

การขึ้นอยู่กับเวลาของแรงดันดินทางด้านข้างของดินเหนียวอ่อน

นาย สุรชุน วงศ์ปิยชน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-632-830-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Time Dependence of Lateral Earth Pressure on Soft Clay

Mr. Surachun Wongpiyachon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


1996

ISBN 974-632-830-1

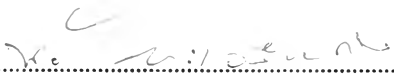
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การขึ้นอยู่กับเวลาของแรงดันดินทางด้านข้างของดินเหนียวอ่อน  
โดย                              นาย สุรชุน วงศ์ปิยชน  
ภาควิชา                              วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม        ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์


---

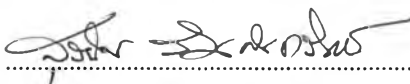
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุดสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ชนะเจริญกิจ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศธีรณรงค์)



## พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สรุขุณ วงศ์ปิยชน : การขึ้นอยู่กับเวลาของแรงดันดินทางด้านข้างของดินเหนียวอ่อน (TIME DEPENDENCE OF LATERAL EARTH PRESSURE ON SOFT CLAY) อ. ที่ปรึกษา :

ผศ. ดร. สุรพล จิวาลักษณ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์, 113 หน้า

ISBN 974-632-830-1

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้างของดินเหนียวอ่อน. สภาวะอยู่กับที่ ( $K_0$ ) ที่ขึ้นอยู่กับเวลา และค่าของ Plastic Index ซึ่งมีค่าของ Plastic Index อยู่ในช่วงระหว่าง 20-70% และ Stress Ratio อยู่ระหว่าง 2.2-2.5 โดยทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี คือ วิธีของ  $\log t$ , วิธีของ  $\sqrt{t}$  และวิธีของ  $\Delta u$  ซึ่งจะใช้เครื่องมือการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ Triaxial โดยที่สามารถควบคุมความดันน้ำในเซลล์ เพื่อให้ค่าความเครียดตามแนวรัศมีเป็นศูนย์

ผลที่ได้จากการวิจัยทั้ง 3 วิธี พบว่า ค่าของ  $K_0$  จะเพิ่มขึ้นตามเวลา และเพิ่มขึ้นตามค่าของ Plastic Index ซึ่งสามารถเขียนออกมาในรูปสมการได้ ดังนี้

$$K_0(t) = K_0(NC) + (0.0037 \cdot PI - 0.038) \cdot \log(t/t_p)$$

เมื่อ  $t$  = ที่เวลาใดๆ ( $t \geq t_p$ )

ส่วนค่าพารามิเตอร์  $m$  ของดินเหนียวกรุงเทพฯ มีค่าเท่ากับ 0.40 ซึ่งอยู่ในรูปสมการได้ ดังนี้

$$K_{0(\text{overconsolidated})} = K_{0(\text{normally consolidated})} (\text{OCR})^{0.40}$$

ในการประมาณค่าของ  $K_0$  ในดินประเภท Normally Consolidated Clay จะใช้สมการของ BROOKER กับ IRELAND ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 6%

สำหรับค่าของเวลาที่สิ้นสุด Primary Consolidation, ค่าความเครียดที่สิ้นสุด Primary Consolidation และค่า Coefficient of Secondary Compression มีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าของ Liquid Limit และ Plastic Index เพิ่มขึ้น ส่วนค่าของ Coefficient of Consolidation กลับมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าของ Plastic Index สูงขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต ..... *AL 2nd.*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *[Signature]*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... *[Signature]*

# # C515324 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE AT REST/NORMALLY CONSOLIDATED/

OVERCONSOLIDATED/PRIMARY CONSOLIDATION/SECONDARY CONSOLIDATION

SURACHUN WONGPIYACHON : TIME DEPENDENCE OF LATERAL EARTH PRESSURE

ON SOFT CLAY : THESIS ADVISOR : ASSI. PROF. SURAPHOL CHIVALAK, Ph.D.,

CO-ADVISOR : ASSI. PROF. SURACHAT SAMBHANDHARAKSA, Ph.D. 113 pp.

ISBN 974-632-830-1

The major objectives of the research are to identify the time dependently of the lateral at rest earth pressure coefficient of soft Bangkok clay ( $K_o$ ) and its dependency on the value of Plastic Index. The Plastic Index ranges from 20-70% and the testing Stress Ratio ranges between 2.2-2.5. Three procedures are used comprising 1.) log t method, 2.)  $\sqrt{t}$  method and 3.)  $\Delta u$  method, utilizing Triaxial consolidation test which is able to control cell pressure in the cell for radial strain to be zero.

The results of these three procedures indicate that  $K_o$  value increases with time and increases with Plastic Index value. They can be represent by the following formulas :-

$$K_o(t) = K_o(NC) + (0.0037 \cdot PI - 0.038) \cdot \log(t/t_p)$$

when  $t =$  time ( $t \geq t_p$ ) for all methods for determining  $t_p$

and the parameter m of soft clay for determing  $K_o$  of overconsolidated Bangkok clay equal to 0.40, represent by the following formula :-

$$K_o(\text{overconsolidated}) = K_o(\text{normally consolidated})(OCR)^{0.40}$$

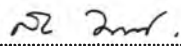
Results show the  $K_o$  value in normally consolidated clay can be calculated by BROOKER's and IRELAND's equation yielding low standard deviation. (standard error 6%)

The End of Primary Consolidation, Strain at End of Primary Consolidation and Coefficient of Secondary Compression are increased when Liquid Limit and Plastic Index are increased, while Coefficient of Consolidation trend to decrease when Plastic Index is increased.


ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา..... 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการวิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนทราบซึ่งในความกรุณาของท่านอาจารย์ เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทุกท่าน

ผู้เขียนรำลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา ครู อาจารย์ เป็นผู้มีอุปการคุณต่อผู้เขียนจนประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

ในการทดลองนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท ซอยล์เทสดีงสยาม จำกัด และบริษัท จีไอเทส จำกัด ที่ได้ช่วยเหลือให้ตัวอย่างดินในการวิจัยครั้งนี้ และนาย กฤษฎา ภูมิ ครูปฏิบัติการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

สุรชุลน วงศ์ปิยชน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
สัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฒ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ .....	1
1.1 คำจำกัดความ .....	1
1.2 การออกแบบงานดินอ่อน .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	4
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย .....	5
2. ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต .....	6
2.1 ทั่วไป .....	6
2.1.1 หลักสำคัญของคำถาม .....	7
2.1.2 การอธิบายของแต่ละบุคคล .....	7
2.2 การทบทวนงานในอดีต .....	14
2.3 ทฤษฎี .....	21
2.3.1 การหาค่าของ $K_0$ ในช่วง Primary Consolidation .....	21
2.3.2 การหาค่าของ $K_0$ ในช่วง Secondary Compression .....	22
3. การทดลองและวิจัย .....	26
3.1 การเก็บตัวอย่างดินสำหรับการทดลอง .....	26





สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.3 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $t_p/H_v^2$ .....	46
4.2.4 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Coefficient of Secondary Compression	47
4.2.5 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Vertical Effective Stress กับ Strain	48
4.2.6 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ Coefficient of Consolidation .....	49
4.2.7 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $p'$ กับ $q$ .....	49
4.2.8 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของค่า $K_o$ กับ $t/t_p$ .....	50
4.2.9 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของอัตราการเพิ่มของค่า $K_o$ ต่อเวลา กับค่าของ PI .....	50
4.2.10 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $K_o$ (NC) .....	51
4.2.11 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงกราฟของ $K_o$ (OC)/ $K_o$ (NC) กับ OCR .....	52
5. สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ .....	83
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ .....	83
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	85
รายการอ้างอิง .....	86
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการทดสอบ .....	89
ข. วิธีการหาค่าสหสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน .....	110
ประวัติผู้เขียน .....	113

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการทดลองในสนามของค่า Undrained Shear Strength .....	19
4.1	สรุปคุณสมบัติของตัวอย่างดินทดลอง .....	43
4.2	แสดงค่าต่างๆ กับตัวอย่างดิน .....	45

## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงเกี่ยวกับคำถามของค่า $K_0$ .....	6
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Void Ratio, Overburden Pressure และ Time .....	8
2.3	แสดงส่วนของ Macropore และ Micropore .....	9
2.4	Kelvin Model .....	11
2.5	Maxwell Model .....	11
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_0$ กับ Log ของเวลา เมื่อ $G_D/G_V = 0.5$ .....	11
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_0$ กับ Log ของเวลา เมื่อ $G_D/G_V = 0.4$ .....	12
2.8	รูปแบบของอนุภาคเม็ดดินที่ไม่สัมผัสกัน .....	13
2.9	ความสัมพันธ์ของค่า $K_0$ กับเวลาของดิน San Francisco Bay Mud .....	15
2.10	ความสัมพันธ์ของค่า $K_0$ และอุณหภูมิ กับเวลา ของดิน NC .....	16
2.11	ความสัมพันธ์ของค่า $K_0$ และอุณหภูมิ กับเวลา ของดิน OC .....	17
2.12	แสดงเส้นทางเดินประสิทธิผลในระหว่างทำการยุบอัดตัวในทิศทางเดียว .....	17
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง $e$ , $\sigma'_v$ และ $K_0$ .....	18
2.14	ความสัมพันธ์ของค่า $K_0$ กับ Log ของเวลา .....	20
2.15	แสดงค่าผลต่างของ $\epsilon_a - \epsilon_v$ กับ Log ของเวลา ของดิน KC-3 .....	20
2.16	แสดงถึงค่าของ $K_0$ , ค่าของ OCR และค่าของ PI .....	21
3.1	แผนที่แสดงบริเวณเก็บตัวอย่างดินทดลอง .....	28
3.2	แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บตัวอย่างบริเวณบางพลี .....	29
3.3	แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บตัวอย่างบริเวณบางนา .....	30
3.4	แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บตัวอย่างบริเวณคลองห้า .....	31
3.5	แสดงขั้นตอนการทดสอบแรงดันดินทางด้านข้าง .....	32
3.6	แสดงการจัดเครื่อง Triaxial สำหรับการทดลองหาแรงดันดินทางด้านข้าง .....	39
3.7	แสดงการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ .....	40
3.8	แสดงการอัดตัวคายนํ้าแบบแอนไอโซทรอปิก .....	40
3.9	แสดงการอัดตัวคายนํ้าแบบแอนไอโซทรอปิก โดยเพิ่มหน่วยแรงเบี่ยงเบน .....	41
3.10	แสดงการทดลองหาแรงดันทางด้านข้างของตัวอย่างดิน .....	41

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 1 มีค่าของ PI เท่ากับ 69.59% .....	53
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 2 มีค่าของ PI เท่ากับ 62.05% .....	54
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 3 มีค่าของ PI เท่ากับ 53.22% .....	55
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 4 มีค่าของ PI เท่ากับ 64.92% .....	56
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 5 มีค่าของ PI เท่ากับ 50.54% .....	57
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 6 มีค่าของ PI เท่ากับ 28.40% .....	58
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 7 มีค่าของ PI เท่ากับ 48.35% .....	59
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 8 มีค่าของ PI เท่ากับ 23.58% .....	60
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 9 มีค่าของ PI เท่ากับ 46.54% .....	61
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของตัวอย่างดินที่ 10 มีค่าของ PI เท่ากับ 33.90% .....	62
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง กับเวลา ของค่า PI ต่างๆ .....	63
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดในแนวตั้ง ณ เวลาสิ้นสุด Primary Consolidation กับค่าของ PI ด้วยวิธีของ $\log t$ , $\sqrt{t}$ และ $\Delta u$ .....	64
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $t_p/H_v^2$ กับค่าของ LL ด้วยวิธีของ $\log t$ , $\sqrt{t}$ และ $\Delta u$ .....	65
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of Secondary Compression ( $C_\alpha$ ) กับค่าของ LL .....	66

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vertical Effective Stress ( $\sigma'_v$ ) กับ Strain .....	67
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of Consolidation ( $C_v$ ) กับค่าของ PI ด้วยวิธีของ $\log t$ และ $\sqrt{t}$ .....	68
4.17	ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล เมื่อทำการทดสอบหาค่าของ $K_0$ ของตัวอย่างดิน ทั้ง 10 ตัวอย่าง .....	69
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 1 มีค่าของ PI เท่ากับ 69.59% .....	70
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 2 มีค่าของ PI เท่ากับ 62.05% .....	71
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 3 มีค่าของ PI เท่ากับ 53.22% .....	72
4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 4 มีค่าของ PI เท่ากับ 64.02% .....	73
4.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 5 มีค่าของ PI เท่ากับ 50.54% .....	74
4.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 6 มีค่าของ PI เท่ากับ 28.40% .....	75
4.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 7 มีค่าของ PI เท่ากับ 48.35% .....	76
4.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 8 มีค่าของ PI เท่ากับ 23.58% .....	77
4.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 9 มีค่าของ PI เท่ากับ 46.54% .....	78
4.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $K_0$ กับ $t/t_p$ ของตัวอย่างดินที่ 10 มีค่าของ PI เท่ากับ 33.90% .....	79
4.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta K_0 / \Delta \log(t/t_p)$ กับค่าของ PI .....	80

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_o(NC)$ กับค่าของ PI .....	81
4.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนของ $K_o(OCR)/K_o(NC)$ กับ OCR .....	82

## สัญลักษณ์และคำย่อ

$C_u$	=	Undrained Shear Strength
$C_v$	=	Coefficient of Consolidation
$C_\alpha$	=	Coefficient of Secondary Compression
$e$	=	Void Ratio
$e_0$	=	Initial Void Ratio
$K_f$	=	Coefficient of Earth Pressure at Failure
$K_0$	=	Coefficient of Earth Pressure at Rest
LL	=	Liquid Limit
NC	=	Normally Consolidation Clay
OC	=	Overconsolidated Clay
OCR	=	Overconsolidated Ratio
$P_c, \sigma'_{vm}$	=	Pre-consolidation Pressure
PI	=	Plastic Index
PL	=	Plastic Limit
$p'$	=	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$
$q$	=	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$
$W_f$	=	Final Water Content
$W_i$	=	Initial Water Content
$W_n$	=	Water Content
$t_{100}, t_p$	=	End of Primary Consolidation
$\epsilon_a$	=	Lateral Strain
$\epsilon_r$	=	Radial Strain
$\epsilon_v$	=	Volumetric Strain
$\sigma'_1, \sigma'_v$	=	Effective Vertical Stress
$\sigma'_3, \sigma'_h$	=	Effective Horizontal Stress
$\sigma_b$	=	Back Pressure

## สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

 $\sigma_c$  = Cell Pressure $\sigma_{oct}$  = Effective Octahedral Stress $\sigma_{vo}$  = Effective Overburden Pressure $\sigma_t$  = Tangential Stress $\tau$  = Shear Stress