

# ĐẶC ĐIỂM BIẾN DẠNG CỦA NỀN ĐẤT YẾU KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH VÀ ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH CAM CLAY

## FEATURE OF DEFORMATION OF SOFT SOILS FOUNDATION IN HOCHIMINH CITY AND THE MEKONG DELTA ON BASIS OF CAM CLAY MODEL

Châu Ngọc Ân, Bùi Trường Sơn, Lê Thị Ngọc Lan\*

Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Đại học Bách Khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

\* Công ty Tư vấn thiết kế giao thông vận tải Phía Nam, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

### BẢN TÓM TẮT

Sử dụng mô hình đất Cam clay – là mô hình hiện đại và phù hợp sử dụng cho nền đất yếu, cho thấy độ lún và độ lún lệch giảm đáng kể trong trường hợp đất nền quá cố kết. Trên cơ sở tổng hợp các kết quả thí nghiệm trong phòng, áp dụng tính toán và phân tích, các tác giả đưa ra kiến nghị áp dụng thực tế trong công tác khảo sát, thiết kế và thi công công trình trên đất yếu ở Thành phố Hồ Chí Minh và Khu vực Đồng bằng sông Cửu long.

### ABSTRACT

Utilization of Cam clay model, which is a contemporary and corresponding to soft soils foundation model, shows, that settlements and difference of settlements are reduced appreciably in case of over consolidated soils. Base on research results in laboratory, application of calculation and analysis, applications in practice are recommended by writers in investigation, designing and construction on soft soils in Hochiminh City and the Mekong delta.

Khu vực Đồng bằng sông Cửu Long và phần lớn địa bàn TP. Hồ Chí Minh nằm trên tầng trầm tích phù sa trẻ có chiều dày lớn và biến đổi phức tạp. Nhiều công trình cơ sở hạ tầng trong và sau khi thi công đã gặp phải sự số và đã bị lún lệch. Việc xác định các thông số biến dạng đất nền, lựa chọn mô hình và áp dụng tính toán cần thiết được nghiên cứu bổ sung và hoàn thiện. Bài viết căn cứ trên cơ sở kết quả thí nghiệm trong phòng, phân tích và chọn lựa mô hình tính toán hiện đại phù hợp nhằm đưa ra một số nhận xét kiến nghị cho việc áp dụng vào thực tế xây dựng các công trình cơ sở hạ tầng của khu vực.

### 1. ĐẶC ĐIỂM BIẾN DẠNG ĐẤT NỀN THEO MÔ HÌNH CAM CLAY

Hiện nay, mô hình đàn hồi dẻo, hóa rắn dạng Cam clay rất thường được sử dụng tính

toán cho nền đất yếu. Ưu điểm của mô hình này là tổ hợp thành công các tính chất cơ lý của đất bằng phương trình trạng thái, trong đó bao gồm: trạng thái tới hạn, định luật chảy dẻo theo điều kiện tác dụng tải trọng (đường ứng suất), thông số hóa rắn phụ thuộc vào hệ số rỗng và lịch sử chịu tải của đất nền [1].

Trong mô hình Cam clay dành cho đất yếu, quan hệ giữa biến dạng thể tích  $\varepsilon_v$  và ứng suất nén hữu hiệu  $p'$  được xác định bằng các biểu thức sau:

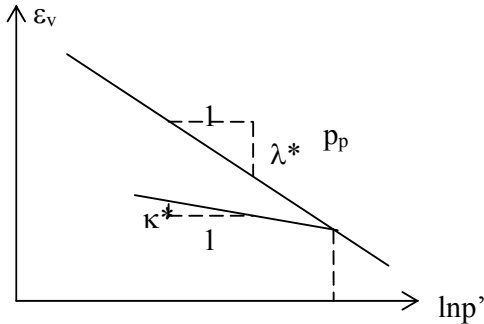
$$\varepsilon_v - \varepsilon_v^o = -\lambda * \ln\left(\frac{p'}{p^o}\right) \quad (1)$$

$$\varepsilon_v^e - \varepsilon_v^{eo} = -\kappa * \ln\left(\frac{p'}{p^o}\right) \quad (2)$$

Ở đây:  $\lambda^*$ ,  $\kappa^*$  – chỉ số nén và dỡ tải theo biến dạng thể tích.

$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}$ ,  $\kappa^* = \frac{\kappa}{1+e}$ , với:  $\lambda$ ,  $\kappa$  – chỉ số nén và dỡ tải,  $e$  – hệ số rỗng.

$p'$  – ứng suất nén đẳng hướng hữu hiệu:  
 $p' = \frac{1}{3}(\sigma'_x + \sigma'_y + \sigma'_z)$



Hình 1: Quan hệ giữa biến dạng thể tích và ứng suất nén đẳng hướng

Thông thường, đất được xem như vật liệu đàn hồi tuyến tính hoặc dẻo trong tính toán ước lượng biến dạng, còn khi đánh giá độ bền, đất được xem như vật liệu rắn hoặc chảy dẻo tuyệt đối. Đối với mô hình Cam clay thì biến dạng thể tích có thể hồi phục, còn biến dạng cắt thì xem như không hồi phục.

Trên hệ tọa độ  $p' - q$ , mặt tới hạn là đường thẳng và được biểu diễn bằng công thức sau:

$$q_f = M \cdot p' \quad (3)$$

Ở đây:  $q_f$  – giá trị tensor ứng suất lệch khi phá hoại hay là độ bền của đất.

$M$  – thông số độ bền của đất nền phụ thuộc vào góc ma sát trong, được xác định bằng thí nghiệm trong điều kiện thoát nước.

Trong trường hợp tổng quát, tensor ứng suất lệch được xác định bằng biểu thức sau:

$$q = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma'_y - \sigma'_z)^2 + \frac{1}{2}(\sigma'_z - \sigma'_x)^2 + \frac{1}{2}(\sigma'_x - \sigma'_y)^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{zy}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

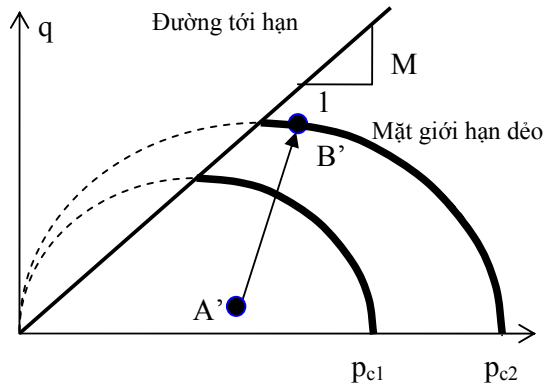
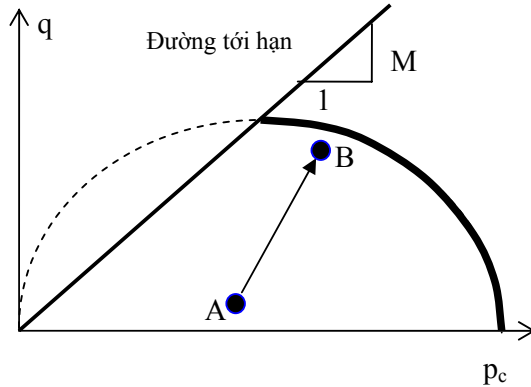
Vùng biến dạng đàn hồi của mô hình Cam clay giới hạn bởi mặt giới hạn dẻo. Hiện nay, thường được sử dụng nhất là mô hình Cam clay biến cải, quy luật chảy dẻo của mô hình này có dạng:

$$p' \partial \varepsilon_v^p + q \partial \varepsilon_s^p = p' \sqrt{(\partial \varepsilon_v^p)^2 + (M \partial \varepsilon_s^p)^2} \quad (4)$$

Viết lại phương trình trên, ta được:

$$\frac{\partial \varepsilon_v^p}{\partial \varepsilon_s^p} = \frac{M^2 - \eta^2}{2\eta} \quad (5)$$

với:  $\eta = \frac{q}{p'}$



Hình 2: Ứng xử ứng suất – biến dạng của đất theo mô hình Cam clay

Tích phân từng phần phương trình (5) ta nhận được mặt giới hạn dẻo của mô hình Cam clay biến cải dưới dạng sau:

$$q^2 + M^2 \cdot p'^2 = M^2 \cdot p' \cdot p_c \quad (6)$$

$$\text{hay: } \frac{p'}{p'_c} = \frac{M^2}{M^2 + \eta^2} \quad (7)$$

Ở đây:  $p_c$  – áp lực tiền cố kết hay còn gọi là ứng suất nén lại.

Phương trình (7) có dạng hình elip. Điểm  $p_c$  nằm trên trục  $p'$ , là giao điểm của elip với trục ứng suất nén hữu hiệu (hình 2).

Trong trường hợp trạng thái ứng suất đất nằm trong phạm vi giới hạn của mặt giới hạn dẻo thì biến dạng là đàn hồi. Khi trạng thái ứng suất vượt ra ngoài phạm vi mặt giới hạn dẻo này thì xảy ra vừa biến dạng dẻo, vừa biến dạng đàn hồi.

Trong phạm vi đàn hồi, ứng xử đất nền được mô tả bằng phương trình trạng thái sau:

$$d\varepsilon = \frac{2\kappa(1+\nu)}{9(1+e) \cdot p \cdot (1-2\nu)} \cdot dq \quad (8)$$

Hoặc dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \partial \varepsilon_p^e \\ \partial \varepsilon_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa/Vp' & 0 \\ 0 & G/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial p' \\ \partial q \end{bmatrix} \quad (9)$$

Với:  $\nu$  - hệ số Poisson

Trong hệ tọa trục  $p' - q$ , nếu trạng thái ứng suất do tác dụng của tải trọng ngoài vượt quá mặt giới hạn dẻo thì biến dạng tương ứng sẽ bao gồm hai thành phần: dẻo và đàn hồi. Ngoài thành phần biến dạng đàn hồi như mô tả bên trên còn bổ sung thêm thành phần biến dạng dẻo trong phương trình mô tả trạng thái như sau:

$$d\varepsilon_v = \frac{\lambda - \kappa}{1+e} \cdot \left( \frac{dp'}{p'} + \frac{2\eta}{M^2 + \eta^2} d\eta \right) + \frac{\kappa}{1+e} \cdot \frac{dp'}{p'} \quad (10)$$

$$d\varepsilon_s = \frac{2\eta}{M^2 - \eta^2} \cdot \frac{\lambda - \kappa}{1+e} \cdot \left( \frac{dp'}{p'} + \frac{2\eta}{M^2 + \eta^2} d\eta \right) \quad (11)$$

Hoặc dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \partial \varepsilon_p^p \\ \partial \varepsilon_q^p \end{bmatrix} = \frac{\lambda - \kappa}{Vp'[M^2 + \eta^2]} \begin{bmatrix} (M^2 - \eta^2) & 2\eta \\ 2\eta & 4\eta^2 / (M^2 - \eta^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial p' \\ \partial q \end{bmatrix} \quad (12)$$

Với các loại đất có giá trị áp lực tiền cố kết lớn hơn thì mặt giới hạn dẻo có phạm vi rộng hơn và tương ứng là vùng biến dạng đàn hồi lớn hơn. Như vậy khi nén lại thì biến dạng thu được sẽ ít hơn do mặt giới hạn dẻo đã được mở rộng và hình thành ở vị trí mới cao hơn.

## 2. ĐẶC ĐIỂM BIẾN DẠNG CỦA ĐẤT YẾU KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH VÀ ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Đất yếu khu vực ĐBSCL và TPHCM có tuổi địa chất là Đệ Tứ hiện đại ( $Q^{IV}$ ). Do quá

trình tích tụ trầm tích diễn ra mạnh mẽ trong khoảng 5000 - 10000 năm đến hiện nay (có những lớp trầm tích hiện đại có bề dày đạt đến trên 50m) nên đưa đến hình thành cấu tạo không đồng nhất của đất nền theo phương ngang cũng như theo phương đứng. Bề dày lớp đất yếu càng lớn thì tính không đồng nhất thể hiện càng rõ rệt. Đối với đặc điểm biến dạng của đất yếu, tính chất này thể hiện rõ rệt qua hệ số quá cố kết

$$OCR = \frac{p_c}{\gamma' \cdot z} \quad (\text{với } \gamma' - \text{trọng lượng bản thân đất, } z$$

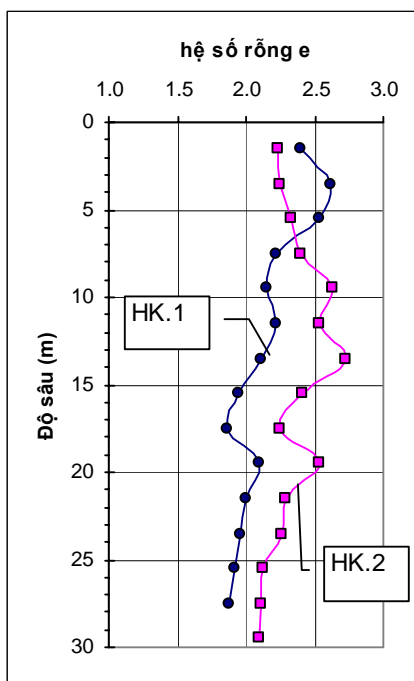
- độ sâu mẫu đất khảo sát) trong khi hệ số rỗng hầu như thay đổi không đáng kể theo độ sâu.

Theo kết quả thí nghiệm của khoảng gần 700 mẫu đất yếu ở khu vực cho thấy giá trị áp lực tiền cố kết  $p_c$  của bùn sét pha, sét pha cát cao hơn bùn sét [2, 3]. Đối với bùn sét, trong phạm vi độ sâu đến 6m, giá trị OCR dao động trong khoảng 2÷4 (cá biệt có nhiều trường hợp lên đến 6÷8), đến độ sâu từ 6 - 12m dao động trong khoảng 1,2÷1,7, trung bình từ độ sâu 0 - 12m giá trị OCR: 1,5÷2,5. Từ 12m trở đi đến độ sâu hơn 20m thì đất nền được xem như cố kết thường hoặc dưới cố kết.

Giá trị OCR lớn ở vùng trên của lớp đất yếu được giải thích là do độ bền kiến trúc, do sự dao động của thủy triều có tác dụng như quá trình dỡ tải và nén lại, quá trình thổ nhưỡng hóa và hàng loạt yếu tố khác. Vùng từ độ sâu 12m trở đi, do quá trình tích tụ trầm tích diễn ra mạnh mẽ nên quá trình cố kết thắm do trọng lượng bản thân được xem như chưa hoàn toàn chấm dứt.

Ngoài ra, tính chất không đồng nhất của nền đất yếu khu vực còn thể hiện ở sự khác biệt của các giá trị hệ số thấm theo phương ngang và phương đứng. Tuy nhiên, các tính toán cho thấy sự khác biệt hệ số thấm theo hai phương (không quá 10) ảnh hưởng không đáng kể lên kết quả dự báo độ biến dạng theo thời gian.

Giá trị chỉ số nén  $C_c$  dao động từ 0,5÷1,1 tỷ lệ với hệ số rỗng tự nhiên và độ ẩm giới hạn chảy nhưng không phụ thuộc độ sâu. Trong đa số trường hợp, cho đến độ sâu 20m, hệ số rỗng của đất yếu của khu vực thay đổi không theo quy luật (đường cong nén lún do tải trọng của trọng lượng bản thân), giá trị trung bình thay đổi không đáng kể (hình 3). Như vậy, tương tự như hệ số rỗng, chỉ số nén không thay đổi đáng kể theo độ sâu [2].



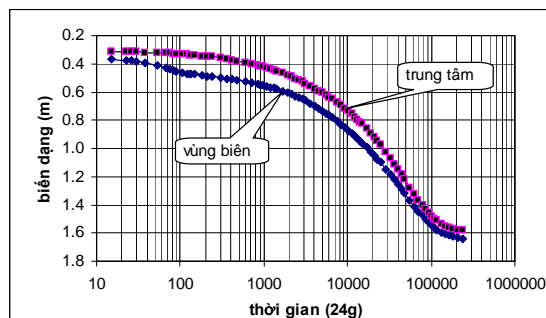
Hình 3: Quan hệ giữa hệ số rỗng theo độ sâu

### 3. ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN CHO MỘT KHỐI ĐẤT ĐÁP TRÊN NỀN ĐẤT YẾU TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH CAMCLAY

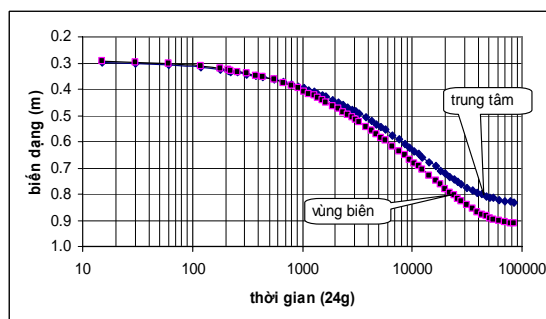
Công trình đắp trên đất yếu có thể biến dạng theo thời gian và tùy thuộc vào từng vị trí khác nhau trên bề mặt công trình đắp, biến dạng của các điểm khác nhau có thể khác nhau. Biến dạng của nền đất gây ra dịch chuyển công trình đắp. Đối với một số công trình trên đất đắp (hệ thống cấp thoát nước, tuyến đường dây tải điện và các công trình cơ sở hạ tầng khác) rất nhạy cảm với biến dạng lệch, sự dịch chuyển bề mặt công trình đắp có thể gây mất ổn định và phá hoại điều kiện làm việc của công trình. Do quá trình cố kết, độ ổn định của công trình đắp thay đổi theo thời gian. Tốc độ lún theo thời gian tại mọi điểm trong phạm vi công trình đắp không giống nhau có thể đưa đến sự dịch chuyển không đồng đều của công trình và gây mất ổn định.

Để đánh giá sự dịch chuyển không đồng đều, chúng tôi tiến hành xây dựng các đường cong biến dạng ở các điểm khác nhau trên bề mặt công trình đắp trên nền đất yếu dày 20m theo thời gian trên cơ sở tính toán bằng chương trình Plaxis cho bài toán phẳng (hình 4). Các thông số sử dụng cho tính toán được xác định bằng thí nghiệm trong phòng:  $W=77\%$ ;  $\rho=1,55$

$g/cm^3$ ;  $\rho_s=2,64 g/cm^3$ ;  $\lambda^* = 0,081$ ;  $\kappa^* = 0,014$ ;  $c' = 5KPa$ ;  $\varphi' = 24^\circ$ ;  $k_z = 4,3 \times 10^{-6} m/24g$ ;  $k_x = 8,7 \times 10^{-6} m/24g$ .



(a)



(b)

Hình 4: Biến dạng các điểm khác nhau trên bề mặt công trình đắp theo thời gian với hệ số quá cố kết đất nền đến độ sâu 12m: (a) – OCR=1, (b) – OCR=2,5

Vào thời điểm ban đầu, sự dịch chuyển ở vùng biên lớn hơn vùng trung tâm do đất nền khu vực này bị trượt ngang. Thậm chí ở một vài thời điểm, tốc độ phát triển biến dạng ở vùng biên còn lớn hơn vùng trung tâm.

Như đã nhận xét ở trên, đến độ sâu 12m, hệ số quá cố kết OCR của đất sét yếu khu vực dao động trong khoảng 1,5÷2,5. Kết quả tính toán trên mô hình Camclay cho thấy biến dạng của nền đất quá cố kết bé hơn biến dạng của nền đất cố kết thường. Trường hợp xét giá trị OCR=1,5÷2,5 đến độ sâu 12m, độ lún ổn định dao động trong khoảng 0,9÷1,2m so với 1,6m khi giá trị OCR=1. Do phạm vi vùng giới hạn biến dạng đàn hồi của đất nền được mở rộng hơn nên độ lún do biến dạng dẻo giảm. Đồng thời độ lún lệch của các điểm khác nhau trên bề mặt lớp đất đắp cũng giảm khi giá trị OCR tăng.

#### 4. NHẬN XÉT KẾT LUẬN

- Khi giá trị hệ số quá cố kết OCR của đất nền tăng thì độ lún và độ lún lệch giảm đáng kể, cho phép bảo đảm điều kiện làm việc của công trình.
- Trong việc tiến hành thi công ở hiện trường cố gắng đảm bảo không gây phá hoại kết cấu nguyên dạng của lớp đất bên trên hoặc lớp đất mặt (là lớp đất được nén trước do quá trình thổ nhưỡng hóa hoặc do các loại tải trọng khác) nhằm hạn chế biến dạng và biến dạng lệch nền công trình. Trong trường hợp ngược lại, chẳng những có thể làm giảm hoặc triệt tiêu hoàn toàn giá trị áp lực tiền cố kết  $p_c$  mà còn giảm các giá trị thông số sức chống cắt  $c'$ ,  $\varphi'$ , mặt giới hạn dẻo co lại đáng kể và có thể gây biến dạng lớn hoặc phá hoại nền công trình khi chịu tải.
- Đối với các lớp đất yếu có bề dày lớn (20m và lớn hơn), biến dạng do cố kết thấm có thể bắt đầu diễn ra mạnh mẽ khoảng 30-40 năm sau khi thực hiện xây dựng công trình. Việc tính toán ước lượng chính xác quá trình cố kết cho phép sử dụng công trình trong thời hạn dự định. Đây cũng là đặc điểm quan trọng khi biết tận dụng những “điểm bất lợi” của nền đất yếu phục vụ các nhu cầu cấp thiết hiện nay.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- David Muir Wood: Soil behavior and critical state soil mechanics, Cambridge University Press, 1994.
- 2- Lê Thị Ngọc Lan, Các đặc trưng biến dạng của đất yếu trong quá trình cố kết thấm, Luận văn Thạc sỹ, 2004.
- 3- Trần Quang Hộ: Chỉ số nén  $C_c$  và tỉ số quá cố kết OCR của đất sét yếu và dẻo cứng khu vực Tp. Hồ Chí Minh, Hội nghị khoa học công nghệ lần thứ 7, Trường Đại học Kỹ thuật, Đại học quốc gia TP.HCM, 1999, trang 65 – 68.
- 4- Bùi Trường Sơn, Chọn lựa các phương pháp thí nghiệm xác định cường độ của đất nền theo các giai đoạn khác nhau, Hội nghị nghiên cứu khoa học trẻ Bách Khoa lần 3, 2001, trang 82 – 86.
- 5- Châu Ngọc Ân, Bùi Trường Sơn, Lâm Quang Nhân, Ứng xử cơ học của nền đất đắp bằng phương pháp xáng thổi ở vùng lấn biển Kiên Giang, Hội nghị khoa học công nghệ lần thứ 8, Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2002, trang 133 – 138.