

## **LỰA CHỌN MÔ HÌNH ĐẤT PHÙ HỢP CHO PHÂN TÍCH CỐ KẾT THOÁT NƯỚC NỀN SÉT YẾU**

**Nguyễn Hồng Trường<sup>1</sup>, Mai Quốc Khánh<sup>1</sup>, Nguyễn Tiếp Tân<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Dùng phương pháp phần tử hữu hạn mô phỏng lại thí nghiệm mô hình vật lý với các mô hình đất khác nhau (Soft Soil và Cam Clay cải tiến). Kết quả tính toán cho thấy đường lún theo thời gian trùng xít tương đối với số liệu quan trắc mô hình vật lý khi đất sét yếu được mô phỏng theo mô hình Cam - Clay cải tiến. Áp dụng mô hình đất Cam - Clay cải tiến mô phỏng tính toán công trình đường Tân Vũ - Lạch Huyện và Nội Bài - Lào Cai cũng cho kết quả hoàn toàn phù hợp với quan trắc thực tế. Các đường lún theo thời gian có cùng xu thế với đường quan trắc, giá trị lún sai khác ở thời điểm kết thúc quan trắc lần lượt là 5,7% và 7,0% tương đối nhỏ và có thể chấp nhận được. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đề nghị lựa chọn mô hình đất Cam - Clay cải tiến để mô phỏng phân tích cố kết nền sét yếu cho trường hợp xử lý nền bằng phương pháp gia tải trước kết hợp thoát nước thẳng đứng.

**Từ khóa:** nền đất yếu, mô hình đất, gia tải trước, thoát nước thẳng đứng.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Phát triển cơ học đất hiện nay và trong tương lai, vấn đề nảy sinh không phải là giải các bài toán phức tạp về mặt toán học, cũng không phải là việc khởi tạo các mô hình đất mới mà là trong việc lựa chọn các mô hình này và xác định đúng đắn các đặc trưng tính toán của đất dùng cho mô hình. Thông thường mỗi mô hình sẽ phù hợp với một số loại đất nền nhất định.

Dựa vào các mô hình đất nền và áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán ứng suất, biến dạng, thấm, áp lực nước lỗ rỗng... của đất nền. Hiện nay các phần mềm phổ biến trong tính toán địa kỹ thuật trên thế giới và ở nước ta như: Plaxis, Geo-Slope, Sage crisp. Các phần mềm này đòi hỏi người dùng phải lựa chọn mô hình đất và các thông số mô hình để áp dụng. Đây là vấn đề chưa được nghiên cứu nhiều ở Việt Nam.

Trong nghiên cứu này, để lựa chọn được mô hình đất phù hợp trong phân tích lún cố kết, sẽ tiến hành mô phỏng bằng phần mềm Plaxis mô hình vật lý đã được nghiên cứu với nhiều loại

mô hình đất. Mô hình đất được cho là phù hợp dựa trên cơ sở có kết quả tính toán (lún và biến thiên áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian) trùng xít tương đối với kết quả quan trắc từ mô hình vật lý.

### **2. CÁC MÔ HÌNH ĐẤT PHI TUYẾN**

Hiện nay trong các ứng dụng thực tế, mô hình đàn hồi - dẻo lý tưởng Mohr - Coulomb thường được sử dụng rộng rãi vì tính đơn giản của nó và các thông số đất có thể dễ dàng thu được từ phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, mô hình này có nhiều hạn chế: thứ nhất, các quan hệ phi tuyến của đất trước khi phá hoại không được mô hình; thứ hai, nó không thể tạo ra áp lực lỗ rỗng đáng tin cậy trong quá trình gia tải không thoát nước. Việc sử dụng mô hình đất thích hợp là đặc biệt quan trọng trong tính toán cố kết nền đất yếu, bởi vì ứng xử thông thường của đất là phi tuyến, không hồi phục và ảnh hưởng bởi thời gian. Chính vì vậy, nghiên cứu chỉ xem xét các mô hình đất phi tuyến.

#### **2.1. Mô hình Hardening Soil**

Ứng xử của đất là ứng xử không phục hồi được, có hiện tượng chảy dẻo và giãn nở khi chịu trượt. Vì vậy chỉ có lý thuyết dẻo mới mô tả được ứng xử của đất. Trong mô hình này, các

---

<sup>1</sup> Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

<sup>2</sup> Công ty TNHH MTV KTTL Dầu Tiếng.

biến dạng đàn hồi hoàn toàn (thuận nghịch) và biến dạng dẻo ngay từ bắt đầu tăng tải lên môi trường, kể cả khi trạng thái trước giới hạn, được nghiên cứu và xác định riêng biệt và độc lập với nhau. Cũng như đối với mô hình Mohr- Coulomb, trạng thái ứng suất giới hạn được mô tả bởi các trị số góc ma sát  $\varphi$ , lực dính  $c$ , và góc nở  $\psi$ . Tuy nhiên, độ cứng của đất được mô tả chính xác hơn bằng cách dùng ba độ cứng đầu vào khác nhau: độ cứng gia tải ba trục  $E_{50}$ , độ cứng dỡ tải ba trục  $E_{ur}$ , và độ cứng gia tải một trục (oedometer)  $E_{oed}$ .

Các thông số đầu vào của mô hình Hardening Soil:

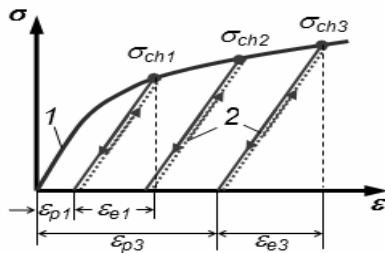
$c$  - lực dính (có hiệu);  $\varphi$  - góc ma sát trong;  $\psi$  - góc giãn nở

Các thông số cơ bản cho độ cứng của đất:

$E_{50}^{ref}$ : độ cứng cát tuyến trong TN ba trục;

$E_{oed}^{ref}$ : độ cứng tiếp tuyến trong TN oedometer;

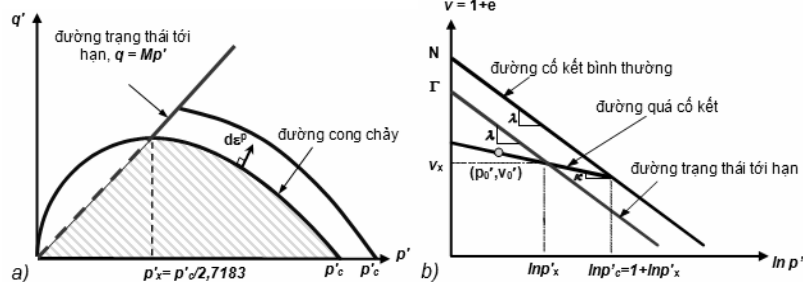
$m$  - số mũ biểu thị quan hệ ứng suất - độ cứng.



Hình 1. Quan hệ ứng suất ~ biến dạng (Nguyễn Hữu Thái, 2014)

## 2.2 Mô hình Cam Clay

Mô hình Cam - Clay cải tiến là một mô hình



Hình 2. Ứng suất-biến dạng trong các hệ tọa độ (Nguyễn Hữu Thái, 2014)

**Mô hình đất Cam-Clay cải tiến** được xây dựng trên cơ sở mô hình Cam-Clay với hàm chảy đơn giản hóa theo đề nghị của Britti & Gunn (1990) và được Youssef M.A.Hashash (1992) nghiên cứu áp dụng tại Mỹ.

đặc trưng của đất dính trong cơ học đất trạng thái giới hạn. Đất trải qua lịch sử chịu tải có thể trở nên cứng hơn. Điều này đã được chứng thực qua kinh nghiệm lịch sử cũng như các kết quả thí nghiệm nén mẫu một chiều (Chu Tuấn Hạ, 2011).

Mô hình Cam - Clay là mô hình trạng thái tới hạn, sử dụng các ứng suất hiệu quả. Đường trạng thái tới hạn (TTTH) thể hiện trên mặt phẳng  $q'/p'$  là:

$$q' = Mp' \quad (1)$$

thể hiện trên mặt phẳng  $v/\ln p'$  là:

$$v = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (2)$$

$v$ : thể tích đặc trưng,  $v = (1+e)$ ;  $p'$ - ứng suất nén trung bình;  $\Gamma$  - giá trị thể tích riêng ( $v$ ) tại  $p' = 1,0 \text{ kN/m}^2$ ;

$\lambda$  - Độ dốc của đường nén nguyên thủy trong hệ tọa độ  $v - \ln p'$ ;

$M$  - độ dốc của đường TTTH, có quan hệ với góc ma sát trong  $\varphi'$  của đất. Đối với trường hợp nén ba trục,  $M$  có thể được biểu thị:

$$M = \frac{6 \sin \varphi'}{3 - \sin \varphi'} \quad (3)$$

Các thông số mô hình Cam - Clay:

$\lambda$  - Độ dốc của đường cố kết thường,

$$\lambda = C_s / \ln 10; \quad (4)$$

$\kappa$  - Độ dốc của đường giãn nở:

$$\kappa \cong C_s / \ln 10; \quad (5)$$

$M$  - Độ dốc của đường trạng thái giới hạn trong mặt phẳng  $p/q'$ ;

$\nu_{ur}$  - hệ số Poisson trường hợp không gia tải;

$e_{init}$  - Hệ số rỗng ban đầu của đất.

quyết được nhiều vấn đề nên số lượng thông số mô hình khá công kênh. Việc xác định các thông số mô hình cần cả thí nghiệm nén một hướng và thí nghiệm nén ba trục.

### 2.3. Mô hình Soft Soil

Mô hình Soft Soil được sử dụng để nhằm mô phỏng các loại đất yếu, có hệ số nén lớn. Trong thực tế, các loại đất này thường là đất sét, bùn ở trạng thái cô kết thường, bão hòa nước. Mô hình Soft Soil dựa trên đồng thời cả hai mô hình Mohr - Coulomb và mô hình Cam - Clay. Tuy nhiên, mô hình này có hiệu chỉnh so với các hai mô hình mà nó dựa vào (Chu Tuấn Hạ, 2011).

Các thông số đầu vào của mô hình Soft Soil:

$$\lambda^*: \text{ chỉ số nén hiệu chỉnh, } \lambda^* = \frac{C_c}{2,3 \cdot (1+e)} \quad (6)$$

$$K^*: \text{ chỉ số nở hiệu chỉnh, } K^* \approx \frac{2}{2,3} \cdot \frac{C_r}{(1+e)} \quad (7)$$

c - lực dính;  $\varphi$  - góc ma sát trong;  $\psi$  - góc nở

### 3. LỰA CHỌN MÔ HÌNH ĐẤT PHÙ HỢP CHO PHÂN TÍCH LÚN CÓ KẾT NỀN SÉT YẾU

### 3.1. Đặc điểm quan hệ ứng suất biến dạng của đất sét yếu

Đất sét yếu ở các trạng thái: chảy, dẻo chảy và dẻo mềm. Các trạng thái này được xác định qua các chỉ tiêu vật lý như độ sệt, các chỉ tiêu thí nghiệm trực tiếp như Độ ẩm W (%), Hệ số rỗng ( $e_0$ ), Giới hạn chảy (LL), Giới hạn dẻo (PL).

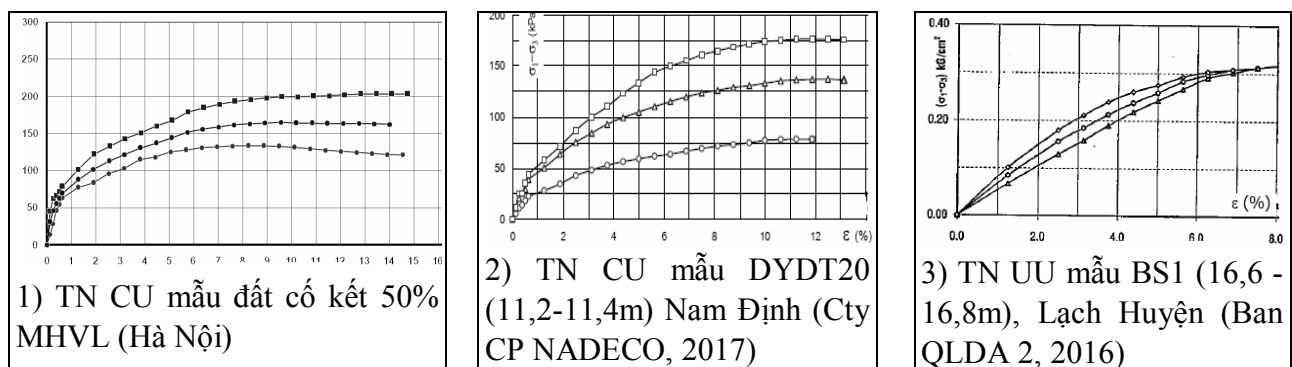
Nghiên cứu thí nghiệm trên máy nén ba trục xây dựng quan hệ ứng suất - biến dạng của đất sét mềm yếu nhằm phát hiện ứng xử phù hợp với các mô hình đất.

Trong nghiên cứu này, ngoài thí nghiệm nén ba trục 13 mẫu đất MHVL còn tham khảo số liệu địa chất của nhiều dự án trọng điểm thuộc các vùng đất yếu điển hình của đồng bằng Bắc Bộ (Hà Nội, Hải Phòng, Nam Định, Ninh Bình) và Nam Bộ (TP. Hồ Chí Minh, Sóc Trăng, Cần Thơ, Bà Rịa - Vũng Tàu, Đồng Tháp). Các chỉ tiêu vật lý và kết quả thí nghiệm nén ba trục của một số mẫu đất sét yếu điển hình như trong Bảng 1 và Hình 3, Hình 4 dưới đây.

**Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của các mẫu thí nghiệm ứng suất - biến dạng**

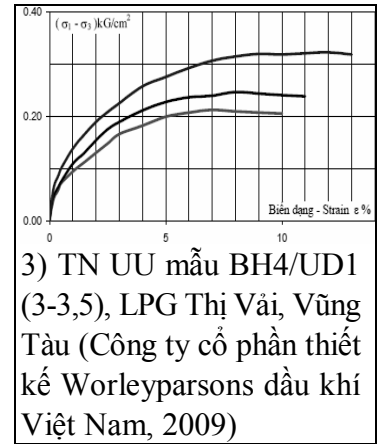
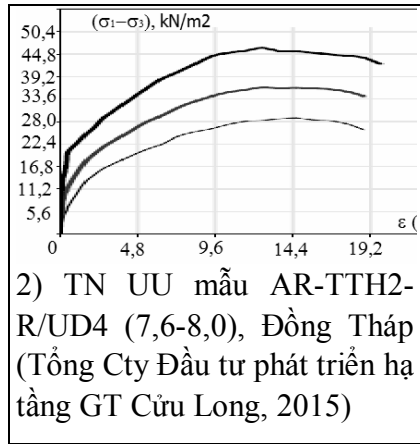
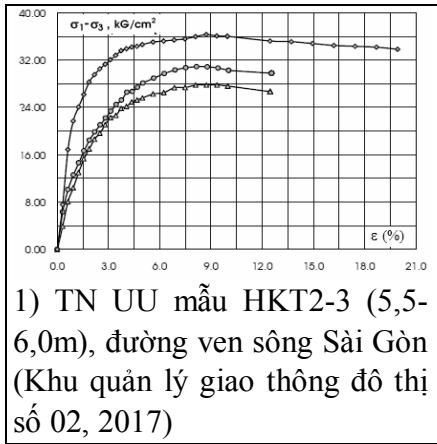
TT	Mẫu đất	Độ ẩm W (%)	Hệ số rỗng $e_0$	Giới hạn chảy LL (%)	Giới hạn dẻo PL (%)	Chỉ số dẻo PI (%)
I) Các mẫu đất khu vực đồng bằng Bắc Bộ						
1.	MHVL cô kết 50% (M <sub>1-5</sub> ), Hà Nội	37,33	1,069	44,71	26,17	18,54
2.	DYDT20 (11,2-11,4) đường trục, Nam Định	38,20	1,198	39,10	26,40	12,70
3.	BS1 (16,6 -16,8), Lạch Huyện - Hải Phòng	49,76	1,380	49,22	27,10	22,10
II) Các mẫu đất khu vực đồng bằng Nam Bộ						
1.	BH4/UD1 (3-3,5), LPG Thị Vải, Vũng Tàu	98,70	2,630	130,7	55,30	75,30
2.	HKT 2-3 (5,5-6,0), đường ven sông Sài Gòn	73,30	2,103	65,40	32,90	32,50
3.	AR-TTH2-R/UD4 (7,6-8,0), Đồng Tháp	50,4	1,389	47,0	30,0	17,0

- Quan hệ ứng suất - biến dạng đất sét yếu khu vực Bắc Bộ



Hình 3. Quan hệ ứng suất - biến dạng mẫu đất sét đồng bằng Bắc Bộ.

- Quan hệ ứng suất - biến dạng đất sét yếu khu vực Nam Bộ



Hình 4. Quan hệ ứng suất - biến dạng mẫu đất sét đồng bằng Nam Bộ

Nhận xét: quan hệ ứng suất - biến dạng các mẫu sét yếu nghiên cứu có dạng phi tuyến (khi tải trọng nhỏ có thể là tuyến tính) vì vậy có thể có nhiều mô hình đất phù hợp với ứng xử này.

**3.2. Nhận định các mô hình đất có thể phù hợp**

Như đã giới thiệu ở trên, mô hình Soft Soil được sử dụng để mô phỏng các loại đất yếu, có hệ số nén lớn, thường là đất sét, bùn ở trạng thái cố kết thường, bão hòa nước; Mô hình đất Cam - Clay cải tiến mô phỏng hiệu quả ứng xử của đất nền dưới các mức tải trọng khác nhau, điều kiện thoát nước trong quá trình thay đổi trạng thái của đất do tác dụng của tải trọng.

Thí nghiệm quan hệ ứng suất - biến dạng trên máy nén ba trục các mẫu đất sét cho thấy các quan hệ này có dạng phi tuyến. Theo phân tích các mô hình đất ở trên thì các mô hình đất Soft Soil và Cam Clay cải tiến đều có thể mô phỏng phù hợp ứng xử của đất sét yếu.

Để lựa chọn được mô hình đất phù hợp hơn trong bài toán phân tích lún cố kết sẽ tiến hành mô phỏng mô hình vật lý (MHVL) bằng phần mềm Plaxis với hai mô hình đất này. Mô hình đất được lựa chọn phù hợp dựa trên cơ sở có kết quả tính toán lún và áp lực nước lỗ rỗng (ALNLR) theo thời gian trùng xít tương đối với kết quả quan trắc MHVL.

**3.3 Mô phỏng mô hình vật lý bằng phần mềm Plaxis với các mô hình đất khác nhau**

**3.3.1 Giới thiệu về nghiên cứu mô hình vật lý**

MHVL được xây dựng tại phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật, Trường ĐH Thủy lợi (Hình 5).

- Mẫu đất: Đất sét Yên Nghĩa, Hà Nội được chế bị tương đồng nền yếu bão hòa nước.

- Bắc thăm được bố trí với khoảng cách (1,0 x1,0) m, xuyên suốt khối đất (1,0 m).

- Bố trí quan trắc ALNLR, lún tại các vị trí độ sâu nghiên cứu.

- Tổng tải trọng gia tải  $p = 25 \text{ kN/m}^2$ , được xác định dựa trên nguyên tắc: i) Tải trọng gia tải nhỏ hơn tải trọng phá hoại đất nền; ii) Tổng tải trọng gia tải trước  $\geq 1,2$  lần tổng tải trọng khai thác của công trình; và iii) Theo điều kiện cố kết trước của nền, tải trọng gia tải phải đủ lớn để nền phát huy được hiệu quả thoát nước (22TCN 262-2000).



Hình 5. Thí nghiệm MHVL

**3.3.2 Mô phỏng mô hình vật lý bằng phần mềm Plaxis 2D**

Trong thực tế quá trình cố kết của bắc thăm là một bài toán đối xứng hình trụ (3D), để giảm khối lượng tính toán, bài toán mô phỏng được chuyển về dạng phẳng (2D). Hệ số thấm của đất được tính toán lại bằng hệ số thấm tương đương theo công thức của Chai, et al (2001), theo đó sẽ đề xuất một giá trị hệ số thấm theo phương đứng mà nó có thể xấp xỉ cho cả hai ảnh hưởng thoát nước theo phương đứng và thoát nước

theo phương ngang của đất nền về phía bắc thẳm. Trong phạm vi cắm bắc thẳm hệ số thẳm theo phương đứng đợc tính chuyển đổi theo công thức (8), hệ số thẳm theo phương ngang giả thiết không đổi.

$$k_{ve} = \left(1 + \frac{2,5l^2}{\mu d_e^2} \cdot \frac{k_h}{k_v}\right) k_v \quad (8)$$

$$\text{với } \mu = \ln\left(\frac{d_e}{d_w}\right) + \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \cdot \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) - \frac{3}{4} + \frac{2\pi}{3} l^2 \frac{k_h}{q_w} \quad (9)$$

Trong đó,  $k_v$ ,  $k_h$  và  $k_s$  lần lượt là hệ số thẳm của đất nền theo phương đứng, phương ngang và trong vùng bị xáo trộn;  $q_w$  là lưu lượng đơn vị thoát nước của bắc thẳm (khi gradient bằng 1).

- Hệ số thẳm của nền sét theo phương ngang  $k_h = 1,03k_v$  theo kết quả thí nghiệm trong phòng và phân tích ngược từ số liệu quan trắc lún

MHVL. Hệ số thẳm của nền sét theo phương đứng đợc tính đổi thành  $k_{ve}$ . Bắc thẳm thiết kế theo mạng hình vuông, khoảng cách 1,0m, chiều sâu  $H = 1,0m$ . Kích thước bắc thẳm:  $a = 10cm$ ,  $b = 0,4cm$ ,  $d_w = (a+b)/2 = 0,052m$ ,  $d_e = 1,05S = 1,05m$ ,  $n = d_e/d_w = 20,19$ . Kết quả quy đổi hệ số thẳm tương đợng như ở Bảng 2.

- Phân tích bài toán cố kết theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), sơ đồ bài toán phẳng, sử dụng phần mềm Plaxis version 8.6. Lưới PTHH bao gồm các phần tử tam giác 15 điểm nút. Bắc thẳm đợc mô phỏng bởi các phần tử "Drain" thoát nước tự do. Mực nước ngầm đợc lấy ngang cao trình mặt nền sét yếu. Ảnh hưởng sức cản của bắc thẳm chưa đợc xem xét trong nghiên cứu này.

**Bảng 2. Quy đổi hệ số thẳm tương đợng ( $k_{ve}$ )**

H	d	$d_e$	$d_w$	$d_s$	$k_h$	$k_v$	$k_s$	n	$\mu$	$k_{ve}$
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	-	-	(cm/s)
1	1	1,05	0,052	0,104	$2,99.10^{-8}$	$2,90.10^{-8}$	$2,90.10^{-8}$	20,19	2,28	$5,88.10^{-8}$

- Lớp đệm cát đợc mô phỏng theo mô hình Mohr - Coulomb với các giá trị thông số mô hình đợc thể hiện trong Bảng 3.

**Bảng 3. Các thông số mô hình lớp cát**

Vật liệu	$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{bh}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_h$ (m/ngày)	$k_v$ (m/ngày)	E (kN/m <sup>2</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (độ)	$\psi$	$\nu$
Cát đệm	17,0	19,5	1,0	1,0	10.000,0	0	30,0	0	0,30

- Nền sét yếu lần lượt đợc mô phỏng bằng mô hình đất Soft Soil và Cam - Clay cải tiến cho hai trường hợp phân tích. Các thông số đợc xác định từ thí nghiệm nén cố

kết và thí nghiệm nén ba trục mẫu đất MHVL. Các thông số mô hình Soft Soil và Cam - Clay cải tiến đợc xác định như ở Bảng 4, Bảng 5.

**Bảng 4. Thông số mô hình đất Soft Soil**

Vật liệu	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (độ)	$\psi$ (độ)	$C_c$	$C_s$	$\lambda^*$	$\kappa^*$
Lớp sét	5,7	$5^057'$	0	0,44	0,056	0,080	0,020

Trong đó: c,  $\phi$ ,  $C_c$ ,  $C_s$  là các chỉ tiêu cơ lý đợc xác định từ các thí nghiệm trong phòng mẫu đất nền MHVL.

$\lambda^*$  : chỉ số nén hiệu chỉnh,

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1+e)} = \frac{0,44}{2,3(1+1,423)} = 0,080$$

$\kappa^*$ : chỉ số nở hiệu chỉnh,

$$\kappa^* \approx \frac{2}{3} \frac{C_s}{(1+e)} = \frac{2}{3} \frac{0,056}{(1+1,423)} = 0,020$$

**Bảng 5. Thông số mô hình đất Cam - Clay cải tiến**

Vật liệu	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (độ)	$\psi$ (độ)	$\phi'_{CU}$ (độ)	$e_{init}$	$\nu_{ur}$	$C_c$	$C_s$	$\lambda$	$\kappa$	M
Lớp sét	5,7	$5^057'$	0	$16^053'$	1,423	0,35	0,44	0,056	0,191	0,024	0,643

Trong đó:  $c$ ,  $\phi$ ,  $\phi'_{CU}$ ,  $e_{init}$ ,  $C_c$ ,  $C_s$  là các chỉ tiêu cơ lý được xác định từ các thí nghiệm trong phòng mẫu đất mô hình vật lý.

$\lambda$ : Độ dốc của đường cô kết thường,  $\lambda = C_c/\ln 10 = 0,44/\ln 10 = 0,191$

$\kappa$ : Độ dốc của đường giãn nở:  $\kappa \cong C_s/\ln 10 = 0,056/\ln 10 = 0,024$

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'}$$

$\phi'$  là góc ma sát hiệu quả

trong thí nghiệm nén ba trục CU

$$M = \frac{6 \sin(16^\circ 53')}{3 - \sin(16^\circ 53')} = 0,643$$

### 3.3.3 Kết quả phân tích lún cổ kết và đề xuất mô hình đất phù hợp

a) Kết quả tính toán lún theo thời gian

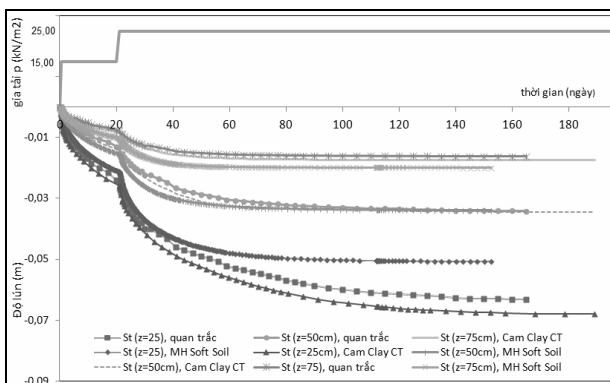
Bảng 6 là kết quả quan trắc và tính toán lún tại các điểm nằm giữa hai bậc thềm (cách bậc thềm 50 cm) ở các vị trí độ sâu 0 cm, 25 cm và 50 cm.

**Bảng 6. Độ lún tại các vị trí độ sâu nghiên cứu**

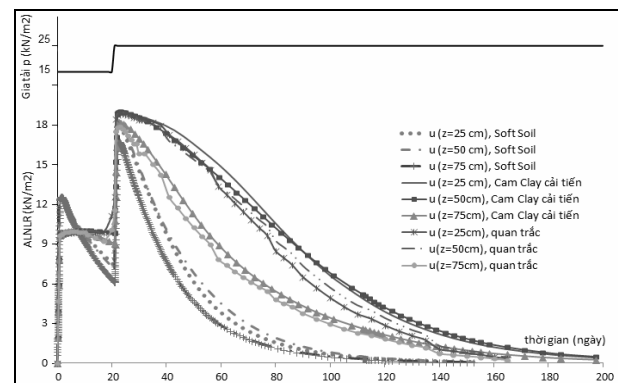
Độ sâu	Độ lún quan trắc MHVL (cm)	Độ lún mô phỏng MH Soft Soil (cm)	Độ lún mô phỏng MH Cam-Clay cải tiến (cm)
$z = 25$ cm	6,33	5,07	6,80
$z = 50$ cm	3,41	3,39	3,45
$z = 75$ cm	1,62	1,99	1,62
Trung bình	3,79	3,48	3,96
Sai số		8,01%	4,49%

Sai số của kết quả tính toán lún theo mô hình Cam-Clay cải tiến so với số liệu quan trắc (4,39%) nhỏ hơn sai số tính toán theo mô hình Soft Soil (8,01%). Như vậy mô phỏng theo mô

hình Cam - Clay cải tiến cho kết quả tính toán lún sát thực tế hơn. Độ lún theo kết quả quan trắc, mô phỏng theo mô hình đất Cam-Clay cải tiến và Soft Soil như trong Hình 6.



Hình 6. So sánh độ lún giữa quan trắc và mô phỏng



Hình 7. So sánh ALNLR giữa quan trắc và mô phỏng

b) Kết quả tính toán ALNLR theo thời gian

Hình 7 là kết quả tính toán ALNLR theo thời gian từ số liệu quan trắc và kết quả mô phỏng. Kết quả cho thấy đường ALNLR tính toán với mô hình Soft Soil có giá trị nhỏ hơn hai đường

còn lại và quá trình suy giảm nhanh hơn. Đường ALNLR quan trắc và đường mô phỏng theo mô hình đất Cam - Clay cải tiến có giá trị tiệm cận nhau. Các trị số ALNLR lớn nhất tại các điểm nghiên cứu như dưới Bảng 7.

**Bảng 7. Trị số ALNLR tại các vị trí độ sâu nghiên cứu**

Độ sâu	ALNLR quan trắc MHVL (cm)	ALNLR mô phỏng MH Soft Soil (cm)	ALNLR mô phỏng MH Cam-Clay cải tiến (cm)
$z = 25$ cm	18,89	17,81	18,93
$z = 50$ cm	18,97	18,18	18,99

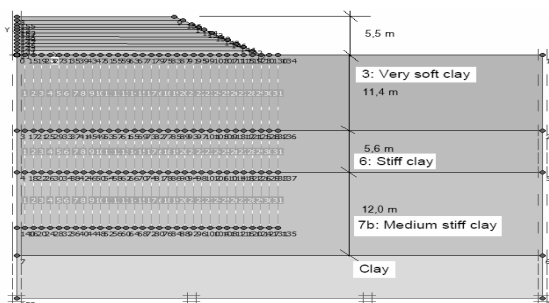
z = 75 cm	17,87	16,73	18,19
Trung bình	18,58	17,57	18,70
Sai số		5,40%	0,68%

Sai số của kết quả tính toán ALNLR theo mô hình Cam - Clay cải tiến so với số liệu quan trắc (0,68%) nhỏ hơn sai số tính toán theo mô hình Soft Soil (5,40%). Như vậy với kết quả phân tích ALNLR mô hình Cam - Clay cải tiến cũng cho kết quả tính toán lún sát thực tế hơn.

### 3.3.4 Đề xuất mô hình đất phù hợp

Bằng việc nghiên cứu MHVL và mô phỏng lại mô hình với hai mô hình đất Soft Soil và Cam-Clay cải tiến; Tính toán trên phần mềm Plaxis, kết quả phân tích lún và ALNLR cho thấy khi mô phỏng theo mô hình đất Cam - Clay cải tiến cho kết quả chính xác, sát thực tế hơn cả về giá trị dự báo cuối cùng cũng như quá trình biến diễn biến theo thời gian.

Như vậy để phân tích quá trình thay đổi trạng thái của đất sét yếu do tác dụng của cổ kết thoát nước với các mức tải trọng gia tải khác nhau thì mô hình đất Cam - Clay cải tiến mô phỏng hiệu quả và chính xác ứng xử của đất. Vì vậy nghiên cứu này đề nghị lựa chọn mô hình đất Cam - Clay cải tiến để mô phỏng phân tích cổ kết nền sét yếu bằng phần mềm Plaxis. Tính đúng đắn của đề nghị này sẽ được thấy rõ khi áp dụng tính toán đối chứng với các công trình thực tế.



## 4. ÁP DỤNG MÔ HÌNH ĐẤT CAM - CLAY CẢI TIẾN TÍNH TOÁN CỔ KẾT CHO CÁC CÔNG TRÌNH THỰC TẾ

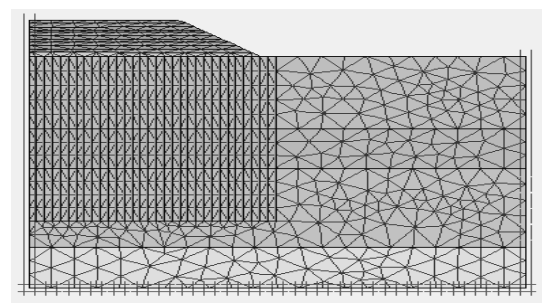
### 4.1 Áp dụng tính toán cho Dự án Tân Vũ - Lạch Huyện

Dự án Cảng Lạch Huyện là dự án cảng Container Quốc tế quy mô lớn. Dự án bao gồm nhiều hạng mục công trình. Nghiên cứu áp dụng tính toán cho mặt cắt Km3+675 đường Tân Vũ - Lạch Huyện.

a) Mô phỏng bài toán bằng phần mềm Plaxis  
- Mặt cắt tính toán: Đường Tân Vũ - Lạch Huyện có mặt cắt ngang 29,5 m. Do tính chất đối xứng nên chỉ cần mô phỏng 1/2 mặt cắt ngang từ tim đường.

Mặt cắt tính toán được rời rạc thành 1305 phần tử tam giác 15 điểm nút. Các biên đứng giới hạn về thẳm và chuyển vị theo phương ngang, biên đáy giới hạn về thẳm và chuyển vị theo phương đứng. Mực nước ngầm nằm dưới 0,6m so với mặt lớp đất yếu số 3.

Mô phỏng hình học, thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ban đầu và phát sinh lưới PTHH như dưới Hình 8.



Hình 8. Thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ban đầu và phát sinh lưới PTHH

- Mô phỏng vật liệu đắp và các lớp đất nền:

Lớp đất đắp (cát) mô phỏng theo mô hình đất Mohr - Coulomb như ở Bảng 8.

Bảng 8. Các thông số mô hình đất Mohr - Coulomb

Lớp đất	$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{bh}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_h$ (m/ngày)	$k_v$ (m/ngày)	E (kN/m <sup>2</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (độ)	$\psi$ (độ)	$\nu$
Cát đắp	18,4	18,7	1,0	1,0	10.000,0	0	30,0	0	0,3

Các lớp đất sét yếu của nền mô phỏng theo mô hình đất Cam - Clay cải tiến với các thông số như ở Bảng 9.

**Bảng 9. Thông số mô hình đất Cam - Clay cải tiến**

Lớp	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (độ)	ψ (độ)	φ' <sub>cu</sub> (độ)	e <sub>init</sub>	v <sub>ur</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	λ	κ	M
3	3,40	4 <sup>o</sup> 34'	0	16 <sup>o</sup> 21'	1,379	0,35	0,43	0,07	0,187	0,030	0,621
6	6,90	5 <sup>o</sup> 54'	0	18 <sup>o</sup> 58'	0,932	0,35	0,29	0,04	0,126	0,017	0,730
7B	3,50	4 <sup>o</sup> 42'	0	16 <sup>o</sup> 54'	1,170	0,35	0,42	0,07	0,182	0,030	0,647
8	11,2	10 <sup>o</sup> 30'	0	22 <sup>o</sup> 37'	0,867	0,35	0,32	0,05	0,139	0,022	0,876

Trong đó: c, φ, φ'<sub>cu</sub>, e<sub>init</sub>, C<sub>c</sub>, C<sub>s</sub> là các chỉ tiêu cơ lý được tham khảo tại Báo cáo khảo sát địa chất của dự án (Ban Quản lý dự án 2, 2017); M, λ, κ, được xác định theo các công thức (3), (4) và (5).

- Mô phỏng các giai đoạn tính toán theo quá trình thi công trong thực tế.

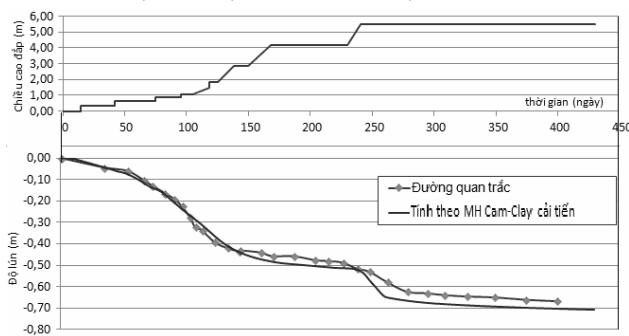
Chi tiết về thiết kế xử lý và quá trình thi công đắp nền theo các giai đoạn như trong Bảng 10.

**Bảng 10. Các giai đoạn thi công đắp nền**

Vị trí	Xử lý nền (PVD)			Quá trình thi công		
	Chiều sâu (m)	Khoảng cách (m)	Lớp đệm cát (m)	Chiều cao đắp theo các giai đoạn (m)	Thời gian thi công (ngày)	Thời gian chờ (ngày)
Km3+620 ÷ Km3+675	25	0,8	0,6	Giai đoạn 1: 3,8	138	62
				Giai đoạn 2: 1,1	10	160

**b) Kết quả phân tích lún cố kết**

Quan trắc hiện trường công trình tại mặt lớp đất yếu (lớp 3) tại vị trí tim mặt cắt ngang đường. Kết thúc quá trình quan trắc lún, độ lún đo được là 0,667 m. Kết quả theo mô phỏng cho độ lún là 0,707 m, chênh lệch 5,7%.



Hình 9. So sánh kết quả quan trắc lún và mô phỏng

Hình 9 cho thấy, tại thời điểm gia tải đầu, độ lún quan trắc lớn hơn tính toán một chút là do thực tế có độ lún tức thời khi nước chưa kịp thoát ra, đất biến dạng như vật thể đàn hồi. Đường theo tính toán “nhạy” hơn với tác dụng của tải trọng ở thời điểm tăng tải, do trong mô phỏng các điều kiện làm việc đều lý tưởng hơn

thực tế, chẳng hạn như trong thực tế bắc thấm có thể bị xoắn làm giảm dòng chảy thoát nước, hiệu quả thoát nước giảm dần theo thời gian và nhiều các yếu tố khác. Tuy nhiên các đường lún theo thời gian có cùng xu thế diễn biến và gần sát nhau, giá trị quan trắc tiến gần đến tính toán khi đất cố kết hoàn toàn.

**4.2 Áp dụng tính toán cho đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai**

**a) Mô phỏng bài toán bằng phần mềm Plaxis**

Áp dụng mô hình đất Cam clay cải tiến tính toán cho đường Nội Bài - Lào Cai tại Km 36+590 có mặt cắt ngang 25,5 m. Do tính chất đối xứng nên chỉ cần mô phỏng ½ mặt cắt ngang từ tim đường. Mặt cắt tính toán thể hiện trên Hình 14.

Mặt cắt tính toán được rời rạc thành 1296 phần tử tam giác 15 điểm nút. Các biên đứng giới hạn về thấm và chuyển vị theo phương ngang, biên đáy giới hạn về thấm và chuyển vị theo phương đứng. Mực nước ngầm nằm sâu 0,9m so với mặt lớp đất yếu số 1.

- Mô phỏng các lớp sét yếu: Các lớp sét yếu



được mô phỏng theo mô hình đất Cam Clay cải tiến. Các thông số mô hình xác định dựa trên Báo cáo khảo sát địa chất công trình Km26 +

700 ÷ Km48 + 820 (Ban QLDA Đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai, 2012) và được thể hiện trong Bảng 11.

**Bảng 11. Thông số mô hình đất Cam - Clay cải tiến cho đất sét yếu**

Lớp	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (độ)	ψ (độ)	φ' <sub>cu</sub> (độ)	e <sub>init</sub>	v <sub>ur</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	λ	κ	M
1	32,5	12,35	0	21 <sup>0</sup> 15'	0,911	0,35	0,112	0,03	0,049	0,013	0,821
2	9,50	19,40	0	19 <sup>0</sup> 58'	0,6	0,35	0,098	0,014	0,043	0,006	0,771
3	25,0	6,60	0	15 <sup>0</sup> 41'	1,036	0,35	0,22	0,032	0,095	0,014	0,594

- Các giai đoạn tính toán mô phỏng giống như quá trình thi công trong thực tế.

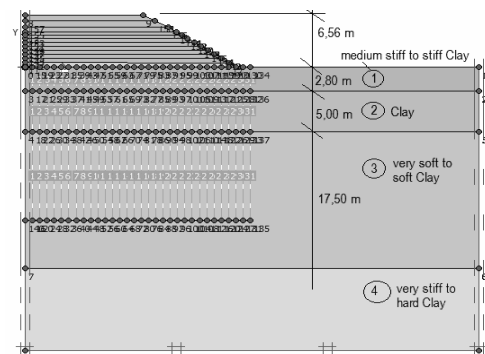
**Bảng 12. Thiết kế xử lý và thi công đắp đường Nội Bài - Lào Cai, Km 36+590**

Mặt cắt quan trắc	Thiết kế xử lý nền (PVD)			Quá trình thi công đắp đất			
	Chiều sâu (m)	Khoảng cách (m)	Lớp đệm cát (m)	Đắp cát đệm và cắm bấc thấm (ngày)	Chiều cao đắp (1 giai đoạn) (m)	Thời gian thi công (ngày)	Thời gian chờ (ngày)
Km 36+590	19	1,3	0,5	25	6,56	271	60

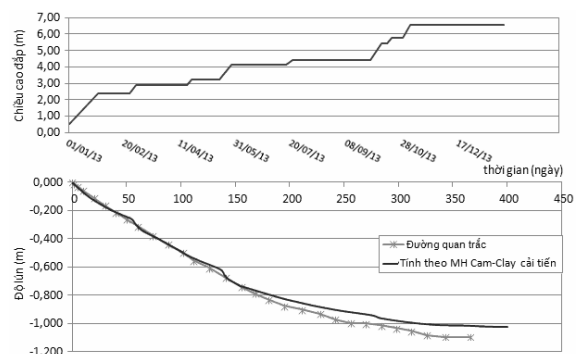
b) Kết quả phân tích cố kết

Quan trắc lún tại độ sâu giữa lớp đất sét yếu (lớp 3) ở vị trí tim mặt cắt ngang đường. Kết thúc thời gian chờ cố kết, độ lún đo được là 1,093 m. Kết quả mô phỏng, tính toán lún

tại điểm này, kết quả cho độ lún là 1,01 m, nhỏ hơn độ lún quan trắc 7,0%. Đường lún theo thời gian theo số liệu quan trắc và theo kết quả mô phỏng được trình bày trong biểu đồ Hình 11.



Hình 10. Thiết lập mô phỏng bài toán



Hình 11. Kết quả phân tích lún cố kết

## 5. KẾT LUẬN

Mỗi mô hình sẽ phù hợp với một số loại đất nền nhất định. Việc sử dụng mô hình đất thích hợp là đặc biệt quan trọng trong phân tích địa kỹ thuật.

Nghiên cứu để lựa chọn mô hình đất phù hợp trong phân tích lún cố kết bằng cách mô phỏng mô hình vật lý nền sét yếu được xử lý gia tải trước kết hợp thoát nước thẳng đứng bằng phần mềm Plaxis lần lượt với các mô hình đất Soft Soil và Cam - Clay cải tiến. Kết quả cho thấy giá trị lún, đường lún và biến thiên ALNLR theo thời gian khi mô phỏng theo mô hình đất Cam - Clay

cải tiến cho kết quả chính xác, sát thực tế hơn khi mô phỏng đất nền theo mô hình Soft Soil.

Mô phỏng đất sét yếu bằng mô hình đất Cam - Clay cải tiến tính toán công trình đường Tân Vũ - Lạch Huyện và Nội Bài - Lào Cai cũng cho thấy kết quả tính toán hoàn toàn phù hợp với quan trắc thực tế, các đường lún theo thời gian có cùng xu thế diễn biến, giá trị lún sai khác ở thời điểm kết thúc quan trắc lần lượt là 5,7% và 7,0% tương đối nhỏ và có thể chấp nhận được.

Trên cơ sở đó đề nghị lựa chọn mô hình đất Cam - Clay cải tiến để mô phỏng phân tích cố

kết nền sét yếu cho trường hợp xử lý nền bằng phương pháp gia tải trước kết hợp thoát nước thẳng đứng.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, MHVL với các thành bên là biên cứng, hạn chế chuyển vị ngang tại điểm lân cận biên; đất trong mô hình là đất chế bị nên chưa phản được đầy đủ các ứng xử của đất nền tự nhiên. Vì vậy, cần có

nghiên cứu bổ sung với thí nghiệm hiện trường cho đất nền nguyên trạng, mô phỏng bài toán cố kết thấm của mô hình thí nghiệm và các dự án thực tế khác theo mô hình bài toán không gian có xét đến các yếu tố như: mưa, diễn biến mực nước ngầm,... nhằm phản ánh được đầy đủ quá trình cố kết của nền đất trong thực tế và từ đó đưa ra kết luận đầy đủ hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 22TCN 262-2000, *Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu*.
- Ban Quản lý dự án 2, 2015, Dự án xây dựng hạ tầng cảng Lạch Huyện - Báo cáo khảo sát địa chất K0+00 ÷ K4+401 đường Tân Vũ Lạch Huyện.
- Ban Quản lý dự án Đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai, 2012, Báo cáo khảo sát địa chất công trình Km26+700 ÷ Km48+820, Dự án đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai.
- Chu Tuấn Hạ, 2011, *Nghiên cứu phân tích mô hình đất nền Hà Nội cho hố đào sâu*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật - Đại học kiến trúc Hà Nội.
- Công ty Cổ phần NADECO, 2017, Báo cáo khảo sát địa chất công trình Cầu Tam Hòa - Dự án Xây dựng đường trục phát triển nổi vùng kinh tế biển Nam Định.
- Công ty cổ phần thiết kế Worleyparsons dầu khí Việt Nam, 2009, Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình, dự án tổng kho chứa LPG lạnh Thị Vải.
- Khu quản lý giao thông đô thị số 02, 2017, Báo cáo khảo sát địa chất công trình cầu qua đảo Kim Cương, đường ven sông Sài Gòn.
- Nguyễn Hữu Thái, 2014, *Bài giảng các mô hình đất trong phân tích địa kỹ thuật*, ĐH Thủy lợi.
- Tổng Công ty Đầu tư phát triển hạ tầng giao thông Cửu Long, 2015, Báo cáo khảo sát Cầu Đình Chung (Đồng Tháp), Dự án kết nối trung tâm đồng bằng Mê Kông.
- Jin Chun Chai, Shui Long Shen, Norihiko Miura and Dennes T.Bergado, 2001, Simple Method of Moderning PVD- Improved Subsoil, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering / November 2001/975.
- Youssef M.A.Hashash, 1992, *Analysis of deep excavations in clay*. Massachusetts institute of technology, pp.68-77.

### Abstract:

## CHOOSING A COMPATIBLE SOIL MODEL FOR ANALYZING CONSOLIDATION OF WEAK CLAY GROUND

*Utilizing the finite element method to model physical model with different soil model (soft soil, modified Cam-Clay). The calculated outcomes by modified cam-clay reveal that a line of settlement-time is relatively close to the data of settlement monitoring of the physical model. The traffic project Tanvu-Lachhuyen and Noibai-Laocai modeld by modified Cam-Clay have outputs that are the same as the real data. The lines of settlement-time and the oserved lines have a common trend with 5,7 % and 7,0% of settlement at the end of line respectively, which are small and acceptable. According to the outcome, the research suggest that choosing the modified Cam-Clay to model and analyze the consolidating problems of weak clay by pre-surcharge combining with prefabricated vertical drain.*

**Keywords:** soft soil ground, material models, pre-surcharge, prefabricated vertical drain.

---

Ngày nhận bài: 15/9/2017

Ngày chấp nhận đăng: 20/10/2017