

CHƯƠNG III : BIẾN DẠNG VÀ ĐỘ LÚN CỦA NỀN ĐẤT

§1. KHÁI NIỆM CHUNG

Một trong những nhiệm vụ chủ yếu của những người làm công tác xây dựng là phải đảm bảo điều kiện ổn định và độ bền vững của công trình với các hao phí vật liệu, biện pháp an toàn và sức lao động ít nhất. Cho nên việc nghiên cứu chất lượng nền đất hay nói một cách khác là vấn đề xác định biến dạng của đất dưới tác dụng của tải trọng ngoài là một vấn đề phức tạp và rất quan trọng, có ý nghĩa về mặt lý thuyết và thực tiễn lớn trong thiết kế nền móng công trình.

Đất là môi trường rời rạc phân tán và có tính rỗng lớn, do đó khi chịu tác dụng của tải trọng công trình và trọng lượng bản thân đất, đất nền sẽ bị biến dạng, do thể tích lỗ rỗng giảm đi khi nước và không khí trong lỗ rỗng thoát ra ngoài và các hạt rắn sắp xếp lại ở trạng thái chặt hơn làm cho mặt nền hạ thấp xuống, hiện tượng này gọi là lún của nền đất.

Khi xây dựng công trình, người thiết kế luôn luôn quan tâm đến trị số độ lún và đặc biệt là khả năng lún không đều giữa các bộ phận của công trình, bởi vì trị số độ lún tuyệt đối của nền đất dù có lớn nhưng nếu giống nhau ở mọi điểm thì không gây ra sự nguy hiểm mà chỉ dẫn tới những khó khăn cho việc sử dụng công trình. Nhưng độ lún không đều của nền đất sẽ gây ra những ứng suất phụ thêm trong các kết cấu của công trình, đặc biệt là trong các hệ kết cấu siêu tĩnh và do đó có thể làm cho công trình bị hư hỏng. Độ lún không đồng đều xuất hiện trong đất nền dưới móng công trình có thể do nhiều nguyên nhân trực tiếp hoặc gián tiếp. Chẳng hạn như trong đất nền dưới móng công trình có những túi bùn hoặc các lớp đất yếu phân bố không đều, hoặc do tải trọng tác dụng trên các móng khác nhau, hoặc do các móng có kích thước khác nhau đặt liền nhau, hoặc do mực nước ngầm thay đổi v.v... Trong các trường hợp vừa nêu trên, căn cứ vào tình hình địa chất và hình thức kết cấu của mỗi loại công trình cụ thể mà chọn biện pháp xây dựng thích hợp.

Cần chú ý rằng, biến dạng của đất có đặc điểm khác với biến dạng của vật thể liên tục, đó là mối quan hệ giữa biến dạng và thời gian. Đối với các vật liệu liên tục, biến dạng của nó đạt tới trị số ổn định ngay sau khi có tác dụng của tải trọng. Còn đối với đất, thì biến dạng xuất hiện đồng thời với tải trọng tác dụng nhưng phải trải qua một thời gian mới đạt đến trị số ổn định. Do đó vấn đề tính lún theo thời gian của nền đất cũng là vấn đề hết sức quan trọng.

Như vậy nhiệm vụ tính toán và thiết kế nền móng về phương diện độ lún cần phải được đảm bảo các điều kiện chủ yếu sau đây:

$$\left. \begin{aligned} S_{tt} &\leq S_{gh} \\ \Delta S_{tt} &\leq \Delta S_{gh} \\ S_t &\leq S_{tgh} \\ \theta_{tt} &\leq \theta_{gh} \end{aligned} \right\} \quad (III-1)$$

Trong đó: S_{tt} , ΔS_{tt} , S_t , θ_{tt} : Là độ lún tuyệt đối, độ lún không đồng đều, độ lún theo thời gian và góc nghiêng tính toán của công trình.

S_{gh} , ΔS_{gh} , S_{tgh} , θ_{gh} : Là độ lún tuyệt đối, độ lún không đồng đều, độ lún theo thời gian và góc nghiêng giới hạn của công trình theo quy trình quy định.

Xác định độ lún của công trình trên nền đất thiên nhiên là một vấn đề hết sức phức tạp, vì bản thân đất là một môi trường phức tạp gồm nhiều pha (hạt, nước, khí) cho nên hiện nay cũng có rất nhiều lý thuyết khác nhau để xác định trị số độ lún.

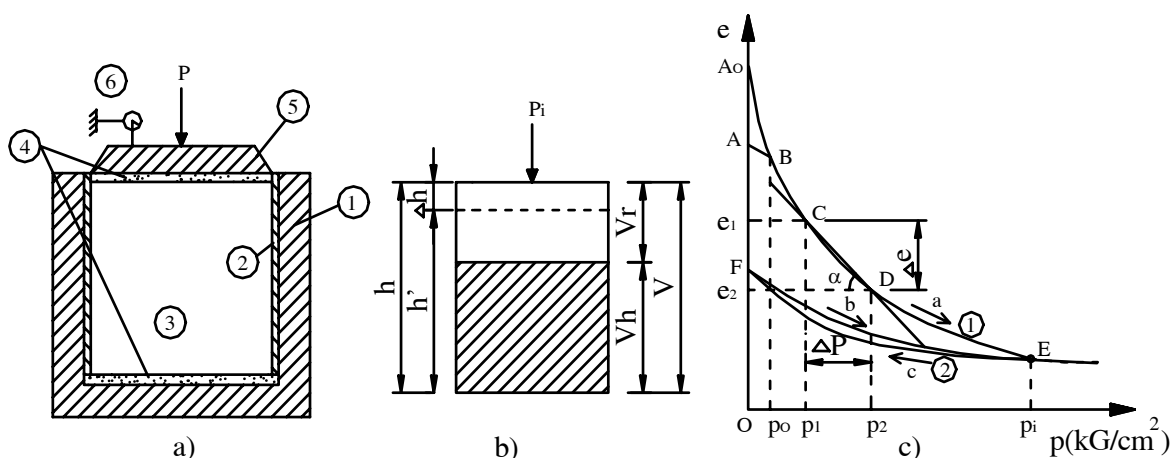
§ 2. TÍNH BIẾN DẠNG CỦA ĐẤT

Tính biến dạng của đất là sự chuyển vị của các hạt đất, dưới tác dụng của tải trọng nén. Biến dạng của đất thực chất là quá trình sắp xếp lại các hạt rắn kèm theo sự giảm thể tích lỗ rỗng và đồng thời làm tăng độ chặt của đất. Chính sự có mặt của các lỗ rỗng này đã làm cho tính nén chặt của đất gấp hàng trăm hàng nghìn lần tính nén chặt của các vật thể rắn khác. Từ đó ta thấy rằng, nếu xác định được quá trình nén chặt của đất tức là ta đã xác định được biến dạng của đất và giải quyết được vấn đề độ lún của công trình. *Cơ sở lý luận để nghiên cứu biến dạng của đất là nguyên lý quan hệ tuyến tính giữa biến dạng và ứng suất.*

2.1. Các nghiên cứu về tính chất biến dạng của đất:

2.1.1. Thí nghiệm nén lún không nở hông và định luật nén lún của đất:

Thí nghiệm nén lún mẫu đất trong phòng được thực hiện trong thiết bị nén (Hình III-1a). Bộ phận chủ yếu của thiết bị này gồm 1 hộp cứng ①, trong đó có 1 dao vòng ② cùng với mẫu đất ③. Để cho nước trong các lỗ rỗng có thể thoát ra trong quá trình nén đất, mẫu đất được lót ở trên và ở dưới bằng hai tấm đá thấm kèm với giấy thấm hình tròn ④. Khi thí nghiệm tải trọng được truyền lên mẫu đất qua một nắp truyền lực ⑤. Biến dạng của mẫu đất ở từng thời gian được đo bằng một chuyển vị kế ⑥. Quá trình thí nghiệm tải trọng được tăng từng cấp. Ứng với mỗi cấp tải trọng, đợi để mẫu đất ổn định về lún mới tiếp tục tăng cấp khác.



Hình III-1. a) Sơ đồ thiết bị nén; b) Sơ đồ mẫu đất phân tố; c) Đường cong nén lún

Xét một mẫu đất phân tố có chiều cao ban đầu là h và giả sử mẫu đất phân tố này gồm hai phần thể tích hạt rắn và thể tích lỗ rỗng ứng với hệ số rỗng ban đầu là e_0 . Từ giả thiết có ý nghĩa thực tiễn, dưới tác dụng của tải trọng p , biến dạng của mẫu đất phân tố chỉ do sự giảm thể tích lỗ rỗng gây ra, còn thể tích hạt rắn thì không thay đổi, có thể dùng sơ đồ mẫu đất (hình III-1b) để lập quan hệ giữa biến thiên thể tích của mẫu đất và hệ số rỗng:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} \quad (\text{III-2})$$

Nhưng $\Delta V = \Delta h.F$ và $V = h.F$ (F - diện tích mặt cắt ngang của mẫu đất, Δh : chênh lệch chiều cao trước và sau khi nén lún của mẫu đất).

Do đó từ biểu thức (III-2) suy ra:

$$\Delta h = S = \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} .h$$

$$\text{Vậy} \quad e_i = e_0 - \frac{S}{h}(1 + e_0) \quad (\text{III-3})$$

Biểu thức (III-3) được dùng để lập quan hệ giữa hệ $e = f(p)$ (hình III-1c). Quan hệ đó biểu diễn khả năng nén chặt của mỗi loại đất dưới tác dụng của tải trọng ngoài, và trong Cơ học đất thường gọi là đường cong nén. Để nghiên cứu tính nở của đất người ta giảm tải theo từng cấp và tiến hành đo độ nở của đất theo từng cấp cho đến khi hiện tượng nở kết thúc.

Như vậy đường cong nén có hai nhánh: nhánh thứ nhất ①, thu được khi tăng tải trọng gọi là đường cong nén, và nhánh thứ ② thu được khi giảm tải, gọi là đường cong nở (hình III-1c). Nhiều thí nghiệm chứng minh rằng quá trình nén và quá trình nở của đất là những quá trình không hoàn lại. Nghĩa là đường cong nén không trùng với đường cong nở.

Đường cong nén ép đặc trưng cho khả năng nén chặt của đất, có nghĩa là khả năng giảm độ rỗng dưới tác dụng của tải trọng ngoài. Với các đất có tính nén lún lớn, khi tăng tải trọng nén, hệ số rỗng giảm nhanh, đường cong nén hạ thấp đột ngột. Ngược lại với các đất có tính nén lún ít, với cùng áp lực đơn vị như vậy lượng biến thiên của hệ số rỗng rất nhỏ, đường nén ép thoải. Tính nén lún của đất ứng với tải trọng p_1 được đặc trưng bởi độ dốc của đường cong nén ép tại điểm ứng với p_1 ấy (điểm c). Nếu tăng cho p_1 một gia số Δp nào đó thì theo hình (III-1c), hệ số rỗng e giảm đi một lượng Δe với điểm tương ứng với p_1 ta có.

$$\lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\Delta e}{\Delta p} = - \operatorname{tg} \alpha = -a \quad (\text{III-4})$$

Trong đó: $a = \operatorname{tg} \alpha$ - hệ số góc của đoạn thẳng CD, đặc trưng cho tính nén lún của đất, gọi là hệ số nén lún.

Hay viết dưới dạng vi phân thì có :

$$\frac{de}{dp} = -a$$

suy ra : $de = -adp$ (III-5)

Với lượng biến thiên không lớn lắm của áp lực nén (khoảng 1-3kG/cm²), đoạn cong CD của đường cong nén có thể coi gần đúng là đường thẳng. Do đó phương trình (III-5) có thể viết dưới dạng:

$$e_1 - e_2 = a (p_2 - p_1) \quad (III-6)$$

Quan hệ (III-5) hoặc (III-6) là một trong những quan hệ quan trọng của Cơ học đất, hay nói rõ hơn quan hệ đó chiếm một vị trí chủ đạo trong tất cả mọi vấn đề thực tế xác định độ lún dưới công trình. Quan hệ đó được gọi là định luật nén lún và được phát biểu như sau: "*Với những lượng biến thiên không lớn lắm của áp lực nén, biến thiên của hệ số rỗng tỷ lệ bậc nhất với biến thiên của áp lực ấy*".

Trong thực tế xây dựng thường dựa vào trị số của hệ số nén lún a_{1-2} (hệ số nén lún của đất với biến thiên áp lực trong khoảng từ 1-2kG/cm²) để phân chia tính nén lún của đất như sau:

Đất có tính nén lún nhỏ khi $a \leq 0,001 \text{ cm}^2/\text{kG}$.

Đất có tính nén lún vừa khi $0,001 < a \leq 0,1 \text{ cm}^2/\text{kG}$.

Đất có tính nén lún lớn khi $a > 0,1 \text{ cm}^2/\text{kG}$.

Nếu nén đất cho đến tải trọng p_i ta sẽ được đường cong nén a (Hình III-1c), sau đó dỡ tải hết ta được đường cong nở EF(c) không trùng với đường cong nén ban đầu. Nhánh mới của đường cong nén khi cấp tải trọng lớn hơn cấp tải trọng khi cất tải sẽ lại trùng với đường cong nén ban đầu. Như vậy ở cùng một khoảng áp lực nén, biến dạng của đất phụ thuộc vào chu trình nén của đất. Đường cong nén a gọi là đường cong nén sơ cấp, còn đường cong nén b gọi là đường cong nén thứ cấp. Thực nghiệm đã chứng tỏ rằng đường cong nén là một đường cong logarit, do đó ta có:

$$e_i = e_o - C_c \log \frac{p_i}{p_o} \quad (III-7)$$

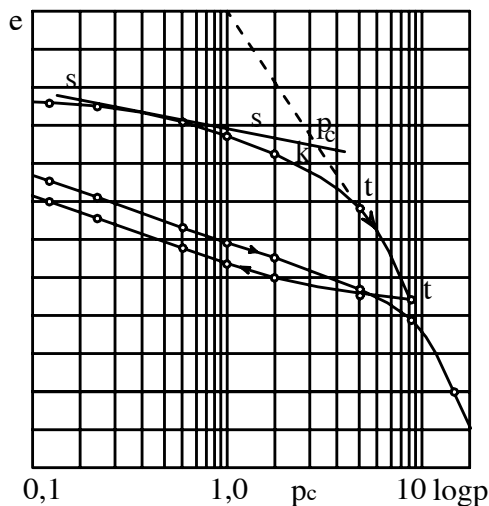
Trong đó: e_o - Hệ số rỗng ứng với áp lực nén p_o (trị số p_o ứng suất bản thân của đất tại vị trí lấy mẫu).

C_c - Thường gọi là chỉ số nén.

$$\text{Do đó: } C_c = \frac{e_o - e_i}{\log \frac{p_i}{p_o}} \quad (III-7')$$

Ta thấy rằng, chỉ số nén C_c là hằng số đối với một loại đất và không có thứ nguyên, còn hệ số nén lún a không phải là hằng số đối với một loại đất, nó tùy thuộc vào trị số của tải trọng tác dụng và có thứ nguyên: cm²/kG.

Nếu biểu diễn kết quả thí nghiệm nén trên đồ thị $e=f(\log p)$ như hình (III-2), ta sẽ được hai đoạn thẳng: Đoạn đầu ss có độ dốc nhỏ, đoạn sau tt có độ dốc lớn, hai đoạn thẳng này nối nhau bởi một đoạn cong và chúng gặp nhau ở điểm k, điểm này tương ứng với áp lực nén p_c mà ta gọi là áp lực tiền cố kết. Tức là trước đây, trong lịch sử của nó, mẫu đất đã được nén đến p_c . Như vậy đoạn ss có độ dốc nhỏ vì nó ứng với chu trình nén thứ cấp, còn đoạn tt có độ dốc lớn vì nó ứng với chu trình nén sơ cấp. Dựa vào vị trí (độ sâu h) của mẫu đất lấy tại hiện trường về làm thí nghiệm hay



Hình III-2: Biểu đồ quan hệ $e-\log p$

dựa vào hệ số quá cố kết là OCR (Overconsolidation Ratio) (tức là $R_c = p_c/p_0$); p_0 - ứng suất bản thân của đất tại hiện trường, người ta phân biệt thành 3 trường hợp sau:

- $p_c < \gamma h$: Đất dưới cố kết, nghĩa là đất chưa lún xong dưới tác dụng của trọng lượng bản thân các lớp đất đè lên, tức là $OCR < 1$.

- $p_c = \gamma h$: Đất cố kết bình thường, đất đã lún xong dưới tác dụng của các lớp đất đè lên nó, tức là $OCR = 1$.

- $p_c > \gamma h$: Đất quá cố kết, trong lịch sử tồn tại nó đã từng bị nén lún bởi một áp lực lớn hơn áp lực hiện đang đè lên nó, tức là $OCR > 1$. Trên đồ thị $e=f(\log p)$ trên hình (III-2) ta dễ dàng xác định được chỉ số nén:

$$C = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} \quad (III-8)$$

Khi p_1, p_2 nằm trong đoạn ss ta có chỉ số nén tái cố kết C_r , còn khi p_1, p_2 nằm trong đoạn tt ta có chỉ số nén sơ cấp C_c ; e_1, e_2 là các hệ số rỗng ứng với các áp lực nén p_1 và p_2 .

Ngoài hệ số nén lún a trên đây để mô tả biến dạng lún của đất, trong Cơ học đất còn thường dùng một số chỉ tiêu khác nữa là: Môđun biến dạng E_0 , Hệ số nén lún tương đối (a_0 hay m_v), Môđun biến dạng không nở hông (M), Môđun thoát nước (E'), Môđun không thoát nước (E_u).

- Môđun biến dạng E_0 khác với môđun đàn hồi E ở chỗ nó xét đến cả biến dạng đàn hồi và biến dạng dư của đất, trong khi môđun đàn hồi E chỉ xét đến các biến dạng thuần túy đàn hồi mà thôi.

Đối với các đất sét cứng, để xác định môđun biến dạng E_0 , không cần nén các mẫu đất này dưới tải trọng trùng phục, mà chỉ cần nén chúng một lần, sau đó tính E_0 theo công thức:

$$E_0 = \frac{\sigma_z}{\lambda_z} \quad (\text{III-9})$$

Trong đó : λ_z là tỷ số giữa biến dạng toàn bộ S và chiều cao ban đầu h của mẫu đất,

tức là:
$$\lambda_z = \frac{S}{h} \quad (\text{III-10})$$

Đối với các đất sét dẻo và đất cát lẫn hạt nhỏ thì để xác định môđun biến dạng E_0 , cần phải thí nghiệm các đất này dưới tải trọng trùng phục trong thiết bị nén không cho nở hông. Lúc này, vì các áp lực hông σ_x và σ_y không phải bằng không, mà có một giá trị nhất định, nên độ lún đàn hồi tương đối λ_z xác định theo biểu thức quen thuộc trong sức bền vật liệu là:

$$\lambda_z = \frac{1}{E_0} [\sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y)] \quad (\text{III-11})$$

Trong điều kiện nén đất không cho nở hông, ta có $\sigma_x = \sigma_y = \xi \cdot \sigma_z$ với ξ là hệ số nén hông.

Thay các giá trị σ_x và σ_y này vào (III-11) và giải ra cho giá trị của E_0 như sau:

$$E_0 = \frac{\sigma_z}{\lambda_z} (1 - 2\mu\xi) \quad (\text{III-12})$$

Có thể biến đổi biểu thức này, bằng cách biểu diễn hệ số nén hông ξ quan hệ số poatxong μ của đất. Tương tự như biểu thức (III-11) có thể viết cho λ_x như sau :

$$\lambda_x = \frac{1}{E_0} [(\sigma_x - \mu(\sigma_z + \sigma_y))] \quad (\text{III-13})$$

Vì trong điều kiện nén của đất không cho nở hông nên $\lambda_x = 0$ và như trên đã biết $\sigma_x = \sigma_y = \xi\sigma_z$ nên:

$$\lambda_x = \frac{1}{E_0} [\xi \cdot \sigma_z - \mu(\sigma_z + \xi\sigma_z)] = 0$$

Từ đây rút ra :

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi} \quad \text{và} \quad \xi = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (\text{III-14})$$

Từ thí nghiệm nén đất không nở hông ta có:

$$\lambda_z = \frac{s}{h} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \quad (\text{III-15})$$

Thay ξ ở (III-14) và λ_z ở (III-15) vào (III-12), sẽ được biểu thức xác định môđun biến dạng E_0 trong thí nghiệm nén đất không cho nở hông:

$$E_0 = \sigma_z \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \left(\frac{1+e_0}{e_0 - e_1} \right) = \beta \cdot \frac{1+e_0}{e_0 - e_1} \cdot \sigma_z \quad (\text{III-16})$$

Trong đó: $\beta = \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right)$

Hệ số nở hông μ và hệ số nén hông ξ gắn liền với nó bởi công thức (III-14) là những đại lượng xác định được bằng thí nghiệm. Như nhiều kết quả nghiên cứu cho thấy μ và ξ thay đổi tùy theo loại đất, và trong cùng một loại đất thì phụ thuộc vào hệ số rỗng, lượng chứa nước và điều kiện tăng tải. Khi không có số liệu thí nghiệm μ và ξ có thể lấy theo bảng sau :

Bảng III-1 : Hệ số nén hông và nở hông của đất.

Loại đất	Hệ số nén hông ξ	Hệ số nở hông μ
Đất cát	0,33 ~ 0,43	0,25 ~ 0,30
Đất sét cứng	0,28 ~ 0,40	0,20 ~ 0,30
Đất sét pha	0,49 ~ 0,59	0,33 ~ 0,37
Đất sét dẻo	0,61 ~ 0,82	0,30 ~ 0,45

- Hệ số nén lún tương đối (hay hệ số nén thể tích ký hiệu là a_0 (hay m_v) là:

$$a_0 = \frac{e_1 - e_2}{(p_2 - p_1)(1 - e_1)} = \frac{a}{1 + e_1} \quad (\text{III-17})$$

- Mô đun biến dạng không nở hông là M (hay E_s):

$$M = \frac{1}{a_0} = \frac{1}{m_v} \quad (\text{III-18})$$

- Mô đun thoát nước (E'): thu được bằng cách thí nghiệm trong điều kiện cho thoát nước:

$$E' = \frac{M'(1 + \mu')(1 - 2\mu')}{1 - \mu'} = \left(1 - \frac{2\mu'^2}{1 - \mu'} \right) M' = \beta \cdot M' \quad (\text{III-19})$$

Trong đó: μ' , M' hệ số nở hông, mô đun biến dạng không nở hông thu được trong điều kiện thoát nước.

- Mô đun không thoát nước (E_u) thu được bằng cách thí nghiệm trong điều kiện không cho thoát nước:

$$E_u = \frac{M(1 + \mu_u)(1 - 2\mu')}{1 - \mu'} = 1,5M \frac{1 - 2\mu'}{1 - \mu'} \quad (\text{III-20})$$

Trong đó: μ_u - hệ số nở hông trong điều kiện không thoát nước; $\mu_u = 0,5$ (bằng của nước).

Tùy theo từng trường hợp cụ thể, khi tính toán độ lún của nền đất trong thực tế mà ta có thể sử dụng mô đun biến dạng của đất khác nhau cho phù hợp với sơ đồ tính toán. Thông thường khi tính lún không nở hông áp dụng cho trường hợp móng bè, còn tính lún nở hông áp dụng cho tất cả các trường hợp khác. Tuy vậy, ở Việt Nam ta lâu nay vẫn sử dụng bài toán không nở hông cho mọi trường hợp. Kết quả này có sai nhưng cũng có thể chấp nhận được vì hệ số $\beta \approx 0,8$ xấp xỉ với 1.

2.1.2. Tính nén lún của đất:

Độ lún của nền đất gồm ba phần: đó là lún tức thời (S_{tt}), lún cố kết thắm (S_c) và lún từ biến (S_t), nghĩa là:

$$S = S_{tt} + S_c + S_t \quad (III-21)$$

- Độ lún tức thời là khi nước chưa kịp thoát đi, đất biến dạng như vật thể đàn hồi.

- Độ lún cố kết là do sự giảm thể tích lỗ rỗng khi nước thoát dần ra ngoài.

- Độ lún từ biến là do biến dạng của bản thân hạt đất.

Việc phân biệt rõ ràng ba độ lún nêu trên là điều khó khăn, tùy theo loại đất và tính chất của nó mà người ta có thể phân biệt được như sau:

Đối với đất sét: Ba độ lún nêu trên là rõ ràng và có thể tách biệt được. Những nghiên cứu mới nhất cho thấy như sau:

Độ lún tức thời nhỏ, có khi không phải là quá nhỏ mà có thể bỏ qua. Trong một số trường hợp chúng có thể chiếm tới 10% tổng độ lún. Độ lún tức thời được tính qua mô đun đàn hồi không thoát nước (E_u).

Độ lún cố kết (thắm) là phần chủ yếu, thường chiếm trên 90% độ lún tổng. Tuy vậy trong một số trường hợp nó chỉ chiếm khoảng 50% độ lún tổng.

Độ lún từ biến không nhỏ, nhất là đối với đất sét yếu và rất yếu. Đôi khi chúng có thể chiếm tới 40÷50% độ lún tổng.

Đối với đất cát: Do tính thấm quá nhanh, do đó không thể tách rời lún tức thời và lún cố kết được, vì vậy tổng độ lún sẽ là:

$$S = S_{tt+c} + S_t \quad (III-22)$$

Trong đó : S_{tt+c} : Là độ lún tức thời và cố kết, được tính qua mô đun biến dạng E_{tt+c} , thường cũng ký hiệu E_0 , nếu không lấy được mẫu đất nguyên dạng về thí nghiệm, khi đó trị số E_0 sẽ được xác định qua thí nghiệm hiện trường.

Độ lún từ biến là độ lún do biến dạng bản thân của hạt đất được tính từ sau khi kết thúc quá trình cố kết thắm của đất và được tính theo biểu thức lý thuyết sau:

$$S_t = C_{\alpha\varepsilon} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} h_i \quad (III-23)$$

Trong đó: t_1 - thời gian của thời điểm kết thúc cố kết thắm.

t_2 - tại thời gian tính toán độ lún từ biến .

$C_{\alpha\varepsilon}$ - chỉ số nén từ biến cải biên và được tính:

$$C_{\alpha\varepsilon} = \frac{C_{\alpha\varepsilon}}{1 + e_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log(t_1/t_2)(1 + e_1)} \quad (III-24)$$

$C_{\alpha\varepsilon}$ - là chỉ số nén từ biến tính từ đồ thị $e = f(p)$.

Thông thường $C_{\alpha\varepsilon} = (0,015 \div 0,032) \cdot C_c$: với đất than bùn và hữu cơ thì $C_{\alpha\varepsilon}$ khoảng $0,065C_c$, thậm chí cao hơn.

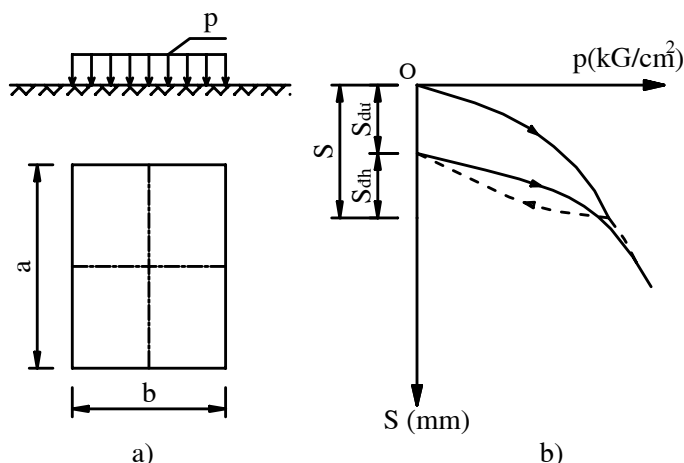
Riêng đối với đất cát theo Schimertmann cho rằng:

$$S_t = S_{tt+c} \cdot 0,2 \log(10t_2) \quad (III-25)$$

2.2. Các đặc điểm biến dạng của đất:

2.2.1. Nguyên lý biến dạng tuyến tính:

Như trong chương I đã trình bày, đất là một vật thể phân tán, vụn rời gồm các hạt khoáng vật riêng biệt không liên kết với nhau, hoặc liên kết với nhau bằng một lực không đáng kể. Dưới tác dụng của tải trọng ngoài cũng như trọng lượng bản thân đất, ứng suất trong đất sẽ truyền từ hạt nọ sang hạt kia qua các điểm tiếp xúc giữa các hạt. Vì vậy mà trong lý thuyết ứng suất và biến dạng áp dụng cho đất có những đặc điểm riêng biệt. Một trong những đặc điểm quan trọng đó là khi gia tải và cất tải trọng, trong đất luôn luôn quan sát thấy biến dạng đàn hồi và biến dạng dư. Nghĩa là đất không tuân theo định luật đàn hồi của Húc.



Hình III-3: Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng trong trường hợp tổng quát tác dụng của tải trọng hữu hạn. a) Sơ đồ tải trọng, b) Sơ đồ biến dạng

Trường hợp tổng quát của sự phụ thuộc giữa biến dạng và ứng suất trong đất là dưới tác dụng của tải trọng cục bộ (hình III-3a) trên mặt đất, biểu đồ quan hệ giữa biến dạng tổng quát của đất dưới bàn nén và giá trị tải trọng ngoài trình bày trên hình (III-3b). Khi phân tích quan hệ giữa biến dạng và ứng suất cần phân biệt đối với loại đất: đất rời và đất dính.

Đối với đất rời: Khi tác dụng tải trọng ngoài lên chúng và sau đó cất tải, đều quan sát thấy cả biến dạng đàn hồi và biến dạng dư, nhưng biến dạng dư quan sát thấy thường xuyên hơn và thậm chí xuất hiện khi tải trọng còn rất nhỏ - đó là sự chuyển vị và sự trượt của các hạt cát một cách tương đối với nhau. Trị số của biến dạng dư bao giờ cũng lớn hơn nhiều so với trị số của biến dạng đàn hồi.

Đối với đất dính: Đặc tính biến dạng của đất dính phụ thuộc căn bản vào cường độ của tải trọng tác dụng. Nếu khi tác dụng tải trọng không lớn lắm, dưới tác dụng của nó mà trong đó lực dính kết của đất không bị phá vỡ thì đất sẽ biến dạng như vật thể rắn, và khi cất tải chỉ cho trị số biến dạng đàn hồi. Tuy nhiên trong thực tế rất ít gặp những loại đất như vậy, trong nhiều trường hợp đất dính có mối liên kết không đều, một phần lực liên kết bị phá hủy ngay với cấp tải trọng rất nhỏ, còn phần khác thì bị phá hủy với những cấp tải trọng lớn hơn, v.v... Do đó trong các loại đất ấy

khi gia tải và cát tải thường quan sát thấy cả biến dạng đàn hồi và biến dạng dư, trong đó biến dạng dư thường lớn hơn biến dạng đàn hồi.

Biến dạng dư của đất chủ yếu do lỗ rỗng của đất giảm nhỏ bởi các hạt đất di chuyển và dịch sát vào nhau sau khi liên kết của đất bị phá hoại, là biến dạng đặc trưng cho vật thể phân tán nói chung, và cho đất nói riêng.

Nguyên nhân gây nên biến dạng dư của đất là:

- Khả năng của đất không thể khôi phục lại kết cấu ban đầu sau khi cát tải.
- Mối liên kết kết cấu của đất và của các hạt khoáng vật bị phá hủy.
- Một phần không khí và nước thoát ra khỏi lỗ rỗng của đất dưới tác dụng của tải trọng ngoài.

Biến dạng đàn hồi của đất sinh ra do:

- Khả năng khôi phục lại hình dạng ban đầu của cốt đất và bản thân hạt đất.
- Khả năng khôi phục của lớp nước màng mỏng xung quanh hạt đất.
- Khả năng khôi phục lại hình dạng của các bọt khí kín trong đất.

Giáo sư N.M. Gerxevanov (1931) đã chứng minh rằng, sự phụ thuộc giữa tổng biến dạng và ứng suất là sự phụ thuộc tuyến tính thì khi xác định ứng suất trong đất hoàn toàn có cơ sở sử dụng các phương trình của lý thuyết đàn hồi, còn khi xác định tổng biến dạng của đất phải thêm điều kiện sự phụ thuộc của hệ số rỗng đối với áp lực, thay môđun đàn hồi bằng môđun tổng biến dạng và hệ số áp lực hông bằng hệ số nở hông. Cơ sở lý luận ấy trong Cơ học đất gọi là: " Nguyên lý biến dạng tuyến tính " của đất. Nguyên lý trên được suy ra khi nghiên cứu trường hợp nén mẫu đất không có điều kiện nở hông.

2.2.2. Ảnh hưởng của phương pháp gia tải và các điều kiện gia tải đến biến dạng của đất:

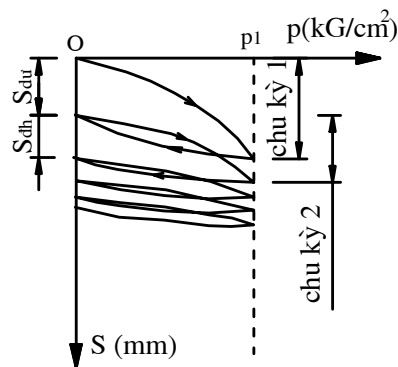
Tải trọng ngoài có thể đặt vào đất nền bằng nhiều phương pháp khác nhau, điều kiện gia tải và thời gian tác động của tải trọng cũng rất khác nhau. Do đó làm ảnh hưởng rất lớn đến biến dạng của đất.

a) Ảnh hưởng của tải trọng tác dụng theo chu kỳ đến biến dạng của đất:

Nếu nén đất với một tải trọng p_1 cho đến khi ổn định về lún rồi cát tải cho đến khi hết nở, sau đó tiếp tục lặp đi lặp lại quá trình đó nhiều lần với tải trọng p_1 không đổi thì tính chất biến dạng của đất có thể biểu diễn như trên hình (III-4).

Từ hình (III-4) có thể nhận thấy rằng :

Phần biến dạng đàn hồi bằng hiệu số giữa biến dạng tổng quát và biến dạng dư thay đổi không đáng kể.



Hình III-4: Quan hệ p-s khi tải trọng tác dụng theo chu kỳ

Biến dạng dư của mỗi chu kỳ đều giảm đi khi số chu kỳ tăng lên, nhưng tổng biến dạng dư của đất vẫn tăng lên theo số chu kỳ tác dụng tăng và khi đất đã đạt tới giới hạn nén chặt, thì dù số chu kỳ có tăng lên nhưng tính chất biến dạng của những chu kỳ tiếp theo đều không thay đổi, nghĩa là chỉ còn biến dạng đàn hồi chứ không còn biến dạng dư.

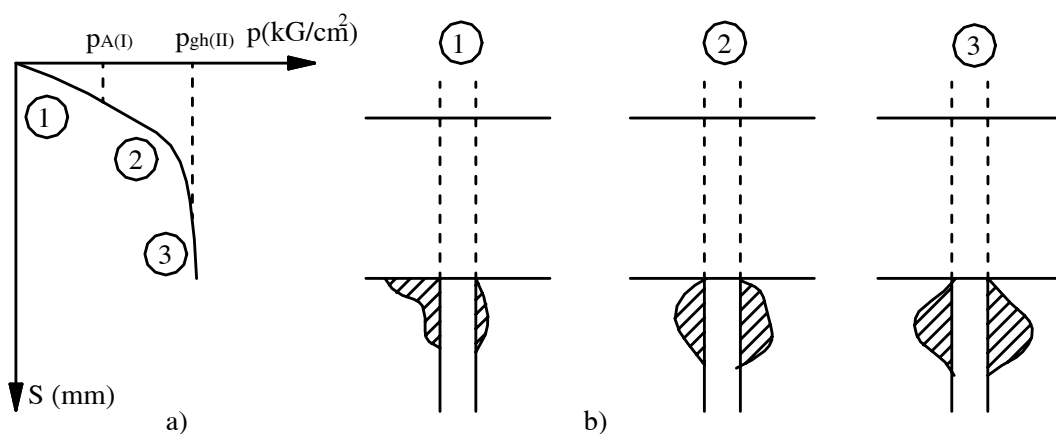
Biến dạng tổng quát của đất (gồm biến dạng đàn hồi và biến dạng dư) tăng dần theo sự tăng của số chu kỳ tác dụng, cho tới một trị số nào đó ứng với trạng thái gọi là trạng thái giới hạn nén chặt thì biến dạng tổng quát sẽ không đổi, nghĩa là lúc bấy giờ chỉ xuất hiện biến dạng đàn hồi mà thôi.

Những vấn đề trình bày ở trên đã được xác minh hoàn toàn phù hợp với các kết quả nghiên cứu đặc điểm đàn hồi của nền đất ở hiện trường, cũng như các thí nghiệm ở trong phòng.

b) Ảnh hưởng của tải trọng tăng liên tục đến biến dạng của đất:

Trong thí nghiệm nén đất bằng bàn nén cứng với tải trọng tăng liên tục, trạng thái ứng suất trong đất sẽ chuyển từ giai đoạn này sang giai đoạn khác. Giai đoạn nén chặt, giai đoạn trượt cục bộ và sau một thời gian tác dụng của tải trọng sẽ chuyển thành trượt mạnh (phá hoại hoàn toàn).

Các kết quả thí nghiệm được phân theo các giai đoạn đặc trưng của trạng thái ứng suất. Trên hình (III-5b) phía trái biểu diễn các chuyển vị đứng trước các lớp đất trên trục chịu tải, còn phía phải biểu diễn chuyển vị ngang (trượt) của những điểm nằm trên trục đứng qua mép bàn nén.



Hình III-5: Sơ đồ chuyển vị của các hạt đất theo chiều sâu.

a) Quan hệ giữa độ lún s và tải trọng p

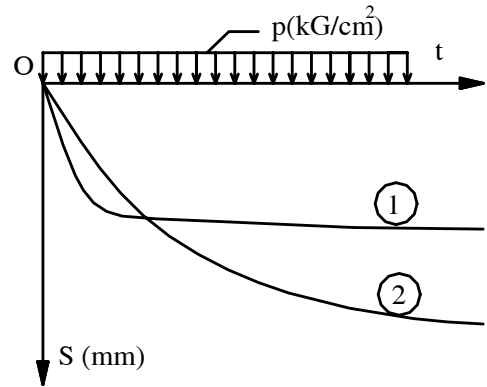
b) Chuyển vị của các hạt (phía trái trục - chuyển vị đứng - phía phải trục chuyển vị ngang).

Trong giai đoạn thứ ① độ lún toàn phần của bàn nén chủ yếu do chuyển vị đứng của đất gây nên, trong giai đoạn hai ② độ lún do chuyển vị đứng và chuyển vị ngang của của đất tạo nên với mức độ như nhau và cuối cùng là khi trượt hoàn toàn ứng với giai đoạn ba ③ giai đoạn này chuyển vị ngang bắt đầu vượt hơn chuyển vị

đúng, mặc dù đặc điểm chung của biến dạng trượt vẫn không có gì thay đổi. Khi thiết kế các công trình, tải trọng được xác định từ điều kiện không cho phép xảy ra giai đoạn trượt, cho nên giai đoạn thứ nhất, giai đoạn nén chặt có ý nghĩa đặc biệt và được chú ý nhiều trong tính toán độ lún của công trình .

c) Ảnh hưởng của tải trọng không đổi đến đặc tính nén lún của đất cát và đất sét.

Nếu trị số của tải trọng tác dụng không đổi mà nhỏ hơn trị số của tải trọng giới hạn ban đầu theo điều kiện cân bằng giới hạn (p_A), thì trong mọi điểm của đất dưới diện chịu tải chỉ xuất hiện sự nén chặt. Sự nén chặt hoàn toàn và sự ổn định độ lún xảy ra trong những khoảng thời gian khác nhau đối với các đất khác nhau. Đây là một đặc điểm làm cho biến dạng của đất khác với biến dạng của các vật thể khác.



Hình III-6: Quan hệ độ lún và thời gian của đất cát(1) và đất sét (2).

Đối với vật thể khác yếu tố thời gian không có tác dụng đáng kể trong biến dạng, với đất thì ngược lại, tuy biến dạng xuất hiện đồng thời với áp lực, nhưng phải trải qua một thời gian nhất định mới đạt tới trị số ổn định cuối cùng.

Với những thí nghiệm đất trực tiếp trong điều kiện tự nhiên và quan trắc độ lún các công trình đều chứng tỏ rằng, với tải trọng không đổi quan hệ giữa thời gian và độ lún có thể biểu diễn theo hình (III-6).

Trường hợp một ① quan sát thấy ở các loại cát, sỏi, cuội và nói chung là ở các loại đất hạt lớn với kích thước của các lỗ rỗng tương đối lớn. Độ lún của các móng công trình đặt trên các loại đất ấy, lúc không bão hòa cũng như khi bão hòa nước, đều xảy ra rất nhanh, bởi vì trong đất hạt lớn, nước và khí được ép thoát ra rất dễ dàng từ các lỗ rỗng, còn lún ổn định xảy ra trong một thời gian rất ngắn.

Trường hợp thứ hai ② xảy ra trong các đất phân tán nhỏ, chủ yếu trong các đất sét và bùn, những lỗ rỗng của chúng (đặc biệt trong các loại đất sét) ở trạng thái tự nhiên thường chứa đầy nước. Tốc độ và độ lún ổn định phụ thuộc vào tốc độ ép thoát nước từ các lỗ rỗng ra và phụ thuộc vào tính từ biến của các hạt cốt liệu đất. Đối với các loại đất sét có tính thấm nước yếu, quá trình nén lún xảy ra một cách hết sức chậm chạp và độ lún đạt đến trị số ổn định trong khoảng thời gian kéo dài.

2.3. Các nhân tố chủ yếu ảnh hưởng đến biến dạng lún của đất

Biến dạng lún của đất phụ thuộc vào nhiều nhân tố mà trong đó chủ yếu là :

1.- Độ chặt ban đầu của đất: Độ chặt ban đầu của đất có quan hệ chặt chẽ với độ bền vững của khung kết cấu. Đất càng chặt thì khung kết cấu càng vững chắc, và tính lún càng bé. Vì thế, đối với các loại đất có độ rỗng lớn, trước khi xây dựng công

trình, có khi người ta dùng phương pháp nén trước để giảm độ rỗng ban đầu của đất, làm cho công trình xây dựng lên sau đó ít bị lún.

2.- *Tình trạng kết cấu của đất*: Kết cấu của đất càng bị xáo trộn, thì cường độ liên kết giữa các hạt càng yếu đi, do đó tính nén lún của đất càng tăng. Thực tế đã cho thấy rằng, cùng một loại đất, nhưng nếu kết cấu bị xáo động hay phá hoại thì đất sẽ lún nhiều hơn so với khi kết cấu còn nguyên dạng. Vì vậy khi đào hố móng công trình cần chú ý hết sức bảo vệ sao cho đất dưới đáy hố khỏi bị phá hoại kết cấu.

3.- *Lịch sử chịu nén*: Có thể nhận thấy trên hình (III-1c) với cùng một tải trọng nén p giống nhau, giá trị của hệ số rỗng sẽ khác nhau, tùy theo chỗ nó được xác định theo đường nén ban đầu hay đường nén lại. Đồng thời, cũng có thể thấy rằng tùy theo lúc ban đầu đất được nén đến tải trọng lớn hay bé bao nhiêu mà sẽ có đường nén lại khác nhau. Các đất mà trong lịch sử chưa từng chịu áp lực lớn hơn tải trọng thiết kế hiện nay, thì gọi là đất nén chặt bình thường. Ngược lại, nếu đã bị nén dưới những tải trọng lớn hơn thế gọi là đất quá nén. Do đó khi tính toán lún của nền đất dưới công trình cần phải biết, so với tải trọng thiết kế, đất nền là thuộc loại đất nén chặt bình thường hay quá nén, để chọn đường cong xác định hệ số rỗng e cho thích hợp.

4.- *Tình hình tăng tải*: Tình hình tăng tải bao gồm độ lớn của cấp tải trọng, loại tải trọng và khoảng thời gian giữa hai lần tăng tải. Cấp gia tải càng lớn và tốc độ gia tải càng nhanh thì kết cấu của đất càng bị phá hoại, và khả năng lún của đất càng lớn. Đồng thời với cùng giá trị cấp gia tải, tốc độ gia tải càng lớn thì khả năng biến dạng sẽ càng lớn. Vì vậy, để đánh giá được đúng đắn các số liệu thí nghiệm, cần nén các mẫu đất theo đúng các quy định về độ lớn cấp tải trọng và tốc độ tăng tải có ghi trong các quy trình về thí nghiệm đất. Tải trọng động làm cho đất cát nén chặt nhanh hơn so với đất dính và ngược lại dưới tác dụng của tải trọng tĩnh tính nén lún của đất cát rất yếu so với đất sét.

§ 3. TÍNH TOÁN ĐỘ LÚN CUỐI CÙNG CỦA NỀN ĐẤT

Trong thực tế hiện tượng lún của nền không xảy ra tức thời, mà lại xảy ra trong một thời gian sau đó mới kết thúc. Độ lún của nền đất đạt đến trị số lớn nhất trong một khoảng thời gian nào đó ứng với một cấp tải trọng nhất định gọi là: *Độ lún cuối cùng của nền đất*.

Hiện nay dùng hai phương pháp tính toán độ lún cuối cùng của nền đất đó là: Phương pháp Cộng lún từng lớp và phương pháp Lý thuyết đàn hồi. Cả hai phương pháp này đều dựa trên cơ sở giả thiết đất nền là bán không gian biến dạng tuyến tính, giả thiết này được xem là thỏa mãn điều kiện cho phép áp dụng định luật nén lún và lý thuyết đàn hồi để tính toán độ lún cuối cùng của nền đất.

3.1 Trường hợp cơ bản: Độ lún của đất trong các trường hợp thí nghiệm nén:

3.1.1. Bài toán một chiều:

Giả sử có một lớp đất chịu nén chiều dày là h (nằm trên một nền cứng không nén lún) đang ở trạng thái chịu tải trọng phân bố đều kín khắp trên bề mặt với cường