การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวโดยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียด

นายวีระ ศักดิ์สุพรรณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2529-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF VISCOSITY COEFFICIENT OF CLAY USING STRAIN RATE VARIATION TECHNIQUE

Mr. Weerah Saksuphan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2529-5

Copy Right of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวโดยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียด
โดย	นายวีระ ศักดิ์สุพรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏชน)

.... กรรมการ

(Dr.Tian Ho Seah)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธเนศ ศรีศิริโรจนากร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีระ ศักดิ์สุพรรณ : การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวโดยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียด. (ESTIMATION OF VISCOSITY COEFFICIENT OF CLAY USING STRAIN RATE VARIATION TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง, 110 หน้า. ISBN 974-14-2529-5

ผลงานวิจัยหลายๆ งานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มหน่วยแรงจะส่งผลต่อกำลังรับหน่วยแรงเฉือนของดินเหนียว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าดินเหนียวแสดงพฤติกรรมการเคลื่อนตัวขึ้นกับอัตรา คุณสมบัติที่เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมแบบขึ้นกับอัตราของดินเหนียวจะแสดงออกมาด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด ซึ่งการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวในห้องปฏิบัติการกระทำการทดสอบโดยตรงได้ยาก อีกทั้งไม่มีมาตรฐานอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการหาค่าสัมประสิทธิ์ของดินเหนียวทางอ้อม โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตี้สำหรับวัสดุที่ขึ้นอยู่กับอัตรา ซึ่งเป็นแบบจำลองพลาสติกแบบชิ้นเดียว(single element) ที่คำนึงถึงพฤติกรรมแบบขึ้นกับอัตราของวัสดุด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียด โดยการจำลองพฤติกรรมการรับหน่วยแรงเฉือนของดินเหนียวในแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบหน่วยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในห้องปฏิบัติการ ที่กำหนดอัตราความเครียดคงที่ร้อยละ 0.01 ถึงร้อยละ 10.0 ของความเครียดต่อนาที โดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรสัมประสิทธิ์ความหนืดในแบบจำลองจนกระทั่งผลที่ได้จากแบบจำลองสัมพัทธ์กับผลที่ได้จากการทดสอบจริง ซึ่งผลสรุปที่ได้งานวิจัยฉบับนี้ ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตี้สำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราสามารถจำลองพฤติกรรมแบบหนืดของดินเหนียวกรุงเทพฯ และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวกรุงเทพฯ จะมีค่าในช่วงประมาณ 3.24×10^3 - 3.60×10^3 kPa.s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.......วิศวกรรมโยธา..........................ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิชา......วิศวกรรมโยธา.........................ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...

ปีการศึกษา....2549.....................................

467 05087 21: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: Viscosity coefficient / Rate-dependence / Hyperplasticity / Strain rate control

WEERAH SAKSUPHAN : ESTIMATION OF VISCOSITY COEFFICIENT OF CLAY USING STRAIN RATE VARIATION TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : SUCHED LIKITLERSUANG, 110 pp. ISBN 974-14-2529-5

There are many evidences showing that the rate of loading could be affected to the shear strength of clays. This leads to the conclusion that clays are the rate-dependent material. The key parameter to model the rate-dependent material is a viscosity coefficient. However, it is difficult to directly measure the viscosity coefficient of clay in laboratory and there is also no standard measurement. This research implements the indirect measurement of the viscosity coefficient using the strain rate variation technique. This technique uses the rate-dependent hyperplasticity model which is considered the time effect behavior of materials. The research carries out a series of undrained triaxial compression test of Bangkok Clay varying the strain rate from 0.01 to 10.0 percent strain per minute. Next, the simulation of triaxial tests using a single element calculation is performed in order to compare with the experimental result. The tuning of viscosity coefficient is made until all series of undrained triaxial compression tests are matched. The final conclusion of the viscosity coefficient of Bangkok Clay is in the range of 3.24×10^3 - 3.60×10^3 kPa.s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.......Civil Engineering............Student's signature..

Field of study.....Civil Engineering............Advisor's signature..

Academic year...2006..............................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา แนะแนวทาง ตรวจสอบ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ Dr.Tian Ho Seah และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้และพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้จนสำเร็จและขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลาและให้คำแนะนำ รวมทั้งข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาวิจัยนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ พี่ตั้ม ธวัชชัย สังขะวิไล ที่ให้คำแนะนำ เป็นห่วงและให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณ คุณพิษนุ พลกายนุวัตร คุณธนกร ชมพูรัตน์ คุณขวัญ สุขคง คุณกฤษฎา กมลเกียงไกร คุณสุพรรษา ระรวยทรง ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆ ในสาขาวิชาทุกคน ที่เป็นห่วงและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ยุทธกาล พี่กฤษฎา พี่อ๊อด เจ้าหน้าที่ห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ พี่จรูญ เจ้าหน้าที่ห้องคอมพิวเตอร์ และพี่นก เจ้าหน้าที่ฝ่ายบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือ ความช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา พี่ ครู อาจารย์ ทุกท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชาและสนับสนุนมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..........ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..........จ
กิตติกรรมประกาศ..........ฉ
สารบัญ..........ช
สารบัญตาราง..........ญ
สารบัญภาพ..........ฎ
บทที่
1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..........1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..........2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..........2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..........3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..........3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 บทนำ..........4
2.2 ทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี..........6
2.2.1 หลักเกณฑ์พื้นฐานของทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี้..........7
2.3 ทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา..........8
2.3.1 แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน..........11
2.3.2 แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา Kinematic Hardening Modified Cam-Clay (KHMCC)..........16
2.4 การใช้แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราในการจำลองผลจากการทดสอบแรงอัดสามแกน..........20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างทดสอบ.. 23

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างทดสอบ.. 23

3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างทดสอบ.. 23

3.2 การหาคุณสมบัติของดินทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น...24

3.2.1 การทดลองหาค่าความชื้นธรรมชาติในมวลดิน.. 24

3.2.2 การทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร.. 24

3.2.3 การทดสอบพิกัดแอตเตอร์เบอร์ก.. 24

3.2.4 การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน 24

3.2.5 การทดสอบอัดแน่นคายตัวแบบ 1 มิติ.. 24

3.3 การทดสอบแรงอัดสามแกนในห้องปฏิบัติการ..25

3.3.1 โปรแกรมการทดสอบ..25

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ..26

3.3.3 ขั้นตอนในการทดสอบแรงอัดสามแกน.. 30

3.3.3.1 การจัดเตรียมเครื่องมือทดสอบ.. 30

3.3.3.2 การจัดเตรียมตัวอย่างดิน.. 30

3.3.3.3 การจัดตัวอย่างดินในเครื่องมือทดสอบ.. 31

3.3.3.4 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ..31

3.3.3.5 การอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดิน.. 32

3.3.3.6 การทดสอบแรงเฉือนตัวอย่างดินอัดแน่นคายตัว..........................32

3.4 การวิเคราะห์ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินด้วยแบบจำลอง............34

3.4.1 การประมวลผลของแบบจำลอง.. 34

3.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการประมวลด้วยแบบจำลอง..............................35

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์.. 37

4.1.1 การหาสมบัติของดินทางด้านกายภาพและทางวิศวกรรมเบื้องต้น...........37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 การเลือกอัตราความเครียด……………………………………………...41
4.1.3 การทดสอบแรงอัดสามแกน……………………………………………….. 42
4.1.4 การวิเคราะห์และประมวลผลด้วยแบบจำลอง……………………………..45
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย.. 54
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม... 55
รายการอ้างอิง..56
ภาคผนวก…………………………………………………………………………………......................... 58
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำโครงสร้างแบบจำลองขึ้นอยู่กับอัตรา.............59
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน……………………………………………….. 85
ภาคผนวก ค. โครงสร้างแบบจำลองขึ้นอยู่กับอัตราผลการทดสอบแรงอัดสามแกน.........107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมการพื้นฐานสำหรับทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี…………………………………... 7
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบสมการแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราและวัสดุไม่ขึ้นกับอัตรา. 8
ตารางที่ 2.3 สรุปสมการของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา......................................10
ตารางที่ 2.4 สรุปค่าตัวแปรของแบบจำลอง KHMCC สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ................22
ตารางที่ 2.5 สรุปค่าตัวแปรของแบบจำลอง MCC สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ..................... 22
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของเวลา (*k*) 33
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเบื้องต้น..................... 38
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำ แบบ 1 มิติ 38
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการศึกษาค่าตัวแปรของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา................53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดของการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โดยการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดในงานวิจัยของ Vaid & Campanella 5
ภาพที่ 2.2 ผลกระทบของอัตราความเครียดต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในงานวิจัยของ Vaid & Campanella 5
ภาพที่ 2.3 รูปแบบกลศาสตร์ของแบบจำลองความหนืดเชิงเส้น 1 มิติ 9
ภาพที่ 2.4 รูปแบบกลศาสตร์ของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราด้วยตัวแปรภายในตัวเดียว........ 11
ภาพที่ 2.5 รูปแบบกลศาสตร์ของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน 14
ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC 20
ภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ COR = 1.00........ 21
ภาพที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ COR = 1.24........ 21
ภาพที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ COR = 4.25........ 21
ภาพที่ 3.1 เส้นทางของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบ 25
ภาพที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันน้ำ 27
ภาพที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร 28
ภาพที่ 3.4 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ทางเดินสายน้ำ อากาศและอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ในระบบเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน 29
ภาพที่ 3.5 ภาพเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน อุปกรณ์บันทึกผลและอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ...29
ภาพที่ 3.6 แผนผังแสดงการประมวลผลในแบบจำลอง 35

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 7.5 – 8.0 เมตร.. 39

ภาพที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 9.0 - 9.5 เมตร.. 39

ภาพที่ 4.3 อัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 7.5 - 8.0 เมตร 40

ภาพที่ 4.4 อัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 9.0 - 9.5 เมตร 40

ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบอัตราความเครียดที่หน่วยแรงประสิทธิผลใดๆ ที่ได้จากการทดสอบ อัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ กับจากการทดสอบแรงอัดสามแกน 41

ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่อัตราการความ เครียดในการทดสอบแรงเฉือนแตกต่างกัน 43

ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของหน่วยเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียดที่ใช้ในการทดสอบ.... 44

ภาพที่ 4.8 เส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในทุกการทดสอบ.................................... 44

ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.01 % ต่อนาที...........47

ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้ จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.01 % ต่อนาที................ 47

ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.10 % ต่อนาที...........48

ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้ จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.10 % ต่อนาที................ 48

ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.50 % ต่อนาที...........49

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.50 % ต่อนาที................ 49
ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 1.00 % ต่อนาที...........50
ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 1.00 % ต่อนาที................ 50
ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 10.0 % ต่อนาที...........51
ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 10.0 % ต่อนาที................ 51
ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงทุกอัตราความเครียด 52
ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงทุกอัตราความเครียด 52
ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดของผลการทดสอบกับแบบจำลองที่ระดับความเครียดเดียวกัน ที่ให้ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด.................................53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากพฤติกรรมการเคลื่อนตัว(Deformations) ของวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น การเคลื่อนตัวแบบอิลาสติก แบบพลาสติกและแบบหนืด(Viscous deformations) ซึ่งการเคลื่อนตัวแบบหนืดจะเป็นการเคลื่อนตัวที่แปรผันตามเวลา กล่าวคือเมื่อวัสดุได้รับหน่วยแรง วัสดุจะไม่เกิดการเคลื่อนตัวทั้งหมดโดยทันทีทันใดหลังจากกระทำหน่วยแรง แต่การเคลื่อนตัวของวัสดุจะดำเนินไปอย่างช้าๆ เป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุเรียกว่าความหนืด ซึ่งเช่นเดียวกับการเคลื่อนตัวของดินเหนียวเมื่อได้รับหน่วยแรง จะพบว่าการเคลื่อนตัวจะแปรผันไปตามเวลาเช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของดินเหนียว(Viscous property) จะพิจารณาออกมาด้วยค่าของสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีความเกี่ยวเนื่องในด้านการทรุดตัวของดินและด้านพลศาสตร์ของดิน(Dynamic property) ซึ่งปัจจุบันการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดในดินเหนียวยังไม่มีมาตรฐานอย่างชัดเจน ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวอาจใช้มาตรฐานการทดสอบของวัสดุชนิดอื่น เช่น แอสฟัลส์ มาพื้นฐานในการทดสอบซึ่งกระทำได้ในเฉพาะดินเหนียวอ่อนมากๆ หรือจะต้องทำให้ดินอยู่ในสภาพเหลวเสียก่อน จึงอาจทำให้คุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป

งานวิจัยนี้ นำเสนอการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวด้วยผลจากการทดสอบแรงอัดสามแกน(Triaxial compression test) โดยการแปรผันค่าอัตราความเครียดตามแนวแกน(Axial strain rate, $\dot{\varepsilon}_a$) ที่อัตราต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดด้วยแบบจำลอง Rate-dependent hyperplasticity ที่นำเสนอโดย G.T. Houlsby and A.M. Puzrin ในปี ค.ศ.2001 โดยเป็นแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตี (Hyperplasticity model) ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดในดินเหนียว ที่สามารถเก็บตัวอย่างดินในสภาวะคงสภาพได้ โดยไม่ต้องแปลงสภาพดินให้อยู่ในสภาวะดินเหลวเสียก่อน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียว จากการทดสอบแรงอัดสามแกนโดยใช้แบบจำลอง Rate-dependent hyperplasticity ในการประมวลผล
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมแบบที่ขึ้นกับอัตรา(Rate-dependent) ของดินเหนียวเมื่อต้องรับหน่วยแรงที่อัตราความเครียดต่างๆ
3. เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ในการใช้ทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกในการประยุกต์ใช้ในการจำลองพฤติกรรมของดิน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ตัวอย่างดินที่นำมาใช้เป็นตัวแทนดินเหนียวในการวิจัยนี้ ได้นำมาจากโครงการก่อสร้างแห่งหนึ่ง จำนวน 3 หลุมเจาะ ที่ระดับความลึก 7.5 ถึง 9.5 เมตร
2. การทดสอบแรงอัดสามแกน จะทำทดสอบทั้งแบบไม่ระบายน้ำ โดยทำการอัดตัวคายน้ำเท่ากันทั้งสามแกน(Isotropic consolidation) โดยใช้แรงดันเซลล์(Cell pressure) ประมาณ 2 เท่าของหน่วยแรงกัดอัดสูงสุดในอดีต(Maximum past pressure) ให้มีค่าการอัดแน่นเกินตัว(Over Consolidation Ratio, OCR) เท่ากับหนึ่งแล้วทำการทดสอบแรงเฉือนด้วยอัตราความเครียดคงที่(Constant strain rate) ที่ระดับต่างๆ โดยใช้ตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร สูง 7.0 เซนติเมตร จำนวนรวมทั้งสิ้น 5 ตัวอย่าง
3. การเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกน จะเป็นข้อมูลของความเค้นและความเครียดที่เวลาต่างๆ นับแต่เริ่มการเฉือนจนเกิดการวิบัติหรือจนกระทั่งค่าความเครียดเท่ากับ 0.15 โดยใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติ(Autonomous Data–acquisition Unit, ADU) ซึ่งใช้ร่วมกับโปรแกรม GW basic เพื่อเก็บข้อมูลระหว่างการทดสอบ
4. การประมวลผลการทดสอบ จะทำการประมวลผลโดยใช้แบบจำลอง Rate-dependent hyperplasticity model แบบเชิงเส้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมแบบที่ขึ้นอยู่กับอัตราความเครียดตามแนวแกนของดินเหนียว ซึ่งนำเสนอโดย G.T.Houlsby and A.M.Puzrin. ในปีค.ศ. 2001

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวโดยประมาณ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอธิบายพฤติกรรมแบบขึ้นกับอัตราความเครียดและนำไปใช้ในงานด้านพลศาสตร์ของดินได้
2. เป็นการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ถึงพฤติกรรมแบบขึ้นอยู่กับอัตราความเครียดของดินเหนียวรวมถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด
3. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกน สามารถนำไปพัฒนาแบบจำลองของดินในเรื่องอื่นๆ

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหลักการ สมมติฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมแบบขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดความเครียด รวมทั้งการทดสอบแรงอัดสามแกน
2. เก็บตัวอย่างดินเหนียวจากแหล่ง พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นตัวอย่างที่นำมาทำวิจัย
3. ทำการทดสอบตามโปรแกรมการทดสอบโดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังนี้
   - 3.1 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน(Basic Properties Test)
   - 3.2 ทดสอบการอัดแน่นคายน้ำแบบ 1 มิติ เพื่อหาค่า maximum past pressure และอัตราความเครียดอ้างอิงในการปรับเปลี่ยนความเครียด
   - 3.3 ทดสอบแรงอัดสามแกนตัวอย่างดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร สูง 7.0 เซนติเมตร โดยทั้งหมดจะทดสอบแบบไม่ระบายน้ำโดยทำการ Consolidation ที่แรงดันเซลล์ประมาณ 2.0 เท่าของ maximum past pressure และเฉือนด้วยอัตราความเครียดคงที่(Constant strain rate) ที่อัตราความเครียดต่างๆ จำนวน 5 ตัวอย่าง
4. สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ และวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลการทดสอบด้วยแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตี้ และนำเสนอข้อมูล
5. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

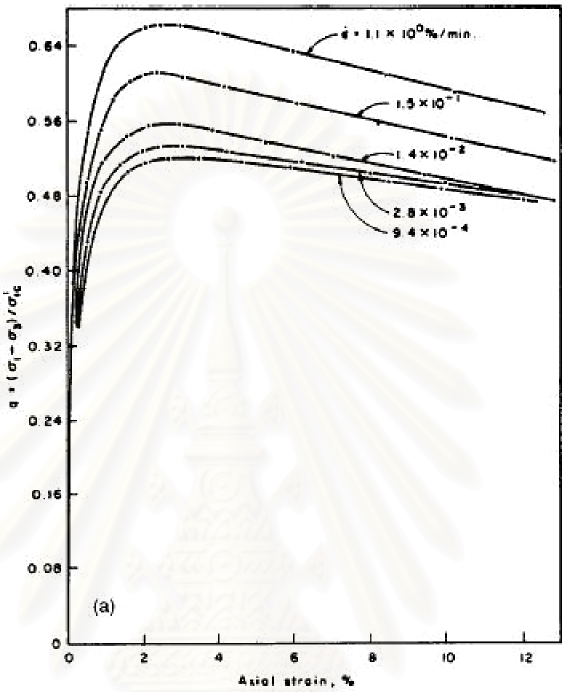
2.1 บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า เมื่อดินเหนียวเมื่อได้รับหน่วยแรงกระทำจะไม่เกิดการเคลื่อนตัวทั้งหมดโดยทันทีทันใดหลังจากกระทำหน่วยแรง แต่การเคลื่อนตัวของดินเหนียวจะดำเนินต่อเนื่องไปอย่างช้าๆ ที่เป็นเช่นนี้เพราะคุณสมบัติด้านความหนืดของดินเหนียว และในทางกลับกันเมื่อควบคุมการเคลื่อนตัวของดินเหนียวในอัตราการเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน แรงต้านทานที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและระดับอัตราการเคลื่อนตัวที่ควบคุมไว้

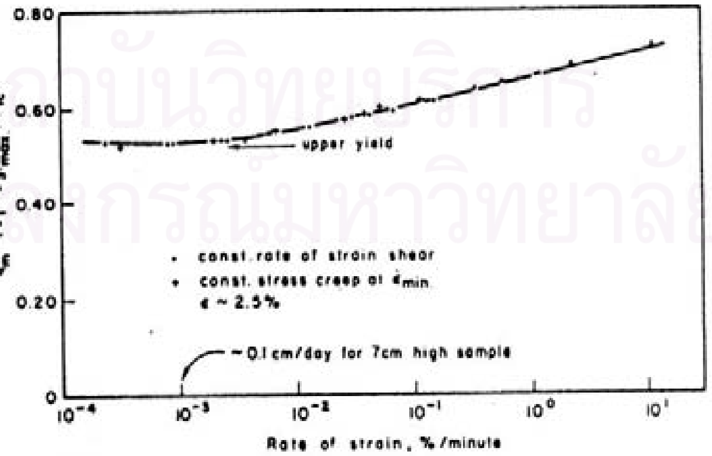
จากลักษณะที่เกิดขึ้น Vaid, Y.P. & Campanella, R.G. (1977) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอัตราการเคลื่อนตัวและผลกระทบด้านเวลา (Time effect) ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดและตัวพฤติกรรมด้านกำลังของดินเหนียวคงสภาพในท้องถิ่น ที่เรียกว่า Haney Clay ซึ่งเป็นดินเหนียวตกตะกอนที่ค่อนข้างมีความไวตัว(Sensitive) สูง โดยการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ ผลของการวิจัยพบว่าการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียด(Strain rate) จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อพฤติกรรมการรับหน่วยแรง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด(Peak deviator stress) ที่ทำการ normalized ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผลของการอัดตัวคายน้ำ ดังภาพที่ 2.1 จะมีค่ามากที่สุดที่ระดับอัตราความเครียดที่เร็วที่สุด ซึ่งให้ค่าสูงกว่าค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดที่อัตราความเครียดช้าสุดถึงร้อยละ30 ในขณะที่ระดับของอัตราความเครียดไม่มีอิทธิพลต่อระดับความเครียดที่เกิดหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด ซึ่งทุกการทดสอบจะให้ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดที่ระดับความเครียดประมาณ ร้อยละ 2.5 ถึง 3.0 ซึ่งตรงกับการข้อมูลทดสอบในดินเหนียวคงสภาพ Mexico City Clay โดยการวิจัยของ Alberro, J.A. and Santoyo, E.Y. (1973)

นอกจากนี้ ยังพบว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะแปรผันโดยตรงกับลอการิทึมของอัตราความเครียด ซึ่งมีความสัมพันธ์จะเป็นแบบเส้นตรงในช่วงระดับอัตราความเครียดช่วงหนึ่งและเมื่อระดับอัตราความเครียดลดต่ำลง พบว่าจะเกิดขอบเขตล่างของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่จะไม่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำลดลงไปได้อีก ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอัตราความเครียดต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โดย

ส่วนใหญ่ พบว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 5 – 10 ใน 1 ช่วงลอกการิทึมของอัตราความเครียด(10-fold) ซึ่งดิน Haney Clay จะมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ต่อ 1 ช่วงลอกการิทึมของอัตราความเครียด ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับดินคงสภาพ Norwegian Clay ที่วิจัยโดย Berre & Bjerrum (1973)



ภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด ของการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโดยการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดในงานวิจัยของ Vaid & Campanella (1977)



ภาพที่ 2.2 แสดงผลกระทบของอัตราความเครียดต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในงานวิจัยของ Vaid & Campanella (1977)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากงานวิจัยด้านการทดสอบเกี่ยวกับผลกระทบของอัตราความเครียดต่อพฤติกรรมการรับหน่วยแรงและกำลังรับหน่วยแรงเฉือนของดินแล้ว ยังมีการพัฒนาความรู้ด้านแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมสำหรับวัสดุที่มีผลกระทบเนื่องจากเวลา โดย Houlsby & Puzrin (2002) ได้พัฒนาแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นอยู่กับอัตรา(Rate-dependent model) ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวไม่เพียงแต่สามารถจำลองพฤติกรรมในงานปฐพีกลศาสตร์เท่านั้น แต่ยังสามารถจำลองพฤติกรรมวัสดุในอีกหลายชนิด อีกทั้งไม่เพียงจำลองพฤติกรรมของวัสดุอันเนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเท่านั้น แต่ยังสามารถจำลองพฤติกรรมของวัสดุอันเป็นผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงด้านอื่นอีกด้วย เช่น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อัตราการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรง ที่เป็นเช่นนี้เพราะแบบจำลองดังกล่าวได้พัฒนาต่อเนื่องมาจากแบบจำลองแบบไม่ขึ้นอยู่กับอัตรา(Rate-independent model) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของศาสตร์วิชาอุณหพลศาสตร์

2.2 ทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี

แบบจำลองทางด้านพลาสติกจำนวนมากหลายทฤษฎีที่นำมาใช้กับงานด้านปฐพีกลศาสตร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่เป็นไปตามกฎอุณหพลศาสตร์(Thermodynamics Laws) เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองพลาสติกที่พัฒนาบนพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ เช่น แบบจำลองพลาสติกที่ใช้การเปลี่ยนแปลงภายใน(Internal variable) ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย Coleman & Gurtin (1967), Lubliner (1972) และ Ziegler (1977 & 1983) ซึ่ง Ziegler ได้แสดงให้เห็นถึงการได้มาของ Constitutive ในวัสดุประเภทของแข็งจากการใช้ปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ 2 ปริมาณ คือ Energy function กับ Dissipation function ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้เป็นการบ่งชี้ให้เห็นว่าสามารถพัฒนา Constitutive ให้อยู่บนพื้นฐานของอุณหพลศาสตร์เพื่อใช้จำลองความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดได้ และในเวลาต่อมา Collins & Houlsby (1997) ได้พัฒนาแบบจำลองตามแนวความคิดของ Ziegler และเรียกว่า "ทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี(Hyper plasticity theory)"

2.2.1 หลักเกณฑ์พื้นฐานของทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี้

Houlsby & Puzzrin (1999) ได้อธิบายถึงที่มาของแบบจำลองพลาสติกบนพื้นฐานของอุณหพลศาสตร์โดยแนวทางการได้มาของ Constitutive จะถูกกำหนดขึ้นจากปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ 2 ปริมาณ คือ ฟังชั่นพลังงาน(Energy function) กับ ฟังชั่นการสูญเสียพลังงาน (Dissipation function) หรือ ฟังก์ชั่นคราก(Yield function) ซึ่งฟังชั่นพลังงานจะนิยามถึงปริมาณพลังงานที่สะสมในวัสดุ ซึ่งมีรูปแบบฟังก์ชั่นอย่างใดอย่างหนึ่งในสี่รูปแบบของปริมาณพลังงาน คือ พลังงานภายใน(Internal energy or *u*), Helmholtz free energy or *f*, Gibbs free energy or *g* และเอนทัลปี(Enthalpy or *h*) ซึ่งปริมาณพลังงานเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันโดยการแปลงรูปแบบด้วยความสัมพันธ์ เลอจองด์ ทรานส์ฟอร์ม (Legendre transformation) ในขณะที่ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานจะนิยามถึงสถานะและอัตราการเปลี่ยนแปลงของสถานะทางอุณหพลศาสตร์ตามกฎข้อที่สอง ซึ่งสามารถนิยามได้ใน 4 รูปแบบเช่นเดียวกับฟังก์ชั่นพลังงานขึ้นอยู่กับผู้ใช้จะนิยามพลังงานในรูปแบบใดให้เหมาะสมกับวัสดุ ซึ่งในความเป็นจริงสามารถที่จะพิจารณาฟังก์ชั่นการสูญเสียให้ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภายใน(Intenal variable, $\dot{\alpha}_{ij}$) เพียงอย่างเดียวเท่านั้นได้ ดังตารางที่ 2.1 ที่ได้แสดงผลสรุปของฟังก์ชั่นที่นิยาม Constitutive ในรูปแบบของ Gibbs free energy และ Helmholtz free energy โดยในแบบจำลองนี้จะไม่พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานกับฟังก์ชั่นครากจะสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันด้วย Legendre transformation เช่นกัน

ตารางที่ 2.1 สมการพื้นฐานสำหรับทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี (Houlsby & Puzzrin,1999)

	พลังงานอิสระ Gibbs	**พลังงานอิสระ** Helmholtz
ฟังก์ชั่นพลังงาน	$g = g(\sigma_{ij}, \alpha_{ij})$	$f = f(\varepsilon_{ij}, \alpha_{ij})$
ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงาน	$d = d^g(\sigma_{ij}, \alpha_{ij}, \dot{\alpha}_{ij}) \geq 0$	$d = d^f(\varepsilon_{ij}, \alpha_{ij}, \dot{\alpha}_{ij}) \geq 0$
ความเค้นทั่วไป	$\bar{\chi}_{ij} = -\dfrac{\partial g}{\partial \alpha_{ij}}$	$\bar{\chi}_{ij} = -\dfrac{\partial f}{\partial \alpha_{ij}}$
ความเค้นและความเครียด	$\varepsilon_{ij} = -\dfrac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}$	$\sigma_{ij} = \dfrac{\partial f}{\partial \varepsilon_{ij}}$

	พลังงานอิสระ Gibbs	**พลังงานอิสระ Helmholtz**
ความเค้นสูญเสียทั่วไป	$\chi_{ij} = \frac{\partial d^g}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$	$\chi_{ij} = \frac{\partial d^f}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$
ฟังก์ชั่นคราก	$y = y^g\left(\sigma_{ij}, \alpha_{ij}, \chi_{ij}\right) = 0$	$y = y^f\left(\varepsilon_{ij}, \alpha_{ij}, \chi_{ij}\right) = 0$
กฎการไหล	$\dot{\alpha}_{ij} = \lambda \frac{\partial y^g}{\partial \chi_{ij}}$	$\dot{\alpha}_{ij} = \lambda \frac{\partial y^f}{\partial \chi_{ij}}$

2.3 แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา

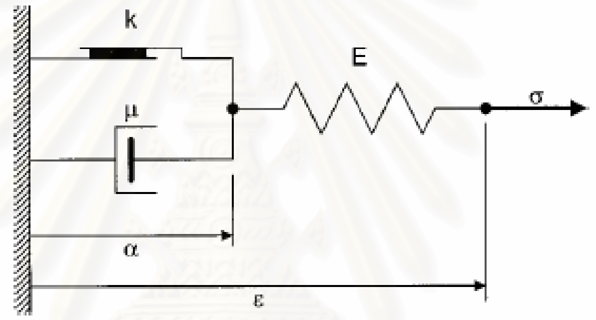
Houlsby & Puzzrin (2002) ได้อธิบายที่มาของแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นอยู่กับอัตราจาก 2 ปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ เช่นเดียวกับแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ไม่ขึ้นกับอัตรา(Rate-independente model) โดยนิยามฟังก์ชั่นพลังงานให้มีรูปแบบฟังก์ชั่นและความหมายไม่แตกต่างไปจากแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ไม่ขึ้นกับอัตรา แต่สิ่งที่แตกต่างออกไปคือฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานจะนิยามมาจากผลรวมของปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ 2 ปริมาณ คือ force potential, z และ flow potential, w โดยฟังก์ชั่นเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้โดยความสัมพันธ์ เลอจองด์ ทรานส์ฟอร์ม ดังตารางที่ 2.2 ที่แสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชั่นสำหรับแบบจำลองของวัสดุที่ไม่ขึ้นกับอัตราและวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบสมการของแบบจำลองสำหรับวัสดุขึ้นกับอัตราและวัสดุไม่ขึ้นกับอัตรา

	แบบจำลองแบบไม่ขึ้นกับอัตรา	**แบบจำลองแบบขึ้นกับอัตรา**
ฟังก์ชั่นพลังงาน	*ใช้เหมือนกันทั้งสองแบบจำลอง*	
ฟังก์ชั่นที่นิยามแตกต่าง	*Dissipation function (d)* *Yield function (y)*	*Force potential (z)* *Flow potential (w)*
ความเค้นสูญเสียทั่วไป	$\chi_{ij} = \frac{\partial d}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$	$\chi_{ij} = \frac{\partial z}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	แบบจำลองแบบไม่ขึ้นกับอัตรา	แบบจำลองแบบขึ้นกับอัตรา
ความเค้นสูญเสียทั่วไป	$\chi_{ij} = \dfrac{\partial d}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$	$\chi_{ij} = \dfrac{\partial z}{\partial \dot{\alpha}_{ij}}$
การแปลงรูปแบบด้วยเลอจองด์ ทรานส์ฟอร์ม	$\lambda y = \chi_{ij}\dot{\alpha}_{ij} - d = 0$	$w = \chi_{ij}\dot{\alpha}_{ij} - z = d - z$
กฎการไหล	$\dot{\alpha}_{ij} = \lambda \dfrac{\partial y}{\partial \chi_{ij}}$	$\dot{\alpha}_{ij} = \dfrac{\partial w}{\partial \chi_{ij}}$



ภาพที่ 2.3 แสดงรูปแบบกลศาสตร์ของแบบจำลองความหนืดเชิงเส้น 1 มิติ

เพื่อยกตัวอย่างให้เห็นถึงรูปแบบฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราอย่างง่ายด้วยพฤติกรรมอิลาสโตพลาสติกแบบหนืด จะใช้แบบจำลองความหนืดเชิงเส้นแบบ 1 มิติ ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งเป็นการรวมของแบบจำลองอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์(Elastic-perfectly plastic model) ต่อขนานกับแบบจำลองอิลาสติกแบบหนืด(Visco elastic model) ซึ่งเมื่อนำฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานของแบบจำลองอิลาสติกแบบหนืดที่นิยามได้ว่า $d = \mu\dot{\alpha}^2$ รวมเข้ากับของฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานของแบบจำลองอิลาสโตพลาสติกสมบูรณ์ที่นิยามว่า $d = c|\dot{\alpha}|$ จะทำให้ได้ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานที่รวมพฤติกรรมแบบหนืดและแบบพลาสติกสมบูรณ์เข้าด้วยกัน(Viscoplastic model) ในรูปแบบอย่างง่าย ซึ่งฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานจะออกมาในรูปของสมการ

$$d = c|\dot{\alpha}| + \mu\dot{\alpha}^2 \qquad (1)$$

ฟังก์ชั่นต่างๆ ของแบบจำลองความหนืดเชิงเส้นแบบ 1 มิติ สามารถนิยามขึ้นได้ตามการนิยามฟังก์ชั่นสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งผลสรุปฟังก์ชั่นได้แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งโดยรวมแล้วแบบจำลองความหนืดเชิงเส้นมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการจำลองผลการทดสอบแรงอัดสามแกนเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดไม่มากจนเกินไป แต่เมื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางธรณีเทคนิคที่มีความซับซ้อน การใช้แบบจำลองที่สลับซับซ้อนมากขึ้นเช่น ใช้ควบคู่กับทฤษฎี Rate process theory อาจจะมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดย Houlsby & Puzzrin (2002) ได้อธิบายแบบจำลองของวัสดุที่ขึ้นกับอัตราบนพื้นฐานของ Rate process theory (Mitchell, 1976) ด้วยฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงาน

$$d = c|\dot{\alpha}| + \mu r \dot{\alpha} \sinh^{-1}\left(\frac{\dot{\alpha}}{r}\right) \qquad (2)$$

ตามการนิยามฟังก์ชั่นสำหรับวัสดุแบบขึ้นกับอัตราดังแสดงในตารางที่ 2.2 เมื่อนำมาใช้ในแบบจำลองที่อยู่บนพื้นฐาน Rate process จะได้ฟังก์ชั่นดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด (small strain rate, $\dot{\alpha}_{ij}$ เข้าใกล้ศูนย์) น้อยมากๆ จะพบว่าฟังก์ชั่น flow potential ในแบบจำลองที่อ้างถึง Rate process จะให้ค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากแบบจำลองแบบเชิงเส้น หรือ $w \approx \frac{\langle|\chi| - c\rangle^2}{2\mu}$ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก $\cosh(x) \approx 1 + \frac{x^2}{2} + \cdots$

ตารางที่ 2.3 สรุปสมการของแบบจำลองของวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา (After Houlsby & Puzzrin, 2002)

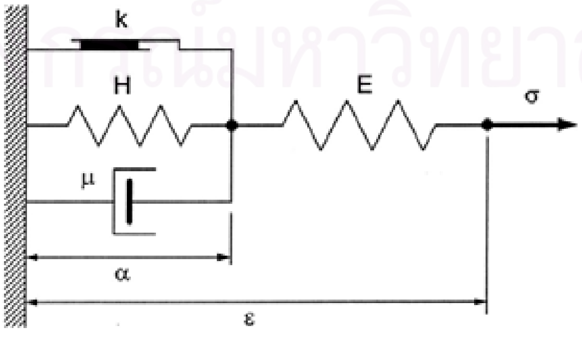
	แบบจำลองความหนืดเชิงเส้น	**แบบจำลองความหนืดบนพื้นฐาน** rate process
ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงาน	$d = c\lvert\dot{\alpha}\rvert + \mu\dot{\alpha}^2$	$d = c\lvert\dot{\alpha}\rvert + \mu r \dot{\alpha}\, sinh^{-1}\left(\frac{\dot{\alpha}}{r}\right)$
Force potential	$z = c\lvert\dot{\alpha}\rvert + \frac{\mu\dot{\alpha}^2}{2}$	$z = c\lvert\dot{\alpha}\rvert + \mu r\left[\dot{\alpha}\sinh^{-1}\left(\frac{\dot{\alpha}}{r}\right) + r - \sqrt{r^2 + \dot{\alpha}^2}\right]$

	แบบจำลองความหนืดเชิงเส้น	แบบจำลองความหนืดบนพื้นฐาน rate process
Flow potential	$w = \dfrac{\langle \lvert\chi\rvert - c \rangle^2}{2\mu}$	$w = \mu r^2 \left[\cosh\left(\dfrac{\langle \lvert\chi\rvert - c \rangle}{\mu r} \right) - 1 \right]$
กฎการไหล	$\dot{\alpha} = \dfrac{\langle \lvert\chi\rvert - c \rangle}{\mu} \operatorname{sgn}(\chi)$	$\dot{\alpha} = r \sinh\left(\dfrac{\langle \lvert\chi\rvert - c \rangle}{\mu r} \right) \operatorname{sgn}(\chi)$

2.3.1 **แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน** (Rate-dependent plasticity with multiple internal variables)

แบบจำลองพลาสติกชนิดนี้เป็นรูปแบบหนึ่งของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราบนพื้นฐานทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติก ซึ่งต่อขยายมาจากแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราด้วยตัวแปรภายในตัวเดียว (Rate-dependent plasticity with single internal variable) และเพื่อทำความเข้าใจแบบจำลองจะแสดงตัวอย่างการนิยามฟังก์ชั่นต่างๆ ให้เห็นถึงที่มาของสมการในการนำไปใช้งานในแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราด้วยตัวแปรภายในตัวเดียว ซึ่งรวมพฤติกรรมการแข็งตัว(Hardening behavior) ของวัสดุมาร่วมพิจารณาในแบบจำลองด้วย โดยมีรูปแบบกลศาสตร์ของวัสดุ ดังภาพที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.4 แสดงกลศาสตร์ของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราด้วยตัวแปรภายในตัวเดียว

จากภาพที่ 2.4 สามารถนิยามสมการพลังงาน(Energy function) ในรูปแบบของ Gibbs free energy ได้ด้วยสมการที่ (3)

$$g = -\frac{\sigma^2}{2E} - \sigma\alpha + \frac{H\alpha^2}{2} \tag{3}$$

ส่วนสมการการสูญเสียพลังงาน(Dissipation function) สามารถนิยามได้ด้วยสมการที่ (4)

$$d = k|\dot{\alpha}| + \mu\dot{\alpha}^2 \tag{4}$$

ด้วยหลักการของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา ตามแสดงไว้ในตาราง 2.3 ซึ่งสามารถนิยามฟังชั่น force potential, *z* ได้ด้วยสมการ ที่ (5)

$$z = k|\dot{\alpha}| + \frac{\mu\dot{\alpha}^2}{2} \tag{5}$$

ตามการนิยามฟังชั่นต่าง ๆ ที่ได้จากหลักการของทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกข้างต้น เมื่อทำการ Differential ฟังก์ชันพลังงานและการสูญเสียพลังงานจะได้ ความเครียด(ε) ความเค้นทั่วไป ($\bar{\chi}$) และความเค้นการสูญเสียทั่วไป(χ) ดังสมการที่ (6), (7) และ (8) ตามลำดับ

$$\varepsilon = \frac{\partial g}{\partial \sigma} = \frac{\sigma}{E} + \alpha \tag{6}$$

$$\bar{\chi} = -\frac{\partial g}{\partial \alpha} = \sigma - H\alpha \tag{7}$$

$$\chi = \frac{\partial z}{\partial \dot{\alpha}} = k \cdot sg(\dot{\alpha}) + \mu\dot{\alpha} \tag{8}$$

เมื่อ $sg(x)$ คือ *signum fundtion* ซึ่งเป็นรูปแบบฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่จะให้ค่า $sg(x) = 1$ เมื่อ $x > 0$, $sg(x) = -1$ เมื่อ $x < 0$ เท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว $sg(x) = 0$ เมื่อ $x = 0$ ซึ่ง ณ ที่นี้ จะละเว้นไว้และไม่นิยามค่า $sg(x)$ ให้มีค่าภายในช่วง -1 ถึง 1 เพื่อมิให้ปัญหาการเกิด convex มีขึ้น จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมการ (8) ขึ้นใหม่ เพื่อให้สามารถนิยามความหมายได้เมื่อ $\dot{\alpha} = 0$ และ $\dot{\alpha} \neq 0$

ในกรณีนี้ จะเริ่มจากพิจารณาในกรณี $\dot{\alpha} \neq 0$ ซึ่งหมายความว่ามีการเคลื่อนตัวแบบพลาสติกเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ความเค้นทั่วไป ($\overline{\chi}$) มีค่าเท่ากับความเค้นสูญเสียทั่วไป (χ) และเพื่อการอธิบายกรณี $\dot{\alpha} \neq 0$ ได้กระชับยิ่งขึ้นจะแปลงสมการที่ (8) ได้ด้วยสมการ

$$\sigma - H\alpha = (k + \mu|\dot{\alpha}|) \cdot sg(\dot{\alpha}) \tag{9}$$

เมื่อพิจารณาให้ละเอียดขึ้น พบว่าเมื่อเกิดการเคลื่อนตัวแบบพลาสติก ซึ่งหมายความว่า $|\sigma - H\alpha| > k$ หากพิจารณาสมการที่ (9) จะพบว่าเครื่องหมายของพจน์ $\sigma - H\alpha$ ต้องมีเครื่องหมายเช่นเดียวกับ $\dot{\alpha}$ ในขณะที่หากพิจารณาในกรณี $|\sigma - H\alpha| \leq k$ นั่นคือ $\dot{\alpha} = 0$ เป็นผลทำให้ $\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E}$ หรือจะเกิดเฉพาะการเคลื่อนตัวแบบอิลาสติก ซึ่งขอบเขตของการเคลื่อนตัวแบบอิลาสติกจะกำหนดด้วย “kinematic hardening yield surface” $|\sigma - H\alpha| - k = 0$ จะเห็นว่าถ้าพิจารณา อัตราการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกด้วยระดับของความเค้นในพจน์ $|\sigma - H\alpha| - k$ จะสามารถนิยามได้ทั้งกรณีที่ $\dot{\alpha} = 0$ และ $\dot{\alpha} \neq 0$ ซึ่งทำให้การการตอบสนองของความเค้น-ความเครียดสมบูรณ์มากขึ้น และสามารถจัดรูปแบบสมการที่ (9) ขึ้นใหม่ได้ว่า

$$\dot{\alpha} = \frac{\langle |\sigma - H\alpha| - k \rangle}{\mu} sg(|\sigma - H\alpha|) \tag{10}$$

เมื่อ $\langle x \rangle$ คือ *Macaulay brackets* ซึ่งเป็นรูปแบบฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่ให้ค่า $\langle x \rangle = 0$ เมื่อ $x < 0$ และให้ค่า $\langle x \rangle = x$ เมื่อ $x \geq 0$ ซึ่งผลที่ได้จากสมการที่ (10) จะทำให้รูปแบบสมการเป็นไปตามความหมายของฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์และทำให้แบบจำลองมีความรัดกุมมากยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการที่ (10) จะพบว่าคือฟังก์ชั่นกฎการไหลในตารางที่ 2.3

จากสมการที่ (10) จะเป็นผลทำให้สามารถนิยามสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดได้ว่า

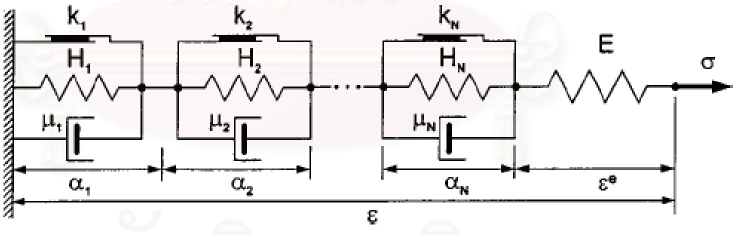
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\langle |\sigma - H\alpha| - k \rangle}{\mu} sg(|\sigma - H\alpha|) \tag{11}$$

สมการที่กำหนดขึ้นข้างต้นเป็นการกำหนดขึ้นจากฟังก์ชั่น force potential, *z* ซึ่งสามารถกำหนดสมการต่างๆ จาก flow potential, *w* ได้เช่นกัน ซึ่งสมการ flow potential หาได้จากความสัมพันธ์ $w = d - z = \frac{\mu\dot{\alpha}^2}{2}$ เมื่อแทนค่า $\dot{\alpha}$ ที่ได้จากสมการที่ (10) และแทนค่า $|\sigma - H\alpha|$ ด้วย χ จะได้สมการ flow potential ในรูปของ χ ว่า

$$w = \frac{\langle |\chi| - k \rangle^2}{2\mu} \tag{12}$$

ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การหา $\dot{\alpha}$ เริ่มจาก flow potential ในสมการที่ (12) จะมีกระชับกว่าเริ่มจาก force potential ในสมการที่ (5) ซึ่งเมื่อทำการ Differentiation สมการที่ (12) จะได้ $\dot{\alpha} = \frac{\partial w}{\partial \chi} = \frac{\langle |\chi| - k \rangle}{\mu} sg(\chi)$ จะให้รูปแบบสมการเหมือนกับสมการที่ (10) เมื่อแทนค่า χ ด้วย $|\sigma - H\alpha|$

จากการนิยามฟังก์ชั่นต่างๆ ตั้งแต่สมการที่ (3) ถึงสมการที่ (12) จะสามารถนำมาสร้างแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราด้วยตัวแปรภายในตัวเดียวได้ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีผิวการวิบัติเพียงขอบเขตเดียว และเมื่อต้องการให้การตอบสนองของพฤติกรรมแบบอิลาสติกไปเป็นพฤติกรรมแบบอิลาสโตพลาสติกมีความราบเรียบมากขึ้นสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนผิวการวิบัติให้มากขึ้น ซึ่งเป็นที่มาของแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน (Rate-dependent plasticity with multiple internal variables) ซึ่งกลศาสตร์ของแบบจำลองได้แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงกลศาสตร์ของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน

จากกลศาสตร์ของแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพที่ 2.5 จะพบว่า ได้เพิ่มผิวการวิบัติเป็น N ขอบเขต โดยแต่ละส่วนจะต่อเชื่อมแบบอนุกรมต่อกัน ซึ่งจะทำให้ผลรวมของปริมาณพลาสติกทั้งหมดเท่ากับผลรวมของปริมาณพลาสติกในแต่ละส่วน ซึ่งสามารถนิยามฟังก์ชั่นพลังงาน, พลังงานการสูญเสีย, force potentials และ flow potentials ดังที่กล่าวมาข้างต้นได้ดังสมการ (13) ถึง (16)

$$g = -\frac{\sigma}{2E} - \sigma\sum_{n=1}^{N}\alpha_n + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N}H_n\alpha_n^2 \quad (13)$$

$$d = \sum_{n=1}^{N}k_n|\dot{\alpha}_n| + \sum_{n=1}^{N}\mu_n\dot{\alpha}_n^2 \quad (14)$$

$$z = \sum_{n=1}^{N}k_n|\dot{\alpha}_n| + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N}\mu_n\dot{\alpha}_n^2 \quad (15)$$

$$w = \sum_{n=1}^{N}\frac{\langle|\chi_n| - k_n^2\rangle}{2\mu_n} \quad (16)$$

จากสมการที่ (12) ถึง (16) เมื่อใช้หลักการของทฤษฎีไฮเปอร์พลาสิกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา จะสามารถนิยามสมการตอบสนองของความเค้นและความเครียดได้ดังสมการที่ (17) ถึง (19)

$$d\varepsilon = \frac{1}{E}d\sigma + \sum_{n=1}^{N}\frac{\langle|\chi_n| - k_n\rangle}{\mu_n}sg(\chi_n)dt \quad (17)$$

$$\chi_n = \overline{\chi}_n = -\frac{\partial g}{\partial\alpha_n} = \sigma - H_n\alpha_n \quad (18)$$

$$d\alpha_n = \frac{\partial w}{\partial\chi_n}dt = \frac{\langle|\chi_n| - k_n\rangle}{\mu_n}sg(\chi_n)dt \quad (19)$$

จากสมการตอบสนองที่ได้จะสามารถนำไปสร้างแบบจำลองพลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายในได้ ซึ่งสมมติให้แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวแบบหนืดเชิงเส้น การตอบสนองของแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดในการแสดงพฤติกรรมแบบหนืด ซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงจากการควบคุมอัตราความเครียดในการทดสอบ เป็นผลทำให้กำลังรับหน่วยแรงเฉือนเป็นสัดส่วนกันอัตราความเครียด ในขณะที่ค่าแม่นยำที่เกิดขึ้นจากการคำนวณจะเป็นผลจากการกำหนดค่า dt ในแต่ละขั้นของการเพิ่มความเครียดให้คำนวณละเอียดเพียงไร ซึ่งในงานศึกษานี้ได้นำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดโดยเทคนิคการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียด

2.3.2 แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา Kinematic hardening modified Cam-Clay (KHMCC) model

แบบจำลอง "Kinematic Hardening Modified Cam Clay" (Likitlersuang and Houlsby, 2004) เป็นอีกหนึ่งแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นอัตรา ซึ่งพัฒนาแบบจำลอง Modified Cam Clay บนพื้นฐานทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี โดย Constitutive ถูกนิยามจากฟังก์ชั่นปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ 2 ปริมาณ คือ ฟังก์ชันพลังงาน และ ฟังก์ชันการสูญเสียพลังงาน ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาบนพื้นฐานทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตีจะมีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งทำให้แบบจำลองที่ได้มี Constitutive ที่กระชับและลื่นไหลในการคำนวณการตอบสนองของความเค้นและความเครียด นอกจากนี้ แบบจำลอง KHMCC ยังประกอบด้วย kinematic hardening ซึ่งทำให้การจำลองพฤติกรรมได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น และเพื่อให้การตอบสนองจากพฤติกรรมแบบอิลาสติกไปเป็นแบบอิลาสโตพลาสติกราบเรียบขึ้น ด้วยการตอบสนองของปริมาณพลาสติกด้วยฟังก์ชั่นการเปลี่ยนแปลงภายใน(internal functions) หรือที่เรียกว่า "continuous hyperplasticity" (Puztin and Houlsby, 2004)

พัฒนาการของแบบจำลอง KHMCC เริ่มต้นมาจากแบบจำลองอิลาสติกทั่วไปจนกระทั่งเข้าสู่แบบจำลองอิลาสโตพลาสติกด้วยตัวแปรภายในตัวเดียว พัฒนาขึ้นเป็นแบบจำลองที่มีหลายตัวแปรภายใน จนกระทั่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ฟังชั่นการเปลี่ยนแปลงภายในอย่างต่อเนื่อง (continuous internal function) ต่อขยายไปสู่การใช้ฟังก์ชั่นการเปลี่ยนแปลงภายในที่ไม่จำกัดจำนวนของผิวการวิบัติ ด้วยการกำหนดฟังก์ชั่นในเทอมของโคออดิเนตภายใน(internal coordinate, η) ซึ่งทำให้แบบจำลองขยายไปสู่การใช้ตัวแปรแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ในการจำลองการทดสอบแรงอัดสามแกน คือ

$$p' = \frac{\sigma_1' + 2\sigma_3'}{3}, \quad q' = \sigma_1' - \sigma_3' \text{ และ } \varepsilon_p = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3, \ \varepsilon_q = \frac{2}{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \qquad (20)$$

ซึ่งแบบจำลอง KHMCC มีจุดมุ่งหมายการพัฒนาแบบจำลองเพื่อแก้จุดด้อยของ Modified Cam Clay (Roescoe & Burland, 1968) โดยเจาะจงลงไปในส่วนของความเครียดน้อยและการอธิบายผลกระทบอันเนื่องมาจากหน่วยแรงกระแทก(immediate stress history) ซึ่งทำให้แบบจำลองจำเป็นต้องมีส่วนประกอบของ Critical State Soil Mechanics, CSSM ซึ่งสามารถแสดงสมการ Constitutive ของแบบจำลอง KHMCC บนพื้นฐานของตัวแปรการทดสอบแรงอัดสามแกนได้โดยนิยามตามที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

เริ่มต้นจากการกำหนดฟังก์ชั่นพลังงานซึ่ง ณ ที่นี้จะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ Gibbs free energy, g หรืออาจเป็น Helmholtz free energy, f ซึ่งจะสามารถนิยามได้ดังสมการที่ (21) และ (22)

$$g = \hat{g}\left(p, q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \eta\right) \tag{21}$$

$$f = f\left(\varepsilon_p, \varepsilon_q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \eta\right) \tag{22}$$

เมื่อเครื่องหมาย ^ (*hat*) เป็นการแสดงถึงการเป็นฟังก์ชั่น ในขณะที่ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงาน(dissipation functions, d) และฟังก์ชั่นผิวการวิบัติ(yield surface, y) เมื่อจัดรูปแบบของ Gibbs free energy และ Helmholtz free energy สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (23) และ (24)

$$d = \hat{d}^g\left(p, q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \dot{\hat{\alpha}}_p, \dot{\hat{\alpha}}_q \eta\right) \geq 0 \quad \text{และ} \quad d = \hat{d}^f\left(\varepsilon_p, \varepsilon_q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \dot{\hat{\alpha}}_p, \dot{\hat{\alpha}}_q \eta\right) \geq 0 \tag{23}$$

$$y = \hat{y}^g\left(p, q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \dot{\hat{\alpha}}_p, \dot{\hat{\alpha}}_q \eta\right) = 0 \quad \text{และ} \quad y = \hat{y}^f\left(\varepsilon_p, \varepsilon_q, \hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_q, \dot{\hat{\alpha}}_p, \dot{\hat{\alpha}}_q \eta\right) = 0 \tag{24}$$

จากฟังก์ชั่นที่นิยามขึ้นตั้งแต่สมการที่ (21) ถึง (24) จะสามารถสร้าง Constitutive แสดงพฤติกรรมบนการทดสอบแรงอัดสามแกนได้ ซึ่งจะแสดงสมการในแบบจำลองดังนี้

สมการพลังงานบนรูปแบบ Gibbs free energy function แสดงดังสมการที่ (25) เมื่อ $\hat{H}_p$, $\hat{H}_q$ คือ ฟังก์ชั่นการแข็งตัว(Hardening function) ที่มีความสัมพันธ์กับบัลค์โมดูลัส(Bulk modulus, K) และโมดูลัสเฉือน(Shear modulus, G) ในเทอมของ p และ q และตามลำดับ

$$g = -\frac{p^2}{2K} - \frac{q^2}{6G} - \left(p\alpha_p + q\alpha_q\right) + \int\left(\frac{1}{2}\hat{H}_p \hat{\alpha}_p^2 + \frac{1}{2}\hat{H}_q \hat{\alpha}_q^2\right) d\eta \tag{25}$$

ฟังก์ชั่นการสูญเสียพลังงานและฟังก์ชั่นผิวการคราก แสดงดังสมการที่ (26)

$$d = \int \hat{c}\sqrt{\dot{\hat{\alpha}}_p^2 + M^2 \dot{\hat{\alpha}}_q^2}\, d\eta = 0 \quad \text{และ} \quad y = \sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2} - \hat{c} = 0 \tag{26}$$

เมื่อ M คือ ค่าคงที่ของอัตราส่วนของ q / p' ที่ได้จาก CSSM และค่า $\hat{c}$ คือค่าที่แสดงถึงขอบเขตของฟังก์ชั่นผิวการวิบัติ

และขณะที่ผิวการวิบัติแสดงพฤติกรรมการแข็งตัวแบบเลื่อนที่(Kinematic hardening) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นในพจน์ $\frac{1}{2}\hat{H}_p\hat{\alpha}_p^2$ และ $\frac{1}{2}\hat{H}_q\hat{\alpha}_q^2$ ซึ่งจะตอบสนองกับหน่วยแรงแบบอัดตัวคายน้ำ(consolidation mode)หรือตัวแปร p และหน่วยแรงแบบเฉือน(shear mode)หรือตัวแปร q ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบฟังชั่นการแข็งตัวแบบอัดตัวคายน้ำ(consolidation hardening function) สามารถแสดงดังสมการที่ (27)

$$\hat{H}_p = \frac{K(1-r\eta)^{b_p}}{2(a_p - 1)} \tag{27}$$

เมื่อ K คือ บัลค์โมดูลัสเริ่มต้น ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความชันของเส้นการพองตัว(swelling line, κ) โดย $K = p'(1+e)/\kappa$ และ a_p , b_p เป็นค่าตัวแปรการแข็งตัวแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear hardening parameter) และ r คือ ตัวแปรควบคุมบัลค์โมดูลัสแบบพลาสติกซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชันของเส้นการอัดตัวคายน้ำปกติ(Normal Consolidated Line : NCL, λ)

ส่วนฟังก์ชั่นการแข็งตัวแบบเฉือน(Shear hardening function) โดยทั่วไปจะแสดงอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชั่นไฮเปอร์โบลิค ดังสมการที่ (28)

$$\hat{H}_q = \frac{3G(1-\eta)^{b_q}}{2(a_q - 1)} \tag{28}$$

เมื่อ G_0 คือโมดูลัสเฉือนเริ่มต้น และ a_q , b_q เป็นค่าตัวแปรการแข็งตัวแบบไฮเปอร์โบลิค ซึ่งค่าโมดูลัสเฉือนอาจสมมติให้เป็นเส้นตรงโดยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงเฉลี่ย (mean stress, p) หรือแสดงได้ด้วยสมการ $G = g_x p$ เมื่อ g_x คือความชันของโมดูลัสเฉือน

จากการนิยามสมการข้างต้น จะพบว่าได้นิยามฟังก์ชั่นตามทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตีได้หมดแล้ว จะเหลือแต่พิจารณาฟังก์ชั่นการตอบสนองของแบบจำลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของ Constitutive กับแบบจำลองที่ไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติกซิตี จะพบว่า Constitutive ที่พัฒนาบนทฤษฎีไฮเปอร์พลาสติก จะมีรูปแบบมาตรฐานในการกำหนดฟังชั่นการตอบสนองซึ่งสามารถแสดงฟังก์ชั่นการตอบสนองได้ด้วยสมการที่ (29) ถึง (31) ในขณะที่ Constitutive อื่นๆ จำเป็นจะต้องหาวิธีการใดเพื่อให้ได้มาซึ่งฟังก์ชั่นการตอบสนอง

ตามหลักของแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา จะสามารถนิยาม force potential และ flow potential ได้ดังสมการที่ (29) และ (30)

$$z = \int \hat{c}\sqrt{\dot{\hat{\alpha}}_p^2 + M^2\dot{\hat{\alpha}}_q^2}\,d\eta + \frac{\mu}{2}\int \left(\dot{\hat{\alpha}}_p^2 + M^2\dot{\hat{\alpha}}_q^2\right)_q^2 d\eta \tag{29}$$

$$\hat{w} = \frac{1}{2\mu}\left\langle \sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2} - \hat{c} \right\rangle^2 \tag{30}$$

เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชั่น kinematic internal function แสดงได้ดังสมการที่ (31a) และ (31b)

$$\dot{\hat{\alpha}}_p = \frac{\partial \hat{w}}{\partial \hat{\chi}_p} = \frac{\hat{\chi}_p}{\mu\sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2}}\left\langle \sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2} - \hat{c} \right\rangle \tag{31a}$$

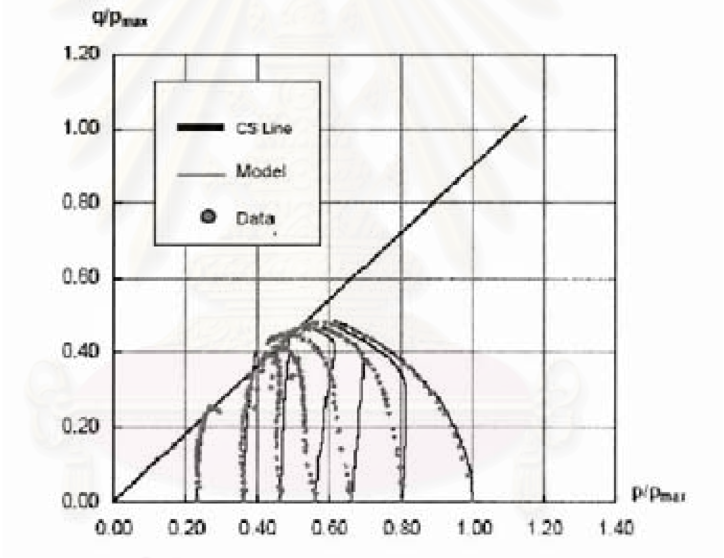
$$\dot{\hat{\alpha}}_q = \frac{\partial \hat{w}}{\partial \hat{\chi}_q} = \frac{\hat{\chi}_q}{\mu M^2\sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2}}\left\langle \sqrt{\hat{\chi}_p^2 + \hat{\chi}_q^2 / M^2} - \hat{c} \right\rangle \tag{31b}$$

การเกิดค่าความผิดพลาดของระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขในการคำนวณของแบบจำลองพลาสติกซิตีไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระเบียบการเชิงตัวเลขวิธีอื่นๆ ในขณะที่ความแม่นยำของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราจะขึ้นอยู่กับการแบ่งย่อยของแต่ละช่วงเวลา(time step) และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (viscosity coefficient, μ) ซึ่งโดยหลักการแล้วสามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราในการคำนวณแบบไม่ขึ้นกับอัตราได้ โดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดให้มีค่าน้อยมากๆ หรือ กำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงให้ช้ามากๆ การกำหนดค่าในลักษณะดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้จริงแต่อาจก่อเกิดปัญหาด้านตัวเลขในการคำนวณค่า $\dot{\hat{\alpha}}_{ij}$ ได้ นั่นเป็นเพราะว่าพจน์ $1/\mu$ ในพจน์ $\dot{\hat{\alpha}}_{ij}$ จะมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่จะต้องปรับแต่งค่าช่วงเวลากับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดให้มีสัมพันธ์เหมาะสมกัน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในกระบวนการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

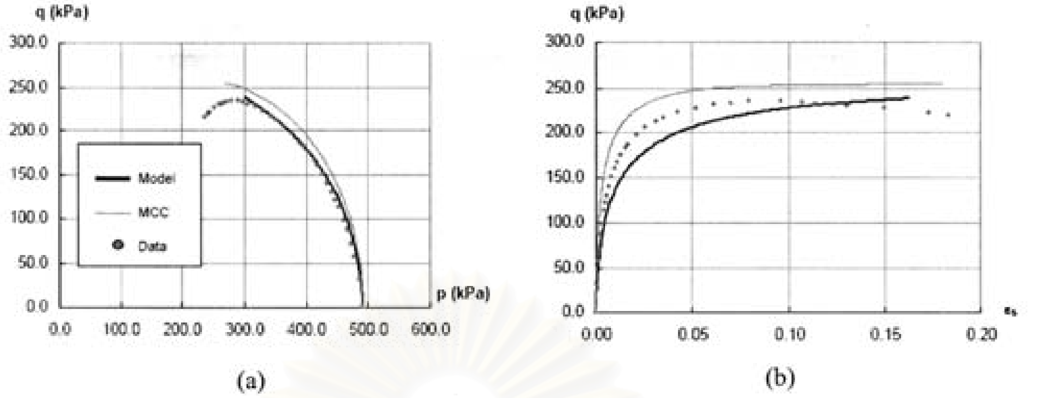
2.4 การใช้แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกซิตีสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราในการจำลองผลจากการทดสอบแรงอัดสามแกน

แบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา ที่นำมาแสดงในการจำลองพฤติกรรมของดินเหนียว จะใช้แบบจำลอง KHMCC แบบเชิงเส้น ในการศึกษาจำลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง MCC และผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่มีค่า OCR แตกต่างกันในช่วง 1.00 ถึง 4.25 โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 ซึ่งผลการเปรียบเทียบผลทดสอบกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC แสดงดังภาพที่ 2.6 และแสดงเปรียบเทียบเทียบในที่ค่า OCR เท่ากับ 1.0, 1.24 และ 2.15 ในภาพที่ 2.7 ถึงภาพที่ 2.9

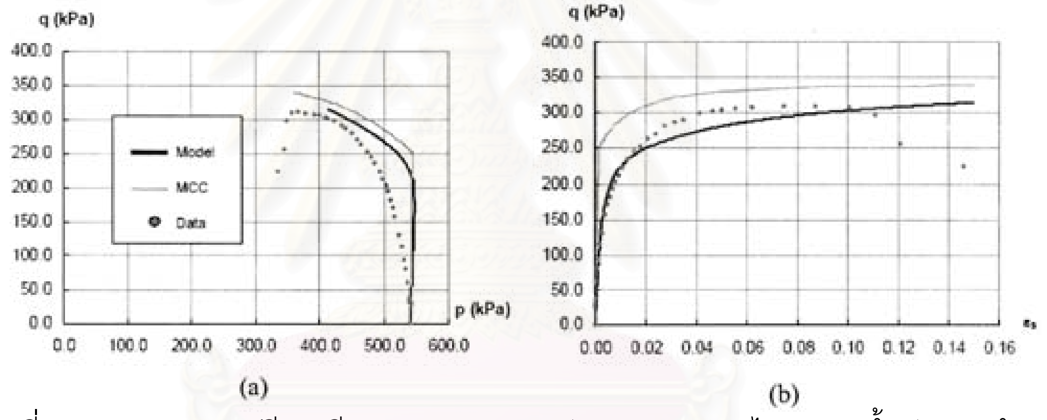


ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC

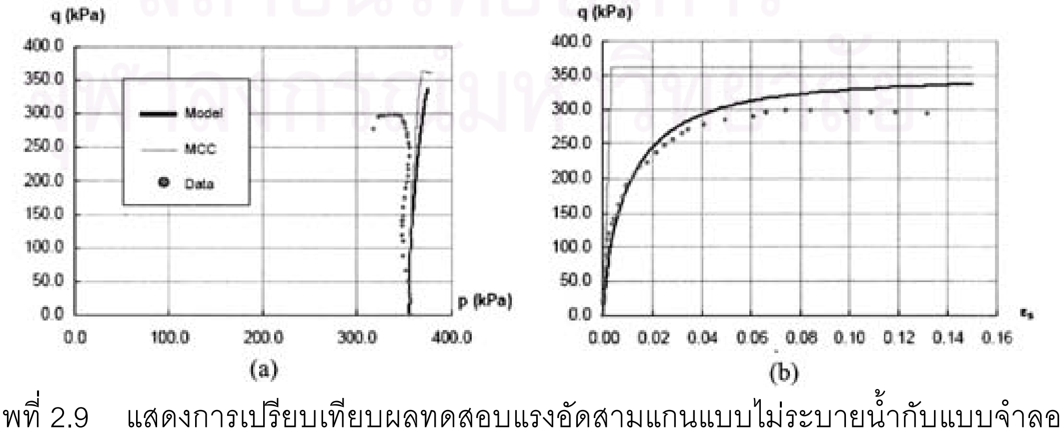
จากภาพที่ 2.6 พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายพฤติกรรมได้ใกล้เคียงกับผลทดสอบมากที่สุดในผลทดสอบดิน Normal Consolidated ทั้ง KHMCC และ MCC แต่เมื่อพิจารณาผลทดสอบในดินที่มีความเป็นดิน Over consolidated มากขึ้น พบว่าแบบจำลอง MCC จะไม่สามารถทำนายพฤติกรรมได้แม่นยำ ซึ่งเป็นผลจากการที่แบบจำลอง MCC มีผิวการวิบัติเดียว ในขณะที่ KHMCC ที่มีหลายผิวครากทำให้การตอบสนองจากพฤติกรรมแบบอิลาสติกไปเป็นพลาสติกมีความราบเรียบมากกว่า



ภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ OCR = 1.00



ภาพที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ OCR = 1.24



ภาพที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำกับแบบจำลอง KHMCC และ MCC ที่ OCR = 4.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 สรุปค่าตัวแปรของแบบจำลอง KHMCC สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ

parameter	value	Physical meaning
K	5200 (kPa.)	Initial bulk modulus
a_p	2.0	Non-linear kinematic hardening parameter for p - direction
b_p	2.5	
r	0.8	
g_x	60	Elastic shear modulus gradient
a_q	3.5	Non-linear kinematic hardening parameter for q - direction
b_q	2.5	
M	0.9	Slope of critical state line in p – q plane
μ	-	Viscosity coefficient (for rate dependent)

ตารางที่ 2.5 สรุปค่าตัวแปรของแบบจำลอง MCC สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ

parameter	value	Physical meaning
κ^*	0.045	Slope of swelling consolidation line on log v - log p plot
λ^*	0.38	Slope of virgin consolidation line on log v - log p plot
g_x	60	Elastic shear modulus gradient
M	0.9	Slope of critical state line in p – q plane
μ	-	Viscosity coefficient (for rate dependent calculation)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างทดสอบ

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้จัดเก็บมาจาก โครงการก่อสร้างแห่งหนึ่ง ช่วงถนนบางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 125 ซึ่งเป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งจะนำมาเป็นตัวแทนของดินเหนียวเพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลองความหนืด โดยตัวอย่างดินที่ใช้จะอยู่ในช่วงระดับความลึกประมาณ 7.5 - 9.5 เมตร

3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นตัวอย่างดินแบบคงสภาพ(Undisturbed sample) ที่ระดับความลึก 7.5 - 8.0 เมตร และที่ระดับความลึก 9.0 - 9.5 เมตร จำนวน 3 หลุม โดยการใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบกระบอกผนังบาง(Shelby Tube) เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว ความยาวประมาณ 0.5 เมตร เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินขึ้นมาจากหลุมเก็บแล้วจะทำการปาดหน้าดินภายในกระบอกก่อนหล่อด้วยพาราฟินปิดหัวท้ายกระบอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

หลังจากเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาดันออกด้วย Hydraulic Jack ที่ห้องปฏิบัติการ โดยตัดตัวอย่างออกเป็นก้อนให้มีความยาวประมาณ 13 เซนติเมตร แล้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เคลือบทับด้วยพาราฟินจนแน่ใจว่าสามารถรักษาความชื้นไว้ได้ พร้อมติดฉลากระบุความลึก หมายเลขตำแหน่งของตัวอย่างในกระบอกโดยเรียงลำดับจากบนลงล่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง หมายเลขหลุมเจาะ และวันที่เก็บ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้นเพื่อรอการทดสอบต่อไป

3.2 การหาคุณสมบัติของดินทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้น

คุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดิน จะทดสอบในส่วนของ

3.2.1 การทดลองหาค่าความชื้นธรรมชาติในมวลดิน (Natural moisture content)

การทดสอบหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ จะกระทำพร้อมกันไปในการหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างทดสอบของการทดสอบแรงอัดสามแกน

3.2.2 การทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร(Total unit weight)

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในธรรมชาติของตัวอย่างทดสอบ จะกระทำพร้อมกันไปในการหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างทดสอบของการทดสอบแรงอัดสามแกน

3.2.3 การทดสอบพิกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg ́s limit)

- การทดลองหาพิกัดเหลว (Liquid limit)
- และพิกัดพลาสติก (Plastic limit)

3.2.4 การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity of soil solid)

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติด้านกายภาพพื้นฐานซึ่งค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น คำนวณหาช่องว่างในเม็ดดิน ซึ่งการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM 2435-02

3.2.5 การทดสอบอัดแน่นคายตัวแบบ 1 มิติ

การทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ (1-D Consolidation Test) เพื่อหาหน่วยแรงกดอัดสูงสุดในอดีต (Maximum past pressure, σ'_{vm}) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมในรูปแบบของอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัว โดยค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดในอดีตจะนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการอัดตัวคายน้ำในกระบวนการทดสอบแรงอัดสามแกนต่อไป

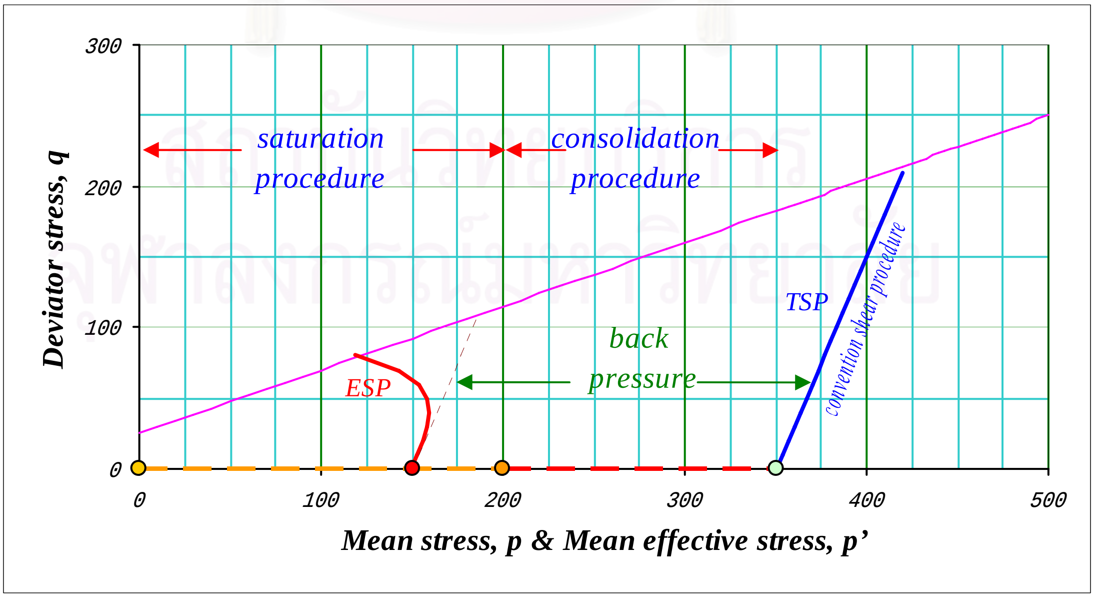
การปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดในช่วงการทดสอบแรงเฉือน จะส่งผลกระทบต่อการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน(Excess pore water pressure) ในการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ และส่งผลต่อการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินและการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน ในการทดสอบแบบระบายน้ำ ซึ่งในงานศึกษานี้แบบจำลองจะอ้างอิงพฤติกรรมการรับหน่วยแรงแบบไม่ระบายน้ำที่อัตราความเครียดต่ำสุด จึงทำการหาค่าอัตราความเครียดอ้างอิง (Strain rate reference, $\dot{\varepsilon}_{ref}$) ที่สามารถบ่งบอกความสามารถในการระบายน้ำของดินเหนียวได้ ซึ่งในงานศึกษาได้ใช้การทดสอบ

การอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ในการหาค่าอัตราความเครียดอ้างอิงโดยออกมาในรูปของอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ย (Average axial strain rate, $\dot{\varepsilon}_{ave}$) ซึ่งค่าอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จะใช้เป็นค่าดัชนีอ้างอิงสำหรับอัตราความเครียดน้อยสุด ในการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำและในแบบจำลอง โดยค่าอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยสามารถหาได้จากการเฉลี่ยค่าความเครียดตามแนวแกนที่เกิดขึ้น ด้วยเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดขบวนการบดอัดคายน้ำขั้นต้น (Primary Consolidation)

3.3 การทดสอบแรงอัดสามแกนในห้องปฏิบัติการ

3.3.1 โปรแกรมการทดสอบ

งานศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวโดยประมวลผลด้วยแบบจำลอง “Rate-dependent plasticity model” ซึ่งสามารถจำลองความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด กำลังรับหน่วยแรงเฉือน ทั้งแบบระบายน้ำและแบบไม่ระบายน้ำ โดยในงานศึกษาจะอาศัยผลจากการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained triaxial compression test) ที่ควบคุมอัตราความเครียดคงที่ตลอดกระบวนการเฉือนก้อนตัวอย่าง โดยการเพิ่มของหน่วยแรงกดตามแนวแกนของแท่งตัวอย่างดินเพียงอย่างเดียว หรือที่เรียกว่าการทดสอบแบบ Convention shear test โดยทดสอบตัวอย่างดินจำนวน 5 ตัวอย่าง ที่มีอัตราความเครียดแตกต่างกันที่อัตราส่วนการอัดแน่นเกินตัวของดินเหนียวเท่ากับหนึ่ง



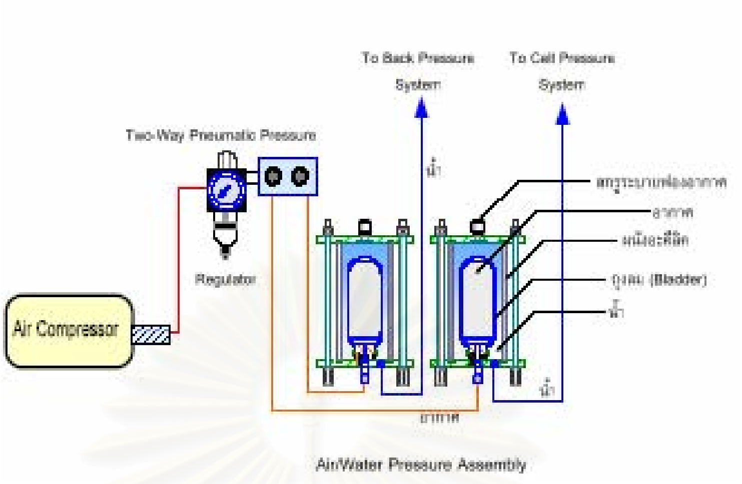
ภาพที่ 3.1 แสดงเส้นทางของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบ

การทดสอบตัวอย่างดินด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน จะทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM4767-02 โดยการทดสอบจะใช้ความดันภายในตัวอย่างทดสอบ(Back pressure) เท่ากับ 200 kPa. และใช้ความดันเซลล์(Cell pressure) เท่ากับ 350 kPa. ในระหว่างการทดสอบแรงเฉือนจะทดสอบด้วยอัตราความเครียดร้อยละ 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 และ 10.0 ของความเครียดต่อนาที ซึ่งเส้นทางของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลตามโปรแกรมการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน สามารถทำความเข้าใจด้วยแผนภาพที่แสดงใน ภาพที่ 3.1

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

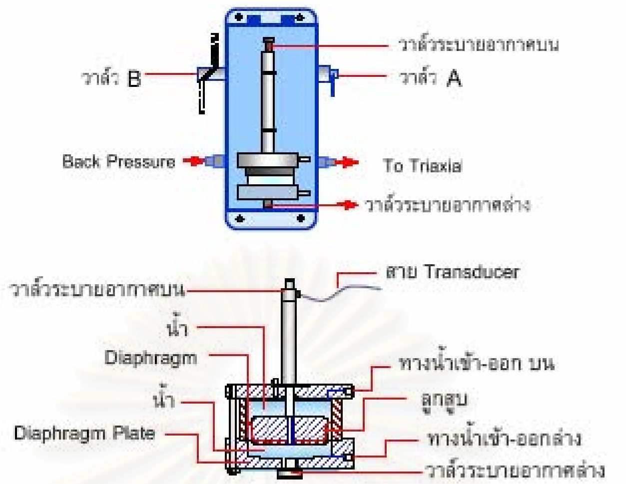
เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial compression apparatus)

เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตโดยบริษัท ELE International เป็นเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนที่ควบคุมได้ทั้ง Stress controlled และ Strain controlled ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญต่างๆ ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 3.4 และ 3.5 โดยภาพที่ 3.4 เป็นแผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทดสอบ การเชื่อมต่อของสายทางเดินของน้ำ อากาศ และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บันทึกผลและวัดค่าต่างๆ ส่วนรูปภาพเครื่องมือทดสอบได้แสดงในภาพที่ 3.5 ซึ่งรูปแบบของเครื่องทดสอบชุดนี้จะมีความคล้ายคลึงกับแบบดั้งเดิม จะแตกต่างกันตรงรูปแบบการทำงานของเครื่องมือทดสอบสามารถปรับเพิ่มลดค่าแรงดันของความดันเซลล์(Cell pressure) และความดันภายใน (Back pressure) ให้มีแรงดันคงที่หรือปรับเปลี่ยนด้วยอัตราที่ต้องการได้โดยอัตโนมัติตลอดการทดสอบ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมเส้นทางเดินของหน่วยแรง(Stress path controlled) ได้ ด้วยการทำงานของมอเตอร์สเต็ป(Stepping motor) ที่ทำงานควบคู่กับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอากาศ(Air regulator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแรงดันอากาศภายในถุงลมที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ถังควบคุมแรงดันน้ำ(Bladder) ดังภาพที่ 3.2 จะเปลี่ยนแรงดันอากาศเป็นแรงดันน้ำก่อนส่งผ่านแรงดันน้ำคงที่เข้าสู่ภายในเซลล์ทดสอบ(Triaxial Chamber) และภายในตัวอย่างทดสอบ โดยมอเตอร์สเต็ปจะถูกสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ในการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมแรงดันอากาศ ในขณะที่แรงดันเซลล์และแรงดันภายในตัวอย่างทดสอบจะถูกวัดค่าแรงดันน้ำด้วยอุปกรณ์วัดค่าแรงดัน (Pressure transducer) แล้วส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติ (Autonomous Data acquisition Unit, ADU) พร้อมส่งข้อมูลแรงดันเซลล์และแรงดันภายในไปสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลและสั่งการมอเตอร์สเต็ปในการปรับเพิ่มลดแรงดันอากาศในวงรอบต่อไป



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันน้ำ(Bladder system)

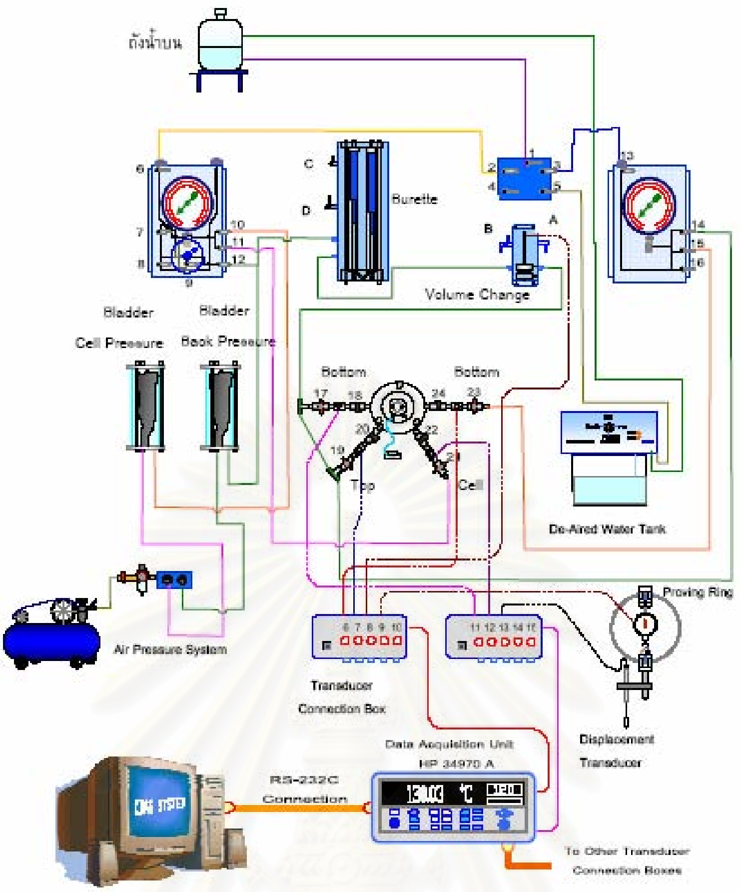
ในระบบการทำงานของเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกนยังประกอบด้วย การวัดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าบิวเรตต์(Burette) หรืออาจใช้อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร(Volume change transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดการไหลเข้าออกของน้ำภายในตัวอย่างทดสอบ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เพียง Volume change transducer เพียงอย่างเดียวในการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร ซึ่งจะเชื่อมต่ออยู่ระหว่างสายแรงดันภายในก่อนเข้าสู่ตัวอย่างทดสอบกับตัวอุปกรณ์ถังควบคุมแรงดันน้ำ(Bladder) ที่ควบคุมแรงดันภายในไว้คงที่ตามที่ต้องการ ซึ่งในกระบวนการอัดตัวคายน้ำหรือกระบวนการเฉือนก้อนตัวอย่างแบบระบายน้ำจะทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน(Excess pore pressure) น้ำและแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกดันออกมาจากแท่งตัวอย่างผ่านทางฐานที่ตั้งตัวอย่าง(Triaxial base cell) และถูกระบายไปตามสายแรงดันน้ำภายในเข้าสู่อุปกรณ์ Volume change transducer ทำให้ผนังกั้นของเหลว (Diaphragm) ที่อยู่ภายในกระเปาะลูกสูบใน Volume change transducer เกิดการเคลื่อนที่ จึงทำให้สามารถนำไปแปรผลเปลี่ยนเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรได้ ซึ่งจะส่งผลข้อมูลไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติต่อไป



ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (Volume change transducer)

ส่วนด้านบนของเซลล์ทดสอบจะมีช่องสำหรับใส่แท่งเหล็ก(Piston) ซึ่งจะติดตั้งสัมผัสกับ Top cap ซึ่งยึดติดกับด้านบนของก้อนตัวอย่างทดสอบ โดยทั้ง Top cap และ Piston จะใช้สำหรับกระจายและส่งผ่านแรงจากก้อนตัวอย่างทดสอบไปยังอุปกรณ์วัดแรงตามแนวแกน ที่เรียกว่า Proving ring ซึ่งจะติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัว(Linear Variable Differential Transformer, LVDT) สำหรับวัดการเสียรูปของ Proving ring เพื่อนำไปแปรผลเป็นแรงที่ใช้ในการกดก้อนตัวอย่างตามแนวแกน นอกจากนี้ที่แท่ง Piston ยังมีอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวอีกชิ้นยึดติดอยู่เพื่อใช้วัดการเคลื่อนตัวของก้อนตัวอย่างทดสอบ และสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเครียดตามแกน(Axial strain) ของก้อนตัวอย่างได้ โดยที่อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ทั้งสองชิ้นจะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติเพื่อเก็บข้อมูลทดสอบต่อไป

เซลล์ทดสอบจะถูกติดตั้งบนโครงกดทดสอบ(Loading frame) พร้อมอุปกรณ์วัดแรงตามแนวแกน อุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัว โดยจะยึดแน่นอุปกรณ์วัดแรงตามแนวแกนเข้ากับคานขวางด้านบนของโครงกดทดสอบ โดยโครงกดทดสอบจะถูกสั่งงานผ่านแผงควบคุมที่ด้านหน้าของโครงกดทดสอบได้โดยตรงหรืออาจสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมการเคลื่อนตัวของฐานที่ตั้งตัวอย่าง ซึ่งการสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์จะสามารถควบคุมได้ทั้งแบบ Strain controlled และ Stress controlled ด้วยการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์คุมแรงดันและอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติ และประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม GW Basic



ภาพที่ 3.4 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ทางเดินสายน้ำ อากาศ และอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ ในระบบเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน

ภาพที่ 3.5 ภาพเครื่องมือทดสอบแรงอัดสามแกน อุปกรณ์บันทึกผลและอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ

3.3.3 ขั้นตอนในการทดสอบแรงอัดสามแกน

3.3.3.1 การจัดเตรียมเครื่องมือทดสอบ

ก่อนที่จะเตรียมตัวอย่างดินสำหรับทดสอบ จะต้องตรวจสอบเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน ทำการต่อสายความดันเซลล์ สายความดันภายใน และสายความดันด้านบนเข้ากับตัวเซลล์และระบบควบคุมความดัน โดยที่สายความดันภายในและสายความดันด้านบนจะต้องต่อผ่านอุปกรณ์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนต่อเข้ากับระบบควบคุมความดัน โดยสายความดันทุกสายต้องถูกไล่ฟองอากาศที่ค้างอยู่ออกให้หมดด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีฟองอากาศ(De-aired water) จากนั้นตั้งค่า Pressure transducer ให้เท่ากับศูนย์เมื่อเปิดให้สัมผัสกับอากาศ และต้มแผ่นหินพรุน(Porous stone) ในน้ำเดือดประมาณ 30 นาทีเพื่อไล่อากาศ

3.3.3.2 การจัดเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อพร้อมที่จะทดสอบ นำตัวอย่างดินออกจากห้องควบคุมความชื้น นำขี้ผึ้งพาราฟินและฟอยล์ที่หุ้มอยู่ออกแล้วนำมาตัดแต่งขอบ (Trim) บนโครงแต่งตัวอย่าง (Trimming frame) ด้วยเลื่อยเส้นลวด(Wire saw) ให้เรียบและมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 35 มิลลิเมตรแล้วใช้แบบผ่า(Split former) ตัดตัวอย่างดินทางด้านหัวและท้ายให้ได้ความยาวประมาณ 70 มิลลิเมตรและตั้งฉากที่ปลาย เพื่อให้ได้สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1 (H:D=2:1) ตามขนาดมาตรฐาน แล้วใช้แปรงสีฟันที่ไม่ใช้แล้วปาดที่ผิวดินทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดินเพื่อลดผลของ Smear Effect นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก แล้ววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน ตรงกลาง และด้านล่าง ตลอดจนความสูงของตัวอย่างดินด้วยเวอร์เนีย (Vernier) เพื่อใช้หาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเริ่มต้น(Initial average Area, A_0) ปริมาตรเริ่มต้น(Initial volume, V_0) และหน่วยน้ำหนัก(Total unit weight, γ_t) ของตัวอย่างดิน แล้วนำดินส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งไปหาปริมาณความชื้นเริ่มแรก(Initial water content, ω_n)

3.3.3.3 การจัดตัวอย่างดินในเครื่องมือทดสอบ

นำแผ่นหินพรุนซึ่งต้มไล่อากาศแล้วประกบที่หน้าตัดด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน โดยมีแผ่นกระดาษกรองที่ชุ่มน้ำวางอยู่ระหว่างแผ่นหินพรุนและหน้าตัดตัวอย่างดินทั้งสองด้านเพื่อมิให้ส่วนของดินที่ละลายในน้ำไหลเข้าไปในแผ่นหินพรุน แล้ววางตัวอย่างดินลงบนฐานที่ตั้งตัวอย่างในเซลล์ ใช้กระดาษกรองฉลุพันรอบตัวอย่างดิน จากนั้นวาง Top cap บนแผ่นหินพรุนด้านบนของตัวอย่างดิน หลังจากนั้นจึงใช้ปลอกยาง(Rubber membrane) ที่เตรียมไว้ในกระบอกขยายปลอกยางหุ้มตัวอย่างดินไว้ รัดปลอกยางที่ฐานที่ตั้งตัวอย่างดินด้วยวงแหวนยาง (Rubber O-ring) จำนวน 2 เส้น และที่ Top cap อีกจำนวน 2 เส้น เพื่อที่จะแยกระหว่างระบบน้ำในตัวอย่างดินกับระบบน้ำในเซลล์ออกจากกัน หลังจากติดตั้งตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว สวมฝาครอบเซลล์บนฐานและยึดสกรูกับฐานที่ตั้งตัวอย่างทดสอบให้เรียบร้อย กดแท่ง Piston ยึดติดกับฝาครอบเซลล์ให้ปลายด้านล่างสัมผัสกับ Top cap พอดี แล้วถ่ายน้ำเข้าเซลล์ทางสายความดันเซลล์จนกระทั่งน้ำเข้าไปเต็มเซลล์และล้นออกมาทางช่องอากาศ(Vent) จากนั้นปิดช่องอากาศแล้วทำการติดตั้ง LVDT พร้อมทั้งตรวจสอบ Transducer ต่างๆ ให้เรียบร้อยและตั้งค่าให้เป็นศูนย์

3.3.3.4 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ให้ความดันเซลล์ผ่านทางสายความดันเซลล์และความดันภายในผ่านทางสายความดันภายในที่ฐานที่ตั้งตัวอย่างกับสายความดันด้านบนที่ยึดติดกับ Top cap โดยในการที่จะทำให้ตัวอย่างดินรับความดันดังกล่าว จะต้องค่อยๆ เพิ่มความดันเซลล์แล้วจึงเพิ่มความดันภายในอย่างช้าๆ และสลับกันอย่างต่อเนื่องโดยเพิ่มครั้งละประมาณ 20 kPa. เพื่อให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนน้อยที่สุด โดยระหว่างการเพิ่มความดันควรให้ความดันเซลล์มีค่ามากกว่าความดันภายในประมาณ 10 kPa. เพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างบวม(Swelling) ทำการเพิ่มไปจนกระทั่งความดันเซลล์เท่ากับ 210 kPa. และมีความดันภายใน 200 kPa. ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้น้ำเข้าไปเต็มช่อง ว่างระหว่างเม็ดดินพร้อมละลายฟองอากาศในตัวอย่างดินได้หมดและทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วคงความดันเซลล์และความดันภายในคงที่ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยก่อนการทดสอบในขั้นตอนต่อไป ต้องตรวจสอบความอิ่มตัวด้วยน้ำของตัวอย่างดินเสียก่อน โดยการปิดวาล์วระบายน้ำทั้งหมดแล้วเพิ่มค่าความดันเซลล์ขึ้นจากเดิม 10 kPa. วัดค่าความดันน้ำส่วนเกินที่เกิด ขึ้นพร้อมจับเวลา ถ้าสัดส่วนค่าความดันน้ำส่วนเกินต่อค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้น(B parameter) มากกว่า 95 % ภายในเวลาประมาณ 1 นาที จะถือว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วลดความดันเซลล์ลงเท่าเดิม บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของก้อนตัวอย่าง(ΔH_{sat}) แล้วจึงดำเนินการทดสอบขั้นตอนต่อไป

3.3.3.5 การอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดิน

หลังจากทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว จะทำให้โพรงของตัวอย่างดินเต็มไปด้วยน้ำ ซึ่งผลต่างของความดันในเซลล์กับความดันในโพรงจะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผล ซึ่งการทดสอบด้วยแรงอัดสามแกนทั่วไป จะใช้แรงดันประสิทธิผลโดยการจำลองหน่วยแรงให้ใกล้เคียงในธรรมชาติหรือใช้หน่วยแรงประสิทธิผลที่อ้างอิงจากหน่วยแรงสูงสุดในอดีต(Maximum past pressure) โดยใช้หน่วยแรงประสิทธิผลประมาณ 1.5 -2.0 เท่าของหน่วยแรงสูงสุดในอดีต ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้หน่วยแรงประสิทธิผลประมาณ 150 kPa. ซึ่งในขบวนการนี้จะทำการเพิ่มความดันเซลล์เพียงอย่างเดียว เริ่มการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดินโดยการเพิ่มแรงดันในสายความดันเซลล์ให้มีความดันเท่ากับ 350 kPa. โดยยังคงปิดวาล์วเชื่อมต่อจากภายในตัวอย่างทดสอบไปยังอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแล้วบันทึกค่าปริมาตรเริ่มต้นก่อนการอัดตัวคายน้ำ จากนั้นจึงทำการเปิดวาล์วดังกล่าวพร้อมเริ่มจับเวลาแล้วทำการบันทึกค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง และค่าแรงดันในโพรง ณ เวลาต่างๆ แล้วทำการวาดความสัมพันธ์ของค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับค่ารากที่สองของเวลา(Square root time) หรือเทียบกับลอกการิทึมของเวลา(Logarithmic time) เช่นเดียวกับการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ จนเสร็จสิ้นกระบวนการอัดตัวคายน้ำขั้นต้น แล้วคงการอัดตัวคายน้ำทิ้งไว้อีกจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วหาเวลาที่ร้อยละ 50 ของการอัดตัวคายน้ำเริ่มต้น(Time for 50 % primary consolidation, t_{50}) โดยก่อนทำการทดสอบในขั้นต่อไปให้ทำการปิดวาล์วระบายน้ำทั้งหมดพร้อมบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร(ΔV_{con}) และการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง(ΔH_0) ก่อนการทำการทดสอบในขั้นต่อไป

3.3.3.6 การทดสอบแรงเฉือนตัวอย่างดินอัดแน่นคายตัว

การทดสอบแรงเฉือนด้วยแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำโดยการเพิ่มหน่วยแรงตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว ก่อนการทดสอบควรทำการตรวจสอบวาล์วสายแรงดันน้ำทั้งหมด ซึ่งตลอดการทดสอบจะปิดวาล์วระบายน้ำจากตัวอย่างทดสอบตลอดเวลา แต่ยังคงเปิดวาล์วสายความดันเซลล์ให้แรงดันเซลล์ในเซลล์ทดสอบคงที่ ที่ 350 kPa. แล้วทำการตั้งค่าอัตราความเครียดตามแนวแกนที่จะใช้ในการทดสอบแรงเฉือนบนหน้าจอควบคุมของโครงกดทดสอบ ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM 4767-02 ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราความเครียดตามแนวแกน ไว้ดังนี้

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon_f / 10\, t_{50}$$

ซึ่ง t_{50} หาได้จากกระบวนการอัดตัวคายน้ำก่อนหน้านี้ และ ε_f เป็นค่าความเครียดที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

ในขณะที่ K.H. Head ได้เสนอสมการอัตราความเครียดตามแนวแกน ที่มีความคล้ายคลึงกับสมการของมาตรฐาน ASTM 4767-02 โดยรูปสมการเป็นดังนี้

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon_f /(k \times t_{100})$$

โดยค่า t_{100} เป็นเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดขบวนการบดอัดคายน้ำขั้นต้น และ k เป็นสัมประสิทธิ์ของเวลาที่เกิดการวิบัติ ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของเวลาที่เกิดการวิบัติ (*k*)

ประเภทของการทดสอบ	ไม่มีการระบายน้ำด้านข้าง	มีการระบายน้ำด้านข้าง
การทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ	0.51	1.8
การทดสอบแบบระบายน้ำ	8.5	14

อัตราความเครียดทั้งสองสมการจะอ้างอิงกระบวนการอัดแน่นคายน้ำก่อนหน้านี้เช่นกัน โดยสมการของ K.H. Head จะพิจารณาผลของการระบายน้ำด้านข้างเนื่องจากกระดาษกรองฉลุที่พันรอบตัวอย่างทดสอบด้วย ซึ่งแตกต่างออกไปจากสมการของมาตรฐาน ASTM 4767-02 ที่ไม่ได้เจาะจงในส่วนนี้ แต่พิจารณาให้เป็นการทดสอบที่มีการระบายน้ำด้านข้างอยู่แล้ว

อัตราความเครียดตามแนวแกนดังสมการข้างต้นเหมาะสำหรับการทดสอบแรงเฉือนสามแกนทั่วไป แต่สำหรับงานLนี้ต้องการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดตามแนวแกนของการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ ซึ่งอัตราความเครียดตามแนวแกนควรไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นและอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ซึ่งควรให้ค่าใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำมาใช้เป็นค่ากำหนดอัตราความเครียดขั้นต่ำในการทดสอบในแต่ละตัวอย่างทดสอบ

หลังจากตั้งค่าอัตราความเครียดที่จะให้ในการทดสอบเรียบร้อยแล้ว กดปุ่มเริ่มทำงานพร้อมบันทึกค่าความดันเซลล์ ความดันภายใน ความดันภายในส่วนเกิน แรงตามแนวแกน การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรและการเคลื่อนที่ของตัวอย่างดิน ทุกร้อยละ 0.1 ของความเครียดในช่วงร้อยละ 0.1 – 1 ของความเครียด แล้วเพิ่มขึ้นเป็นบันทึกข้อมูลทุกร้อยละ 1 ของความเครียดจนกระทั่งการเคลื่อนที่ของตัวอย่างดินได้ประมาณร้อยละ 15 ของความเครียด หรืออาจหยุดการทดสอบได้ก่อน เมื่อหน่วยแรงเบี่ยงเบน(Deviator stress) ที่เกิดขึ้นลดลงเกิน ร้อยละ 20 ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด

3.4 การวิเคราะห์ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินด้วยแบบจำลอง

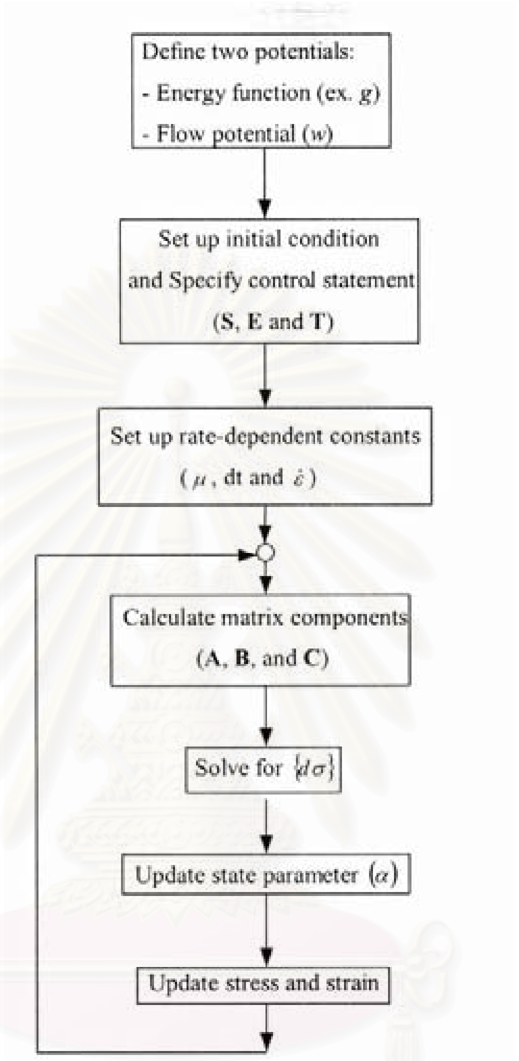
หลังจากทำการทดสอบแรงอัดสามแกนโดยการปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดเสร็จสิ้น จะทำการวิเคราะห์และประมวลผลทดสอบด้วยแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน(Rate-dependent plasticity with multiple internal variables) ดังที่กล่าวมาด้านต้น ซึ่งการใช้แบบจำลองดังกล่าวเพียงพอสำหรับการจำลองผลการทดสอบแรงอัดสามที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบ 1 มิติ (สุเชษฐ์, 2549)

3.4.1 การประมวลผลของแบบจำลอง

แบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน ได้เขียนขึ้นจากโปรแกรม MATLAB ซึ่งง่ายกับการเขียนเค้าโครงรหัสโปรแกรม ซึ่งเค้าโครงสร้างรหัสโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. โดยขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรและการประมวลผลแบบจำลองจะประกอบไปด้วย

- กำหนดฟังชั่นพลังงานและฟังชั่นการสูญเสียพลังงาน
- การกำหนดค่าตัวแปรคงที่ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดคุณสมบัติของดินที่ในการทดสอบลงบนแบบจำลอง เช่น โมดูลัสเฉือนเริ่มต้น(Initial Shear modulus, G_0) จำนวนผิวคราก ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด ค่าตัวประกอบการแข็งตัว
- การกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรตามที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบน ความเครียดรวม ความเครียดพลาสติก
- การกำหนดค่าสภาวะการทดสอบในการทดสอบแรงอัดสามแกนที่กระทำขึ้นจริง เช่น การกำหนดค่าเมตริกซ์ที่ควบคุมอัตราความเครียดให้คงที่
- การคำนวณตัวแปรตามต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ แล้วทำการปรับปรุงค่าตัวแปรตามต่างๆ เหล่านั้น เพื่อนำค่าที่ได้ไปเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณในรอบการคำนวณต่อไป
- การแสดงผลการประมวลผลการทดสอบด้วย ค่าความเครียดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบน ภาพความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน

ขั้นตอนการประมวลผลของแบบจำลองสามารถทำความเข้าใจได้ด้วยแผนผังการประมวลผล ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงแผนผังการประมวลผลของแบบจำลอง

3.4.2 **ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการประมวลด้วยแบบจำลอง**

หลังจากทำการประมวลผลด้วยจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายในที่อัตราความเครียดมาตรฐาน ASTM 4767-02 ซึ่งเป็นอัตราความเครียดสำหรับการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลค่าของความเครียดตามแนวแกนกับค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นพร้อมภาพความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแรงอัดสามแกนจริงที่ได้ในห้องปฏิบัติการ

การเปรียบเทียบจะต้องทำให้แบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมของดินเหนียวเมื่อได้รับหน่วยแรงให้ได้ ซึ่งจะอาศัยวิธีการวาดภาพความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับภาพความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดที่ได้จากผลการทดสอบจริงให้เกิดการซ้อนทับกันพอดี ซึ่งการวิเคราะห์จะต้องใช้การลองผิดลองถูก ในการกำหนดค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด

หลังจากนั้นเมื่อสามารถจำลองพฤติกรรมที่อัตราความเครียดสำหรับการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำมาตรฐานได้แล้ว จะทำการประมวลผลด้วยแบบจำลองที่อัตราความเครียดอื่นๆ โดยยังคงค่าตัวแปรต่างๆ และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดไว้เท่าเดิม แล้วทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนอีก ซึ่งจะถือว่าแบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมของดินเหนียวเมื่อได้รับหน่วยแรงตามแนวแกนที่อัตราความเครียดต่างๆ ได้เมื่อผลการประมวลผลด้วยแบบจำลองสามารถซ้อนทับผลทดสอบจากห้องปฏิบัติการได้ทุกอัตราความเครียดโดยใช้ตัวแปรของแบบจำลองเท่ากัน ยกเว้นแต่ตัวแปรที่ควบคุมอัตราความเครียดเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์

4.1.1 การหาสมบัติของดินทางด้านกายภาพและทางวิศวกรรมเบื้องต้น

ผลการทดสอบตัวอย่างดินด้านคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างดินมีค่าความชื้นในมวลดินประมาณร้อยละ 84.40 ± 12.86 ค่าขีดพิกัดเหลว(Liquid Limit, *LL*) ประมาณร้อยละ 95.25 ± 3.40 ค่าขีดพิกัดพลาสติก(Plastic Limit, *PL*) ประมาณร้อยละ 44.11 ± 3.08 ซึ่งจะได้ค่าดัชนีพลาสติกซิตี้(Plasticity Index, *PI*) ประมาณร้อยละ 52.55 ± 3.62 และได้ค่าดัชนีความเหลว(Liquidity Index, *LI*) ประมาณ 0.73 ± 0.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินมีความเป็นพลาสติกสูง สำหรับความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(Specific Gravity of Soil Solid, G_s) จะมีค่าประมาณ 2.67 และหน่วยน้ำหนักรวม(Total Unit Weight, γ_t) มีค่าประมาณ 1.482 ± 0.011 t/m^3 ดังตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ซึ่งผลการทดสอบของดินที่ความลึก 7.5 - 8.0 เมตร มีค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น(Initial void ratio, e_0) ประมาณ 2.272 หน่วยน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 1.498 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และหลังการทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างทดสอบทรุดตัวลงไปประมาณ 8.129 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 40.82 ทำให้หน่วยน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 1.922 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราส่วนช่องว่างเป็น 0.940 ค่าหน่วยแรงกดอัดในอดีตเท่ากับ 63.7 kPa. มีค่าอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัว(Over consolidate ratio, OCR) เท่ากับ 1.683 ส่วนผลการทดสอบอัดแน่นคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินทดสอบที่ความลึก 9.0 – 9.5 เมตร มีค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้นประมาณ 2.148 หน่วยน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 1.497 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และหลังการทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างทด สอบทรุดตัวลงไปประมาณ 7.618 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 38.41 ทำให้หน่วยน้ำหนักรวมมีค่าประมาณ 1.914 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราส่วนช่องว่างเป็น 0.939 ค่าหน่วยแรงกดอัดในอดีตเท่ากับ 72.55 kPa. มีค่าอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัวเท่ากับ 1.609 ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2

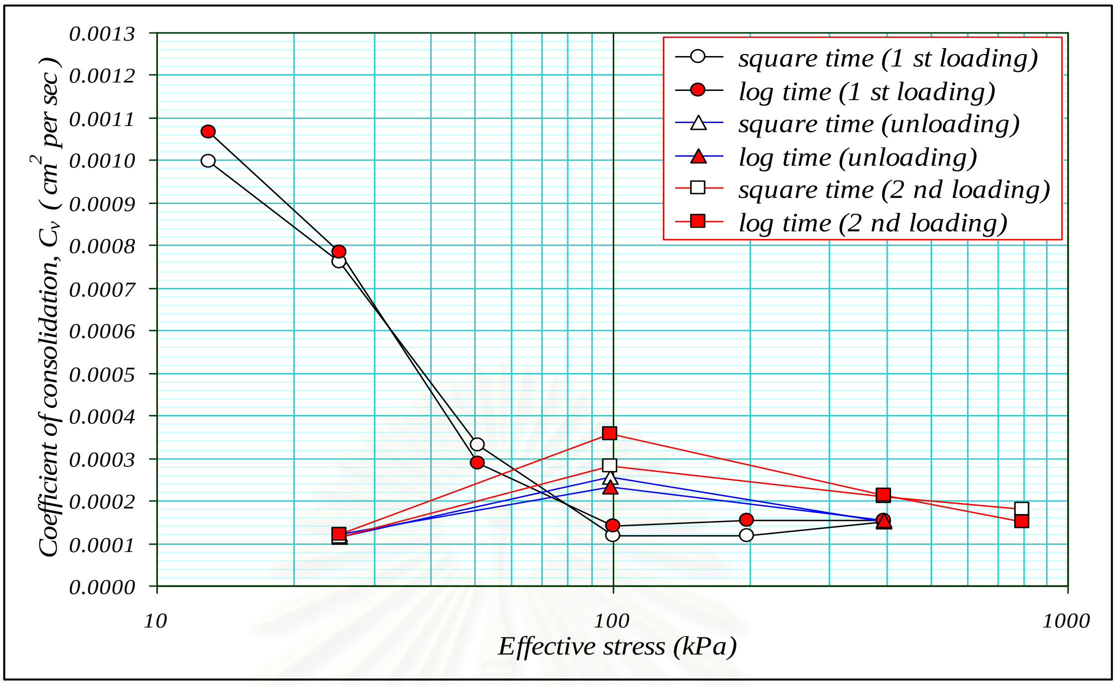
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเบื้องต้น

Bore Hole	Depth. (m.)	unit weight (ton/m^3)	Moisture content (percent)	Specific gravity (ton/m^3)	Plastic Index	
					Liquid Limit, *LL* (percent)	Plastic Limit, *PL* (percent)
1	7.5 – 8.0	1.483	88.28	2.670	96.25	44.54
	9.0 - 9.5	1.479	87.81	2.670	97.45	42.52
2	7.5 – 8.0	1.494	78.21	2.670	93.20	42.94
	9.0 - 9.5	1.477	87.60	2.670	98.65	47.18
3	7.5 – 8.0	1.481	85.33	2.670	94.90	42.35
Average		**1.484**	**84.40**	**2.670**	**95.25**	**44.11**

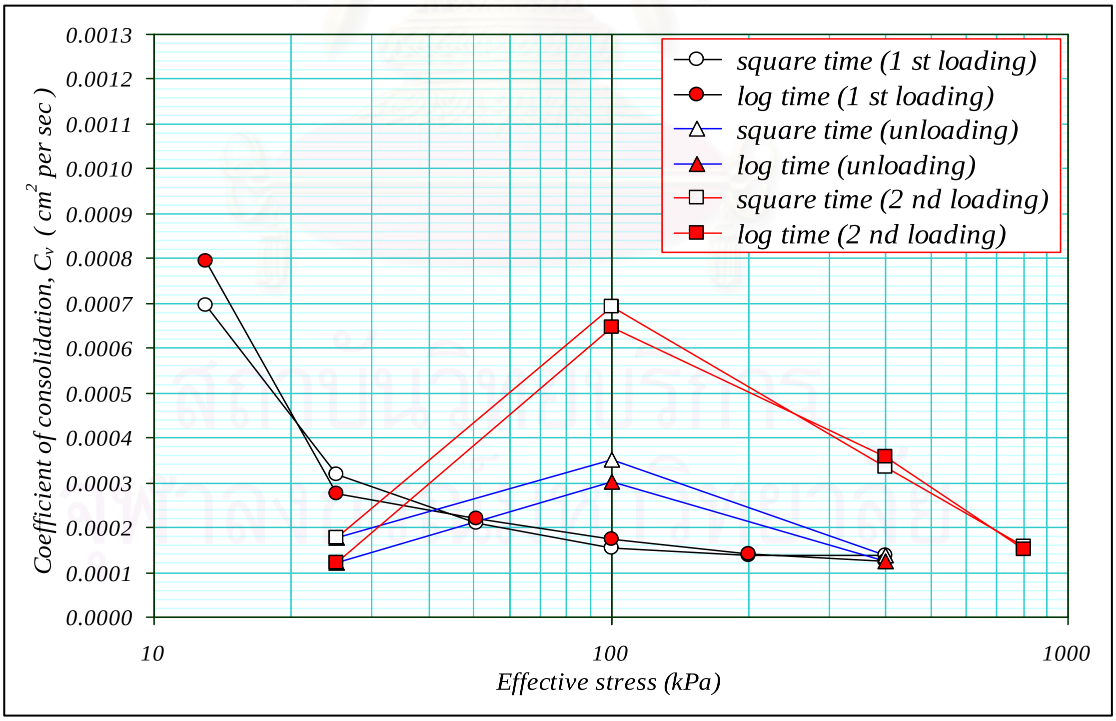
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ

Depth. (m.)	Bore hole	Initial void ratio	Initial unit weight (ton/m^3)	Max settlement (mm.)	Final void ratio	Final unit weight (ton/m^3)	Max. pass pressure (kPa.)	OCR
7.5 – 8.0	1	2.272	1.498	8.129	0.940	1.922	63.68	1.683
9.0 - 9.5	3	2.148	1.497	7.618	0.939	1.914	72.55	1.609

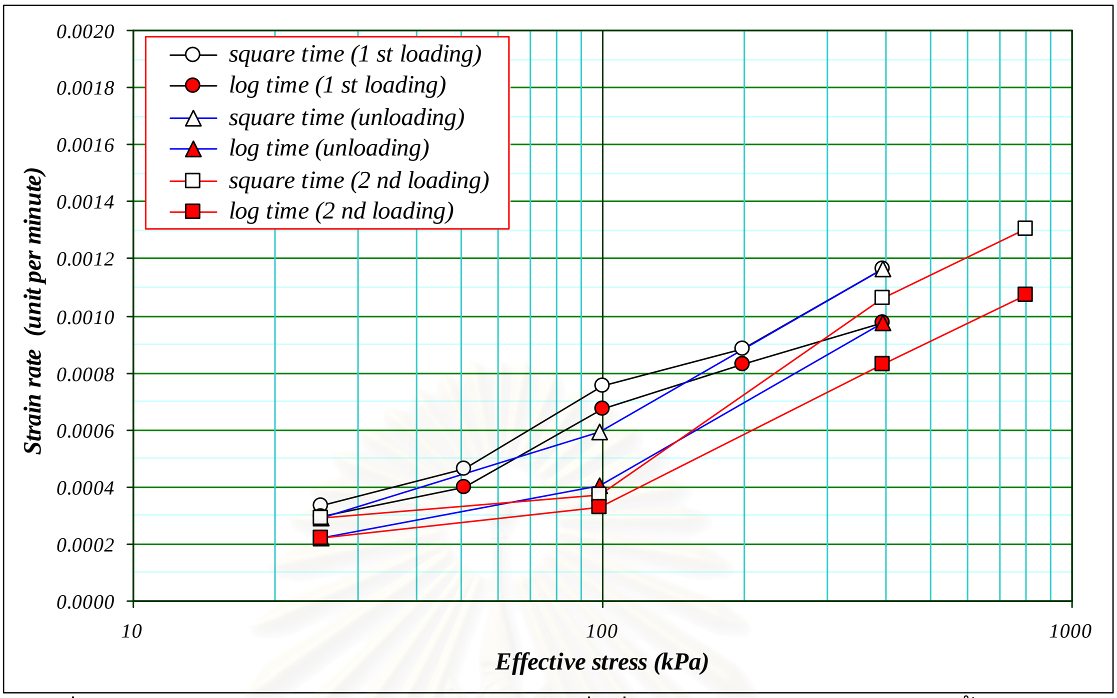
ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ(Coefficient of consolidation, C_v) ของดินทดสอบ พบว่าดินทดสอบจะให้ค่า C_v ในช่วงเริ่มต้น ซึ่งเป็นช่วงที่ดินทดสอบยังมีความเป็นดิน OC อยู่ ค่อนข้างสูงและเมื่อระดับของหน่วยแรงสูงขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้ดินทดสอบมีความเป็น NC มากขึ้น ทำให้ค่า C_v มีค่าลดต่ำลงและค่อนข้างคงที่ ในดินทดสอบทั้งสองระดับความลึก ซึ่งสอดคล้องค่า C_v ของดินเหนียวกรุงเทพฯ ทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2



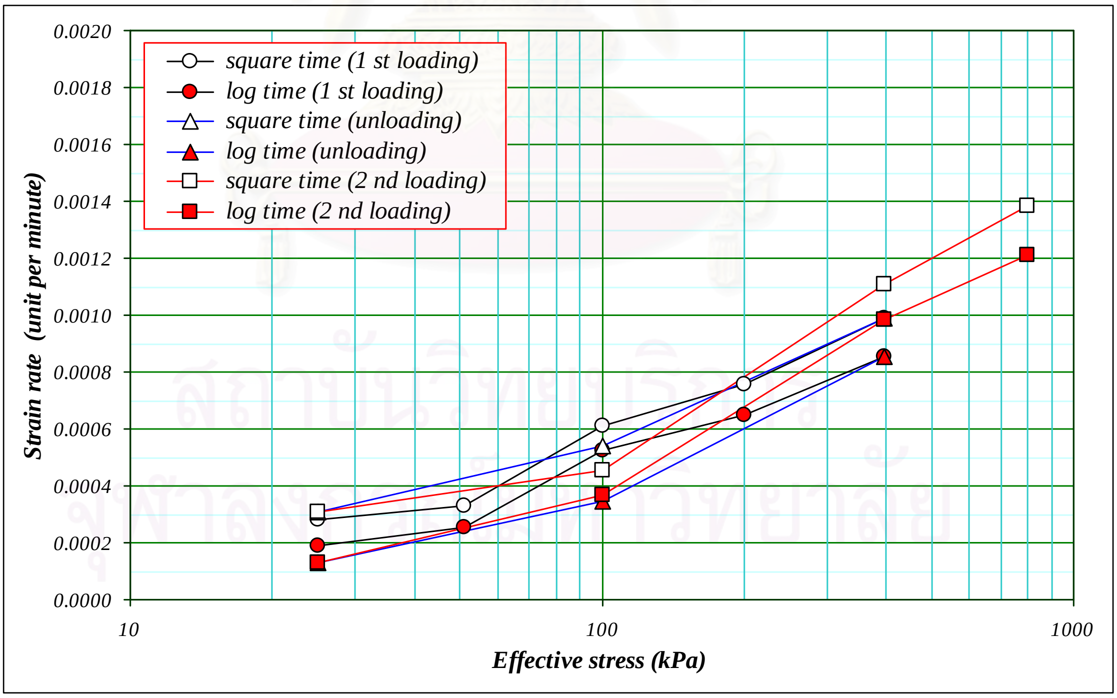
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 7.5 – 8.0 เมตร



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างความลึก 9.0 – 9.5 เมตร



ภาพที่ 4.3 แสดงอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างที่ความลึก 7.5 – 8.0 เมตร

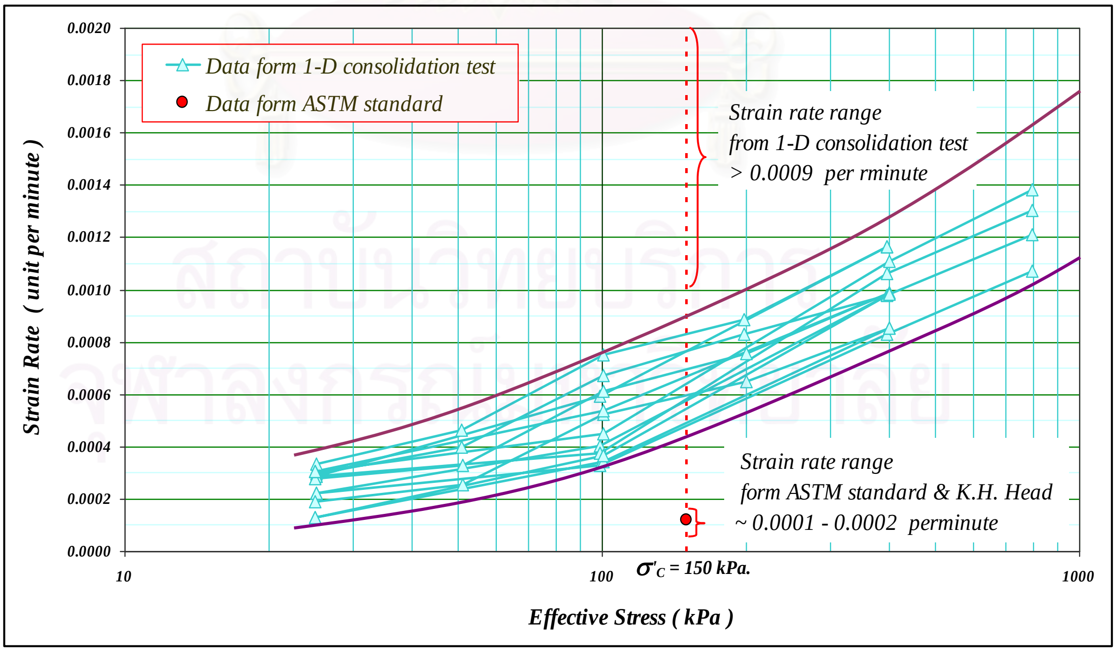


ภาพที่ 4.4 แสดงอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ของดินตัวอย่างความลึก 9.0 – 9.5 เมตร

นอกจากการหาสมบัติพื้นฐานและการทดสอบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวแล้ว การหาค่าอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ย ซึ่งได้จากการเฉลี่ยค่าความเครียดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นด้วยเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดขบวนการบดอัดคายน้ำขั้นต้นในแต่ละช่วงการกดทับด้วยหน่วยน้ำหนัก พบว่าอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยแรงกดทับ ซึ่งความสัมพันธ์ของอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยกับหน่วยแรงประสิทธิผลกดทับ ได้แสดงในภาพที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4 ซึ่งอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงการเลือกอัตราความเครียดในการทดสอบแรงอัดสามแกน (ผลการทดสอบดังภาคผนวก ก.)

4.1.2 การเลือกอัตราความเครียด

อัตราความเครียดในการทดสอบแรงเฉือนจะมีผลต่อการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน ซึ่งในงานศึกษามีสองแนวทางในการกำหนดอัตราความเครียดขั้นต่ำ คือ พิจารณาจากอัตราความเครียดที่กำหนดในมาตรฐานการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำหรือพิจารณาจากอัตราความเครียดตามแนวแกนเฉลี่ยจากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ซึ่งผลที่ได้ทั้งสองแนวทาง แสดงดังภาพที่ 4.5 ซึ่งค่าอัตราความเครียดตามแนวแกนขั้นต่ำจะนำมาใช้ทดสอบแรงอัดสามแกนและผลทดสอบที่ได้จะนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในแบบจำลองต่อไป



ภาพที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความเครียดที่หน่วยแรงประสิทธิผลใดๆ ที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ กับจากการทดสอบแรงอัดสามแกน

จากภาพที่ 4.5 พบว่าอัตราความเครียดที่ได้จากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ จะให้ค่าอัตราความเครียดเฉลี่ยเป็นช่วงและขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยแรงประสิทธิผล ซึ่งในงานศึกษาต้องการหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยในขั้นตอนการทดสอบแรงเฉือนที่ 150 kPa. ซึ่งจากภาพที่ 4.5 จะพบว่าจะต้องใช้อัตราความเครียดไม่น้อยกว่า 0.0009 ต่อนาที ซึ่งให้ค่าสูงกว่าอัตราความเครียดที่ได้จากมาตรฐาน ASTM และตามคู่มือทดสอบของ K.H. Head ที่ให้ค่าอัตราความเครียดในช่วงประมาณ 0.0001 - 0.0002 ต่อนาที (ผลการทดสอบดังภาคผนวก ข.)

ที่เป็นเช่นนี้ น่าจะเป็นผลจากอัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง กล่าวคือ ตัวอย่างทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ มีอัตรา ส่วน H:D = 0.4 ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบแรงอัดสามแกนมีอัตราส่วน H:D = 2.0 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระยะทางการระบายน้ำที่แตกต่างกัน มีผลทำให้การระบายน้ำออกจะตัวอย่างทดสอบอัดตัวคายน้ำ แบบ 1 มิติ เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการระบายน้ำออกจากตัวอย่างทดสอบแรงอัดสามแกน

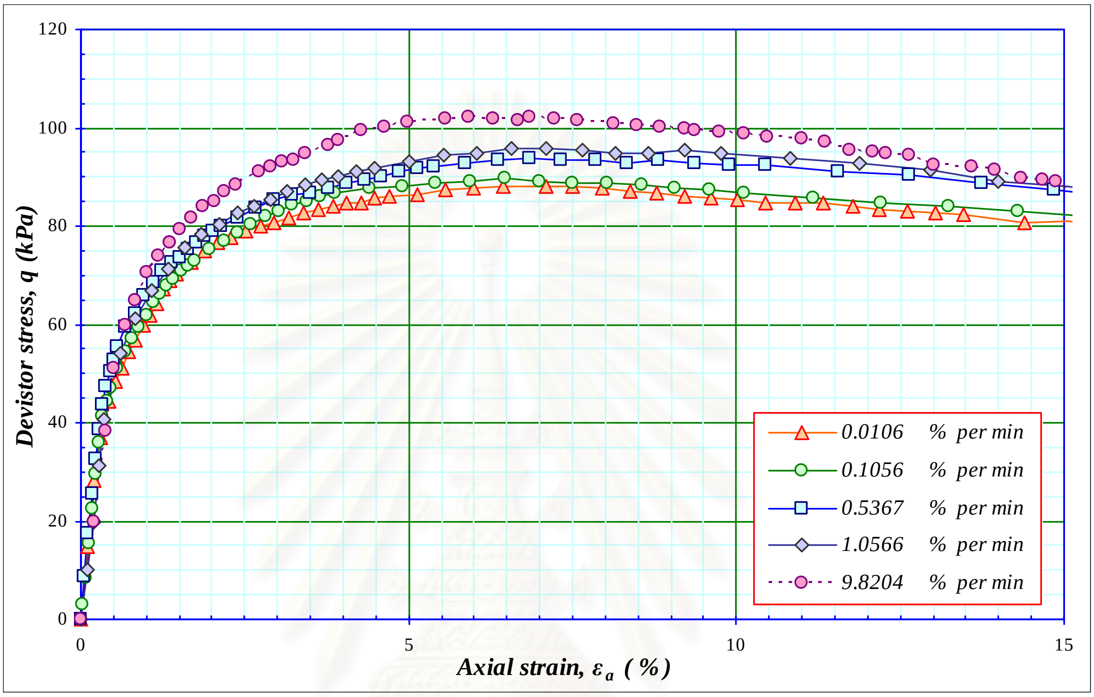
ซึ่งในงานศึกษาได้เลือกใช้อัตราความเครียดตามมาตรฐานการทดสอบแรงอัดสามแกนเป็นอัตราความเครียดขั้นต่ำสุดในการทดสอบซึ่งมีค่าอัตราความเครียดประมาณ 0.0001 ต่อนาที แล้วปรับเปลี่ยนอัตราความเครียด เป็น 0.001, 0.005, 0.01 และ 0.1 ต่อนาที

4.1.3 **การทดสอบแรงอัดสามแกน**

จากผลการทดสอบพบว่า อัตราความเครียดมีผลพฤติกรรมการรับหน่วยแรงของดินเหนียว ซึ่งผลทดสอบที่อัตราความเครียดแตกต่างกันในสภาวะการทดสอบเดียวกัน พบว่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนที่ระดับความเครียดใดๆ จะแตกต่างกันออกไป โดยมีความสัมพันธ์กับอัตราความเครียด ดังแสดงในภาพที่ 4.6

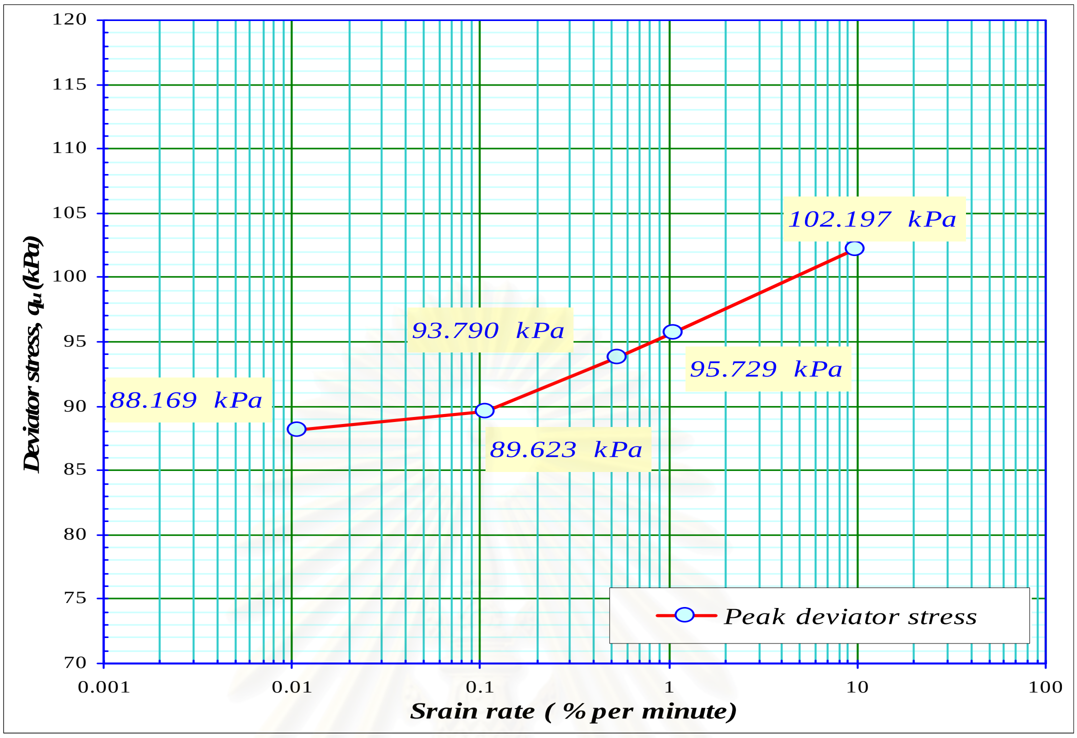
โดยที่ระดับอัตราความเครียดร้อยละ 0.01 - 0.1 ของความเครียดต่อนาที พบว่าความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแกนมีความคล้ายคลึงกันมากดังภาพที่ 4.6 และเมื่อพิจารณาค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด(Peak deviator stress) ที่ระดับอัตราความเครียดแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.7 พบว่าจะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราความเครียดในการทดสอบแรงเฉือนที่อ้างอิงจากการทดสอบอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ (ประมาณ 0.10 % ต่อนาที) กับอัตราความเครียดที่ได้จากมาตรฐาน ASTM (ประมาณ 0.01 % ต่อนาที) จะมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อพฤติกรรมการรับหน่วยแรงและกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จึงสามารถนำผลทดสอบแรงอัดสามแกนที่อัตราความเครียดที่อ้างอิงจากการทดสอบ

อัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ มาใช้อ้างอิงในแบบจำลองได้ ซึ่งที่ผลทดสอบเป็นเช่นนี้เพราะว่าระดับของอัตราความเครียดทั้งสองค่าค่อนข้างต่ำ จนไม่เกิดผลกระทบอันเนื่องจากเวลามากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะสมบัติด้านความหนืดของดินเหนียวและอัตราการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินที่ใกล้เคียงกัน

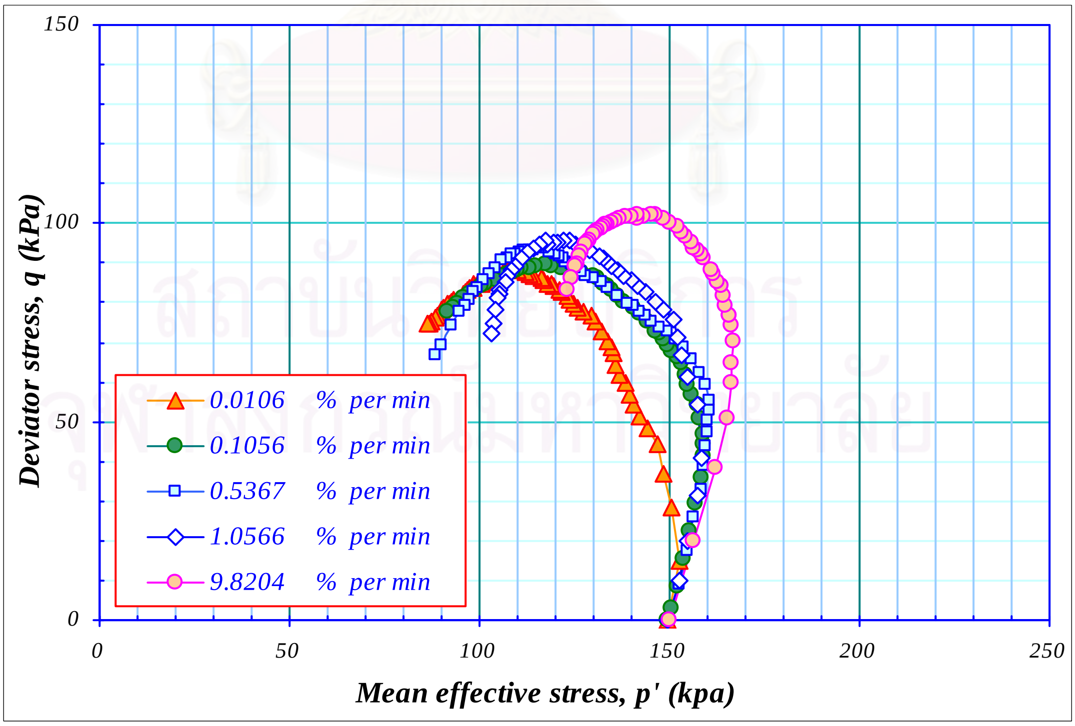


ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่อัตราความเครียดในการทดสอบแรงเฉือนแตกต่างกัน

และเมื่อระดับอัตราความเครียดสูงมากขึ้น พบว่าดินเหนียวแสดงพฤติกรรมการรับหน่วยแรงได้มากขึ้น และค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่ออัตราความเครียดที่ใช้ในการทดสอบเร็วขึ้น โดยค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดจะแปรผันโดยตรงกับลอกการึทึมของอัตราความเครียดในช่วงอัตราความเครียดร้อยละ 0.1 - 10 ของความเครียดต่อนาที ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ15 เมื่อเทียบจากค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดในการทดสอบที่อัตราความเครียดช้าสุด ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งผลการทดสอบแรงอัดสามแกนที่ได้จะมีพฤติกรรมคล้ายกับผลการทดสอบของ Vaid & Campanella ที่กล่าวมาข้างต้นในบทที่ 2



ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียดที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 4.8 แสดงเส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในทุกการทดสอบ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลในทุกการทดสอบ จะพบว่า เส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลจะไม่ซ้อนทับกันในแต่ละอัตราความเครียด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราความเครียดจะส่งผลกระทบต่อการเกิดแรงดินน้ำส่วนเกิน จึงทำให้เส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลแตกต่างกันออกไป ซึ่งอัตราความเครียดที่เร็วกว่าจะทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินน้อยกว่าเมื่อเทียบที่การเคลื่อนตัวเท่ากัน

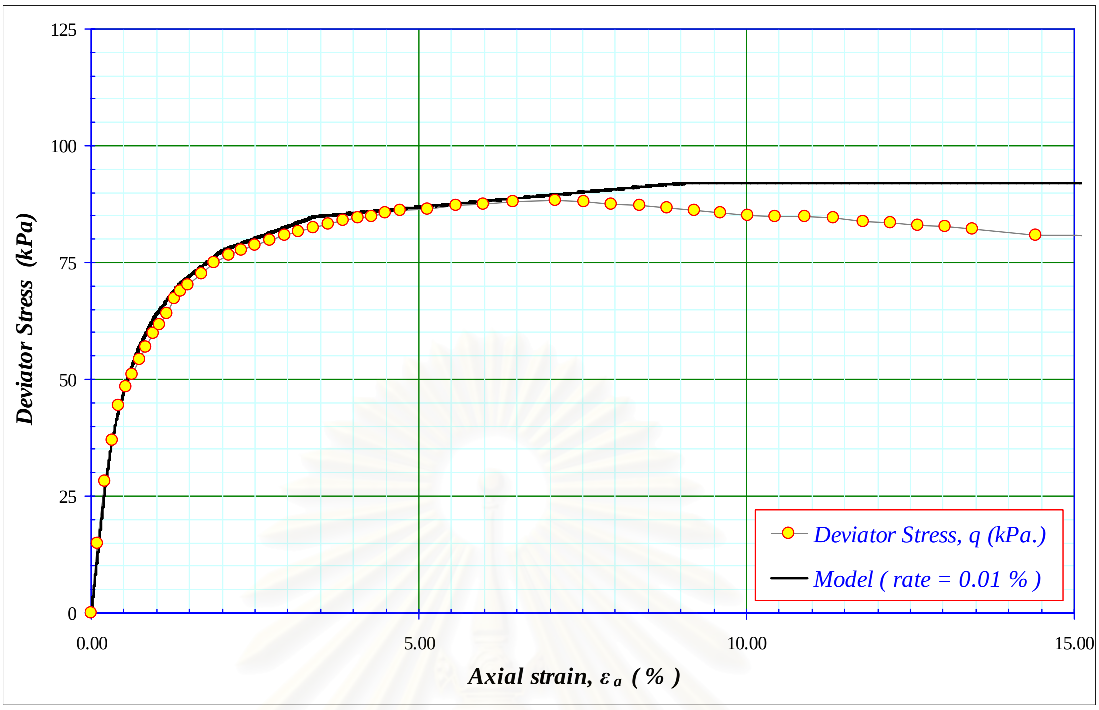
4.1.4 การวิเคราะห์และประมวลผลด้วยแบบจำลอง

การศึกษาพฤติกรรมการรับหน่วยแรงของดินเหนียวที่อัตราความเครียดตามแนวแกนต่างกัน โดยเปรียบเทียบผลทดสอบแรงอัดสามแกนกับแบบจำลองสำหรับวัสดุขึ้นกับอัตราที่ใช้หลายตัวแปรภายใน(Rate-dependent plasticity with multiple internal variables) พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมของดินเหนียวได้ใกล้เคียงในทุกผลการทดสอบ ซึ่งแบบจำลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนของดินเหนียวเมื่อรับหน่วยแรงตามแนวแกนที่ระดับอัตราความเครียดร้อยละ 0.01, 0.1 และ 10 ของความเครียดต่อนาทีค่อนข้างซ้อนทับกันพอดี แต่ที่ระดับอัตราความเครียดร้อยละ 0.5 และ 1.0 ของความเครียดต่อนาที แบบจำลองแสดงผลของค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนต่ำกว่าค่าเป็นจริงเล็กน้อย

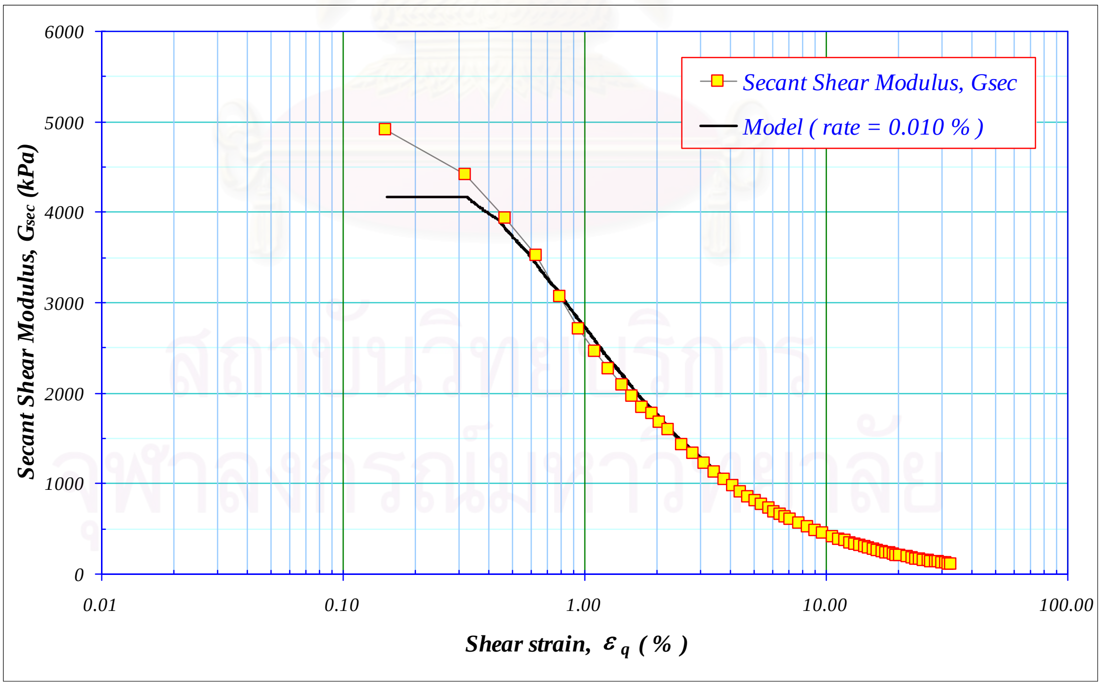
เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของซีแคนโมดูลัสเฉือน(Secant shear modulus, G_{sec}) กับความเครียดเฉือน(Shear strain, γ) ที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับผลการทดสอบ จะพบว่า แบบจำลองให้ค่าโมดูลัสเฉือนคงที่ในช่วงแรกและไม่สัมพัทธ์กับผลทดสอบเท่าที่ควร แต่เมื่อระดับความเครียดเฉือนสูงขึ้นค่าโมดูลัสเฉือนจะให้ค่าใกล้เคียงกันในทุกการทดสอบ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากช่วงระดับความเครียดเริ่มต้นค่าโมดูลัสเฉือนที่ได้จากแบบจำลองจะคงที่เท่ากับค่าที่กำหนดไว้และลดลงเมื่อระดับความเครียดเฉือนประมาณร้อยละ 0.3 เนื่องจากระดับหน่วยแรงเฉือนมีค่าสูงกว่าหน่วยแรงครากของผิวการวิบัติแรก ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวตามแนวแกนมากขึ้น ในขณะที่ผลทดสอบในห้องปฏิบัติการจะให้ค่าโมดูลัสเฉือนประมาณ 3.0×10^3 - 5.5×10^3 kPa. ในช่วงเริ่มต้นและมีค่าลดต่ำลงเมื่อระดับความเครียดเฉือนประมาณร้อยละ 0.3 - 0.5 ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนและความสัมพันธ์ของซีแคนโมดูลัสเฉือนกับระดับความเครียดเฉือนในแต่ละอัตราความเครียดในการทดสอบ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.9 ถึง ภาพที่ 4.18 และแสดงการเปรียบเทียบรวมทุกอัตราความเครียดดังแสดงในภาพที่ 4.19 และ ภาพที่ 4.20

ผลการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนที่ได้จากแบบจำลองที่ระดับความเครียดเดียวกันที่ให้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในแต่ละการทดสอบ จะพบว่าแบบจำลองจะให้ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนต่ำกว่าค่าได้ที่ได้จากการทดสอบจริงที่การทดสอบด้วยอัตราความเครียดร้อยละ 0.5 และ1.0 ของความเครียดต่อนาที ในขณะที่แบบจำลองให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบที่อัตราความเครียดร้อยละ 0.01, 0.1 และ 10 ของความเครียดต่อนาที ซึ่งผลการเปรียบเทียบที่ได้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองผลการทดสอบได้ แม้จะไม่ให้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนแต่ค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

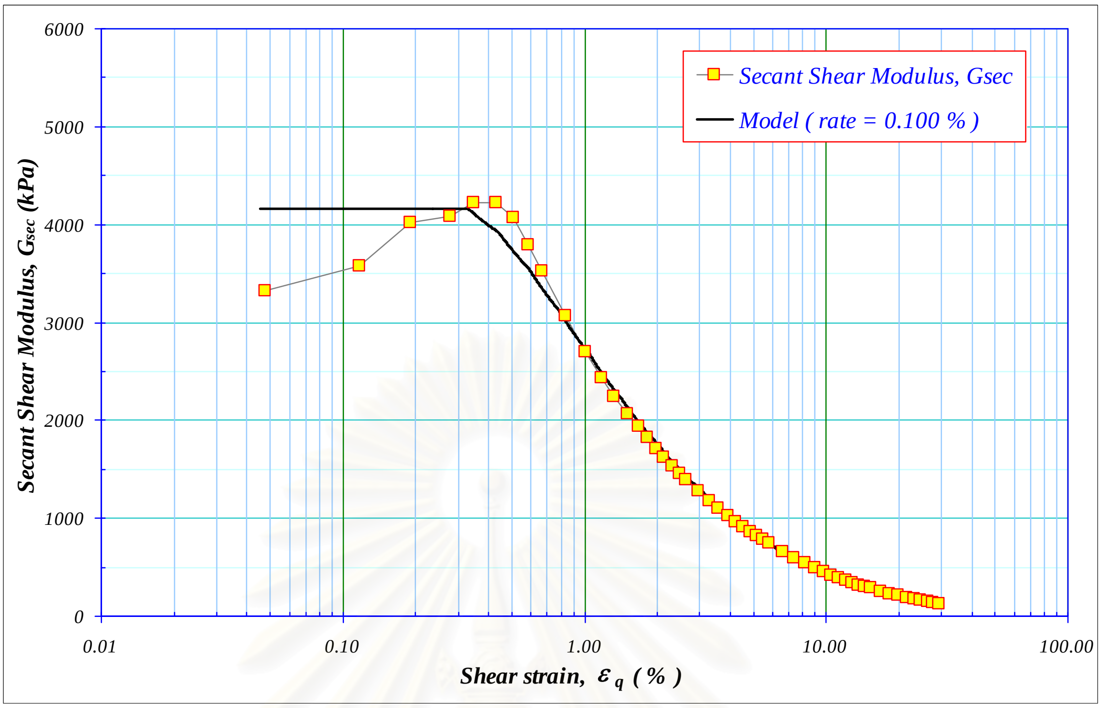
จากการศึกษาแบบจำลองพบว่า การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลองสามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่ม คือ กลุ่มแรกจะเป็นค่าคุณสมบัติคงที่ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด จำนวนและค่ากำลังของผิวการวิบัติ ค่าตัวประกอบสมการการแข็งตัว(Hardening characteristic) ซึ่งค่าตัวแปรเหล่านี้จะได้มาจากการลองเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากการทดสอบจริงและได้เป็นค่าคงที่จากแบบจำลองที่ใช้จำลองพฤติกรรมของดินกรุงเทพมาแล้ว กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มตัวแปรที่จะเปลี่ยนไปตามค่าที่กำหนดในแบบจำลองกลุ่มแรก เช่น ค่ากำลังที่แต่ละผิวการวิบัติ ค่าความยืดหยุ่นของสมการแข็งตัวที่แต่ละผิวการวิบัติ และตัวแปรกลุ่มที่สามจะเป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของแบบจำลอง เช่น อัตราความเครียด ทิศทางของการเกิดความเครียด ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกน ความสัมพันธ์ของซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกน ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดกับอัตราความเครียด จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่แสดงคุณสมบัติด้านกำลังรับหน่วยแรงเฉือนของดิน พฤติกรรมการแข็งตัว(Hardening behavior) ของดิน จำนวนและกำลังของแต่ละผิวการวิบัติและค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และผลจากการลองผิดลองถูกในการกำหนดค่าตัวแปรพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ระดับอัตราความเครียดสูงๆ อย่างมาก และมีผลทำให้ข้อมูลจากแบบจำลองมีพฤติกรรมเปลี่ยนไปเมื่อรับหน่วยแรงที่อัตราความเครียดต่างกัน ซึ่งผลจากการศึกษาด้วยแบบจำลองจะได้ค่าสัมประสิทธ์ความหนืดอยู่ในช่วงประมาณ 3.24×10^3 - 3.60×10^3 kPa.s หรือประมาณ 33.03 - 36.69 ksc.s ซึ่งค่าตัวแปรอื่นๆ ที่กำหนดให้แบบจำลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3



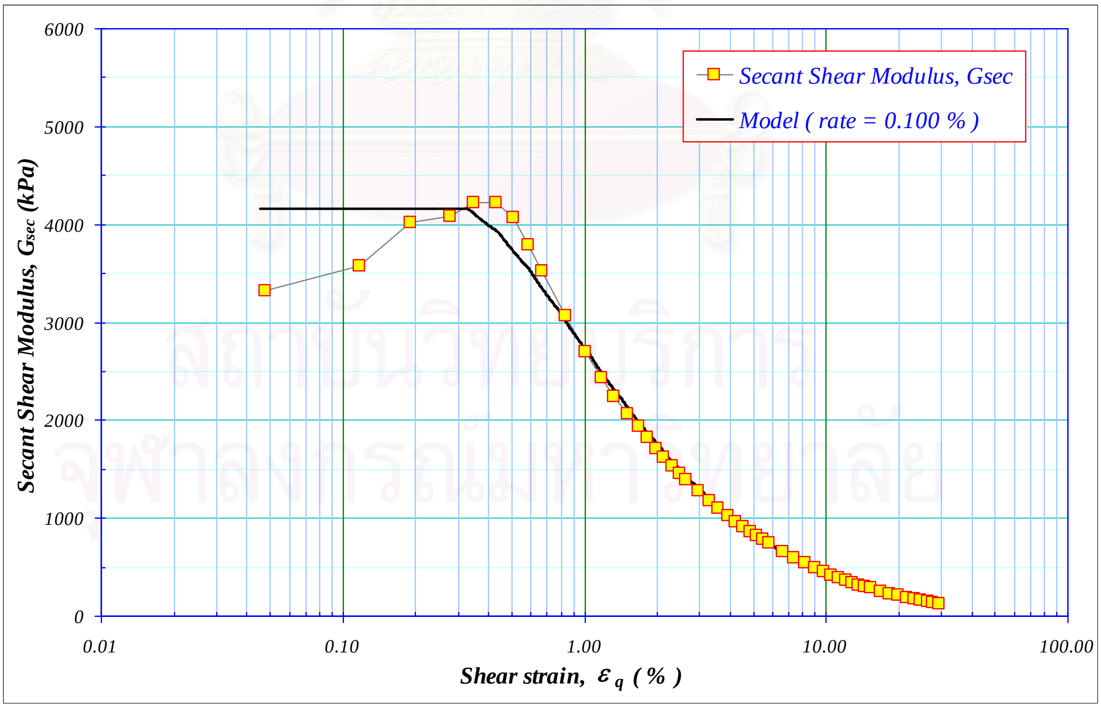
ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.01 % ต่อนาที



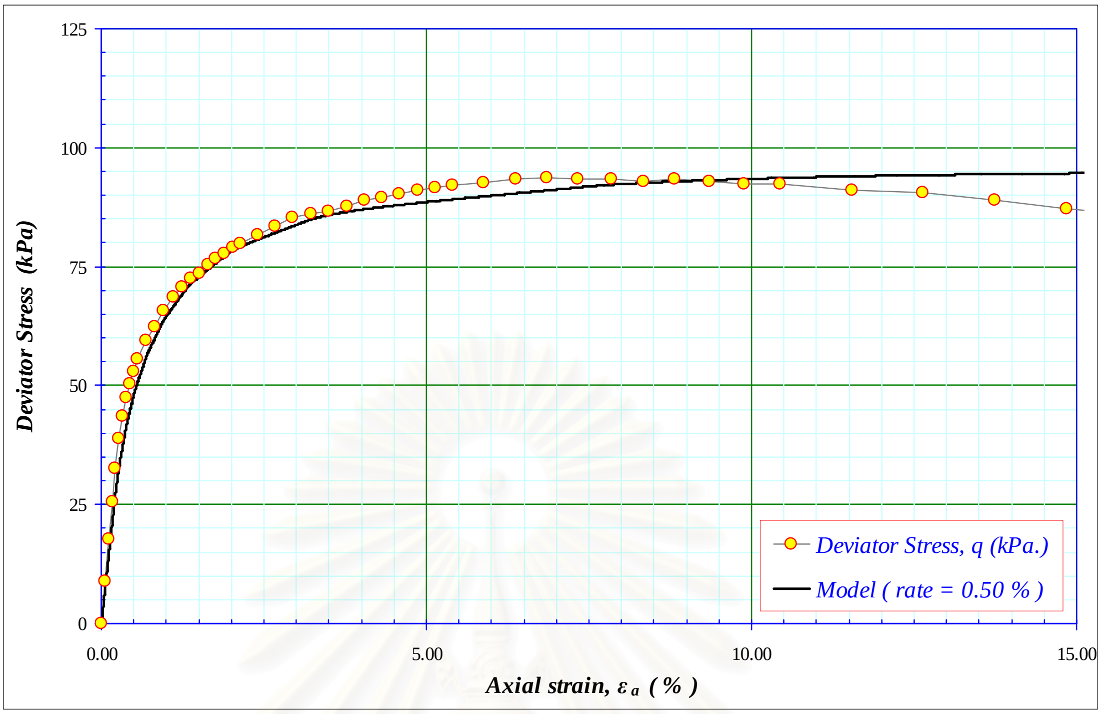
ภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.01 % ต่อนาที



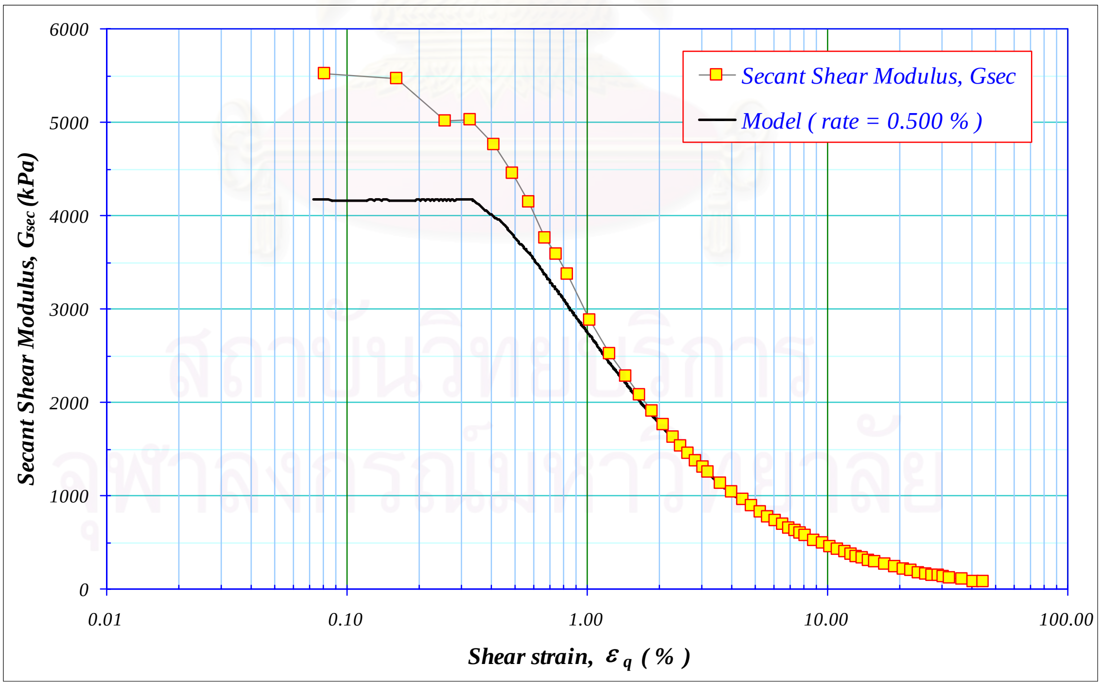
ภาพที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.10 % ต่อนาที



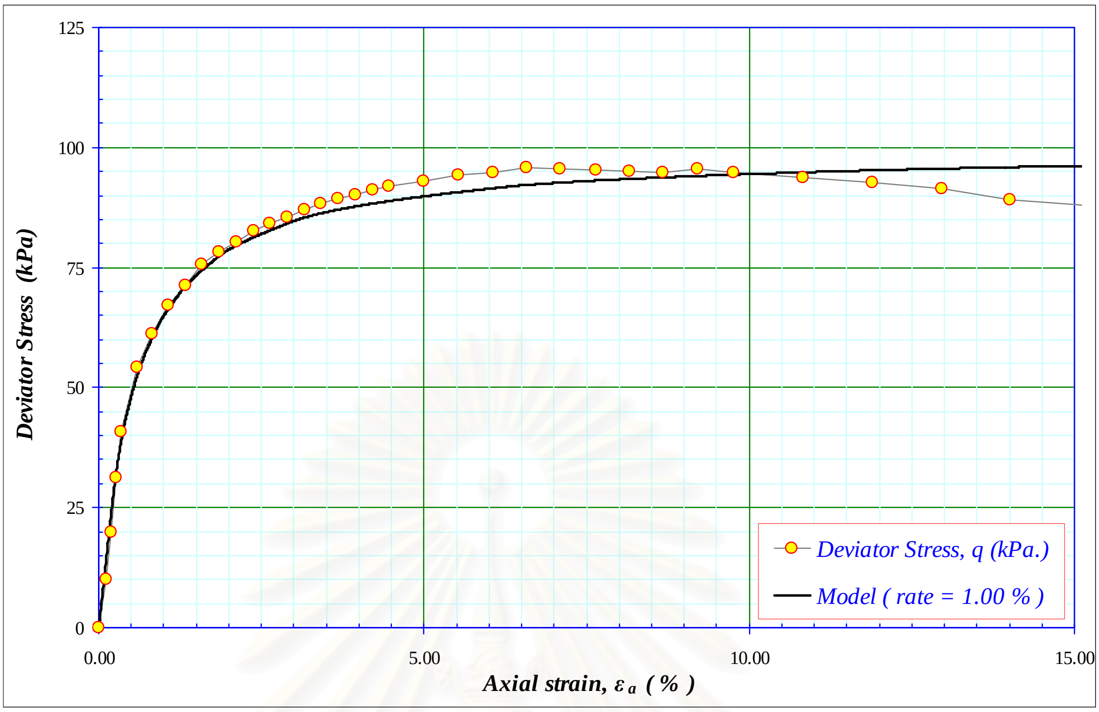
ภาพที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.10 % ต่อนาที



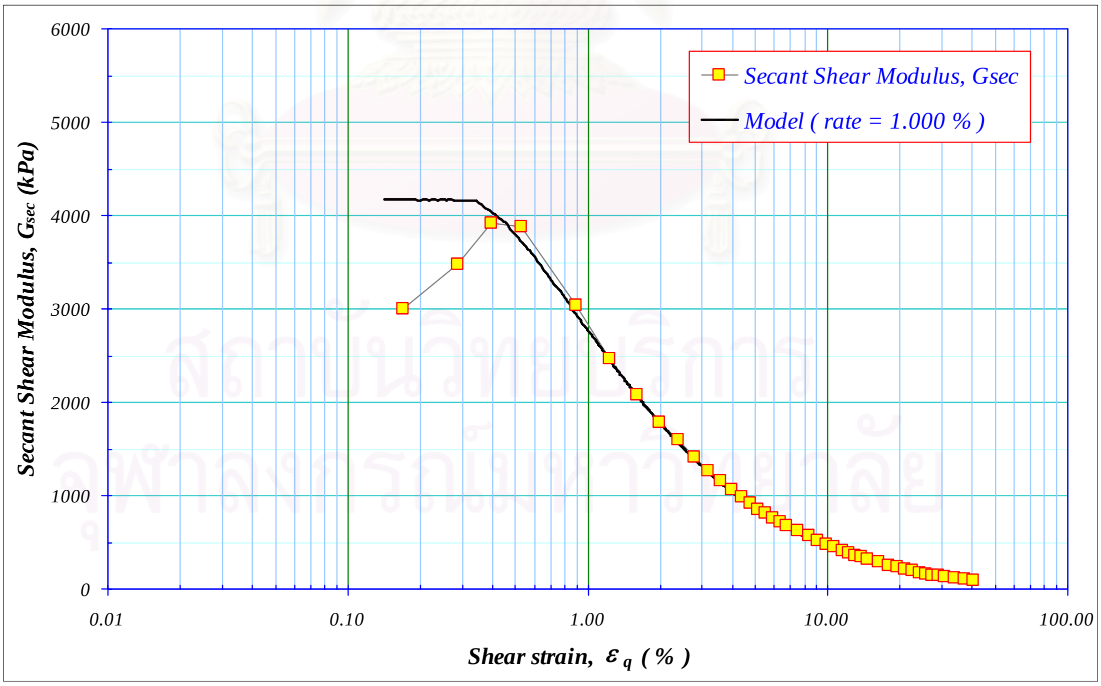
ภาพที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.50 % ต่อนาที



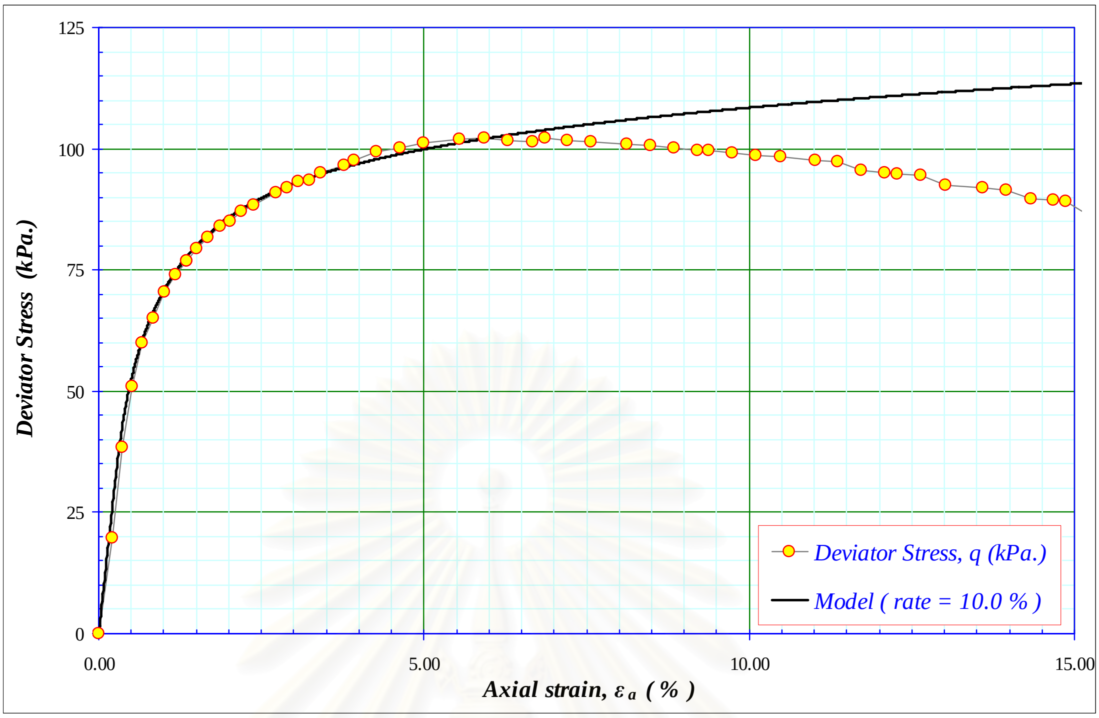
ภาพที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 0.50 % ต่อนาที



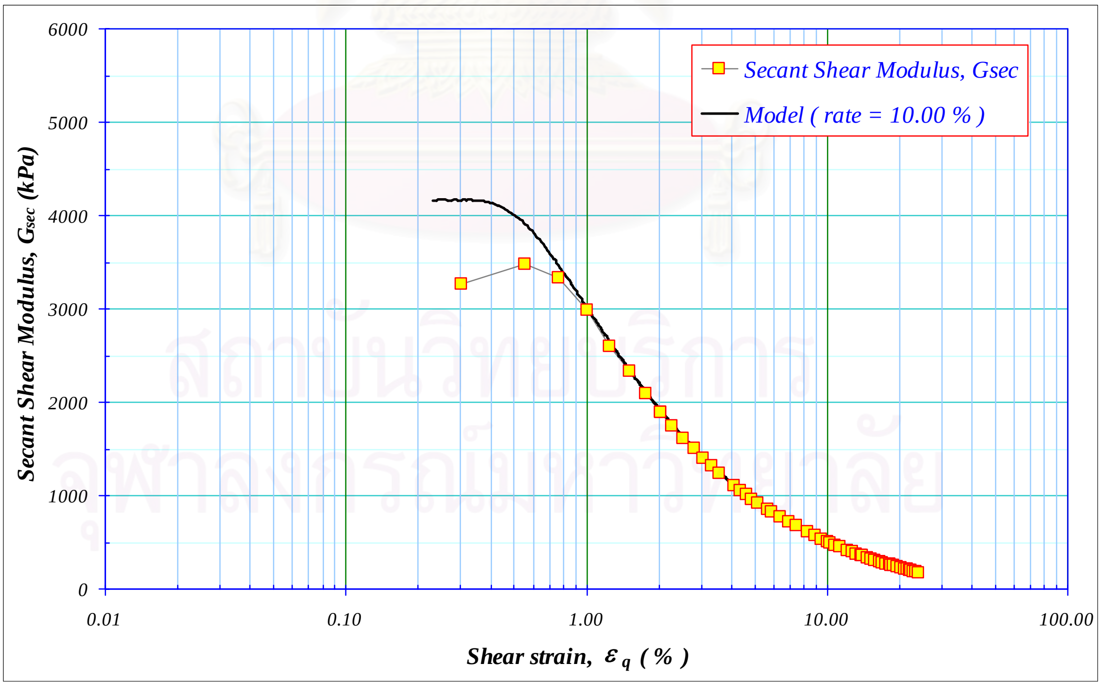
ภาพที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 1.00 % ต่อนาที



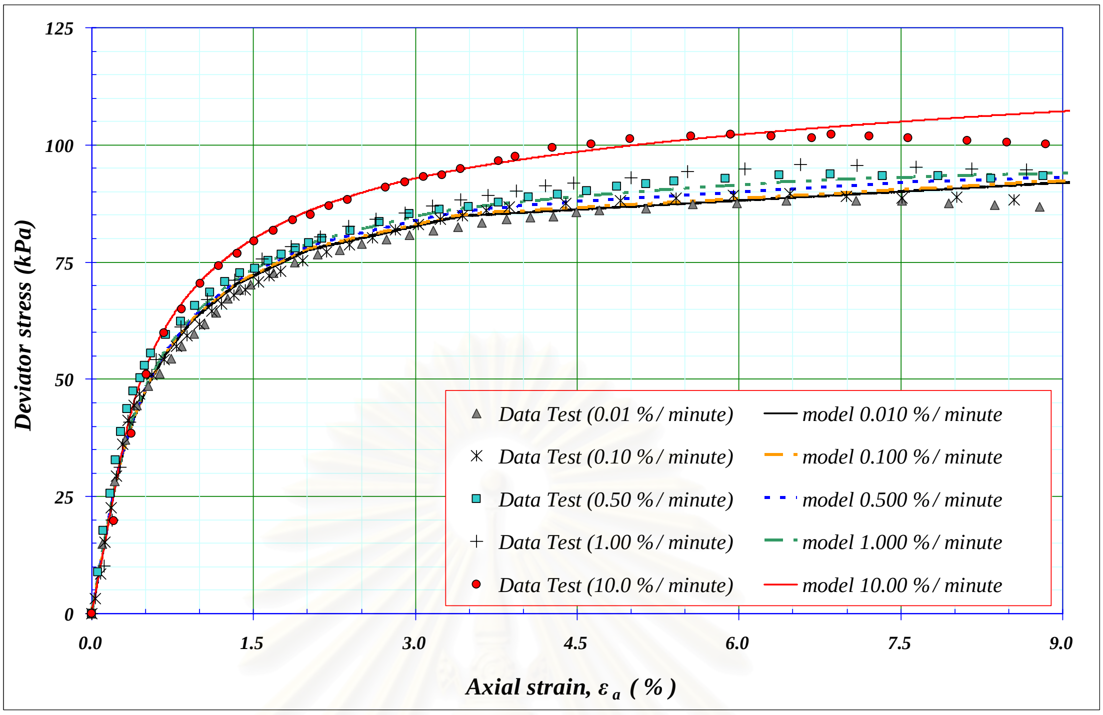
ภาพที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 1.00 % ต่อนาที



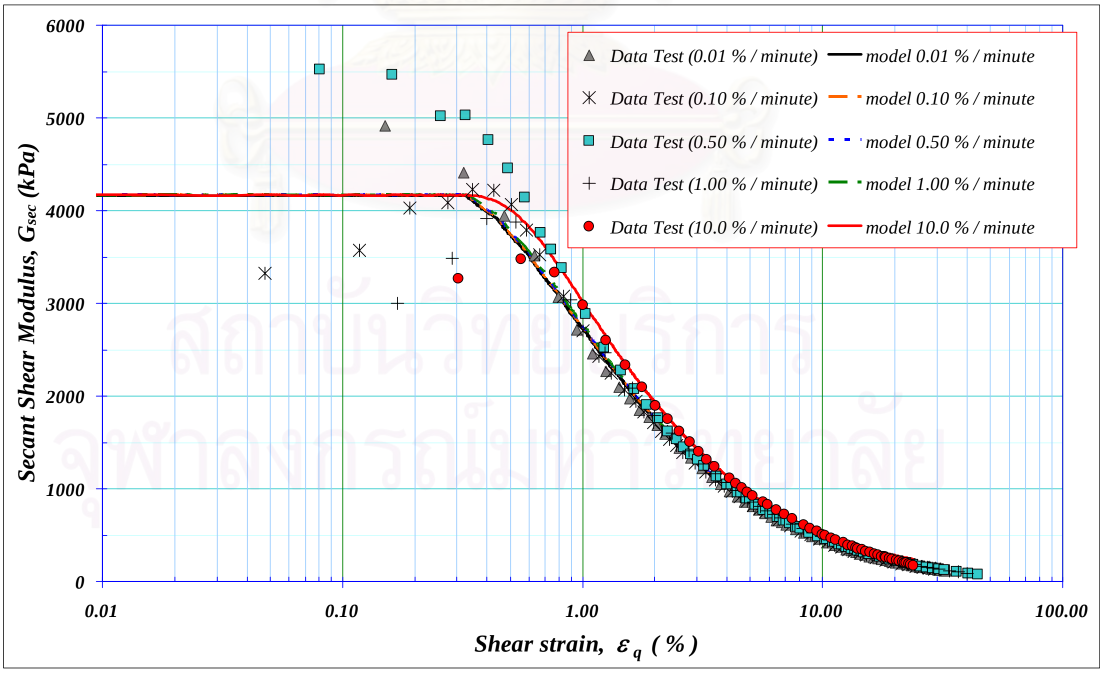
ภาพที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 10.0 % ต่อนาที



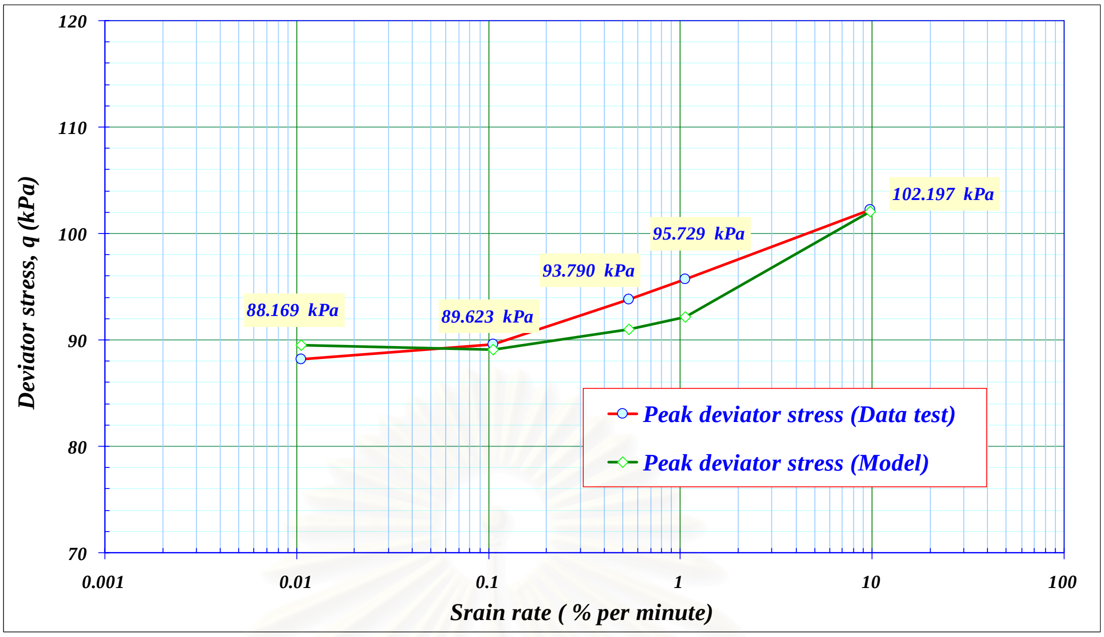
ภาพที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงที่อัตราความเครียด 10.0 % ต่อนาที



ภาพที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงทุกอัตราความเครียด



ภาพที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ซีแคนโมดูลัสเฉือนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองกับผลทดสอบจริงทุกอัตราความเครียด



ภาพที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุดของผลการทดสอบกับแบบจำลอง ที่ระดับความเครียดเดียวกัน ที่ให้ค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการศึกษาค่าตัวแปรของแบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา

	symbol	unit	Rate 0.01 % per min	Rate 0.10 % per min	Rate 0.50 % per min	Rate 1.00 % per min	Rate 10.0 % per min
Axial strain rate	$\dot{\varepsilon}$	$Hour^{-1}$	0.006360	0.063360	0.322020	0.633960	5.892240
		$Minute^{-1}$	0.000106	0.001056	0.005367	0.010566	0.098204
		$Second^{-1}$	0.0000017	0.0000176	0.0000894	0.0001761	0.0016367
Viscosity coefficient	μ	kPa.hr	0.9 – 1.0				
		kPa.min	54 – 60				
		kPa.s	$3.24 \times 10^3 – 3.60 \times 10^3$				
No. of yield surface	n	-	10				
Consolidation pressure	p_c	kPa.	150				
Elastic shear modulus gradient	g_x	-	27 - 28				
Kinematic hardening characteristic for q direction	b_q	-	2.5				
	a_q	-	1.075 – 1.080				
1^{st} yield stress	K_0	kPa.	10				
final yield stress	K_1	kPa.	90				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับวัสดุที่ขึ้นกับอัตราในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นค่าตัวแปรสำคัญในแบบจำลอง โดยอาศัยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขในการคำนวณ กับผลทดสอบกำลังรับหน่วยแรงเฉือนของตัวอย่างดินเหนียวที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของความเครียดและทำความเข้าใจในพฤติกรรมของดินเหนียวเมื่อได้รับหน่วยแรงตามแนวแกนด้วยอัตราความเครียดคงที่

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ดินเหนียวแสดงพฤติกรรมแบบวัสดุที่ขึ้นกับอัตรา กล่าวคือ เมื่อรับหน่วยแรงที่อัตราความเครียดต่างกัน มีผลทำให้หน่วยแรงเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันออกไป

5.1.2 จากการใช้ระเบียบวิธีการคิดเชิงตัวเลขในการทำนายเทียบกับผลการทดสอบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของดินเหนียวประมาณ 3.24×10^3 ถึง 3.60×10^3 kPa.s หรือประมาณ 33.03 ถึง 36.69 ksc.s

5.1.3 ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับการผลทดสอบแล้ว พบว่าความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเบี่ยงเบนกับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งให้ค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ในระดับความเครียด ร้อยละ 0.5 และ1.0 ของความเครียด ทั้งนี้เมื่อประเมินผลโดยรวมจากการเปรียบเทียบดังกล่าวแล้ว ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายพฤติกรรมของดินเหนียวกรุงเทพฯ เมื่อได้รับหน่วยแรงตามแนวแกนที่อัตราความเครียดคงที่ได้

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.1 ศึกษาต่อแบบจำลองจากงานวิจัยนี้ โดยการควบคุมทิศทางการทดสอบหน่วยแรงเฉือน เพื่อใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกต่อไป

5.2.2 ศึกษาเพิ่มเติมแบบจำลองจากงานวิจัยนี้ โดยการพัฒนาปรับเปลี่ยนการควบคุมอัตราด้านอื่น เช่น ควบคุมการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของหน่วยแรงที่อัตราคงที่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

5.2.3 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดที่ได้จากการศึกษานี้ ไปใช้ทำนายการทรุดตัวในระยะยาว(Long-term settlement) ที่ขึ้นกับอัตราการทรุดตัวระยะที่สอง (Secondary compression)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Plasticity in soil mechanics: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง."Rate-dependent model for Bangkok clay." เอกสารการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, 2549.

สุรฉัตร สัมพันธารักษ์. วิศวกรรมปฐพี. พิมพ์ครั้งที่ 1. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2540.

ภาษาอังกฤษ

Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.08. ASTM International, (January 2003).

Awtar Singh and James K. Mitchell, “General stress-strain time function for soils.” Journal of soil mechanics and foundations division. Vol.94, No. SM1 (January 1968) 21-46.

Head K.H., Manual of soil laboratory testing. 1st. Volume 3. ELE international limited, (1986)

Houlsby, G.T. and Puzrin. A.M., “Rate-dependent plasticity models derived from potential function”, Journal of Rheology, Vol. 46 No. 1 (February 2002): 113-126

John N. Cernica., Geotechnical engineering : soil mechanics. Inc.,John wiley & sons., (1995)

Puzrin, A.M and Houlsby, G.T., “Rate-dependent hyperplasticity with internal function,” Journal of engneering mechanics, Vol.129 No.3 (March 2003): 252-253.

Puzrin, A.M and Houlsby, G.T., “A thermomechanical framework for rate-independent dissipative materials with internal functions,”International Journal of plasticity (2001): 1147-1165.

Likitlersuang, S. and Houlsby, G.T., "Hyperplasticity model for Bangkok clay," Proceeding of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conference (November 2004):813-818.

Likitlersuang, S, "Predictions of the hyperplasticity model for Bangkok clay,"Proceeding of the 10th East asia-pacific conference on structural engineering and construction (EASEC-10) (2006):

Y. P. Vaid. and R.G. Campanella., "Time-dependent behavior of undisturbed clay." Journal of geotechnical engineering division. Vol.103 No.GT7. (July 1977):693-709

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบอัดตัวคายน้ำ แบบ 1มิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET PROPERTIES INDEX (CONSOLIDATION 1-D TEST)													
Information Data	Test No.	1			2			3			4		
	Location	Bangna-Trad Rd. (km. 125)			Bangna-Trad Rd. (km. 125)								
	Borehole No.	2			3								
	Part No.	3			2								
	Depth (m.)	7.5 - 8.0			9.0 - 9.5								
	Cell No.	A			C								
	LVDT No.	1			3								
	Calibation Factor : CF	25.54056			25.20153								
	Ring Dia. (mm.)	50.100			50.067								
	Ring Height (mm.)	19.967			19.833								
	Specific Gravity	2.670			2.670								
	Area of Cross Section (sq.cm.)	19.714			19.687								
	Volume of Inside (cu.cm.)	39.361			39.047								
	Wt. of Ring (gm.)	133.659			131.559								
	Wt. of Ring + Wet Soil (gm.)	192.615			190.014								
	Wt. of wet soil	58.956			58.455								
	Wet Unit Weight (gm./cu.cm.)	1.498			1.497								
Before Compress	Contrainer No.	1	2	3	1	2	3						
	Wt. of Contrainer.	17.928	21.132	16.958	18.257	18.669	18.773						
	Wt. of Wet Soil + Cont.	84.486	80.503	79.175	46.546	61.550	58.730						
	Wt. of Dry Soil + Cont.	54.125	53.857	50.517	34.552	42.472	41.514						
	Wt. of Dry Soil	36.197	32.725	33.559	16.295	23.803	22.741						
	Wt. of water in Soil	30.361	26.646	28.658	11.994	19.078	17.216						
	Water Content	0.839	0.814	0.854	0.736	0.801	0.757						
	Average Water content	83.57 %			76.49 %								
	Wt. of dry soil	32.117			33.122								
	Volume of solid soil (cu.cm.)	12.029			12.405								
	Height of solid soil	*6.102*			*6.301*								
	Height of void	*13.865*			*13.532*								
	Void Ratio	2.272			2.148								
	Dry Unit Weight (gm./cu.cm.)	0.816			0.848								
After Compress	Contrainer No.	K-116			K-96								
	Wt. of Contrainer.	18.897			14.300								
	Wt. of Wet Soil + Cont.	63.735			60.330								
	Wt. of Dry Soil + Cont.	49.984			43.760								
	Wt. of Dry Soil	31.087			29.460								
	Volume of solid soil (cu.cm.)	11.643			11.034								
	Height of solid soil	5.906			5.604								
	Wt. of water in Soil	13.751			16.570								
	Water Content	44.234 %			56.25 %								
	Average Water content	44.234 %			56.25 %								
	Final unit weight	1.9215			1.9141								
	Final reading	8.1294			7.6186								
	Percent settlement	0.4072			0.3841								
	Change in void	1.3323			1.2091								
	Final void ratio	0.9399			0.9385								

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

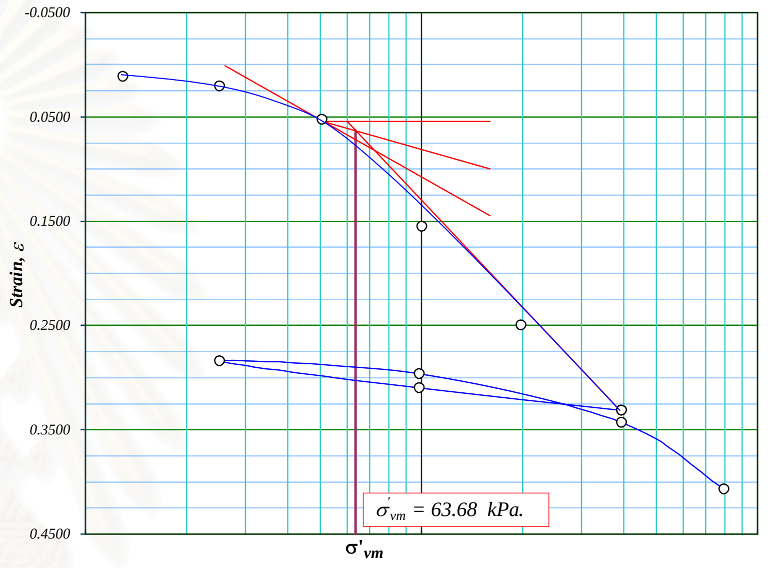
CONSOLIDATION TEST

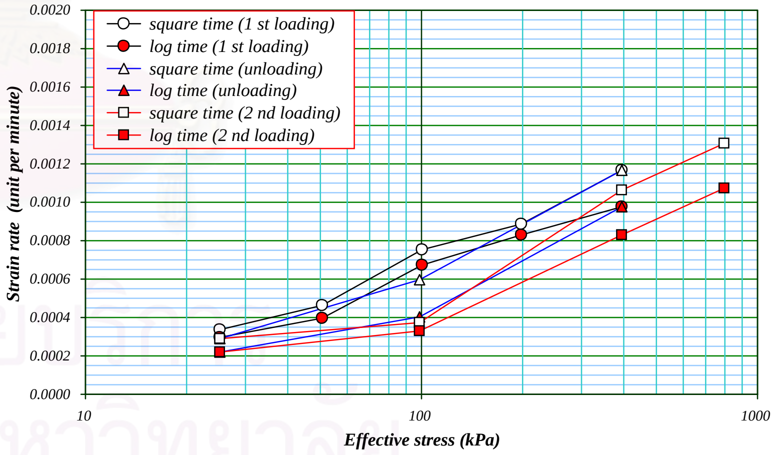
PROJECT	:	Master thesis	JOB NO.	:	CS_01
LOCATION	:	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	SHEET NO.	:	1 / 12
TESTED BY	:	Mr.Weerah Saksuphan	TEST NO.	:	1
CHECKED BY	:		BORING NO.	:	2
			DEPTH (m)	:	7.5 - 8.0 m.
			DATE	:	

Scale Load (kg)	Applied Pressure (kPa)	Deformation at 24 hr (mm.)	Axail Satrain at 24 hr
0.000	0.000	0.0000	0.0000
2.609	12.980	0.2338	0.0117
5.050	25.122	0.4176	0.0209
10.187	50.677	1.0538	0.0528
20.167	100.325	3.0950	0.1550
39.807	198.029	4.9852	0.2497
79.387	394.930	6.6154	0.3313
19.847	98.733	6.1875	0.3099
5.050	25.122	5.6709	0.2840
19.847	98.733	5.9230	0.2966
79.387	394.930	6.8537	0.3433
159.947	795.695	8.1294	0.4072

Soil Description :		
Water Content, W_n	83.877	%
Initial Void Ratio, e_0	2.272	
Total Unit Weight, γ_t	1.498	t/m^2
Specific Gravity, G_s	2.670	
Liquid Limit, LL	-	%
Plasticity Index, PI	-	%
Sample Height, H_0	19.967	mm.
Sample Area, A	19.714	cm^2
Wt.of Dry Sample, W_s	31.087	gm
Height of Solid, H_s	6.102	mm.
Effective Overburden Pressure, σ'_{vo}	37.836	kPa.
Preconsolidation Pressure, σ'_{vm}	63.680	kPa.
Over Consolidation Ratio, OCR	1.683	

applied pressure (kPa)	initail strain ε_{intail} (square time)	initail strain ε_{intail} (log time)	final strain ε_{90} (square time)	final strain ε_{final} (log time)	fitting Time t_{90} (minute)	fitting Time t_{final} (minute)	strain rate squre time (unit per min)	strain rate log time (unit per min)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000000
12.9802	-0.0001	-0.0002	0.0083	0.0089	14.0000	15.6346	0.0005970	0.0005813
25.1221	0.0117	0.0118	0.0177	0.0181	18.0000	21.2770	0.0003351	0.0002961
50.6774	0.0260	0.0262	0.0445	0.0466	40.0000	51.3254	0.0004631	0.0003975
100.3253	0.0532	0.0520	0.1284	0.1328	100.0000	119.7541	0.0007523	0.0006746
198.0293	0.1570	0.1546	0.2279	0.2315	80.0000	92.7508	0.0008862	0.0008293
394.9297	0.2528	0.2515	0.3111	0.3182	50.0000	68.2154	0.0011656	0.0009771
98.7334	0.3300	0.3295	0.3145	0.3120	26.0000	43.5583	0.0005955	0.0004018
25.1221	0.3102	0.3108	0.2929	0.2898	60.0000	94.9690	0.0002885	0.0002212
98.7334	0.2850	0.2846	0.2943	0.2949	25.0000	31.2220	0.0003737	0.0003311
394.9297	0.3000	0.2999	0.3334	0.3381	31.4000	45.9158	0.0010629	0.0008300
795.6952	0.3465	0.3461	0.3883	0.3941	32.0000	44.7612	0.0013062	0.0010737



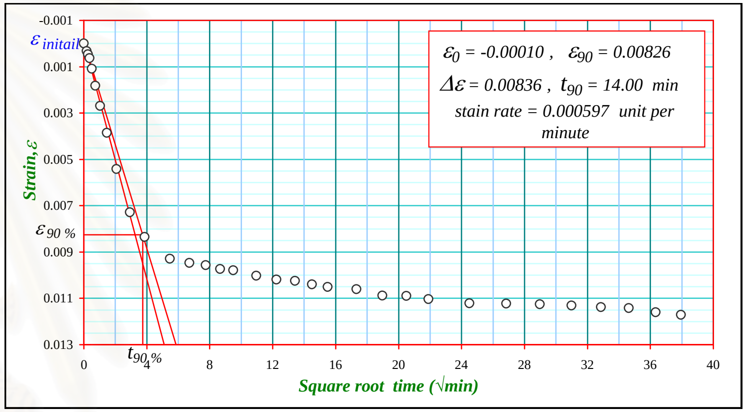


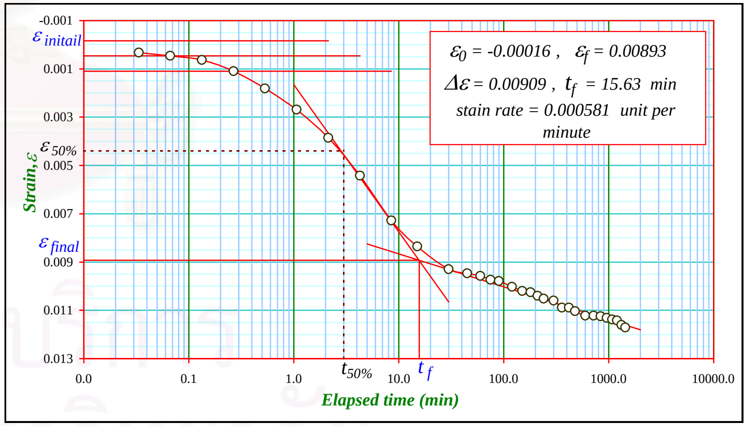
DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877 %
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	3 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722
Applied load from	0.0000 Kg.	To	2.6092 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978 g/cm.^{3}
Applied pressure from	0.0000 kPa.	To	12.9802 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700

Diameter =	50.100 mm.	Job no.	CS_01 - 2
Initial height =	19.967 mm.	Sheet no.	2 / 12
Height of void =	13.865 mm.	LVDT no.	A
Height of solid soil =	6.102 mm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
03/04/06	11:48:38	0.0000	0.0000	0.7347305	5.0003442	3.7528273	0.0000000	0.0000000
	11:48:40	0.0333	0.1826	0.7360353	5.0003549	3.7594836	0.0066564	0.0003334
	11:48:42	0.0667	0.2582	0.7365446	5.0003442	3.7620933	0.0092660	0.0004641
	11:48:46	0.1333	0.3651	0.7372009	5.0003549	3.7654374	0.0126101	0.0006316
	11:48:54	0.2667	0.5164	0.7389957	5.0003442	3.7746131	0.0217858	0.0010911
	11:49:10	0.5333	0.7303	0.7418255	5.0003334	3.7890749	0.0362476	0.0018154
	11:49:42	1.0667	1.0328	0.7452424	5.0003227	3.8065361	0.0537088	0.0026899
	11:50:46	2.1333	1.4606	0.7498304	5.0003657	3.8299375	0.0771103	0.0038619
	11:52:54	4.2667	2.0656	0.7559057	5.0003442	3.8609850	0.1081577	0.0054169
	11:57:10	8.5333	2.9212	0.7631984	5.0003227	3.8982511	0.1454238	0.0072833
	12:03:38	15.0000	3.8730	0.7673952	5.0003012	3.9197044	0.1668771	0.0083578
	12:18:38	30.0000	5.4772	0.7710434	5.0001399	3.9384656	0.1856384	0.0092974
	12:33:38	45.0000	6.7082	0.7717054	4.9999035	3.9420337	0.1892065	0.0094761
	12:48:38	60.0000	7.7460	0.7720527	4.9996670	3.9439941	0.1911668	0.0095743
	13:03:38	75.0000	8.6603	0.7727190	4.9997530	3.9473302	0.1945029	0.0097414
	13:18:38	90.0000	9.4868	0.7729274	4.9997745	3.9483778	0.1955506	0.0097939
	13:48:38	120.0000	10.9545	0.7738496	4.9998497	3.9530290	0.2002017	0.0100268
	14:18:38	150.0000	12.2474	0.7745159	4.9998497	3.9564329	0.2036056	0.0101973
	14:48:38	180.0000	13.4164	0.7747352	4.9998497	3.9575529	0.2047256	0.0102534
	15:18:38	210.0000	14.4914	0.7752758	4.9997852	3.9603655	0.2075382	0.0103942
	15:48:38	240.0000	15.4919	0.7757261	4.9996992	3.9627340	0.2099068	0.0105129
	16:48:38	300.0000	17.3205	0.7761050	4.9998282	3.9645676	0.2117404	0.0106047
	17:48:38	360.0000	18.9737	0.7772071	4.9998497	3.9701804	0.2173531	0.0108858
	18:48:38	420.0000	20.4939	0.7772007	4.9996885	3.9702755	0.2174482	0.0108906
	19:48:38	480.0000	21.9089	0.7777800	4.9996562	3.9732604	0.2204331	0.0110401
	21:48:38	600.0000	24.4949	0.7784721	4.9995595	3.9768731	0.2240458	0.0112210
03/04/06	23:48:38	720.0000	26.8328	0.7785280	4.9997960	3.9769705	0.2241432	0.0112259
04/04/06	1:48:38	840.0000	28.9828	0.7786355	4.9997960	3.9775195	0.2246922	0.0112534
	3:48:38	960.0000	30.9839	0.7788827	4.9997960	3.9787822	0.2259550	0.0113166
	5:48:38	1080.0000	32.8634	0.7791309	4.9996992	3.9801275	0.2273003	0.0113840
	7:48:38	1200.0000	34.6410	0.7792535	4.9996670	3.9807791	0.2279518	0.0114166
	9:48:38	1320.0000	36.3318	0.7800143	4.9998927	3.9844857	0.2316584	0.0116023
04/04/06	11:48:38	1440.0000	37.9473	0.7804549	5.0000002	3.9866511	0.2338238	0.0117107

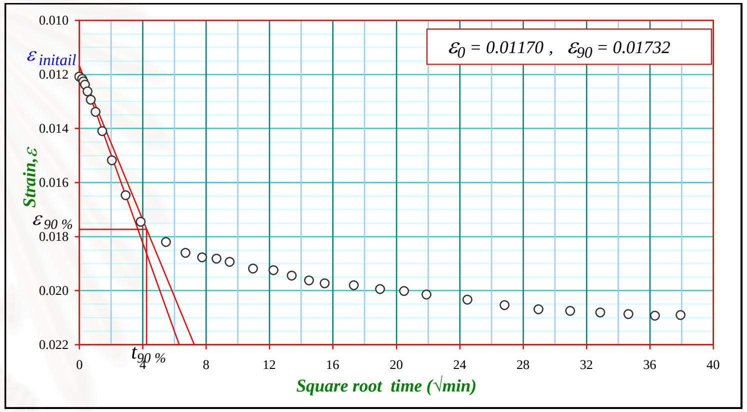


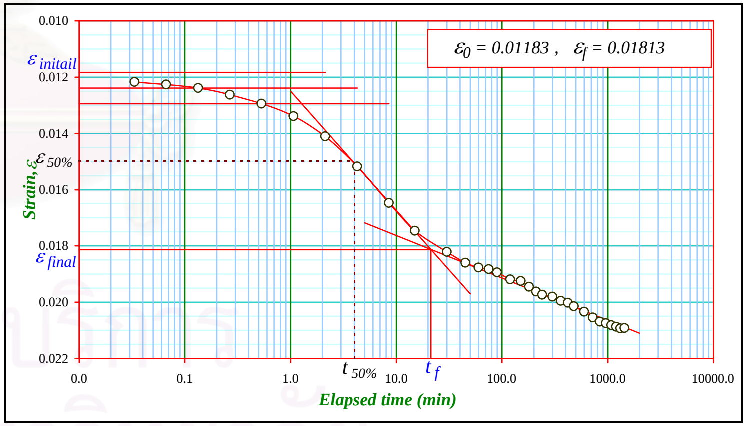


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	1		Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	nm.	Job no.	CS_01 - 3
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	4 April 2006	Borehole no.	2		Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	nm.	Sheet no.	3 / 12
Applied load from	2.6092 kg.	To	5.0499 kg.	Part no.	3		Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	nm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	12.9802 kPa.	To	25.1221 kPa.	Depth	7.5 - 8.0	n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	nm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
04/04/06	11:54:54	0.0000	0.0000	0.7819124	4.9999895	3.9941046	0.2412773	0.0120840
	11:54:56	0.0333	0.1826	0.7822563	5.0000002	3.9958528	0.2430255	0.0121716
	11:54:58	0.0667	0.2582	0.7826239	4.9999787	3.9977476	0.2449203	0.0122665
	11:55:02	0.1333	0.3651	0.7830934	5.0000002	4.0001287	0.2473014	0.0123857
	11:55:10	0.2667	0.5164	0.7840542	5.0000110	4.0050277	0.2522004	0.0126311
	11:55:26	0.5333	0.7303	0.7852767	4.9999895	4.0112897	0.2584624	0.0129447
	11:55:58	1.0667	1.0328	0.7870259	5.0000110	4.0202073	0.2673801	0.0133913
	11:57:02	2.1333	1.4606	0.7898036	5.0000217	4.0343875	0.2815602	0.0141015
	11:59:10	4.2667	2.0656	0.7939997	4.9999787	4.0558565	0.3030292	0.0151768
	12:03:26	8.5333	2.9212	0.7990700	4.9999680	4.0817654	0.3289381	0.0164744
	12:09:54	15.0000	3.8730	0.8029245	4.9999572	4.1014636	0.3486363	0.0174609
	12:24:54	30.0000	5.4772	0.8058384	4.9999142	4.1163836	0.3635564	0.0182082
	12:39:54	45.0000	6.7082	0.8073724	4.9998497	4.1242724	0.3714451	0.0186033
	12:54:54	60.0000	7.7460	0.8080326	4.9997852	4.1276981	0.3748709	0.0187748
	13:09:54	75.0000	8.6603	0.8082326	4.9998067	4.1287021	0.3758748	0.0188251
	13:24:54	90.0000	9.4868	0.8087045	4.9998497	4.1310774	0.3782502	0.0189441
	13:54:54	120.0000	10.9545	0.8096865	4.9999680	4.1359956	0.3831684	0.0191904
	14:24:54	150.0000	12.2474	0.8099045	4.9999465	4.1371273	0.3843000	0.0192471
	14:54:54	180.0000	13.4164	0.8107045	4.9999787	4.1411871	0.3883598	0.0194504
	15:24:54	210.0000	14.4914	0.8113858	4.9999250	4.1447117	0.3918844	0.0196269
	15:54:54	240.0000	15.4919	0.8117865	4.9998712	4.1468030	0.3939757	0.0197317
	16:54:54	300.0000	17.3205	0.8120700	4.9998605	4.1482600	0.3954328	0.0198046
	17:54:54	360.0000	18.9737	0.8126315	4.9997422	4.1512268	0.3983995	0.0199532
	18:54:54	420.0000	20.4939	0.8128948	4.9996670	4.1526342	0.3998070	0.0200237
	19:54:54	480.0000	21.9089	0.8133979	4.9996885	4.1551867	0.4023594	0.0201516
	21:54:54	600.0000	24.4949	0.8141423	4.9996562	4.1590158	0.4061885	0.0203433
04/04/06	23:54:54	720.0000	26.8328	0.8149376	4.9996455	4.1630876	0.4102603	0.0205473
05/04/06	1:54:54	840.0000	28.9828	0.8154965	4.9996347	4.1659516	0.4131243	0.0206907
	3:54:54	960.0000	30.9839	0.8157376	4.9996455	4.1671744	0.4143471	0.0207519
	5:54:54	1080.0000	32.8634	0.8159965	4.9996132	4.1685237	0.4156964	0.0208195
	7:54:54	1200.0000	34.6410	0.8162060	4.9996347	4.1695762	0.4167489	0.0208722
	9:54:54	1320.0000	36.3318	0.8164584	4.9998390	4.1706950	0.4178678	0.0209283
05/04/06	11:54:54	1440.0000	37.9473	0.8164068	4.9998497	4.1704226	0.4175953	0.0209146

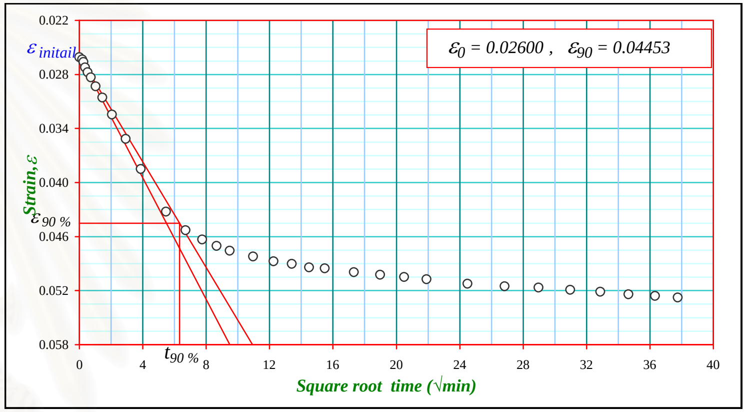


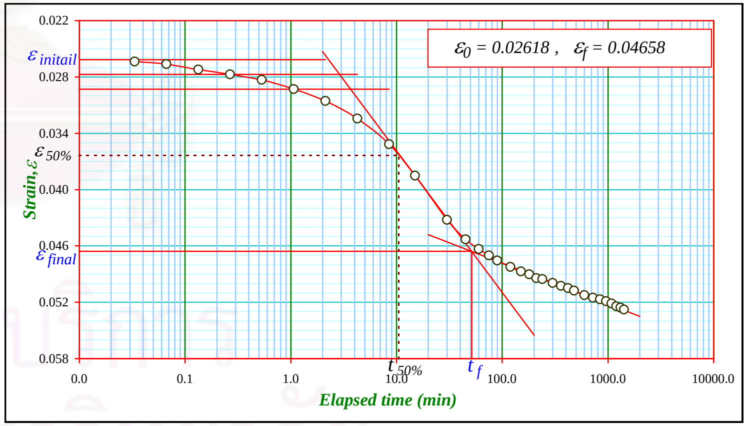


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	nm.	Job no.	CS_01 - 4
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	5 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	nm.	Sheet no.	4 / 12
Applied load from	5.0499 Kg.	To	10.1869 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	nm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	25.1221 kPa.	To	50.6774 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	nm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
05/04/06	12:02:09	0.0000	0.0000	0.8365327	4.9995165	4.2735161	0.5206888	0.0260779
	12:02:11	0.0333	0.1826	0.8376214	4.9995273	4.2790687	0.5262414	0.0263560
	12:02:13	0.0667	0.2582	0.8387177	4.9995273	4.2846690	0.5318417	0.0266365
	12:02:17	0.1333	0.3651	0.8409833	4.9995273	4.2962431	0.5434158	0.0272161
	12:02:25	0.2667	0.5164	0.8430651	4.9995487	4.3068597	0.5540324	0.0277479
	12:02:41	0.5333	0.7303	0.8453296	4.9995273	4.3184466	0.5656193	0.0283282
	12:03:13	1.0667	1.0328	0.8492029	4.9995273	4.3382337	0.5854064	0.0293192
	12:04:17	2.1333	1.4606	0.8541154	4.9995058	4.3633484	0.6105212	0.0305770
	12:06:25	4.2667	2.0656	0.8614188	4.9995165	4.4006491	0.6478218	0.0324452
	12:10:41	8.5333	2.9212	0.8721078	4.9995487	4.4552264	0.7023992	0.0351786
	12:17:09	15.0000	3.8730	0.8850935	4.9995165	4.5215940	0.7687667	0.0385025
	12:32:09	30.0000	5.4772	0.9035845	4.9994950	4.6160771	0.8632498	0.0432345
	12:47:09	45.0000	6.7082	0.9116617	4.9995380	4.6573006	0.9044733	0.0452992
	13:02:09	60.0000	7.7460	0.9156746	4.9995380	4.6778008	0.9249736	0.0463259
	13:17:09	75.0000	8.6603	0.9184119	4.9995380	4.6917845	0.9389572	0.0470262
	13:32:09	90.0000	9.4868	0.9205119	4.9995380	4.7025125	0.9496852	0.0475635
	14:02:09	120.0000	10.9545	0.9231022	4.9995165	4.7157654	0.9629382	0.0482273
	14:32:09	150.0000	12.2474	0.9250881	4.9995273	4.7259003	0.9730730	0.0487349
	15:02:09	180.0000	13.4164	0.9262022	4.9995165	4.7316021	0.9787748	0.0490204
	15:32:09	210.0000	14.4914	0.9278214	4.9995380	4.7398533	0.9870260	0.0494337
	16:02:09	240.0000	15.4919	0.9282036	4.9995380	4.7418061	0.9889789	0.0495315
	17:02:09	300.0000	17.3205	0.9298393	4.9995273	4.7501723	0.9973450	0.0499505
	18:02:09	360.0000	18.9737	0.9309525	4.9994843	4.7559003	1.0030730	0.0502374
	19:02:09	420.0000	20.4939	0.9319080	4.9995058	4.7607608	1.0079335	0.0504808
	20:02:09	480.0000	21.9089	0.9329876	4.9995058	4.7662764	1.0134491	0.0507570
05/04/06	22:02:09	600.0000	24.4949	0.9349125	4.9995058	4.7761098	1.0232825	0.0512495
06/04/06	0:02:09	720.0000	26.8328	0.9359395	4.9994843	4.7813769	1.0285496	0.0515133
	2:02:09	840.0000	28.9828	0.9365535	4.9994735	4.7845237	1.0316964	0.0516709
	4:02:09	960.0000	30.9839	0.9374609	4.9995273	4.7891081	1.0362808	0.0519005
	6:02:09	1080.0000	32.8634	0.9384326	4.9997100	4.7938970	1.0410697	0.0521404
	8:02:09	1200.0000	34.6410	0.9395998	4.9999035	4.7996737	1.0468464	0.0524297
	10:02:09	1320.0000	36.3318	0.9402319	5.0000217	4.8027889	1.0499616	0.0525857
06/04/06	11:47:09	1425.0000	37.7492	0.9409831	5.0000647	4.8065851	1.0537578	0.0527758

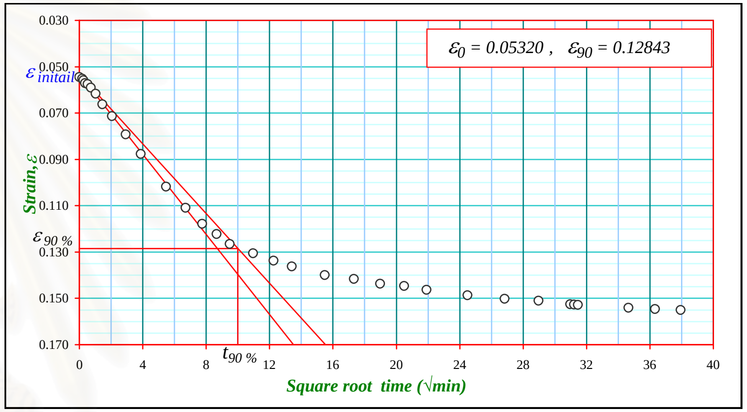


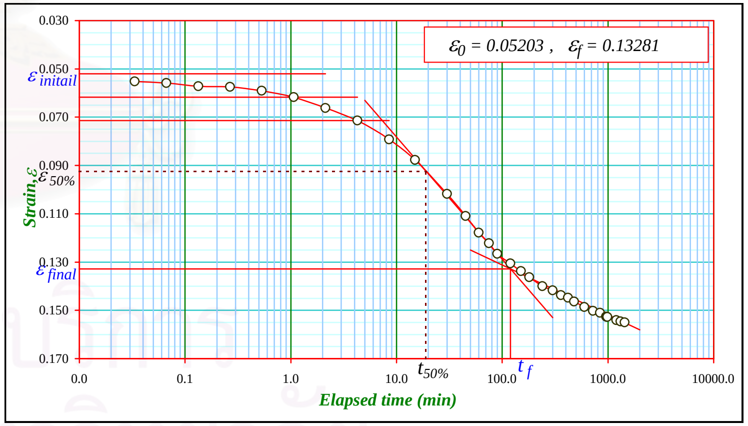


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	nm.	Job no.	CS_01 - 5		
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	7 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	nm.	Sheet no.	5 / 12		
Applied load from	10.1869 Kg.	To	20.1669 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	nm.	LVDT no.	A		
Applied pressure from	50.6774 kPa.	To	100.3253 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	nm.	CF value :	25.54056		

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
07/04/06	11:57:10	0.0000	0.0000	0.9475951	5.0000540	4.8403696	1.0875423	0.0544679
	11:57:12	0.0333	0.1826	0.9503045	5.0000325	4.8542305	1.1014032	0.0551621
	11:57:14	0.0667	0.2582	0.9530312	5.0000432	4.8681480	1.1153208	0.0558591
	11:57:18	0.1333	0.3651	0.9581138	5.0000540	4.8940995	1.1412722	0.0571589
	11:57:26	0.2667	0.5164	0.9595754	5.0000647	4.9015553	1.1487280	0.0575323
	11:57:42	0.5333	0.7303	0.9656553	5.0000755	4.9326011	1.1797739	0.0590872
	11:58:14	1.0667	1.0328	0.9759644	5.0000217	4.9853140	1.2324867	0.0617272
	11:59:18	2.1333	1.4606	0.9935948	5.0000325	5.0753603	1.3225330	0.0662370
	12:01:26	4.2667	2.0656	1.0138851	5.0000647	5.1789716	1.4261443	0.0714263
	12:05:42	8.5333	2.9212	1.0445877	5.0000110	5.3358592	1.5830319	0.0792837
	12:12:10	15.0000	3.8730	1.0775935	5.0000325	5.5044325	1.7516052	0.0877265
	12:27:10	30.0000	5.4772	1.1324632	4.9999680	5.7847859	2.0319586	0.1017675
	12:42:10	45.0000	6.7082	1.1684182	4.9999357	5.9684878	2.2156605	0.1109680
	12:57:10	60.0000	7.7460	1.1955612	4.9999250	6.1071521	2.3543248	0.1179128
	13:12:10	75.0000	8.6603	1.2126351	4.9999357	6.1943556	2.4415283	0.1222802
	13:27:10	90.0000	9.4868	1.2295111	5.0000002	6.2804802	2.5276529	0.1265936
	13:57:10	120.0000	10.9545	1.2450005	5.0000110	6.3595880	2.6067607	0.1305556
	14:27:10	150.0000	12.2474	1.2577597	5.0000217	6.4247495	2.6719222	0.1338191
	14:57:10	180.0000	13.4164	1.2673051	5.0000862	6.4734248	2.7205975	0.1362570
	15:57:10	240.0000	15.4919	1.2817411	5.0000002	6.5472768	2.7944495	0.1399557
	16:57:10	300.0000	17.3205	1.2884485	5.0000432	6.5814824	2.8286551	0.1416689
	17:57:10	360.0000	18.9737	1.2963169	5.0000647	6.6216462	2.8688189	0.1436804
	18:57:10	420.0000	20.4939	1.3003478	4.9998820	6.6424790	2.8896517	0.1447238
	19:57:10	480.0000	21.9089	1.3066682	4.9998605	6.6747937	2.9219665	0.1463422
	21:57:10	600.0000	24.4949	1.3156867	4.9998282	6.7209060	2.9680787	0.1486517
07/04/06	23:57:10	720.0000	26.8328	1.3220286	4.9997852	6.7533603	3.0005330	0.1502771
08/04/06	1:57:10	840.0000	28.9828	1.3247804	4.9997637	6.7674465	3.0146192	0.1509826
	3:57:10	960.0000	30.9839	1.3311116	4.9998067	6.7997300	3.0469027	0.1525995
	4:12:10	975.0000	31.2250	1.3315845	4.9997745	6.8021895	3.0493623	0.1527227
	4:27:10	990.0000	31.4643	1.3319177	4.9997745	6.8038916	3.0510644	0.1528079
	7:57:10	1200.0000	34.6410	1.3368086	4.9997637	6.8288908	3.0760635	0.1540599
	9:57:10	1320.0000	36.3318	1.3390014	5.0000647	6.8396806	3.0868533	0.1546003
08/04/06	11:57:10	1440.0000	37.9473	1.3406460	5.0002474	6.8478311	3.0950038	0.1550085

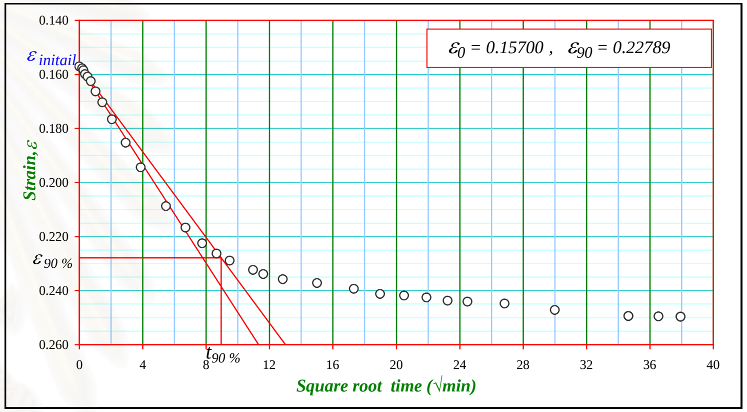


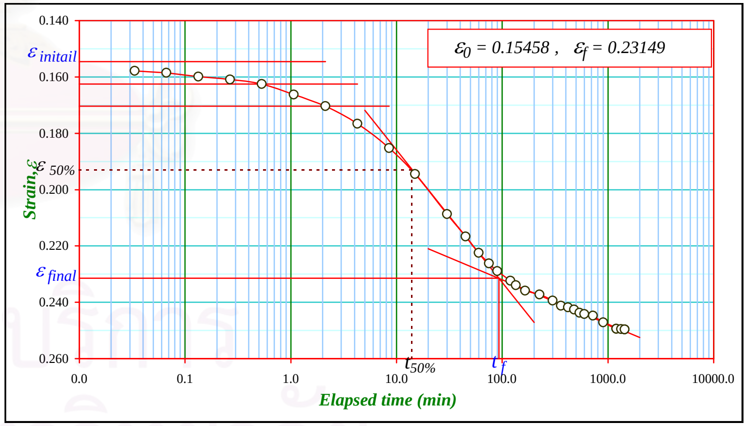


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	nm.	Job no.	CS_01 - 6
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	8 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	nm.	Sheet no.	6 / 12
Applied load from	20.1669 Kg.	To	39.8069 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	nm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	100.3253 kPa.	To	198.0293 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	nm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
08/04/06	11:48:38	0.0000	0.0000	1.3486755	5.0002689	6.8888150	3.1359877	0.1570612
	11:48:40	0.0333	0.1826	1.3517068	5.0002367	6.9043429	3.1515156	0.1578388
	11:48:42	0.0667	0.2582	1.3543080	5.0002474	6.9176147	3.1647874	0.1585035
	11:48:46	0.1333	0.3651	1.3598976	5.0002582	6.9461506	3.1933233	0.1599327
	11:48:54	0.2667	0.5164	1.3636170	5.0002689	6.9651338	3.2123065	0.1608835
	11:49:10	0.5333	0.7303	1.3698300	5.0002689	6.9968688	3.2440415	0.1624729
	11:49:42	1.0667	1.0328	1.3846949	5.0002474	7.0728267	3.3199994	0.1662771
	11:50:46	2.1333	1.4606	1.4006798	5.0002474	7.1544753	3.4016480	0.1703663
	11:52:54	4.2667	2.0656	1.4251447	5.0002474	7.2794386	3.5266113	0.1766249
	11:57:10	8.5333	2.9212	1.4588430	5.0002367	7.4515807	3.6987534	0.1852464
	12:03:38	15.0000	3.8730	1.4948738	5.0002044	7.6356707	3.8828434	0.1944663
	12:18:38	30.0000	5.4772	1.5507152	5.0001292	7.9210222	4.1681950	0.2087577
	12:33:38	45.0000	6.7082	1.5816190	5.0000755	8.0789650	4.3261377	0.2166680
	12:48:38	60.0000	7.7460	1.6043533	5.0000540	8.1951278	4.4423005	0.2224858
	13:03:38	75.0000	8.6603	1.6191225	5.0000110	8.2706409	4.5178136	0.2262678
	13:18:38	90.0000	9.4868	1.6297426	5.0000755	8.3247820	4.5719547	0.2289794
	13:48:38	120.0000	10.9545	1.6428457	5.0001185	8.3916410	4.6388137	0.2323279
	14:03:38	135.0000	11.6190	1.6491446	5.0001507	8.4237614	4.6709341	0.2339366
	14:33:38	165.0000	12.8452	1.6566582	5.0001507	8.4621406	4.7093133	0.2358588
	15:33:38	225.0000	15.0000	1.6620758	5.0001937	8.4897404	4.7369132	0.2372411
	16:48:38	300.0000	17.3205	1.6703310	5.0001614	8.5319624	4.7791351	0.2393557
	17:48:38	360.0000	18.9737	1.6776404	5.0000862	8.5694273	4.8166000	0.2412321
	18:48:38	420.0000	20.4939	1.6800268	4.9999680	8.5818200	4.8289927	0.2418527
	19:48:38	480.0000	21.9089	1.6829183	4.9999572	8.5966088	4.8437815	0.2425934
	20:48:38	540.0000	23.2379	1.6873684	4.9999142	8.6194147	4.8665874	0.2437356
	21:48:38	600.0000	24.4949	1.6889915	4.9998820	8.6277614	4.8749341	0.2441536
08/04/06	23:48:38	720.0000	26.8328	1.6913993	4.9998497	8.6401168	4.8872895	0.2447724
09/04/06	2:48:38	900.0000	30.0000	1.7008585	4.9998067	8.6885116	4.9356843	0.2471962
	7:48:38	1200.0000	34.6410	1.7095222	4.9998390	8.7327121	4.9798848	0.2494099
	11:48:38	1440.0000	37.9473	1.7105541	4.9998390	8.7379833	4.9851560	0.2496739
	7:48:38	1200.0000	34.6410	1.7095222	4.9998390	8.7327121	4.9798848	0.2494099
	10:03:48	1335.1667	36.5399	1.7100059	4.9998390	8.7351829	4.9823556	0.2495337
09/04/06	11:48:38	1440.0000	37.9473	1.7105541	4.9998390	8.7379833	4.9851560	0.2496739

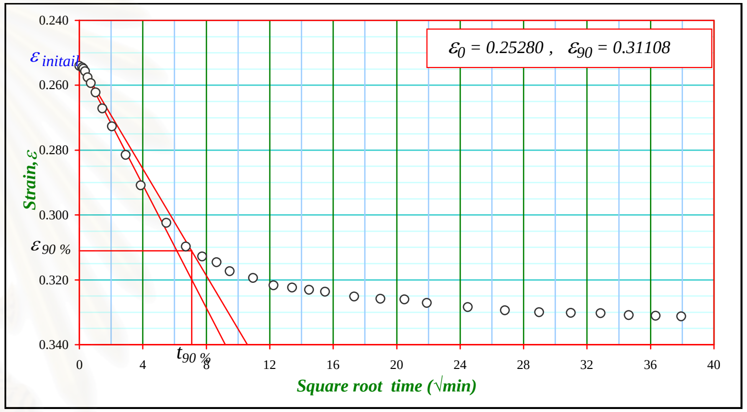


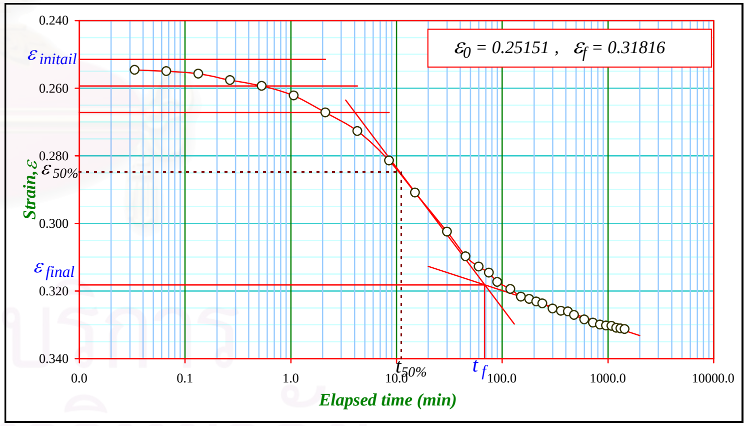


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis		Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125		Test no.	1		Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	nm.	Job no.	CS_01 - 7
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan		Date :	9 April 2006		Borehole no.	2		Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	nm.	Sheet no.	7 / 12
Applied load from	39.8069	Kg.	To	79.3869	Kg.	Part no.	3		Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	nm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	198.0293	kPa.	To	394.9297	kPa.	Depth	7.5 - 8.0	n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	nm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
09/04/06	13:45:27	0.0000	0.0000	1.7277096	4.9998175	8.8256563	5.0728290	0.2540649
	13:45:29	0.0333	0.1826	1.7296230	4.9998175	8.8354305	5.0826032	0.2545544
	13:45:31	0.0667	0.2582	1.7311708	4.9998175	8.8433371	5.0905098	0.2549504
	13:45:35	0.1333	0.3651	1.7340838	4.9998067	8.8582367	5.1054094	0.2556966
	13:45:43	0.2667	0.5164	1.7416727	4.9998282	8.8969649	5.1441376	0.2576363
	13:45:59	0.5333	0.7303	1.7483156	4.9998282	8.9308988	5.1780715	0.2593358
	13:46:31	1.0667	1.0328	1.7596132	4.9998390	8.9885907	5.2357634	0.2622252
	13:47:35	2.1333	1.4606	1.7789067	4.9998390	9.0871473	5.3343200	0.2671613
	13:49:43	4.2667	2.0656	1.8004166	4.9998175	9.1970653	5.4442380	0.2726663
	13:53:59	8.5333	2.9212	1.8348240	4.9998175	9.3728286	5.6200013	0.2814692
	14:00:27	15.0000	3.8730	1.8716395	4.9998175	9.5608932	5.8080659	0.2908881
	14:15:27	30.0000	5.4772	1.9168619	4.9998390	9.7918606	6.0390333	0.3024558
	14:30:27	45.0000	6.7082	1.9455290	4.9998497	9.9382788	6.1854515	0.3097889
	14:45:27	60.0000	7.7460	1.9573117	4.9998497	9.9984679	6.2456406	0.3128034
	15:00:27	75.0000	8.6603	1.9644688	4.9998390	10.0350498	6.2822225	0.3146355
	15:15:27	90.0000	9.4868	1.9751749	4.9998282	10.0897613	6.3369340	0.3173757
	15:45:27	120.0000	10.9545	1.9833764	4.9998282	10.1316569	6.3788296	0.3194739
	16:15:27	150.0000	12.2474	1.9920831	4.9998175	10.1761550	6.4233277	0.3217026
	16:45:27	180.0000	13.4164	1.9947492	4.9998282	10.1897524	6.4369252	0.3223836
	17:15:27	210.0000	14.4914	1.9976088	4.9998067	10.2044040	6.4515767	0.3231174
	17:45:27	240.0000	15.4919	1.9999166	4.9998282	10.2161490	6.4633217	0.3237056
	18:45:27	300.0000	17.3205	2.0057025	4.9998390	10.2456829	6.4928556	0.3251848
	19:45:27	360.0000	18.9737	2.0082826	4.9998282	10.2588849	6.5060577	0.3258460
	20:45:27	420.0000	20.4939	2.0092178	4.9998497	10.2636181	6.5107908	0.3260830
	21:45:27	480.0000	21.9089	2.0133666	4.9998390	10.2848333	6.5320060	0.3271455
09/04/06	23:45:27	600.0000	24.4949	2.0183858	4.9998390	10.3104727	6.5576454	0.3284297
10/04/06	1:45:27	720.0000	26.8328	2.0222991	4.9998390	10.3304629	6.5776357	0.3294308
	3:45:27	840.0000	28.9828	2.0244381	4.9998497	10.3413674	6.5885401	0.3299770
	5:45:27	960.0000	30.9839	2.0253948	4.9998390	10.3462766	6.5934493	0.3302228
	7:45:27	1080.0000	32.8634	2.0259323	4.9998605	10.3489778	6.5961505	0.3303581
	9:45:27	1200.0000	34.6410	2.0280176	5.0000432	10.3592515	6.6064242	0.3308727
	11:45:27	1320.0000	36.3318	2.0288883	5.0002367	10.3632981	6.6104708	0.3310753
10/04/06	13:45:27	1440.0000	37.9473	2.0297912	5.0001077	10.3681775	6.6153502	0.3313197

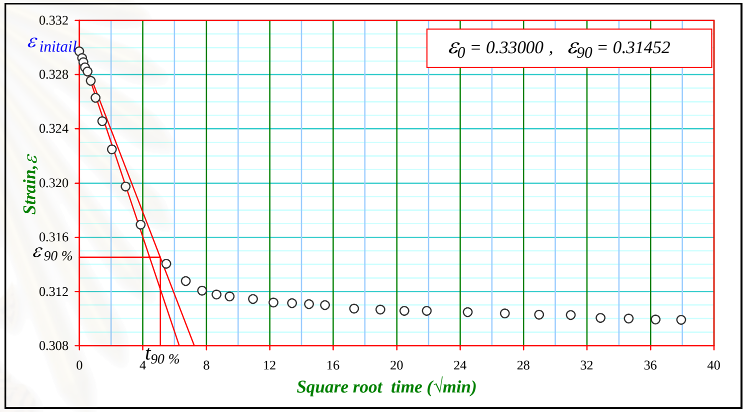


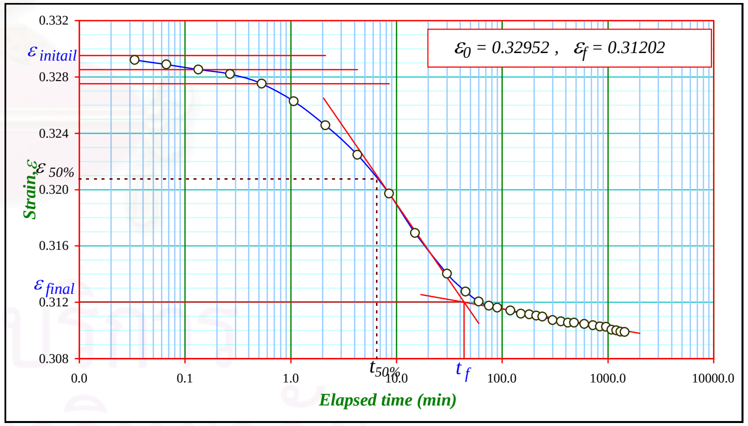


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	mm.	Job no.	CS_01 - 8		
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	10 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	mm.	Sheet no.	8 / 12		
Applied load from	79.3869 Kg.	To	19.8469 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	mm.	LVDT no.	A		
Applied pressure from	394.9297 kPa.	To	98.7334 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	mm.	CF value :	25.54056		

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
10/04/06	14:32:02	0.0000	0.0000	2.0234922	5.0001077	10.3360022	6.5831749	0.3297083
	14:32:04	0.0333	0.1826	2.0215359	5.0000970	10.3260315	6.5732042	0.3292089
	14:32:06	0.0667	0.2582	2.0202998	5.0001077	10.3196954	6.5668681	0.3288916
	14:32:10	0.1333	0.3651	2.0188486	5.0000862	10.3123270	6.5594997	0.3285225
	14:32:18	0.2667	0.5164	2.0176340	5.0001077	10.3060785	6.5532512	0.3282096
	14:32:34	0.5333	0.7303	2.0149703	5.0001292	10.2924280	6.5396007	0.3275259
	14:33:06	1.0667	1.0328	2.0100788	5.0001185	10.2674643	6.5146370	0.3262756
	14:34:10	2.1333	1.4606	2.0033609	5.0001077	10.2331714	6.4803441	0.3245581
	14:36:18	4.2667	2.0656	1.9951900	5.0000970	10.1914563	6.4386290	0.3224689
	14:40:34	8.5333	2.9212	1.9844513	5.0001292	10.1365376	6.3837103	0.3197184
	14:47:02	15.0000	3.8730	1.9734551	5.0001185	10.0803908	6.3275635	0.3169064
	15:02:02	30.0000	5.4772	1.9622115	5.0001292	10.0229371	6.2701098	0.3140289
	15:17:02	45.0000	6.7082	1.9572340	5.0001185	9.9975335	6.2447063	0.3127566
	15:32:02	60.0000	7.7460	1.9544830	5.0000970	9.9835244	6.2306971	0.3120549
	15:47:02	75.0000	8.6603	1.9533221	5.0000970	9.9775945	6.2247672	0.3117580
	16:02:02	90.0000	9.4868	1.9527846	5.0001722	9.9746989	6.2218716	0.3116129
	16:32:02	120.0000	10.9545	1.9520322	5.0001614	9.9708772	6.2180500	0.3114215
	17:02:02	150.0000	12.2474	1.9510970	5.0002152	9.9659931	6.2131658	0.3111769
	17:32:02	180.0000	13.4164	1.9509035	5.0001614	9.9651119	6.2122846	0.3111328
	18:02:02	210.0000	14.4914	1.9505058	5.0000647	9.9632732	6.2104459	0.3110407
	18:32:02	240.0000	15.4919	1.9502908	5.0000217	9.9622606	6.2094333	0.3109900
	19:32:02	300.0000	17.3205	1.9492159	4.9999250	9.9569625	6.2041352	0.3107246
	20:32:02	360.0000	18.9737	1.9488612	4.9998927	9.9552149	6.2023876	0.3106371
	21:32:02	420.0000	20.4939	1.9485172	4.9998712	9.9535005	6.2006732	0.3105512
10/04/06	22:32:02	480.0000	21.9089	1.9485388	4.9998497	9.9536536	6.2008263	0.3105589
11/04/06	0:32:02	600.0000	24.4949	1.9481516	4.9998497	9.9516757	6.1988484	0.3104599
	2:32:02	720.0000	26.8328	1.9477648	4.9998067	9.9497854	6.1969581	0.3103652
	4:32:02	840.0000	28.9828	1.9473780	4.9998282	9.9477667	6.1949394	0.3102641
	6:32:02	960.0000	30.9839	1.9472916	4.9998175	9.9473467	6.1945194	0.3102430
	8:32:02	1080.0000	32.8634	1.9465172	4.9998497	9.9433268	6.1904995	0.3100417
	10:32:02	1200.0000	34.6410	1.9464316	5.0001077	9.9423765	6.1895492	0.3099941
	12:32:02	1320.0000	36.3318	1.9460892	5.0000432	9.9407557	6.1879284	0.3099129
11/04/06	14:32:02	1440.0000	37.9473	1.9460316	5.0000862	9.9403760	6.1875487	0.3098939

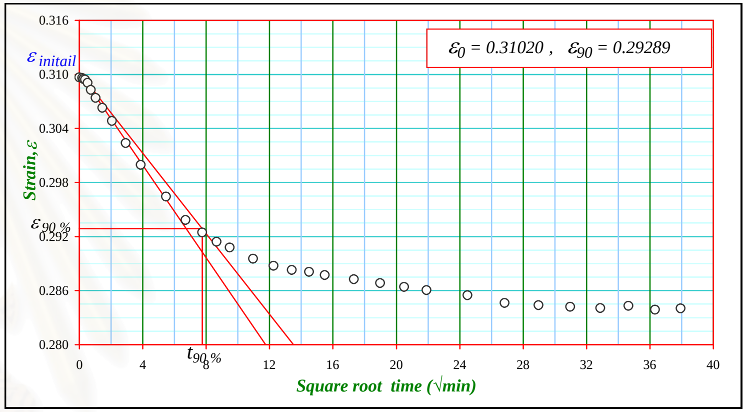


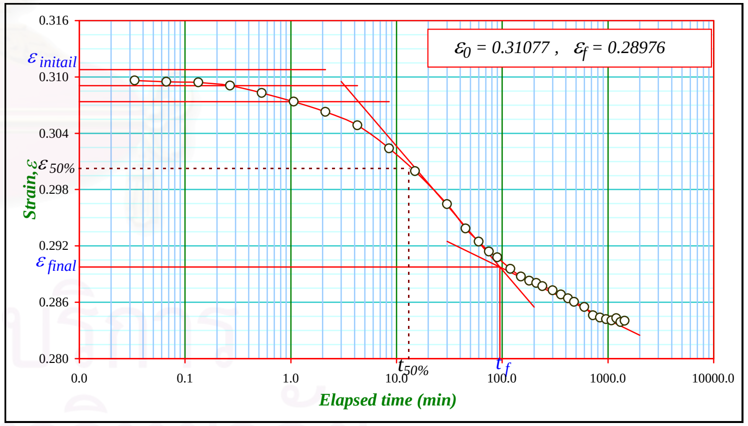


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	mm.	Job no.	CS_01 - 9
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	11 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	mm.	Sheet no.	9 / 12
Applied load from	19.8469 Kg.	To	5.0499 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	mm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	98.7334 kPa.	To	25.1221 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	mm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
11/04/06	14:44:37	0.0000	0.0000	1.9451528	5.0001507	9.9357589	6.1829316	0.3096627
	14:44:39	0.0333	0.1826	1.9449055	5.0000647	9.9346666	6.1818393	0.3096080
	14:44:41	0.0667	0.2582	1.9445078	5.0001399	9.9324857	6.1796584	0.3094988
	14:44:45	0.1333	0.3651	1.9441746	5.0001292	9.9308050	6.1779777	0.3094146
	14:44:53	0.2667	0.5164	1.9428417	5.0001292	9.9239966	6.1711693	0.3090736
	14:45:09	0.5333	0.7303	1.9397248	5.0001185	9.9080967	6.1552694	0.3082773
	14:45:41	1.0667	1.0328	1.9362203	5.0001077	9.8902171	6.1373898	0.3073818
	14:46:45	2.1333	1.4606	1.9318784	5.0001077	9.8680387	6.1152114	0.3062710
	14:48:53	4.2667	2.0656	1.9262266	5.0000970	9.8391903	6.0863630	0.3048262
	14:53:09	8.5333	2.9212	1.9166678	5.0001185	9.7903218	6.0374945	0.3023787
	14:59:37	15.0000	3.8730	1.9072415	5.0000970	9.7422142	5.9893869	0.2999693
	15:14:37	30.0000	5.4772	1.8934824	5.0000862	9.6719534	5.9191261	0.2964504
	15:29:37	45.0000	6.7082	1.8833033	5.0000970	9.6199376	5.8671103	0.2938453
	15:44:37	60.0000	7.7460	1.8778854	5.0000862	9.5922836	5.8394563	0.2924602
	15:59:37	75.0000	8.6603	1.8737467	5.0000755	9.5711635	5.8183362	0.2914025
	16:14:37	90.0000	9.4868	1.8713063	5.0000432	9.5587596	5.8059323	0.2907812
	16:44:37	120.0000	10.9545	1.8664803	5.0000755	9.5340465	5.7812192	0.2895435
	17:14:37	150.0000	12.2474	1.8633953	5.0001185	9.5182063	5.7653790	0.2887502
	17:44:37	180.0000	13.4164	1.8615465	5.0001292	9.5087423	5.7559150	0.2882762
	18:14:37	210.0000	14.4914	1.8606651	4.9999787	9.5045262	5.7516989	0.2880651
	18:44:37	240.0000	15.4919	1.8592999	4.9999357	9.4976343	5.7448070	0.2877199
	19:44:37	300.0000	17.3205	1.8575048	4.9998927	9.4885462	5.7357189	0.2872647
	20:44:37	360.0000	18.9737	1.8557312	4.9998390	9.4795881	5.7267608	0.2868161
	21:44:37	420.0000	20.4939	1.8541081	4.9998390	9.4712968	5.7184695	0.2864008
11/04/06	22:44:37	480.0000	21.9089	1.8526893	4.9998390	9.4640492	5.7112219	0.2860378
12/04/06	0:44:37	600.0000	24.4949	1.8505179	4.9997960	9.4530384	5.7002111	0.2854864
	2:44:37	720.0000	26.8328	1.8470997	4.9997852	9.4355975	5.6827702	0.2846129
	4:44:37	840.0000	28.9828	1.8461538	4.9997637	9.4308061	5.6779788	0.2843729
	6:44:37	960.0000	30.9839	1.8454336	4.9997637	9.4271270	5.6742998	0.2841886
	8:44:37	1080.0000	32.8634	1.8449069	4.9997637	9.4244365	5.6716092	0.2840539
	10:44:37	1200.0000	34.6410	1.8460141	5.0000647	9.4295248	5.6766975	0.2843087
	12:44:37	1320.0000	36.3318	1.8443157	4.9998712	9.4212138	5.6683866	0.2838925
12/04/06	14:44:37	1440.0000	37.9473	1.8448639	5.0000217	9.4237305	5.6709032	0.2840185

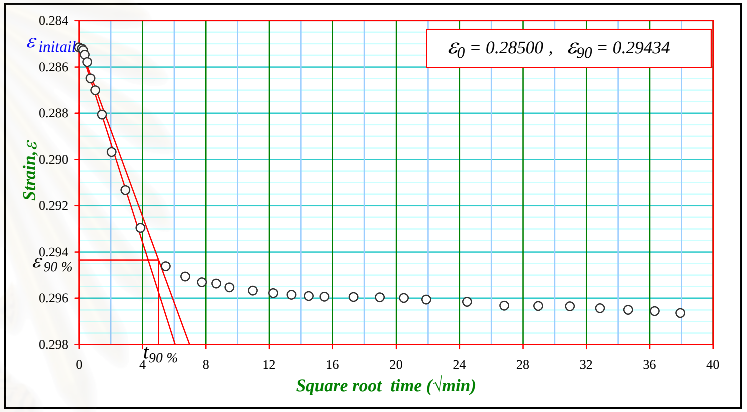


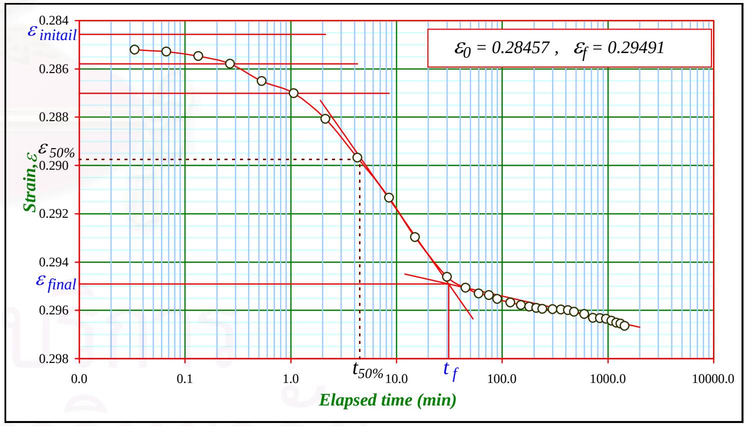


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	mm.	Job no.	CS_01 - 10
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	12 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	mm.	Sheet no.	10 / 12
Applied load from	5.0499 Kg.	To	19.8469 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	mm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	25.1221 kPa.	To	98.7334 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	mm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
12/04/06	14:57:40	0.0000	0.0000	1.8493355	5.0000002	9.4466125	5.6937852	0.2851645
	14:57:42	0.0333	0.1826	1.8495290	5.0000002	9.4476009	5.6947736	0.2852140
	14:57:44	0.0667	0.2582	1.8498085	5.0000110	9.4490082	5.6961809	0.2852845
	14:57:48	0.1333	0.3651	1.8505394	4.9999895	9.4527824	5.6999551	0.2854735
	14:57:56	0.2667	0.5164	1.8517863	4.9999895	9.4591517	5.7063244	0.2857925
	14:58:12	0.5333	0.7303	1.8545811	5.0000002	9.4734076	5.7205803	0.2865065
	14:58:44	1.0667	1.0328	1.8565482	4.9999787	9.4834965	5.7306693	0.2870118
	14:59:48	2.1333	1.4606	1.8606866	4.9999787	9.5046360	5.7518088	0.2880706
	15:01:56	4.2667	2.0656	1.8669956	4.9999787	9.5368633	5.7840360	0.2896846
	15:06:12	8.5333	2.9212	1.8734457	4.9999572	9.5698524	5.8170251	0.2913368
	15:12:40	15.0000	3.8730	1.8797991	4.9999357	9.6023478	5.8495205	0.2929643
	15:27:40	30.0000	5.4772	1.8862693	4.9999250	9.6354194	5.8825921	0.2946206
	15:42:40	45.0000	6.7082	1.8880257	4.9999357	9.6443708	5.8915435	0.2950690
	15:57:40	60.0000	7.7460	1.8889599	4.9999035	9.6492050	5.8963777	0.2953111
	16:12:40	75.0000	8.6603	1.8892287	4.9999787	9.6504329	5.8976056	0.2953726
	16:27:40	90.0000	9.4868	1.8898544	4.9999572	9.6536706	5.9008433	0.2955347
	16:57:40	120.0000	10.9545	1.8904293	5.0000217	9.6564827	5.9036554	0.2956756
	17:27:40	150.0000	12.2474	1.8908378	5.0000217	9.6585693	5.9057420	0.2957801
	17:57:40	180.0000	13.4164	1.8911495	5.0000540	9.6600991	5.9072718	0.2958567
	18:27:40	210.0000	14.4914	1.8913430	5.0000432	9.6611084	5.9082811	0.2959072
	18:57:40	240.0000	15.4919	1.8914776	5.0000217	9.6618377	5.9090104	0.2959438
	19:57:40	300.0000	17.3205	1.8914695	4.9998927	9.6620454	5.9092181	0.2959542
	20:57:40	360.0000	18.9737	1.8915207	4.9998605	9.6623692	5.9095419	0.2959704
	21:57:40	420.0000	20.4939	1.8916067	4.9998175	9.6628916	5.9100643	0.2959965
12/04/06	22:57:40	480.0000	21.9089	1.8918502	4.9997852	9.6641979	5.9113706	0.2960620
13/04/06	0:57:40	600.0000	24.4949	1.8922094	4.9997637	9.6660744	5.9132471	0.2961559
	2:57:40	720.0000	26.8328	1.8928459	4.9997530	9.6693465	5.9165192	0.2963198
	4:57:40	840.0000	28.9828	1.8929016	4.9997530	9.6696311	5.9168038	0.2963341
	6:57:40	960.0000	30.9839	1.8930016	4.9997530	9.6701419	5.9173146	0.2963597
	8:57:40	1080.0000	32.8634	1.8932993	4.9997315	9.6717042	5.9188770	0.2964379
	10:57:40	1200.0000	34.6410	1.8935895	4.9997315	9.6731867	5.9203594	0.2965122
	12:57:40	1320.0000	36.3318	1.8937723	4.9997207	9.6741414	5.9213141	0.2965600
13/04/06	14:57:40	1440.0000	37.9473	1.8941055	4.9997207	9.6758435	5.9230162	0.2966452

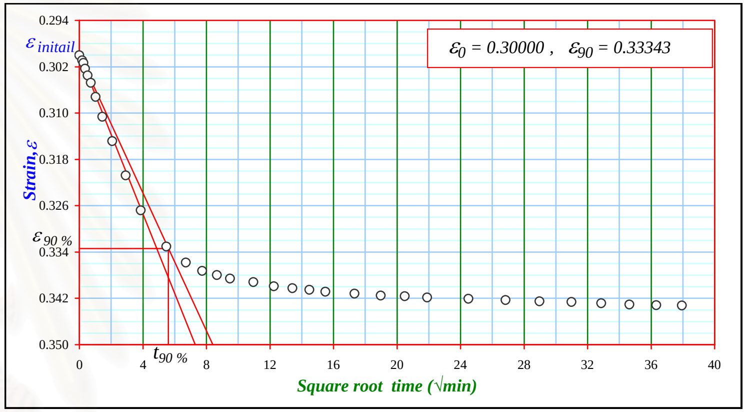


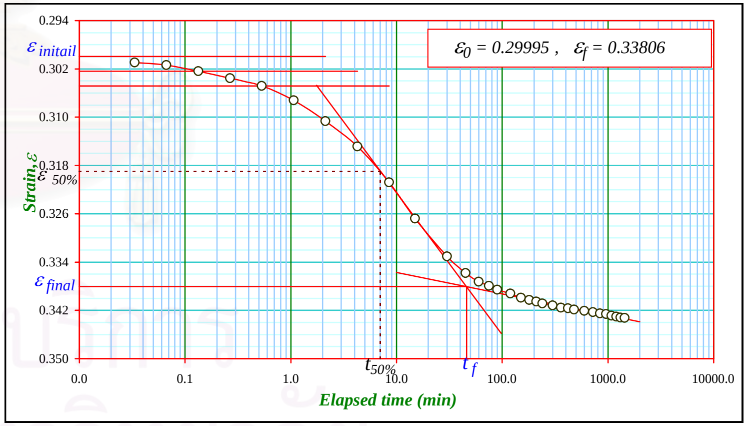


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877	%	Diameter =	50.100	mm.	Job no.	CS_01 - 11
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	13 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722		Initial height =	19.967	mm.	Sheet no.	11 / 12
Applied load from	19.8469 Kg.	To	79.3869 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978	g/cm.^{3}	Height of void =	13.865	mm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	98.7334 kPa.	To	394.9297 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.102	mm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
13/04/06	15:03:15	0.0000	0.0000	1.9074236	4.9997207	9.7438777	5.9910504	0.3000526
	15:03:17	0.0333	0.1826	1.9109063	4.9997422	9.7616267	6.0087994	0.3009415
	15:03:19	0.0667	0.2582	1.9126369	4.9997530	9.7704462	6.0176189	0.3013832
	15:03:23	0.1333	0.3651	1.9165280	4.9997207	9.7903866	6.0375593	0.3023819
	15:03:31	0.2667	0.5164	1.9210749	4.9997207	9.8136139	6.0607866	0.3035452
	15:03:47	0.5333	0.7303	1.9260341	4.9997100	9.8389686	6.0861413	0.3048151
	15:04:19	1.0667	1.0328	1.9355092	4.9997207	9.8873501	6.1345228	0.3072382
	15:05:23	2.1333	1.4606	1.9489667	4.9997207	9.9560963	6.2032690	0.3106813
	15:07:31	4.2667	2.0656	1.9653140	4.9996777	10.0396912	6.2868639	0.3148680
	15:11:47	8.5333	2.9212	1.9884684	4.9996992	10.1579304	6.4051031	0.3207898
	15:18:15	15.0000	3.8730	2.0120076	4.9997207	10.2781343	6.5253070	0.3268100
	15:33:15	30.0000	5.4772	2.0363790	4.9997315	10.4026106	6.6497833	0.3330442
	15:48:15	45.0000	6.7082	2.0473059	4.9997422	10.4584071	6.7055798	0.3358387
	16:03:15	60.0000	7.7460	2.0528583	4.9997422	10.4867708	6.7339435	0.3372593
	16:18:15	75.0000	8.6603	2.0556104	4.9997315	10.5008520	6.7480248	0.3379645
	16:33:15	90.0000	9.4868	2.0581257	4.9997100	10.5137464	6.7609191	0.3386103
	17:03:15	120.0000	10.9545	2.0605361	4.9997100	10.5260597	6.7732324	0.3392270
	17:33:15	150.0000	12.2474	2.0632429	4.9997207	10.5398646	6.7870373	0.3399184
	18:03:15	180.0000	13.4164	2.0646181	4.9996885	10.5469576	6.7941303	0.3402736
	18:33:15	210.0000	14.4914	2.0656390	4.9997422	10.5520594	6.7992321	0.3405292
	19:03:15	240.0000	15.4919	2.0669503	4.9997315	10.5587806	6.8059533	0.3408658
	20:03:15	300.0000	17.3205	2.0682295	4.9997315	10.5653153	6.8124880	0.3411931
	21:03:15	360.0000	18.9737	2.0696376	4.9997422	10.5724858	6.8196585	0.3415522
	22:03:15	420.0000	20.4939	2.0700891	4.9997100	10.5748603	6.8220330	0.3416711
13/04/06	23:03:15	480.0000	21.9089	2.0708181	4.9997100	10.5785843	6.8257571	0.3418576
14/04/06	1:03:15	600.0000	24.4949	2.0718093	4.9996885	10.5836933	6.8308660	0.3421135
	3:03:15	720.0000	26.8328	2.0725617	4.9996992	10.5875142	6.8346869	0.3423049
	5:03:15	840.0000	28.9828	2.0733571	4.9996885	10.5916001	6.8387729	0.3425095
	7:03:15	960.0000	30.9839	2.0738086	4.9996885	10.5939066	6.8410793	0.3426250
	9:03:15	1080.0000	32.8634	2.0747975	4.9996992	10.5989356	6.8461084	0.3428769
	11:03:15	1200.0000	34.6410	2.0755069	4.9997100	10.6025366	6.8497094	0.3430572
	13:03:15	1320.0000	36.3318	2.0759906	4.9996777	10.6050761	6.8522488	0.3431844
14/04/06	15:03:15	1440.0000	37.9473	2.0762701	4.9996777	10.6065039	6.8536766	0.3432559

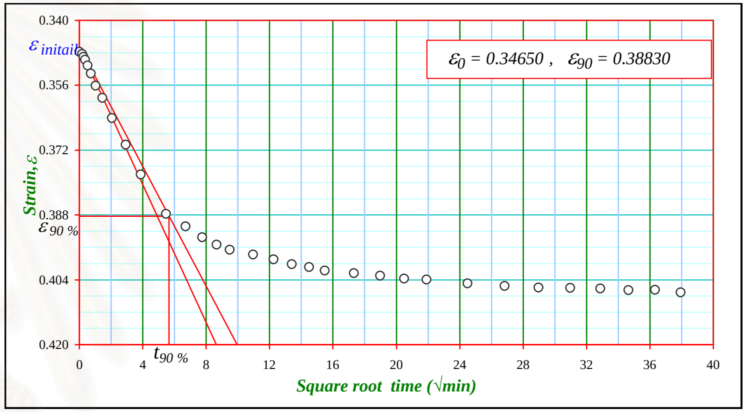


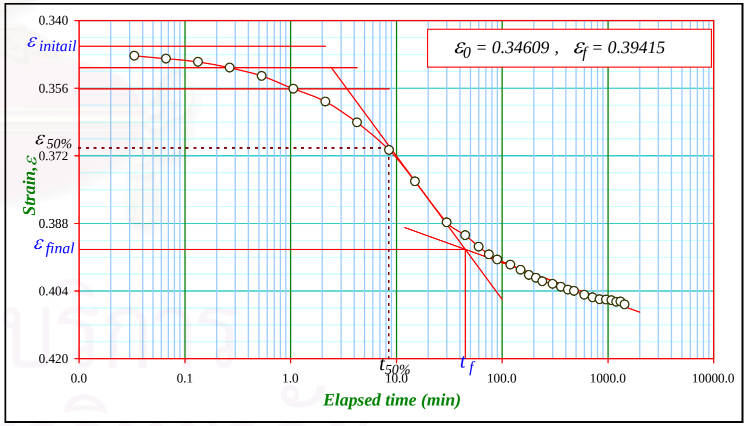


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	1	Water Content, ω_n =	83.877 %	Diameter =	50.100 mm.	Job no.	CS_01 - 12
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	14 April 2006	Borehole no.	2	Initial Void Ratio, e_0 =	2.2722	Initial height =	19.967 mm.	Sheet no.	12 / 12
Applied load from	79.3869 Kg.	To	159.9469 Kg.	Part no.	3	Total Unit Weight, γ_t =	1.4978 g/cm.^{3}	Height of void =	13.865 mm.	LVDT no.	A
Applied pressure from	394.9297 kPa.	To	795.6952 kPa.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.102 mm.	CF value :	25.54056

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
14/04/06	15:12:36	0.0000	0.0000	2.0936729	4.9996777	10.6954051	6.9425778	0.3477084
	15:12:38	0.0333	0.1826	2.0960914	4.9996885	10.7077367	6.9549094	0.3483260
	15:12:40	0.0667	0.2582	2.0988755	4.9996777	10.7219823	6.9691550	0.3490395
	15:12:44	0.1333	0.3651	2.1016918	4.9996777	10.7363692	6.9835419	0.3497600
	15:12:52	0.2667	0.5164	2.1070018	4.9996885	10.7634717	7.0106445	0.3511174
	15:13:08	0.5333	0.7303	2.1147734	4.9996885	10.8031724	7.0503451	0.3531058
	15:13:40	1.0667	1.0328	2.1266618	4.9996885	10.8639035	7.1110762	0.3561474
	15:14:44	2.1333	1.4606	2.1383998	4.9996885	10.9238662	7.1710389	0.3591505
	15:16:52	4.2667	2.0656	2.1577360	4.9996777	11.0226677	7.2698404	0.3640989
	15:21:08	8.5333	2.9212	2.1834367	4.9996992	11.1539102	7.4010829	0.3706719
	15:27:36	15.0000	3.8730	2.2123010	4.9997100	11.3013368	7.5485095	0.3780556
	15:42:36	30.0000	5.4772	2.2503214	4.9997207	11.4955359	7.7427086	0.3877817
	15:57:36	45.0000	6.7082	2.2621291	4.9997207	11.5558543	7.8030270	0.3908027
	16:12:36	60.0000	7.7460	2.2727205	4.9997422	11.6099095	7.8570822	0.3935100
	16:27:36	75.0000	8.6603	2.2798901	4.9997100	11.6466095	7.8937822	0.3953480
	16:42:36	90.0000	9.4868	2.2847591	4.9997100	11.6714823	7.9186550	0.3965937
	17:12:36	120.0000	10.9545	2.2894789	4.9996992	11.6956183	7.9427910	0.3978026
	17:42:36	150.0000	12.2474	2.2941541	4.9996885	11.7195262	7.9666989	0.3989999
	18:12:36	180.0000	13.4164	2.2988299	4.9997100	11.7433617	7.9905344	0.4001937
	18:42:36	210.0000	14.4914	2.3014527	4.9996992	11.7567854	8.0039582	0.4008660
	19:12:36	240.0000	15.4919	2.3047849	4.9996777	11.7738583	8.0210311	0.4017211
	20:12:36	300.0000	17.3205	2.3072788	4.9996992	11.7865476	8.0337203	0.4023566
	21:12:36	360.0000	18.9737	2.3097833	4.9996777	11.7993924	8.0465651	0.4029999
	22:12:36	420.0000	20.4939	2.3124598	4.9996885	11.8130396	8.0602123	0.4036834
14/04/06	23:12:36	480.0000	21.9089	2.3136315	4.9996777	11.8190507	8.0662234	0.4039845
15/04/06	1:12:36	600.0000	24.4949	2.3171572	4.9996670	11.8370868	8.0842596	0.4048878
	3:12:36	720.0000	26.8328	2.3195220	4.9996562	11.8491929	8.0963656	0.4054941
	5:12:36	840.0000	28.9828	2.3212418	4.9996347	11.8580294	8.1052022	0.4059367
	7:12:36	960.0000	30.9839	2.3216610	4.9996885	11.8600433	8.1072160	0.4060375
	9:12:36	1080.0000	32.8634	2.3223060	4.9996885	11.8633382	8.1105109	0.4062026
	11:12:36	1200.0000	34.6410	2.3238219	4.9996670	11.8711332	8.1183059	0.4065929
	13:12:36	1320.0000	36.3318	2.3233271	4.9996777	11.8685801	8.1157528	0.4064651
15/04/06	15:12:36	1440.0000	37.9473	2.3260043	4.9996777	11.8822564	8.1294291	0.4071500





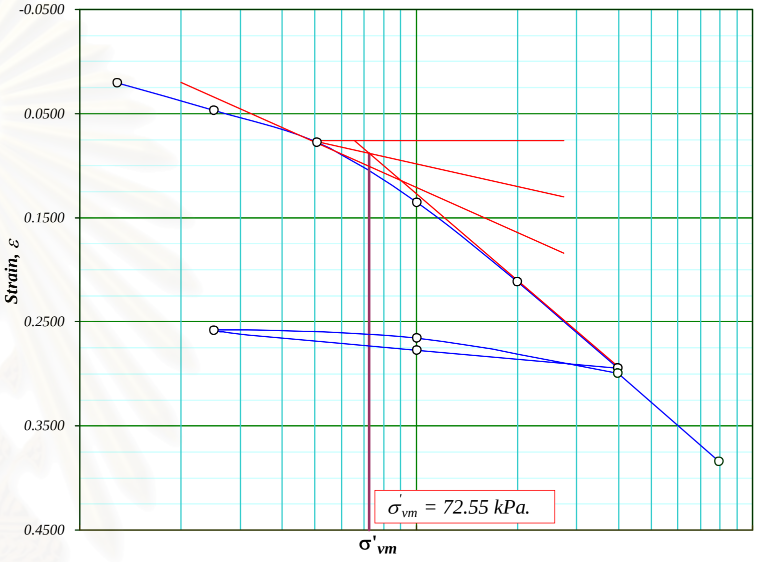
CONSOLIDATION TEST

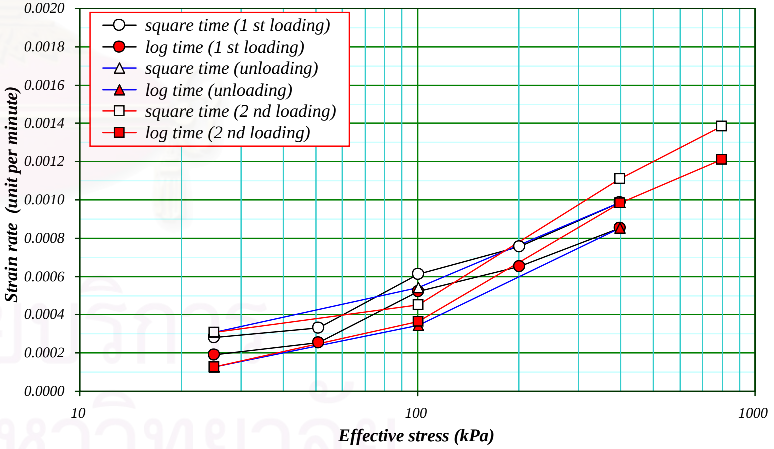
PROJECT	:	Master thesis	JOB NO.	:	CS_02
LOCATION	:	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	SHEET NO.	:	1 / 12
TESTED BY	:	Mr.Weerah Saksuphan	TEST NO.	:	2
CHECKED BY	:		BORING NO.	:	3
			DEPTH (m)	:	9.0 - 9.5 m.
			DATE	:	

Scale Load (kg)	Applied Pressure (kPa)	Deformation at 24 hr (mm.)	Axail Satrain at 24 hr
0.000	0.000	0.0000	0.0000
2.605	12.975	0.4135	0.0209
5.027	25.043	0.9284	0.0468
10.216	50.888	1.5398	0.0776
20.223	100.737	2.6855	0.1354
40.223	200.364	4.1962	0.2116
79.977	398.395	5.8477	0.2948
20.210	100.673	5.5058	0.2776
5.027	25.043	5.1226	0.2583
20.210	100.673	5.2670	0.2656
79.977	398.395	5.9425	0.2996
160.177	797.901	7.6186	0.3841

Soil Description :		
Water Content, W_n	73.605	%
Initial Void Ratio, e_0	2.148	
Total Unit Weight, γ_t	1.497	t/m^2
Specific Gravity, G_s	2.670	
Liquid Limit, LL	-	%
Plasticity Index, PI	-	%
Sample Height, H_0	19.833	mm.
Sample Area, A	19.687	cm^2
Wt.of Dry Sample, W_s	29.460	gm
Height of Solid, H_s	6.301	mm.
Effective Overburden Pressure, σ'_{vo}	45.091	kPa.
Preconsolidation Pressure, σ'_{vm}	72.548	kPa.
Over Consolidation Ratio, OCR	1.609	

applied pressure (kPa)	initail strain ε_{intail} (square time)	initail strain ε_{intail} (log time)	final strain ε_{90} (square time)	final strain ε_{final} (log time)	fitting Time t_{90} (minute)	fitting Time t_{final} (minute)	strain rate squre time (unit per min)	strain rate log time (unit per min)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000000
12.9752	0.0000	-0.0005	0.0136	0.0148	20.0000	29.9102	0.0006790	0.0005123
25.0426	0.0294	0.0297	0.0411	0.0430	42.0000	69.6649	0.0002793	0.0001918
50.8879	0.0482	0.0482	0.0680	0.0707	60.0000	87.8054	0.0003305	0.0002558
100.7365	0.0780	0.0784	0.1239	0.1268	75.0000	92.5027	0.0006120	0.0005233
200.3639	0.1360	0.1364	0.1912	0.1964	73.0000	92.2137	0.0007566	0.0006509
398.3949	0.2130	0.2148	0.2722	0.2792	60.0000	75.6288	0.0009875	0.0008520
100.6733	0.2938	0.2940	0.2825	0.2799	21.0000	41.2670	0.0005404	0.0003435
25.0426	0.2785	0.2783	0.2656	0.2614	42.0000	132.5604	0.0003072	0.0001277
100.6733	0.2582	0.2583	0.2627	0.2634	10.0000	13.9789	0.0004507	0.0003654
398.3949	0.2663	0.2676	0.2907	0.2926	22.0000	25.3659	0.0011094	0.0009842
797.9009	0.3100	0.3089	0.3653	0.3718	40.0000	51.9069	0.0013836	0.0012118



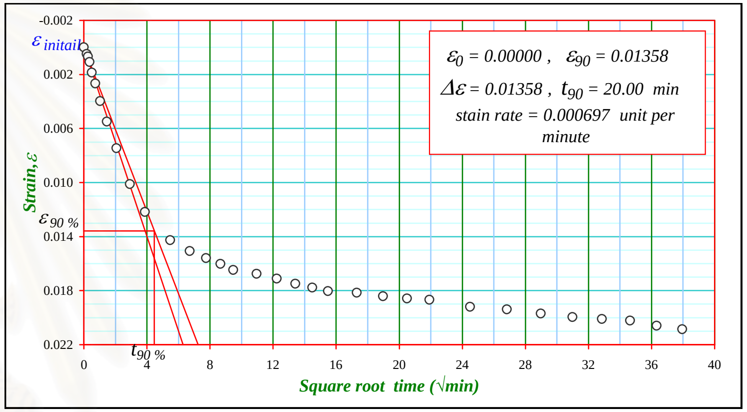


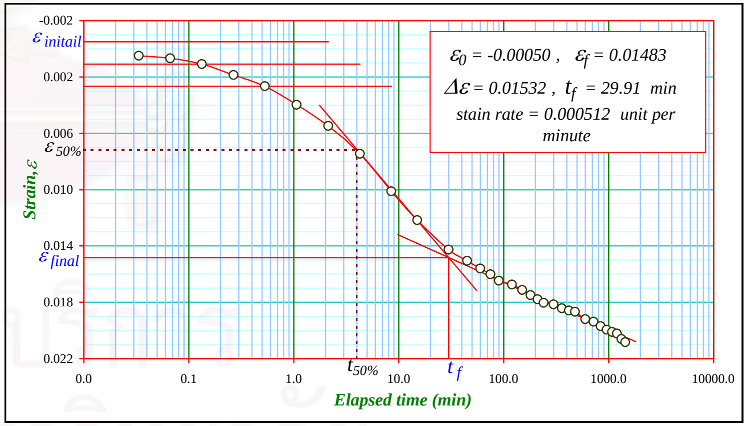
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605 %	Diameter =	50.067 nm.	Job no.	CS_02 - 2
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	4 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476	Initial height =	19.833 nm.	Sheet no.	2 / 12
Applied load from	0.0000 Kg.	To	2.6047 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971 g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 nm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	0.0000 kPa.	To	12.9752 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.301 nm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
04/04/06	11:45:38	0.0000	0.0000	0.9369086	5.0000217	4.7222853	0.0000000	0.0000000
	11:45:40	0.0333	0.1826	0.9388524	5.0000325	4.7320725	0.0097871	0.0004935
	11:45:42	0.0667	0.2582	0.9395843	5.0000110	4.7357819	0.0134965	0.0006805
	11:45:46	0.1333	0.3651	0.9411867	5.0000110	4.7438587	0.0215734	0.0010877
	11:45:54	0.2667	0.5164	0.9442148	5.0000110	4.7591211	0.0368358	0.0018573
	11:46:10	0.5333	0.7303	0.9474171	5.0000110	4.7752617	0.0529764	0.0026711
	11:46:42	1.0667	1.0328	0.9525721	5.0000110	4.8012442	0.0789588	0.0039811
	11:47:46	2.1333	1.4606	0.9585148	4.9999680	4.8312388	0.1089534	0.0054935
	11:49:54	4.2667	2.0656	0.9662502	4.9999895	4.8702067	0.1479214	0.0074582
	11:54:10	8.5333	2.9212	0.9767530	4.9999895	4.9231441	0.2008588	0.0101273
	12:00:38	15.0000	3.8730	0.9848221	4.9999572	4.9638474	0.2415620	0.0121796
	12:15:38	30.0000	5.4772	0.9930419	4.9999572	5.0052777	0.2829923	0.0142685
	12:30:38	45.0000	6.7082	0.9961712	4.9999035	5.0211048	0.2988194	0.0150665
	12:45:38	60.0000	7.7460	0.9982828	4.9998497	5.0318022	0.3095169	0.0156059
	13:00:38	75.0000	8.6603	0.9998855	4.9997637	5.0399670	0.3176816	0.0160176
	13:15:38	90.0000	9.4868	1.0017021	4.9997852	5.0491020	0.3268167	0.0164782
	13:45:38	120.0000	10.9545	1.0028164	4.9999035	5.0545991	0.3323137	0.0167553
	14:15:38	150.0000	12.2474	1.0042724	4.9999142	5.0619271	0.3396417	0.0171248
	14:45:38	180.0000	13.4164	1.0057118	4.9999465	5.0691495	0.3468641	0.0174889
	15:15:38	210.0000	14.4914	1.0068976	4.9999572	5.0751155	0.3528301	0.0177898
	15:45:38	240.0000	15.4919	1.0079202	4.9999465	5.0802806	0.3579952	0.0180502
	16:45:38	300.0000	17.3205	1.0083028	4.9998605	5.0822964	0.3600111	0.0181518
	17:45:38	360.0000	18.9737	1.0093980	4.9998605	5.0878167	0.3655314	0.0184302
	18:45:38	420.0000	20.4939	1.0100009	4.9997315	5.0909870	0.3687016	0.0185900
	19:45:38	480.0000	21.9089	1.0103771	4.9997207	5.0928942	0.3706089	0.0186862
	21:45:38	600.0000	24.4949	1.0123847	4.9996347	5.1031015	0.3808162	0.0192008
04/04/06	23:45:38	720.0000	26.8328	1.0130930	4.9995917	5.1067157	0.3844304	0.0193830
05/04/06	1:45:38	840.0000	28.9828	1.0143268	4.9996240	5.1129019	0.3906166	0.0196950
	3:45:38	960.0000	30.9839	1.0153328	4.9996132	5.1179839	0.3956986	0.0199512
	5:45:38	1080.0000	32.8634	1.0159368	4.9996455	5.1209954	0.3987101	0.0201030
	7:45:38	1200.0000	34.6410	1.0164075	4.9995917	5.1234232	0.4011379	0.0202254
	9:45:38	1320.0000	36.3318	1.0179391	4.9998282	5.1309009	0.4086155	0.0206025
05/04/06	11:45:38	1440.0000	37.9473	1.0189193	4.9998497	5.1358194	0.4135341	0.0208505

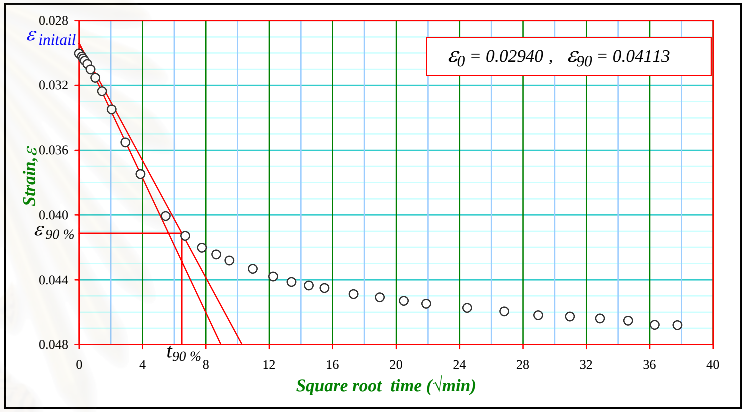


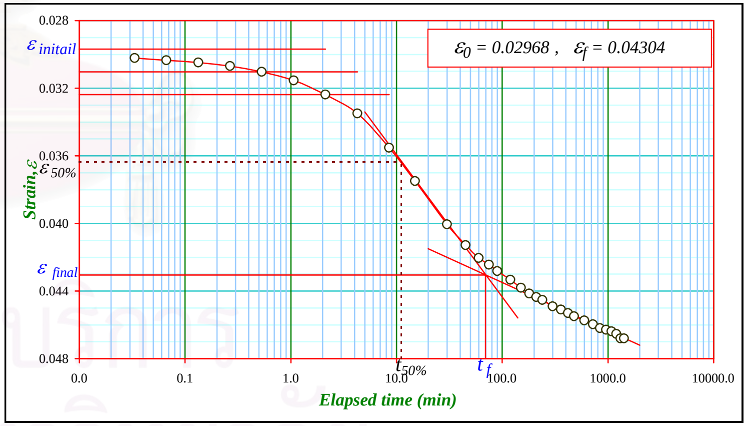


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	2		Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067	mm.	Job no.	CS_02 - 3
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	5 April 2006	Borehole no.	3		Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833	mm.	Sheet no.	3 / 12
Applied load from	2.6047 kg.	To	5.0272 kg.	Part no.	2		Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532	mm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	12.9752 kPa.	To	25.0426 kPa.	Depth	9.0 - 9.5	m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301	mm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
05/04/06	12:03:45	0.0000	0.0000	1.0549667	4.9995487	5.3178350	0.5955496	0.0300277
	12:03:47	0.0333	0.1826	1.0557469	4.9995487	5.3217678	0.5994824	0.0302260
	12:03:49	0.0667	0.2582	1.0562628	4.9995273	5.3243911	0.6021058	0.0303583
	12:03:53	0.1333	0.3651	1.0567916	4.9995273	5.3270567	0.6047713	0.0304927
	12:04:01	0.2667	0.5164	1.0575442	4.9995273	5.3308504	0.6085650	0.0306840
	12:04:17	0.5333	0.7303	1.0588828	4.9995165	5.3376095	0.6153241	0.0310247
	12:04:49	1.0667	1.0328	1.0608966	4.9995273	5.3477491	0.6254637	0.0315360
	12:05:53	2.1333	1.4606	1.0641770	4.9995273	5.3642849	0.6419995	0.0323697
	12:08:01	4.2667	2.0656	1.0686079	4.9995273	5.3866201	0.6643347	0.0334959
	12:12:17	8.5333	2.9212	1.0765990	4.9995165	5.4269132	0.7046278	0.0355275
	12:18:45	15.0000	3.8730	1.0843345	4.9995165	5.4659062	0.7436209	0.0374935
	12:33:45	30.0000	5.4772	1.0944557	4.9995273	5.5169132	0.7946279	0.0400653
	12:48:45	45.0000	6.7082	1.0992710	4.9994950	5.5412219	0.8189365	0.0412909
	13:03:45	60.0000	7.7460	1.1022259	4.9995165	5.5560931	0.8338077	0.0420407
	13:18:45	75.0000	8.6603	1.1037972	4.9995165	5.5640137	0.8417283	0.0424401
	13:33:45	90.0000	9.4868	1.1053009	4.9995165	5.5715935	0.8493082	0.0428223
	14:03:45	120.0000	10.9545	1.1073175	4.9995273	5.5817467	0.8594614	0.0433342
	14:33:45	150.0000	12.2474	1.1092294	4.9995380	5.5913722	0.8690869	0.0438195
	15:03:45	180.0000	13.4164	1.1105136	4.9995595	5.5978215	0.8755362	0.0441447
	15:33:45	210.0000	14.4914	1.1113926	4.9995487	5.6022645	0.8799791	0.0443687
	16:03:45	240.0000	15.4919	1.1120178	4.9995380	5.6054279	0.8831426	0.0445282
	17:03:45	300.0000	17.3205	1.1135007	4.9995058	5.6129388	0.8906535	0.0449069
	18:03:45	360.0000	18.9737	1.1142626	4.9994950	5.6167918	0.8945064	0.0451012
	19:03:45	420.0000	20.4939	1.1150803	4.9995165	5.6208895	0.8986041	0.0453078
	20:03:45	480.0000	21.9089	1.1157968	4.9995058	5.6245132	0.9022279	0.0454905
05/04/06	22:03:45	600.0000	24.4949	1.1168047	4.9994950	5.6296060	0.9073207	0.0457473
06/04/06	0:03:45	720.0000	26.8328	1.1176662	4.9995058	5.6339365	0.9116512	0.0459656
	2:03:45	840.0000	28.9828	1.1185914	4.9994628	5.6386488	0.9163634	0.0462032
	4:03:45	960.0000	30.9839	1.1189511	4.9995595	5.6403529	0.9180675	0.0462891
	6:03:45	1080.0000	32.8634	1.1194041	4.9997422	5.6424300	0.9201447	0.0463938
	8:03:45	1200.0000	34.6410	1.1200012	4.9999142	5.6452456	0.9229603	0.0465358
	10:03:45	1320.0000	36.3318	1.1210906	5.0000647	5.6505666	0.9282812	0.0468041
06/04/06	11:48:45	1425.0000	37.7492	1.1211041	5.0000540	5.6506467	0.9283614	0.0468081

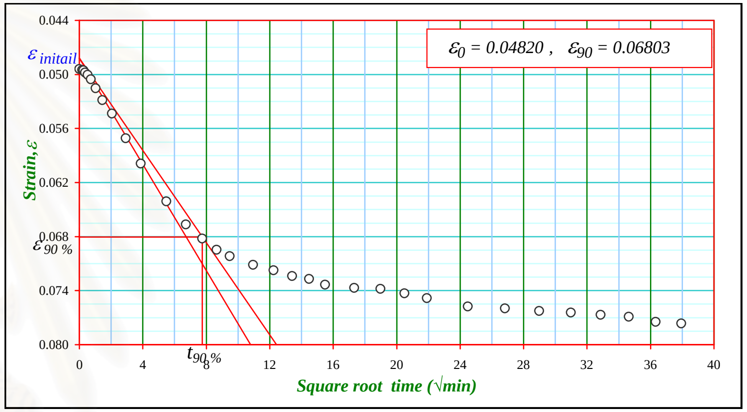


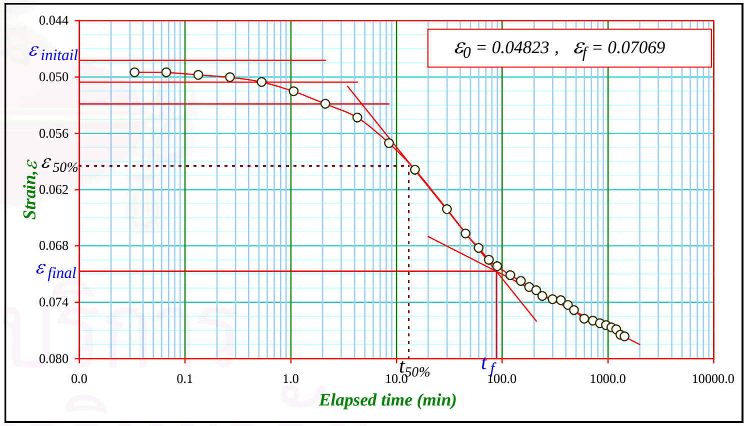


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605 %	Diameter =	50.067 nm.	Job no.	CS_02 - 4
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	7 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476	Initial height =	19.833 nm.	Sheet no.	4 / 12
Applied load from	5.0272 Kg.	To	10.2156 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971 g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 nm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	25.0426 kPa.	To	50.8879 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.301 nm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
07/04/06	11:58:19	0.0000	0.0000	1.1313745	5.0000217	5.7024489	0.9801636	0.0494200
	11:58:21	0.0333	0.1826	1.1317603	5.0000110	5.7044057	0.9821203	0.0495187
	11:58:23	0.0667	0.2582	1.1318205	5.0000110	5.7047091	0.9824238	0.0495340
	11:58:27	0.1333	0.3651	1.1329211	5.0000325	5.7102319	0.9879466	0.0498124
	11:58:35	0.2667	0.5164	1.1337798	5.0000325	5.7145600	0.9922746	0.0500307
	11:58:51	0.5333	0.7303	1.1358036	5.0000325	5.7247605	1.0024751	0.0505450
	11:59:23	1.0667	1.0328	1.1396806	5.0000647	5.7442646	1.0219793	0.0515284
	12:00:27	2.1333	1.4606	1.1449053	5.0000432	5.7706232	1.0483379	0.0528574
	12:02:35	4.2667	2.0656	1.1508102	5.0000755	5.8003480	1.0780626	0.0543561
	12:06:51	8.5333	2.9212	1.1615028	5.0000540	5.8542663	1.1319810	0.0570747
	12:13:19	15.0000	3.8730	1.1726002	5.0000217	5.9102382	1.1879528	0.0598968
	12:28:19	30.0000	5.4772	1.1890893	4.9999142	5.9934768	1.2711914	0.0640937
	12:43:19	45.0000	6.7082	1.1992552	4.9999250	6.0447039	1.3224185	0.0666766
	12:58:19	60.0000	7.7460	1.2053461	4.9999035	6.0754304	1.3531451	0.0682258
	13:13:19	75.0000	8.6603	1.2102997	4.9999787	6.1003068	1.3780215	0.0694801
	13:28:19	90.0000	9.4868	1.2130102	5.0000002	6.1139423	1.3916570	0.0701676
	13:58:19	120.0000	10.9545	1.2168192	5.0000110	6.1331276	1.4108423	0.0711349
	14:28:19	150.0000	12.2474	1.2191766	5.0000217	6.1449965	1.4227111	0.0717333
	14:58:19	180.0000	13.4164	1.2217561	5.0000647	6.1579449	1.4356596	0.0723862
	15:28:19	210.0000	14.4914	1.2230371	5.0000002	6.1644810	1.4421956	0.0727157
	15:58:19	240.0000	15.4919	1.2255142	5.0000002	6.1769663	1.4546810	0.0733453
	16:58:19	300.0000	17.3205	1.2269045	5.0000432	6.1839207	1.4616353	0.0736959
	17:58:19	360.0000	18.9737	1.2273439	5.0000647	6.1861088	1.4638234	0.0738062
	18:58:19	420.0000	20.4939	1.2293103	4.9998927	6.1962331	1.4739477	0.0743167
	19:58:19	480.0000	21.9089	1.2314064	4.9998390	6.2068649	1.4845796	0.0748528
	21:58:19	600.0000	24.4949	1.2349750	4.9997960	6.2249059	1.5026205	0.0757624
07/04/06	23:58:19	720.0000	26.8328	1.2358346	4.9997852	6.2292522	1.5069668	0.0759815
08/04/06	1:58:19	840.0000	28.9828	1.2369408	4.9997745	6.2348413	1.5125560	0.0762633
	3:58:19	960.0000	30.9839	1.2376821	4.9997637	6.2385914	1.5163060	0.0764524
	5:58:19	1080.0000	32.8634	1.2385550	4.9997637	6.2429912	1.5207059	0.0766742
	7:58:19	1200.0000	34.6410	1.2394508	4.9997530	6.2475199	1.5252346	0.0769026
	9:58:19	1320.0000	36.3318	1.2417651	5.0000540	6.2588085	1.5365231	0.0774718
08/04/06	11:58:19	1440.0000	37.9473	1.2424530	5.0002044	6.2620873	1.5398020	0.0776371

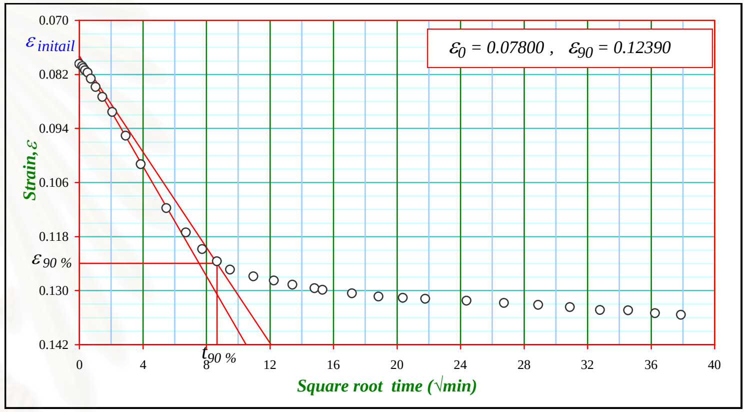


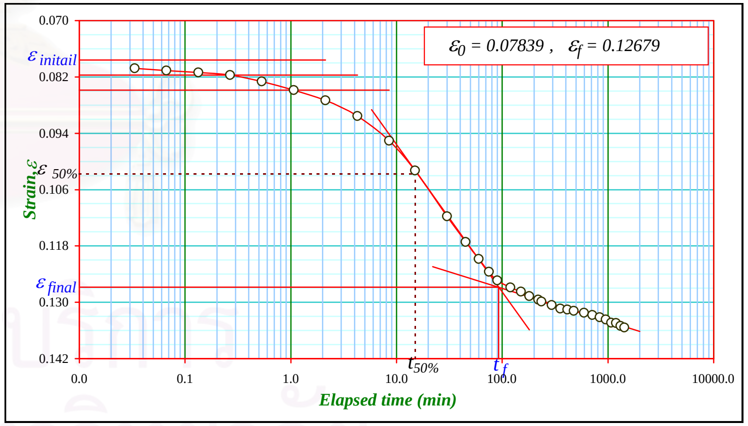


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067	mm.	Job no.	CS_02 - 5
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	8 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833	mm.	Sheet no.	5 / 12
Applied load from	10.2156 Kg.	To	20.2226 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532	mm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	50.8879 kPa.	To	100.7365 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301	mm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
08/04/06	12:09:10	0.0000	0.0000	1.2504503	5.0002474	6.3023403	1.5800550	0.0796666
	12:09:12	0.0333	0.1826	1.2523959	5.0002689	6.3121191	1.5898338	0.0801597
	12:09:14	0.0667	0.2582	1.2542555	5.0002474	6.3215187	1.5992334	0.0806336
	12:09:18	0.1333	0.3651	1.2560183	5.0002582	6.3303897	1.6081043	0.0810809
	12:09:26	0.2667	0.5164	1.2580613	5.0002689	6.3406729	1.6183876	0.0815994
	12:09:42	0.5333	0.7303	1.2634153	5.0002474	6.3676846	1.6453993	0.0829613
	12:10:14	1.0667	1.0328	1.2707045	5.0002582	6.4044088	1.6821235	0.0848129
	12:11:18	2.1333	1.4606	1.2792305	5.0002367	6.4474079	1.7251226	0.0869810
	12:13:26	4.2667	2.0656	1.2924395	5.0002582	6.5139542	1.7916688	0.0903362
	12:17:42	8.5333	2.9212	1.3132191	5.0002367	6.6187128	1.8964274	0.0956182
	12:24:10	15.0000	3.8730	1.3381052	5.0001829	6.7442130	2.0219276	0.1019459
	12:39:10	30.0000	5.4772	1.3764668	5.0001399	6.9376198	2.2153344	0.1116975
	12:54:10	45.0000	6.7082	1.3978216	5.0000647	7.0453574	2.3230721	0.1171297
	13:09:10	60.0000	7.7460	1.4122489	5.0000540	7.1180897	2.3958044	0.1207969
	13:24:10	75.0000	8.6603	1.4228142	5.0000325	7.1713723	2.4490870	0.1234834
	13:39:10	90.0000	9.4868	1.4301558	5.0000647	7.2083296	2.4860442	0.1253468
	14:09:10	120.0000	10.9545	1.4361430	5.0001292	7.2384131	2.5161278	0.1268636
	14:39:10	150.0000	12.2474	1.4396029	5.0001399	7.2558361	2.5335508	0.1277421
	15:09:10	180.0000	13.4164	1.4432461	5.0001614	7.2741672	2.5518818	0.1286663
	15:48:50	219.6667	14.8212	1.4464047	5.0002044	7.2900243	2.5677389	0.1294658
	16:03:50	234.6667	15.3188	1.4477916	5.0001292	7.2971241	2.5748388	0.1298238
	17:03:50	294.6667	17.1659	1.4508531	5.0001722	7.3124917	2.5902064	0.1305986
	18:03:50	354.6667	18.8326	1.4537446	5.0001077	7.3271598	2.6048745	0.1313382
	19:03:50	414.6667	20.3634	1.4547012	4.9999680	7.3321861	2.6099008	0.1315916
	20:03:50	474.6667	21.7868	1.4556142	4.9999465	7.3368195	2.6145341	0.1318253
08/04/06	22:03:50	594.6667	24.3858	1.4572558	4.9998605	7.3452201	2.6229347	0.1322488
09/04/06	0:03:50	714.6667	26.7333	1.4592232	4.9998497	7.3551525	2.6328672	0.1327496
	2:03:50	834.6667	28.8906	1.4609639	4.9998282	7.3639581	2.6416728	0.1331936
	4:03:50	954.6667	30.8977	1.4628534	4.9998175	7.3734979	2.6512126	0.1336746
	6:03:50	1074.6667	32.7821	1.4654325	4.9998067	7.3865138	2.6642284	0.1343308
	8:03:50	1194.6667	34.5640	1.4657439	4.9998390	7.3880357	2.6657503	0.1344076
	10:03:50	1314.6667	36.2583	1.4681839	4.9998390	7.4003344	2.6780491	0.1350277
09/04/06	12:03:50	1434.6667	37.8770	1.4696673	4.9998282	7.4078274	2.6855421	0.1354055

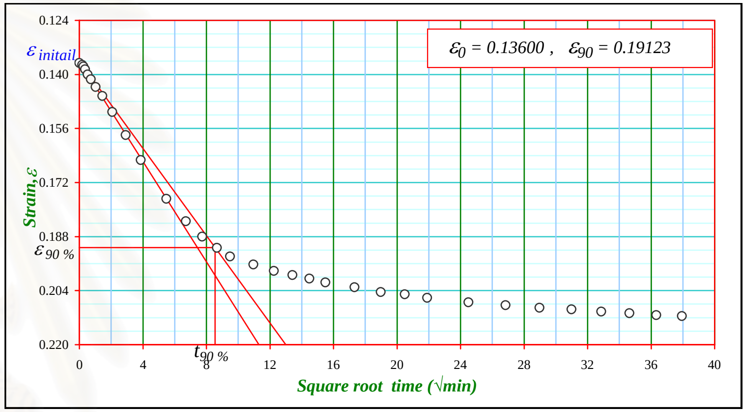


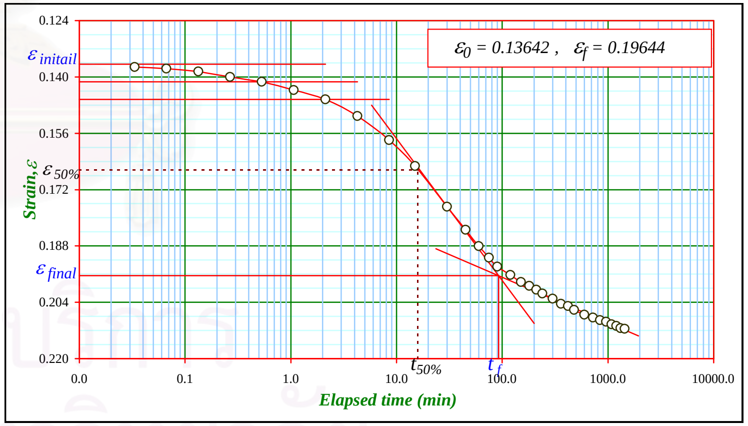


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis		Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067	mm.	Job no.	CS_02 - 6
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan		Date :	9 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833	mm.	Sheet no.	6 / 12
Applied load from	20.2226	Kg.	To	40.2226 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532	mm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	100.7365	kPa.	To	200.3639 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301	mm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
09/04/06	13:47:01	0.0000	0.0000	1.4742679	4.9998390	7.4310006	2.7087153	0.1365739
	13:47:03	0.0333	0.1826	1.4767939	4.9998497	7.4437169	2.7214316	0.1372150
	13:47:05	0.0667	0.2582	1.4785567	4.9998175	7.4526502	2.7303649	0.1376655
	13:47:09	0.1333	0.3651	1.4817815	4.9998497	7.4688567	2.7465714	0.1384826
	13:47:17	0.2667	0.5164	1.4879084	4.9998390	7.4997551	2.7774698	0.1400405
	13:47:33	0.5333	0.7303	1.4932937	4.9998282	7.5269158	2.8046305	0.1414099
	13:48:05	1.0667	1.0328	1.5025695	4.9998067	7.5737029	2.8514175	0.1437690
	13:49:09	2.1333	1.4606	1.5129211	4.9998067	7.6258801	2.9035948	0.1463997
	13:51:17	4.2667	2.0656	1.5314196	4.9998282	7.7190886	2.9968033	0.1510993
	13:55:33	8.5333	2.9212	1.5584185	4.9998175	7.8551928	3.1329075	0.1579617
	14:02:01	15.0000	3.8730	1.5875078	4.9998282	8.0018000	3.2795147	0.1653537
	14:17:01	30.0000	5.4772	1.6327301	4.9998712	8.2296713	3.5073860	0.1768430
	14:32:01	45.0000	6.7082	1.6587442	4.9998497	8.3608297	3.6385443	0.1834560
	14:47:01	60.0000	7.7460	1.6766844	4.9998282	8.4512928	3.7290075	0.1880172
	15:02:01	75.0000	8.6603	1.6898215	4.9998497	8.5174735	3.7951881	0.1913540
	15:17:01	90.0000	9.4868	1.6997849	4.9998282	8.5677304	3.8454451	0.1938880
	15:47:01	120.0000	10.9545	1.7092427	4.9998497	8.6153652	3.8930799	0.1962897
	16:17:01	150.0000	12.2474	1.7168101	4.9998497	8.6535084	3.9312230	0.1982129
	16:47:01	180.0000	13.4164	1.7214214	4.9998390	8.6767700	3.9544847	0.1993858
	17:17:01	210.0000	14.4914	1.7255168	4.9998282	8.6974315	3.9751462	0.2004275
	17:47:01	240.0000	15.4919	1.7299454	4.9998067	8.7197913	3.9975059	0.2015549
	18:47:01	300.0000	17.3205	1.7357284	4.9998390	8.7488840	4.0265986	0.2030218
	19:47:01	360.0000	18.9737	1.7414577	4.9998282	8.7777813	4.0554960	0.2044788
	20:47:01	420.0000	20.4939	1.7439407	4.9998175	8.7903156	4.0680303	0.2051108
	21:47:01	480.0000	21.9089	1.7479394	4.9998497	8.8104143	4.0881289	0.2061241
09/04/06	23:47:01	600.0000	24.4949	1.7533354	4.9998390	8.8376315	4.1153462	0.2074964
10/04/06	1:47:01	720.0000	26.8328	1.7565816	4.9998390	8.8539939	4.1317085	0.2083214
	3:47:01	840.0000	28.9828	1.7594731	4.9998390	8.8685684	4.1462830	0.2090563
	5:47:01	960.0000	30.9839	1.7613757	4.9998175	8.8781966	4.1559112	0.2095417
	7:47:01	1080.0000	32.8634	1.7641597	4.9998282	8.8922103	4.1699249	0.2102483
	9:47:01	1200.0000	34.6410	1.7659870	5.0000432	8.9010380	4.1787526	0.2106934
	11:47:01	1320.0000	36.3318	1.7685131	5.0002474	8.9134062	4.1911208	0.2113170
10/04/06	13:47:01	1440.0000	37.9473	1.7694805	5.0001185	8.9185118	4.1962265	0.2115744

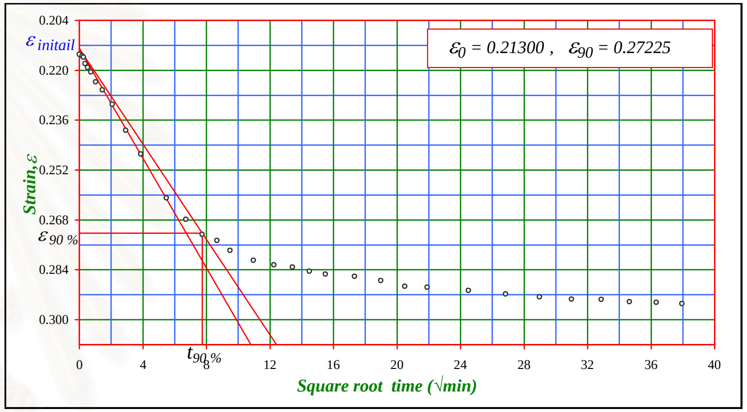


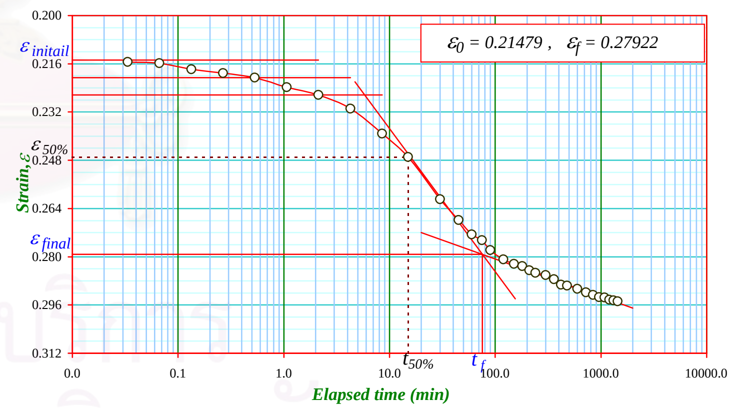


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605 %	Diameter =	50.067 nm.	Job no.	CS_02 - 7
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	10 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476	Initial height =	19.833 nm.	Sheet no.	7 / 12
Applied load from	40.2226 Kg.	To	79.9769 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971 g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 nm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	200.3639 kPa.	To	398.3949 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.301 nm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
10/04/06	14:33:13	0.0000	0.0000	1.7824976	5.0001077	8.9841398	4.2618545	0.2148834
	14:33:15	0.0333	0.1826	1.7846262	5.0001185	8.9948490	4.2725636	0.2154234
	14:33:17	0.0667	0.2582	1.7861526	5.0001292	9.0025230	4.2802377	0.2158103
	14:33:21	0.1333	0.3651	1.7943004	5.0001077	9.0436283	4.3213429	0.2178828
	14:33:29	0.2667	0.5164	1.7989224	5.0001185	9.0669045	4.3446191	0.2190564
	14:33:45	0.5333	0.7303	1.8048667	5.0001077	9.0968845	4.3745992	0.2205680
	14:34:17	1.0667	1.0328	1.8173571	5.0000862	9.1598780	4.4375926	0.2237442
	14:35:21	2.1333	1.4606	1.8276097	5.0000862	9.2115533	4.4892680	0.2263496
	14:37:29	4.2667	2.0656	1.8456456	5.0000970	9.3024381	4.5801528	0.2309321
	14:41:45	8.5333	2.9212	1.8782355	5.0001077	9.4666777	4.7443924	0.2392131
	14:48:13	15.0000	3.8730	1.9084733	5.0001185	9.6190615	4.8967761	0.2468963
	15:03:13	30.0000	5.4772	1.9636734	5.0001399	9.8972379	5.1749526	0.2609220
	15:18:13	45.0000	6.7082	1.9908040	5.0000862	10.0340884	5.3118030	0.2678220
	15:33:13	60.0000	7.7460	2.0098087	5.0000970	10.1298543	5.4075690	0.2726505
	15:48:13	75.0000	8.6603	2.0173545	5.0001077	10.1678650	5.4455796	0.2745670
	16:03:13	90.0000	9.4868	2.0300169	5.0001722	10.2315540	5.5092686	0.2777783
	16:33:13	120.0000	10.9545	2.0424751	5.0001829	10.2943229	5.5720376	0.2809431
	17:03:13	150.0000	12.2474	2.0483441	5.0002152	10.3238367	5.6015514	0.2824312
	17:33:13	180.0000	13.4164	2.0512033	5.0001292	10.3384252	5.6161398	0.2831667
	18:03:13	210.0000	14.4914	2.0563844	5.0000647	10.3646725	5.6423872	0.2844901
	18:33:13	240.0000	15.4919	2.0598563	4.9999895	10.3823279	5.6600425	0.2853803
	19:33:13	300.0000	17.3205	2.0627908	4.9999250	10.3972528	5.6749675	0.2861328
	20:33:13	360.0000	18.9737	2.0680471	4.9999035	10.4237914	5.7015060	0.2874709
	21:33:13	420.0000	20.4939	2.0750447	4.9998605	10.4591521	5.7368667	0.2892538
10/04/06	22:33:13	480.0000	21.9089	2.0763884	4.9998497	10.4659475	5.7436622	0.2895964
11/04/06	0:33:13	600.0000	24.4949	2.0803870	4.9998497	10.4861023	5.7638169	0.2906126
	2:33:13	720.0000	26.8328	2.0849661	4.9998282	10.5092282	5.7869429	0.2917786
	4:33:13	840.0000	28.9828	2.0883521	4.9998175	10.5263178	5.8040325	0.2926403
	6:33:13	960.0000	30.9839	2.0912328	4.9998175	10.5408380	5.8185526	0.2933724
	8:33:13	1080.0000	32.8634	2.0918670	4.9998605	10.5439440	5.8216586	0.2935290
	10:33:13	1200.0000	34.6410	2.0948230	5.0000970	10.5583441	5.8360588	0.2942551
	12:33:13	1320.0000	36.3318	2.0956722	5.0000755	10.5626697	5.8403843	0.2944732
11/04/06	14:33:13	1440.0000	37.9473	2.0971126	5.0000647	10.5699524	5.8476671	0.2948404

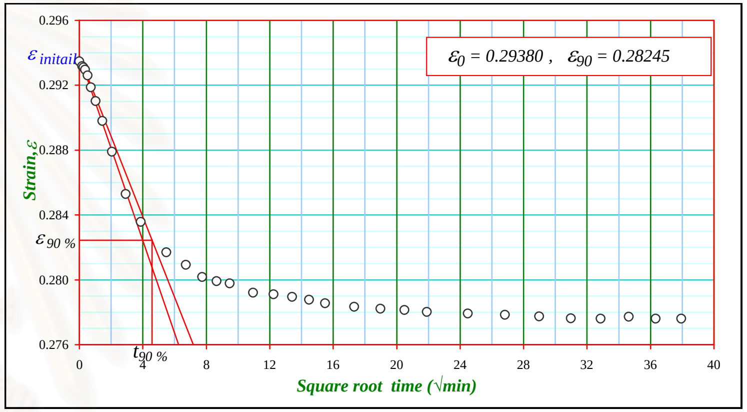


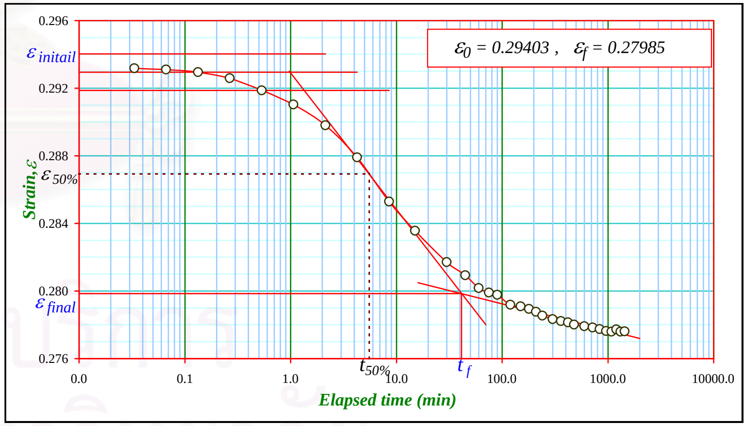


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067	nm.	Job no.	CS_02 - 8		
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	11 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833	nm.	Sheet no.	8 / 12		
Applied load from	79.9769 Kg.	To	20.2099 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532	nm.	LVDT no.	C		
Applied pressure from	398.3949 kPa.	To	100.6733 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301	nm.	CF value :	25.20153		

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
11/04/06	14:45:27	0.0000	0.0000	2.0917380	5.0001185	10.5427497	5.8204644	0.2934688
	14:45:29	0.0333	0.1826	2.0905664	5.0001292	10.5368221	5.8145368	0.2931699
	14:45:31	0.0667	0.2582	2.0902761	5.0001292	10.5353589	5.8130736	0.2930961
	14:45:35	0.1333	0.3651	2.0896849	5.0001185	10.5324017	5.8101164	0.2929470
	14:45:43	0.2667	0.5164	2.0882983	5.0000970	10.5254583	5.8031729	0.2925970
	14:45:59	0.5333	0.7303	2.0854283	5.0001077	10.5109704	5.7886850	0.2918665
	14:46:31	1.0667	1.0328	2.0821284	5.0001185	10.4943156	5.7720302	0.2910267
	14:47:35	2.1333	1.4606	2.0772594	5.0000862	10.4698425	5.7475572	0.2897928
	14:49:43	4.2667	2.0656	2.0698305	5.0000970	10.4323767	5.7100914	0.2879038
	14:53:59	8.5333	2.9212	2.0595277	5.0001399	10.3803594	5.6580740	0.2852810
	15:00:27	15.0000	3.8730	2.0527818	5.0000862	10.3464701	5.6241847	0.2835723
	15:15:27	30.0000	5.4772	2.0454180	5.0001185	10.3092883	5.5870029	0.2816976
	15:30:27	45.0000	6.7082	2.0423653	5.0000862	10.2939686	5.5716833	0.2809252
	15:45:27	60.0000	7.7460	2.0393901	5.0000862	10.2789729	5.5566876	0.2801691
	16:00:27	75.0000	8.6603	2.0383689	5.0000755	10.2738479	5.5515625	0.2799107
	16:15:27	90.0000	9.4868	2.0378207	5.0000540	10.2711290	5.5488436	0.2797736
	16:45:27	120.0000	10.9545	2.0355419	5.0000755	10.2595991	5.5373138	0.2791923
	17:15:27	150.0000	12.2474	2.0351872	5.0001507	10.2576571	5.5353717	0.2790944
	17:45:27	180.0000	13.4164	2.0345638	5.0001077	10.2546032	5.5323179	0.2789404
	18:15:27	210.0000	14.4914	2.0338328	4.9999895	10.2511612	5.5288759	0.2787668
	18:45:27	240.0000	15.4919	2.0329084	4.9999142	10.2466562	5.5243709	0.2785397
	19:45:27	300.0000	17.3205	2.0320592	4.9998712	10.2424640	5.5201787	0.2783283
	20:45:27	360.0000	18.9737	2.0315970	4.9998390	10.2402003	5.5179149	0.2782142
	21:45:27	420.0000	20.4939	2.0312853	4.9998175	10.2386732	5.5163879	0.2781372
11/04/06	22:45:27	480.0000	21.9089	2.0308016	4.9998067	10.2362572	5.5139719	0.2780154
12/04/06	0:45:27	600.0000	24.4949	2.0304146	4.9998067	10.2343065	5.5120212	0.2779170
	2:45:27	720.0000	26.8328	2.0301244	4.9997637	10.2329318	5.5106465	0.2778477
	4:45:27	840.0000	28.9828	2.0297159	4.9997637	10.2308727	5.5085874	0.2777439
	6:45:27	960.0000	30.9839	2.0292430	4.9997530	10.2285110	5.5062256	0.2776248
	8:45:27	1080.0000	32.8634	2.0291355	4.9997530	10.2279691	5.5056838	0.2775975
	10:45:27	1200.0000	34.6410	2.0297374	5.0000647	10.2303652	5.5080799	0.2777183
	12:45:27	1320.0000	36.3318	2.0291892	4.9998712	10.2279980	5.5057126	0.2775990
12/04/06	14:45:27	1440.0000	37.9473	2.0292752	5.0000217	10.2281236	5.5058382	0.2776053

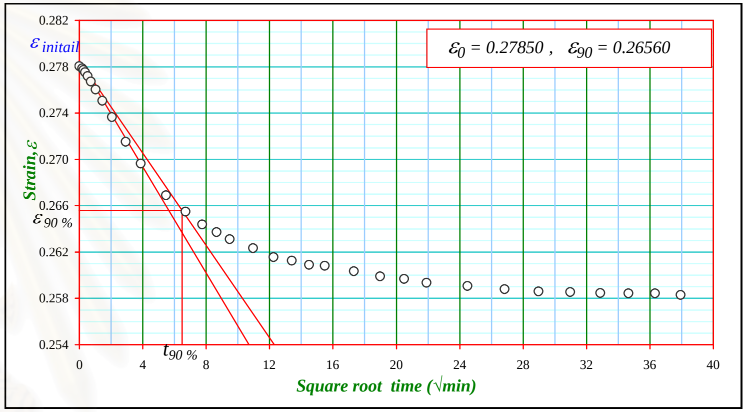


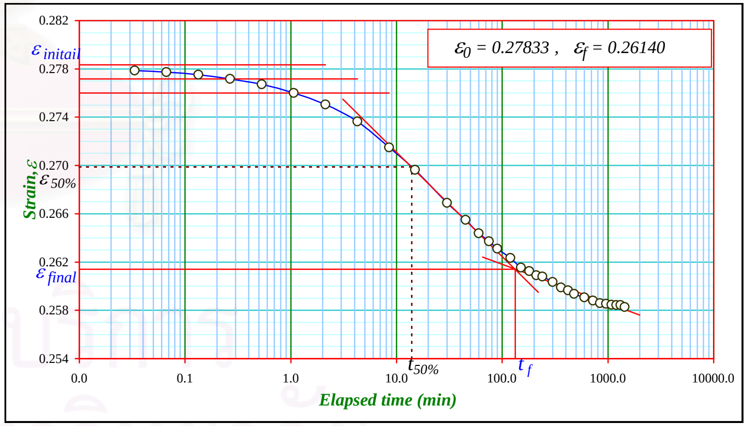


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067	mm.	Job no.	CS_02 - 9
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	12 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833	mm.	Sheet no.	9 / 12
Applied load from	20.2099 Kg.	To	5.0272 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532	mm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	100.6733 kPa.	To	25.0426 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301	mm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
12/04/06	14:58:49	0.0000	0.0000	2.0309736	4.9999895	10.2367499	5.5144646	0.2780402
	14:58:51	0.0333	0.1826	2.0302286	4.9999895	10.2329949	5.5107095	0.2778509
	14:58:53	0.0667	0.2582	2.0297146	4.9999787	10.2304263	5.5081409	0.2777214
	14:58:57	0.1333	0.3651	2.0289345	4.9999787	10.2264943	5.5042090	0.2775231
	14:59:05	0.2667	0.5164	2.0275658	5.0000002	10.2195517	5.4972663	0.2771731
	14:59:21	0.5333	0.7303	2.0257890	4.9999572	10.2106839	5.4883985	0.2767260
	14:59:53	1.0667	1.0328	2.0229868	4.9999572	10.1965598	5.4742744	0.2760138
	15:00:57	2.1333	1.4606	2.0192073	4.9999787	10.1774660	5.4551807	0.2750511
	15:03:05	4.2667	2.0656	2.0137013	4.9999680	10.1497357	5.4274503	0.2736530
	15:07:21	8.5333	2.9212	2.0052289	4.9999357	10.1070972	5.3848119	0.2715031
	15:13:49	15.0000	3.8730	1.9979020	4.9999035	10.0702318	5.3479465	0.2696444
	15:28:49	30.0000	5.4772	1.9871105	4.9999250	10.0157952	5.2935099	0.2668997
	15:43:49	45.0000	6.7082	1.9815155	4.9999035	9.9876372	5.2653519	0.2654799
	15:58:49	60.0000	7.7460	1.9771621	4.9999142	9.9656730	5.2433877	0.2643725
	16:13:49	75.0000	8.6603	1.9745931	4.9999572	9.9526386	5.2303533	0.2637153
	16:28:49	90.0000	9.4868	1.9722176	4.9999895	9.9406011	5.2183157	0.2631084
	16:58:49	120.0000	10.9545	1.9691752	5.0000325	9.9251811	5.2028957	0.2623309
	17:28:49	150.0000	12.2474	1.9660688	5.0000325	9.9095240	5.1872386	0.2615414
	17:58:49	180.0000	13.4164	1.9648649	5.0000110	9.9034986	5.1812132	0.2612376
	18:28:49	210.0000	14.4914	1.9635316	5.0000110	9.8967783	5.1744930	0.2608988
	18:58:49	240.0000	15.4919	1.9631339	5.0000432	9.8947101	5.1724247	0.2607945
	19:58:49	300.0000	17.3205	1.9612969	4.9998820	9.8857698	5.1634845	0.2603438
	20:58:49	360.0000	18.9737	1.9594803	4.9998282	9.8767197	5.1544343	0.2598874
	21:58:49	420.0000	20.4939	1.9585666	4.9997960	9.8721778	5.1498924	0.2596584
12/04/06	22:58:49	480.0000	21.9089	1.9573519	4.9997960	9.8660551	5.1437697	0.2593497
13/04/06	0:58:49	600.0000	24.4949	1.9562566	4.9997637	9.8605979	5.1383125	0.2590746
	2:58:49	720.0000	26.8328	1.9551494	4.9997530	9.8550381	5.1327527	0.2587943
	4:58:49	840.0000	28.9828	1.9543862	4.9997637	9.8511701	5.1288847	0.2585992
	6:58:49	960.0000	30.9839	1.9541067	4.9997637	9.8497612	5.1274759	0.2585282
	8:58:49	1080.0000	32.8634	1.9537735	4.9997315	9.8481451	5.1258598	0.2584467
	10:58:49	1200.0000	34.6410	1.9537413	4.9997530	9.8479405	5.1256551	0.2584364
	12:58:49	1320.0000	36.3318	1.9536983	4.9997207	9.8477874	5.1255020	0.2584287
13/04/06	14:58:49	1440.0000	37.9473	1.9531178	4.9997100	9.8448824	5.1225970	0.2582822

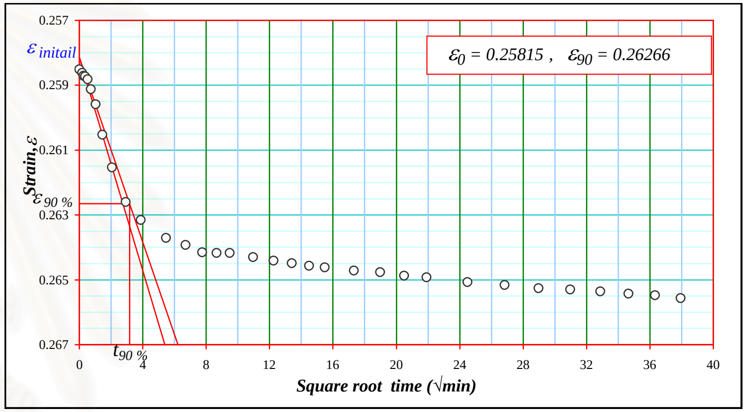


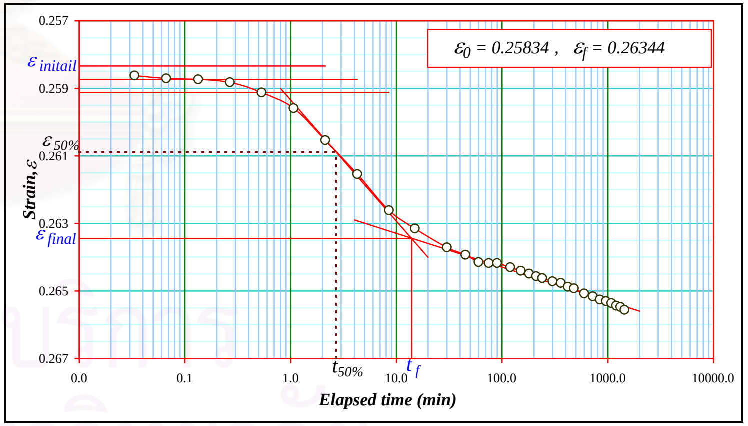


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605 %	Diameter =	50.067 nm.	Job no.	CS_02 - 10
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	13 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476	Initial height =	19.833 nm.	Sheet no.	10 / 12
Applied load from	5.0272 Kg.	To	20.2099 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971 g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 nm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	25.0426 kPa.	To	100.6733 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.301 nm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
13/04/06	15:04:46	0.0000	0.0000	1.9540142	4.9997100	9.8494008	5.1271154	0.2585100
	15:04:48	0.0333	0.1826	1.9544442	4.9997207	9.8515471	5.1292618	0.2586182
	15:04:50	0.0667	0.2582	1.9547732	4.9996885	9.8532689	5.1309836	0.2587051
	15:04:54	0.1333	0.3651	1.9548807	4.9997100	9.8537684	5.1314831	0.2587302
	15:05:02	0.2667	0.5164	1.9552246	4.9997207	9.8554808	5.1331955	0.2588166
	15:05:18	0.5333	0.7303	1.9564393	4.9997207	9.8616036	5.1393183	0.2591253
	15:05:50	1.0667	1.0328	1.9582764	4.9997207	9.8708637	5.1485783	0.2595922
	15:06:54	2.1333	1.4606	1.9619747	4.9997315	9.8894839	5.1671986	0.2605310
	15:09:02	4.2667	2.0656	1.9659415	4.9997422	9.9094577	5.1871723	0.2615381
	15:13:18	8.5333	2.9212	1.9701378	4.9997207	9.9306521	5.2083668	0.2626067
	15:19:46	15.0000	3.8730	1.9723043	4.9997315	9.9415511	5.2192657	0.2631563
	15:34:46	30.0000	5.4772	1.9744978	4.9997315	9.9526076	5.2303222	0.2637137
	15:49:46	45.0000	6.7082	1.9753557	4.9997422	9.9569106	5.2346252	0.2639307
	16:04:46	60.0000	7.7460	1.9762160	4.9997315	9.9612683	5.2389829	0.2641504
	16:19:46	75.0000	8.6603	1.9763030	4.9997422	9.9616855	5.2394002	0.2641714
	16:34:46	90.0000	9.4868	1.9763152	4.9997315	9.9617683	5.2394830	0.2641756
	17:04:46	120.0000	10.9545	1.9768160	4.9997315	9.9642926	5.2420073	0.2643029
	17:34:46	150.0000	12.2474	1.9772095	4.9996992	9.9663405	5.2440551	0.2644061
	18:04:46	180.0000	13.4164	1.9775450	4.9996885	9.9680529	5.2457676	0.2644925
	18:34:46	210.0000	14.4914	1.9778385	4.9996992	9.9695110	5.2472257	0.2645660
	19:04:46	240.0000	15.4919	1.9780319	4.9996885	9.9705072	5.2482219	0.2646162
	20:04:46	300.0000	17.3205	1.9784254	4.9997100	9.9724478	5.2501625	0.2647141
	21:04:46	360.0000	18.9737	1.9786222	4.9997207	9.9734185	5.2511331	0.2647630
	22:04:46	420.0000	20.4939	1.9790577	4.9997315	9.9755921	5.2533067	0.2648726
13/04/06	23:04:46	480.0000	21.9089	1.9792362	4.9997100	9.9765347	5.2542494	0.2649201
14/04/06	1:04:46	600.0000	24.4949	1.9798297	4.9996992	9.9795479	5.2572625	0.2650721
	3:04:46	720.0000	26.8328	1.9801652	4.9996992	9.9812390	5.2589537	0.2651573
	5:04:46	840.0000	28.9828	1.9805684	4.9997100	9.9832498	5.2609645	0.2652587
	7:04:46	960.0000	30.9839	1.9807189	4.9996670	9.9840943	5.2618090	0.2653013
	9:04:46	1080.0000	32.8634	1.9809495	4.9996992	9.9851924	5.2629070	0.2653567
	11:04:46	1200.0000	34.6410	1.9812364	4.9996777	9.9866815	5.2643961	0.2654317
	13:04:46	1320.0000	36.3318	1.9814224	4.9996885	9.9875974	5.2653121	0.2654779
14/04/06	15:04:46	1440.0000	37.9473	1.9817543	4.9996885	9.9892704	5.2669851	0.2655623



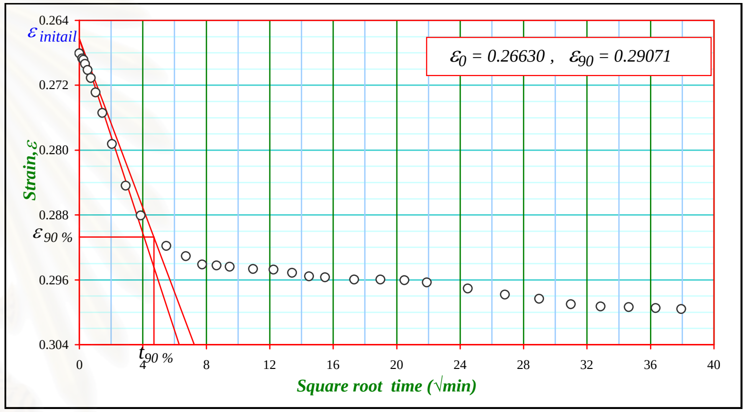


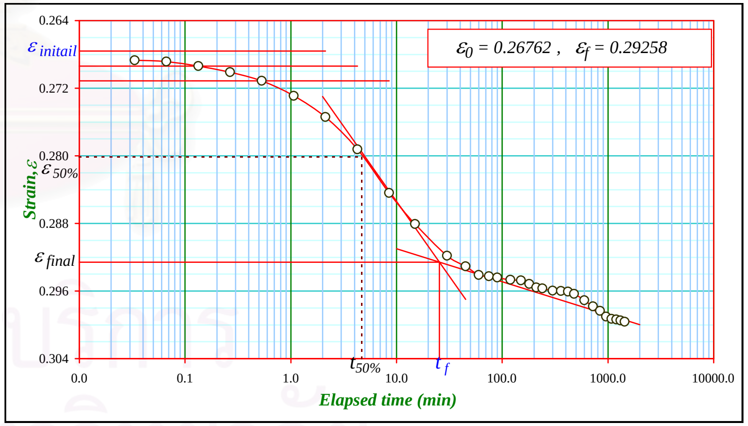
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605 %	Diameter =	50.067 nm.	Job no.	CS_02 - 11
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	14 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476	Initial height =	19.833 nm.	Sheet no.	11 / 12
Applied load from	20.2099 Kg.	To	79.9769 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971 g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 nm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	100.6733 kPa.	To	398.3949 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 n.	Specific Gravity, G_s =	2.6700	Height of solid soil =	6.301 nm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
14/04/06	15:14:34	0.0000	0.0000	1.9916532	4.9996992	10.0391455	5.3168602	0.2680770
	15:14:36	0.0333	0.1826	1.9941258	4.9996885	10.0516305	5.3293451	0.2687065
	15:14:38	0.0667	0.2582	1.9946633	4.9996885	10.0543398	5.3320544	0.2688431
	15:14:42	0.1333	0.3651	1.9967163	4.9996670	10.0647315	5.3424461	0.2693670
	15:14:50	0.2667	0.5164	1.9996807	4.9996777	10.0796524	5.3573670	0.2701193
	15:15:06	0.5333	0.7303	2.0036149	4.9996885	10.0994614	5.3771761	0.2711181
	15:15:38	1.0667	1.0328	2.0106669	4.9996885	10.1350079	5.4127225	0.2729104
	15:16:42	2.1333	1.4606	2.0205104	4.9996992	10.1846034	5.4623181	0.2754110
	15:18:50	4.2667	2.0656	2.0356020	4.9996885	10.2606962	5.5384109	0.2792476
	15:23:06	8.5333	2.9212	2.0558852	4.9996992	10.3629139	5.6406286	0.2844014
	15:29:34	15.0000	3.8730	2.0702671	4.9996885	10.4354298	5.7131445	0.2880577
	15:44:34	30.0000	5.4772	2.0850390	4.9996992	10.5098669	5.7875815	0.2918108
	15:59:34	45.0000	6.7082	2.0900742	4.9997315	10.5351793	5.8128939	0.2930871
	16:14:34	60.0000	7.7460	2.0940598	4.9997207	10.5552918	5.8330065	0.2941012
	16:29:34	75.0000	8.6603	2.0946403	4.9997100	10.5582404	5.8359551	0.2942498
	16:44:34	90.0000	9.4868	2.0951885	4.9996992	10.5610265	5.8387412	0.2943903
	17:14:34	120.0000	10.9545	2.0963279	4.9996885	10.5667924	5.8445071	0.2946810
	17:44:34	150.0000	12.2474	2.0965858	4.9996562	10.5681607	5.8458753	0.2947500
	18:14:34	180.0000	13.4164	2.0981983	4.9996992	10.5761977	5.8539124	0.2951552
	18:44:34	210.0000	14.4914	2.0999182	4.9997207	10.5848216	5.8625362	0.2955901
	19:14:34	240.0000	15.4919	2.1003481	4.9996885	10.5870567	5.8647714	0.2957028
	20:14:34	300.0000	17.3205	2.1013693	4.9996992	10.5921815	5.8698962	0.2959612
	21:14:34	360.0000	18.9737	2.1014875	4.9996670	10.5928455	5.8705602	0.2959946
	22:14:34	420.0000	20.4939	2.1017347	4.9996670	10.5940916	5.8718062	0.2960575
14/04/06	23:14:34	480.0000	21.9089	2.1028956	4.9996777	10.5999206	5.8776352	0.2963514
15/04/06	1:14:34	600.0000	24.4949	2.1057979	4.9996670	10.6145727	5.8922874	0.2970901
	3:14:34	720.0000	26.8328	2.1086894	4.9996562	10.6291707	5.9068854	0.2978262
	5:14:34	840.0000	28.9828	2.1107855	4.9996562	10.6397364	5.9174511	0.2983589
	7:14:34	960.0000	30.9839	2.1134297	4.9996777	10.6530191	5.9307337	0.2990286
	9:14:34	1080.0000	32.8634	2.1145369	4.9996885	10.6585771	5.9362917	0.2993088
	11:14:34	1200.0000	34.6410	2.1148594	4.9996885	10.6602027	5.9379173	0.2993908
	13:14:34	1320.0000	36.3318	2.1152463	4.9996670	10.6621987	5.9399134	0.2994914
15/04/06	15:14:34	1440.0000	37.9473	2.1157623	4.9996777	10.6647769	5.9424915	0.2996214

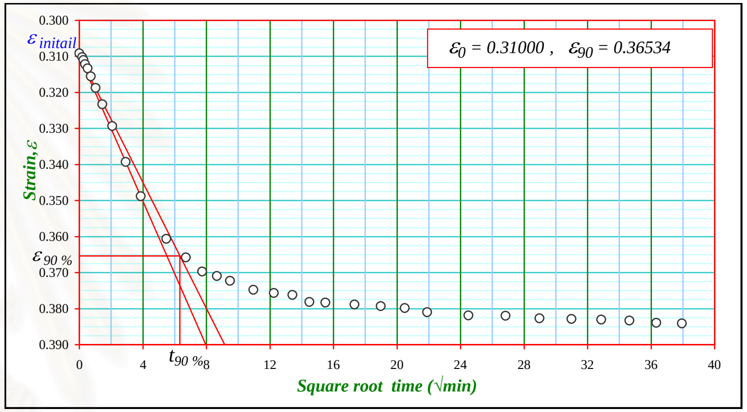


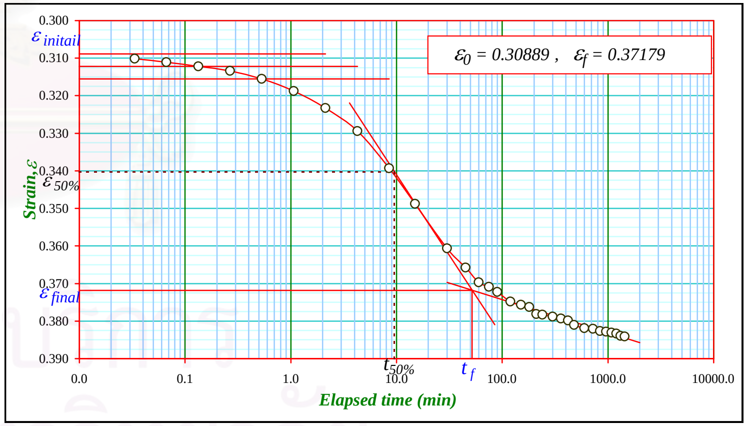


DATA SHEET CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km. 125)	Test no.	2	Water Content, ω_n =	73.605	%	Diameter =	50.067 mm.	Job no.	CS_02 - 12
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	15 April 2006	Borehole no.	3	Initial Void Ratio, e_0 =	2.1476		Initial height =	19.833 mm.	Sheet no.	12 / 12
Applied load from	79.9769 Kg.	To	160.1769 Kg.	Part no.	2	Total Unit Weight, γ_t =	1.4971	g/cm.^{3}	Height of void =	13.532 mm.	LVDT no.	C
Applied pressure from	398.3949 kPa.	To	797.9009 kPa.	Depth	9.0 - 9.5 m.	Specific Gravity, G_s =	2.6700		Height of solid soil =	6.301 mm.	CF value :	25.20153

date	time	elapsed time (min)	squre time (min)	LVDT reading (voltage)	LVDT input (voltage)	LVDT reading (mm)	deformation (mm)	Axail stain
15/04/06	15:16:21	0.0000	0.0000	2.1532657	4.9996885	10.8537942	6.1315089	0.3091517
	15:16:23	0.0333	0.1826	2.1573611	4.9996777	10.8744611	6.1521757	0.3101937
	15:16:25	0.0667	0.2582	2.1607578	4.9996885	10.8915590	6.1692737	0.3110558
	15:16:29	0.1333	0.3651	2.1653262	4.9996777	10.9146102	6.1923249	0.3122181
	15:16:37	0.2667	0.5164	2.1698623	4.9996670	10.9374984	6.2152131	0.3133721
	15:16:53	0.5333	0.7303	2.1784335	4.9996992	10.9806320	6.2583467	0.3155469
	15:17:25	1.0667	1.0328	2.1910799	4.9996992	11.0443776	6.3220923	0.3187610
	15:18:29	2.1333	1.4606	2.2087876	4.9996885	11.1336590	6.4113737	0.3232625
	15:20:37	4.2667	2.0656	2.2328932	4.9996885	11.2551662	6.5328808	0.3293890
	15:24:53	8.5333	2.9212	2.2719996	4.9996777	11.4523114	6.7300261	0.3393290
	15:31:21	15.0000	3.8730	2.3092674	4.9996885	11.6401395	6.9178542	0.3487994
	15:46:21	30.0000	5.4772	2.3558216	4.9997207	11.8747251	7.1524397	0.3606272
	16:01:21	45.0000	6.7082	2.3760728	4.9997315	11.9767771	7.2544918	0.3657727
	16:16:21	60.0000	7.7460	2.3914547	4.9997315	12.0543108	7.3320254	0.3696820
	16:31:21	75.0000	8.6603	2.3963455	4.9997207	12.0789893	7.3567040	0.3709263
	16:46:21	90.0000	9.4868	2.4017093	4.9997207	12.1060260	7.3837407	0.3722894
	17:16:21	120.0000	10.9545	2.4117274	4.9997207	12.1565231	7.4342378	0.3748355
	17:46:21	150.0000	12.2474	2.4150061	4.9997100	12.1730758	7.4507904	0.3756701
	18:16:21	180.0000	13.4164	2.4173064	4.9997100	12.1846707	7.4623853	0.3762547
	18:46:21	210.0000	14.4914	2.4247877	4.9997100	12.2223809	7.5000955	0.3781561
	19:16:21	240.0000	15.4919	2.4255509	4.9996777	12.2263069	7.5040215	0.3783540
	20:16:21	300.0000	17.3205	2.4275072	4.9997207	12.2360626	7.5137773	0.3788459
	21:16:21	360.0000	18.9737	2.4293346	4.9996777	12.2453791	7.5230938	0.3793157
	22:16:21	420.0000	20.4939	2.4315381	4.9996992	12.2564334	7.5341481	0.3798730
15/04/06	23:16:21	480.0000	21.9089	2.4360635	4.9996992	12.2792442	7.5569589	0.3810231
16/04/06	1:16:21	600.0000	24.4949	2.4395032	4.9996992	12.2965824	7.5742970	0.3818973
	3:16:21	720.0000	26.8328	2.4400514	4.9996885	12.2993720	7.5770866	0.3820380
	5:16:21	840.0000	28.9828	2.4425989	4.9996885	12.3122129	7.5899276	0.3826854
	7:16:21	960.0000	30.9839	2.4433299	4.9997100	12.3158447	7.5935593	0.3828685
	9:16:21	1080.0000	32.8634	2.4441253	4.9997207	12.3198276	7.5975423	0.3830694
	11:16:21	1200.0000	34.6410	2.4453184	4.9997100	12.3258679	7.6035826	0.3833739
	13:16:21	1320.0000	36.3318	2.4476832	4.9997207	12.3377615	7.6154762	0.3839736
16/04/06	15:16:21	1440.0000	37.9473	2.4482959	4.9996885	12.3409294	7.6186440	0.3841333





ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROPERTIES INDEX AND DATA RECORD DURING TRIAXIAL TEST SHEET

	Test No.	1			2			3			4			5		
Initail Data	**File Name**	**TX_01**			**TX_02**			**TX_03**			**TX_04**			**TX_05**		
	Borehole No.	1			2			2			3			1		
	Location	Bangna-Trad Rd. (km.125)			Bangna-Trad Rd. (km.125)			Bangna-Trad Rd. (km.125)			Bangna-Trad Rd. (km.125)			Bangna-Trad Rd. (km.125)		
	Sample No.	ST 5			ST 5			ST 5			ST 5			ST 5		
	Part No.	2			1			3			2			1		
	Depth (m.)	7.5 - 8.0			7.5 - 8.0			7.5 - 8.0			7.5 - 8.0			9.0 -9.5		
	Plastic Limit (PL.)	44.54 %			44.84 %			41.03 %			41.29 %			42.52 %		
	Liquid Limit (LL.)	96.25 %			94.55 %			91.85 %			97.45 %			97.45 %		
	Plastic Index (PI.)	51.71 %			49.71 %			50.82 %			56.16 %			54.93 %		
	Liquid Index (LI.)	0.8459			0.7970			0.6088			0.8163			0.8244		
Physical Data	Date/Month/Year (begining)	14/5/2006			23/5/2006			26/5/2006			1/6/2006			24/6/2006		
	Diameter. (mm.)	35.00	35.20	35.20	34.95	35.10	35.15	35.00	35.10	35.10	35.15	35.15	35.15	34.95	35.00	35.00
	Average Diameter. (mm.)	35.133			35.067			35.067			35.150			34.983		
	Area of Cross Section (sq.cm.)	9.695			9.658			9.658			9.704			9.612		
	Sample Height. (mm.)	72.50	72.20	72.40	72.70	72.55	72.60	72.55	72.55	72.45	73.40	73.35	73.40	69.95	70.00	70.05
	Average Sample Height. (mm.)	72.367			72.617			72.517			73.383			70.000		
	Volume of Inside (cu.cm.)	70.156			70.132			70.035			71.210			67.284		
	Wt. of Contrainer. (gm.)	0.000			0.000			0.000			0.000			0.000		
	Wt. of Sample + Cont. (gm.)	104.07			104.68			104.72			105.31			99.510		
	Sample Weight. (gm.)	104.07			104.68			104.72			105.31			99.51		
	Wet Unit Weight (gm./cu.cm.)	1.483			1.493			1.495			1.479			1.479		
	Specific Gravity	2.67			2.67			2.67			2.67			2.67		
Before Test	Contrainer No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Wt. of Contrainer. (gm.)	15.54	15.23	14.37	15.54	15.22	14.37	15.24	15.01	15.18	15.25	15.01	15.17	15.55	15.24	14.30
	Wt. of Wet Soil + Cont. (gm.)	59.04	47.65	59.61	49.07	47.19	38.52	49.47	44.56	55.21	48.89	51.79	71.31	38.05	35.83	44.21
	Wt. of Dry Soil + Cont. (gm.)	38.70	32.61	38.12	33.55	32.52	27.61	35.20	32.21	38.37	33.25	34.58	45.26	27.59	26.14	30.24
	Wt. of Dry Soil (gm.)	23.16	17.38	23.75	18.01	17.30	13.24	19.96	17.20	23.19	18.00	19.57	30.09	12.04	10.90	15.94
	Wt. of water in Soil (gm.)	20.34	15.04	21.49	15.52	14.67	10.91	14.27	12.35	16.84	15.64	17.21	26.05	10.46	9.69	13.97
	Water Content (%)	87.82	86.54	90.48	86.17	84.80	82.40	71.49	71.80	72.62	86.89	87.94	86.57	86.88	88.90	87.64
	Average Water content	88.28%			84.46%			71.97%			87.13%			87.81%		
	Wt. of dry soil (gm.)	55.274			56.750			60.894			56.275			52.986		
	Volume of solid soil (cu.cm.)	20.702			21.255			22.807			21.077			19.845		
	Height of solid soil (mm.)	*21.354*			*22.008*			*23.615*			*21.720*			*20.646*		
	Height of void (mm.)	*51.013*			*50.609*			*48.902*			*51.663*			*49.354*		
	Void Ratio	2.389			2.300			2.071			2.379			2.391		
	Degree of Saturation	98.67%			98.06%			92.80%			97.81%			98.07%		
	Dry Unit Weight (gm./cu.cm.)	0.788			0.809			0.869			0.790			0.787		
After Test	Contrainer No.	1			2			3			5			6		
	Wt. of Contrainer. (gm.)	1.500			0.000			0.000			160.350			160.350		
	Wt. of Wet Soil + Cont. (gm.)	91.420			90.110			92.980			249.270			248.580		
	Wt. of Dry Soil + Cont. (gm.)	56.540			56.640			60.530			217.070			214.350		
	Wt. of Dry Soil (gm.)	55.040			56.640			60.530			56.720			54.000		
	Wt. of water in Soil (gm.)	34.880			33.470			32.450			32.200			34.230		
	Water Content	63.372%			59.093%			53.610%			56.770%			63.389%		
	Void Ratio	1.688			1.577			1.426			1.510			1.681		
	Degree of Saturation	100.244%			100.017%			100.407%			100.351%			100.690%		

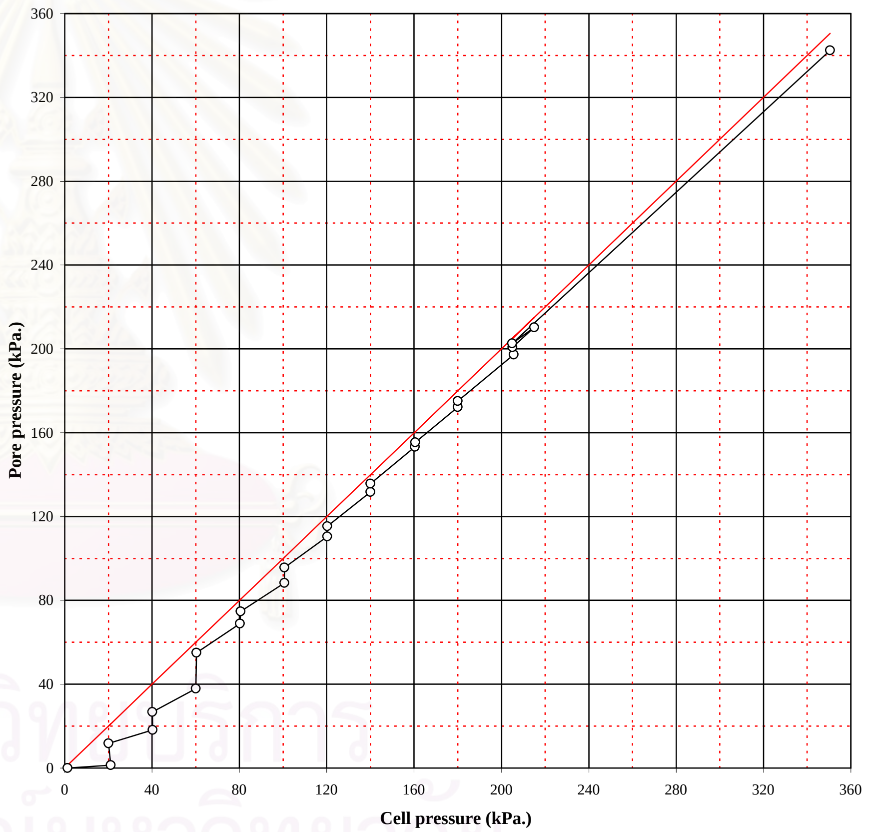
DATA RECORD DURING TEST PROCEDURE

		1	2	3	4	5
Saturation Procedure	Initail deformation reading (mm.)	4.291	-6.746	-5.111	8.776	-1.010
	Final deformation reading (mm.)	4.291	-6.746	-5.111	8.776	-1.010
	Change in height in sature (mm.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Height after saturate (mm.)	72.367	72.617	72.517	73.383	70.000
	Initail Volume reading (ml.)	-2.130	1.292	23.612	1.609	3.762
	Final Volume reading (ml.)	-2.130	1.292	23.612	1.609	3.762
	Volume change by measure (ml.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Volume change by calculate (ml.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Volume after saturate (ml.)	70.156	70.132	70.035	71.210	67.284
Consolidation Procedure	Final deformation reading (mm.)	10.819	0.410	1.729	16.960	4.945
	Change in height in conso (mm.)	6.528	7.157	6.840	8.184	5.955
	Height of sample after conso (mm.)	65.839	65.460	65.677	65.199	64.045
	Final Volume reading (ml.)	12.617	16.746	8.565	-16.270	-9.302
	Volume change in conso (ml.)	14.747	15.454	15.046	17.879	13.063
	Volum after consolidate (ml.)	55.409	54.678	54.989	53.331	54.220
	Final volume of water (ml.)	34.880	33.470	32.450	32.200	34.230
	Volume of solid soil (cu.cm.)	20.658	21.234	22.739	21.160	20.035
Calculation	Area after conso method A (cm^2.)	8.416	8.353	8.373	8.180	8.466
	Area after conso method B (cm^2.)	8.435	8.357	8.403	8.184	8.473
Shear Procedure	Shear Rate (mm. per minute)	0.070 mm. per min	0.692 mm. per min	0.353 mm. per min	0.007 mm. per min	6.290 mm. per min
	Shear Rate (percent per minute)	0.10564 % per min	1.0566 % per min	0.5367 % per min	0.0106 % per min	9.8204 % per min

DATA SHEET TRIAXIAL SATURATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	1	Natuaral Water Content, w_n :	88.28 %	Test no. 1
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	14 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.483 g/cm.^{3}	File name TX_01
Diameter	35.133 mm.	Initial height	72.367 mm.	Part no.	2	Degree of Saturated, S :	98.67 %	Job no. TX_SAT_01
Volume	70.156 mm.^{3}	Sample weight	104.070 gm.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_S :	2.670	Sheet no. 1 / 3

date	time	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	PWP diff (kPa.)	B parameter
14/5/2006	6:17:00	1.33	0.53	0.00	-	-
	6:18:00	21.07	-	1.30	1.30	0.066
	6:29:00	20.01	10.68	11.75	-	-
	6:31:00	40.28	-	18.16	6.41	0.316
	6:33:00	40.17	30.96	26.70	-	-
	21:55:00	60.02	-	37.91	11.21	0.565
	22:10:00	60.29	55.52	55.00	-	-
	22:20:00	80.19	-	68.89	13.89	0.698
	23:00:00	80.56	75.00	74.76	-	-
	23:01:00	100.56	-	88.27	13.51	0.676
	23:32:00	100.56	95.55	95.59	-	-
	23:33:00	120.30	-	110.54	14.95	0.757
15/5/2006	0:45:00	120.30	115.40	115.36	-	-
	0:46:00	140.04	-	131.79	16.43	0.832
	1:15:00	140.04	135.75	135.64	-	-
	1:16:00	160.32	-	153.26	17.62	0.869
	1:18:00	160.48	155.34	155.39	-	-
	1:23:00	180.06	-	172.22	16.83	0.860
	1:24:00	180.06	175.09	175.15	-	-
	1:40:00	205.66	-	197.21	22.06	0.862
16/5/2006	17:05:00	205.00	200.71	200.78	-	-
	17:06:00	215.00	-	210.23	9.45	0.945
17/5/2006	3:00:00	204.86	202.84	202.55	-	-
	3:01:00	350.47	-	342.40	139.85	0.960



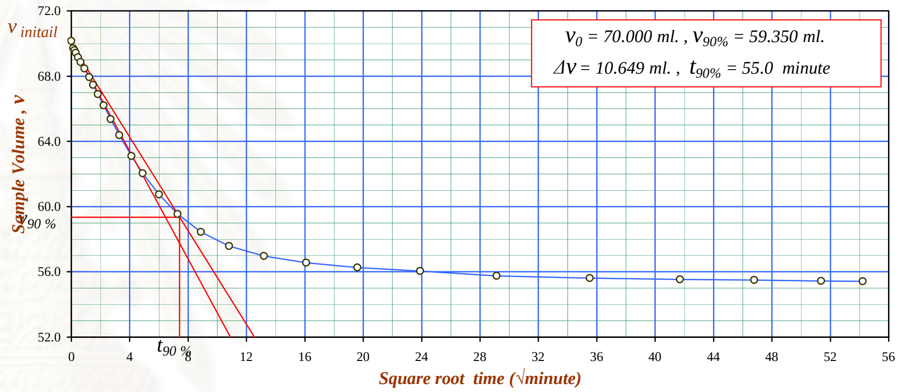
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

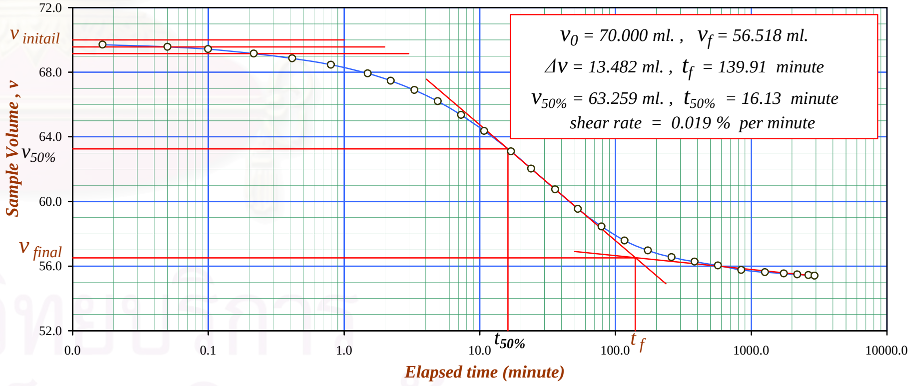
DATA SHEET TRIAXIAL CONSOLIDATION PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no. 1	Water Content, ω_n : 88.28 %
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 17 May 2006	Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.483 g/cm^3.
Applied Cell Pressure 204.860 kPa. To 350.510 kPa.		Part no. 2	Initial Void Ratio, e_0 : 2.389
Applied Back Pressure 200.068 kPa.		Depth 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670

Sample Height at Initial State, H_0 : 72.37 mm.	Test no. 1
Sample Height at Final Consolidated, H_c : 65.84 mm.	File Name TX_01
Change in Height after Consolidated, ΔH_c : 6.53 mm.	Job no. TX_CON_01
Sample Volume before Consolidation, V_s : 70.16 ml.	Sheet no. 2 / 3

date (mm/dd/yy)	time (hh:mm:ss)	elapsed time (minute)	square time (√minute)	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	volume changed (ml.)
17/5/2006	5:54:49	0.0000	0.0000	350.509521	200.068237	199.715988	70.156378
	5:54:50	0.0167	0.1291	350.509521	200.335144	294.233978	69.698647
	5:54:52	0.0500	0.2236	350.509521	200.175003	288.893982	69.574017
	5:54:55	0.1000	0.3162	350.509521	200.175003	280.777191	69.419929
	5:55:02	0.2167	0.4655	350.509521	200.175003	266.359192	69.148009
	5:55:14	0.4167	0.6455	350.509521	200.175003	260.591980	68.848897
	5:55:37	0.8000	0.8944	350.509521	200.175003	259.523987	68.468209
	5:56:19	1.5000	1.2247	350.509521	200.175003	254.183990	67.924369
	5:57:02	2.2167	1.4889	350.509521	200.175003	251.140198	67.471169
	5:58:07	3.3000	1.8166	350.509521	200.175003	247.241989	66.897871
	5:59:43	4.9000	2.2136	350.509521	200.335144	244.037994	66.195411
	6:02:06	7.2833	2.6988	350.509521	200.175003	239.659195	65.352458
	6:05:38	10.8167	3.2889	350.509521	200.175003	234.959991	64.371280
	6:11:49	17.0000	4.1231	350.509521	200.175003	229.085999	63.102321
	6:18:49	24.0000	4.8990	350.509521	200.708801	225.347992	62.037301
	6:30:49	36.0000	6.0000	350.509521	200.708801	220.168198	60.741148
	6:47:49	53.0000	7.2801	350.509521	200.708801	215.201996	59.540169
	7:13:49	79.0000	8.8882	350.509521	200.868942	210.395996	58.441158
	7:51:49	117.0000	10.8167	350.669556	201.135849	206.123993	57.584610
	8:48:49	174.0000	13.1909	350.509521	201.135849	203.453995	56.968259
	10:13:49	259.0000	16.0935	350.509521	201.242599	201.851990	56.553580
	12:18:49	384.0000	19.5959	350.242767	200.708801	201.211197	56.265799
	15:25:49	571.0000	23.8956	349.976013	200.602036	200.783997	56.043731
	20:03:49	849.0000	29.1376	349.976013	200.175003	200.249985	55.749150
18/5/2006	2:56:49	1262.0000	35.5246	349.976013	200.708801	200.249985	55.619988
	10:54:49	1740.0000	41.7133	349.869324	200.175003	200.249985	55.540678
	18:24:49	2190.0000	46.7974	349.976013	200.175003	199.876190	55.488561
19/5/2006	1:54:49	2640.0000	51.3809	349.442505	200.175003	199.715988	55.438708
	6:54:49	2940.0000	54.2218	349.442505	200.175003	199.715988	55.409250





DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	1	Water Content, ω_n :	88.28 %	Test no.	1
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 19 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.483 g/cm^3.	Job no.	TX_SHE_01
Volume after Consolidated, V_c : 55.409 ml.	Height after Consolidated, H_c : 65.84 mm.	Sample no.	2	Initial Void Ratio, e_0 :	2.389	Strain Rate:	0.0700 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.416 cm^2.		Depth.	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Strain Rate:	0.1056 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.00	0.0000	0.00000	350.510	200.776	201.668	0.000	12.946	0.000	8.416	0.000	149.733	149.733	149.733	149.733	149.733	149.733	0.000	0.000	-
0.25	0.0209	0.00032	350.510	200.776	201.668	0.000	12.946	2.657	8.419	3.157	152.890	149.733	152.890	149.733	150.785	150.785	0.021	0.000	0.000
0.75	0.0515	0.00078	350.510	200.776	202.110	0.442	12.946	7.060	8.422	8.383	158.116	149.733	157.674	149.291	152.527	152.085	0.056	0.003	0.053
1.25	0.0835	0.00127	350.510	200.776	202.774	1.105	12.946	12.897	8.427	15.306	165.039	149.733	163.933	148.628	154.835	153.730	0.102	0.007	0.072
1.75	0.1210	0.00184	350.510	200.776	203.437	1.769	12.946	18.975	8.431	22.505	172.238	149.733	170.470	147.965	157.235	155.466	0.150	0.012	0.079
2.25	0.1530	0.00232	350.510	200.776	204.321	2.653	12.950	24.847	8.436	29.455	179.188	149.733	176.535	147.080	159.552	156.899	0.197	0.018	0.090
2.75	0.1878	0.00285	350.510	200.776	205.206	3.537	12.946	30.484	8.440	36.118	185.852	149.733	182.314	146.196	161.773	158.235	0.241	0.024	0.098
3.25	0.2226	0.00338	350.510	200.776	206.222	4.554	12.946	34.837	8.444	41.254	190.987	149.733	186.433	145.179	163.484	158.930	0.276	0.032	0.110
3.75	0.2573	0.00391	350.510	200.776	207.416	5.748	12.950	37.598	8.449	44.500	194.233	149.733	188.485	143.985	164.566	158.819	0.297	0.040	0.129
4.25	0.2921	0.00444	350.510	200.776	208.301	6.632	12.946	39.654	8.453	46.909	196.642	149.733	190.010	143.101	165.369	158.737	0.313	0.047	0.141
5.25	0.3644	0.00554	350.510	200.776	210.511	8.843	12.946	43.179	8.463	51.022	200.755	149.733	191.912	140.890	166.740	157.897	0.341	0.063	0.173
6.25	0.4409	0.00670	350.510	200.776	212.280	10.612	12.946	45.999	8.473	54.291	204.024	149.733	193.412	139.121	167.830	157.218	0.363	0.077	0.195
7.25	0.5147	0.00782	350.510	200.776	214.491	12.822	12.946	48.348	8.482	57.000	206.733	149.733	193.911	136.911	168.733	155.911	0.381	0.094	0.225
8.25	0.5800	0.00881	350.510	200.776	216.259	14.591	12.946	50.405	8.491	59.364	209.098	149.733	194.506	135.142	169.521	154.930	0.396	0.109	0.246
9.25	0.6566	0.00997	350.510	200.776	218.028	16.360	12.946	52.547	8.501	61.815	211.548	149.733	195.188	133.374	170.338	153.978	0.413	0.123	0.265
10.25	0.7303	0.01109	350.510	200.776	219.797	18.128	12.946	54.928	8.510	64.543	214.276	149.733	196.148	131.605	171.248	153.119	0.431	0.139	0.281
11.25	0.7929	0.01204	350.510	200.776	221.565	19.897	12.946	56.303	8.518	66.095	215.828	149.733	195.931	129.836	171.765	151.868	0.441	0.154	0.301
12.25	0.8694	0.01320	350.510	200.776	223.334	21.665	12.950	57.961	8.529	67.961	217.694	149.733	196.029	128.068	172.387	150.721	0.454	0.170	0.319
13.25	0.9348	0.01420	350.510	200.776	225.102	23.434	12.950	59.036	8.537	69.152	218.885	149.733	195.451	126.299	172.784	149.350	0.462	0.187	0.339
14.25	1.0154	0.01542	350.510	200.776	226.429	24.761	12.946	60.489	8.548	70.766	220.499	149.733	195.739	124.973	173.322	148.561	0.473	0.200	0.350
15.25	1.0808	0.01642	350.510	200.776	228.197	26.529	12.946	61.629	8.556	72.027	221.760	149.733	195.231	123.204	173.742	147.213	0.481	0.217	0.368
16.25	1.1504	0.01747	350.510	200.776	229.524	27.856	12.950	62.510	8.566	72.979	222.712	149.733	194.856	121.878	174.059	146.204	0.487	0.230	0.382
18.25	1.2895	0.01959	350.510	200.776	232.177	30.508	12.950	64.593	8.584	75.248	224.981	149.733	194.472	119.225	174.816	144.307	0.503	0.258	0.405
20.25	1.4355	0.02180	350.243	200.776	234.830	33.161	12.946	66.362	8.603	77.133	226.600	149.466	193.438	116.305	175.177	142.016	0.516	0.287	0.433
22.25	1.5718	0.02387	350.403	200.776	237.262	35.593	12.946	67.848	8.622	78.694	228.320	149.626	192.727	114.033	175.858	140.264	0.526	0.315	0.454
24.25	1.7137	0.02603	350.136	200.776	239.693	38.025	12.950	69.304	8.641	80.205	229.565	149.360	191.540	111.335	176.095	138.070	0.537	0.344	0.479
26.25	1.8528	0.02814	349.976	200.776	241.595	39.926	12.946	70.898	8.660	81.872	231.071	149.200	191.145	109.273	176.490	136.564	0.549	0.368	0.494

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no. 1	Water Content, ω_n :	88.28	%	Test no.	1
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 19 May 2006	Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.483	g/cm^3.	Job no.	TX_SHE_01
Volume after Consolidated, V_c : 55.409 ml.	Height after Consolidated, H_c : 65.84 mm.	Sample no. 2	Initial Void Ratio, e_0 :	2.389		Strain Rate:	0.0700 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.416 cm^2.		Depth. 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670		Strain Rate:	0.1056 % per min

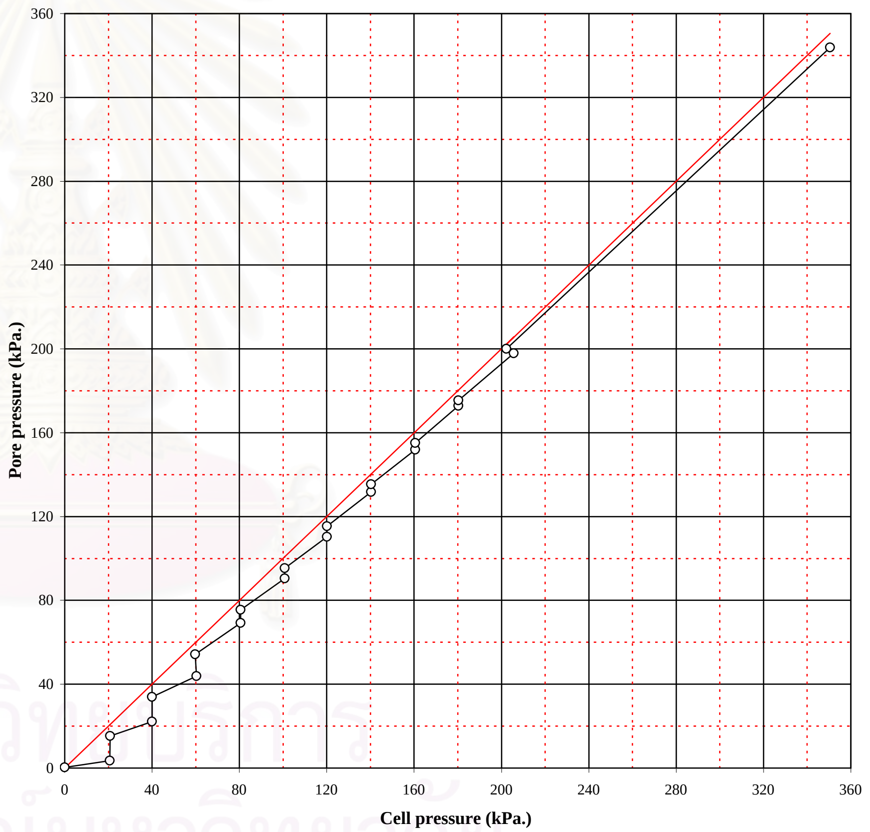
Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
28.25	1.9919	0.03025	349.976	200.776	243.673	42.004	12.950	72.087	8.678	83.064	232.263	149.200	190.259	107.195	176.888	134.883	0.557	0.395	0.512
30.25	2.1282	0.03232	349.976	200.776	245.441	43.773	12.946	73.244	8.697	84.218	233.417	149.200	189.644	105.427	177.272	133.499	0.564	0.419	0.526
32.25	2.2632	0.03437	350.510	200.776	247.210	45.542	12.950	74.002	8.715	84.909	234.642	149.733	189.100	104.191	178.036	132.494	0.567	0.441	0.536
34.25	2.4064	0.03655	350.510	200.776	248.979	47.310	12.950	75.127	8.735	86.005	235.738	149.733	188.428	102.423	178.401	131.091	0.574	0.466	0.550
36.25	2.5483	0.03871	350.510	200.776	250.305	48.637	12.950	76.014	8.755	86.826	236.560	149.733	187.923	101.096	178.675	130.039	0.580	0.485	0.560
41.25	2.8933	0.04394	350.510	200.776	253.975	52.307	12.950	77.111	8.803	87.599	237.332	149.733	185.025	97.427	178.933	126.626	0.585	0.542	0.597
46.25	3.2271	0.04902	350.510	200.776	256.937	55.269	12.957	77.983	8.850	88.119	237.852	149.733	182.583	94.464	179.106	123.837	0.589	0.591	0.627
51.25	3.5637	0.05413	350.510	200.776	259.590	57.922	12.950	78.883	8.898	88.657	238.390	149.733	180.468	91.811	179.285	121.364	0.592	0.637	0.653
56.25	3.9157	0.05947	350.510	200.776	262.243	60.575	12.950	79.833	8.948	89.218	238.951	149.733	178.376	89.158	179.472	118.898	0.596	0.686	0.679
61.25	**4.2634**	**0.06476**	**350.510**	**200.776**	**264.144**	**62.476**	**12.950**	**80.648**	**8.999**	**89.623**	**239.356**	**149.733**	**176.880**	**87.257**	**179.608**	**117.131**	**0.599**	**0.723**	**0.697**
66.25	4.6070	0.06997	350.403	200.776	266.222	64.554	12.946	80.648	9.049	89.123	238.749	149.626	174.195	85.072	179.334	114.780	0.596	0.767	0.726
71.25	4.9450	0.07511	350.136	200.776	267.549	65.881	12.950	80.648	9.099	88.631	237.991	149.360	172.110	83.479	178.903	113.023	0.593	0.798	0.750
76.25	5.2816	0.08022	349.976	200.776	269.318	67.649	12.950	81.327	9.150	88.882	238.082	149.200	170.433	81.550	178.827	111.178	0.596	0.839	0.770
81.25	5.6266	0.08546	350.510	200.776	270.644	68.976	12.950	81.327	9.202	88.376	238.109	149.733	169.133	80.757	179.192	110.216	0.590	0.864	0.780
86.25	5.9674	0.09064	350.510	200.776	271.970	70.302	12.950	81.327	9.255	87.876	237.609	149.733	167.307	79.431	179.025	108.723	0.587	0.895	0.800
91.25	6.3179	0.09596	350.510	200.776	273.297	71.629	12.950	81.327	9.309	87.361	237.094	149.733	165.466	78.105	178.854	107.225	0.583	0.928	0.820
96.25	6.6657	0.10124	350.510	200.776	274.181	72.513	12.950	81.327	9.364	86.851	236.584	149.733	164.071	77.220	178.683	106.170	0.580	0.950	0.835
106.25	7.3542	0.11170	350.510	200.776	275.950	74.282	12.950	81.327	9.474	85.840	235.573	149.733	161.292	75.452	178.347	104.065	0.573	0.996	0.865
116.25	8.0428	0.12216	349.976	200.776	277.409	75.741	12.957	81.327	9.587	84.830	234.029	149.200	158.289	73.459	177.476	101.736	0.569	1.044	0.904
126.25	8.7174	0.13241	350.510	200.776	279.045	77.377	12.950	81.538	9.700	84.057	233.790	149.733	156.413	72.357	177.752	100.375	0.561	1.083	0.921
136.25	9.4129	0.14297	350.510	200.776	280.371	78.703	12.946	81.538	9.820	83.033	232.767	149.733	154.063	71.030	177.411	98.708	0.555	1.122	0.948
146.25	10.0875	0.15322	350.510	200.776	281.609	79.941	12.950	81.538	9.939	82.041	231.774	149.733	151.833	69.792	177.080	97.139	0.548	1.160	0.974
156.25	10.7900	0.16389	350.510	200.776	282.582	80.914	12.957	81.538	10.065	81.007	230.740	149.733	149.826	68.819	176.735	95.822	0.541	1.191	0.999
166.25	11.4827	0.17441	349.976	200.776	283.466	81.798	12.957	81.420	10.194	79.872	229.072	149.200	147.274	67.401	175.824	94.026	0.535	1.230	1.038
176.25	12.1671	0.18480	350.510	200.776	284.793	83.125	12.950	81.538	10.324	78.981	228.714	149.733	145.589	66.609	176.060	92.935	0.527	1.265	1.052
186.25	12.8459	0.19511	350.510	200.776	285.677	84.009	12.957	81.420	10.456	77.869	227.602	149.733	143.593	65.724	175.690	91.681	0.520	1.296	1.079

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SATURATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis		Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)		Borehole no.	2		Natuaral Water Content, w_n :	84.46	%	Test no. 2
Tested by	Mr.Weerah	Saksuphan	Date :	23 May 2006		Sample no.	ST 5		Total Unit Weight, γ_t :	1.493	g/cm.^{3}	File name TX_02
Diameter	35.067	mm.	Initial height	72.617	mm.	Part no.	1		Degree of Saturated, S :	98.06	%	Job no. TX_SAT_02
Volume	70.132	mm.^{3}	Sample weight	104.680	gm.	Depth	7.5 - 8.0	m.	Specific Gravity, G_S :	2.670		Sheet no. 1 / 3

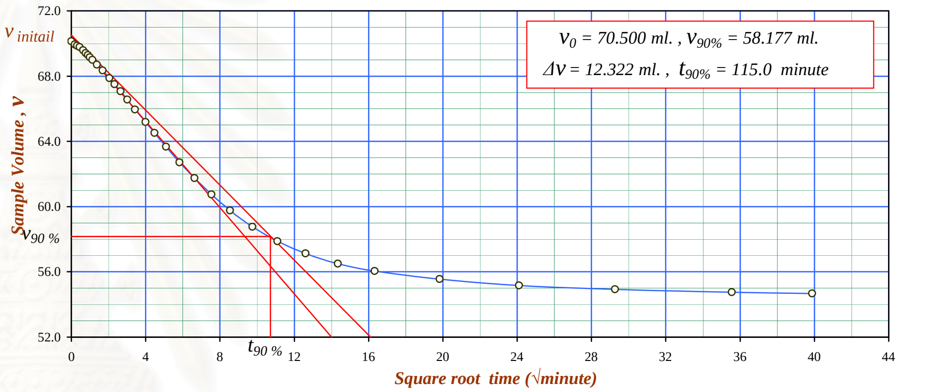
date	time	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	PWP diff (kPa.)	B parameter
23/5/2006	20:20:00	0.00	0.00	0.27	-	-
	20:21:00	20.70	-	3.50	3.23	0.156
	20:31:00	20.85	15.40	15.22	-	-
	20:32:00	40.01	-	22.10	6.88	0.359
	21:00:00	40.01	35.76	33.91	-	-
	21:03:00	60.29	-	43.92	10.01	0.494
	22:25:00	59.75	54.98	54.20	-	-
	22:27:00	80.56	-	69.15	14.95	0.718
	23:00:00	80.56	75.43	75.56	-	-
	23:02:00	100.83	-	90.51	14.95	0.738
	23:10:00	100.83	95.55	95.32	-	-
	23:12:00	120.04	-	110.27	14.95	0.778
	23:20:00	120.04	115.46	115.34	-	-
	23:22:00	140.31	-	131.79	16.45	0.812
	23:30:00	140.31	135.59	135.37	-	-
	23:32:00	160.48	-	151.92	16.55	0.821
	23:40:00	160.48	155.87	155.13	-	-
	23:42:00	180.32	-	172.75	17.62	0.888
	23:50:00	180.32	175.62	175.42	-	-
	23:52:00	205.66	-	197.85	22.43	0.885
24/5/2006	17:00:00	202.20	200.07	199.98	-	-
	17:02:00	350.51	-	343.86	143.88	0.970

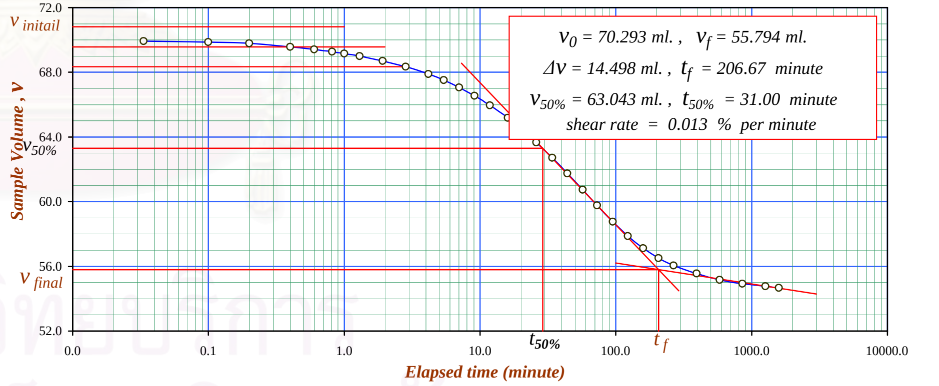


DATA SHEET TRIAXIAL CONSOLIDATION PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no. 2	Water Content, ω_n : 84.46 %	Sample Height at Initial State, H_0 : 72.62 mm.	Test no.	2
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 24 May 2006	Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.493 g/cm^3.	Sample Height at Final Consolidated, H_c : 65.46 mm.	File Name	TX_02
Applied Cell Pressure 202.200 kPa. To 350.510 kPa.		Part no. 1	Initial Void Ratio, e_0 : 2.300	Change in Height after Consolidated, ΔH_c : 7.16 mm.	Job no.	TX_CON_02
Applied Back Pressure 199.908 kPa.		Depth 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670	Sample Volume before Consolidation, V_s : 70.13 ml.	Sheet no.	2 / 3

date (mm/dd/yy)	time (hh:mm:ss)	elapsed time (minute)	square time (√minute)	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	volume changed (ml.)
24/5/2006	17:22:29	0.0000	0.0000	350.509521	199.908096	344.696991	70.131828
	17:22:31	0.0333	0.1826	345.974762	206.740738	344.696991	69.934686
	17:22:35	0.1000	0.3163	350.509521	200.175003	338.289001	69.866706
	17:22:41	0.2000	0.4472	350.509521	200.175003	331.346985	69.787396
	17:22:53	0.4000	0.6325	350.509521	200.175003	316.394989	69.576658
	17:23:05	0.6000	0.7746	350.509521	200.335144	309.453003	69.413506
	17:23:18	0.8167	0.9037	350.509521	200.175003	305.181000	69.282078
	17:23:29	1.0000	1.0000	350.509521	200.335144	301.976990	69.157448
	17:23:47	1.3000	1.1402	350.509521	200.175003	297.704987	68.992030
	17:24:24	1.9167	1.3844	350.509521	200.708801	293.432983	68.704248
	17:25:19	2.8334	1.6833	350.402802	200.708801	289.694977	68.341688
	17:26:40	4.1833	2.0453	350.242767	200.708801	286.223999	67.881690
	17:27:54	5.4167	2.3274	350.402802	200.708801	283.820984	67.507800
	17:29:30	7.0167	2.6489	350.136047	200.708801	281.684998	67.061398
	17:31:35	9.1000	3.0166	350.136047	200.602036	279.014984	66.551548
	17:34:17	11.8000	3.4351	349.976013	200.175003	276.078003	65.955590
	17:38:29	16.0000	4.0000	349.976013	200.175003	272.072998	65.173820
	17:42:29	20.0000	4.4721	349.976013	200.175003	268.868988	64.523478
	17:48:29	26.0000	5.0990	349.976013	199.908096	264.596985	63.666930
	17:56:29	34.0000	5.8310	349.976013	200.175003	259.790985	62.715210
	18:06:29	44.0000	6.6332	349.976013	200.175003	253.810196	61.747628
	18:19:29	57.0000	7.5498	349.976013	200.175003	246.440994	60.739259
	18:35:29	73.0000	8.5440	350.136047	200.175003	238.964996	59.764878
	18:57:29	95.0000	9.7468	349.976013	200.175003	230.954987	58.767838
	19:25:29	123.0000	11.0905	349.976013	200.175003	222.944992	57.872768
	20:01:29	159.0000	12.6095	349.976013	200.175003	215.468994	57.118191
	20:48:29	206.0001	14.3527	349.442505	200.175003	209.755188	56.506370
	21:49:29	267.0001	16.3401	348.908997	200.175003	205.322998	56.053170
	23:55:29	393.0001	19.8242	256.613495	200.175003	201.584991	55.554650
25/5/2006	3:03:29	581.0000	24.1039	349.976013	200.175003	201.584991	55.160332
	7:39:29	857.0000	29.2746	350.509521	200.175003	201.050995	54.933733
	14:27:29	1265.0000	35.5668	349.442505	200.175003	200.516998	54.756984
	19:52:29	1590.0000	39.8748	349.442505	210.050308	199.982986	54.677675





DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no. 2	Water Content, ω_n : 84.46 %	Test no. 2
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 25 May 2006	Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.493 g/cm^3.	Job no. TX_SHE_02
Volume after Consolidated, V_c : 54.678 ml.	Height after Consolidated, H_c : 65.46 mm.	Sample no. 1	Initial Void Ratio, e_0 : 2.300	Strain Rate: 0.6573 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.353 cm^2.		Depth. 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670	Strain Rate: 1.0566 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.00	0.0000	0.00000	349.976	200.442	202.141	0.000	17.012	0.000	8.353	0.000	149.534	149.534	149.534	149.534	149.534	149.534	0.000	0.000	-
0.12	0.0737	0.00113	349.976	200.442	202.584	0.443	17.005	8.477	8.362	10.137	159.671	149.534	159.228	149.091	152.913	152.470	0.068	0.003	0.044
0.22	0.1252	0.00191	349.976	200.335	203.471	1.330	17.005	16.721	8.369	19.980	169.621	149.641	168.291	148.311	156.301	154.971	0.134	0.009	0.067
0.30	0.1739	0.00266	350.136	200.442	204.800	2.659	17.005	26.143	8.375	31.215	180.910	149.694	178.250	147.035	160.099	157.440	0.209	0.018	0.085
0.40	0.2295	0.00351	350.136	200.602	207.016	4.875	17.005	34.211	8.382	40.814	190.348	149.534	185.472	144.659	163.139	158.263	0.273	0.034	0.119
0.65	0.3895	0.00595	350.136	200.442	212.335	10.194	17.005	45.576	8.403	54.239	203.933	149.694	193.739	139.500	167.774	157.580	0.362	0.074	0.188
0.90	0.5397	0.00824	350.136	200.442	217.210	15.069	17.005	51.466	8.422	61.107	210.802	149.694	195.732	134.625	170.063	154.994	0.408	0.113	0.247
1.15	0.7025	0.01073	350.136	200.442	220.756	18.615	17.028	56.589	8.443	67.021	216.715	149.694	198.100	131.079	172.034	153.419	0.448	0.144	0.278
1.40	0.8694	0.01328	349.976	200.442	223.327	21.186	17.023	60.299	8.465	71.231	220.765	149.534	199.579	128.348	173.278	152.092	0.476	0.167	0.297
1.65	1.0335	0.01579	349.976	200.442	226.075	23.934	17.028	64.243	8.487	75.697	225.231	149.534	201.297	125.600	174.767	150.833	0.506	0.193	0.316
1.90	1.2102	0.01849	349.976	200.442	229.399	27.258	17.023	66.671	8.510	78.343	227.877	149.534	200.619	122.276	175.648	148.390	0.524	0.226	0.348
2.15	1.3882	0.02121	349.976	200.442	232.280	30.139	17.028	68.606	8.534	80.393	229.928	149.534	199.789	119.395	176.332	146.193	0.538	0.256	0.375
2.40	1.5579	0.02380	349.976	200.442	235.382	33.242	17.028	70.785	8.556	82.727	232.261	149.534	199.020	116.293	177.110	143.868	0.553	0.290	0.402
2.65	1.7248	0.02635	349.976	200.442	238.042	35.901	17.023	72.223	8.579	84.186	233.720	149.534	197.820	113.633	177.596	141.695	0.563	0.321	0.426
2.90	1.8987	0.02901	349.976	200.602	240.258	38.117	17.028	73.566	8.602	85.519	234.893	149.374	196.776	111.257	177.880	139.763	0.573	0.347	0.447
3.15	2.0656	0.03156	349.976	200.602	242.474	40.333	17.028	74.993	8.625	86.948	236.322	149.374	195.989	109.041	178.357	138.024	0.582	0.375	0.466
3.40	2.2395	0.03421	349.976	200.602	244.380	42.239	17.028	76.326	8.649	88.251	237.625	149.374	195.386	107.135	178.791	136.552	0.591	0.400	0.480
3.65	2.4036	0.03672	349.976	200.602	246.463	44.322	17.028	77.393	8.671	89.252	238.626	149.374	194.304	105.052	179.125	134.803	0.598	0.428	0.498
3.90	2.5775	0.03938	349.976	200.602	248.014	45.873	17.028	78.437	8.695	90.207	239.581	149.374	193.707	103.501	179.443	133.570	0.604	0.450	0.510
4.15	2.7514	0.04203	349.976	200.442	249.565	47.425	17.028	79.535	8.719	91.217	240.751	149.534	193.326	102.110	179.940	132.515	0.610	0.472	0.520
4.40	2.9253	0.04469	349.976	200.442	250.895	48.754	17.028	80.367	8.744	91.916	241.450	149.534	192.696	100.780	180.173	131.419	0.615	0.492	0.530
4.90	3.2730	0.05000	349.976	200.442	253.554	51.414	17.023	81.809	8.792	93.045	242.579	149.534	191.165	98.121	180.549	129.135	0.622	0.533	0.553
5.40	3.6166	0.05525	349.976	200.442	255.903	53.763	17.028	83.430	8.841	94.363	243.897	149.534	190.135	95.772	180.989	127.226	0.631	0.572	0.570
5.90	3.9616	0.06052	349.976	200.442	257.987	55.846	17.028	84.290	8.891	94.804	244.338	149.534	188.493	93.688	181.135	125.290	0.634	0.607	0.589
6.40	**4.3024**	**0.06573**	**349.976**	**200.442**	**259.759**	**57.619**	**17.023**	**85.586**	**8.940**	**95.729**	**245.263**	**149.534**	**187.645**	**91.915**	**181.444**	**123.825**	**0.640**	**0.639**	**0.602**
6.90	4.6459	0.07097	349.976	200.442	261.222	59.081	17.023	86.009	8.991	95.662	245.196	149.534	186.115	90.453	181.421	122.340	0.640	0.666	0.618
7.40	5.0006	0.07639	349.976	200.442	262.862	60.721	17.023	86.183	9.044	95.296	244.830	149.534	184.109	88.813	181.299	120.578	0.637	0.697	0.637

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	2	Water Content, ω_n :	84.46 %	Test no.	2
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 25 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.493 g/cm^3.	Job no.	TX_SHE_02
Volume after Consolidated, V_c : 54.678 ml.	Height after Consolidated, H_c : 65.46 mm.	Sample no.	1	Initial Void Ratio, e_0 :	2.300	Strain Rate:	0.6573 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.353 cm^2.		Depth.	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Strain Rate:	1.0566 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
7.90	5.3414	0.08160	349.976	200.442	263.970	61.829	17.023	86.357	9.095	94.950	244.484	149.534	182.655	87.705	181.184	119.355	0.635	0.719	0.651
8.40	5.6725	0.08666	349.976	200.442	265.078	62.937	17.023	86.573	9.145	94.663	244.197	149.534	181.260	86.597	181.088	118.151	0.633	0.741	0.665
8.90	6.0272	0.09207	349.976	200.442	265.965	63.824	17.023	87.799	9.200	95.435	244.969	149.534	181.145	85.710	181.346	117.522	0.638	0.760	0.669
9.40	6.3916	0.09764	349.976	200.442	267.294	65.153	17.023	87.799	9.257	94.850	244.384	149.534	179.231	84.381	181.151	115.997	0.634	0.788	0.687
10.40	7.0871	0.10827	350.136	200.442	268.624	66.483	17.023	87.735	9.367	93.664	243.358	149.694	176.875	83.211	180.916	114.433	0.626	0.816	0.710
11.40	7.7826	0.11889	349.976	200.442	269.954	67.813	17.028	87.853	9.480	92.672	242.207	149.534	174.394	81.721	180.425	112.612	0.620	0.847	0.732
12.40	8.4823	0.12958	349.976	200.442	271.283	69.142	17.028	87.735	9.596	91.426	240.960	149.534	171.817	80.392	180.009	110.867	0.611	0.879	0.756
13.40	9.1667	0.14004	349.976	200.442	272.170	70.029	17.023	86.573	9.713	89.131	238.665	149.534	168.636	79.505	179.244	109.216	0.596	0.900	0.786
14.40	9.8525	0.15051	349.976	200.442	272.613	70.472	17.023	86.573	9.833	88.045	237.579	149.534	167.107	79.062	178.882	108.410	0.589	0.911	0.800
15.40	10.5201	0.16071	349.976	200.442	273.056	70.915	17.023	86.087	9.952	86.500	236.034	149.534	165.119	78.619	178.367	107.452	0.578	0.922	0.820
16.40	11.2254	0.17148	349.976	200.442	273.499	71.358	17.023	86.087	10.082	85.390	234.924	149.534	163.565	78.176	177.997	106.639	0.571	0.933	0.836
17.40	11.9111	0.18196	349.976	200.442	273.943	71.802	17.028	84.990	10.211	83.235	232.769	149.534	160.967	77.732	177.279	105.477	0.557	0.944	0.863
18.40	12.6025	0.19252	349.976	200.442	273.943	71.802	17.023	84.990	10.344	82.160	231.694	149.534	159.893	77.732	176.921	105.119	0.549	0.944	0.874
19.40	13.3049	0.20325	349.976	200.442	273.943	71.802	17.023	84.990	10.484	81.068	230.603	149.534	158.801	77.732	176.557	104.755	0.542	0.944	0.886
21.40	14.7029	0.22461	349.976	200.442	273.499	71.358	17.023	84.022	10.772	77.997	227.531	149.534	156.173	78.176	175.533	104.175	0.522	0.933	0.915
23.40	16.1120	0.24613	349.976	200.442	273.056	70.915	17.023	82.843	11.080	74.768	224.302	149.534	153.387	78.619	174.457	103.542	0.500	0.922	0.948
25.40	17.5030	0.26738	349.976	200.442	272.613	70.472	17.028	82.170	11.401	72.070	221.604	149.534	151.132	79.062	173.557	103.086	0.482	0.911	0.978

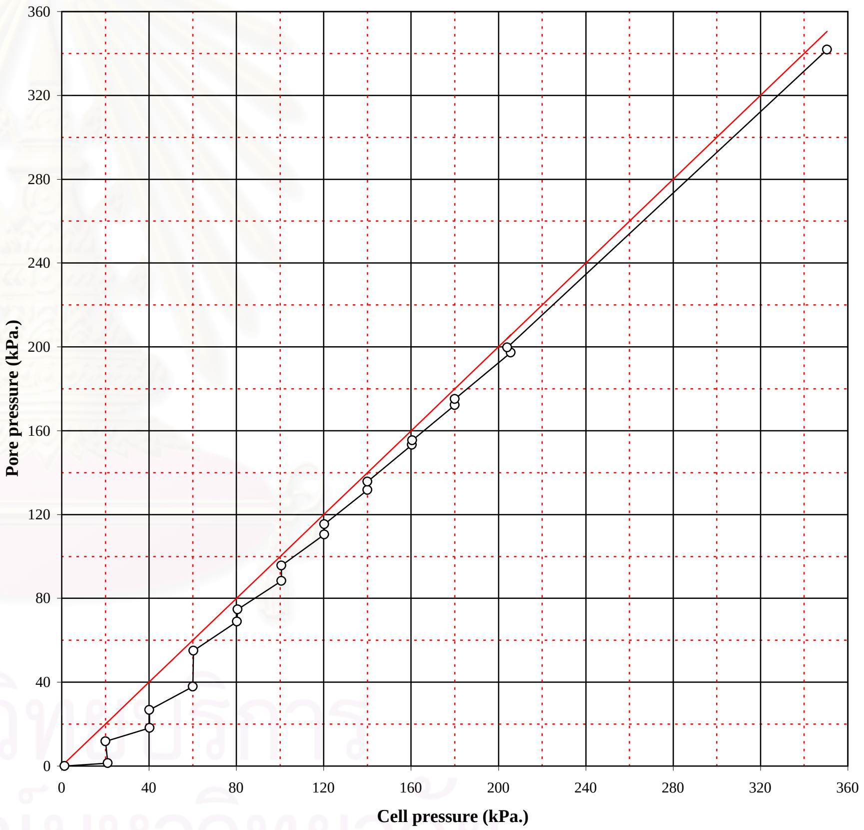
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SATURATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	2	Natuaral Water Content, w_n :	71.97 %
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	26 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.495 g/cm.^{3}
Diameter	35.067 mm.	Initial height	72.517 mm.	Part no.	3	Degree of Saturated, S :	92.80 %
Volume	70.035 mm.^{3}	Sample weight	104.720 gm.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_S :	2.670

Test no.	3
File name	TX_03
Job no.	TX_SAT_03
Sheet no.	1 / 3

date	time	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	PWP diff (kPa.)	B parameter
26/5/2006	4:18:00	1.33	0.53	0.00	-	-
	4:19:00	21.07	-	1.30	1.30	0.066
	4:30:00	20.01	10.68	11.75	-	-
	4:31:00	40.28	-	18.16	6.41	0.316
	4:50:00	40.17	30.96	26.70	-	-
	4:51:00	60.02	-	37.91	11.21	0.565
	5:00:00	60.29	55.52	55.00	-	-
	5:01:00	80.19		68.89	13.89	0.698
	5:10:00	80.56	75.00	74.76	-	-
	5:11:00	100.56		88.27	13.51	0.676
	5:30:00	100.56	95.55	95.59	-	-
	5:31:00	120.30		110.54	14.95	0.757
	5:47:00	120.30	115.40	115.36	-	-
	5:48:00	140.04		131.79	16.43	0.832
	6:00:00	140.04	135.75	135.64	-	-
	6:01:00	160.32		153.26	17.62	0.869
	6:14:00	160.48	155.34	155.39	-	-
	6:15:00	180.06		172.22	16.83	0.860
	6:31:00	180.06	175.09	175.15	-	-
	6:32:00	205.66		197.21	22.06	0.862
27/5/2006	13:53:00	203.97	199.86	199.77	-	-
	13:54:00	350.51	-	341.86	142.09	0.970

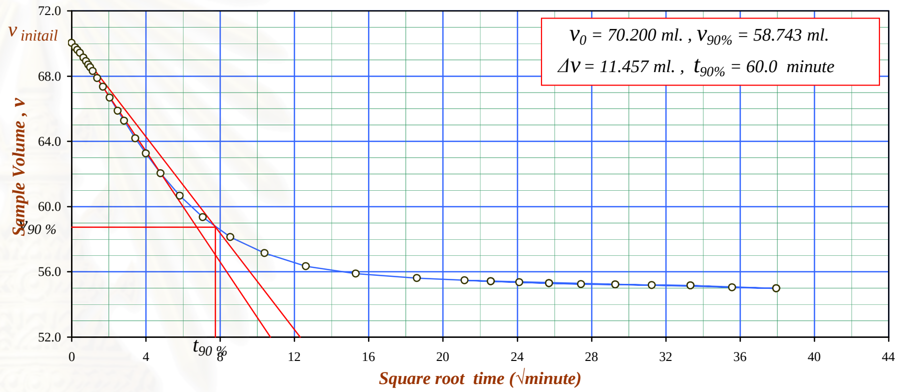


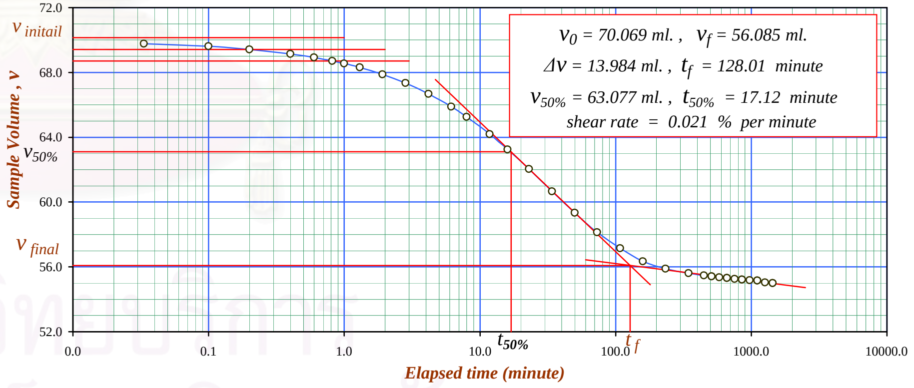
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	2	Water Content, ω_n :	71.97 %	Sample Height at Initial State, H_0 :	72.52 mm.	Test no. 3
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	27 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.495 g/cm^3.	Sample Height at Final Consolidated, H_c :	65.68 mm.	File Name TX_03
Applied Cell Pressure	202.200 kPa.	To	350.632 kPa.	Part no.	3	Initial Void Ratio, e_0 :	2.071	Change in Height after Consolidated, ΔH_c :	6.84 mm.	Job no. TX_CON_03
Applied Back Pressure	200.220 kPa.			Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Sample Volume before Consolidation, V_s :	70.04 ml.	Sheet no. 2 / 3

date (mm/dd/yy)	time (hh:mm:ss)	elapsed time (minute)	square time (√minute)	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	volume changed (ml.)
27/5/2006	14:19:52	0.0000	0.0000	350.631989	200.220016	342.654694	70.035250
	14:19:54	0.0333	0.1826	350.525116	201.018768	338.924377	69.770127
	14:19:58	0.1000	0.3163	350.631989	200.752518	326.667694	69.604710
	14:20:04	0.2000	0.4472	350.631989	200.752518	314.677429	69.423430
	14:20:16	0.4000	0.6325	350.631989	200.752518	301.088501	69.140179
	14:20:28	0.6000	0.7746	350.631989	200.752518	293.095001	68.920378
	14:20:41	0.8167	0.9037	350.631989	200.752518	287.233093	68.705107
	14:20:52	1.0000	1.0000	350.631989	200.752518	284.035675	68.546488
	14:21:10	1.3000	1.1402	350.631989	200.912262	279.932343	68.308558
	14:21:47	1.9167	1.3844	350.257843	200.912262	274.443481	67.882550
	14:22:42	2.8334	1.6833	350.525116	201.285004	269.647400	67.338709
	14:24:03	4.1833	2.0453	350.257843	201.285004	264.851288	66.677037
	14:26:02	6.1667	2.4833	350.257843	201.285004	260.055176	65.877139
	14:27:52	8.0000	2.8284	350.097504	201.285004	256.324890	65.253989
	14:31:40	11.8000	3.4351	350.097504	201.285004	250.462982	64.184437
	14:35:52	16.0000	4.0000	350.097504	201.285004	245.133987	63.248580
	14:42:52	23.0000	4.7958	350.097504	200.752518	238.206284	62.036270
	14:53:52	34.0000	5.8310	350.097504	201.285004	230.212784	60.665339
	15:09:52	50.0000	7.0711	350.097504	199.687515	221.153488	59.346528
	15:32:52	73.0000	8.5440	349.562988	199.687515	213.053406	58.134218
	16:07:52	108.0000	10.3923	349.562988	199.687515	206.765198	57.148508
	16:58:52	159.0000	12.6095	349.562988	199.687515	203.567795	56.337279
	18:13:52	234.0001	15.2971	349.562988	199.687515	200.903290	55.895409
	20:05:52	346.0001	18.6011	349.562988	199.687515	200.370392	55.607627
	22:49:52	510.0001	22.5832	349.562988	199.687515	199.837494	55.415018
28/5/2006	1:20:52	661.0000	25.7099	349.562988	199.314758	199.304596	55.306249
	4:36:52	857.0000	29.2746	349.562988	199.687515	199.837494	55.215609
	8:50:52	1111.0000	33.3317	349.188843	199.687515	199.304596	55.154427
	14:19:52	1440.0000	37.9473	350.097504	200.220016	200.263809	54.989009





สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	2	Water Content, ω_n :	71.97 %	Test no.	3
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	29 May 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.495 g/cm^3.	Job no.	TX_SHE_03
Volume after Consolidated, V_c :	54.989 ml.	Height after Consolidated, H_c :	65.68 mm.	Sample no.	3	Initial Void Ratio, e_0 :	2.071	Strain Rate:	0.3525 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c :	8.373 cm^2.			Depth.	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Strain Rate:	0.5367 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.00	0.0000	0.00000	350.632	200.753	202.502	0.000	8.565	0.000	8.373	0.000	149.879	149.879	149.879	149.879	149.879	149.879	0.000	0.000	-
0.10	0.0352	0.00054	350.632	200.753	202.502	0.000	8.565	7.444	8.377	8.886	158.766	149.879	158.766	149.879	152.842	152.842	0.059	0.000	0.000
0.20	0.0707	0.00108	350.632	200.753	203.378	0.876	8.565	14.787	8.382	17.642	167.522	149.879	166.645	149.003	155.760	154.884	0.118	0.006	0.050
0.32	0.1120	0.00171	350.632	200.753	204.386	1.884	8.565	21.547	8.387	25.691	175.570	149.879	173.687	147.996	158.443	156.559	0.171	0.013	0.073
0.40	0.1424	0.00217	350.632	200.753	205.130	2.628	8.565	27.464	8.391	32.731	182.611	149.879	179.983	147.251	160.790	158.162	0.218	0.018	0.080
0.50	0.1783	0.00271	350.632	200.753	206.138	3.636	8.565	32.552	8.395	38.773	188.653	149.879	185.017	146.244	162.804	159.168	0.259	0.025	0.094
0.60	0.2145	0.00327	350.632	200.753	207.320	4.818	8.565	36.692	8.400	43.681	193.561	149.879	188.742	145.061	164.440	159.621	0.291	0.034	0.110
0.70	0.2506	0.00382	350.632	200.753	208.197	5.695	8.565	39.864	8.405	47.431	197.310	149.879	191.615	144.185	165.690	159.995	0.316	0.040	0.120
0.82	0.2931	0.00446	350.632	200.753	209.073	6.571	8.565	42.319	8.410	50.319	200.198	149.879	193.628	143.309	166.652	160.082	0.336	0.046	0.131
0.90	0.3233	0.00492	350.632	200.753	209.642	7.140	8.565	44.524	8.414	52.916	202.796	149.879	195.656	142.739	167.518	160.378	0.353	0.051	0.135
1.00	0.3597	0.00548	350.632	200.753	210.387	7.885	8.565	46.712	8.419	55.486	205.366	149.879	197.481	141.995	168.375	160.490	0.370	0.056	0.142
1.25	0.4508	0.00686	350.632	200.753	212.577	10.075	8.561	50.098	8.431	59.425	209.304	149.879	199.229	139.804	169.688	159.613	0.396	0.073	0.170
1.50	0.5405	0.00823	350.632	200.753	215.337	12.835	8.565	52.564	8.442	62.264	212.143	149.879	199.309	137.045	170.634	157.799	0.415	0.095	0.206
1.75	0.6309	0.00961	350.632	200.753	218.710	16.208	8.565	55.555	8.454	65.716	215.595	149.879	199.388	133.672	171.785	155.577	0.438	0.123	0.247
2.00	0.7213	0.01098	350.632	200.753	221.776	19.274	8.559	58.010	8.466	68.525	218.404	149.879	199.130	130.606	172.721	153.447	0.457	0.150	0.281
2.25	0.8124	0.01237	350.632	200.753	224.404	21.902	8.565	60.055	8.478	70.840	220.719	149.879	198.817	127.977	173.493	151.591	0.473	0.174	0.309
2.50	0.9029	0.01375	350.632	200.753	227.251	24.749	8.565	61.688	8.489	72.665	222.544	149.879	197.795	125.130	174.101	149.352	0.485	0.201	0.341
2.75	0.9938	0.01513	350.632	200.753	229.661	27.159	8.559	62.562	8.501	73.592	223.471	149.879	196.312	122.721	174.410	147.251	0.491	0.225	0.369
3.00	1.0772	0.01640	350.632	200.753	232.289	29.787	8.565	64.137	8.512	75.347	225.226	149.879	195.439	120.092	174.995	145.208	0.503	0.252	0.395
3.25	1.1572	0.01762	350.632	200.753	234.479	31.977	8.554	65.303	8.523	76.622	226.501	149.879	194.524	117.902	175.420	143.443	0.511	0.275	0.417
3.50	1.2407	0.01889	350.632	200.753	236.231	33.729	8.554	66.470	8.534	77.890	227.769	149.879	194.040	116.150	175.843	142.113	0.520	0.295	0.433
3.75	1.3224	0.02014	350.632	200.753	238.422	35.920	8.565	67.636	8.545	79.156	229.035	149.879	193.116	113.960	176.265	140.345	0.528	0.320	0.454
4.00	1.4007	0.02133	350.632	200.753	240.174	37.672	8.565	68.394	8.555	79.946	229.825	149.879	192.154	112.208	176.528	138.856	0.533	0.341	0.471
4.50	1.5766	0.02401	350.632	200.753	243.240	40.738	8.554	70.144	8.579	81.767	231.646	149.879	190.908	109.141	177.135	136.397	0.546	0.379	0.498
5.00	1.7540	0.02671	350.632	200.753	246.306	43.804	8.561	71.894	8.602	83.574	233.454	149.879	189.649	106.075	177.738	133.933	0.558	0.420	0.524
5.50	1.9362	0.02948	350.632	200.753	248.935	46.433	8.559	73.643	8.627	85.364	235.244	149.879	188.811	103.447	178.334	131.902	0.570	0.457	0.544
6.00	2.1156	0.03221	350.632	200.646	251.125	48.623	8.559	74.597	8.651	86.227	236.213	149.986	187.590	101.363	178.728	130.105	0.575	0.489	0.564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis		Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)		Borehole no. 2	Water Content, ω_n : 71.97 %		Test no. 3
Tested by Mr.Weerah Saksuphan		Date : 29 May 2006		Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.495 g/cm^3.		Job no. TX_SHE_03
Volume after Consolidated, V_c : 54.989 ml.		Height after Consolidated, H_c : 65.68 mm.		Sample no. 3	Initial Void Ratio, e_0 : 2.071		Strain Rate: 0.3525 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.373 cm^2.				Depth. 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670		Strain Rate: 0.5367 % per min

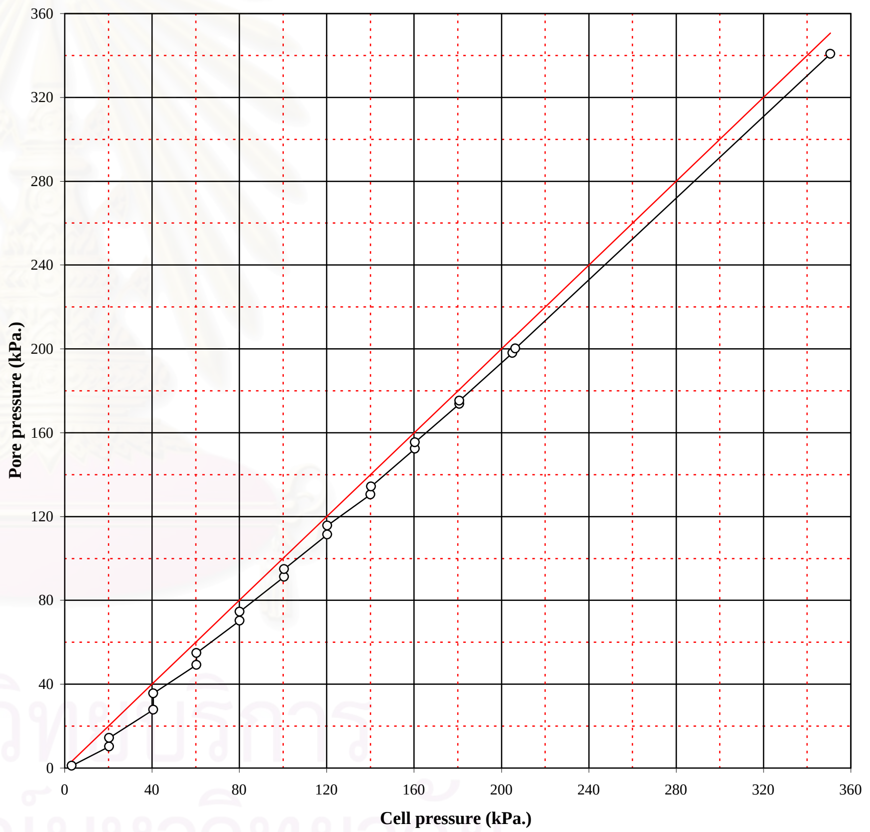
Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
6.50	2.2965	0.03497	350.632	200.753	253.315	50.813	8.565	75.218	8.676	86.697	236.576	149.879	185.763	99.066	178.778	127.965	0.578	0.522	0.586
7.00	2.4773	0.03772	350.632	200.646	255.067	52.565	8.565	76.384	8.701	87.790	237.776	149.986	185.211	97.421	179.249	126.684	0.585	0.550	0.599
7.50	2.6595	0.04049	350.632	200.646	256.819	54.317	8.559	77.551	8.726	88.873	238.859	149.986	184.542	95.669	179.610	125.293	0.593	0.579	0.611
8.00	2.8355	0.04317	350.632	200.646	258.265	55.763	8.559	78.309	8.750	89.492	239.478	149.986	183.715	94.223	179.817	124.054	0.597	0.604	0.623
8.50	3.0128	0.04587	350.632	200.646	259.886	57.384	8.565	79.119	8.775	90.163	240.149	149.986	182.765	92.602	180.040	122.656	0.601	0.632	0.636
9.00	3.1950	0.04865	350.632	200.486	260.893	58.391	8.565	80.260	8.801	91.197	241.343	150.146	182.951	91.754	180.545	122.153	0.607	0.651	0.640
9.50	3.3745	0.05138	350.632	200.380	262.076	59.574	8.565	80.853	8.826	91.606	241.858	150.252	182.284	90.678	180.788	121.214	0.610	0.673	0.650
10.00	3.5455	0.05398	350.632	200.486	263.302	60.800	8.565	81.558	8.850	92.151	242.297	150.146	181.497	89.345	180.863	120.062	0.614	0.696	0.660
11.00	3.8571	0.05873	350.365	200.380	265.142	62.640	8.565	82.497	8.895	92.744	242.729	149.985	180.089	87.345	180.900	118.260	0.618	0.735	0.675
12.00	4.1840	0.06371	350.632	200.380	266.807	64.305	8.565	83.583	8.942	93.469	243.721	150.252	179.416	85.947	181.408	117.104	0.622	0.767	0.688
13.00	**4.4970**	**0.06847**	**350.525**	**200.380**	**268.121**	**65.619**	**8.565**	**84.299**	**8.988**	**93.790**	**243.935**	**150.145**	**178.316**	**84.526**	**181.409**	**115.790**	**0.625**	**0.796**	**0.700**
14.00	4.8169	0.07334	350.365	200.486	269.304	66.802	8.565	84.299	9.035	93.299	243.178	149.878	176.376	83.077	180.978	114.177	0.623	0.824	0.716
15.00	5.1508	0.07843	350.258	200.486	270.399	67.897	8.565	84.766	9.085	93.301	243.073	149.772	175.176	81.875	180.872	112.975	0.623	0.850	0.729
16.00	5.4776	0.08340	350.098	200.380	271.275	68.773	8.559	84.766	9.134	92.797	242.515	149.718	173.742	80.945	180.650	111.877	0.620	0.873	0.744
17.00	5.7906	0.08817	350.098	200.220	272.151	69.649	8.559	85.789	9.182	93.430	243.307	149.877	173.658	80.229	181.021	111.372	0.623	0.894	0.746
18.00	6.1425	0.09353	350.258	200.220	273.027	70.525	8.565	85.789	9.237	92.881	242.918	150.038	172.393	79.513	180.998	110.473	0.619	0.913	0.759
19.00	6.4972	0.09893	350.258	200.220	273.903	71.401	8.559	85.789	9.292	92.327	242.365	150.038	170.964	78.637	180.814	109.412	0.615	0.935	0.773
20.00	6.8617	0.10448	350.098	200.220	274.692	72.190	8.559	86.287	9.349	92.291	242.169	149.877	169.979	77.688	180.641	108.452	0.616	0.957	0.782
22.00	7.5794	0.11540	350.098	200.220	275.655	73.153	8.565	86.287	9.465	91.165	241.043	149.877	167.889	76.724	180.266	107.113	0.608	0.983	0.802
24.00	8.3028	0.12642	350.098	200.220	276.969	74.467	8.565	86.821	9.584	90.587	240.464	149.877	165.997	75.410	180.073	105.606	0.604	1.018	0.822
26.00	9.0261	0.13743	350.632	200.753	278.065	75.563	8.565	86.287	9.707	88.895	238.774	149.879	163.212	74.317	179.511	103.949	0.593	1.041	0.850
28.00	9.7550	0.14853	350.632	200.646	279.160	76.658	8.559	85.789	9.833	87.245	237.231	149.986	160.573	73.328	179.068	102.410	0.582	1.073	0.879
30.00	10.4783	0.15954	350.632	200.646	280.036	77.534	8.565	85.454	9.962	85.780	235.766	149.986	158.232	72.452	178.579	101.046	0.572	1.098	0.904
32.00	11.2058	0.17062	350.632	200.753	280.912	78.410	8.565	84.766	10.095	83.967	233.847	149.879	155.437	71.470	177.869	99.459	0.560	1.125	0.934
34.00	11.9180	0.18146	350.632	200.753	281.350	78.848	8.565	84.766	10.229	82.870	232.749	149.879	153.901	71.032	177.503	98.655	0.553	1.138	0.951
36.00	12.6176	0.19212	350.632	200.646	282.226	79.724	8.565	83.865	10.364	80.922	230.908	149.986	151.184	70.262	176.960	97.236	0.540	1.165	0.985
38.00	13.3479	0.20324	350.632	200.646	282.664	80.162	8.559	83.057	10.508	79.039	229.025	149.986	148.863	69.824	176.332	96.170	0.527	1.179	1.014

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SATURATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	3	Natuaral Water Content, w_n :	87.13 %	Test no. 4
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	1 June 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.479 g/cm.^{3}	File name TX_04
Diameter	35.150 mm.	Initial height	73.383 mm.	Part no.	2	Degree of Saturated, S :	97.81 %	Job no. TX_SAT_04
Volume	71.210 mm.^{3}	Sample weight	105.310 gm.	Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_S :	2.670	Sheet no. 1 / 3

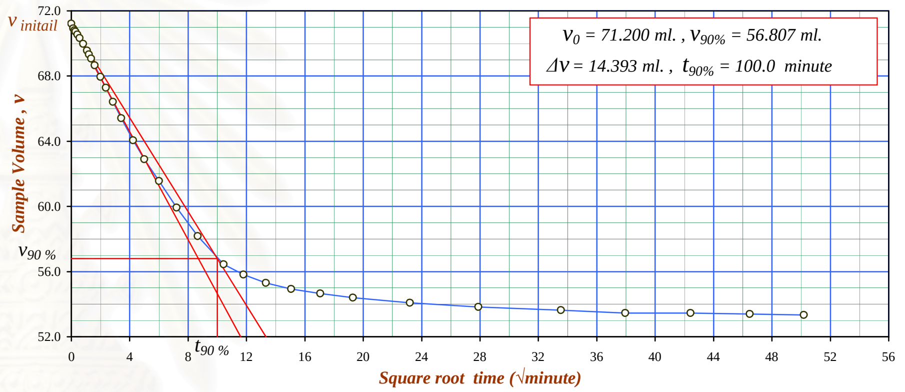
date	time	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	PWP diff (kPa.)	B parameter
1/6/2006	21:47:00	3.21	1.07	1.07	-	-
	21:49:00	20.31	-	10.31	9.24	0.540
	22:00:00	20.31	15.98	14.39	-	-
	22:02:00	40.62	-	27.78	13.39	0.659
	22:10:00	40.62	35.68	35.60	-	-
	22:12:00	60.40	-	49.19	13.59	0.687
	22:20:00	60.40	55.38	54.89	-	-
	22:30:00	80.18	-	70.34	15.45	0.781
	22:32:00	80.18	75.62	74.61	-	-
	22:40:00	100.49	-	91.29	16.68	0.821
	22:42:00	100.49	95.32	94.86	-	-
	22:50:00	120.26	-	111.38	16.52	0.836
	22:53:00	120.26	115.55	115.64	-	-
	23:00:00	140.04	-	130.45	14.81	0.749
	23:02:00	140.24	135.56	134.29	-	-
	23:20:00	160.35	-	152.41	18.12	0.901
	23:22:00	160.35	155.49	155.34	-	-
	23:40:00	180.66	-	173.72	18.38	0.905
	23:42:00	180.66	175.32	175.19	-	-
	0:00:00	205.00	-	198.09	22.90	0.941
3/6/2006	17:16:00	206.32	200.53	200.22	-	-
	17:18:00	350.63	-	340.80	140.58	0.974

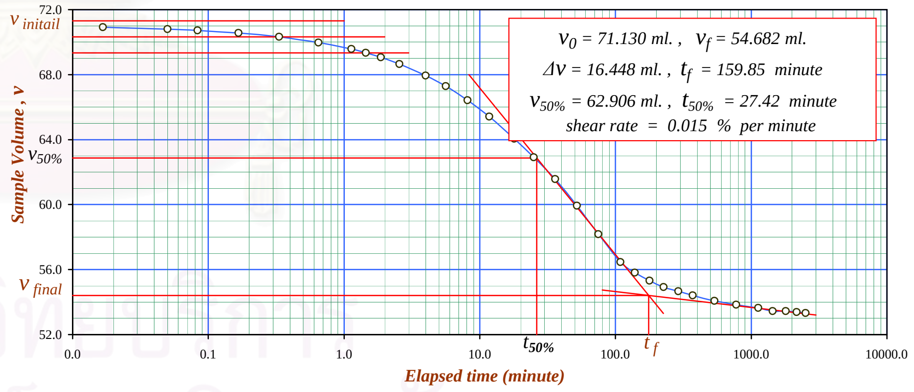


DATA SHEET TRIAXIAL CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	3	Water Content, ω_n :	87.13 %	Sample Height at Initial State, H_0 :	73.38 mm.	Test no.	4
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	3 June 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.479 g/cm^3.	Sample Height at Final Consolidated, H_c :	65.20 mm.	File Name	TX_04
Applied Cell Pressure	204.860 kPa.	To	350.098 kPa.	Part no.	2	Initial Void Ratio, e_0 :	2.379	Change in Height after Consolidated, ΔH_c :	8.18 mm.	Job no.	TX_CON_04
Applied Back Pressure	200.370 kPa.			Depth	7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Sample Volume before Consolidation, V_s :	71.21 ml.	Sheet no.	2 / 3

date (mm/dd/yy)	time (hh:mm:ss)	elapsed time (minute)	square time (√minute)	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	volume changed (ml.)
3/6/2006	17:25:44	0.0000	0.0000	350.097504	200.370392	342.397522	71.209506
	17:25:45	0.0167	0.1293	351.326843	200.903290	340.800018	70.914926
	17:25:47	0.0500	0.2237	350.097504	201.329605	329.085022	70.801626
	17:25:49	0.0834	0.2887	350.097504	201.169739	322.854767	70.717784
	17:25:54	0.1667	0.4083	350.257843	201.329605	314.175018	70.552366
	17:26:04	0.3334	0.5774	350.097504	201.436188	305.655029	70.321234
	17:26:23	0.6500	0.8062	350.097504	200.370392	297.135010	69.974536
	17:26:52	1.1334	1.0646	350.097504	200.903290	290.212524	69.566656
	17:27:11	1.4501	1.2042	350.097504	200.903290	287.017517	69.333258
	17:27:36	1.8667	1.3663	350.097504	200.903290	284.355011	69.061338
	17:28:18	2.5668	1.6021	350.097504	200.903290	280.627502	68.648926
	17:29:44	4.0000	2.0000	350.097504	200.903290	274.929779	67.946466
	17:31:21	5.6167	2.3700	350.097504	200.903290	270.510010	67.277996
	17:33:52	8.1334	2.8519	350.097504	200.903290	265.185028	66.416916
	17:37:30	11.7667	3.4303	350.097504	200.903290	259.327515	65.408546
	17:43:44	18.0000	4.2426	350.097504	200.370392	251.499771	64.060276
	17:50:44	25.0000	5.0000	350.097504	200.903290	245.482513	62.897818
	18:01:44	36.0000	6.0000	350.097504	200.530258	237.495010	61.556346
	18:17:44	52.0000	7.2111	350.097504	200.263809	228.975006	59.929358
	18:40:44	75.0000	8.6603	350.097504	199.837494	220.455017	58.168676
	19:14:44	109.0000	10.4403	350.097504	199.464462	212.467514	56.451048
	19:44:44	139.0000	11.7898	350.097504	199.837494	208.207504	55.812036
	20:23:44	178.0000	13.3417	350.097504	199.997360	205.012512	55.313516
	21:12:44	227.0000	15.0665	350.097504	200.370392	202.882507	54.921499
	22:16:44	291.0000	17.0587	349.562988	199.837494	201.444763	54.660908
	23:37:44	372.0000	19.2873	349.562988	199.837494	200.752518	54.407116
4/6/2006	2:23:44	538.0001	23.1948	349.028503	199.304596	200.220016	54.078546
	6:23:44	778.0001	27.8927	349.028503	199.304596	199.687515	53.829286
	12:11:44	1126.0000	33.5559	349.028503	199.304596	199.687515	53.636676
	17:25:44	1440.0000	37.9473	349.295746	199.464462	199.155014	53.448598
	23:25:44	1800.0000	42.4264	348.493988	199.304596	199.155014	53.448598
	5:25:44	2160.0000	46.4758	348.654358	199.304596	199.314758	53.387416
	11:25:44	2520.0000	50.1996	349.028503	199.571045	199.155014	53.330766





DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis | Location : Bangna-Trad Rd. (km.125) | Borehole no. 3 | Water Content, ω_n : 87.13 % | Test no. 4

Tested by Mr.Weerah Saksuphan | Date : 9 June 2006 | Sample no. ST 5 | Total Unit Weight, γ_t : 1.479 g/cm^3. | Job no. TX_SHE_04

Volume after Consolidated, V_c : 53.331 ml. | Height after Consolidated, H_c : 65.20 mm. | Sample no. 2 | Initial Void Ratio, e_0 : 2.379 | Strain Rate: 0.0069 mm. per min

Sample Area before Shear, A_c : 8.180 cm^2. | Depth. 7.5 - 8.0 m. | Specific Gravity, G_s : 2.670 | Strain Rate: 0.0106 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.00	0.0000	0.00000	350.098	200.753	208.944	0.000	-16.458	0.000	8.180	0.000	149.345	149.345	149.345	149.345	149.345	149.345	0.000	0.000	-
10.00	0.0654	0.00100	350.098	200.753	210.734	1.791	-16.451	12.115	8.188	14.796	164.141	149.345	162.350	147.554	154.277	152.486	0.099	0.013	0.121
20.00	0.1391	0.00213	350.098	200.753	217.001	8.057	-16.451	23.140	8.197	28.230	177.575	149.345	169.517	141.288	158.755	150.697	0.189	0.061	0.285
30.00	0.2045	0.00314	350.098	200.753	222.373	13.429	-16.451	30.411	8.205	37.063	186.408	149.345	172.978	135.916	161.699	148.270	0.248	0.105	0.362
40.00	0.2740	0.00420	350.098	200.753	226.401	17.458	-16.458	36.425	8.214	44.344	193.689	149.345	176.231	131.887	164.126	146.669	0.297	0.141	0.394
50.00	0.3436	0.00527	350.098	200.753	230.117	21.173	-16.451	39.879	8.223	48.497	197.842	149.345	176.669	128.172	165.511	144.337	0.325	0.176	0.437
60.00	0.4103	0.00629	350.098	200.753	233.116	24.172	-16.451	42.139	8.231	51.192	200.537	149.345	176.365	125.173	166.409	142.237	0.343	0.207	0.472
70.00	0.4799	0.00736	350.098	200.753	235.802	26.858	-16.451	44.763	8.240	54.322	203.667	149.345	176.808	122.487	167.452	140.594	0.364	0.235	0.494
80.00	0.5453	0.00836	350.098	200.753	238.040	29.096	-16.451	46.983	8.249	56.958	206.303	149.345	177.207	120.249	168.331	139.235	0.381	0.260	0.511
90.00	0.6190	0.00949	350.098	200.753	239.831	30.887	-16.451	49.309	8.258	59.711	209.056	149.345	178.169	118.458	169.248	138.362	0.400	0.280	0.517
100.00	0.6816	0.01045	350.258	200.753	242.069	33.125	-16.451	51.077	8.266	61.791	211.297	149.505	178.172	116.380	170.102	136.977	0.413	0.306	0.536
110.00	0.7539	0.01156	350.098	200.753	243.859	34.916	-16.451	53.125	8.275	64.197	213.542	149.345	178.626	114.429	170.744	135.828	0.430	0.329	0.544
120.00	0.8235	0.01263	350.098	200.753	245.202	36.259	-16.451	55.637	8.284	67.160	216.505	149.345	180.246	113.086	171.732	135.473	0.450	0.346	0.540
130.00	0.8902	0.01365	350.098	200.753	246.545	37.601	-16.451	57.229	8.293	69.010	218.355	149.345	180.753	111.744	172.348	134.747	0.462	0.363	0.545
140.00	0.9598	0.01472	350.098	200.753	247.888	38.944	-16.447	58.342	8.302	70.276	219.621	149.345	180.677	110.401	172.770	133.826	0.471	0.381	0.554
160.00	1.0989	0.01685	350.258	200.753	250.574	41.630	-16.451	60.481	8.320	72.695	222.200	149.505	180.570	107.875	173.737	132.107	0.486	0.418	0.573
180.00	1.2269	0.01882	350.098	200.753	252.812	43.868	-16.451	62.534	8.337	75.012	224.357	149.345	180.489	105.477	174.349	130.481	0.502	0.451	0.585
200.00	1.3660	0.02095	350.525	200.753	255.050	46.107	-16.447	64.068	8.355	76.685	226.458	149.773	180.351	103.666	175.334	129.228	0.512	0.483	0.601
220.00	1.4981	0.02298	350.098	200.753	256.841	47.897	-16.447	65.002	8.372	77.642	226.987	149.345	179.090	101.448	175.226	127.329	0.520	0.514	0.617
240.00	1.6344	0.02507	350.098	200.753	258.631	49.688	-16.440	66.138	8.390	78.830	228.175	149.345	178.487	99.657	175.622	125.934	0.528	0.543	0.630
260.00	1.7833	0.02735	350.098	200.753	259.974	51.031	-16.451	67.178	8.410	79.882	229.227	149.345	178.196	98.314	175.972	124.942	0.535	0.566	0.639
280.00	1.9224	0.02948	350.098	200.753	261.317	52.373	-16.447	68.095	8.428	80.795	230.140	149.345	177.766	96.972	176.276	123.903	0.541	0.590	0.648
300.00	2.0656	0.03168	350.632	200.753	263.108	54.164	-16.447	68.950	8.447	81.624	231.503	149.879	177.339	95.716	177.087	122.923	0.545	0.619	0.664
320.00	2.2117	0.03392	350.098	200.753	264.361	55.417	-16.440	69.886	8.467	82.541	231.886	149.345	176.468	93.928	176.859	121.441	0.553	0.646	0.671
340.00	2.3577	0.03616	350.632	200.753	265.346	56.402	-16.440	70.726	8.487	83.339	233.218	149.879	176.816	93.477	177.659	121.257	0.556	0.661	0.677
360.00	2.5066	0.03845	350.098	200.753	266.689	57.745	-16.440	71.562	8.507	84.124	233.469	149.345	175.724	91.600	177.386	119.641	0.563	0.692	0.686
380.00	2.6499	0.04064	350.098	200.753	267.718	58.775	-16.440	72.098	8.526	84.561	233.906	149.345	175.131	90.570	177.532	118.757	0.566	0.713	0.695

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis		Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)		Borehole no. 3	Water Content, ω_n : 87.13 %		Test no. 4
Tested by Mr.Weerah Saksuphan		Date : 9 June 2006		Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.479 g/cm^3.		Job no. TX_SHE_04
Volume after Consolidated, V_c : 53.331 ml.		Height after Consolidated, H_c : 65.20 mm.		Sample no. 2	Initial Void Ratio, e_0 : 2.379		Strain Rate: 0.0069 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.180 cm^2.				Depth. 7.5 - 8.0 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670		Strain Rate: 0.0106 % per min

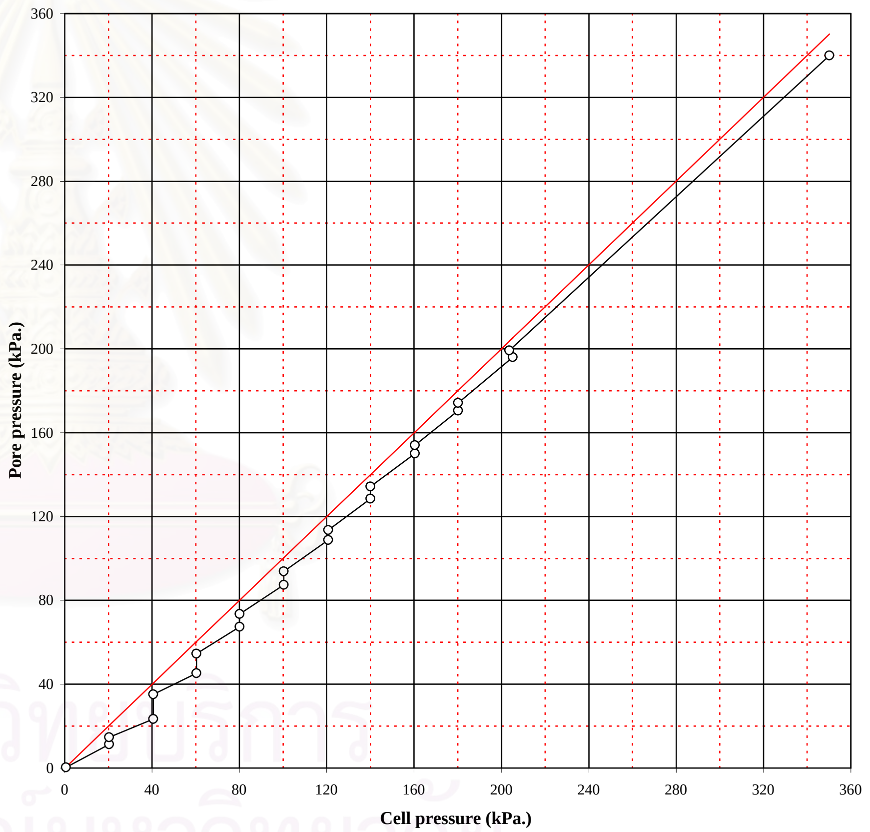
Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
400.00	2.7890	0.04278	350.525	200.753	268.927	59.983	-16.440	72.438	8.545	84.771	234.543	149.773	174.560	89.789	178.029	118.046	0.566	0.735	0.708
420.00	2.9281	0.04491	350.098	200.753	269.822	60.878	-16.440	73.278	8.564	85.562	234.907	149.345	174.029	88.466	177.866	116.987	0.573	0.758	0.712
440.00	3.0699	0.04709	350.525	200.753	271.165	62.221	-16.440	73.918	8.584	86.113	235.886	149.773	173.664	87.551	178.477	116.256	0.575	0.784	0.723
480.00	3.3523	0.05142	350.098	200.753	272.642	63.699	-16.435	74.557	8.623	86.462	235.807	149.345	172.109	85.646	178.166	114.467	0.579	0.822	0.737
520.00	3.6333	0.05573	350.098	200.753	274.299	65.355	-16.435	75.638	8.662	87.318	236.663	149.345	171.308	83.990	178.451	113.096	0.585	0.862	0.748
560.00	3.9018	0.05984	350.098	200.753	275.641	66.698	-16.435	76.237	8.700	87.625	236.970	149.345	170.273	82.647	178.553	111.856	0.587	0.896	0.761
600.00	4.2008	0.06443	350.098	200.753	277.432	68.488	-16.435	77.022	8.743	88.096	237.441	149.345	168.952	80.857	178.710	110.222	0.590	0.943	0.777
660.00	**4.6209**	**0.07087**	**350.098**	**200.753**	**279.223**	**70.279**	**-16.429**	**77.621**	**8.804**	**88.169**	**237.514**	**149.345**	**167.235**	**79.066**	**178.735**	**108.456**	**0.590**	**0.992**	**0.797**
700.00	4.8963	0.07510	350.098	200.753	280.118	71.174	-16.429	77.851	8.844	88.028	237.373	149.345	166.199	78.171	178.688	107.514	0.589	1.017	0.809
740.00	5.1773	0.07941	350.098	200.753	281.013	72.069	-16.429	77.851	8.885	87.618	236.963	149.345	164.894	77.276	178.551	106.482	0.587	1.043	0.823
780.00	5.4597	0.08374	350.098	200.753	282.266	73.323	-16.435	77.851	8.927	87.206	236.551	149.345	163.228	76.022	178.414	105.091	0.584	1.081	0.841
820.00	5.7309	0.08790	350.098	200.753	283.251	74.308	-16.429	77.851	8.968	86.810	236.155	149.345	161.847	75.037	178.282	103.974	0.581	1.112	0.856
860.00	6.0049	0.09210	350.098	200.753	284.057	75.113	-16.429	77.593	9.009	86.124	235.469	149.345	160.355	74.232	178.053	102.940	0.577	1.137	0.872
900.00	6.2665	0.09611	350.098	200.753	284.728	75.785	-16.429	77.472	9.049	85.610	234.955	149.345	159.170	73.560	177.882	102.097	0.573	1.159	0.885
940.00	6.5335	0.10021	350.098	200.753	285.489	76.546	-16.435	77.472	9.091	85.222	234.567	149.345	158.021	72.799	177.752	101.206	0.571	1.185	0.898
980.00	6.8089	0.10443	350.098	200.753	286.295	77.351	-16.429	77.472	9.134	84.822	234.167	149.345	156.815	71.993	177.619	100.267	0.568	1.212	0.912
1020.00	7.1038	0.10896	350.098	200.753	286.832	77.889	-16.429	77.766	9.180	84.713	234.058	149.345	156.170	71.456	177.583	99.694	0.567	1.231	0.919
1060.00	7.3890	0.11333	349.563	200.753	287.280	78.336	-16.429	78.051	9.225	84.606	233.417	148.810	155.081	70.474	177.013	98.676	0.569	1.258	0.938
1100.00	7.6783	0.11777	349.830	200.753	287.728	78.784	-16.429	77.766	9.272	83.876	232.953	149.078	154.170	70.294	177.036	98.252	0.563	1.269	0.945
1140.00	7.9496	0.12193	349.991	200.753	288.533	79.590	-16.429	77.766	9.315	83.480	232.718	149.238	153.129	69.648	177.065	97.475	0.559	1.295	0.956
1180.00	8.2278	0.12619	350.098	200.753	289.071	80.127	-16.429	77.766	9.361	83.075	232.420	149.345	152.293	69.218	177.036	96.910	0.556	1.313	0.965
1220.00	8.4990	0.13035	350.098	200.753	289.518	80.574	-16.429	77.766	9.406	82.679	232.024	149.345	151.450	68.771	176.905	96.330	0.554	1.330	0.975
1260.00	8.7730	0.13456	350.098	200.753	289.966	81.022	-16.429	77.766	9.451	82.279	231.624	149.345	150.602	68.323	176.771	95.749	0.551	1.347	0.985
1340.00	9.3920	0.14405	350.098	200.753	290.861	81.917	-16.429	77.170	9.556	80.753	230.098	149.345	148.181	67.428	176.263	94.345	0.541	1.383	1.014
1400.00	9.8066	0.15041	349.991	200.753	291.756	82.813	-16.417	77.945	9.628	80.958	230.196	149.238	147.383	66.425	176.224	93.411	0.542	1.422	1.026
1460.00	10.2127	0.15664	350.098	200.753	292.204	83.260	-16.417	77.766	9.699	80.180	229.525	149.345	146.265	66.085	176.072	92.811	0.537	1.438	1.038
1520.00	10.6231	0.16293	350.098	200.753	292.652	83.708	-16.413	77.766	9.772	79.582	228.927	149.345	145.219	65.637	175.872	92.164	0.533	1.457	1.052

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SATURATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location :	Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	1	Natuaral Water Content, w_n :	87.81 %	Test no.	5
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date :	24 June 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.479 g/cm.^{3}	File name	TX_05
Diameter	34.983 mm.	Initial height	70.000 mm.	Part no.	1	Degree of Saturated, S :	98.07 %	Job no.	TX_SAT_05
Volume	67.284 mm.^{3}	Sample weight	99.510 gm.	Depth	9.0 -9.5 m.	Specific Gravity, G_S :	2.670	Sheet no.	1 / 3

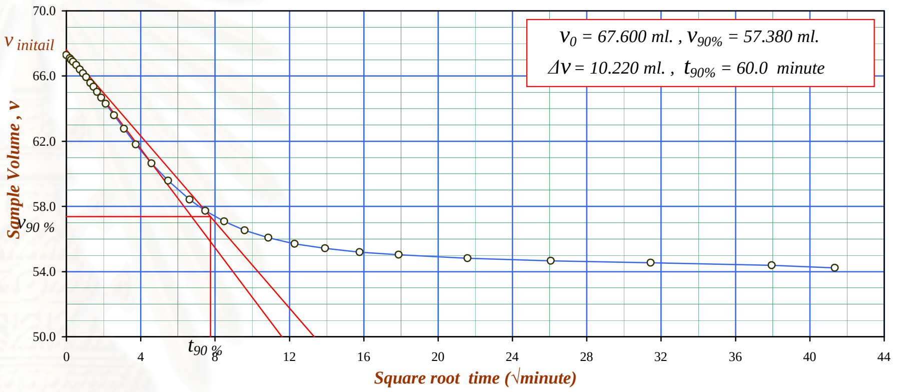
date	time	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	PWP diff (kPa.)	B parameter
24/6/2006	1:28:00	0.53	0.53	0.27	-	-
	1:29:00	20.31	-	11.25	10.98	0.555
	1:40:00	20.31	15.44	14.65	-	-
	1:41:00	40.52	-	23.45	8.80	0.435
	1:55:00	40.52	35.15	35.17	-	-
	1:56:00	60.29	-	45.30	10.13	0.512
	2:30:00	60.29	55.38	54.62	-	-
	2:31:00	80.07	-	67.31	12.69	0.642
	2:49:00	80.07	75.08	73.54	-	-
	2:50:00	100.38	-	87.40	13.86	0.682
	3:10:00	100.38	95.21	93.79	-	-
	3:11:00	120.69	-	108.87	15.08	0.742
	3:20:00	120.69	115.02	113.51	-	-
	3:21:00	140.04	-	128.44	14.93	0.772
	3:30:00	140.04	135.79	134.29	-	-
	3:31:00	160.35	-	150.00	15.71	0.774
	3:40:00	160.35	155.49	154.01	-	-
	3:41:00	180.13	-	170.53	16.52	0.835
	3:50:00	180.13	175.73	174.26	-	-
	3:51:00	205.25	-	196.11	21.85	0.870
26/6/2006	10:41:00	203.64	200.22	199.30	-	-
	10:42:00	350.26	-	339.99	140.69	0.960

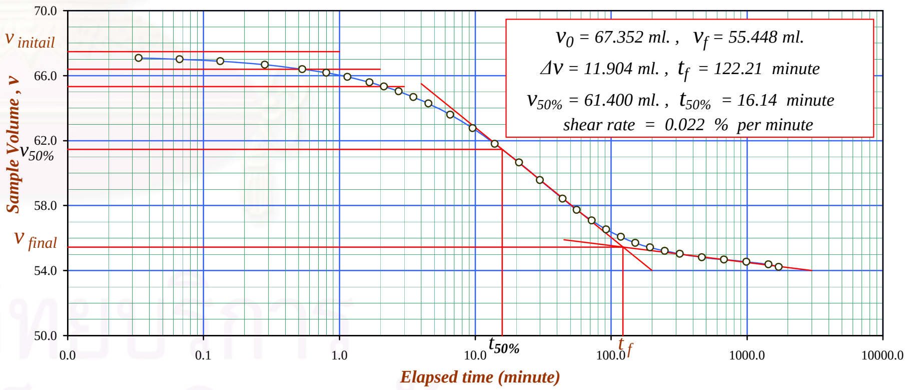


DATA SHEET TRIAXIAL CONSOLIDATION PROCEDURE

Project :	Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no.	1	Water Content, ω_n :	87.81 %	Sample Height at Initial State, H_0 :	70.00 mm.	Test no.	5
Tested by	Mr.Weerah Saksuphan	Date : 26 June 2006	Sample no.	ST 5	Total Unit Weight, γ_t :	1.479 g/cm^3.	Sample Height at Final Consolidated, H_c :	64.05 mm.	File Name	TX_05
Applied Cell Pressure	204.860 kPa. To 350.632 kPa.		Part no.	1	Initial Void Ratio, e_0 :	2.391	Change in Height after Consolidated, ΔH_c :	5.95 mm.	Job no.	TX_CON_05
Applied Back Pressure	200.753 kPa.		Depth	9.0 -9.5 m.	Specific Gravity, G_s :	2.670	Sample Volume before Consolidation, V_s :	67.28 ml.	Sheet no.	2 / 3

date (mm/dd/yy)	time (hh:mm:ss)	elapsed time (minute)	square time (√minute)	cell pressure (kPa.)	back pressure (kPa.)	pore pressure (kPa.)	volume changed (ml.)
26/6/2006	11:06:21	0.0000	0.0000	350.631989	200.752518	336.259888	67.283767
	11:06:23	0.0334	0.1827	351.700989	201.817505	334.661194	67.086625
	11:06:25	0.0667	0.2583	350.631989	201.285004	323.470276	67.000517
	11:06:29	0.1334	0.3652	350.631989	201.285004	309.348450	66.875887
	11:06:38	0.2834	0.5323	350.631989	201.285004	294.160797	66.671947
	11:06:53	0.5334	0.7303	350.631989	201.285004	282.596863	66.400027
	11:07:09	0.8000	0.8945	350.631989	201.285004	276.042175	66.168895
	11:07:30	1.1500	1.0724	350.631989	201.285004	270.713196	65.919635
	11:08:01	1.6667	1.2910	350.525116	201.285004	265.384186	65.584267
	11:08:29	2.1334	1.4606	350.364746	201.285004	262.346649	65.330475
	11:09:05	2.7333	1.6533	350.097504	201.285004	259.522278	65.029097
	11:09:52	3.5167	1.8753	350.257843	201.285004	256.324890	64.677867
	11:10:52	4.5167	2.1252	350.097504	201.551254	253.287354	64.288115
	11:12:55	6.5667	2.5626	350.097504	201.817505	248.864288	63.590187
	11:15:55	9.5667	3.0930	350.097504	201.817505	243.535294	62.763097
	11:20:17	13.9333	3.7327	350.097504	201.817505	238.206284	61.804579
	11:27:21	21.0000	4.5826	349.830261	201.817505	231.438461	60.648919
	11:36:21	30.0000	5.4772	349.562988	201.817505	225.416687	59.572569
	11:50:21	44.0000	6.6332	350.097504	202.350006	219.554794	58.423707
	12:02:21	56.0000	7.4833	350.097504	202.350006	215.824493	57.737109
	12:18:21	72.0000	8.4853	349.562988	201.817505	211.561295	57.079969
	12:38:21	92.0000	9.5917	350.097504	202.350006	209.056656	56.531597
	13:04:21	118.0000	10.8628	349.562988	201.817505	206.232285	56.071599
	13:37:21	151.0000	12.2882	349.562988	202.350006	204.633591	55.704507
	14:20:21	194.0000	13.9284	349.562988	202.350006	203.727661	55.421257
	15:15:21	249.0000	15.7797	349.562988	201.977264	203.034897	55.199189
	16:26:21	320.0000	17.8885	349.562988	202.350006	202.768448	55.029238
	18:52:21	466.0000	21.5870	349.562988	201.817505	201.969086	54.813969
	22:25:21	679.0000	26.0576	349.562988	202.350006	201.969086	54.666679
27/6/2006	3:35:21	989.0000	31.4484	348.493988	201.285004	200.903290	54.537517
	11:06:21	1440.0000	37.9473	349.028503	201.444763	201.329605	54.378896
	15:36:21	1710.0000	41.3521	350.097504	199.687515	199.837494	54.220277





DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis	Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)	Borehole no. 1	Water Content, ω_n : 87.81 %	Test no.	5
Tested by Mr.Weerah Saksuphan	Date : 27 June 2006	Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.479 g/cm^3.	Job no.	TX_SHE_05
Volume after Consolidated, V_c : 54.220 ml.	Height after Consolidated, H_c : 64.05 mm.	Sample no. 1	Initial Void Ratio, e_0 : 2.391	Strain Rate:	6.2895 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.466 cm^2.		Depth. 9.0 -9.5 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670	Strain Rate:	9.820 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.00	0.0000	0.00000	350.098	200.220	201.170	0.000	-9.320	0.000	8.466	0.000	149.877	149.877	149.877	149.877	149.877	149.877	0.000	0.000	-
0.03	0.1294	0.00202	350.098	200.220	201.392	0.223	-9.325	16.771	8.483	19.771	169.648	149.877	169.425	149.655	156.468	156.245	0.132	0.001	0.011
0.05	0.2365	0.00369	350.098	200.220	201.749	0.579	-9.320	32.698	8.497	38.480	188.358	149.877	187.779	149.298	162.704	162.125	0.257	0.004	0.015
0.07	0.3269	0.00510	350.098	200.220	202.729	1.559	-9.320	43.372	8.509	50.970	200.848	149.877	199.288	148.318	166.868	165.308	0.340	0.011	0.031
0.08	0.4284	0.00669	350.098	200.220	204.511	3.341	-9.325	51.001	8.523	59.840	209.718	149.877	206.376	146.536	169.824	166.483	0.399	0.023	0.056
0.10	0.5328	0.00832	350.098	200.220	206.204	5.034	-9.320	55.478	8.537	64.986	214.864	149.877	209.830	144.843	171.540	166.505	0.434	0.035	0.077
0.12	0.6440	0.01006	350.098	200.220	207.630	6.460	-9.325	60.224	8.552	70.421	220.299	149.877	213.839	143.418	173.351	166.891	0.470	0.045	0.092
0.13	0.7553	0.01179	350.098	200.220	209.412	8.242	-9.325	63.486	8.567	74.106	223.983	149.877	215.741	141.636	174.579	166.338	0.494	0.059	0.111
0.15	0.8624	0.01347	350.098	200.220	210.882	9.712	-9.325	65.858	8.581	76.745	226.622	149.877	216.910	140.165	175.459	165.747	0.512	0.070	0.127
0.15	0.8624	0.01347	350.098	200.220	210.882	9.712	-9.325	65.858	8.581	76.745	226.622	149.877	216.910	140.165	175.459	165.747	0.512	0.070	0.127
0.17	0.9667	0.01509	350.098	200.220	212.530	11.360	-9.320	68.231	8.596	79.378	229.256	149.877	217.896	138.517	176.337	164.977	0.530	0.083	0.143
0.18	1.0780	0.01683	350.098	200.220	213.867	12.697	-9.320	70.426	8.611	81.787	231.665	149.877	218.968	137.181	177.140	164.443	0.546	0.093	0.155
0.20	1.1935	0.01863	350.098	200.220	215.337	14.167	-9.320	72.502	8.627	84.044	233.921	149.877	219.754	135.710	177.892	163.725	0.561	0.105	0.169
0.22	1.2978	0.02026	350.098	200.220	216.985	15.815	-9.325	73.578	8.641	85.149	235.027	149.877	219.211	134.062	178.261	162.445	0.568	0.119	0.186
0.23	1.4091	0.02200	350.098	200.220	218.322	17.152	-9.320	75.357	8.656	87.054	236.931	149.877	219.780	132.726	178.895	161.744	0.581	0.130	0.197
0.25	1.5204	0.02374	350.098	200.220	219.658	18.488	-9.320	76.543	8.672	88.267	238.145	149.877	219.656	131.389	179.300	160.811	0.589	0.142	0.209
0.28	1.7457	0.02726	350.098	200.220	222.331	21.161	-9.325	79.212	8.703	91.016	240.893	149.877	219.732	128.716	180.216	159.055	0.607	0.166	0.233
0.30	1.8612	0.02906	350.098	200.220	223.356	22.186	-9.325	80.280	8.719	92.072	241.949	149.877	219.763	127.691	180.568	158.382	0.614	0.175	0.241
0.32	1.9683	0.03073	350.098	200.220	224.559	23.389	-9.320	81.337	8.734	93.123	243.001	149.877	219.612	126.489	180.919	157.530	0.621	0.186	0.251
0.33	2.0795	0.03247	350.098	200.220	225.895	24.726	-9.320	81.882	8.750	93.579	243.456	149.877	218.731	125.152	181.070	156.345	0.624	0.199	0.264
0.35	2.1908	0.03421	350.098	200.220	226.786	25.617	-9.320	83.230	8.766	94.949	244.826	149.877	219.210	124.261	181.527	155.911	0.634	0.208	0.270
0.38	2.4134	0.03768	350.098	200.220	229.147	27.978	-9.320	84.918	8.797	96.526	246.403	149.877	218.426	121.900	182.053	154.075	0.644	0.231	0.290
0.40	2.5177	0.03931	350.098	200.220	230.350	29.181	-9.325	85.926	8.812	97.507	247.384	149.877	218.204	120.697	182.380	153.199	0.651	0.244	0.299
0.43	2.7375	0.04274	350.098	200.220	232.266	31.096	-9.320	87.870	8.844	99.356	249.233	149.877	218.137	118.781	182.996	151.900	0.663	0.264	0.313
0.47	2.9670	0.04633	350.098	200.220	234.360	33.190	-9.320	88.827	8.877	100.062	249.940	149.877	216.750	116.687	183.232	150.042	0.668	0.287	0.332
0.50	3.1965	0.04991	350.098	200.220	236.142	34.972	-9.320	90.186	8.911	101.211	251.089	149.877	216.116	114.905	183.615	148.642	0.675	0.307	0.346
0.55	3.5582	0.05556	350.098	200.220	238.815	37.645	-9.325	91.372	8.964	101.933	251.810	149.877	214.165	112.232	183.855	146.210	0.680	0.338	0.369

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA SHEET TRIAXIAL SHEAR PROCEDURE

Project : Master Thesis		Location : Bangna-Trad Rd. (km.125)		Borehole no. 1	Water Content, ω_n : 87.81 %		Test no. 5
Tested by Mr.Weerah Saksuphan		Date : 27 June 2006		Sample no. ST 5	Total Unit Weight, γ_t : 1.479 g/cm^3.		Job no. TX_SHE_05
Volume after Consolidated, V_c : 54.220 ml.		Height after Consolidated, H_c : 64.05 mm.		Sample no. 1	Initial Void Ratio, e_0 : 2.391		Strain Rate: 6.2895 mm. per min
Sample Area before Shear, A_c : 8.466 cm^2.				Depth. 9.0 -9.5 m.	Specific Gravity, G_s : 2.670		Strain Rate: 9.820 % per min

Test Duration (minute)	Defor mation, ΔH (mm.)	Axial Strain, ε_a (unit)	Cell Pressure, σ_c (kPa.)	Back Pressure, u_b (kPa.)	Pore Water Pressure, u_w (kPa.)	Access PWP, Δu (kPa.)	Volume Changed, ΔV (ml.)	Axial Force, F (N.)	Correced Area, A_c (cm^2.)	Deviator Stress, q (kPa.)	Major Principle Stress, σ_1 (kPa.)	Minor Principle Stress, σ_3 (kPa.)	Eff. Major Principle Stress, σ'_1 (kPa.)	Eff. Minor Principle Stress, σ'_3 (kPa.)	Mean Stress, p (kPa.)	Mean Eff. Stress, p' (kPa.)	Normalised Deviator Stress, q/σ'_c	Normalised Access PWP, $\Delta u/\sigma'_c$	Skemton's PWP Parameter A
0.58	**3.7946**	**0.05925**	**350.258**	**200.220**	**240.151**	**38.982**	**-9.325**	**91.968**	**8.999**	**102.197**	**252.234**	**150.038**	**213.253**	**111.056**	**184.103**	**145.122**	**0.681**	**0.354**	**0.381**
0.62	4.0339	0.06298	350.098	200.220	241.933	40.764	-9.325	91.968	9.035	101.791	251.668	149.877	210.905	109.114	183.808	143.044	0.679	0.377	0.400
0.65	4.2745	0.06674	350.098	200.220	243.270	42.100	-9.325	91.968	9.071	101.383	251.260	149.877	209.160	107.777	183.672	141.572	0.676	0.394	0.415
0.67	4.3886	0.06852	350.258	200.220	243.849	42.679	-9.320	92.878	9.089	102.191	252.229	150.038	209.550	107.359	184.102	141.422	0.681	0.401	0.418
0.70	4.6181	0.07211	350.258	200.220	245.186	44.016	-9.320	92.878	9.124	101.798	251.836	150.038	207.820	106.022	183.970	139.955	0.678	0.419	0.432
0.73	4.8449	0.07565	350.258	200.220	246.388	45.219	-9.325	93.012	9.159	101.555	251.593	150.038	206.374	104.819	183.890	138.671	0.677	0.435	0.445
0.78	5.1996	0.08119	350.258	200.220	248.170	47.001	-9.320	93.012	9.214	100.947	250.985	150.038	203.984	103.037	183.687	136.686	0.673	0.460	0.466
0.82	5.4319	0.08481	350.258	200.220	249.061	47.892	-9.320	93.012	9.250	100.548	250.586	150.038	202.694	102.146	183.554	135.662	0.670	0.473	0.476
0.85	5.6655	0.08846	350.098	200.220	249.952	48.783	-9.320	93.012	9.287	100.147	250.025	149.877	201.242	101.095	183.260	134.477	0.668	0.487	0.487
0.88	5.8951	0.09204	350.258	200.220	250.621	49.451	-9.325	93.012	9.324	99.754	249.792	150.038	200.341	100.587	183.289	133.838	0.665	0.496	0.496
0.90	6.0022	0.09372	350.098	200.220	250.843	49.674	-9.320	93.012	9.341	99.570	249.447	149.877	199.774	100.204	183.067	133.394	0.664	0.500	0.499
0.93	6.2359	0.09737	350.258	200.220	251.512	50.342	-9.320	93.012	9.379	99.169	249.207	150.038	198.865	99.696	183.094	132.752	0.661	0.510	0.508
0.97	6.4723	0.10106	350.258	200.114	252.180	51.010	-9.320	92.917	9.418	98.662	248.807	150.144	197.797	99.134	183.032	132.022	0.657	0.520	0.517
1.00	6.7116	0.10479	350.098	200.220	252.626	51.456	-9.325	92.917	9.457	98.252	248.130	149.877	196.674	98.422	182.628	131.173	0.656	0.528	0.524
1.05	7.0496	0.11007	350.258	200.220	253.427	52.258	-9.320	92.917	9.513	97.673	247.711	150.038	195.453	97.780	182.596	130.338	0.651	0.540	0.535
1.08	7.2749	0.11359	350.258	200.220	253.739	52.570	-9.325	92.917	9.551	97.287	247.325	150.038	194.755	97.468	182.467	129.897	0.648	0.545	0.540
1.12	7.5086	0.11724	350.098	200.220	254.096	52.926	-9.325	91.550	9.590	95.461	245.339	149.877	192.413	96.952	181.698	128.772	0.637	0.551	0.554
1.15	7.7451	0.12093	350.258	200.220	254.408	53.238	-9.320	91.550	9.631	95.062	245.100	150.038	191.862	96.800	181.725	128.487	0.634	0.555	0.560
1.17	7.8633	0.12278	350.098	200.220	254.541	53.371	-9.320	91.550	9.651	94.862	244.740	149.877	191.368	96.506	181.498	128.127	0.633	0.559	0.563
1.20	8.0956	0.12640	350.258	200.220	254.853	53.683	-9.320	91.550	9.691	94.470	244.508	150.038	190.825	96.355	181.528	127.845	0.630	0.563	0.568
1.23	8.3390	0.13021	350.258	200.220	254.987	53.817	-9.320	90.075	9.733	92.544	242.582	150.038	188.765	96.221	180.886	127.069	0.617	0.565	0.582
1.28	8.7007	0.13585	350.098	200.220	255.299	54.129	-9.320	90.075	9.797	91.943	241.821	149.877	187.692	95.749	180.525	126.396	0.613	0.571	0.589
1.32	8.9372	0.13954	350.258	200.220	255.299	54.129	-9.320	90.075	9.839	91.550	241.588	150.038	187.460	95.909	180.555	126.426	0.610	0.570	0.591
1.35	9.1806	0.14335	350.098	200.220	255.299	54.129	-9.320	88.592	9.883	89.646	239.523	149.877	185.394	95.749	179.759	125.631	0.598	0.571	0.604
1.38	9.4004	0.14678	350.098	200.220	255.655	54.485	-9.325	88.592	9.922	89.286	239.164	149.877	184.679	95.392	179.640	125.154	0.596	0.577	0.610
1.40	9.5186	0.14862	350.258	200.220	255.744	54.574	-9.320	88.592	9.944	89.093	239.131	150.038	184.557	95.464	179.736	125.161	0.594	0.577	0.613
1.43	9.7440	0.15214	350.098	200.220	255.744	54.574	-9.320	86.237	9.985	86.366	236.243	149.877	181.669	95.303	178.666	124.092	0.576	0.578	0.632

ภาคผนวก ค.

แบบจำลอง oned_vepmk ภายใต้โครงสร้างแบบจำลองไฮเปอร์พลาสติกสำหรับวัสดุขึ้นกับอัตรา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
%Rate-dependent kinematic hardening hyperplasticity model
%Multi yield surfaces
%
%Created on August, 2006 by S. Likitlersuang & W. Saksuphan
%
%Created an abbreviation of parameter
%stress = sig, d_stress = dsig
%strain = eps, d_strain = deps
%plastic_parameter = alpp, d_plastic_parameter = dalpp
%time step = dt
%
%Material parameters
%n = number of yield surface
%G = Shear modulus
%H(i) = 1-i/n)^bp/(2*(aq-1)) *3*G , Hardening function
%k(i) = k0+(k1-k0)*i/n, Yield criteria
%mu = viscosity coefficient
%
%Input variable
%inc_sig = Incremental stress
%inc_eps = Incremental strain
%
%Potential functions
%g = energy functon
%w(i) = flow potential
%
%Mathematics
%mac() = macaulay bracket < >
%EE*deps+SS*dsig=TT*dt (Rate-dependent algorithm
%------------------------------------------------------------------------
clear;
%Mathematic expression
mac = inline('(x+abs(x))/2');
%Model parameters
n = 10;
gx = 28;
pc = 150;
G = gx*pc;
bq = 2.5;
aq = 1.077;
k0 = 10;
k1 = 90;
mu = 0.95;
for i = 1:1:n,
   H(i) = (1-i/n)^bq/(2*(aq-1))*3*G;
   k(i) = k0+(k1-k0)*(i/n);
end
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
%Initial values
sig = 0; dsig = 0;
eps = 0; deps = 0;
alpp = zeros(n,1); dalpp = zeros(n,1);
sgalpp = zeros(n,1);
LH = 0; RH = 0;
%testing programme
ntest = 1;
nstep = [25000;500;1000];
EE = [1;1;1]; %strain-control matrix
SS = [0;0;0]; %stres-control matrix
TT = [0.00636;-1;1]; %Time-control vector
dt = [0.0001;0.001;0.001]; %time step
%Calculation
for itest = 1:1:ntest,
  for istep = 1:1:nstep(itest),
    g = -sig^2/(2*(3*G))-sig*sum(alpp)/n+sum(H'.*(alpp.^2))/(2*n);
    chi = sig-(H'.*alpp)/n;
    for i=1:1:n,
      w(i) = (mac(abs(chi(i))-k(i)))^2/(2*mu);
      if chi(i) == 0
        sgalpp(i) = 0;
      else
        sgalpp(i) = abs(chi(i))/chi(i);
      end
      dalpp(i) = (mac(abs(chi(i))-k(i)))/mu*sgalpp(i)*dt(itest);
    end
    RH = TT(itest)*dt(itest)-EE(itest)*sum(dalpp)/n;
    LH = SS(itest)+EE(itest)/(3*G);
    dsig = RH/LH;
    deps = dsig/(3*G)+sum(dalpp)/n;
    A(istep,1) = eps*100;
    A(istep,2) = sig;
    sig = sig+dsig;
    epsp = eps*100;
    eps = eps+deps;
    alpp = alpp+dalpp;
    fprintf('%5.0f %8.0f %20.5f %20.5f\n',ntest,istep,epsp,sig)

  end
end
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีระ ศักดิ์สุพรรณ เกิดวันที่ 25 สิงหาคม 2522 ที่อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย