

Tổng quan về lý thuyết cố kết thấm và tính lún cho một công trình cụ thể ?

1. Mở đầu

Khi tiến hành xây dựng các công trình trên nền đất, do tác dụng của tải trọng công trình nền đất sẽ bị lún xuống. Thực chất của quá trình nén lún là tổng hợp của các quá trình: giảm hệ số rỗng rỗng của đất đồng thời với sự thoát nước lỗ rỗng đối với đất bão hòa và sự sắp xếp lại của các hạt khoáng dưới tác động của tải trọng do công trình gây nên. Quá trình lún có liên quan đến sự nén chặt của đất đồng thời với sự thoát nước lỗ rỗng chính là quá trình cố kết của đất. Quá trình cố kết của đất không những phụ thuộc và tải trọng tác dụng mà còn phụ thuộc vào bản chất cũng như tính thấm nước của đất. Nếu đất có tính thấm nước càng lớn thì quá trình cố kết diễn ra càng mạnh và càng nhanh đạt tới ổn định lún. Ngược lại, độ thấm nước của đất càng thấp, quá trình cố kết xảy ra càng lâu dài và đất càng lâu đạt tới trạng thái ổn định lún.

Đối với các công trình xây dựng, không những cần phải xác định độ lún cuối cùng để dự báo mà còn phải đánh giá độ lún theo thời gian khi thiết kế. Kết quả tính lún theo thời gian là cơ sở để đề ra biện pháp thi công phù hợp và đáp ứng được tiến độ yêu cầu cũng như đảm bảo độ ổn định của đất nền. Đây là vấn đề rất phức tạp, bởi vì đất đá là một môi trường không liên tục, không đồng nhất và không đẳng hướng.

Người đặt nền móng cho lý thuyết cố kết thấm và xác định độ lún theo thời gian là Karl Terzaghi. Năm 1925, ông đưa ra quan niệm về cố kết, mô hình cố kết thấm và đưa ra phương trình vi phân lý thuyết cố kết thấm của đất.

Sau đó các công trình nghiên cứu của N. M. Gherxevanop, D. E. Polsin đã phát triển thêm lý thuyết cố kết của đất để nâng cao độ chính xác tính độ lún theo thời gian cho một số trường hợp cụ thể.

Đặc biệt V. A. Florin đã nghiên cứu và cho lời giải đầy đủ các bài toán nén chặt đất hai chiều và ba chiều dưới tác dụng của tải trọng ngoài, của trọng lượng bản thân và dòng thấm. Ngoài ra ông còn cho các lời giải riêng có kể đến ảnh hưởng sự thay đổi hệ số thấm, ảnh hưởng túi khí kín, của từ biến hạt đất.

Sự phát triển lý thuyết cố kết và tính độ lún theo thời gian còn có nhiều nhà khoa học khác như N. A. Txutovich, V. G. Korotkin, Gĩơn, Rendulick, Karillo,...

2. Mô hình cốt kết thấm của Karl Terzaghi.

Năm 1925 Karl Terzaghi đưa ra mô hình cốt kết thấm của bài toán nén một chiều không nở hông, bao gồm một bình chứa chất lỏng nước, trong đó có một pítông được đỡ bằng các lò xo thể hiện khung kết cấu của đất, van thoát nước để điều chỉnh áp lực nước.

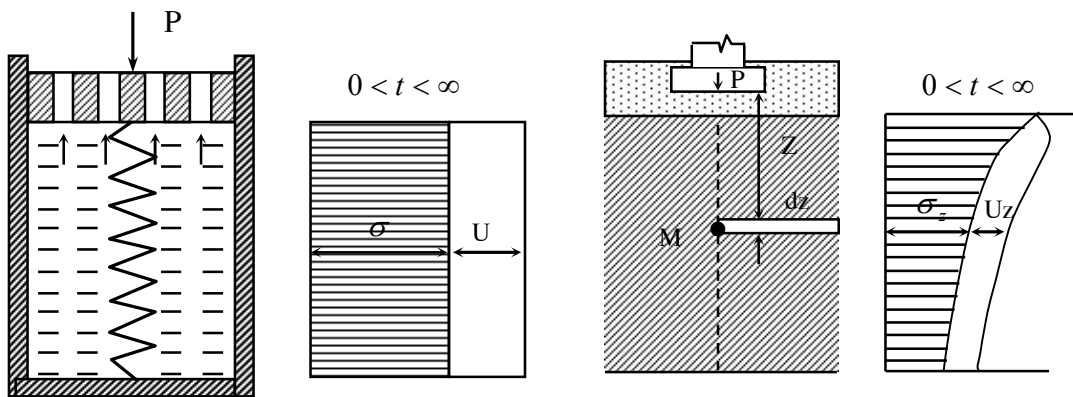
Khi tác dụng lên pítông một hệ lực phân bố đều P (giả thiết pítông không có ma sát, nước không ép co, lò xo biến dạng đàn hồi) nếu van đóng, toàn bộ lực P sẽ truyền cho nước, nếu van mở áp lực truyền cho nước đủ làm cho nước thoát ra, áp lực nước sẽ giảm, pítông lún xuống vì lò xo bị nén. Như thế, lực tác dụng truyền dần dần cho lò xo làm nó co ngắn lại cho tới khi chịu toàn bộ lực tác dụng, lúc này áp lực nước bằng không.

Nếu gọi áp lực tác dụng lên lò xo là σ , áp lực nước lỗ rỗng là U , tính ở mọi thời điểm t ta đều có:

$$P = \sigma_t + U_t$$

Trước khi van mở ($t = 0$): Toàn bộ tải trọng ngoài truyền lên nước, khi đó ta có: $\sigma = 0, P = U$

Sau khi mở van, nước thoát ra hoàn toàn: Toàn bộ tải trọng ngoài truyền lên lò xo, ta có: $U = 0, P = \sigma$



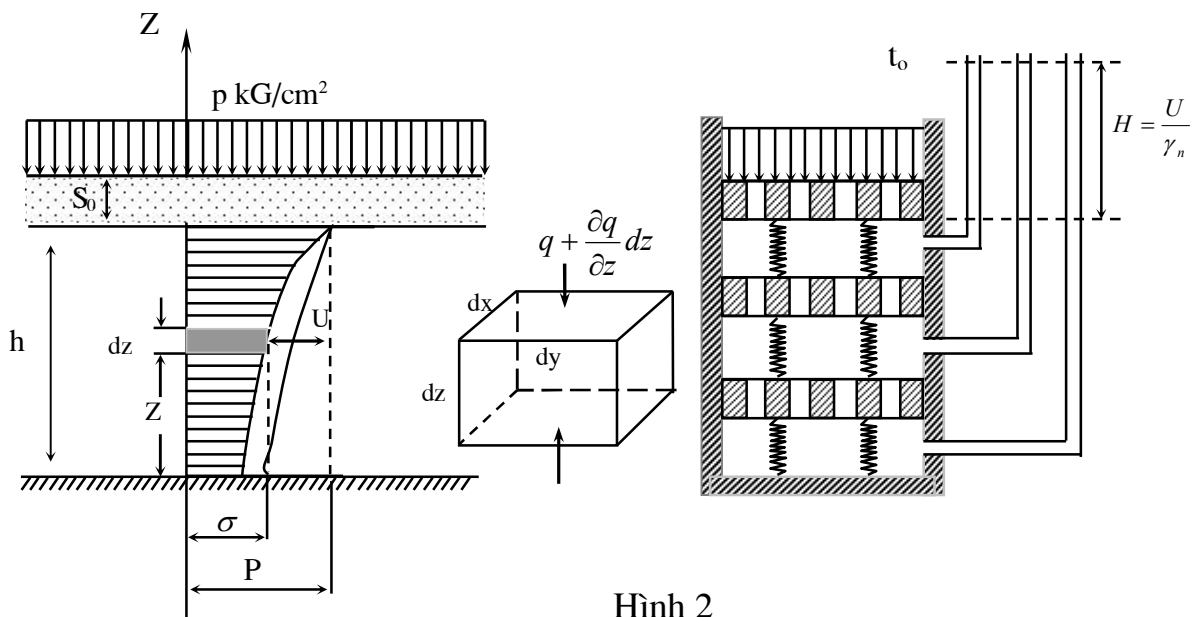
Hình 1

Từ mô hình này, nếu xem cốt đất như lò xo, chất lỏng trong bình như nước trong lỗ hổng của đất thì quá trình cốt kết xảy ra trong đất khi chịu tác dụng của tải trọng hoàn toàn giống mô hình trên.

3. Phương pháp tính độ lún theo thời gian trên cơ sở lý thuyết cổ kết thấm của đất.

3.1. Lập phương trình vi phân áp lực thuỷ động

Xuất phát từ mô hình cổ kết, K. Terzaghi đã lập và giải phương trình vi phân áp lực thuỷ động cho nền đất gồm một lớp sét bão hoà nước có hệ số thấm nước k , chiều dày h , nằm trên nền đá cứng không thấm nước, chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều vô hạn.



Hình 2

Trường hợp này biểu đồ ứng suất tổng gần như không đổi theo chiều sâu, khả năng thoát nước chỉ theo một hướng từ dưới lên.

Xét một phân tử trong lớp đất sét có chiều dày dx nằm ở độ sâu z , diện tích dòng thấm qua là $F = dx \cdot dy = 1$.

Tại thời điểm t , lượng tăng lưu lượng nước chảy qua phân tử bằng lượng giảm độ lỗ rỗng trong đất, nghĩa là:

$$\frac{\partial q}{\partial z} = -\frac{\partial n}{\partial t} \quad (1)$$

Theo định luật thấm của Đacxi có: $q = v \cdot F = -k \cdot \frac{\partial H}{\partial t}$

Vế trái của phương trình (1) có dạng: $\frac{\partial q}{\partial z} = -k \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial z^2}$

Vì $H = \frac{U}{\gamma_n} = \frac{P - \sigma}{\gamma_n}$ nên $\frac{\partial q}{\partial z} = \frac{k}{\gamma_n} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2}$

Vế phải của phương trình (1) có dạng: $-\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) = -\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$

Theo định luật nén lún: $\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -a \frac{\partial \sigma}{\partial t}$ (a - hệ số nén lún)

Vậy: $-\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{a}{1+\varepsilon} \frac{\partial \sigma}{\partial t}$; thay các giá trị $\frac{\partial q}{\partial z}$ và $\frac{\partial n}{\partial t}$ vào phương trình (1) ta có:

$$\frac{k}{\gamma_n} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = \frac{a}{1+\varepsilon} \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad \text{vậy:} \quad \frac{k(1+\varepsilon)}{a\gamma_n} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (2)$$

Gọi $C_v = \frac{k(1+\varepsilon)}{a\gamma_n}$ là hệ số cố kết, phương trình (2) có dạng:

$$C_v \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (3)$$

Đây là phương trình vi phân của bài toán nén một chiều không nở hông, phương trình còn có thể viết dưới dạng khác:

$$C_v \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{\partial U}{\partial t} \quad (4) \quad \text{hoặc} \quad C_v \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (5)$$

Để nhận được lời giải cho các phương trình trên, các hệ số không thứ nguyên được thay vào bao gồm:

Độ cố kết tại độ sâu z: $U_z = \frac{e_o - e}{e_c - e} = \frac{U_o - U}{U_o}$, hệ số thời gian: $T_v = \frac{C_v T}{d^2}$, hệ số đường thoát nước: $Z = \frac{z}{d}$

Trong đó: e_o - hệ số rỗng ban đầu của đất;

e - hệ số rỗng sau thời gian t;

e_c - hệ số rỗng cuối;

U_o - áp lực nước lỗ rỗng ban đầu;

U - áp lực nước lỗ rỗng sau thời gian t;

d - chiều dài đường thoát nước.

Thay các hệ số vào phương trình (4) ta có: $\frac{\partial^2 U_z}{\partial Z^2} = \frac{\partial U_z}{\partial T_v}$ (6)

Giải các phương trình trên cho phép xác định áp lực hữu hiệu và áp lực nước lỗ rỗng của những điểm ở độ sâu z và thời gian t bất kỳ.

3.1.2. Phương pháp tính độ lún theo thời gian.

Nội dung chủ yếu của phương pháp này là giải phương trình vi phân đã lập được ở trên để nhận được biểu thức tính áp lực hữu hiệu $\sigma_{z,t}$. Độ lún của nền đất ở thời điểm t bất kỳ được xác định theo phương trình tích phân:

$$S = \int_0^h a_o \sigma'_{z,t} dz$$

Để đơn giản hơn trong tính độ lún theo thời gian, người ta đưa ra khái niệm độ cố kết chung của nền như sau:

$$Q_t = \frac{S_t}{S_\infty} = \frac{\int_0^h a_o \sigma'_{z,t} dz}{\int_0^h a_o \sigma_z dz} = \frac{\int_0^h a_o \sigma'_{z,t} dz}{\int_0^h a_o P dz}$$

Để giải các phương trình vi phân trên có thể sử dụng phương pháp phân tích chuỗi Furie. Phương pháp này được giải bằng cách tìm các nghiệm riêng thoả mãn các điều kiện biên khác nhau, từ các nghiệm riêng sẽ tìm ra nghiệm tổng quát. Để dễ thoả mãn các điều kiện biên, người ta thay nền có chiều dày h thoát nước một chiều bằng nền có chiều dày $2h$ thoát nước hai chiều chịu tải trọng phân bố đều vô hạn như nhau.

Dựa vào các điều kiện biên, vận dụng chuỗi số Furie giải ra ta được:

$$\partial_{z,t} = P \left[1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \left[\sin \frac{(2n+1)\pi z}{2h} e^{-(2n+1)^2 N} \right] \right]$$

Trong đó $N = \frac{\pi^2}{4h^2} C_v T$ gọi là nhân cố kết.

Độ cố kết:

$$Q_t = 1 - \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} e^{-(2n+1)^2 N}$$

$$Q_t = 1 - \frac{8}{\pi} \left[e^{-N} + \frac{1}{9} e^{-9N} + \frac{1}{25} e^{-25N} + \dots \right]$$

Với chuỗi hội tụ, có thể lấy một số hạng đầu tiên cũng đảm bảo độ chính xác:

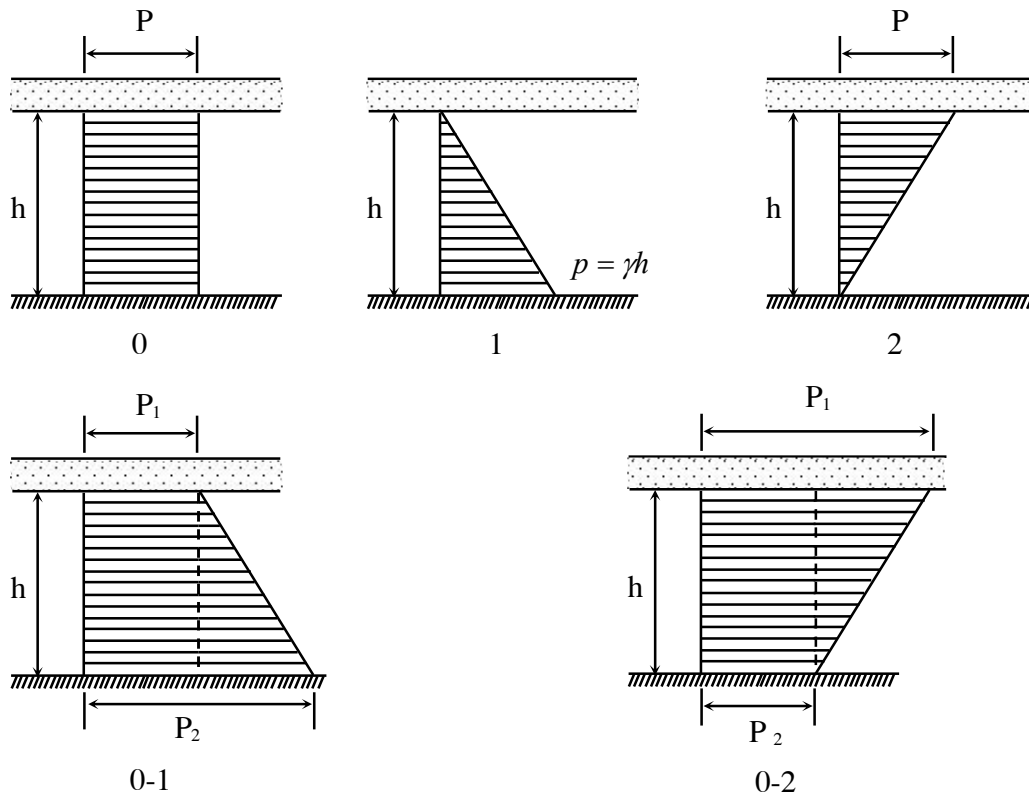
$$Q_t = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N}$$

Độ lún ở thời điểm t bất kỳ được xác định: $S_t = Q_t \cdot S$

Để cho việc tính toán được nhanh chóng, thuận tiện, người ta lập sẵn bảng quan hệ giữa độ cố kết Q_t và N cho từng biểu đồ phân bố ứng suất.

3.2. Các trường hợp của biểu đồ phân bố ứng suất nén theo chiều sâu

Ngoài trường hợp như đã ví dụ ở trên (trường hợp 0), trong thực tế do đặc điểm công trình cũng như của nền đất, chúng ta gặp những trường hợp phân bố ứng suất cụ thể như sau:



Hình 3

- Trường hợp 1: Nền lún do trọng lượng bản thân, biểu đồ ứng suất có dạng tam giác đỉnh quay lên trên.

$$Q_t = 1 - \frac{32}{\pi^3} \left[e^{-N} + \frac{1}{27} e^{-9N} + \frac{1}{125} e^{-25N} + \dots \right]$$

- Trường hợp 2: Nền lún do tải trọng công trình phân bố cục bộ, biểu đồ ứng suất dạng tam giác có đỉnh quay xuống dưới.

$$Q_t = 1 - \frac{16}{\pi^2} \left[\left(1 - \frac{2}{\pi^2} \right) e^{-N} + \left(1 + \frac{2}{3\pi} \right) \frac{1}{9} e^{-9N} + \dots \right]$$

- Trường hợp 0 - 1: Kết hợp trường hợp 0 và 1, có thể tính như sau:

$$N_{0-1} = N_0 + (N - N_0) J$$

- Trường hợp 0 - 2: Kết hợp trường hợp 0 và 2, có thể tính theo công thức sau:

$$N_{0-2} = N_2 + (N_0 - N_2) J'$$

Các giá trị N_0, N_1, N_2 tra bảng khi biết độ cố kết Q_t và ngược lại (bảng 1), các hệ số j, j' tra bảng phụ thuộc vào tỷ số P_1/P_2 với P_1 - áp lực nén ở mặt thoát nước; P_2 - áp lực nén ở mặt không thoát nước (bảng 2)

3.3. Bài toán cố kết phẳng

Phương trình vi phân cố kết trong trường hợp bài toán hai chiều có dạng:

$$C_v \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial U}{\partial t} \quad \text{với} \quad C_v = \frac{k(1 + \varepsilon_0)(1 + \xi)}{2a\gamma_n}$$

C_v - hệ số cố kết trong điều kiện bài toán phẳng;

ξ - hệ số áp lực hông của đất.

Có thể viết phương trình trên dưới dạng khác: $C_v \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial H}{\partial t}$

3.4. Bài toán cố kết thấm đối xứng trục.

Theo Rendunic, phương trình vi phân cố kết thấm đối xứng trục có dạng:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = C_r \left(\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \right) + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$$

Trong đó: r - khoảng cách từ điểm đang xét đến trục z ;

C_r - hệ số cố kết theo chiều xuyên tâm. $C_r = \frac{k_r(1 + \varepsilon_0)}{a\gamma_n}$

C_v - hệ số cố kết theo trục Z . $C_v = \frac{k_z(1 + \varepsilon_0)}{a\gamma_n}$

K_r, k_z - hệ số thấm của đất theo chiều xuyên tâm và theo chiều thẳng đứng.

Karillô đã giải phương trình này và rút ra công thức xác định độ cố kết Q như sau:

$$1 - Q = (1 - Q_r)(1 - Q_z)$$

Trong đó: Q_r, Q_z - độ cố kết theo chiều xuyên tâm và theo chiều thẳng đứng.

$$Q_r = f(T_r), \quad Q_z = f(T_z)$$

Trong đó: T_r, T_z - thừa số thời gian tương ứng được xác định theo công thức:

$$T_r = \frac{C_r}{4R^2} t \qquad T_z = \frac{C_z}{4R^2} t$$

Trong đó: R - khoảng cách giữa các giếng thoát nước;

h - chiều dày lớp đất nén chặt.

Để xác định các hàm $f(T_r)$, $f(T_z)$ một cách nhanh chóng, Terzaghi đã đưa ra đồ thị liên hệ giữa độ cố kết Q_r và Q_z với các thừa số thời gian.

Từ đồ thị liên hệ xác định được Q_r và Q_z và tính được độ cố kết toàn phần Q của đất nền.

R. Baroon tiếp tục phát triển bài toán cố kết thấm đối xứng trục cho trường hợp biến dạng đứng đều trên mặt khi áp suất lỗ rỗng dư và làm sáng tỏ vấn đề ảnh hưởng của sức cản của vật liệu đến việc nén chặt trụ đất có bán kính ảnh hưởng R .

Bảng 1: Tương quan giữa độ cố kết Q_t và trị số N ứng với các sơ đồ ứng suất.

Độ cố kết (Q_t)	Trị số N ứng với các sơ đồ			Độ cố kết (Q_t)	Trị số N ứng với các sơ đồ		
	0	1	2		0	1	2
0.05	0.005	0.060	0.002	0.55	0.590	0.840	0.320
0.10	0.020	0.120	0.005	0.60	0.710	0.950	0.420
0.15	0.040	0.180	0.010	0.65	0.840	1.100	0.540
0.20	0.070	0.250	0.020	0.70	1.000	1.240	0.690
0.25	0.120	0.310	0.040	0.75	1.180	1.420	0.880
0.30	0.170	0.390	0.060	0.80	1.400	1.640	1.080
0.35	0.240	0.470	0.090	0.85	1.690	1.930	1.360
0.40	0.310	0.550	0.130	0.90	2.090	2.350	1.770
0.45	0.390	0.630	0.180	0.95	2.800	3.170	2.540
0.50	0.490	0.730	0.290	1.00			

Bảng 2: Trị số J và J' để tính lún theo thời gian

Trường hợp 0 - 1		Trường hợp 0 - 2	
P1/P2	J	P1/P2	J'
0.00	1.00	1.00	1.00
0.10	0.84	1.50	0.83
0.20	0.69	2.00	0.71
0.30	0.56	2.50	0.62
0.40	0.46	3.00	0.55
0.50	0.36	3.50	0.50
0.60	0.27	4.00	0.45
0.70	0.19	4.50	0.42
0.80	0.12	5.00	0.39
0.90	0.06	6.00	0.34
1.00	0.00	7.00	0.30
		8.00	0.27
		9.00	0.25
		10.00	0.23
		12.00	0.20
		15.00	0.17
		20.00	0.13

4. Thí dụ cụ thể về bài toán tính lún theo thời gian.

Cho một móng băng chiều rộng 2.50m, chiều sâu chôn móng 2.00m. tải trọng công trình truyền xuống đáy móng $p = 2.00\text{kG/cm}^2$, hệ số nở hông của cả nền $\mu = 0.35$. Nền đất dưới đáy móng gồm 3 lớp:

Lớp 1: Cát pha dày 5.00m; $\gamma_w = 1.8\text{T/m}^3$; $\epsilon_{01} = 0.675$; $a_1 = 0.025\text{cm}^2/\text{kG}$; $k_1 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$.

Lớp 2: Sét pha dày 2.50m; $\epsilon_{02} = 0.820$; $a_2 = 0.065 \text{ cm}^2/\text{kG}$; $k_1 = 1.5 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$.

Lớp 3: Sét dày vô tận; $\epsilon_{03} = 1.12$; $a_3 = 0.125\text{cm}^2/\text{kG}$; $k_3 = 9 \cdot 10^{-8} \text{ cm/s}$.

Hãy tính độ lún theo thời gian và độ cố của nền đất ứng với từng thời điểm.

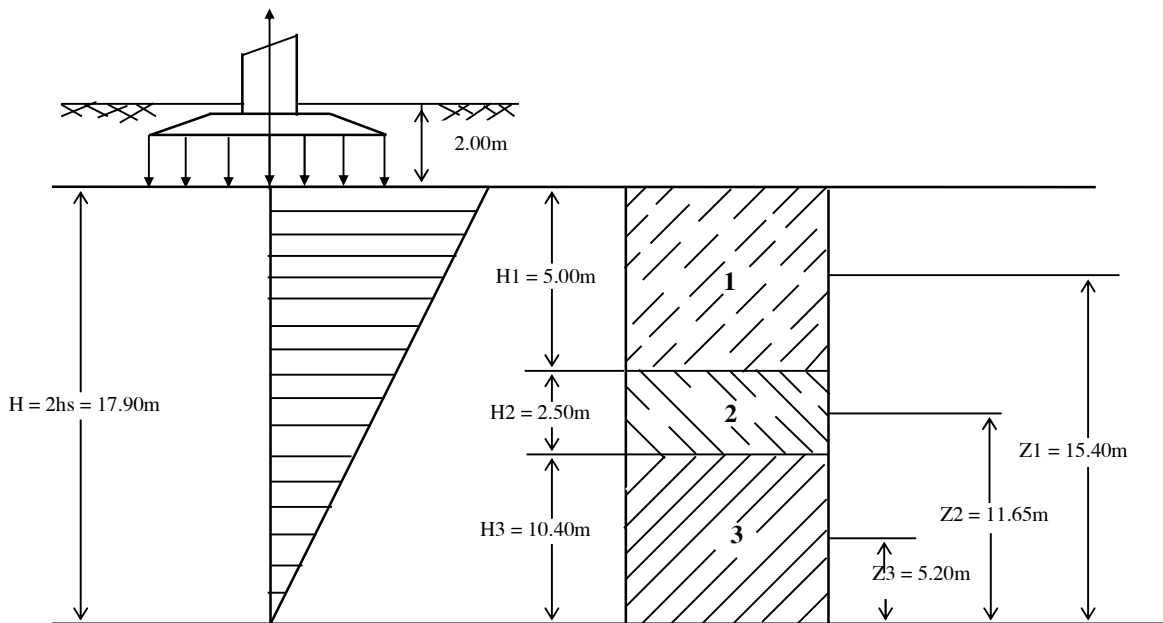
Bài giải

Độ lún cuối cùng của móng được xác định theo phương pháp “lớp tương đương” là:

$$S_\infty = a_{0m} \cdot P_{gh} \cdot h_s \tag{1}$$

Ta xác định chiều dày lớp tương đương h_s :

$$h_s = A \omega_0 \cdot b \tag{2}$$



Hình 4

Tra bảng tìm trị số $A\omega_0$ cho móng băng ($l/b > 10$), với $\mu = 0.35$.

Ta có $A\omega_0 = 3.58$.

$$h_s = 3.58 \times 2.50\text{m} = 8.95\text{m}$$

Chiều sâu chịu nén của đất nền là:

$$H = 2h_s = 2 \times 8.95\text{m} = 17.90\text{m}$$

Hệ số nén lún rút đổi trung bình:

$$a_{om} = (\sum a_{oi} h_i z_i) / 2h_i^2 \quad (3)$$

$$a_{o1} = a_1 / (1 + \varepsilon_{01}) = 0.024 / (1 + 0.675) = 0.014 \text{ cm}^2/\text{kG}.$$

$$a_{o2} = a_2 / (1 + \varepsilon_{02}) = 0.060 / (1 + 0.820) = 0.033 \text{ cm}^2/\text{kG}.$$

$$a_{o3} = a_3 / (1 + \varepsilon_{03}) = 0.125 / (1 + 1.120) = 0.059 \text{ cm}^2/\text{kG}.$$

$$h_1 = 5.00\text{m}; h_2 = 2.50\text{m}; h_3 = 10.40\text{m}.$$

$$z_1 = 15.40\text{m}; z_2 = 11.65\text{m}; z_3 = 5.20\text{m}$$

Thay số vào công thức (3) ta có:

$$a_{om} = (0.014 \times 5.00 \times 10.40 + 0.033 \times 2.50 \times 11.65 + 0.059 \times 10.40 \times 5.20) / 2 \times (8.95)^2$$

$$a_{om} = 0.031 \text{ cm}^2/\text{kG}.$$

Áp lực gây lún:

$$P_{gl} = p - \gamma \cdot h_m \quad (4)$$

$$P_{gl} = 2 - 0.18 \times 2 = 1.64 \text{ kG/cm}^2$$

Độ lún cuối cùng của móng là:

$$S_\infty = a_{om} \cdot P_{gh} \cdot h_s$$

$$S_\infty = 0.031 \times 1.64 \times 895 = 45.50 \text{ (cm)}$$

Căn cứ vào sự phân bố địa tầng từ trên xuống dưới: cát pha; sét pha, sét do vậy dưới tác dụng của tải trọng công trình nước sẽ chảy từ nơi có hệ số thấm nhỏ đến nơi có hệ số thấm lớn hơn nghĩa là nước sẽ thoát ra theo chiều từ dưới lên trên. Ta chọn sơ đồ “2” để tính lún theo thời gian cho trường hợp này.

Chiều dài đường thấm $H = 2h_s = 17.90\text{m}$.

$$N_2 = (\pi^2 \cdot c_{vm} \cdot t) / 4h^2 \quad (5)$$

$$C_{vm} = k_m / a_{om} \cdot \gamma_n \quad (6)$$

$$k_m = H/\Sigma h_i/k_i = H/(h_1/k_1 + h_2/k_2 + h_3/k_3) \quad (7)$$

$$k_m = 17.90/(500/1.2 \times 10^{-5} + 250/1.5 \times 10^{-7} + 1040/9 \times 10^{-8})$$

$$k_m = 1.35 \times 10^{-7} \text{ (cm/s)} = 4.05 \text{ cm/năm.}$$

Thay số vào (6) ta có:

$$c_{vm} = 4.05/0.031 \times 10^{-3} = 130645 \text{ cm}^2/\text{năm.}$$

Thay số vào (5) ta có:

$$N_2 = (3.14^2 \times 130645 \times t)/4 \times 17.90^2$$

$$N_2 = 0.1005 \times t \text{ hay } t = 9.9503 \times N_2$$

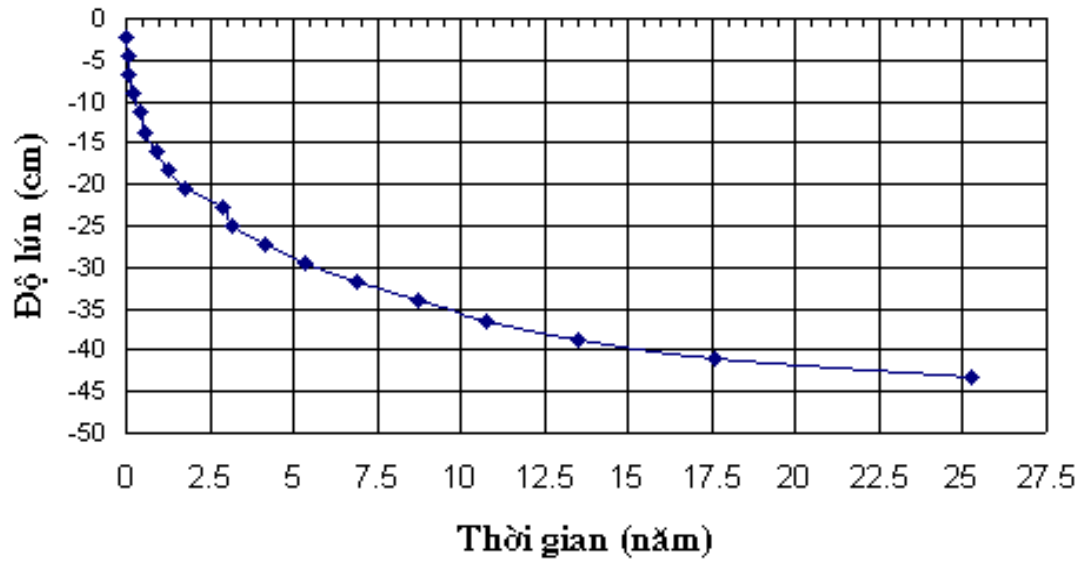
Từ các số liệu trên kết hợp với bảng 1 (bảng tương quan giữa đại lượng N và Qt ứng với các sơ đồ) ta lập được bảng tương quan sau:

Bảng 3: Tương quan giữa độ cố kết, thời gian và độ lún của móng.

Số TT	Độ cố kết (Qt)	Nhân cố kết (N2)	Thời gian (t = 9.9503 N2)	Độ lún S = Qt x S∞ (cm)
1	0.05	0.002	0.0199	2.28
2	0.10	0.005	0.0496	4.55
3	0.15	0.010	0.0995	6.83
4	0.20	0.020	0.1990	9.10
5	0.25	0.040	0.3980	11.38
6	0.30	0.060	0.5970	13.65
7	0.35	0.090	0.8955	15.93
8	0.40	0.130	1.3925	18.20
9	0.45	0.180	1.7911	20.48
10	0.50	0.290	2.8856	22.75
11	0.55	0.320	3.1841	25.03
12	0.60	0.420	4.1791	27.30
13	0.65	0.540	5.3732	29.58
14	0.70	0.690	6.8657	31.85
15	0.75	0.880	8.7563	34.13
16	0.80	1.080	10.7463	36.40
17	0.85	1.360	13.5324	38.68
18	0.90	1.770	17.6120	40.95
19	0.95	2.540	25.2738	43.23

Có thể biểu diễn kết quả tính lún theo thời gian theo biểu đồ sau:

Quan hệ lún theo thời gian



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. N. A. Txutovich. Cơ học đất. Nhà xuất bản Mir. Maxcova, 1987.
2. R. Whitlow. Cơ học đất. Nhà xuất bản Giáo dục. Hà Nội, 1996.
3. PGS - TS Nguyễn Huy Phương, GS - TS Phan Trường Phiệt, PGS - TS Tạ Đức Thịnh. Bài giảng Lý thuyết môi trường rời cho học viên cao học. Hà Nội, tháng 11 - 1999.
4. PGS - TS Nguyễn Huy Phương, PGS - TS Tạ Đức Thịnh, ThS Nguyễn Văn Phóng. Bài tập cơ học đất. Hà Nội, 2005.
5. MUNI BUDHU Professor, Department of Civil Engineering & Engineering mechanics University of Arizona. Soil mechanics and foundations.