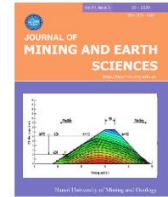




## Journal of Mining and Earth Sciences

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



# Research to build technological procedure for soft ground improvement using sea sand-cement-fly ash column



Thinh Duc Ta <sup>1,\*</sup>, Phuc Dinh Hoang <sup>1</sup>, Thang Anh Bui <sup>1</sup>, Trang Huong Thi Ngo <sup>1</sup>, Diu Thi Nguyen <sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> University of Transportation and Communications, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 15<sup>th</sup> Oct. 2020

Accepted 23<sup>rd</sup> Nov. 2020

Available online 31<sup>st</sup> Dec. 2020

#### Keywords:

Improvement,  
Reinforcement,  
Sea sand-cement-fly ash  
column,  
Soft ground,  
Technological procedure.

### ABSTRACT

*Sea sand-cement-fly ash column technology for soft soil treatment is a new technology in the process of completing the theoretical basis, the experimental basis, and the construction of the ground treatment technological procedure. The paper presents the results of scientific research on design, calculation, construction, and acceptance of sea sand-cement-fly ash column. The scientific basis for the design of column is to consider the role of the column in composite ground, that is to use the column as soft ground improvement or soft soil reinforcement. The important parameters for the column design are: cement and fly ash content; column length; column diameter; number of columns; distance among columns; load capacity and settlement of composite ground. The sequence of steps of construction and acceptance of column includes: selection of construction equipment, preparation of construction sites, trial construction, official construction, evaluation of ground quality after treatment and preparation of document for acceptance.*

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

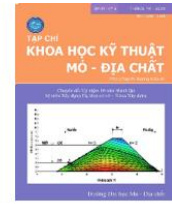
E - mail: [taducthinh@gmail.com](mailto:taducthinh@gmail.com)

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.01



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ xử lý nền đất yếu bằng cọc vật liệu hỗn hợp cát biển-xi măng-tro bay

Tạ Đức Thịnh <sup>1,\*</sup>, Hoàng Đình Phúc <sup>1</sup>, Bùi Anh Thắng <sup>1</sup>, Ngô Thị Hương Trang <sup>1</sup>, Nguyễn Thị Diệu <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Giao thông Vận tải, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

#### Quá trình:

Nhận bài 15/10/2020  
Chấp nhận 23/11/2020  
Đăng online 31/12/2020

#### Từ khóa:

Cải tạo,  
Cọc cát biển-xi măng-tro bay,  
Gia cố,  
Nền đất yếu,  
Quy trình công nghệ.

### TÓM TẮT

*Công nghệ cọc cát biển-xi măng-tro bay xử lý nền đất yếu là công nghệ mới đang trong quá trình hoàn thiện cơ sở lý thuyết, cơ sở thực nghiệm và xây dựng quy trình công nghệ xử lý nền. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu cơ sở khoa học thiết kế, tính toán, thi công và nghiệm thu cọc cát biển-xi măng-tro bay. Cơ sở khoa học để thiết kế cọc là xem xét vai trò của cọc trong xử lý nền, nghĩa là sử dụng cọc với vai trò cải tạo nền đất yếu hay gia cố nền đất yếu. Các thông số quan trọng trong tính toán thiết kế cọc là: hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc; chiều dài cọc; đường kính cọc; số lượng cọc; khoảng cách giữa các cọc; sức chịu tải và độ lún của nền cọc. Trình tự các bước triển khai thi công và nghiệm thu cọc bao gồm: lựa chọn thiết bị thi công, chuẩn bị mặt bằng thi công, thi công thử, thi công đại trà, đánh giá kết quả xử lý nền và lập hồ sơ nghiệm thu cọc.*

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Đặt vấn đề

Công nghệ xử lý nền đất yếu bằng cọc cát biển-xi măng-tro bay là dùng một thiết bị chuyên dụng đưa vật liệu hỗn hợp cát biển-xi măng-tro bay trộn khô với nhau vào nền đất dưới dạng cọc, tiết diện tròn và trong quá trình thi công không lấy đất từ trong nền ra. Đây là công nghệ mới, được phát triển trên cơ sở công nghệ cọc cát và công nghệ cọc đất-xi măng. Công nghệ này phát huy được ưu điểm, khắc phục được nhược điểm của công nghệ

cọc cát, công nghệ cọc đất-xi măng, đồng thời sử dụng nguồn cát biển, tro bay làm vật liệu chế tạo cọc giúp giảm giá thành xây dựng và bảo vệ môi trường, đặc biệt có ý nghĩa đối với xử lý nền đất yếu phục vụ xây dựng các công trình hạ tầng vùng ven biển và hải đảo. Cơ sở lý thuyết của công nghệ cọc cát biển-xi măng-tro bay được xây dựng trên cơ sở phân tích khoa học các quá trình: nén chặt cơ học đất nền, gia tăng cường độ của cọc và đất nền xung quanh cọc, cố kết thoát nước đất nền. Nhờ tác dụng của các quá trình này mà sức chịu tải của nền được gia tăng, độ lún của nền công trình được giảm đi. Để có thể ứng dụng công nghệ cọc cát biển-xi măng-tro bay vào thực tiễn xử lý nền đất yếu ở Việt Nam, ngoài việc xây dựng, hoàn thiện cơ sở lý thuyết và thực nghiệm, cần phải xây

\* Tác giả liên hệ

E - mail: [taducthinh@gmail.com](mailto:taducthinh@gmail.com)

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.01

được quy trình công nghệ thiết kế, thi công và nghiệm thu cọc, đảm bảo độ tin cậy và có tính khả thi.

## 2. Xây dựng quy trình thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay

### 2.1. Cơ sở khoa học thiết kế cọc

Cũng như bất kỳ công nghệ xử lý nền đất yếu nào khác, công nghệ cọc cát biển-xi măng-tro bay có mục đích duy nhất là nâng cao sức chịu tải và giảm độ lún của nền. Sức chịu tải của nền trước khi xử lý được quyết định bởi sức kháng cắt, đặc trưng là góc ma sát trong ( $\varphi$ ) và lực dính kết ( $c$ ) của đất nền. Độ lún của nền được quyết định bởi tính biến dạng, đặc trưng là modun tổng biến dạng ( $E$ ), hệ số nén lún ( $a$ ), hệ số rỗng ( $\varepsilon$ ) của đất nền (Tạ Đức Thịnh và nnk, 2009). Sau khi được xử lý, nền đất yếu trở thành nền mới (nền cọc) có thành phần, trạng thái, tính chất cơ lý mới. Nền cọc gồm 2 thành phần: cọc cát biển-xi măng-tro bay và đất nền xung quanh cọc, trong đó, cọc có cường độ (sức chịu tải) lớn hơn nhiều so với đất nền; đất nền xung quanh cọc có sức chịu tải lớn hơn so với sức chịu tải của đất nền trước khi xử lý. Lúc này, sức chịu tải và độ lún của nền cọc được quyết định không chỉ bởi sức kháng cắt và đặc trưng biến dạng của đất nền (đã thay đổi do tác dụng cơ học, hóa lý trong quá trình thi công cọc) mà còn bởi cường độ của cọc cát biển-xi măng-tro bay được tạo ra trong nền. Nói cách khác, tham gia vào tổng sức chịu tải và độ lún của nền mới (nền cọc) có vai trò rất lớn của cọc cát biển-xi măng-tro bay.

Cọc cát biển-xi măng-tro bay, về lý thuyết, vừa giống cọc cát lại vừa giống cọc đất-xi măng, vừa có tính năng cải tạo nền lại vừa có tính năng gia cố nền. Nếu hàm lượng xi măng, tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc nhỏ thì sau khi đông cứng, cường độ của cọc sẽ nhỏ, có thể xem cọc cát biển-xi măng-tro bay giống như cọc cát, đóng vai trò cải tạo nền. Nếu hàm lượng xi măng trong hỗn hợp vật liệu cọc lớn, cường độ của cọc sẽ lớn, cọc cát biển-xi măng-tro bay hoàn toàn giống cọc đất-xi măng, đóng vai trò gia cố nền. Tuy nhiên, vấn đề cần làm rõ là khi nào lựa chọn thiết kế cọc để cải tạo nền và khi nào thiết kế cọc để gia cố nền. Các nghiên cứu đã chỉ ra, việc sử dụng cọc để cải tạo nền hay gia cố nền phụ thuộc vào cấu trúc nền đất yếu. Nếu cấu trúc nền gồm các lớp đất yếu chiều dày lớn và phía dưới vùng hoạt động nén ép của công trình phân bố các

lớp đất yếu thì thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền là phù hợp. Nếu cấu trúc nền chỉ gồm các lớp đất yếu hoặc đất yếu và đất tốt xen kẽ nhau nhưng phía dưới vùng hoạt động nén ép của công trình phân bố các lớp đất tốt thì thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để gia cố nền là thích hợp (Tạ Đức Thịnh, 2017). Do đó, trước khi thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay cần tiến hành khảo sát địa kỹ thuật để xác định cấu trúc nền đất yếu khu vực xây dựng công trình.

### 2.2. Thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền

Sử dụng cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền, nghĩa là để làm thay đổi tính chất cơ lý của đất yếu theo hướng có lợi cho công tác xây dựng. Cọc cát biển-xi măng-tro bay đóng vai trò như vật liệu chiếm thể tích lỗ rỗng trong đất, làm tổng thể tích lỗ rỗng giảm đi, các hạt đất được sắp xếp lại, nền đất được nén chặt và sức chịu tải của nền tăng lên. Lúc này, cường độ của cọc không đáng kể, vai trò của xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc chỉ là chất kết dính các hạt cát biển để cọc không bị cắt, gãy và các hạt cát biển không di chuyển vào trong nền hoặc xuống phía dưới nền làm biến dạng cọc. Do đó, hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc không cần lớn. Quy trình thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay theo trình tự các bước sau: khảo sát địa kỹ thuật khu vực xây dựng; xác định hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc; xác định hệ số rỗng yêu cầu của nền đất yếu sau cải tạo; xác định chiều dài cọc; xác định đường kính cọc; xác định số lượng cọc; xác định khoảng cách giữa các cọc (Tạ Đức Thịnh, 2002).

#### 2.2.1. Khảo sát địa kỹ thuật khu vực xây dựng

Mục đích khảo sát địa kỹ thuật là xác định cấu trúc nền khu vực xây dựng, đặc biệt là đối tượng đất yếu cần cải tạo với các đặc trưng: chiều dày, phạm vi phân bố trong không gian, thành phần và tính chất cơ lý của các loại đất yếu. Công tác khảo sát địa kỹ thuật được tiến hành theo các tiêu chuẩn xây dựng hiện hành.

#### 2.2.2. Xác định hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc

Vật liệu cọc cát biển-xi măng-tro bay gồm cát biển, xi măng và tro bay trộn khô với nhau. Sau khi đưa vào nền, hỗn hợp vật liệu khô hút nước trong

nền, tạo thành vữa cát biến-xi măng-tro bay, sau đó rắn chắc lại thành cọc cứng. Với vai trò cải tạo nền, cường độ của cọc cát biến-xi măng-tro bay sau khi đông cứng sẽ không lớn hơn nhiều so với cường độ của đất nền xung quanh cọc. Vì vậy, trước khi phối trộn vật liệu cọc theo tỷ lệ, cần tiến hành thí nghiệm xác định ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và tro bay đến cường độ kháng nén của cọc. Các nghiên cứu đã chỉ ra, hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc sẽ hợp lý khi tạo ra cường độ kháng nén của mẫu cọc không lớn hơn 0,5 MPa.

### 2.2.3. Tính hệ số rỗng yêu cầu của nền đất yếu sau cải tạo ( $\varepsilon_{yc}$ )

Hệ số rỗng là đặc trưng biến dạng cơ bản của đất. Đối với đất yếu, hệ số rỗng thường có giá trị lớn hơn 1. Vì vậy, trong cải tạo nền đất yếu, hiệu quả cải tạo được đánh giá thông qua so sánh giá trị hệ số rỗng của đất yếu trước và sau khi cải tạo. Có thể xác định hệ số rỗng yêu cầu của đất yếu sau khi cải tạo như sau:

\* Đối với nền cát:

Từ công thức xác định độ chặt tương đối (D) của đất cát:

$$D = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}} \quad (1)$$

Thay hệ số rỗng ban đầu của đất cát ( $\varepsilon_0$ ) bằng hệ số rỗng yêu cầu ( $\varepsilon_{yc}$ ) của đất cát sau cải tạo, xác định được độ chặt yêu cầu của đất cát sau cải tạo là:

$$D_{yc} = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{yc}}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}} \quad (2)$$

Từ (2) xác định được hệ số rỗng yêu cầu ( $\varepsilon_{yc}$ ) của đất cát sau cải tạo:

$$\varepsilon_{yc} = \varepsilon_{max} - D_{yc}(\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}) \quad (3)$$

Trong đó:  $D_{yc}$  - lấy bằng 0,7- 0,8;  $\varepsilon_{max}$  - hệ số rỗng lớn nhất của đất, xác định bằng thí nghiệm mẫu đất nền;  $\varepsilon_{min}$  - hệ số rỗng nhỏ nhất của đất, xác định bằng thí nghiệm mẫu đất nền.

\* Đối với nền đất sét:

Hệ số rỗng yêu cầu ( $\varepsilon_{yc}$ ) của đất sét sau cải tạo được xác định bằng thí nghiệm nén cố kết ở trong phòng với áp lực nén  $P = 1,0 \text{ kG/cm}^2$  hoặc có thể tính gần đúng theo công thức:

$$\varepsilon_{yc} = \frac{\gamma_s}{\gamma_n \cdot 100} (W_d + 0.5I_d) \quad (4)$$

Trong đó,  $\gamma_s$  - khối lượng riêng của đất;  $W_d$  - độ ẩm giới hạn dẻo của đất (%);  $I_d$  - chỉ số dẻo của đất (%);  $\gamma_n$  - khối lượng riêng của nước.

### 2.2.4. Tính chiều dài cọc:

Chiều dài cọc cũng chính là chiều sâu cần cải tạo nền, phụ thuộc vào cấu trúc nền đất yếu và chiều sâu vùng hoạt động nén ép của công trình. Với mục đích cải tạo nền khi cấu trúc nền có các lớp đất yếu chiều dày lớn, cho nên, trong mọi trường hợp, chiều dài cọc cần lớn hơn vùng hoạt động nén ép của công trình.

Cấu trúc nền đất yếu xác định được nhờ công tác khảo sát địa kỹ thuật. Chiều sâu vùng hoạt động nén ép của công trình phụ thuộc vào quy mô, tải trọng công trình, được tính theo các phương pháp hiện hành của lý thuyết Cơ học đất. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra, chiều sâu vùng hoạt động nén ép của công trình có thể xác định được chính là khoảng cách từ đáy móng công trình đến độ sâu mà ở đó, ứng suất nén ép ( $\sigma_z$ ) do tải trọng công trình gây ra thỏa mãn một trong các điều kiện: bằng 0,1 ứng suất bản thân của đất nền ( $\sigma_{bt}$ ),  $\sigma_z = 0,1 \sigma_{bt}$  ( $\text{kG/cm}^2$ ); bằng áp lực bắt đầu cố kết thâm của đất; bằng độ bền kết cấu đất ( $q_{kc}$ ), với  $q = 2c \cos\varphi / (1 - \sin\varphi)$ , trong đó c, là lực dính và góc ma sát trong của đất hoặc bằng 0,2 - 0,3  $\text{kG/cm}^2$  (Tạ Đức Thịnh, 2002).

### 2.2.5. Tính đường kính cọc:

Đường kính cọc cát biến-xi măng-tro bay được xác định phụ thuộc vào tính năng của thiết bị chế tạo cọc cũng như quy mô, tải trọng công trình. Thông thường, đường kính cọc có thể lựa chọn từ 30 cm đến 150 cm.

### 2.2.6. Tính số lượng cọc:

Số lượng cọc cát biến-xi măng-tro bay (N) được xác định theo công thức:

$$N = \frac{F_c}{S} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc}}{1 + \varepsilon_0} \cdot \frac{F}{S} \quad (5)$$

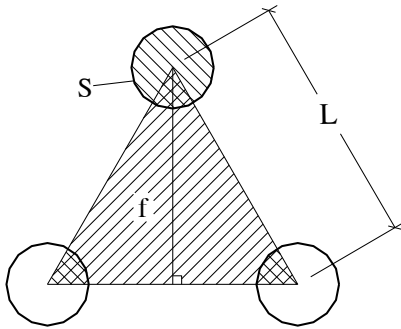
Trong đó:  $F_c$  - diện tích cần giảm trên toàn bộ vùng được nén chặt.

$$F_c = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc}}{1 + \varepsilon_0} F \quad (6)$$

Trong đó:  $\varepsilon_0$  - hệ số rỗng ban đầu của đất nền;  $\varepsilon_{yc}$  - hệ số rỗng yêu cầu sau khi xử lý;  $F$  - diện tích vùng nén chặt;  $S$  - diện tích tiết diện ngang của một cọc;

### 2.2.7. Tính khoảng cách giữa các cọc:

Để giảm diện tích phần đất nền không được nén chặt, có thể bố trí cọc cát biển-xi măng-tro bay theo dạng tam giác đều (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ bố trí cọc dạng tam giác đều.

Xét 3 cọc:

-Diện tích phần đất yếu giữa 3 cọc là:

$$f = \frac{L^2\sqrt{3}}{4} \quad (7)$$

-Diện tích phần rỗng cần giảm trong phạm vi 3 cọc là:

$$f_c = \frac{S}{2} = \frac{\pi d_c^2}{8} \quad (8)$$

Từ công thức (9)

$$\frac{f_c}{f} = \frac{\frac{\pi d_c^2}{8}}{\frac{L^2\sqrt{3}}{4}} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc}}{1 + \varepsilon_0} \quad (9)$$

Ta có:

$$L = \frac{d_c}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\pi(1 + \varepsilon_0)}{\sqrt{3}(\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc})}} \quad (10)$$

$$= 0,952d_c \sqrt{\frac{(1 + \varepsilon_0)}{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc})}}$$

Nếu bố trí cọc theo mạng lưới ô vuông thì:

$$L = 0,866d_c \sqrt{\frac{(1 + \varepsilon_0)}{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{yc})}} \quad (11)$$

Trong đó:  $S$  - diện tích tiết diện ngang của một

cọc;  $L$  - khoảng cách giữa các cọc;  $\varepsilon_0$  - hệ số rỗng ban đầu của đất nền;  $\varepsilon_{yc}$  - hệ số rỗng yêu cầu của đất nền sau khi gia cố;  $d_c$  - đường kính cọc.

### 2.3. Thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để gia cố nền

Sử dụng cọc cát biển-xi măng-tro bay để gia cố nền, nghĩa là dùng sức chịu tải (cường độ) của bản thân cọc cát biển-xi măng-tro bay để chống đỡ tải trọng công trình (giống như cọc đất-xi măng), cho nên, sức chịu tải của cọc phải đủ lớn. Trình tự thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay theo các bước sau: khảo sát địa kỹ thuật khu vực xây dựng; xác định hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc; tính chiều dài cọc; tính đường kính cọc; tính sức chịu tải của cọc; tính số lượng cọc; tính khoảng cách giữa các cọc.

#### 2.3.1. Khảo sát địa kỹ thuật khu vực xây dựng

Công tác khảo sát địa kỹ thuật xây dựng khu vực tiến hành theo các tiêu chuẩn xây dựng hiện hành.

#### 2.3.2. Xác định hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc

Với vai trò gia cố nền, cường độ của cọc sau khi đông cứng sẽ lớn hơn rất nhiều so với cường độ của đất nền xung quanh cọc. Tuy nhiên, khác với cọc đất-xi măng không có tác dụng gia tăng cường độ của đất nền xung quanh cọc, cọc cát biển-xi măng-tro bay, ngoài việc có sức chịu tải lớn như cọc đất-xi măng còn có tác dụng gia tăng sức chịu tải của phần đất nền xung quanh cọc. Nghĩa là, không giống nền cọc đất-xi măng chỉ có cọc đất-xi măng tham gia vào sức chịu tải của nền cọc mà tham gia vào sức chịu tải của nền cọc cát biển-xi măng-tro bay có cả cọc cát biển-xi măng-tro bay và đất nền xung quanh cọc. Do đó, hàm lượng xi măng và tro bay trong cọc cát biển-xi măng-tro bay có thể nhỏ hơn hàm lượng xi măng trong cọc đất-xi măng nhưng sức chịu tải của nền cọc cát biển-xi măng vẫn đảm bảo tương đương so với nền cọc đất-xi măng.

Cường độ kháng nén của cọc cát biển-xi măng-tro bay phụ thuộc vào hàm lượng xi măng và tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc, có thể thiết kế theo ý muốn tùy theo quy mô, tải trọng của từng loại công trình. Vì vậy, cần tiến hành thí nghiệm xác định hàm lượng xi măng và tro bay hợp lý trong hỗn hợp vật liệu cọc, sao cho cường độ kháng nén của cọc không nhỏ hơn tải trọng của công trình tác

dụng xuống đầu cọc. Thông thường, cường độ kháng nén của cọc cát biển-xi măng-tro bay nên lựa chọn lớn hơn 1,5 MPa.

### 2.3.3. Tính chiều dài cọc

Với mục đích gia cố nền khi cấu trúc nền có các lớp đất yếu nằm phía trên, phía dưới là các lớp đất tốt, cho nên, trong mọi trường hợp, chiều dài cọc cần lớn hơn chiều sâu vùng ảnh hưởng của công trình.

### 2.3.4. Tính đường kính cọc, khoảng cách giữa các cọc

Đường kính cọc, khoảng cách giữa các cọc xác định tương tự như trong trường hợp sử dụng cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền đất yếu nêu trên.

### 2.3.5. Tính sức chịu tải của cọc

\* Tính sức chịu tải của cọc đơn, theo công thức:

$$P_c = P_s + P_p \quad (12)$$

Trong đó:  $P_s$  và  $P_p$  là sức chịu tải do ma sát xung quanh cọc và sức kháng đầu mũi cọc.

$$P_s = \alpha C_u A_b \quad (13)$$

Trong đó:  $C_u$  - Sức kháng không thoát nước của đất nền, xác định bằng thí nghiệm cắt cánh hoặc xuyên tĩnh,  $C_u = q_c/15 \div q_c/20$  với  $q_c$  là sức kháng xuyên đầu mũi;  $\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào sức kháng cắt không thoát nước của đất xung quanh cọc, với  $C_u \geq 0,5 \text{ Kg/cm}^2$  thì  $\alpha = 0,8-1,0$ ,  $C_u < 0,5 \text{ Kg/cm}^2$  thì  $\alpha = 0,7$

$A_b$  - diện tích mặt bên cọc.

$$P_p = C_u N_c A_m \quad (14)$$

Trong đó:  $N_c$  - hệ số sức chịu tải đầu mũi cọc, phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cọc. Khi khoảng cách giữa các cọc trong khoảng 4÷5 lần đường kính cọc  $d$  thì với  $d \leq 30 \text{ cm}$ ,  $N_c = 9$ ;  $30\text{cm} < d \leq 60 \text{ cm}$ ,  $N_c = 7$  và  $d > 60 \text{ cm}$ ,  $N_c = 6$ ;  $A_m$  - diện tích đầu mũi cọc.

\* Tính sức chịu tải của nhóm cọc gia cố

Để tính sức chịu tải của nhóm cọc gia cố, người ta coi diện tích gồm nhóm cọc và đất được gia cố như một khối gia cố. Sức chịu tải của khối gia cố phụ thuộc vào ma sát giữa khối gia cố với đất xung quanh và sức chịu tải của mặt dưới khối gia cố, được tính theo công thức:

$$P_{khối} = P_{s\text{khối}} + P_{p\text{khối}} \quad (15)$$

Trong đó:  $P_{s\text{khối}} = C_u A_b\text{khối} = 2(B+L) H C_u$

$$P_{p\text{khối}} = C_u N_c A_m\text{khối} = (6-9) C_u B L$$

Trong đó:  $B, L, H$  là chiều rộng, chiều dài và chiều cao khối gia cố.

### 2.3.6. Tính số lượng cọc

Số lượng cọc cát biển-xi măng-tro bay cần gia cố được xác định theo công thức sau:

$$N = k \frac{p_{ct}}{p_c} \quad (16)$$

Trong đó:  $N$  - số lượng cọc;  $k$  - hệ số an toàn;  $P_{ct}$  - tổng tải trọng công trình;  $P_c$  - sức chịu tải của cọc đơn.

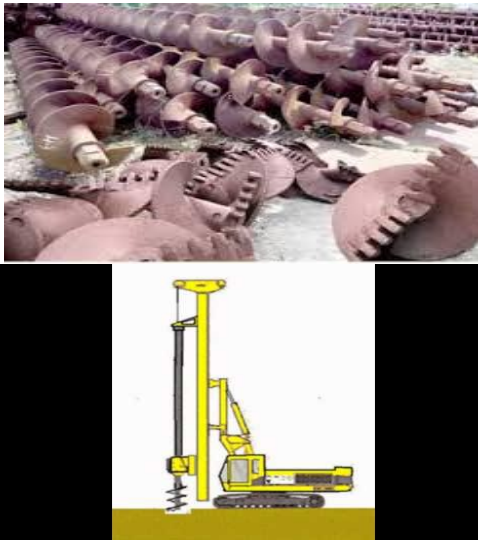
## 3. Xây dựng quy trình thi công cọc cát biển-xi măng-tro bay

Sau khi đã có bản vẽ thiết kế, quy trình thi công cọc cát biển-xi măng-tro bay được tiến hành theo trình tự các bước: Lựa chọn thiết bị thi công; chuẩn bị mặt bằng thi công; thi công cọc thử; thi công đại trà.

### 3.1. Lựa chọn thiết bị thi công

Việc lựa chọn thiết bị thi công phụ thuộc vào năng lực thiết bị hiện có. Hiện nay, có khá nhiều thiết bị có thể sử dụng để thi công cọc của Thụy Điển, Nhật Bản, Trung Quốc,... theo nguyên lý dùng máy đóng cọc hoặc búa rung tạo chấn động đưa ống thép xuống nền đất rồi nhồi vật liệu cọc, sau đó rút ống thép lên. Có thể sử dụng các máy đóng cọc: Hitachi PD 100, Cobelco 100P, Nippon Sharyo DH 408, DH 608, có trọng tải từ 40 tấn đến 65 tấn; búa rung điện loại Tomen có công suất từ 90 KW đến 150 KW tùy theo chiều sâu cọc và mức độ yêu cầu xử lý.

Đối với các công trình có quy mô tải trọng vừa và nhỏ, mặt bằng thi công hẹp, có thể sử dụng máy khoan guồng xoắn (Hình 2) hoặc máy khoan UGB-50M (Hình 3) để thi công (Tạ Đức Thịnh, 2002). Máy khoan UGB-50M là loại máy khoan đa năng, có công suất 150 mã lực, có thể khoan bằng guồng xoắn với hai chiều quay xuôi, ngược với mô men xoắn rất lớn. Nguyên lý làm việc của thiết bị là dùng hệ thống thủy lực của máy và trọng lượng của xe làm đối trọng trong quá trình ép đất ra xung quanh và nhồi vật liệu cọc.



Hình 2. Lưỡi khoan guồng xoắn và thiết bị thi công cọc cát biển-xi măng.



Hình 3. Máy khoan guồng xoắn UGB-50M.

### 3.2. Chuẩn bị mặt bằng thi công

Mặt bằng thi công được chuẩn bị theo quy định trong thiết kế và yêu cầu đối với môi trường, gồm lồi vào cho máy móc thiết bị, san lấp, thu dọn mặt bằng, tạo lớp chịu lực cho thiết bị, tiếp nhận, kiểm tra và lưu giữ vật liệu. Vật liệu cát biển, xi măng và tro bay nhập vào công trường phải có chứng chỉ kiểm định đặc tính kỹ thuật đã được quy định trong thiết kế. Kho chứa xi măng và tro bay được bảo đảm chống ẩm, tránh tác động bất lợi trong sử dụng.

### 3.3. Thi công cọc thử

Số lượng cọc thử cần thi công theo quy định của cơ quan thiết kế. Mục đích thi công cọc thử nhằm xác nhận các yêu cầu thiết kế và tạo lập các trị số kiểm soát tới hạn cho thiết bị, vật liệu, quy

trình kỹ thuật cùng chủng loại khi thi công đại trà. Các vị trí của cọc trên mặt bằng phải được định vị bằng các thiết bị chuyên dụng. Nếu sử dụng thiết bị hoặc máy khoan guồng xoắn thì các thông số kiểm soát thi công gồm: tốc độ khoan xuống và rút lên; tốc độ quay của cần khoan; áp lực khí nén và lượng vật liệu cát biển, xi măng và tro bay sử dụng.

### 3.4. Thi công đại trà

Nếu kết quả đánh giá chất lượng cọc đạt yêu cầu thiết kế thì tiến hành thi công đại trà như khi thi công cọc thử. Nếu kết quả đánh giá chất lượng cọc không đạt yêu cầu, cần tính toán, điều chỉnh lại các thông số thiết kế.

## 4. Quy trình nghiệm thu cọc

Sau khi hoàn thành thi công cọc, cần tiến hành đánh giá chất lượng, hiệu quả xử lý nền và tiến hành nghiệm thu. Trong khi chưa ban hành được tiêu chuẩn nghiệm thu cọc cát biển-xi măng-tro bay, có thể tham khảo tài liệu hiện hành của Bộ Khoa học và Công nghệ về nghiệm thu cọc đất-xi măng để áp dụng (Bộ KH&CN, 2012). Trình tự các bước nghiệm thu bao gồm: đánh giá kết quả xử lý nền và lập hồ sơ nghiệm thu xử lý nền.

### 4.1. Đánh giá kết quả xử lý nền

#### 4.1.1. Đánh giá chất lượng cọc

Chất lượng cọc được đánh giá thông qua các thông số: cường độ kháng nén của cọc, biến dạng của cọc, độ đồng nhất của cọc và tính thấm của cọc (nếu cần thiết). Để đánh giá các thông số này, có thể khoan lấy mẫu cọc và tiến hành thí nghiệm mẫu ở trong phòng theo các phương pháp hiện hành.

#### 4.1.2. Đánh giá chất lượng nền

Chất lượng nền được đánh giá thông qua việc so sánh các thông số: sức kháng cắt (lực dính kết và góc ma sát trong), tính biến dạng (modun tổng biến dạng, hệ số nén lún, hệ số rỗng) và các đặc trưng cơ lý khác (độ ẩm, khối lượng thể tích, độ sệt,...) của đất nền trước và sau khi xử lý. Có thể sử dụng phương pháp khoan lấy mẫu và tiến hành thí nghiệm ở trong phòng hoặc sử dụng các thí nghiệm nén tĩnh, xuyên tiêu chuẩn, xuyên tĩnh, cắt cánh, nén ngang trong hố khoan,... ở ngoài trời để xác định các chỉ tiêu cơ lý của đất nền sau xử lý.

#### 4.1.3. Đánh giá chất lượng cọc

Cần tính toán độ lún và sức chịu tải của nền sau xử lý để đảm bảo rằng, công trình dự định xây dựng trên nền đất yếu đảm bảo đạt yêu cầu cho phép. Việc tính độ lún và sức chịu tải của nền sau xử lý cần phân biệt: trường hợp sử dụng cọc để cải tạo nền và trường hợp sử dụng cọc để gia cố nền.

*\*Trường hợp cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền:*

- Độ lún của nền có tính theo các phương pháp của lý thuyết môi trường biến dạng tuyến tính mà phổ biến và chính xác hơn cả là phương pháp cộng lún từng lớp (Tạ Đức Thịnh, 2017), theo đó, độ lún của nền được tính theo công thức:

$$S = \sum_{i=1}^n \sigma_i h_i \frac{\beta}{E_{oi}} \quad (17)$$

Trong đó:  $n$  - số lớp đất phân tố được chia trong vùng hoạt động nén ép của công trình;  $\sigma_i$  - ứng suất phụ thêm trung bình của các lớp phân tố thứ  $i$ ;  $h_i$  - chiều dày lớp phân tố thứ  $i$ ;  $\beta$  - hệ số không thứ nguyên, phụ thuộc vào hệ số nở hông của đất;  $E_{oi}$  - môđun tổng biến dạng của lớp thứ  $i$ , xác định trong phòng thí nghiệm hoặc bằng thí nghiệm nén tĩnh ở hiện trường.

- Sức chịu tải của nền sau cải tạo có thể tính theo phương pháp Puzurevski:

$$P_{gh} = P_0 = \gamma h + \frac{\cot \varphi + \varphi + \frac{\pi}{2}}{\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \frac{\pi c \cot \varphi}{\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} \quad (18)$$

Trong đó:  $\varphi$  - góc ma sát trong của đất;  $c$  - lực dính của đất;  $\gamma$  - khối lượng thể tích của đất;  $h$  - chiều sâu chôn móng;  $b$  - chiều rộng của móng.

*\*Trường hợp cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền:*

Độ lún của nền được xác định bằng tổng độ lún của khối đất gia cố và độ lún của nền đất dưới khối gia cố.

- Độ lún của khối đất gia cố xác định theo công thức:

$$S = \frac{\sigma}{M} H = \frac{\sigma H}{a_c M_c + (1 - a_c) M_d} \quad (19)$$

Trong đó:  $\sigma$  - ứng suất trung bình dưới đáy móng khối;  $M$  - modun nén trung bình của cọc và đất xung quanh cọc;  $H$  - chiều sâu gia cố;  $a_c$  - tỷ diện tích thay thế;  $M_c$  - modun nén của cọc, lấy bằng (50-100)  $C_{cọc}$  với  $C_{cọc}$  - lực dính của vật liệu cọc;  $M_d$  - modun nén của đất xung quanh cọc, thường lấy bằng 150  $C_u$ ;  $C_u$  - sức kháng cắt của đất xung quanh cọc, xác định bằng thí nghiệm cắt cánh hoặc xuyên tĩnh.

- Độ lún của nền dưới khối gia cố:

Được xác định theo các phương pháp thông thường nhưng có kể đến hệ số giảm thiểu độ lún là tỷ số giữa độ lún của khối đất đã gia cố và độ lún của đất khi chưa gia cố (Tạ Đức Thịnh, 2017).

#### 4.2. Lập hồ sơ nghiệm thu cọc

Hồ sơ nghiệm thu xử lý nền bao gồm: biên bản nghiệm thu chi tiết từng cọc; biên bản hoàn công cọc, gồm cả những sửa đổi đã được duyệt; chứng chỉ chi tiết vật liệu cát biển, xi măng, tro bay; mô tả chi tiết điều kiện nền.

#### 5. Kết luận và kiến nghị

Từ những kết quả nghiên cứu nêu trên, có thể đưa ra một số kết luận và kiến nghị sau đây:

5.1. Công nghệ cọc cát biển-xi măng-tro bay xử lý nền đất yếu là công nghệ mới, phát huy được ưu điểm, khắc phục được nhược điểm của công nghệ cọc cát, cọc đất-xi măng, có thể được ứng dụng xử lý nền đất yếu phục vụ xây dựng công trình, đặc biệt có ý nghĩa đối với công trình hạ tầng vùng ven biển sử dụng nguồn cát biển và tro bay tại chỗ làm vật liệu cọc.

5.2. Việc lựa chọn thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay phụ thuộc vào cấu trúc nền đất yếu. Nếu cấu trúc nền gồm các lớp đất yếu chiều dày lớn và phía dưới vùng hoạt động nén ép của công trình phân bố các lớp đất yếu thì thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để cải tạo nền. Nếu cấu trúc nền chỉ gồm các lớp đất yếu hoặc đất yếu và đất tốt xen kẽ nhau nhưng phía dưới vùng hoạt động nén ép của công trình phân bố các lớp đất tốt thì thiết kế cọc cát biển-xi măng-tro bay để gia cố nền.

5.3. Nếu sử dụng cọc để cải tạo nền thì hàm lượng xi măng, tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc nên lựa chọn sao cho cường độ kháng nén của mẫu cọc không lớn hơn 0,5 Mpa. Nếu sử dụng cọc để gia cố nền thì hàm lượng xi măng, tro bay trong hỗn hợp vật liệu cọc nên lựa chọn để cường độ



kháng nén của mẫu cọc không nhỏ hơn tải trọng của công trình tác dụng xuống đầu cọc.

5.4. Quy trình tính toán thiết kế cọc cát biến-xi măng gồm: đường kính cọc, chiều dài cọc, khoảng cách giữa các cọc, sức chịu tải và độ lún của nền cọc. Quy trình thi công cọc và nghiệm thu cát biến-xi măng-tro bay theo trình tự: lựa chọn thiết bị thi công cọc; chuẩn bị mặt bằng thi công; thi công cọc thử; thi công đại trà; đánh giá kết quả xử lý nền ; lập hồ sơ nghiệm thu xử lý nền.

5.5. Cần tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện cơ sở lý thuyết, cơ sở thực nghiệm và triển khai thi công thực nghiệm ở hiện trường cọc cát biến-xi măng-tro bay với các nội dung: đánh giá định lượng vấn đề cố kết thoát nước của đất nền; nghiên cứu ảnh hưởng của từng kiểu cấu trúc nền đất yếu đến hiệu quả xử lý nền.

#### **Lời cảm ơn**

Các tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài NCKH mã số RD 40-20 tài trợ cho nghiên cứu này.

#### **Những đóng góp của tác giả**

Khái niệm hóa: Bùi Anh Thắng; Phương pháp luận: Tạ Đức Thịnh; Kiểm chứng: Hoàng Đình Phúc; Phân tích dữ liệu: Nguyễn Thị Diệu; Viết bản thảo bài báo: Tạ Đức Thịnh; Đánh giá và chỉnh sửa: Ngô Thị Hương Trang.

#### **Tài liệu tham khảo**

Tạ Đức Thịnh, (2002). Báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ: Nghiên cứu khả năng gia cố nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi. Trường Đại học Mỏ-Địa chất Hà Nội.

Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Văn Phóng, (2009). Nền và móng công trình. *Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.*

Tạ Đức Thịnh, (2017). Bàn về phương pháp tính toán sức chịu tải và độ lún của nền đất yếu gia cố bằng cọc đất-xi măng. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất*, Tập 58(5).

Bộ Khoa học và Công nghệ, (2012). Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9403:2012. Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng.