

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ CỐ KẾT CỦA NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA TẢI TRƯỚC KẾT HỢP THOÁT NƯỚC THẲNG ĐỨNG

Nguyễn Hồng Trường,
Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam
Nguyễn Hữu Thái
Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Khi xử lý nền đất yếu thì độ cố kết được dùng như một trong những tiêu chuẩn để đánh giá hiệu quả của việc xử lý nền bằng phương pháp gia tải trước. Độ cố kết thường được tính từ số liệu lún hoặc từ biến đổi áp lực nước lỗ rỗng. Trong nghiên cứu này, kết quả thí nghiệm mô hình vật lý nền sét yếu được gia tải trước kết hợp thoát nước thẳng đứng, cho thấy độ cố kết của nền khi được đánh theo các phương pháp khác nhau thì cũng cho kết quả sai khác nhau từ 0,6 đến 9,8%. Vì vậy, trong các trường hợp cụ thể, cần xem xét bố trí điểm quan trắc và lựa chọn phương pháp đánh giá độ cố kết cho phù hợp.

Từ khóa: nền đất yếu, cố kết thoát nước, độ cố kết

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề xây dựng nền đắp trên đất yếu là một đề tài được nhiều nước trên thế giới quan tâm và tiến hành nghiên cứu có hệ thống, bởi đây là một hiện tượng rất thường gặp trong quá trình xây dựng, nếu không có các biện pháp xử lý thích hợp thường dễ bị mất ổn định toàn khối dẫn đến lún sụt, sụp đổ công trình.

Khi xử lý nền đất yếu thì độ cố kết thường được dùng như một trong những tiêu chuẩn để đánh giá hiệu quả của việc xử lý nền bằng phương pháp gia tải trước bằng khối đắp hoặc bằng hút chân không. Nó cũng thường được dùng như một chi tiết kỹ thuật trong hợp đồng của dự án cải tạo, xử lý nền đất yếu. Độ cố kết thường được tính từ số liệu lún hoặc biến đổi áp lực nước lỗ rỗng (ALNLR).

Trong nghiên cứu này, thí nghiệm mô hình vật lý với loại đất sét yếu khu vực Hà Nội nhằm phát hiện quy luật biến thiên của ALNLR, biến dạng lún và đánh giá độ cố kết của nền được

gia tải trước kết hợp thoát nước thẳng đứng.

2. ĐẶC ĐIỂM CỐ KẾT CỦA NỀN ĐẤT

2.1 Quá trình cố kết

Quá trình đất dần dần bị nén chặt kèm theo hiện tượng nước lỗ rỗng thoát ra ngoài và sự phân bố lại áp lực giữa cốt đất và nước gọi là quá trình cố kết của đất. Nói cách khác, quá trình cố kết của đất là sự tổng hợp hai quá trình liên hệ tương hỗ với nhau và xảy ra đồng thời: Nén chặt đất và thoát nước lỗ rỗng.

Đối với loại sét (nhất là đất sét) tốc độ thoát nước rất nhỏ, quá trình nén chặt đất là quá trình lâu dài, có khi tới hàng trăm năm. Khi trong đất có cả nước tự do và nước liên kết, trước hết là thoát nước tự do, trường hợp này gọi là cố kết nguyên sinh và sau đó ép nước liên kết ra ngoài gọi là cố kết thứ sinh. Quá trình thứ hai rất khó phân biệt với hiện tượng lưu biến của cốt đất [2; 6]

Quá trình cố kết của đất sét thường được quy ước phân chia thành 2 giai đoạn: cố kết nguyên sinh (cố kết thấm) và cố kết thứ sinh (cố kết từ biến) [4]

- Cố kết nguyên sinh (cố kết sơ cấp, cố kết thấm) là quá trình biến dạng thể tích của đất

Ngày nhận bài: 5/7/2017

Ngày thông qua phản biện: 24/7/2017

Ngày duyệt đăng: 28/7/2017

kèm theo hiện tượng thoát nước tự do trong các lỗ rỗng ra ngoài. Nước thoát đi từ chỗ có áp lực nước cao đến chỗ có áp lực nước thấp, nhường chỗ để các hạt xích lại gần nhau, giảm lỗ rỗng và đất được nén chặt lại.

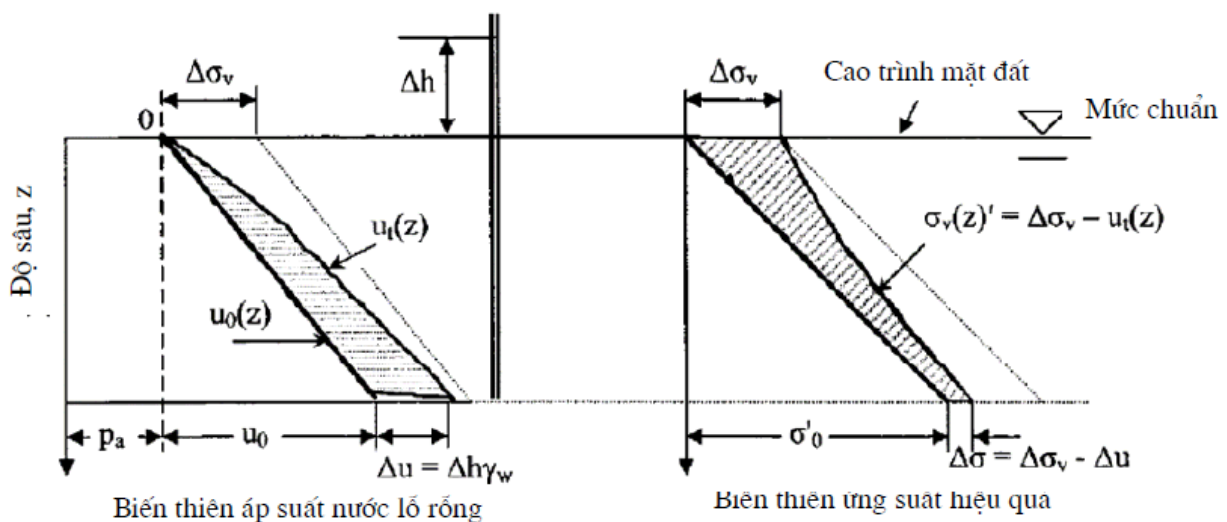
- Cố kết thứ sinh (cố kết thứ cấp, cố kết từ biến) là quá trình biến dạng nhớt của khung kết cấu đất. Nghĩa là sau khi nước trong lỗ rỗng thoát ra hết dưới tác dụng của tải trọng, các hạt đất vẫn tiếp tục dịch chuyển xích lại gần nhau, do sự rão của khung kết cấu đất, các hạt nhỏ sẽ trượt sâu vào các lỗ rỗng lớn hơn, từ đó cũng làm cho thể tích đất giảm xuống và đất được nén chặt thêm nữa. Hiện tượng biến dạng của đất sau khi nước thoát hết ra ngoài còn được gọi là biến

dạng từ biến.

Để phân tích quá trình cố kết nguyên sinh (tốc độ nén phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của nước) người ta thường sử dụng lý thuyết thấm không ổn định. Còn để phân tích quá trình cố kết thứ sinh (quá trình biến dạng trong cốt đất) thì dựa vào cơ sở lý thuyết lưu biến.

Trong nghiên cứu này chỉ giới hạn nghiên cứu cố kết nguyên sinh (cố kết thấm) và được gia tải bằng tải trọng tĩnh.

Với phương pháp gia tải bằng tải trọng tĩnh, ALNLR dư đầu tiên sẽ được hình thành từ trạng thái ban đầu (thường là áp suất thủy tĩnh) có cùng độ lớn của siêu tải, rồi tiêu tan dần như nêu trong Hình 1 [9]



$u_0(z)$: áp suất nước lỗ rỗng tĩnh; $\sigma_v(z)'$: ứng suất hiệu quả tại thời điểm t ;
 $u_t(z)$: áp suất nước lỗ rỗng dư tại thời điểm t ; σ'_0 = ứng suất hiệu quả ban đầu

Hình 1. Biến thiên ALNLR và ứng suất hiệu quả theo gia tải bằng tải trọng tĩnh

2.2 Độ cố kết

Độ cố kết (ĐCK) thường được dùng như một trong những tiêu chuẩn để đánh giá hiệu quả của việc xử lý nền bằng phương pháp gia tải trước bằng khối đắp hoặc bằng hút chân không. Nó cũng thường được dùng như một chi tiết kỹ thuật trong hợp đồng của dự án cải tạo, xử lý nền đất yếu. ĐCK thường được tính

từ số liệu lún hoặc biến đổi áp lực nước lỗ rỗng (ALNLR).

3. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ CỐ KẾT

3.1 Xác định độ cố kết theo Áp lực nước lỗ rỗng

Áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tăng lên do quá trình gia tải và tiêu tán dần về giá trị “0” khi cố kết đạt 100%.

Độ cô kết theo áp lực nước lỗ rỗng: $U\% = \frac{u_{\max} - u_t}{u_{\max}} \cdot 100\%$ (1)

$u_{\max}$: Áp lực nước lỗ rỗng lớn nhất

u_t : Áp lực nước lỗ rỗng tại thời điểm t

Tuy nhiên, tỷ số này chỉ cho ĐCK của một phân tố đất không phải là ĐCK bình quân. Để tính ĐCK bình quân, cần lập được phân bố ALNLR trên toàn chiều sâu tầng đất.

3.2 Xác định độ cô kết theo số liệu đo lún (phương pháp Asaoka, 1978)

Độ cô kết thường được tính bằng tỷ số của độ lún hiện tại và độ lún cuối cùng.

$$U = \frac{S_t}{S_{od}} \quad (2)$$

Vì vậy điểm mẫu chốt của phương pháp này là xác định (dự báo) độ lún cuối cùng (lún ổn định).

Có nhiều phương pháp dự tính độ lún cuối cùng. Trong đó, các phương pháp phổ biến thường được dùng như phương pháp của Asaoka (1978) [7] và phương pháp hypecbolic (Shidharan và Rao, 1981).

Dự báo độ lún theo phương pháp Asaoka (1978). Điều kiện áp dụng là đất yếu tương đối đồng nhất, thoát nước 1 phía hoặc 2 phía.

Nguyên tắc của phương pháp Asaoka:

Phân tích Asaoka sử dụng các giá trị quan trắc đo lún từ thực tế để xác định lại các thông số cô kết của đất nền từ đó kiểm tra lại thiết kế với số liệu thu được.

Phân tích Asaoka qua các giá trị quan trắc qua lập luận toán học rút ra quan hệ giữa các độ lún tại các thời điểm khác nhau.

Lún theo thời gian:

$$S(t) = S_{\infty} \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-C_t) \right] \quad (3)$$

$$\text{Với } C = \frac{C_r}{D_e^2 F(n)} + \frac{\pi^2 C_v}{4H^2},$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

Trong đó: C_r - hệ số cô kết hướng tâm

C_v - hệ số cô kết theo phương thẳng đứng

D_e - đường kính ảnh hưởng của thiết bị tiêu nước

$$S(t + \Delta t) = S_{\infty} \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-C * (t + \Delta t)) \right] \\ = S_{\infty} [1 - \exp(-C * \Delta t)] + \exp(-C * \Delta t) * S(t) \quad (4)$$

Biến đổi đặt qua các hệ số, (4) có thể viết dưới dạng:

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 S_{n-1} \quad (5)$$

S_n : độ lún của nền đất tại thời điểm thứ n

S_{n-1} : độ lún của nền đất tại thời điểm thứ $n-1$

β_0, β_1 : các tham số (các hằng số không đổi)

β_1 là độ dốc của đường thẳng hồi quy mô phỏng chính xác nhất

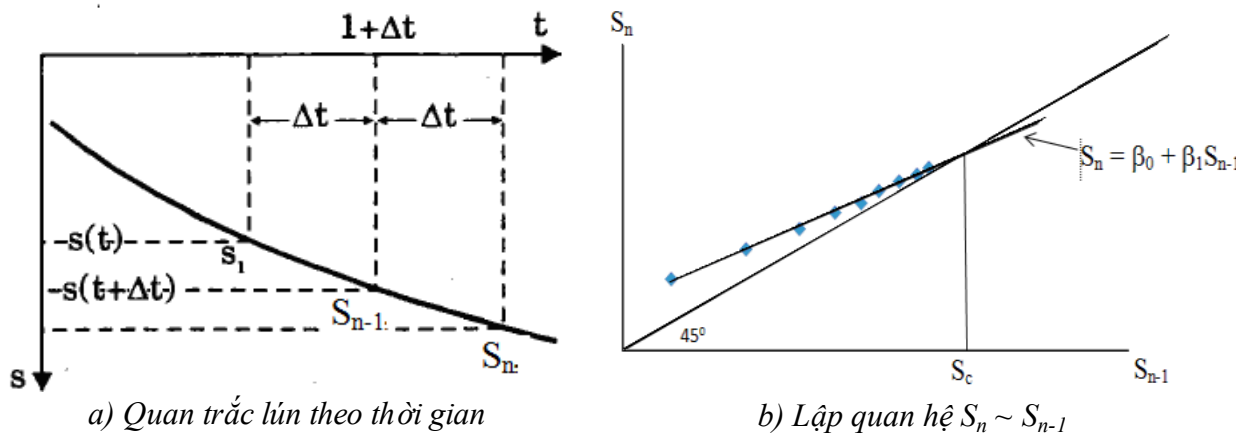
S_t và $S_{t+\Delta t}$ cách nhau một khoảng thời gian tương đối lớn, tùy thuộc vào tốc độ lún cô kết và sai số của thiết bị quan trắc.

Theo lý thuyết cô kết, đối với tải trọng không đổi, đường quan hệ này là đường thẳng và sẽ giúp ta tính các thông số cô kết khác nhau ở điều kiện thực tế, độ lún sơ cấp được xác định tại giao điểm của đường lún lập được với đường phân giác của góc phần tư thứ nhất như trên Hình 2 [7]

Trình tự phân tích như sau :

- Quan trắc độ lún của nền đất yếu dưới nền đắp trong một khoảng thời gian
- Thiết lập biểu đồ quan hệ biểu diễn các điểm $S_n, S_{n-1}, S_{n-2}, S_{n-3} \dots$
- Tìm đường thẳng hồi quy cho các điểm này.

- Xác định giao cắt của đường $S_n \sim S_{n-1}$ với đường phân giác. Hoành độ của điểm giao cắt



Hình 2. Phân tích dự báo lún theo phương pháp Asaoka

4. NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ CỐ KẾT CHO MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

4.1 Mục đích nghiên cứu

Nghiên cứu quá trình cố kết của nền đất yếu được gia tải trước kết hợp xử lý thoát nước thẳng đứng bằng bậc thấm.

- Xác định quá trình biến thiên của ALNLR, biến dạng lún tại các vị trí nghiên cứu
- Đánh giá kết quả tính độ cố kết bằng các phương pháp khác nhau, từ đưa ra các khuyến nghị áp dụng trong thực tế

4.2 Thiết kế mô hình thí nghiệm

Mô hình vật lý được xây dựng tại phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi. Sơ đồ bố trí mô hình thí nghiệm như ở Hình 3

- Mô hình gồm khối hộp hình chữ nhật có kích thước (2,0 x 1,0 x 1,2) m, thể tích $V = 2,4 \text{ m}^3$, được ghép bởi hệ khung bằng thép và hệ kính cường lực dày 1,0 cm ở các mặt bên.

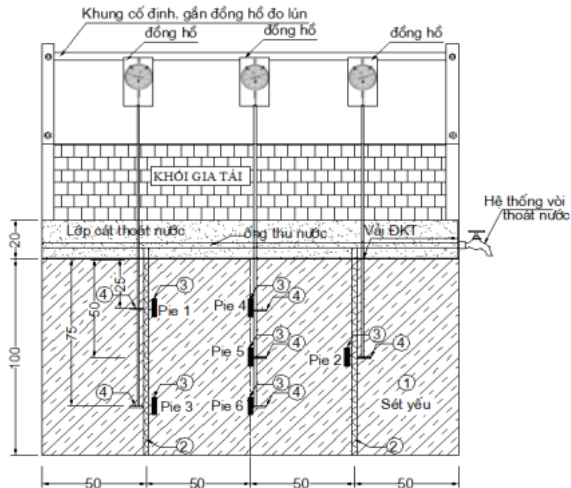
- Mẫu đất: MHVL mô phỏng một khối đất cho loại đất yếu nghiên cứu. Mẫu đất là đất sét pha được lấy từ khu vực Yên Nghĩa, thành phố Hà

Nội, đất được chế bị tương đồng với đất sét pha bão hòa nước.

- Tải trọng gia tải trước: Gia tải tĩnh với 2 mức tải trọng $P_1 = 9 \text{ kN/m}^2$, $P_2 = 18 \text{ kN/m}^2$. Các giá trị tải trọng này được xác định dựa trên nguyên tắc: i) Tải trọng gia tải nhỏ hơn tải trọng phá hoại đất nền và ii) Tổng tải trọng gia tải nén trước lớn hơn hoặc bằng 1,2 lần tổng tải trọng thiết kế của công trình [1;5]

- Bố trí thiết bị thoát nước thẳng đứng: bậc thấm được bố trí với khoảng cách hiệu quả (1,0 x 1,0) m, có chiều dài xuyên suốt khối đất. Lớp cát dày 0,2 m trên mặt khối đất vừa có nhiệm vụ tiêu thoát nước, vừa có nhiệm vụ gia tải.

- Thiết bị quan trắc ALNLR, biến dạng lún: các Piezometer (PIE) để quan trắc ALNLR, tín hiệu được kết nối với bộ đọc dữ liệu Datalogger hiện thị bởi phần mềm Logview thông qua máy tính. Các Tenxomet (TEN) để quan trắc lún và giá trị được đọc trên đồng hồ đo. Các PIE và TEN được bố trí dọc cạnh bậc thấm và giữa hai bậc thấm tại các độ sâu nghiên cứu.



- 1- nền sét pha, 2- bắc thấm
3- Pierometer, 4- Bàn đo lún
a) Sơ đồ bố trí thiết bị quan trắc

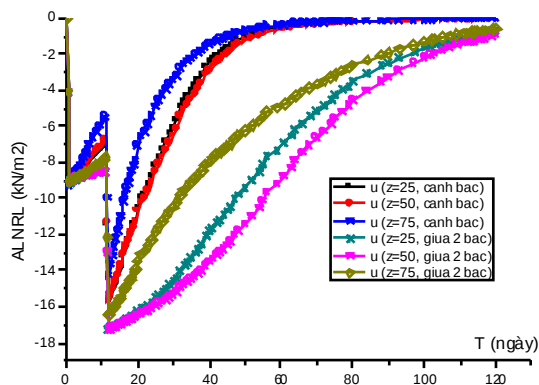


- b) Gia tải ở mức $P_2 = 18 \text{ kN/m}^2$

Hình 3. Sơ đồ bố trí thí nghiệm mô hình

4.3 Kết quả quan trắc thí nghiệm mô hình

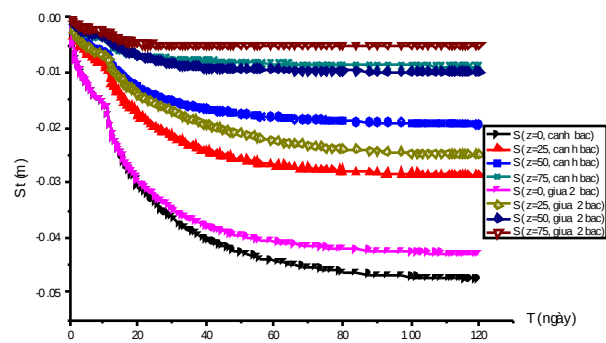
4.3.1 Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng



Hình 4. Biến thiên áp lực nước lỗ rỗng dư trong nền

Kết quả cho thấy, quan trắc ALNLR tại các điểm cạnh bắc thấm cho các đường biến thiên dốc hơn, ALNLR suy giảm nhanh hơn; quan trắc ALNLR tại các điểm nằm giữa hai bắc (xa bắc thấm) cho các đường thoải hơn, ALNLR suy giảm chậm hơn. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu lý thuyết.

4.3.2 Kết quả quan trắc lún



Hình 5. Kết quả quan trắc lún trong nền

4.4. Đánh giá độ cố kết

Trong thực tế, các dự án cải tạo, xử lý nền đất yếu thường đưa ra yêu cầu nền phải đạt độ cố kết nào đó sau một thời gian nhất định. Trường hợp chung mức độ cố kết phải đạt được tối thiểu $U = 90\%$ [5]

Căn cứ vào kết quả quan trắc diễn biến ALNLR và kết quả đo lún, nghiên cứu sẽ kiểm tra xem, nếu tính theo phương pháp ALNLR độ cố kết đạt 90% thì tại thời điểm đó, tính theo phương pháp dự báo lún thì độ cố kết đạt ở mức nào.

Như vậy, bài toán ở đây là với tải trọng chọn trước thì sau thời gian bao lâu nền đạt độ cố kết theo yêu cầu (để có thể dỡ tải và thực hiện các công việc tiếp theo)

4.4.1 Thời gian cố kết theo phương pháp ALNLR

Quan trắc ALNLR và ghi lại giá trị lớn nhất, $u_{\max}$

Ghi lại giá trị ALNLR và thời điểm tương ứng

$$\text{đề } U = \frac{u_{\max} - u_t}{u_{\max}} \cdot 100\% \approx 90\%$$

Bảng 1. Thời gian để nền đạt độ cố kết 90% theo phương pháp ALNLR

Vị trí quan trắc	Độ sâu điểm quan trắc	$u_{\max}$ (kN/m ²)	u_t (kN/m ²)	$\frac{u_{\max} - u_t}{u_{\max}} \cdot 100\%$ (%)	Thời gian đạt được (ngày)
Cạnh bắc thềm	z=25 cm	15,73	1,50	90,4	46
	z=50 cm	15,63	1,28	90,5	50
	z=75 cm	15,24	1,36	90,4	41
Giữa hai bắc thềm	z=25 cm	17,23	1,66	90,3	100
	z=50 cm	17,29	1,67	90,3	107
	z=75 cm	16,42	1,49	90,9	97

4.4.2 Kiểm tra lại độ cố kết theo phương pháp dự báo lún

Như ở trên đã trình bày, nếu tính theo phương pháp ALNLR độ cố kết đạt 90%, thì tại thời điểm đó, tại những điểm quan trắc tính theo phương pháp dự báo lún thì độ cố kết đạt ở

mức nào. Kết quả tính như Bảng 2

Cột (3): kết quả đo lún tại thời điểm tương ứng cột (6), thời điểm mà theo phương pháp ALNLR độ cố kết đạt 90%

Cột (4): kết quả dự báo độ lún ổn định tại các điểm nghiên cứu

Bảng 2. Kết quả tính lại độ cố kết theo phương pháp dự báo lún

Vị trí quan trắc	Độ sâu điểm quan trắc	St (quan trắc) (cm)	S _{ổđ} (theo Asaoka) (cm)	$\frac{S_t}{S_{\text{ổđ}}} \cdot 100\%$	Thời điểm đo lún (ngày)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Cạnh bắc thềm	z=25 cm	2,83	2,87	98,6	46
	z=50 cm	1,92	1,93	99,5	50
	z=75 cm	0,89	0,89	99,8	41
Giữa hai bắc thềm	z=25 cm	2,19	2,49	87,9	100
	z=50 cm	0,89	1,00	88,5	107
	z=75 cm	0,45	0,50	89,5	97

Từ kết quả độ cố kết theo ALNLR (Bảng 1) và kết quả tính theo phương pháp dự báo lún của Asaoka (Bảng 2), nhận xét rằng:

Tại thời điểm nền đạt độ cố kết 90% theo phương pháp ALNLR thì:

- Phương pháp dự tính lún, giá trị độ cố kết lớn hơn 90% tại các điểm dọc bắc thềm (những điểm có độ lún lớn), giá trị tăng từ 8,7 đến 9,8%

- Phương pháp dự tính lún, độ cố kết nhỏ hơn 90% tại các điểm cách xa bắc thềm (giữa hai bắc thềm), nhỏ hơn 0,6 đến 1,7%

Bảng 1 còn cho thấy, để đạt độ cố kết 90%, những điểm dọc bắc thềm chỉ cần thời gian 41 đến 50 ngày, trong khi những điểm xa bắc thềm thì từ 97 đến 107 ngày.

3.4 Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sai khác độ cố kết

3.4.1 Đối với phương pháp dự báo lún

- Độ lún ổn định $S_{\text{ổđ}}$ nhận được từ phương pháp Asaoka chịu ảnh hưởng của khoảng thời gian lựa chọn. Matyas và Rothenburg (1996) [10] đã chỉ ra rằng khoảng thời gian chọn càng dài thì $S_{\text{ổđ}}$ dự tính càng nhỏ, và khi đó độ cố kết tính ra được sẽ lớn hơn thực tế.

- Các số đo lún có thể chịu ảnh hưởng của độ kết thứ cấp, biến dạng đo được có thể bao gồm cả độ lún tức thời. Tất cả các nhân tố trên đều làm gia tăng giá trị độ lún của đất nền. Vì vậy độ cố kết cũng tăng khi dùng các số liệu lún.

- Thiết bị đo lún thường được đặt tại các vị trí tâm ở đó độ lún lớn nhất có thể xảy ra. Do vậy, độ lún đo được sẽ lớn hơn độ lún trung bình của cả nền, và kết quả dự báo độ cố kết sẽ thiên lớn.

3.4.2 Đối với phương pháp xác định theo Áp lực nước lỗ rỗng

Quan trắc ALNLR được bố trí ở những vị trí có nguy cơ mất an toàn, các Piezometer đo ALNLR chỉ bố trí được tại nơi có ALNLR lớn nhất xảy ra (tại vị trí xa bắc thềm). Do vậy, độ

cố kết dự tính theo số liệu ALNLR có xu thế giảm thiểu so với thực tế trung bình của nền.

4. KẾT LUẬN

Mục đích của quan trắc địa kỹ thuật trong quá trình gia tải cũng như trong giai đoạn thi công nhằm kiểm tra lại các số liệu, kết quả tính toán đã dự báo trong bước thiết kế cũng như theo dõi cảnh báo kịp thời các sự cố có thể xảy ra trong quá trình khai thác phục vụ đánh giá tổng thể điều kiện làm việc của công trình theo thời gian.

Trong nghiên cứu này, kết quả thí nghiệm mô hình vật lý đã xây dựng được quy luật biến thiên của ALNLR, biến dạng lún của nền trong quá trình cố kết của loại đất sét yếu khu vực Hà Nội. Qua tính toán độ cố kết tại các điểm quan trắc, cho thấy mức độ sai khác giữa các phương pháp tính, có thể từ 0,6 đến 9,8%.

Quan trắc công trình trong thực tế, do điều kiện tài chính hạn chế số lượng thiết bị quan trắc, các thiết bị quan trắc thường đặt ở vị trí sẽ cho kết quả nguy hiểm nhất: các Piezometer đo ALNLR thường được bố trí được tại nơi có ALNLR lớn nhất xảy ra (tại vị trí xa bắc thềm); các hộp đo lún thường bố trí ở vị trí tâm có độ lún lớn nhất.

Cách làm này thường dẫn đến kết quả dự báo độ cố kết thiên lớn hoặc thiên nhỏ. Vì vậy, nghiên cứu này có khuyến nghị:

- Cần mô phỏng, phân tích bài toán cố kết bằng phương pháp PTHH để tìm ra điểm có độ lún và ALNLR trung bình, đại diện cho nền đất và sau đó bố trí thiết bị quan trắc tại điểm đó. Tiến hành thu thập số liệu phục vụ công tác đánh giá độ cố kết, dự báo thời gian tiếp tục thi công giai đoạn tiếp theo, gia tải thêm nhằm tăng tiến độ thi công...

- Kết quả đánh giá có sai khác giữa các phương pháp tính, cho nên các tài liệu kỹ thuật đánh giá độ cố kết cần nêu rõ là xác định theo phương pháp nào. Tuy nhiên khi cần đánh giá độ cố kết đã đạt sắp xỉ 90% thì lúc đó biến thiên của cả độ lún và ALNLR đều nhỏ đi.

Trong trường hợp này, ảnh hưởng do sai số về số liệu lún và ALNLR đến việc dự tính độ cố kết trở nên kém ý nghĩa. Như vậy, sự khác

nhau giữa độ cố kết xác định bằng hai cách sẽ nhỏ hơn, và khi đó có thể xác định theo bất cứ phương pháp nào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 22TCN 262-2000, *Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu*
- [2] Kannitha Solyphan, 2002, *Biến dạng của đất dính mềm có xét đến tính dị hướng cố kết thấm và phương pháp xác định các hệ số cố kết của đất*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật-Đại học Xây dựng
- [3] Nguyễn Lan và nnk, *Các phương pháp phân tích, đánh giá kết quả quan trắc địa kỹ thuật nền đường đắp cao trên đất yếu - ứng dụng cho tuyến đường vành đai phía nam thành phố Đà Nẵng - gói thầu C57*.
- [4] R. Whitlow, 1999, *Cơ học đất*, Tập 2. Bản dịch của Nguyễn Uyên và Trịnh Văn Cường, Đại học Thủy lợi
- [5] TCXD 9355-2012, *Gia cố nền đất yếu bằng bác thấm thoát nước*.
- [6] Vũ Đức Sỹ, 2004, *Nghiên cứu một số vấn đề về tính toán lún theo thời gian và xử lý nền đường ô tô đắp trên đất yếu*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật-Đại học Giao thông vận tải
- [7] Asaoka, A. *Observational procedure of settlement prediction*. Soils and Foundations 1978;18(4) pp:87–101.
- [8] Chunlin Li, *A simplified method for prediction of embankment settlement in clays*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 6(2014) pp 61-66
- [9] J. Chu and S. W. Yan, 2005, *Estimation of Degree of Consolidation for Vacuum Preloading Projects*, international journal of geomechanics © ASCE.
- [10] Matyas, E., and Rothenburg, L. 1996. *Estimation of total settlement of embankments by field measurements*. Can. Geotech. J., 33, 834–841.