tiến hành cải tạo, nâng cấp. Một số kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy, nhu cầu cải tạo và nâng cấp các công trình cũ có giá trị (lịch sử, văn hóa) ngày càng cao; phần lớn các công trình sau khi được cải tạo, nâng cấp thường có quy mô lớn hơn, tải trọng công

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [buivanduc@humg.edu.vn](mailto:buivanduc@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).10

trình truyền xuống móng và nền vì thế cũng tăng cao hơn; kết cấu móng và sức chịu tải của nền thường không còn đảm bảo (Jaiswal và nnk., 2021; Polishchuk và nnk., 2021). Cho đến nay, đã có khá nhiều các giải pháp được nghiên cứu sử dụng để cải thiện sức chịu tải của nền dưới móng nông, như: phương pháp phụt vữa xi măng (Polishchuk và nnk., 2021), phương pháp sử dụng lưới địa kỹ thuật (Abu-Farsakh và nnk., 2008; Jaiswal và nnk., 2021; Kolay và nnk., 2013), phương pháp tường thép bản mỏng (steel skirts) xung quanh móng nông (Al-Aghbari và Mohamedzein, 2004; Eid, 2013; Hwang và nnk., 2021; Sajjad và Masoud, 2018). Tuy nhiên, các phương pháp gia cường đã và đang áp dụng tồn tại một số hạn chế lớn ảnh hưởng đến khả năng áp dụng trong lĩnh vực cải tạo nâng cấp công trình có không gian thi công hạn chế, cụ thể: phương pháp phụt vữa xi măng, phương pháp tường thép bản mỏng yêu cầu cao về mặt bằng thi công do dây chuyền và thiết bị thi công khá phức tạp; nhóm phương pháp đặt cốt (lưới địa kỹ thuật) thường chỉ áp dụng được trước khi thi công móng nông. Trong khi đó, đối với các công trình cải tạo, nâng cấp thường có mặt bằng thi công chật hẹp, nên việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ cải thiện sức chịu tải của nền móng công trình cũ là cần thiết, đặc biệt khi nhu cầu cải tạo và nâng cấp dạng công trình này ở các khu đô thị ngày càng cao do việc xây mới thường có chi phí cao, mức độ ảnh hưởng đến an toàn của công trình lân cận đáng kể.

Công nghệ cọc đường kính nhỏ (micropile) ( $D \leq 300$  mm) được nghiên cứu và sử dụng vào đầu những năm 1950 tại Italy để bảo tồn, sửa chữa các công trình bị hư hại do chiến tranh thế giới lần thứ hai (Bruce và nnk., 1997). Cho đến nay, công nghệ cọc micropile đã và đang được áp dụng khá rộng rãi trên thế giới, trong đó tập trung chủ yếu vào các ứng dụng như: ổn định tường chắn hố đào sâu, mái dốc công trình, gia cường nền tự nhiên của công trình công nghiệp (Juran và nnk., 1999). Đặc điểm tiêu biểu của công nghệ cọc micropile so với một số công nghệ gia cố nền và cọc truyền thống gồm: thi công được trong điều kiện mặt bằng chật hẹp; áp dụng được với hầu hết các điều kiện địa chất kể cả với địa tầng gồm các lớp rắn cứng; đặc biệt, công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ cho phép khoan tạo cọc với các góc khoan khác nhau mà các công nghệ thi công cọc khác gần như chưa thực hiện được. Một số nghiên cứu thực

nghiệm cho thấy hiệu quả cải thiện tính chất cơ lý của nền móng khi sử dụng cọc micropile nằm ở các hiệu ứng: xâm nhập gắn kết và nén chặt (Eid, 2013; Pusadkar và Bhatkar, 2013; Sajjad và Masoud, 2018). Mặc dù vậy, cho đến nay việc nghiên cứu áp dụng công nghệ này tại Việt Nam vào việc gia cường nền móng công trình cũ có giá trị kinh tế, văn hóa, lịch sử còn khá hạn chế.

Nghiên cứu này trình bày kết quả tính toán áp dụng công nghệ cọc micropile đổ tại chỗ để gia cường nền móng của một biệt thự cũ tại Hạ Long (Quảng Ninh) để làm rõ hơn về quy trình công nghệ, vật liệu sử dụng và một số yếu tố chính ảnh hưởng đến sự cải thiện sức chịu tải của nền sau khi gia cường thông qua các kết quả phân tích sử dụng dụng phương pháp phần tử hữu hạn Plaxis 2D.

## 2. Đặc điểm công trình nghiên cứu áp dụng và sự cần thiết phải gia cố

### 2.1. Đặc điểm công trình

Công trình nghiên cứu áp dụng công nghệ cọc micropile để gia cường nền móng trước khi được cải tạo là một biệt thự cũ hơn 20 năm tuổi nằm trong khuôn viên khách sạn 5 sao Hạ Long, phường Bãi Cháy, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh (Hình 1), được thi công và đưa vào sử dụng từ cuối năm 2000 với quy mô thiết kế gồm 3 tầng với tổng chiều cao công trình khoảng 12,5 m, kết cấu bê tông cốt thép và được đặt trên sườn đồi có độ dốc khá cao. Giải pháp kết cấu móng của công trình là móng đơn đặt trên nền tự nhiên, móng có kích thước dài x rộng là (2,0 x 1,8) m.



Hình 1. Công trình nghiên cứu tại thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh.

## 2.2. Điều kiện địa kỹ thuật khu vực công trình nghiên cứu

Kết quả khoan khảo sát địa chất khu vực công trình nghiên cứu với chiều sâu khoan khảo sát tính từ mặt đất tự nhiên khoảng gần 30 m, vị trí lỗ khoan khảo sát cách công trình nghiên cứu khoảng 2,5 m cho thấy điều kiện địa chất khu vực đặt công trình gồm các lớp đất sau (từ cao độ mặt đất tự nhiên khu vực đặt móng):

Lớp 1: đá cát kết phong hóa, nứt nẻ rất mạnh, màu xám vàng, đôi chỗ xen kẹp sét pha. Chiều dày phân bố của lớp đá cát kết phong hóa mạnh trung bình khoảng 20,5 m.

Lớp 2: sét pha, lẫn nhiều dăm sạn, trạng thái nửa cứng.

Trong phạm vi khoan khảo sát, với chiều sâu khoan lớn nhất khoảng 30 m thì không xuất hiện mực nước ngầm.

## 2.3. Sự cần thiết phải gia cố

Sau hơn 20 năm đưa vào sử dụng, một số kết cấu của biệt thự xuống cấp; đồng thời để đồng bộ với quy hoạch tổng thể của tổ hợp khách sạn xây dựng mới nên phương án thiết kế công năng cũ của biệt thự không còn phù hợp và cần được cải tạo, nâng cấp; đặc biệt hơn là nền đất xung quanh của biệt thự được yêu cầu đào bóc để thu hẹp và hạ thấp độ cao 2,5 m so với cao độ hiện trạng để phục vụ thi công hệ thống hạ tầng trong khuôn viên tổ hợp khách sạn. Chính những đặc điểm này (hoạt động cải tạo nâng cấp, đào bóc hạ thấp nền khu vực đặt móng) nên kết cấu móng cũ (móng nông) không còn đảm bảo khả năng giữ ổn định cho công trình. Kết quả phân tích định lượng về áp lực dưới đáy móng do tải trọng công trình trước và sau khi gia cường thể hiện tại mục 3.4.

## 3. Thiết kế phương án gia cường sử dụng công nghệ cọc đường kính nhỏ

### 3.1. Phương pháp gia cường

Trên cơ sở phân tích điều kiện địa chất công trình, áp lực đáy móng phát sinh do tải trọng công trình sau khi được cải tạo/nâng cấp; đặc biệt là mặt bằng cũng như không gian của công trình nghiên cứu thì công nghệ thi công cọc micropile đổ tại chỗ được lựa chọn sử dụng với phương pháp gia cường cơ bản như sau:

Bước 1: đào bóc đất đến đáy móng nông.

Bước 2: lắp đặt dây truyền thi công cọc micropile đổ tại chỗ.

Bước 3: khoan tạo cọc micropile.

Bước 4: lắp đặt cốt thép cọc.

Bước 5: bơm vữa cọc.

Bước 6: hoàn thiện.

Mặt bằng thể hiện phương án thiết kế gia cường móng nông sử dụng cọc micropile thể hiện tại Hình 2.

### 3.2. Vật liệu sử dụng

Trên cơ sở hướng dẫn thiết kế, thi công cọc micropile (FHWA, 2005; Juran và nnk, 1999) và điều kiện thực tế tại khu vực nghiên cứu; việc áp dụng công nghệ thi công cọc micropile với vật liệu được sử dụng theo phương pháp gia cường bao gồm: cốt thép cọc và vữa cọc.

#### 3.2.1. Cốt thép cọc

Cốt thép chịu lực của cọc gồm 4 thanh thép có gân với đường kính D18 theo TCVN 1651-2:2008, được gia công tổ hợp tại chỗ; dọc theo cốt thép cọc bố trí các thanh định tâm để đảm bảo chiều dày lớp vữa bê tông bảo vệ tối thiểu cho thép chịu lực của cọc. Các ống bơm vữa cọc được lắp đặt đồng thời với thép cọc, chi tiết cấu tạo thép cọc và ống bơm vữa được thể hiện tại Hình 3.

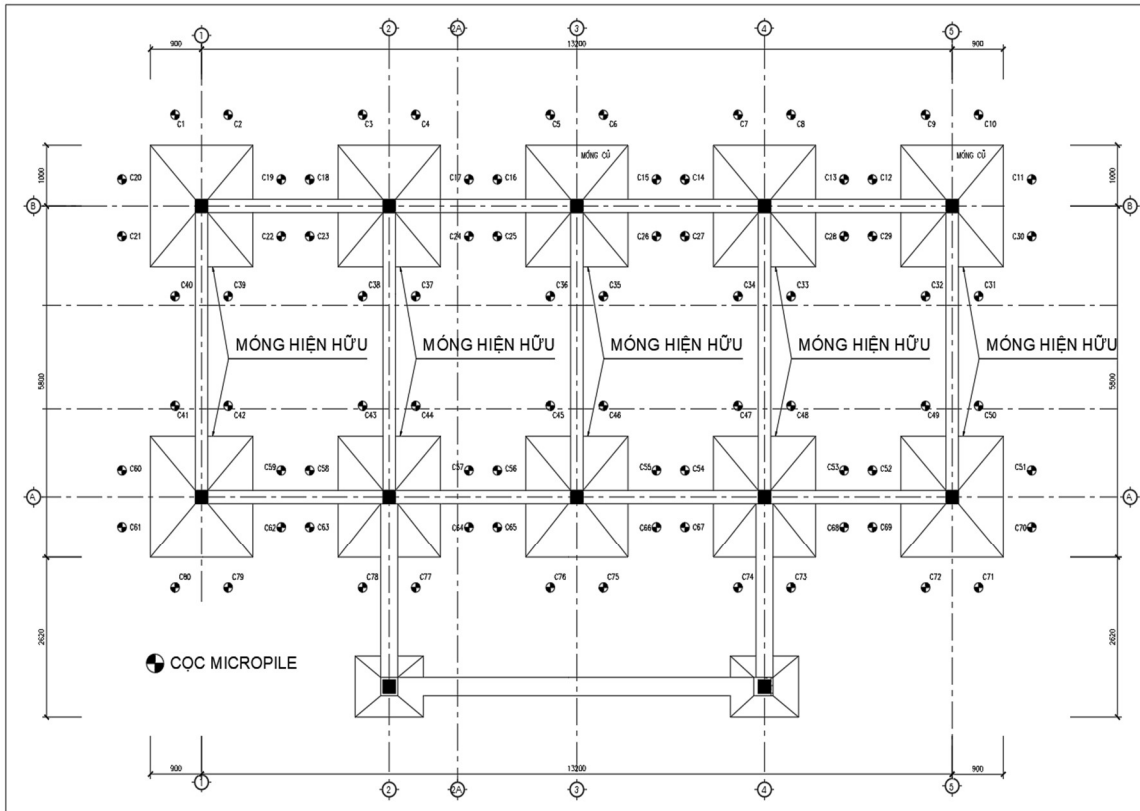
#### 3.2.2. Vữa tạo cọc

Thông số vữa cọc bao gồm: cường độ chịu nén của vữa, tỷ lệ thành phần hỗn hợp chế tạo vữa, được thiết kế theo hướng dẫn trong tiêu chuẩn thiết kế và thi công cọc micropile đổ tại chỗ (FHWA, 2005). Theo đó, cường độ vữa vữa phải đảm bảo đủ lớn nhưng đồng thời phải thuận lợi cho công tác bơm vữa tạo cọc (độ chảy), giá trị cường độ vữa cọc khi thi công cọc micropile đổ tại chỗ tối thiểu 21 MPa, nhưng nên nằm trong khoảng (30÷40) MPa, ứng với giá trị cường độ này thì vữa cọc được thiết kế với tỷ lệ cấp phối N/X = (0,37÷0,5) như thể hiện tại Hình 4 (FHWA, 2005).

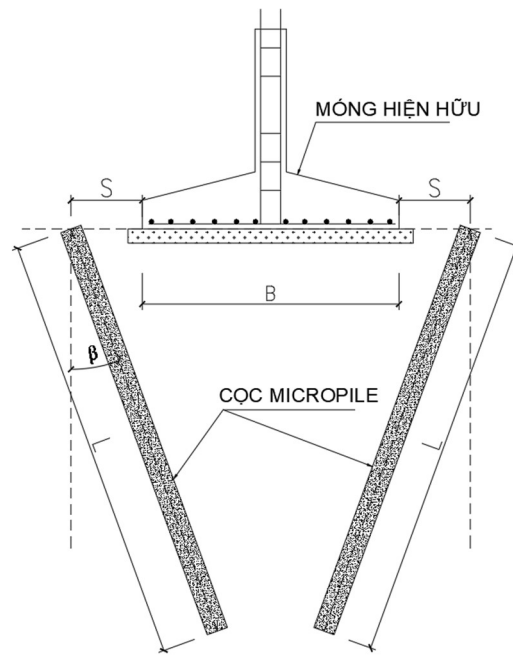
Thông số thiết kế cụ thể của vữa cọc được thể hiện tại Bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối vữa cọc.

| Tỷ lệ N/X | Xi măng PCB40 (kg) | Nước (lít) | Phụ gia           |                      |
|-----------|--------------------|------------|-------------------|----------------------|
|           |                    |            | Sikament NN (lít) | Sika Intraplast (kg) |
| 0,4       | 1200               | 500        | 12                | 6,0                  |



(a)

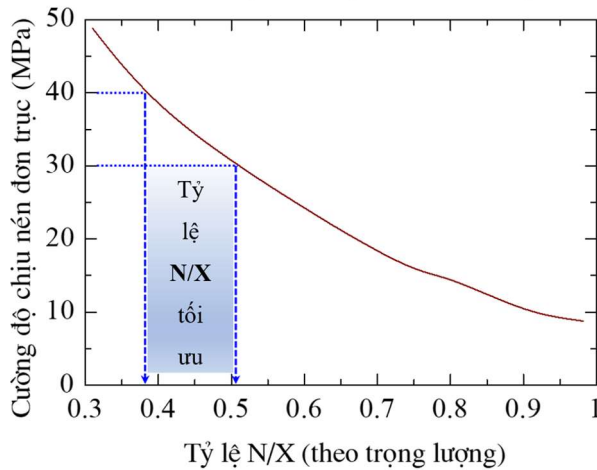


(b)

Hình 2. (a) Mặt bằng móng sau khi gia cố bằng cọc micropile, (b) Phương án sử dụng cọc.



Hình 3. Cấu tạo thép sử dụng cho cọc micropile.



Hình 4. Cường độ chịu nén và tỷ lệ N/X. (FHWA, 2005).

### 3.3. Thiết bị và quy trình công nghệ thi công

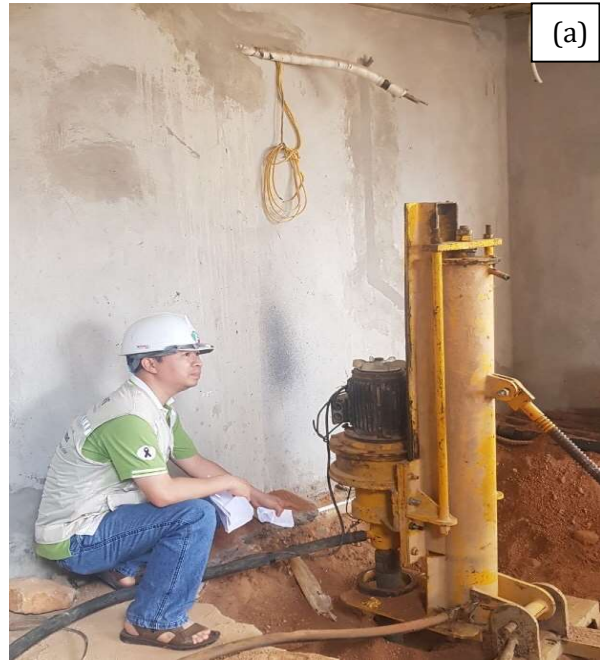
#### 3.3.1. Thiết bị thi công

Các thiết bị thi công chính trong công nghệ thi công cọc micropile đổ tại chỗ gia cường nền móng công trình nghiên cứu được thiết kế bao gồm (Hình 5):

Máy khoan tạo cọc chuyên dụng: dòng máy khoan xoay-đập BMK (có khả năng lắp đặt thêm đầu đập có đường kính khác nhau khi khoan tạo lỗ trong đá rắn cứng); chiều sâu khoan tạo cọc có thể đạt 30÷40 m; đường kính cọc thông thường có giá trị  $D \leq 300$  mm.

Máy trộn vữa cọc công suất: 5 m<sup>3</sup>/h.

Máy bơm vữa công suất: 15 m<sup>3</sup>/h; áp suất bơm: 7 MPa; khả năng bơm cao - xa: 50÷500 m.



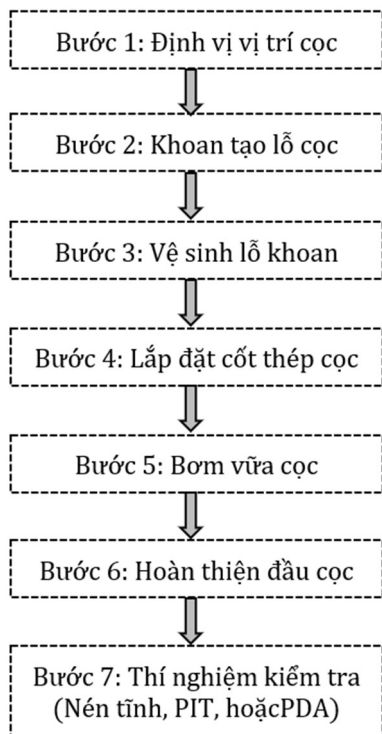
Hình 5. Thiết bị thi công chính trong công nghệ thi công cọc micropile: (a) máy khoan; (b) máy bơm vữa cọc; (c) máy trộn vữa.

### 3.3.2. Thiết kế quy trình công nghệ kỹ thuật thi công cọc đường kính nhỏ cho công trình nghiên cứu

Theo các tiêu chuẩn thiết kế và thi công, quy trình thi công cọc micropile phụ thuộc vào khá nhiều các yếu tố, trong đó các yếu tố về điều kiện địa kỹ thuật công trình, không gian thi công và kỹ thuật bơm vữa tạo cọc là những yếu tố đóng vai trò chính. Căn cứ vào đặc điểm của công trình nghiên cứu, quy trình công nghệ thi công cọc micropile đồ tại chỗ được thiết kế với quy trình thể hiện tại Hình 6; trong đó, các thí nghiệm biến dạng nhỏ (PIT) và thử động biến dạng lớn (PDA) được sử dụng để kiểm tra khuyết tật và sức chịu tải của cọc.

### 3.3.3. Kết quả thi công cọc thử nghiệm

Do đặc điểm của công trình có mặt bằng và không gian thi công hạn chế, không thuận lợi cho việc lắp đặt hệ thống thí nghiệm nén tĩnh xác định sức chịu tải của cọc trong phạm vi tòa nhà nên chất lượng của cọc micropile thi công theo quy trình công nghệ thiết kế tại mục 3.3.2, được đánh giá thông qua các phương pháp cơ bản như sau:



Hình 6. Quy trình kỹ thuật thi công cọc micropile.

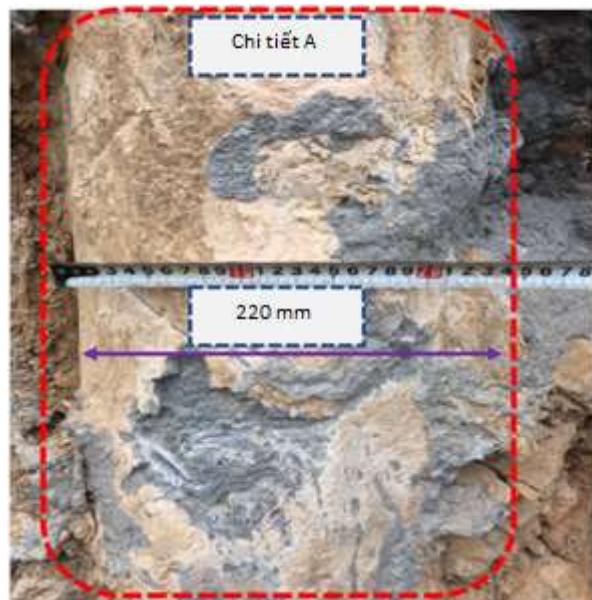
- Phương pháp quan sát và đo đạc kích thước đường kính cọc (thân cọc) tại hiện trường như thể hiện tại Hình 7;

- Cường độ chịu nén của mẫu vữa cọc lấy tại hiện trường.

Kết quả đào bóc đất dọc thân cọc thí nghiệm sau 28 ngày thi công cọc cho thấy đường kính cọc đạt được khoảng 220 mm, giá trị này phù hợp với giá trị thiết kế; đồng thời vữa cọc phân bố khá đều thân cọc. Kết quả kiểm tra tại hiện trường khẳng định sự phù hợp của phương pháp bơm vữa tạo cọc cũng như quy trình công nghệ thi công cọc micropile.



(a)



(b)

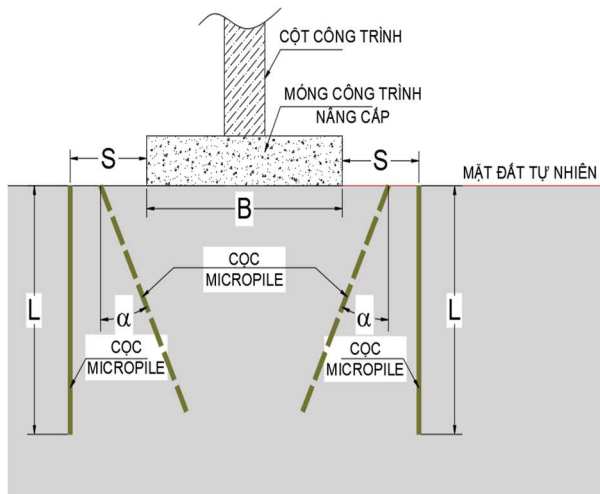
Hình 7. Kiểm tra đường kính tạo cọc thi công theo quy trình kỹ thuật thi công.

**3.4. Nghiên cứu tính toán và đánh giá một số yếu tố ảnh hưởng đến sức mang tải của nền gia cường bằng công nghệ cọc đường kính nhỏ**

**3.4.1. Thiết kế bài toán**

Để đánh giá độ cải thiện sức chịu tải của nền dưới móng nông sau khi gia cường bằng công nghệ cọc đường kính nhỏ, phương pháp nghiên cứu mô phỏng số được sử dụng (phần mềm địa kỹ thuật xây dựng Plaxis 2D). Kết quả công bố của các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy phương pháp mô phỏng số cho phép đánh giá tốt, cho phép dự báo tương đối chính xác ứng xử của kết cấu địa kỹ thuật, cũng như cho kết quả tính toán khá sát với kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong các bài toán xác định sức chịu tải của nền thiên nhiên và nền gia cố (Brinkgreve và nnk., 2002; Kazi và nnk., 2015; Pusadkar và nnk., 2013; Dang và nnk., 2021). Do đó, trong bài báo này, phương pháp lý thuyết do Terzaghi (1943) và phương pháp nghiên cứu mô phỏng số (phần mềm Plaxis 2D) được sử dụng để đánh giá sức chịu tải của nền trước và sau khi gia cường; trong đó, sự ảnh hưởng một số yếu tố chính của giải pháp móng cọc như: khoảng cách từ cọc đến móng hiện hữu (S) hay tỷ số S/B, góc nghiêng của cọc ( $\alpha$ ), chiều dài của cọc (L) hay tỷ số L/B, cũng được xem xét, với B là bề rộng móng hiện hữu, B = 2,0 m. Thông số xem xét trong các bài toán nghiên cứu như S, L và  $\alpha$  được thể hiện tại Hình 8 và Bảng 2.

**3.4.2. Mô hình số và thông số vật liệu, kết cấu**



Hình 8. Các thông số trong bài toán nghiên cứu.

Bảng 2. Tổng hợp các bài toán nghiên cứu.

| Nội dung      | Bài toán |     |      |     |      |     |    | Ghi chú   |
|---------------|----------|-----|------|-----|------|-----|----|-----------|
|               | 1        | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   | 7  |           |
| S/B (L=5m)    | 0,25     | 0,5 | 0,75 | 1   | 1,25 | 1,5 | -  | L = 5     |
| $\alpha$      | 0        | 5   | 10   | 15  | 20   | 25  | 30 |           |
| L/B (S=0,25B) | 0,5      | 1   | 1,5  | 2,0 | 2,5  | 3,0 | -  | S = 0,25B |

Căn cứ vào bề rộng móng (B = 2,0 m), sự ảnh hưởng của kích thước mô hình đến kết quả phân tích sử dụng mô hình số, kích thước được xây dựng như sau (Schweiger và nnk., 2012):

Bề rộng: 30,0 m (=15B); Chiều cao: 20,0 m (=10B).

Mô hình số được xây dựng là mô hình bài toán biến dạng phẳng (plane strain), để tăng độ chính xác của các giá trị tính toán trong mô hình số thì phần tử tam giác 15 nút được lựa chọn cho tất cả các bài toán nghiên cứu (thể hiện tại Hình 9), đây là loại phần tử có cấu tạo gồm 15 nút và 12 điểm ứng suất được xây dựng để áp dụng cho các bài toán: phân tích ổn định, phân tích bài toán phá hoại do tải trọng (sức chịu tải) (Brinkgreve và nnk., 2002). Theo kết quả khảo sát địa chất, lớp địa chất dưới đáy móng là sản phẩm phong hóa mạnh của đá cát kết có chiều dày lớn nên trong mô hình số chỉ sử dụng 01 lớp đất dưới đáy móng (Hình 9).

Trình tự các bước tính toán như sau:

Bước 1: ứng suất bản thân khối đất.

Bước 2: thi công cọc micropile.

Bước 3: gán tải chân cột.

Bước 4: tăng tải cho đến khi mô hình bị phá hoại.

Bước 5: phân tích và tính toán sức chịu tải của nền gia cố dựa trên quan hệ độ lún và tải trọng.

Thông số vật liệu và kết cấu được thể hiện ở Bảng 3 và 4.

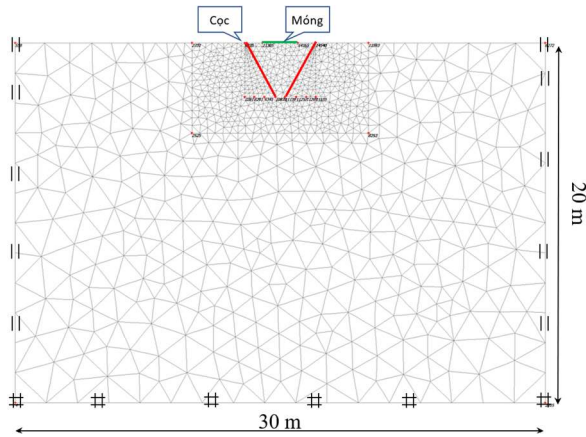
Bảng 3. Thông số kết cấu.

| Nội dung   | Phần tử kết cấu |        | Đơn vị              |
|------------|-----------------|--------|---------------------|
|            | Cọc micropile   | Móng   |                     |
| Độ cứng EA | 3,8E+5          | 3,4E+5 | kN/m                |
| Độ cứng EI | 1,5E+3          | 163    | kNm <sup>2</sup> /m |



Bảng 4. Thông số vật liệu đất.

| Nội dung                | Giá trị         | Đơn vị |
|-------------------------|-----------------|--------|
| Mô hình ứng xử          | Mohr-Coulomb    |        |
| Chiều dày               | m               | 20     |
| $\gamma_{\text{unsat}}$ | $\text{kN/m}^3$ | 19,0   |
| $\gamma_{\text{sat}}$   | $\text{kN/m}^3$ | 20,0   |
| E                       | $\text{kN/m}^2$ | 4,0E4  |
| c                       | $\text{kN/m}^2$ | 18,0   |
| $\phi$                  | Độ              | 20,0   |



Hình 9. Điều kiện biên mô hình và lưới phân tích.

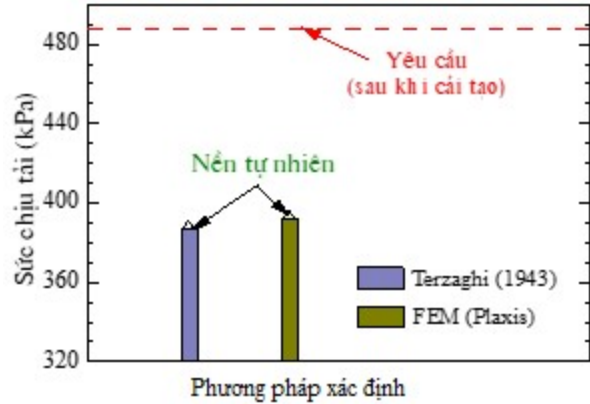
3.4.3. Kết quả

3.4.3.1 Sức chịu tải nền tự nhiên

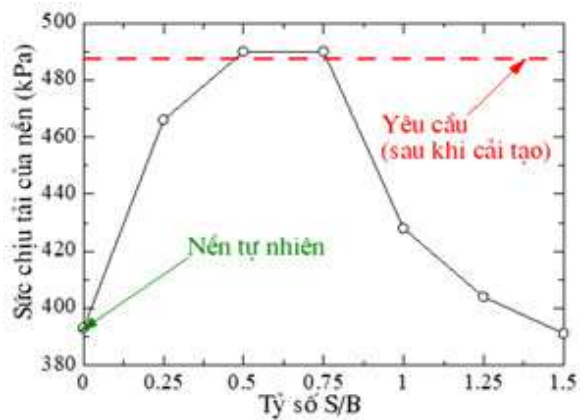
Hình 10 thể hiện kết quả đánh giá sức chịu tải của nền (tự nhiên) và tải trọng kết cấu công trình lên nền sau khi cải tạo, nâng cấp; trong đó, sức chịu tải của nền tự nhiên được tính toán theo phương pháp lý thuyết kinh điển của Terzaghi (1943) và phương pháp mô phỏng số có giá trị lần lượt là 387 kPa và 395 kPa. Tuy nhiên, tải trọng công trình sau khi cải tạo và nâng cấp theo thiết kế khoảng 486 kPa. Do đó, cần thiết phải thực hiện giải pháp gia cường để cải thiện sức chịu tải của nền hiện hữu.

3.4.3.2 Ảnh hưởng của phương án cọc khi gia cố

Một trong những yêu cầu đặt ra đối với hoạt động thiết kế phương án gia cố nền sử dụng công nghệ cọc micropile là phải xác định được các thông số như: vị trí bố trí cọc trên mặt bằng móng, chiều dài cần thiết của cọc và đặc biệt là góc nghiêng của cọc so với phương thẳng đứng. Trong phần này, sự ảnh hưởng của các yếu tố cơ bản trên sẽ được tính toán và phân tích.



Hình 10. Sức chịu tải của nền tự nhiên trước khi gia cường.



Hình 11. Ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa cọc và móng nông đến sức chịu tải của nền.

a) Vị trí cọc và móng nông cần gia cố

Hình 11 thể hiện ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa vị trí đặt cọc so với móng công trình (tỷ số S/B) đến sự thay đổi sức chịu tải của nền dưới móng nông gia cường bằng cọc micropile.

Cụ thể, sức chịu tải của nền tăng khi tỷ số S/B tăng từ 0,25 lên 0,75 và đạt giá trị cực đại khi tỷ số S/B nằm trong khoảng (0,5÷0,75), khi cọc đặt trong khoảng này thì sức chịu tải của nền tăng thêm 25,6% với giá trị đạt được khoảng 490 kPa, giá trị sức chịu tải này lớn hơn so với tải trọng thiết kế của công trình truyền xuống móng (486 kPa).

b) Góc nghiêng của cọc

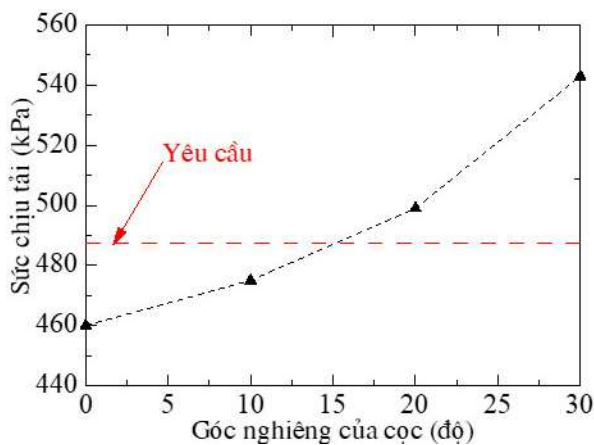
Ưu điểm của công nghệ thi công cọc micropile so với công nghệ cọc truyền thống khác là khả năng tạo cọc với các góc nghiêng khác nhau (Bruce và nnk, 1997; FHWA, 2005), do đó, việc đánh giá

ảnh hưởng của sự thay đổi về góc của cọc đến hiệu quả cải thiện sức chịu tải là cần thiết. Kết quả tính toán sức chịu tải của nền với các góc nghiêng khác nhau của cọc thể hiện tại Hình 12 (trong đó: góc nghiêng của cọc thay đổi từ 10, 20 và 30 độ; chiều dài (L) cọc và tỷ số S/B không đổi với giá trị lần lượt là  $L = 5 \text{ m}$ ;  $S/B = 0,25$ ), cho thấy so với phương án sử dụng cọc thẳng đứng thì việc sử dụng cọc nghiêng cải thiện đáng kể sức chịu tải của nền. Khi được gia cường với phương án cọc thẳng đứng thì sức chịu tải tính toán của nền đạt được là 460 kPa. Tuy nhiên, khi góc nghiêng của cọc thay đổi từ 10, 20, 30 độ thì sức chịu tải của nền tăng lên với các giá trị tính toán lần lượt là 475, 500 và 543 kPa.

Sự cải thiện đáng kể sức chịu tải của nền khi được gia cường bằng cọc micropile đặc biệt với các trường hợp vị trí cọc đặt gần móng hiện hữu (tỷ số S/B nằm trong khoảng  $(0,25 \div 0,75)$ ), hoặc cọc được khoan xiên vào dưới đáy móng ( $\alpha = 15 \div 30^\circ$ ) liên quan đến hiệu ứng “nén chặt” đất dưới đáy móng; cụ thể, khi chịu tải thì đất nền dưới đáy móng có xu hướng chuyển dịch thẳng đứng (lún) xuống dưới và chuyển vị ngang sang hai bên. Tuy nhiên, do sự tồn tại của phần tử cọc micropile làm việc như một “tường bản mỏng”, kháng lại sự chuyển dịch ngang của phần tử đất dưới móng nông, làm khối đất nền chặt hơn; do vậy, sức chịu tải của nền tăng (Eid, 2013; Pusadkar và Bhatkar, 2013; Sajjad và Masoud, 2018).

c) Chiều dài cọc

Hình 13 thể hiện kết quả tính toán sức chịu tải của nền với các chiều dài cọc khác nhau (thông

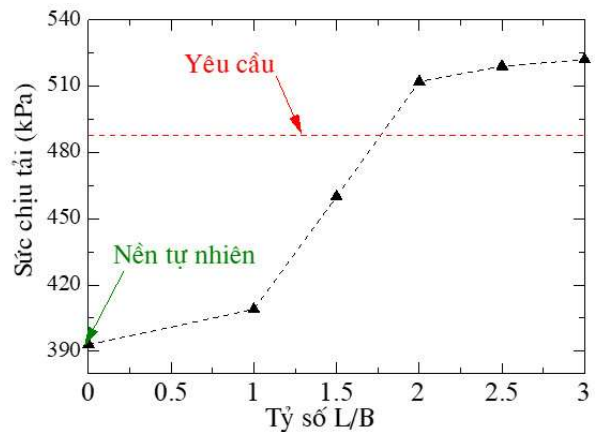


Hình 12. Ảnh hưởng của góc nghiêng của cọc.

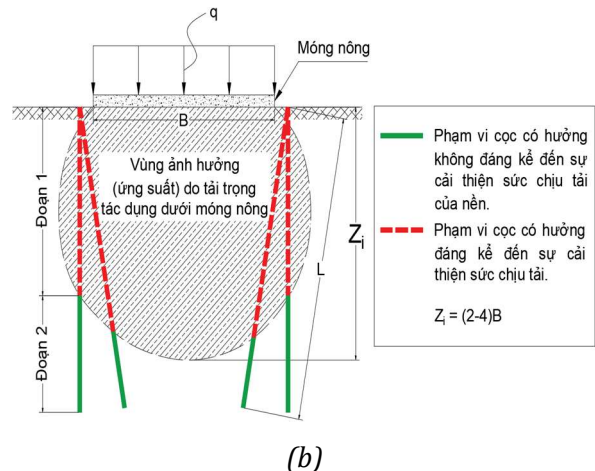
qua tỷ số L/B, với B là bề rộng của móng đơn). Số liệu tính toán cho thấy mức độ cải thiện sức chịu tải của nền tăng đáng kể khi tỷ số L/B nằm trong khoảng  $(2,0 \div 3,0)$ , với tỷ lệ tăng sức chịu tải khoảng 35%.

Tuy nhiên, khi tỷ số  $L/B \geq 2,5$  thì mức độ cải thiện sức chịu tải gần như không đáng kể, cụ thể khi tỷ lệ L/B tăng từ 2,5 lên 3,0 thì sức chịu tải của nền trong khoảng này chỉ tăng khoảng 2%. Nói một cách khác, khi chiều dài cọc tăng và cọc nằm trong vùng ảnh hưởng dưới móng nông (Das và Sivakugan, 2007; Mahmoudabadi và Ravichandran, 2019) thì sức chịu tải của nền được cải thiện đáng kể hơn (Hình 13b).

3.5. Kết luận



(a)



(b)

Hình 13. Ảnh hưởng của chiều dài cọc (a), (b) Vùng ảnh hưởng dưới móng nông (Das và Sivakugan, 2007; Mahmoudabadi và Ravichandran, 2019).

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu quy trình và đặc điểm công nghệ thi công cọc micropile đổ tại chỗ cũng như đặc điểm chung của công trình cải tạo, nâng cấp, có thể khẳng định công nghệ thi công cọc micropile phù hợp và có tiềm năng cao trong việc sử dụng làm kết cấu gia cường nền móng công trình cũ; đặc biệt với những công trình có không gian thi công hạn chế. Kết quả phân tích tính toán một số yếu tố chính trong giải pháp gia cường cho thấy: khoảng cách cọc, chiều sâu cọc, góc nghiêng của cọc có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả cải thiện sức chịu tải của cọc nhờ vào hiệu ứng nén chặt của khối đất dưới móng công trình; cụ thể như sau:

Hiệu quả cải thiện sức chịu tải đạt giá trị tối ưu khi tỷ số S/B nằm trong khoảng (0,5÷0,75).

Sức chịu tải của nền cải thiện rõ rệt khi tỷ số L/B nằm trong khoảng (2,0÷3,0), tuy nhiên khi tỷ số L/B lớn hơn 2,5 thì mức độ thay đổi sức chịu tải của nền tương đối thấp. Do đó, cần chú ý khi lựa chọn chiều dài cọc phù hợp để đảm bảo hiệu quả kinh tế khi gia cường.

Ưu điểm của công nghệ thi công cọc micropile là có thể khoan tạo cọc với những góc nghiêng nhất định và kết quả nghiên cứu tính toán cho thấy sức chịu tải của nền khi sử dụng cọc nghiêng lớn hơn so với phương án cọc thẳng đứng.

Trong giới hạn của bài báo, nền đất áp dụng tính toán, nghiên cứu được phân tích dựa trên điều kiện địa chất của một dự án cụ thể, trong đó nền dưới móng công trình nghiên cứu là nền đồng nhất (gồm một lớp đất) với lớp địa chất trong khu vực cọc micropile là sản phẩm của đá cát kết phong hóa mạnh.

### Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ một phần từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, mã đề tài T22-49, tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Công ty CP Xây dựng FUCONS; Công ty CP TVTK&XD Bamboo Việt Nam đã chia sẻ nguồn tài liệu của công trình.

### Đóng góp của các tác giả

Bùi Văn Đức - lên ý tưởng, triển khai các nội dung và hoàn thiện bản thảo của bài báo; Nguyễn Văn Mạnh - kiểm tra chỉnh sửa; Nguyễn Đăng Trọng và Vũ Nho Trường - tổng hợp và phân tích số liệu địa chất, chỉnh sửa một số hình ảnh, bản vẽ.

### Tài liệu tham khảo

- Abu-Farsakh, M. Y., Chen, Q., & Yoon, S. (2008). *Use of reinforced soil foundation (RSF) to support shallow foundation* (No. FHWA/LA. 07/423). Louisiana Transportation Research Center.
- Al-Aghbari, M. Y., & Mohamedzein, Y. A. (2004). Model testing of strip footings with structural skirts. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 8(4), 171-177.
- Brinkgreve, R., Broere, W., & Waterman, D. (2002). *Plaxis 2D-version 8*. Swets and Zeitlinger publishers.
- Bruce, D. A., Dimillio, A. F., & Juran, I. (1997). Micropiles: the state of practice part 1: characteristics, definitions and classifications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 1(1), 25-35.
- Das, B., & Sivakugan, N. (2007). Settlements of shallow foundations on granular soil - an overview. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1(1), 19-29.
- Eid, H. T. (2013). Bearing capacity and settlement of skirted shallow foundations on sand. *International Journal of Geomechanics*, 13(5), 645-652.
- FHWA, N. (2005). *Micropile design and construction-Reference manual*. FHWA NHI-05-039, US Dept. of Transportation, McLean, VA, 436p.
- Hwang, J. G., Yoon, Y. W., & Song, K. I. (2021). Improvement of Bearing Capacity of Shallow Foundation with the Wall Attached to the Base-Slab: Model Test. *KSCE J. Civ. Eng.*, 25, 1276-1282.
- Jaiswal, S., Srivastava, A., & Bhushan Chauhan, V. (2021). Improvement of bearing capacity of shallow foundation resting on wraparound geotextile reinforced soil, in: *IFCEE 2021*, 65-74.
- Juran, I., Bruce, D. A., Dimillio, A., & Benslimane, A. (1999). Micropiles: the state of practice. Part II: design of single micropiles and groups and networks of micropiles. *Proc. Inst. Civ. Eng.-Ground Improv*, 3, 89-110.

- Kazi, M., Shukla, S. K., & Habibi, D. (2015). An improved method to increase the load-bearing capacity of strip footing resting on geotextile-reinforced sand bed. *Indian Geotech. J.*, 45, 98-109.
- Kolay, P. K., Kumar, S., & Tiwari, D. (2013). Improvement of bearing capacity of shallow foundation on geogrid reinforced silty clay and sand. *J. Constr. Eng.*, 2013, 1-10.
- Mahmoudabadi, V., & Ravichandran, N. (2019). Design of shallow foundation considering site-specific rainfall and water table data: Theoretical framework and application. *International Journal of Geomechanics*, 19(7), 04019063.
- Pusadkar, S.S., & Bhatkar, T. (2013). Behaviour of raft foundation with vertical skirt using plaxis 2D. *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 7, 20-24.
- Polishchuk, A., Nikitina, N., Petukhov, A., & Semyonov, I. (2021). Strengthening of the Foundations of Renovated Buildings With Injection Piles. *Int. J. Comput. Civ. Struct. Eng.*, 17, 75-86.
- Sajjad, G., & Masoud, M. (2018). Study of the behaviour of skirted shallow foundations resting on sand. *Int. J. Phys. Model. Geotech.*, 18, 117-130.
- Schweiger, H., Gens, A., Wei, S., Cheuk, J., & Cheang, W. (2020). *Plaxis Advanced course on computational geotechnics*. Hong Kong.
- Terzaghi, (1943). *The Evolution of Pore Water Pressure in a Saturated Soil Layer between Two Draining Zones by Analytical and Numerical Methods*. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- TCVN 1651-2:2008. (2008). *Steel for the reinforcement of concrete - Part 2: Ribbed bars*.
- Van Baars, S. (2018). *100 years of Prandtl's wedge*. IOS Press.
- Dang, V. K., Do, N. A., Nguyen, T. T., Huynh, D. A., & Nguyen, V. V. P. (2021). An overview of research on metro tunnel lining in the sub-rectangular shape. *Journal of Mining and Earth Sciences*, 62(4), 68-78. (in Vietnamese).