

การเปรียบเทียบค่ากำลังความแข็งแรงของดินภายในสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยวิธี UC, UU, CU และ CD
COMPARISON OF SOIL STRENGTH IN KING MONGKUT'S INSTITUTE
OF TECHNOLOGY LADKRABANG BY UC, UU, CU AND CD METHOD



โดย
นายคณิต ทะนันไชย
นายไพฑูรย์ โพธิ์พุ่ม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 45827
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

b.....
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPARISON OF SOIL STRENGTH IN KING MONGKUT'S INSTITUTE
OF TECHNOLOGY LADKRABANG BY UC, UU, CU AND CD METHOD**



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบค่ากำลังความแข็งแรงของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยวิธี UU, UC, CU และ CD

นักศึกษา นายคณิต ทะนันไชย รหัสประจำตัว 41014575
นายไพฑูรย์ โพธิ์พุ่ม รหัสประจำตัว 41014702

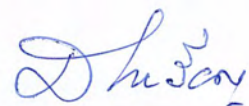
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย

คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.สุวัฒน์ อิศรเศรษฐ์	
ผศ.ดร.สกุล ห่อวโนทยาน	
อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเปรียบเทียบค่ากำลังความแข็งแรงของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยวิธี UC, UU, CU และ CD COMPARISON OF SOIL STRENGTH IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BY UC, UU, CU AND CD METHOD
นักศึกษ	นายคณิต ทะนันไชย นายไพฑูรย์ โพธิ์พุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกภัย
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ค่ากำลังของดินเป็นค่าพื้นฐานที่ต้องทราบ ก่อนออกแบบฐานราก ดังนั้นการหาค่ากำลังของดินที่ตรงตามความเป็นจริงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยการทดสอบหาค่ากำลังของดินนั้นสามารถทำได้หลายวิธีทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการทดสอบ

โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังของดินด้วยการทดสอบวิธี Unconfined Compression, Unconsolidated Undrained, Consolidated Undrained และวิธี Consolidate Drained โดยใช้ตัวอย่างดินในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Title : COMPARISON OF SOIL STRENGTH IN KING MONGKUT'S
INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BY UC, UU, CU
AND CD METHOD

Name : MR.KHANIT TANANCHAI
MR.PAITOON POPUM

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR.SOMKIAT KHWANPRUK

ABSTRACT

Soil strength is a basic value that must be known, before designing foundation. Thus, it is important to know the actual value of soil strength. By testing can be made both in field or in laboratory.

The purpose of this special project is to comparison of soil strength by Unconfined Compression, Unconsolidated Undrained, Consolidated Undrained and Consolidated Drained method. Testings use soil samples in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก อาจารย์สมเกียรติ ขวัญฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้แนวทางคอยให้คำแนะนำ คำวิจารณ์ คอยช่วยเหลือตลอดเวลาการทำงาน และท่านได้เน้นให้ประพฤติตนโดยอุทิศให้กับงาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา นอกเหนือจากวิชาความรู้และปริญญาที่ได้รับ ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์สมเกียรติ ขวัญฤกษ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากอาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์ อาจารย์สกล ห่อวโนทยานในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ มากมายจากท่านและพึงระลึกถึงท่านอยู่เสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งแด่อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร สำหรับความเข้าใจ และคำแนะนำที่มอบให้

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้งแก่คุณทรงกรด โรจน์โมลิก ที่ช่วยสอนผู้ประพันธ์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมโยธาสำหรับคำแนะนำ และขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งแก่รุ่นน้องที่มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ช่วยในการถ่ายและตัดต่อวีดิทัศน์

ขอบคุณเพื่อนภาควิศวกรรมโยธาทุกคนที่ช่วยเหลือ สร้างความสนุกสนาน เป็นกำลังใจตลอดจนแนะแนวทางแก้ปัญหา ขอขอบคุณความผูกพันและความรู้สึกดีๆ ที่มีให้กัน ความร่วมแรงร่วมใจ ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ตลอดระยะเวลาที่ศึกษามาด้วยกันในภาควิชาแห่งนี้

ขอบคุณโครงการพิเศษที่ช่วยให้รู้จักตนเองและคุณค่าของตนจากผลของงาน และท้ายที่สุดนี้คือ บิดา มารดา และพี่สาว ผู้ซึ่งให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน คอยสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน และให้กำลังใจเสมอมา

นายคณิต ทะนันไชย

นายไพฑูรย์ โพธิ์พุ่ม

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฅ
	สารบัญรูป	ฉ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ณ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. นิยาม	4
	2.2. ผลงานวิจัยในอดีต	4
	2.3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
	2.3.1. หลักการของหน่วยแรง	7
	2.3.2. วงกลมของมอร์	9
	2.3.3. กฎการวิบัติของมวลดินของ Mohr และ Coulomb	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.4. การทดสอบ Triaxial ในดินเหนียว	16
	2.3.4.1. การทดสอบแบบ UU	16
	2.3.4.2. การทดสอบแบบ CU	18
	2.3.4.3. การทดสอบแบบ CD	23
	2.3.5. การทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ	23
3	การทดสอบ	
	3.1. กล่าวนำ	25
	3.2. การทดสอบแรงอัด 3 แกน	26
	3.2.1. การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว	26
	3.2.2. การขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน	28
	3.2.3. การกดหรือการเฉือนตัวอย่างดิน	30
	3.2.4. อุปกรณ์การทดสอบ	30
	3.2.5. วิธีการทดสอบ	31
	3.2.5.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน	31
	3.2.5.2. ขั้นตอนการใส่ปลอกยาง	32
	3.2.5.3. ขั้นตอนการเติมน้ำกลับ	33
	3.2.5.4. ขั้นตอนการเตรียม Load Frame และ Triaxial Cell	35
	3.2.5.6. ขั้นตอนการเติมน้ำใน Triaxial Cell	35
	3.2.5.7. ขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ	35
	3.2.5.8. ขั้นตอนการขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน	38
	3.2.5.9. UU Triaxial Test	40
	3.2.5.10. CU Triaxial Test	41
	3.2.5.11. CD Triaxial Test	41
	3.3. การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3.1. อุปกรณ์การทดสอบ	44
	3.3.2. วิธีการทดสอบ	44
	3.3.2.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน	45
	3.3.2.2. ขั้นตอนการกดตัวอย่างดิน	45
4	ผลการทดสอบ	
	4.1. ผลการทดสอบ Specific Gravity Test	46
	4.2. ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test	48
	4.3. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained	50
	4.4. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained Test	52
	4.5. ผลการทดสอบ Consolidated Drained Test	54
5	สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	
	5.1. สรุปผลการทดสอบ	56
	5.1.1. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	56
	5.1.2. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	56
	5.1.3. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	56
	5.1.4. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	56
	5.1.5. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	56
	5.1.6. เปรียบเทียบผลการทดสอบของแต่ละวิธี	60
	5.2. ข้อเสนอแนะ	62
	หนังสืออ้างอิง	63
	ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test	ผก1
	ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	ผข2
	ภาคผนวก ค ผลการทดสอบ Consolidated Undrained Test	ผค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง

หน้า

ภาคผนวก ง ผลการทดสอบ Consolidated Drained Test

ผง1

ภาคผนวก จ รูปแสดงการทดสอบและอุปกรณ์การทดสอบ

ผจ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความลึกประมาณ 2 – 14 เมตร	4
2.2.	แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติต่างๆในชั้นดิน Very Soft To Medium Clay (ความลึกเฉลี่ยประมาณ 14.58 เมตร)	5
2.3.	แสดงค่ากำลังรับแรงของดินที่ได้จากการทดลองโดยวิธีต่างๆ	6
4.1.	ผลการทดลอง Specific Gravity Test	48
4.2.	ผลการทดลอง Unconfined Compression	49
4.3.	ผลการทดลอง Unconsolidated Undrained Test	51
4.4.	ผลการทดลอง Consolidated Undrained Test	53
4.5.	ผลการทดลอง Consolidated Drained Test	55
ผ.ก.1.	ผลการทดสอบ Unconfined Compression ตัวอย่างที่ 1	ผก2
ผ.ก.2.	ผลการทดสอบ Unconfined Compression ตัวอย่างที่ 2	ผก4
ผ.ก.3.	ผลการทดสอบ Unconfined Compression ตัวอย่างที่ 3	ผก6
ผ.ข.1.	ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ตัวอย่างที่ 1	ผข2
ผ.ข.2.	ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ตัวอย่างที่ 2	ผข4
ผ.ข.3.	ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ตัวอย่างที่ 3	ผข7
ผ.ค.1.	ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ตัวอย่างที่ 1	ผค2
ผ.ค.2.	ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ตัวอย่างที่ 2	ผค4
ผ.ค.3.	ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ตัวอย่างที่ 3	ผค6
ผ.ง.1.	ผลการทดสอบ Consolidated Drained ตัวอย่างที่ 1	ผง2
ผ.ง.2.	ผลการทดสอบ Consolidated Drained ตัวอย่างที่ 2	ผง4
ผ.ง.3.	ผลการทดสอบ Consolidated Drained ตัวอย่างที่ 3	ผง7

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แผนภาพและขั้นตอนของการทำงาน	3
2.1.	เปรียบเทียบกำลังของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังจากการทดสอบต่างวิธี	6
2.2.	สภาพของหน่วยแรงที่จุด A ตามแกนอ้างอิง	7
2.3.	สภาพของหน่วยแรงเมื่อพิจารณาในลักษณะ 2 มิติ	12
2.4.	วงกลมของมอร์ (Mohr's Circle)	12
2.5.	การเขียนวงกลมของมอร์เมื่อทราบค่า σ_1 และ σ_3	13
2.6.	กฎการวิบัติของ Mohr และ Coulomb	14
2.7.	กฎของ Mohr และ Coulomb ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล	16
2.8.	ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบแบบ UU ของดินเหนียว อิมตัวด้วยน้ำ (เส้นประเป็นหน่วยแรงประสิทธิผล เส้นเต็มเป็นหน่วยแรงรวม) พร้อมทั้งวงกลมมอร์ของตัวอย่างที่ 2 ระหว่าง การทดสอบจนถึงจุดวิบัติ	17
2.9.	ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบแบบ Consolidated Undrained Triaxial Compression	19
2.10.	ตัวอย่างการทดสอบ CU โดยตัวอย่างถูกอัดตัวด้วยน้ำด้วย $\bar{\sigma}_{vc} \geq \bar{\sigma}_{hc} (\bar{\sigma}_c)$ ก่อนการทดสอบ (Anisotropic Consolidation) ตัวอย่างทั้งสามมี $\bar{\sigma}_{vm}$ เท่ากับ ($\bar{\sigma}_{vc}$ และ $\bar{\sigma}_{hc}$ คือ Consolidation Stress ในห้องทดลอง)	22
3.1.	แสดงรายละเอียด Triaxial Cell	26
3.2.	แสดงตัวอย่างความดันในการทำให้ตัวอย่างดินอิมตัว	27
3.3.	ผลของการใส่กระดาษฉลุดต่อการไหลออกของน้ำและการเปลี่ยนแปลง ของ Pore Pressure ด้านบนและล่างของตัวอย่างดิน	29
3.4.	แสดงการใส่ปลอกยาง	33

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.5.	แสดงผัง Triaxial ของห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	34
3.6.	กราฟความดันในการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว	36
3.7.	แสดงลักษณะการวิบัติของดิน	44
4.1.	กราฟแสดงการปรับแก้ Pycnometer	46
4.2.	กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดลอง Unconfined compression ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C	49
4.3.	กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดลอง Unconsolidated Undrained Test ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C	51
4.4.	กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดลอง Consolidated Undrained Test ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C	53
4.5.	กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดลอง Consolidated Drained Test ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C	55
5.1.	วงกลมมอร์ของการทดลอง Unconsolidated Undrained Test	57
5.2.	วงกลมมอร์ของการทดลอง Consolidated Undrained Test	58
5.3.	วงกลมมอร์ของการทดลอง Consolidated Drained Test	59
5.4.	เปรียบเทียบวงกลมมอร์ของการทดลอง Unconsolidated Undrained Test, Consolidated Undrained และ Consolidated Drained Test	61
ผ.ก.1.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินหลุมที่ 1 ความลึก 1.50 เมตร	ผก8
ผ.ก.2.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินหลุมที่ 2 ความลึก 1.50 เมตร	ผก9
ผ.ก.3.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินหลุมที่ 3 ความลึก 1.50 เมตร	ผก10

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ข.1.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ของดินหลุมที่ 4 ความลึก 1.50 เมตร	ผข10
ผ.ข.2.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ของดินหลุมที่ 5 ความลึก 1.50 เมตร	ผข11
ผ.ข.3.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ของดินหลุมที่ 6 ความลึก 1.50 เมตร	ผข12
ผ.ค.1.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ของดินหลุมที่ 7 ความลึก 1.50 เมตร	ผค8
ผ.ค.2.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ของดินหลุมที่ 8 ความลึก 1.50 เมตร	ผค9
ผ.ค.3.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ของดินหลุมที่ 9 ความลึก 1.50 เมตร	ผค10
ผ.ง.1.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ของดินหลุมที่ 10 ความลึก 1.50 เมตร	ผง10
ผ.ง.2.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ของดินหลุมที่ 11 ความลึก 1.50 เมตร	ผง11
ผ.ง.3.	กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ของดินหลุมที่ 12 ความลึก 1.50 เมตร	ผง12
ผ.จ.1.	อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน	ผจ2
ผ.จ.2.	สถานที่ในการเก็บตัวอย่างดิน (หน้า Civil Shop เก้า)	ผจ3
ผ.จ.3.	แสดงการใช้ Hand Auger ทำการเจาะหลุม	ผจ4
ผ.จ.4.	แสดงการใช้ตลับเมตรวัดความลึกของหลุม	ผจ5
ผ.จ.5.	แสดงการชันสกรูยึดกระบอกล็อกเก็บตัวอย่างกับก้านเก็บตัวอย่าง	ผจ6
ผ.จ.6.	แสดงการเก็บตัวอย่างดิน	ผจ7
ผ.จ.7.	แสดงตัวอย่างดินที่เก็บออกมาจากหลุมเจาะ	ผจ8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.จ.8.	อุปกรณ์คันตัวอย่างดิน	ผจ9
ผ.จ.9.	แสดงการคันตัวอย่างดินออกจากกระบอเก็บตัวอย่างดิน	ผจ10
ผ.จ.10.	แสดงการใช้เลื่อยตัวอย่างดินที่เกินออกมา	ผจ11
ผ.จ.11.	แสดงตัวอย่างดินที่คันออกมาเสร็จเรียบร้อยแล้ว	ผจ12
ผ.จ.12.	อุปกรณ์ในการใส่ปลอกยางให้กับตัวอย่างดิน	ผจ13
ผ.จ.13.	แสดงการใส่ปลอกยางให้แก่ตัวอย่างดิน	ผจ14
ผ.จ.14.	แสดงตัวอย่างดินที่ห่อด้วยกระดาษรองเพื่อเตรียมการทดสอบ CU หรือ CD	ผจ15
ผ.จ.15.	แสดงการติดตั้งตัวอย่างดินบนฐาน Cell ของ Triaxial Machine	ผจ16
ผ.จ.16.	แสดงการเลื่อน O-Ring ลงล็อกกับ Top Cap	ผจ17
ผ.จ.17.	แสดงตัวอย่างดินที่ติดตั้งบนฐาน Cell เสร็จเรียบร้อยแล้ว	ผจ18
ผ.จ.18.	แสดงการเติมน้ำเข้า Cell	ผจ19
ผ.จ.19.	ฐาน Cell	ผจ20
ผ.จ.20.	Triaxial Machine	ผจ21
ผ.จ.21.	Volume Change Transducer	ผจ22
ผ.จ.22.	Bladder	ผจ23
ผ.จ.23.	De-Aired Water Supply	ผจ24
ผ.จ.24.	Twin Burette Volume Change	ผจ25
ผ.จ.25.	Regulator	ผจ26
ผ.จ.26.	Pressure Control Panel	ผจ27
ผ.จ.27.	ADU	ผจ28
ผ.จ.28.	คอมพิวเตอร์ประมวลผล	ผจ29

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

c	ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน
CD	Consolidated Drained Test
CU	Consolidated Undrained Test
OCR	สภาวะอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation)
q_u	กำลังการอัดตัวแบบอิสระ(Unconfined Compression Strength)
S_u	กำลังรับแรงเฉือนของดิน
t	เวลา
u	ความดันน้ำในดิน
UC	Unconfined Compression Test
UU	Unconsolidated Undrained Test
ϵ	ความเครียดตามแนวแกน
σ	หน่วยแรงตั้งฉาก
τ	หน่วยแรงเฉือน
γ	ความเครียดแนวแรงเฉือน
ϕ	มุมเสียดทาน (Friction Angle)
θ	มุม

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

กำลังของดิน สามารถหาได้หลายวิธี ในสภาพการทดสอบต่างๆกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของดิน สภาพจริงในสนาม เพื่อต้องการให้การทดสอบนั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การทดสอบกำลังของดินสามารถทำได้ทั้งการทดสอบในสนามโดยตรง หรือการแปลงค่าจากผลการทดสอบในสนาม และการทดสอบตัวอย่างดินคงสภาพที่เก็บมาจากหลุมเจาะในห้องทดลอง ซึ่งทำได้ค่าที่ละเอียด และสามารถทดสอบในสภาวะที่ต้องการตามค่าความเค้นของดิน ได้ดีกว่า

การทดสอบเพื่อหากำลังของดินนั้นมักจะถูกมองว่าไม่ค่อยสำคัญเท่าไร โดยส่วนมาก จะให้ความสำคัญกับการออกแบบฐานราก และเสาเข็มมากกว่า โดยลืมไปว่าทั้งฐานราก และเสาเข็ม ล้วนแต่วางบนดินทั้งสิ้น

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทดสอบหำลังของดินมีหลายวิธี เพื่อต้องการให้คล้ายกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงกับดิน โดย มณเฑียร กังศศิเทียม (2533) กล่าวว่า “วิธีการ Unconsolidated-Undrained Test (UU) จะใช้ในกรณีต้องการหำลังด้านทานแรงเฉือนของดินในระยะสั้น (short-term) เช่น การขุดชั่วคราว หรือขณะทำการก่อสร้างและสำหรับหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากในระยะสั้น วิธี Consolidated-Drained (CD) จะใช้ในกรณีต้องการหำลังด้านทานแรงเฉือนของดินในระยะยาว เช่น การตัดทาง และกรณีหลังจากงานก่อสร้างเสร็จแล้ว“ ในการออกแบบขั้นต้น(Primary design) เงินทุนในการทดสอบเพื่อหำลังของดินมีจำกัด รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างก็มีไม่มาก ดังนั้นโครงการก่อสร้างมักเลือกวิธีการทดสอบกำลังของดินโดยวิธี UUซึ่งประหยัดเงินและเวลา โดยไม่คำนึงถึงความเหมาะสมของวิธีการทดสอบ ซึ่งทำให้ได้ค่าจากการทดสอบไม่ตรงกับสภาพดินนั้นๆ ทำให้มีข้อมูลกำลังของดินในการออกแบบขั้นต้นไม่ตรงความเป็นจริง ไม่เกิดความถูกต้อง ประหยัดและปลอดภัยตามหลักวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานศึกษานี้จึงมีจุดมุ่งหมายคือ

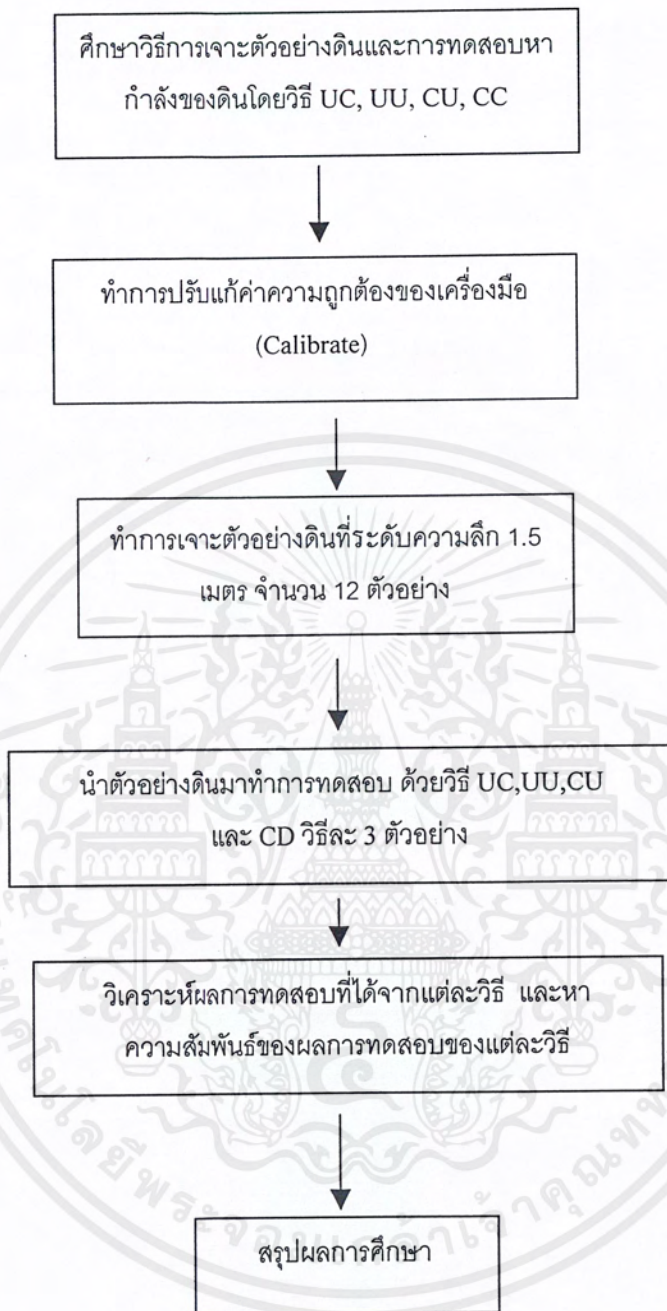
1. ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบของดิน โดยวิธี Unconfined Compression (UC), Unconsolidated-Undrained (UU), Consolidate Undrained (CU), Consolidated-Drained (CD) เพื่อ
 - เปรียบเทียบความแตกต่างของค่ากำลังของดิน โดยการทดสอบข้างต้น
 - หาแนวทางที่จะนำค่ากำลังของดินที่ได้จากวิธีที่ใช้เวลา และค่าใช้จ่ายน้อย ทำการปรับแก้แล้วนำมาใช้แทนค่ากำลังของดินในวิธีที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมากเพื่อความสะดวก และประหยัด
2. เพื่อนำวิธีการทดสอบ วิธีการใช้เครื่องมือ Triaxial ไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา Soil Mechanics Laboratory ในอนาคตต่อไป

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

มุ่งเน้นศึกษาดินภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยจะทำการขุดตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 1.5 เมตรทดสอบกำลังของดินด้วยวิธี UC , UU , CU และ CD

1.5 วิธีการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษาเริ่มจากศึกษาวิธีการเจาะตัวอย่างดินและวิธีการทดสอบหาลำตัวของดินด้วยวิธี UC, UU, CU และ CD หลังจากนั้น ทำการปรับแก้ค่าความถูกต้องของเครื่องมือ (Calibrate) ขั้นตอนต่อมาคือทำการเจาะดินตัวอย่างตามที่กำหนด แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบ ตามวิธีข้างต้น หลังจากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบแต่ละวิธี และทำการสรุปผลการศึกษานี้ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดสามารถแสดงเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน (Flow Chart) ได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1. แผนภาพและขั้นตอนของการทำงาน

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. นิยาม

- ค่ากำลังของดิน คือ ความสามารถของดินในการต้านต่อแรงเฉือน (shearing resistance)
- การเจาะตัวอย่างดิน คือ การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ด้วยกระบอกบาง (Thin wall tube) ใช้หัวเก็บตัวอย่างแบบเปิด (Open Drive Sampler)

2.2. ผลงานวิจัยในอดีต

ค่ากำลังของดิน โดยเฉพาะดินชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok Soft Clay) มีผู้ทำการศึกษาหลายท่าน โดยวิธีการทดสอบต่างๆ นำมาสรุปได้ดังนี้

1. ศรีณยุทธ์ สุธรรมนาคพงษ์ (2520) ได้วิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติและพฤติกรรมของดิน บริเวณพื้นที่ กรุงเทพฯ ในที่นี้แสดงเฉพาะค่าเฉลี่ยของค่ากำลังของดินที่ความลึก 2 – 14 เมตร โดยใช้การทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression Test และ Field Vane Shear Test ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1. แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความลึกประมาณ 2 – 14 เมตร (ศรีณยุทธ์ สุธรรมนาคพงษ์, 2520)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Unconfined Compression Test (ksc)	0.313	0.198
Field Vane Shear (ksc)	0.272	0.155

2. กัลยา บริสุทธิ์ระงกิจ (2535) ได้ทำการวิเคราะห์ชั้นดินในเขตกรุงเทพฯ โดยการเจาะสำรวจสมบัติของดินทางวิศวกรรมจากถนนสี่สาย คือ ถนนสีลม, ถนนสุขุมวิท, ถนนรัชดาภิเษก และ ถนนวิภาวดี-รังสิต ในการศึกษานี้ใช้การทดสอบหาค่ากำลังของดินโดยวิธี Unconfined Compression Test และ Pocket Penetration Test สรุปผลเฉพาะค่ากำลังของดินดังตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2. แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติต่างๆในชั้นดิน Very Soft To Medium Clay (ความลึกเฉลี่ยประมาณ 14.58 เมตร) (กัลยา บริสุทธิ์ระงกิจ , 2535)

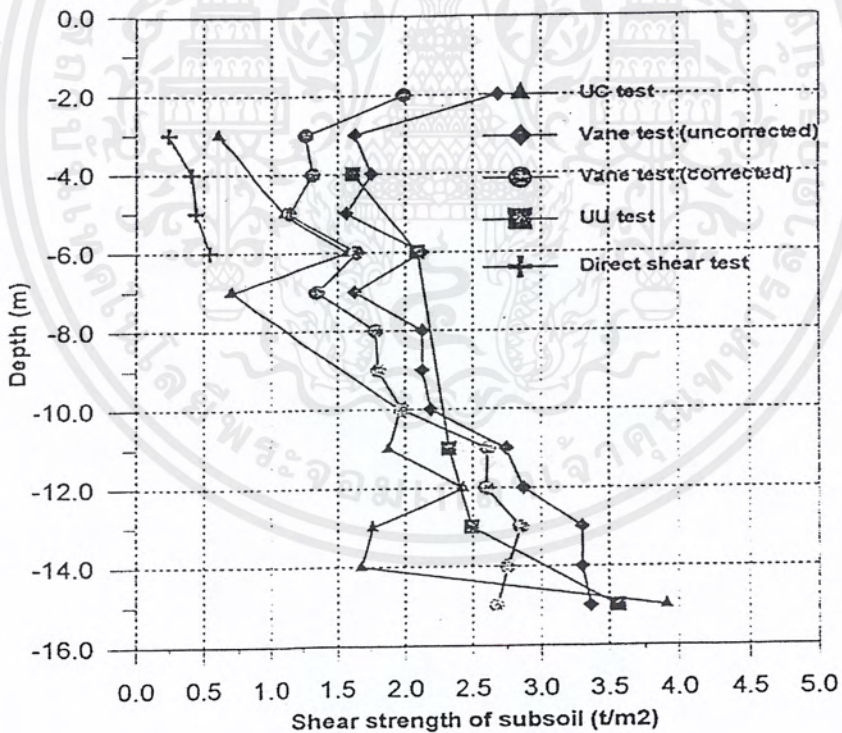
คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย
S_u จากการทดสอบ Unconfined Compression	1.56 – 4.35 ตันต่อตารางเมตร
S_u จากการทดสอบ Pocket Penetration	1.49 - 3.40 ตันต่อตารางเมตร

หมายเหตุ S_u จากตารางคือค่ากำลังของดิน

3. สุริยา ศิวบรรวัฒนา และ งามอง ปัญจรัตน์ (2539) ได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน ในกรุงเทพฯ ด้วยวิธี Fall Cone test กับวิธี Direct Shear Test และวิธี Unconfined Compression Test โดยใช้ตัวอย่างดินจากโครงการก่อสร้างถนนกรุงเทพฯ ชลบุรี สายใหม่ ช่วงกิโลเมตรที่ 41 – 45 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2.3.
4. พิศาล แซ่จิ่ง, ไพศาล จิระชัยประสิทธิ์ และ วรเดช สีดา (2541) ได้ทำการสำรวจชั้นดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการศึกษานี้ใช้การทดสอบหาค่ากำลังของดินโดยวิธี Field Vane Shear Test, Direct shear test , Unconsolidate Undrained Test และ Unconfined Compression Test ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1.

ตารางที่ 2.3. แสดงค่ากำลังรับแรงของดินที่ได้จากการทดลองโดยวิธีต่างๆ (สุริยา ศิววรรณวัฒนา และ องอาจ ปัญรัตน์ , 2539)

วิธีทดสอบ	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (kPa)
Direct Shear Test	15 – 35
Fall Cone Test	15 - 35
Unconfined Compression Test	20 - 40



รูปที่ 2.1. เปรียบเทียบกำลังของดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากการทดสอบต่างวิธี (พิศาล แซ่จิ่ง และคณะ, 2541)

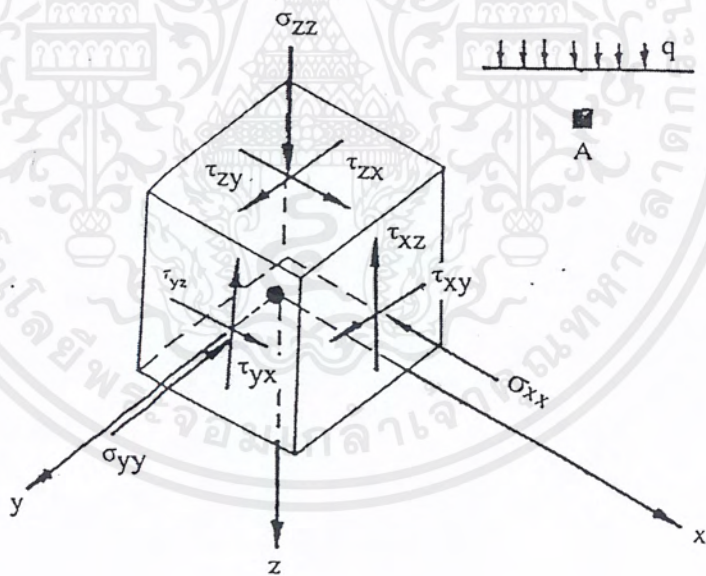
2.3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1. หลักการของหน่วยแรง (สุรจักร สัมพันธ์รักษ์, 2540)

พิจารณาก่อนดินและแกนมาตรฐาน (รูปที่ 2.2) หน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ในลักษณะ 3 มิติ ประกอบด้วยหน่วยแรงที่ตั้งฉากกับระนาบ (Plane) และหน่วยแรงเฉือน

หน่วยแรงตั้งฉาก (Normal Stress) จะกระทำอยู่ในทิศทาง xyz และบนระนาบที่มีแนวตั้งฉากอยู่ในทิศทาง xy และ z เช่นกัน

ที่จุดๆ หนึ่งในมวลดินถ้าพิจารณาแกน xyz ใดๆ ที่จุดนั้นจะมีหน่วยแรงตั้งฉากอยู่ 3 หน่วยแรงมากระทำ และมีหน่วยแรงเฉือนทั้งหมด 6 หน่วย (โดยทุกๆ ระนาบจะมีหน่วยแรงเฉือนมากระทำทั้งหมด 2 หน่วยแรง) ดูรูปที่ 2.2.



รูปที่ 2.2. สภาพของหน่วยแรงที่จุด A ตามแกนอ้างอิง

หน่วยแรงตั้งฉากจึงประกอบด้วย

σ_{xx} - หน่วยแรงตั้งฉากที่กระทำต่อระนาบที่มีแนวตั้งฉากอยู่ในแกน x และมีทิศทางของหน่วยแรงอยู่ในแกน x

σ_{yy} - หน่วยแรงตั้งฉากที่กระทำต่อระนาบที่มีแนวตั้งฉากอยู่ในแกน y และมีทิศทางของหน่วยแรงอยู่ในแกน y

σ_{zz} หน่วยแรงตั้งฉากที่กระทำต่อระนาบที่มีแนวตั้งฉากอยู่ในแกน z และมีทิศทางของหน่วยแรงอยู่ในแกน z

หน่วยแรงเฉือนประกอบด้วย τ_{zx} , τ_{zy} , τ_{yx} , τ_{yz} , τ_{xy} , τ_{xz} โดยอักษร xyz ตัวแรกแสดงทิศทางของแนวตั้งฉากของระนาบที่หน่วยแรงเฉือนกระทำ ส่วนตัวหลังบอกทิศทางของหน่วยแรงเฉือน

เมื่อมวลดินอยู่ในสภาพสมดุล หน่วยแรงเฉือนคู่ที่อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกันและทิศทางอยู่ในแนวตั้งฉากของระนาบจะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$\tau_{zx} = \tau_{xz}; \tau_{yz} = \tau_{zy} \text{ และ } \tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (2.1.)$$

ดังนั้นที่จุดจุดหนึ่งในมวลดิน ถ้าพิจารณาหน่วยแรงกระทำมากระทำในลักษณะ 3 มิติ สภาพของหน่วยแรง (State of Stress) ในมวลดินที่จุดจุดนั้นจะประกบด้วยหน่วยแรงตั้งฉาก 3 หน่วย และ หน่วยแรงเฉือนที่มีค่าแตกต่างกัน 3 หน่วย และจะทราบสภาพของหน่วยแรงที่จุดนั้นจึงหมายความว่า ถึงการที่จะต้องทราบขนาดของหน่วยแรงทั้งหมดดังกล่าว

ผลของหน่วยแรงจะทำให้เกิดความเครียดตามแนวแกน (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} และ ϵ_{zz}) และจะได้ค่าความเครียดแนวแรงเฉือน (γ_{xy} , γ_{yz} และ γ_{zx}) โดยที่ $\gamma_{yx} = \gamma_{xy}$, $\gamma_{zx} = \gamma_{xz}$ และ $\gamma_{zy} = \gamma_{yz}$ เช่นกัน

งานทางด้านวิศวกรรมปฐพีมักจะพิจารณาหน่วยแรงเพียง 2 มิติ โดยคิดว่าหน่วยแรงในระนาบที่มีแนวตั้งฉากอยู่ในแกน y ไม่มีผลต่อการวิบัติของมวลดินหรือการเคลื่อนตัวของดิน

ในกรณีพิเศษเมื่อแกน xyz อยู่ในทิศทางของแกนหลัก (Principle Axes) หน่วยแรงเฉือนในทุกระนาบจะเป็นศูนย์ หน่วยแรงจึงเหลือเพียงหน่วยแรงหลัก 3 ค่า ได้แก่

- σ_1 – หน่วยแรงหลักสูงสุด (Major Principle Stress)
- σ_2 – หน่วยแรงหลักปานกลาง (Intermediate Principle Stress)
- σ_3 – หน่วยแรงหลักต่ำสุด (Minor Principle Stress)

สภาพของหน่วยแรงในกรณีพิเศษที่มักเกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่งในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี คือ สภาพที่เกิดความเครียดเท่ากับศูนย์ในระนาบหนึ่ง (Plane Strain) เช่นในระนาบ y ในกรณีนี้มวลดินเมื่อถูกหน่วยแรงกระทำจะไม่เกิดความเครียด (Strain) ในแกน y และ $\tau_{yx} = \tau_{yz}$ มีค่าเท่ากับศูนย์

2.3.2. วงกลมของมอร์ (Mohr's Circle) (สุรฉัตร ลัมพันธ์รักษ์, 2540)

วงกลมของมอร์เป็นวงกลมซึ่งแสดงสภาพของหน่วยแรง (State of Stress) ที่จุดจุดหนึ่ง หน่วยแรงในระนาบต่างๆ ณ ที่จุดจุดหนึ่งอาจสามารถหาได้โดยใช้หลักการทางกราฟฟิกหลังจากที่เขียนวงกลมของมอร์แล้ว สมการที่ใช้เขียนวงกลมของมอร์และหลักการทางกราฟฟิกมีรากฐานมาจากกฎของการสมดุลของหน่วยแรง

วงกลมของมอร์เขียนได้ทั้งในกรณีที่หน่วยแรงกระทำอยู่ในลักษณะ 2 มิติ (นั่นคือ $\sigma_{yy} = 0, \tau_{xy} = \tau_{zy} = 0$) และในลักษณะ 3 มิติ ในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี กฎของการวิบัติของมวลดินที่ใช้ คือ Mohr และ Coulomb ซึ่งค่า σ_{yy} หรือ σ_2 จะไม่มีผลต่อค่า ϕ และ c ปัญหาส่วนใหญ่ของสภาพของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นและมีความสำคัญคือสภาพที่เกิดความเครียดเป็นศูนย์ในระนาบหนึ่ง (Plane Strain) ซึ่งในทั้งสองกรณีนี้ การวิเคราะห์ต้องการทราบสภาพของหน่วยแรงเพียงสองมิติเท่านั้น ด้วยเหตุนี้การเขียนวงกลมของมอร์สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี มักจะทำในลักษณะ 2 มิติ และพิจารณาในระนาบ xz ที่ซึ่งสภาพของหน่วยแรงหลัก คือ σ_1 และ σ_3 และจะเกินหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ระนาบทำมุม 45° กับระนาบที่ σ_1 กระทำ โดยมวลดินจะวิบัติด้วยหน่วยแรงเฉือน

วงกลมของมอร์จะเขียนได้ต่อเมื่อทราบสภาพของหน่วยแรงที่จุดนั้น นั่นคือ ในสภาพ 2 มิติ ในระนาบ xz ที่กำหนดต้องทราบค่า σ_{xx}, σ_{zz} และ τ_{zx} หรือมิฉะนั้นก็ต้องทราบค่า σ_1 และ σ_3 ประโยชน์ของการเขียนวงกลมของมอร์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ก) สามารถทำให้หาค่า σ_θ และ τ_θ ที่ระนาบใดๆ ที่ต้องการ โดยใช้วิธีกราฟฟิก (ดูความหมายของในรูปที่ 2.3)
- (ข) ใช้ในการหาค่า ϕ และ c

หลักการเขียนวงกลมของมอร์ริสในสภาพ 2 มิติ

รูปที่ 2.3 แสดงสภาพของหน่วยแรงที่อยู่ในลักษณะ 2 มิติ τ_{xy} มีเครื่องหมายเป็นบวก (+ve) ส่วน τ_{yx} มีเครื่องหมายเป็นลบ (-ve) โดยใช้หลักการพิจารณาว่าหน่วยแรงเฉือนที่ทำให้ก้อนดิน (Soil Element) หมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก เมื่อพิจารณาจุดที่เกิดการหมุนอยู่ในก้อนดิน และ θ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแนวตั้งฉากของระนาบที่กำลังพิจารณา เพื่อจะหาค่าหน่วยแรงในแนวตั้งฉาก (σ_θ) และหน่วยแรงเฉือน (τ_θ) กับแกน x ค่าบวกหรือลบ ของ θ พิจารณาโดยคิด θ เป็นบวกเมื่อวัดจากแกน x ไปตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจากสภาพสมดุลง่ายนั้นคือ

- ก. ผลรวมของแรงทางพีชคณิตของแรงทางแกน x และแกน z มีค่าเท่ากับศูนย์
- ข. ผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์เท่ากับศูนย์

ค่า σ_θ และ τ_θ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนค่า σ_1 และ σ_3 หาได้จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 โดยหาค่า θ_{1x} (มุมระหว่างเส้นตั้งฉาก (normal) - ของระนาบของหน่วยแรงหลักสูงสุด (σ_1) กับแกน x) เพื่อให้ $\tau_\theta = 0$ จากสมการที่ 2.3 เสียก่อน ดังสมการ 2.4 แล้วจึงแทนค่า θ_{1x} ลงไปในสมการที่ 2.2 เพื่อหาค่า σ_1 และ σ_3

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}) + \frac{1}{2}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})\cos 2\theta - \tau_{xz} \sin 2\theta \quad (2.2)$$

$$\tau_\theta = \tau_{xz} \cos 2\theta + \frac{1}{2}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})\sin 2\theta \quad (2.3)$$

$$\theta_{1x} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\tau_{xz}}{\sigma_{xx} - \sigma_{zz}} \quad (2.4)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}) + \frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + 4\tau_{xz}^2]^{1/2} \quad (2.5)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}) - \frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + 4\tau_{xz}^2]^{1/2} \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.2 และ 2.3 สามารถแทนได้ด้วยวงกลมของมอร์ (ดูรูปที่ 2.4) วงกลมเขียนโดยการพลอตค่า σ_{xx} , σ_{zz} , τ_{xz} และ τ_{zx} ดังรูป แกน x ของรูปที่ 2.4 ใช้พลอตค่าหน่วยแรงตามแนวตั้งฉากกับระนาบ (Normal Stress) ส่วนแกน y ใช้พลอตค่าหน่วยแรงเฉือน ค่า σ_θ และ τ_θ หาได้จากการลากเส้นจาก Center Line ของวงกลมทำมุม 2θ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (รูปที่ 2.4 แสดงค่า θ วัดตามเข็มนาฬิกาจากแกน x) กับเส้นที่แสดงค่าหน่วยแรงบนระนาบ xx (นั่นคือ σ_{xx} และ τ_{xz} ดังรูปที่ 2.4)

ส่วนค่าหน่วยแรงหลักสูงสุด (σ_1) และหน่วยแรงหลักต่ำสุด (σ_3) หาได้จากจุดที่วงกลมตัดแกน $\tau_\theta = 0$ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

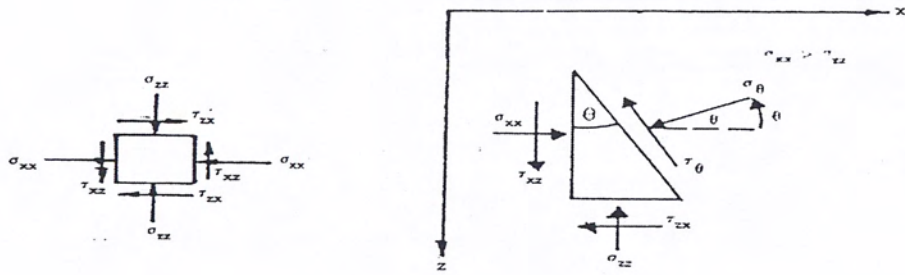
อนึ่ง ในรูปที่ 2.4 จะหาได้ว่าเมื่อ $\theta = +\theta_{3x}$ ค่า τ_θ จะเป็นศูนย์ และ $\sigma_\theta = \sigma_3$ และเมื่อ $\theta = -\theta_{1x}$ ค่า τ_θ ก็มีค่าเท่ากับศูนย์เช่นกัน และมี σ_θ มีค่าเท่ากับค่า σ_1

ถ้ากำหนดให้แกน xx เป็นทิศทางของ σ_1 และแกน zz เป็นทิศทางของ σ_3 และ θ_1 เป็นมุมระหว่างแนวตั้งฉากของระนาบที่กำลังพิจารณากับแนวตั้งฉากของระนาบของหน่วยแรงหลัก (หรือทิศทางของ σ_1) สมการที่ 2.2 และ 2.3 สามารถเขียนได้ดังนี้

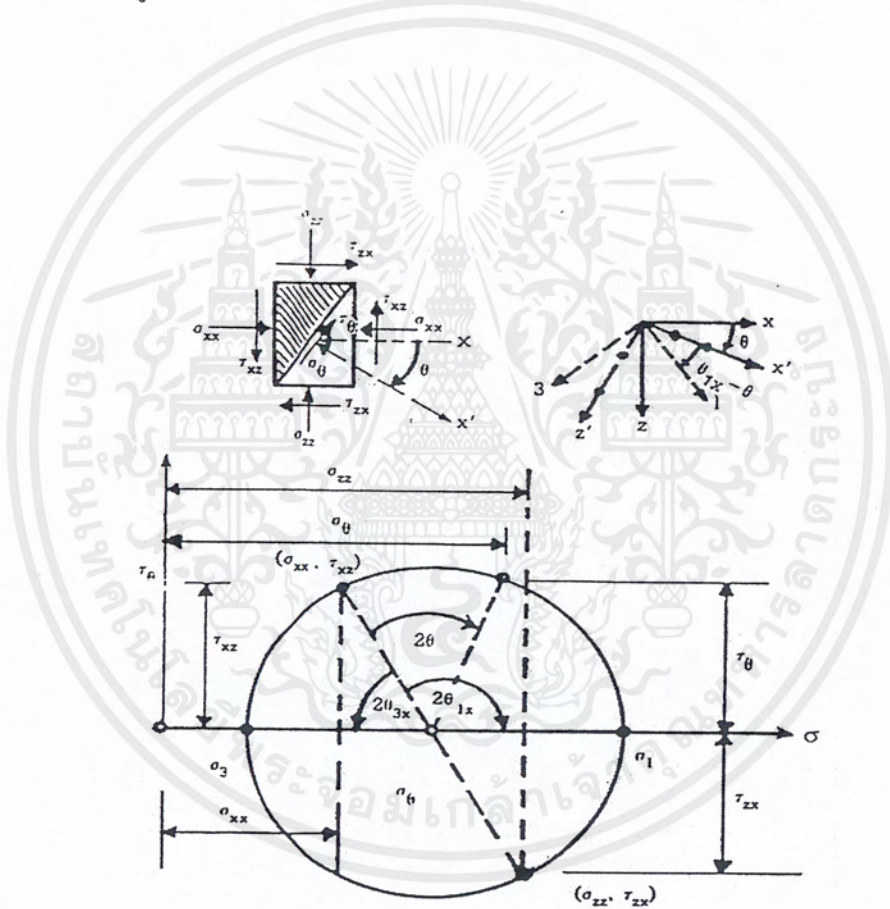
$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos^2 \theta_1 \quad (2.2.ก.)$$

$$\tau_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin^2 \theta_1 \quad (2.3.ข.)$$

รูปที่ 2.5. จะแสดงการเขียนวงกลมของมอร์เมื่อทราบค่า σ_1 , σ_3 และต้องการทราบค่า $\tau_\theta, \sigma_\theta$ เมื่อ θ_1 ถูกกำหนดให้

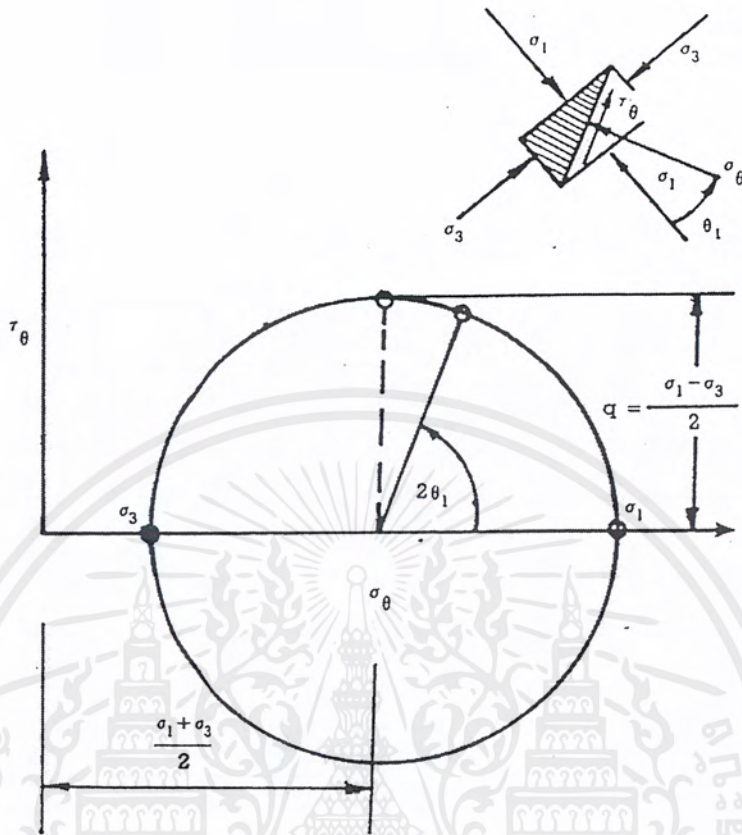


รูปที่ 2.3. สภาพของหน่วยแรงเมื่อพิจารณาในลักษณะ 2 มิติ



รูปที่ 2.4. วงกลมของมอร์ (Mohr's Circle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



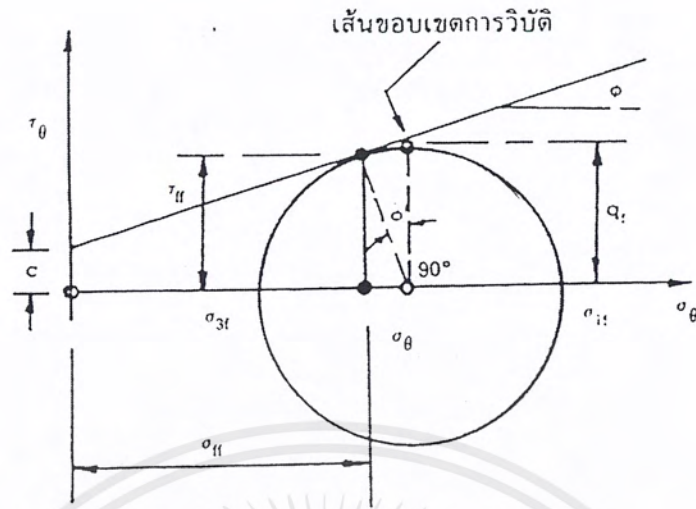
รูปที่ 2.5. การเขียนวงกลมของมอร์เมื่อทราบค่า σ_1 และ σ_3

2.3.3 กฎการวิบัติของมวลดินของ Mohr และ Coulomb (สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 2540)

กฎการวิบัติของสารหรือวัสดุมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน สารแต่ละชนิดมีกฎการวิบัติซึ่งมักตั้งขึ้นมาจากผลของการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่เหมือนกัน การวิบัติของมวลดินมักมีพฤติกรรมไปตามหรือใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่คาดคะเนโดยกฎของการวิบัติที่เสนอโดย Mohr และ Coulomb ซึ่งเอามาใช้ได้ง่าย และได้ใช้กันในภาคปฏิบัติทั่วไปในขณะนี้

กฎของ Mohr และ Coulomb กำหนดว่า มวลดินจะถึงการวิบัติเมื่อวงกลมของมอร์ที่ให้แทนสภาพของหน่วยแรงในมวลดินสัมผัสกับเส้นของเขตการวิบัติ (Failure Envelope) ของ Mohr และ Coulomb เส้นขอบเขตการวิบัตินั้นเป็นเส้นตรงพลอตอยู่ใน $\tau_\theta \cdot \sigma_\theta$ โคออร์เดเนต โดยมีค่า ϕ เป็นมุมระหว่างเส้นขอบเขตการวิบัติกับแกน σ_θ และค่า c เป็นค่าที่เส้นขอบเขตการวิบัติตัดแกน τ_θ (ดูรูปที่ 2.6.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6. กฎการวิบัติของ Mohr และ Coulomb

ในรูปที่ 2.6. จะเห็นว่า

$$\tau_{ff} = \sigma_{ff} \tan \phi + c \quad (2.7.)$$

โดย τ_{ff} = หน่วยแรงเฉือนบนระนาบที่เกิดการวิบัติที่จุดจุดหนึ่งในมวลดินในสภาพที่มวลดินจุดนั้นเกิดการวิบัติซึ่งกำหนดได้ที่สภาพของหน่วยแรงซึ่งเกิดหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (นั่นคือรัศมีของวงกลมมอร์สูงสุด)

σ_{ff} = หน่วยแรงตั้งฉากบนระนาบที่เกิดการวิบัติที่จุดจุดหนึ่งในมวลดิน ในสภาพที่มวลดินจุดนั้นเกิดการวิบัติ ซึ่งกำหนดไว้ที่สภาพของหน่วยแรงที่ซึ่งเกิดหน่วยแรงเฉือนสูงสุด

ϕ = มุมต้านแรงเฉือน (Angle of Shearing Resistance)

c = ความเชื่อมแน่นที่ปรากฏ (Apparent Cohesion) หรือบางทีเรียกว่า Cohesion Intercept

อนึ่ง ถ้า τ_{ff} นี้จะมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่สภาพวิบัติ q_f หรือ

$$\frac{1}{2}(\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) \text{ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้}$$

$$\tau_{ff} = q_f \cos \phi \quad (2.8.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

τ_{ff} เป็นหน่วยแรงเฉือนที่อยู่ใต้อันนาบทำมุม $\theta_1 = 45 + \frac{\phi}{2}$ ส่วน q_{ff} เป็นหน่วยแรงเฉือน

สูงสุดที่เกิดในระนาบ $\theta_1 = 45^\circ$ ทั้ง τ_{ff} และ q_{ff} เกิดที่สภาพของหน่วยแรงอันเดียวกัน นั่นคือ อยู่บนวงกลมของมอร์วังก์เดียวกัน ที่ซึ่งจุดนั้นในมวลดินเกิดหน่วยแรงเฉือนสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพของหน่วยแรงอื่นๆที่จุดนั้น

นอกจากนี้ยังพบว่า σ_{1f} และ σ_{3f} มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.9. ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยหลักเรขาคณิตจากรูปที่ 2.7

$$\sigma_{3f} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \sigma_{1f} - 2c \sqrt{\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}} \quad (2.9)$$

σ_{1f} = หน่วยแรงหลักสูงสุดในสภาพที่มวลดินเกิดการวิบัติ

σ_{3f} = หน่วยแรงหลักต่ำสุดในสภาพที่มวลดินเกิดการวิบัติ

ในทางปฏิบัติ กฎการวิบัติของ Mohr และ Coulomb ของมวลดินนั้นได้ทั้งในรูปของหน่วยแรงรวม (สมการที่ 2.7) และหน่วยแรงประสิทธิผล (สมการที่ 2.7 ก)

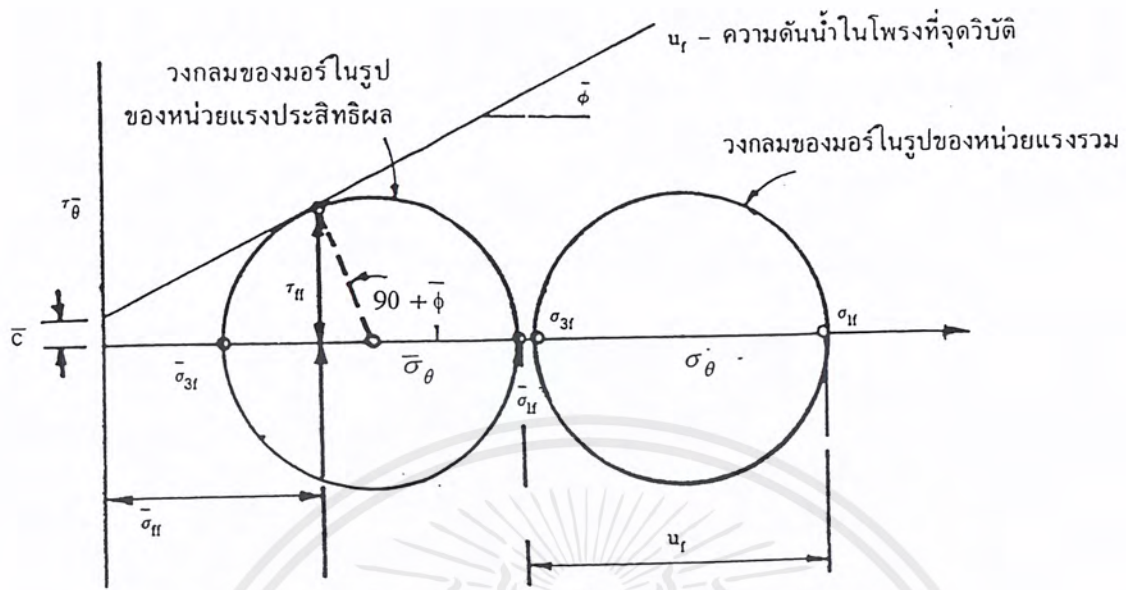
$$\bar{\tau}_{ff} = \bar{\sigma}_{ff} \tan \bar{\phi} + \bar{c} \quad (2.7.ก.)$$

$\bar{\phi}$ = มุมต้านทานแรงเฉือนในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล

\bar{c} = ความเชื่อมแน่นที่ปรากฏในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล

$\bar{\sigma}_{ff}$ = หน่วยแรงตั้งฉากในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล (รูปที่ 2.7)

ส่วนพฤติกรรมของมวลดินนั้นเป็นไปตามกฎของ Mohr และ Coulomb ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผลซึ่งจำเป็นต้องทราบความดันน้ำในโพรงจึงจะนำมาใช้งานได้ ในดินเหนียวและดินที่มีสัมประสิทธิ์ของความชื้นต่ำมาก การคาดคะเน Δu_0 จะทำให้ถูกต้องได้ยากลำบากมาก ด้วยเหตุดังกล่าว ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของมวลดินเหนียวในระหว่างการก่อสร้าง หรือฝังก่อสร้างเสร็จมักใช้กฎการวิบัติของมวลดินในรูปของหน่วยแรงรวม



รูปที่ 2.7. กฎของ Mohr และ Coulomb ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล

ความหมายของเส้นขอบเขตแสดงการวิบัติ (Failure Envelope) หมายถึงว่า จะไม่มีสภาพของหน่วยแรง (State of Stress) ในมวลดินอันใดที่เขียนแสดงโดยวงกลมของมอร์แล้ว จะตัดเส้นขอบเขตแสดงการวิบัติได้ ถ้ามวลดินมีพฤติกรรมไปตามกฎของ Mohr และ Coulomb และถ้าวงกลมของมอร์อยู่ต่ำกว่าเส้นขอบเขตการวิบัติก็แสดงว่ามวลดินยังไม่เกิดการวิบัติ

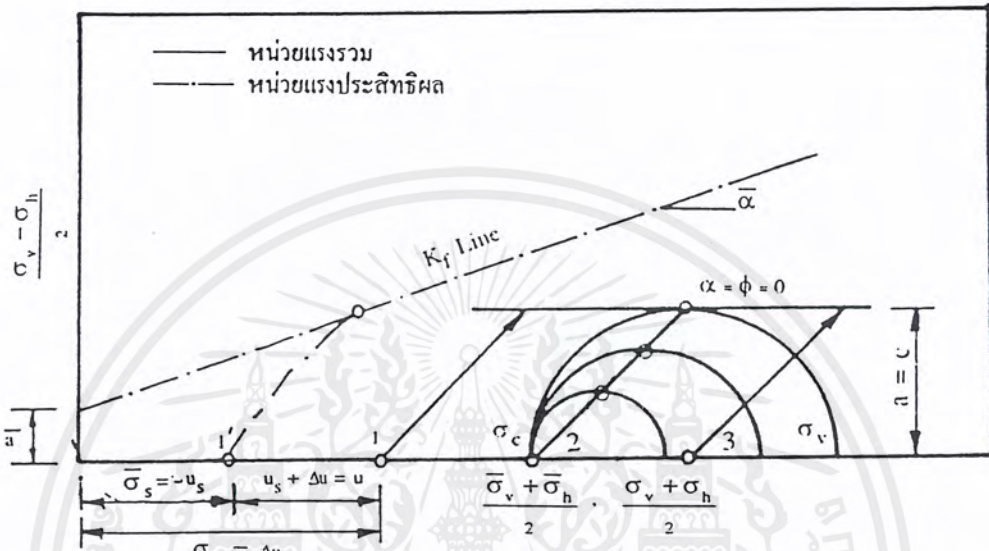
2.3.4. การทดสอบ Triaxial ในดินเหนียว (สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 2540)

2.3.4.1. การทดสอบแบบ UU (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test)

การทดสอบนี้ในขั้นตอนที่ 1 ตัวอย่างดินจะถูกอัดด้วยหน่วยแรง σ_c ทุกด้านโดยที่ไม่ปล่อยให้ระบายออกจกตัวอย่างได้ ในขั้นที่สองจะเพิ่มหน่วยแรงในแนวตั้งขึ้นขณะที่หน่วยแรงในแนวนอนหรือ σ_c คงที่เป็นผลให้ตัวอย่างเกิดวิบัติด้วยหน่วยแรงเฉือน ถ้าต้องการทราบ ϕ และ C การทดสอบมักทำกับตัวอย่างที่มี $\bar{\sigma}_s$ เกือบเท่ากันหรือเท่ากันโดยเปลี่ยนค่า σ_c การทดสอบควรทำอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง ในกรณีที่ต้องการทราบค่า S_u สำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การทดสอบอาจใช้เพียงตัวอย่างเดียวโดยใช้ $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{vo}$ ทั้งนี้เพราะสำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ค่า $\phi = 0$ และ $c =$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_u ทางเดินของหน่วยแรงรวม และหน่วยแรงประสิทธิผลของการทดสอบ UU ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.8. โดยแสดงผลการทดสอบของดินเหนียว 3 ตัวอย่างที่ $\bar{\sigma}_c$ ไม่เท่ากัน (นั่นคือ 1,2 และ 3) ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลเขียนแสดงเป็นไปตามทฤษฎีที่ไม่สามารถวัดได้ในการทดสอบ UU



รูปที่ 2.8. ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในการทดสอบแบบ UU ของดินเหนียว อิ่มตัวด้วยน้ำ (เส้นประเป็นหน่วยแรงประสิทธิผล เส้นเต็มเป็นหน่วยแรงรวม) พร้อมทั้งวงกลมมอร์ของตัวอย่างที่ 2 ระหว่างการทดสอบจนถึงจุดวิบัติ

การทดสอบ UU ที่ให้ $\phi = 0$ สำหรับดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำเป็นที่มาของหลักการที่ $\phi = 0$ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน รูปที่ 2.8. แสดงเหตุผลที่ดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำที่มี $\phi = 0$ ตัวอย่างดินก่อนการทดสอบและก่อนที่มีหน่วยแรงเฉือนมากระทำ จะมีหน่วยแรงประสิทธิผลคงที่และเท่ากับ $\bar{\sigma}_s$ ไม่ว่าจะใช้ σ_c เท่าใด ในรูปที่ 2.8. ตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างมี $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_s$ ก่อนมีหน่วยแรงเฉือนมากระทำ (นั่นคือ หน่วยแรงรวมอยู่ที่จุด 1,2 และ 3) ส่วนหน่วยแรงประสิทธิผลของทั้งสามตัวอย่างอยู่ที่ (1') เมื่อเพิ่มหน่วยแรงเฉือนในตัวอย่าง โดยเพิ่ม σ_v ในทั้งสามตัวอย่าง ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลของทั้งสามตัวอย่างจะเป็นเส้นเดียวกัน เพราะเริ่มที่จุด $\sigma = \bar{\sigma}_s$ ค่าเดียวกันทำให้มีค่า S_u เท่ากัน เป็นผลให้ค่า $\phi = 0$ ในรูปของหน่วยแรงรวม ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8.

หลักการ $\phi = 0$ จึงเกิดจากสภาพที่ดินมี $\bar{\sigma}_s$ เท่ากันก่อนที่จะมีหน่วยแรงเฉือนมากระทำ หลักการต้องใช้กับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อดินไม่ว่าชนิดใดมี $\bar{\sigma}_s$ เท่ากัน แล้วนำมาทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบแบบ UU ผลที่ได้ คือ $\phi = 0$ เสมอ $\phi = 0$ จึงไม่ใช่สมบัติของดินเหนียว แต่เป็นหลักการที่เป็นกฎการวิบัติของดิน ซึ่งมี $\bar{\sigma}_s$ เท่ากันก่อนที่มีหน่วยแรงเฉือนมากระทำที่นิยมใช้กันอยู่ในดินเหนียวอิมตัวด้วยน้ำ เพราะข้อมูลจากในสนามมักแสดงว่า S_u จากการทดสอบ UU เมื่อ $u = 0$ ใช้การได้ผลดี และการทำให้ $\phi = 0$ ก็เท่ากับตัดตัวแปรในการวิเคราะห์ไปได้หนึ่งตัว

ในรูปที่ 2.8. สาเหตุที่ $\bar{\sigma}_s$ มีค่าคงที่เกิดจากสภาพที่ความดันน้ำในดินที่เพิ่มขึ้น (Δu) มีค่าเท่ากับ σ_c เมื่อ $\Delta u = \sigma_c$ ไม่ว่าจะใช้ σ_c เท่าใด หน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่างก็จะไม่เพิ่มขึ้น (คงที่ = $\bar{\sigma}_s$) เพราะการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำในดิน สภาพนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อดินอิมตัวด้วยน้ำ และ $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_c$ ซึ่งเป็นได้เฉพาะการทดสอบ UU

ในกรณีที่ดินเหนียวไม่อิมตัวด้วยน้ำ การทดสอบ UU จะให้ผลทั้งค่า ϕ และ c ค่า ϕ เกิดขึ้นเนื่องจาก $\bar{\sigma}_s$ ในตัวอย่างไม่เท่ากัน การเพิ่ม σ_c ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงประสิทธิผลก่อนที่มีหน่วยแรงเฉือนมากระทำ ($\bar{\sigma}_s$) และเป็นผลให้ $\bar{\sigma}_s$ ของทุกตัวอย่างไม่เท่ากัน

การทดสอบ UU อาจให้ค่า ϕ สำหรับดินเหนียวที่อิมตัวด้วยน้ำได้ ถ้าตัวอย่างที่ทำการทดสอบเริ่มด้วย $\bar{\sigma}_s$ ที่ไม่เท่ากัน เช่น เอาตัวอย่างที่มีความลึกต่างกันมากมาทดสอบ เป็นต้น นอกจากนี้ ϕ ที่ได้ อาจมีค่าน้อยกว่าศูนย์ก็ได้

2.3.4.2. การทดสอบแบบ CU (Consolidated Undrained Triaxial Compression Test)

การทดสอบ CU ทำได้ทั้งการกด (Compression) ทำให้ตัวอย่างสั้นลง หรือการดึงทำให้ตัวอย่างยาวขึ้น (Extension) ในขั้นตอนแรกตัวอย่างดินถูกอัดตัวด้วยน้ำด้วย σ_c ก่อนที่จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงใน σ_v (ดูทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลในรูปที่ 2.9. สำหรับการทดสอบแบบกดหรืออัดตัว)

ในการทดสอบแบบอัดตัว ซึ่งทำให้ตัวอย่างหดสั้นลง การทดสอบชนิดพื้นฐานทำโดยเพิ่ม σ_v ระหว่างที่ σ_c มีค่าคงที่ หลังจากตัวอย่างได้ถูกอัดตัวด้วยน้ำแล้วด้วย $\bar{\sigma}_c$ ทางเดินของหน่วยแรงรวมจึงแสดงโดยเส้นตรงจากจุด 1 ไปยังจุด 2 (รูปที่ 2.9.) และทำมุม 45° กับแนวนอน ส่วนทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลจะเป็นเส้นโค้งจากจุด 1' และ 2' เนื่องจากมี Δu เกิดขึ้น (ดูรูป 2.9.) ในกรณีที่

ในการทดสอบแบบ CU จะต้องมีการวัดความดันน้ำในโพรง u โดยใช้ Transducer หรือ null indicator ตลอดเวลาการทดสอบ และอัตราการเพิ่ม $\Delta\sigma_v$ แก่ตัวอย่างต้องทำในลักษณะที่ช้ามาก เพราะต้องการให้ความดันน้ำในดินมีค่าเท่ากันหมดทั้งตัวอย่าง อัตราการเพิ่มความเครียดให้ตัวอย่างในแนวแกนควรประมาณ 1 % ต่อ ชั่วโมง สำหรับดินอ่อนกรุงเทพฯ

เพื่อเป็นการลดเวลาในการอัดตัวคายน้ำ (ขั้นตอนที่ 1) และช่วยให้ความดันน้ำในโพรงในตัวอย่างมีค่าสม่ำเสมอเร็วขึ้นระหว่างเพิ่ม $\Delta\sigma_v$ (ขั้นตอนที่ 2 ในการทดสอบ Triaxial) ตัวอย่างจะติดด้วยกระดาษ filter เป็นเส้นเล็ก (คูขนาดมาตรฐานใน Bishop and Henkel, 1969)

การทดสอบ CU ให้สมบัติของดินเหนียวซึ่งสามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้ ดังต่อไปนี้

- (1) ให้ค่า $\bar{\phi}$ และ \bar{c} สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis) การทดสอบต้องทำอย่างน้อย 3 ตัวอย่างที่ $\bar{\sigma}_c$ ต่างกัน การทดสอบยังให้ ϕ และ c ในรูปของหน่วยแรงรวม แต่ยากแก่การนำมาใช้
- (2) ให้ A พารามิเตอร์ของ Skempton ในการคาดคะเนความดันน้ำในโพรงที่ความดันต่างๆ ค่า A หาได้เมื่อทราบ Δu
- (3) ให้ S_u สำหรับการคาดคะเนความดันแบบ Active (Active Earth Pressure) และโมดูลัสของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ (E_u) ในการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เกิดขึ้นแบบไม่ระบายน้ำ

โดยหลักการของ $\phi = 0$ ค่า S_u ที่ $\bar{\sigma}_c$ ใดๆ คือ $\frac{\sigma_v - \sigma_h}{2}$ สูงสุด (q_f) ที่วัดได้ใน การทดสอบ ดังนั้น S_u ในธรรมชาติสามารถหาได้ใกล้เคียงขึ้นเมื่อใช้ $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{v0}$ แต่หาค่า S_u ที่ได้จาก การทดสอบชนิดนี้มักสูงเกินไป เนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำทำให้ดินเหนียวมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าปกติ

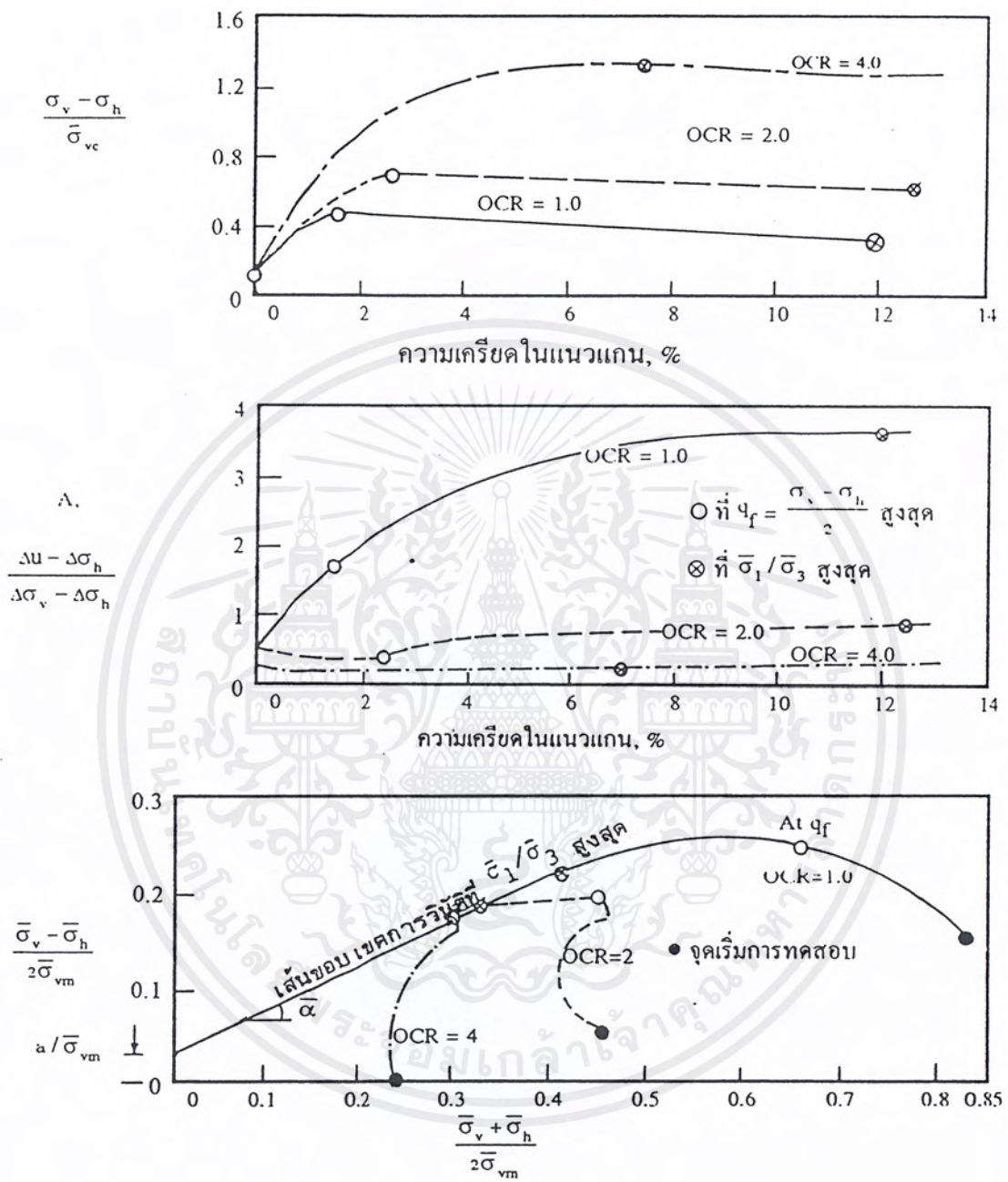
ตัวอย่างข้อมูลจากการทดสอบแบบ CU ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.10 การทดสอบควรทำ อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า ϕ, c หรือ $\bar{\phi}$ และ \bar{c} ที่ดี ตัวอย่างดังกล่าวควรถูกอัดตัวคายน้ำด้วย $\bar{\sigma}_c$ ในช่วงที่ใช้งาน ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่า $\bar{\sigma}_{v0}$ เล็กน้อย จนกระทั่งถึง $\bar{\sigma}_{vc}$ เป็นอย่างน้อย ก่อนเพิ่ม $\Delta\sigma_v$ ตัวอย่างควรมีสภาวะอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidation) ในลักษณะเดียวกัน นั่นคือ ดินเหนียวอาจอยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated) ทุกตัวอย่าง หรืออยู่ในสภาวะอัดแน่นเกินตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Overconsolidation) ที่มี OCR ไม่เท่ากันทุกตัวอย่าง จากประสบการณ์พบว่า การทดสอบจะให้ผลดีเมื่อ ตัวอย่างดินมีสมบัติพื้นฐานเหมือนกัน และ $\bar{\sigma}_{vm}$ เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

การทดสอบ CU ต่างกับ UU คือ การทดสอบ CU สามารถปรับหน่วยแรงประสิทธิผล ในตัวอย่างดินเหนียวให้ได้ตามต้องการ การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ด้วย $\bar{\sigma}_c$ ทำให้ลดปัญหาจาก ผลของการรบกวนของตัวอย่างโดยการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่าง แต่ทำให้ปริมาณความชื้น ในตัวอย่างลดลงไปจากธรรมชาติ และเปลี่ยนโครงสร้าง (Structure) ของดิน การทดสอบ UU ในตัว อย่างที่เก็บมาดี จะให้ S_u ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability) ของดินดีกว่า และปริมาณความชื้นในตัว อย่าง UU จะใกล้เคียงกับธรรมชาติมากกว่าด้วย

การทดสอบ CU มีการดัดแปลงให้เป็นไปได้ในหลายรูปแบบ อาจทำการทดสอบได้ ดังนี้

- (1) การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) อาจใช้ค่า $\bar{\sigma}_{vc}$ (ค่า effective vertical consolidation stress) และ σ_{hc} (ค่า effective horizontal consolidation stress) ไม่เท่ากัน (Anisotropic Consolidation) วิธีนี้ทำให้หาค่า S_u , E_u , $\bar{\phi}$ และ \bar{c} ได้ดีขึ้นเมื่อ $\bar{\sigma}_{vc} = \bar{\sigma}_v$ และ $\bar{\sigma}_c = \bar{\sigma}_{ho}$ (ดังรูป 2.10)
- (2) การทดสอบอาจใช้ทางเดินของหน่วยแรงรวมผิดไปจากมาตรฐานในขั้นตอนที่ 2 การทดสอบ CU ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง $\Delta\sigma_v$ และ $\Delta\sigma_h$ พร้อมๆ กัน การทดสอบแบ่งออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ จำพวกอัดตัวหรือกด (Compression) ที่ซึ่ง σ_1 จะอยู่ในทิศทางแนวดิ่ง นั่นคือ $\sigma_1 = \sigma_v$ และ ตัวอย่างจะหดสั้นลง ส่วนอีกจำพวกหนึ่ง คือ หน่วยแรงจะทำให้ตัวอย่างยืดขึ้น (Extension) ดังรูป ที่ 2.11. ในกรณีหลังนี้ค่า q จะติดลบ และ $\sigma_1 = \sigma_h$ การทดสอบจำพวกนี้จะให้ค่า S_u ไม่เท่ากัน ถึงแม้ค่า $\bar{\phi}$ และ \bar{c} อาจแตกต่างกันไม่มากนัก ทั้งนี้เป็นผลจากดินถูกทดสอบ ด้วยระบบของ หน่วยแรง (Stress System) ไม่เหมือนกันและดินเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่ไม่เท่ากันทุกแกน (Anisotropic Material)
- (3) การทดสอบอาจใช้ทางเดินของหน่วยแรงรวมเป็นไปตามสภาพในสนาม (Stress Path Test) การ ทดสอบชนิดนี้วัดความเครียดที่เกิดจากหน่วยแรงที่กระทำต่อตัวอย่างเพื่อนำมาคาดคะเนการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในสภาพที่ไม่ระบายน้ำ (Undrained Settlement)



รูปที่ 2.10. ตัวอย่างการทดสอบ CU โดยตัวอย่างถูกอัดตัวคายน้ำด้วย $\bar{\sigma}_{vc} \geq \bar{\sigma}_{hc}$ ($\bar{\sigma}_c$) ก่อนการทดสอบ (Anisotropic Consolidation) ตัวอย่างทั้งสามมี $\bar{\sigma}_{vm}$ เท่ากับ ($\bar{\sigma}_{vc}$ และ $\bar{\sigma}_{hc}$ คือ Consolidation Stress ในห้องทดลอง)

2.4.3.3. การทดสอบแบบ CD (Consolidated Drained Test)

การทดสอบ CD ในดินเหนียวเป็นการทดสอบเพื่อหาค่า $\bar{\phi}$ และ \bar{C} โดยที่หลังจากการอัดตัว $\bar{\sigma}_c$ ดินเหนียวจะถูกหน่วยแรงกระทำในลักษณะที่ระบายน้ำเช่นเดียวกับการทดสอบในทรายหรือดินร่วน ในดินเหนียวการทดสอบจะต้องใช้เวลานานเพราะระหว่างการทดสอบ CD Δu ต้องเท่ากับศูนย์ตลอดเวลา การใช้เวลานานในการทดสอบซึ่งต้องเก็บข้อมูลทางด้านหน่วยแรง ความเครียด และการเปลี่ยนแปลงในปริมาตรในระยเวลาดังกล่าว ทำให้การใช้ผลการทดสอบ CD มีขีดจำกัด ในทางปฏิบัติค่า $\bar{\phi}$ และ \bar{C} สำหรับการออกแบบมักจะเอามาจากการทดสอบ CU ที่ $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ สูงสุดจะเป็นค่าเดียวกัน

2.3.5. การทดสอบการอัดตัวแบบอิสระ (สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 2540)

การทดสอบชนิดนี้เป็นการทดสอบที่ง่ายที่สุดและใช้มากที่สุดในประเทศไทย ตัวอย่างดินจะถูกตั้งเป็นรูปทรงกระบอกมีสัดส่วนระหว่างความยาวของตัวอย่างกับเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2 ต่อ 1 และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1.4 นิ้ว ตัวอย่างดินจะถูกทดสอบโดยเพิ่มหน่วยแรงรวมในแนวตั้งจนกระทั่งเกิดวิบัติ หน่วยแรงสูงสุดในแนวตั้ง คือ Unconfined Compressive Strength (q_u) หรือกำลังการอัดตัวแบบอิสระ การทดสอบ UC (Unconfined Compression Test) จึงแตกต่างจากการทดสอบ UU ตรงที่ σ_c เท่ากับศูนย์ในการทดสอบแบบ UC

โดยทั่วไปการให้ความหมายของกำลังรับแรงเฉือนที่ไม่ต้องการใช้หลักการ $\phi = 0$ โดยในการทดสอบ UC คือ $\tau_{ff} = q_f \cos \phi = \frac{q_u}{2} \cos \phi$ เนื่องจากการทดสอบทำเพียงในกรณีที่ σ_c เท่ากับศูนย์ ค่า ϕ จึงหาไม่ได้จากการทดสอบ ϕ ค่านี้ตามทฤษฎีแล้วควรหาจากการทดสอบ CU ในการทดสอบชนิดอัดตัว (Compression) ในกรณีที่ดินเหนียวอัดตัวด้วยน้ำ เมื่อต้องการใช้หลักการ $\phi = 0$ τ_{ff} จะเท่ากับ $\frac{q_u}{2} = q_f = S_u$ การทดสอบการอัดตัวแบบอิสระจะถูกผลกระทบของการรบกวนของตัวอย่างมากที่สุด โดยเฉพาะกับตัวอย่างของดินเหนียวที่มีทรายปนอยู่ด้วย การที่มีทรายปนอยู่ทำให้ $\bar{\sigma}_s$ ในตัวอย่างลดลงได้มาก การที่ไม่ใช้ σ_c ในการทดสอบทำให้สภาพของตัวอย่างไม่ได้รับการปรับปรุงและทำให้ S_u ที่ได้จากการทดสอบ UC ต่ำกว่า UU สำหรับหลักการ $\phi = 0$

โดยหาคำค่า σ_{11} และ σ_{31} มาทำการวาดวงกลมมอร์รี่จะได้วงกลมที่ขีดแกนความเค้น
เฉือนทุกแกน เนื่องจากในการทดสอบ UC นั้น จะมี $\sigma_{31} = 0$ นั่นเอง ซึ่งจากวงกลมมอร์รี่ที่ได้ จะหาได้
เพียงค่า C แต่ไม่สามารถหาค่า ϕ ได้



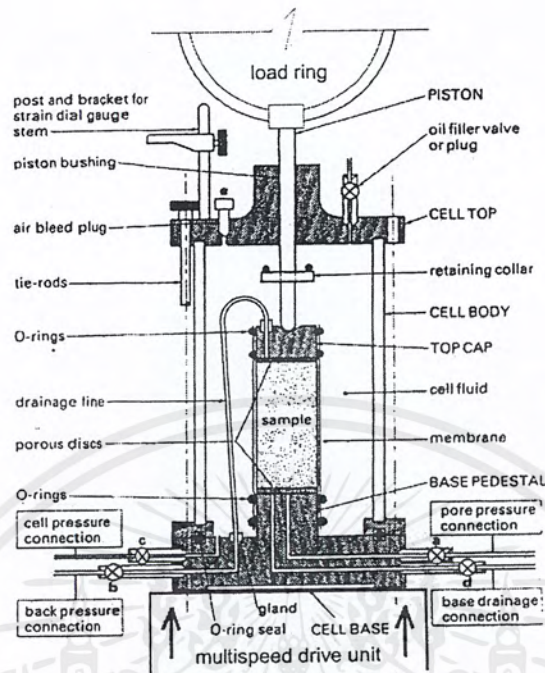
บทที่ 3

การทดสอบ

3.1. กล่าวนำ

การหาค่ารับแรงเฉือนของดินด้วยวิธี Unconfined Compression Test เป็นการเหนือนตัวอย่างดินโดยไม่มีความดันด้านข้างกระทำต่อผิวมวลตัวอย่าง (Confining Pressure) ทำให้สภาพของดินตัวอย่างที่ทำการทดสอบไม่เหมือนกับสภาพดินในสภาวะธรรมชาติ ผลการทดสอบค่ารับแรงเฉือนของดินด้วยวิธีนี้จึงเป็นวิธีประมาณเท่านั้น แต่วิธีการทดสอบ Unconfined Compression Test สามารถปฏิบัติได้รวดเร็วและประหยัด จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย หากเราต้องการให้ตัวอย่างดินมีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะในธรรมชาติมากที่สุดจะต้องทดสอบด้วยวิธี ทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)

การทดสอบแรงอัด 3 แกน เป็นวิธีหาค่ารับด้านทานแรงเฉือนของดินตัวอย่างที่มีสภาพใกล้เคียงกับดินธรรมชาติมากที่สุด โดยสามารถปรับความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) ให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน และมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกจากมวลดินได้สะดวก และอ่านค่าได้แน่นอน ลักษณะพื้นระนาบที่วิบัติของมวลดินตัวอย่างที่เกิดขึ้นเป็นไปตามธรรมชาติ การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินทางด้านการรับกำลังด้วยวิธีการทดสอบแรงอัดสามแกน สามารถหาได้ทั้งหน่วยแรงรวม (Total Stress) และหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของมวลดิน เพราะในระหว่างการทดสอบเราสามารถวัดแรงดันน้ำ (Pore Pressure) ในตัวอย่างดินได้ ต่างจากวิธีทดสอบหาแรงเฉือนของดินโดยวิธี Direct Shear และ Unconfined Compression ที่เราไม่สามารถวัด pore pressure ได้ และสภาพการทดสอบก็ไม่ได้จำลองสภาพจริงในสนามซึ่งผลการทดสอบของ 2 การทดสอบดังกล่าวนำมาใช้ออกแบบพื้นฐานเท่านั้น



รูปที่ 3.1. แสดงรายละเอียด Triaxial Cell (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

3.2. การทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

วิธีการทดสอบแรงอัดสามแกนจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

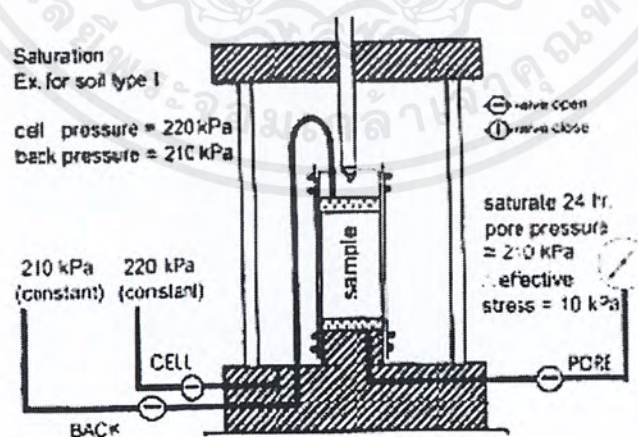
3.2.1. การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (Saturation Stage)

การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Stage) จำเป็นเมื่อเราต้องการจะวัดความดันน้ำส่วนเกิน (Pore Water Pressure) ในตัวอย่างดินใน Triaxial Cell เพราะเมื่อดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีความดันอากาศ (Pore Air Pressure) มาเกี่ยวข้องในการวัดความดันอากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นเรื่องยากและซับซ้อน วิธีที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในการวัดความดันอากาศส่วนเกินยังไม่มีดีพอ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงภาวะนี้โดยการทำให้ตัวอย่างดินให้อิ่มตัวในขั้นตอนแรกของการทดสอบ

การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำเป็นการเพิ่ม Back Pressure ให้มีความดันสูงพอที่น้ำจะเข้าไปสลายฟองอากาศ (Dissolved Air) ทั้งหมดแห่งของช่องว่างอากาศในตัวอย่างดิน (หากเราต้องการ

ทราบว่ามีน้ำเข้าไปในตัวอย่างดินเท่าไรก็ให้ดูจาก Volume Change Gauge ที่ต่อกับ Back Pressure Line) ในขณะเดียวกันเราจะให้ Cell Pressure สูงกว่า Back Pressure เล็กน้อย เพื่อที่จะยังคงรักษา Effective Stress เป็นบวก ในรูปที่ 3.2. แสดงตัวอย่างความดันที่ให้กับตัวอย่างดินชนิดหนึ่งและทำการทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัว เนื่องจากเมื่อเราปรับให้ Back Pressure = 210 kPa และ Cell Pressure = 220 kPa แล้ว Pore Pressure บริเวณที่ติดกับแผ่นหินพรุนด้านบนจะเท่ากับ Back Pressure = 210 kPa โดยทันที แต่ Pore Pressure ที่บริเวณฐานของ Cell ที่ต่อเข้ากับ Pressure Panel เพื่อวัดความดัน น้ำนั้นจะยังไม่เท่ากับ 210 kPa โดยทันที ต้องรอให้ความดันน้ำข้างบนค่อยๆ อัดสลายฟองอากาศในตัวอย่างดิน และค่อยๆ ส่งความดันจนถึงฐาน Cell ซึ่งโดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง สำหรับดินเหนียว Pore Pressure ที่ฐานก็จะเท่ากับ Pore Pressure ด้านบนซึ่งเท่ากับ 210 kPa แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย

ในการเพิ่มความดัน Cell Pressure และ Back Pressure จนได้ความดันเท่ากับ 220 และ 210 kPa นั้นเราจะปรับให้ถึงค่านั้นโดยทันทีไม่ได้ เช่นปรับ Cell Pressure จาก 0 ให้เท่ากับ 220 kPa จากนั้นมาปรับ Back Pressure จาก 0 เป็น 210 kPa เนื่องจากเมื่อเราปรับความดัน Cell จาก 0 เป็น 220 kPa โดยที่ Back Pressure ยังเป็น 0 อยู่ ความดันน้ำจาก Cell จะไปอัดตัวอย่างดินทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนเสียก่อน ซึ่งในทางปฏิบัติเราจะค่อยๆ ทำการปรับความดันขึ้นทีละน้อยระหว่าง Cell Pressure และ Back Pressure จนได้ความดันที่เราต้องการ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป รวมทั้งวิธีการตรวจสอบว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวหรือยัง



รูปที่ 3.2. แสดงตัวอย่างความดันในการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

3.2.2. การขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน (Consolidation Stage)

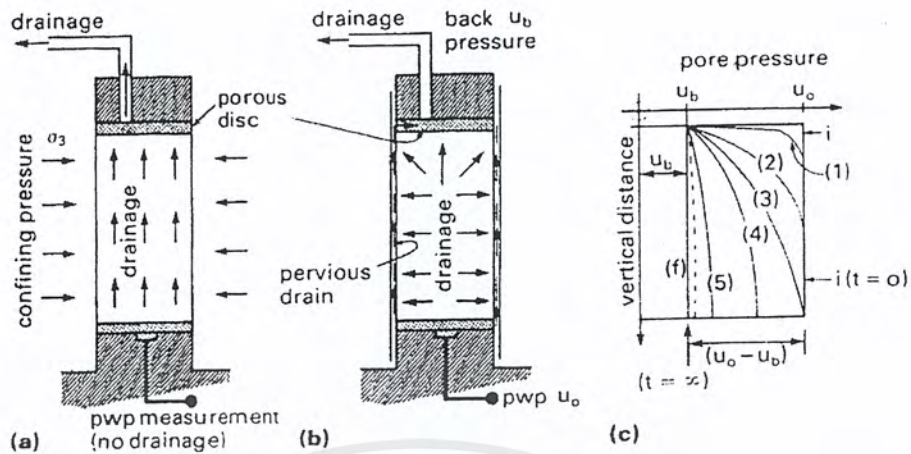
เป็นการขับน้ำออกจากตัวอย่างดินทำให้ดินยุบอัดตัว เป็นการเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบแบบ CU และ CD ซึ่งเราจะทำการขับน้ำออกจากตัวอย่างดินเพื่อที่จะให้ Effective Stress ในตัวอย่างดินนั้นได้ค่าที่เราต้องการหรือให้เท่ากับสภาพในสนาม ซึ่งเราจำลองสภาพในสนามที่ดินมีการยุบตัว (Consolidation) ก่อนที่จะถูกแรงเฉือนจนวิบัตินั่นเอง

กระทำโดยอัดตัวอย่างดินภายใต้ความดันที่ต้องการทดสอบ การอัดตัวอย่างดินจะให้น้ำไหลออกจากมวลดินผ่านทาง Back Pressure Line ผ่าน Volume Change Gauge ปริมาณความชื้นและปริมาตรของตัวอย่างจะลดลงซึ่งเราสามารถหาปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดินได้จาก Volume Change Gauge

การทำให้ตัวอย่างดินยุบอัดตัวทำได้โดยการเพิ่มความดัน Cell Pressure ภายนอกตัวอย่างดิน ทำให้เกิดความดันน้ำอัดตัวอย่างดินรอบด้านในทุกทิศทางเท่ากัน เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “Isotropic”

หลังจากขั้นตอนการ Saturate ที่กล่าวมาข้างต้นสมมุติว่า Cell Pressure = 220 kPa และ Back Pressure = 210 kPa ซึ่งในการยุบอัดตัวนี้สมมุติเราต้องการให้ค่า Effective Stress = 150 kPa (ค่า Effective Stress ที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับสภาพตัวอย่างดินในสนาม ซึ่งเราอาจให้ค่า Effective Stress หลังการ Consolidate เท่ากับ Effective Stress ในสนามหรืออาจเป็นค่าที่เราต้องการทดสอบค่าหนึ่งก็ได้) เพราะฉะนั้นจะต้องปรับความดัน Cell Pressure เท่าเดิมคือ 220 kPa โดยที่ลด Back Pressure เป็น 70 kPa หรืออาจให้ Cell Pressure = 250 kPa และ ลด Back Pressure เป็น 100 kPa ก็ได้เพื่อที่จะสะดวกในการคำนวณ และเป็นค่าเริ่มต้นในการทดสอบขั้นต่อไป

เมื่อปรับความดันจนได้ค่าที่เลือกไว้แล้วให้ทิ้งตัวอย่างภายใต้สภาวะความดันนั้น รอจนความต่างศักย์ด้านนอกและด้านในตัวอย่างดินเท่ากันตลอดทั้งตัวอย่างดิน โดยสังเกตได้จากค่าบนหน้าปัดวัดค่า Pore Pressure ที่ฐานของ Cell เริ่มคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตัวอย่างดินจะหยุดอัดตัว หรืออาจให้ plot กราฟคล้ายการทดสอบยุบอัดตัวของดินก็ได้ โดย plot ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในแนวดิ่ง และค่าเวลาในแกนนอน (log scale หรือ square root time) ซึ่งหลังจากการยุบอัดตัวสมบูรณ์ Pore Pressure ที่บริเวณฐาน Cell ควรมีค่าใกล้เคียงกับความดัน Back Pressure



รูปที่ 3.3. ผลของการใส่กระดาษจุดต่อการไหลออกของน้ำและการเปลี่ยนแปลงของ Pore Pressure ด้านบนและล่างของตัวอย่างดิน (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

พิจารณารูปที่ 3.3. (c) โดยเริ่มต้นที่ $t=0$ ให้ Pore Pressure ตลอดตัวอย่างดินเท่ากับ u_0 จากนั้นจึงทำการ Consolidate ตัวอย่างโดยทำการปรับ Back Pressure ให้ลดลงดังค่าที่เราออกแบบไว้เท่ากับ u_b ที่เวลา t_1 ค่า Pore Pressure บริเวณด้านบนของตัวอย่างที่ติดกับ Back Pressure Line จะเท่ากับ u_b ในทันที ส่วนบริเวณด้านล่างของตัวอย่างดินลงไปจนถึงบริเวณฐานยังคงมี Pore Pressure เท่าเดิมคือ u_0 เมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ น้ำในตัวอย่างดินเริ่มระบายออก ความดันของดินที่ระดับต่ำลงไปเริ่มลดลง Pore Pressure ในตัวอย่างดินด้านล่างเริ่มเข้าใกล้ค่า u_b มากขึ้นเรื่อยๆ จน $t = \infty$ ค่า Pore Pressure บริเวณฐาน Cell ก็เท่ากับ Pore Pressure ด้านบน = u_b โดยปกติหลังจากการ Consolidated ตัวอย่างเสร็จแล้ว ค่า Pore Pressure บริเวณด้านล่างของตัวอย่างอาจแตกต่างกับด้านบนอยู่บ้างเล็กน้อยดังแนวเส้นประในรูปที่ 3.3. (c) ซึ่งเราสามารถหยุดการ Consolidated ได้เพื่อทำการทดสอบขั้นต่อไป ซึ่งโดยปกติแล้วเวลาที่ใช้ในการ Consolidate ตัวอย่างดินอาจใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรือ 1 วัน

พิจารณารูปที่ 3.3. (c) เราสามารถที่จะหาเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของ Pore Pressure (Pore Pressure Dissipation, $U\%$) ณ เวลาใดๆ ที่ฐานของ Cell ได้จากสมการ

$$U = \frac{u_0 - u}{u_0 - u_b} \times 100\% \quad (3.1)$$

เมื่อ u_b = Pore Pressure ที่ตั้งไว้ (Back Pressure Line)

u_0 = Pore Pressure เริ่มต้นที่ฐานของตัวอย่างดิน

u = Pore Pressure ที่ฐานของตัวอย่างดิน ณ เวลาใดๆ

ในการ Consolidated ตัวอย่างดินปกติแล้วจะหยุดเมื่อค่า U มากกว่า 95 %

หมายเหตุ: ถึงแม้ว่าจะไหลเข้าจากตัวอย่างดินในขั้นตอนการ Saturate หรือน้ำจะไหลออกจากตัวอย่างดินในขั้นตอนการ Consolidated ทาง Back Pressure Line ก็ตาม ความดันของ Back Pressure Line ก็ยังคงเท่าเดิมคือเท่ากับค่าที่เราตั้งไว้ เนื่องจากลักษณะของอุปกรณ์ปรับความดัน Regulator ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับความดันให้คงที่ตลอดเวลา

ในการทำให้ดินยุบอัดตัวจะมีน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินดังรูป 3.3. (a) แต่จะเสียเวลามากกว่า Pore Pressure ทางด้านบนและด้านล่างจะเท่ากัน เนื่องจากระยะทางการระบายออกของน้ำมีความยาวตลอดความสูงของตัวอย่าง ปกติเราจึงใช้กระดาษหลุมมาปิดรอบตัวอย่างดินเพื่อลดระยะทางการระบายออกของน้ำดังรูป 3.3. (b)

3.2.3. การกดหรือการเฉือนตัวอย่างดิน (Compression Stage or Shearing Stage)

การอัดหรือเฉือนตัวอย่างนี้เพื่อให้ได้ค่ากำลังของดิน โดยการเพิ่ม Strain ในแนวดิ่งมีผลให้หน่วยแรงในแนวดิ่งที่กระทำต่อตัวอย่างดินเพิ่มขึ้นจนกระทั่งดินถึงจุดวิบัติ ดังรูปที่ 3.1. ที่ฐาน Cell จะเลื่อนขึ้นโดยมอเตอร์ ด้านบนมี Piston ที่สัมผัสกับ Top Cap บนตัวอย่างดิน และต่อเข้ากับ Proving Ring ที่ยึดอยู่กับที่เพราะฉะนั้นแรงใน Proving จะเพิ่มขึ้นเมื่อฐาน Cell เลื่อนขึ้น

3.2.4. อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
3. Dial Guage
4. Triaxial Cell
5. แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)
6. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
- เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw)

- โครงแต่งดิน (Trimming Frame)
- แบบผ่า (Sprit Former)
- 7. อุปกรณ์และวัสดุ
 - แผ่นกดตัวอย่าง (Load Disc)
 - ที่เบ่งปลอกยาง (Rubber Membrane Stretcher)
 - แผ่นพลาสติกตัน (Solid Disc) สำหรับ UU Test ที่ไม่ Saturated ตัวอย่างดิน
 - หินพรุน (Porous Stone) สำหรับ CU และ CD Test
 - กระดาษกรอง (Filter Paper) สำหรับ CU และ CD Test
 - ปลอกยาง (Rubber Membrane)
 - ยาง O-Ring (O-Ring Rubber)
- 8. เครื่องมือทั่วไป
 - อุปกรณ์หาความชื้นของดิน
 - ตาชั่งน้ำหนัก

3.2.5. วิธีการทดสอบ

ขั้นตอนในการทำการทดสอบแรงอัด 3 แกน มีดังนี้

3.2.5.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำกระบอกเก็บตัวอย่างดินมาเข้าเครื่องดันตัวอย่างดิน แล้วทำการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง
2. นำตัวอย่างดินที่ได้มาเข้าแบบผ่า (Sprit Former) แล้วใช้เกลียวลวดทำการตัดดินส่วนที่เกินออกมาจากแบบผ่า
3. นำเศษตัวอย่างดินที่ตัดออกไปทำการทดสอบหาค่าความชื้น
4. ใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (วัดที่ด้านบน กลาง และล่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ย) และความสูง โดยวัดประมาณ 2 – 3 ครั้ง รอบตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก

3.2.5.2. ขั้นตอนการใส่ปลอกยาง

UU Test แบบไม่ทำให้ตัวอย่างอิมตัว

- วางแผ่นพลาสติกที่ทา Grease ไว้ ลงบนฐานของ Cell จากนั้นนำตัวอย่างดินวางทับและปิดตัวอย่างดินด้วยแผ่นพลาสติกเรียบทา Grease อีกครั้งหนึ่ง
- จากนั้นทำตามข้อ 1 – 8

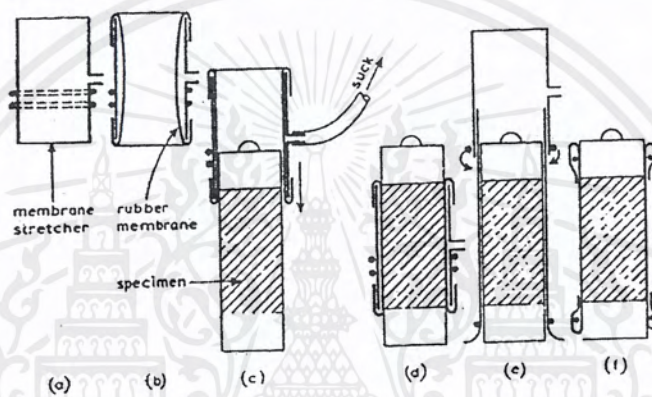
CU และ CD Test

- วางแผ่นหินปูนที่ต้มไล่อากาศแล้วจุ่มน้ำวางลงบนฐาน Cell
- นำกระดาษกรองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดของดินจุ่มน้ำให้ชุ่มแล้ววางลงบนแผ่นหินปูน
- นำตัวอย่างดินวางลงบนกระดาษกรอง
- นำกระดาษกรองชุ่มน้ำปิดทับด้านบนตัวอย่างดินตามด้วยแผ่นหินปูนชุบน้ำที่ผ่านการต้มไล่อากาศ
- นำกระดาษฉลุ่มน้ำจุ่มน้ำให้ชุ่มแล้วปิดให้ติดรอบตัวอย่างดิน แล้วสังเกตให้ปลายกระดาษฉลุ่มน้ำด้านบนทับกับแผ่นหินปูน ส่วนด้านล่างนั้นให้เว้นช่องว่างไว้ 5 mm.
- จากนั้นทำตามข้อ 1 – 8

การใส่ปลอกยาง

1. วางแผ่นกด (Top Cap) ลงบนด้านบนของตัวอย่างดิน
2. ใส่ยาง O-Ring เหนือที่เบ่งปลอกยาง และหมุนวงแหวน O-Ring เข้าไปใกล้ส่วนกลางของที่เบ่งปลอกยาง ดังรูปที่ 3.4. (a)
3. ใส่ปลอกยางเข้าไปในที่เบ่งปลอกยาง และพับปลอกยางออกมาด้านนอกทั้งสองข้าง โดยพยายามทำให้ปลอกยางภายในที่เบ่งปลอกยางเรียบ ดังรูปที่ 3.4. (b)
4. ดูปลมออกทางที่ดูดลมออกของที่เบ่งปลอกยาง ปลอกยางจะแนบสนิทกับที่เบ่ง ปลอกยาง และใช้ที่บีบท่ออย่างหรือใช้นิ้วมือบีบสายดูดลมไว้
5. สวมปลอกยางลงครอบตัวอย่างดิน จากนั้นปล่อยที่บีบท่ออย่าง ปลอกยางจะแนบสนิทกับตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.4. (d)

6. ค่อยๆ พับปลอกยางลงให้ทับกับฐานของตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.4. (e) หมุนยาง O-Ring ลงไปที่ฐานของตัวอย่าง วงแหวน O-Ring ก็จะทำการรัดปลอกยางกับฐาน Cell เพื่อไม่ให้น้ำรั่วเข้า-ออกจากตัวอย่างดินได้ในระหว่างการทดสอบ
7. พับปลายปลอกยางให้หุ้มกับแผ่นกดด้านบน (Top Cap) และใส่ยาง O-Ring บนที่เบ่งปลอกยางอีกครั้งและนำมาสวมด้านบนของตัวอย่างจากนั้นรัดวงแหวนยาง O-Ring ลงให้รัดปลอกยางกับ Top Cap ดังรูปที่ 3.4. (e)
8. พับปลอกยางเข้าหาตัวอย่างในแต่ละข้าง ดังรูปที่ 3.4. (f)



รูปที่ 3.4. แสดงการใส่ปลอกยาง (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

3.2.5.3. ขั้นตอนการเติมน้ำกลั่น

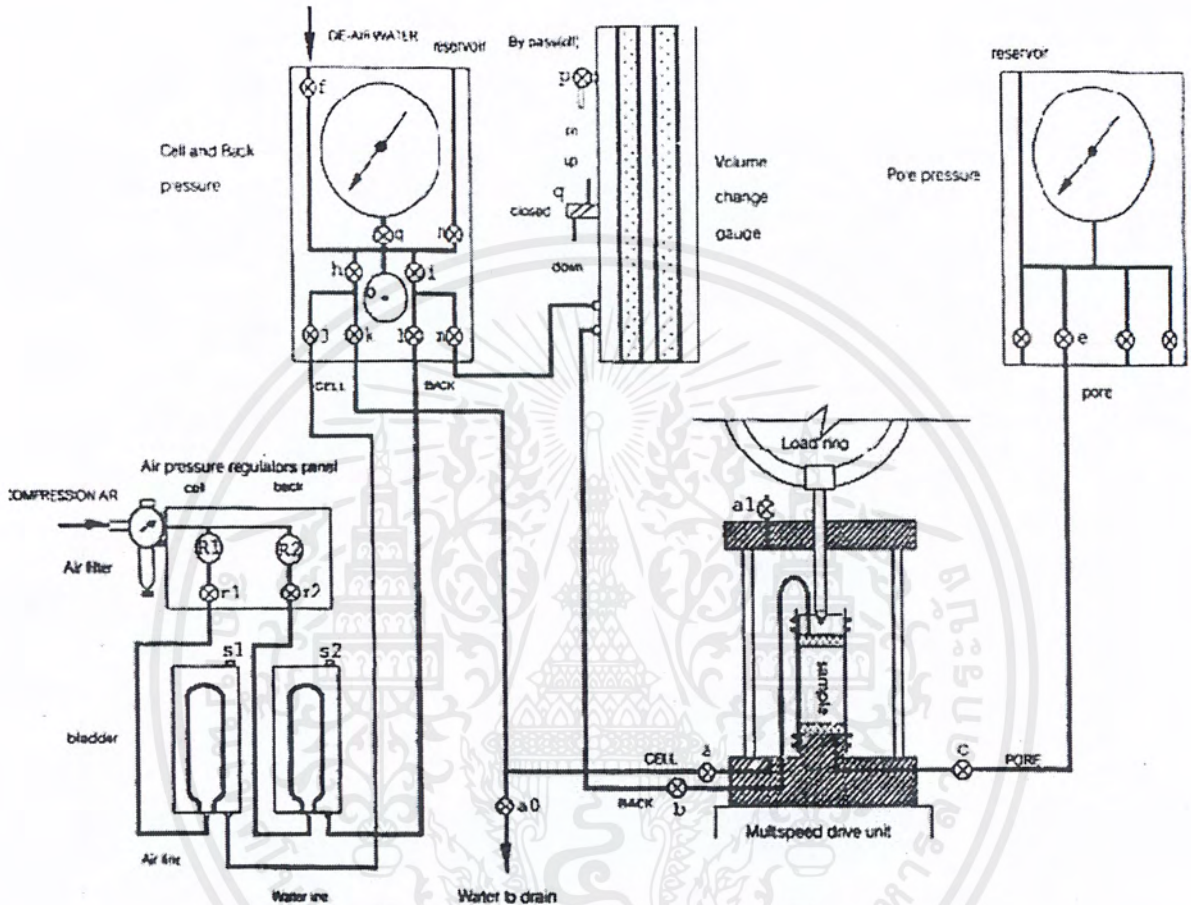
การทดสอบแรงอัด 3 แกนควรใช้น้ำกลั่น (Distilled Water) เนื่องจาก น้ำกลั่นเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่มีแร่ธาตุเจือปน เมื่อใช้ในแผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel) จะไม่ทำให้เกิดรอยคราบและตะไคร่น้ำในท่อต่างๆ และเราจะต้องทำการไล่อากาศในน้ำกลั่นด้วย เนื่องจากหากมีอากาศอยู่ในน้ำจะทำให้การอัดความดันของเราเกิด error ได้ เนื่องจากอากาศสามารถถูกบีบอัดได้ไม่เหมือนน้ำที่มีปริมาตรคงที่ซึ่งเป็นที่ต้องการ และหากมีอากาศอยู่ในน้ำ ในการวัด Cell Pressure และ Pore Pressure หรือ Back Pressure จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดอีกด้วย

วิธีการไล่อากาศในน้ำกลั่นทำได้ 2 วิธี คือ

1. ต้มให้เดือดประมาณ 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นก่อนนำไปใช้
2. ใช้วิธีดูดอากาศด้วยเครื่องดูดอากาศ (Vacuum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและ 33 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบนี้เราจะใช้เครื่องดูดอากาศ De-Aired Water Supply ในการจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบท่อต่างๆ ซึ่งจะเป็นน้ำกลั่นที่ไม่มีอากาศอยู่ในน้ำ



รูปที่ 3.5. แสดงผัง Triaxial ของห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

3.2.5.4. ขั้นตอนการเตรียม Load Frame และ Triaxial Cell

1. ติดตั้ง Proving Ring บน Load Frame และปรับระดับ Load Frame ให้มีความสูงเหมาะสมกับความสูงของฝาครอบ Cell
2. ครอบฝาครอบ Cell ลงบน Triaxial Cell

3.2.5.5. ขั้นตอนการเติมน้ำใน Bladder

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน Control Panel ปิดหมด
2. เปิดช่องระบายน้ำ (Water Bleed) s_1 และ s_2 ของ Bladder
3. เปิดวาล์ว f, h, j ให้น้ำไหลเข้าสู่ Bladder 1
4. ปลดปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยให้น้ำล้นออกทาง s_1 จากนั้นปิดวาล์ว
5. ปิดวาล์วทั้งหมด
6. เปิดวาล์ว f, i, l ให้น้ำไหลเข้าสู่ Bladder 2
7. ปลดปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยให้น้ำล้นออกทาง s_2 จากนั้นปิดวาล์ว
8. ปิดวาล์วทั้งหมด

3.2.5.6. ขั้นตอนการเติมน้ำใน Triaxial Cell

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน Control Panel ปิดหมด
2. เปิดช่องระบายอากาศ a1 (Air Bleed) ของ Triaxial Cell
3. เปิดวาล์ว f, h, k, a ให้น้ำไหลไปสู่ Triaxial Cell ดังผังในรูปที่ 3.5. ให้น้ำล้นออกจากวาล์ว a1 เล็กน้อย และไล่ฟองอากาศออกจาก Cell ให้หมด โดยเอียง Cell เล็กน้อย แล้วเคาะที่ข้าง Cell เพื่อให้ฟองอากาศลอยขึ้น จากนั้นปิดวาล์วทั้งหมดรวมทั้งช่องระบายอากาศของ Cell ด้วย

3.2.5.7. ขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิมตัวด้วยน้ำ (สำหรับ CU และ CD Test)

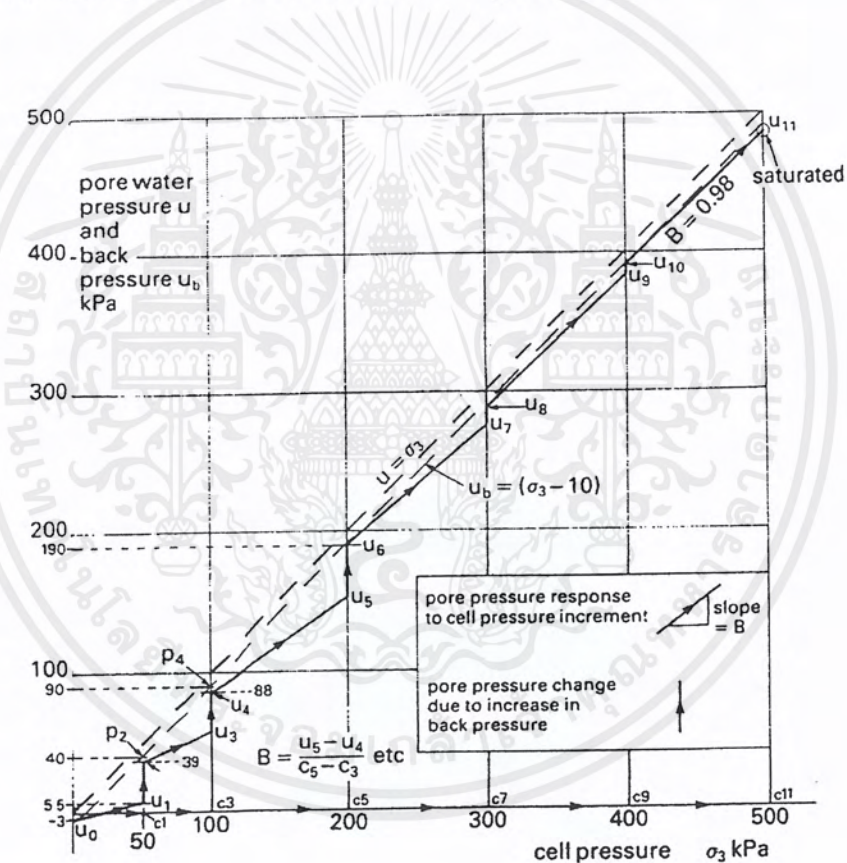
สิ่งที่เราต้องพิจารณาในการทำให้ตัวอย่างดินอิมตัวด้วยน้ำมีอยู่ 2 อย่าง คือ

- การเพิ่ม Cell Pressure ที่จะใส่ให้ตัวอย่างดินว่าจะใช้เท่าใด

- ความแตกต่างของความดันที่จะต้องใช้ระหว่าง Back Pressure กับ Cell Pressure ว่าควรเป็นเท่าใด เพื่อควบคุม Effective Stress ในตัวอย่างดินให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว จะยกตัวอย่างดังนี้

ในขั้นแรกเราจะใส่ Cell Pressure 50 kPa และขั้นต่อไปเพิ่มอีก 50 kPa เป็น 100 kPa ส่วนในขั้นต่อไป จากนี้ จะเพิ่มความดัน Cell ทีละ 100 kPa (ดูรูปที่ 3.6. ประกอบ) ส่วนในการให้ Back Pressure ในแต่ละ Step นั้น จะให้น้อยกว่า Cell Pressure เท่ากับ 10 kPa โดยผลต่างระหว่าง Cell Pressure และ Back Pressure อาจจะน้อยหรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดดิน



รูปที่ 3.6. กราฟความดันในการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (สุพจน์ ศรีนิลและคณะ, 2544)

สมมุติว่าความดัน Pore Pressure ในตัวอย่างดิน (Initial Pore Pressure) ตีคลบอยู่เล็กน้อย ให้แทนด้วย u_0

1. เพิ่มความดันใน Cell Line ให้เท่ากับ 50 kPa โดยการเปิดวาล์ว a, j, h, g, k, r1 และปรับความดันจาก Air Pressure Regulator R1 ตั้งเกตให้เข็มบน Pressure Panel เท่ากับ 50 kPa รอสักครู่ให้ความดันคงที่
2. ความดันจะเข้าไปใน Cell ให้ความดันใน Cell ตอนนี้อยู่เท่ากับ c_1 (50 kPa) ซึ่งความดัน Cell จะมีผลให้ Pore Pressure เพิ่มขึ้น
3. เปิดวาล์ว c, e เพื่อวัด Pore Pressure รอนจนค่าความดัน Pore Pressure (ที่ฐาน Cell) ไม่เปลี่ยนแปลงบันทึกค่า Pore Pressure (u_1)
4. กำหนดค่าเริ่มต้น Pore Pressure Coefficient B จากสมการ

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} = \frac{u_1 - u_0}{\Delta \sigma_3} \quad (3.2)$$

ในตัวอย่างนี้ $B = \frac{5.5 - (-3)}{50} = \frac{8.5}{50} = 0.17$

5. เพิ่มความดันใน Back Pressure Line ให้น้อยกว่าความดันใน Cell Pressure 10 kPa ในตัวอย่างนี้คือเพิ่มความดันใน Back Pressure Line ให้เท่ากับ 40 kPa (ในการเลือกขนาด Cell Pressure และความแตกต่างระหว่าง Back Pressure กับ Cell Pressure ควรพิจารณาจากชนิดและลักษณะของดิน ซึ่งจะต้องควบคุมให้เกิด Effective Stress เป็นค่าบวกในตัวอย่างดินเล็กน้อย) ในการเพิ่มความดันใน Back Pressure Line ทำได้โดย ปิดวาล์ว h แล้ว เปิดวาล์ว b, g, i, l, m, r2, p (by pass off), q (up) และปรับความดันจาก Air Pressure Regulator R2 ตั้งเกตให้เข็มบน Pressure Panel เท่ากับ 40 kPa รอสักครู่ให้ความดันคงที่ พร้อมบันทึกค่าบน Volume Change Gauge ซึ่งเป็นค่าเริ่มแรก (before)

หมายเหตุ: by pass (off) ในวาล์ว p หมายถึง ให้น้ำไหลผ่านชุด Volume Change Gauge เพื่อวัดปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง

6. ความดันจาก Back Pressure จะเข้าสู่ตัวอย่างดิน ตั้งเกตระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงใน Volume Change Gauge คือ ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ตัวอย่างดิน จากนั้นรอนจนกระทั่ง Pore Pressure ที่ฐาน Cell เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับ Back Pressure (อาจใช้เวลาหลายชั่วโมงสำหรับดินเหนียว) ในตัวอย่างนี้ Pore Pressure คงที่ ที่ความดัน 39 kPa (Back Pressure ที่เราให้คือ $p_2 = 40$ kPa) หากเราให้มีการ Drain ด้านข้าง (Side Drain) ของตัวอย่างด้วยเพื่อให้ Pore Pressure เพิ่มขึ้นได้รวดเร็วขึ้น

ในตัวอย่างดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก โดยใช้กระดาศกรอง แต่ว่า Pore Pressure จะไม่เท่ากันโดยตลอดทั้งตัวอย่างดิน ซึ่งเราจะต้องใช้เวลานานเพียงพอที่จะทำให้ Pore Pressure เท่ากันโดยตลอดทั้งตัวอย่างดิน โดยการปิดวาล์ว b และทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่ง หาก Pore Pressure มีค่าลดลงแสดงว่า Pore Pressure ในตัวอย่างดินไม่เท่ากันโดยตลอด เพราะฉะนั้นจะต้องเปิดวาล์ว b เพื่อใส่ความดันในตัวอย่างดินอีกครั้ง และรอจน Pore Pressure เท่ากับ Back Pressure หรือใกล้เคียง สังเกตจน Pore Pressure คงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีก หรืออาจสังเกตจาก ระดับน้ำใน Volume Change Gauge ไม่เปลี่ยนแปลง

7. เมื่อ Pore Pressure เท่ากับหรือใกล้เคียงกับ Back Pressure แล้ว บันทึกค่า Pore Pressure 2 และค่าระดับน้ำใน Volume Change Gauge โดยให้เป็นค่าที่อ่านทีหลัง (after) ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงคือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าตัวอย่างดิน จากนั้นปิดวาล์ว i เปิดวาล์ว h เพื่ออ่านค่า Cell Pressure จาก Pressure Panel ได้
8. เพิ่มความดันใน Cell Pressure Line ตามข้อ 1 อีก 50 kPa เป็น 100 kPa (c3)
9. ทำซ้ำตามข้อที่ 2 – 7 โดยที่ค่า Pore Pressure จะเพิ่มขึ้นจาก u_2 เป็น u_3 โดยที่ Cell Pressure จะเพิ่มจาก c_2 เป็น c_3 จากนั้นคำนวณค่า B Value ตามข้อ 5 จะทำการเพิ่ม Back Pressure จนเท่ากับ 90 kPa (p4) ค่า Pore Pressure ที่ได้ในข้อ 7 จะเท่ากับ 88 kPa (u_4)
10. หลังจากนี้ให้เพิ่มความดันใน Cell Pressure ขึ้นทีละ 100 kPa และทำซ้ำตามข้อ 1-7 โดยในการให้ Back Pressure เราจะให้น้อยกว่า Cell Pressure 10 kPa ในทุกขั้นที่เพิ่ม Cell Pressure (เพื่อรักษาให้ Effective Stress ในตัวอย่างดินเป็นบวกอยู่เล็กน้อย)
11. ทำซ้ำข้อ 10 จนกระทั่งค่า B Value ในข้อ 4 ถึง 0.97 (เราใช้ $B = 0.97$ เป็นเกณฑ์ในการกำหนดว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวแล้ว ซึ่งอาจใช้ไม่ใช่ $B = 0.97$ ก็ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะของดิน โดยที่ค่า B Value = 1 หมายความว่า ดินอิ่มตัว 100 % ในการทดสอบนั้น เราจะให้ค่า $B = 1$ นั้นทำได้ยากลำบากและต้องใช้เวลามาก) หลังจากนั้นให้ปิดวาล์วทุกตัวเพื่อให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวพร้อมที่จะทำการ Consolidate ต่อไป

3.2.5.8. ขั้นตอนการขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน (สำหรับ CU และ CD Test)

จุดประสงค์เพื่อปรับค่า Effective Stress ให้ได้ตามที่เราต้องการ

ค่า Effective Stress นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน Cell Pressure หรือการลดความดัน Back Pressure หรือว่ากระทำทั้งสองอย่าง ซึ่งจะเป็นผลให้ตัวอย่างดินยุบอัดตัว (Consolidate) ปกติแล้วเราจะเพิ่มความดัน Cell Pressure อย่างเดียว อย่างไรก็ตามถ้าเราต้องการให้ความดันมากไปกว่าที่เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจะ set จากชุดอุปกรณ์ทดสอบได้เราอาจจะต้องลดความดัน Back Pressure ซึ่งเป็นผลให้ Cell Pressure มีค่าเพิ่มขึ้น

หากค่า Pore Pressure ที่เราวัดได้ในตอนสุดท้ายของการ Saturation เป็น u_s และค่า Effective Stress ที่จะใช้ในขั้นตอน Compression เท่ากับ σ'_3 เพราะฉะนั้นเราจะต้องใช้ Cell Pressure (σ_3) ในขั้นตอน Consolidated ตัวอย่างเท่ากับ

$$\sigma_3 = \sigma'_3 + u_s \quad (3.3)$$

หรืออาจให้ Cell Pressure มากกว่า Cell Pressure ในขั้นตอนสุดท้ายของการ Saturated ตัวอย่างประมาณ 20 ksc

หมายเหตุ: กรณีนี้ให้ Back Pressure คงเดิมจากขั้นตอนการ Saturated ตัวอย่าง

วิธีการ Consolidation

1. เพิ่มความดันใน Cell Pressure Line ให้ได้ค่าตามที่เรากำหนดไว้ โดยการเปิดวาล์ว k, h, g, j, r1 และทำการปรับ Regulator R1 สังเกตความดันบน Pressure Panel ings ที่ได้ค่า Cell Pressure ตามที่เราต้องการ พร้อมเปิดวาล์ว b, q (down) , p (by pass off), m, l, r2 เพื่อรักษาความดัน Back Pressure ให้คงที่คือเท่ากับความดัน Back Pressure ในขั้นตอนสุดท้ายของการ Saturated ตัวอย่าง ดิน และให้น้ำระบายออกทาง Back Pressure Line

หมายเหตุ: ในขั้นตอนการ Saturated และ Consolidated ตัวอย่าง valve q จะสับเป็น up หรือ down ก็ได้ เพราะเราสามารถดูค่า Volume Change ได้ทั้งนั้น การสับ up หรือ down ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการอ่านค่าในแต่ละสภาพของตัวอย่างว่าน้ำไหลเข้าหรือออกจากตัวอย่าง

2. set เวลาให้เท่ากับศูนย์ เปิดวาล์ว c, e เพื่อดูค่า Pore Pressure พร้อมกับบันทึกค่า Pore Pressure เริ่มต้น
3. เปิดวาล์ว a ให้ความดันเข้าไปใน Cell พร้อมจับเวลา
4. บันทึกค่า Pore Pressure และปริมาตรของตัวอย่างดินที่ลดลงเนื่องจากการ Drain ออกของน้ำจาก Volume Change Guage ในช่วงเวลาต่างๆ

5. ทิ้งตัวอย่างภายใต้ความดันไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรืออาจใช้เวลาถึง 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน โดยสังเกตว่าไม่มีน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินอีกจาก Volume Change Gauge
6. ถัดจากกระบวนการ Consolidate ตัวอย่าง ทำการปิดวาล์ว b โดยวาล์ว a ยังคงเปิดอยู่

3.2.5.9. UU Triaxial Test

1. ปิดวาล์ว b เปิดวาล์ว a, k, h, g, j, r1 จากนั้นทำการปรับความดันใน Cell Pressure Line ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ (ตัวอย่างต่อไปเพิ่มความดัน Cell Pressure ครั้งละ 1 เท่าตัว) โดยปรับที่ Air Pressure Regulator R1 และอ่านค่าความดันที่ Pressure Panel บันทึกค่าเป็น σ_3
2. เลื่อนก้านกดจนก้านกด Piston เริ่มแตะกับ Top Cap ของตัวอย่าง สังเกตเข็มบน Proving เริ่มกระดิก ติดตั้ง Dial Gauge พร้อม set ค่า Dial Gauge และ Proving Ring ให้เท่ากับ 0
3. เปิดวาล์ว c, e วัด Pore Pressure กรณีที่ทำการ Saturated ตัวอย่างดินก่อน เพื่อหาค่า คงตัวแบบประสิทธิผล (Effective) บันทึกค่า Pore Pressure เริ่มต้น
4. เลือกค่าความเร็วในการให้ Strain กับตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดิน โดยที่อัตราการให้ Strain จะต้องพยายามทำให้ Pore Pressure เท่ากันตลอดทั้งตัวอย่าง

แนะนำ: อัตราการให้ Strain ประมาณ 0.5-1.0 % ของความสูงตัวอย่างดิน/นาที่

5. เดินเครื่องทดสอบ พร้อมบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring และค่า Pore Pressure (กรณี Saturated ตัวอย่างดินก่อน) ทุกๆ ค่า Dial Gauge ยุดตัว 10, 25 หรือ 50 ซีด ทำการให้ Load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างดินจนถึงค่า Strain = 20 %
6. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ Load ปรับความดัน Cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน Cell ทิ้งโดยการเปิดวาล์ว a, a0 และปิดวาล์ว k
7. นำ Cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Failure Mode) ทำการชั่งและนำตัวอย่างไปหาค่าความชื้นหลังการทดสอบ
8. เตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่างและทำการทดสอบตามกระบวนการดังที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด โดยเพิ่ม Cell Pressure ครั้งละ 1 เท่าตัว ในขั้นตอนการทดสอบ

3.2.5.10. CU Triaxial Test

1. เตรียมตัวอย่างดินและทำการ Saturated และทำการ Consolidated ตามวิธีการที่ได้กล่าวไปแล้ว เปิดวาล์ว c เพื่อวัดค่า Pore Pressure เริ่มแรก
2. ปิดวาล์ว b เปิดวาล์ว a, k, h, g, j, r1 จากนั้นปรับค่าความดันใน Cell Pressure Line ให้ได้ค่าตามค่าที่ต้องการ (ตัวอย่างต่อไปเพิ่มความดัน Cell Pressure ครั้งละ 1 เท่าตัว) โดยปรับที่ Air Pressure Regulator R1 และอ่านค่าความดันที่ Pressure Panel บันทึกค่าเป็น σ_3
3. เลื่อนเครื่องกดจนก้านกด Piston เริ่มแตะกับ Top Cap ของตัวอย่าง สังเกตเข็มบน Proving เริ่มกระดิก ติดตั้ง Dial Guage พร้อม Set ค่า Dial Guage และ Proving Ring ให้เท่ากับ 0
4. เปิดวาล์ว c, e วัด Pore Pressure เพื่อหาค่าคงตัวแบบประสิทธิผล (Effective) บันทึกค่า Pore Pressure เบื้องต้น
5. เลือกค่าความเร็วในการให้ Strain กับตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดิน โดยที่อัตราการให้ Strain จะต้องทำให้ Pore Pressure เท่ากันตลอดทั้งตัวอย่าง

แนะนำ: อัตราการให้ Strain ประมาณ 1 % ของความสูงตัวอย่างดินหลังการ Consolidated/ชั่วโม่ง

6. เดินเครื่องทดสอบ พร้อมบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring และค่า Pore Pressure ทุกๆ ค่า Dial Guage ยับตัว 10, 25 หรือ 50 ซีด ทำการให้ Load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างดินจนถึงค่า Strain = 20 %
7. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ Load ปรับความดัน Cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน Cell ทิ้งโดยการเปิดวาล์ว a, a0 และปิดวาล์ว k
8. นำ Cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Failure Mode) ทำการชั่งและนำตัวอย่างไปหาค่าความชื้นหลังการทดสอบ
9. เตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง และทำการทดสอบตามกระบวนการดังที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด โดยเพิ่ม Cell Pressure ครั้งละ 1 เท่าตัว ในขั้นตอนการทดสอบ

3.2.5.11. CD Triaxial Test

ในการทดสอบแบบระบายน้ำ (Drained Condition) นั้น ในระหว่างการให้ Load กับตัวอย่าง จะยอมให้น้ำมีการระบายออกจากตัวอย่าง เพราะฉะนั้นจะไม่มี的增加หรือลดขนาดของ Pore เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure วาล์ว b จะเปิดในระหว่างการทดสอบเพื่อให้มีการระบายออกได้ Pore Pressure ยังคงเท่าเดิม แต่ปริมาตรของดินจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง

การให้ Compression ต้องช้าพอที่จะให้เกิดการระบายออกของน้ำ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. เปิดวาล์ว b, p (by pass off), q (down), m, i, g, l, r2 ทำการอ่านค่า Back Pressure จาก Pressure Panel จากนั้นปิดวาล์ว i
2. เปิดวาล์ว a, k, h, g, j, r1 พร้อมปรับ Air Pressure Regulator R1 ให้ได้ความดัน Cell Pressure ตามต้องการโดยอ่านค่าจาก Pressure Panel บันทึกค่า Cell Pressure จากนั้นเปิดวาล์ว i และปิดวาล์ว h และเปิดวาล์ว b, p (by pass off), q (down), m, l, r2 โดยตลอดการทดสอบเพื่อให้น้ำสามารถระบายออกได้ และตรวจสอบค่า Back Pressure ในระหว่างการทดสอบ
3. เปิดวาล์ว c, e เพื่อวัดค่า Pore Pressure ในระหว่างการทดสอบ และบันทึกค่า Pore Pressure เริ่มต้น
4. เลือกค่าความเร็วในการให้ Strain กับตัวอย่างดิน โดยอัตราการให้ Strain ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินว่ายอมให้มีการระบายน้ำออกได้ง่ายเพียงใด โดยพยายามรักษา Pore Pressure ให้คงที่

แนะนำ: อัตราการให้ Strain ประมาณ 0.2 % ของความสูงตัวอย่างหลังจากการ Consolidated/ชั่วโมง

5. เดินเครื่องทดสอบ พร้อมบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring, Volume Change พร้อมทำการตรวจสอบ Pore Pressure และ Back Pressure ทุกๆ ค่า Dial Guage ยุปตัว 10, 25 หรือ 50 จีค (Pore Pressure และ Back Pressure ควรคงที่ตลอดการทดสอบและเท่ากับค่าที่อ่านได้ในตอนแรก)ทำการให้ Load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านได้จาก Proving Ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างดินจนถึงค่า Strain = 20 %
6. ปกติเวลาที่ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆ จะใช้เวลาประมาณ 0.2-1.0 % Strain ในการอ่านค่าต่างๆ ต้องระมัดระวังโดยเฉพาะเมื่อค่าเข้าใกล้ Peak Deviator Stress
7. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ Load ปรับความดัน Cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน Cell ทั้งโดยการเปิดวาล์ว a, a0 และปิดวาล์ว k
8. นำ Cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Faillure Mode) ชั่งน้ำหนักแล้วนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง และทำการทดสอบตามกระบวนการดังที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด โดยเพิ่ม Cell Pressure ครั้งละ 1 เท่าตัว ในขั้นตอนการทดสอบ

3.3. การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

การทดสอบกระทำโดยการใส่แรงตามแกน (Axial Load) ให้กับผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างโดยไม่มีแรงดันด้านข้าง จนตัวอย่างวิบัติปกติจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที การทดสอบจะเป็นแบบ Undrained Test เนื่องจากระยะเวลานับจากเริ่มใส่ Load จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติใช้เวลาน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่น้ำ (Pore Water) จะไหลออกจากตัวอย่างดิน และปริมาณความชื้นในตัวอย่างยังคงเท่าเดิม เราอาจเรียกการทดสอบแบบนี้ว่า Quick Test

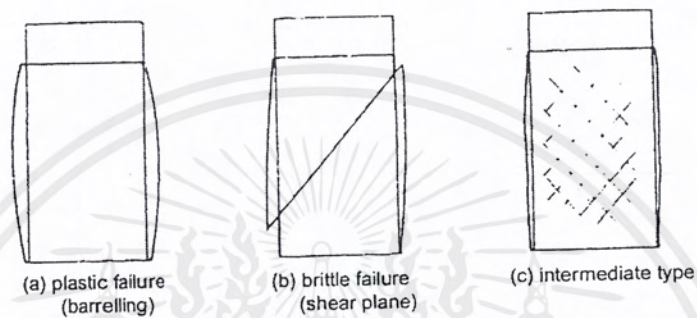
ดินที่นำมาทดสอบจะเป็นดินแบบมีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) พุกดินเหนียว เราจะไม่ใช้วิธี Unconfined Test กับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non Cohesive Soil) พุกดินตะกอน (Silt) หรือดินที่มีทรายปน (Sandy Clay) เนื่องจากเราไม่สามารถตั้งตัวอย่างในแท่นทดสอบได้เพราะดินจะหลุดร่อนออกมาก่อนและค่าแรงเฉือนที่ได้ก็ต่ำเกินไป ควรจะทดสอบด้วยวิธี Direct Shear แทน

ความสูงของตัวอย่างดินที่เหมาะสมในการทดสอบควรมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2:1 หากความสูงน้อยกว่านี้จะเกิดผลกระทบจากการตัดกันของระนาบพังทลาย (45°) และหากตัวอย่างสูงมากเกินไปจะทำให้ได้รับผลกระทบจากการแอ่นตัว (Buckling) เนื่องจากความชะลูดมีผลต่อการวิบัติของตัวอย่างดินทำให้แรงอัดที่ได้ไม่ใช่แรงอัดที่แท้จริง ปกติความสูงของตัวอย่างควรอยู่ในช่วง $2 < L/d < 2.5$

การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด ใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนประมาณ 0.5-2% ของความสูงตัวอย่างทดสอบก่อนที่ แต่โดยปกติจะใช้อัตราประมาณ 2 % ต่อนาที ในการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวทั่วไป

ปกติเราจะถือว่าตัวอย่างดินวิบัติเมื่อตัวอย่างไม่สามารถรับ Stress หรือแรงกดได้มากขึ้น เป็นจุดที่แรงแบกทานมากที่สุด หรือมีการยุบตัว (Strain) ประมาณ 20 % ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างดินมี 3 ชนิด ดังรูปที่ 3.7. คือ

1. การวิบัติแบบพลาสติก (Plastic Failure) ตัวอย่างดินจะป่องออกด้านข้าง โดยไม่มีรอยแยก
2. การวิบัติแบบเปราะ (Brittle Failure) จะสังเกตเห็นรอยระนาบเลื่อนได้ชัดเจนบนตัวอย่างดิน
3. การวิบัติแบบผสม คือมีลักษณะเป็นทั้งแบบพลาสติกและแบบเปราะ



รูปที่ 3.7. แสดงลักษณะการวิบัติของดิน

3.3.1. อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
3. มาตรฐาน้ำปิด (Dial Guage) อ่านละเอียด 0.025 mm.
4. แผ่นพลาสติกประกบหัวท้ายตัวอย่าง 2 แผ่น และ grease
5. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
6. เครื่องชั่ง
7. อุปกรณ์หาความชื้นของดิน (Water Content)

3.3.2. วิธีการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัดมีดังนี้

3.3.2.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

1. การเตรียมตัวอย่างดินเหมือนการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ Triaxial
2. หลังจากแต่งตัวอย่างดินได้ขนาดนำตัวอย่างดินขึ้นชั่ง โดยใช้พร้อมกับแบบแยก (Split Former) เพื่อป้องกันการถูกรบกวน และวัดขนาดของตัวอย่างดินทั้งความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามวิธีการทดสอบเหมือนการทดสอบ Triaxial

3.3.2.2. ขั้นตอนการกดตัวอย่างดิน

1. ตั้งตัวอย่างดินตรงกลางฐานเครื่องกดที่มีแผ่นพลาสติกทา grease บางๆ รองอยู่ ถอดแบบผ่า (Split Former) ออก นำแผ่นพลาสติกทา grease อีกแผ่นวางทับบนตัวอย่างดิน ปรับเป็นกคของเครื่อง ให้สัมผัสตัวอย่างพอดี (เราใส่แผ่นพลาสติกทา grease เพื่อลดผลกระทบจาก Frictional Restraint หรืออาจใช้กระดาษเคลือบขี้ผึ้ง Wax Paper ประกบบนล่างแทนก็ได้)
2. จัด Dial Gauge โดยให้ปลายสัมผัสกับเป็นฐานของเครื่องกด ปรับหน้าปัด Proving Ring และ Dial Gauge ให้เท่ากับศูนย์
3. เริ่มทดสอบ โดยกดตัวอย่างดินด้วยอัตรา 0.5 –2.0 % ของความสูงตัวอย่างต่ออนาที โดยติดตั้งระบบเพื่อเกียร์ให้ได้อัตราตามกำหนดหรือใกล้เคียง หากเป็นเครื่องทดสอบแบบหมุนด้วยมือ ควรฝึกหมุนให้ได้อัตราคงที่
4. บันทึกค่าแรงกดจาก Proving Ring ทุกๆ การยุบตัว 0.1-0.25 mm. (หากตัวอย่างดินเปราะควรอ่านให้ถี่ขึ้น)
5. ใส่แรงกดจนค่าแรงกดเริ่มลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน ให้บันทึกผลต่อไปจนเป็นแนวเฉือน (Failure Plane) บนตัวอย่างดินชัดเจน แล้วหยุดการทดสอบ หรือทดสอบจนถึง Strain = 20 % จึงหยุดการทดสอบ เพราะหากดินมีความยืดหยุ่นมากๆ (Very Plastic Soil) จะไม่สามารถสังเกตเห็นแนวเฉือนได้เนื่องจากดินมีคุณสมบัติเป็น Plastic เราจะถือว่าดินนี้วิบัติที่ค่า Strain = 20 %
6. วาดรูปแสดงลักษณะตัวอย่างดินที่วิบัติ และวัดมุมที่รอยเฉือนกระทำกับแนวราบ (หากเป็นการวิบัติแบบ Brittle Failure)
7. นำตัวอย่างขึ้นชั่งและนำดินบางส่วนเข้าเตาอบ เพื่อหาปริมาณความชื้น หลังการทดสอบ

บทที่ 4

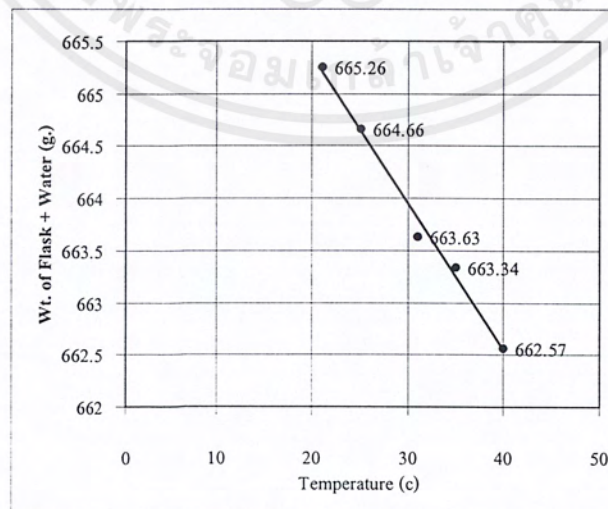
ผลการทดสอบ

4.1. ผลการทดสอบ Specific Gravity

เพื่อคำนวณค่าความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) ที่ความลึก 1.50 เมตร ประกอบในการทดสอบ Triaxial จึง หาค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 854 ผลการทดสอบแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1.

Pycnometer Calibration

No.	Flask + water (g)	temperatuer (c)
1	663.63	31
2	665.26	21
3	664.66	25
4	663.34	35
5	662.57	40



รูปที่ 4.1. กราฟแสดงการปรับแก้ Pycnometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ผลการทดสอบ Specific Gravity

Location CV_Shop(Old) Boring No. 1,2,3 Depth 1.5 m Date 17/3/2002

Specific Gravity Determination			
Sample No.	1	2	3
Sample Depth (m.)	1.5	1.5	1.5
1. Temperature	30	31	32.5
2. Flask + Water	663.85	663.63	663.5
3.Flask + Water+ Soil	667.83	669.05	673.73
4.Container No.	1	2	3
5. Dry Soil + Container	272.79	274.78	284.3
6. Wt. Of Container	265.62	265.23	266.9
7. Dry Soil (5) - (6)	7.17	9.55	17.4
8. GT	0.9957	0.9954	0.9949
9. G.S. (7x8)/(2x7-3)	2.24	2.30	2.41
Average G.S.	2.32		

จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของดินที่นำมาทดสอบเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 สามารถคำนวณหาค่าความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) ได้ดังนี้

$$\gamma_w \text{ at } 4^\circ\text{C} = 9810 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_s \text{ at } 1.50 \text{ m.} = 9810 \times 2.317 = 22739.58 \text{ N/m}^3$$

$$P = \gamma_h = \frac{22739.58 \times 1.50}{1000} = 34.17 \text{ kPa}$$

ดังนั้น ในการทดสอบ Triaxial จึงใช้ค่าความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) เริ่มต้นเท่ากับ 34 kPa หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มค่าความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) อีก ครั้งละ 1 เท่า คือ เท่ากับ 68 kPa และ 134 kPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ผลการทดสอบ Unconfined Compression

จากการทดสอบ Unconfined Compression ของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 ได้ผลการทดสอบโดยสรุปดังแสดงในตารางที่ 4.2.

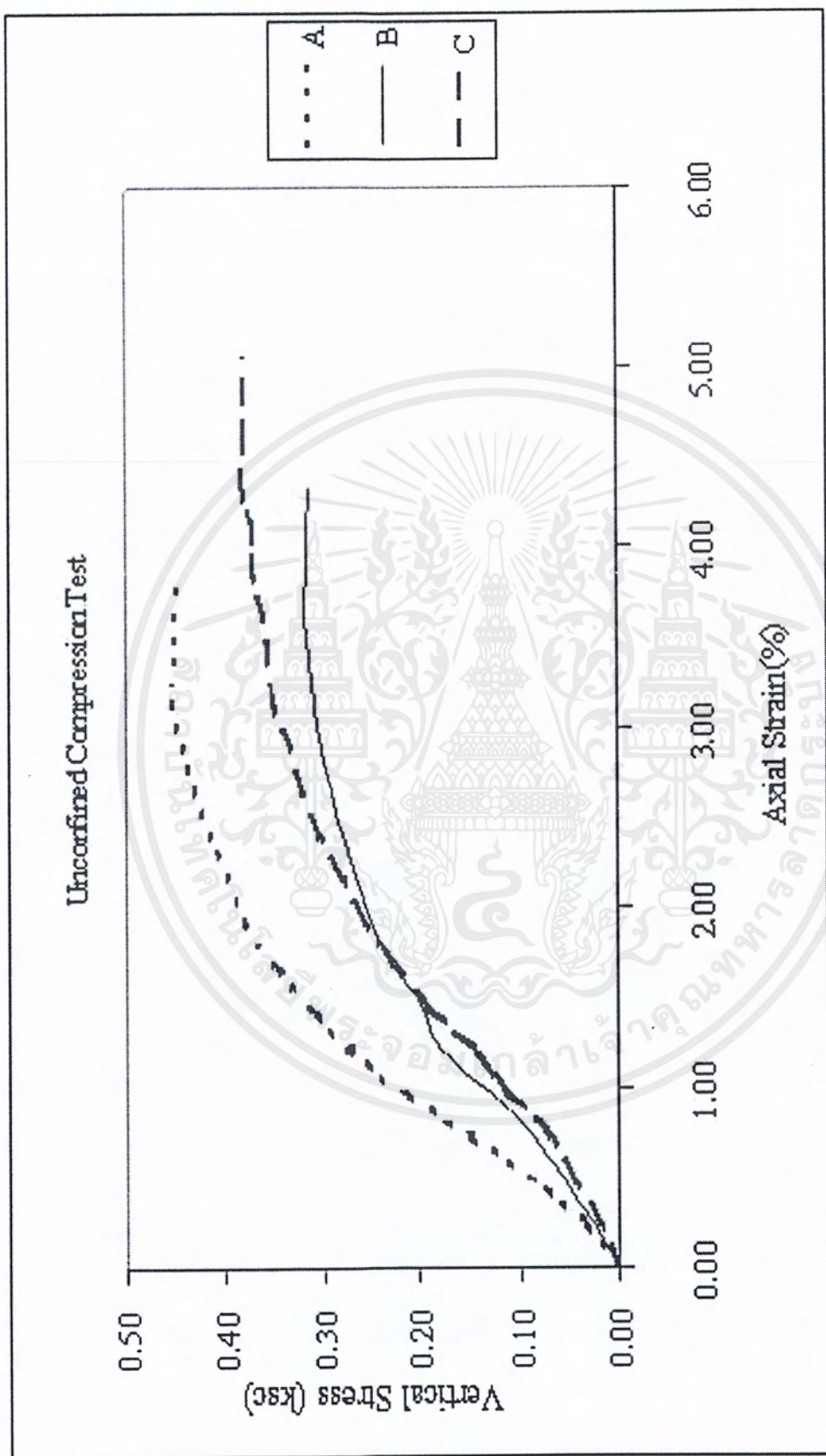
ตารางที่ 4.2. ผลการทดสอบ Unconfined Compression

Type of Test		UC		
Soil Description		Form CV_Shop (Old)		
Bore Hole No.		1, 2, 3		
Type of Specimen		Undisturbed		
Specimen		A	B	C
Compression	Initial σ_3 , kPa	0	0	0
	Stage	Strain Rate, mm/min	0.8	0.8
Failure	Strain, %	3.86	4.09	4.98
	Condition	Axial Load (kg)	5.33	3.76
Vertical stress (ksc)		0.45	0.32	0.38
q_u t/m ²		4.49	3.18	3.80
C t/m ²		2.24	1.59	1.90
Average		$q_u = 3.82$ t/m ²		C = 1.91 t/m ²

จากการทดสอบ Unconfined Compression ของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ 3 ตัวอย่าง ได้ค่า $q_u = 4.49, 3.18$ และ 3.80 t/m² และได้ค่า C = 2.24, 1.59 และ 1.90 t/m² ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \text{จะได้ค่าเฉลี่ยของ } q_u &= 3.82 \text{ t/m}^2 \text{ หรือ } = 37.47 \text{ kPa} \\ C &= 1.91 \text{ t/m}^2 \text{ หรือ } = 18.74 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ผลการทดสอบโดยละเอียดของตัวอย่าง A, B และ C สามารถดูได้จากภาคผนวก ก



รูปที่ 4.2. กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดสอบ Unconfined compression ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C

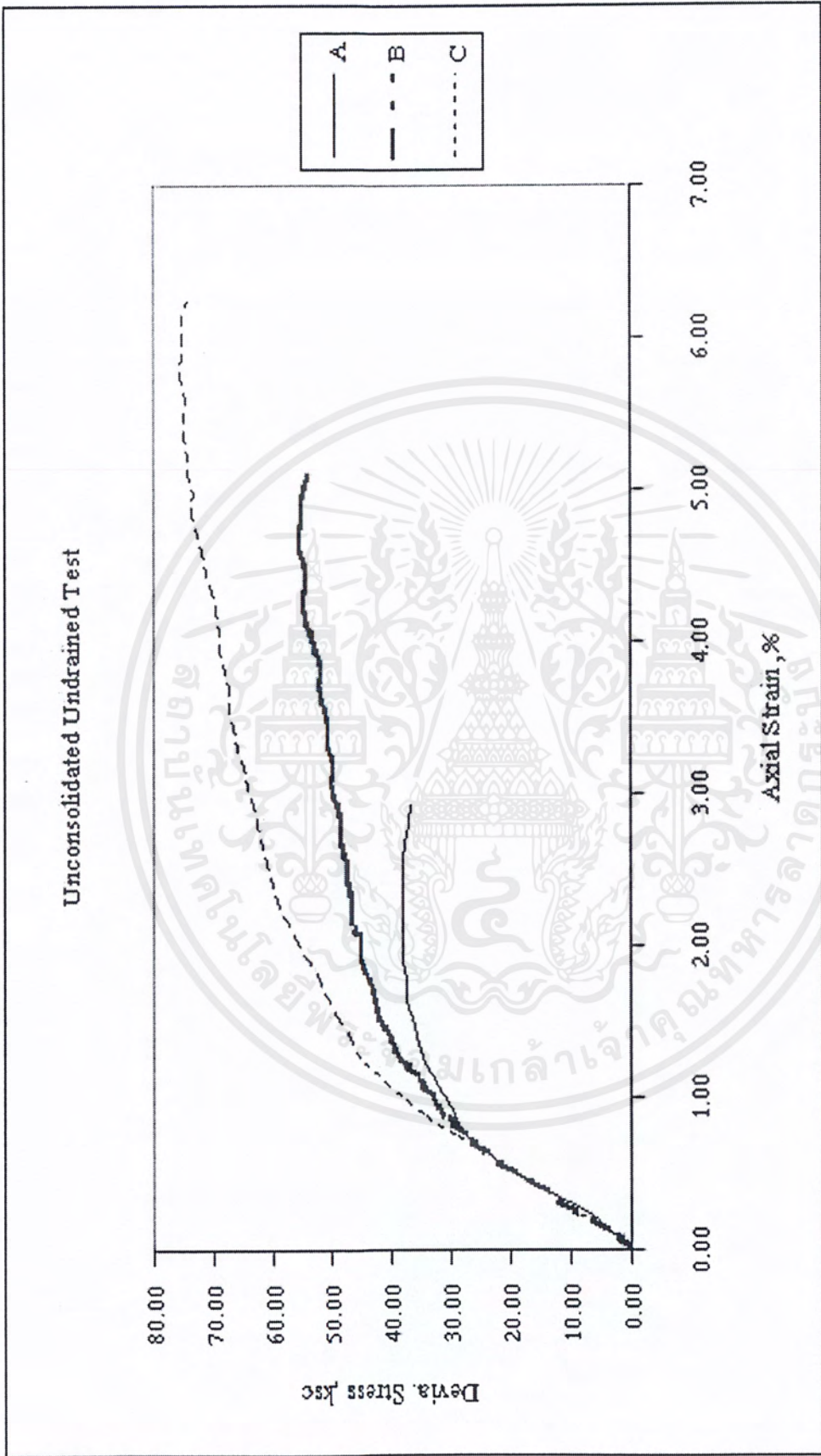
4.3. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained

จากการทดสอบ Unconsolidated Undrained ของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D-2850 โดยไม่ทำให้ตัวอย่างอิมด้วก่อนทำการทดสอบ ผลการทดสอบโดยสรุป แสดงในตารางที่ 4.3.

ตารางที่ 4.3. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained

Type of Test		UU		
Soil Description		Form CV_Shop (Old)		
Bore Hole No.		4, 5, 6		
Type of Specimen		Undisturbed		
Specimen		A	B	C
Compression	Cell Press. ,kPa	34	68	136
Stage	Initial σ_3 ,kPa	34	68	136
	Strain Rate ,%/min.	1	1	1
Failure	Strain ,%	2.93	5.13	6.35
Condition	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$,kPa	37.94	55.49	75.73
	σ_{11} ,kPa	71.94	123.49	211.73
	σ_{31} ,kPa	34	68	136

ผลการทดสอบของตัวอย่าง A, B และ C โดยละเอียด สามารถดูได้จากภาคผนวก ข



รูปที่ 4.3. กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดสอบ Unconsolidated Undrained ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C

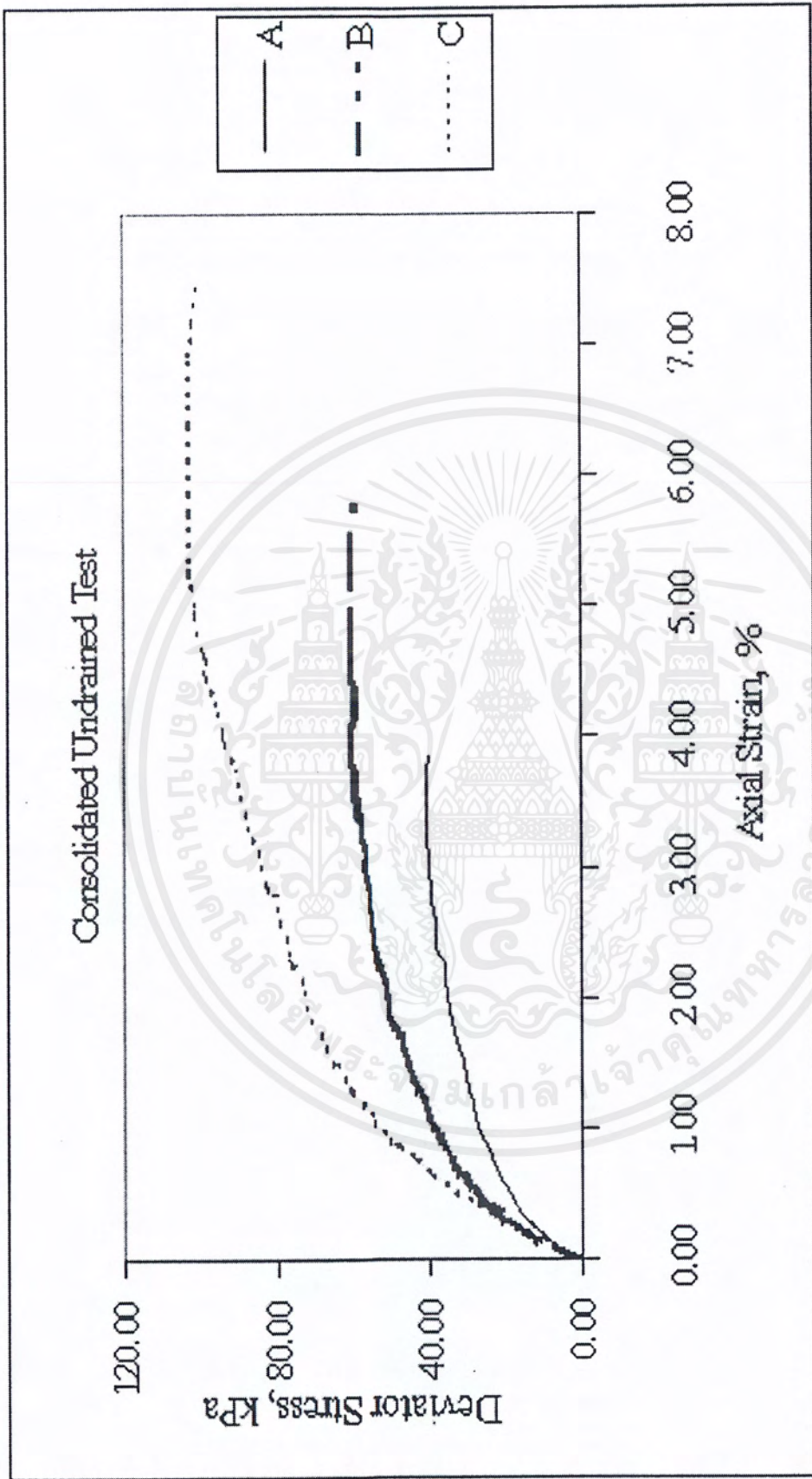
4.4. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained

ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ตามมาตรฐาน ASTM D-4767 โดยสรุปแสดงในตารางที่ 4.4 และผลการทดสอบโดยละเอียดของตัวอย่าง A, B และ C สามารถดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.4. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained

Type of Test		CU		
Soil Description		Form CV_Shop (Old)		
Bore Hole No.		7, 8, 9		
Type of Specimen		Undisturbed		
Specimen		A	B	C
Saturation Stage	Initial pwp ,kPa	0	0	0
	Saturated pwp ,kPa	482.2	478.4	580.6
	Final Cell Press ,kPa	500	500	600
	B Value	92.1	93.1	91.9
Consolidation Stage	Cell Press. ,kPa	500	500	600
	Back Press. ,kPa	432	466	464
	Initial pwp ,kPa	482.2	478.4	580.6
	Final pwp ,kPa	465.1	432.0	463
Compression Stage	Cell Press. ,kPa	500	500	600
	Initial pws ,kPa	465.1	432.0	463
	Initial σ_3 ,kPa	34	68	136
	Strain Rate ,%/hr.	1	1	1
Failure Condition	Strain ,%	3.85	5.85	5.78
	Final pws ,kPa	483.6	461.9	520
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$,kPa	40.64	60.3	102.39
	σ_{11} ,kPa	74.64	128.3	238.39
	σ_{31} ,kPa	34	68	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4. กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดสอบ Consolidated Undrained ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C

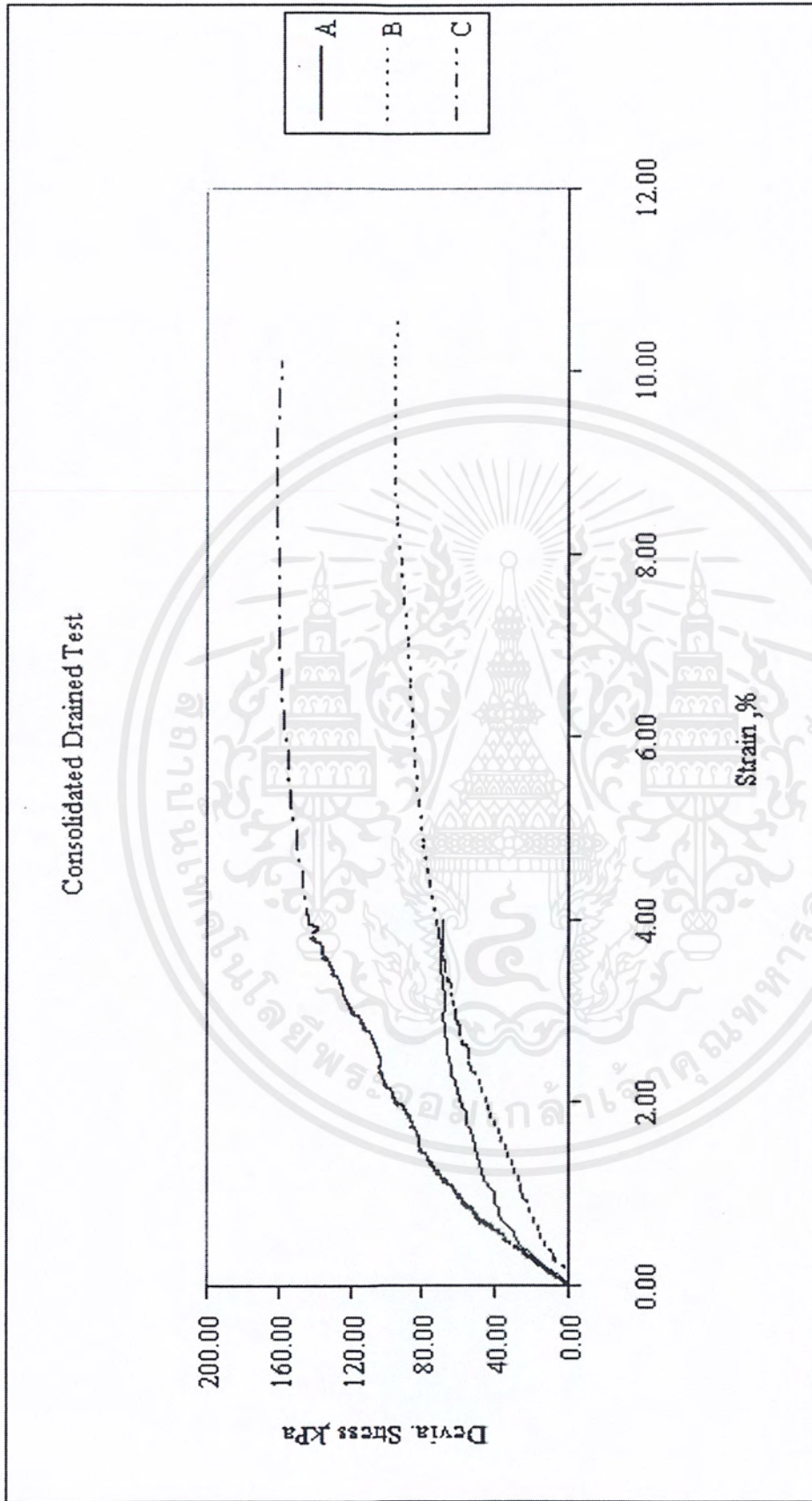
4.5. ผลการทดสอบ Consolidated Drained

ตารางที่ 4.5. ผลการทดสอบ Consolidated Drained

Type of Test		CD		
Soil Description		Form CV_Shop (Old)		
Bore Hole No.		10, 11, 12		
Type of Specimen		Undisturbed		
Specimen		A	B	C
Saturation Stage	Initial pwp ,kPa	0	0	0
	Saturated pwp ,kPa	675.6	578.7	580.3
	Final Cell Press ,kPa	700	600	600
	B Value	89.6	92.3	93.2
Consolidation Stage	Cell Press. ,kPa	700	600	600
	Back Press. ,kPa	666	532	464
	Initial pwp ,kPa	675.6	578.7	580.3
	Final pwp ,kPa	663.5	526.4	461.7
Compression Stage	Cell Press. ,kPa	700	600	600
	Initial pws ,kPa	664.1	529.1	462
	Initial σ_3 ,kPa	34	68	136
	Strain Rate ,%/hr.	0.2	0.2	0.2
Failure Condition	Strain ,%	4.07	10.87	10.05
	Final pws ,kPa	663.5	528.8	461.3
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$,kPa	69.4	96.95	158.34
	σ_{11} ,kPa	103.4	164.95	294.34
	σ_{31} ,kPa	34	68	136
	Volume Change ml.	1.51	1.05	1.73

ผลการทดสอบโดยละเอียดของตัวอย่าง A, B และ C สามารถดูได้จากภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5. กราฟเปรียบเทียบค่า Vertical Stress ของการทดสอบ Consolidated Drained ของตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง คือ A, B และ C

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ Unconsolidated Undrained, Consolidated Drained และ Consolidated Drained สามารถสรุปผลการทดสอบของแต่ละการทดสอบได้ดังนี้

5.1.1. สรุปการทดสอบ Unconsolidated Undrained

จากรูปที่ 5.1. เป็นกราฟที่ plot โดยใช้ค่า σ_{11} และ σ_{31} มาสร้างวงกลมมอร์ ซึ่งจากวงกลมมอร์ที่สร้าง สามารถอ่านค่า C และค่า ϕ ได้ดังนี้

$$C = 10 \text{ kPa} = 1.02 \text{ t/m}^2, \phi = 10^\circ$$

5.1.2. สรุปผลการทดสอบ Consolidated Undrained

จากรูปที่ 5.2. เป็นกราฟที่ plot โดยใช้ค่า σ_{11} และ σ_{31} มาสร้างวงกลมมอร์ ซึ่งจากวงกลมมอร์ที่สร้าง สามารถอ่านค่า C และค่า ϕ ได้ดังนี้

$$C = 11 \text{ kPa} = 1.12 \text{ t/m}^2, \phi = 12^\circ$$

5.1.3. สรุปผลการทดสอบ Consolidated Drained

จากรูปที่ 5.3. เป็นกราฟที่ plot โดยใช้ค่า σ_{11} และ σ_{31} มาสร้างวงกลมมอร์ ซึ่งจากวงกลมมอร์ที่สร้าง สามารถอ่านค่า C และค่า ϕ ได้ดังนี้

$$C = 18 \text{ kPa} = 1.83 \text{ t/m}^2, \phi = 18^\circ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและรูปร่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1. วงกลมมอร์ของการทดสอบ Unconsolidated Undrained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2. วงกลมเมอริ่งของการทดสอบ Consolidated Undrained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3. วงกลมมอร์ของการทดสอบ Consolidated Drained

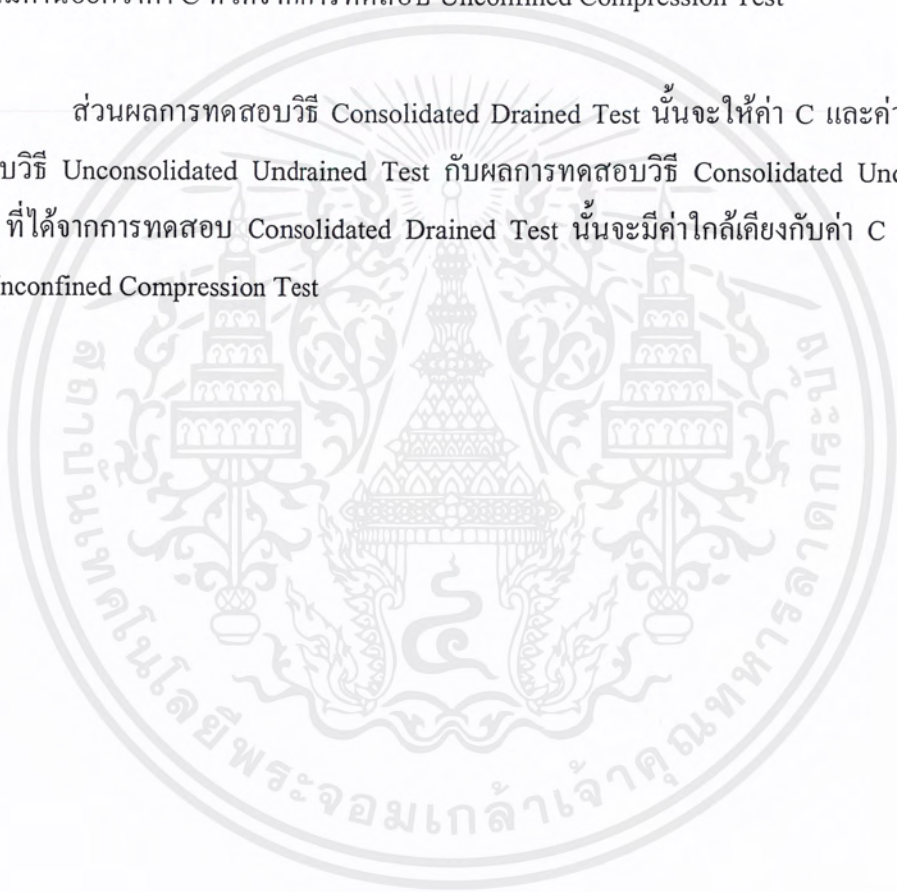
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแล 59 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4. เปรียบเทียบผลการทดสอบของแต่ละวิธี

จากผลการทดสอบที่สรุปได้ออกมา สามารถนำมาสร้างวงกลมมอร์เพื่อเปรียบเทียบค่า C และค่า ϕ ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.4.

โดยจากรูปที่ 5.4. จะพบว่าผลการทดสอบของวิธี Unconsolidated Undrained Test กับ ผลการทดสอบวิธี Consolidated Undrained Test ให้ค่า C และค่า ϕ ออกมาใกล้เคียงกัน ซึ่งค่า C ที่ได้ ออกมานั้นมีค่าน้อยกว่าค่า C ที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test

ส่วนผลการทดสอบวิธี Consolidated Drained Test นั้นจะให้ค่า C และค่า ϕ มากกว่า การทดสอบวิธี Unconsolidated Undrained Test กับผลการทดสอบวิธี Consolidated Undrained Test และค่า C ที่ได้จากการทดสอบ Consolidated Drained Test นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า C ที่ได้จากการ ทดสอบ Unconfined Compression Test





รูปที่ 5.4. เปรียบเทียบพฤติกรรมของกวดทดสอบ Unconfined Compression, Unconsolidated Undrained, Consolidated Undrained และ Consolidated Drained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเอ็งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. ข้อเสนอแนะ

- การศึกษาต่อเนื่องในอนาคตควรทดสอบดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังบริเวณอื่นอีกหลายๆ แห่ง เพื่อทำการเปรียบเทียบและสร้างความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทดสอบแต่ละวิธี
- การศึกษาต่อเนื่องในอนาคตควรทำการปรับปรุง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกผลการทดสอบ Triaxial เนื่องจากโปรแกรมเดิมล้าสมัยแล้ว และยังไม่สามารถควบคุมมอเตอร์ได้
- ในการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบ Triaxial ควรหาทางแก้ไขปัญหาจากไฟฟ้าดับไว้ เนื่องจากมีอุปกรณ์หลายอย่างที่จำเป็นต้องใช้ไฟตลอดเวลาระหว่างการทดสอบตัวอย่างดิน
- วิธีในการเก็บตัวอย่างดินควรวางแผนอย่างรอบคอบ ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ชุดเป็นอย่างดี เช่น หัวขุดมือหมุน (Hand Auger) ขุดได้เฉพาะดินเหนียวที่ความลึกไม่มากกว่าระดับน้ำใต้ดิน



หนังสืออ้างอิง

- กัลยา บริสุทธิธนะกิจ, 2535. การวิเคราะห์ชั้นดินในกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิศาล แซ่จิ่ง, ไพศาล จิระชัยประสิทธิ์ และ วรเดช สีดา, 2541. การปฏิบัติการและการวิเคราะห์ชั้นดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. โครงการพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มณฑิเตอร์ กังศศิเทียม, 2533. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2541. ทดลองปฏิรูปกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โลบรารี นาย.
- สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2542. ปฏิรูปกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โลบรารี นาย.
- สุพจน์ ศรีนิล, แผลมทอง เหล่าคงถาวร และ ชลธิ์ เร่บ้านเกาะ, 2544. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฏิรูปกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์, 2540. วิศวกรรมปฏิรูป. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรียา ศิวบรรวัฒนา และ งามอาจ ปัญญารัตน์, 2539. การศึกษากรณีเปรียบเทียบการทดสอบหาความสัมพัทธ์ของกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ ด้วยวิธี FALL CONE TEST กับวิธี DIRECT SHEAR TEST กับวิธี UNCONFINED COMPRESSION TEST. โครงการพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศรัณยูทธิ์ สุธรรมนาทพงษ์, 2520. คุณสมบัติและพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรมของดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- K.H. Head, 1986. Volume 3:Effective Stress Tests,Manual of Soil Laboratory Testing. London. : Pentech Press Limited.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบ Unconfined Compression



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.1. ผลการทดสอบ Unconfined Compression ของดินตัวอย่างที่ 1

Unconfined Compression Test

Location CV_SHOP(old) BH-1 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 11765 Proving ring constant (K) 0.142 kg/div
 Loading rate 0.800 mm/min.

Sample data

sample diameter ,mm 38.10 weight of sample ,g 149.56
 sample area ,cm² 11.41 water content ,% 43.12
 sample height ,mm. 83.00 wet unit weight ,g/cm³ 1.58
 sample volume ,cm³ 94.67 dry unit weight ,g/cm³ 1.10

deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	*Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
0	0.00	0.00	11.41	0.0	0.00	0.00
20	0.20	0.24	11.43	3.0	0.43	0.04
40	0.40	0.48	11.46	7.0	0.99	0.09
60	0.60	0.72	11.49	12.0	1.70	0.15
80	0.80	0.96	11.52	17.5	2.49	0.22
100	1.00	1.20	11.54	22.0	3.12	0.27
120	1.20	1.45	11.57	25.5	3.62	0.31
140	1.40	1.69	11.60	28.5	4.05	0.35
160	1.60	1.93	11.63	31.0	4.40	0.38
180	1.80	2.17	11.66	32.5	4.62	0.40
200	2.00	2.41	11.69	34.0	4.83	0.41
220	2.20	2.65	11.72	35.5	5.04	0.43
240	2.40	2.89	11.75	36.5	5.18	0.44
260	2.60	3.13	11.77	37.5	5.33	0.45
280	2.80	3.37	11.80	37.5	5.33	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ผก2 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
300	3.00	3.61	11.83	37.5	5.33	0.45
320	3.20	3.86	11.86	37.5	5.33	0.45

$$q_u = 4.49 \text{ t/m}^2$$

$$c = 2.24 \text{ t/m}^2$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **พจนานุกรม** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.2. ผลการทดสอบ Unconfined Compression ของดินตัวอย่างที่ 2

Unconfined Compression Test

Location CV_SHOP(old) BH-2 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 11765 Proving ring constant (K) 0.142 kg/div
 Loading rate 0.800 mm/min.

sample data

sample diameter ,mm 37.97 weight of sample ,g 151.65
 sample area ,cm² 11.33 water content ,% 40.36
 sample height ,mm. 83.10 wet unit weight ,g/cm³ 1.61
 sample volume ,cm³ 94.12 dry unit weight ,g/cm³ 1.15

deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
0	0.00	0.00	11.33	0.0	0.00	0.00
20	0.20	0.24	11.35	2.0	0.28	0.03
40	0.40	0.48	11.38	4.5	0.64	0.06
60	0.60	0.72	11.41	7.0	0.99	0.09
80	0.80	0.96	11.44	10.5	1.49	0.13
100	1.00	1.20	11.46	14.5	2.06	0.18
120	1.20	1.44	11.49	16.0	2.27	0.20
140	1.40	1.68	11.52	18.5	2.63	0.23
160	1.60	1.93	11.55	20.5	2.91	0.25
180	1.80	2.17	11.58	22.0	3.12	0.27
200	2.00	2.41	11.61	23.0	3.27	0.28
220	2.20	2.65	11.63	24.0	3.41	0.29
240	2.40	2.89	11.66	25.0	3.55	0.30
260	2.60	3.13	11.69	25.5	3.62	0.31
280	2.80	3.37	11.72	26.0	3.69	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
300	3.00	3.61	11.75	26.5	3.76	0.32
320	3.20	3.85	11.78	26.5	3.76	0.32
340	3.40	4.09	11.81	26.5	3.76	0.32
360	3.60	4.33	11.84	26.5	3.76	0.32

$$q_u = 3.18 \text{ t/m}^2$$

$$c = 1.59 \text{ t/m}^2$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารนี้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.3. ผลการทดสอบ Unconfined Compression ของดินตัวอย่างที่ 3

Unconfined compression Test

Location CV SHOP(old) BH-3 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 11765 Proving ring constant (K) 0.142 kg/div
 Loading rate 0.800 mm/min.

Sample data

sample diameter ,mm 38.03 weight of sample ,g 152.31
 sample area ,cm² 11.37 water content ,% 45.25
 sample height ,mm. 84.40 wet unit weight ,g/cm³ 1.59
 sample volume ,cm³ 95.93 dry unit weight ,g/cm³ 1.09

deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
0	0.00	0.00	11.37	0.0	0.00	0.00
20	0.20	0.24	11.39	1.5	0.21	0.02
40	0.40	0.47	11.42	3.5	0.50	0.04
60	0.60	0.71	11.45	5.5	0.78	0.07
80	0.80	0.95	11.47	9.0	1.28	0.11
100	1.00	1.18	11.50	12.0	1.70	0.15
120	1.20	1.42	11.53	15.5	2.20	0.19
140	1.40	1.66	11.56	18.5	2.63	0.23
160	1.60	1.90	11.59	21.0	2.98	0.26
180	1.80	2.13	11.61	23.0	3.27	0.28
200	2.00	2.37	11.64	25.0	3.55	0.30
220	2.20	2.61	11.67	26.5	3.76	0.32
240	2.40	2.84	11.70	27.5	3.91	0.33
260	2.60	3.08	11.73	29.0	4.12	0.35
280	2.80	3.32	11.76	29.5	4.19	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

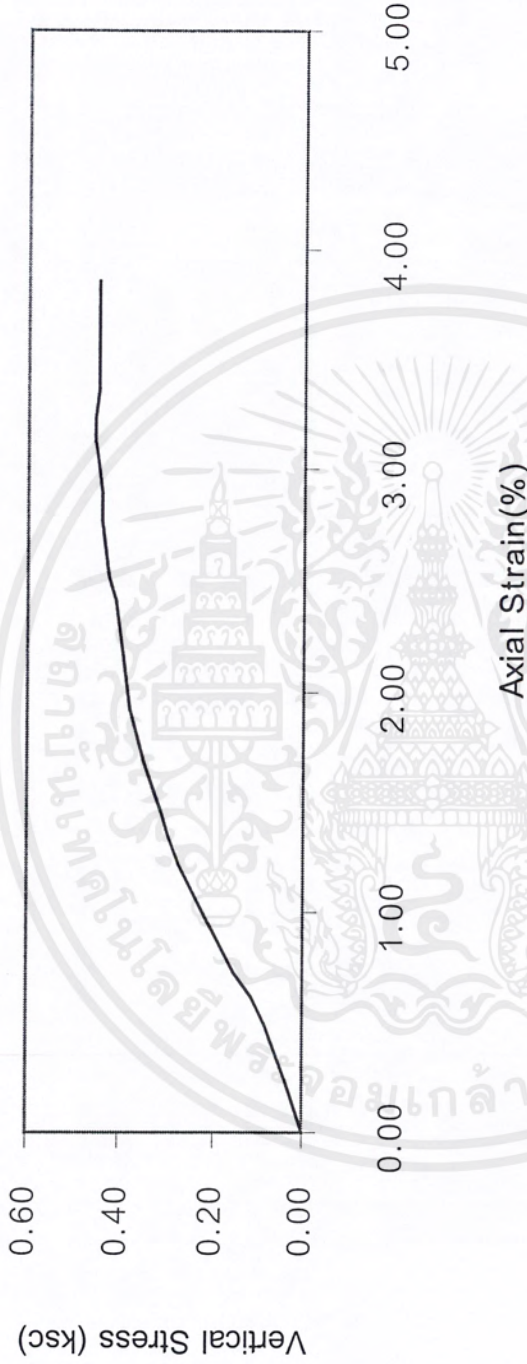
deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (kg)	Vertical stress (ksc)
300	3.00	3.55	11.78	30.0	4.26	0.36
320	3.20	3.79	11.81	31.0	4.40	0.37
340	3.40	4.03	11.84	31.0	4.40	0.37
360	3.60	4.27	11.87	32.0	4.54	0.38
380	3.80	4.50	11.90	32.0	4.54	0.38
400	4.00	4.74	11.93	32.0	4.54	0.38
420	4.20	4.98	11.96	32.0	4.54	0.38

$$q_u = 3.80 \text{ t/m}^2$$

$$c = 1.90 \text{ t/m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

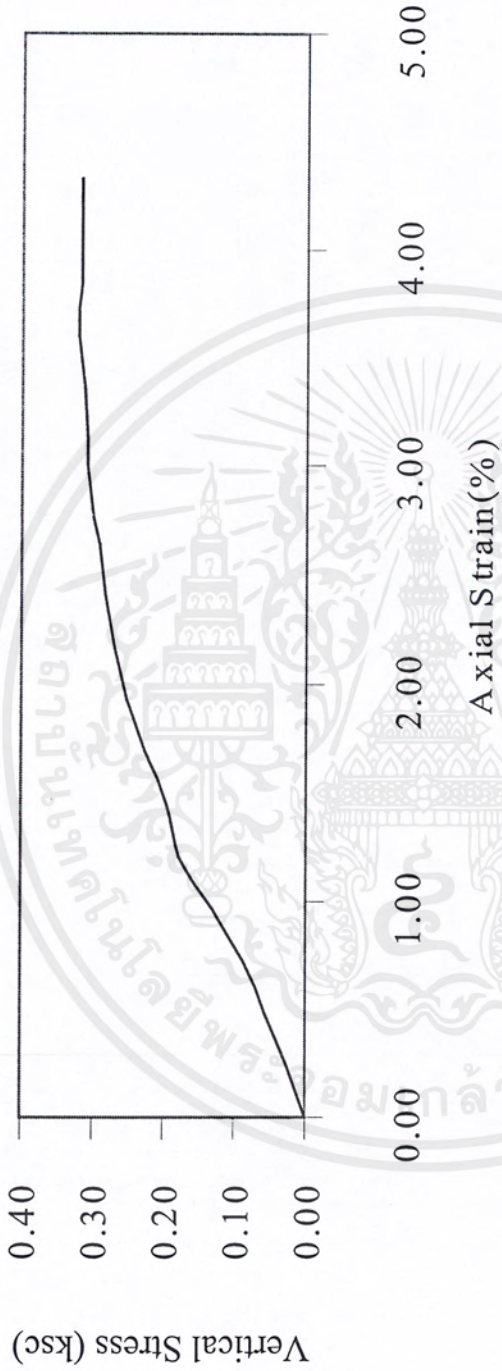
Unconfined Compression Test



รูปที่ ผ.ก.1. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินหลูมที่ 1 ความลึก 1.50 เมตร

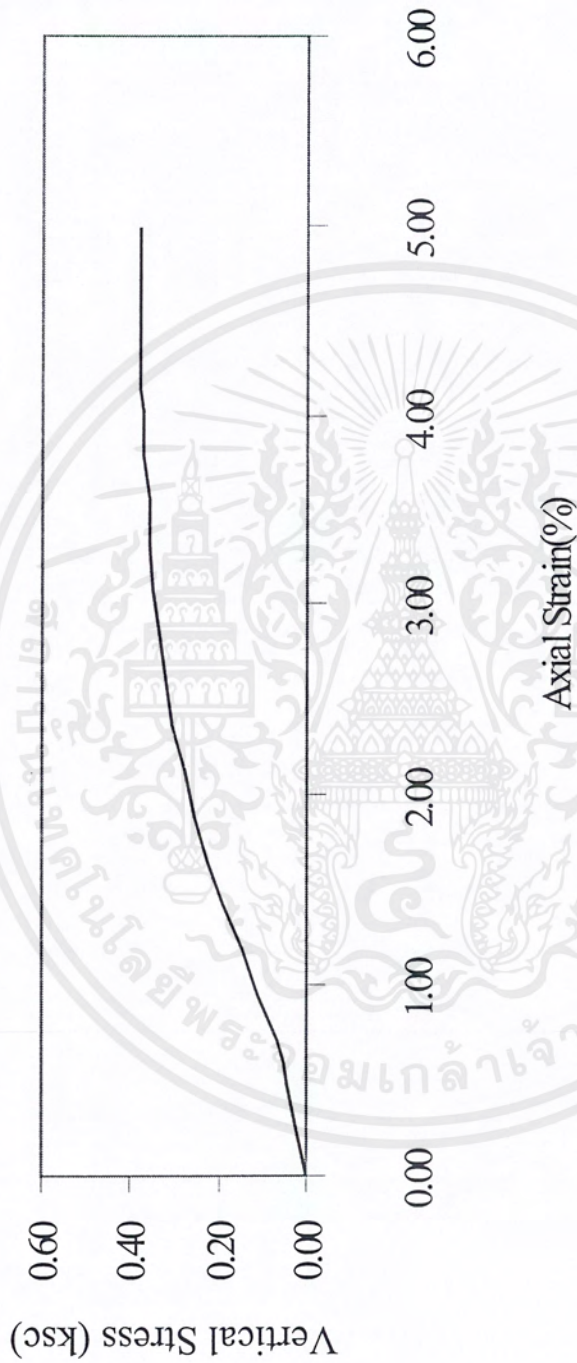
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปะหรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unconfined Compression Test



รูปที่ ผ.ก.2. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินชนิดที่ 2 ความลึก 1.50 เมตร

Unconfined Compression Test



รูปที่ ผ.ก.3. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconfined Compression ของดินหลูมที่ 3 ความลึก 1.50 เมตร

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 1

Unconsolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-4 Depth 1.50 m

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving Ring Constant (K) 2.101 N/div
 Loading rate 0.760 mm/min. 1% strain/min

Test Data

Cell Pressure 34 kPa Eff. Pressure 34 kPa
 Back Pressure 0 kPa

Sample data

sample diameter 38.10 mm. weight of sample 142.25 g.
 sample area 11.41 cm² water content 41.23 %
 sample height 78.40 mm. wet unit weight 1.59 g/cm³
 sample volume 89.42 cm³ dry unit weight 1.13 g/cm³

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
0	0.00	0.00	11.41	0.0	0.00	0.00	34.00	34.00	1.00
10	0.10	0.13	11.42	2.0	4.20	3.68	34.00	37.68	1.11
20	0.20	0.26	11.43	4.0	8.40	7.35	34.00	41.35	1.22
30	0.30	0.38	11.45	7.5	15.76	13.76	34.00	47.76	1.40
40	0.40	0.51	11.46	10.5	22.06	19.24	34.00	53.24	1.57
50	0.50	0.64	11.48	13.0	27.31	23.79	34.00	57.79	1.70
60	0.60	0.77	11.49	15.0	31.52	27.42	34.00	61.42	1.81
70	0.70	0.89	11.51	16.0	33.62	29.21	34.00	63.21	1.86
80	0.80	1.02	11.52	17.0	35.72	31.00	34.00	65.00	1.91
90	0.90	1.15	11.54	18.0	37.82	32.78	34.00	66.78	1.96
100	1.00	1.28	11.55	19.0	39.92	34.55	34.00	68.55	2.02
110	1.10	1.40	11.57	19.5	40.97	35.42	34.00	69.42	2.04

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
120	1.20	1.53	11.58	20.0	42.02	36.28	34.00	70.28	2.07
130	1.30	1.66	11.60	20.5	43.07	37.14	34.00	71.14	2.09
140	1.40	1.79	11.61	20.5	43.07	37.09	34.00	71.09	2.09
150	1.50	1.91	11.63	21.0	44.12	37.94	34.00	71.94	2.12
160	1.60	2.04	11.64	21.0	44.12	37.89	34.00	71.89	2.11
170	1.70	2.17	11.66	21.0	44.12	37.85	34.00	71.85	2.11
180	1.80	2.30	11.67	21.0	44.12	37.80	34.00	71.80	2.11
190	1.90	2.42	11.69	21.0	44.12	37.75	34.00	71.75	2.11
200	2.00	2.55	11.70	21.0	44.12	37.70	34.00	71.70	2.11
210	2.10	2.68	11.72	21.0	44.12	37.65	34.00	71.65	2.11
220	2.20	2.81	11.73	20.5	43.07	36.70	34.00	70.70	2.08
230	2.30	2.93	11.75	20.5	43.07	36.66	34.00	70.66	2.08



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.2. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 2

Unconsolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-5 Depth 1.50 m

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving Ring Constant (K) 2.101 N/div
 Loading rate 0.760 mm/min. 1% strain/min

Test Data

Cell Pressure 68 kPa Eff. Pressure 68 kPa
 Back Pressure 0 kPa

Sample data

sample diameter 38.05 mm. weight of sample 139.56 g.
 sample area 11.38 cm² water content 42.35 %
 sample height 77.90 mm. wet unit weight 1.57 g/cm³
 sample volume 88.62 cm³ dry unit weight 1.11 g/cm³

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
0	0.00	0.00	11.38	0.0	0.00	0.00	68.00	68.00	1.00
10	0.10	0.13	11.39	2.0	4.20	3.69	68.00	71.69	1.05
20	0.20	0.26	11.40	5.0	10.51	9.21	68.00	77.21	1.14
30	0.30	0.39	11.42	7.5	15.76	13.80	68.00	81.80	1.20
40	0.40	0.51	11.43	10.5	22.06	19.29	68.00	87.29	1.28
50	0.50	0.64	11.45	13.0	27.31	23.86	68.00	91.86	1.35
60	0.60	0.77	11.46	15.0	31.52	27.49	68.00	95.49	1.40
70	0.70	0.90	11.48	17.0	35.72	31.12	68.00	99.12	1.46
80	0.80	1.03	11.49	18.0	37.82	32.90	68.00	100.90	1.48
90	0.90	1.16	11.51	19.5	40.97	35.60	68.00	103.60	1.52
100	1.00	1.28	11.52	21.0	44.12	38.29	68.00	106.29	1.56
110	1.10	1.41	11.54	22.0	46.22	40.06	68.00	108.06	1.59

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
120	1.20	1.54	11.55	23.0	48.32	41.83	68.00	109.83	1.62
130	1.30	1.67	11.57	23.5	49.37	42.68	68.00	110.68	1.63
140	1.40	1.80	11.58	24.0	50.42	43.53	68.00	111.53	1.64
150	1.50	1.93	11.60	25.0	52.53	45.28	68.00	113.28	1.67
160	1.60	2.05	11.61	25.0	52.53	45.23	68.00	113.23	1.67
170	1.70	2.18	11.63	26.0	54.63	46.97	68.00	114.97	1.69
180	1.80	2.31	11.64	26.0	54.63	46.91	68.00	114.91	1.69
190	1.90	2.44	11.66	26.5	55.68	47.75	68.00	115.75	1.70
200	2.00	2.57	11.68	26.5	55.68	47.69	68.00	115.69	1.70
210	2.10	2.70	11.69	27.0	56.73	48.52	68.00	116.52	1.71
220	2.20	2.82	11.71	27.0	56.73	48.46	68.00	116.46	1.71
230	2.30	2.95	11.72	27.5	57.78	49.29	68.00	117.29	1.72
240	2.40	3.08	11.74	28.0	58.83	50.12	68.00	118.12	1.74
250	2.50	3.21	11.75	28.0	58.83	50.05	68.00	118.05	1.74
260	2.60	3.34	11.77	28.5	59.88	50.88	68.00	118.88	1.75
270	2.70	3.47	11.78	28.5	59.88	50.81	68.00	118.81	1.75
280	2.80	3.59	11.80	29.0	60.93	51.64	68.00	119.64	1.76
290	2.90	3.72	11.82	29.5	61.98	52.46	68.00	120.46	1.77
300	3.00	3.85	11.83	29.5	61.98	52.39	68.00	120.39	1.77
310	3.10	3.98	11.85	30.0	63.03	53.20	68.00	121.20	1.78
320	3.20	4.11	11.86	30.5	64.08	54.02	68.00	122.02	1.79
330	3.30	4.24	11.88	31.0	65.13	54.83	68.00	122.83	1.81
340	3.40	4.36	11.89	31.0	65.13	54.76	68.00	122.76	1.81
350	3.50	4.49	11.91	31.0	65.13	54.68	68.00	122.68	1.80
360	3.60	4.62	11.93	31.5	66.18	55.49	68.00	123.49	1.82
370	3.70	4.75	11.94	31.5	66.18	55.42	68.00	123.42	1.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
380	3.80	4.88	11.96	31.5	66.18	55.34	68.00	123.34	1.81
390	3.90	5.01	11.98	31.5	66.18	55.27	68.00	123.27	1.81
400	4.00	5.13	11.99	31.0	65.13	54.32	68.00	122.32	1.80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3. ผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 3

Unconsolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-6 Depth 1.50 m

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving Ring Constant (K) 2.101 N/div
 Loading rate 0.760 mm/min. 1% strain/min

Test Data

Cell Pressure 136 kPa Eff. Pressure 136 kPa
 Back Pressure 0 kPa

Sample data

sample diameter 38.03 mm. weight of sample 138.14 g.
 sample area 11.36 cm² water content 41.74 %
 sample height 77.12 mm. wet unit weight 1.58 g/cm³
 sample volume 87.64 cm³ dry unit weight 1.11 g/cm³

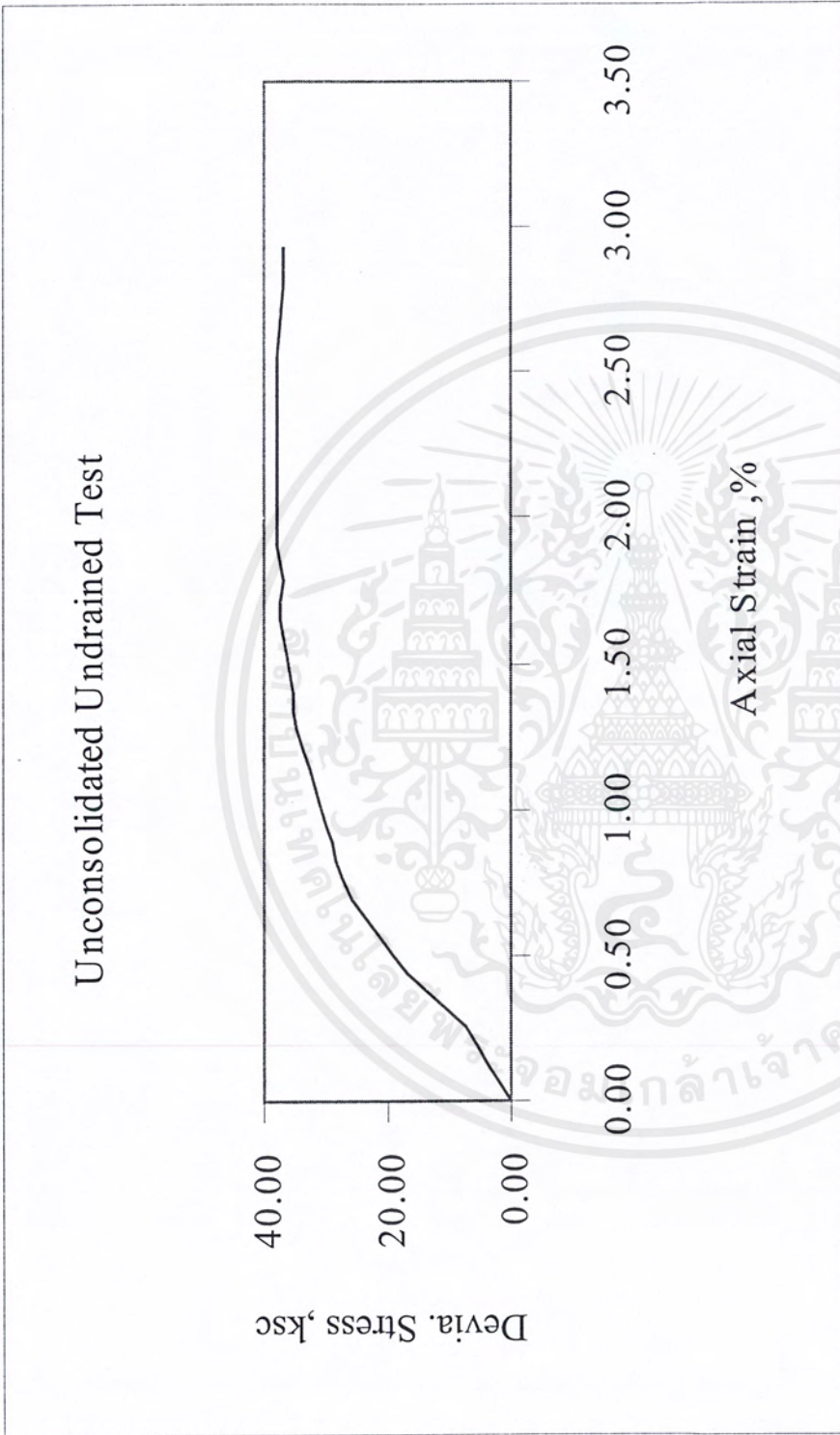
Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
0	0.00	0.00	11.36	0.0	0.00	0.00	136.00	136.00	1.00
10	0.10	0.13	11.38	2.0	4.20	3.69	136.00	139.69	1.03
20	0.20	0.26	11.39	5.0	10.51	9.22	136.00	145.22	1.07
30	0.30	0.39	11.41	7.5	15.76	13.81	136.00	149.81	1.10
40	0.40	0.52	11.42	10.5	22.06	19.31	136.00	155.31	1.14
50	0.50	0.65	11.44	13.0	27.31	23.88	136.00	159.88	1.18
60	0.60	0.78	11.45	16.0	33.62	29.35	136.00	165.35	1.22
70	0.70	0.91	11.47	19.0	39.92	34.81	136.00	170.81	1.26
80	0.80	1.04	11.48	21.0	44.12	38.42	136.00	174.42	1.28
90	0.90	1.17	11.50	23.0	48.32	42.03	136.00	178.03	1.31
100	1.00	1.30	11.51	25.0	52.53	45.62	136.00	181.62	1.34
110	1.10	1.43	11.53	26.0	54.63	47.39	136.00	183.39	1.35

Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
120	1.20	1.56	11.54	27.0	56.73	49.14	136.00	185.14	1.36
130	1.30	1.69	11.56	28.0	58.83	50.90	136.00	186.90	1.37
140	1.40	1.82	11.57	29.0	60.93	52.64	136.00	188.64	1.39
150	1.50	1.95	11.59	30.0	63.03	54.39	136.00	190.39	1.40
160	1.60	2.07	11.60	31.0	65.13	56.13	136.00	192.13	1.41
170	1.70	2.20	11.62	32.0	67.23	57.86	136.00	193.86	1.43
180	1.80	2.33	11.64	33.0	69.33	59.59	136.00	195.59	1.44
190	1.90	2.46	11.65	33.5	70.38	60.41	136.00	196.41	1.44
200	2.00	2.59	11.67	34.0	71.43	61.23	136.00	197.23	1.45
210	2.10	2.72	11.68	34.5	72.48	62.05	136.00	198.05	1.46
220	2.20	2.85	11.70	35.0	73.54	62.86	136.00	198.86	1.46
230	2.30	2.98	11.71	35.5	74.59	63.68	136.00	199.68	1.47
240	2.40	3.11	11.73	36.0	75.64	64.49	136.00	200.49	1.47
250	2.50	3.24	11.74	36.5	76.69	65.30	136.00	201.30	1.48
260	2.60	3.37	11.76	37.0	77.74	66.10	136.00	202.10	1.49
270	2.70	3.50	11.78	37.5	78.79	66.91	136.00	202.91	1.49
280	2.80	3.63	11.79	38.0	79.84	67.71	136.00	203.71	1.50
290	2.90	3.76	11.81	38.0	79.84	67.62	136.00	203.62	1.50
300	3.00	3.89	11.82	38.5	80.89	68.41	136.00	204.41	1.50
310	3.10	4.02	11.84	39.0	81.94	69.21	136.00	205.21	1.51
320	3.20	4.15	11.86	39.0	81.94	69.11	136.00	205.11	1.51
330	3.30	4.28	11.87	39.5	82.99	69.91	136.00	205.91	1.51
340	3.40	4.41	11.89	40.0	84.04	70.69	136.00	206.69	1.52
350	3.50	4.54	11.90	40.5	85.09	71.48	136.00	207.48	1.53
360	3.60	4.67	11.92	41.0	86.14	72.27	136.00	208.27	1.53
370	3.70	4.80	11.94	41.5	87.19	73.05	136.00	209.05	1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

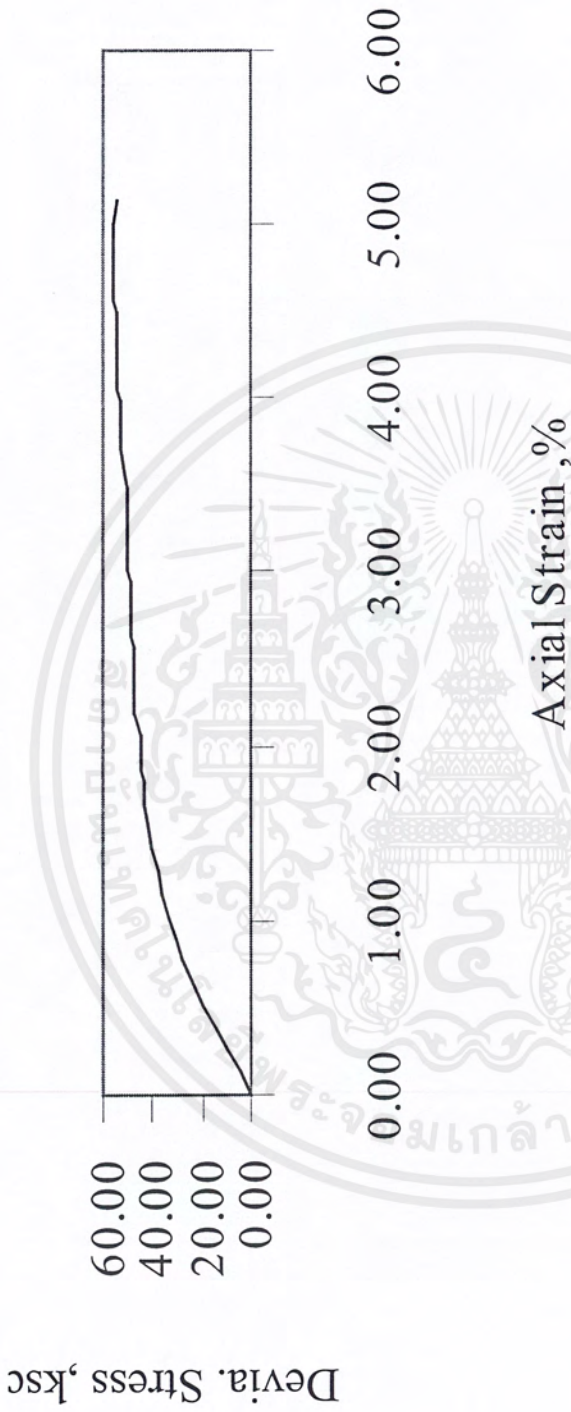
Deform. dial reading (Div)	Vert Deform. (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm ²)	Load Proving Ring Reading (Div)	Axial Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Principal Stress Ratio
380	3.80	4.93	11.95	42.0	88.24	73.83	136.00	209.83	1.54
390	3.90	5.06	11.97	42.0	88.24	73.73	136.00	209.73	1.54
400	4.00	5.19	11.99	42.5	89.29	74.50	136.00	210.50	1.55
410	4.10	5.32	12.00	42.5	89.29	74.40	136.00	210.40	1.55
420	4.20	5.45	12.02	43.0	90.34	75.17	136.00	211.17	1.55
430	4.30	5.58	12.03	43.0	90.34	75.07	136.00	211.07	1.55
440	4.40	5.71	12.05	43.0	90.34	74.97	136.00	210.97	1.55
450	4.50	5.84	12.07	43.5	91.39	75.73	136.00	211.73	1.56
460	4.60	5.96	12.08	43.5	91.39	75.63	136.00	211.63	1.56
470	4.70	6.09	12.10	43.5	91.39	75.52	136.00	211.52	1.56
480	4.80	6.22	12.12	43.5	91.39	75.42	136.00	211.42	1.55
490	4.90	6.35	12.13	43.0	90.34	74.45	136.00	210.45	1.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.1. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 34 kPa ของดินหุดุมที่ 4 ความลึก 1.50 เมตร

Unconsolidated Undrained Test



รูปที่ ผ.ข.2. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 68 kPa ของดินเหนียวที่ 5 ความลึก

1.50 เมตร

Unconsolidated Undrained Test



รูปที่ ผ.3. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Unconsolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 136 kPa ของดินหลุมที่ 6 ความลึก 1.50 เมตร

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบ Consolidated Undrained



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ถ.1. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 1

Consolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-7 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div

Loading rate 0.0129 mm/min. 1% strain/hr

Test Data

Init. Cell Pressure 500 kPa Init. Pore Pressure 465.1 kPa

Init. Back Pressure 466 kPa Eff. Pressure 34 kPa

sample data

sample dia. 38.10 mm weight of sample 139.67 g.
 sample area 11.41 cm² water content before test 36.47 %
 sample height 77.45 mm water content after test 51.55 %
 sample volume 88.34 cm³

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
0.00	0.00	11.41	0.00	0.00	500.00	500.00	465.10	0.00	34.90	34.90	0.00
0.01	0.01	11.41	2.00	1.75	500.00	501.75	465.70	0.60	34.30	36.05	0.00
0.10	0.13	11.42	10.00	8.76	500.00	508.76	466.00	0.90	34.00	42.76	0.00
0.18	0.23	11.43	14.00	12.25	500.00	512.25	466.50	1.40	33.50	45.75	0.00
0.26	0.34	11.44	18.00	15.73	500.00	515.73	466.90	1.80	33.10	48.83	0.00
0.34	0.44	11.46	20.00	17.46	500.00	517.46	467.70	2.60	32.30	49.76	0.00
0.43	0.56	11.47	23.00	20.05	500.00	520.05	468.10	3.00	31.90	51.95	0.00
0.51	0.66	11.48	25.00	21.77	500.00	521.77	468.50	3.40	31.50	53.27	0.00
0.59	0.76	11.49	27.00	23.49	500.00	523.49	468.80	3.70	31.20	54.69	0.00
0.67	0.87	11.51	29.00	25.21	500.00	525.21	469.60	4.50	30.40	55.61	0.00
0.75	0.97	11.52	30.00	26.05	500.00	526.05	470.40	5.30	29.60	55.65	0.00
0.84	1.08	11.53	32.00	27.75	500.00	527.75	470.80	5.70	29.20	56.95	0.00
0.92	1.19	11.54	33.00	28.59	500.00	528.59	470.90	5.80	29.10	57.69	0.00
1.00	1.29	11.55	34.00	29.43	500.00	529.43	471.60	6.50	28.40	57.83	0.00
1.08	1.39	11.57	35.00	30.26	500.00	530.26	472.10	7.00	27.90	58.16	0.00
1.17	1.51	11.58	36.00	31.09	500.00	531.09	472.60	7.50	27.40	58.49	0.00
1.25	1.61	11.59	37.00	31.92	500.00	531.92	473.00	7.90	27.00	58.92	0.00
1.33	1.72	11.60	38.00	32.75	500.00	532.75	473.80	8.70	26.20	58.95	0.00
1.41	1.82	11.62	39.00	33.57	500.00	533.57	474.20	9.10	25.80	59.37	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.49	1.92	11.63	40.00	34.40	500.00	534.40	474.80	9.70	25.20	59.60	0.00
1.58	2.04	11.64	41.00	35.21	500.00	535.21	475.60	10.50	24.40	59.61	0.00
1.66	2.14	11.66	42.00	36.04	500.00	536.04	476.60	11.50	23.40	59.44	0.00
1.74	2.25	11.67	42.00	36.00	500.00	536.00	477.20	12.10	22.80	58.80	0.00
1.82	2.35	11.68	43.00	36.82	500.00	536.82	477.80	12.70	22.20	59.02	0.00
1.91	2.47	11.69	44.00	37.63	500.00	537.63	478.60	13.50	21.40	59.03	0.00
1.99	2.57	11.71	44.00	37.59	500.00	537.59	480.40	15.30	19.60	57.19	0.00
2.07	2.67	11.72	45.00	38.40	500.00	538.40	481.00	15.90	19.00	57.40	0.00
2.15	2.78	11.73	46.00	39.21	500.00	539.21	481.60	16.50	18.40	57.61	0.00
2.23	2.88	11.74	46.00	39.17	500.00	539.17	482.00	16.90	18.00	57.17	0.00
2.32	3.00	11.76	47.00	39.97	500.00	539.97	482.40	17.30	17.60	57.57	0.00
2.40	3.10	11.77	47.00	39.93	500.00	539.93	482.60	17.50	17.40	57.33	0.00
2.48	3.20	11.78	48.00	40.74	500.00	540.74	482.90	17.80	17.10	57.84	0.00
2.56	3.31	11.80	48.00	40.69	500.00	540.69	483.50	18.40	16.50	57.19	0.00
2.65	3.42	11.81	48.00	40.64	500.00	540.64	483.60	18.50	16.40	57.04	0.00
2.73	3.52	11.82	48.00	40.60	500.00	540.60	483.70	18.60	16.30	56.90	0.00
2.81	3.63	11.83	48.00	40.56	500.00	540.56	483.70	18.60	16.30	56.86	0.00
2.89	3.73	11.85	48.00	40.51	500.00	540.51	483.60	18.50	16.40	56.91	0.00
2.98	3.85	11.86	47.00	39.62	500.00	539.62	483.60	18.50	16.40	56.02	0.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.2. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 2

Consolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-8 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div

Loading rate 0.0129 mm/min. 1% strain/hr

Test Data

Init. Cell Pressure 500 kPa Init. Pore Pressure 432 kPa

Init. Back Pressure 432 kPa Eff. Pressure 68 kPa

sample data

sample dia. 38.10 mm weight of sample 139.67 g.
 sample area 11.41 cm² water content before test 35.68 %
 sample height 77.45 mm water content after test 51.55 %
 sample volume 88.34 cm³

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
0.00	0.00	11.41	0.00	0.00	500.00	500.00	432.00	0.00	68.00	68.00	0.00
0.01	0.01	11.41	2.00	1.75	500.00	501.75	432.10	0.10	67.90	69.65	0.00
0.10	0.13	11.42	13.00	11.38	500.00	511.38	434.20	2.20	65.80	77.18	0.00
0.18	0.23	11.43	19.00	16.62	500.00	516.62	436.50	4.50	63.50	80.12	0.00
0.26	0.34	11.44	25.00	21.85	500.00	521.85	439.00	7.00	61.00	82.85	0.00
0.34	0.44	11.46	29.00	25.31	500.00	525.31	440.60	8.60	59.40	84.71	0.00
0.43	0.56	11.47	33.00	28.77	500.00	528.77	442.20	10.20	57.80	86.57	0.00
0.51	0.66	11.48	36.00	31.36	500.00	531.36	443.80	11.80	56.20	87.56	0.00
0.59	0.76	11.49	39.00	33.93	500.00	533.93	445.10	13.10	54.90	88.83	0.00
0.67	0.87	11.51	41.00	35.64	500.00	535.64	446.50	14.50	53.50	89.14	0.00
0.75	0.97	11.52	43.00	37.34	500.00	537.34	447.50	15.50	52.50	89.84	0.00
0.84	1.08	11.53	46.00	39.89	500.00	539.89	448.60	16.60	51.40	91.29	0.00
0.92	1.19	11.54	47.00	40.72	500.00	540.72	449.70	17.70	50.30	91.02	0.00
1.00	1.29	11.55	49.00	42.41	500.00	542.41	450.70	18.70	49.30	91.71	0.00
1.08	1.39	11.57	51.00	44.09	500.00	544.09	451.50	19.50	48.50	92.59	0.00
1.17	1.51	11.58	52.00	44.90	500.00	544.90	452.30	20.30	47.70	92.60	0.00
1.25	1.61	11.59	54.00	46.58	500.00	546.58	453.40	21.40	46.60	93.18	0.00
1.33	1.72	11.60	55.00	47.39	500.00	547.39	453.90	21.90	46.10	93.49	0.00
1.41	1.82	11.62	57.00	49.07	500.00	549.07	455.00	23.00	45.00	94.07	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.49	1.92	11.63	58.00	49.87	500.00	549.87	455.50	23.50	44.50	94.37	0.00
1.58	2.04	11.64	59.00	50.67	500.00	550.67	456.30	24.30	43.70	94.37	0.00
1.66	2.14	11.66	60.00	51.48	500.00	551.48	456.80	24.80	43.20	94.68	0.00
1.74	2.25	11.67	61.00	52.28	500.00	552.28	457.60	25.60	42.40	94.68	0.00
1.82	2.35	11.68	62.00	53.08	500.00	553.08	457.90	25.90	42.10	95.18	0.00
1.91	2.47	11.69	63.00	53.87	500.00	553.87	458.40	26.40	41.60	95.47	0.00
1.99	2.57	11.71	64.00	54.67	500.00	554.67	458.70	26.70	41.30	95.97	0.00
2.07	2.67	11.72	65.00	55.47	500.00	555.47	459.30	27.30	40.70	96.17	0.00
2.15	2.78	11.73	65.00	55.41	500.00	555.41	459.80	27.80	40.20	95.61	0.00
2.23	2.88	11.74	66.00	56.20	500.00	556.20	459.80	27.80	40.20	96.40	0.00
2.32	3.00	11.76	67.00	56.98	500.00	556.98	460.30	28.30	39.70	96.68	0.00
2.40	3.10	11.77	67.00	56.92	500.00	556.92	460.30	28.30	39.70	96.62	0.00
2.48	3.20	11.78	68.00	57.71	500.00	557.71	460.90	28.90	39.10	96.81	0.00
2.56	3.31	11.80	68.00	57.65	500.00	557.65	460.90	28.90	39.10	96.75	0.00
2.65	3.42	11.81	69.00	58.43	500.00	558.43	461.00	29.00	39.00	97.43	0.00
2.73	3.52	11.82	70.00	59.21	500.00	559.21	461.40	29.40	38.60	97.81	0.00
2.81	3.63	11.83	70.00	59.15	500.00	559.15	461.40	29.40	38.60	97.75	0.00
2.89	3.73	11.85	70.00	59.08	500.00	559.08	461.40	29.40	38.60	97.68	0.00
2.98	3.85	11.86	71.00	59.86	500.00	559.86	461.60	29.60	38.40	98.26	0.00
3.06	3.95	11.87	71.00	59.79	500.00	559.79	461.90	29.90	38.10	97.89	0.00
3.14	4.05	11.89	71.00	59.73	500.00	559.73	461.90	29.90	38.10	97.83	0.00
3.22	4.16	11.90	71.00	59.66	500.00	559.66	461.90	29.90	38.10	97.76	0.00
3.30	4.26	11.91	71.00	59.60	500.00	559.60	461.90	29.90	38.10	97.70	0.00
3.39	4.38	11.93	71.00	59.53	500.00	559.53	461.90	29.90	38.10	97.63	0.00
3.47	4.48	11.94	72.00	60.30	500.00	560.30	461.90	29.90	38.10	98.40	0.00
3.55	4.58	11.95	72.00	60.23	500.00	560.23	462.10	30.10	37.90	98.13	0.00
3.63	4.69	11.97	72.00	60.17	500.00	560.17	461.90	29.90	38.10	98.27	0.00
3.72	4.80	11.98	72.00	60.10	500.00	560.10	461.90	29.90	38.10	98.20	0.00
4.13	5.33	12.05	72.00	59.76	500.00	559.76	461.90	29.90	38.10	97.86	0.00
4.54	5.86	12.12	72.00	59.43	500.00	559.43	461.90	29.90	38.10	97.53	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.3. ผลการทดสอบ Consolidated Undrained ของดินตัวอย่างที่ 3

Consolidated Undrained Test

Location CV_SHOP(old) BH-9 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div
 Loading rate 0.0129 nm/min. 1% strain/hr

Test Data

Init. Cell Pressure 600 kPa Init. Pore Pressure 463 kPa
 Init. Back Pressure 464 kPa Eff. Pressure 136 kPa

sample data

sample dia. 38.30 mm weight of sample 141.25 g.
 sample area 11.53 cm² water content before test 42.49 %
 sample height 78.25 mm water content after test 51.55 %
 sample volume 90.19 cm³

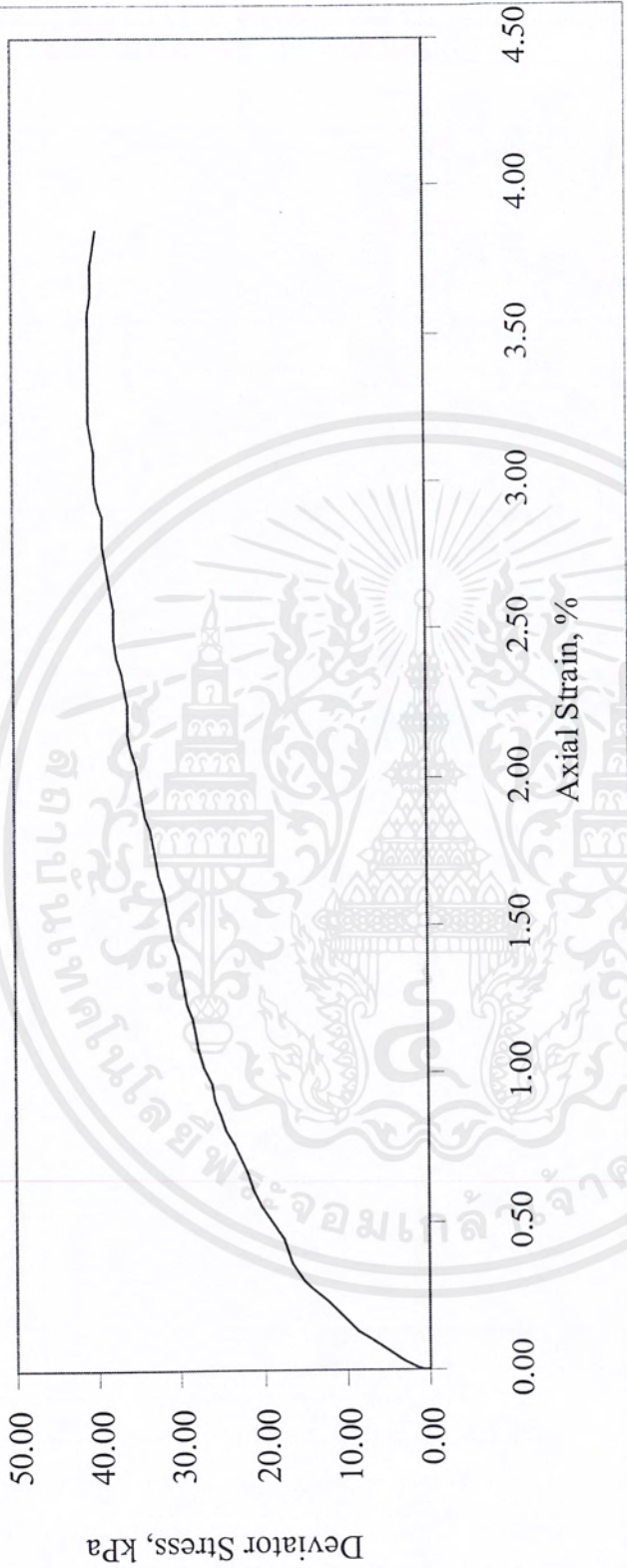
Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
0.00	0.00	11.53	0.00	0.00	600.00	600.00	463.00	0.00	137.00	137.00	0.00
0.01	0.01	11.53	2.00	1.74	600.00	601.74	463.50	0.50	136.50	138.24	0.00
0.10	0.13	11.54	11.00	9.53	600.00	609.53	465.10	2.10	134.90	144.43	0.00
0.18	0.23	11.55	19.00	16.45	600.00	616.45	465.50	2.50	134.50	150.95	0.00
0.26	0.33	11.56	27.00	23.35	600.00	623.35	470.00	7.00	130.00	153.35	0.00
0.34	0.43	11.58	33.00	28.51	600.00	628.51	471.60	8.60	128.40	156.91	0.00
0.43	0.55	11.59	40.00	34.51	600.00	634.51	473.00	10.00	127.00	161.51	0.00
0.51	0.65	11.60	46.00	39.65	600.00	639.65	474.00	11.00	126.00	165.65	0.00
0.59	0.75	11.61	50.00	43.05	600.00	643.05	476.20	13.20	123.80	166.85	0.00
0.67	0.86	11.63	55.00	47.31	600.00	647.31	477.00	14.00	123.00	170.31	0.00
0.75	0.96	11.64	59.00	50.70	600.00	650.70	475.40	12.40	124.60	175.30	0.00
0.84	1.07	11.65	63.00	54.07	600.00	654.07	480.00	17.00	120.00	174.07	0.00
0.92	1.18	11.66	67.00	57.45	600.00	657.45	481.00	18.00	119.00	176.45	0.00
1.00	1.28	11.67	70.00	59.96	600.00	659.96	481.70	18.70	118.30	178.26	0.00
1.08	1.38	11.69	72.00	61.61	600.00	661.61	482.30	19.30	117.70	179.31	0.00
1.17	1.50	11.70	76.00	64.95	600.00	664.95	484.00	21.00	116.00	180.95	0.00
1.25	1.60	11.71	78.00	66.59	600.00	666.59	484.90	21.90	115.10	181.69	0.00
1.33	1.70	11.72	80.00	68.23	600.00	668.23	485.00	22.00	115.00	183.23	0.00
1.41	1.80	11.74	82.00	69.86	600.00	669.86	486.00	23.00	114.00	183.86	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง แก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Eff. Horiz. Press. (kPa)	Eff. Vert. Press. (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.49	1.90	11.75	84.00	71.49	600.00	671.49	486.50	23.50	113.50	184.99	0.00
1.58	2.02	11.76	85.00	72.26	600.00	672.26	487.60	24.60	112.40	184.66	0.00
1.66	2.12	11.78	86.00	73.03	600.00	673.03	487.80	24.80	112.20	185.23	0.00
1.74	2.22	11.79	89.00	75.50	600.00	675.50	488.20	25.20	111.80	187.30	0.00
1.82	2.33	11.80	90.00	76.27	600.00	676.27	489.20	26.20	110.80	187.07	0.00
1.91	2.44	11.81	91.00	77.03	600.00	677.03	490.60	27.60	109.40	186.43	0.00
1.99	2.54	11.83	93.00	78.64	600.00	678.64	491.90	28.90	108.10	186.74	0.00
2.07	2.65	11.84	94.00	79.40	600.00	679.40	492.30	29.30	107.70	187.10	0.00
2.15	2.75	11.85	94.00	79.32	600.00	679.32	493.60	30.60	106.40	185.72	0.00
2.23	2.85	11.86	97.00	81.76	600.00	681.76	494.70	31.70	105.30	187.06	0.00
2.32	2.96	11.88	99.00	83.35	600.00	683.35	495.00	32.00	105.00	188.35	0.00
2.40	3.07	11.89	100.00	84.10	600.00	684.10	495.80	32.80	104.20	188.30	0.00
2.48	3.17	11.90	102.00	85.69	600.00	685.69	496.80	33.80	103.20	188.89	0.00
2.56	3.27	11.92	103.00	86.44	600.00	686.44	497.60	34.60	102.40	188.84	0.00
2.65	3.39	11.93	104.00	87.18	600.00	687.18	499.50	36.50	100.50	187.68	0.00
2.73	3.49	11.94	106.00	88.76	600.00	688.76	501.20	38.20	98.80	187.56	0.00
2.81	3.59	11.95	107.00	89.50	600.00	689.50	502.30	39.30	97.70	187.20	0.00
2.89	3.69	11.97	108.00	90.24	600.00	690.24	503.40	40.40	96.60	186.84	0.00
2.98	3.81	11.98	109.00	90.97	600.00	690.97	504.30	41.30	95.70	186.67	0.00
3.06	3.91	11.99	111.00	92.54	600.00	692.54	505.10	42.10	94.90	187.44	0.00
3.14	4.01	12.01	112.00	93.28	600.00	693.28	506.40	43.40	93.60	186.88	0.00
3.22	4.12	12.02	114.00	94.84	600.00	694.84	507.40	44.40	92.60	187.44	0.00
3.30	4.22	12.03	115.00	95.57	600.00	695.57	508.30	45.30	91.70	187.27	0.00
3.39	4.33	12.05	116.00	96.29	600.00	696.29	509.90	46.90	90.10	186.39	0.00
3.47	4.43	12.06	118.00	97.84	600.00	697.84	510.10	47.10	89.90	187.74	0.00
3.55	4.54	12.07	118.00	97.74	600.00	697.74	511.50	48.50	88.50	186.24	0.00
3.63	4.64	12.09	119.00	98.46	600.00	698.46	512.80	49.80	87.20	185.66	0.00
3.72	4.75	12.10	121.00	99.99	600.00	699.99	513.40	50.40	86.60	186.59	0.00
3.80	4.86	12.11	122.00	100.71	600.00	700.71	514.70	51.70	85.30	186.01	0.00
3.88	4.96	12.13	122.00	100.60	600.00	700.60	515.80	52.80	84.20	184.80	0.00
3.98	5.09	12.14	123.00	101.29	600.00	701.29	516.80	53.80	83.20	184.49	0.00
4.06	5.19	12.16	124.00	102.00	600.00	702.00	517.90	54.90	82.10	184.10	0.00
4.14	5.29	12.17	124.00	101.89	600.00	701.89	518.90	55.90	81.10	182.99	0.00
4.55	5.81	12.24	125.00	102.15	600.00	702.15	519.80	56.80	80.20	182.35	0.00
4.96	6.34	12.31	126.00	102.39	600.00	702.39	520.90	57.90	79.10	181.49	0.00
5.37	6.86	12.37	126.00	101.82	600.00	701.82	520.50	57.50	79.50	181.32	0.00
5.78	7.39	12.44	125.00	100.44	600.00	700.44	520.40	57.40	79.60	180.04	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง แก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

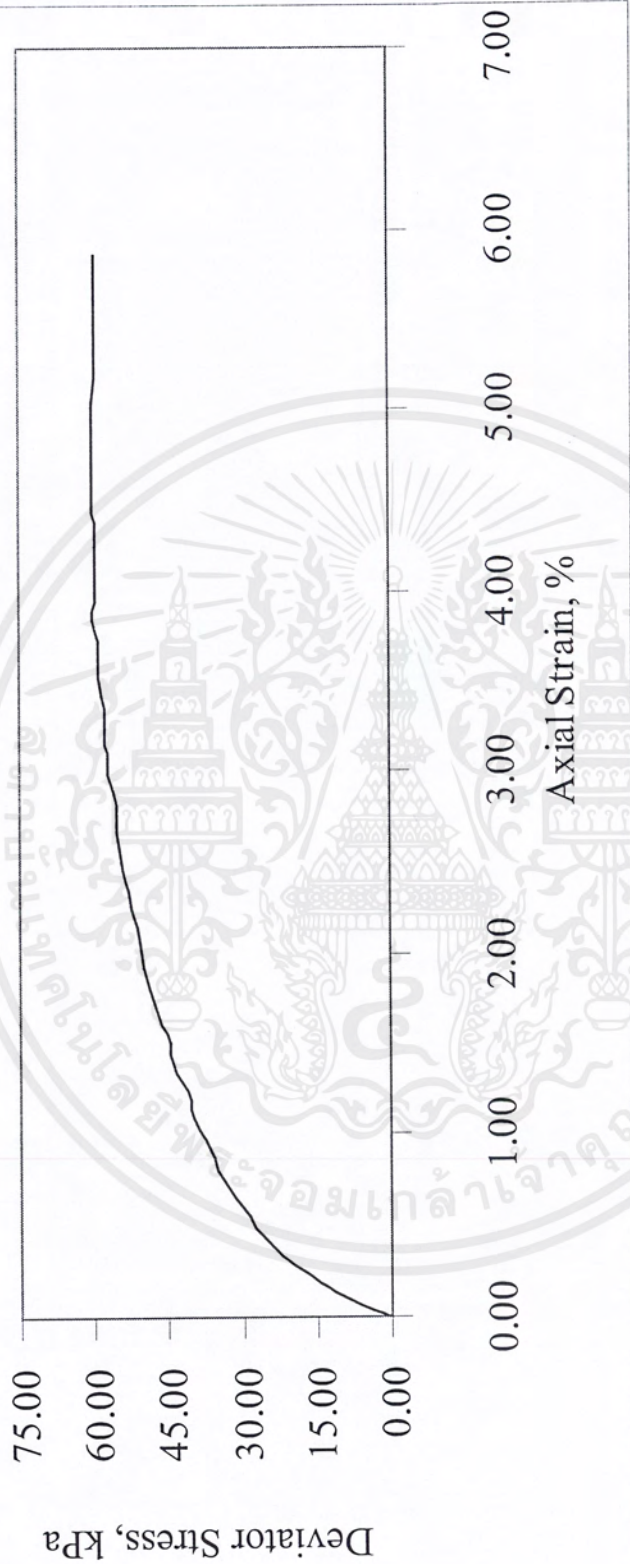
Consolidated Undrained Test



รูปที่ ผ.ค.1. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 34 kPa ของดินหลูมที่ 7 ความลึก

1.50 เมตร

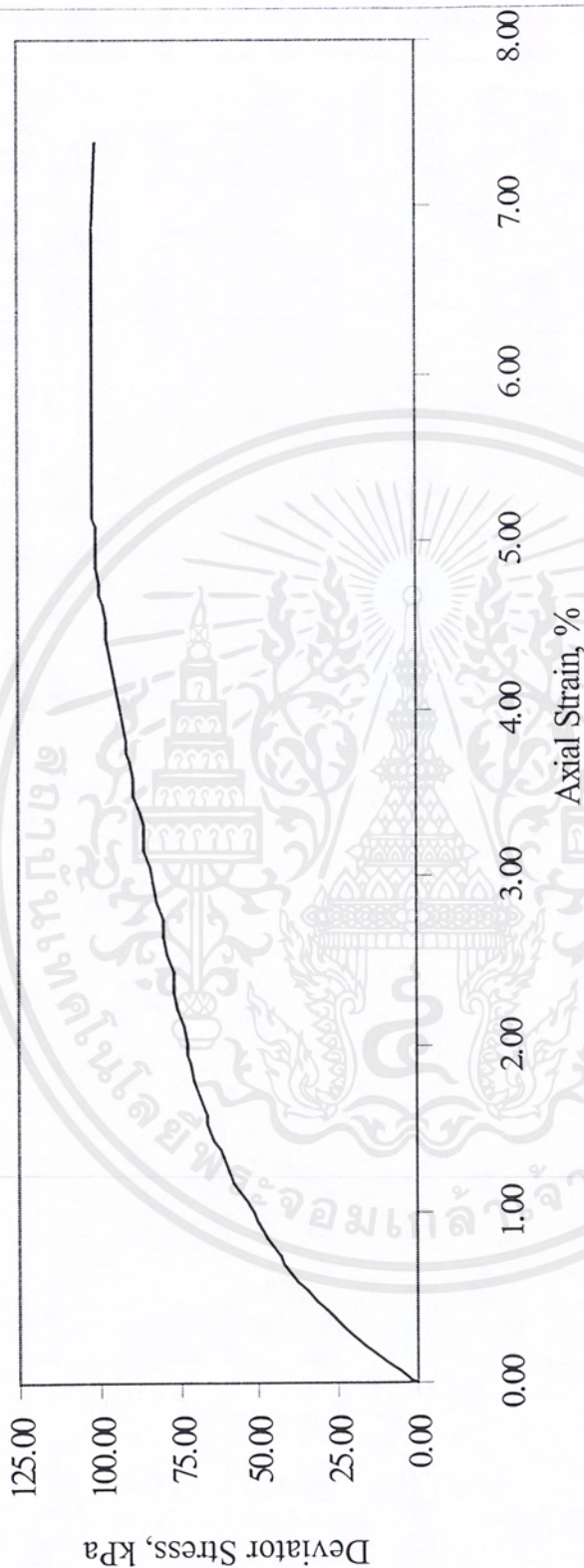
Consolidated Undrained Test



รูปที่ ผ.ค.2. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 68 kPa ของดินเหนียวที่ 8 ความลึก

1.50 เมตร

Consolidated Undrained Test



รูปที่ ผ.ค.3. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Undrained ด้วย Eff. Pressure = 136 kPa ของดินหลูมที่ 9 ความลึก

1.50 เมตร

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบ Consolidated Drained



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ง.1. ผลการทดสอบ Consolidated Drained ของดินตัวอย่างที่ 1

Consolidated Drained Test

Location CV_SHOP(old) BH-10 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div
 Loading rate 0.0025 mm/min. 0.2% strain/hr

Test Data

Init. Cell Pressure 700 kPa Init. Pore Pressure 664.1 kPa
 Init. Back Pressure 666 kPa Eff. Pressure 34 kPa

sample data

sample dia. 38.10 mm weight of sample 139.67 g.
 sample area 11.41 cm² water content before test 33.45 %
 sample height 77.45 mm water content after test 51.55 %
 sample volume 88.34 cm³

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Volume Change (cm ³)
0.00	0.00	11.41	0.00	0.00	700.00	700.00	664.10	0.00	0.00
0.01	0.01	11.41	1.00	0.88	700.00	700.88	664.10	0.00	0.04
0.08	0.10	11.42	6.00	5.26	700.00	705.26	663.00	-1.10	0.03
0.15	0.19	11.43	14.00	12.25	700.00	712.25	665.40	1.30	0.15
0.22	0.28	11.44	19.00	16.61	700.00	716.61	664.60	0.50	0.14
0.29	0.37	11.45	25.00	21.84	700.00	721.84	664.10	0.00	0.24
0.36	0.46	11.46	31.00	27.05	700.00	727.05	665.60	1.50	0.34
0.43	0.56	11.47	34.00	29.64	700.00	729.64	664.60	0.50	0.40
0.49	0.63	11.48	37.00	32.24	700.00	732.24	663.00	-1.10	0.38
0.56	0.72	11.49	42.00	36.56	700.00	736.56	665.10	1.00	0.49
0.63	0.81	11.50	44.00	38.26	700.00	738.26	664.60	0.50	0.52
0.70	0.90	11.51	46.00	39.97	700.00	739.97	664.30	0.20	0.56
0.77	0.99	11.52	47.00	40.80	700.00	740.80	664.10	0.00	0.60
0.84	1.08	11.53	50.00	43.36	700.00	743.36	664.10	0.00	0.65
0.90	1.16	11.54	53.00	45.93	700.00	745.93	664.10	0.00	0.69
0.97	1.25	11.55	54.00	46.75	700.00	746.75	664.10	0.00	0.70
1.04	1.34	11.56	56.00	48.44	700.00	748.44	664.60	0.50	0.73
1.11	1.43	11.57	57.00	49.26	700.00	749.26	664.60	0.50	0.77
1.18	1.52	11.58	59.00	50.94	700.00	750.94	664.60	0.50	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Presure (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.25	1.61	11.59	61.00	52.62	700.00	752.62	665.10	1.00	0.85
1.32	1.70	11.60	62.00	53.43	700.00	753.43	665.10	1.00	0.87
1.38	1.78	11.61	64.00	55.11	700.00	755.11	665.10	1.00	0.90
1.45	1.87	11.62	65.00	55.92	700.00	755.92	664.60	0.50	0.93
1.52	1.96	11.63	67.00	57.59	700.00	757.59	664.60	0.50	0.93
1.59	2.05	11.64	69.00	59.26	700.00	759.26	665.70	1.60	0.99
1.66	2.14	11.66	70.00	60.06	700.00	760.06	666.90	2.80	1.03
1.73	2.23	11.67	72.00	61.72	700.00	761.72	666.20	2.10	1.07
1.80	2.32	11.68	74.00	63.37	700.00	763.37	666.20	2.10	1.15
1.86	2.40	11.69	75.00	64.18	700.00	764.18	665.40	1.30	1.16
1.93	2.49	11.70	76.00	64.97	700.00	764.97	665.70	1.60	1.22
2.00	2.58	11.71	77.00	65.77	700.00	765.77	665.00	0.90	1.25
2.07	2.67	11.72	78.00	66.56	700.00	766.56	664.60	0.50	1.25
2.14	2.76	11.73	79.00	67.35	700.00	767.35	664.60	0.50	1.25
2.21	2.85	11.74	79.00	67.29	700.00	767.29	664.10	0.00	1.31
2.28	2.94	11.75	80.00	68.08	700.00	768.08	664.10	0.00	1.31
2.34	3.02	11.76	80.00	68.02	700.00	768.02	664.60	0.50	1.38
2.41	3.11	11.77	80.00	67.96	700.00	767.96	664.10	0.00	1.40
2.48	3.20	11.78	80.00	67.90	700.00	767.90	663.50	-0.60	1.42
2.55	3.29	11.79	81.00	68.68	700.00	768.68	663.50	-0.60	1.43
2.62	3.38	11.80	81.00	68.62	700.00	768.62	664.00	-0.10	1.43
2.69	3.47	11.82	82.00	69.40	700.00	769.40	664.10	0.00	1.45
2.76	3.56	11.83	82.00	69.33	700.00	769.33	663.50	-0.60	1.48
2.82	3.64	11.84	82.00	69.28	700.00	769.28	663.50	-0.60	1.46
2.89	3.73	11.85	82.00	69.21	700.00	769.21	663.40	-0.70	1.50
2.96	3.82	11.86	82.00	69.15	700.00	769.15	663.00	-1.10	1.50
3.03	3.91	11.87	82.00	69.08	700.00	769.08	663.50	-0.60	1.51
3.10	4.00	11.88	82.00	69.02	700.00	769.02	663.50	-0.60	1.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.จ.2. ผลการทดสอบ Consolidated Drained ของดินตัวอย่างที่ 2

Consolidated Drained Test

Location CV_SHOP(old) BH-11 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div

Loading rate 0.0025 nm/min.

Test Data

Init. Cell Pressure 600 kPa Init. Pore Pressure 529.1 kPa
 Init. Back Pressure 532 kPa Eff. Pressure 68 kPa

sample data

sample dia. 37.77 weight of sample 141.23 g.
 sample area 11.21 water content before test 36.87 %
 sample height 79.40 water content after test 52.14 %
 sample volume 88.98

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horizontal Pressure (kPa)	Vertical Pressure (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Volume Change (cm ²)
0.00	0.00	11.21	0.00	0.00	600.00	600.00	529.10	0.00	0.00
0.01	0.01	11.21	0.00	0.00	600.00	600.00	529.40	0.30	0.05
0.08	0.10	11.22	0.00	0.00	600.00	600.00	526.00	-3.10	0.02
0.15	0.19	11.23	3.00	2.67	600.00	602.67	525.60	-3.50	0.03
0.22	0.28	11.24	8.00	7.12	600.00	607.12	528.60	-0.50	0.03
0.29	0.37	11.25	11.00	9.78	600.00	609.78	526.40	-2.70	0.02
0.35	0.44	11.26	15.00	13.33	600.00	613.33	530.00	0.90	0.06
0.42	0.53	11.27	17.00	15.09	600.00	615.09	528.00	-1.10	0.09
0.49	0.62	11.28	19.00	16.85	600.00	616.85	527.00	-2.10	0.09
0.56	0.71	11.29	22.00	19.49	600.00	619.49	528.90	-0.20	0.10
0.63	0.79	11.30	24.00	21.25	600.00	621.25	527.50	-1.60	0.11
0.70	0.88	11.31	26.00	23.00	600.00	623.00	527.00	-2.10	0.15
0.76	0.96	11.32	29.00	25.63	600.00	625.63	528.70	-0.40	0.17
0.83	1.05	11.33	30.00	26.49	600.00	626.49	527.50	-1.60	0.23
0.90	1.13	11.34	32.00	28.23	600.00	628.23	526.40	-2.70	0.24
0.97	1.22	11.35	34.00	29.97	600.00	629.97	527.50	-1.60	0.26
1.04	1.31	11.36	36.00	31.70	600.00	631.70	528.70	-0.40	0.30
1.10	1.39	11.36	38.00	33.44	600.00	633.44	527.20	-1.90	0.32
1.17	1.47	11.37	40.00	35.17	600.00	635.17	526.80	-2.30	0.31
1.24	1.56	11.38	43.00	37.77	600.00	637.77	525.90	-3.20	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horizontal Pressure (kPa)	Vertical Pressure (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.31	1.65	11.39	44.00	38.61	600.00	638.61	525.50	-3.60	0.33
1.38	1.74	11.41	47.00	41.21	600.00	641.21	528.60	-0.50	0.37
1.44	1.81	11.41	49.00	42.93	600.00	642.93	528.70	-0.40	0.39
1.51	1.90	11.42	51.00	44.64	600.00	644.64	528.00	-1.10	0.40
1.58	1.99	11.43	53.00	46.35	600.00	646.35	526.50	-2.60	0.40
1.65	2.08	11.44	55.00	48.06	600.00	648.06	526.20	-2.90	0.44
1.72	2.17	11.45	57.00	49.76	600.00	649.76	525.30	-3.80	0.48
1.79	2.25	11.47	59.00	51.46	600.00	651.46	524.90	-4.20	0.47
1.85	2.33	11.47	62.00	54.03	600.00	654.03	525.90	-3.20	0.52
1.92	2.42	11.48	63.00	54.86	600.00	654.86	528.60	-0.50	0.53
1.99	2.51	11.49	64.00	55.68	600.00	655.68	527.20	-1.90	0.54
2.06	2.59	11.51	68.00	59.10	600.00	659.10	526.30	-2.80	0.55
2.13	2.68	11.52	69.00	59.92	600.00	659.92	525.10	-4.00	0.54
2.19	2.76	11.52	70.00	60.74	600.00	660.74	524.40	-4.70	0.59
2.26	2.85	11.54	72.00	62.42	600.00	662.42	524.30	-4.80	0.56
2.33	2.93	11.55	73.00	63.23	600.00	663.23	524.80	-4.30	0.62
2.40	3.02	11.56	74.00	64.04	600.00	664.04	526.40	-2.70	0.63
2.47	3.11	11.57	75.00	64.84	600.00	664.84	524.70	-4.40	0.58
2.54	3.20	11.58	76.00	65.65	600.00	665.65	524.30	-4.80	0.65
2.60	3.27	11.59	78.00	67.32	600.00	667.32	524.50	-4.60	0.66
2.67	3.36	11.60	79.00	68.12	600.00	668.12	524.80	-4.30	0.66
2.74	3.45	11.61	80.00	68.92	600.00	668.92	525.10	-4.00	0.69
2.81	3.54	11.62	82.00	70.58	600.00	670.58	524.40	-4.70	0.70
2.88	3.63	11.63	82.00	70.52	600.00	670.52	524.80	-4.30	0.73
2.94	3.70	11.64	84.00	72.18	600.00	672.18	527.00	-2.10	0.72
3.01	3.79	11.65	84.00	72.11	600.00	672.11	526.00	-3.10	0.75
3.08	3.88	11.66	86.00	73.76	600.00	673.76	525.90	-3.20	0.78
3.42	4.31	11.71	90.00	76.85	600.00	676.85	527.90	-1.20	0.85
3.76	4.74	11.76	95.00	80.76	600.00	680.76	526.40	-2.70	0.90
4.10	5.16	11.82	99.00	83.78	600.00	683.78	527.00	-2.10	0.94
4.44	5.59	11.87	102.00	85.93	600.00	685.93	524.80	-4.30	0.96
4.78	6.02	11.92	104.00	87.21	600.00	687.21	527.80	-1.30	1.11
5.12	6.45	11.98	105.00	87.65	600.00	687.65	527.50	-1.60	1.10
5.47	6.89	12.04	108.00	89.73	600.00	689.73	527.20	-1.90	1.13
5.81	7.32	12.09	111.00	91.80	600.00	691.80	524.80	-4.30	1.13
6.15	7.75	12.15	113.00	93.02	600.00	693.02	527.50	-1.60	1.13
6.49	8.17	12.20	116.00	95.05	600.00	695.05	526.70	-2.40	1.14
6.83	8.60	12.26	118.00	96.24	600.00	696.24	525.90	-3.20	1.13
7.17	9.03	12.32	119.00	96.60	600.00	696.60	526.00	-3.10	1.13
7.51	9.46	12.38	120.00	96.95	600.00	696.95	525.90	-3.20	1.14
7.85	9.89	12.44	120.00	96.49	600.00	696.49	525.90	-3.20	1.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horizontal Pressure (kPa)	Vertical Pressure (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Presure (kPa)	Volume Change (cm ²)
8.19	10.31	12.50	119.00	95.23	600.00	695.23	525.90	-3.20	1.07



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง **พ.ร.บ. 6** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ง.3. ผลการทดสอบ Consolidated Drained ของดินตัวอย่างที่ 3

Consolidated Drained Test

Location CV_SHOP(old) BH-12 Depth 1.50 m.

Proving ring data

Proving ring No. 12488 Proving ring constant 2.101 N/div
 Loading rate 0.0025 nm/min. 0.2% strain/hr

Test Data

Init. Cell Pressure 600 kPa Init. Pore Pressure 462 kPa
 Init. Back Pressure 464 kPa Eff. Pressure 136 kPa

sample data

sample dia. 38.40 mm weight of sample 140.8 g.
 sample area 11.59 cm² water content before test 39.6 %
 sample height 78.10 mm water content after test 53.13 %
 sample volume 90.49 cm³

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Presure (kPa)	Volume Change (cm ²)
0.00	0.00	11.59	0.00	0.00	600.00	600.00	462.00	0.00	0.00
0.01	0.01	11.59	2.00	1.73	600.00	601.73	462.10	0.10	0.02
0.08	0.10	11.60	8.00	6.90	600.00	606.90	461.90	-0.10	0.05
0.15	0.19	11.61	15.00	12.92	600.00	612.92	462.30	0.30	0.10
0.22	0.28	11.62	22.00	18.94	600.00	618.94	462.10	0.10	0.12
0.29	0.37	11.63	29.00	24.94	600.00	624.94	461.80	-0.20	0.15
0.36	0.46	11.64	36.00	30.93	600.00	630.93	461.70	-0.30	0.17
0.42	0.54	11.65	41.00	35.20	600.00	635.20	462.50	0.50	0.18
0.49	0.63	11.66	47.00	40.31	600.00	640.31	462.50	0.50	0.16
0.56	0.72	11.67	54.00	46.27	600.00	646.27	462.50	0.50	0.20
0.63	0.81	11.68	60.00	51.37	600.00	651.37	462.40	0.40	0.25
0.70	0.90	11.69	65.00	55.60	600.00	655.60	462.30	0.30	0.27
0.77	0.99	11.70	70.00	59.82	600.00	659.82	462.70	0.70	0.26
0.84	1.08	11.71	74.00	63.18	600.00	663.18	462.90	0.90	0.30
0.91	1.17	11.72	79.00	67.39	600.00	667.39	462.90	0.90	0.34
0.97	1.24	11.73	83.00	70.75	600.00	670.75	462.80	0.80	0.36
1.04	1.33	11.74	87.00	74.09	600.00	674.09	462.80	0.80	0.36
1.11	1.42	11.75	90.00	76.58	600.00	676.58	462.70	0.70	0.38
1.18	1.51	11.76	94.00	79.91	600.00	679.91	462.50	0.50	0.41

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Volume Change (cm ²)
1.25	1.60	11.77	95.00	80.68	600.00	680.68	462.80	0.80	0.45
1.32	1.69	11.79	97.00	82.31	600.00	682.31	462.30	0.30	0.47
1.38	1.77	11.79	99.00	83.94	600.00	683.94	462.70	0.70	0.50
1.45	1.86	11.80	102.00	86.40	600.00	686.40	461.50	-0.50	0.55
1.52	1.95	11.82	106.00	89.71	600.00	689.71	462.20	0.20	0.61
1.58	2.02	11.83	110.00	93.02	600.00	693.02	462.50	0.50	0.63
1.66	2.13	11.84	113.00	95.46	600.00	695.46	462.80	0.80	0.62
1.72	2.20	11.85	117.00	98.76	600.00	698.76	462.90	0.90	0.67
1.80	2.30	11.86	119.00	100.34	600.00	700.34	463.20	1.20	0.68
1.85	2.37	11.87	121.00	101.96	600.00	701.96	463.40	1.40	0.69
1.93	2.47	11.88	121.00	101.86	600.00	701.86	463.10	1.10	0.71
2.00	2.56	11.89	123.00	103.45	600.00	703.45	462.90	0.90	0.72
2.07	2.65	11.90	126.00	105.87	600.00	705.87	462.80	0.80	0.72
2.14	2.74	11.91	129.00	108.29	600.00	708.29	462.80	0.80	0.74
2.21	2.83	11.92	133.00	111.55	600.00	711.55	462.80	0.80	0.76
2.28	2.92	11.93	136.00	113.96	600.00	713.96	462.80	0.80	0.77
2.34	3.00	11.94	140.00	117.22	600.00	717.22	462.80	0.80	0.80
2.41	3.09	11.95	144.00	120.45	600.00	720.45	462.80	0.80	0.82
2.48	3.18	11.97	146.00	122.01	600.00	722.01	462.70	0.70	0.88
2.55	3.27	11.98	148.00	123.57	600.00	723.57	462.40	0.40	0.85
2.62	3.35	11.99	151.00	125.96	600.00	725.96	462.40	0.40	0.87
2.69	3.44	12.00	155.00	129.18	600.00	729.18	462.40	0.40	0.92
2.76	3.53	12.01	158.00	131.55	600.00	731.55	462.40	0.40	0.94
2.82	3.61	12.02	161.00	133.95	600.00	733.95	462.40	0.40	0.95
2.89	3.70	12.03	163.00	135.48	600.00	735.48	462.30	0.30	0.96
2.96	3.79	12.04	167.00	138.68	600.00	738.68	462.30	0.30	0.97
3.03	3.88	12.05	165.00	136.89	600.00	736.89	462.40	0.40	0.99
3.10	3.97	12.06	170.00	140.91	600.00	740.91	462.50	0.50	1.03
3.42	4.38	12.12	175.00	144.43	600.00	744.43	462.50	0.50	1.07
3.76	4.81	12.17	180.00	147.88	600.00	747.88	462.60	0.60	1.08
4.10	5.25	12.23	185.00	151.30	600.00	751.30	462.80	0.80	1.10
4.43	5.67	12.28	188.00	153.06	600.00	753.06	462.80	0.80	1.15
4.78	6.12	12.34	191.00	154.77	600.00	754.77	462.80	0.80	1.16
5.12	6.56	12.40	193.00	155.66	600.00	755.66	463.10	1.10	1.16
5.47	7.00	12.46	196.00	157.32	600.00	757.32	463.10	1.10	1.15
5.81	7.44	12.52	197.00	157.39	600.00	757.39	463.10	1.10	1.18
6.15	7.87	12.58	198.00	157.44	600.00	757.44	462.50	0.50	1.18
6.50	8.32	12.64	200.00	158.26	600.00	758.26	462.50	0.50	1.21
6.84	8.76	12.70	201.00	158.29	600.00	758.29	462.50	0.50	1.22
7.17	9.18	12.76	202.00	158.34	600.00	758.34	462.50	0.50	1.24
7.51	9.62	12.82	202.00	157.59	600.00	757.59	462.30	0.30	1.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารทวิส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deform. x0.01 (mm.)	Strain %	Correct Area (cm ²)	Load (N)	Devia Stress (kPa)	Horiz. Press. (kPa)	Vert. Press. (kPa)	Pore Press. (kPa)	Excess Pore Pressure (kPa)	Volume Change (cm ²)
7.85	10.05	12.88	201.00	156.05	600.00	756.05	462.30	0.30	1.23

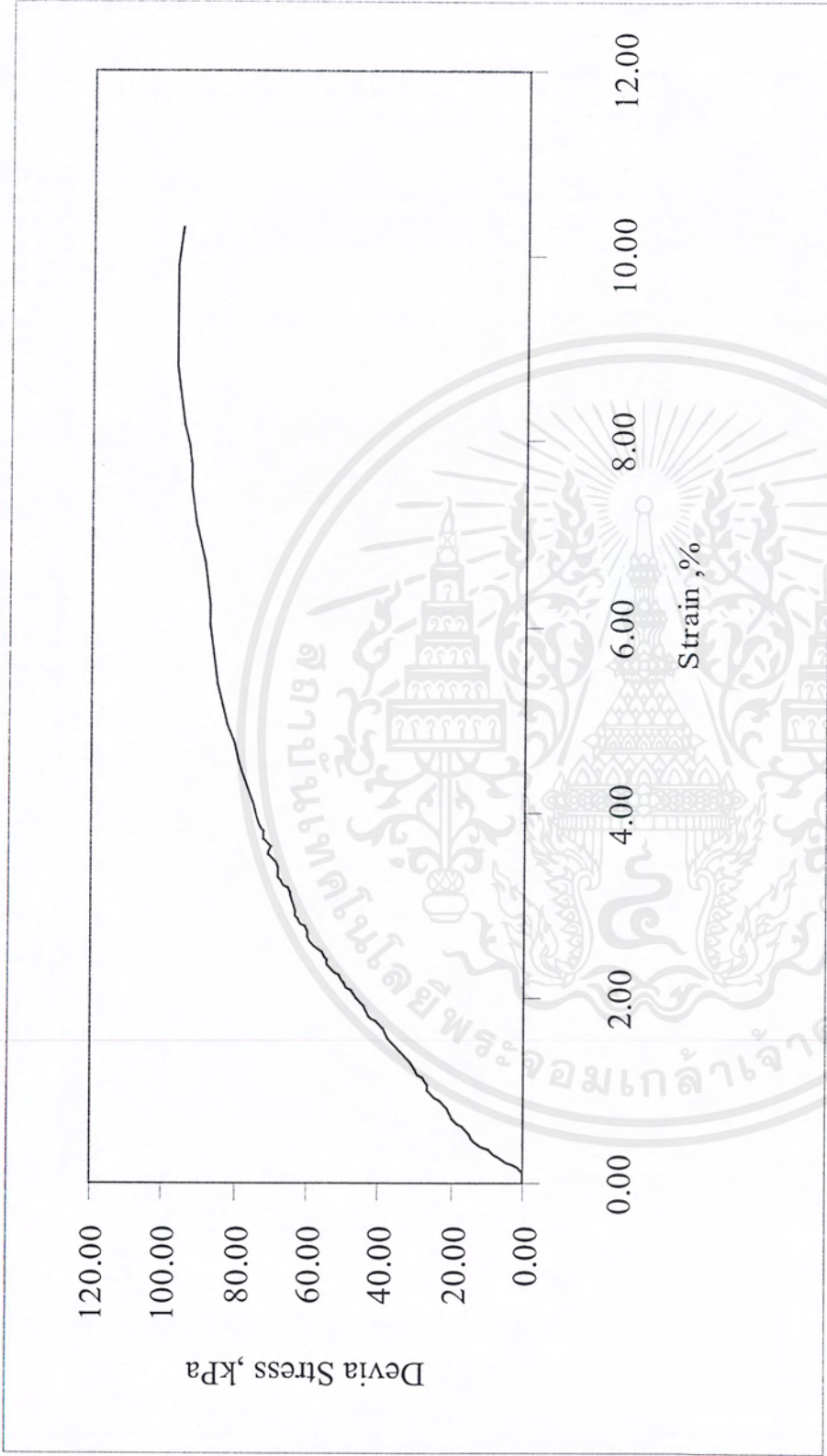


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Consolidated Drained Test



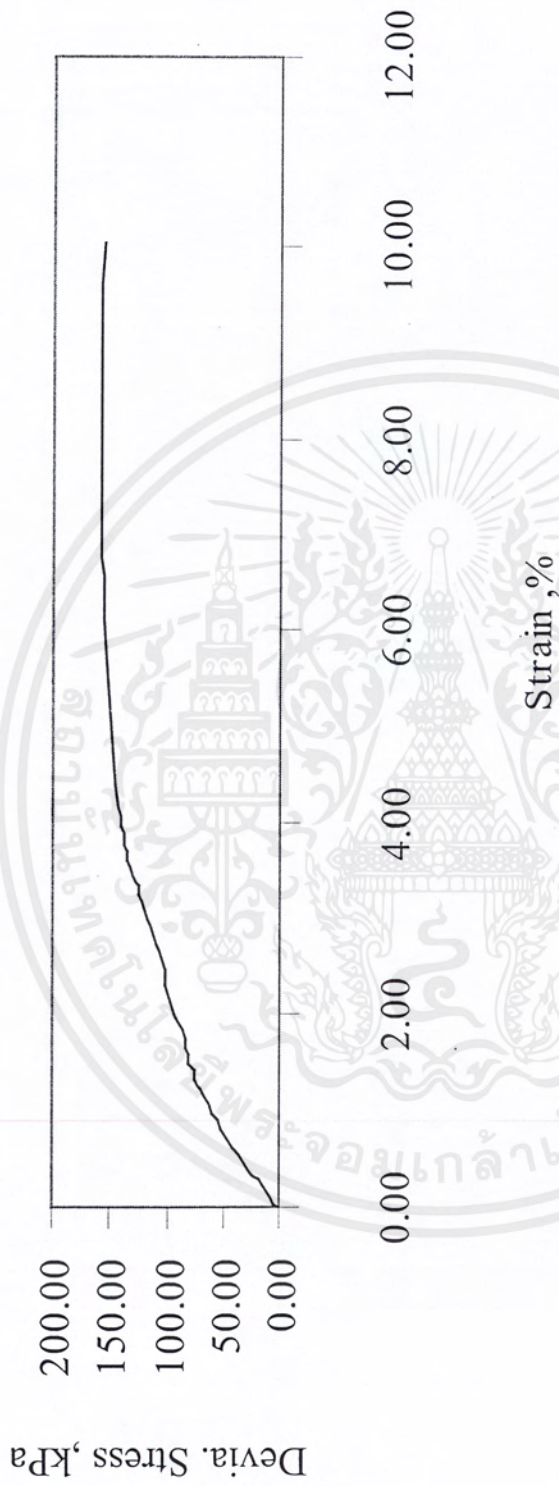
รูปที่ ผ.ง.1. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ด้วย Eff. Pressure = 34 kPa ของดินหลูมที่ 10 ความลึก 1.50 เมตร



รูปที่ ผ.ง.2. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ด้วย Eff. Pressure = 68 kPa ของดินหลูมที่ 11 ความลึก 1.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Consolidated Drain Test



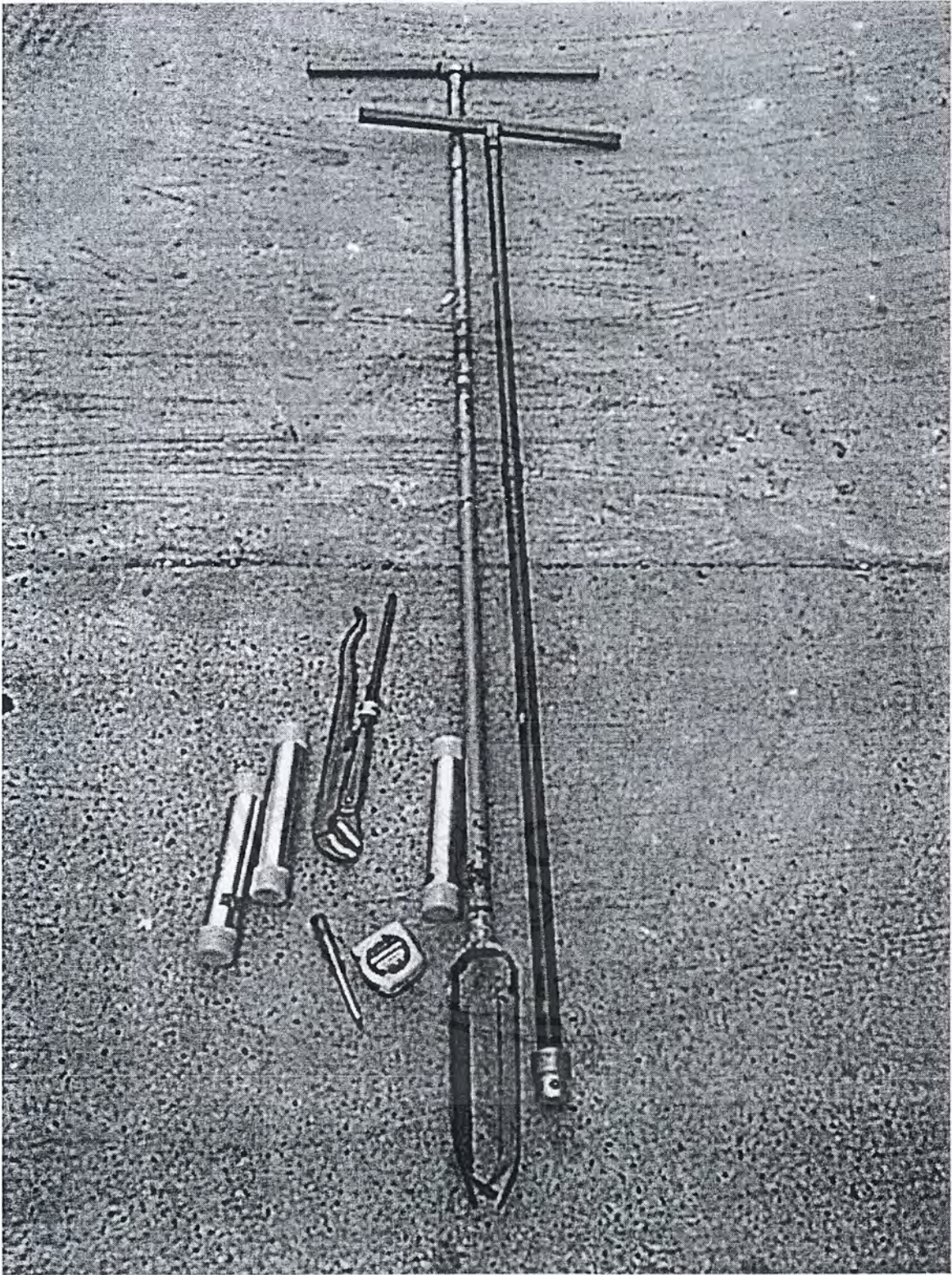
รูปที่ ผ.ง.3. กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ทดสอบด้วยวิธี Consolidated Drained ด้วย Eff. Pressure = 136 kPa ของดินหลุมที่ 12 ความลึก 1.50 เมตร

ภาคผนวก จ

รูปแสดงการทดสอบและอุปกรณ์การทดสอบ

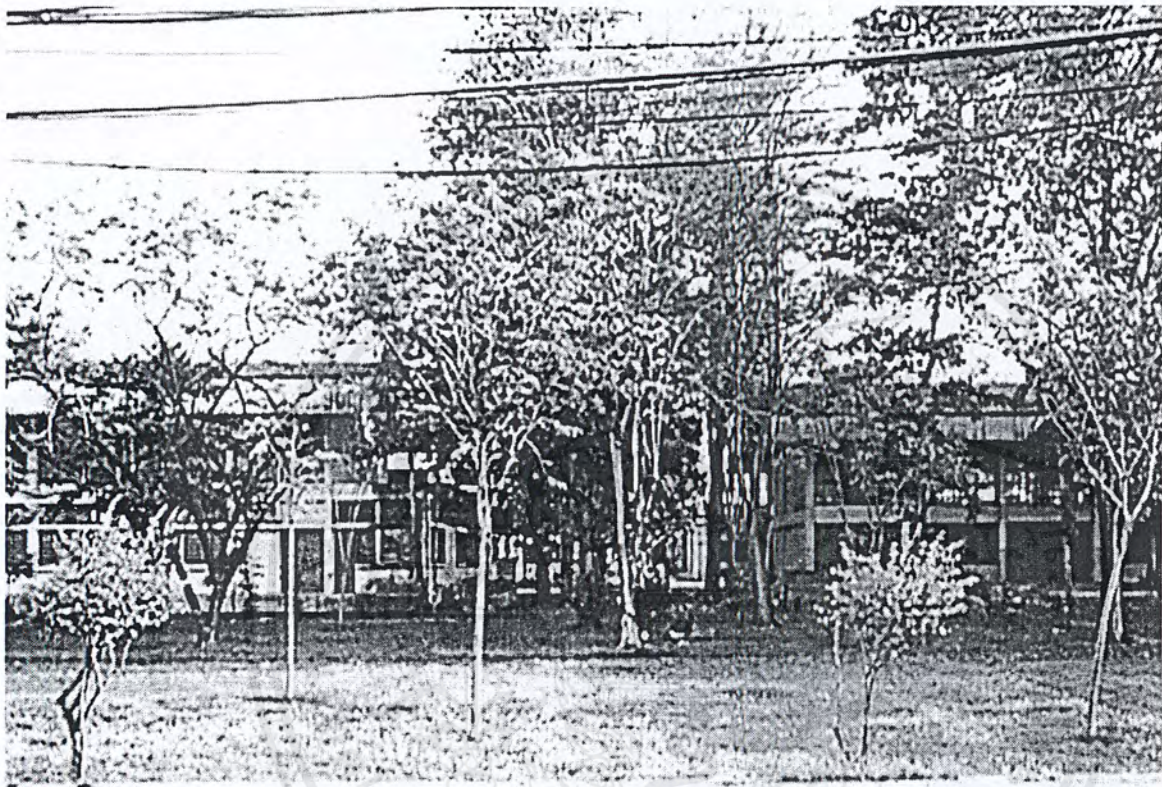


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 1. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 2. สถานที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน (หน้า Civil Shop เก่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 3. แสดงการใช้ Hand Auger ทำการเจาะหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 4. แสดงการใช้ตลับเมตรวัดความลึกของหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 5. แสดงการชันสกรูขี้ดกระบอกเก็บตัวอย่างกับก้านเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง **ผจ6** หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



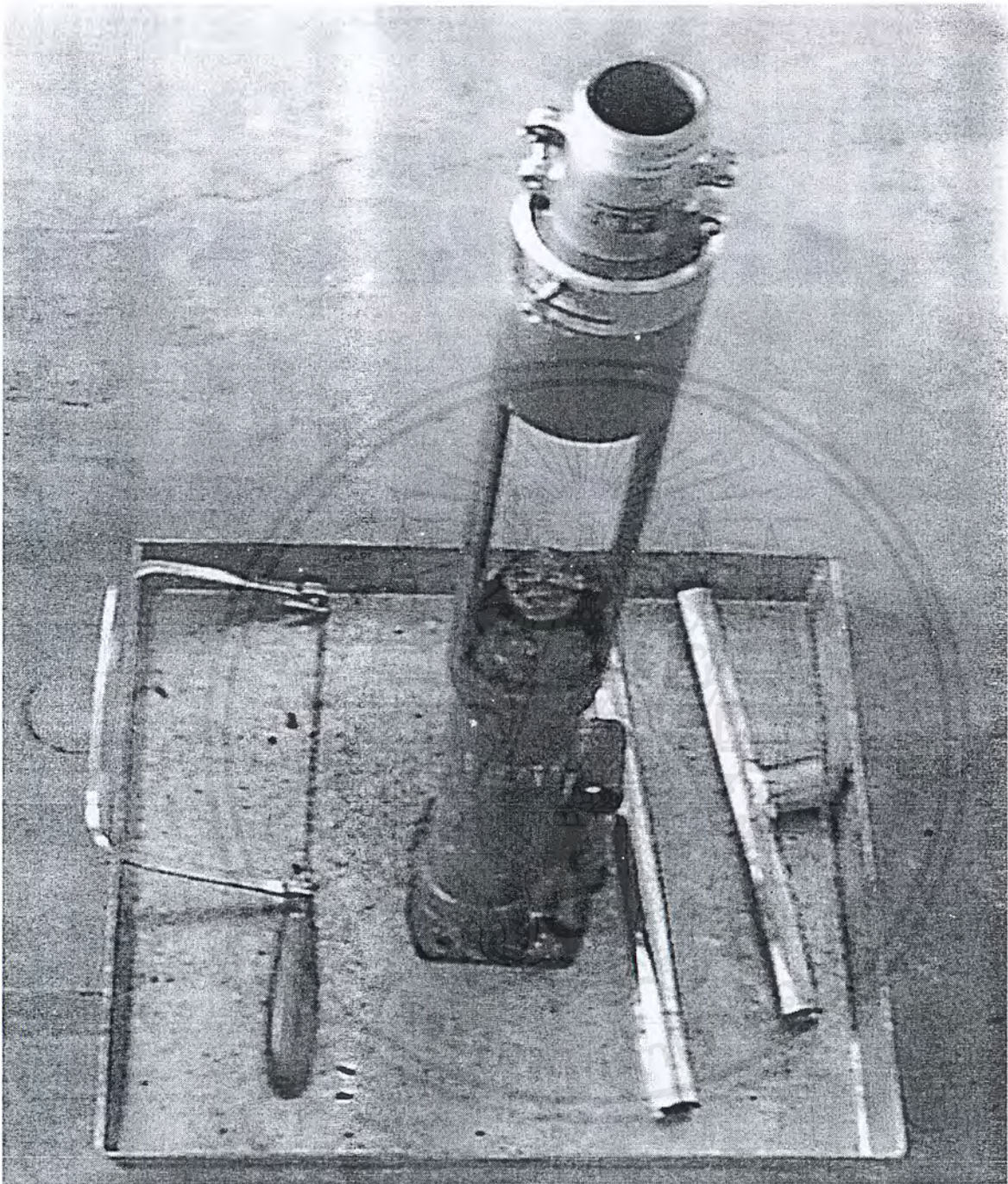
รูปที่ ผ.จ. 6. แสดงการเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง **ผจ7** หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



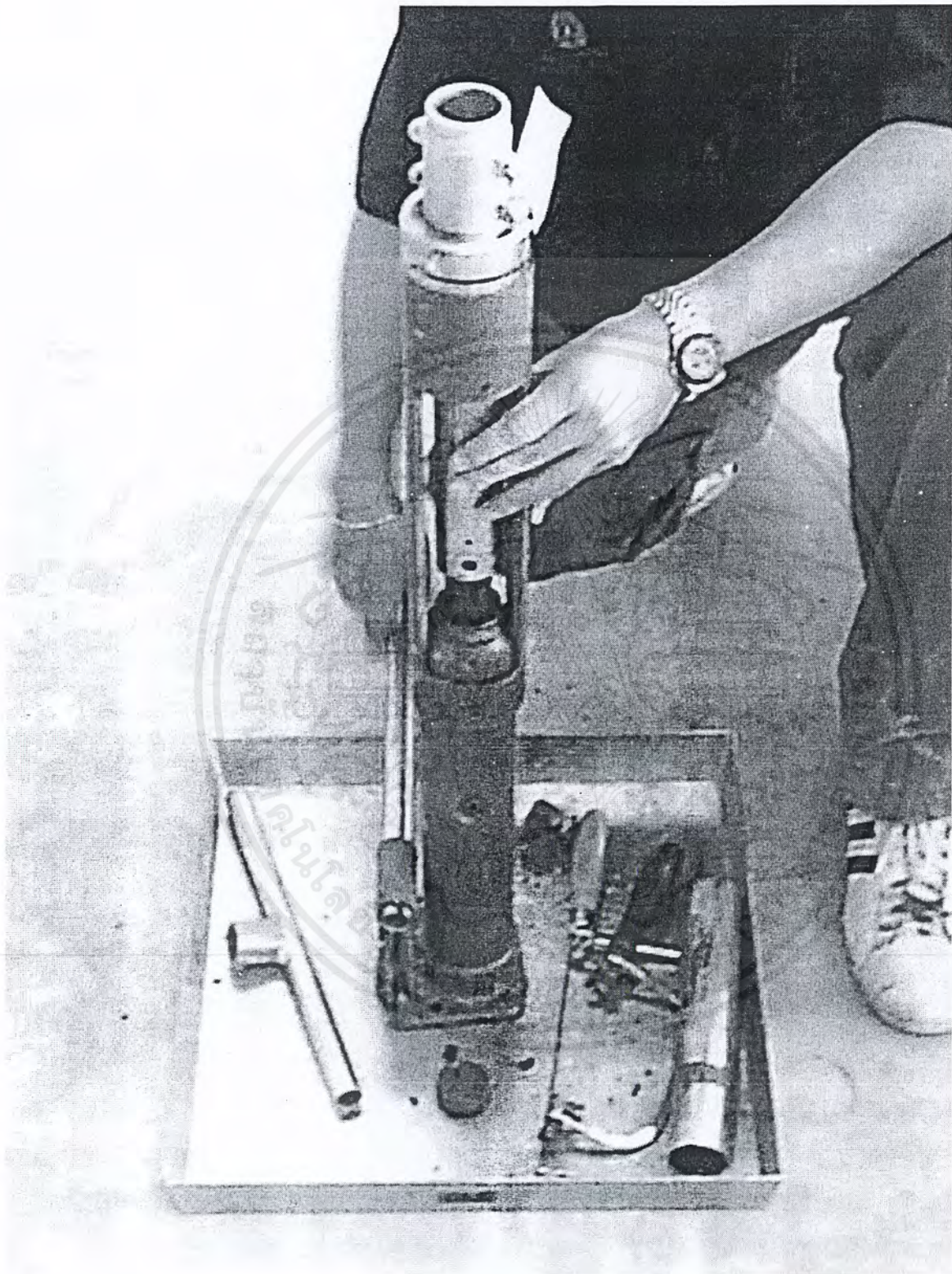
รูปที่ ผ.จ. 7 แสดงตัวอย่างดินที่เก็บออกมาจากหลุมเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



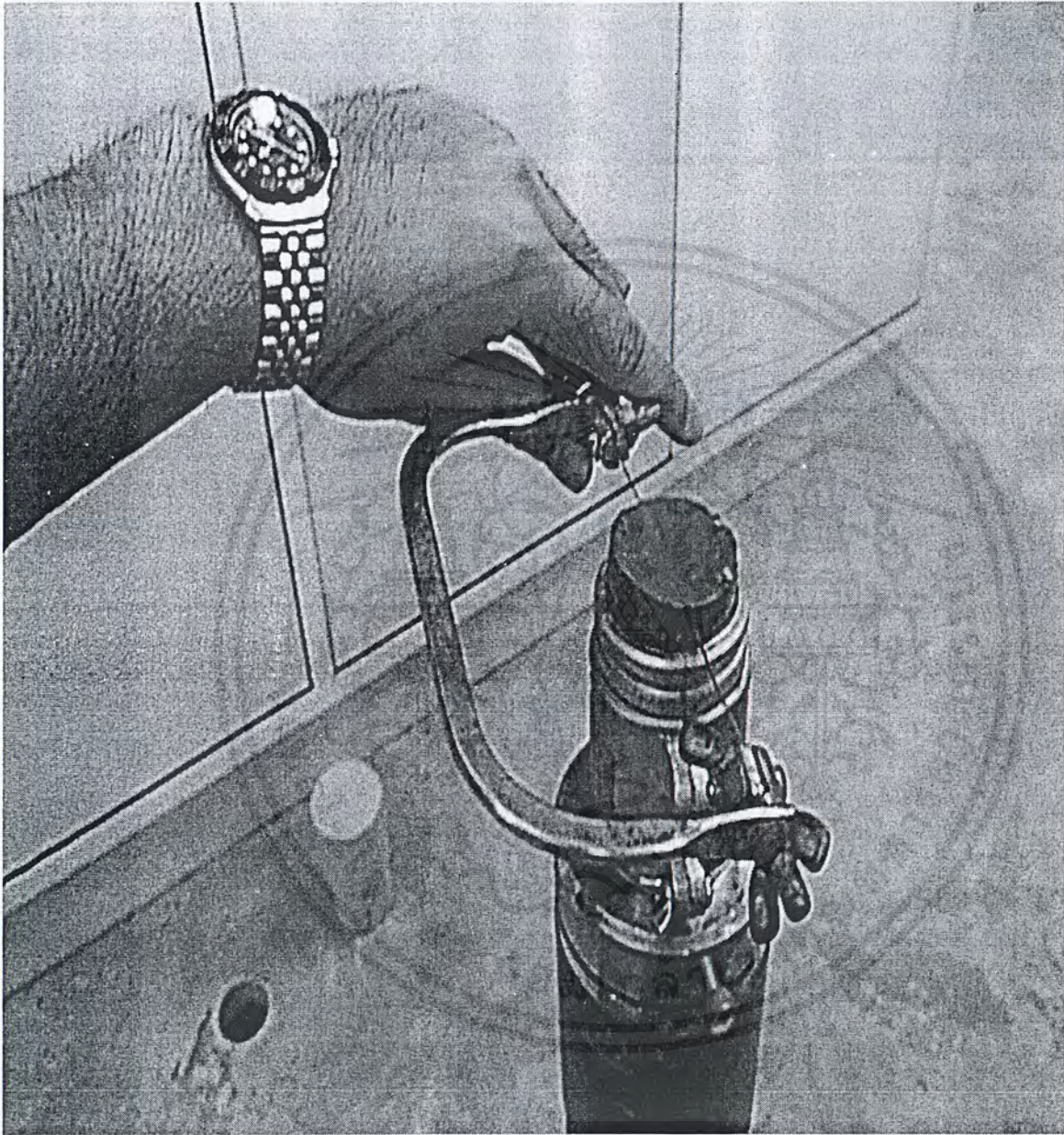
รูปที่ ผ.จ. 8. อุปกรณ์คันตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



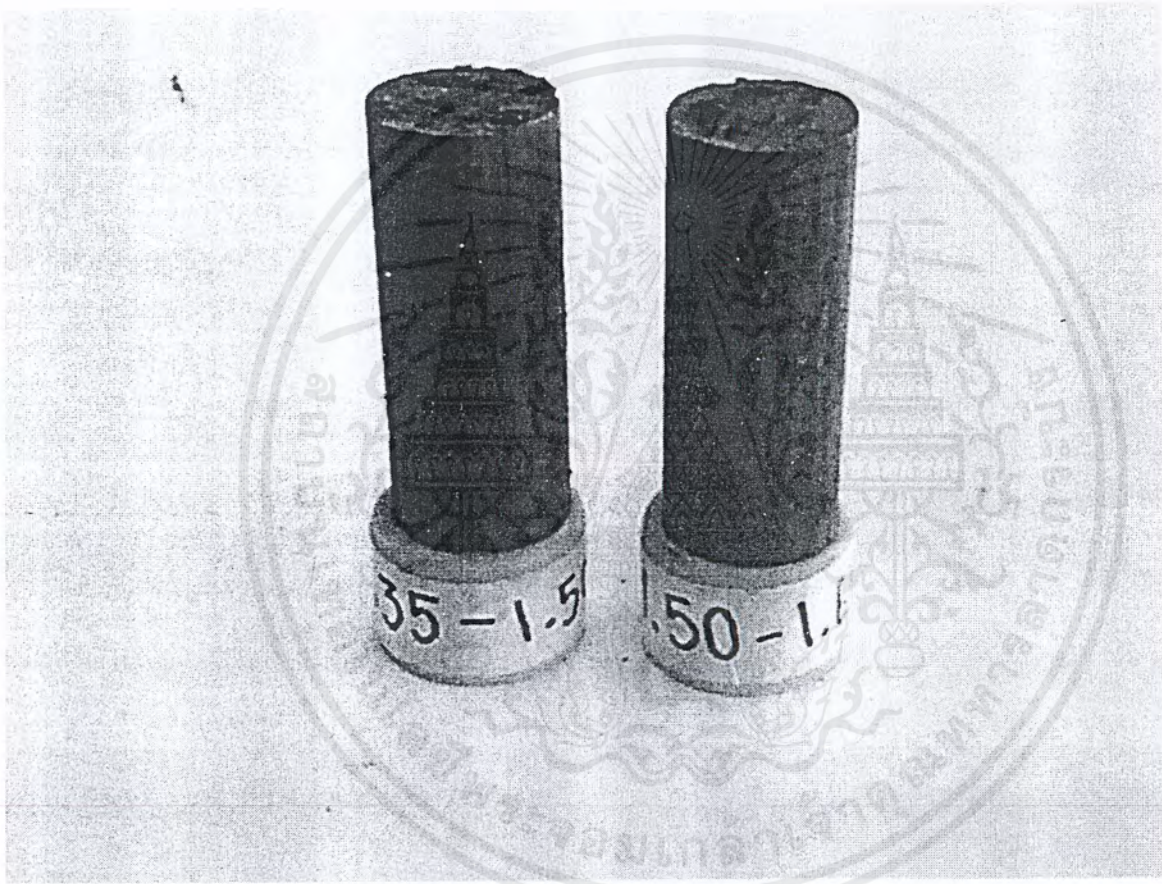
รูปที่ ผ.จ. 9. แสดงการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



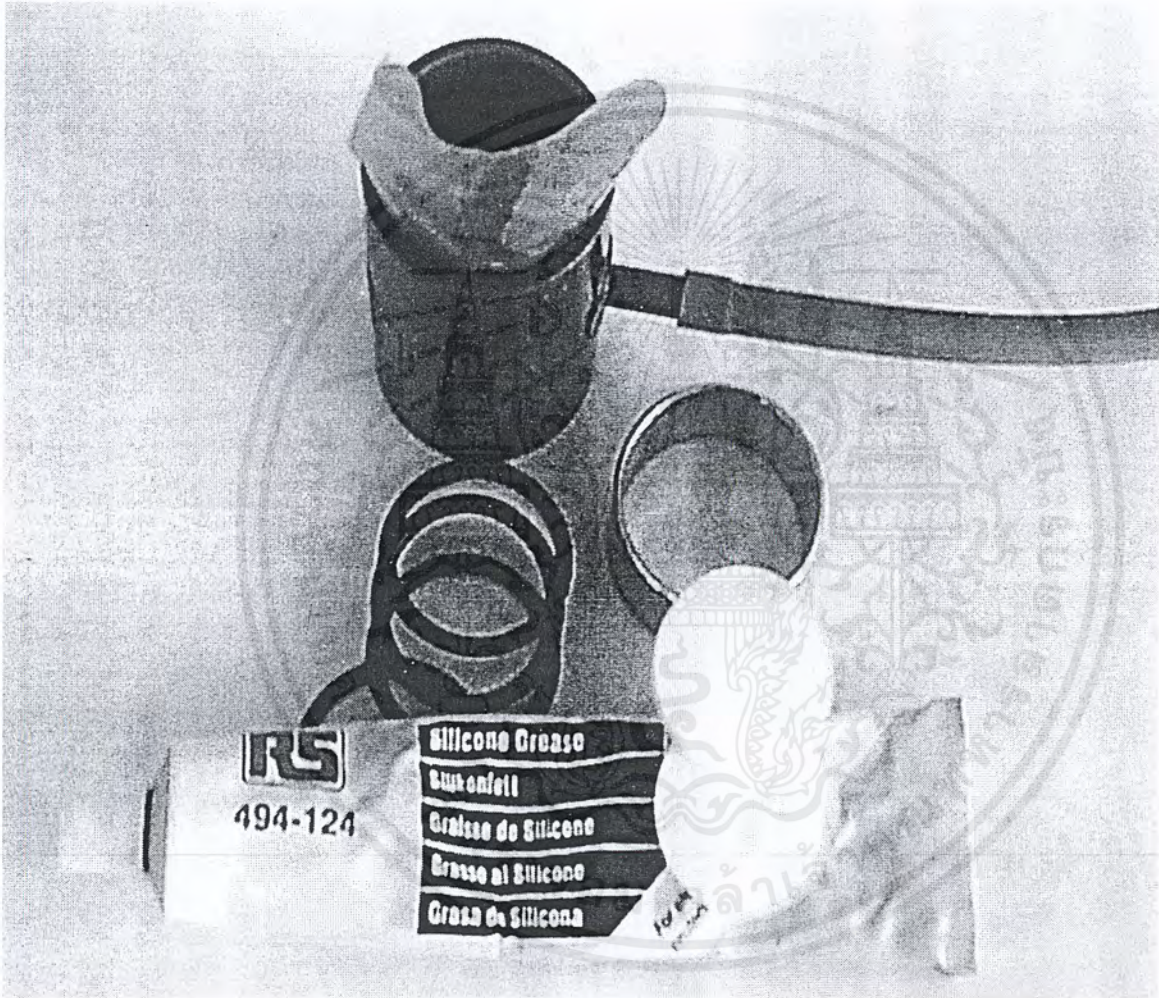
รูปที่ ผ.จ. 10. แสดงการใช้เลื่อยตัดตัวอย่างคืนที่เกินออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 11. แสดงตัวอย่างดินที่คั่นออกมาเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



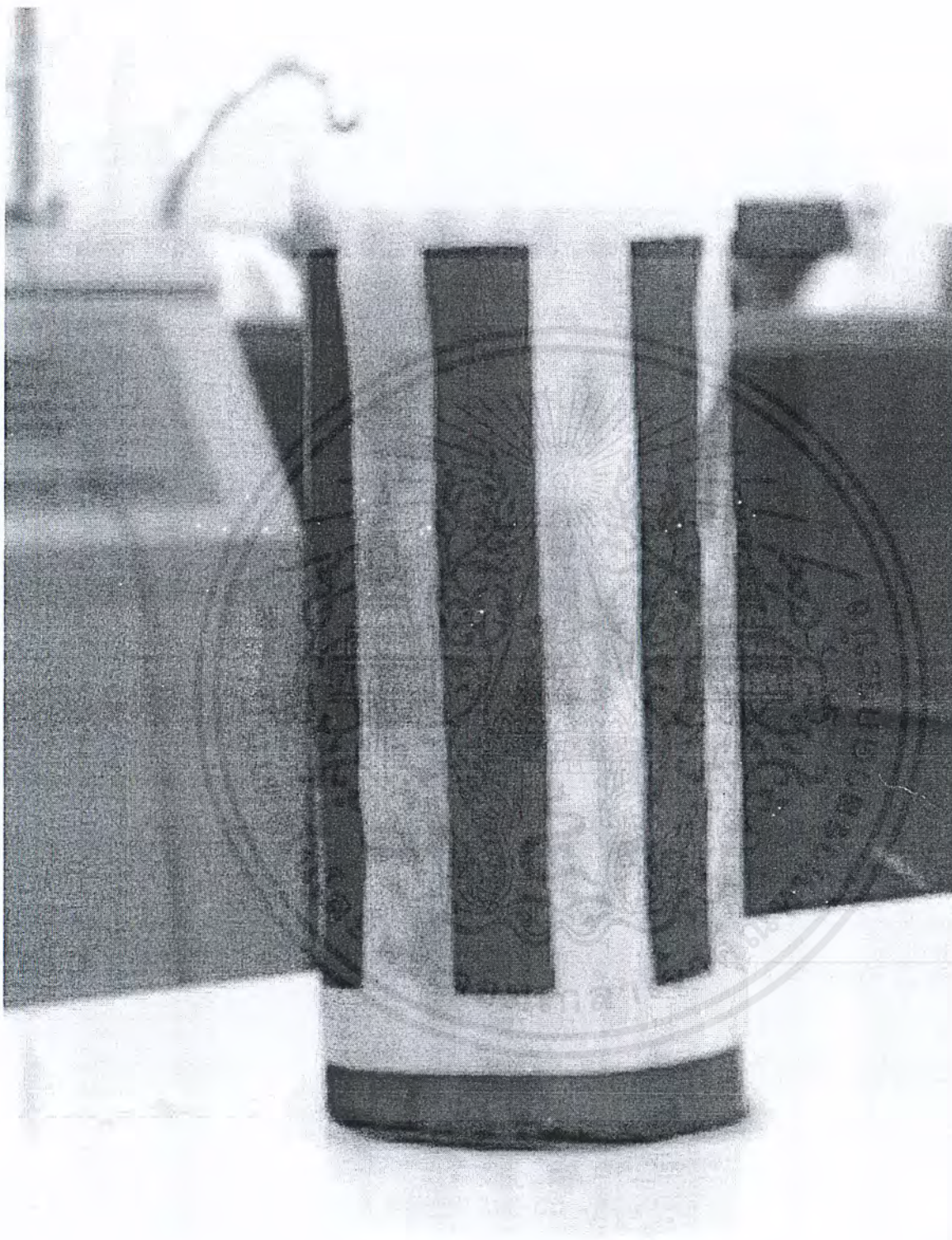
รูปที่ ผ.จ. 12. อุปกรณ์ในการใส่ปลอกยางให้กับตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



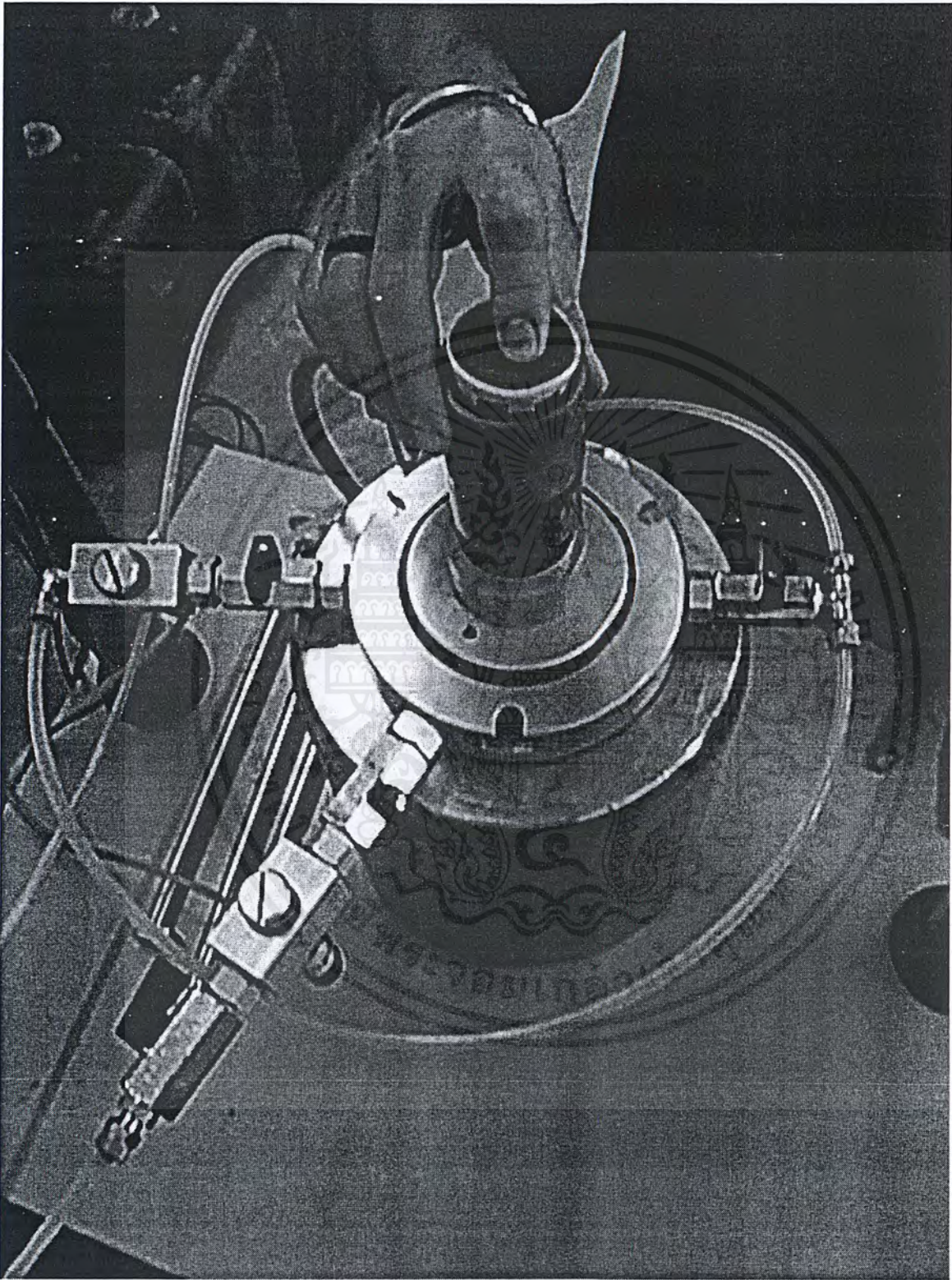
รูปที่ ผ.จ. 13 แสดงการใส่ปลอกยางให้แก่ตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข¹⁴ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



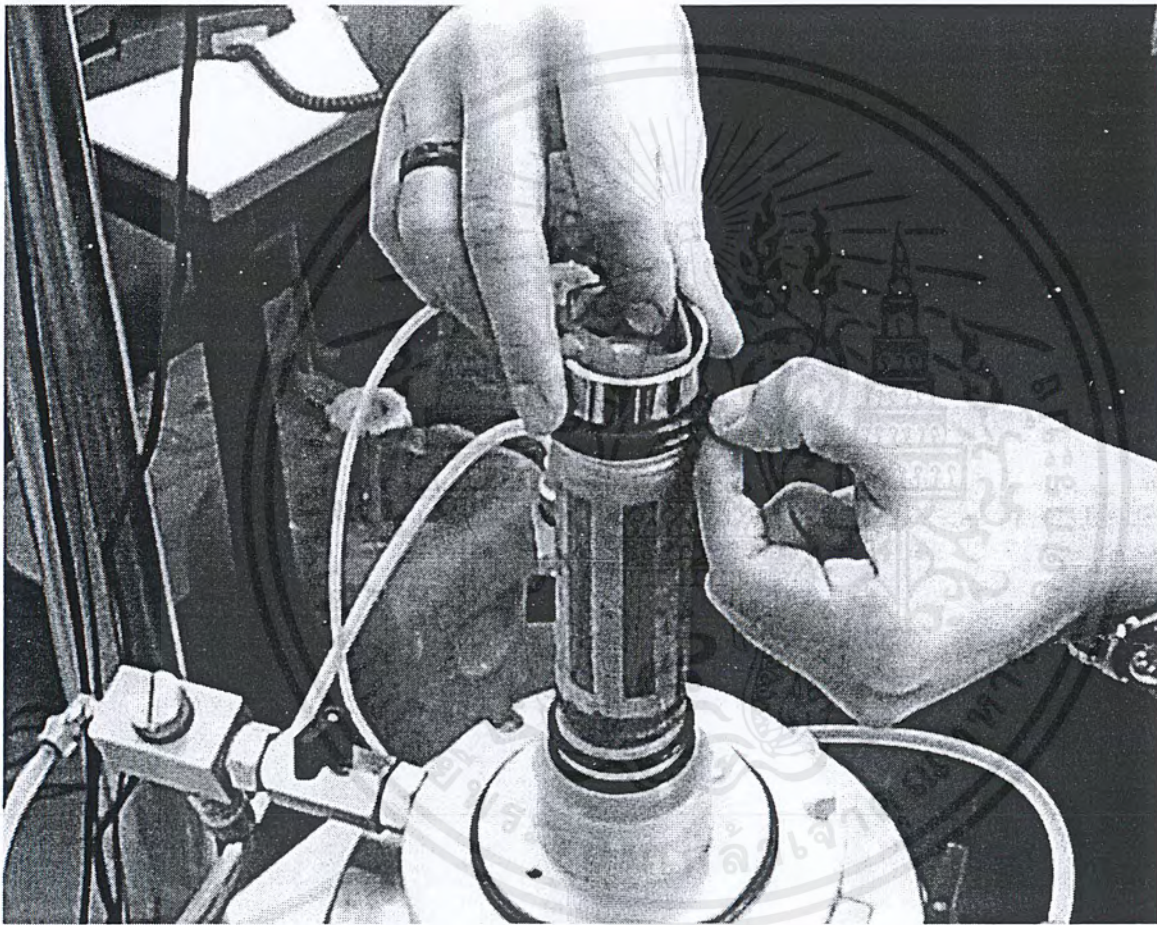
รูปที่ ผ.จ. 14. แสดงตัวอย่างคินที่ห่อด้วยกระดาษกรองเพื่อเตรียมการทดสอบ CU หรือ CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



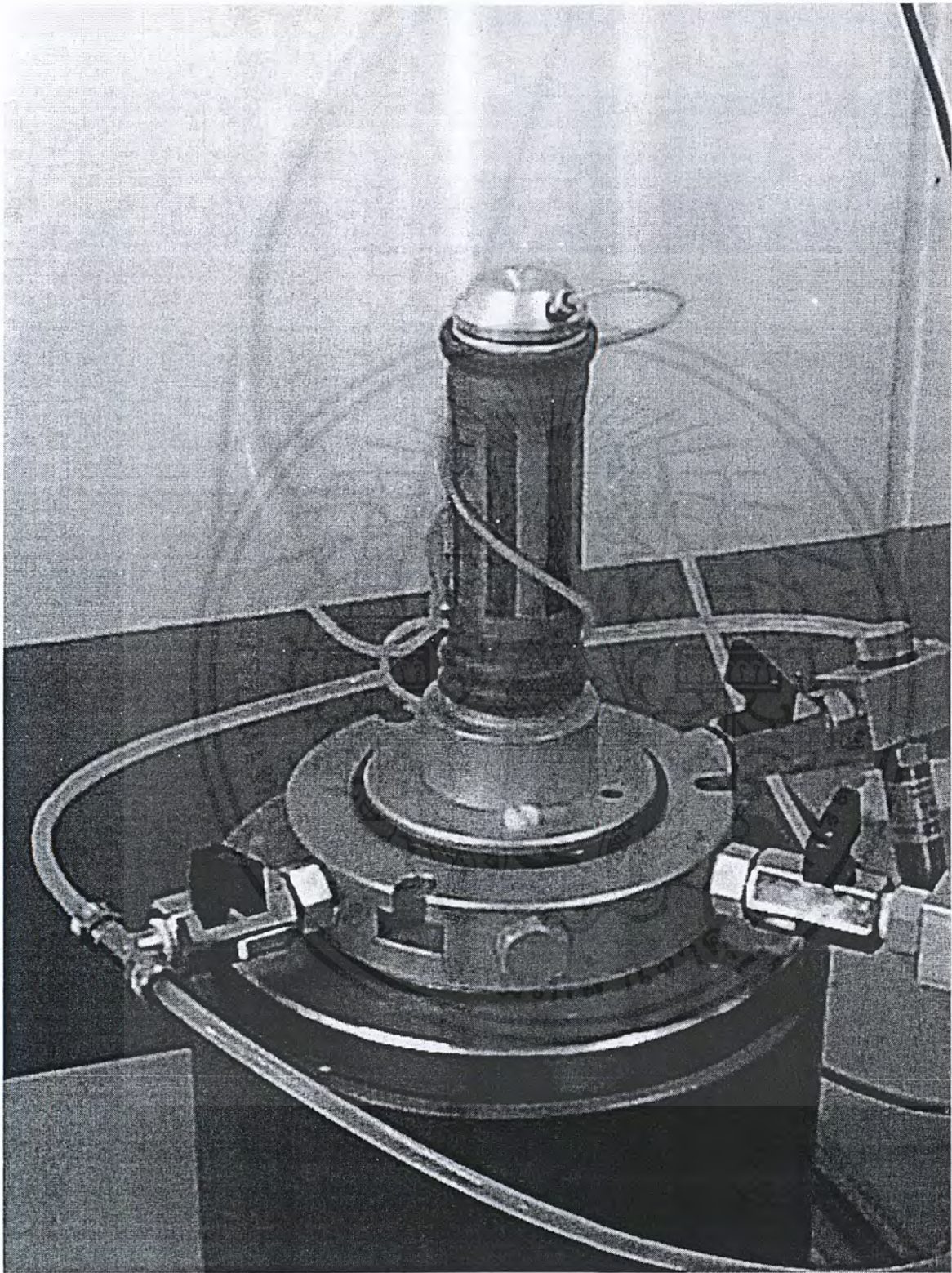
รูปที่ ผ.จ. 15. แสดงการติดตั้งตัวอย่างดินบนฐาน Cell ของ Triaxial Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



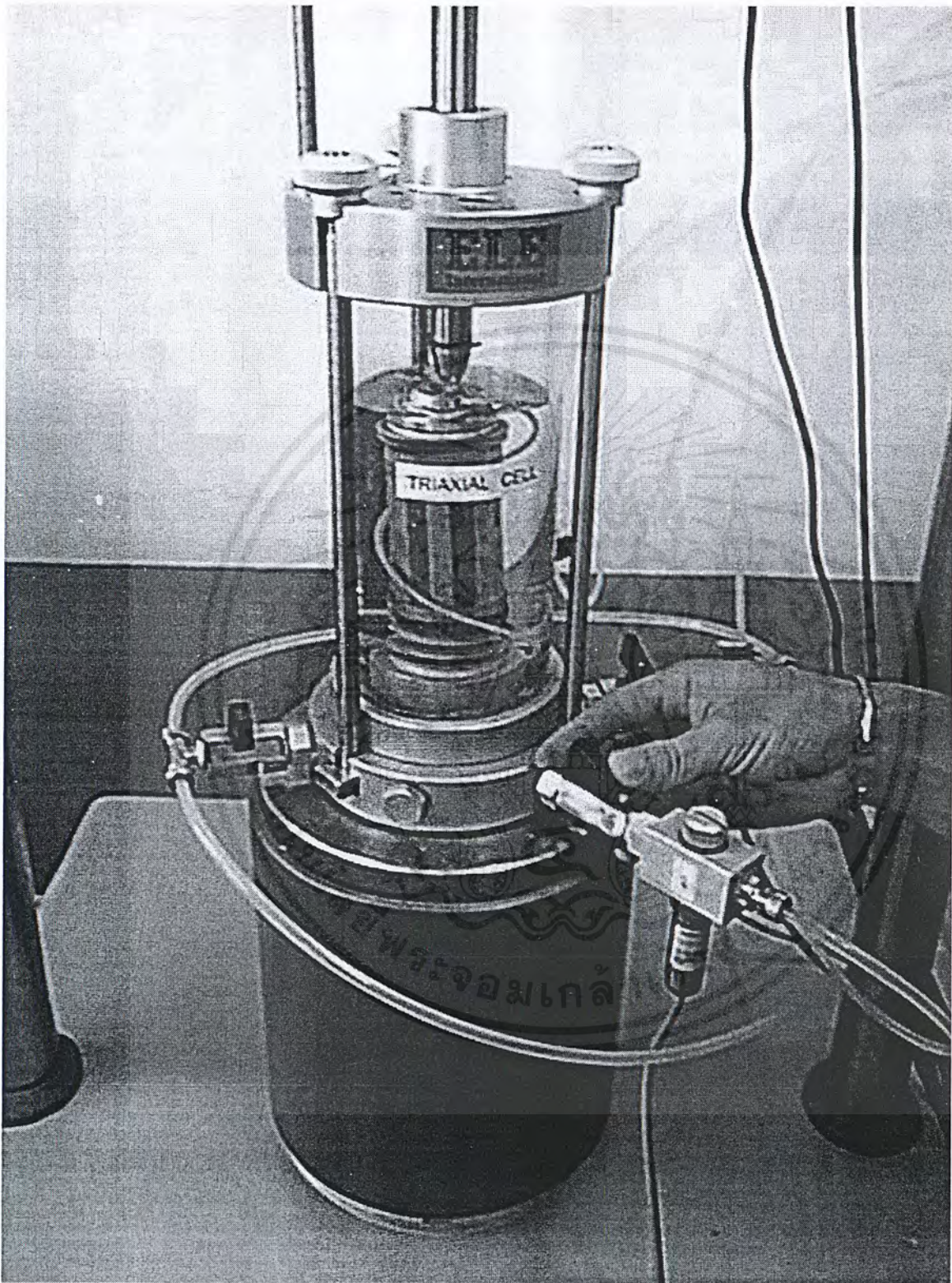
รูปที่ ผ.จ. 16. แสดงการเลื่อน O-Ring ลงลึกลงกับ Top Cap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



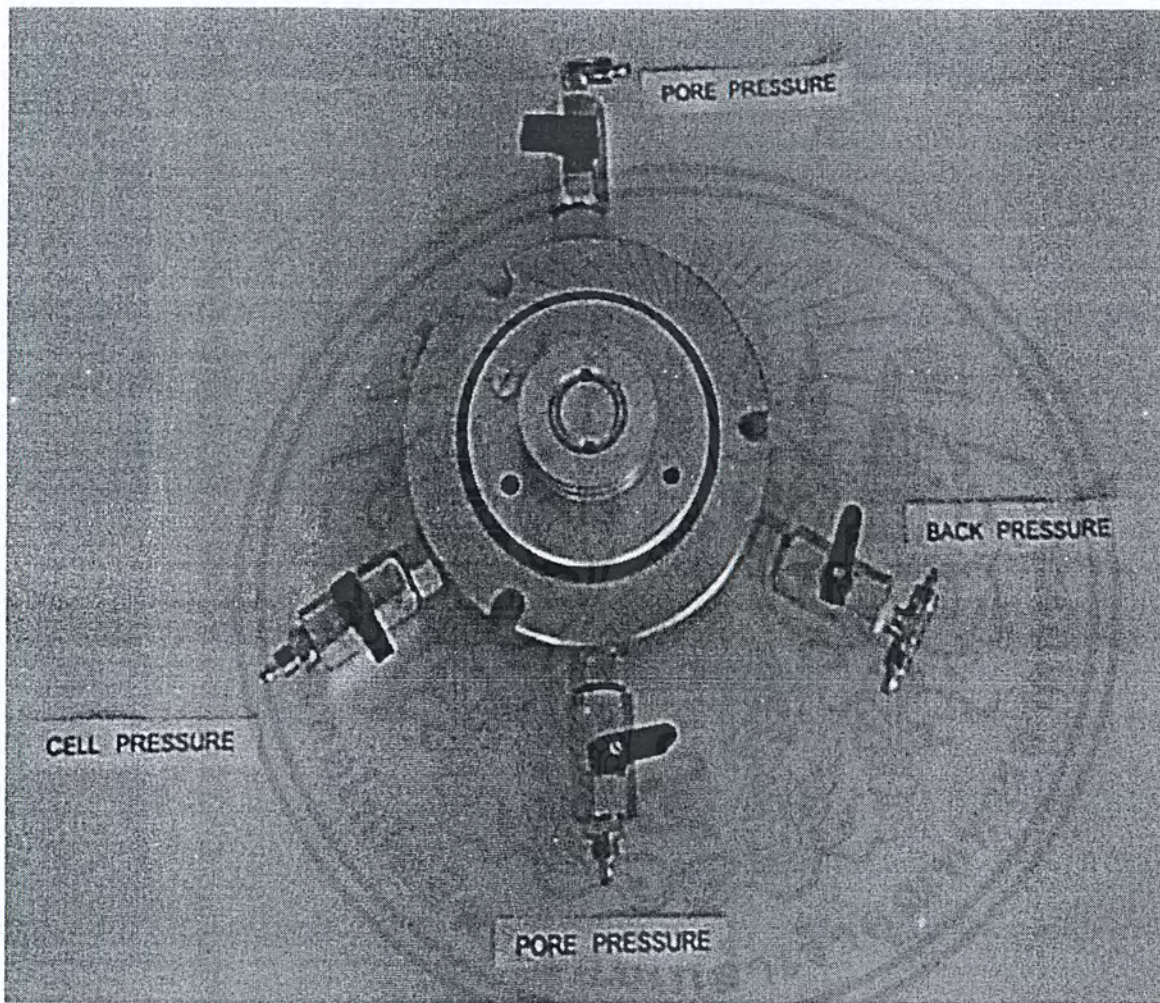
รูปที่ ผ.จ. 17. แสดงตัวอย่างคินที่ติดตั้งบนฐาน Cell เสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง^{ผจ18} และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



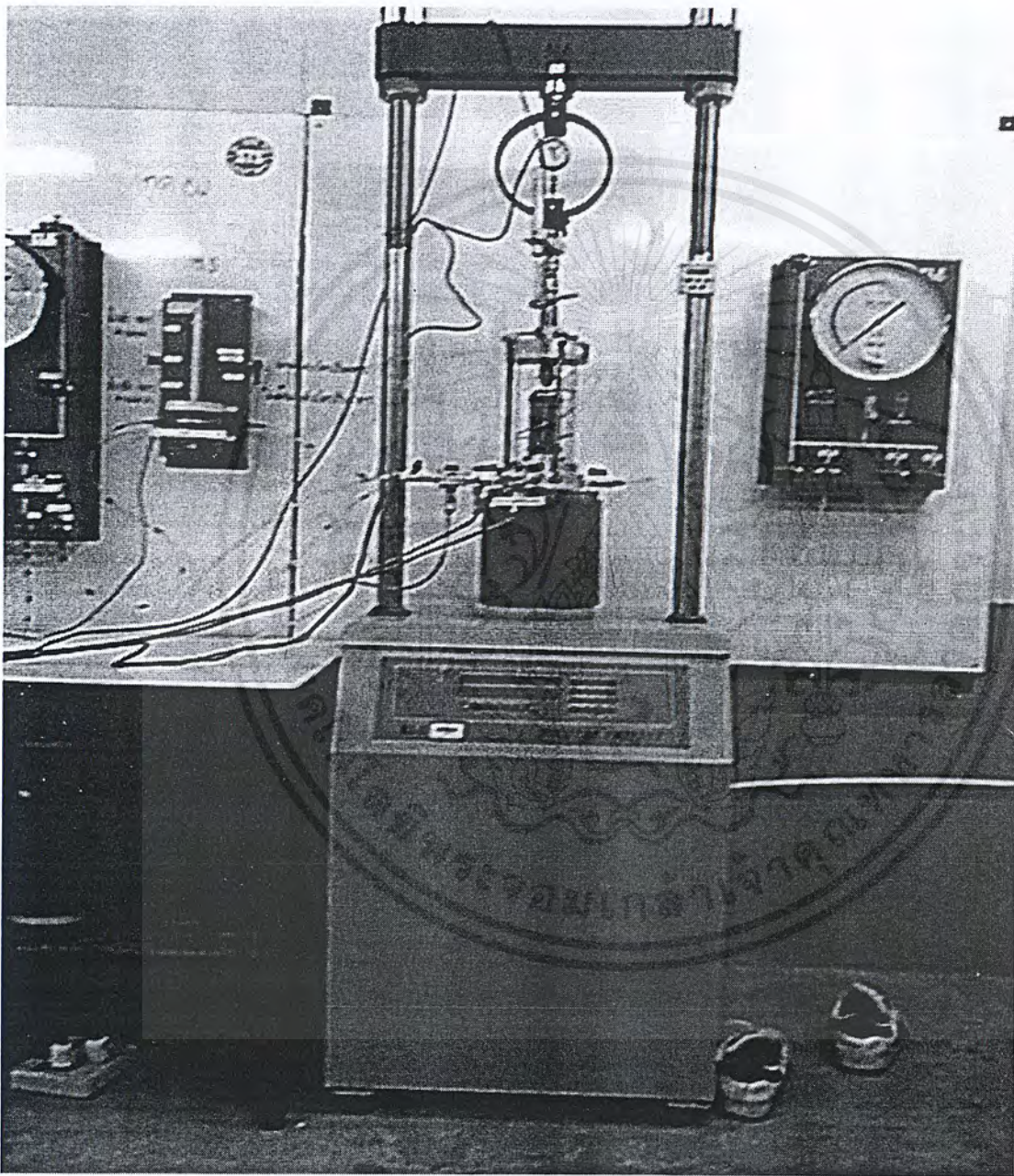
รูปที่ ผ.จ. 18. แสดงการเติมน้ำเข้า Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



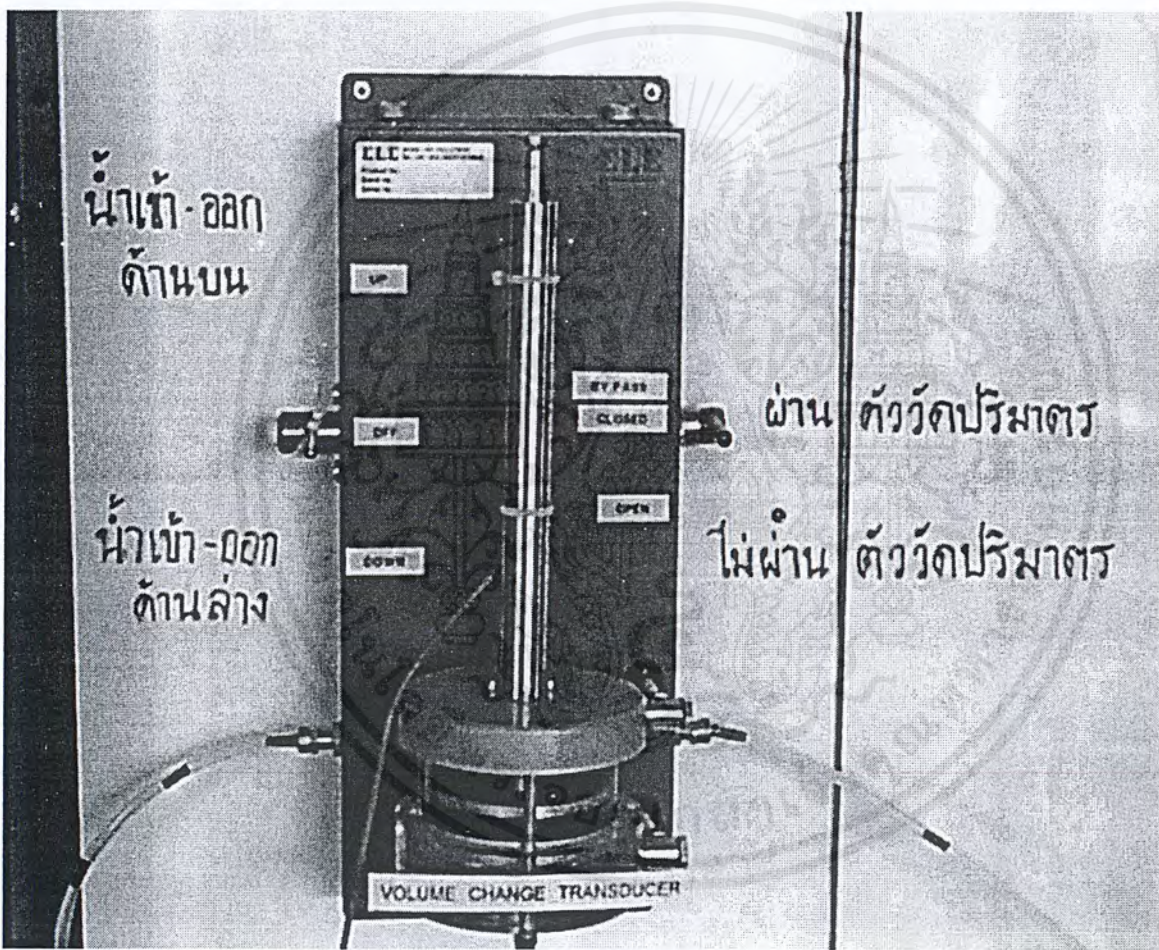
รูปที่ ผ.จ. 19. ฐาน Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



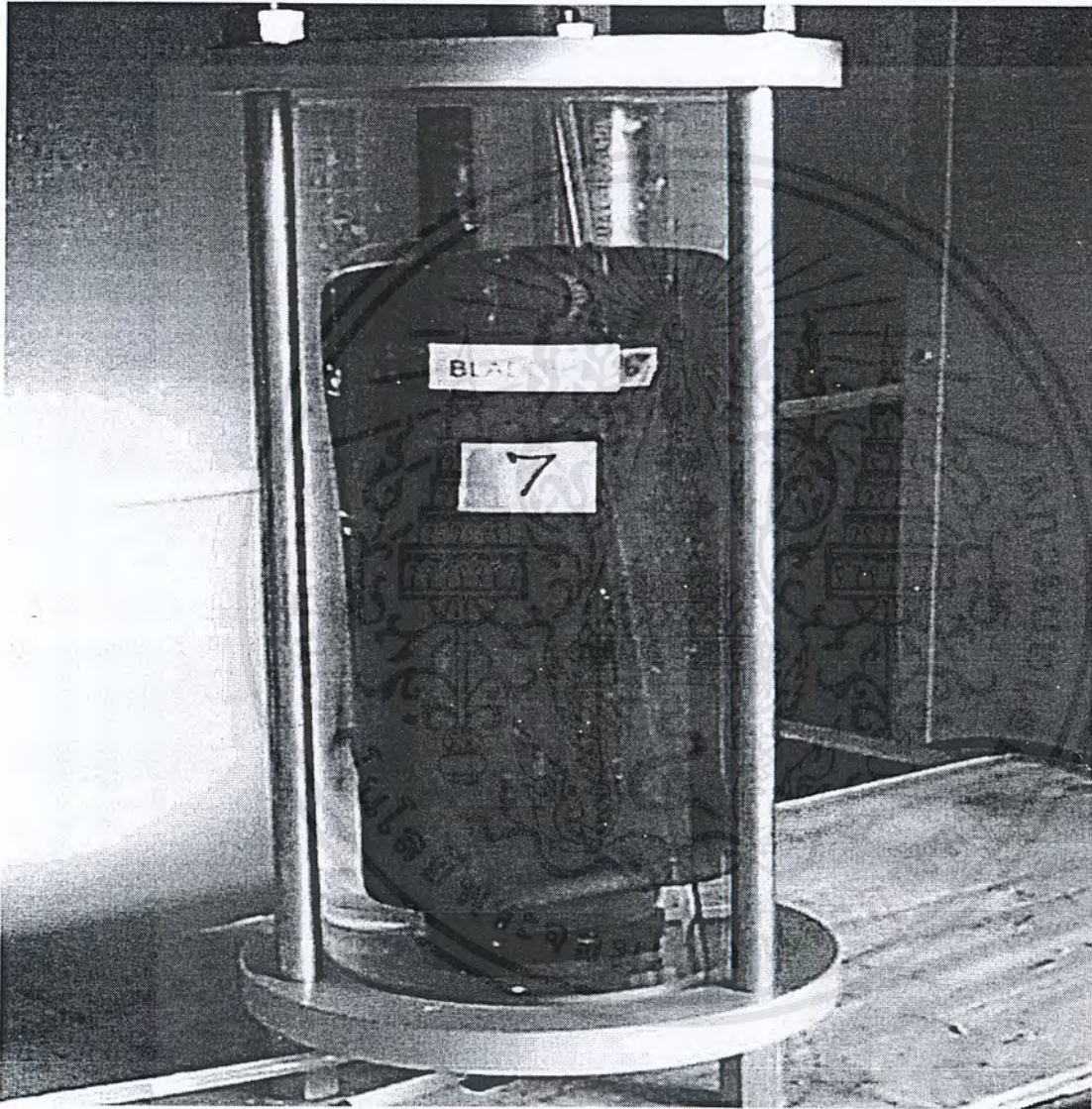
รูปที่ ผ.จ. 20. Triaxial Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



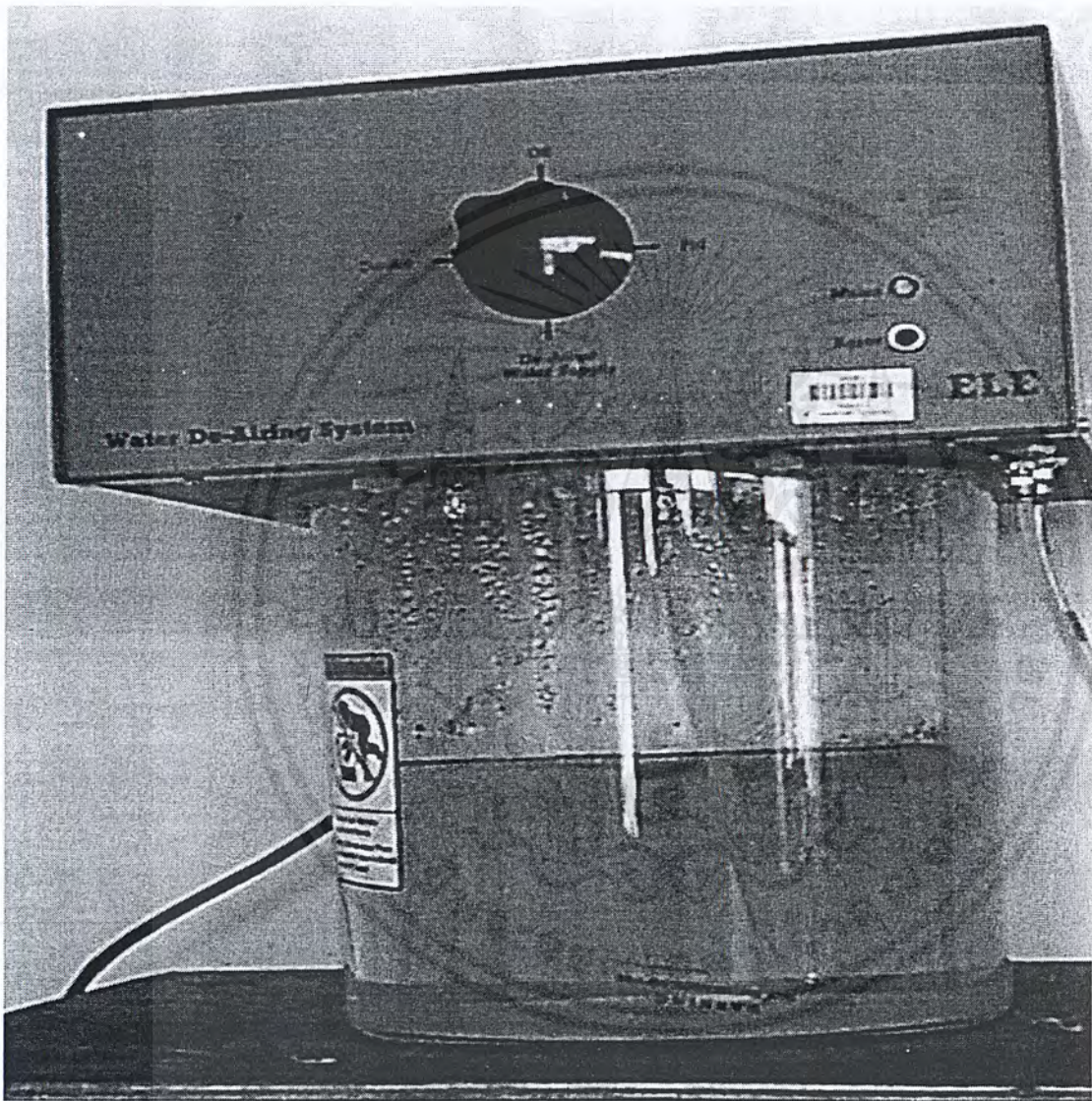
รูปที่ ผ.จ. 21. Volume Change Transducer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



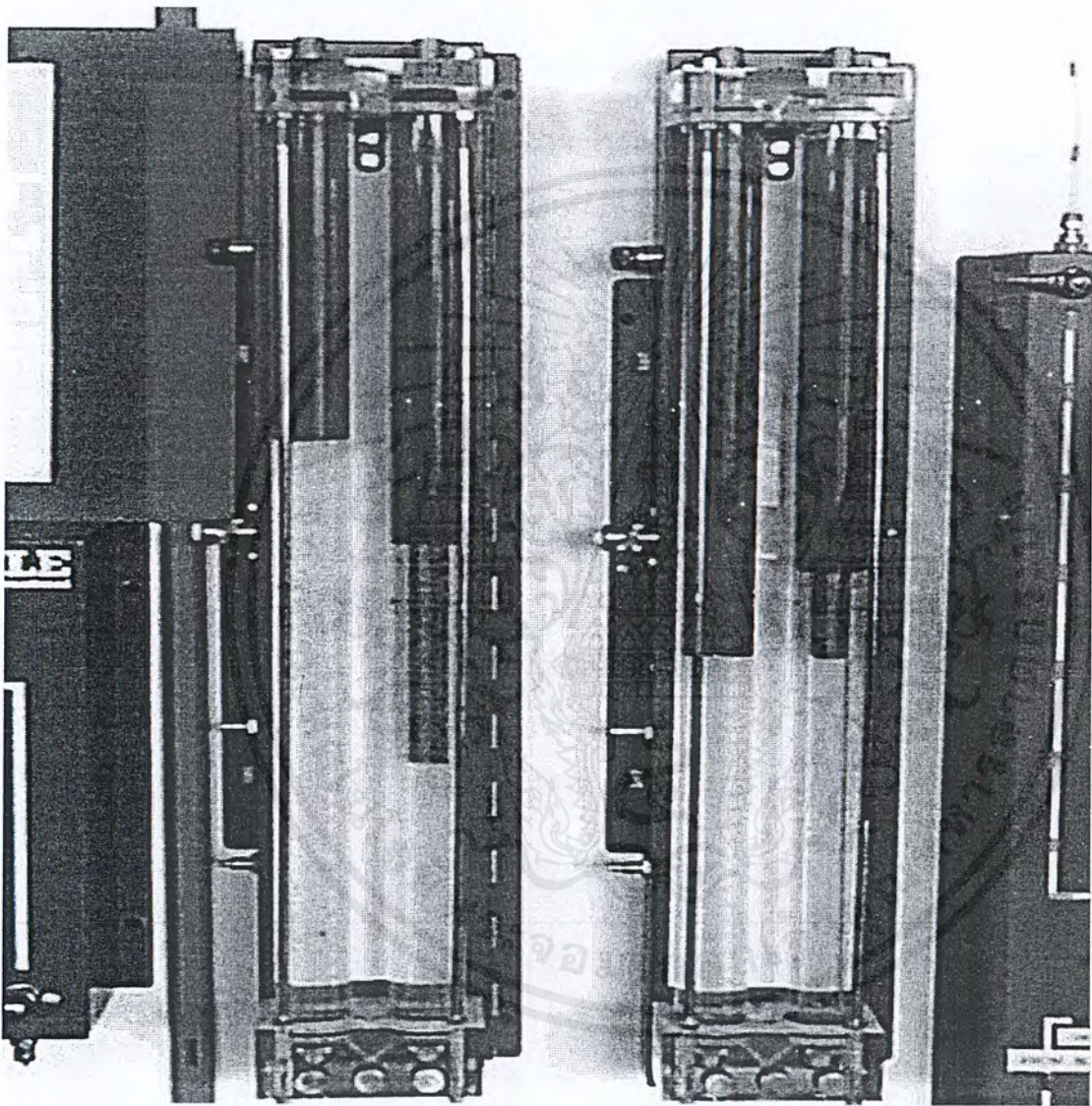
รูปที่ ผ.จ. 22. Bladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะ **ผจ23**หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



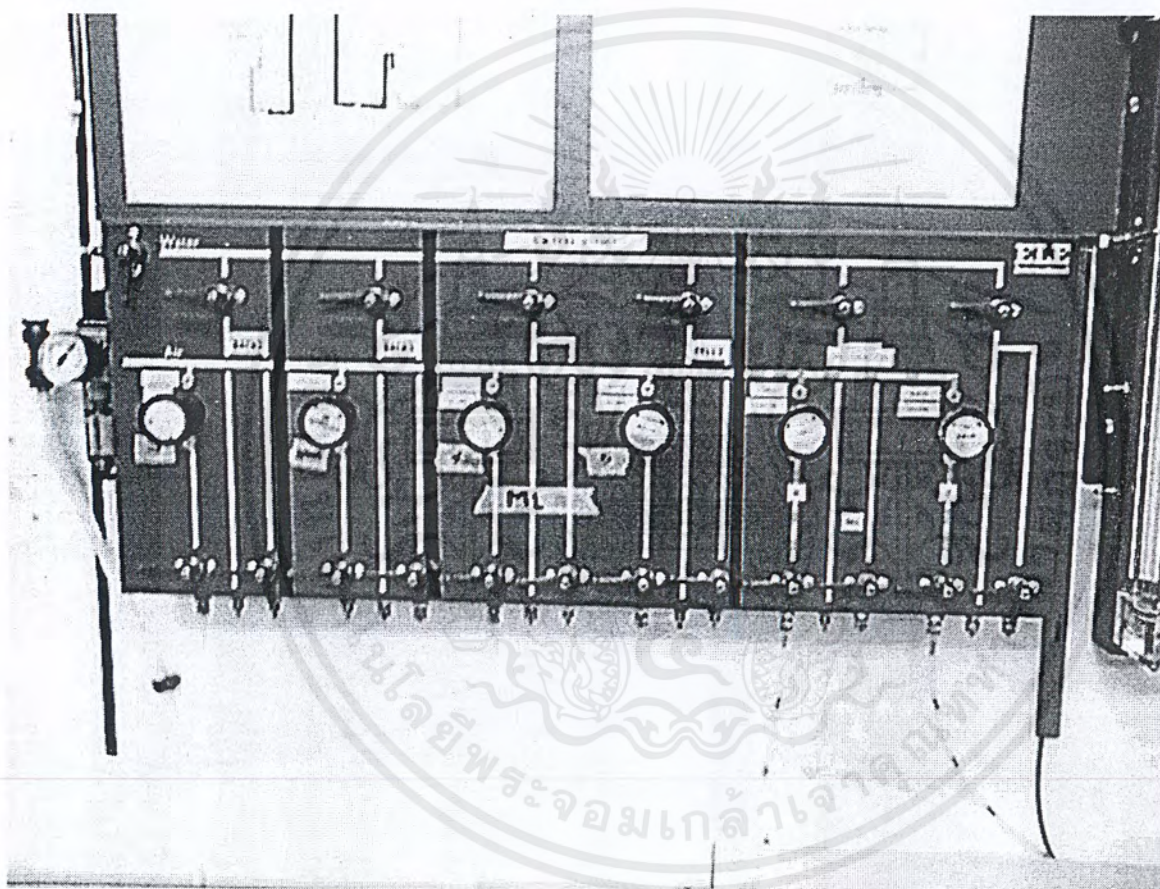
รูปที่ ผ.จ. 23. De-Aired Water Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



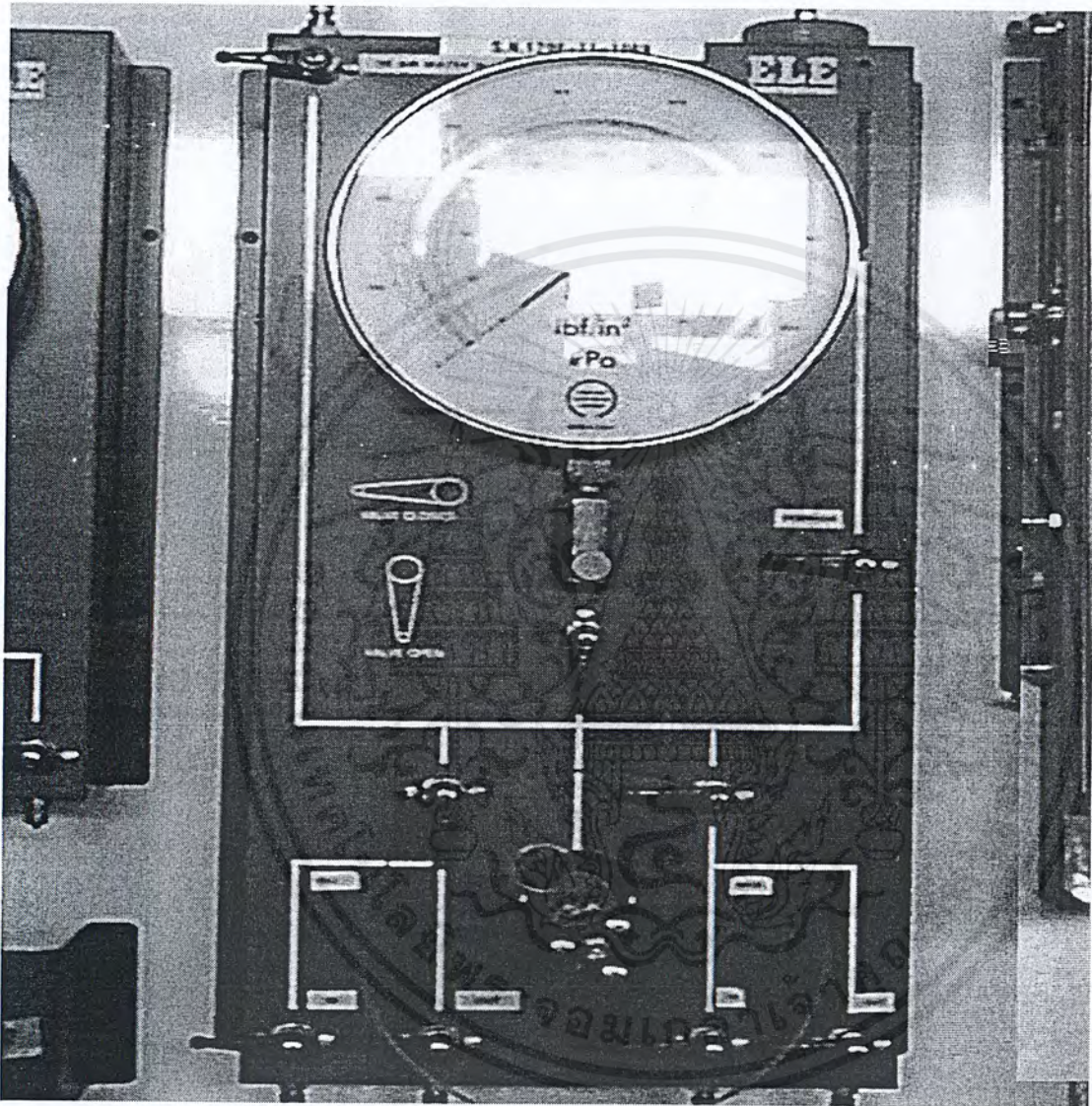
รูปที่ ผ.จ. 24. Twin Burette Volume Change

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง **ผจ25**หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



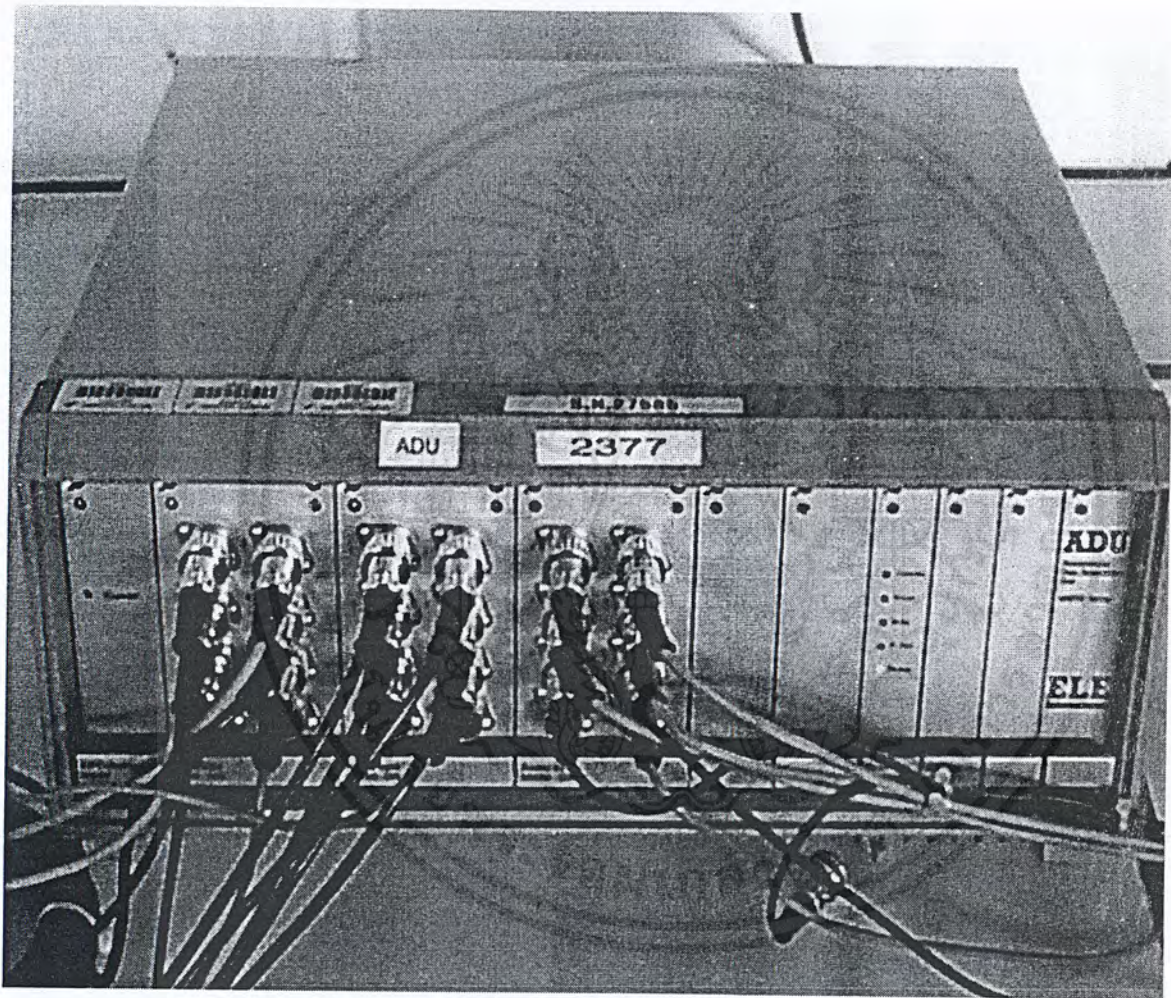
รูปที่ ผ.จ. 25. Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง^{ผจ26}หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



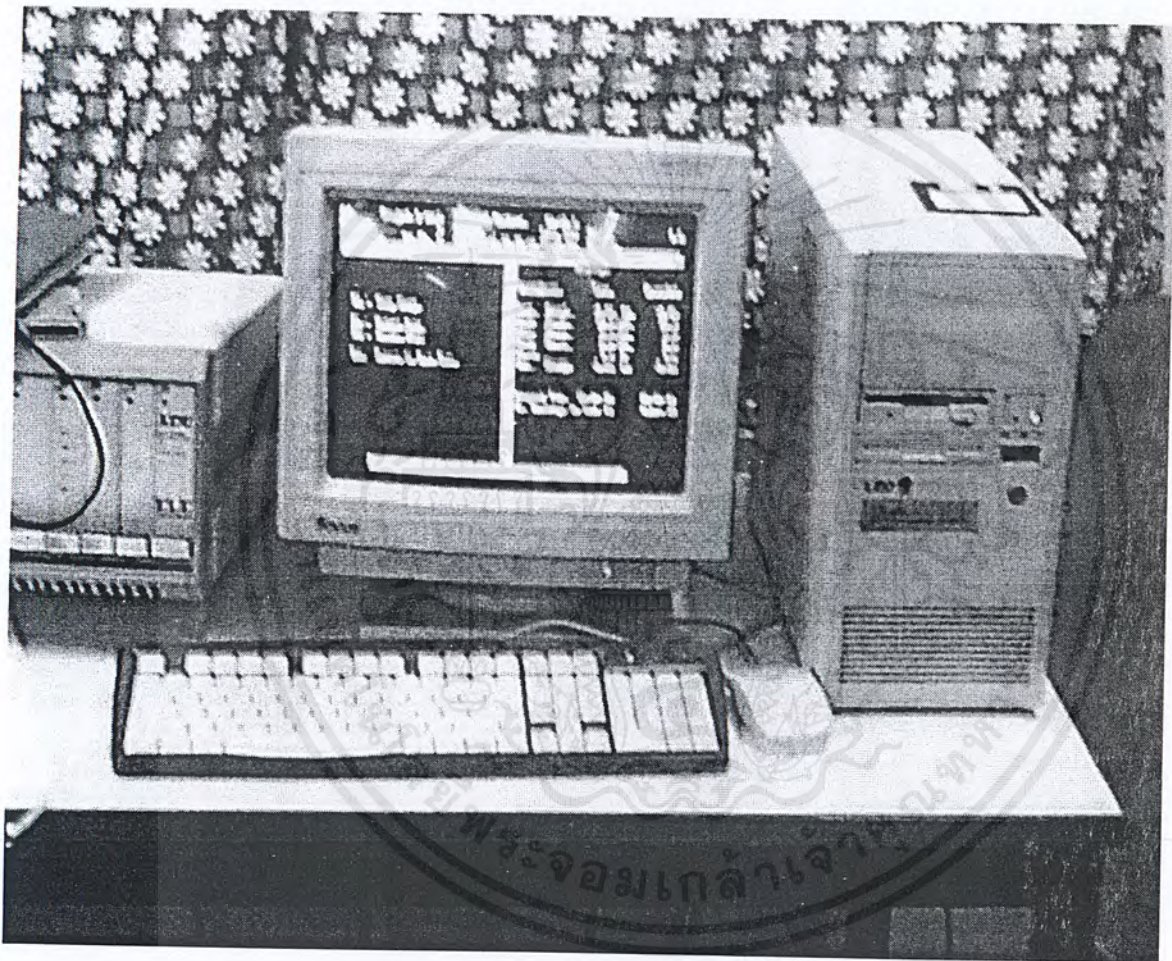
รูปที่ ผ.จ. 26. Pressure Control Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง^{ผจ27}หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 27. ADU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะ **ผจ28** หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ. 28. คอมพิวเตอร์ประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก 29 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้