

Nghiên cứu xử lý nền đường đắp cao trên đất yếu bằng cọc cát

Study on treatment of embankment on soft soil with sand compaction pile

> TS ĐỖ THẮNG¹, KS NGUYỄN DUY HOÀNG¹

¹Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT:

Nền đường đắp cao trên đất yếu phải đảm bảo điều kiện ổn định và độ lún trong giới hạn cho phép. Hiện nay, có rất nhiều giải pháp xử lý nền đất yếu, tuy nhiên đối với từng công trình cụ thể để lựa chọn được giải pháp phù hợp về mặt kinh tế kỹ thuật là vấn đề mà người thiết kế cần giải đáp. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu giải pháp xử lý nền đất yếu bằng cọc cát của một công trình thực tế đang trong quá trình thi công. Các số liệu quan trắc tại hiện trường được phân tích, đánh giá và dùng để kiểm chứng lại mô hình tính toán, các số liệu đầu vào và độ tin cậy của giải pháp. Kết quả nghiên cứu thu được có thể là tài liệu tham khảo cho các công trình có tính chất tương tự.

Từ khóa: Cọc cát, nền đất yếu, đường đắp cao, ổn định, lún

ABSTRACT:

The embankment on soft soil must ensure stable conditions and settlement within the allowable limit. Currently, there are many solutions to treat soft soil, but for each specific project, choosing the right solution in terms of economic and technical is a problem that the designer needs to answer. This paper presents the results of the study on solutions to treat soft soil with sand compaction pile of actual construction in progress. The field monitoring data is analyzed, evaluated, and used to verify the calculated model, input data, and the reliability of the solution. Research results can be used as references for similar works.

Keywords: Sand compaction pile, soft soil, embankment, stability, settlement

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cọc cát là phương pháp xử lý nền đất yếu bằng cách đưa cát đã được đầm nén chặt vào trong lớp đất yếu. Nguyên lý làm việc của cọc cát vừa đóng vai trò thiết bị thoát nước đứng như giếng cát, vừa có tác dụng làm chặt đất. Phương pháp này có thể áp dụng cho tất cả các loại đất yếu nên đã được sử dụng rộng rãi ở các nước trên thế giới và cũng được áp dụng ngày càng nhiều trong các công trình giao thông có yêu cầu kỹ thuật cao ở Việt Nam như: Đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai, Đường cao tốc Hà Nội - Hải Phòng, Đường cầu Tân Vũ - Lạch Huyện, Đường cao tốc Bắc Nam.... Đất nền hỗn hợp bao gồm nền đất yếu và cọc cát nén chặt được hình thành có cường độ kháng cắt cao và khả năng thoát nước tốt. Nhờ có cọc cát, sức chịu tải của nền đất tăng lên do đất yếu đã được thay thế một phần và do hiện tượng tập trung ứng suất. Sự tập trung ứng suất ở đây là tải trọng ngoài tập trung chủ yếu vào các cọc cát. Ngoài ra, hiệu quả thoát nước của cọc cát làm tăng độ cứng chung của nền đất cũng như giảm khả năng bị đẩy trôi và giảm độ lún cổ kết.

Trong bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu một đoạn đường trên tuyến cao tốc Bắc Nam được xử lý nền đất yếu bằng cọc cát đang trong quá trình thi công. Từ các số liệu về địa hình, địa chất, thủy văn, bản vẽ thiết kế, tác giả xây dựng mô hình tính toán ổn định và lún cho công trình. Các số liệu quan trắc tại hiện trường được phân tích, đánh giá và dùng để kiểm chứng lại mô hình tính toán, các số liệu đầu vào và độ tin cậy của giải pháp.

2. GIỚI THIỆU CÔNG TRÌNH

Đoạn đường được xử lý nền đất yếu bằng cọc cát đang trong quá trình thi công qua tỉnh Thừa Thiên - Huế thuộc dự án xây dựng một số đoạn đường bộ cao tốc trên tuyến Bắc Nam phía đông (giai đoạn 2017 - 2020) được thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN 5729-2012. Đường cấp 80 - 100 có tốc độ tính toán $V_{tt}=80-100\text{km/h}$. Quy mô mặt cắt ngang 4 làn xe như sau: bề rộng nền đường $B_{nền}=23\text{m}$; chiều rộng mặt đường $B_{mặt}=2\times(2\times3,75\text{m})=15,0\text{m}$; dải phân cách $B_{pc}=0,5\text{m}$; dải an toàn phía trong $2\times0,5\text{m}=1,0\text{m}$; làn dừng xe khẩn cấp $2\times2,5\text{m}=5,0\text{m}$; lề đất: $B_{lề}=2\times0,75\text{m}=1,5\text{m}$.

Giải pháp thiết kế: Chiều cao nền đắp $H_d=9\text{m}$; độ dốc taluy 1/2; đắp 2 cấp có tạo cơ rộng 2m, cao hơn mặt đất tự nhiên 3m (thấp hơn vai đường 6m). Cao độ mực nước ngầm bằng mặt đất tự nhiên. Vật liệu đắp bằng đất lấy tại mỏ có dung trọng thể tích ứng với $K=0,95$ là $\gamma=21\text{kN/m}^3$, $c=23\text{kPa}$, $\varphi=20,5^\circ$.

Địa tầng trong khu vực gồm các lớp đất theo thứ tự từ trên xuống như sau:

- Lớp HC: Sét ít dẻo lẫn dăm sạn, rễ cây màu xám nâu, xám vàng, phủ trên bề mặt địa hình. Chiều dày lớp dao động từ 0,3m đến 0,5m. Lớp này được bóc bỏ trong khi thi công.

- Lớp 1: Sét ít dẻo (CL) trạng thái dẻo cứng màu xám nâu, xám vàng. Lớp này nằm dưới lớp HC, chiều dày 5m, nguồn gốc sườn tích, $N_{SPT} = 9-13$.

- Lớp 1b: Sét ít dẻo (CL) trạng thái dẻo mềm - dẻo chảy màu xám nâu, xám ghi. Lớp này nằm dưới lớp 1, chiều dày lớp trung bình bằng 15m, $N_{SPT} = 2-7$.

- Lớp 2: Sét ít dẻo (CL) chứa dăm sạn, trạng thái nửa cứng, màu xám nâu, xám vàng.

Một số chỉ tiêu cơ lý chính của nền đất được tổng hợp ở Bảng 1.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu cơ lý chính của nền đất

Tên lớp	Bề dày (m)	γ_w (kN/m ³)	C_u (kPa)	e	C_c	C_s	C_v
Lớp 1	5,0	18,7	42,0	0,890	0,116	0,03	0,78
Lớp 1b	15,0	17,1	21,2	1,409	0,434	0,09	0,88
Lớp 2	>5,0	19,0	57,8	0,839	0,085	0,03	0,74

Nền đất yếu được xử lý bằng phương án cọc cát đường kính D700, chiều dài cọc trung bình 13-14m, khoảng cách cọc bằng 1,8m. Lớp đệm cát thoát nước bằng cát hạt trung dày 60cm.

3. KIỂM TOÁN ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG

Theo tiêu chuẩn 22TCN 262:2000 - Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu. Khi sử dụng phương pháp Bishop, hệ số an toàn ổn định tối thiểu $[K_{min}] = 1,40$.

Cọc cát bố trí theo sơ đồ tam giác với khoảng cách giữa các tim cọc là 1,8m nên tỷ số diện tích thay thế được tính theo công thức sau:

$$a_s = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{D}{s} \right)^2 = \frac{3,14}{2\sqrt{3}} \left(\frac{0,7}{1,8} \right)^2 = 0,137$$

Hệ số tăng ứng suất trong cọc cát:

$$\mu_s = \frac{\sigma_s}{\sigma} = \frac{n}{1 + (n-1)a_s} = \frac{3}{1 + (3-1)0,137} = 2,354$$

trong đó: σ là ứng suất trung bình;

n là hệ số tập trung ứng suất, lấy $n=3$.

Hệ số giảm ứng suất của đất xung quanh cọc cát:

$$\mu_c = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{1 + (n-1)a_s} = \frac{1}{1 + (3-1)0,137} = 0,785$$

Góc nội ma sát của đất hỗn hợp giữa cọc cát và đất xung quanh được xác định theo công thức:

$$\varphi_{ib} = \arctan(\mu_s a_s \tan \varphi_s) = \arctan(2,354 * 0,137 * \tan 35^\circ) = 12,74^\circ$$

Lực dính đơn vị của đất hỗn hợp được xác định theo công thức:

$$c_{ib} = (1 - a_s)c$$

- Giữa cọc cát và lớp đất 1:

$$c_{ib1} = (1 - 0,137)42 = 36,24 \text{ kPa}$$

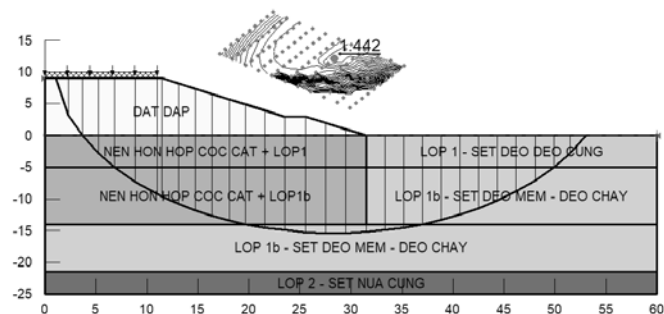
- Giữa cọc cát và lớp đất 1b:

$$c_{ib2} = (1 - 0,137)21,2 = 18,29 \text{ kPa}$$

Tải trọng xe ô tô được quy đổi thành tải trọng rải đều $q=1,5 \text{ T/m}^2$.

Để đơn giản trong tính toán, sử dụng phần mềm GEOSTUDIO/SLOPE/W của Canada.

Kết quả tính toán được thể hiện trên Hình 1.



Ta thấy $K_{min}=1,442 > [K_{min}]=1,4$ (với phương pháp Bishop) → Nền đường đảm bảo ổn định.

4. KIỂM TOÁN LÚN

Theo tiêu chuẩn 22TCN 262-2000, sau khi hoàn thành công trình nền mặt đường xây dựng trên vùng đất yếu, phần độ lún cổ kết còn lại ΔS tại trục tim của nền đường với các đoạn đắp thông thường phải $\leq [\Delta S] = 30 \text{ cm}$

Độ lún cổ kết S_c của của nền đất đã gia cường bằng cọc cát được dự tính theo phương pháp phân tầng lấy tổng với công thức:

$$S_{c1} = \frac{C_c}{1 + e_0} H_i \lg \frac{\mu_c \times \sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{vz}^i}$$

trong đó:

H_i - Bề dày lớp đất tính lún thứ i (phân thành n lớp có các đặc trưng biến dạng khác nhau), i từ 1 đến n lớp; $H_i \leq 2,0 \text{ m}$;

e_0^i - Hệ số rỗng của lớp đất i ở trạng thái tự nhiên ban đầu.

C_c^i - Chỉ số nén lún

σ_{vz}^i - Ứng suất do trọng lượng bản thân các lớp đất tự nhiên nằm trên lớp i .

σ_z^i - Ứng suất gây lún tương ứng với độ sâu z ở chính giữa lớp đất.

Độ lún cổ kết S_c của của nền đất dưới cọc cát được dự tính theo phương pháp phân tầng lấy tổng với công thức:

$$S_{c2} = \frac{C_c}{1 + e_0} H_i \lg \frac{\sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{vz}^i}$$

Độ lún cổ kết của nền đất được gia cường bằng cọc cát được chiết giảm do hệ số giảm ứng suất μ_c .

Kết quả tính toán được thể hiện ở Bảng 2.

Độ cổ kết U đạt được sau thời gian t kể từ lúc đắp xong trong phạm vi cọc cát được xác định theo công thức sau:

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

trong đó:

U_v - Độ cổ kết theo phương thẳng đứng

U_h - Độ cổ kết theo phương ngang do tác dụng của cọc cát

Độ lún cổ kết sơ cấp của nền đắp trên đất yếu sau thời gian t được xác định như sau:

$$S_t = U S_c$$

Độ lún cổ kết của nền đất dưới cọc cát chỉ bao gồm độ cổ kết theo phương đứng U_v .

Kết quả tính toán độ lún theo thời gian trong phạm vi cọc cát được thể hiện ở Bảng 3 và nền đất dưới cọc cát được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 2. Kết quả tính lún cố kết của nền đất

Lớp đất	Dày lớp (m)	Z (m)	$\gamma =$ (kN/m ³)	e_o	σ_z (MPa)	σ_{vz} (MPa)	C_c	S_c (m)
Nền hỗn hợp cọc cát + lớp 1 dày 5m	0,50	0,25	8,70	0,89	0,002	0,189	0,002	0.056
	0,50	0,75	8,70	0,89	0,007	0,189	0,007	0.042
	0,50	1,25	8,70	0,89	0,011	0,189	0,011	0.036
	0,50	1,75	8,70	0,89	0,015	0,189	0,015	0.032
	0,50	2,25	8,70	0,89	0,020	0,189	0,020	0.029
	0,50	2,75	8,70	0,89	0,024	0,189	0,024	0.026
	0,50	3,25	8,70	0,89	0,028	0,189	0,028	0.024
	0,50	3,75	8,70	0,89	0,033	0,188	0,033	0.023
	0,50	4,25	8,70	0,89	0,037	0,188	0,037	0.021
	0,50	4,75	8,70	0,89	0,041	0,188	0,041	0.020
Nền hỗn hợp cọc cát + lớp 1b dày 9m	1,29	5,64	7,10	1,41	0,040	0,187	0,040	0.155
	1,29	6,93	7,10	1,41	0,049	0,185	0,049	0.138
	1,29	8,21	7,10	1,41	0,058	0,184	0,058	0.125
	1,29	9,50	7,10	1,41	0,067	0,181	0,067	0.114
	1,29	10,79	7,10	1,41	0,077	0,179	0,077	0.105
	1,29	12,07	7,10	1,41	0,086	0,176	0,086	0.096
	1,29	13,36	7,10	1,41	0,095	0,172	0,095	0.089
Lớp 1b dày 6m	0,86	14,43	7,10	1,41	0,102	0,170	0,102	0.066
	0,86	15,29	7,10	1,41	0,109	0,167	0,109	0.063
	0,86	16,14	7,10	1,41	0,115	0,165	0,115	0.060
	0,86	17,00	7,10	1,41	0,121	0,163	0,121	0.057
	0,86	17,86	7,10	1,41	0,127	0,160	0,127	0.055
	0,86	18,71	7,10	1,41	0,133	0,158	0,133	0.053
	0,86	19,57	7,10	1,41	0,139	0,155	0,139	0.050
Độ lún cố kết $S_c =$								1,54

Bảng 3. Tính toán độ lún theo thời gian trong phạm vi cọc cát

Số tháng (tháng)	Số ngày (ngày)	Cố kết đứng phần cọc cát U_v %		Cố kết ngang phần cọc cát U_h %		Độ cố kết chung U_t (%)	Độ lún cố kết sơ cấp S_c (cm)
		T_v	U_v %	T_h	U_h (%)		
0,5	15	0,0023	4,51	0,0310	43,38	45,93	52,03
1	30	0,0045	9,03	0,0619	67,94	70,83	80,24
1,5	45	0,0068	13,54	0,0929	81,84	84,30	95,50
2	60	0,0090	18,05	0,1238	89,72	91,58	103,74
2,5	75	0,0113	22,57	0,1548	94,18	95,49	108,18
3,5	105	0,0158	14,64	0,2167	98,13	98,41	111,48
4	120	0,0181	15,91	0,2477	98,94	99,11	112,27
6	180	0,0271	20,98	0,3715	99,89	99,91	113,18
7,5	225	0,0339	24,79	0,4644	99,98	99,99	113,26
9	270	0,0406	25,02	0,5572	100,00	100,00	113,28

Bảng 4. Tính toán độ lún theo thời gian nền đất dưới cọc cát

Số tháng (tháng)	Nhân tố thời gian T_v	Độ cố kết U_t % (%)	Độ lún theo thời gian S_t (cm)
2	0,0127	12,79	5,15
4	0,0253	17,94	7,22
6	0,0380	21,95	8,84
9	0,0570	26,93	10,85

Từ Bảng 3, ta thấy mặc dù chọn tỷ số $C_u/C_v=1$ (nhỏ hơn so với khuyến nghị của tiêu chuẩn 22TCN262-2000 trong khoảng từ 2 - 5), nhưng với giải pháp xử lý nền bằng cọc cát thì chỉ trong vòng 2 tháng sau khi đắp xong độ cố kết đã đạt 91,58% và sau 9 tháng độ cố kết đạt 100%. Độ cố kết của nền đất dưới cọc cát (bảng 4) chậm hơn rất nhiều so với phạm vi cọc cát, tuy nhiên sau 9 tháng cũng lún được 10,85cm.

Do vậy, sau 9 tháng độ lún còn lại của nền đường bằng:

$$\Delta S = S_c - S_{c1} - S_{c2} = 154 - 113,28 - 10,85 = 29,87 \text{ cm}$$

$$[\Delta S] = 30 \text{ cm} \rightarrow \text{Đạt yêu cầu.}$$

5. THẢO LUẬN

Công trình hiện nay đã đắp xong được 2 tháng và đang trong quá trình chờ cố kết. Kết quả quan trắc độ lún sau 2 tháng xấp xỉ 60cm, nhỏ hơn rất nhiều độ lún tính toán ($S_{\text{thực}} = S_1 + S_2 = 103,74 + 5,15 = 108,89 \text{ cm}$). Tốc độ lún quan trắc giảm dần, những ngày gần đây xấp xỉ 5mm/ngày. Kết quả tính toán độ lún theo thời gian (tốc độ lún) khá phù hợp với kết quả quan trắc nên có thể dự đoán rằng nền đất chuẩn bị đạt độ cố kết yêu cầu. Như vậy, độ lún cố kết thực tế của nền đất sẽ nhỏ hơn rất nhiều độ lún dự tính khi nền được gia cường bằng cọc cát. Điều này cũng phù hợp với công trình đường đầu cầu Tân Vũ - Lạch Huyện đã đưa vào khai thác được gần 4 năm mà tác giả là người phân tích số liệu quan trắc và kiến nghị hướng xử lý.

Công trình Đường đầu cầu Tân Vũ - Lạch Huyện ngoài việc bố trí bàn đo lún và cọc quan trắc chuyển vị ngang như công trình này còn áp dụng các biện pháp quan trắc hiện đại như: đo áp lực nước lỗ rỗng (Piezometer), đo chuyển vị ngang theo chiều sâu (Inclinometer). Việc đo áp lực nước lỗ rỗng là rất cần thiết để thấy được mức độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng dư và tránh được những kết luận sai lầm khi chỉ căn cứ vào độ lún còn lại: Trường hợp độ lún thực tế nhỏ hơn nhiều độ lún dự báo (thường xảy ra với phương án gia cố nền bằng cọc cát, cọc đá dăm...) sẽ mất thêm thời gian chờ cố kết; ngược lại độ lún thực tế lớn hơn nhiều độ lún dự báo (thường xảy ra với phương án gia cố nền bằng bắc thấm) sẽ dẫn đến hậu quả là khi đã đưa vào khai thác nhưng vẫn gần biến "đường chờ lún".

Tiêu chuẩn JTGD30-2004 của Trung Quốc quy định quan trắc 2 tháng liên tiếp, mỗi tháng độ lún không vượt quá 5mm, thỏa mãn yêu cầu trên mới được dỡ tải đào đường và bắt đầu cho phép rải mặt đường. Từ năm 2008, tác giả đã vận dụng để tính toán, khảo sát cho nhiều số liệu đầu vào khác nhau và nhận thấy rằng quy định này rất thực tế vì thời gian quan trắc ngắn nhưng lại giải quyết được vấn đề dự báo độ lún cố kết không chính xác. Quy định này hiện đã được Bộ Giao thông Vận tải đưa vào "Quy định tạm thời hướng dẫn việc theo dõi và xử lý các đoạn đường ô tô qua vùng đất yếu có chờ lún sau khi đưa vào khai thác" theo Quyết định 1897/QĐ-BGTVT ngày 20 tháng 6 năm 2016.

Hệ số tập trung ứng suất n có ảnh hưởng lớn đến kết quả tính toán ổn định và dự báo độ lún cố kết của nền đất được gia cường bằng cọc cát. Trong tính toán hiện nay, để thiên về an toàn thường chọn hệ số này khá nhỏ. Do đó cần xây dựng tương quan giữa cường độ cọc cát và đất xung quanh với hệ số tập trung ứng suất để có được kết quả tính toán phù hợp hơn với thực tế.

6. KẾT LUẬN

Thông qua việc nghiên cứu công trình thực tế trên có thể thấy cọc cát là giải pháp xử lý nền đất yếu hiệu quả, phù hợp với công trình có yêu cầu kỹ thuật cao. Cọc cát thay thế một phần đất yếu vừa đóng vai trò thiết bị thoát nước đứng như giếng cát và vừa làm tăng độ cứng chung của nền đất cũng như giảm khả năng bị đẩy trôi và giảm độ lún cố kết.

Hiện nay, nước ta vẫn chưa có tiêu chuẩn về cọc cát nên việc tính toán thiết kế và thi công nghiệm thu còn chưa thống nhất. Việc lựa chọn mô hình tính toán cần được nghiên cứu lý thuyết một cách toàn diện và kiểm chứng với các công trình thực tế đã thi công để hiệu chỉnh cho phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 22TCN 262-2000, Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu - Tiêu chuẩn thiết kế;
- [2] TCVN5729-2012, Đường ô tô cao tốc - Yêu cầu thiết kế;
- [3] JTG D30-2004, Quy trình thiết kế nền đường. Bộ Giao thông nước CHND Trung Hoa ban hành;
- [4] TCVN 8869:2011, Quy trình đo áp lực nước lỗ rỗng trong đất;
- [5] TCVN 11713:2017, Gia cố nền đất yếu bằng giếng cát - Thi công và nghiệm thu;
- [6] Quyết định 1897/QĐ-BGTVT ngày 20 tháng 6 năm 2016, Quy định tạm thời hướng dẫn việc theo dõi và xử lý các đoạn đường ô tô qua vùng đất yếu có chờ lún sau khi đưa vào khai thác