

XÁC ĐỊNH MÔ ĐUN BIẾN DẠNG DỠ TẢI VÀ THAM SỐ MŨ (m) CỦA ĐẤT YẾU TP. HCM TRONG MÔ HÌNH HARDENING SOIL

Ngô Đức Trung

Trường Đại học Văn Hiến

Võ Phán

Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM

Trần Thị Thanh

Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam

Tóm tắt: Bài báo này xác định mô đun biến dạng và sự phụ thuộc của mô đun biến dạng vào trạng thái ứng suất của đất yếu khu vực Tp. HCM. Các thông số được xác định là các tham số độ cứng: mô đun cát tuyến E_{50} và mô đun dỡ tải E_{ur} trong các thí nghiệm ba trục thoát nước. Thí nghiệm nén ba trục được thực hiện cho lớp bùn sét ở độ sâu 4-6 m và 12-14 m, lớp sét yếu trong phạm vi 18-20 m và 24-26 m theo điều kiện thoát nước có dỡ tải và gia tải lại.

Từ khoá: hố đào sâu, mô đun biến dạng, ứng suất, mô hình nền, lộ trình ứng suất;

Summary: This article identifies the modulus of deformation and the dependence of the modulus of deformation on the stress state of HCMC's soft soil. Parameters were defined as hardness parameters: E_{50} and E_{ur} in triaxial drainage test. Triaxial compression testing was performed for very soft clay at depths of 4-6 m and 12-14 m, soft clay in the range of 18-20 m and 24-26 m according to drainage conditions with unloading and reloading.

Key words: deep excavation; soil model; stiffness parameters; hardening soil model; oedometer test; triaxial test;

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở Tp. HCM trong những năm gần đây, việc tính toán các công trình địa kỹ thuật thường sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với các mô hình nền. Vấn đề lớn nhất đặt ra cho các kỹ sư thiết kế là phân tích đúng ứng xử của đất nền thông qua việc lựa chọn mô hình nền và các thông số đầu vào phù hợp.

Mô hình dẻo tăng bền HS được xây dựng trên cơ sở mô hình Hypebol thể hiện nhiều tiến bộ hơn so với mô hình MC. Giống như mô hình MC, những trạng thái giới hạn của ứng suất được diễn tả bằng góc ma sát φ , lực dính c , góc giãn nở ψ , nhưng độ cứng của đất được diễn tả với độ chính xác nhiều hơn bởi việc sử dụng 3 mô đun biến dạng nhập vào khác nhau: mô đun

cát tuyến E_{50}^{ref} ; mô đun dỡ tải E_{ur}^{ref} và mô đun cố kết E_{ode}^{ref} .

Mô hình HS còn lý giải được sự phụ thuộc của mô đun độ cứng vào ứng suất. Mức độ phụ thuộc của ứng suất được cho bởi số mũ m . Để mô phỏng sự phụ thuộc ứng suất theo quy luật logarith, Schanz và cộng sự (1999)[7] khảo sát các loại đất yếu, thì số mũ được chọn là $m=1$. Theo Janbu (1963), giá trị m ở vào khoảng 0.5 cho cát và sét ở Naury [4]. Trong khi đó Von Soos (1980) thì giá trị m vào khoảng $0.5 < m < 1$ [10]. Usmani (2007) đề xuất $m = 0.67$ trong phân tích trạng thái ứng suất, biến dạng của đất cát pha sét Delhi [9].

Như vậy việc lựa chọn tham số mũ m gây khó

Ngày nhận bài: 29/5/2018

Ngày thông qua phản biện: 05/7/2018

Ngày duyệt đăng: 12/10/2018

khăn cho các kỹ sư khi phải tương quan từ các biểu thức kinh nghiệm, do biên độ này vẫn còn tương đối rộng và cho kết quả tính toán chênh lệch còn lớn.

Bài báo này sẽ xác định tham số m và hệ số tương quan E_{ur}/E_{50} cho đất yếu Tp. HCM trên cơ sở thí nghiệm 3 trục thoát nước như định nghĩa trong mô hình HS.

2. TỔNG QUAN VỀ ĐẤT YẾU TP. HCM

Tp. HCM thuộc châu thổ sông Sài Gòn, cấu tạo địa tầng của khu vực này thuộc kỷ Đệ Tứ thời đại Tân Sinh và thời kỳ Tân Cận đại bồi đắp mà thành, tổng cộng phân thành 6 lớp đất tự nhiên. Lớp 1 và lớp 2 gồm bùn lầy đất dày ước độ sâu 20÷30m, có hàm lượng chất hữu cơ cao, chứa lượng nước cao đạt khoảng 85-104%, tỉ lệ rỗng xộp $e = [2.283 \div 2.864]$, thuộc loại đất yếu có tính nén lún rất lớn, chỉ số lỏng I_L cao, đạt 1.85 [5].

Các vùng đất yếu của Tp. HCM tập trung ở: một phần quận Bình Thạnh, quận 6, quận 2, quận 8, quận 7, quận 4, huyện Bình Chánh, huyện Nhà Bè, huyện Cần Giờ.

Đất yếu có tính nén lún cao, khả năng chịu tải rất thấp. Một hoặc một số tính chất vật lý, độ bền và biến dạng của loại đất này nằm trong khoảng giá trị thường gặp như sau:

❖ Tính chất vật lý

- Hệ số rỗng $e = [2 \div 3]$.

- Độ ẩm $W \geq 75\%$.

- Dung trọng tự nhiên $\gamma = [14 \div 16] \text{ kN/m}^3$.

❖ Độ bền

- Sức kháng cắt không thoát nước $S_u < 50 \text{ kPa}$.

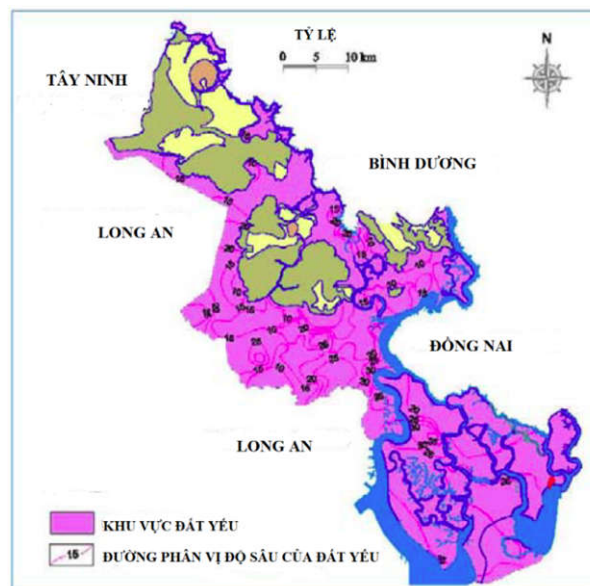
- Sức kháng xuyên tiêu chuẩn $N_{30} < 4$ búa/30cm.

- Lực dính $c < 10 \text{ kPa}$.

❖ Tính chất biến dạng

- Hệ số nén lún $a_{1,2} > 5 \text{ m}^2/\text{kN}$.

- Mô đun biến dạng $E < 5000 \text{ kPa}$.



Hình 1. Phân bố đất yếu ở Tp. HCM [5]

Nghiên cứu này phân tích trên 2 lớp sét yếu của Tp. HCM: lớp bùn sét (very soft clay) và lớp sét yếu (soft clay) với độ sâu từ 4 đến 30 m bên dưới mực nước ngầm, là độ sâu thường ảnh hưởng lớn đến ổn định và biến dạng của các công trình ngầm.

3. KHÁI QUÁT MÔ HÌNH HS

Mô hình HS do Schanz và các cộng sự (1999) [3] cải tiến và phát triển dựa trên cơ sở lý thuyết đàn hồi – dẻo cổ điển để mô phỏng tính ứng xử đàn hồi và dẻo của đất nền. Phần đàn hồi của nó sử dụng 2 mô đun độ cứng, tức là mô đun cát tuyến E_{50} và mô đun gia tải E_{ur} . Phần dẻo tuân theo quy luật chảy phi tuyến tính và tiêu chuẩn tái bền đẳng hướng, để mô tả mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của đất theo đường cong hyperbol.

Mặt dẻo:

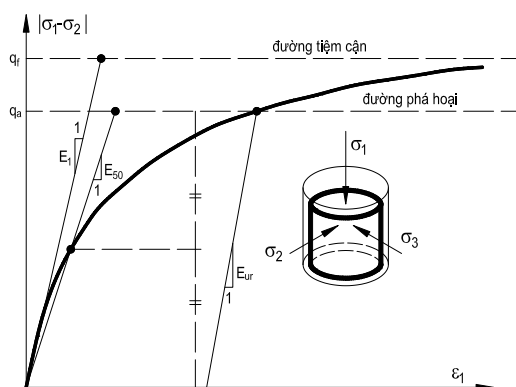
$$f_1 = \frac{q_a}{E_{50}} \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{q_a - (\sigma_1 - \sigma_2)} - \frac{2(\sigma_1 + \sigma_2)}{E_{ur}} - \gamma_p \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{q_a}{E_{50}} \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{q_a - (\sigma_1 - \sigma_3)} - \frac{2(\sigma_1 - \sigma_3)}{E_{ur}} - \gamma_p \quad (2)$$

$$f_3 = \frac{q_a}{E_{50}} \frac{(\sigma_2 - \sigma_3)}{q_a - (\sigma_2 - \sigma_3)} - \frac{2(\sigma_2 - \sigma_3)}{E_{ur}} - \gamma_p \quad (3)$$

Với q_a , E_{50} và E_{ur} được định nghĩa từ các công thức (4), (5), (6) và ký hiệu γ_p để chỉ ứng suất dẻo.

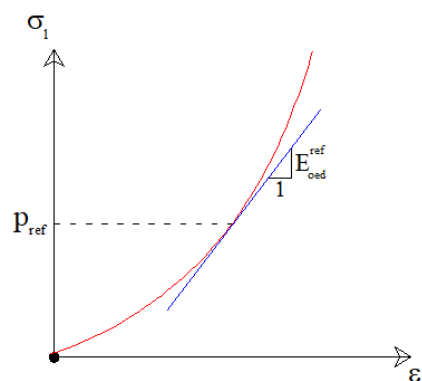
$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cot g\varphi - \sigma'_3}{c \cot g\varphi + p^{ref}} \right)^m \quad (4)$$



Hình 2. Định nghĩa E_{50} và E_{ur} trong thí nghiệm nén ba trục thoát nước

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cot g\varphi - \sigma'_3}{c \cot g\varphi + p^{ref}} \right)^m \quad (5)$$

$$q_f = (c \cot \varphi - \sigma_3) \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (6)$$



Hình 3. Định nghĩa E_{ode}^{ref} trong thí nghiệm nén một trục

Trong lộ trình ứng suất dỡ tải và gia tải lại, quan hệ độ lệch ứng suất và biến dạng dọc trục vẫn có dạng hyperbolic, và các nghiên cứu thực nghiệm [4] cho thấy, mô đun cát tuyến E_{50} trong thí nghiệm dỡ tải và gia tải lại lớn hơn trong thí nghiệm nén ba trục thông thường nhiều lần và khác biệt với từng loại đất khác nhau, trong nghiên cứu này tác giả tập trung nghiên cứu tỷ số E_{ur}/E_{50} cho các lớp sét yếu Tp. HCM.

Phương trình (4), (5) đã định nghĩa E_{50} , E_{ur} , còn E_{ode} được định nghĩa theo phương trình sau:

$$E_{ode} = E_{ode}^{ref} \left(\frac{c \cot g\varphi - \sigma'_3}{c \cot g\varphi + p^{ref}} \right)^m \quad (7)$$

Với E_{ode}^{ref} là mô đun cố kết trong thí nghiệm nén một trục không nở hông odometer tại ứng suất đứng $-\sigma_1' = p^{ref}$.

Thuận lợi của mô hình HS so với mô hình MC

không chỉ là việc sử dụng đường cong ứng suất biến dạng hyperbolic thay cho quan hệ tuyến tính mà còn cả việc kiểm soát sự phụ thuộc độ cứng vào cấp tải ứng suất. Khi sử dụng mô hình MC, người dùng phải chọn một giá trị mô đun Young cố định trong khi đối với đất thực độ cứng lại phụ thuộc cấp áp lực. Vậy thì nhất thiết phải ước đoán cấp áp lực trong đất và sử dụng cấp áp lực đó để có được giá trị độ cứng thích hợp. Với mô hình HS việc lựa chọn khó khăn các thông số đầu vào không còn cần thiết nữa. Thay vào đó mô đun E_{50}^{ref} được định nghĩa theo ứng suất chính nhỏ nhất $\sigma_3 = p^{ref}$ như giá trị mặc định trong Plaxis là $p^{ref} = 100$ (kN/m²).

Tuy nhiên, việc xác định các thông số E_{ur}^{ref} , E_{ode}^{ref} trong Plaxis thường chọn mặc định từ E_{50}^{ref} cho mọi loại đất như công thức (8) và (9) thường gây khó khăn cho tính toán [8]:

$$E_{ode}^{ref} = E_{50}^{ref} \quad (8)$$

$$E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref} \quad (9)$$

4. XÁC ĐỊNH THAM SỐ M VÀ TỶ SỐ E_{UR}/E_{50} CHO ĐẤT YẾU TP. HCM TRONG MÔ HÌNH HS

4.1 Thí nghiệm nén ba trục thoát nước

Theo định nghĩa trong mô hình HS, các thông số $E_{50}^{ref}, E_{ur}^{ref}$ phải xác định từ thí nghiệm nén ba trục thoát nước. Thí nghiệm nén 3 trục tiến hành theo sơ đồ cố kết thoát nước (CD) với áp lực bùồng $p_{ref} = \sigma'_3 = 100kPa$ có dỡ tải và gia tải lại, kết quả cho dưới dạng đồ thị quan hệ biến dạng

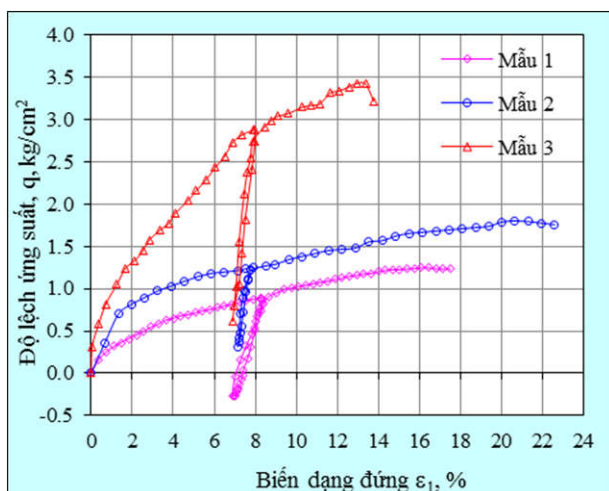
đứng ε_1 và độ lệch ứng suất $q = \sigma'_1 - \sigma'_3$. Từ biểu đồ này cho phép xác định được các thông số $\phi', c', E_{50}^{ref}, E_{ur}^{ref}$

Để xác định tham số m diễn tả sự phụ thuộc của độ cứng vào ứng suất cho đất yếu Tp. HCM, tác giả thực hiện thí nghiệm trên 12 mẫu sét tại các độ sâu từ 4 đến 30m bên dưới mực nước ngầm với thí nghiệm ba trục thoát nước có dỡ tải và gia tải lại tại các cấp áp lực bùồng σ'_3 lần lượt là 50, 100, 200 và 400 kPa. Vùng đất lấy mẫu thí nghiệm thuộc huyện Bình Chánh – là khu vực có lớp đất yếu tương đối dày và đồng nhất. Kết quả phân tích các chỉ tiêu cơ lý cho ở Bảng 1.

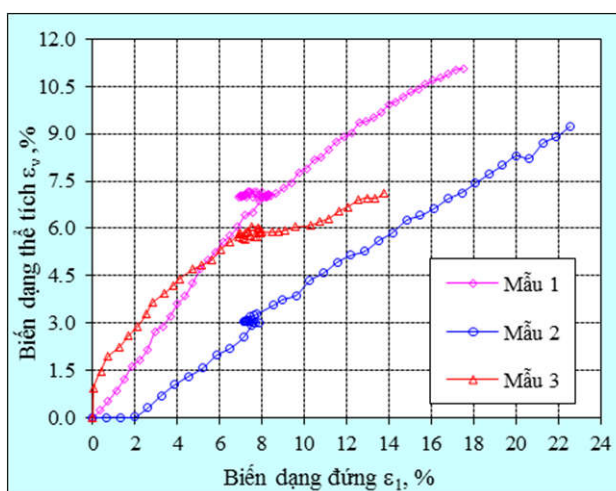
Bảng 1. Các thông số vật lý đặc trưng cho đất yếu Tp. Hồ Chí Minh

Thông số	Ký hiệu	Lớp bùn sét	Lớp sét yếu
Trạng thái		Đẻo chảy	Đẻo chảy ÷ đẻo mềm
Độ ẩm tự nhiên (%)	W_n	70 ÷ 100	60 ÷ 70
Hệ số rỗng	e	2.0 ÷ 3.0	1.30 ÷ 2.0
Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_n	14.0 ÷ 16.0	16.0 ÷ 17.0
Dung trọng khô (kN/m ³)	γ_d	7.5 ÷ 8.5	8.5 ÷ 12.0
Giới hạn chảy (%)	W_L	70 ÷ 80	45 ÷ 70
Giới hạn dẻo (%)	W_P	30 ÷ 40	20 ÷ 30
Độ bão hoà (%)	S	95 ÷ 98	99 ÷ 100

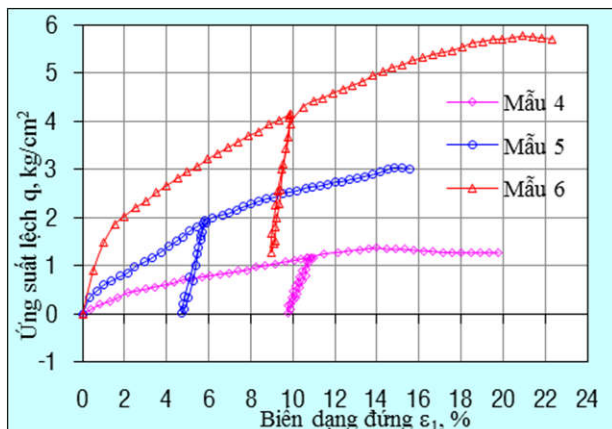
Kết quả của thí nghiệm cho hai lớp sét thể hiện ở các hình từ Hình 4 đến Hình 11 bên dưới.



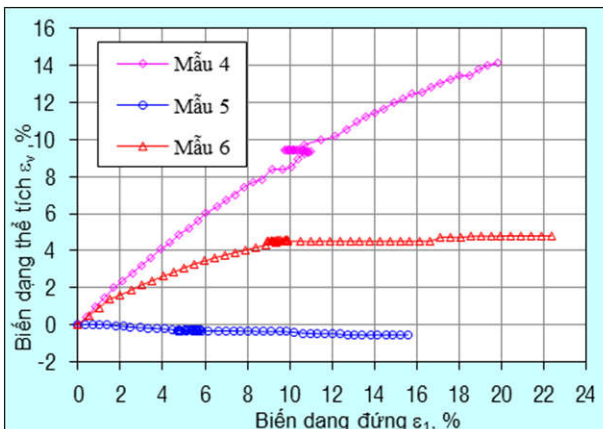
Hình 4. Quan hệ $(\varepsilon_1 - q)$ mẫu 1,2,3



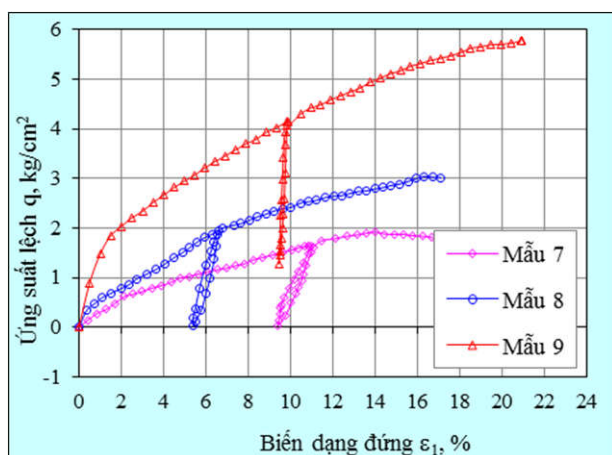
Hình 5. Quan hệ $(\varepsilon_1 - \varepsilon_v)$ mẫu 1,2,3



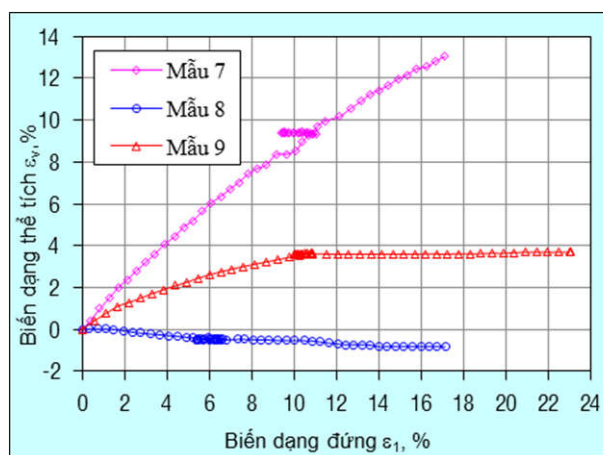
Hình 6. Quan hệ $(\epsilon_1 - q)$ mẫu 4,5,6



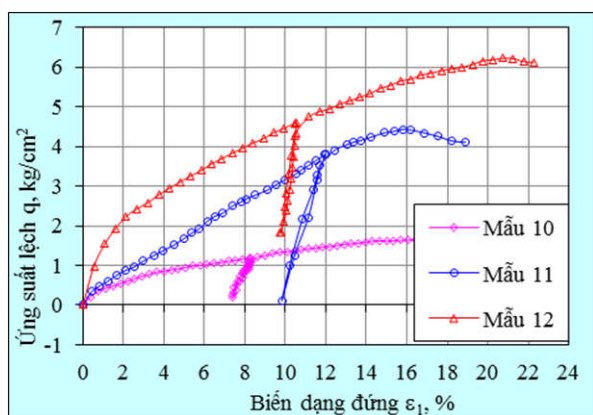
Hình 7. Quan hệ $(\epsilon_1 - \epsilon_v)$ mẫu 4,5,6



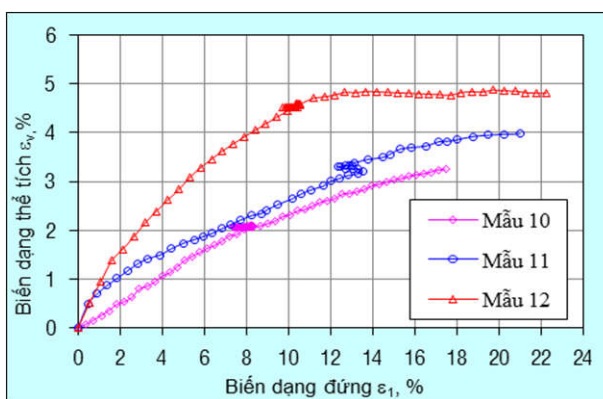
Hình 8. Quan hệ $(\epsilon_1 - q)$ mẫu 7,8,9



Hình 9. Quan hệ $(\epsilon_1 - \epsilon_v)$ mẫu 7,8,9



Hình 10. Quan hệ $(\epsilon_1 - q)$ mẫu 10,11,12



Hình 11. Quan hệ $(\epsilon_1 - \epsilon_v)$ mẫu 10,11, 12

Từ biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng (q, ϵ_1) , ta xác định được c' , ϕ' và các thông số như Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số sức kháng cắt

Độ sâu [m]	Số hiệu mẫu	c' [kG/cm ²]	φ' [độ]	σ'_{1f} [kG/cm ²]	σ'_{3f} [kG/cm ²]	$\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$
<i>Lớp bùn sét (Vert soft clay)</i>						
4 ÷ 6	1	0.12	25.85	1.40	0.36	0.485
	2			3.05	1.09	1.074
	3			5.29	1.86	1.690
12 ÷ 14	4	0.09	26.28	2.16	0.86	0.885
	5			5.01	1.90	1.758
	6			9.48	3.72	3.300
<i>Lớp sét (Soft clay)</i>						
18÷20	7	0.10	26.02	2.17	0.88	0.899
	8			3.92	1.81	1.674
	9			8.94	3.89	3.394
24÷26	10	0.11	26.32	2.37	0.98	0.982
	11			4.02	1.91	1.747
	12			9.64	3.99	3.442

4.2 Xác định số mũ m từ thí nghiệm nén ba trục thoát nước

Tham số m thể hiện sự phụ thuộc của độ cứng vào trạng thái ứng suất của đất nền. Trong phần này, tác giả tiến hành xác định số mũ m từ định nghĩa mô đun biến dạng trong mô hình HS theo các biểu thức (4), (5).

Trên biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng ($q - \varepsilon_1$), vẽ các đường cát tuyến E_{50} theo như định nghĩa mô đun biến dạng E_{50} của mô hình HS. Từ đó, xác định được mô đun cát tuyến E_{50} như trong Bảng 2.

Dựa trên định nghĩa E_{50} trong mô hình HS, công thức (4), ta có:

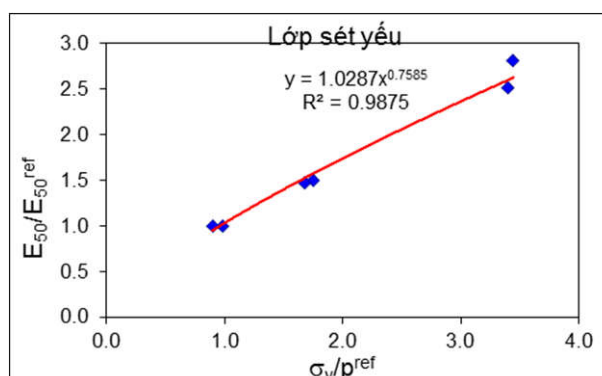
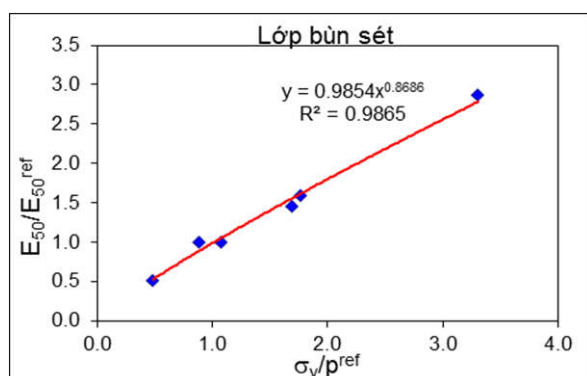
$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^m = E_{50}^{ref} \left[\frac{c \cot \varphi' - \sigma'_3}{c \cot \varphi' + p^{ref}} \right]^m \Rightarrow m = \log_{\left[\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right]} \left[\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}} \right] \quad (10)$$

Xác định được tham số mũ m theo E_{50} như Bảng 3.

Bảng 3. Độ cứng E_{50}, E_{50}^{ref} và tham số mũ m từ thí nghiệm nén ba trục thoát nước

Độ sâu [m]	Mẫu	E_{50} [kN/cm ²]	E_{50}^{ref} [kN/cm ²]	$\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}}$	$\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$	m [-]
<i>Lớp bùn sét (Very soft clay)</i>						
4 ÷ 6	1	17.29	33.88	0.51	0.485	0.93
	2	33.88		1.00	1.074	-
	3	49.44		1.46	1.690	0.72
12 ÷ 14	4	21.15	21.15	1.00	0.885	-
	5	33.72		1.59	1.758	0.83
	6	60.51		2.86	3.300	0.88
<i>Lớp sét yếu (Soft Clay)</i>						

Độ sâu [m]	Mẫu	E_{50} [kN/cm ²]	E_{50}^{ref} [kN/cm ²]	$\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}}$	$\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$	m [-]
18 ÷ 20	7	20.72	20.72	1.00	0.899	-
	8	29.12		1.41	1.674	0.76
	9	52.05		2.51	3.394	0.75
24 ÷ 26	10	22.93	22.93	1.00	0.982	-
	11	30.66		1.48	1.747	0.72
	12	64.69		2.81	3.442	0.84



Hình 12. Phương trình hồi quy tương quan giữa $\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}}$ và $\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$

Từ đó, giá trị tham số m xác định từ thí nghiệm nén ba trục thoát nước thông qua mô đun cát tuyến E_{50} như sau:

- Lớp bùn sét: $m = [0.72 \div 0.93]$ (11)

Phương trình hồi quy: $\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}} = 0.9854 \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^{0.8686}$, $R^2 = 0.9865$ (12)

- Lớp sét yếu: $m = [0.72 \div 0.84]$ (13)

Phương trình hồi quy: $\frac{E_{50}}{E_{50}^{ref}} = 1.0287 \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^{0.7585}$, $R^2 = 0.9875$ (14)

Giá trị này phù hợp với kết quả thực nghiệm của von Soos (1980) [10] cho rằng m nằm trong khoảng $0.5 \leq m \leq 1.0$ với cận dưới là cát và cận trên là sét mềm.

Từ biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng có được từ thí nghiệm, vẽ các đường tiếp tuyến E_{ur} theo

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^m = E_{ur}^{ref} \left[\frac{c \cot \varphi' - \sigma_3'}{c \cot \varphi' + p^{ref}} \right]^m \Rightarrow m = \log_{\left[\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right]} \left[\frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}} \right] \quad (15)$$

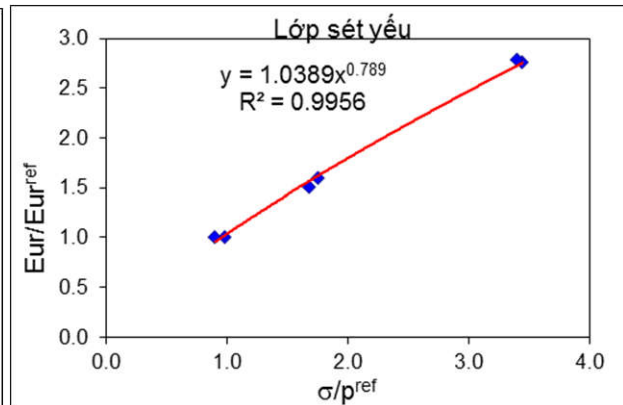
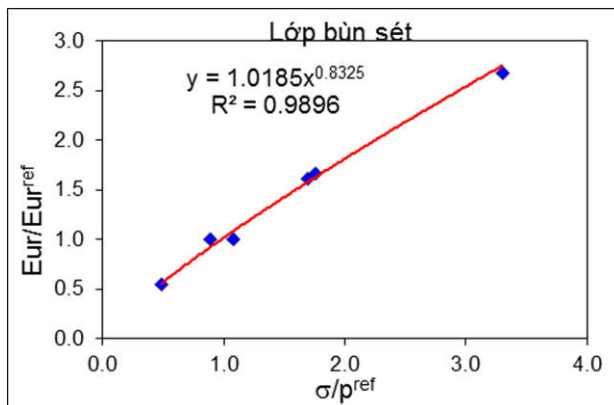
Từ công thức (15), xác định được tham số mũ m theo mô đun đỡ tải E_{ur} như Bảng 4.

như định nghĩa mô đun biến dạng E_{ur} của mô hình HS để xác định mô đun đỡ tải và gia tải lại E_{ur} , kết quả thể hiện ở Bảng 4.

Dựa trên định nghĩa E_{ur} trong mô hình HS, công thức (5), ta có:

Bảng 4. Thông số độ cứng E_{ur} , E_{ur}^{ref} và tham số mũ m từ thí nghiệm

Độ sâu [m]	Mẫu thí nghiệm	E_{ur} [kN/cm ²]	E_{ur}^{ref} [kN/cm ²]	$\frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}}$	$\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$	m [-]
<i>Lớp bùn sét (Very soft clay)</i>						
4 ÷ 6	1	68.98	127.27	0.54	0.485	0.85
	2	127.27		1.00	1.074	-
	3	205.90		1.62	1.690	0.92
12 ÷ 14	4	106.09	106.09	1.00	0.885	-
	5	177.23		1.67	1.758	0.91
	6	284.03		2.68	3.300	0.82
<i>Lớp sét yếu (Soft clay)</i>						
18 ÷ 20	7	99.39	99.39	1.00	0.899	-
	8	149.33		1.50	1.674	0.79
	9	276.73		2.78	3.394	0.84
24 ÷ 26	10	108.31	108.311	1.00	0.982	-
	11	173.42		1.60	1.747	0.84
	12	298.81		2.76	3.442	0.82

Hình 13. Tương quan giữa $\frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}}$ và $\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$

Từ quan hệ giữa $\frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}}$ và $\frac{\sigma_y}{p^{ref}}$ (công thức (15)), lập phương trình hồi quy của đường TRENDLINE như Hình 14, ta có các kết quả như sau:

- Lớp bùn sét: $m = [0.82 \div 0.92]$ (16)

Phương trình hồi quy: $\frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}} = 1.0185 \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^{0.8325}$, $R^2 = 0.9896$ (17)

- Lớp sét yếu: $m = [0.79 \div 0.84]$ (18)

$$\text{Phương trình hồi quy: } \frac{E_{ur}}{E_{ur}^{ref}} = 1.0389 \left(\frac{\sigma_y}{p^{ref}} \right)^{0.789}, R^2 = 0.9956 \quad (19)$$

4.3 Xác định hệ số tương quan E_{ur}/E_{50} và cho đất yếu Tp. HCM

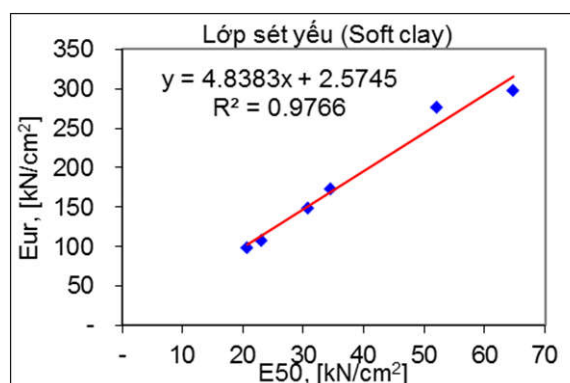
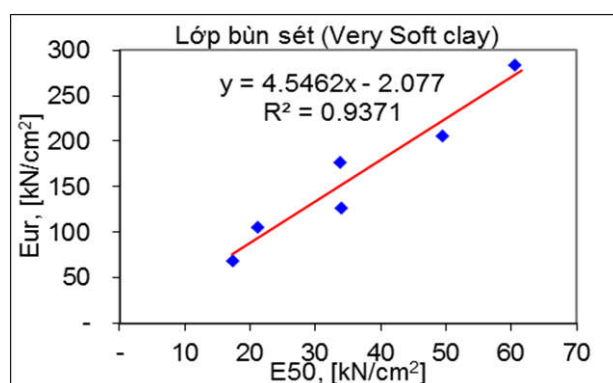
Với bộ tham số mặc định của mô hình HS trong Plaxis, thường chọn tỷ số $E_{ur}^{ref}/E_{50}^{ref} = 3$ lần

[10]. Tuy nhiên, thực tế tỷ số này rất khác biệt với từng loại đất khác nhau.

Từ kết quả thí nghiệm trên đất yếu Tp. HCM, tác giả đề xuất tỷ số này như Bảng 5.

Bảng 5 Hệ số tương quan E_{ur}/E_{50} của đất yếu TP. HCM

Độ sâu [m]	σ_c [kN/cm ²]	E_{50} [kN/cm ²]	E_{ur} [kN/cm ²]	$\frac{E_{ur}}{E_{50}}$
<i>Lớp bùn sét (Very soft clay)</i>				
4 ÷ 6	0.5	17.29	68.98	3.99
	1.0	33.88	127.27	3.76
	2.0	46.97	205.90	4.16
12 ÷ 14	1.0	21.15	106.09	5.02
	2.0	33.72	177.23	5.26
	4.0	60.51	284.03	4.69
<i>Lớp sét yếu (Soft clay)</i>				
18 ÷ 20	1.0	20.72	99.39	4.80
	2.0	29.12	149.33	4.87
	4.0	52.05	276.73	5.32
24 ÷ 26	1.0	22.93	108.31	4.72
	2.0	34.35	173.42	5.05
	4.0	64.69	298.81	4.62



Hình 14. Tương quan $E_{ur}^{ref} - E_{50}^{ref}$ của đất yếu Tp. HCM

Từ đó, đề xuất giá trị trung bình của hệ số tương quan $E_{ur}^{ref}/E_{50}^{ref}$ cho đất yếu Tp. HCM là:

$$\text{- Lớp bùn sét } \frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} = [3.99 \div 5.26] \quad (20)$$

$$\text{Phương trình hồi quy: } E_{ur}^{ref} = 4.5462E_{50}^{ref} - 2.077, R^2 = 0.9371 \quad (21)$$

$$\text{- Lớp sét yếu } \frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} = [4.62 \div 5.32] \quad (22)$$

$$\text{Phương trình hồi quy: } E_{ur}^{ref} = 4.8383E_{50}^{ref} + 2.5745, R^2 = 0.9766 \quad (23)$$

Tỷ số này có sự khác biệt khá lớn so với giá trị mặc định trong Plaxis theo như Vemeer [7] với mọi loại đất là:

$$\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} \approx 3 \quad (24)$$

5. KẾT LUẬN

- Độ cứng của đất nền phụ thuộc vào trạng thái ứng suất, sự phụ thuộc của độ cứng vào trạng thái ứng suất của đất yếu Tp. HCM nằm trong khoảng:

Xác định từ thí nghiệm ba trục thoát nước thông qua E_{50} :

- Lớp bùn sét: $m = [0.72 \div 0.93]$
- Lớp sét yếu: $m = [0.72 \div 0.84]$

Xác định từ thí nghiệm ba trục thoát nước thông

qua E_{ur} :

- Lớp bùn sét: $m = [0.82 \div 0.92]$
- Lớp sét yếu: $m = [0.79 \div 0.84]$

Giá trị m trung bình cho đất yếu Tp. HCM:

- Lớp bùn sét: $m \approx 0.86$
- Lớp sét yếu: $m \approx 0.80$

- Đất có mô đun lớn đáng kể và phi tuyến tính trong lộ trình ứng suất dỡ tải và gia tải lại, độ cứng thực sự của đất cao hơn nhiều so với mô đun biến dạng thu được từ các thí nghiệm thông thường. Với đất yếu Tp. HCM tỷ số $E_{ur}^{ref} / E_{50}^{ref}$ như sau:

$$\text{▪ Lớp bùn sét } \frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} = [3.99 \div 5.26]$$

$$\text{▪ Lớp sét yếu } \frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} = [4.62 \div 5.32]$$

REFERENCES

- [1] ASTM D 4186 – 89 (Reapproved 1998), *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading*;
- [2] BS 1377:2016, *Methods of test for soils for civil engineering purposes*;
- [3] Brinkgreve R. B. J. (2005), *Selection of Soil Models and Parameters for Geotechnical Engineering Application*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE;
- [4] Janbu N., (1963) *Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests*. In:

- Proceedings of European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Wiesbaden; 1963. p. 19e25;
- [5] Long P.V., D.T. Bergado, Nguyen L.V. and Balasubramaniam A.S. (2013), “Design and Performance of Soft Ground Improvement Using PVD with and without Vacuum Consolidation”, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol. 44 No.4 December 2013 ISSN 0046-5828.
- [6] R. H. G. Parry, Ph.D., A.M.I.E.Aust., *Triaxial Compression and Extension*
- [7] Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. and Brinkgreve R. B. J. (1999), *Hardening Soil Model: Formulation and Verification*, Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Balkema, Rotterdam, pp. 281-290;
- [8] K. Terzaghi, R. B. Peck & G. Mesri, *Soil Mechanics in engineering practice 3rd ed.*, John Willey, 1995;
- [9] Usmani A., *Characterization of shear strength behavior of Delhi silt and application to boundary value problems*, PhD Thesis. Delhi: Indian Institute of Technology Delhi, 2007;
- [10] Von Soos P., *Properties of soil and rock*. In: *Grundbautaschenbuch*, Part 4. 4th ed. Berlin: Ernst and Sohn; 1980 (in German);