

**ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU
BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIA TẢI HÚT CHÂN KHÔNG
DỰA TRÊN CÁC KẾT QUẢ KHẢO SÁT SAU XỬ LÝ**
**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SOFT SOIL
IMPROVEMENT BY VACUUM LOADING METHOD
BASED ON POST-TREATMENT SURVEY RESULTS**

Nguyễn Văn Diện¹, Tạ Minh Nghi²

^{1,2}*Viện Khoa học công nghệ xây dựng*

Email: ¹vandiennguyen88@gmail.com, ²taminhnghi@ibst.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses3-2>

TÓM TẮT: Thực tế hiện nay có nhiều phương pháp xử lý nền đất yếu như phương pháp gia tải trước có hoặc không có bắc thấm và phương pháp cọc cát hoặc cọc đá; phương pháp phụt vữa (Jet Grouting), trộn sâu bằng xi măng (CDM) và phương pháp hút chân không... Các phương pháp trên đều có những ưu điểm cũng như khuyết điểm. Bài báo này trình bày đánh giá hiệu quả xử lý nền đất yếu bằng phương pháp gia tải hút chân không sử dụng cho công trình thực tế có tầng đất yếu lớn (20 m đến 30 m) dựa trên các thông số địa chất khảo sát được sau khi công tác xử lý nền hoàn tất.

TỪ KHOÁ: Nền đất yếu, hút chân không, xử lý nền đất yếu.

ABSTRACT: Soft ground improvement is a critical requirement in geotechnical engineering, and several methods have been widely applied, including preloading with or without vertical drains, sand or stone columns, jet grouting, deep cement mixing (CDM), and vacuum consolidation... Each method exhibits distinct advantages and inherent limitations. This study focuses on evaluating the effectiveness of vacuum consolidation as a soft soil improvement technique. The method was applied to an actual project site underlain by a thick soft soil deposit ranging from 20 to 30 meters. The evaluation was conducted based on geotechnical parameters obtained from post-treatment investigations.

KEYWORDS: Soft soil, vacuum, soft soil improvement.

1. GIỚI THIỆU

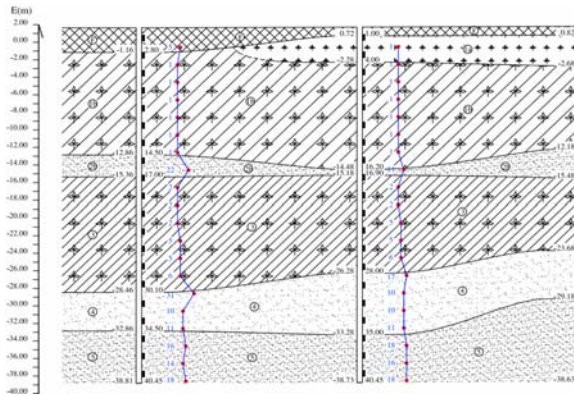
Sự phát triển nhanh chóng của cơ sở hạ tầng và đô thị hóa trong những năm gần đây đòi hỏi ngày càng nhiều công trình xây dựng quy mô lớn được triển khai trên các vùng đất yếu. Nền đất yếu thường có đặc trưng là tính nén lún cao, cường độ kháng cắt thấp và hệ số thấm nhỏ, dẫn đến hiện tượng lún lớn, mất ổn định và thời gian cố kết kéo dài nếu không được xử lý thích hợp. Do đó, các giải pháp xử lý nền đất yếu đóng vai trò quan trọng nhằm đảm bảo an toàn, độ bền vững cũng như hiệu quả kinh tế cho công trình xây dựng.

Hiện nay, nhiều phương pháp xử lý nền đất yếu đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi như: gia tải trước có hoặc không có bắc thấm, cọc cát hoặc cọc đá, phụt vữa cao áp (Jet Grouting), trộn sâu

bằng xi măng (CDM), và gia tải hút chân không. Mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và hạn chế nhất định, phụ thuộc vào điều kiện địa chất, tiến độ thi công và yêu cầu của dự án. Trong số đó, phương pháp gia tải hút chân không kết hợp bắc thấm ngày càng được quan tâm nhờ khả năng đẩy nhanh quá trình cố kết mà không cần gia tăng tải trọng ngoài nhiều, từ đó giảm thiểu rủi ro và chi phí xây dựng.

Mặc dù đã được áp dụng hiệu quả trong thực tế, song tính khả thi và hiệu quả xử lý của phương pháp hút chân không, đặc biệt đối với những khu vực có lớp đất yếu dày, vẫn là chủ đề được quan tâm trong nghiên cứu cũng như trong thực tiễn kỹ thuật. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả xử lý nền đất yếu bằng phương pháp gia tải hút chân không được áp dụng cho một công trình thực tế nằm gần cảng biển ở Vũng Tàu có lớp đất yếu

dày khoảng 28 m (lớp đất 1b và lớp 3). Việc đánh giá dựa trên các thông số địa chất của lớp đất yếu (lớp 1b và 3) thu thập được sau khi công tác xử lý nền hoàn tất, qua đó cung cấp thêm những minh chứng khoa học và thực tiễn về tính ứng dụng và độ tin cậy của phương pháp này trong các dự án xây dựng quy mô lớn.



Hình 1: Hình trụ hồ khoan địa chất công trình

Giải pháp xử lý nền đất yếu cho công trình là phương pháp hút chân không với áp lực hút chân không từ 70 kPa trở lên kết hợp bắc thăm được thiết kế theo lưới tam giác với khoảng cách 1 m và chiều dài bắc thăm từ 19 m đến 28.5 m (tùy thuộc vào chiều dày của lớp đất yếu của từng khu vực). Quy trình thi công xử lý nền đất yếu thực hiện theo các bước như sau:

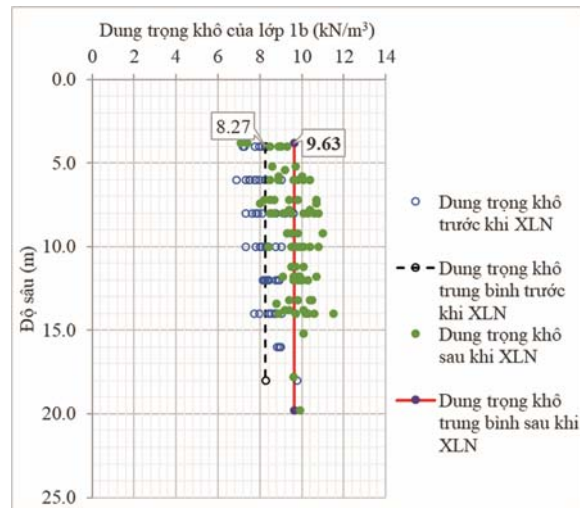
- + Bước 1: Công tác chuẩn bị mặt bằng bao gồm nghiệm thu tọa độ và cao độ các điểm định vị của khu vực xử lý nền và khảo sát địa chất để xác định các thông số thiết kế.
- + Bước 2: San lấp cát đến cao trình +1.8 m.
- + Bước 3: Cắm bắc thăm và thi công tường sét.
- + Bước 4: Lắp đặt hệ thống quan trắc.
- + Bước 5: Lắp hệ thống ống thoát nước ngang.
- + Bước 6: Trải lớp vải địa kỹ thuật thứ nhất, 02 lớp màng kín khí và hệ thống bơm hút chân không.
- + Bước 7: Chạy thử hệ thống hút chân không và kiểm tra tình trạng kín khí.
- + Bước 8: Trải lớp vải địa kỹ thuật thứ hai. Vận hành hút chân không.
- + Bước 9: Thi công san lấp cát từ cao trình + 1.8 m đến cao trình + 3.5 m.
- + Bước 10: Thi công đắp bù lún giai đoạn 1.
- + Bước 11: Dỡ tải hút chân không, tiến hành khảo sát địa chất sau khi gia cố nền
- + Bước 12: Đắp bù bổ sung (nếu có) đến cao trình thiết kế + 3.5 m.
- + Bước 13: Dọn dẹp vệ sinh và bàn giao mặt bằng.

2. SO SÁNH CÁC THÔNG SỐ CỦA ĐẤT YẾU TRƯỚC VÀ SAU KHI XỬ LÝ NỀN

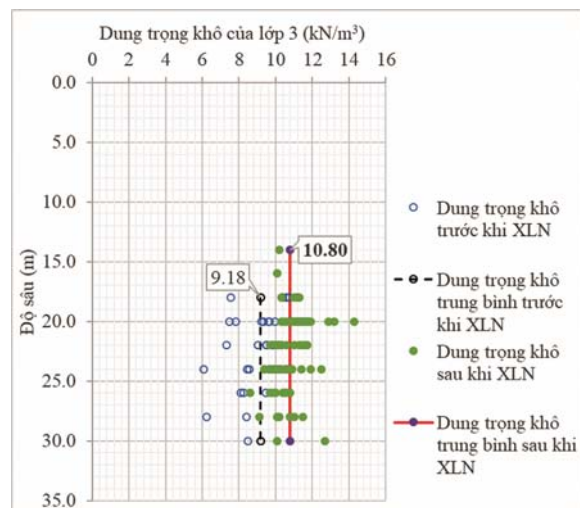
Dựa trên Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình trước và sau khi xử lý nền [1] tiến hành so sánh các thông số của đất yếu.

2.1. Dung trọng khô

Dưới đây là biểu đồ so sánh dung trọng khô của lớp đất yếu 1b và 3 trước và sau khi xử lý nền đất yếu bằng phương pháp hút chân không (sau đây được viết tắt là XLN). Trên Hình 2 ta thấy dung trọng khô của lớp 1b sau khi XLN tăng thêm 16.44% từ 8.27 (kN/m^3) lên 9.63 (kN/m^3) và trên Hình 3 ta thấy dung trọng khô của lớp 3 sau khi XLN tăng thêm 17.6% từ 9.18 (kN/m^3) lên 10.8 (kN/m^3). Dung trọng khô của lớp đất yếu tăng thêm cho thấy lớp đất được nén chặt lại sau khi XLN.

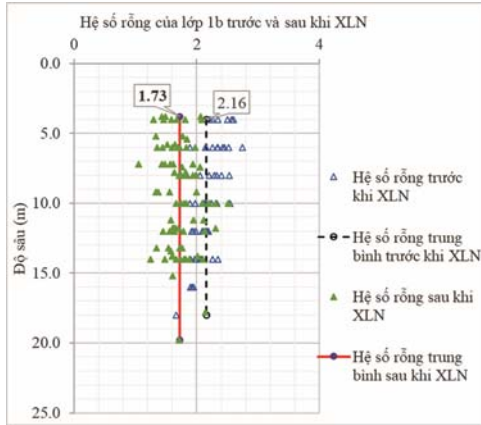


Hình 2: Biểu đồ so sánh dung trọng khô lớp 1b trước và sau XLN

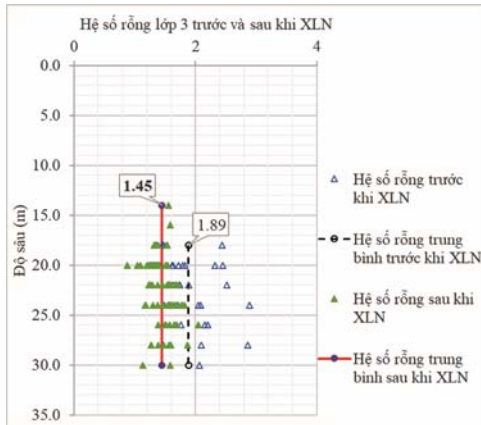


Hình 3: Biểu đồ so sánh dung trọng khô lớp 3 trước và sau XLN

2.2. Hệ số rỗng



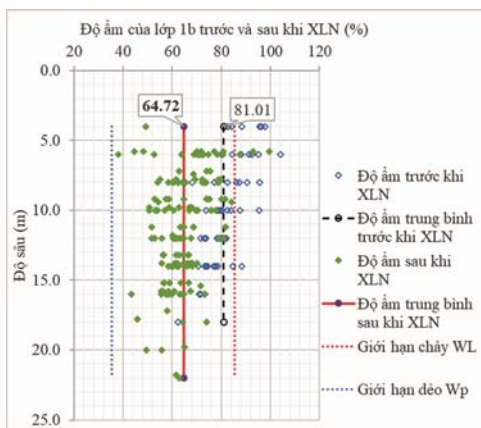
Hình 4: Biểu đồ so sánh hệ số rỗng lớp 1b trước và sau XLN



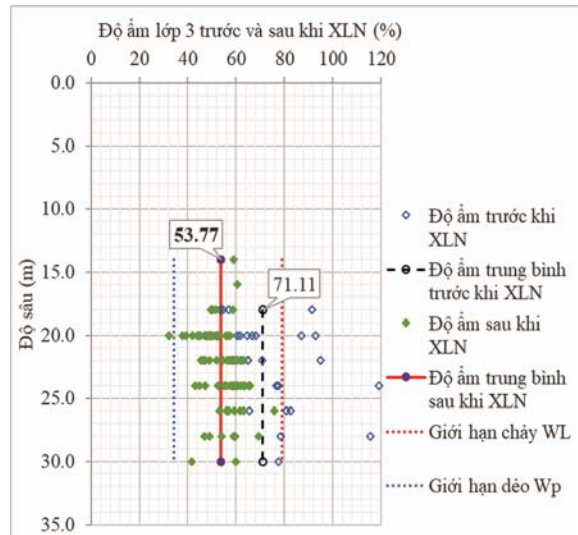
Hình 5: Biểu đồ so sánh hệ số rỗng lớp 3 trước và sau XLN

Các biểu đồ Hình 4 và 5 cho thấy hệ số rỗng của lớp đất yếu 1b và 3 giảm lần lượt từ 2.16 xuống 1.73 tương đương 19.9% và từ 1.89 xuống 1.45 tương đương 23.3%.

2.3. Độ ẩm



Hình 6: Biểu đồ so sánh độ ẩm lớp 1b trước và sau XLN

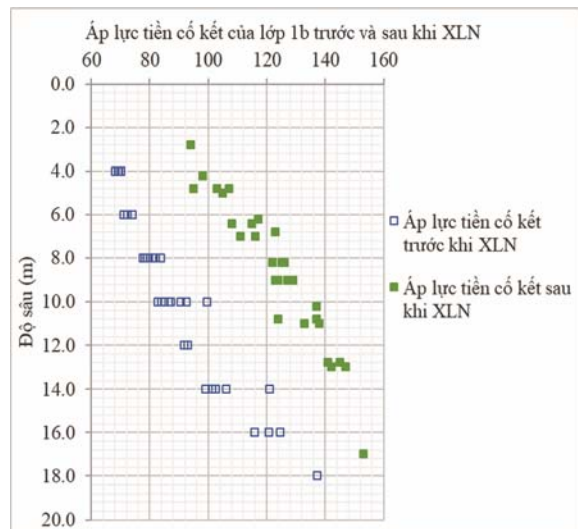


Hình 7: Biểu đồ so sánh độ ẩm lớp 3 trước và sau XLN

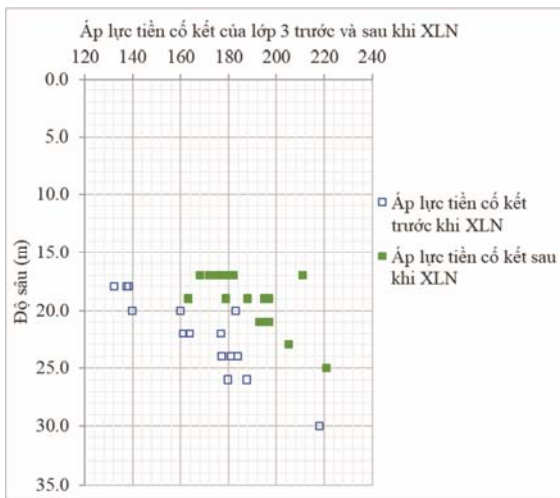
Hình 6 ở trên thể hiện độ ẩm của lớp 1b giảm sau khi xử lý nền đất yếu từ 81.01% xuống 64.72%. Tương tự độ ẩm của lớp 3 trên Hình 7 thể hiện sau khi xử lý nền giảm từ 71.11% xuống 53.77%. Trên Hình 6 và 7 cũng thể hiện rõ độ ẩm lớp đất yếu trước khi xử lý nền đa phần nền ngoài giới hạn chảy W_L , còn sau khi xử lý nền hầu như độ ẩm lớp đất yếu nằm trong vùng từ giới hạn dẻo đến giới hạn chảy của đất.

2.4. Áp lực tiền cố kết

Hai biểu đồ ở Hình 8 và Hình 9 cho thấy áp lực tiền cố kết của lớp 1b và lớp 3 tăng thêm một lượng trung bình lần lượt là 33.23 (kN/m²) và 20.64 (kN/m²).

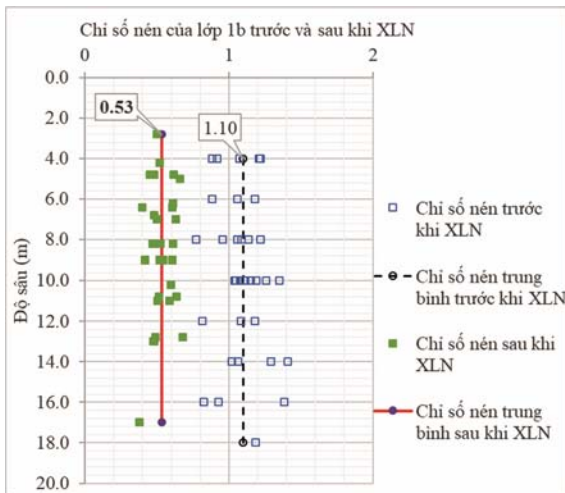


Hình 8: Biểu đồ so sánh áp lực tiền cố kết lớp 1b trước và sau XLN

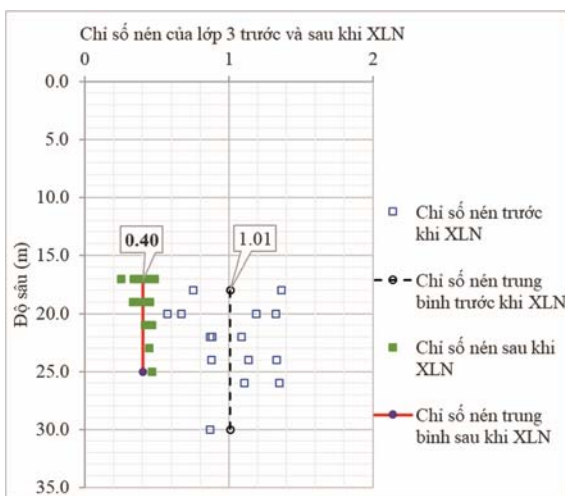


Hình 9: Biểu đồ so sánh áp lực tiền cố kết lớp 3 trước và sau XLN

2.5. Chỉ số nén C_c và chỉ số nở C_s

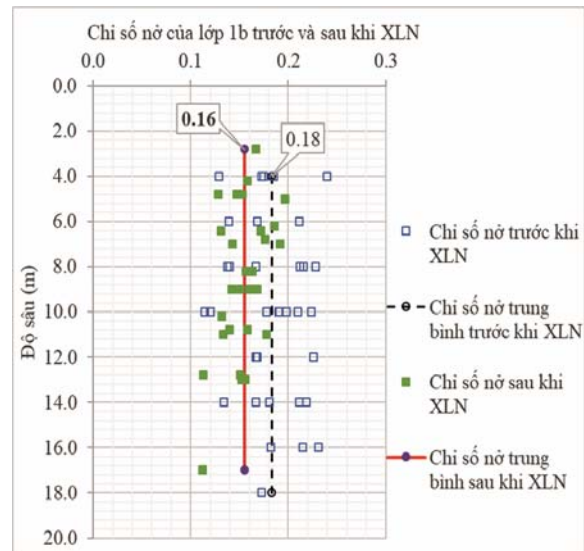


Hình 10: Biểu đồ so sánh chỉ số nén lớp 1b trước và sau XLN

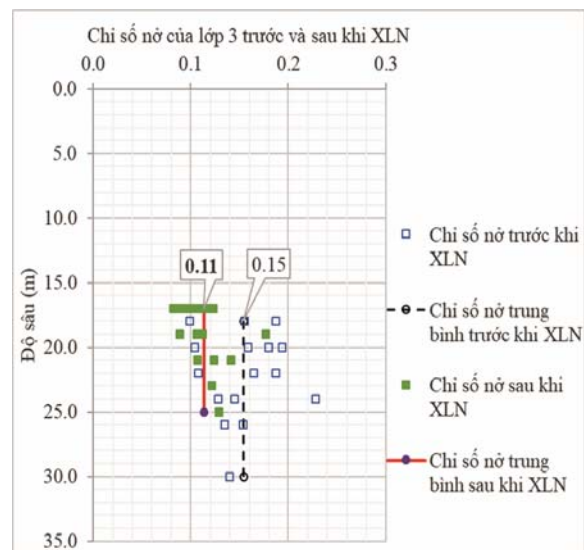


Hình 11: Biểu đồ so sánh chỉ số nén lớp 3 trước và sau XLN

Các biểu đồ so sánh chỉ số nén lớp 1b và 3 trước và sau khi xử lý nền ở Hình 10 và 11 cho thấy chỉ số nén giảm lần lượt 51.8% và 60.4%, điều này chứng tỏ lớp đất được cải thiện độ nén lún tăng sức chịu tải nền.



Hình 12: Biểu đồ so sánh chỉ số nở lớp 1b trước và sau XLN

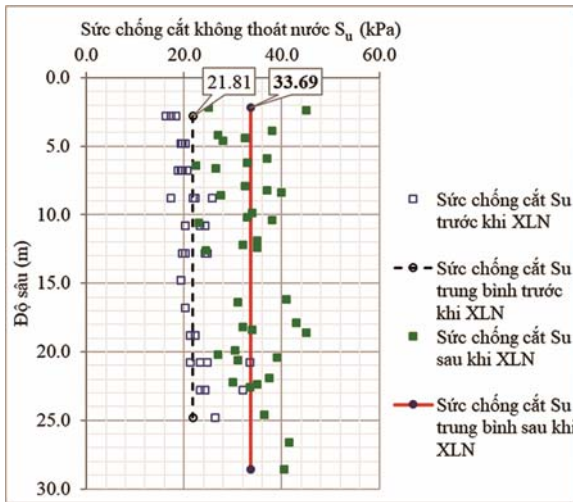


Hình 13: Biểu đồ so sánh chỉ số nở lớp 3 trước và sau XLN

Ở Hình 12 và 13 cho thấy chỉ số nở của lớp đất 1b và 3 không thay đổi nhiều.

2.6. Sức chống cắt của đất theo thí nghiệm cắt cánh

Biểu đồ so sánh sức kháng cắt không thoát nước S_u của lớp đất yếu 1b và 3 theo thí nghiệm cắt cánh, hiện trường cho thấy sức kháng cắt của lớp đất yếu tăng nhiều 54.5% (từ 21.81 kPa lên 33.69 kPa).



Hình 14: Biểu đồ so sánh sức kháng cắt không thoát nước S_u của lớp 1b và 3 trước và sau XLN

3. TÍNH TOÁN ĐỘ LÚN CÒN LẠI SAU XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU

3.1. Các thông số của đất sau khi xử lý nền

Công trình đã được xử lý nền bằng phương pháp bơm hút chân không với độ cố kết $U > 90\%$ và đã được dỡ tải để thực hiện khảo sát sau xử lý nền và các công tác tiếp theo của dự án.

Căn cứ Báo cáo khảo sát sau xử lý nền, các thông số của các lớp đất điển hình sau khi xử lý nền được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 1: Các thông số của các lớp đất điển hình

Thông số	Lớp K	Lớp 1b	Lớp 2b	Lớp 3	Lớp 4
	Cát lẫn sét	Sét rất dẻo	Cát lẫn sét	Sét rất dẻo	Cát lẫn sét
Chiều dày lớp (m)	5.2	11.3	2.2	13.0	21.9
γ_w (kN/m ³)	18.6	15.80	18.95	16.54	19.42
W (%)	23.6	64.72	23.9	53.77	22.0
SPT	5	2	4	3	19
e_0	0.769	1.73	0.744	1.45	0.677
C_c	0.143	0.53		0.40	
C_s	0.044	0.16		0.11	
C_v (10 ⁻³ cm ² /s)	1.471	0.359		0.380	
C_a		0.0161		0.0123	

Các yêu cầu thiết kế của nền đất sau khi thi công hút chân không xử lý nền đất yếu phải thỏa mãn các điều kiện theo bảng sau:

Bảng 2: Các yêu cầu thiết kế xử lý nền đất yếu

STT	Thông số cần đạt được	Giá trị
1	Hoạt tải sử dụng	20 kN/m ²
2	Độ lún nền trong 30 năm	< 40 cm
3	Độ lún trong từng năm	< 2.0 cm

3.2. Tính toán độ lún còn lại của nền sau xử lý nền

3.2.1. Tính toán độ lún cố kết của nền dưới hoạt tải sử dụng

Độ lún cố kết được tính theo công thức sau theo tiêu chuẩn TCVN 9355 2013 [2]:

+ Nếu $\Delta p + \sigma_z < p_c$:

$$S_c = \sum_{i=1}^n C_{si} \frac{h_i}{1 + e_{0i}} \log \left(\frac{\Delta p + \sigma_z}{\sigma_z} \right) \quad (1)$$

+ Nếu $\sigma_z > p_c$:

$$S_c = \sum_{i=1}^n C_{ci} \frac{h_i}{1 + e_{0i}} \log \left(\frac{\Delta p + \sigma_z}{\sigma_z} \right) \quad (2)$$

+ Nếu $\sigma_z < p_c$ và $\Delta p + \sigma_z > p_c$:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{1 + e_{0i}} \left[C_{si} \log \left(\frac{p_c}{\sigma_z} \right) + C_{ci} \log \left(\frac{\Delta p + \sigma_z}{p_c} \right) \right] \quad (3)$$

Trong đó:

Δp - áp lực thẳng đứng do tải trọng ngoài;

σ_z - áp lực thẳng đứng do trọng lượng bản thân;

p_c - áp lực tiền cố kết của lớp đất;

h_i - chiều dày lớp đất tính lún thứ i ;

e_{0i} - hệ số rỗng của lớp đất thứ i ở trạng thái tự nhiên ban đầu (chưa đắp nền bên trên);

C_{si} - chỉ số nở của lớp đất thứ i ;

C_{ci} - chỉ số nén lún của lớp đất thứ i .

Độ lún cố kết của nền dưới tải trọng sử dụng:

$P_{ht} = 20$ kN/m² được tính toán theo bảng dưới.
Tổng độ lún cố kết của nền đất: $S_c = 0.110$ (m).

Bảng 3: Tính toán độ lún cố kết nền đất

Lớp đất	z_i (m)	Δh_i (m)	C_s	C_c	P_c (kN/m ²)	S_i (m)
K	0.9	0.9				-
K	5.2	4.3				-
1b	7.2	2	0.16	0.535	95.5	0.016
1b	9.2	2	0.16	0.535	105.8	0.014
1b	11.2	2	0.16	0.535	116.0	0.012
1b	13.2	2	0.16	0.535	126.3	0.011
1b	15.2	2	0.16	0.535	136.5	0.010
1b	16.5	1.3	0.16	0.535	145.0	0.006

Lớp đất	z_i (m)	Δh_i (m)	C_s	C_c	P_c (kN/m ²)	S_i (m)
2b	18.7	2.2				0.002
3	20.7	2	0.11	0.409	173.0	0.006
3	22.7	2	0.11	0.409	185.0	0.005
3	24.7	2	0.11	0.409	197.1	0.005
3	26.7	2	0.11	0.409	209.2	0.004
3	28.7	2	0.11	0.409	221.2	0.004
3	30.7	2	0.11	0.409	221.2	0.009
3	31.7	1	0.11	0.409	221.2	0.007
Tổng độ lún S_c (m) =						0.110

3.2.2. Tính toán độ lún của nền theo thời gian sử dụng

Tính toán độ lún do từ biến của nền theo thời gian:

$$S_{\infty} = \frac{H_0}{1 + e_0} C_{ae} \log \left(\frac{t_{\infty}}{t} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

S_{∞} - độ lún do từ biến;

$C_{ae} = (1 + e_0) C_{\alpha}$ - chỉ số từ biến;

e_0 - hệ số rỗng ban đầu;

C_{α} - hệ số từ biến.

Tính toán độ lún của nền trong 30 năm sử dụng như Bảng 4 ở dưới.

Bảng 4: Tính toán độ lún của nền theo thời gian

Thời gian	Độ cố kết	Độ lún cố kết	Độ lún do từ biến	Tổng độ lún	Độ lún theo từng năm
năm	%	cm	cm	cm	cm/năm
5	11.22	1.23	7.87	9.11	1.39
7	13.27	1.46	9.52	10.98	0.94
9	15.05	1.66	10.75	12.40	0.71
12	17.38	1.91	12.16	14.07	0.55
15	19.43	2.14	13.25	15.38	0.44
20	22.43	2.47	14.65	17.12	0.35
25	25.08	2.76	15.75	18.50	0.28
30	27.47	3.02	16.64	19.66	0.23

Kết quả tính toán độ lún cho thấy nền sau khi xử lý nền bằng hút chân không thỏa mãn yêu cầu thiết kế đề ra.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Kết quả phân tích so sánh các thông số địa chất trước và sau xử lý cho thấy phương pháp gia tải hút chân không là giải pháp hiệu quả đối với nền đất yếu có chiều dày lớn (20 m đến 30 m), góp phần nâng cao đáng kể độ ổn định nền đất yếu, đồng thời cải thiện đặc tính cơ kết và sức kháng cắt.

4.2. Kiến nghị

Để đạt được hiệu quả tối ưu khi xử lý nền đất yếu bằng phương pháp hút chân không kết hợp bắc thăm thì việc thiết kế hệ thống bắc thăm và duy trì áp lực chân không ổn định theo yêu cầu thiết kế là yếu tố then chốt; cần thực hiện giám sát chặt chẽ trong suốt quá trình thi công.

Đối với các dự án có lớp đất yếu dày từ 20m đến 30m hoặc điều kiện địa chất phức tạp, nên kết hợp phân tích mô phỏng và thí nghiệm thực địa để điều chỉnh thiết kế phù hợp.

Nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng số liệu thực nghiệm và theo dõi dài hạn để đánh giá bền vững của nền đất sau xử lý, từ đó cung cấp cơ sở khoa học vững chắc cho việc áp dụng phương pháp này ở các công trình tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình trước và sau khi xử lý nền.
- [2] Tiêu chuẩn Quốc gia. TCVN 9355:2013 Gia cố nền đất yếu bằng bắc thăm - Thiết kế, thi công và nghiệm thu.