

Cơ Sở Lý Thuyết Tính Toán Nền Móng Công Trình Trên Đất Trương Nở

Theoretical Basis For Calculating The Foundation On Expansive Soil

ThS. Lê Tiến Nghĩa

Bộ môn Nền móng – Khoa Xây dựng – Đại học Xây dựng Miền Tây

Email: letiennghia@mtu.edu.vn

■Nhận bài: 18/04/2024 ■Sửa bài: 22/05/2024 ■Duyệt đăng: 14/06/2024

TÓM TẮT

Nội dung của bài viết tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của nền đất trương nở lên sự làm việc của móng nông và móng cọc. Kết quả tính toán được phân tích nhằm dự đoán mức độ biến dạng của công trình khi đất nền dưới móng bị thấm ẩm và cọc có thể bị đẩy trôi trong quá trình thi công.

Từ khóa: đất trương nở, móng nông, móng cọc, biến dạng.

ABSTRACT

The content of the paper concentrates on evaluating influence of expansive soil on shaft and pile foundation. The calculation results are analysed to predict deformation degree of construction when ground under foundation is wetted and showed that piles can be pushed up during construction stage.

Keywords: expansive soil, shaft foundation, pile foundation, deformation.

1. XÁC ĐỊNH ĐỘ LỚN TRƯƠNG NỞ

Khi móng hay công trình đắp được xây dựng trên nền đất trương nở, móng có khuynh hướng bị nâng lên do sự trương nở của đất. Độ nâng lên và mức độ trương nở của đất tác dụng lên móng của kết cấu công trình là rất phức tạp. Việc tính toán độ nâng lên này phụ thuộc vào nhiều yếu tố và không thể dễ dàng xác định một cách chính xác. Một số yếu tố chính góp phần vào sự nâng lên của móng là:

- Điều kiện khí hậu liên quan đến lượng mưa, sự bốc hơi ảnh hưởng đến độ ẩm trong đất.

- Bề dày của tầng đất trương nở cần tính toán phụ thuộc vào độ sâu của mực nước ngầm.

- Tính toán độ nâng lên của nền phụ thuộc vào tính chất và độ hút nước của đất ngay sau khi xây dựng nền móng công trình.

1.1. Xác định bề dày lớp ảnh hưởng trương nở - Phương pháp của Bộ hải quân Mỹ

Quy trình xác định tổng độ lớn trương nở dưới tác dụng của tải trọng công trình:

- Tiến hành lấy các mẫu đất nguyên dạng dưới đáy móng. Các mẫu đất này phải được lấy trong mùa khô khi độ ẩm thấp nhất.

- Gia tải mẫu đất (ở độ ẩm tự nhiên) trong thiết bị nén cố kết dưới áp lực bằng với áp lực do trọng lượng bản thân cột đất cộng với tải trọng do kết cấu công trình. Thêm nước vào để bão hòa mẫu và đo độ trương nở.

- Tính phần trăm trương nở cuối cùng so với chiều cao mẫu ban đầu.

- Vẽ biểu đồ trương nở theo chiều sâu.

- Tính tổng độ lớn trương nở thông qua diện tích dưới đường cong phần trăm trương nở theo độ sâu.

Quy trình xác định điểm cắt tính toán để kiểm soát độ lớn trương nở với một giá trị cho phép được thực hiện như sau:

- Từ đường cong quan hệ phần trăm trương

nở theo độ sâu, vẽ đường quan hệ độ trương nở tổng theo độ sâu. Tổng độ lớn trương nở tại một độ sâu bất kỳ bằng với diện tích phần đường cong tính từ phần có độ trương nở bằng không hướng lên đến điểm đang xét.

- Với một giá trị độ lớn trương nở cho trước, chúng ta có thể xác định điểm cắt tính toán từ đường cong quan hệ tổng độ lớn trương nở theo chiều sâu.

1.2. Tính toán trương nở

- Giả định bề dày của lớp đất trương nở hoặc mực nước ngầm thấp nhất.

- Chia chiều dày z này thành nhiều lớp đất nhỏ.

- Độ trương tổng là: $\Delta H_e = \sum \Delta_i$

Trong đó:

ΔH_e – độ trương nở tổng.

$\Delta_i = (PE)_i (\Delta D)_i (F)_i$

$(F)_i = 10^{-\frac{D_i}{20}}$ – hệ số giảm nở của lớp thứ i .

z – tổng chiều dày của lớp đất trương nở.

$(D)_i$ – chiều sâu tính đến điểm giữa của lớp thứ i .

$(\Delta D)_i$ – chiều dày của lớp thứ i .

2. TÍNH TOÁN BIẾN DẠNG TRƯƠNG NỞ DỰA TRÊN LÝ THUYẾT CƠ HỌC ĐẤT CHO ĐẤT KHÔNG BẢO HÒA

2.1 Độ hút của đất

Độ hút tổng s_T của đất không bão hòa là tổng của độ hút dính s_m và độ hút thẩm thấu s_o (Fredlund và Rahardjo, 1993) [3,17]:

$$s_T = s_m + s_o = (u_a - u_w) + s_o$$

Trong đó:

s_T – độ hút tổng của đất.

$s_m = (u_a - u_w)$ – độ hút dính của đất.

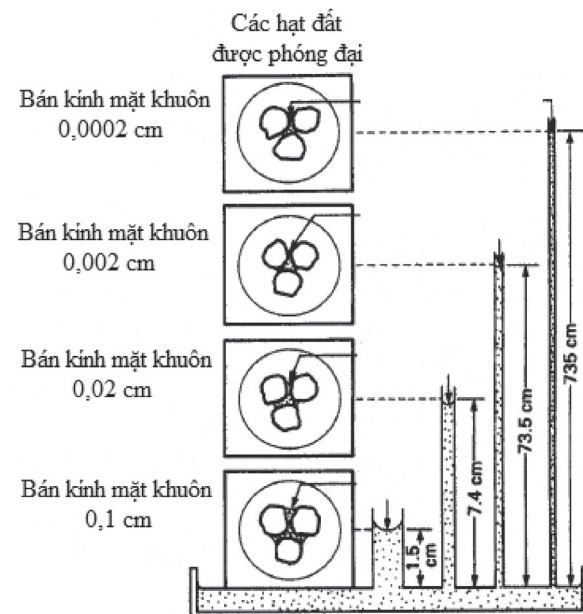
u_a – áp lực khí lỗ rỗng.

u_w – áp lực nước lỗ rỗng.

s_o – độ hút thẩm thấu của đất.

Trong đất, các lỗ rỗng có bán kính nhỏ sẽ có tác dụng như các ống mao dẫn làm nước trong đất dâng lên trên mực nước ngầm (hình

2.1). Nước mao dẫn có áp lực âm đối với áp suất không khí, thường là áp suất khí quyển (u_a được xem bằng 0) ở hiện trường. Với độ bão hòa thấp, áp lực nước lỗ rỗng có thể âm khá lớn (Olson and Langfelder, 1965). Trong trường hợp này, lực hấp dẫn giữa các hạt đất đóng vai trò chủ yếu trong việc duy trì áp lực lỗ rỗng âm cao trong đất.



Hình 2.1 Ống mao dẫn thể hiện mặt phân cách khí – nước tại các bán kính cong khác nhau

Vai trò của độ hút thẩm thấu được áp dụng trong cơ học đất bão hòa lẫn không bão hòa. Độ hút thẩm thấu phụ thuộc vào lượng muối trong nước lỗ rỗng. Nước lỗ rỗng có thể chứa các ion dương và sẽ bị hút bởi các hạt sét. Do đó sẽ tạo nên độ hút thẩm thấu.

2.2. Phương pháp tính toán biến dạng trương nở của đất

Biến dạng trương nở của đất xảy ra khi có sự thay đổi về độ hút tổng s_T . Khi đất khô, độ hút tổng tăng và độ ẩm này gần với giới hạn co của đất. Tương tự, khi đất ướt, độ hút tổng giảm và xảy ra hiện tượng trương nở của đất dính. Nếu độ hút tổng ban đầu của đất có thể đo được thì biến dạng trương nở của đất có thể được tính toán theo công thức sau (Wray, 1997):

$$\Delta H = (H)(\gamma_h)(\Delta \log s_T - \Delta \log s_v) \quad (2.3)$$

Trong đó:

ΔH – biến dạng của đất.

H – chiều dày của lớp đất tính toán.

γ_h – độ dốc của đường cong biến dạng thể tích – log độ hút tổng.

$\Delta \log s_T$ – sự thay đổi độ hút tổng của đất trong lớp đất tính toán H .

$\Delta \log \sigma_v$ – sự chênh lệch ứng suất đứng giữa đỉnh và đáy của lớp đất H .

Giá trị γ_h thường nằm trong khoảng 0,01 – 0,10 được định nghĩa là:

$$\gamma_h = \frac{\varepsilon_v}{\Delta \log s_T} \quad (2.4)$$

Trong đó:

ε_v – biến dạng dọc tương đối ($\Delta H/H$) và được xác định từ thí nghiệm trong phòng hoặc từ kinh nghiệm.

2.3. Lập biểu thức tính toán độ trương nở tổng

Phương pháp tính toán độ trương nở tổng tương tự phương pháp dùng để tính lún. Độ lớn của độ trương nở tổng được tính từ sự biến đổi hệ số rỗng tương ứng với các trạng thái ban đầu, cuối cùng và chỉ số trương nở. Việc lập công thức tính toán sẽ xem xét trên quan hệ hệ số rỗng với log của trạng thái ứng suất. Đường ứng suất trương nở đi theo đường hồi phục C_s từ trạng thái ứng suất ban đầu đến trạng thái cuối cùng. Phương trình đường hồi phục theo kết quả thí nghiệm nén cố kết có thể được viết như sau [3]:

$$\Delta e = C_s \log\left(\frac{P_f}{P_0}\right)$$

Trong đó:

$\Delta e = e_f - e_0$ – biến thiên hệ số rỗng giữa trạng thái ứng suất ban đầu và cuối cùng.

e_0 – hệ số rỗng ban đầu.

e_f – hệ số rỗng cuối cùng.

C_s – chỉ số trương nở.

P_0 – trạng thái ứng suất ban đầu, tương đương với ứng suất trương nở đã hiệu chỉnh ($P_0 = P_s'$)

P_f – trạng thái ứng suất cuối cùng.

Trạng thái ứng suất ban đầu P_0 hay ứng suất trương nở đã hiệu chỉnh P_s' có thể lập

bằng tổng của ứng suất lớp phủ và độ hút dính tương đương như sau:

$$P_0 = (\sigma_y - u_a) + (u_a - u_w)_e \quad (2.6)$$

Trong đó:

σ_y – tổng ứng suất lớp phủ.

$(\sigma_y - u_a)$ – ứng suất lớp phủ thực.

u_a – áp lực khí lỗ rỗng.

u_w – áp lực nước lỗ rỗng.

$(u_a - u_w)_e$ – lực hút dính tương đương.

Trong thực tế, giá trị P_0 không tính được mà được đo trong thí nghiệm nén cố kết như là ứng suất trương nở đã hiệu chỉnh P_s' . Trạng thái ứng suất cuối cùng P_f kể đến các biến thiên ứng suất tổng và các điều kiện áp lực nước lỗ rỗng cuối cùng. Áp lực khí lỗ rỗng tại chỗ giữ ở các điều kiện khí quyển. Trạng thái ứng suất cuối cùng P_f có thể được lập như sau:

$$P_f = \sigma_y + \Delta \sigma_y - u_{wf}$$

Trong đó:

$\Delta \sigma_y$ – biến thiên ứng suất tổng do đào hay đắp. Biến thiên ứng suất tổng có thể có dấu dương hay dấu âm tùy thuộc sự tăng hay giảm của ứng suất tổng.

u_{wf} – áp lực nước lỗ rỗng cuối cùng.

Độ trương nở của một lớp đất có thể viết theo biến thiên hệ số rỗng:

$$\Delta h_i = \frac{\Delta e_i}{1 + e_{0i}} h_i$$

Trong đó:

Δh_i – độ trương nở của một lớp đất riêng lẻ.

h_i – bề dày của lớp đất đang xét.

Δe_i – biến thiên hệ số rỗng của lớp đất đang xét ($e_{0i} - e_{fi}$).

e_{0i} – hệ số rỗng ban đầu của lớp đất.

Biểu thức tính toán độ trương nở của một lớp đất được viết lại như sau:

$$\Delta h_i = \frac{C_s}{1 + e_{0i}} h_i \log \frac{P_{fi}}{P_{0i}} \quad (2.9)$$

Trong đó:

P_{fi} – trạng thái ứng suất cuối cùng trong lớp đất.

P_{oi} – trạng thái ứng suất ban đầu trong lớp đất.

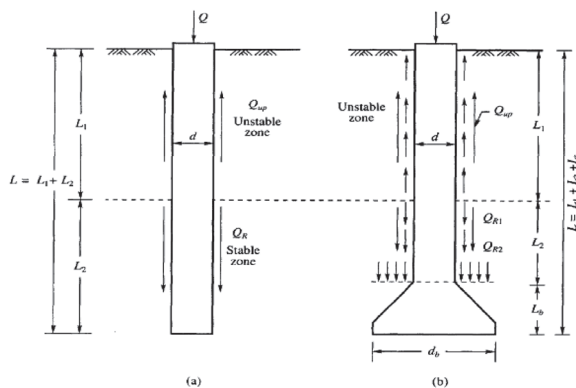
Độ trương nở tổng của nhiều lớp ΔH bằng tổng độ trương nở của từng lớp:

$$\Delta H = \sum \Delta h_i$$

3. MÓNG CỌC TRÊN ĐẤT TRƯƠNG NỖ

Cọc khoan nhồi được sử dụng rộng rãi với mục đích làm giảm sự trương nở do đất gây ra. Cọc khoan nhồi với thiết kế mở rộng đáy được gọi là cọc có đáy mở rộng.

Nguyên lý của cọc khoan nhồi là chỉ ra một cách tương đối sự truyền tải trọng từ kết cấu bên trên xuống vùng ổn định, nơi mà sự thay đổi độ ẩm hầu như là rất nhỏ.



Hình 3.1 Sơ đồ tính toán cọc khoan nhồi trên đất trương nở

L_1 – chiều dài cọc trong lớp đất không ổn định (khu hoạt động) chịu ảnh hưởng của độ ẩm.

L_2 – chiều dài cọc trong lớp đất ổn định không chịu ảnh hưởng của độ ẩm.

d – đường kính cọc.

Q – tải trọng của kết cấu $= qA_b$

q – tải trọng đơn vị của kết cấu.

A_b – diện tích mặt cắt ngang của cọc.

Khi đất nằm trong khu vực không ổn định chịu tác động của nước trong suốt mùa mưa, khi đó đất có khuynh hướng trương nở một phần hoặc toàn bộ tại vị trí bề mặt cọc có chiều dài L_1 . Kết quả là sẽ có một lực phát triển theo hướng từ dưới lên trên tác dụng kéo cọc đi lên. Lực đi lên này có thể được xử lý bằng các cách sau:

- Giảm tải trọng Q tác dụng lên đầu cọc.

- Lực kéo xuống bởi chiều dài L_2 của cọc nằm trong vùng ổn định.

Có hai phương pháp giải quyết vấn đề này:

- Phương pháp Chen (1988).

- Phương pháp O'Neill (1988) với cọc có đáy mở rộng.

Hai trường hợp có thể xem xét là:

- Sự ổn định của cọc khi không có tải trọng Q tác dụng lên đầu cọc. Trong trường hợp này dùng hệ số an toàn 1,2.

- Sự ổn định của cọc khi có tải trọng Q tác dụng lên đầu cọc. Trong trường hợp này dùng hệ số an toàn 2,0.

Công thức tính toán lực nâng lên Q_{up}

Chen (1988) đề xuất sử dụng công thức sau:

$$Q_{up} = \pi d \alpha_u p_{sw} L_1 \quad (2.11)$$

Trong đó:

d – đường kính cọc.

α_u – hệ số nâng giữa đất và bê tông, $\alpha_u = 0,15$.

p_{sw} – áp lực trương nở.

Trong đó:

$p_{sw} = 480 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ đối với đất trương nở mạnh.

$p_{sw} = 240 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ đối với đất trương nở trung bình.

Chiều dài L_1 nằm trong vùng không ổn định (vùng ướt) thay đổi phụ thuộc vào điều kiện đất nền xung quanh. Theo Chen (1988), vùng ướt được giới hạn đến khoảng 5 (ft) tính từ đầu cọc. Đối với một số quốc gia khác, vùng ướt có thể lên đến 10 – 15 (ft) và giới hạn chiều sâu của vùng ướt với một giá trị thấp 5 (ft) như vậy có thể dẫn đến điều kiện không an toàn cho sự làm việc ổn định của kết cấu bên trên. Tuy nhiên, chiều sâu thiết kế L_1 này tùy thuộc vào điều kiện thực tế của từng vùng. Liên quan đến áp lực trương nở, sẽ là không thực tế nếu chúng ta gán giá trị 10000 hoặc 5000 (psf) cho tất cả các loại đất trương

nở. Một phương án có thể khắc phục được vấn đề phức tạp này là mối quan hệ giữa lực nâng lên và lực dính không thoát nước cũng giống như trường hợp ma sát của cọc dưới tác dụng của lực nén. Khi đó công thức tính lực nâng lên Q_{up} có thể được viết lại như sau:

$$Q_{up} = \pi d \alpha_s c_u L_1$$

Trong đó:

α_s – hệ số dính giữa đất và bê tông trong điều kiện trương nở.

c_u – lực dính không thoát nước.

Giá trị α_s này có thể lấy bằng 1,0 hoặc cao hơn tùy thuộc vào từng loại đất trương nở và điều kiện môi trường của đất.

Lực kháng nâng

Chiều dài cọc nằm trong vùng ổn định phải đủ để giữ cọc không bị kéo lên khỏi mặt đất. Nếu gọi L_2 là chiều dài cọc nằm trong vùng ổn định thì lực kháng nâng Q_R chính là lực ma sát giữa bề mặt cọc và đất trong vùng ổn định.

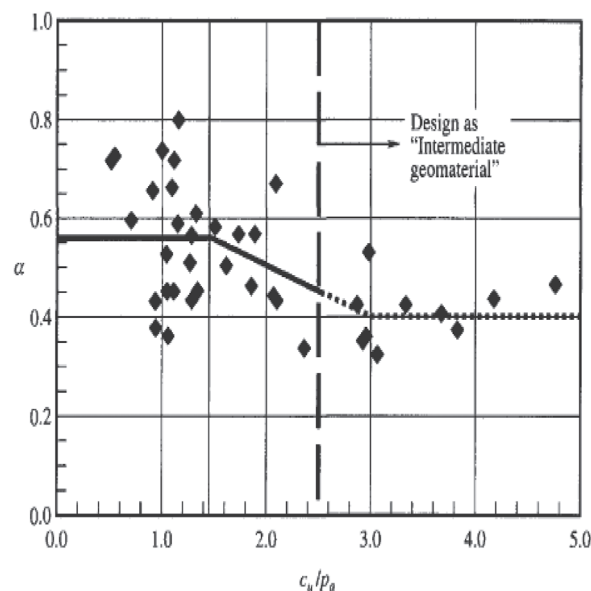
$$Q_R = \pi d L_2 \alpha c_u$$

Trong đó:

α – hệ số dính dưới tác dụng của tải trọng nén.

c_u – lực dính không thoát nước.

Giá trị α được cho trong hình 2.4.



Hình 3.2. Tương quan giữa α và c_u/p_a

Có hai trường hợp cần xét đến:

- Nếu không tính đến tĩnh tải Q tác dụng lên đầu cọc, $F_s = 1,2$

$$Q_{up} = \frac{Q_R}{1,2}$$

- Nếu tính đến tĩnh tải Q tác dụng lên đầu cọc, $F_s = 2,0$

$$Q_{up} - Q = \frac{Q_R}{2,0}$$

Với một đường kính cọc cho trước, hai công thức trên giúp chúng ta xác định chiều dài L_2 của cọc trong vùng ổn định. L_2 lớn hơn sẽ được chọn.

Cọc có đáy mở rộng

Cọc có đáy mở rộng thường được dùng khi cọc chịu lực nâng lên tương đối lớn. Lực nâng lên trong trường hợp này được tính toán tương tự như trong trường hợp cọc thẳng. Lực kháng nâng trong vùng ổn định có thể được viết như sau (O'Neill, 1988):

$$Q_{R1} = \pi d L_2 \alpha c_u$$

$$Q_{R2} = \frac{\pi}{4} (d_b^2 - d^2) (c N_c + \gamma L_2)$$

Trong đó:

d_b – đường kính của cọc phần mở rộng.

N_c – hệ số khả năng chịu lực (được cho trong bảng 2.2).

c_u – lực dính không thoát nước.

γ – dung trọng của đất.

Có hai trường hợp cần xét đến:

- Nếu không tính đến tĩnh tải Q tác dụng lên đầu cọc, $F_s = 1,2$.

$$Q_{up} = \frac{Q_{R1} + Q_{R2}}{1,2}$$

- Nếu tính đến tĩnh tải Q tác dụng lên đầu cọc, $F_s = 2,0$.

$$Q_{up} - Q = \frac{Q_{R1} + Q_{R2}}{2,0}$$

Bảng 3.1 Giá trị N_c

L_2/d_b	N_c
1,7	4
2,5	6
>5,0	9

Với các đường kính cọc cho trước d và d_b hai công thức trên giúp chúng ta xác định chiều dài L_2 của cọc trong vùng ổn định. L_2 lớn hơn sẽ được chọn.

4. ĐẶC ĐIỂM THIẾT KẾ NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH TRÊN ĐẤT TRƯƠNG NỖ

Áp lực tác động lên đất có ảnh hưởng rất lớn đến trị số trương nở: áp lực tăng thì trương nở giảm. Việc giảm đột ngột nhất được thấy khi tăng áp lực từ 0 đến 1 – 1,5 (kG/cm²). Ở áp lực lớn hơn, sự giảm này không thể hiện rõ rệt như thế. Trạng thái của đất, độ ẩm và độ chặt có ảnh hưởng đáng kể đến lượng nở. Khi tăng độ ẩm ban đầu thì có hiện tượng giảm nở và ở độ ẩm ban đầu nhất định, bằng độ ẩm trương nở, sẽ không xảy ra biến dạng nở. Ngược lại, khi tăng độ chặt ban đầu thì trương nở của đất sẽ tăng một cách tuyến tính. Tồn tại một độ chặt gọi là độ chặt ban đầu mà ở đó không có hiện tượng trương nở đất.

Nền có đất trương nở phải được tính theo biến dạng, khi cần thiết còn tính theo sức chịu tải.

Ngoài ra, cần phải xác định bằng tính toán trị biến dạng thêm của nền do trương nở hoặc co ngót đất gây ra, bằng cách lấy tổng các biến dạng những lớp đất nền riêng rẽ, xuất phát từ trị trương nở tương đối ε_{sw} do tổng áp lực tác động trong các lớp đất đang xét. Tổng áp lực này bao gồm: áp lực do trọng lượng bản thân của đất, do tải trọng truyền từ móng nhà hoặc công trình và áp lực thêm do phần không bị thấm nước của khối đất gây ra.

Khi tính nền đất trương nở, phải dùng các đặc trưng của đất ở độ chặt và độ ẩm tự nhiên.

Độ nâng lên của móng S_{tr} khi đất trương nở do thấm ướt, được xác định theo công thức:

$$S_{tr} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{swi} \times h_i \times m$$

Trong đó:

ε_{swi} – độ trương nở tương đối của lớp đất thứ i .

h_i – chiều dày lớp đất đang xét.

m – hệ số điều kiện làm việc; lấy $m = 0,8$ khi áp lực tổng $p_t = 0,5$ (kG/cm²), $m = 0,6$ khi

$p_t = 3$ (kG/cm²), với các giá trị trung gian của p_t thì nội suy.

n – số lớp được chia trong vùng đất trương nở.

Khi xác định m theo nội suy, có thể dùng công thức:

$$m = 0,84 - 0,08 \frac{p_t}{p_0}$$

Trong đó:

$$p_0 = 1 \text{ (kG/cm}^2\text{)}.$$

Độ trương nở tương đối của đất được xác định:

4.1. Khi thấm ẩm:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h' - h}{h}$$

Trong đó:

h – chiều cao mẫu đất có độ chặt và độ ẩm tự nhiên, được nén không nở hông dưới áp lực tổng.

h' – chiều cao cũng của mẫu đất đó sau khi thấm ướt, được nén trong cùng điều kiện trên.

4.2. Khi có lớp màn chắn trên mặt và có thay đổi thủy nhiệt:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{k(W_k - W_0)}{1 + e_0}$$

Trong đó:

k – hệ số xác định bằng thực nghiệm, khi không có số liệu thực nghiệm thì lấy bằng 2.

W_k – độ ẩm cuối cùng của đất (độ ẩm cân bằng).

W_0 – độ ẩm ban đầu của đất.

e_0 – hệ số rỗng ban đầu của đất.

Áp lực tổng p_t ở giữa lớp đang xét (hình 2.4) được xác định theo công thức:

$$p_t = p_z + p_{dz} + p_{tz} \quad (2.19)$$

Trong đó:

p_z – áp lực do tải trọng của móng tại giữa lớp đang xét.

p_{dz} – áp lực do trọng lượng bản thân của lớp đất kể từ đáy móng đến giữa lớp đang xét.

$p_{tz} = m_n \gamma(z+h)$ – áp lực thêm gây ra bởi

trọng lượng phần đất không bị ẩm, nằm ngoài phạm vi thấm ướt.

Trong đó:

m_n – hệ số lấy theo bảng 4.1, phụ thuộc vào tỷ số giữa chiều dài L và chiều rộng B của diện tích thấm ướt và vào độ sâu tương đối của lớp đang xét.

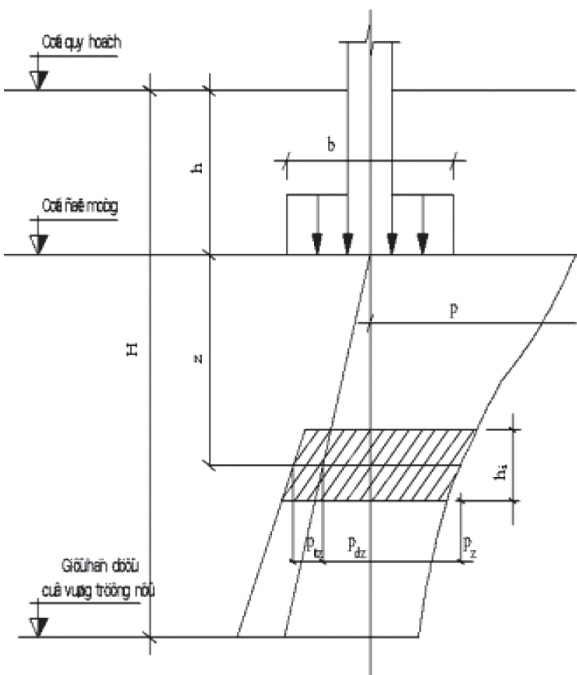
γ – khối lượng thể tích của đất.

z – khoảng cách từ đáy móng đến giữa lớp đang xét.

h – độ sâu đặt móng.

Bảng 4.1 Hệ số m_n

$\frac{z + h}{B}$	Hệ số m_n khi tỷ số chiều dài trên chiều rộng L/B bằng				
	1	2	3	4	5
0,5	0	0	0	0	0
1	0,58	0,50	0,43	0,36	0,29
2	0,81	0,70	0,61	0,50	0,40
3	0,94	0,82	0,71	0,59	0,47
4	1,02	0,89	0,77	0,64	0,53
5	1,07	0,94	0,82	0,69	0,57



Hình 4.1 Sơ đồ tính toán độ nâng cao của nền khi đất trương nở

Biên dưới của vùng trương nở H_{tr} được chọn:

- Khi thấm ẩm đến độ sâu mà ở đó áp lực tổng bằng áp lực trương nở của đất p_{sw} .

- Khi có màn chắn trên mặt và có chế độ thay đổi thủy nhiệt – đến độ sâu xác định bằng thí nghiệm đối với từng vùng. Nếu không có số liệu thí nghiệm, lấy độ sâu này bằng 5m.

Khi có nước ngầm, giới hạn dưới của vùng trương nở lấy cao hơn mực nước ngầm 3m nhưng không lấy thấp hơn kết quả tính toán phía trên.

5. NHẬN XÉT, KẾT LUẬN

Có rất nhiều phương pháp khác nhau trong việc xác định độ nở trời đáy móng khi xảy ra hiện tượng trương nở của đất, các phương pháp trên được chia thành hai nhóm chính: phân tích độ nở trời dựa trên các kết quả thí nghiệm các đặc trưng trương nở của đất (độ trương nở, áp lực trương nở); phân tích độ biến thiên thể tích của đất dựa trên lý thuyết cơ học đất cho đất không bão hòa.

Quá trình tính toán độ nở trời có liên quan mật thiết đến công tác phân loại đất trương nở.

Các phương pháp tính toán đều dựa trên áp lực trương nở của đất có được từ kết quả thí nghiệm đất trong phòng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Văn Thơ, Trần Thị Thanh (2001). Sử dụng đất tại chỗ để đắp đập ở Tây Nguyên, Nam Trung Bộ & Đông Nam Bộ, NXB Nông Nghiệp TP HCM.
2. D. G. Fredlund, H. Rahardjo (2008). Cơ học đất cho đất không bão hòa (bản dịch), NXB Giáo dục.
3. Charles W.W. Ng and Bruce Menzies (2007). Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering, Taylor & Francis.
4. Chỉ dẫn thiết kế nền, nhà và công trình (bản dịch) (2007). Viện nghiên cứu khoa học nền và công trình ngầm mang tên N. M. Gerxevanov, NXB Xây dựng.

5. Joseph E. Bowles (1996). Foundation Analysis and Design, The McGraw – Hill Companies, Inc.
6. Donald P. Coduto (2001). Foundation Design – Principles and Practices, Prentice Hall.
7. Snethen (1975). A Review Of Engineering Experiences With Expansive Soils In Highway Subgrade, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
8. Foundation In Expansive Soils (1983). Headquarters – Department Of The Army, 1983.
9. Bùi Trường Sơn, Nguyễn Văn Thơ, Tạ Quang Nghiệp, Lê Tiến Nghĩa: Tính trương nở và ảnh hưởng của nó lên đặc điểm biến dạng của trầm tích cỏ đồng bằng sông Cửu Long, Tập 15 (trang 241-249), Tuyển tập kết quả khoa học công nghệ 2012, NXB Nông nghiệp.
10. D.S.V. Prasad, M.Anjan Kumar, G.V.R. Prasada Raju, Behavior of Reinforced Sub Bases on Expansive Soil Subgrade, Department of Civil Engineering, JNTUniversity, Kakinada.
11. Shamsheer Prakash, Hari D. Sharma (1999). Móng cọc trong thực tế xây dựng (bản dịch), NXB Xây dựng.