

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG BAN ĐẦU TRONG NỀN ĐẤT SÉT BẢO HÒA DƯỚI CÔNG TRÌNH ĐẬP

Bùi Trường Sơn

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 28 tháng 01 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 22 tháng 04 năm 2008)

TÓM TẮT: Trên cơ sở công thức thiết lập và kết quả thí nghiệm, kiến nghị phương pháp xác định giá trị áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ban đầu áp dụng cho bài toán cổ kết thấm và các bài toán địa cơ khác trong trường hợp bài toán phẳng và không gian. Khác với giả thiết ở thời điểm ban đầu $t = 0$, $s = u_{w0}$, tức là chấp nhận giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu $b=1$, theo kết quả thí nghiệm trong buồng nén ba trục, hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu của đất sét yếu bảo hòa nước khu vực Thành phố Hồ Chí Minh và Đồng bằng Sông Cửu Long có giá trị nhỏ hơn 1. Kết quả tính toán và thí nghiệm cho thấy áp lực nước lỗ rỗng ở thời điểm ban đầu phụ thuộc vào độ bão hòa, giá trị ứng suất nén và độ sâu dưới mực nước ngầm. Sử dụng công thức đề nghị cho phép xác định hệ số áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ban đầu và áp dụng tính toán độ lún ban đầu, sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng ban đầu trong tính toán cổ kết thấm và độ lún theo thời gian.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những thông số quan trọng trong bài toán cổ kết thấm là giá trị áp lực nước lỗ rỗng ban đầu.

Quá trình cổ kết thấm chủ yếu liên quan đến đất loại sét bảo hòa nước, là loại đất có hệ số thấm bé, biến dạng của đất nền xảy ra sau khi xây dựng công trình và kéo dài trong nhiều năm trước khi đạt đến độ lún ổn định. Thời gian đạt đến độ lún ổn định phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như: bề dày lớp đất chịu nén, hệ số thấm của đất nền, độ lớn của tải trọng tác dụng, điều kiện thoát nước và nhiều yếu tố khác.

Trong thực tế, đất loại sét luôn chứa một hàm lượng khí nhất định dưới dạng bọt, hút bám hoặc hòa tan nên nước lỗ rỗng khi chịu tác dụng của áp lực thì bị nén ép một phần. Như vậy, sự có mặt của các chất khí trong đất bảo hòa ảnh hưởng đến cơ chế biến dạng, đặc điểm và tốc độ quá trình nén chặt đất.

Ngoài ra, đối với bài toán phẳng và không gian, áp lực tác dụng lên nền đất không chỉ gây biến dạng thể tích do tác dụng của ứng suất nén đẳng hướng mà còn gây biến dạng hình dạng do tác dụng của ứng suất lệch. Nước lỗ rỗng chỉ chịu tác dụng của ứng suất nén đẳng hướng trong trường hợp này không thể xem như bằng với giá trị áp lực do tải trọng ngoài ở thời điểm ban đầu. Như vậy, giả thiết ở thời điểm ban đầu $t=0$ ứng suất do tải trọng ngoài tác dụng hoàn toàn lên nước lỗ rỗng: $\sigma = u_{w0}$ là không hoàn toàn chính xác trong mọi trường hợp.

2. TÍNH CHẤT NÉN ÉP CỦA NƯỚC LỖ RỖNG TRONG ĐẤT NỀN

Xuất phát từ trạng thái áp lực nước lỗ rỗng và định luật bảo toàn khối lượng của dung dịch nước – bọt khí – khí hòa tan có thể xác định phương trình trạng thái vật lý của nước lỗ rỗng dưới dạng sau:

$$H \cdot \rho_{a1} \cdot V_{w,a1} + \rho_{a1} \cdot V_{a1} = H \cdot \rho_{a2} \cdot V_{w,a2} + \rho_{a2} \cdot V_{a2} \quad (1)$$

Ở đây: H – hệ số hòa tan Henry cho các chất khí, $H = 0,02$ ở nhiệt độ 20°C (Định luật Henry phát biểu rằng: ở điều kiện nhiệt độ không đổi, trọng lượng của khí hòa tan trong một thể tích xác định của chất lỏng tỷ lệ thuận với áp lực khí).

$V_{w,a}$ – thể tích nước lỗ rỗng thay chỗ khí hòa tan

V_a – thể tích khí

ρ_a – khối lượng riêng khí

Giả thiết rằng trong một đơn vị thể tích đất, thể tích nước lỗ rỗng có chứa khí hòa tan thay đổi không đáng kể khi chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác: $V_{w,a1} = V_{w,a2} = V_{w,a}$ và $V_a = n - V_{w,a}$; rút ra từ định luật Boyle-Mariot (khi nhiệt độ không đổi, tích số giữa áp lực và thể tích khí không đổi): $p_a = \chi u_a$, ta có:

$$H \cdot u_{a1} + u_{a1} \cdot \frac{(1 - S_{r1})}{S_{r1}} = H \cdot u_{a2} + u_{a2} \cdot \frac{(1 - S_{r2})}{S_{r2}} \quad (2)$$

Ở đây: n – độ rỗng của đất, trong trường hợp đang xét được xem như thể tích lỗ rỗng, $n = V_a + V_{w,a}$

S_r – độ bão hòa, trong trường hợp đang xét được xem như mức độ chứa nước, $S_r = V_{w,a}/n$.

u_a – áp lực lên khí

Từ phương trình (2) có thể xác định được áp lực khí u_a khi toàn bộ khí chuyển sang trạng thái dung dịch, khi đó: $S_{r2} = 1$, ta có:

$$u_{a2} = u_{a1} + u_{a1} \cdot \frac{(1 - S_{r2})}{H \cdot S_{r1}} \quad (3)$$

Như vậy, trong quá trình nén chặt đất, áp lực lỗ rỗng tăng lên thì độ bão hòa tăng, giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng tăng theo.

Phương trình (2) có thể viết lại dưới dạng:

$$S_{r2} = \frac{u_{a2}/u_{a1}}{(1 - H) \cdot \left(\frac{u_{a2}}{u_{a1}} - 1 \right) + \frac{1}{S_{r1}}} \quad (4)$$

Rõ ràng, khi áp lực thay đổi thì độ bão hòa thay đổi tương ứng. Để xác định hệ số nén thể tích tương đối của nước lỗ rỗng, xem thể tích nước lỗ rỗng thay đổi không đáng kể, ta được:

$$\frac{S_{r1}}{S_{r2}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} + 1 \quad (5)$$

Từ định nghĩa: $\frac{n_2 - n_1}{n_1} = m_w \cdot \Delta u_a$

Ở đây: m_w – hệ số nén thể tích tương đối của dung dịch nước lỗ rỗng.

Δu_a – gia số áp lực khí.

Biểu thức xác định hệ số nén thể tích tương đối nước lỗ rỗng có dạng như sau:

$$m_w = \left(1 - \frac{S_{r1}}{S_{r2}} \right) / \Delta u_a \quad (6)$$

Quan hệ giữa áp lực lên nước lỗ rỗng và khí có dạng:

$$u_a = u_w + 2q/r \quad (7)$$

Với: q – sức căng bề mặt, $q = 74.10^{-6} \text{kg/cm}$

r – bán kính bọt khí

Trong điều kiện đất bão hòa có thể bỏ qua sự thay đổi bán kính bọt khí và xem giá trị sức căng bề mặt không đáng kể so với áp lực tác dụng, thay (7) vào (6), ta có:

$$m_w = \left(1 - \frac{S_{r1}}{S_{r2}}\right) / \Delta u_w \quad (8)$$

Đặt giá trị (4) vào phương trình (8) và rút gọn ta thu được hệ số nén thể tích tương đối nước lỗ rỗng:

$$m_w = \frac{1 - S_r(1 - H)}{\Delta u_w + p_o} \quad (9)$$

Với: p_o – áp lực ban đầu trong nước lỗ rỗng.

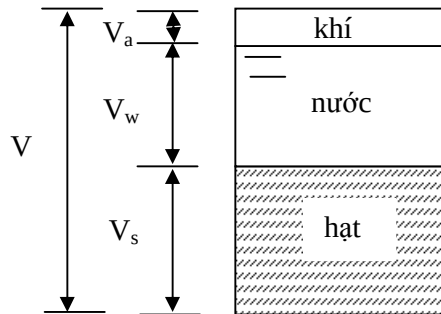
Rõ ràng hệ số nén ép của nước lỗ rỗng phụ thuộc vào độ bão hòa và có quan hệ phi tuyến với áp lực nén tác dụng. Để đơn giản cho việc áp dụng vào tính toán có thể chọn giá trị trung bình, từ giá trị nhỏ nhất ban đầu của áp lực thẳng dư $\Delta u_w = 0$ đến giá trị lớn nhất khi chịu tác dụng của tải trọng ngoài $\Delta u_w = \sigma$, với σ - áp lực nén đẳng hướng do tác dụng của tải trọng ngoài. Trong điều kiện tự nhiên, nước lỗ rỗng ở vị trí đang xét trong nền còn chịu tác dụng của áp lực thường xuyên do cột áp khí quyển và áp lực thủy tĩnh của cột nước bên trên. Căn cứ vào biểu thức (9) tác giả đề nghị viết lại công thức xác định hệ số nén thể tích tương đối của nước lỗ rỗng như sau:

$$m_w = \frac{1 - S_r(1 - H)}{2} \cdot \left(\frac{1}{p_o} + \frac{1}{s + p_o} \right) \quad (10)$$

Ở đây: p_o – áp lực ban đầu của nước lỗ rỗng trong điều kiện tự nhiên, $p_o = p_{atm} + \gamma_w \cdot z$, với: p_{atm} – áp lực khí quyển ($\approx 100\text{KPa}$), γ_w – trọng lượng riêng của nước ($\approx 10\text{KN/m}^3$), z – độ sâu khảo sát.

Hệ số nén thể tích của nước được xác định theo biểu thức sau:

$$K_w = \frac{3}{m_w} \quad (11)$$



Hình 1. Sơ đồ các pha trong mẫu đất

3. XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG BAN ĐẦU CHO ĐẤT LOẠI SÉT BÃO HÒA NƯỚC

Đất loại sét là loại đất có hệ số thấm bé, quá trình cố kết thấm diễn ra chậm và kéo dài. Ở thời điểm ban đầu, dưới tác dụng của tải trọng ngoài, nước trong lỗ rỗng chưa kịp thoát ra, ứng

xử ứng suất biến dạng của đất nền có thể được xét như môi trường một pha. Trong giai đoạn đầu này, phân tích ứng xử bằng tổng ứng suất và biến dạng thể tích khung cốt đất quan hệ với biến dạng thể tích nước lỗ rỗng theo biểu thức sau:

$$\varepsilon_{sk} = n \cdot \varepsilon_w \quad (12)$$

$$\text{Giả thiết rằng: } \varepsilon_{tot} = \sigma / K_{tot}, \varepsilon_{sk} = \sigma' / K_{sk}, \varepsilon_w = u_w / K_w \text{ và } \sigma = \sigma' + u_w. \quad (13)$$

Với: K_{tot} , K_{sk} , K_w – hệ số nén thể tích tổng thể, khung cốt đất và nước lỗ rỗng.

ε_{tot} , ε_{sk} , ε_w – biến dạng thể tích tổng thể, khung cốt đất và nước lỗ rỗng.

Lưu ý rằng ε_{sk} là biến dạng của toàn bộ khung cốt đất, còn cốt đất xem như không chịu nén nên $\varepsilon_{sk} = \varepsilon_{tot}$, ta có:

$$K_{tot} = K_{sk} + \frac{K_w}{n} \quad (14)$$

Từ các phương trình (12), (14) kết hợp với các điều kiện (13) có thể xác định được giá trị áp lực nước lỗ rỗng ban đầu bằng biểu thức sau:

$$u_w = \frac{s \cdot K_w}{n \cdot K_{sk} + K_w} \quad (15)$$

$$\text{Đặt: } b_{wo} = \frac{K_w}{n \cdot K_{sk} + K_w} \quad (16)$$

Công thức (15) có thể viết lại dưới dạng:

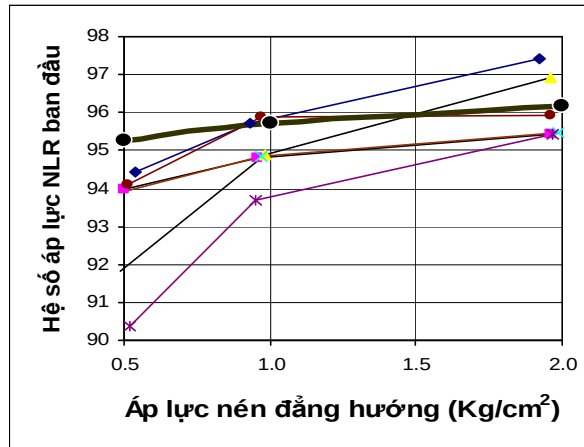
$$u_w = s \cdot b_{wo} \quad (17)$$

Với: β_{wo} – hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu.

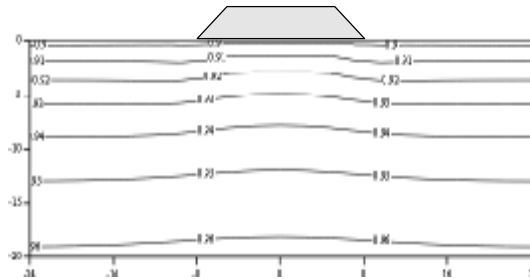
Hệ số nén thể tích cốt đất K_{sk} xác định từ thí nghiệm nén ba trục thoát nước hay nén cố kết.

Kết quả thí nghiệm xác định hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu $\beta_{wo} = u_w / \sigma$ (hình 2) bằng thiết bị nén ba trục của đất bùn sét cho thấy hệ số β_{wo} phụ thuộc vào độ bão hòa và áp lực nén tác dụng. Trong điều kiện tự nhiên, dưới tác dụng của cột áp thủy tĩnh, hệ số này tăng theo chiều sâu kể từ mực nước ngầm.

Kết quả tính toán từ công thức (10), (11), (17) (đường đậm nét trong hình được tính toán với đất có độ bão hòa $S_r=99\%$, độ rỗng $n=60\%$ của bùn sét yếu dưới các cấp áp lực nén đẳng hướng 0,5; 1,0 và 2,0 kg/cm²) phù hợp với kết quả thí nghiệm. Trong đa số trường hợp, giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu của nền bùn sét biến đổi từ 0,91-0,97 trong phạm vi độ sâu 20m (hình 3). Như vậy, trong thực tế, độ sâu càng lớn thì hệ số áp lực nước lỗ rỗng càng gần đến 1, tức là áp lực nước lỗ rỗng sẽ tương ứng với giá trị tổng ứng suất tác dụng.



Hình 2. Kết quả thí nghiệm xác định hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu của đất bùn sét



Hình 3. Sự phân bố hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu trong nền đất yếu dưới tác dụng của áp lực ngoài và cột nước thủy tĩnh.

Ngoài ra, Bishop và Skempton cho rằng, áp lực nước lỗ rỗng phụ thuộc vào sự thay đổi ứng suất và quan hệ giữa chúng được xác định bằng công thức sau:

$$\Delta u_w = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)] \quad (18)$$

Ở đây: A, B – hệ số áp lực nước lỗ rỗng được xác định bằng thí nghiệm không thoát nước.

Để đánh giá sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng ban đầu, tác giả đề nghị viết lại công thức (18) dưới dạng:

$$u_{w0} = \beta_{w0}(\sigma + \alpha_0 \tau_i) = \beta_{w0}\sigma + \alpha_0 \beta_{w0} \tau_i \quad (19)$$

Ở đây: α_0 , β_0 – hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu được xác định bằng thí nghiệm không thoát nước.

τ_i - ứng suất cắt, trong trường hợp tổng quát là tensor ứng suất lệch

Giá trị ứng suất cắt không ảnh hưởng đến ứng xử cơ học trong nước lỗ rỗng, tuy nhiên giá trị áp lực nước lỗ rỗng phụ thuộc vào sự biến đổi thể tích dưới tác dụng của ứng suất cắt. Đối với đất sét cứng hoặc cát chặt thì giá trị A có thể âm do sự giãn nở thể tích đất ở vùng trượt. Giả thiết rằng $\alpha_0 = A$. Theo kết quả thí nghiệm đất bùn sét khi đạt đến phá hoại, giá trị A dao động trong khoảng: $0,1 \div 0,2$ phụ thuộc vào giá trị áp lực nén [1].

Giá trị áp lực nước lỗ rỗng có xét đến ảnh hưởng của ứng suất cắt phụ thuộc vào vị trí đang xét trong nền có thể đạt đến 10÷20% so với tổng áp lực nước lỗ rỗng, đặc biệt ở vùng biên dưới công trình đắp hoặc dưới biên móng nông, khu vực có giá trị ứng suất cắt cao. Điều này có thể đưa đến giá trị áp lực nước lỗ rỗng thặng dư cao và đồng thời làm giảm khả năng chịu tải của đất nền ở vùng biên dạng dẽo.

Tuy nhiên, giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng α_0 rất khó xác định được bằng thí nghiệm. Điều này cần được bổ sung trong các nghiên cứu kế tiếp.

4. NHẬN XÉT KẾT LUẬN

Do nước lỗ rỗng trong đất bão hòa chịu nén ép nên ở thời điểm ban đầu, giá trị áp lực nước lỗ rỗng không bằng với giá trị áp lực do tải trọng ngoài, tức là $\beta < 1$. Điều này ảnh hưởng lên các kết quả tính toán thời gian cố kết, độ cố kết, sự khác biệt của hệ số chiều dài đường thấm. Xác định chính xác sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng ở thời điểm ban đầu cho phép xác định chính xác biến dạng của nền, đặc biệt ở vùng bên trên của lớp đất yếu, vùng chịu áp lực nén lớn và biến dạng lớn tương ứng.

Rõ ràng, hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu có giá trị bé hơn 1, nên khi chịu tải tức thời trong đất đã hình thành ứng suất hữu hiệu và xuất hiện độ lún ban đầu, kể cả với các trường hợp gia tải rộng khắp (bài toán một chiều).

Hệ số áp lực nước lỗ rỗng ban đầu thay đổi theo độ sâu và phụ thuộc vào độ bão hòa, áp lực nén, do đó ảnh hưởng đến sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong vùng nền chịu nén.

Qua sự phân bố của hệ số áp lực nước lỗ rỗng (hình 2) có thể nhận thấy vùng bên trên của lớp đất yếu chịu nén ép nhiều hơn (áp lực hữu hiệu lớn hơn), đặc biệt đối với bài toán phẳng và không gian. Trong trường hợp bài toán một chiều cũng tương tự, điều này có thể giải thích cho kết quả hệ số quá cố kết cao ở vùng bên trên lớp đất yếu khi xét đến sự biến thiên của giá trị này theo độ sâu.

Kết quả cũng cho thấy ở thời điểm ban đầu dưới tác dụng của tải trọng ngoài nền đất bão hòa nước có thể bị biến dạng tức thời do sự nén ép tổng thể đất nền. Kết quả nghiên cứu tính toán cụ thể cho phép ước lượng khối lượng vật liệu san lấp, xác định độ lún ban đầu và hiệu chỉnh công thức xác định mức độ cố kết theo biến dạng theo kiểu truyền thống ($U(t) = S(t)/S(\infty)$).

METHOD OF DETERMINATION OF INITIAL PORE WATER PRESSURE OF SATURATED CLAYED GROUND UNDER EMBANKMENT

Bui Truong Son

University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *Base on proposed formulation and testing results, method of determination of initial excess pore water pressure, which is used in filtration consolidation and other geotechnical problems in case of plane and spatial problems. Unlike supposition in initial time $t = 0$, $s = u_{w0}$, i.e. accepting a value of coefficient of initial pore water pressure $b=1$, by the laboratory testing results in triaxial cell, value of coefficient of initial pore water pressure of weak saturated clayey soils in HoChiMinh City and Mekong delta is lower 1.*

Output computation and research results show, that initial excess pore water pressure depends on water saturation, value of compression stress and groundwater level. Using the suggested formula allows determining coefficient of initial excess pore water pressure and applies to estimate initial settlement, distribution initial pore water pressure in consolidation and long term settlement.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Trường Sơn, *Ảnh hưởng áp lực nước lỗ rỗng lên các đặc trưng sức chống cắt của đất sét mềm*, Hội nghị khoa học & công nghệ lần thứ 8, Đại học Bách Khoa TP.HCM, trang 15 – 19, (2002).
- [2]. Ter-Martirosyan Z. G., *Rheological parameters of soils and design of foundations*, New Delhi, (1992).
- [3]. D.G. Fredlund, H. Rahardjo, *Cơ học đất cho đất không bão hòa*, NXB Giáo dục, (1998).
- [4]. Schuurman I.E, *The compressibility of an air-water mixture and a theoretical relation between the air and water pressures*, Geotechnique, vol. N^o 4, (1966).
- [5]. Bùi Trường Sơn, *Biến dạng tức thời và lâu dài của nền đất sét bão hòa nước*, Tạp chí Phát triển KH&CN, ĐHQG TP. HCM, số 9, Trang 17 – 24, (2006).