

Study on the loess soil improved by soil-cement columns for wind turbine foundation



Phuc Dinh Hoang¹, Dinh Cong Nguyen^{2,*}, Thuc Viet Chu³

¹ Faculty of Civil Engineer, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Faculty of Civil Engineer, University of Transport and Communications, Vietnam

³ Faculty of Civil Engineering, Electric power University, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:
Received 15th Sep. 2020
Revised 16th Nov. 2020
Accepted 31th Dec. 2020

Keywords:
Loess soil,
Loess-cement pile,
Priebe,
Settlement

ABSTRACT

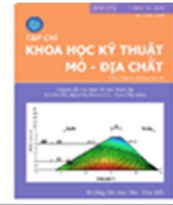
The paper presents the foundation solution for wind turbine in the extreme geotechnical condition. With the features of loose and foam loess and easier to settle when wet condition, it needs improving before construction. In the scope of the paper, the deep mixing soil-cement column combined of soil-cement load transfer layer for loess improvement is proposed. Additionally, the sequence of settlement prediction is described, and the two cases of column distance are 2 m and 1,5 m, the diameters of column range from 0,5 to 0,8 m are analysed. Moreover, the cement mixing ratio in loess is considered. The analytical results indicate that the settlement of wind turbine foundation is lower than the limited settlement (78,51 mm < 80 mm) when the load transfer layer equals 1,5 m and the improvement ratio (A_c/A) of 0,145 and the cement/soil mixture ratio of 6%.

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

*Corresponding author

E - mail: ncdinh@utc.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.15



Nghiên cứu phương pháp cải tạo nền đất hoàng thổ bằng cọc đất xi măng trong xử lý cải tạo nền cho tháp điện gió

Hoàng Đình Phúc¹, Nguyễn Công Định^{2*}, Chu Việt Thức³

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải, Việt Nam

³ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Điện lực, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 15/09/2020

Sửa xong 16/10/2020

Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:

Cọc đất - xi măng,
Đất hoàng thổ,
Nguyên lý Priebe,
Tính lún.

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày giải pháp thiết kế nền móng cho tuabin điện gió trong điều kiện địa kỹ thuật bất lợi. Với đặc điểm nền đất hoàng thổ là xốp và rời, dễ lún lớn khi ướt, do đó, trước khi xây dựng các công trình trên nền đất hoàng thổ này cần có những biện pháp xử lý, cải tạo. Trong phạm vi bài báo, giải pháp cải tạo nền được đề xuất là dùng các cọc đất - xi măng đầm chặt kết hợp với một lớp gối đệm cùng vật liệu để phân phối tải trọng. Đồng thời, các bước dự tính độ lún của nền đất đối với trường hợp khoảng các cọc đất - xi măng là 1,5 m và 2,0 m, đường kính cọc cũng lần lượt thay đổi từ 0,5÷0,8 m đã được tính toán. Ngoài ra, bài báo cũng nghiên cứu sự ảnh hưởng tỷ lệ xi măng được đưa vào trộn với mẫu đất tới độ lún của nền. Kết quả tính toán cho thấy rằng độ lún tính toán của móng tháp điện gió sẽ nhỏ hơn độ lún cho phép (78,51 mm < 80 mm), khi chiều dày lớp đệm là 1,5 m, hệ số gia cố, cải tạo (A_c/A) bằng 0,145 và tỷ lệ trộn xi măng với đất là 6%.

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

1. Mở đầu

Ở một số nước Đông Âu hiện nay đang có không ít điện gió và cũng có nhiều địa điểm thích hợp cho các công trình như vậy có thể được xây dựng trong tương lai (Jefferson và nnk, 2015; Plomteux và Ciortan, 2010). Trường hợp nghiên cứu nằm ở phía đông nam của Rumani, nơi nền đất có một lớp hoàng thổ tương đối dày, nằm ngay trên mặt đất. Theo quan điểm về địa kỹ thuật, nền

đất có lớp hoàng thổ ở trạng thái tự nhiên không được xem là nền đất tốt với hệ số nén lún cao khi bị ướt. Dưới tác dụng của tải trọng công trình, độ lún tổng thể và độ lún lệch của nền vượt quá giới hạn cho phép, đồng thời nền không đủ khả năng chịu tải trọng, gây phá hoại kết cấu công trình.

Để đảm bảo yêu cầu về sức chịu tải và thỏa mãn độ lún giới hạn, việc cải tạo gia cố, cải tạo nền hoàng thổ tự nhiên là điều cần thiết (Sariosseiri và Muhunthan, 2009). Trong tính toán thiết kế, phương án móng nông đặt trực tiếp lên nền đất tự nhiên không thỏa mãn yêu cầu về độ lún, trong khi giải pháp móng cọc bê tông cốt thép chưa kinh tế. Sử dụng cọc đất - xi măng cải tạo nền đất hoàng thổ là giải pháp đáp ứng được cả yêu cầu kỹ thuật

* Tác giả liên hệ

E - mail: ncdinh@utc.edu.vn

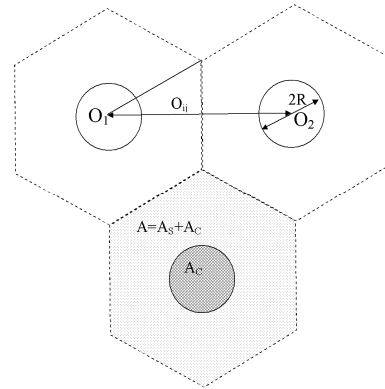
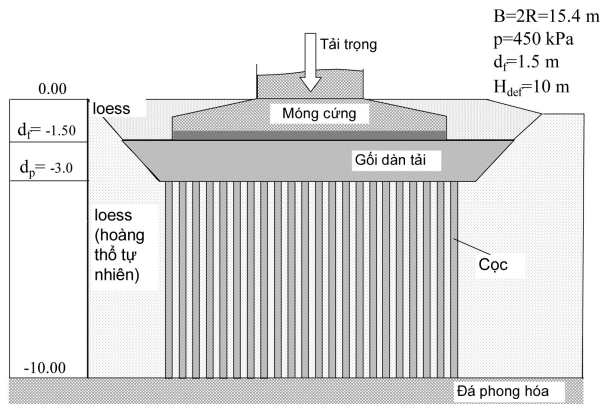
DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.15

và kinh tế. Bài báo phân tích một số phương án bố trí cọc đất xi măng, tỷ lệ phối trộn xi măng/đất nhằm lựa chọn ra giải pháp tối ưu trong thiết kế hình học, và yêu cầu lựa chọn vật liệu.

2. Vật liệu, giả thiết và phương pháp tính toán

Cấu trúc nền của khu vực nghiên cứu, bao gồm một lớp hoàng thổ dày 10 m trên một lớp đá phiến sét phong hóa. Móng tuabin được thiết kế hình

tròn có đường kính/bề rộng $B = 15,4 \text{ m}$, đặt ở độ sâu 1,5 m (Nguyễn Công Định, 2020). Dưới móng có bố trí lớp truyền tải trọng (hay còn gọi là gối đàn tải) dày 1,5 m, lớp này được làm bằng vật liệu đất trộn xi măng đầm chặt với tỷ lệ trộn xi măng với đất lần lượt là 0, 2, 4 và 6%. Các cọc đất-xi măng sẽ được thi công xuyên qua lớp hoàng thổ đến lớp đá phiến sét (Hình 1). Các cọc được bố trí theo dạng lưới hình tam giác đều, khoảng cách giữa cọc nghiên cứu tương ứng bằng 1,5 m và 2 m.



Hình 1. Mô hình thiết kế nền móng (trái) và cách bố trí các cọc (phải).

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu.

Các loại vật liệu		Trọng lượng thể tích (γ_s, γ_c)	Góc ma sát trong (φ_s, φ_c)	Lực dính đơn vị (c_s, c_c)	Mô đun biến dạng (E_s, E_c)
		kN/m ³	°	kPa	kPa
Đất nền	Loess tự nhiên	17,11	22,6°	5,4	7551,37
	Loess không xi măng	20,20	27,2°	17,2	18400,00
Gối đệm và cọc: Loess trộn xi măng, đầm chặt	+ 2% xi-măng	20,60	34,6°	58,0	37000,00
	+ 4% xi-măng	20,56	45°	117,0	63200,00
	+ 6% xi-măng	20,73	62°	190,0	71000,00

Trong bảng 1: các chỉ tiêu có chỉ số "s" là thuộc về đất nền (soil – đất loess tự nhiên), chỉ số "c" là của vật liệu cải tạo (cọc, gối đệm).

Trong phạm vi bài báo nhóm tác giả đã tiến hành tính toán cho một tháp điện gió với tải trọng tính toán là $P=450 \text{ kPa}$, các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu đã được thí nghiệm trong phòng. Kết quả được trình bày ở bảng 1.

Để thiết lập giải pháp tối ưu cho việc cải tạo đất nền, tiêu chí là dự báo độ lún trong các phương án khác nhau cho đến khi đạt được độ lún cho phép. Độ lún được tính theo tiêu chuẩn Eurocode 7 (NP 112-2014). Các phương án thiết kế được tạo ra bởi các đường kính cọc khác nhau (0,5 m ÷ 0,8 m) và

khoảng cách cọc (1,5 m hoặc 2,0 m). Các phương án thiết kế được phân tích bằng các vật liệu khác nhau từ hoàng thổ tự nhiên, hoàng thổ đầm chặt và hỗn hợp hoàng thổ với hàm lượng xi măng bằng 0, 2, 4, 6%.

Phương pháp Priebe được sử dụng để mô hình hóa hiệu quả cải tạo đất bằng cọc hỗn hợp đất hoàng thổ + xi-măng được đầm chặt (Nguyễn Công Định, 2020; Priebe H., 1995).

Trong bài viết này, các phương án thiết kế cải tạo được đặt tên theo 3 tham số: độ sâu lớp đệm -

dp (m), khoảng cách giữa các cọc s (m) và đường kính của cọc là d(m), theo thứ tự này (dp-s-d).

Độ lún được tính toán cho các trường hợp khác nhau để tìm ra các kết quả đáp ứng yêu cầu, sau đó đề xuất phương án tốt nhất.

Tỉ lệ diện tích cột và phần đất $(A_c/A)_1$, hay còn gọi là hệ số cải tạo được sử dụng để so sánh khối lượng vật liệu được sử dụng (yếu tố kinh tế).

3. Dự tính độ lún

Độ lún được dự tính cho từng phương án thiết kế xử lý nền móng. Các thông số thiết kế được thay đổi dần để tìm ra phương án đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Phương án thích hợp nhất được đưa ra dựa trên tổng hợp các kết quả dự tính độ lún.

Phương pháp dự tính độ lún dùng kết hợp nguyên lý Priebe để quy đổi nền hỗn hợp đất - cọc thành một nền đồng nhất tương đương, sau đó dùng phương pháp tính lún cổ điển (phân tầng tính tổng) để xác định độ lún của nền.

Để minh họa cho các bước thực hiện tính toán, sau đây sẽ trình bày công thức và số liệu cụ thể cho 1 phương án thiết kế làm ví dụ. Phương án thiết kế được lấy làm ví dụ tính toán có chiều dày lớp gối dần tải là $d_p = 1,5$ m (Hình 1), khoảng cách giữa các cọc là 2 m và đường kính cọc là 0,8 m. Vật liệu cọc và lớp gối đệm là hỗn hợp trộn đất hoàng thổ với 6% xi măng, đầm chặt.

3.1. Xác định hệ số quy đổi theo nguyên lý Priebe

3.1.1. Xác định hệ số cải tạo cơ bản, n_0

Hệ số cải tạo cơ bản được tính dựa trên tỷ lệ diện tích giữa cọc và nền đất, với các chỉ tiêu trung bình được tính theo công thức (1):

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[\frac{5 - A_c/A}{4 \cdot K_{ac} \cdot (1 - A_c/A)} - 1 \right] \quad (1)$$

$$\text{Với } K_{ac} = \tan^2(45^\circ - \varphi_c/2) \quad (2)$$

Các giá trị: $A = 3,464$ (m²) là diện tích một phân tố mặt đất (hình lục giác), $A_c = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,4)^2 = 0,503$ m² là diện tích tiết diện cọc, tỷ lệ diện tích: $A/A_c = 3,464/0,503 = 6,8916$ và $\varphi_c = 62^\circ$ là góc ma sát trong của vật liệu cọc đất trộn với 6% xi măng. Thay vào (2) xác định được $K_{ac} = 0,062$. Từ đó tính được $n_0 = 4,169$ theo (1).

3.1.2. Hệ số cải tạo xét đến độ nén của bản thân cọc, n_1

Với hệ số Poisson $\mu_s = 1/3$, lấy giá trị dương nhỏ nhất, được xác định theo công thức (3), (với $n_0 = E_c/E_s$ cho tỷ lệ diện tích hiệu chỉnh $(A_c/A)_1$).

$$\left(\frac{A_c}{A}\right)_1 = \frac{4 \cdot K_{ac} \cdot (n_0 - 2) + 5}{2 \cdot (4 \cdot K_{ac} - 1)} \pm \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{4 \cdot K_{ac} \cdot (n_0 - 2) + 5}{4 \cdot K_{ac} - 1}\right]^2 + \frac{16 \cdot K_{ac} \cdot (n_0 - 1)}{4 \cdot K_{ac} - 1}}$$

Khả năng độ nén của vật liệu cọc được xét đến bằng cách sử dụng hệ số cải tạo n_1 theo công thức (4) - dựa trên công thức tính n_0 trong đó tỷ lệ diện tích A/A_c (5) được điều chỉnh tăng lên một lượng là $\Delta A/A_c$ (6):

$$n_1 = 1 + \frac{\overline{A_c}}{A} \left[\frac{5 - \overline{A_c}/A}{4 \cdot K_{ac} \cdot (1 - \overline{A_c}/A)} - 1 \right] \quad (4)$$

$$\frac{\overline{A_c}}{A} = \frac{\overline{A_c}}{A_c/A} = \frac{1}{A/A_c + \Delta(A/A_c)} \quad (5)$$

$$\Delta(A/A_c) = \frac{1}{(A_c/A)_1} - 1 \quad (6)$$

Tiếp tục tính toán cho ví dụ minh họa, xác định được các giá trị $(A_c/A)_1 = 0,1451$, $\Delta(A/A_c) = 5,8916$, $\overline{A_c}/A = 0,0782$ và hệ số cải tạo $n_1 = 2,60$.

3.1.3. Xác định hệ số cải tạo theo chiều sâu, n_0

Hệ số cải tạo theo chiều sâu n_2 được tính theo hệ số cải tạo n_1 và yếu tố chiều sâu f_d theo (7):

$$n_2 = f_d \cdot n_1 \quad (7)$$

Yếu tố chiều sâu f_d được tính theo công thức (8):

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_{0c} - 1}{K_{0c}} \frac{\sum(\gamma_s \Delta d)}{p_c}} \quad (8)$$

$$p_c = \frac{p}{\frac{A_c}{A} + \frac{1 - A_c/A}{p_c/p_s}} \quad (9)$$

$$K_{0c} = 1 - \sin \varphi_c \quad (10)$$

Với giá trị đã cho của các thông số: trọng lượng thể tích của đất nền $\gamma_s = 17,1$ kN/m³ và chiều dày lớp đất hoàng thổ cần cải tạo (trong ví dụ này chính bằng chiều dài cọc) $\Delta d = 7$ m ($\Delta d = H_{ref} - d_f - d_p$), tính được kết quả $K_{0c} = 1 - \sin \varphi_c = 1 - \sin 60^\circ = 0,117$, $p_c = 3714$ kPa, $f_d = 1,321$ và hệ số cải tạo $n_2 = 3,4378$.

3.1.4. Tính toán các giá trị thông số của nền đồng nhất tương đương

Để dự tính độ lún, cần xác định các giá trị trọng lượng thể tích tương đương và mô đun biến dạng tương đương (D_{eq}) theo công thức (11).

$$\gamma_{eq} = \frac{[\gamma_s(A - A_c) + \gamma_c A_c]}{A}$$

$$\gamma_{eq} = [17,11 \times (3,464 - 0,5027) + 20 \times 0,5027] / 3,464 = 17,54 \text{ kN/m}^3$$

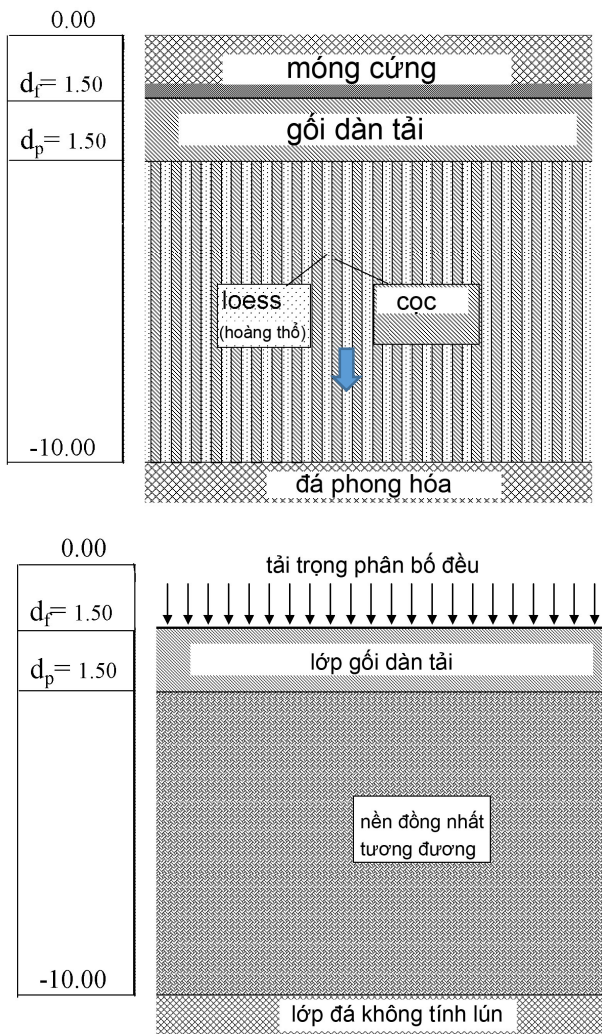
$$D_{eq} = n_2 \cdot D_S \tag{11}$$

$$D_{eq} = 3,4378 \times 7551,37 = 25960 \text{ kPa}$$

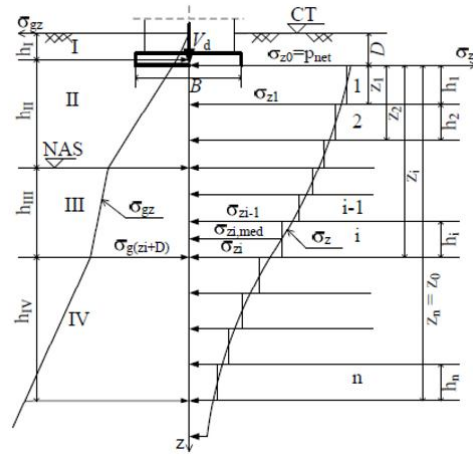
3.2. Tính toán độ lún cho nền tương đương theo phương pháp cổ điển

3.2.1. Mô hình hóa và sơ đồ tính lún

Mô hình tính toán được trình bày chi tiết theo các số liệu của ví dụ minh họa, với các thông số cho trong Hình 2 và mô hình tính lún theo Hình 3 (áp dụng theo tiêu chuẩn NP112-2014).



Hình 2. Mô hình tính lún theo nguyên lý Priebe (theo NP112-2014).



Hình 3. Sơ đồ tính toán độ lún cuối cùng (theo tiêu chuẩn NP112-2014).

3.2.2. Các thông số tính toán

Tải trọng tính toán trung bình, p_{net}

Tải trọng tính toán trung bình tại đáy móng được tính theo công thức (12):

$$p_{net} = p_{efmed} - \gamma \cdot d_f \tag{12}$$

Trong đó:

p_{efmed} - áp lực hữu hiệu trung bình do tải trọng công trình truyền xuống đáy móng.

Trong trường hợp này $p_{efmed} = 450 \text{ kPa}$ và trọng lượng thể tích trung bình của đất phía trên đáy móng là: $\gamma = 17,11 \text{ kN/m}^3$; chiều sâu đặt móng là $d_f = 1,5 \text{ m}$. Giá trị tính được $p_{net} = 424,335 \text{ kPa}$.

Độ dày của lớp đất phân tố: Mỗi lớp phân tố được xem là vật liệu đất đồng nhất, có chiều dày $h_i = 0,5 \text{ m}$.

3.3. Kết quả đạt được

Các trường hợp tính toán được chia thành hai nhóm phương án về khoảng cách cọc (1,5 m và 2 m), trong đó, ứng với mỗi khoảng cách cọc có 4 giá trị của đường kính cọc khác nhau ($d=0,5; 0,6; 0,7$ và $0,8 \text{ m}$). Như vậy có 8 phương án thiết kế về mặt hình học. Ứng với mỗi phương án thiết kế hình học được áp dụng tính toán với 4 loại vật liệu cải tạo khác nhau (đất hoàng thổ trộn xi măng với hàm lượng khác nhau: 0, 2, 4, 6%). Tổng cộng có 32 trường hợp bài toán được dự tính lún.

Độ lún của nền đất hoàng thổ tự nhiên chưa qua xử lý, với tải trọng công trình tương ứng, được dự tính theo tiêu chuẩn NP 125-2010 (NP 125-2010, 2010) cho kết quả là 366,17 mm trong điều

kiện độ ẩm tự nhiên và 1511,6 mm trong điều kiện bão hòa. Độ lún của nền đất chưa xử lý trong cả 2 trường hợp vượt quá độ lún tối đa cho phép là 80 mm, vì vậy việc áp dụng các biện pháp cải tạo để giảm độ lún là cần thiết.

3.4. Thảo luận

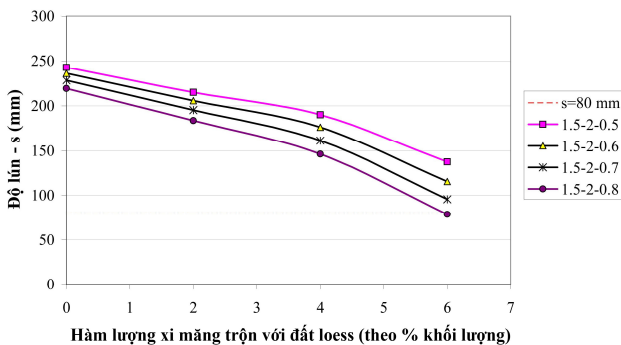
Để đạt được những kết quả và so sánh đối chứng, độ lún được dự tính cho từng phương án cải tạo như đã nêu ở trên đã được tính toán chi tiết đối với các trường hợp có khoảng cách giữa các cọc là 2 m và 1,5 m mà không thay đổi điều kiện bề dày lớp gối đàn tải trọng ($d_f=d_p=1,5$ m).

3.4.1. Phương án khoảng cách các cọc là 2 m

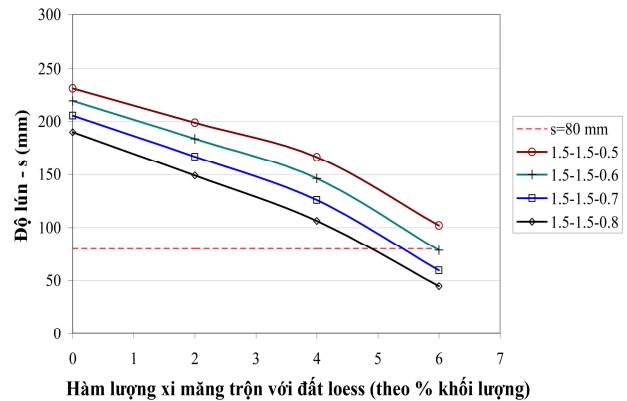
Phương án được phân tích có chiều dày lớp gối đệm đàn tải $d_f=d_p=1,5$ m, các cọc được bố trí với khoảng cách $s=2$ m, đường kính cọc thay đổi từ 0,5 đến 0,8, 1,5-2-d, cọc được chế tạo từ đất hoàng thổ trộn xi măng. Kết quả tính toán các phương án được thể hiện trong Hình 4 cho thấy, chỉ có trường hợp đường kính cọc $d=0,8$ m với đất hoàng thổ trộn xi măng với tỷ lệ xi măng được trộn là 6% thì đạt được kết quả tương đương với độ lún cho phép (78,51 mm so với 80 mm). Các trường hợp khác với đường kính cọc nhỏ hơn 0,8 m ($d=0,5÷0,7$) và tỷ lệ xi măng trộn với đất hoàng thổ nhỏ hơn 6% thì cho kết quả là độ lún của nền đều vượt quá giới hạn cho phép (80 mm).

3.4.2. Phương án khoảng cách các cọc là 1,5 m

Làm thí nghiệm với các thông số về khoảng cách giữa các cọc $s=1,5$ m; chiều dày gối đệm $d_p=d_f=1,5$ m; đường kính cọc là d thay đổi từ 0,5÷0,8 m. Kết quả của các phương án được thể hiện ở Hình 5.



Hình 4. Biểu đồ độ lún cho phép của nền với độ lún của nền với khoảng cách giữa các cọc là 2 m.



Hình 5. Biểu đồ độ lún của nền với độ lún của nền với khoảng cách giữa các cọc là 1,5 m (độ lún cho phép đường đồ nét đứt).

Qua kết quả từ Hình 5 cho ta thấy, với bề dày lớp gối đàn tải là $d_p=1,5$ m và khoảng cách giữa các cọc là 1,5 m thì trường hợp với đường kính cọc $d=0,6; 0,7$ và 0,8 m với đất hoàng thổ trộn xi măng với tỷ lệ xi măng được trộn là 6% thì đạt được kết quả trong ngưỡng độ lún cho phép (80 mm). Các trường hợp khác với tỷ lệ xi măng trộn với đất hoàng thổ nhỏ hơn 6% và với đường kính thay đổi d từ 0,5÷0,8 m thì đều cho kết quả là độ lún của nền vượt quá giới hạn cho phép (80 mm).

Tuy nhiên, trong 3 trường hợp với tỷ lệ 6% xi măng trộn với đất hoàng thổ và đường kính cọc d là 0,6; 0,7 và 0,8 m thì trường hợp với đường kính cọc $d=0,6$ m là kinh tế nhất (do có tỷ lệ A_c/A là nhỏ nhất dẫn đến sử dụng ít vật liệu cải tạo nhất). Do đó, trường hợp đường kính cọc $d=0,6$ m được chọn làm trường hợp đại diện tốt nhất cho phương án 1,5-1,5-d.

Từ kết quả của Hình 4 và Hình 5 cho ta thấy phương án (1,5-1,5-0,6) có cùng giá trị về tỷ số diện tích $A_c/A=0,145$ so với phương án (1,5-2-0,8), tức là cùng mức độ sử dụng vật liệu cải tạo như nhau. Độ lún nền của 2 trường hợp này cũng tương đồng là 78,51 mm. Như vậy, về mặt yếu tố kinh tế và yêu cầu kỹ thuật đều tương đồng, phương án được lựa chọn ở đây sẽ chỉ phụ thuộc vào công nghệ thi công và điều kiện máy móc của nhà thầu thi công. Nếu trong trường hợp nhà thầu thi công đều có thể thi công cả 2 phương án đó thì nhóm tác giả đề xuất sử dụng phương án có đường kính cọc lớn hơn do giảm được tổng số lượng cọc được thi công trên 1 diện tích cải tạo, từ đó sẽ giúp rút ngắn được thời gian thi công.

3.5. Kết luận

Việc trộn đất hoàng thổ với xi măng và đầm chặt cải thiện tính chất xây dựng của vật liệu một cách rõ rệt và hiệu quả so với đất hoàng thổ tự nhiên. Việc cải tạo nền đất hoàng thổ bằng phương pháp trộn đất hoàng thổ sẵn có với xi măng là giải pháp khả thi, hiệu quả và đã được chứng minh qua bài toán thiết kế cụ thể.

Các hỗn hợp đất hoàng thổ trộn với xi măng có tỷ lệ nhỏ hơn 6% xi măng, mặc dù có cải thiện tính chất của vật liệu, nhưng chưa đáp ứng được yêu cầu về độ lún trong bài toán cụ thể này. Trong giới hạn đang xét về khoảng cách và đường kính cọc – nếu làm các cọc lớn hơn với mật độ dày đặc hơn thì có thể đáp ứng yêu cầu kỹ thuật nhưng sẽ tổn kém về mặt chi phí.

Với tỷ lệ trộn 6% xi măng với đất hoàng thổ đã tìm được một số giải pháp thiết kế đáp ứng được yêu cầu về độ lún. Vì vậy không cần thiết phải thử nghiệm hoặc sử dụng với nhiều xi măng hơn (hàm lượng >6%) vì sẽ dẫn đến chi phí cao hơn. Ngoài ra, một số nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, với hàm lượng xi măng cao vật liệu sẽ có một số nhược điểm về mặt kỹ thuật.

Những đóng góp của tác giả

Ý tưởng bài báo: Hoàng Đình Phúc; Phương pháp luận: Nguyễn Công Định; Viết bản thảo bài báo: Nguyễn Công Định; Đánh giá và chỉnh sửa: Hoàng Đình Phúc. Chu Việt Thức đánh giá chỉnh sửa bài.

Tài liệu tham khảo

- Jefferson I., Rogers C., Evststiev D., and Karastanev D., (2015). Ground Improvement Case Histories. Chapter 7 - Improvement of Collapsible Loess in Eastern Europe. San Diego, 2015, Pages 215-261, ISBN 9780081006986.
- Nguyễn Công Định (2020). Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng xi măng trong phương pháp cải tạo đất loess bằng phương pháp trộn xi măng và đầm chặt ở Calarasi, Romania. *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 4 năm 2020, ISSN - 0868 - 279X, p61-68.
- NP 125-2010 (2010). Normativ de proiectare a fundațiilor pe terenuri sensibile la umezire. *Universitatea Tehnica de Cosntrucții București*.
- Plomteux, C., Ciortan, R., (2010). Integrated Ground improvement solution for the largest wind farm project in Europe. *From Research to Design in European Practice*, Bratislava, Slovak Republic, June 2-4, 2010.
- Sariosseiri F., Muhunthan B., (2009). Effect of cement treatment on geotechnical properties of some Washington State soils. *Engineering Geology*, volume 104, Issues 1–2, 24 February 2009, Pages 119-125
- Priebe H., (1995). The Design of Vibro Replacement. *GeTec Ingenieurgesellschaft*.
- NP 112-2014 (2014). Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață