

# TƯƠNG QUAN SỨC CHỐNG CẮT KHÔNG THOÁT NƯỚC CỦA SÉT MỀM THEO ĐỘ SÂU VÀ MỨC ĐỘ NÉN CHẶT

ThS. Lê Hoàng Việt \*

ThS. Huỳnh Văn Hiệp \*\*

## Tóm tắt

*Trong thực tế, sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  phụ thuộc đáng kể vào độ chặt của đất nên phụ thuộc độ sâu và trạng thái ứng suất. Việc thiết lập tương quan giữa  $S_u$  và độ chặt của đất là cơ sở giúp dự báo sự thay đổi  $S_u$  theo thời gian dưới tác dụng của tải trọng ngoài. Kết quả nghiên cứu cho phép xây dựng tương quan sức chống cắt không thoát nước của sét mềm bão hòa nước khu vực khá chặt chẽ theo trạng thái ứng suất và độ chặt.*

## Abstract

*In fact, undrained shear strength  $S_u$  depends significantly on the density of the soil, its depth and its stress state. Establishing a correlation between  $S_u$  and the density of the soil is a facility of  $S_u$  forecast its changes over time under the effect of external load. The research results allow to establish undrained shear strength correlation of saturated soft clay of the area on the stress state and density.*

## 1. Một số tương quan sức chống cắt không thoát nước của đất loại sét

Thí nghiệm nén ba trục theo sơ đồ không cố kết, không thoát nước (UU) và thí nghiệm cắt cánh hiện trường (VST) với hệ số hiệu chỉnh thích hợp là cách tốt nhất để xác định sức chống cắt không thoát nước của đất sét khi sử dụng để phân tích ổn định công trình. Nhiều tương quan giữa sức chống cắt không thoát nước với các chỉ tiêu vật lý cơ bản như độ ẩm  $W$ , giới hạn chảy  $LL$ , chỉ số dẻo  $PI$  đã được nghiên cứu và kiến nghị trong các bài viết của Bjerrum (1972), Azzouz (1983), Duncan (1989), Kulhawy và Mayne (1990), Morris và Williams (1994). Trong các tương quan đó, các tác giả đều quan niệm đất nền bão hòa, tức là xem  $\varphi \sim 0$  và sức chống cắt được biểu thị bằng lực dính không thoát nước  $C_u$  (hay  $S_u$ ).

Sự tăng độ bền sức chống cắt  $S_u$  theo ứng suất hữu hiệu thường được biểu thị bằng tỷ số ( $S_u/\sigma'_{vo}$ ). Tỷ số này có thể được xem là cơ sở hữu ích để đặc trưng cho sức chống cắt không thoát nước của đất sét. Các tương quan giữa tỷ số ( $S_u/\sigma'_{vo}$ ) và chỉ số dẻo cho sét cố kết thường (NC) được đưa ra. Đầu tiên là của Skempton (1948). Sau đó, Bjerrum (1972) đề nghị sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  nên xác định từ kết quả thí nghiệm cắt cánh hiện trường được hiệu chỉnh theo hệ số  $\mu$ . Gần đây, tương quan hoàn chỉnh hơn được đưa ra bởi Terzaghi, Peck và Mersi (1996). Quan niệm tỷ số ( $S_u/\sigma'_{vo}$ ) cho sét cố kết thường (NC) cũng được mở rộng thêm và phù hợp cho sét quá cố kết (OC) như kết quả nghiên cứu theo SHANSEP.

Các kết quả nghiên cứu khác cho thấy sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  của đất sét bão hòa nước khác nhau theo các phương pháp thí nghiệm khác nhau và phụ thuộc vào hàng loạt các yếu tố như điều kiện thí nghiệm, lịch sử ứng suất (thông qua giá trị OCR), cơ chế phá hoại (thông qua giá trị  $A_f$ ), tính bất đẳng hướng (điều kiện trầm tích) [5], [6], [8].

## 2. Cơ sở thiết lập tương quan độ chặt - ứng suất nén

Để đánh giá và dự báo  $S_u$  theo độ chặt, trước tiên cần xây dựng tương quan giữa độ chặt và trạng thái ứng suất.

Từ đường cong nén lún e-p một mẫu đất, có thể thiết lập được phương trình đường cong nén lún dưới dạng [7]:

$$e(z) = e(0) - b[1 - \exp(-az)] \quad (1)$$

Ở đây: a, b – các hệ số xác định từ kết quả thí nghiệm mẫu đất.

e(0)- hệ số rỗng của đất trên bề mặt (hệ số rỗng trong điều kiện thí nghiệm vật lý trong phòng).

\* Khoa Xây dựng-Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

\*\* Khoa Kỹ thuật và Công nghệ-Trường Đại học Trà Vinh

Từ đó xác định được quy luật thay đổi tải trọng nén chặt theo độ sâu của lớp đất bằng quan hệ:

$$\sigma(z) = \int_0^z \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{[1 + e(z)]} dz \tag{2}$$

Với  $\gamma_s$  và  $\gamma_w$  – dung trọng hạt và dung trọng nước

Thay (1) vào (2) và giải tích phân:

$$\sigma(z) = \left[ -\frac{\gamma_s - \gamma_w}{a(1 + e_0 - b)} \right] \ln \left\{ \frac{b}{1 + e_0} + \left[ 1 - \frac{b}{1 + e_0} \right] \exp(-az) \right\} \tag{3}$$

Từ đó:  $e(z) = e(0) - \frac{b}{1 + e_0} \left[ \exp\left(\frac{a_0 \sigma_z}{d_0}\right) - 1 \right] \exp\left(-\frac{a_0 \sigma_z}{d_0}\right) \tag{4}$

Với:  $a_0 = (1 + e_0 - b); e_0 = 1 - \frac{b}{1 + e_0}$

$b_0 = \frac{b}{1 + e_0}; d_0 = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$

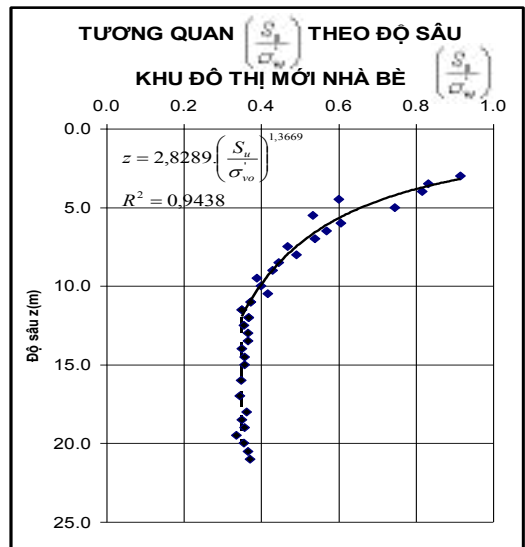
Như vậy, độ chặt (e) phụ thuộc ứng suất nén tác dụng và tuân theo quy luật phi tuyến với hàm mũ của cơ số logarit tự nhiên.

Một số loại đất sét cấu trúc tự nhiên, quan hệ giữa hệ số rỗng và ứng suất chính hữu hiệu là  $\ln(e+ec) - \ln(p')$  (trong đó ec là thông số của đất) tốt hơn là quan hệ  $e - \ln(p')$ . Theo đề nghị của J.C. Chai, N. Miura, H.H. Zhu và Yudhbir, sét cấu trúc tự nhiên có độ nhạy >4, quan hệ  $\ln(e+ec) - \ln(p')$  có thể được sử dụng trong tính toán cổ kết và tính lún. Hiệu quả bước đầu của quan hệ  $\ln(e+ec) - \ln(p')$  được thảo luận trong quan hệ ứng xử tính toán từ đường cong tải trọng-lún và nén cổ kết của sét cấu trúc tự nhiên. Quan hệ  $\ln(e+ec) - \ln(p')$  được kết hợp chặt chẽ với mô hình Sét Cam bằng cách bổ sung định luật hóa cứng của mô hình [4]. Theo đó, khi đã xác định được ứng suất hữu hiệu, hoàn toàn có thể xác định độ chặt tương ứng e tại điểm đáng xét.

Độ chặt của sét mềm bão hòa nước phụ thuộc đáng kể vào trạng thái ứng suất. Càng xuống sâu, ứng suất do trọng lượng bản thân càng tăng, độ chặt của đất càng tăng. Nếu thiết lập được tương quan giữa độ chặt và ứng suất, giữa sức chống cắt không thoát nước và độ chặt thì hoàn toàn có thể xác định được  $S_u$  từ trạng thái ứng suất.

**3. Tương quan sức chống cắt không thoát nước của sét mềm theo độ sâu và mức độ nén chặt.**

Như đã tổng kết và trình bày trước đó [1], quan hệ tỷ số  $(S_u / \sigma'_{vo})$  và độ sâu thể hiện rõ ràng nhất theo kết quả cắt cánh. Ở đây, từ độ sâu 12m trở lên, quan hệ  $(S_u / \sigma'_{vo})$  và độ sâu có đặc điểm phi tuyến và tỷ số  $(S_u / \sigma'_{vo})$  giảm dần theo độ sâu. Kết quả tổng hợp từ hơn 30 điểm cắt cánh tới độ sâu hơn 20m ở khu vực Nhà Bè cho thấy tương quan giữa độ sâu và tỷ số  $(S_u / \sigma'_{vo})$  có dạng: với hệ số tương quan  $R^2=0,9057$ .



Hình 1. Biểu đồ quan hệ của  $(S_u / \sigma'_{vo})$  theo độ sâu từ thí nghiệm cắt cánh

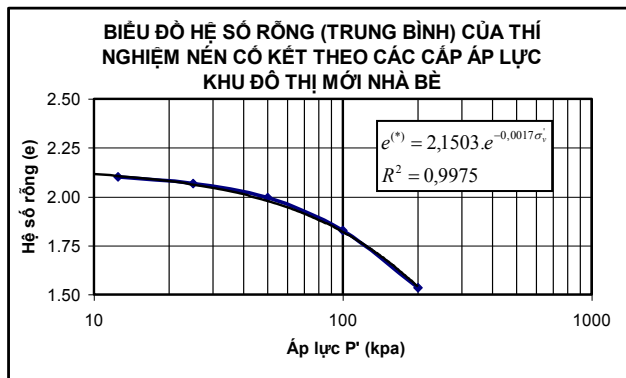
Trong trường hợp này, tiến hành thiết lập tương quan theo 2 độ sâu khác nhau: đoạn một từ mặt đất đến độ sâu 12m, đoạn hai từ 12m trở đi, việc lựa chọn độ sâu này căn cứ trên cơ sở nghiên cứu giá trị OCR theo độ sâu đã có trước đó. Đất yếu của khu vực có đặc điểm quá cố kết trong phạm vi 12m trở lại, còn từ độ sâu này trở đi thì có đặc điểm cố kết thường (theo kết quả thống kê 750 mẫu đất khu vực)[3]. Hệ số tương quan ( $S_u/\sigma'_v$ ) và z từ độ sâu 12m trở lại có giá trị  $R^2=0,9438$  tỏ ra chặt chẽ hơn.

Tổng hợp 96 kết quả thí nghiệm nén cố kết đất sét mềm ở khu vực khảo sát, tương quan giữa e và  $\sigma'_v$  như sau:

$$e^{(*)} = 2,1503 \cdot e^{-0,0017\sigma'_v} \quad (5)$$

Ở đây:  $e^{(*)}$  – hệ số rỗng

$\sigma'_v$  - ứng suất nén (kPa)



Hình 2. Đặc điểm nén ép của đất sét mềm và tương quan độ chặt theo trạng thái ứng suất

Từ (5), lấy đạo hàm:

$$e' = (-0,0017) \cdot 2,1503 \cdot e^{-0,0017\sigma'_v}$$

Hay hệ số góc của tiếp tuyến

$$e' = -0,00366 \cdot e^{-0,0017\sigma'_v} \quad (6)$$

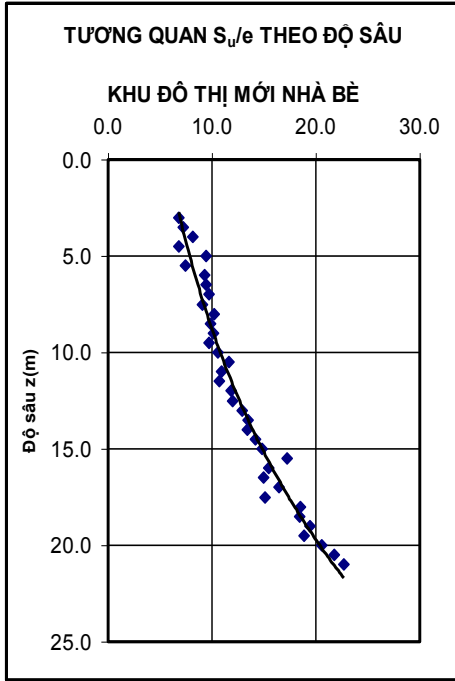
Chọn 2 điểm trên biểu đồ để tính giá trị  $e_c$ . Điểm M1(96,763;1,824) là điểm tương đương áp lực tiền cố kết. Điểm M2(200; 1,533) là điểm có áp lực lớn nhất đang xét. Lần lượt thay các giá trị từ các điểm M1, M2 vào biểu thức trên, các giá trị  $\lambda_1, \lambda_2$  được tính toán lần lượt là -0.0031 và -0.0026. Từ đó:  $e_c = (e_1\lambda_2 - e_2\lambda_1)/(\lambda_1 - \lambda_2)$ . Giá trị  $e_c$  tính toán là:  $e_c=0,0154$ . Như vậy, khi xác định được ứng suất nén tác dụng có thể xác định được e.

Khi xây dựng tương quan mức độ nén chặt, chúng tôi nhận thấy rằng tương quan (5) của đất khu vực có giá trị hệ số tương quan rất cao:  $R^2=0,9975$  nên việc xét thêm các tương quan theo hàm ln bổ sung là không cần thiết vì các hệ số tương quan đó cũng có giá trị tương tự.

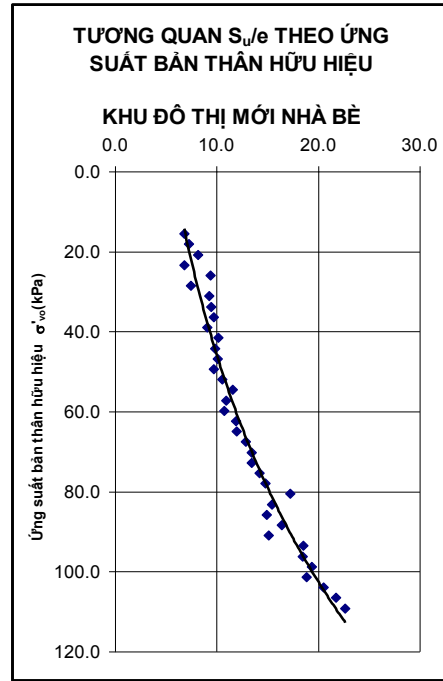
Các kết quả nghiên cứu tương quan sức chống cắt không thoát nước chỉ ra rằng  $S_u$  phụ thuộc vào nhiều yếu tố: điều kiện và phương pháp thí nghiệm; lịch sử ứng suất (giá trị OCR); Tính giãn nở (thông qua Af). Việc xét các yếu tố này nhằm dự tính  $S_u$  gặp nhiều khó khăn do không thể dự báo được các giá trị Af, OCR trong quá trình xây dựng. Ngoài ra, tương quan giữa  $S_u$  và độ chặt của đất (e) cũng chưa cho phép xác định được  $S_u$  do kết quả thí nghiệm cho thấy sự thay đổi mạnh mẽ  $S_u$  theo độ sâu trong cùng một lớp đất. Tuy nhiên, trong các loại đất khác nhau ở cùng độ sâu thì giá trị  $S_u$  cũng khác biệt nên không thể bỏ qua vai trò của độ chặt. Do đó, để dự báo sự gia tăng  $S_u$  của sét mềm trong quá trình xây dựng, nhất thiết phải xét đến sự thay đổi ứng suất tác dụng gây ra quá trình cố kết cho sét mềm (làm tăng độ chặt của đất). Từ đó có thể rút ra rằng tương quan giữa ứng suất tác dụng ( $\sigma'$ ) – độ chặt tương ứng (e) của sét mềm và sức chống cắt không thoát nước ( $S_u$ ) rất chặt chẽ và quan hệ mật thiết lẫn nhau (quan hệ  $\sigma' - e - S_u$ ).

Tương quan giữa sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  với độ chặt (thể hiện thông qua giá trị  $e$  và  $\sigma'$  tác dụng) là tương quan hợp lý được lựa chọn để áp dụng có ý nghĩa thực tiễn cao trong công tác dự báo  $S_u$ . Các tương quan  $S_u$  từ 30 điểm thí nghiệm cắt cánh với hơn 400 kết quả thí nghiệm được thể hiện ở Hình 3 và 4.

Thiết lập được mối tương quan giữa ba đại lượng này cho phép dự báo được sự gia tăng  $S_u$  dưới tác dụng của quá trình gia tải xây dựng.



Hình 3. Tương quan giữa  $S_u/e$  theo độ sâu và ứng suất hữu hiệu



Hình 4. Tương quan giữa  $S_u/e$  theo ứng hiệu.

Rõ ràng tương quan ( $S_u/e$ ) theo độ sâu hay theo ứng suất hữu hiệu mang đặc điểm phi tuyến rõ rệt với giá trị hệ số tương quan rất cao  $R^2=0,9602$ . Ở đây, giá trị hệ số rỗng tương ứng được xác định từ tương quan (5), giá trị  $S_u$  được lấy trung bình từ 30 điểm thí nghiệm cắt cánh hiện trường tương ứng ở độ sâu đó.

Kết quả cắt cánh hiện trường cho thấy sức chống cắt không thoát nước của sét mềm tăng tuyến tính theo độ sâu và được biểu diễn bằng phương trình  $S_u=1,386z+8,081$  [2]. Từ các tương quan sức chống cắt theo độ chặt và độ sâu, tương quan ( $S_u/e$ ) được xây dựng từ các hệ số thu được từ kết quả thí nghiệm có thể biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{S_u}{e} = \frac{1,386.z + 8,081}{2,1503.exp(-0,0017.\gamma'.z)} \quad (7)$$

$$\text{Hay: } \frac{S_u}{e} = \frac{1,386.\frac{\sigma'_{vo}}{\gamma} + 8,081}{2,1503.exp(-0,0017.\sigma'_{vo})} \quad (8)$$

*Ví dụ tính toán:* Ở độ sâu 8m trong nền, hệ số rỗng trung bình:  $e_0 = 2,104$ ; dung trọng đầy nổi trung bình:  $\sigma' = 5,2\text{kN/m}^3$ . Ứng suất do trọng lượng bản thân  $\sigma'.z = 41,6\text{kN/m}^2$ .

Tính  $e$ : Theo quan hệ giữa  $\sigma'_{vo}$  và  $e$ ; giá trị hệ số rỗng tương ứng với ứng suất nén:

Từ biểu thức (5):  $e^{(*)} = 2,1503.e^{0,0017.\sigma'_{vo}}$ ,

Tính được:  $e = 2,1503.e^{(-0,0017 \times 41,6)} = 2,003$

Tính  $S_u$ :

Cách 1: Theo tương quan trực tiếp từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường:

$$S_u = 1,386z + 8,081.$$

Từ đó:  $S_u = 1,386 \times 8 + 8,081 = 19,17 \text{ kN/m}^2$ .

Cách 2: Theo tương quan thiết lập:

Tính được:  $S_u = 20,14 \text{ kN/m}^2$ .

So sánh eo:

Xét một số mẫu trong khu vực khảo sát tiến hành thí nghiệm mẫu tại độ sâu 8m, kết quả như sau:

*Bảng 1: Giá trị  $e_o$  từ kết quả thí nghiệm trong phòng ở độ sâu 8m*

STT	Lỗ khoan	Độ sâu (m)	Hệ số rỗng eo
1	BH-20	8,0-8,6	2,052
2	BH-31	8,0-8,6	2,057
3	BH-32	8,0-8,6	2,087
4	BH-34	8,0-8,6	2,071
5	BH-40	8,0-8,6	2,027
6	BH-43	8,0-8,6	2,248
Giá trị trung bình			2,093

So sánh hệ số rỗng  $e_o$  thực tế và  $e_o$  phân tích, sai số tính toán là:

$$\frac{|2,003 - 2,093|}{2,093} = 0,43\%$$

So sánh  $S_u$  :

Kết quả thí nghiệm cắt cánh hiện trường từ các thí nghiệm thực hiện độ sâu 8,0m cho kết quả như sau:

*Bảng 2: Giá trị  $S_u$  từ kết quả thí nghiệm cắt cánh hiện trường độ sâu 8m*

STT	Vị trí cắt cánh	Su(kPa)	STT	Vị trí cắt cánh	Su(kPa)
1	VST1	19,60	15	VST15	18,05
2	VST2	17,60	16	VST16	17,21
3	VST3	20,20	17	VST17	20,60
4	VST4	17,99	18	VST18	19,62
5	VST5	19,29	19	VST20	24,29
6	VST6	18,19	20	VST21	20,65
7	VST7	16,27	21	VST22	26,26
8	VST8	18,88	22	VST24	17,86
9	VST9	20,81	23	VST25	25,79
10	VST10	24,17	24	VST26	24,05
11	VST11	20,67	25	VST27	25,79
12	VST12	12,38	26	VST29	16,84
13	VST13	24,10	27	VST30	25,45
14	VST14	18,05		Trung bình	20,39

So sánh theo cách 1 tính  $S_u$  :

$$\frac{|19,17 - 20,39|}{20,39} = 6,0\%$$

So sánh theo cách 2 tính  $S_u$  :

$$\frac{|20,14 - 20,39|}{20,39} = 1,2\%$$

Như vậy,  $S_u$  tính theo cách 2 hợp lý với giá trị tính toán gần với giá trị thực tế hơn.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Từ kết quả thí nghiệm, tổng hợp phân tích và thiết lập các tương quan giữa sức chống cắt không thoát nước của sét mềm với độ chặt, có thể rút ra các kết luận chính như sau:

(1) Tỷ số  $\frac{S_u}{\sigma_v}$  tại khu vực khảo sát có đặc điểm phi tuyến theo độ sâu, từ độ sâu 12m trở lại tương quan này có dạng:

$$z = 2,8289 \cdot \frac{S_u}{\sigma_{vo}^{1,3669}}, \text{ với } R^2=0,9438.$$

(2) Tương quan giữa sức chống cắt không thoát nước và độ chặt của đất sét mềm bão hòa khu vực khảo sát có thể hiểu dưới dạng:

$$\frac{S_u}{e} = \frac{1,386 \cdot \sigma_{vo}^{0,3669} \cdot 8,081}{2,1503 \cdot \exp(0,0017 \cdot \sigma_{vo}^{0,3669})}$$

Như vậy, sử dụng các tương quan chặt chẽ của sức chống cắt không thoát nước cho phép dự báo sức chống cắt gia tăng trong xử lý nền. Nếu biết độ cố kết (xác định được  $\sigma_v$ ) và độ biến dạng do nén ép (xác định được hệ số rỗng) có thể xác định nhanh giá trị  $S_u$  trên cơ sở các tương quan đã thiết lập.

Trên cơ sở các tương quan chặt chẽ đã thiết lập, sử dụng lý thuyết cố kết thấm để tính toán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tại một điểm cho phép xác định được giá trị  $S_u$  ở độ sâu đó tại thời điểm bất kỳ. Đây cũng là ý tưởng cho các nghiên cứu ứng dụng tiếp theo.

#### Tài liệu tham khảo

22TCN 262-2000. 2001. *Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu*, NXB Giao thông vận tải.

Bùi Trường Sơn, Lê Hoàng Việt. 2011. *Chọn lựa sức chống cắt không thoát nước của sét mềm để tính toán nền công trình đắp. Tập 14. Tuyển tập kết quả khoa học công nghệ*, NXB Nông nghiệp. Trang 469-477.

Bùi Trường Sơn, Nguyễn Trùng Dương. 2007. *Ổn định lâu dài của nền đất yếu bão hòa nước dưới công trình san lấp khu vực Thành phố Hồ Chí Minh và Đồng Bằng Sông Cửu Long trên cơ sở mô hình Camclay*, Tạp chí Địa Kỹ thuật, số 1, trang 25-30.

J.-C.Chai, N. Miura, H.-H. Zhu, and Yudhbir. 2004. *Compression and consolidation characteristics of structured natural clay*. Can. Geotech. J.41. p.1250–1258.

Paulus P.Rahardjo. 2001. *In situ testings and soil properties correlations*. Geotechnics laboratory Parahyangan Katolik University.

T.S.Nagaraj, N.Miura. 2001. *Soft clay behaviour, analysis and assessment*. A.A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield.

Ter-Martirosyan Z.G., 1992. *Rheological parameters of soils and design of foundations*. Oxford and IBS publishing Co. Pvt. Ltd.

Yit-Jin Chen, Fred H. Kulhawy, 1993. *Undrained strength interrelationship among CIUC, UU and UC tests*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.119, No. 11, November.