สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์
(ในงบประมาณที่ได้รับจากเงินกู้ธนาคารโลก พ.ศ. 2543)
SOIL MECHANIC LABORATORY MANUAL
(FOR WORLD BANK BUDGET, 2000)

โดย
นายชลธี เร่บ้านเกาะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42404
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOIL MECHANIC LABORATORY MANUAL

(FOR WORLD BANK BUDGET, 2000)

MR.CHONLATEE RABANKOR

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ (ในงบประมาณที่ได้รับจากเงินกู้ธนาคารโลก พ.ศ. 2543)		
นักศึกษา	นายชลธี เร่บ้านเกาะ	รหัสประจำตัว	40010167
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์	ศรีนิล	
อ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ดร.สกุล	ห่อวโนทยาน	
อ.สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ (ในงบประมาณที่ได้รับจากเงินกู้ธนาคารโลก พ.ศ. 2543) SOIL MECHANIC LABORATORY MANUAL (FOR WORLD BANK BUDGET, 2000)
นักศึกษา	นายชลธี เร่บ้านเกาะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายสมเกียรติ ขวัญพฤกษ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2543 คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

เนื่องจากทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้รับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในส่วนของห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์เพิ่มเติมเป็นจำนวนมากจากงบประมาณโครงการเงินกู้ธนาคารโลก พ.ศ.2543 จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดทำคู่มือปฏิบัติการณ์ปฐพีกลศาสตร์ขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องมือที่ภาควิชาได้รับมา เพราะฉะนั้น โครงงานพิเศษนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดสอบแบบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองปฐพีกลศาสตร์ตามเครื่องมือที่ภาควิชามีอยู่เดิมและได้รับมาใหม่ โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากหนังสือคู่มือและการอบรมต่างๆ และจัดทำในรูปแบบของหนังสือเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยแบ่งเป็น 2 เล่ม คือ เล่ม 1 มีเนื้อหาเกี่ยวกับการทดลองพื้นฐานตามหลักสูตรปริญญาตรี และเล่ม 2 มีเนื้อหานอกเหนือจากหลักสูตรปริญญาตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	SOIL MECHANIC LABORATORY MANUAL (FOR WORLD BANK BUDGET, 2000)
Name	:	MR.CHONLATEE RABANKOR
Field	:	CONSTRUCTION ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	MR.SOMKIAT KWANPRUEK

ABSTRACT

Since the Department of Civil Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang has acquired a large amount of apparatus according to World Bank Budget 2000, it is necessary to make the soil laboratory handbook corresponding to the mentioned apparatus. As a result, this special project studied the methods of soil testing corresponding with existing and new apparatus. By collecting data from textbooks and training, eventually, the soil testing handbook was published in order to be the learned media. This handbook was divided into two volumes: the first one comprises undergraduate content, and the second one comprises postgraduate content.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในเนื้อหาของโครงงานคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์เล่มนี้ ค่อนข้างที่จะมีเนื้อหาต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันอยู่มาก ทั้งในด้านทฤษฎีและในด้านของการทำการทดลองตลอดจนการวิเคราะห์ และความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทดลองนั้น ซึ่งหากขาดบุคคลเหล่านี้ในการให้ความร่วมมือทั้งในส่วนของการให้คำแนะนำ ติติง และบ่งบอกถึงปัญหาต่างๆ แล้ว โครงงานพิเศษเล่มนี้ก็คงจะสำเร็จเสร็จสิ้นลงเสียมิได้ จึงขอกราบขอบพระคุณบุคคลและบริษัทต่างๆ ที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลงด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้

- อาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานในการให้คำแนะนำและความรู้
- พนักงานบริษัท STS ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม
- คุณ ทรงกรต โรจน์โมสิก ที่ให้การแนะนำเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
- อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่มีส่วนในการประสิทธิประสาทความรู้ต่างๆ กับข้าพเจ้า
- เพื่อนๆ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ทุกคน ที่เป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำ
- มารดา พี่ และน้อง ของข้าพเจ้า ซึ่งคอยสอบถามถึงความคืบหน้า ซึ่งทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจเป็นอย่างมาก

นายชลธี เร่บ้านเกาะ
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญรูป	ด
1	**บทนำ**	
	1.1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2.วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
	1.3.ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษ	1
	1.4.ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
	1.5.วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ	2
	1.6.ผลที่ได้รับ	3
2	**ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่ม1** (เนื้อหาหลักสูตรปริญญาตรี)	
	2.1.การสำรวจชั้นดินเบื้องต้น (SOIL EXPLORATION)	5
	2.1.1.อ้างอิง	5
	2.1.2.วัตถุประสงค์	5
	2.1.3.อุปกรณ์	5
	2.1.4.ทฤษฎี	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.1.5.วิธีการทดลอง	12
	2.1.6.คำถามท้ายการทดลอง	22
	2.2.ATTERBERG'S LIMITS	27
	2.2.1.อ้างอิง	27
	2.2.2.วัตถุประสงค์	27
	2.2.3.อุปกรณ์	27
	2.2.4.ทฤษฎี	28
	2.2.5.วิธีการทดลอง	31
	2.2.6.การคำนวณและรายงานผล	32
	2.2.7.คำถามท้ายการทดลอง	37
	2.3.ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)	42
	2.3.1.อ้างอิง	42
	2.3.2.วัตถุประสงค์	42
	2.3.3.อุปกรณ์	42
	2.3.4.ทฤษฎี	42
	2.3.5.วิธีการทดลอง	43
	2.3.6.การคำนวณผล	46
	2.3.7.คำถามท้ายการทดลอง	46
	2.4.การหาขนาดเม็ดดิน(GRAIN SIZE ANALYSIS)	49
	2.4.1.อ้างอิง	49
	2.4.2.วัตถุประสงค์	49
	2.4.3.อุปกรณ์	49
	2.4.4.ทฤษฎี	50
	2.4.5.วิธีการทดลอง	60
	2.4.6.การคำนวณผล	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.4.7.คำถามท้ายการทดลอง	66
	2.5.การบดอัดดิน(COMPACTION)	75
	2.5.1.อ้างอิง	75
	2.5.2.วัตถุประสงค์	75
	2.5.3.อุปกรณ์	75
	2.5.4.ทฤษฎี	75
	2.5.5.วิธีการทดลอง	78
	2.5.6.การคำนวณผล	79
	2.5.7.คำถามท้ายการทดลอง	80
	2.6.แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช(CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)	83
	2.6.1.อ้างอิง	83
	2.6.2.วัตถุประสงค์	83
	2.6.3.อุปกรณ์	83
	2.6.4.ทฤษฎี	84
	2.6.5.วิธีการทดลอง	87
	2.6.6.การคำนวณผล	91
	2.6.7.คำถามท้ายการทดลอง	93
	2.7.การหาความหนาแน่นของดินในสนาม(FIELD DENSITY TEST)	98
	2.7.1.อ้างอิง	98
	2.7.2.วัตถุประสงค์	98
	2.7.3.อุปกรณ์	98
	2.7.4.ทฤษฎี	99
	2.7.5.วิธีการทดลอง	100
	2.7.6.การคำนวณผล	104
	2.7.6.คำถามท้ายการทดลอง	105
	2.8.การซึมผ่านของน้ำในดิน(PERMEABILITY TEST)	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.8.1.อ้างอิง	110
	2.8.2.วัตถุประสงค์	110
	2.8.3.อุปกรณ์	110
	2.8.4.ทฤษฎี	110
	2.8.5.วิธีการทดลอง	115
	2.8.6.การคำนวณผล	120
	2.8.7.คำถามท้ายการทดลอง	120
	2.9.DIRECT SHEAR TEST	125
	2.9.1.อ้างอิง	125
	2.9.2.วัตถุประสงค์	125
	2.9.3.อุปกรณ์	125
	2.9.4.ทฤษฎี	125
	2.9.5.วิธีการทดลอง	129
	2.9.6.การคำนวณผล	134
	2.9.7.คำถามท้ายการทดลอง	135
	2.10.การทดลองแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด(Unconfined Compression Test)	140
	2.10.1.อ้างอิง	140
	2.10.2.วัตถุประสงค์	140
	2.10.3.อุปกรณ์	140
	2.10.4.ทฤษฎี	140
	2.10.5.วิธีการทดลอง	142
	2.10.6.การคำนวณผล	147
	2.10.7.คำถามท้ายการทดลอง	149
	2.11.การทดลองการยุบอัดตัวของดิน(CONSOLIDATION TEST)	154
	2.11.1.อ้างอิง	154
	2.11.2.วัตถุประสงค์	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.11.3.อุปกรณ์	154
	2.11.4.ทฤษฎี	154
	2.11.5.วิธีการทดลอง	159
	2.11.6.การคำนวณ	153
	2.11.7.คำถามท้ายการทดลอง	165
	2.12.TRIAXIAL TEST(UU TEST)	170
	2.12.1.อ้างอิง	170
	2.12.2.วัตถุประสงค์	170
	2.12.3.อุปกรณ์	170
	2.12.4.ทฤษฎี	171
	2.12.5.วิธีการทดลอง	174
	2.12.6.การคำนวณผล	184
	2.12.7.การแสดงผล	185
	2.12.8.คำถามท้ายการทดลอง	187
3	**ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่ม 2** (เนื้อหานอกเหนือหลักสูตรปริญญาตรี)	
	3.1.การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด(Field Vane Shear Test)	192
	3.1.1.อ้างอิง	192
	3.1.2.วัตถุประสงค์	192
	3.1.3.อุปกรณ์	192
	2.1.4.ทฤษฎี	194
	3.1.5.วิธีการทดลอง	196
	3.1.6.การคำนวณผล	204
	3.1.7.คำถามท้ายการทดลอง	204
	3.2.Hand Vane Tester	207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.2.1.วัตถุประสงค์	207
	3.2.2.อุปกรณ์	207
	3.2.3.ทฤษฎี	208
	3.2.4.วิธีการทดลอง	212
	3.2.5.คำถามท้ายการทดลอง	212
	3.3.Torvane Shear	214
	3.3.1.วัตถุประสงค์	214
	3.3.2.อุปกรณ์	214
	3.3.3.ทฤษฎี	215
	3.3.4.วิธีการทดลอง	216
	3.3.5.การคำนวณผล	217
	3.3.6.คำถามท้ายการทดลอง	217
	3.4.Pocket Penetrometer	219
	3.4.1.วัตถุประสงค์	219
	3.4.2.อุปกรณ์	219
	3.4.3.ทฤษฎี	220
	3.4.4.วิธีการทดลอง	220
	3.4.5.การคำนวณผล	221
	3.4.5.คำถามท้ายการทดลอง	221
	3.5.Plate Bearing Test	223
	3.5.1.อ้างอิง	223
	3.5.2.วัตถุประสงค์	223
	3.5.3.อุปกรณ์	223
	3.5.4.ทฤษฎี	223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.5.5.วิธีการทดลอง	224
	3.5.6.การรายงานผล	228
	3.5.7.คำถามท้ายการทดลอง	229
	3.6.ERODIBILITY TEST(Pinhole Test)	236
	3.6.1.อ้างอิง	236
	3.6.2.วัตถุประสงค์	236
	3.6.3.อุปกรณ์	236
	3.6.4.ทฤษฎี	237
	3.6.5.วิธีการทดลอง	239
	3.6.6.การวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล	243
	3.6.7.คำถามท้ายการทดลอง	243
	3.7.TRIAXIAL TEST(CU & CD TEST)	245
	3.7.1.อ้างอิง	245
	3.7.2.วัตถุประสงค์	245
	3.7.3.อุปกรณ์	245
	3.7.4.ทฤษฎี	246
	3.7.5.วิธีการทดลอง	249
	3.7.6.การคำนวณผล	264
	3.7.7.การแสดงผล	265
	3.7.8.คำถามท้ายการทดลอง	266
	3.8.ROWE CELL CONSOLIDATION TEST	271
	3.8.1.วัตถุประสงค์	271
	3.8.2.อุปกรณ์	271
	3.8.3.ทฤษฎี	271
	3.8.4.วิธีการทดลอง	275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.8.5.การคำนวณและรายงานผล	286
	3.8.6.คำถามท้ายการทดลอง	291
	3.9.การหาค่า pH ของดิน	294
	3.9.1.วัตถุประสงค์	294
	3.9.2.อุปกรณ์	294
	3.9.3.ทฤษฎี	295
	3.9.4.วิธีการทดลอง	295
	3.9.5.การรายงานผล	298
	3.9.6.คำถามท้ายการทดลอง	298
	3.10.LIQUID LIMIT TEST WITH CONE PENETROMETER	300
	3.10.1.อ้างอิง	300
	3.10.2.วัตถุประสงค์	300
	3.10.3.อุปกรณ์	300
	3.10.4.ทฤษฎี	301
	3.10.5.วิธีการทดลอง	302
	3.10.6.การคำนวณและแสดงผล	303
	3.10.7.คำถามท้ายการทดลอง	303
	3.11.แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ในสนาม(CBR In-Situ)	306
	3.11.1.อ้างอิง	306
	3.11.2.วัตถุประสงค์	306
	3.11.3.อุปกรณ์	306
	3.11.4.ทฤษฎี	306
	3.11.5.วิธีการทดลอง	308
	3.11.6.การคำนวณผล	310
	3.11.7.คำถามท้ายการทดลอง	311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	**สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ**	
	4.1.สรุปผลการศึกษา	313
	4.2.ข้อเสนอแนะ	313
บรรณานุกรม		314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.3.1.	ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ ,G_T)	43
2.4.1.	แสดงลักษณะของดินจากค่า C_U และ C_C	52
2.4.2.	ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (หน่วยเป็น millipoises)	53
2.4.3.	แสดงค่า K_2 สำหรับหาขนาดเม็ดดิน (Hydrometer 151H and 152H)	54
2.4.4.	แสดงค่า Correction Factor ,a สำหรับดินที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ	57
2.4.5.	แสดงค่า Temperature Correction Factors , C_t	59
2.4.6.	น้ำหนักดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง	60
2.5.1.	เปรียบเทียบระหว่างวิธี Standard Proctor Test กับ Modified Proctor Test	76
2.6.1.	แสดงค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่างๆ	85
2.7.1.	แสดงปริมาตรของหลุมและปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทดสอบ	100
2.7.2.	แสดงปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนักน้ำหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่างๆ	102
2.8.1.	แสดงค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (millipoises)	111
3.1.1.	จำแนกดินเหนียวตามค่าความไว	196
3.2.1.	แสดงการแปลงหน่วย	209
3.3.1.	แสดงการจำแนกประเภทดิน	216
3.4.1.	แสดงการจำแนกประเภทดิน	220
3.6.1.	แสดงการจำแนกดินตามความต้านทานการกัดเซาะ	239
3.11.1.	แสดงค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่างๆ	307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.1.	แสดงลักษณะเครื่องมือสำหรับการเจาะแบบฉีดล้าง	8
2.1.2.	แสดงรูปขยายชุดอุปกรณ์เครื่องเจาะแบบฉีดล้าง	9
2.1.3.	แสดงลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube)	10
2.1.4.	แสดงลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบผ่า	11
2.1.5.(ก),(ข)	แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์ wash boring	16
2.1.6.	แสดงการต่อท่อเหล็กกันดิน	17
2.1.7.	แสดงวิธีการต่อก้านเจาะ	17
2.1.8.(ก),(ข)	แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกบาง (Thin Wall Tube)	18
2.1.9.	แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon)	19
2.1.10.	แสดงขั้นตอนการติดตั้งลูกตุ้มเหล็กสำหรับการทดสอบ SPT	19
2.1.11.	แสดงการทดสอบ SPT	20
2.1.12.	การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon)	20
2.1.13.(ก),(ข)	แสดงการเก็บตัวอย่างออกจากกระบอกแบบผ่า (Split Spoon)	21
2.2.1.	แสดงสถานะต่างๆ ของดินเหนียว	24
2.2.2.	แสดงดินที่มาบรรจบกันได้ 1.3 ซม. ในการหาค่า Liquid Limit	29
2.2.3.	แสดงการแต่งตัวอย่างดินในถ้วยเคาะ	32
2.2.4.	แสดงร่องการปาดตัวอย่างดินในถ้วยเคาะ	33
2.2.5.	แสดงการใช้ด้าม spatula วัดระยะที่ดินชนกัน 1.3 cm	33
2.2.6.	แสดงดินที่คลึงเป็นเส้นในการทดลองหา plastic limit	34
2.2.7.	แสดงการแทนที่ด้วยปรอทในการทดสอบ Shrinkage Limit	35
2.2.8.	แสดงการทดลอง shrinkage limit	36
2.3.1.	แสดงการต้มน้ำบนเตาแผ่นร้อน	39
2.3.2.	แสดงการปั่นดินในเครื่องกวนดิน	45
2.4.1.	ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน	51
2.4.2.	แสดงผลของระดับน้ำก่อนและหลังจุ่ม hydrometer	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.4.3.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า R	56
2.4.4.	แสดงเครื่องเขย่าตัวอย่างดิน	61
2.4.5.	แสดงการปั่นตัวอย่างดิน	62
2.4.6.(ก),(ข)	แสดงการเขย่ากระบอกตกตะกอนตัวอย่างดิน	63
2.4.7.	แสดงการทิ้งให้ตัวอย่างดินตกตะกอนและการแช่hydrometerทิ้งไว้ในน้ำเปล่า	64
2.4.8.	แสดงการจุ่ม hydrometer	64
2.5.1.	แสดงปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของดินบดอัด	77
2.5.2.	แสดงชุดอุปกรณ์การบดอัดดิน	77
2.6.1.	แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ CBR	84
2.6.2.	แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR	85
2.6.3.	แสดงแนวของแรงเฉือนใต้ Piston	86
2.6.4.	แสดงภาพตัดชุดอุปกรณ์หาการบวมตัวของดิน	88
2.6.5.	แสดงการแช่ชุดทดสอบในอ่างน้ำเพื่อทดสอบการบวมตัว	89
2.6.6.	แสดงการติดตั้งปลาย dial gauge	90
2.6.7.	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการกดทดสอบ	90
2.6.8.	แสดงการทดสอบ CBR	91
2.7.1.	แสดงอุปกรณ์ Sand-Cone	98
2.7.2.	แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดสอบ	93
2.7.3.	แสดงการตักดินออกจากหลุมทดสอบ	103
2.7.4.	แสดงหลุมเมื่อทำการขุดเสร็จ	103
2.7.5.	แสดงการปล่อยทรายลงในหลุมทดสอบ	104
2.8.1.	แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบแบบ constant head	104
2.8.2.	แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบแบบ falling head	115
2.8.3.	แสดงการใส่กรวดที่ฐานของ cell	116
2.8.4.	แสดงการใส่ตัวอย่างดินใน cell	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.8.5.	แสดงการทดสอบตามวิธีแบบ constant head	117
2.8.6.	แสดงการใส่ตัวอย่างดินลงใน cell	118
2.8.7.	แสดงการบดอัดตัวอย่างดินใน cell	118
2.8.8.	แสดงการแต่งผิวดินให้เรียบ	119
2.8.9.	แสดงการทดสอบตามวิธีแบบ falling head	119
2.9.1.	แรงเฉือนในตัวอย่างดินใน Shear Box	126
2.9.2.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และค่า Normal stress	126
2.9.3.	Torsional Shear	127
2.9.4.	Cylindrical compression	128
2.9.5.	ภาพตัดชุดทดสอบ Direct Shear	128
2.9.6.	แสดงการใส่ตัวอย่างดินทรายใน Cutting Ring	130
2.9.7.	แสดงการบดอัดตัวอย่างดินทรายเป็นชั้นๆ ใน Cutting Ring	130
2.9.8.	แสดงการชั่งตัวอย่างดินทรายที่บดอัดเสร็จแล้วใน Cutting Ring	131
2.9.9.	แสดงรูปเมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จใน shear box	131
2.9.10.	แสดงเครื่องทดสอบ DirectShearMachine	132
2.9.11.	แสดงหน้าจอควบคุมบนเครื่อง DigitalShearMachine	133
2.10.1.	แสดง axial load และ confining pressure	140
2.10.2.	แสดงระยะที่ทำให้เกิดผลกระทบจากระนาบพังทลาย	141
2.10.3.	แสดงพื้นที่หน้าตัดและความสูงของตัวอย่างดิน	141
2.10.4.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผังแรงและ Mohr circle	142
2.10.5.	แสดงการแต่งตัวอย่างดินบนโครงแต่งตัวอย่าง	143
2.10.6.	แสดงตัวอย่างดินเมื่อทำการแต่งเสร็จบนโครงแต่งตัวอย่างดิน	144
2.10.7.	แสดงการใส่ตัวอย่างดินในแบบผ่า (split former)	144
2.10.8.	แสดงการตัดตัวอย่างดินเพื่อให้ผิวตัดได้แนวฉากกับตัวอย่างดิน	145
2.10.9.	แสดงเศษดินเพื่อนำไปหาความชื้นและตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จ	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.10.10.	แสดงการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่จำกัด	147
2.10.11.	แสดงการ fail ของตัวอย่างดินเหนียว	138
2.11.1.	แสดง Model จำลองมวลดินเมื่อเกิดการยุบตัว	155
2.11.2.	แสดงค่า strain กับ square root time	157
2.11.3.	แสดงค่า strain กับ time (log scale)	158
2.11.4.	แสดงการหาค่า C_c	159
2.11.5.	แสดงการกดให้ได้ตัวอย่างดินตามขนาด	160
2.11.6.	แสดงการแต่งตัวอย่างดิน	160
2.11.7.	แสดงการใส่ porous stone ใน mould	161
2.11.8.	แสดงตัวอย่างเมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อย	161
2.11.9.	เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยใส่ Load และทำการทดสอบ	162
2.11.10.	แสดงการหาความดันสูงสุดในอดีต	164
2.12.1.	แสดงภาพตัด Cell	172
2.12.2.	แสดง model stress ที่กระทำกับตัวอย่างดินใน triaxial cell	173
2.12.3.	การหาค่า cohesion และ internal friction จากการทดสอบ Triaxial	173
2.12.4.	แสดงการใส่ปลอกยาง	175
2.12.5.	แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Triaxial Test	176
2.12.6.	แสดงการใช้ลวดแต่งดินบนโครงแต่งตัวอย่าง	176
2.12.7.	แสดงการวางตัวอย่างดินใน split former	177
2.12.8.	แสดงการปาดดินให้ตัวอย่างได้ฉาก	177
2.12.9.	แสดงตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จและเศษดินจากการแต่งดิน	178
2.12.10.	วางตัวอย่างดินบนฐาน Cell	178
2.12.11.	แสดงการใส่ปลอกยาง	179
2.12.12.	แสดงการพับปลายปลอกยาง	179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.12.13.	แสดงการใส่วงแหวนยาง	180
2.12.14.	แสดงตัวอย่างดินเมื่อเตรียมเรียบร้อยบนฐาน Cell	180
2.12.15.	แสดงการ set ตัวอย่างสมบูรณ์ภายใน Triaxial Cell	181
2.12.16.	แสดงผัง Triaxial(CELL1) ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	183
2.12.17.	แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test	186
3.1.1.	แสดงลักษณะใบพัดที่ใช้	193
3.1.2.	แสดงชุดอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบ Field Vane Shear Test	193
3.1.3.	แสดงกราฟ Calibrate	195
3.1.4.	แสดง Hand Auger	197
3.1.5.	แสดงหัว Hand Auger	198
3.1.6.	แสดงการเปิดหน้าดินและขุดดินออก	198
3.1.7.	แสดงการล๊อคเหล็กคาะที่ฐาน	199
3.1.8.	แสดงการใส่อุปกรณ์เพื่อช่วยในการส่งและถอน rod	199
3.1.9.	แสดงการประกอบหัว vane shear	200
3.1.10.	แสดงการกดส่งหัว vane	200
3.1.11.	แสดงการต่อท่อนเหล็ก	201
3.1.12.	แสดงหัวต่อเข้ากับชุดหน้าปัดอ่านค่า Shear	201
3.1.13.	แสดงการประกอบหน้าปัดกับตัวแกนเหล็ก	202
3.1.14.	แสดงกระบอกเก็บตัวอย่างดิน	202
3.1.15.	แสดงดันในกระบอกเก็บตัวอย่าง	203
3.1.16.	แสดงหัว vane ถอนออกจากหลุมเมื่อทำการทดสอบเสร็จ	203
3.2.1.	แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ Hand Vane Test	207
3.2.2.	แสดง Hand Vane Tester เมื่อประกอบเสร็จ	207
3.2.3.	แสดงหน้าปัดของ Hand Vane Test	208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.2.4.	แสดงภาพตัด Hand Vane Tester	210
3.2.5.	กราฟ แปลงจาก Shear Strength เป็น Torque	211
3.3.1.	แสดงชุดอุปกรณ์ Torvane Shear	214
3.3.2.	แสดงชุดอุปกรณ์ Torvane Shear และลักษณะการทดสอบ	215
3.4.1.(ก),(ข)	แสดง Pocket Penetrometer	219
3.4.2.	แสดงการกดตัวอย่าง	221
3.5.1.	เปรียบเทียบผลของ stress ระหว่างแผ่นทดสอบกับฐานรากจริง	224
3.5.2.	แสดงการติดตั้งชุดทดสอบ Plate Bearing	225
3.5.3.(ก),(ข)	แสดงการติดตั้งชุดทดสอบ Plate Bearing Test	226
3.5.4.	แสดงการติดตั้ง Dial Gauge	227
3.5.5.	แสดงการเพิ่ม Load โดย Hydraulic	227
3.5.6.	แสดงตัวอย่างกราฟระหว่างค่าการทรุดตัวและน้ำหนักบรรทุกของดิน	228
3.6.1.	แสดงการ set อุปกรณ์ทดสอบ erodibility test	236
3.6.2.	แสดงภาพตัดการทดลอง erodibility test	237
3.6.3.	แสดง flow chart การทดลอง erodibility test	238
3.6.4.(ก),(ข)	แสดงการอัดตัวอย่างดินเข้าใน Mould	241
3.6.5.	แสดงการเจาะตัวอย่างดินตรงกลาง	242
3.6.6.	แสดงการทดสอบการกัดกร่อนของตัวอย่างดิน	242
3.7.1.	แสดงภาพตัด Cell	247
3.7.2.	แสดง model stress ที่กระทำกับตัวอย่างดินใน triaxial cell	248
3.7.3.	การหาค่า cohesion และ internal friction จากการทดสอบ Triaxial	248
3.7.4.	แสดงการใส่ปลอกยาง	250
3.7.5.	แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Triaxial Test	251
3.7.6.	แสดงการใช้ลวดแต่งดินบนโครงแต่งตัวอย่าง	251
3.7.7.	แสดงการวางตัวอย่างดินใน split former	252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.7.8.	แสดงการปาดดินให้ตัวอย่างได้ฉาก	252
3.7.9.	แสดงตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จและเศษดินจากการแต่งดิน	253
3.7.10.	วางตัวอย่างดินบนฐาน Cell	253
3.7.11.	แสดงการใส่ปลอกยาง	254
3.7.12.	แสดงการพับปลายปลอกยาง	254
3.7.13.	แสดงการใส่วงแหวนยาง	255
3.7.14.	แสดงตัวอย่างดินเมื่อเตรียมเรียบร้อยบนฐาน Cell	255
3.7.15.	แสดงการ set ตัวอย่างสมบูรณ์ภายใน Triaxial Cell	256
3.7.16.	แสดงผัง Triaxial(CELL1) ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	258
3.7.17.	แสดงตัวอย่างผังการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว	259
3.8.1.	แสดงภาพตัดของ Rowe Cell	272
3.8.2.	แสดงการ drain ของน้ำแบบต่างๆ ใน Rowe Cell	273
3.8.3.	แสดงตัวอย่างกราฟเพื่อหาค่า t_{50} และ t_{90}	274
3.8.4.	แสดงการเติมน้ำและการ set ตัวอย่างดินใน cell	276
3.8.5.	แสดงการล็อคแผ่น diaphragm (a),(b) ผิดวิธี วิธีที่ถูกคือ (c)	276
3.8.6.	แสดงผัง Rowe Cell ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	278
3.8.7.	แสดงการวัดผิวของตัวอย่างดินเพื่อนำไปเขียนหน้าตัดของตัวอย่างหลังจากการทดสอบ	282
3.8.8.	แสดงหน้าตัดตัวอย่างดินที่ผ่านการทดสอบ Rowe Cell	282
3.8.9.	แสดงการใส่ตัวอย่างดินที่จะทดสอบใน rowe cell	284
3.8.10.	แสดงชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ Rowe Cell	284
3.8.11.	แสดงการติดตั้งหัวครอบ cell	285
3.8.12.	แสดงการประกอบ cell พร้อมที่จะทำการทดสอบ	285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.8.13.	กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยุบตัว การเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับค่า log time (one stage of a consolidation test at 200kPa)	287
3.8.14.	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับค่า square-root time	288
3.8.15.	แสดงค่า pore pressure dissipation กับค่า log time	288
3.8.16.	แสดงการหาความดันสูงสุดในอดีต	291
3.9.1.	แสดงกระดาษ Litmus	294
3.9.2.	แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ Colorimetric	294
3.9.3.	แสดงอุปกรณ์ Electrometric และการทดสอบ	295
3.9.4.	แสดงปริมาณการใส่สารต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่จะทดสอบ	296
3.9.5.	แสดงการเทียบสีเพื่ออ่านค่า pH จาก Soil Indicator Colour Chart	297
3.10.1.	แสดงชุดทดสอบ Cone Penetrometer	300
3.10.2.	แสดงรายละเอียดชุดทดสอบ Cone Penetrometer	301
3.11.1.	แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR	308
3.11.2.	แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดทดสอบ CBR ในสนาม	309
3.11.3.	แสดงเครื่องกด CBR ในสนาม (Mechanical Jack)	310

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้รับเครื่องมือปฏิบัติการใหม่ในส่วนของห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ซึ่งคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่มเดิมมีเนื้อหาในบางส่วนที่ไม่สอดคล้องกับเครื่องมือที่ได้รับมาใหม่ และยังขาดส่วนของการทดลองในบางการทดลองที่ต้องใช้เรียนในวิชาทดลองปฐพีกลศาสตร์ในหลักสูตรปริญญาตรี รวมทั้งการทดลองที่นอกเหนือจากหลักสูตรปริญญาตรี จึงมีความจำเป็นที่ควรจะจัดทำคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ขึ้นมาใหม่

1.2.วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อจัดทำคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ที่สอดคล้องกับเครื่องมือที่ภาควิชามีอยู่ในปัจจุบัน
2. เพื่อให้นักศึกษาได้มีคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนได้
3. เพื่อให้เข้าใจถึงการใช้เครื่องมือต่างๆ ที่มีระบบ digital เข้ามาใช้
4. เพื่อตรวจสอบเครื่องมือที่ได้รับว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด
5. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมที่มาให้ใช้ประกอบในบางการทดลอง

1.3.ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษ

1. ใช้ทฤษฎีในวิชาปฐพีกลศาสตร์
2. ใช้ทฤษฎีในวิชาทดลองปฐพีกลศาสตร์
3. ศึกษาคู่มือประกอบการทดลองปฐพีกลศาสตร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ในการจัดทำคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่มนี้มีขอบเขตในการทำโครงงานดังนี้

- ศึกษาถึงการใช้เครื่องมือต่างๆ ที่ได้รับจากโครงการเงินกู้ของธนาคารโลก
- ศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องมือต่างๆ
- จัดทำคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ โดยมีเนื้อหาต่างๆ ประกอบด้วย
  - วัตถุประสงค์
  - เครื่องมือและอุปกรณ์
  - ทฤษฎีที่ใช้
  - วิธีการทอลอง (มีรูปประกอบแสดงลักษณะการทดลอง)
  - ตัวอย่างผลการทดลอง (มีตัวอย่างตารางบันทึกผลและกราฟ)
  - ภาพประกอบต่างๆ ที่สอดคล้องกับเครื่องมือที่ภาควิชามีอยู่
  - ส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีในหนังสือทดลองปฐพีกลศาสตร์ทั่วๆ ไป
- จัดทำตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลองบันทึกลงในแผ่น Disk 2.5"

1.5.วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาคู่มือทดลองปฐพีกลศาสตร์ที่มีอยู่ทั่วไป
2. ศึกษาคู่มือการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
3. ศึกษาการใช้งานเครื่องมือต่างๆ จากวิทยากรที่มาอธิบายถึงการใช้เครื่องมือ และส่วนประกอบต่างๆ
4. ศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้รับมาจากโครงการเงินกู้ของธนาคารโลกและเปรียบเทียบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประกอบในคู่มือปฏิบัติการเดิมและทำการปรับปรุงในส่วนที่แตกต่างจากเดิม
5. ทำการทดลองในบางการทดลองเพื่อนำค่าไปใช้แสดงในส่วนตัวอย่างผลการทดลองในคู่มือปฏิบัติการ
6. สอบถามข้อมูลต่างๆ จากอาจารย์และตัวแทนจากบริษัท STS และบริษัท ELE International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.ผลที่ได้รับ

1. ได้รับหนังสือคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ โดยที่มีรูปภาพต่างๆ ที่สอดคล้องกับเครื่องมือต่างๆ ที่ภาควิชามีอยู่เดิมและที่ได้รับมาใหม่จากโครงการเงินกู้จากธนาคารโลก
2. ได้ File ที่มีเนื้อหาของคู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์
3. ได้ File ตัวอย่างตารางการบันทึกผลข้อมูล
4. นักศึกษามีคู่มือปฏิบัติที่สอดคล้องกับเครื่องมือที่ภาควิชามีอยู่
5. ทราบถึงวิธีการทดลองในบางการทดลองที่ไม่มีในหลักสูตรปริญญาตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่ม1
(เนื้อหาหลักสูตรปริญญาตรี)

2.1.การสำรวจชั้นดินเบื้องต้น(SOIL EXPLORATION)

2.1.1.อ้างอิง: ASTM D-420,D-1452,D-1586,D-1587

2.1.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน รวมถึงศึกษาถึงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดย กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง(Thin Wall Tube)และแบบผ่า(Spilt Spoon Sample)
- เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT Test)
- เพื่อทำการทดสอบหาค่าระดับน้ำใต้ดิน (Observation of Water Table)

2.1.3.อุปกรณ์

สำหรับการเจาะสำรวจดิน

1. Motorized Cathead (เครื่องเจาะแบบหัวกว้าน)
2. Water Pump (เครื่องสูบน้ำ)
3. ก้านเจาะ (Drill Rod) , Wash Boring Chopping Bit , เชือกมะนิลา (Manila)
4. ท่อเหล็กกันดิน (Casing), โครงเหล็กสามขาสำหรับยกก้านเจาะ(Tripod) พร้อมห่วงแขวนรอก , รอก(Sheave) ,ถังกักเก็บน้ำ , หัวหมุนน้ำ (Water Swivel)
5. Hand Auger สำหรับเจาะนำร่องก่อนเจาะสำรวจดิน

สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน

1. กระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube)
2. กระบอกเก็บตัวอย่างแบบผ่า (Spilt Spoon Sample)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบ Standard Penetration Test

1. ลูกตุ้มน้ำหนัก ขนาด 140 ปอนด์ (63.5 กก.)
2. ชุดอุปกรณ์การเจาะสำรวจดิน

สำหรับการทดสอบ Observation Water Table

1. เครื่องวัดระดับน้ำ (Water Level Indicator)

2.1.4.ทฤษฎี

<u>การเจาะสำรวจดินแบบฉีดล้าง (Wash Boring)</u>

การเจาะดินแบบฉีดล้าง เป็นวิธีการในการเจาะชั้นดินโดยการสูบน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่หัวฉีดที่ก้นหลุมพร้อม ๆ กับการกระแทกของหัวเจาะ ทำให้ดินก้นหลุมหลุดและแตกไหลตามน้ำขึ้นมาด้านบนปากหลุม ลงอ่างตกตะกอน น้ำที่ไหลเข้าอ่างตกตะกอนก็จะถูกสูบกลับเข้าไปฉีดในหลุมอีก ในกรณีที่เจาะในชั้นของดินอ่อนจะต้องมีปลอกกันดินพัง (Casing) ด้วย โดยการต่อเป็นท่อนๆ การเจาะลักษณะนี้ในชั้นดินเหนียวสามารถเจาะได้ลึกกว่า 20 เมตร

<u>หลักการของการเจาะสำรวจดินมีดังนี้</u>

การเปิดปากหลุมเจาะ

ใช้ Hand Auger เจาะเปิดปากหลุมเจาะสำหรับใส่ท่อเหล็กกันดิน (Casing) ท่อนแรกให้ได้ศูนย์ รวมถึงเพื่อกำจัดเศษขยะ เศษหิน หรือชั้นดินแข็ง (Crust Soil) ออกเสียก่อน

การป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ

ในขณะทำการเจาะดินในชั้นที่ลึกลงไปจะต้องทำการป้องกันการพังทลายของผนังหลุมเจาะ มิฉะนั้นจะไม่สามารถเจาะลึกลงไปได้ การป้องกันการพังทลายของผนังหลุมเจาะ สามารถทำได้โดย

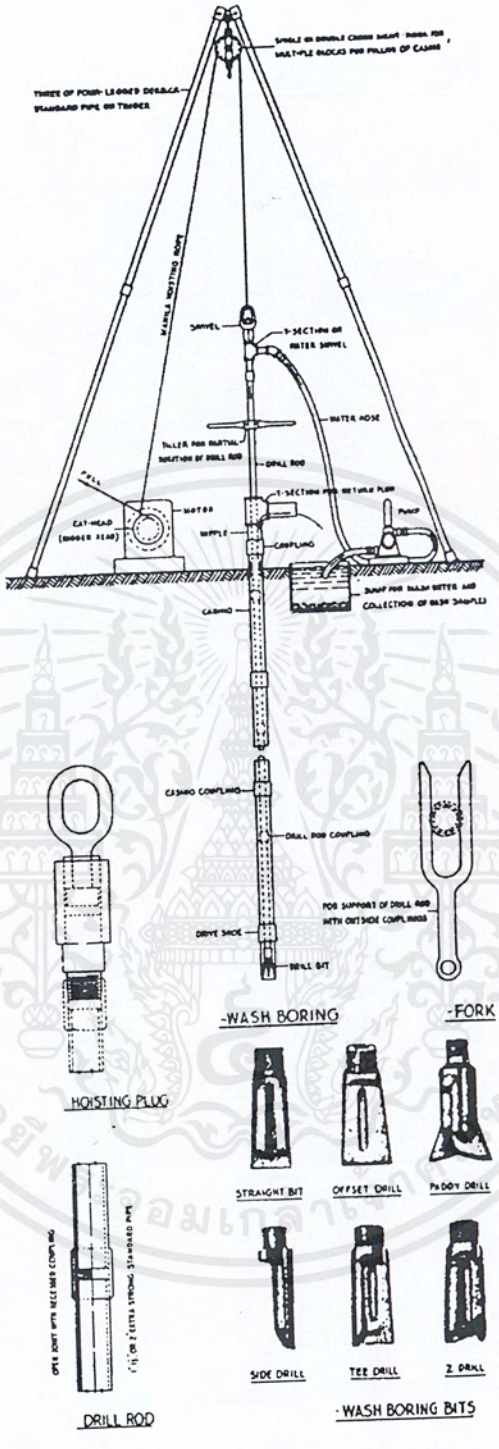
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ท่อเหล็กกันดิน (Casing)

ใช้ท่อเหล็กกันดิน (Casing) ขนาดพอเหมาะ (ϕ_{in} ขนาด 100 ม.ม. หนา 6.25 นิ้ว ยาว ท่อนละ 1.0 เมตร) ตอกลงไป ส่วนล่างของท่อเหล็กกันดิน(Casing) ควรมี ปลอกนำตอกดิน (Casing Drive Shoe) เพื่อกันเกลียวของท่อเหล็กกันดิน(Casing)เยิน ท่อเหล็กกันดิน (Casing)ที่มีปลอกนำตอกดิน (Casing Drive Shoe) จะถูกตอกลงไปด้วยลูกตุ้มเหล็ก การถอนอาจใช้หลักการดึงแบบคานงัด การใช้ท่อเหล็กกันดินจะต้องอยู่ที่ระดับไม่เกินระดับที่จะเก็บตัวอย่างดิน เพราะจะทำให้ดินถูกรบกวน

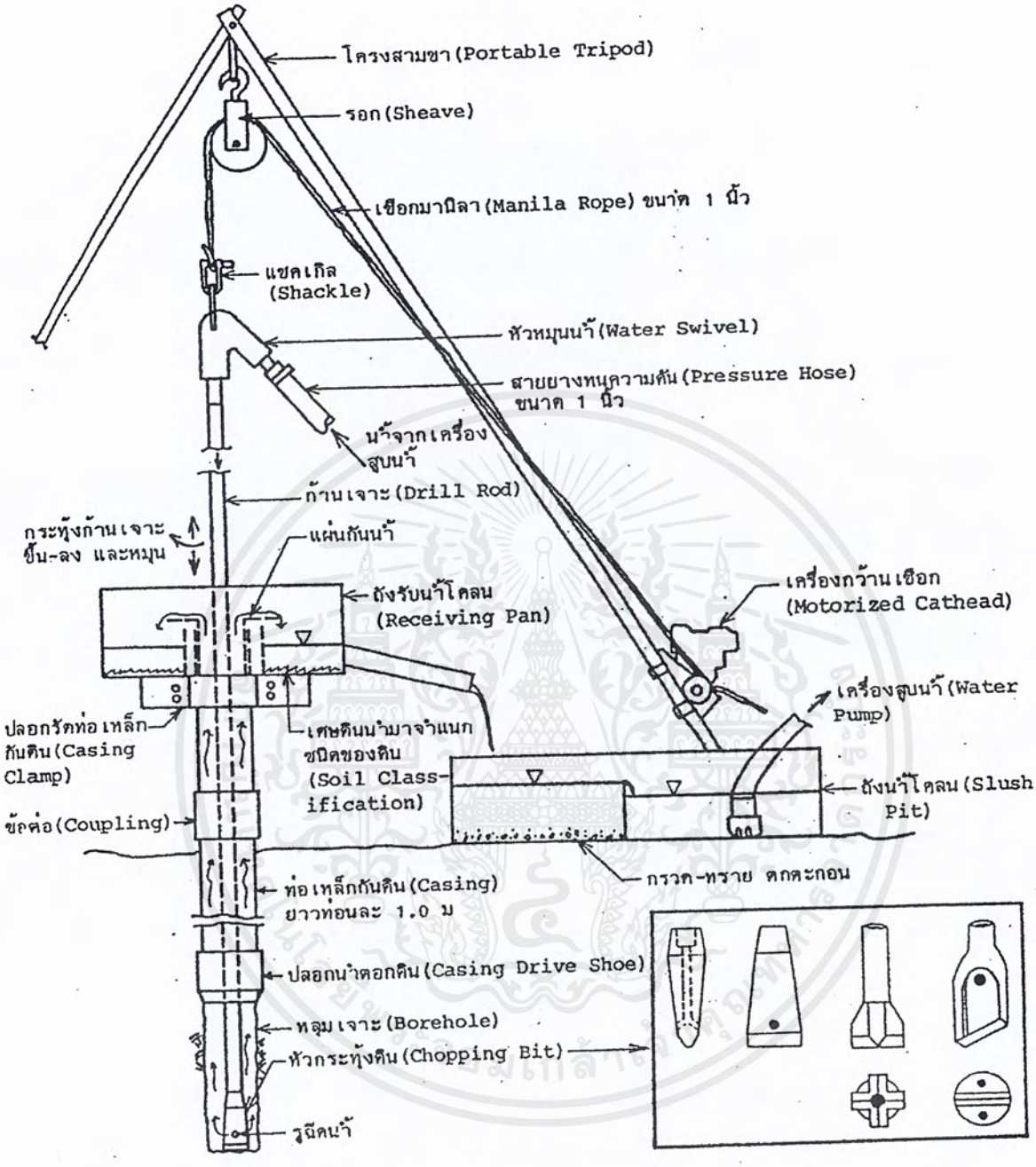
การที่ต้องทำการเจาะสำรวจดินในขั้นต่างๆ เครื่องเจาะดินจำเป็นต้องมีหัวกว้าน (Cathead) ก็เพื่อเป็นการผ่อนแรง อุปกรณ์ต่างๆนั้น จะถูกยกขึ้นด้วย เชือกมะนิลา (Manila) ที่พันอยู่กับหัวกว้าน (Cathead) ผ่านรอก (Sheave) ที่แขวนบนโครงสามขา (Tripod) ในขนาดความสูงที่พอเหมาะ (ประมาณ 4 เมตร) เพื่อความสะดวกในการผูกเชือกเข้ากับอุปกรณ์เจาะดิน จึงใช้หัวแขวนหมุน (Hoisting Swivel) ซึ่งมีเกลียวสามารถขันเข้าได้กับอุปกรณ์เจาะทุกชิ้น ลักษณะของการเจาะสำรวจดินแสดงในรูปที่ 2.1.1. ส่วนรายละเอียดการเจาะสำรวจดินจะกล่าวในหัวข้อวิธีการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.1. แสดงลักษณะเครื่องมือสำหรับการเจาะแบบฉีดล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



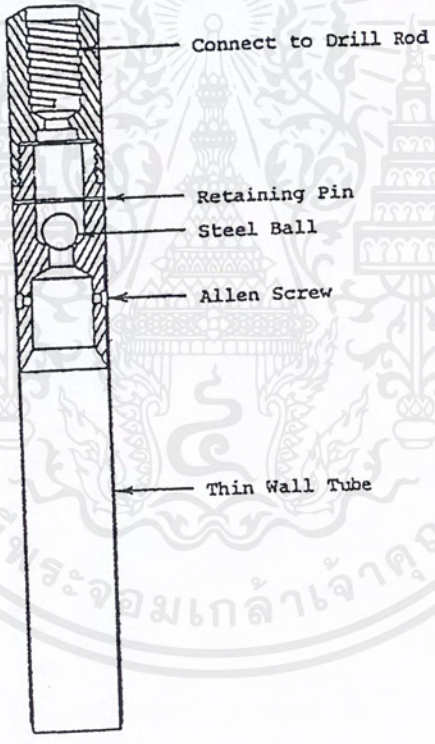
รูปที่ 2.1.2. แสดงรูปขยายชุดอุปกรณ์เครื่องเจาะแบบฉีดล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บตัวอย่างดินและรักษา

การเก็บตัวอย่างดินคงสภาพด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube)

การเก็บตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ ต้องเก็บด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube หรือเรียก Shelby Tube) เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณภาพการรักษาตัวอย่างระหว่างการขนย้ายเข้าห้องทดลอง ต้องทำอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ การเจาะดินโดยวิธี Wash Boring และทำการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกแบบบาง (Thin Wall Tube) ต้องไม่รบกวนชั้นดินที่จะเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2.1.3. แสดงลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างแบบบาง (Thin Wall Tube)

หัวเก็บตัวอย่าง (Sampler Head)

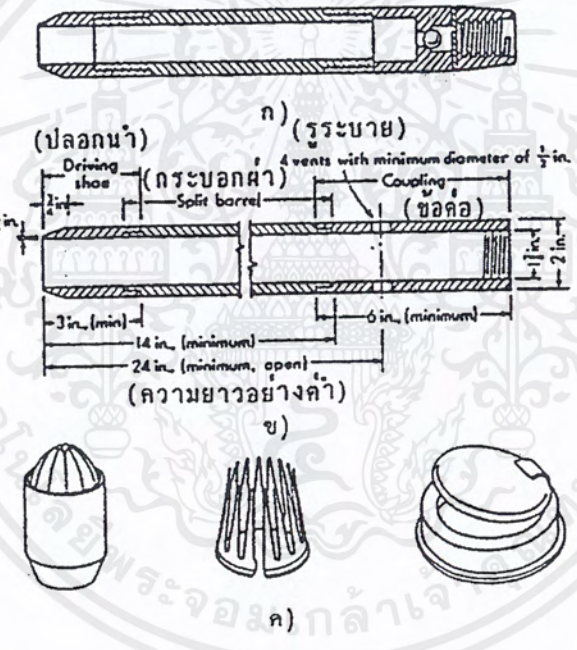
คือ ส่วนที่ยึดต่อเข้ากับกระบอกบาง ปลายก้านเจาะ เพื่อช่วยเก็บตัวอย่างติดให้ติดดีขึ้น และตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเก็บตัวอย่างปกติจะเก็บตัวอย่างทุกๆ ระยะ 1.5 ม. เพื่อนำไปทดสอบตัวอย่างดินในห้องทดลองโดยจะต้องทำการพิจารณาถึง Labที่จะต้องทดสอบ ก็เพื่อให้ได้ชนิดและปริมาณตัวอย่างดินที่เหมาะสม

กระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบผ่า (Spilt Spoon Sample)

ใช้เก็บตัวอย่างแปลงสภาพ (Disturb Sample) เมื่อไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพได้แล้ว ปกติจะเก็บตัวอย่างดินแบบนี้ในชั้นดิน Very Stiff Clay ลงไป ซึ่งจะกระทำพร้อมกับการทดสอบ Standard Penetration Test ลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างแบบผ่าแสดงในรูปที่ 2.1.4.



รูปที่ 2.1.4. แสดงลักษณะของกระบอกเก็บตัวอย่างดินแบบผ่า

ก) กระบอกแบบผ่า

ข) ขนาดของกระบอกผ่า

ค) ตะกร้อช่วยเก็บดินแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของกระบอกตัวอย่างดิน

ความหนาของกระบอกเก็บตัวอย่างดินจะต้องไม่หนามากไป การกดกระบอกตัวอย่างลงไปในดิน ความหนากระบอกจะไปบีบอัดดิน ทำให้ตัวอย่างดินที่เก็บถูกรบกวน ในทางปฏิบัติ

การทดสอบ Standard Penetration Test

การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) จะต้องกระทำพร้อมกับการเจาะสำรวจดิน ได้มีการนำผลการทดสอบ SPT ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารทดสอบโดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 140 ปอนด์ (63.5 kg) ทำการตอกใช้ความสูงตกกระทบ 1 ฟุต ซึ่งจะตอกครั้งที่ 1ระยะ 6 นิ้ว,ครั้งที่ 2 ระยะ 6 นิ้ว,ครั้งที่ 3 ระยะ 6นิ้ว แล้วนับจำนวนครั้งที่ตอกได้ 2 ครั้งสุดท้ายนำมาบวกกันจะได้ค่าที่เรียกว่า Blow Count of Standard Penetration Test ค่า N ที่ทดสอบได้สามารถนำไปจำแนกความแข็ง-อ่อนของดินเหนียว หรือความแน่น-หลวม ของทราย

การวัดระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water)

ในงานเจาะสำรวจดินจะต้องมีการวัดระดับน้ำใต้ดินและรายงานระดับน้ำใต้ดินเป็นมาตรฐาน หลักการวัดจะต้องวัดระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะสำรวจดินที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดิน

- ในชั้นดินเหนียว วัดระดับน้ำใต้ดิน 1 วันหลัง จากเจาะเสร็จ
- ในชั้นทราย วัดระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั่วโมง จากเจาะเสร็จ

2.1.5.วิธีการทดลอง

การเจาะสำรวจดินแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

ขั้นตอนการปฏิบัติ

1. กำหนดจุดที่ตั้งที่จะทำการเจาะหลุมเจาะ จากนั้นเริ่มต้นด้วยการนำสว่านมือเจาะนำหลุมเจาะ
2. ตั้งโครงสามขา และพร้อมทำการติดตั้งเครื่องกว้านที่ขาใดขาหนึ่งของโครงสามขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จัดเตรียมน้ำที่จะใช้ในการเจาะดินบรรจุที่ถังน้ำโคลน เมื่อเจาะในชั้นดินที่เป็นดินเหนียวชั้นต้นๆ สามารถทำการเจาะได้เลย
4. เมื่อเจาะลึกลงไปน้ำเริ่มข้นขึ้น เตรียมเครื่องสูบน้ำต่อสายยางทนความดันเข้าหัวหมุนเจาะ(Water Swivel) ติดตั้งถังรับน้ำ
5. ติดตั้งหัวกระทุ้ง(Chopping Bit)เข้าที่ปลายด้านล่างของก้านเจาะปลายด้านบนต่อเข้าหัวหมุนน้ำ ใช้เครื่องกว้าน(Cathead)หย่อนก้านเจาะลงหลุมเจาะที่เจาะนำไว้
6. เดินเครื่องสูบน้ำให้ฉีดน้ำออกที่หัวกระทุ้ง พร้อมกระทุ้งหัวกระทุ้ง ใช้ประแจคอม้าบิดหมุนก้านเจาะ (Drill Rod) (ตามเข็มนาฬิกา)
7. น้ำที่สูบขึ้นผ่านมาทางสายยางทนความดันผ่านหัวหมุนน้ำ และผ่านรูก้านเจาะออกทางหัวกระทุ้ง เมื่อไหลกลับขึ้นมาข้างบนผ่านถังรับน้ำแล้วไหลลงถังกักน้ำ และจะดูดไปเวียนใช้
8. เมื่อเจาะดินจนได้ความลึกที่ 1 – 1.5 ม. ควรตอกท่อเหล็กกันดิน(Casing) ตามลงไป (หรือตอกก่อนเจาะหลุม) คำนวณความยาว ท่อเหล็กกันดินที่ใช้ตอก และตอกให้ปลายท่ออยู่เหนือระดับที่จะเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 0.5 ม. เมื่อเจาะดินลึกต่อลงไป ก็ทำการตอกท่อเหล็กกันดินตามลงไปความลึกตามความเหมาะสมโดยประมาณ 5 – 10 ม.
9. ในระดับความลึกที่ใกล้เคียงกับที่จะทำการเก็บตัวอย่างดิน ควรระวังอย่าให้ที่ก้นหลุมถูกรบกวน

การเก็บตัวอย่างดิน

1. เมื่อถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน จากการคำนวณความยาวก้านเจาะ เมื่อหย่อนกระบอกบางลงก้นหลุมแล้วปลายบนก้านเจาะจะโผล่สูงพอเหมาะที่จะปฏิบัติงาน (สูงไม่เกิน 1.5 ม.) ความลึกหลุมเจาะที่ก้านเจาะวัดเทียบที่ปากขอบท่อเหล็กกันดินที่บวกเผื่อระดับที่พ้นดินไว้เรียบร้อยแล้ว ในการคำนวณความยาวก้านเจาะที่ใช้
2. ต่อกระบอกเก็บดินเข้ากับหัวเก็บตัวอย่าง (Sampler Head) และต่อเข้ากับปลายล่างก้านเจาะ เมื่อหย่อนกระบอกตัวอย่างดินก้นหลุมแล้ว ตรวจสอบความลึกจากความยาวก้านเจาะที่ใช้รวม ทั้งความยาวกระบอกเก็บตัวอย่างและหัวเก็บตัวอย่าง ถ้าปรากฏว่าหลุมเจาะตื้นกว่าที่เจาะล้าง ไว้แสดงว่าดินถล่ม ต้องเอากระบอกเก็บตัวอย่างขึ้น แล้วล้างดินในหลุมเจาะจนสะอาดก่อนทำ
3. เมื่อหย่อนกระบอกเก็บตัวอย่างลงได้ความลึกถูกต้องแล้ว ขีดระยะที่จะเก็บตัวอย่างที่ก้านเจาะเหนือปากขอบท่อเหล็กกันดิน ใช้ประแจคอม้า 2 –3 ตัว จับก้านเจาะ ใช้แรงคนกดให้กระบอกเก็บตัวอย่างจมลงดินตามระยะที่ขีดไว้ด้วยแรงสม่ำเสมอ และได้แนวดิ่ง ถ้าดินแข็งขึ้นใช้คนกดไม่ลง อาจใช้คานงัดช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อกดเก็บตัวอย่างได้ระยะที่ต้องการแล้ว จดบันทึกระยะที่กดลงได้ รอสัก 2 – 3 นาที ให้ดินจับกระบอก แล้วใช้ประแจคอม้าหมุนก้านเจาะ (ทิศตามเข็มนาฬิกา 3 – 4 รอบ) ให้ดินขาดจากปลายกระบอก
5. ใช้เครื่องดึงก้านเจาะขึ้นจนกระทั่งได้กระบอกตัวอย่างดินขึ้นมาข้างบน
6. ถอดกระบอกจากหัวเก็บตัวอย่างทำความสะอาดกระบอกเก็บดิน แต่งปลายดินทั้งสองวัดความยาวตัวอย่างดินที่เก็บได้ เคลือบขี้ผึ้งที่ต้มเตรียมไว้ เคลือบทั้งสองปลาย แล้วจดบันทึกข้อมูลตัวอย่างปิดป้ายชื่อ ทำความสะอาดหัวเก็บตัวอย่าง แล้วใส่กระบอกบางอันใหม่เข้าหัวเก็บตัวอย่างเตรียมไว้
7. เจาะหลุมให้ลึกลงไป เมื่อสุดความยาวก้านเจาะ ยกหัวกระทุ้งให้พ้นก้นหลุมเจาะ ใช้ประแจคอม้าจับก้านเจาะ ทิ้งน้ำหนักก้านเจาะพาดด้ามประแจบนขอบท่อเหล็กกันดินไว้ ดับเครื่องสูบน้ำ ถอดหัวหมุนน้ำออก แล้วต่อเข้ากับก้านเจาะท่อนใหม่ ใช้หัวกว้านยกก้านเจาะที่ต่อใหม่ขึ้นให้ข้อต่อล่างต่อกับปลายเกลียวบนของก้านเจาะเดิมที่ปากหลุม ขันเกลียวเข้าให้แน่น (ถ้าขันไม่แน่น ก้านเจาะอาจจะหลุดระหว่างกระทุ้งหัวได้ จะเสียเวลากู้) เดินเครื่องสูบน้ำก่อน แล้วจึงหย่อนหัวกระทุ้งลงก้นหลุม เพื่อกันเศษดินเข้าไปอุดหัวกระทุ้งดินตัน และต้องถือเป็นข้อปฏิบัติทุกครั้งก่อนกระทุ้งหรือวางก้านเจาะลงหลุม ต้องเดินเครื่องสูบน้ำให้มีน้ำฉีดที่หัวกระทุ้งก่อนทุกครั้งจึงเริ่มกระทุ้ง

การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT)

1. เมื่อเจาะถึงความลึกที่จะทำการทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT) ต่อกระบอกผ่า (Split Spoon) เข้ากับปลายล่างก้านเจาะ คำนวณความยาวก้านเจาะ และหย่อนกระบอกผ่าลงก้นหลุมตรวจสอบความลึกที่เจาะไว้
2. เมื่อตรวจสอบได้ความลึกที่ถูกต้องแล้ว ขีดระยะที่ก้านเจาะเทียบระดับปากท่อเหล็กกันดิน 3 ระยะ ระยะละ 6 นิ้ว (15 ซม.) รวมเป็นระยะ 18 นิ้ว (45 ซม.) ต่อชุดตอกและเหล็กนำ บนปลายก้านเจาะ (ความสูงจากพื้นไม่เกิน 1.5 ม.) ยกลูกตุ้มขึ้นสวมท่อนำ ที่ท่อนำจะมีขีดบอกระยะลูกตุ้มตก 30 นิ้ว (76 ซม.)
3. ยกลูกตุ้มตอกบนชุดตอก ควบคุมให้ได้ระยะตก 30 นิ้ว (76 ซม.) ขอบปลายล่างของลูกตุ้มต้องปล่อยเชือกให้ลูกตุ้มตก เป็นอิสระ (ฟันเชือกที่หัวกว้านไม่เกิน 3 รอบ) ทำการตอกโดยสม่ำเสมอไม่หยุด นับจำนวนครั้งลูกตุ้มที่ตอกกระบอกผ่าจมลงดินทุกๆ ระยะ 6 นิ้ว ที่ขีดไว้จนครบ 18 นิ้ว ถ้าชั้นดินแข็งหรือแน่นมากควรตอกลูกตุ้มไม่เกิน 50 – 60 ครั้ง แล้วจดบันทึกระยะกระบอกผ่าที่จมลงไปไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

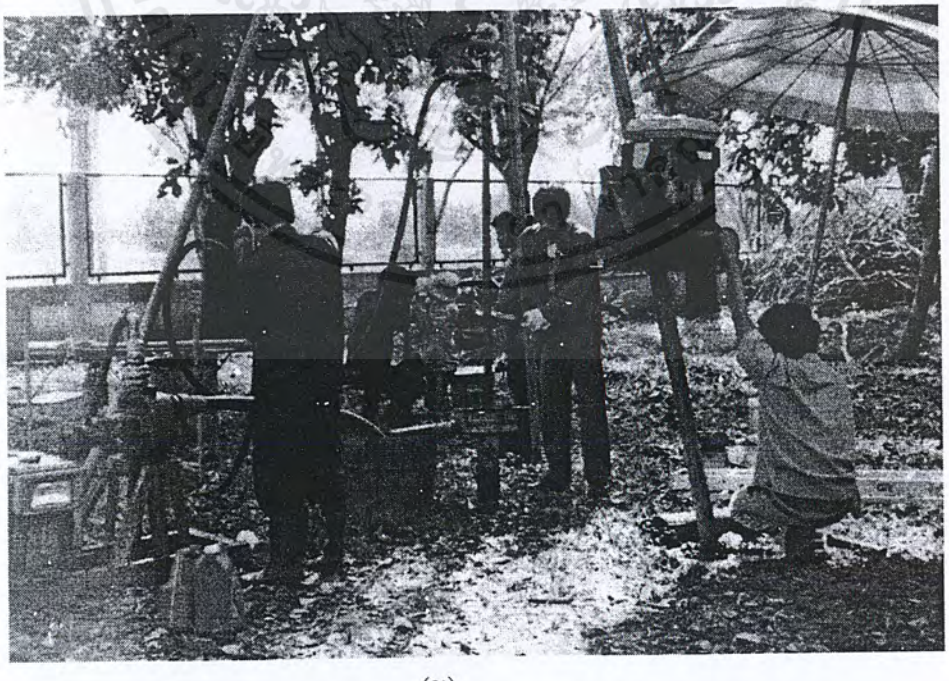
4. ใช้ประแจคอม้าหมุนก้านเจาะ (ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา) เพื่อตัดดินให้ขาดจากกระบอกผ่า ในระหว่างนี้ใช้เครื่องกว้านดึงก้านเจาะขึ้นจากหลุม ถ้าเครื่องดึงไม่ขึ้นอาจใช้ลูกตุ้มกระเดาะก้านเจาะขึ้น หรือใช้รอกโซ่ แล้วแต่ความเหมาะสม
5. เมื่อดึงกระบอกผ่าขึ้นมาบนดินแล้ว ใช้ประแจคอม้าขันส่วนล่างและส่วนปลายบนที่ยึด กระบอกผ่าไว้ออกแยกกระบอกผ่าออกจากกัน วัดระยะความยาวตัวอย่างที่เก็บได้ พิจารณาลักษณะของดิน (Sample Description) แล้วจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 ส่วน (ถ้าเก็บตัวอย่างได้เต็มกระบอก) แยกเก็บใส่ถุงพลาสติก รัดปากถุง หรือขวดแก้ว จดข้อมูลการทดสอบ และความลึกจนครบถ้วน ถ้าใช้ถุงพลาสติก ใช้ถุง 2 ชั้น แทรกป้ายชื่อไว้ระหว่างถุงพลาสติกกันสลากชื่อเปียกชื้น เก็บตัวอย่างไว้ในที่ร่มจนกว่าจะนำเข้าห้องทดลอง
6. ถอนท่อเหล็กกันดินขึ้น ใช้เครื่องกว้านดึงขึ้น ในขณะที่ใช้ประแจคอม้าหมุนช่วยลดแรงฝืด

การวัดระดับน้ำใต้ดิน

1. การวัดระดับน้ำใต้ดิน สำหรับดินเหนียวควรวัดหลังจากเจาะหลุมได้อย่างน้อย 24 ชม. ส่วนดินทรายสามารถวัดได้ภายใน 30 นาทีฯ
2. วิธีการวัดระดับน้ำใต้ดินสามารถทำได้โดย ใช้ Water Level Indicator โดยเปิดเครื่องและทำการจุ่มสายที่มีขีดบอกระดับลงในบ่อทดสอบ
3. เมื่อเครื่องดัง ทำการจดระดับที่หย่อนสายลงไป ความยาวที่ได้จะเป็นระดับน้ำเทียบจากพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1.5. (ก),(ข) แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์ wash boring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

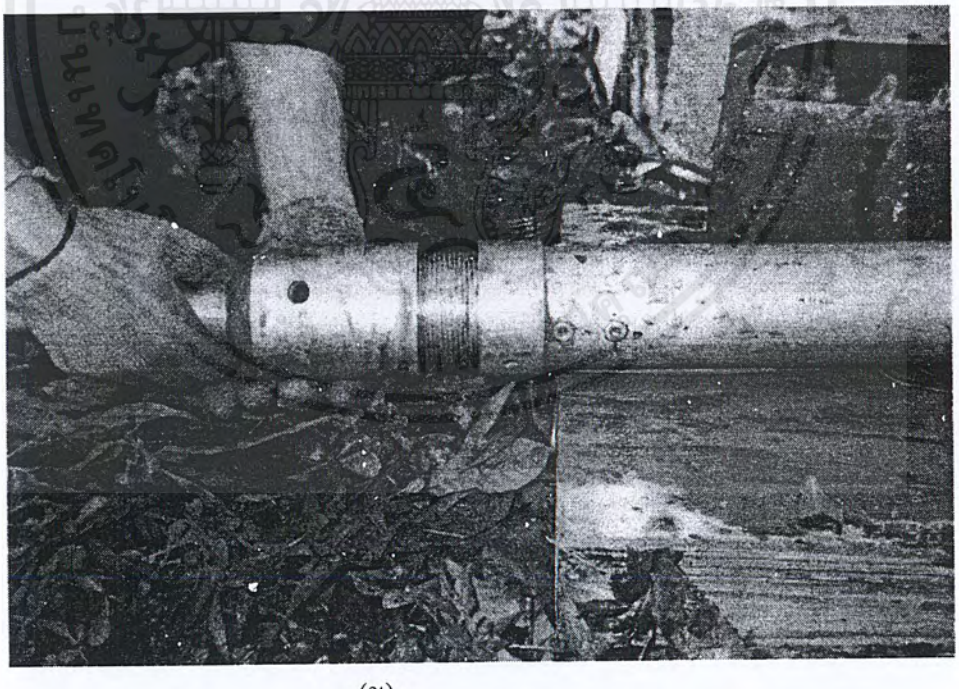
รูปที่ 2.1.6. แสดงการต่อท่อเหล็กกันดิน

รูปที่ 2.1.7. แสดงวิธีการต่อก้านเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42404

(ก)

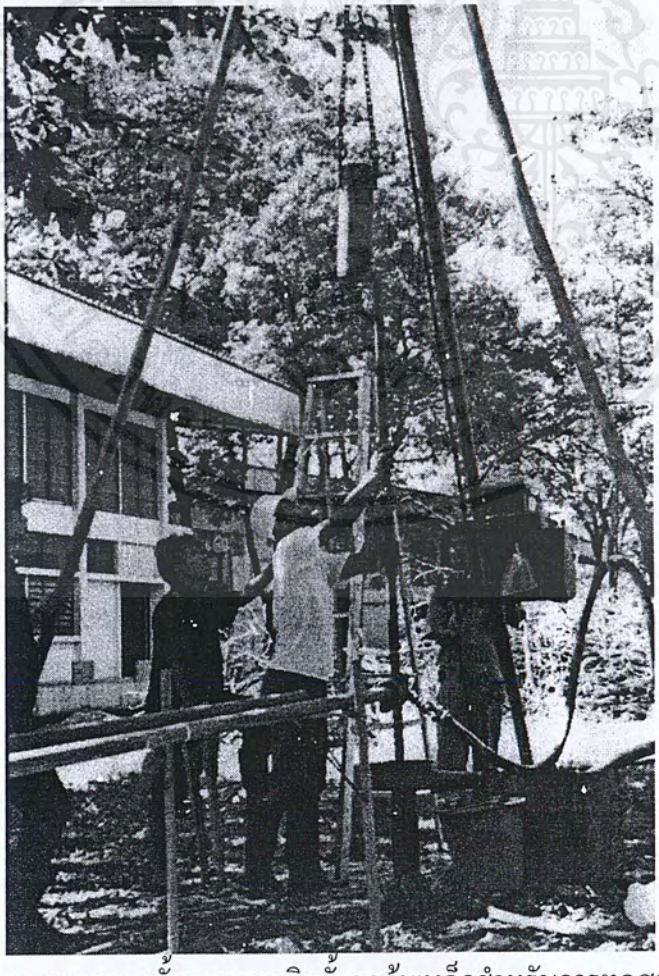


(ข)

รูปที่ 2.1.8. (ก),(ข) แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกบาง (Thin Wall Tube)

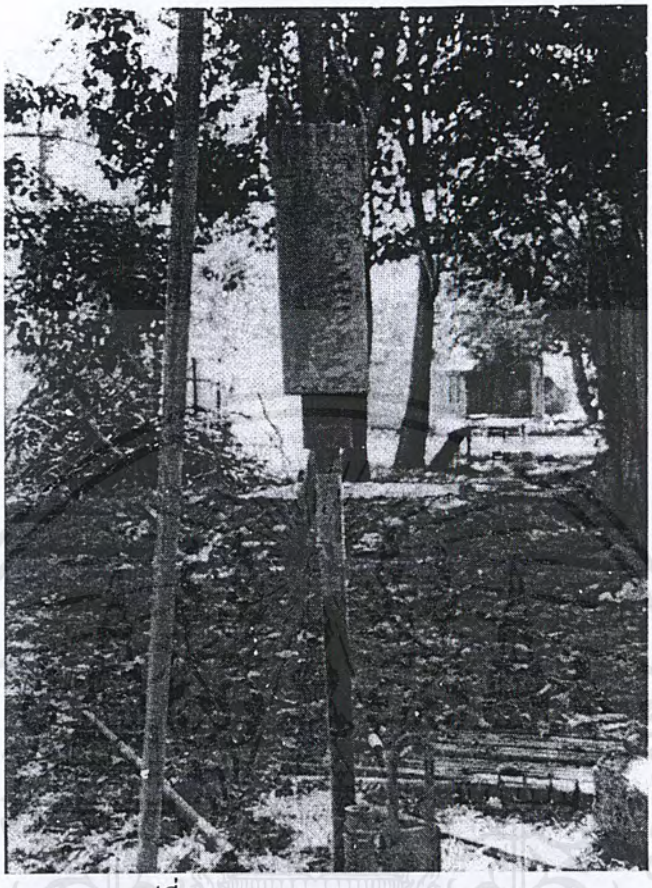
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1.9. แสดงการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon)



รูปที่ 2.1.10. แสดงขั้นตอนการติดตั้งลูกตุ้มเหล็กสำหรับการทดสอบ SPT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.11. แสดงการทดสอบ SPT

รูปที่ 2.1.12. การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

(ข)

รูปที่ 2.1.13. (ก),(ข) แสดงการเก็บตัวอย่างออกจากกระบอกแบบผ่า (Split Spoon)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำความรู้ที่ได้ในเรื่องของการเจาะสำรวจดินไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. จากการเจาะสำรวจดินทำให้เราทราบถึงคุณลักษณะของดินอย่างไรบ้าง
3. การเจาะสำรวจดินมีกี่แบบอะไรบ้าง
4. หากบริเวณที่จะทำการทดสอบเป็นดินแข็งเราจะมีวิธีการเจาะสำรวจและการเก็บตัวอย่างดินอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OF TEST RESULT

PROJECT:อาคารที่ทำการสาธารณสุขอำเภอ | LOCATION:โรงพยาบาลบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี

DATE: 4 FEB 2001 | BORING No.: BH-2 | JOB No.:1 | BY | Observed W.L. -1.60 m

SAMPLE No	DEPTH m		WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT %			WET UNIT WEIGHT t/m^3	SIEVE ANALYSIS %FINER					CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH t/m^2						STANDARD PENETRATION(N) (blow/ft)	
														UNCONFINED SHEAR		FIELD VANE SHEAR		UU TEST	POCKET PENETRATION		
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.		No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		$Q_u/2$	$Q_u'/2$	Q_V	Q_V'	S_u			
ST-01	1.50	2.00	38.00				1.86						CH	3.80							
ST-02	3.00	3.50	62.30	56.60	25.00	31.60	1.64						CH	1.70							
ST-03	4.50	5.00	63.50				1.66						CH	1.30							
ST-04	6.00	6.50	65.70	64.60	29.8	34.80	1.65						CH	1.25							
ST-05	7.50	8.00	65.30				1.55						CH	1.30							
ST-06	9.00	9.50	66.20	61.30	28.60	32.70	1.60						CH	1.40							
ST-07	10.50	11.00	61.10				1.70						CH	2.10							
ST-08	12.00	12.50	45.00	55.20	24.00	31.20	1.80						CH	4.10							
SS-09	13.50	14.00	33.20				1.90						CH	5.60						7	
SS-10	15.00	15.50	26.00	NP			1.99				100	15	SM							11	
SS-11	16.50	17.00	30.00				1.98						CH							18	
SS-12	18.00	18.50	30.20	53.80	22.30	31.50	1.97						CH							26	
SS-13	19.50	20.00	23.60				2.02						CH							37	
SS-14	21.00	21.50	21.50				2.01						CH							26	
SS-15	22.50	23.00	22.60	38.40	17.50	20.90	2.03						CL							36	
SS-16	24.00	24.50	19.70				2.05						CL							40	
SS-17	25.50	26.00	20.40				2.05						CL							38	

Note : 1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

APPROVE BY .....

.....

SUMMARY OF TEST RESULT

PROJECT: LOCATION:

DATE: BORING No.: JOB No.: BY: Observed W.L.

SAMPLE No	DEPTH m FROM	DEPTH m TO	WATER CONTENT %	ATTERBERG LIMIT % LL.	ATTERBERG LIMIT % PL.	ATTERBERG LIMIT % PI.	WET UNIT WEIGHT t/m^3	SIEVE ANALYSIS %FINER No. 3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	CLASSIFICATION	UNDRAINED SHEAR STRENGTH t/m^2 UNCONFINED SHEAR $Q_u/2$	$Q_u'/2$	FIELD VANE SHEAR Q_V	Q_V'	UU TEST S_u	POCKET PENETRATION	STANDARD PENETRATION(N) (blow/ft)	

Note : 1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

APPROVE BY .....

.....

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LOG OF BORING No. BH-2 **DATE:** 4 FEB 2001

PROJECT : อาคารที่ทำการสาธารณสุขอำเภอ **CLIENT:** โรงพยาบาลบางใหญ่

LOCATION : โรงพยาบาลบางใหญ่ จ.นนทบุรี

SAMPLE No.	TYPE OF SAMPLE	DESCRIPTION OF MATERIAL	GRAPHIC LOG
01	ST	FILL	
02	ST	1.50 m.	
03	ST		
04	ST	SOFT CLAY	
05	ST	dark grey(CH)	
06	ST		
07	ST		
08	ST	12.00 m.	
09	SS	MEDIUM CLAY	
10	SS	dark grey(CH)	
		15.00 m.	
11	SS		
12	SS	STIFF TO VERY STIFF CLAY,	
13	SS	light brown to grey(CH)	
14	SS		
15	SS	22.00 m.	
16	SS	HARD CLAY,brown(CL)	
17	SS	26.00 m.	

○ Natural Water content
△ Plastic Limit
□ Liquid Limit
(%)

20 40 60 80 100

○ S_u(UC)
◇ Su(FV)
☆ $Q_p/2$
(t/m^2)

2.5 5 7.5

□ SPT ,N (Blow/ft)

20 40 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LOG OF BORING No._____ DATE:_____

PROJECT :_____ CLIENT:_____

LOCATION :_____

SAMPLE No.	TYPE OF SAMPLE	DESCRIPTION OF MATERIAL	GRAPHIC LOG	○ Natural Water content △ Plastic Limit □ Liquid Limit (%) 20 40 60 80 100	○ S_u(UC) ◇ Su(FV) ☆ $Q_p/2$ (t/m^2) 2.5 5 7.5 □ SPT ,N (Blow/ft) 20 40 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.ATTERBERG'S LIMITS

2.2.1.อ้างอิง: ASTM D 4318,ASTM D 427

2.2.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และพิกัดหดตัว (Shrinkage Limit)
- เพื่อหาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

2.2.3.อุปกรณ์

Liquid Limit

1. เครื่องเคาะดิน (Liquid Limit Device)
2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)
3. มีดปาดดิน (Spatula)
4. ชามกระเบื้องเคลือบฯ
5. ขวดฉีดน้ำ(Wash Bottle)

Plastic Limit

1. แผ่นกระจกรองสำหรับปั้นดิน
2. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

Shrinkage Limit

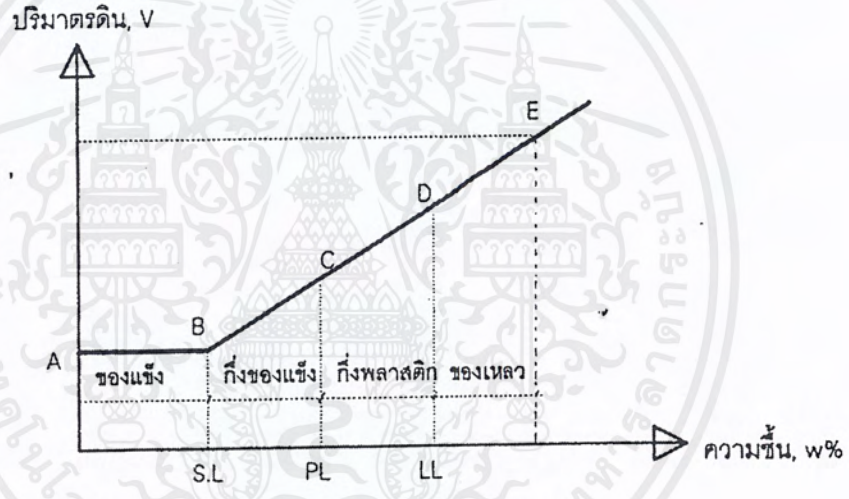
1. ถ้วยสำหรับหาค่าพิกัดหดตัว (Shrinkage Dish)
2. แผ่นพลาสติกมีปุ่ม 3 ปุ่ม (Plastic Plate with Three Prongs)
3. แผ่นกระจก (Watch Glass)
4. ถ้วยแก้วหาปริมาตร (Volume Dish)
5. ปรอท (Mercury)
6. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม
7. ถ้วยกระเบื้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.ทฤษฎี

น้ำในมวลดินจะมีผลต่อคุณสมบัติของมวลดินอย่างมากโดยเฉพาะดินเม็ดละเอียด เช่น ดินเหนียว เพราะปริมาณน้ำในมวลดินจะมีผลต่อแรงยึดเหนียวระหว่างเม็ดดิน เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้น ดินจะเหลวมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวจะน้อยลง

Atterberg นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนในเสนอจุดเปลี่ยนสถานภาพ หรือลิมิตของมวลดิน (Atterberg's Limits) ขึ้นมา 5 ลิมิต แต่ที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรมโยธาโดยทั่วไปนำมาใช้เพียง 3 ลิมิต คือ

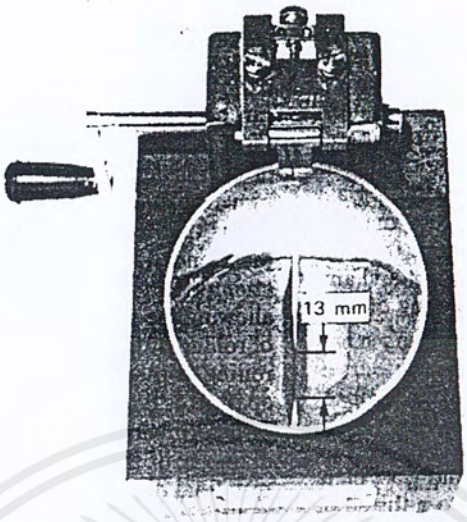


รูปที่ 2.2.1. แสดงสถานะต่างๆ ของดินเหนียว

1.Liquid Limit (w_L หรือ L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Liquid ของดิน หรือปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนจากสภาวะของเหลวไปอยู่ในสภาวะพลาสติก (plastic state) ปริมาตรของดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำในมวลดิน

การหาขีด Liquid Limit หาได้โดยการหาค่าความชื้นที่จุดรอยปาดเคลื่อนที่มาบรรจบกันในถ้วยทองเหลืองยาว 1.3 ซม. เมื่อเคาะได้ 25 ครั้ง โดยมีระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองถึงพื้นรองเท่ากับ 1 ซม. ความชื้นที่ได้ที่จุดนี้จะเป็นค่า Liquid Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.2. แสดงดินที่มาบรรจบกันได้ 1.3 ซม. ในการหาค่า Liquid Limit

2.Plastic Limit (w_p หรือ P.L.) คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Semi-Solid ของดิน เมื่อดินใดๆ ก็ตามมีปริมาณน้ำเท่ากับ Plastic Limit ดินนั้นจะมีสถานะอยู่ระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Semi-Solid ถ้ามีปริมาณน้ำในมวลดินมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินจะอยู่ในสถานะเป็น Plastic แต่ถ้าปริมาณน้ำน้อยกว่านี้ ดินก็จะอยู่ในสถานะ Semi-Solid

การหาค่า Plastic Limit หาได้โดยนำดินมาคลึงเป็นเส้นยาวได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. (ขนาด 1 หุน หรือ 1/8 นิ้ว) แล้วเริ่มปรากฏรอยแตกบนดินเส้นกลมนั้น ค่าความชื้นที่จุดนี้จะเป็นค่า Plastic Limit ของตัวอย่างดิน

3.Shrinkage Limit (w_{SK} หรือ S.L.) คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่มากที่สุดที่ไม่ทำให้มวลดินดังกล่าวเปลี่ยนปริมาตรเมื่อดินแห้งลงไปกว่านี้ หรือ ความชื้น ณ จุดซึ่งดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง และจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว ยิ่งลดลงไปอีกฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น

จากค่าลิมิตทั้งสามค่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่สามารถบอกคุณสมบัติของมวลดินไปได้หลายค่า ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Plasticity Index, P.I. หรือ I_p คือ ค่าที่บอกถึงช่วงสถานภาพพลาสติกของดิน แสดงถึงความเหนียวของดิน และความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น ดังสมการ

$$P.I. = L.L. - P.L. \qquad (2.2.1.)$$

2.Liquidity Index, L.I. หรือ I_L คือ ค่าที่บอกสถานภาพของดินในธรรมชาติว่าอยู่ในสถานภาพใด โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณน้ำในดินธรรมชาติกับค่า Plastic Limit ต่อ Plasticity Index ดังสมการ

$$L.I. = \frac{w_n - P.L.}{P.I.} \qquad (2.2.2.)$$

W_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดิน

ถ้า L.I. < 0 แสดงว่าดินอยู่ในสถานภาพกึ่งของแข็ง

0 < L.I. < 1 แสดงว่าดินอยู่ในสถานภาพพลาสติก

L.I. > 1 แสดงว่าดินอยู่ในสถานภาพของเหลว

3.ดรรชนีการไหล (Flow Index, F.I. หรือ I_f) คือ ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (%w) และจำนวนครั้งในการเคาะ (N) ใน Scale Log มีค่าดังสมการ

$$F.I. = \frac{w_1 - w_2}{\log \frac{N_2}{N_1}} \qquad (2.2.3.)$$

เมื่อ w_1 = ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 1

w_2 = ความชื้นบน Flow Curve ที่จุด 2

N_1 = จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 1

N_2 = จำนวนครั้งการเคาะที่จุด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชันจะบอกถึงความไวตัวของดิน ถ้าดินที่นำมาทดสอบมีความชันมากแสดงว่าดินมีความไวตัวมาก ความชื้นเปลี่ยนแปลงได้มาก

4. Activity of Clay คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Plasticity Index ต่อ เปอร์เซ็นต์ดินเหนียวขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.002 มม. ดังสมการ

$$\text{Activity} = \frac{\text{P.I.}}{\text{\%Clay ขนาดเล็กกว่า 0.002 มม.}} \qquad (2.2.4.)$$

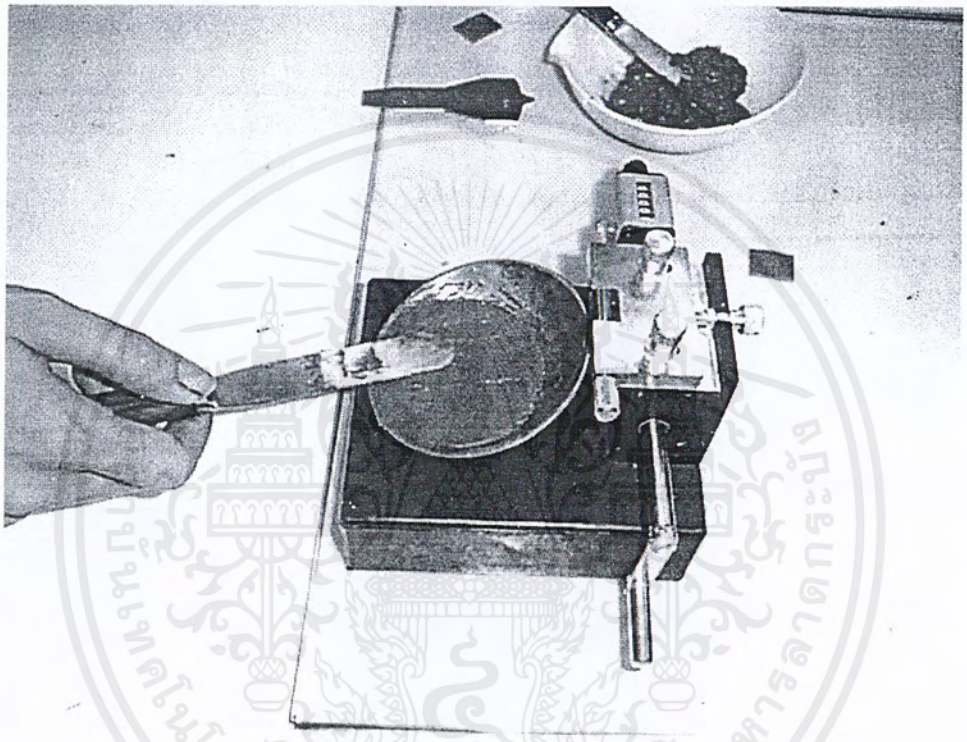
2.2.5.วิธีการทดลอง

วิธีหา Liquid Limit ของดิน

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างดินเปียกที่มั่นใจว่าขนาดเม็ดเล็กกว่าเบอร์ 40 ก็นำมาทดสอบได้เลย โดยแบ่งดินไว้ 50 กรัม เพื่อนำไปทดสอบ Shrinkage Limit ส่วนที่เหลือนำไปใช้ทดลอง Liquid Limit และ Plastic Limit
2. นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้เข้ากัน โดยเติมน้ำจากกระบอกฉีดน้ำเพียงเล็กน้อย คลุกดินให้เข้ากัน
3. แล้วใช้มีดปาด (Spatula) ตักปาดดินลงบนกะทะทองเหลือง ให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซม.
4. บากด้วย Grooving Tool ตรงกลาง แล้วเริ่มทำการเคาะ ไม่ควรทิ้งไว้จะทำให้ปริมาณความชื้นของดินเปลี่ยนแปลง
5. ทำการเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้ง/วินาที จนดินเคลื่อนเข้าบรรจบกันได้ระยะ 1.3 ซม. แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งในการเคาะไว้
6. ปาดแต่งดินเดิมแล้วทำการบากด้วย Grooving Tool อีกครั้ง เพื่อทำการเคาะซ้ำ แล้วใช้ค่าเฉลี่ยจากการเคาะทั้งสองครั้งเป็นจำนวนครั้งในการเคาะ (N) จึงนำดินบริเวณรอยบากที่บรรจบกันประมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น (%Water Content)
7. เติมน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย แล้วทำตามข้อ 3 – 6 โดยที่ค่าจำนวนการเคาะที่ได้ควรน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง ทำเช่นนี้ซ้ำจนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 5 ค่า (จำนวนครั้งในการเคาะควรอยู่ระหว่าง 5 – 50 ครั้ง)

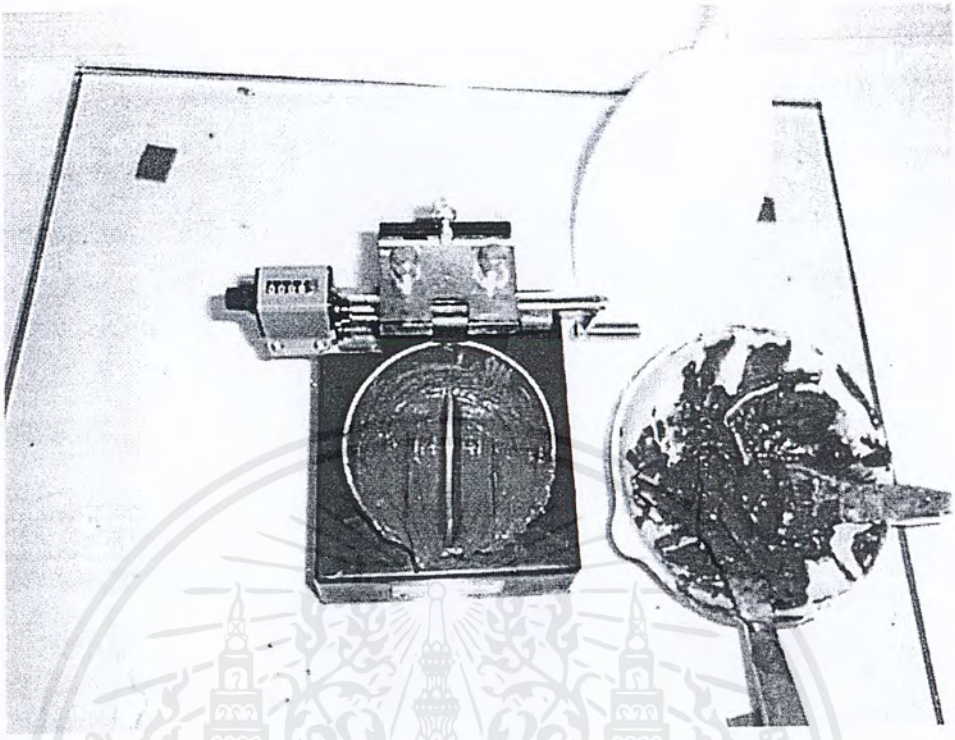
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (%W) ไปเขียนกราฟ โดยให้จำนวนครั้งการเคาะ (N) อยู่ในแกน x (Scale Log) ส่วนปริมาณความชื้น (%w) อยู่ในแกน y แล้วลากกราฟเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น
9. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวดิ่งตัดกราฟที่ได้ แล้วลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน y (%w) ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือ ค่า Liquid Limit (w_L หรือ L.L.)

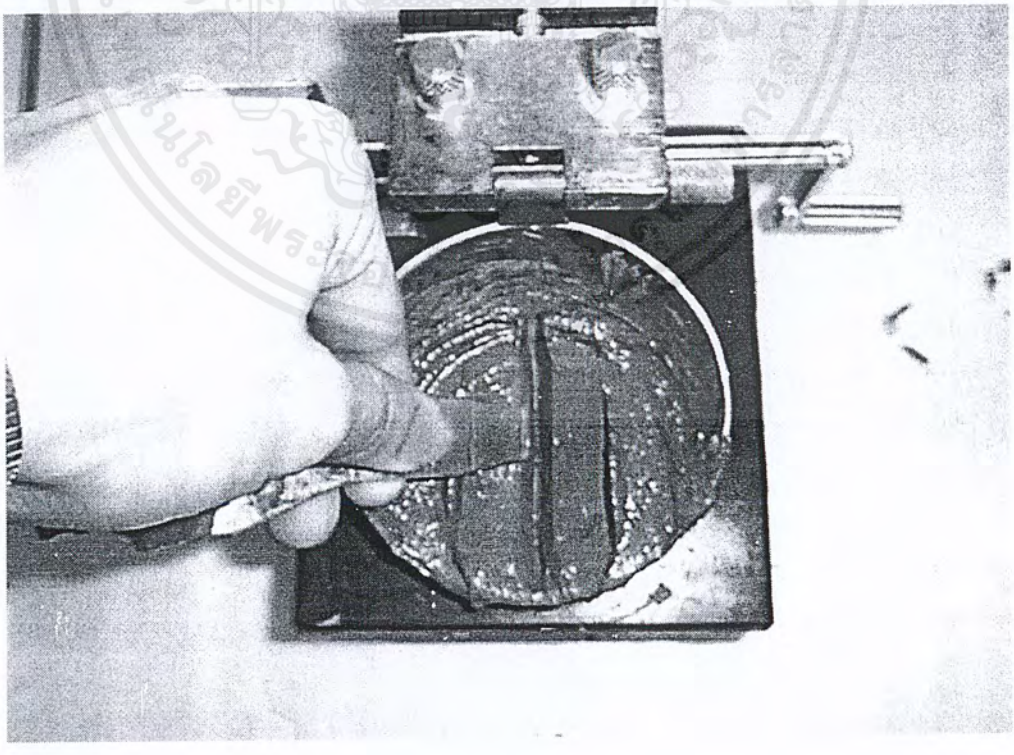


รูปที่ 2.2.3. แสดงการแต่งตัวอย่างดินในถ้วยเคาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.4. แสดงร่องการปาดตัวอย่างดินในถ้วยเคาะ

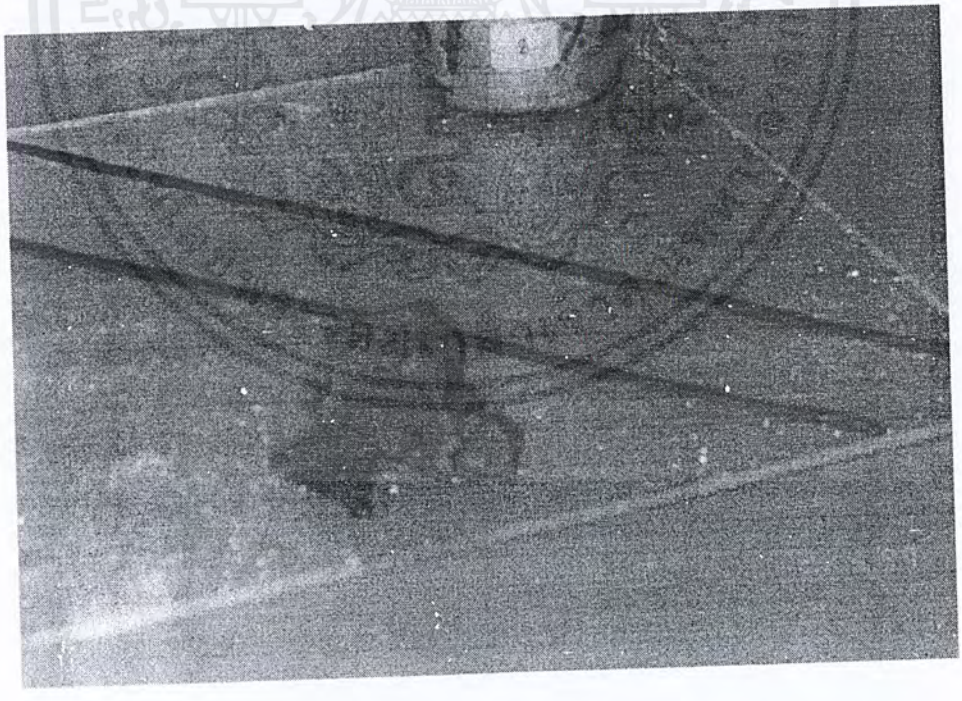


รูปที่ 2.2.5. แสดงการใช้ด้าม spatula วัดระยะที่ดินชนกัน 1.3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีหา Plastic Limit

1. ทำการปั้นตัวอย่างดินที่จะทดสอบบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ โดยปั้นเป็นก้อนกลมให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ถ้าดินเปียกไปให้แผ่ดินบางๆ บนแผ่นกระจกจะได้แห้งเร็วขึ้น
2. ค่อยๆ คลึงบนฝ่ามือไปมา
3. คลึงดินให้เป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ถ้ายังสามารถคลึงเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. โดยที่ดินยังไม่มีรอยแตก แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
4. ปั้นดินเดิมให้เป็นก้อนอีกครั้ง แล้วคลึงจนกระทั่งเมื่อเส้นดินมีขนาดใกล้เคียง 3.2 มม. ดินเริ่มมีรอยแตกหรือไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. ได้ ที่สถานะความชื้นของดินนี้จะเรียกว่าเป็นพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
5. นำเศษดินที่ปั้นไว้ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น
6. แยกดินออกมาจากกองที่เตรียมไว้ ทำการทดลองข้อ 2 – 5 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

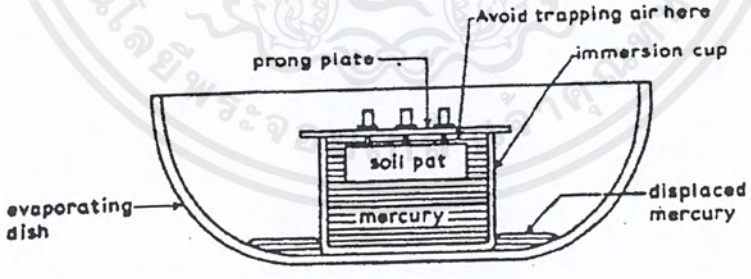


รูปที่ 2.2.6. แสดงดินที่คลึงเป็นเส้นในการทดลองหา plastic limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหา Shrinkage Limit

1. นำตัวอย่างดินประมาณ 50 –100 กรัม เป็นดินที่เตรียมไว้ทดสอบ Liquid Limit และ Plastic Limit ที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 พยายามคัดดินเม็ดหยาบออก
2. ผสมน้ำลงในดินในถ้วยกระเบื้องด้วย Spatula คลุกให้เป็นเนื้อเดียวกัน จนดินเหลวกว่าที่ทำพิกัดเหลว (Liquid Limit)
3. นำจาระบีทาบางๆ ภายในถ้วยหาพิกัดหดตัว เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดขณะแห้ง
4. ใส่ดินที่เตรียมไว้ลงในถ้วยหาพิกัดหดตัว ค่อยๆ ใส่ประมาณ 3 – 4 ชั้น แต่ละชั้นต้องเคาะเบาๆ กับพื้นเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากดิน ใส่ดินต่อไปจนดินล้นปากขอบถ้วยจึงปาดดินให้เรียบเสมอขอบถ้วยด้วยสัน Spatula แล้วนำไปชั่งน้ำหนักดินเปียกและถ้วยหาพิกัดหดตัว
5. ปล่อยให้ดินแห้งลงที่อุณหภูมิห้องประมาณ 4 – 6 ชั่วโมง สังเกตจากดินแห้งหมาดจากสีของดินที่อ่อนลง แล้วจึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 5 °C เพื่อให้ดินแห้งประมาณ 12 – 18 ชั่วโมง
6. นำดินออกจากตู้อบ ชั่งน้ำหนักดินแห้งและถ้วยหาพิกัดหดตัว
7. นำก้อนดินที่อบแห้งแล้วมาหาปริมาตรโดยการแทนที่ปรอท โดยเริ่มแรกชั่งถ้วยที่ใส่ปรอทเต็ม
8. นำก้อนดินแห้งในใส่ในปรอท ดินจะลอยอยู่บนปรอท กดดินให้จมโดยใช้แผ่นพลาสติก ปรอทที่มีปริมาตรเท่าก้อนดินจะล้นออก ชั่งปรอทส่วนที่เหลือนำไปคำนวณหาปริมาตรก้อนดินได้



รูปที่ 2.2.7. แสดงการแทนที่ด้วยปรอทในการทดสอบ Shrinkage Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2.8. แสดงการทดลอง shrinkage limit

2.2.6.การคำนวณและรายงานผล

1. Liquid Limit (w_L) อ่านได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง
2. Plastic Limit (w_p) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่หาได้
3. Shrinkage Limit (w_{SK})

$$w_{SK} = w_o - \frac{(V_o - V_f)\,\rho_w \cdot 100}{W_S} \quad \% \qquad (2.2.5.)$$

เมื่อ w_o = ความชื้นของตัวอย่างดินเปียก ,%

V_o = ปริมาตรก้อนดินเปียก = $\dfrac{\text{น้ำหนักปรอทในถ้วยหาพิกัดหดตัว}}{\rho_m}$,cm^3

V_f = ปริมาตรก้อนดินแห้ง = $\dfrac{\text{น้ำหนักปรอทที่มีปริมาตรเท่ากับก้อนดินแห้ง}}{\rho_m}$,cm^3

W_S = น้ำหนักดินแห้ง ,g

ρ_m = ความหนาแน่นของปรอท = 13.53 g/ cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

2.2.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. อธิบายความหมายของ Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index
2. ค่า Liquid Limit และ Plastic Limit ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์อะไรได้บ้าง จงยกตัวอย่าง
3. อธิบายความหมายของ Shrinkage Limit และการนำไปใช้ประโยชน์
4. ข้อควรระวังในการทดลอง Shrinkage Limit ที่สำคัญคืออะไรและควรทำอย่างไร
5. จากการทดสอบ Atterberg's Limit ผลการทดสอบที่ได้มีลักษณะแนวโน้มความชื้นตามหลักการหรือไม่อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 2.00-4.00 m

TEST NO. LP-1

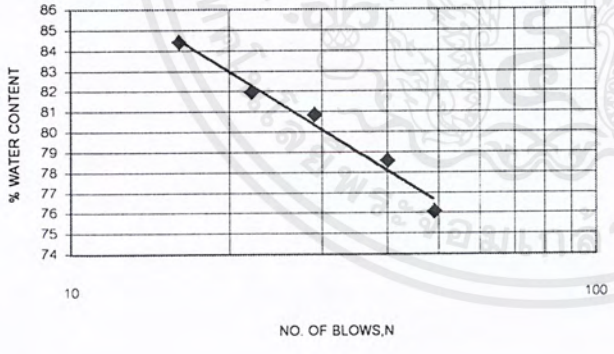
SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE JULY 15,1999

LIQUID LIMIT TEST:

NO. OF BLOWS ,N	49	40	29	22	16	
CAN NO.	64	95	57	74	82	
WET SOIL + CAN ,g	19.55	19.77	21.01	22.72	19.26	
DRY SOIL + CAN ,g	14.78	14.92	15.39	16.31	14.38	
WT. OF CAN ,g	8.51	8.52	8.44	8.49	8.6	
WT. OF WATER ,g	4.77	4.95	5.62	6.41	4.88	
WT. OF DRY SOIL ,g	6.27	6.3	6.95	7.82	5.78	
% WATER CONTENT	76.08	78.57	80.86	81.97	84.43	



LIQUID LIMIT 81.00

PLASTIC LIMIT 28.56

PL 51.89

FLOW INDEX 0.2

PLASTIC LIMIT TEST:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
CAN NO.	C-1	C-2				
WET SOIL + CAN ,g	32.4	30.25				
DRY SOIL + CAN ,g	27.3	25.86				
WT. OF CAN ,g	10.1	9.88				
WT. OF WATER ,g	5.1	4.39				
WT. OF DRY SOIL ,g	17.2	15.98				
% WATER CONTENT	29.65	27.47				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

PROJECT_____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

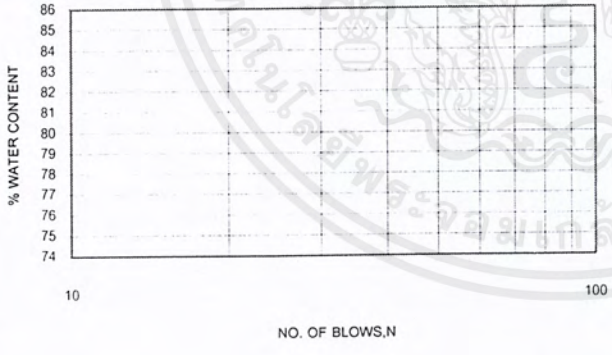
LOCATION_____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

LIQUID LIMIT TEST:

NO. OF BLOWS .N						
CAN NO.						
WET SOIL + CAN .g						
DRY SOIL + CAN .g						
WT. OF CAN .g						
WT. OF WATER .g						
WT. OF DRY SOIL .g						
% WATER CONTENT						



LIQUID LIMIT = _____

PLASTIC LIMIT = _____

PL = _____

FLOW INDEX = _____

PLASTIC LIMIT TEST:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
CAN NO.						
WET SOIL + CAN .g						
DRY SOIL + CAN .g						
WT. OF CAN .g						
WT. OF WATER .g						
WT. OF DRY SOIL .g						
% WATER CONTENT						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SHRINKAGE LIMIT

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 2.00-4.00 m

TEST NO. SL-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE JULY 15,1999

NATURAL WATER CONTENT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.	C-1	C-2			
WET SOIL + CAN ,g	32.4	30.25			
DRY SOIL + CAN ,g	27.3	25.86			
WT. OF CAN ,g	10.1	9.88			
WT. OF WATER ,g	5.1	4.39			
WT. OF DRY SOIL ,g	17.2	15.98			
% WATER CONTENT	29.65	27.47			

SHRINKAGE LIMIT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5
DISH NO.	D-1	D-2			
1. WET SOIL + DISH ,g	35.85	45.3			
2. WT. OF DISH ,g	12.75	22.95			
3. WT. OF WET SOIL ,g	23.1	22.35			
4. DRY SOIL + DISH ,g	26.3	37.7			
5. WT. OF DRY SOIL ,g	13.55	14.75			
6. MERCURY + DISH ,g	208.65	204.2			
7.WT. OF MERCURY ,g	195.9	181.25			
8. VOLUME OF MERCURY ,(7)/13.6N cc	14.40	13.33			
9. MERCURY + TRAY ,g	292.3	295.5			
10.WT. OF TRAY ,g	180.5	175.8			
11. DISPLACED MERCURY ,(9)-(10) ,g	111.8	119.7			
12. FINAL VOLUME OF SOIL ,(11)/13.6 cc	8.22	8.80			
13. SHRINKAGE LIMIT {[(3)-(5)]-[(8)-(12)]}/13.6	24.75	22.60			
AVERAGE SHRINKAGE LIMIT ,%	23.68				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SHRINKAGE LIMIT

PROJECT_____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION_____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

NATURAL WATER CONTENT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.					
WET SOIL + CAN ,g					
DRY SOIL + CAN ,g					
WT. OF CAN ,g					
WT. OF WATER ,g					
WT. OF DRY SOIL ,g					
% WATER CONTENT					

SHRINKAGE LIMIT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5
DISH NO.					
1. WET SOIL + DISH ,g					
2. WT. OF DISH ,g					
3. WT. OF WET SOIL ,g					
4. DRY SOIL + DISH ,g					
5. WT. OF DRY SOIL ,g					
6. MERCURY + DISH ,g					
7.WT. OF MERCURY ,g					
8. VOLUME OF MERCURY ,(7)/13.6N cc					
9. MERCURY + TRAY ,g					
10.WT. OF TRAY ,g					
11. DISPLACED MERCURY ,(9)-(10) ,g					
12. FINAL VOLUME OF SOIL ,(11)/13.6 cc					
13. SHRINKAGE LIMIT {[(3)-(5)]-[(8)-(12)]}/13.6					
AVERAGE SHRINKAGE LIMIT ,%					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)

2.3.1.อ้างอิง: ASTM D 854

2.3.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

2.3.3.อุปกรณ์

1. Pycnometer แบบขวดแก้วคอยาวก้นป่อง (Volumetric flask) ขนาด 500 mL
2. เตาแผ่นร้อน (Hot Plate)
3. Thermometer 0-100 ºC
4. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 g
5. น้ำกลั่น
6. ตู้อบ
7. ภาชนะ (ขันอะลูมิเนียม)
8. เครื่องกวนดิน

2.3.4.ทฤษฎี

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ จะเท่ากับ อัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศ ต่อ น้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4ºC ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น ค่าความถ่วงจำเพาะจะสัมพันธ์กับน้ำหนักของเม็ดดินในปริมาตรหนึ่งๆ

ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน G_S มีค่าเท่ากับ

$$G_S = \frac{\text{น้ำหนักดิน}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ที่4 ºC}} = \frac{W_S}{W_{W\,(\text{ที่4ºC})}} \qquad (2.3.1.)$$

เมื่อ W_S = น้ำหนักของเนื้อดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_w = น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดินที่อุณหภูมิ 4°C

เมื่อเราทราบค่าอัตราส่วนช่องว่าง (void ratio) ค่าความอิ่มตัว (degree of saturation) และค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เราจะสามารถหาค่าหน่วยน้ำหนัก (unit weight) ของดินได้ ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักของดินนั้นถูกนำไปใช้อย่างมากเช่นงานที่เกี่ยวกับแรงดินดิน การทรุดตัว เสถียรภาพของดิน และงานทางวิศวกรรมโยธาทั่วไป และการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของดินก็มีในการทดสอบปฐพีกลศาสตร์โดยทั่วไป

โดยปกติแล้วค่าความถ่วงจำเพาะของดินจะมีค่าประมาณ 2.60 ถึง 2.80 ขึ้นกับแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบว่าเป็นแร่ธาตุหนักหรือเบา

ตารางที่ 2.3.1. ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ ,G_T)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9987	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

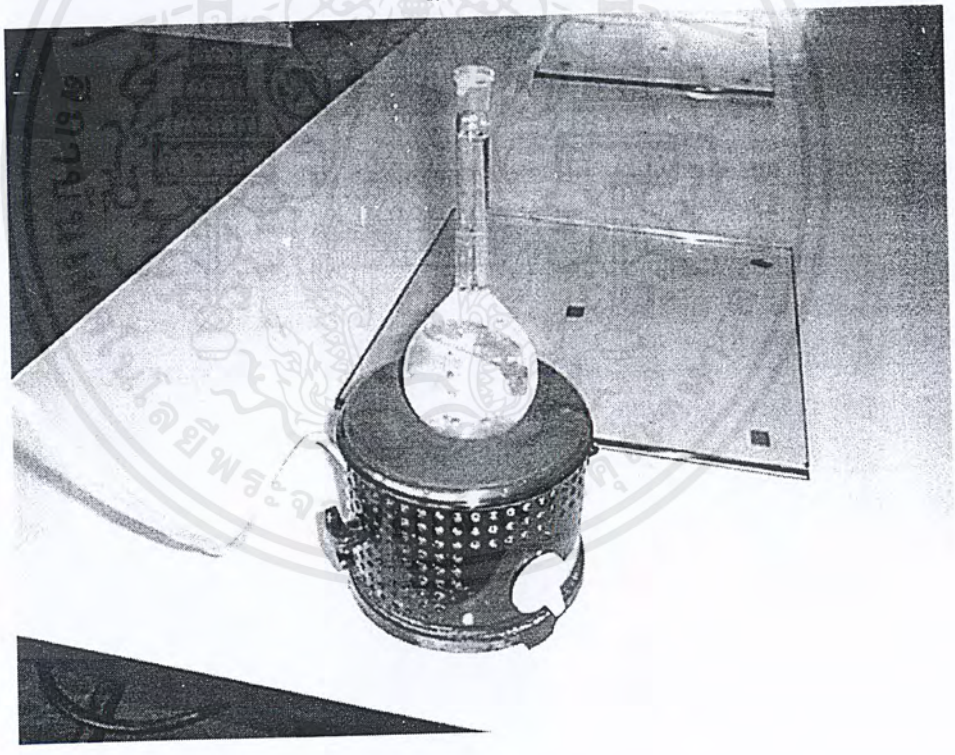
2.3.5.วิธีการทดลอง

Calibration of Pycnometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์เพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของขวด Pycnometer ซึ่งมีน้ำเต็มถึงขีดที่กำหนด ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่าง 20 °C ถึง 40 °C เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการหาค่า ถ.พ. ของดินต่อไป การ Calibration มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เติมน้ำกลั่นลงในขวด Pycnometer ให้ถึงขีดบอกปริมาตร (500 cm^3)
2. ต้มเพื่อไล่ฟองอากาศในน้ำ ด้วยการต้มน้ำให้เดือดบนเตาบุนเส็นประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด
3. ปล่อยให้เย็นลง จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 40 °C ตรวจสอบว่าอุณหภูมิน้ำในขวดแก้วเท่ากันทุกระดับ
4. ปรับระดับท้องน้ำให้อยู่ที่ขีดบอกปริมาตร 500 cm^3 โดยการเติมน้ำที่เตรียมไว้แล้วลงในขวดแก้ว
5. นำขวดแก้ว + น้ำ ไปชั่งหาน้ำหนัก พร้อมกับวัดอุณหภูมิน้ำขณะนั้น



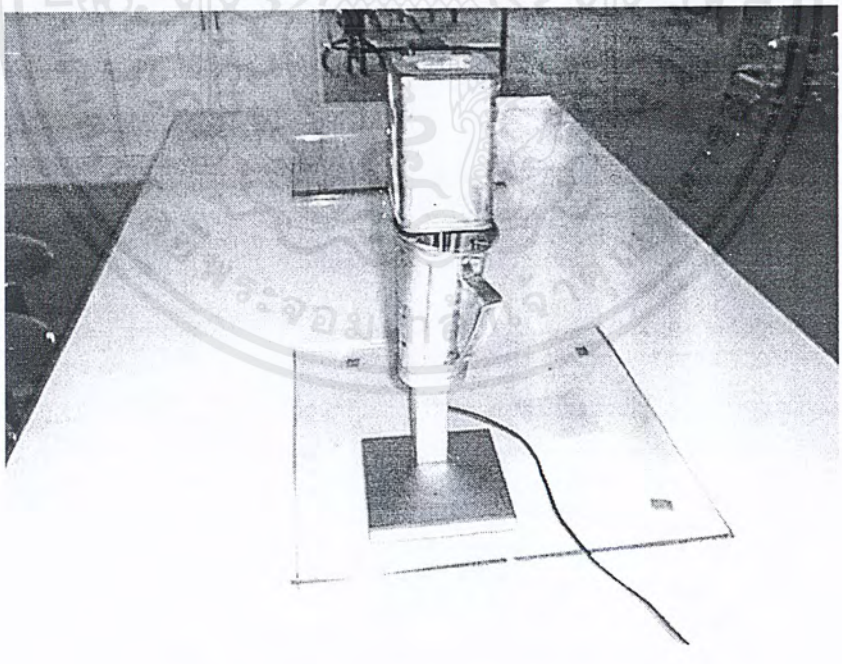
รูปที่ 2.3.1. แสดงการต้มน้ำบนเตาแผ่นร้อน

6. ปล่อยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิน้ำลดลง แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 4 และ 5 อีกประมาณ 3 – 4 ครั้ง ในช่วงอุณหภูมิจากประมาณ 40 °C จนถึงอุณหภูมิห้อง
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

1. เตรียมทรายที่ต้องการทดสอบประมาณ 50 กรัม (เมื่อแห้ง) หรือ ดินเหนียวก็ควรใช้น้ำหนักที่มากขึ้น แล้วนำดินใส่น้ำกลั่นนำไปปั่นประมาณ 10 นาที
2. เทส่วนผสมของดินและน้ำลงในขวดหา ถ.พ. ถึงประมาณ $\frac{3}{4}$ ของคอขวด และใช้กระบอกฉีดน้ำกลั่นล้างดินที่ติดอยู่ให้หมด
3. ไล่ฟองอากาศเช่นเดียวกับวิธีสอบเทียบขวดแก้วด้วยการต้มให้เดือดบนเตาบุนเส็น ประมาณ 10 นาที แล้วนำขวดแก้วออกมาปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง (ข้างคืนเพื่อให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ) หรือแช่ลงในอ่างน้ำเย็น
4. หลังจากนั้นปรับระดับน้ำดินให้เท่ากับขีดบอกปริมาตร 500 cm^3 เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม (ได้ค่า W_1 ณ อุณหภูมิห้อง) แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด (ตรวจสอบให้อุณหภูมิเท่ากันทุกระดับ)
5. เทแล้วล้างส่วนผสมในขวดหา ถ.พ. ลงในถาดเพื่อนำไปอบให้แห้ง อาจใช้เวลาประมาณ 30-48 ชม. แล้วชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง W_s



รูปที่ 2.3.2. แสดงการปั่นดินในเครื่องกวนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.การคำนวณผล

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

$$G_S = G_T \left[\frac{W_S}{W_2 + W_S - W_1} \right] \qquad (2.3.2.)$$

เมื่อ W_S = น้ำหนักดินแห้ง (ณ อุณหภูมิห้อง)

W_2 = น้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มที่อุณหภูมิที่ทดลอง

W_1 = น้ำหนักขวดที่มีน้ำผสมดิน

G_T = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิห้อง หาได้จากตารางที่ 2.3.1.

G_S = ความถ่วงจำเพาะของดินที่อุณหภูมิห้อง

2.3.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. ค่าความถ่วงจำเพาะของดินเหนียวกับดินทรายมีค่าแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
2. ผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่ เพราะเหตุใด
3. สาเหตุใดที่มีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบ
4. เรานำค่าความถ่วงจำเพาะของดินไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SPECIFIC GRAVITY TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION DARK GRAY CLAY

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. GS-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. BH-1

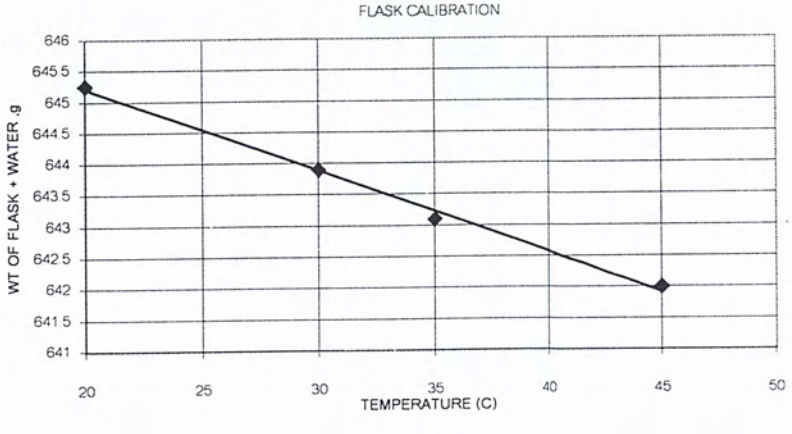
SAMPLE DEPTH 1.6 m

SAMPLE NO. 1

DATE JULY 24,1999

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION		
TRIAL NO.	1	2
1 TEMPERATURE	28	30
2 FLASK + WATER	644.1	643.8
3 FLASK + WATER + SOIL	677	676.8
4 CONTAINER NO.	C1	C2
5 DRY SOIL + CONTAINER	313.8	289.4
6 WT. OF CONTAINER	263.5	238.5
7 DRY SOIL	50.3	50.9
8 GT	0.9963	0.9957
9 G.S.	2.88	2.83
(7X8)/(2+7-3)		
AVERAGE G.S.	2.86	

CALIBRATION NO.			
1	2	3	4
45	35	30	20
642	643.1	643.9	645.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SPECIFIC GRAVITY TEST

PROJECT_____ OWNER _____

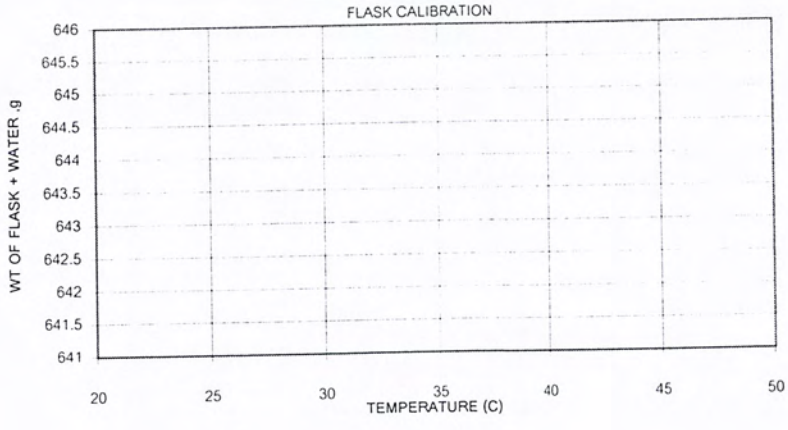
SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION_____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION			CALIBRATION NO.			
TRIAL NO.	1	2	1	2	3	4
1 TEMPERATURE						
2 FLASK + WATER						
3 FLASK + WATER + SOIL						
4 CONTAINER NO.						
5 DRY SOIL + CONTAINER						
6 WT. OF CONTAINER						
7 DRY SOIL						
8 GT						
9 G.S.						
(7X8)/(2+7-3)						
AVERAGE G.S.						



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.การหาขนาดเม็ดดิน(GRAIN SIZE ANALYSIS)

2.4.1.อ้างอิง: ASTM D-422

2.4.2.วัตถุประสงค์

-เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและความคละของเม็ดดิน

-เพื่อสร้างกราฟ Grain Size Distribution

2.4.3.อุปกรณ์

Sieve Analysis

1. ถาดใส่ตัวอย่างดิน
2. ตะแกรงร่อน (Sieve)
3. เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน
4. เครื่องชั่ง

Hydrometer Analysis

1. Hydrometer ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ (ASTM 151H)หรือชนิดอ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตร (ASTM 152H)
2. เครื่องปั่นดิน
3. ผงช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว (Dispersing Agent) โดยใช้ Sodium Hexa-Metaphosphate
4. กระบอกไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Jar) หรือกระบอกตวง (Measuring Cylinder) ขนาด 1000 cm^3 2 ใบ
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. นาฬิกาจับเวลา
7. น้ำกลั่น (Distilled water)
8. ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน
9. เครื่องชั่ง
10. ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.ทฤษฎี

การหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินทำได้หลายวิธี ตามความเหมาะสมของของขนาดเม็ดดินและตามชนิดของดิน ดังนี้

1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) สำหรับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (0.075 ม.ม.)
2. วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 0.075 ม.ม.) เช่น ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอน (Silty Clay)

สำหรับดินทั่วไปจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน

Sieve Analysis

เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงหยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ข้างบนตะแกรงแต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น เพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลม หรือลูกบาศก์ แต่จะเป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติ ส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วจะต้องนำผลจากทั้งสองวิธีมาเขียนกราฟกระจายขนาดเม็ดดินต่อไป

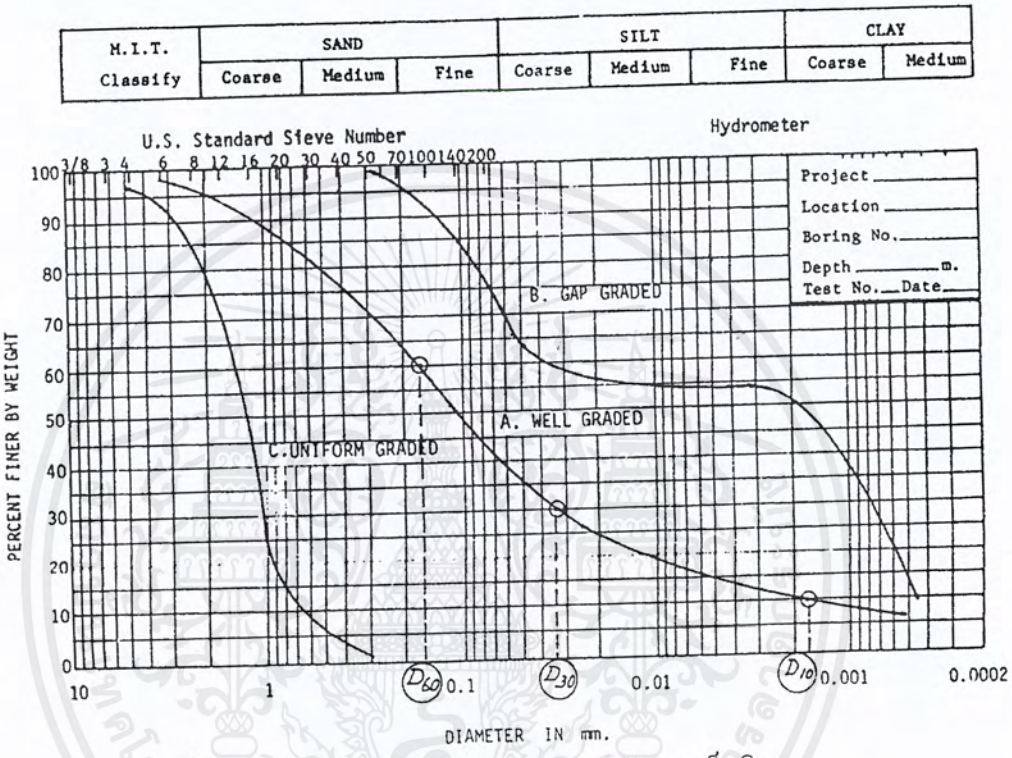
การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน

จากลักษณะของกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) จะสามารถบอกถึงลักษณะของเม็ดดินได้ คือ

1. ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well graded soil) คือดินที่มีขนาดเม็ดดินต่างๆ คละกันดี ลักษณะของ Curve จะโค้งทอดยาวตลอดขนาดสเกล ดังแสดงในกราฟ A ในรูปที่ 2.4.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ดินที่มีเม็ดดินขนาดเดียว (Uniform graded soil) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดดินใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ โดยกราฟจะมีลักษณะชันดิ่ง ดังแสดงในกราฟ C ในรูปที่ 2.4.1.
3. ดินที่มีขนาดขาดช่วง (Gap graded soil) ลักษณะของ Curve จะมีบางช่วงซึ่งทอดตัวในแนวนอน ดังกราฟ B แสดงถึงดินที่มีเม็ดดินบางขนาดขาดหายไป



รูปที่ 2.4.1. ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน

เพื่อที่จะให้หลักการพิจารณาลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดินเป็นมาตรฐาน จึงได้กำหนด สูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการกระจายของเม็ดดิน ดังนี้

1)สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity)

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad (2.4.1.)$$

2)สัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature)

$$C_C = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}} \qquad (2.4.2.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D_{10} , D_{30} และ D_{60} เป็นขนาดของเม็ดดิน (ม.ม.) ที่เปอร์เซ็นต์ลอดผ่านตะแกรงที่ 10,30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่2.4.1. แสดงลักษณะของดินจากค่า C_U และ C_C

ชนิดของดิน	C_U	C_C
หิน	มากกว่า 4	1-3
ทราย	มากกว่า 6	1-3

Hydrometer Analysis

วิธี Hydrometer Analysis เป็นวิธีการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เช่น ตะกอนทราย หรือ ดินเหนียว เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำมา Plot ในกราฟ Semi-log โดยเอาค่า Percent Finer กับค่า Grain Diameter มา Plot ต่อจากเส้น Curve ที่ได้จากวิธี Sieve Analysis ได้เลยหากเป็นดินชนิดเดียวกัน

วิธีการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีตกตะกอน อาศัยทฤษฎีของ Stoke ที่ว่า ความเร็วในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลว และขนาดของเม็ดดิน ดังสมการ

$$v = \frac{D^2(\rho_s-\rho_w)}{18\mu} \qquad (2.4.3.)$$

หรือ $$D = \sqrt{\frac{18\mu}{\rho_s-\rho_w}}\sqrt{\frac{h}{t}} \qquad (2.4.4.)$$

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดิน ,cm

ρ_s = ความหนาแน่นของเม็ดดิน ,g/cm^3

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ ,g/cm^3

μ = ความหนืด (Viscosity) ของน้ำ ,$g\text{-}sec/cm^2$

v = อัตราเร็วการตกตะกอน ,cm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4.2. ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (หน่วยเป็น millipoises)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.49	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

จากกฎการตกตะกอนของสโตรค (Stroke's Law) จะใช้ไฮโดรมิเตอร์สำหรับหาขนาดเม็ดดิน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลน (Specific Gravity of Suspension, 151H) และแบบอ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตรน้ำโคลน (Grams per Liter of Suspension, 152H) ไฮโดรมิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ควรเป็นชนิดที่มีสเกล อ่านค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.995 - 1.030 หรืออ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตรน้ำโคลนประมาณ 0-60 กรัม/ลิตร (แต่ในบทนี้จะใช้ไฮโดรมิเตอร์อ่านค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำโคลน คือ 151H เป็นหลัก)

การคำนวณหาขนาดเม็ดดิน (151H และ 152H)

$$D = K_2 \sqrt{\frac{H(cm)}{t(min)}} \quad ,mm \qquad (2.4.5.)$$

เมื่อ H = ระยะตกตะกอน (ซ.ม.)

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

K_2 = ค่าคงที่จากตารางที่ 2.4.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4.3. แสดงค่า K_2 สำหรับหาขนาดเม็ดดิน (Hydrometer 151H and 152H)

Temperature	Specific Gravity of Soil Particles								
(°C)	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.0121	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

การสอบเทียบ (Calibration) ไฮโดรมิเตอร์

วัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ H โดยแสดงออกมาในรูปกราฟ โดยเราจะทำการสอบเทียบ 2 ช่วงคือช่วง 0-2 นาทีแรกและช่วงที่นานกว่า 2 นาที

1.ช่วง 0 – 2 นาทีแรก

$$H = L + \frac{h}{2} \qquad (2.4.6.)$$

- หาค่า H โดยวางไฮโดรมิเตอร์ลงนอนเอาไม้บรรทัดวัดระยะจากจุดกึ่งกลางของกระเปาะไปยังค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ที่ก้าน 3 ค่า (เช่น 1.000, 1.010, 1.020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

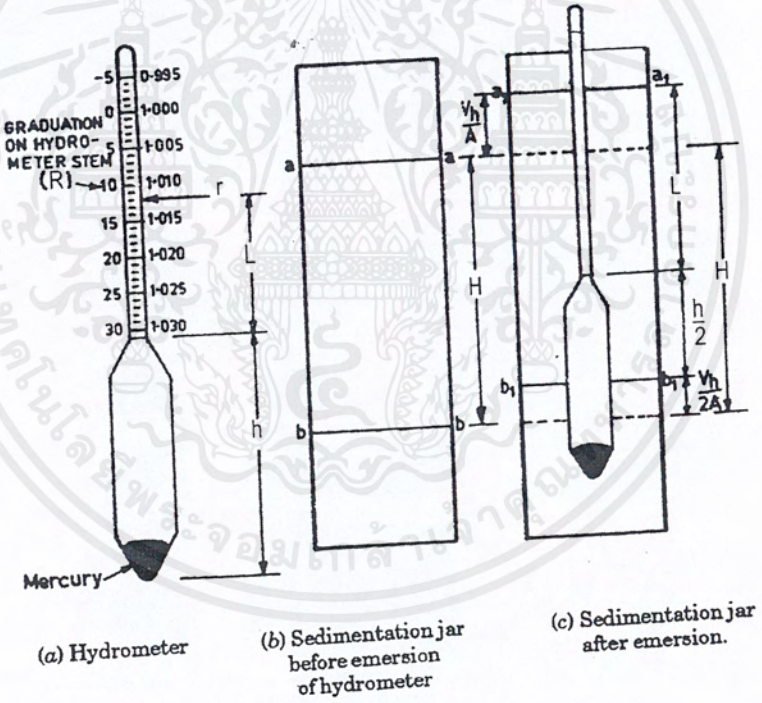
- นำค่าที่วัดได้(H)มาพล็อตกับค่าที่อ่านบนก้านไฮโดรมิเตอร์ R=1000(r-1) ต่อจุดด้วยเส้นตรง ได้กราฟ A สำหรับค่าอ่านจาก 0-2

2.ช่วงที่นานกว่า 2 นาที

- ทำการพล็อตกราฟ B สำหรับค่าอ่านในช่วงนานกว่า 2 นาที โดยลบกราฟ A ในแกน H ด้วย $\frac{V_h}{2A}$

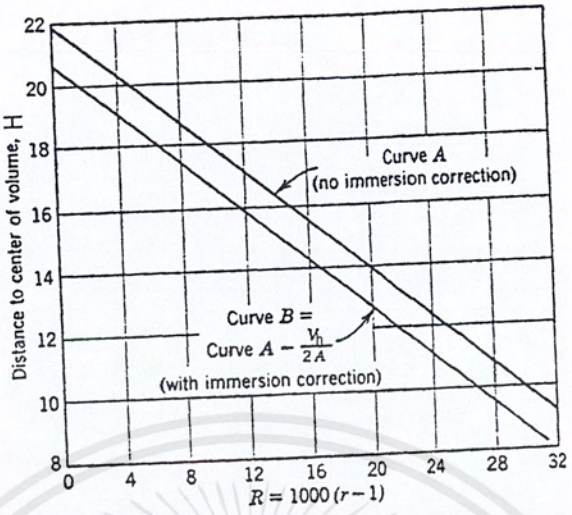
เมื่อ V_h = ปริมาตรกระเปาะ hydrometer

A = พื้นที่หน้าตัดกระบอกตกตะกอน



รูปที่ 2.4.2. แสดงผลของระดับน้ำก่อนและหลังจุ่ม hydrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า R

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer)ของเม็ดดิน (151H)

$$\%F = \frac{G_S}{G_S\text{-}1} \frac{R_c}{W_S} \times 100\ \% \qquad (2.4.7.)$$

เมื่อ G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ได้จากการทดลองเรื่องการหาความถ่วงจำเพาะของดิน)

W_S = น้ำหนักดินแห้ง ,g

R_c = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer)ของเม็ดดิน (152H)

$$\%F = \frac{R_c\, a}{W_S} \times 100\ \% \qquad (2.4.8.)$$

เมื่อ R_c = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

a = Correction Factor

W_S = น้ำหนักดินแห้ง ,g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4.4. แสดงค่า Correction Factor ,a สำหรับดินที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ (Hydrometer 152H)

Specific Gravity	Correction Factor,a
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.04

<u>การคำนวณเปอร์เซ็นต์ผ่านรวม</u>

ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่าน (%F) เป็นเพียงค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านเฉพาะการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์เท่านั้น ในกรณีที่นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ จะต้องหาเปอร์เซ็นต์ผ่านต่อส่วนของตัวอย่างดินทั้งหมดด้วย (รวมการวิเคราะห์ Sieve ด้วย)

$$\%F' = \%F \times \text{สัดส่วนดินผ่านเบอร์ 200 ของตัวอย่างดินทั้งหมด}$$
$$= \%F \times F_{200} \qquad (2.4.9.)$$

เมื่อ

$\%F_{200}$ = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

เมื่อนำค่า %F' และ D ไปเขียนจุดรวมกับผลการวิเคราะห์ด้วย Sieve จะได้โค้งที่ต่อกันประมาณบริเวณตะแกรงเบอร์ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแก้ค่า R ที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์

โดยทั่วไปเราจะมีตัวแปรที่เราจะต้องทำการปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ 3 อย่างด้วยกันคือ

1. Meniscus correction(C_m) เนื่องจากระยะโค้งน้ำ

วิธีการหาค่า C_m

- นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกน้ำเปล่า รอจนกระทั่งไฮโดรมิเตอร์อยู่นิ่ง
- อ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ระดับตา อ่านค่าสเกลครั้งแรกที่ระดับท้องน้ำหลังจากนั้นอ่านค่าสเกลที่ระดับผิวโค้งบนของน้ำ
- ค่าแก้โค้งผิวน้ำ(Meniscus correction,C_m)จะเท่ากับผลต่างของการอ่านค่าทั้งสอง

2. Temperature Correction(C_t) เนื่องจากผลของอุณหภูมิ โดยอ่านค่าจากกราฟในรูปที่ 4.5 หากอุณหภูมิช่วงที่เราอ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์(ในตอนทำการทดลอง)สูงกว่า 20 °C ค่า C_t จะมีค่าบวก หากอุณหภูมิน้อยกว่า 20 °C C_tจะมีค่าลบ

3. Disperison agent correction(C_d) เนื่องจากผลของการเติมสารกระจายตัวเม็ดดิน

วิธีการหาค่า C_d

- เตรียมกระบอกวัดอัตราการตกตะกอน 2 กระบอก กระบอกหนึ่งใส่น้ำกลั่น 1000 c.c. อีกกระบอกนำ Dispersing Agent ผสมกับน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาณ Dispersing Agent เท่ากับปริมาณที่ใช้ในการเติมลงในน้ำโคลนในตอนทำการทดลอง จากนั้นเติมน้ำให้มีปริมาตร 1000 c.c.
- นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกน้ำเปล่า อ่านค่าสเกลไฮโดรมิเตอร์ที่ผิวโค้งบนของน้ำหลังจากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกน้ำผสม Dispersing Agent อ่านค่าสเกลที่ระดับผิวโค้งบนของน้ำ
- ค่าปรับแก้เนื่องจากผลกระทบของสารช่วยกระจายตัว(Disperison agent correction,C_d) จะเท่ากับผลต่างของการอ่านค่าทั้งสอง

ค่าอ่านไฮโดรมิเตอร์หลังการปรับแก้ค่าแล้ว , R_c หาได้จากสมการ

$$R_c = R_a + C_m \pm C_t - C_d \qquad (2.4.10.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_a = 1000(r_a–1) ,(-5 ถึง 30) (สำหรับ 151 H)

r_a = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลน (อ่านที่ระดับโค้งบนผิวน้ำ) ,(0.995 ถึง 1.030) สำหรับ (151 H)

C_m = ผลกระทบจากระยะโค้งของผิวน้ำ

C_t = ผลกระทบจากอุณหภูมิ

C_d = ผลกระทบจากการเติมสารช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว

<u>หมายเหตุ</u>

สำหรับ Hydrometer แบบ 152H ค่าปรับแก้ต่างๆ คือค่าที่อ่านได้บนสเกลของไฮโดรมิเตอร์เลย (ไม่ต้อง –1 และคูณ 1000)

ตารางที่ 2.4.5. แสดงค่า Temperature Correction Factors , C_t

Temperature (°C)	C_t
15	-1.1
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
28	+2.50
29	+3.05
30	+3.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.วิธีการทดลอง

Sieve Analysis

ก.)การเตรียมตัวอย่างดิน

ตารางที่ 2.4.6. น้ำหนักดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

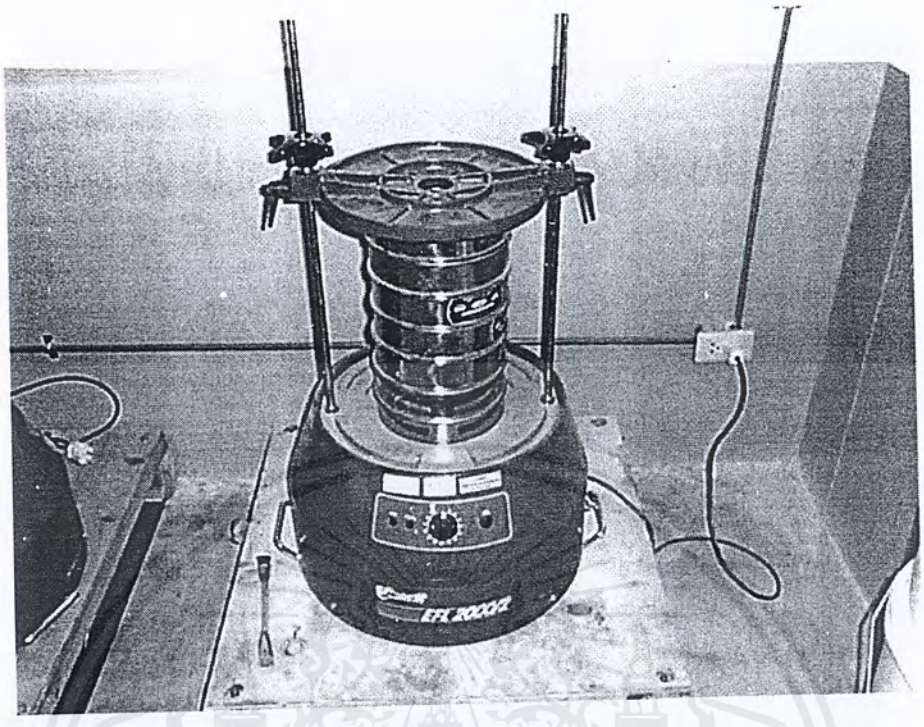
ขนาดเม็ดดินใหญ่สุด, นิ้ว	3/8	3/4	1	1 1/2	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย, กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

พิจารณาตารางที่ 2.4.6. แล้วนำตัวอย่างดินแห้งมาตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่สุด ถ้าเม็ดดินเกาะกันเป็นก้อนให้ใช้ฆ้อนยางทุบเม็ดดินให้แยกออกจากกัน นอกจากนี้เราต้องคัดตัวอย่างดินมาเป็นตัวแทนที่เป็นธรรมชาติมากที่สุด ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) กองวัสดุที่จะแยกบนผืนผ้าใบบนพื้นเรียบ เกลี่ยวัสดุให้กระจายออกจากกัน ใช้มือ หรือพลั่วขีดร่องแบ่งวัสดุ หรือใช้กล่องแบ่งตัวอย่างดิน

ข.)ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการเลือกตะแกรงจากใหญ่ไปหาตะแกรงขนาดเล็กลงไปประมาณครึ่งเท่า ซึ่งอาจจะเป็นตะแกรงเบอร์ $\frac{3}{4}$ นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 เบอร์ 200 และถาดรับ - ฝาปิด ตามลำดับ
2. ใช้แปรงลวดทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบ และตะแกรงขนาดละเอียดด้วยแปลงขนอ่อน เพื่อป้องกันน้ำหนักผิดพลาด นำตะแกรงแต่ละอันชั่งน้ำหนักไว้
3. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ มีขนาดพอเพียง ควรมีความแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบ จะได้ไม่เปลี่ยนน้ำหนัก
4. ใส่ตัวอย่างดินลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด ปิดฝาด้านบน และรองด้วยถาด (PAN) ด้านล่าง แล้วใช้เครื่องเขย่า(Sieve Shaker)ประมาณ 10 นาที
5. แยกตะแกรงแต่ละอันออกมาชั่งจะเป็นน้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.4. แสดงเครื่องเขย่าตัวอย่างดิน

Hydrometer Analysis

1. นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัม ผสมเข้ากับ Dispersing Agent (4% Sodium Hexa-Metaphosphate) แล้วเติมน้ำจนได้ส่วนผสมประมาณ 300-500 ลบ.ซม.
2. ใช้เครื่องปั่นไฟฟ้าปั่นส่วนผสมดินประมาณ 10 นาที แล้วเทลงในกระบอกสำหรับตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินออกจากเครื่องผสมให้หมดแล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตร 1000 ลบ.ซม.
3. ใส่น้ำกลั่นในกระบอกแก้วอีกอันหนึ่ง เพื่อใช้ล้างน้ำโคลนที่อาจจะติดไฮโดรมิเตอร์มาหลังจากการวัด(โดยจับที่ก้านไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในน้ำแล้วหมุนไปมา) และแช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด
4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกที่มีส่วนผสมดิน แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน วางลงแล้วเริ่มจับเวลาทันที
5. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำโคลนเพื่ออ่านค่า R_a ที่เวลา ¼, ½ ,1 และ 2 นาที ตามลำดับ (15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, และ 2 นาที) โดยไม่ต้องยกไฮโดรมิเตอร์ออกขณะอ่านค่าที่เวลาต่างๆ เมื่ออ่านค่าครบแล้วจึงยกไฮโดรมิเตอร์ออก และทำการวัดอุณหภูมิของน้ำโคลนด้วย
6. เขย่ากระบอกอีกครั้ง แล้ววัดค่า R_a ที่ 2, 5, 10, 20,… นาที (เพิ่มระยะเวลาอ่านครั้งต่อไปประมาณ 2 เท่า) จนกระทั่งค่าที่อ่านได้คงที่โดยประมาณจึงหยุดการทดลอง โดยทุกครั้งที่อ่านค่า R_a ให้วัด

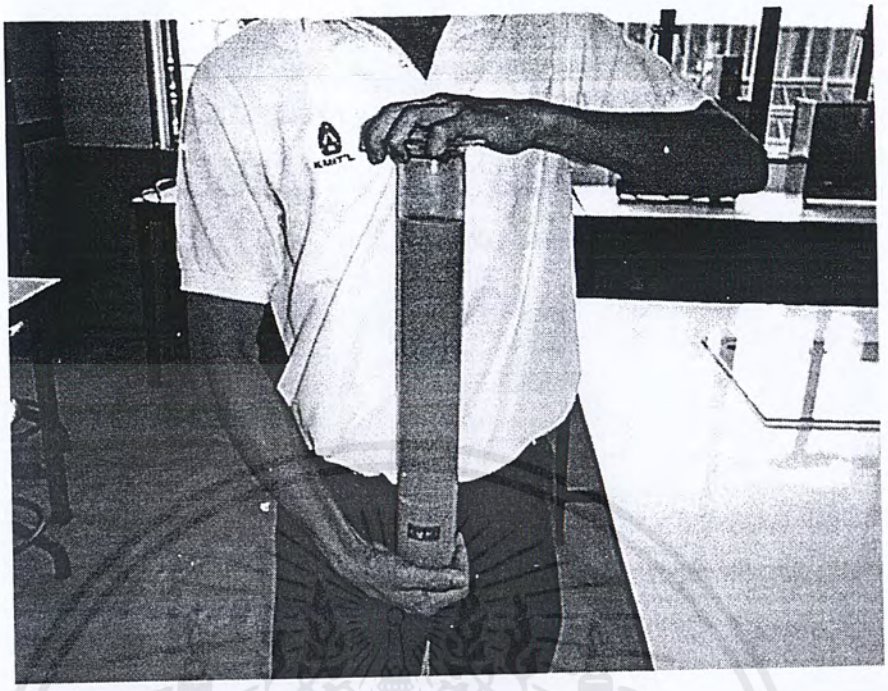
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของส่วนผสมน้ำโคลน แล้วบันทึกค่าไว้ หลังจากเสร็จการวัดค่าแต่ละครั้งให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้และปิดปากกระบอกด้วยจุกยาง

7. หลังจากทดลองเสร็จสิ้นแล้วให้เขย่ากระบอก เทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะ โดยต้องล้างดินที่ก้นกระบอกออกให้หมด แล้วนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้ง

รูปที่ 2.4.5. แสดงการปั่นตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

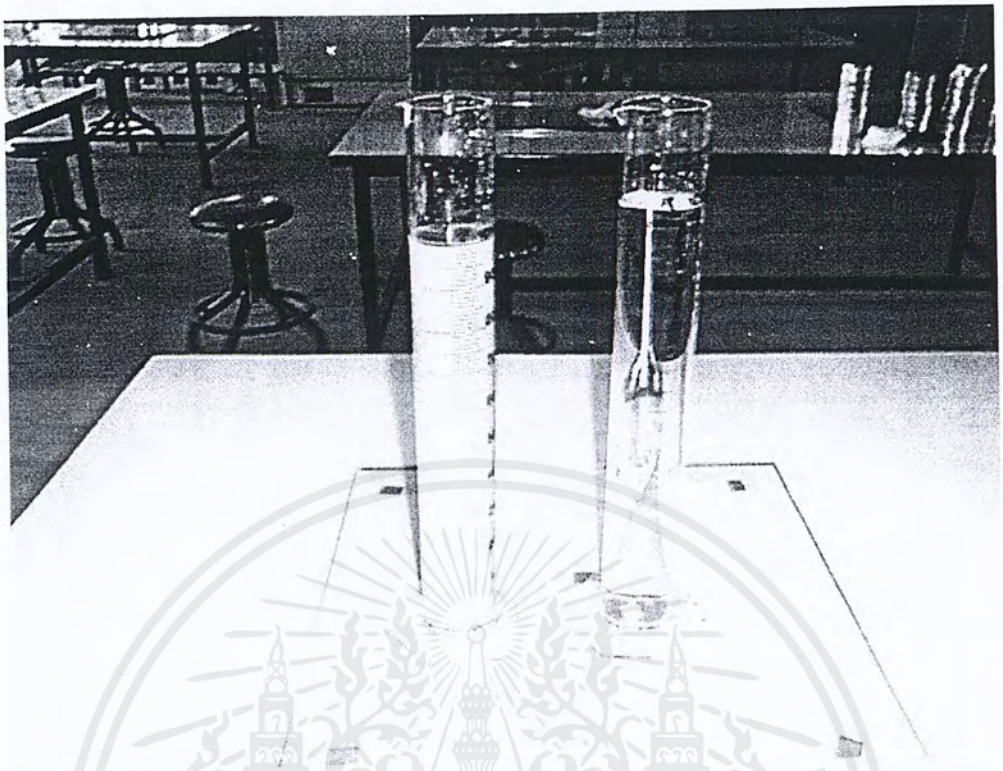


(ก)

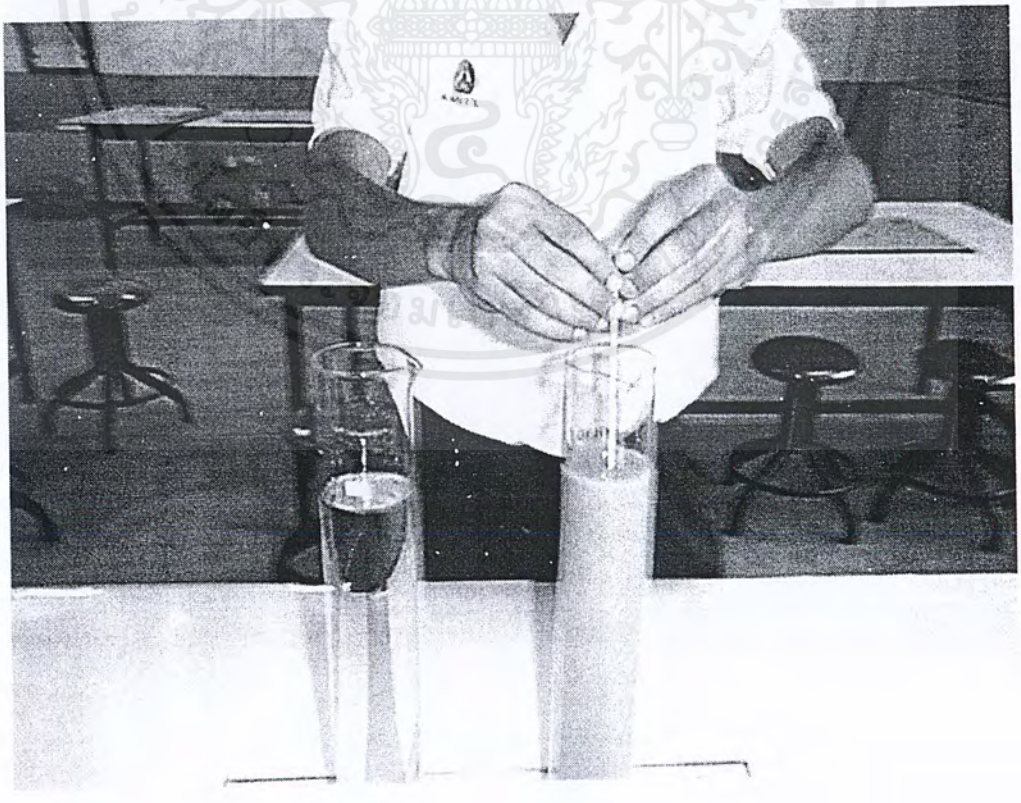
(ข)

รูปที่ 2.4.6. (ก),(ข) แสดงการเขย่ากระบอกตกตะกอนตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.7. แสดงการทิ้งให้ตัวอย่างดินตกตะกอนและการแช่ hydrometer ทิ้งไว้ในน้ำเปล่า



รูปที่ 2.4.8. แสดงการจุ่ม hydrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.การคำนวณผล

Sieve Analysis

1. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง $= \frac{\text{น้ำหนักดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100\ \%$
2. เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า
3. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง ,%Finer = 100 – เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

Hydrometer Analysis

1. ขนาดของเม็ดดิน (151H,152H)

$$(D) = K_2\sqrt{\frac{H(cm)}{t(min)}} \quad ,mm$$

เมื่อ H = ระยะตกตะกอน (ซ.ม.)

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

K_2= ค่าคงที่จากตารางที่ 2.4.3.

2. เปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (% Finer)

- การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer)ของเม็ดดิน (151H)

$$\%F = \frac{G_S}{G_S\text{-}1}\frac{R_c}{W_S} \times 100\ \%$$

เมื่อ G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ได้จากการทดลองเรื่องการหาความถ่วงจำเพาะของดิน)

W_S= น้ำหนักดินแห้ง ,g

R_c = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

- การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน(Percent Finer)ของเม็ดดิน (152H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%F = \frac{R_c\, a}{W_S} \times 100\ \%$$

R_c = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

a = Correction Factor

W_S= น้ำหนักดินแห้ง ,g

3. เปอร์เซ็นต์ผ่านรวม

$$\%F' = \%F \times F_{200}$$

เมื่อ $\%F_{200}$ = เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

2.4.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำความรู้ที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. ขนาดของเม็ดดินมีความสำคัญอย่างไรในงานวิศวกรรมโยธา
3. การทดลองอาจผิดพลาดได้เนื่องจากสาเหตุอะไรได้บ้าง
4. จงอธิบายถึงลักษณะดินชนิดต่างๆ ตามลักษณะของการกระจายตัวของเม็ดดิน ในกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SIEVE ANALYSIS

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION COARSE FINE SAND

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. SA-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE JULY 24,1999

GS OF SOIL	2.7
CONTAINER NO.	C-1
WEIGHT OF CONTAINER + DRY SOIL ,g	660
WEIGHT OF CONTAINER ,g	50
WEIGHT OF DRY SOIL ,g	610

REMARK:

SIEVE NO.	SIEVE OPENING mm	WT. OF SIEVE ,g	WT. OF SIEVE + SOIL ,g	WT. OF SOIL RETAINED ,g	CUMULATIVE RETAINED ,g	CUMULATIVE RETAINED ,%	PERCENT FINER ,%
4	4.75	98	114.8	16.77	16.77	2.75	97.25
10	2	101.14	153.77	52.63	69.4	11.38	88.62
20	0.85	96.64	195.14	98.5	167.9	27.52	72.48
40	0.425	92.12	385.85	293.73	461.63	75.68	24.32
100	0.15	86.59	206.64	120.05	581.68	95.36	4.64
200	0.075	86.66	98.46	11.8	593.48	97.29	2.71
PAN		67.43	84.05	16.52	610	100	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SIEVE ANALYSIS

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

GS OF SOIL		REMARK:
CONTAINER NO.		
WEIGHT OF CONTAINER + DRY SOIL ,g		
WEIGHT OF CONTAINER ,g		
WEIGHT OF DRY SOIL ,g		

SIEVE NO.	SIEVE OPENING mm	WT. OF SIEVE ,g	WT. OF SIEVE + SOIL ,g	WT. OF SOIL RETAINED ,g	CUMULATIVE RETAINED ,g	CUMULATIVE RETAINED ,%	PERCENT FINER ,%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HYDROMETER ANALYSIS (CALIBRATE)

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION COARSE FINE SAND

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. HD-1

CALIBRATED BY KANOON

OWNER _____

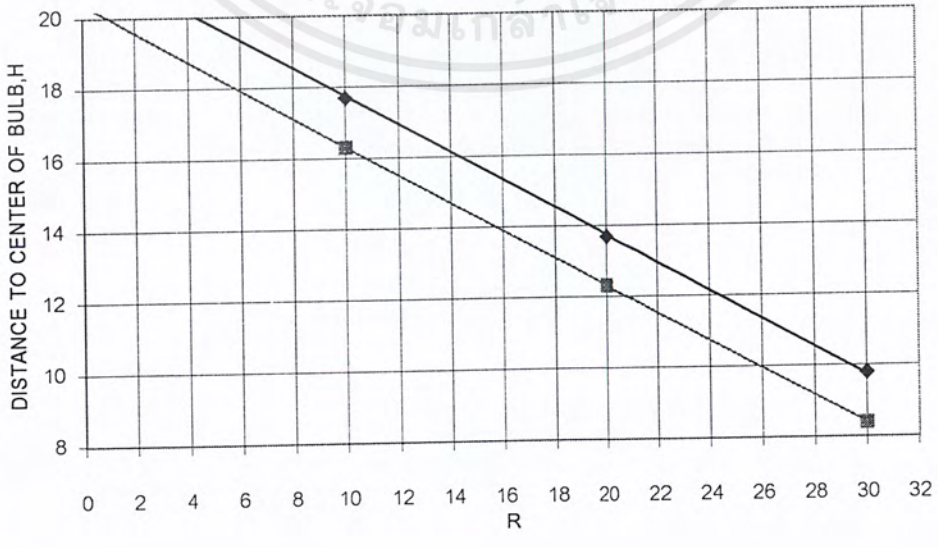
BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE JULY 24,1999

HYDROMETER NO.		7658944	HYDROMETER JAR NO.		9848A
HYDROMETER JAR DIAMETER		5.72 cm	HYDROMETER JAR CROSS SECTION,A		85.70 sq.cm.
INITIAL READING OF GRADUATE , V1		900 cc	VOLUME OF HYDROMETER V_h= V2-V1 = 70cc		
AFTER IMMERSION HYDROMETER,V2		970 cc			
HYDROMETER READING,r	LENGTH FROM TIP TO HYDROMETER READING, r (L+h) ,cm	HYDROMETER BULB LENGTH,h cm	R = 1000(r-1)	DISTANCE TO CENTER OF BULB, CURVE A ,H cm	DISTANCE TO CENTER OF BULB, CURVE B ,H-V_h/2A ,cm
1.000	29.3	15	0	21.8	20.4
1.010	25.2	15	10	17.7	16.3
1.020	21.3	15	20	13.7	12.3
1.03	17.3	15	30	9.8	8.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HYDROMETER ANALYSIS (CALIBRATE)

PROJECT _____ OWNER _____

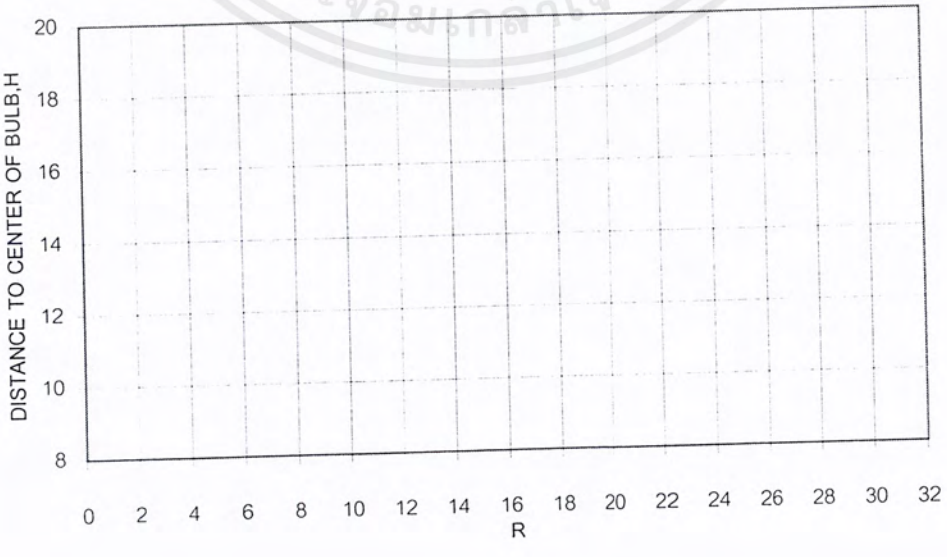
SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

CALIBRATED BY_____ DATE _____

HYDROMETER NO.			HYDROMETER JAR NO.		
HYDROMETER JAR DIAMETER			HYDROMETER JAR CROSS SECTION,A		
INITIAL READING OF GRADUATE , V1			VOLUME OF HYDROMETER		
AFTER IMMERSION HYDROMETER,V2			V_h= V2-V1 = _____cc		
HYDROMETER READING,r	LENGTH FROM TIP TO HYDROMETER READING, r (L+h) ,cm	HYDROMETER BULB LENGTH,h cm	R = 1000(r-1)	DISTANCE TO CENTER OF BULB, CURVE A ,H cm	CURVE B ,H-V_h/2A ,cm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HYDROMETER ANALYSIS

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION COARSE FINE SAND

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. HD-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE JULY 24,1999

GS OF SOIL	2.7	CAN NO.	C-1
HYDROMETER NO.	7658944	DRY SOIL + CAN ,g	150
HYDROMETER JAR NO.	9848A	CAN WT. ,g	100
MENISCUS CORRECTION	0.5	WT. OF DRY SOIL ,g	50
% FINER THAN NO.200	2.71		

DATE	TIME	ELAPSED TIME ,min	Ra	TEMP	Rc	N %	h cm	D cm	N' %
JULY 24,1999		0.25	53	28	50.5	99.99	7.5	0.066	2.71
		0.5	52.1		49.6	98.21	7.68	0.047	2.66
		1	51		48.5	96.03	7.85	0.036	2.6
		2	50.5		47.6	94.25	7.98	0.024	2.55
		4	50		47.5	95.04	8	0.017	2.55
	15:05	9	48		45.5	90.1	8.35	0.012	2.58
	15:12	16	46.8		44.3	87.71	8.54	0.009	2.44
	15:21	25	46		43.5	86.13	8.7	0.007	2.38
	15:32	36	45		42.5	84.15	8.85	0.006	2.33
	15:45	49	44.9		42.4	83.95	8.86	0.005	2.28
JULY 25,1999	15:15	1410	42.3		39.8	78.8	9.24	0.001	2.14
	15:40	1495	42.5		39.7	78.6	9.26	0.001	2.13
JULY 26,1999	12:00	2655	42		39.5	78.21	9.3	0.001	2.12
	15:00	9858	38.5		36	72.28	9.9	0	1.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HYDROMETER ANALYSIS

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION_____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

GS OF SOIL		CAN NO.	
HYDROMETER NO.		DRY SOIL + CAN ,g	
HYDROMETER JAR NO.		CAN WT. ,g	
MENISCUS CORRECTION		WT. OF DRY SOIL ,g	
% FINER THAN NO.200			

DATE	TIME	ELAPSED TIME ,min	Ra	TEMP	Rc	N %	h cm	D cm	N' %

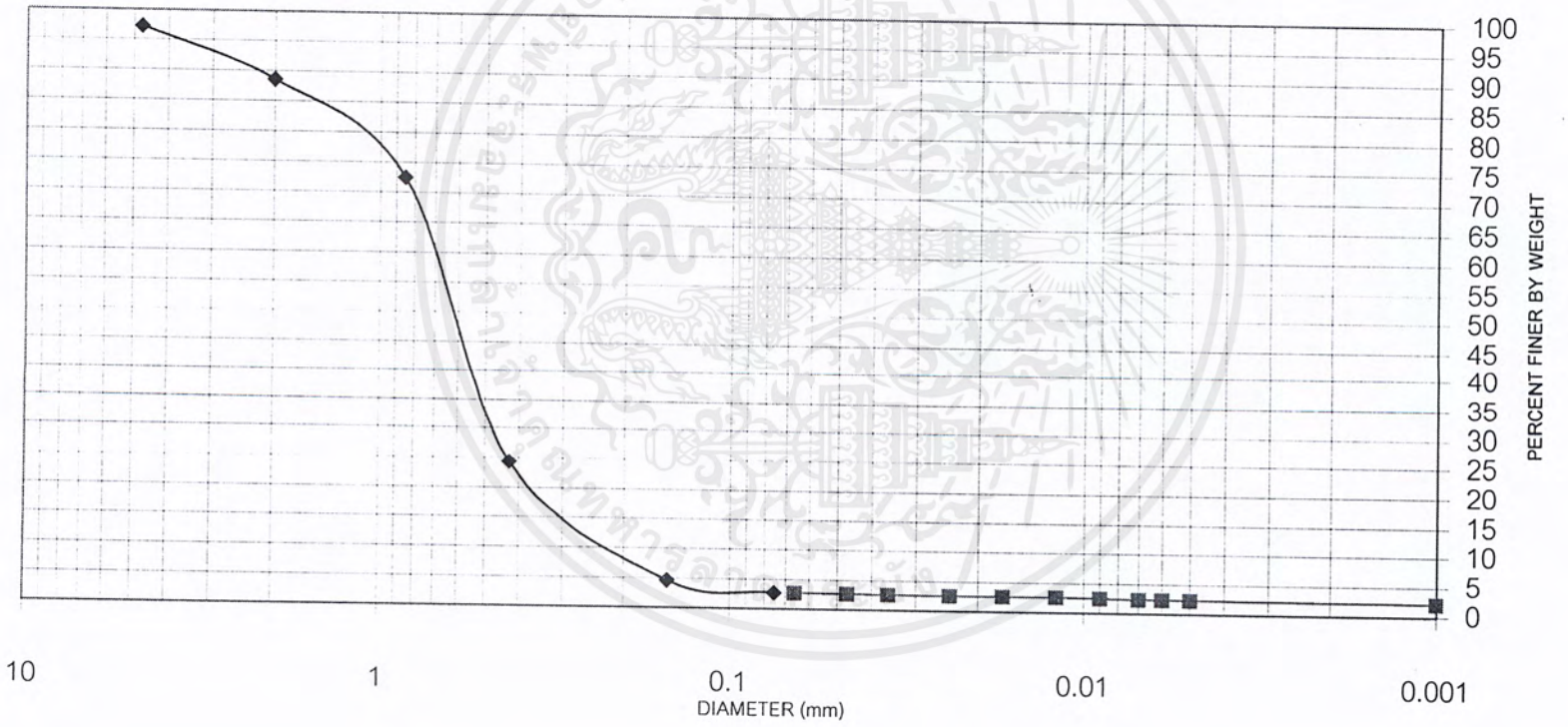
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

GRAIN SIZE ANALYSIS (DISTRIBUTION CURVE)



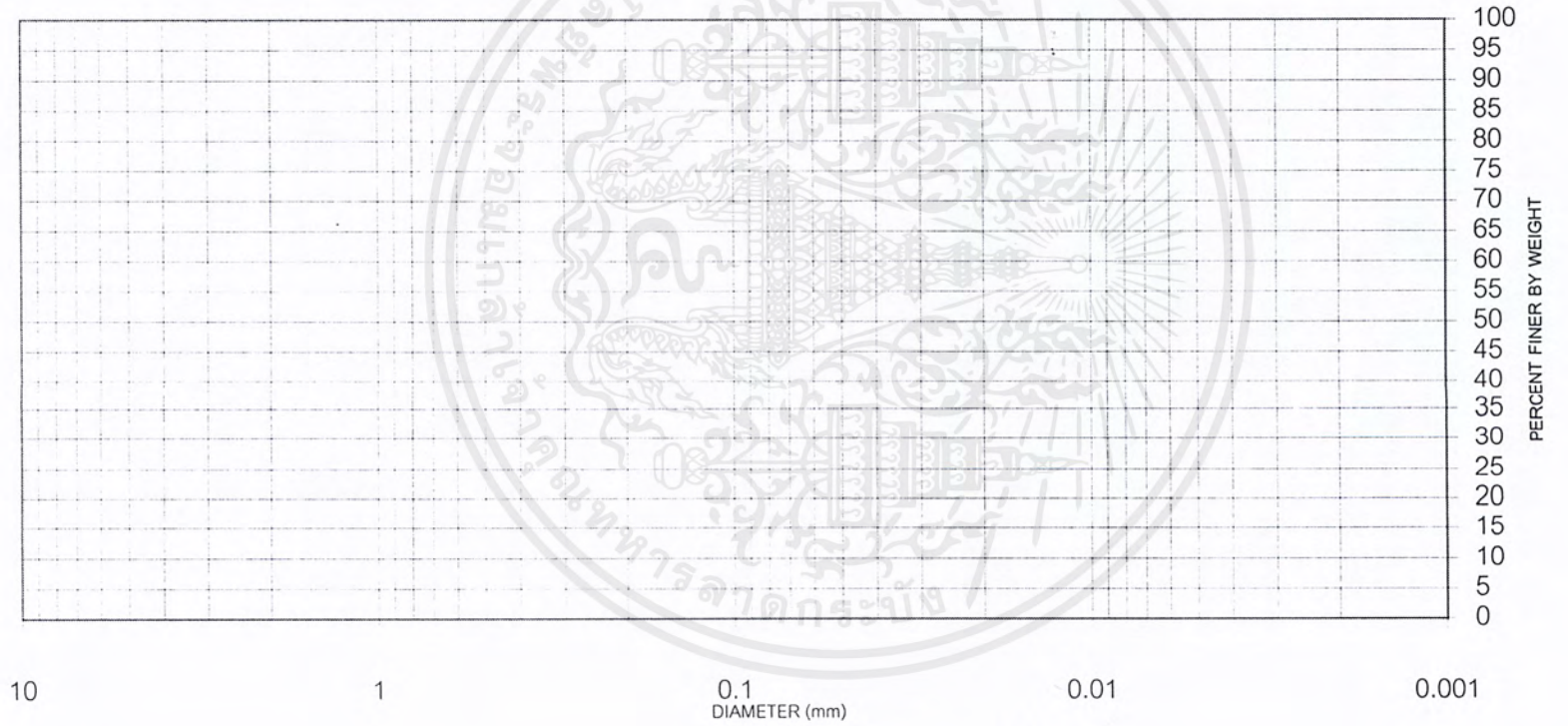
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

GRAIN SIZE ANALYSIS (DISTRIBUTION CURVE)



2.5.การบดอัดดิน(COMPACTION)

2.5.1.อ้างอิง: ASTM D 698 – 78,ASTM D 1557 – 78

2.5.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น (Moisture – Density Relations) ของดิน เมื่อถูกบดอัด
- เพื่อหาความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density)
- เพื่อหาความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content)

2.5.3.อุปกรณ์

1. แบบอัดดิน (Compaction Mold) ∅4" x 4.6" พร้อมปลอก (collar) และแผ่นฐาน (Base Plate)
2. แบบอัดดิน (Compaction Mold) ∅6" x 5.0" พร้อมปลอก (collar) และแผ่นฐาน (Base Plate)
3. ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ∅2" หนัก 5.5 lb ระยะตก 12"
4. ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ∅2" หนัก 10.0 lb ระยะตก 18"
5. ตะแกรงขนาดเบอร์ 4 และขนาด ¾ นิ้ว
6. ฆ้อนยาง แปรงอ่อนใช้ปัดดิน
7. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน
8. ถาดผสมดิน
9. ขวดฉีดน้ำ
10. ตาชั่ง

2.5.4.ทฤษฎี

การบดอัดดินคือการทำให้เม็ดดิน (soil particles) ถูกบีบอัดให้เข้าใกล้กันมากขึ้น ทำให้ช่องว่างในมวลดินน้อยลงโดยที่ความชื้นในดินยังคงที่ ในการบดอัดดินเราไม่สามารถทำให้ช่องอากาศหมดไปจากมวลดินได้ แต่สามารถทำให้มีช่องอากาศในปริมาณน้อยโดยใช้วิธีการและควบคุมการบดอัดอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RR. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความหนาแน่นของดินจากการบดอัดในห้องปฏิบัติการขึ้นมา ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เรียกว่า วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ซึ่งเหมาะกับการทดสอบดินในงานวิศวกรรมโยธาทั่วไป เช่น งานถนน สนามบิน เขื่อนดิน ฯลฯ แต่ในปัจจุบันยานพาหนะต่างๆ ที่ใช้ขนส่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น พื้นถนนจึงต้องใช้พลังงานในการบดอัดมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยเพิ่มพลังงานในการบดอัดให้สูงขึ้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับในสนามได้ วิธีทดสอบนี้เรียกว่า วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

ตารางที่ 2.5.1. เปรียบเทียบระหว่างวิธี Standard Proctor Test กับ Modified Proctor Test

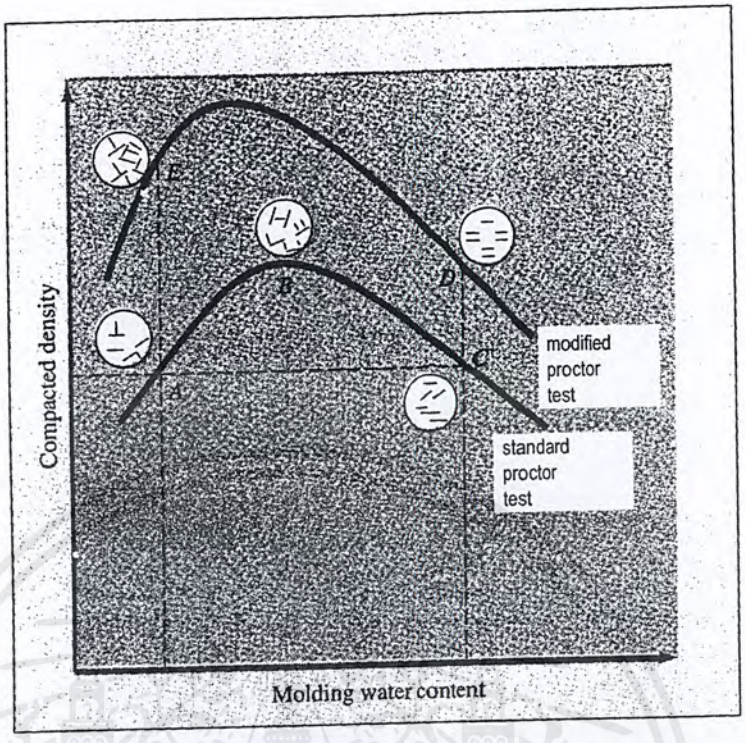
Using	Standard	Standard	Modified	Modified
Mold	∅4" x 4.6"	∅6" x 5"	∅4" x 4.6"	∅6" x 5"
Rammer	5.5 lb	5.5 lb	10 lb	10 lb
No. of layer	3	3	5	5
No. of blows per layer	25	56	25	56
Rammer fall	12 in	12 in	18 in	18 in
Compaction Energy	12375 ft – lb/ft^3	12375 ft – lb/ft^3	56250 ft – lb/ft^3	55986 ft – lb/ft^3

เมื่อเราทำการบดอัดดินโดยให้ความชื้นมากขึ้นการบดอัดจะดีขึ้น จนถึงจุดที่มีความชื้นพอเหมาะที่จะทำให้มีค่า dry density มีค่ามากสุด (Optimum Moisture Content,OMC) ซึ่งหากความชื้นมากกว่าจุดนี้ไปแล้วจะทำให้ความหนาแน่นของเม็ดดินน้อยลง เพราะปริมาณน้ำจะเข้าไปแทนที่เม็ดดินทำให้เกิดแรงผลักของน้ำ

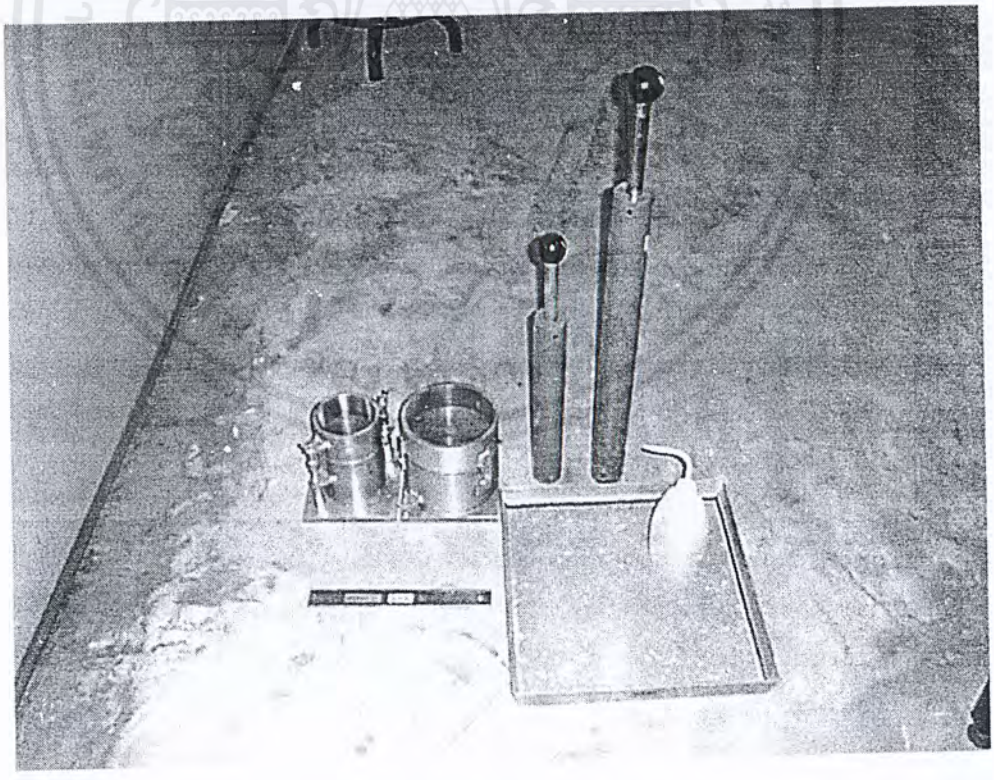
ค่าความหนาแน่นของดินที่บดอัดโดยวิธี Modified จะมีค่าสูงกว่าแบบ Standard โดยที่มีปริมาณความชื้นที่ใช้น้อยกว่า (ดูกราฟในรูปที่ 2.5.1.) และที่วิธีการบดอัดแบบเดียวกันเมื่อเราเพิ่มพลังงานให้กับดินมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการปล่อยตุ้มมากขึ้นในแต่ละชั้นของการบดอัด กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกัน โดยเส้นกราฟจะสูงขึ้นและขยับไปทางซ้าย และค่าความหนาแน่นสูงสุดจะเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณความชื้นจะลดลง

จากรูปที่ 2.5.1. จะสังเกตเห็นว่าเมื่อความชื้นในดินที่ใช้ในการบดอัดมากขึ้น การเรียงตัวของดินจะมีลักษณะขนานกันมากขึ้น ไม่เรียงกันระเกะระกะเหมือนตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5.1. แสดงปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของดินบดอัด



รูปที่ 2.5.2. แสดงชุดอุปกรณ์การบดอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบควรแห้งพอดี แต่ถ้าดินตัวอย่างชื้นเกินไปให้ผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการ หรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 °F (60 °C) จากนั้นใช้ฆ้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออก พยายามอย่าทุบก้อนดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียดหรือใช้เครื่องบด
2. แบ่งตัวอย่างดินโดยวิธี Quartering หรือแยกด้วยกล่องแยกดินเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดิน
3. พิจารณาขนาดเม็ดดิน ถ้าเม็ดดินมีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว ให้ร่อนดินทั้งหมดผ่านตะแกรง ¾ นิ้ว ส่วนที่ค้างทิ้งไป ถ้าเม็ดดินมีขนาดเล็กกว่า ¾ นิ้ว ให้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4
4. แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 5 kg สำหรับทดสอบกับ Mold ขนาด ∅4" x 4.6" และประมาณ 7 kg สำหรับทดสอบกับ Mold ขนาด ∅6" x 5"

ขั้นตอนการทดสอบ

Standard Proctor Test (ใช้ Mold ขนาด ∅4" x 4.6")
(เราอาจใช้ Mold ขนาด ∅6"x5" ก็ได้แต่ค่าต่างๆ ต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 2.5.1.)

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ Mold ด้วยเวอร์เนียร์แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรของ Mold
2. ชั่งน้ำหนักของ Mold ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ประกอบ Mold, collar และ base plate เข้าด้วยกัน แล้วนำไปวางบนพื้นคอนกรีตที่แข็งและเรียบ
4. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 kg มาผสมน้ำให้มีความชื้นห่างจากค่าความชื้นที่เหมาะสมที่เราประมาณไว้ประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ หรือหากเราไม่ได้ประมาณค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมไว้ก็ให้ผสมน้ำลงไปประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดิน จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน พยายามให้ทุกส่วนในดินมีปริมาณความชื้นที่เท่ากัน
5. ใช้ช้อนตักดินตักดินใส่ใน Mold ทีละชั้น โดยประมาณดินที่จะใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆ กัน แล้วใช้ Rammer ขนาด 5.5 lb บดอัดดินแต่ละชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง การยกตุ้มให้ยกก้านตุ้มฆ้อนขึ้นจนแตะฝาปลอกฆ้อนแล้วจึงปล่อยตุ้มอย่างอิสระ แต่ละครั้งในการปล่อยตุ้มให้เคลื่อนตำแหน่งฆ้อนวนไปทั่วๆ Mold ในชั้นสุดท้ายให้บดอัดดินเหลือพ้นส่วนบนของ Mold เล็กน้อย (ไม่เกิน 13 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ถอด collar ของ Mold ออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบ Mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดด้านนอก Mold แล้วถอด base plate ออก นำ Mold บรรจุดินไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันตัวอย่างดินออกจาก Mold ด้วยเครื่องดันดิน แล้วผ่าตรงกลางตัวอย่างดินตามแนวตั้ง แล้วนำตัวอย่างดินตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น โดยการนำไปชั่งแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบ
8. นำตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบให้ร่วนแล้วผสมกับตัวอย่างดินที่เหลือ แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 2% คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำการทดสอบตามข้อ 3-7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน Mold ที่ชั่งลดลงแล้วทำการทดสอบอีก 1-2 จุด ซึ่งจำนวนครั้งในการทดสอบทั้งหมดไม่ควรเกิน 5-6 ครั้ง

Modified Proctor Test (ใช้ Mold ขนาด $\varnothing$6" x 5")
(เราอาจใช้ Mold ขนาด $\varnothing$4" x 4.6" ก็ได้แต่ค่าต่างๆ ต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 2.5.1.)

1. ทำการบดอัดตามวิธีการเช่นเดียวกับแบบ Standard Proctor Test โดยใช้ rammer ขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง

2.5.6.การคำนวณผล

1. ความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet density) = $\frac{\text{น้ำหนักดินเปียก}}{\text{ปริมาตร Mold}} = \frac{W}{V}$ lb/ft^3 , g/cm^3

2. ความหนาแน่นแห้งของดิน (Dry density) , $\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)}$ lb/ft^3 , g/cm^3

เมื่อ W = น้ำหนักดินเปียก (Wet weight) ใน Mold lb, g
V = ปริมาตรของ Mold ft^3 , cm^3
w = ความชื้นของดิน (water content) , เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เรานำผลการทดสอบการบดอัดดินไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง
2. ทำไมจึงต้องมีการพัฒนาวิธีทดสอบแบบ Standard Proctor เป็นแบบ Modified Proctor
3. ผลการทดลองที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากสาเหตุอะไรบ้าง
4. เราจะเปรียบเทียบข้อมูลการบดอัดในห้องปฏิบัติการกับการทำงานในสนามได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION DARK GRAY CLAY

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. CP-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE MAY 24,1999

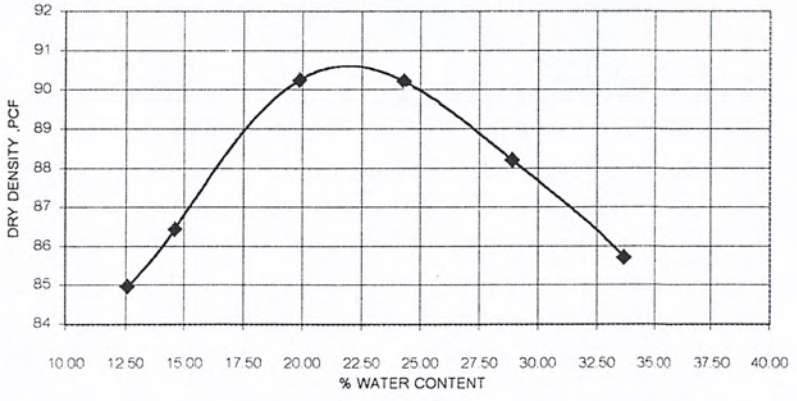
TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTO MOLD VOLUME 0.03298 CU.FT.

WATER CONTENT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
WET SOIL + CAN ,g	151.23	164.08	128.1	128.85	135.4	147.66
DRT SOIL + CAN ,g	138.05	147.44	112.44	110.18	112.55	118.83
WT. OF CAN ,g	33.15	33.35	33.65	33.31	33.44	33.15
WT. OF WATER ,g	13.18	16.64	15.66	18.67	22.85	28.83
WT. OF DRY SOIL ,g	104.9	114.09	78.79	76.87	79.11	85.68
% WATER CONTENT	12.56	14.58	19.88	24.29	28.88	33.65

DENSITY DETERMINATION:

WT. OF SOIL + MOLD ,g	3435	3490	3625	3685	3700	3700
WT. OF MOLD ,g	2006	2006	2006	2006	2006	2006
WT. OF SOIL IN MOLD ,g	1429	1484	1619	1679	1694	1694
WET DENSITY ,pcf	95.658	99.156	108.255	112.134	113.197	113.197
DRY DENSITY, pcf	84.98	86.445	90.254	90.214	88.207	85.722



OPTIMUM WATER CONTENT

O.M.C. = 22.30 %

MAXIMUM DRY DENSITY

Max Dry Density = 90.6 pcf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

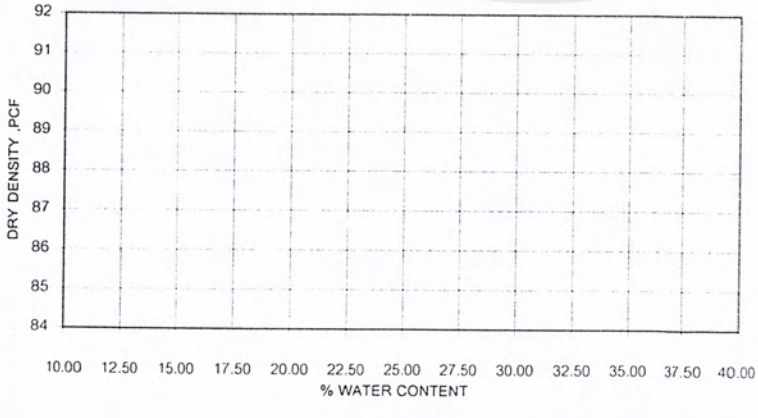
TYPE OF COMPACTION _____ MOLD VOLUME_____

WATER CONTENT DETERMINATION:

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
WET SOIL + CAN ,g						
DRT SOIL + CAN ,g						
WT. OF CAN ,g						
WT. OF WATER ,g						
WT. OF DRY SOIL ,g						
% WATER CONTENT						

DENSITY DETERMINATION:

WT. OF SOIL + MOLD ,g						
WT. OF MOLD ,g						
WT. OF SOIL IN MOLD ,g						
WET DENSITY ,pcf						
DRY DENSITY, pcf						



OPTIMUM WATER CONTENT

O.M.C. = _____

MAXIMUM DRY DENSITY

Max Dry Density = _____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช(CALIFORNIA BEARING RATIO : CBR)

2.6.1.อ้างอิง: ASTM D 1883

2.6.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังของดินบดอัดในค่าของ CBR

2.6.3.อุปกรณ์

การบดอัด (Compaction)

1. แบบอัดดินซีบีอาร์ (CBR Mold) ∅6" x 7" พร้อมปลอก (Collar) สูง 2" แผ่นฐาน (Base Plate) ปลอกตัดดิน (Cutting Collar) และแผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) ∅5.94" x 2.416" ด้านหนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบอัดดินถ้าติด
2. ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ∅2" หนัก 5.5 lb ระยะตก 12" สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และขนาด ∅2" หนัก 10.0 lb ระยะตก 18" สำหรับการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)
3. กระบอกตวงน้ำ ขนาด 250 – 500 cm^3
4. ขวดฉีดน้ำ
5. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน
6. ถาดผสมดิน
7. ตาชั่ง
8. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6" (150 mm)

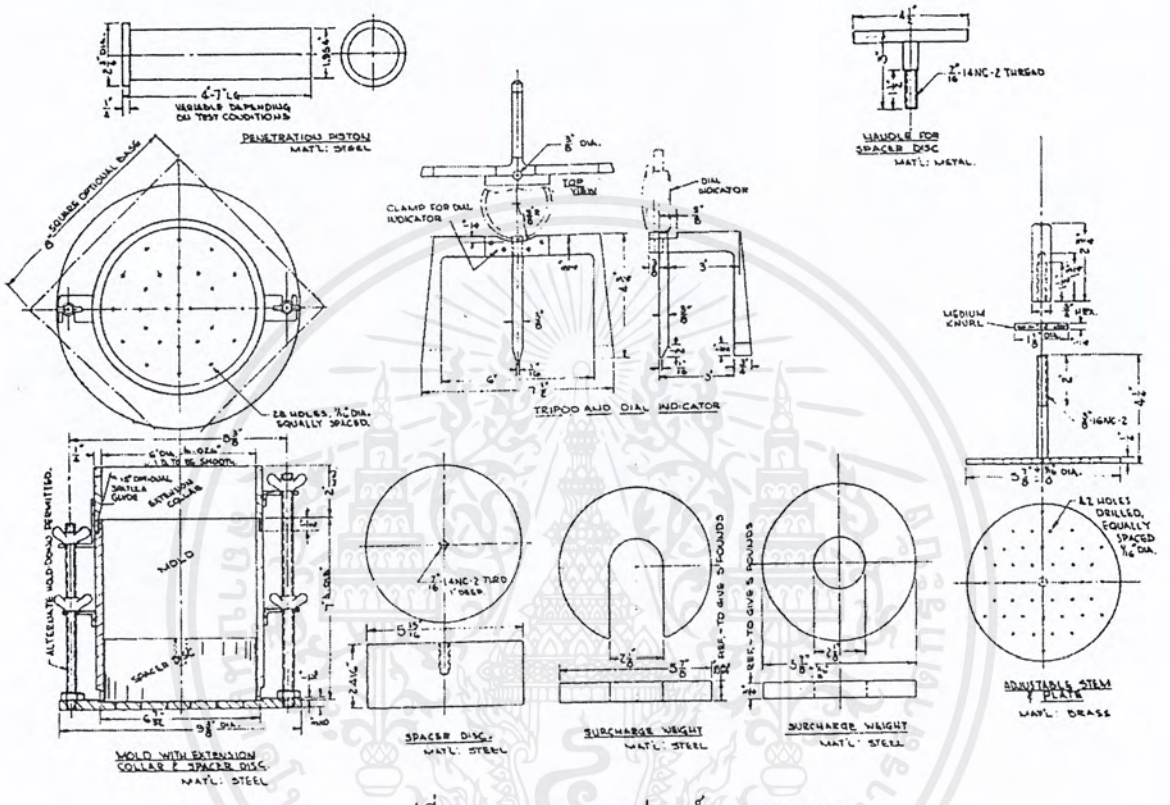
การวัดการบวมตัว (Swell Test)

1. สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod)
2. มาตรวัดการบวมตัว (Swell Dial Gauge)
3. แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) เจาะรูพรุน
4. แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) แบบวงแหวน (Annular Surcharge Weight) ขนาด10 lb หรือแบบผ่า (Split Surcharge Weight) ขนาด 5 lb
5. ถังแช่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกดทดสอบ (Penetration)

1. เครื่องกดแบบมือหมุน (Mechanical) หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Motorized)
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in^2 ยาวอย่างน้อย 4”
3. มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) และ Proving Ring สำหรับวัดแรง



รูปที่ 2.6.1. แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ CBR

2.6.4.ทฤษฎี

การทดสอบ CBR เป็นวิธีการหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่า เปอร์เซ็นต์ CBR เราสามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการปกติเราจะทำการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดที่ Optimum Moisture Content โดยใช้แท่งเหล็กกลมตัน (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที (1.25 มิลลิเมตรต่อนาที) แล้วนำค่า Unit Load ที่ได้จากการทดสอบนี้ (Test Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่างๆ ไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Standard Unit Stress ที่การยุบตัวเดียวกัน โดยค่าหน่วยแรงมาตรฐาน(Standard Unit Stress) เป็นค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

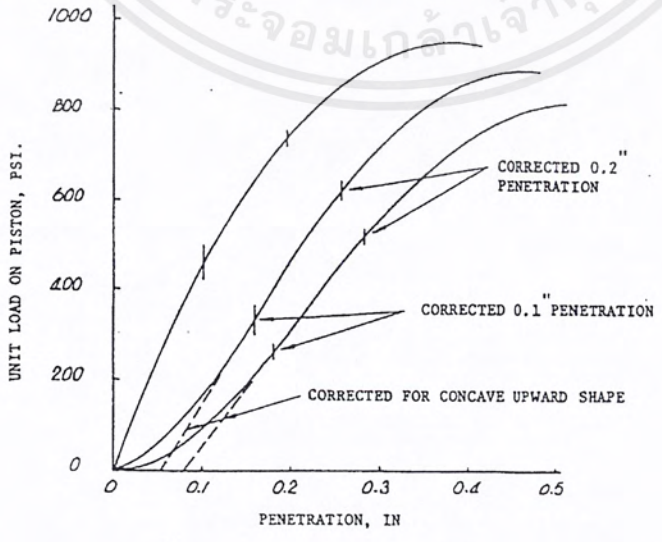
$$CBR = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100 \quad (\%) \qquad (2.6.1.)$$

ตารางที่ 2.6.1. แสดงค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่างๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm	in	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

โดยทั่วไปจะใช้ค่า CBR ที่ความลึกของการกด (Penetration) 0.1 นิ้ว แต่ถ้าค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วจะมีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว) และหากการทดสอบใหม่ได้ค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

การปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR (Correction to curve)

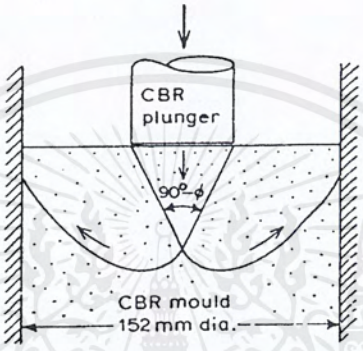


รูปที่ 2.6.2. แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ CBR เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างค่าหน่วยแรงกับค่ายุบตัว กราฟจะต้องได้โค้งที่มีส่วนของเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ถ้าส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ (Correct) โดยลากเส้นให้สัมผัสกับส่วนของเส้นตรงมากที่สุดมาตัดกับแกนนอนจะได้จุดเริ่มใหม่ (new origin) ค่ายุบตัว 0.1" และ 0.2" จะต้องเริ่มวัดจากจุดนี้ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 2.6.2.

ค่า CBR ยังสัมพันธ์กับกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกด้วย (แต่ไม่ใช่แรงเฉือนโดยตรง) โดยลักษณะการ Fail ของดินใต้ Piston จะเป็นดังรูปที่ 2.6.3.



รูปที่ 2.6.3. แสดงแนวของแรงเฉือนใต้ Piston

การทดสอบ CBR แบ่งได้ 2 แบบคือ

1. ทดสอบแบบแห้ง (Unsoaked Sample Test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดไว้แล้วทันที
2. การทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Sample Test) ให้ทำการทดสอบตัวอย่างดินที่หลังจากแช่น้ำแล้ว

การทดสอบแบบแช่น้ำมีจุดประสงค์เพื่อจำลองสภาพจริงในสภาพเมื่อเกิดน้ำท่วมขัง หรือในช่วงฤดูฝน และดูคุณสมบัติการบวมตัวของดิน

การทดสอบ CBR ในช่วงที่เราทำการกดทดสอบ (Penetration Test) และตอนที่เราแช่ตัวอย่างดินในน้ำ เราจะใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) บนตัวอย่างดินด้วยเพื่อจำลองน้ำหนักชั้นดินที่กดทับด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5.วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทิ้งตัวอย่างดินให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แล้วเลือกตัวแทนดินโดยการใช้กล่องแยกดิน หรือใช้วิธี Quartering จากนั้นนำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾" ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และนำดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ในจำนวนที่เท่ากันมาผสม
2. หา Optimum Moisture Content ตามการทดลองการบดอัดดินด้วยวิธี Modified Proctor Test

การบดอัด (Compaction)

1. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาประมาณ 12 kg แบ่งดินสำหรับการบดอัดตัวอย่าง 2 ตัวอย่างๆละประมาณ 6 kg และแบ่งตัวอย่างดินประมาณ 100 g หรือมากกว่า ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Initial Water Cotent)
2. เตรียม Mold ไว้ 2 ชุด พร้อมชั่งน้ำหนัก Mold แต่ละชุด
3. ประกอบ Mold เข้ากับ Base Plate และ Spacer Disc โดยให้ด้านที่มีรูเกลียวอยู่ข้างล่าง วางแผ่นกระดาษกรองบน Spacer Disc เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก ตั้งชุด Mold บนพื้นที่ที่เรียบและแข็งแรง
4. นำน้ำปริมาณมากกว่าที่ Optimum Moisture Content 2% (เพื่อเผื่อการระเหยและติดภาชนะ) ผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดิน โดยใช้ขวดฉีดน้ำ
5. ทำการบดอัดดินตามวิธี Modifield Proctor Test

<u>หมายเหตุ</u> วิธี Modifield Proctor Test (ASTM D 1557) :ใช้ตุ้มขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง

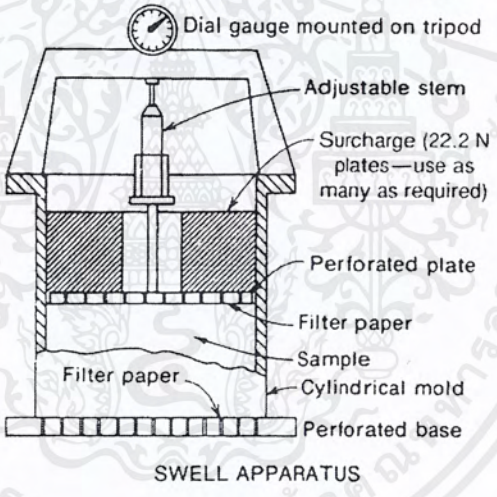
6. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้ว ถอด Collar ออก ใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินให้สูงเสมอขอบ Mold พร้อมซ่อมแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบ
7. ถอด Base Plate และ Spacer Disc ออก หลังจากนั้นนำ Mold และตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่น และนำตัวอย่างดินประมาณ 100 g หรือมากกว่า ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังการบดอัด
8. ทำการบดอัดตัวอย่างดินอีก 1 ตัวอย่างเพื่อนำไปแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่แช่น้ำ วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบน Base Plate และนำ Mold ที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ Base Plate โดยให้ขอบ Mold ด้านที่มีดินเสมอขอบวางบน Base Plate ให้ส่วน Mold ที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน

การแช่น้ำ (Soaking) เพื่อทดสอบการบวมตัวและจำลองสภาพจริงในสนาม

1. วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบน Perforated Base นำ Mold ที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ Perforated Base โดยให้ขอบ Mold ด้านที่มีดินเสมอขอบวางบน Perforated Base ดูรูปที่6.4
2. วางกระดาษกรองอีกแผ่นบนผิวตัวอย่างดินด้านบน จากนั้นวางแผ่น Perforated Plate ลงบนผิวตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับ Plate หลังจากแช่น้ำแล้ว
3. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) หนัก 10 lb หรือตามต้องการตามสภาพในสนามจริง

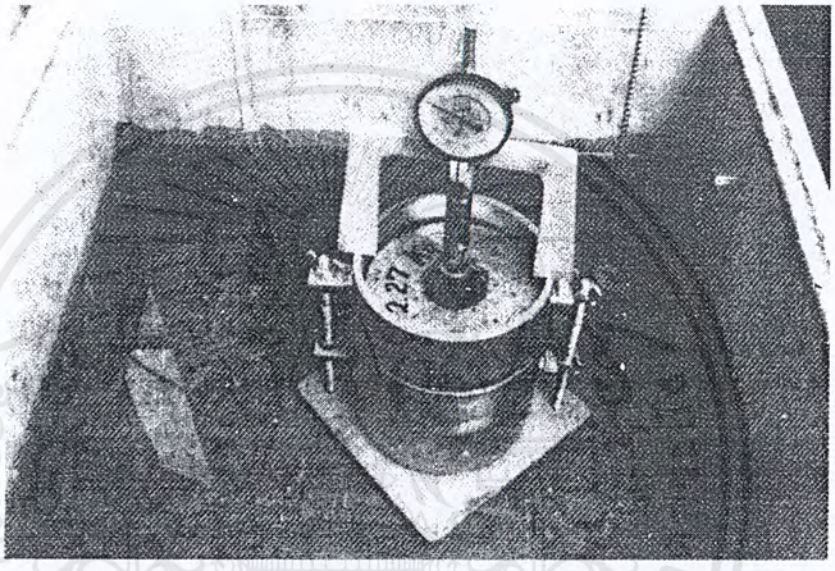


รูปที่ 2.6.4. แสดงภาพตัดชุดอุปกรณ์หาการบวมตัวของดิน

4. แช่ Mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 3 ในภาชนะที่เตรียมไว้โดยให้น้ำท่วม Surcharge Weight ประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำ Dial Gauge ไปยึดกับ Tripod แล้วนำไปวางบน Mold พร้อมกับจัดปลายของ Dial Gauge ให้แตะสัมผัสกับก้าน Swelling Plate เพื่อใช้วัดอัตราการบวมตัวของดิน
5. อ่านค่าบวมตัวจาก Dial Gauge วันละ 1 ครั้ง จนกว่าการบวมตัวจะหยุดหรือมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือประมาณ 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจากครบกำหนด อ่านค่า Dial Gauge ครั้งสุดท้าย ยก Mold ขึ้นจากน้ำแล้ววางทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก Mold จนหมด เอา Tripod และ Perforated Plate ออก แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
7. นำตัวอย่างดินไปทำการกดทดสอบ



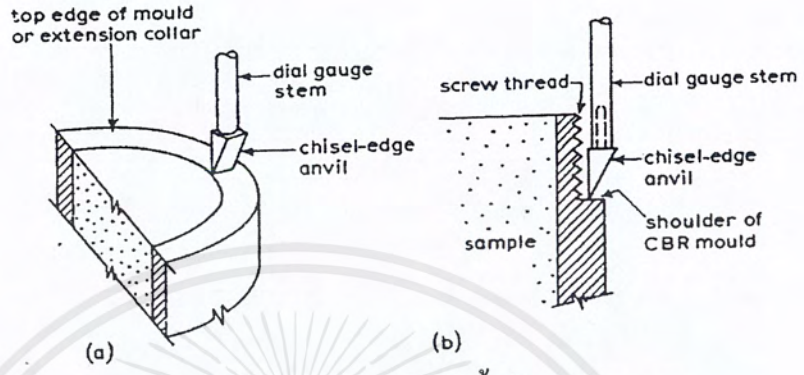
รูปที่ 2.6.5. แสดงการแช่ชุดทดสอบในอ่างน้ำเพื่อทดสอบการบวมตัว

การกดทดสอบ(Penetration)

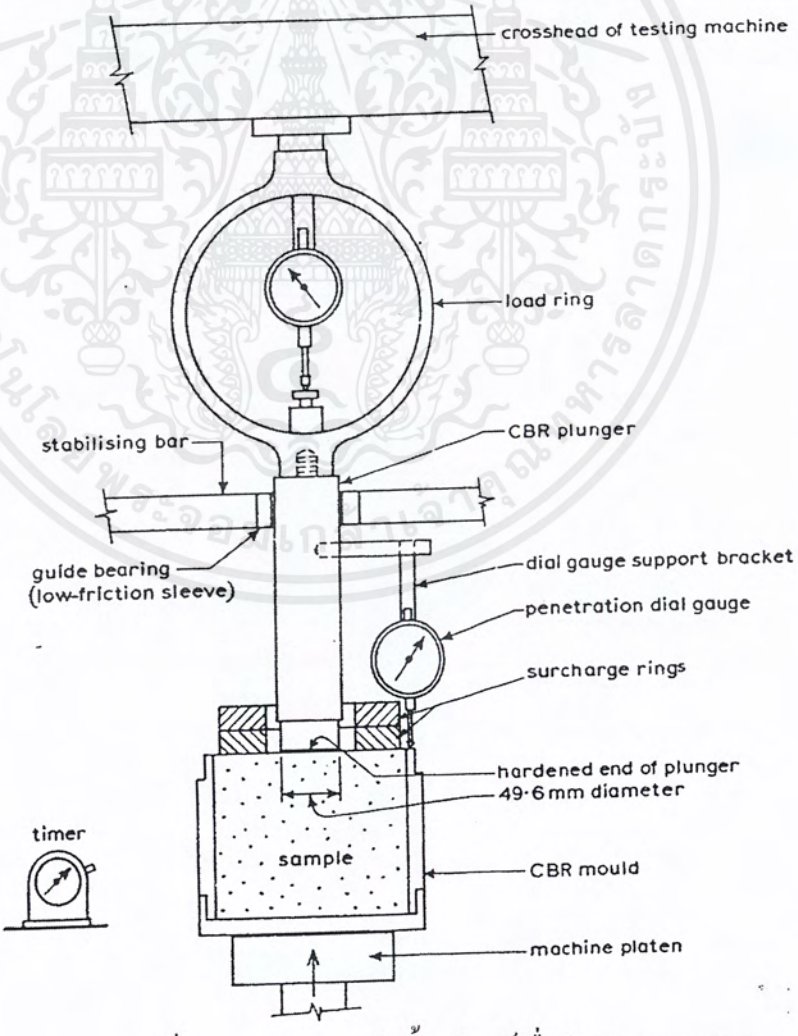
1. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) อย่างน้อย 10 lb ลงบนตัวอย่างดินใน Mold
2. จัดวาง Mold พร้อมตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งมี Piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ โดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินใน Mold แตะสัมผัสกับ Piston ดังกล่าว
3. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดการยุบตัวเข้ากับ Piston หรือฐานของ Proving Ring จัดปลาย Dial Gauge ให้ชนเสมอขอบ Mold จากนั้นปรับมาตรหน้าปัดของ Dial Gauge และ Proving Ring ให้เป็นศูนย์
4. เริ่มกดทดสอบโดยใส่แรงกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่า Load ที่ตรงกับการยุบตัว (Penetration) 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.225, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400 และ 0.500 นิ้ว จึงหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำ Mold ออกจากเครื่องทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับดินชนิด Finc Grained Soil หรือประมาณ 500 กรัม สำหรับดินชนิด Coarse Grained Soil เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

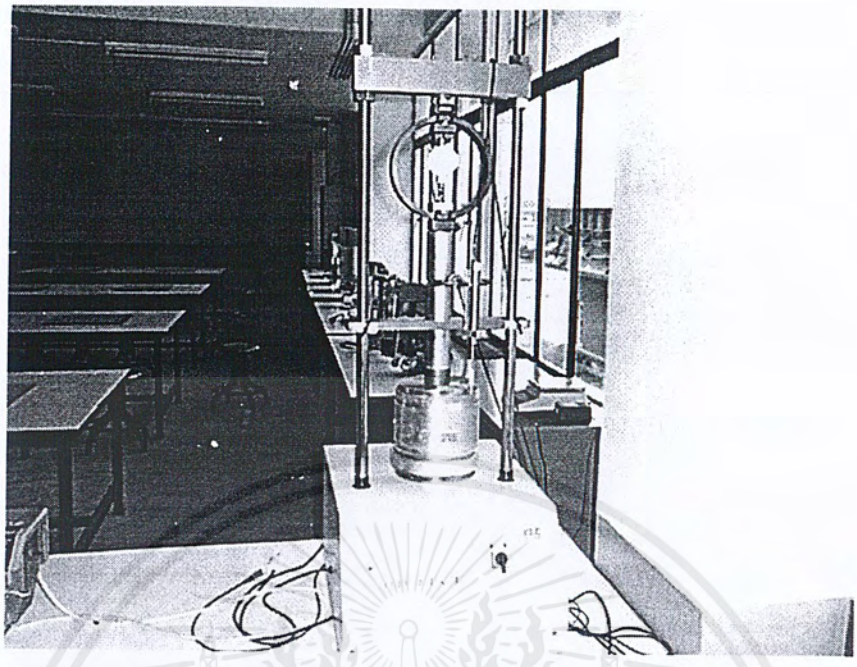


รูปที่ 2.6.6. แสดงการติดตั้งปลาย dial gauge



รูปที่ 2.6.7. แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการกดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6.8. แสดงการทดสอบ CBR

2.6.6.การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

$$\text{Test Unit Stress} = \frac{\text{Test Unit Load (lb)}}{3\ (\text{in}^2)} \quad \text{psi} \qquad (2.6.2.)$$

$$\text{Test Unit Load} = R \cdot K$$

เมื่อ R = ค่าอ่านบน Dial Gauge ของ Proving Ring ,ขีด (0.0001 นิ้ว หรือ 0.002 มม)

K = ค่าคงที่ของ Proving Ring ,lb ต่อขีด หรือ kg ต่อขีด

2. Plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Test Unit Stress กับค่า Penetration จากทั้งตัวอย่างดินแบบ Unsoaked และ Soaked Sample ลงบนกราฟเดียวกัน พร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีการปรับแก้ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อ่านค่า Test Unit Stress จากกราฟที่ค่า Penetration 0.1 นิ้วและ 0.2 นิ้ว และคำนวณหาค่า CBR

$$CBR = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100 \quad (\%)$$

ค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration 0.1 และ 0.2 นิ้ว แสดงไว้ในตารางที่ 2.6.1.

ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วควรจะมีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว ถ้าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (Retest) หากการทดสอบใหม่ยังได้ค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

4. คำนวณค่าการบวมตัว (Swell)

$$\text{ค่าบวมตัว} = \frac{\text{ค่าบวมตัวระหว่างแช่น้ำ}}{\text{ความสูงตัวอย่าง}} \times 100 \quad (\%) \qquad (2.6.3.)$$

5. คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (Dry Density) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ของแต่ละตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบการบดอัดดิน
6. คำนวณค่าซึมซับได้ (Absorption)

$$\text{ค่าซึมซับได้} = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \quad (\%)$$

$$= \frac{W_a(100+w)}{W} \quad (\%) \qquad (2.6.4.)$$

เมื่อ W_a = น้ำหนักน้ำซึมซับ ,g

W = น้ำหนักดินชื้น ,g

w = ความชื้น ,%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. ทำไมเราถึงเลือกน้ำหนักขนาด 10 lb ในการกดทับตัวอย่าง
2. เราสามารถนำค่า CBR ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านใดได้บ้าง
3. จงหาตารางแสดงค่า CBR ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานถนนของประเทศไทย โดยแบ่งตามประเภทชั้นทาง
4. การทดลองจะเกิดข้อผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนจากสาเหตุใดบ้าง อธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION COMPACT SOIL

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. CBR-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 1.2 m

SAMPLE NO. 1

DATE JUNE 10,1999

COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:

MOLD NO.	M-1	M-2
COMPACTION TYPE	MODIFIED PROCTOR	MODIFIED PROCTOR
NO. OF LAYER	5	5
BLOW/LAYER	56	56
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15	15
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	12.5	12.5
VOLUME OF SAMPLE ,cc	2208.93	2208.93
WT. WET SOIL ,g	4640.65	4622.44
WT. DRY SOIL ,g	4416.55	4398.52
WET DENSITY ,T/m^3	2.101	2.093
WATER CONTENT ,%	5.074096297	5.09080327
DRY DENSITY ,T/m^3	1.999	1.991

SWELL DATA: MOLD M-1

DATE	ELAPSE TIME	DIAL READING(DIV)	%SWELL		
JUNE 10,1999	0 hr.	0.0	0.00		
	24 hr.	10.0	0.08		
	48 hr.	12.0	0.10		
	72 hr.	12.0	0.10		

AFTER SOAKING:

MOLD NO.	M-1	REMARK:
SURCHARGE ,lb	10	
INITIAL WT. WET SOIL + MOLD + BASE ,g	4558.3	
FINAL WT. WET SOIL + MOLD + BASE ,g	4597.3	
WT. OF MOLD + BASE PLATE ,g	2004.8	
INTIAL WT. OF WET SOIL ,g	2553.5	
WT. OF WATER ABSORBED ,g	39	
% WATER ABSORBED	0.883	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชนด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:

MOLD NO.		
COMPACTION TYPE		
NO. OF LAYER		
BLOW/LAYER		
DIAMETER OF SAMPLE ,cm		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm		
VOLUME OF SAMPLE ,cc		
WT. WET SOIL ,g		
WT. DRY SOIL ,g		
WET DENSITY ,T/m^3		
WATER CONTENT ,%		
DRY DENSITY ,T/m^3		

SWELL DATA: MOLD M-1

DATE	ELAPSE TIME	DIAL READING(DIV)	%SWELL		

AFTER SOAKING:

MOLD NO.	
SURCHARGE ,lb	
INITIAL WT. WET SOIL + MOLD + BASE ,g	
FINAL WT. WET SOIL + MOLD + BASE ,g	
WT. OF MOLD + BASE PLATE ,g	
INTIAL WT. OF WET SOIL ,g	
WT. OF WATER ABSORBED ,g	
% WATER ABSORBED	

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION COMPACT SOIL

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 1.2 m

TEST NO. CBR-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE JUNE 10,1999

CBR LOAD TEST DATA:

PENETRATION ,in	MOLD NO. M-1		MOLD NO. M-2	
	TYPE SOAKED		TYPE UNSOAKED	
	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)
0.000	0	0	0	0
0.025	200	66.67	300	100
0.050	290	96.67	650	216.67
0.075	400	133.37	1000	333.33
0.100	500	166.67	1220	406.67
0.150	680	226.67	1250	416.67
0.200	900	300	2000	666.67
0.250	1150	383.33	2350	783.33
0.300	1250	416.67	2500	833.33
0.400	1650	550	2900	966.67
0.500	2000	666.67	3200	1066.67

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

CBR LOAD TEST DATA:

PENETRATION ,in	MOLD NO. _____		MOLD NO. _____	
	TYPE _____		TYPE _____	
	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.การหาความหนาแน่นของดินในสนาม(FIELD DENSITY TEST)

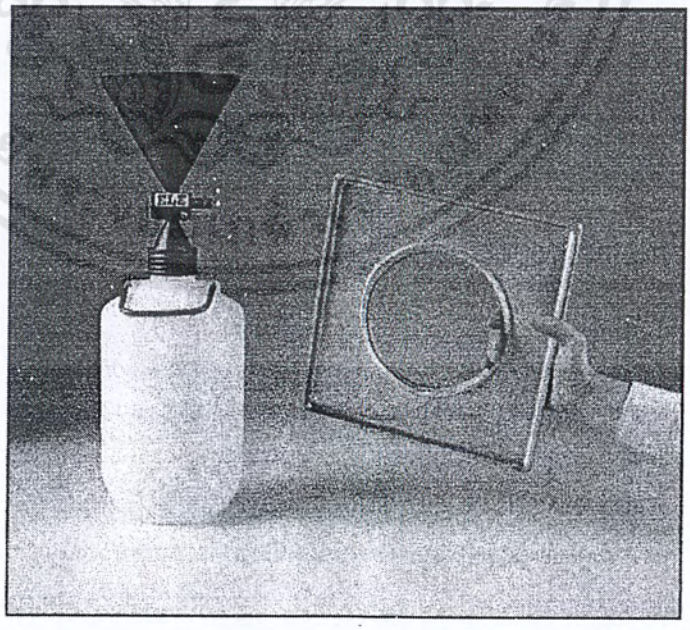
2.7.1.อ้างอิง: ASTM D 1556

2.7.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม

2.7.3.อุปกรณ์

1. Sand-cone apparatus ดังแสดงในรูปที่ 2.7.1.
2. Ottawa sand หรือทรายที่มีเม็ดกลมและมีขนาดเท่าๆ กัน (หากไม่มีทราย Ottawa สามารถใช้ทรายปกติที่ร่อนผ่านตะแกรง No.20 และค้างบน No.40 ผ่านการล้างและอบแห้ง แทนก็ได้)
3. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 g
4. อุปกรณ์ขุดดิน (สิ่วเจาะดิน ค้อน ช้อนตักดิน)
5. กระป๋องหรือถาดสำหรับใส่ดิน



รูปที่ 2.7.1. แสดงอุปกรณ์ Sand-Cone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.ทฤษฎี

ในการบดอัดดินในสนามเช่นงานถนน สนามบิน หรืองานเขื่อน จะต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นในดินรวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการบดอัดให้ใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ดูรายละเอียดในเรื่องการบดอัดดิน) เพื่อให้ดินมีความหนาแน่นตามที่เราต้องการ ในการหาความหนาแน่นของดินในสนามเป็นการทดสอบเพื่อดูว่าดินได้ความหนาแน่นตามมาตรฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยถือว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการเป็นค่าความหนาแน่นมาตรฐาน 100% ส่วนค่าความหนาแน่นในสนามที่ได้จากการทดลองนี้ จะนำไปเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นในห้องทดลอง เรียกว่าเปอร์เซ็นต์บดอัดหรือค่าบดอัดสัมพัทธ์ (Relative Compaction) ข้อกำหนดรายละเอียด (Specification) จะกำหนดเปอร์เซ็นต์บดอัดของงานแต่ละงานไว้ เช่นเปอร์เซ็นต์การบดอัดสำหรับงานบดอัดชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ของถนนจะต้องไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) เป็นต้น

วิธีการหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยใช้วิธี Sand Replacement Method หรือวิธีหาความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone) ทำได้โดยการขุดดินบริเวณที่บดอัดเสร็จแล้ว และนำมวลดินที่ขุดออกมาไปชั่งหาน้ำหนัก แล้วหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุด ซึ่งหาได้โดยการนำทรายที่รู้ความหนาแน่นใส่ลงไปในหลุม ปริมาตรของทรายที่ลงไปแทนที่ดินในหลุม ก็คือปริมาตรของหลุมนั่นเอง

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักของดินชื้นที่ขุดจากหลุมทดสอบ}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \qquad (2.7.1.)$$

และเมื่อนำดินที่ขุดจากหลุมไปหาปริมาณความชื้น จะสามารถหาหน่วยน้ำหนักแห้งของดินได้จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{(1+w)} \qquad (2.7.2.)$$

เมื่อ w = ความชื้นของดิน ,เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของดินมีความถูกต้องมากขึ้น ASTM จึ้งได้แนะนำปริมาตรของหลุมและปริมาณดินตัวอย่างดินที่เหมาะสมสำหรับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดิน ซึ่งจะช่วยให้ค่าปริมาตรของหลุมมีความถูกต้องมากขึ้น (หากตัวอย่างดินที่ทดสอบมีดินขนาดเม็ดใหญ่อยู่มากจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ใหญ่กว่าดินที่มีขนาดเล็ก เพราะฉะนั้นหากเราขุดโดยมีปริมาตรหลุมที่เล็กจะทำให้ความหนาแน่นของดินที่หาได้คลาดเคลื่อน)

ตารางที่ 2.7.1. แสดงปริมาตรของหลุมและปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทดสอบ

ขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินตามขนาดตะแกรง	ปริมาตรของหลุมอย่างน้อย cm^3 (ft^3)	น้ำหนักของดินอย่างน้อยที่จะนำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (g)
No.4	700 (0.025)	100
12 mm	1400 (0.050)	250
25 mm	2100 (0.075)	500
50 mm	2800 (0.100)	1000

2.7.5.วิธีการทดลอง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือขั้นตอนการ Calibrate และขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการ Calibrate

การ Calibrate หาน้ำหนักของทรายในกรวยและในแผ่น base plate

1. ใส่ทรายลงในขวด Sand cone อย่างน้อยค่อนขวด นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W_a
2. เลือกพื้นที่ราบเรียบ แล้ววาง Base plate ลง จากนั้นคว่ำขวดให้กรวยวางลงบน base plate
3. เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงสู่กรวยอย่างอิสระ และปิดวาล์วเมื่อทรายหยุดไหล
4. นำขวดและทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W_b
5. หาน้ำหนักทรายในกรวยและในแผ่น base plate (W_3) ได้จาก $W_3 = W_a - W_b$
6. ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Calibrate หาความหนาแน่นของทราย

1. ชั่งน้ำหนักของ Sand cone apparatus (ไม่รวม base plate) บันทึกค่าเป็น W_c
2. วางขวดให้กรวยหงายขึ้น เปิดวาล์วแล้วเททรายลงในขวดผ่านกรวย โดยเทให้ทรายไหลโดยอิสระและสม่ำเสมอ และความสูงของการเทควรประมาณเท่าๆ กับความสูงของหลุมที่จะทดสอบในสนาม เทจนกระทั่งทรายเต็มขวด ปิดวาล์ว แล้วเททรายส่วนที่ค้างอยู่ในกรวยออก
3. นำขวดบรรจุทรายไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W_d
4. น้ำหนักทรายในขวด (W_s) ได้จาก $W_s = W_d - W_c$
4. จากค่าปริมาตรของขวด สามารถคำนวณหาความหนาแน่นของทราย ได้จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของทราย} = \frac{\text{น้ำหนักของทรายในขวด}}{\text{ปริมาตรของขวด}} \quad g/cm^3 \qquad (2.7.3.)$$

การ Calibrate หาปริมาตรของขวด

1. เติมน้ำลงในขวดจนล้นท่วมขึ้นเหนือวาล์ว แล้วปิดวาล์ว และเทน้ำส่วนที่อยู่เหนือวาล์วออก
2. เช็ดภายนอกขวดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักขวด + น้ำ
3. หาน้ำหนักน้ำในขวด W โดยนำน้ำหนักขวดเปล่าหักออกจากน้ำหนักขวด + น้ำ
4. คำนวณหาปริมาตรขวด จากสมการ

$$\text{ปริมาตรของขวด} = WT \quad cm^3 \qquad (2.7.4.)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (g)

T = ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักน้ำหนึ่งกรัม ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 2.7.2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7.2.แสดงปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนักน้ำหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักน้ำหนึ่ง
°C	°F	กรัม cm^3/g
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

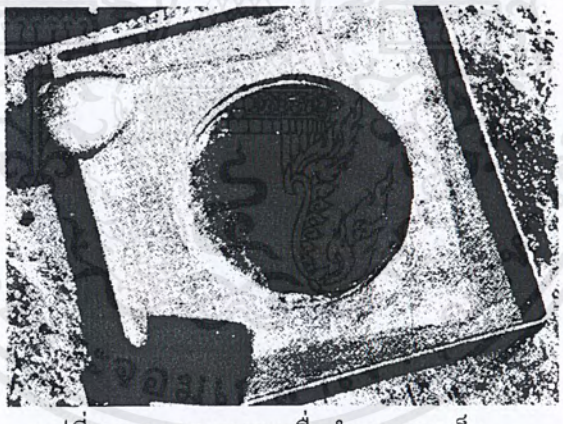
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ใส่ทรายในขวดจนเกือบเต็มขวด นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมกราย บันทึกค่าเป็น W_1
2. เตรียมผิวดินที่จะทำการทดสอบให้เรียบ

รูปที่ 2.7.2. แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7.3. แสดงการตักดินออกจากหลุมทดสอบ

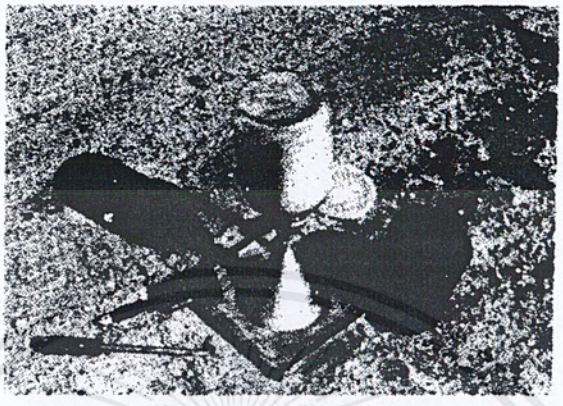


รูปที่ 2.7.4. แสดงหลุมเมื่อทำการขุดเสร็จ

3. วาง base plate ลงและตอกตะปูยึด base plate กับพื้นดินที่จะทดสอบ
4. ขุดดินให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของ base plate โดยขุดลึกตามปริมาตรของหลุมที่ต้องการ(ปริมาตรของหลุมควรพอเหมาะสำหรับขนาดเม็ดดินที่ทำการทดสอบ) พยายามขุดหลุมให้เป็นทรงกลม กวาดเก็บเศษดินที่ขุดขึ้นมาให้หมดอย่าให้ตกหล่น
5. นำดินที่ขุดขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W_t นำตัวอย่างดินไปหาความชื้น (w) (ปริมาณตัวอย่างดินที่จะนำไปหาความชื้นมีค่าอย่างน้อยตามตารางที่ 2.7.1.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำขวดบรรจุทรายที่เตรียมไว้มาคว่ำลงบน base plate เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงในหลุมอย่างอิสระ จนกระทั่งทรายหยุดไหล จึงปิดวาล์ว แล้วนำทรายที่เหลือในขวดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น W_2
7. เก็บทรายในหลุมขึ้นมา แล้วนำไปร่อนทำความสะอาดเพื่อนำกลับมาใช้ได้ใหม่



รูปที่ 2.7.5. แสดงการปล่อยทรายลงในหลุมทดสอบ

2.7.6.การคำนวณผล

น้ำหนักของทรายในหลุม = $W_1 - W_2 - W_3$ g

$$\text{ปริมาตรของหลุมที่ขุด} = \frac{\text{น้ำหนักของทรายในหลุม (g)}}{\text{ความหนาแน่นของทราย (g/cm}^3\text{)}} \quad \text{cm}^3$$

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักของดินชื้นที่ขุดจากหลุมทดสอบ}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad \text{g/cm}^3$$

$$= \frac{W_t}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad \text{g/cm}^3$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \quad \text{g/cm}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\gamma_{wet}}{(1+w)} \qquad g/cm^3$$

$$\text{Relative compaction, RC} = \frac{\gamma_{df}}{\gamma_{dL}} \text{ X } 100 \quad (\%) \qquad (2.7.5.)$$

เมื่อ γ_{df} = หน่วยน้ำหนักดินในสนาม (dry unit weight in field)

γ_{dL} = หน่วยน้ำหนักดินในห้องทดลอง (dry unit weight in laboratory)

w = ความชื้นของดิน ,เปอร์เซ็นต์/100

2.7.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. ทำไมถึงต้องใช้ทราย Ottawa ในการทดลอง และใช้ทรายปกติที่ใช้ในการก่อสร้างได้หรือไม่ อย่างไร
2. จงบอกข้อจำกัดของการหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธี Sand Cone
3. ความหนาแน่นของดินในสนามนำไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง
4. จงอธิบายถึงวิธีการหาความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีอื่นมาอย่างคร่าวๆ 1 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD DENSITY TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION FINE GRAVEL SOIL

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. FD-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE JUNE 10,1999

WEIGHT OF SAND IN THE JUG AND PYCNOMETER TOP.

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WT. APPARATUS + SAND ,g	7744	7745	7743	7744.00
WT. APPARATUS ,g	1626	1628	1627	1627.00
NET WT. OF SAND ,g	6118	6117	6116	6117.00

WEIGHT OF SAND IN THE FUNNEL

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
INITIAL WT. APPARATUS + SAND	5632	5635	5633	5633.33
FINAL WT. OF APPARATUS + SAND	3813.00	3812.00	3811	3812.00
WT. OF SAND TO FILL FUNNEL	1819.00	1823.00	1822.00	1821.33

WEIGHT OF JUG AND PYCNOMETER TOP.

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WT. OF APPARATUS + WATER ,g	5577	5576	5576	5576.33
WT. OF APPARATUS ,g	1625	1625	1626	1625.33
WT. OF WATER ,g	3952	3951	3950	3951.00
VOLUME OF WATER IN CONTAINER ,cu.cm	3966.82	3965.42	3964.85	3965.70

DENSITY OF SAND = $\frac{\text{NET WT. OF SAND}}{\text{VOLUME OF WATER IN CONTAINER}}$ = 1.542 g/cm^3

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD DENSITY TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

WEIGHT OF SAND IN THE JUG AND PYCNOMETER TOP.

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WT. APPARATUS + SAND .g				
WT. APPARATUS .g				
NET WT. OF SAND .g				

WEIGHT OF SAND IN THE FUNNEL

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
INTIAL WT. APPARATUS + SAND				
FINAL WT. OF APPARATUS + SAND				
WT. OF SAND TO FILL FUNNEL				

WEIGHT OF JUG AND PYCNOMETER TOP.

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WT. OF APPARATUS + WATER .g				
WT. OF APPARATUS .g				
WT. OF WATER .g				
VOLUME OF WATER IN CONTAINER .cu.cm				

DENSITY OF SAND = $\frac{\text{NET WT. OF SAND}}{\text{VOLUME OF WATER IN CONTAINER}}$ = g/cm^3

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD DENSITY TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION FINE GRAVEL SOIL

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. FD-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. _____

SAMPLE DEPTH _____

SAMPLE NO. 1

DATE JUNE 10,1999

NATURAL WATER CONTENT DETERMINATION:

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WET SOIL + CAN .g	1725.30			
DRY SOIL + CAN .g	1700.00			
WT. OF CAN .g	488.50			
WT. OF WATER .g	25.30			
WT. OF DRY SOIL .g	1211.50			
% OF WATER CONTENT	2.09			
FIELD DATA:				
WT. OF WET SOIL + PAN .g	1725.30			
WT. OF PAN .g	488.50			
UNIT WT. OF SAND .g/cc	1.542			
JUG + CONE BEFORE USE .g	7314.00			
JUG + CONE AFTER USE .g	4272.00			
WT. OF SAND IN CONE .g	1818.55			
WT. OF SAND IN HOLE .cc	1223.45			
VOLUME OF HOLE .cc	793.42			
WET DENSITY .g/cc	1.56			
DRY DENSITY .g/cc	1.53			
RELATIVE OF COMPACTION (RC)				

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD DENSITY TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

NATURAL WATER CONTENT DETERMINATION:

DETERMINATION NO.	1	2	3	AVERAGE
WET SOIL + CAN ,g				
DRY SOIL + CAN ,g				
WT. OF CAN ,g				
WT. OF WATER ,g				
WT. OF DRY SOIL ,g				
% OF WATER CONTENT				
FIELD DATA:				
WT. OF WET SOIL + PAN ,g				
WT. OF PAN ,g				
UNIT WT. OF SAND ,g/cc				
JUG + CONE BEFORE USE ,g				
JUG + CONE AFTER USE ,g				
WT. OF SAND IN CONE ,g				
WT. OF SAND IN HOLE ,cc				
VOLUME OF HOLE ,cc				
WET DENSITY ,g/cc				
DRY DENSITY ,g/cc				
RELATIVE OF COMPACTION (RC)				

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.การซึมผ่านของน้ำในดิน(PERMEABILITY TEST)

2.8.1.อ้างอิง: ASTM D 2434

2.8.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (Coefficient of Permeability)

2.8.3.อุปกรณ์

1. แผงชุดอุปกรณ์ทดสอบการไหลซึมผ่านของน้ำ
2. Permeability Cell
3. กรวย
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ตาชั่ง
6. ตู้อบ

2.8.4.ทฤษฎี

ในมวลดินจะประกอบไปด้วยช่องว่างคืออากาศ น้ำ และเนื้อดิน การไหลซึมผ่านของน้ำในดินก็คือการไหลของน้ำซึมผ่านไปตามช่องว่างในมวลดิน เรียกว่า "ความซึมน้ำของดิน" (Permeability) ดินที่น้ำไหลซึมผ่านไปได้ยาก ค่า k จะต่ำ เราเรียกดินประเภทนี้ว่า "Impervious Soil" ส่วนดินที่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้ง่าย ค่า k จะสูง เราจะเรียกว่าดินประเภทนี้ว่า "Pervious Soil"

ความซึมน้ำของดินเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของดินในงานวิศวกรรมโยธา เพราะเราจะนำคุณสมบัติของความซึมน้ำนี้ไปคำนวณและพิจารณาในงานต่างๆ เช่นการทรุดตัวของดิน การรั่วซึมของน้ำผ่านเขื่อนดิน เป็นต้น

นอกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินแล้วยังมีอิทธิผลอื่นๆ อีกที่มีผลต่อ การไหลซึมผ่านของน้ำในดิน ได้แก่ อุณหภูมิ ขนาดรูปร่างของเม็ดดิน และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความซึมน้ำของดินที่อุณหภูมิต่างๆ จะสัมพันธ์กับความซึมน้ำของดินที่อุณหภมิ 20 °C ดังนี้

$$k_{20} = k_T \cdot \frac{\mu_T}{\mu_{20}} \qquad (2.8.1.)$$

หรือ $$k_T = \frac{k_{20}}{\left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}\right)} \qquad (2.8.2.)$$

เมื่อ k_T = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ T °C

k_{20} = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ 20 °C

μ_T = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ T °C

μ_{20} = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C

ตารางที่ 2.8.1. แสดงค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (millipoises)

C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.21	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.49	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.42	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของการทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาค่า Coefficient of Permeability โดยทั่วไปสามารถทดสอบได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head) นิยมใช้กับดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง
2. วิธีทดสอบแบบระดับน้ำเปลี่ยนแปลง (Falling Head) นิยมใช้กับดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ

กฎการไหลของดาร์ซี่ (Darcy's Law)

ในปี ค.ศ. 1856 Darcy ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างการในไหลของน้ำผ่านทรายว่า "อัตราการไหลจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชันชลศาสตร์(Hydraulic Gradient)" แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$v \propto i$$

หรือ $$v = ki$$

$$v = \frac{Q}{At}$$

จะได้ $$Q = Akit$$

เพราะฉะนั้น $$k = \frac{Q}{Ait} \qquad (2.8.3.)$$

เมื่อ k = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ ,cm/sec

v = ความเร็วของน้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน ,cm/sec

i = ความชันชลศาสตร์

$$= \frac{\Delta h}{L}$$

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านในช่วงเวลา t , cm^3

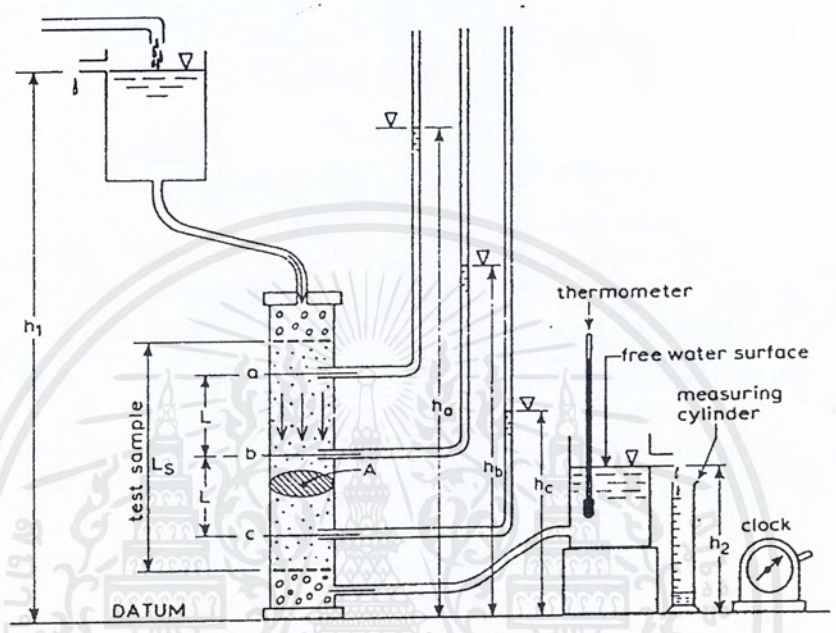
t = เวลาที่วัดที่ใช้วัดปริมาณน้ำ Q ,sec

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน , cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทดสอบแบบ Constant Head

โดยปล่อยน้ำที่มีระดับสูงกว่าให้ไหลผ่าน Permeability Cell ที่บรรจุตัวอย่างดินไว้ ในที่นี้คือทราย โดยให้ระดับน้ำที่ปล่อยมีระดับคงที่



รูปที่ 2.8.1. แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบแบบ constant head

เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำได้จากสมการ $k = \frac{Q}{Ait}$

หลักการทดสอบแบบ Falling Head

โดยปล่อยน้ำจากระดับ h_1 ให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านได้ต่ำ ระดับน้ำในหลอดจะต่ำลงเรื่อยๆ

จากรูปที่ 2.8.2. เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินได้ดังนี้

จากรูปจะได้ $q = kiA$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-a\frac{dh}{dt} = k\frac{h}{L}A$$

$$-\int_{h1}^{h2}\frac{1}{h}dh = \frac{kA}{aL}\int_{0}^{T}dt$$

$$-\ln(h_2 - h_1) = \frac{kA}{aL}T$$

$$\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) = \frac{kA}{aL}T$$

$$k = \frac{aL}{AT}\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

หรือ

$$k = \frac{2.303aL}{AT}\log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \qquad (2.8.4.)$$

เมื่อ a = พื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้ว ,ตร.ซม.

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน ,ตร.ซม.

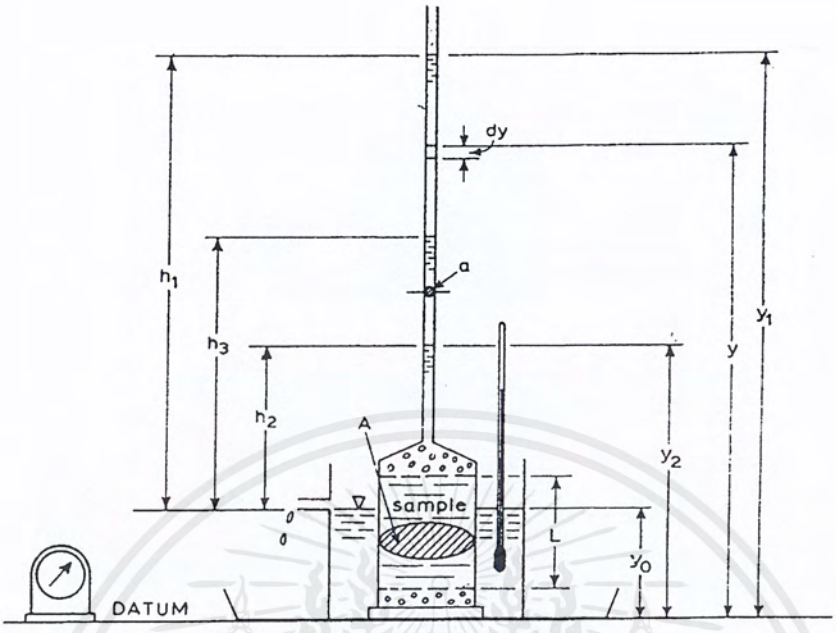
L = ความยาวของตัวอย่างดิน ,ซม.

h1 = ความสูงของระดับน้ำเริ่มต้น ,ซม.

h2 = ความสูงของระดับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป T วินาที ,ซม.

T = เวลาที่ใช้ในการไหลซึม ,วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8.2. แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการทดสอบแบบ falling head

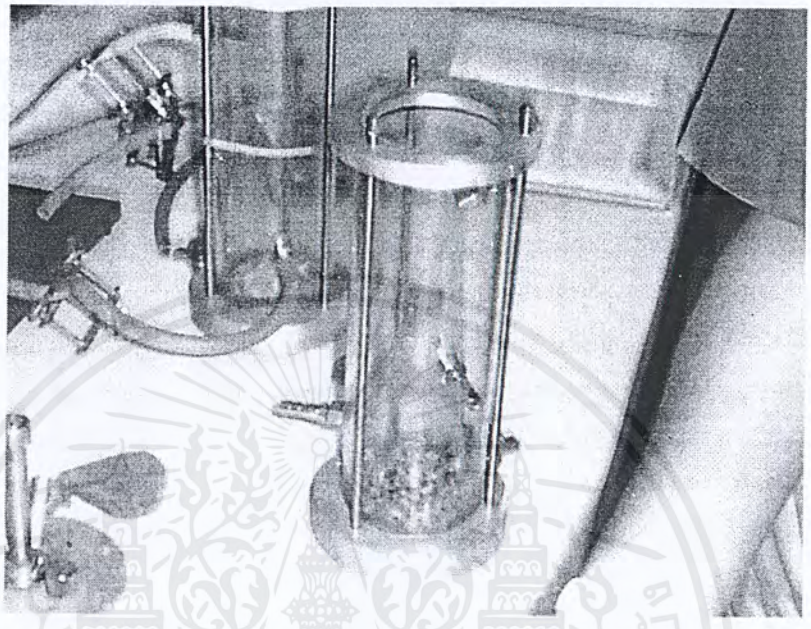
2.8.5.วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบบ Constant Head

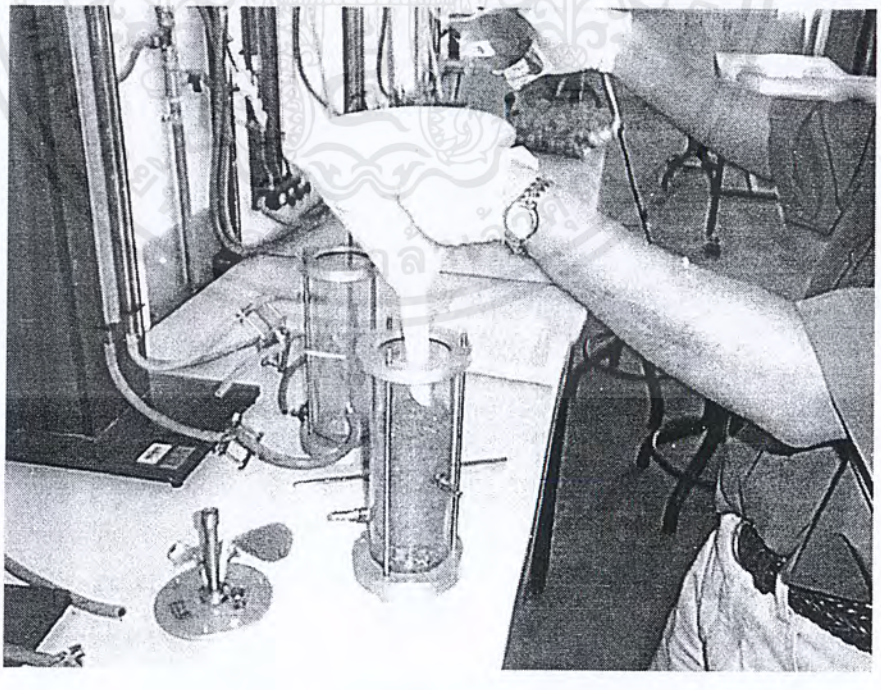
1. เตรียมตัวอย่างดินให้มากพอที่จะบรรจุในแบบ (Permeability Cell)
2. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของ Cell และระยะระหว่างหลอดมาโนมิเตอร์ที่ต่อเข้า Cell
3. ใส่วัสดุกรอง (filter material) อาจเป็นกรวดที่มีเม็ดสม่ำเสมอให้หนาประมาณ 40 มม. ปรับผิวให้ได้ระดับแล้ววางแผ่นตะแกรง (wire gauze disc) ลงบนผิวบนของกรวด
4. ทำการชั่งน้ำหนักดินทั้งหมด จากนั้นบรรจุดินลงใน Cell โดยค่อยๆ ทำการบรรจุเมื่อดินใน Cell สูงพอสมควรให้ใช้เหล็กกระทุ้งเป็นชั้นให้ได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับในสภาพจริง
5. ใส่แผ่นตะแกรงและวัสดุกรองเหมือนด้านล่างของ Cell โดยให้ความหนาของวัสดุกรองประมาณ 40 มม.
6. ปล่อยน้ำให้ไหลเข้า Cell จนล้น ทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว
7. เริ่มทำการทดสอบโดยเปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่านตัวอย่าง ดูค่าระดับน้ำในหลอดมาโนมิเตอร์สังเกตดูจนกระทั่งระดับไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เริ่มทดสอบด้วยการจับเวลา เอากระบอกตวงรองน้ำที่ล้นออกจากภาชนะ เมื่อได้ปริมาณมากพอแล้ว เอากระบอกตวงออก อ่านปริมาตรน้ำ(Q) ที่เวลาผ่านไป(t) อ่านค่าระดับน้ำในหลอดทั้งสาม
9. ทำการทดลองซ้ำข้อ 7,8 อีกประมาณ 2-3 ครั้ง โดยอ่านค่าเวลา t ที่ใช้โดยตวงให้ปริมาณน้ำเท่าเดิม

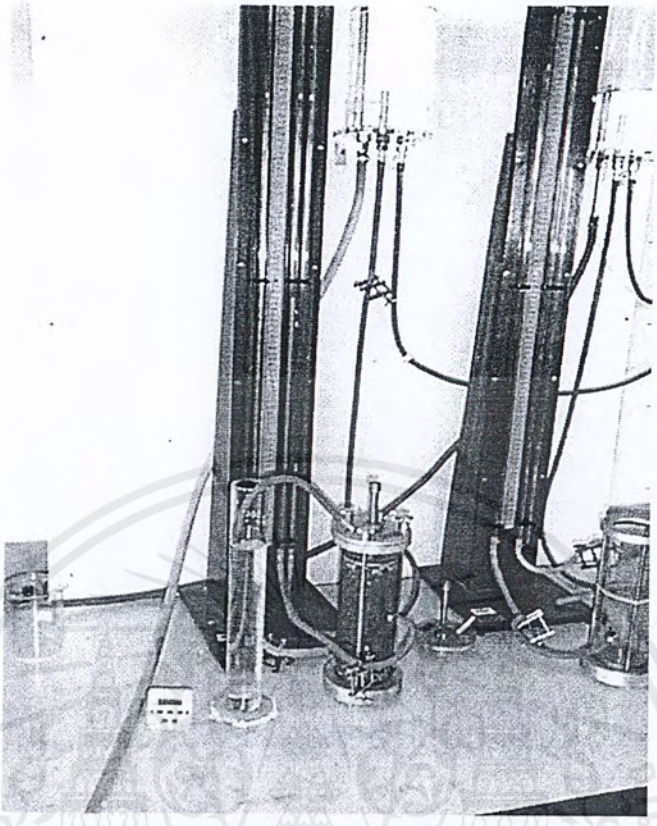


รูปที่ 2.8.3. แสดงการใส่กรวดที่ฐานของ cell



รูปที่ 2.8.4. แสดงการใส่ตัวอย่างดินใน cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



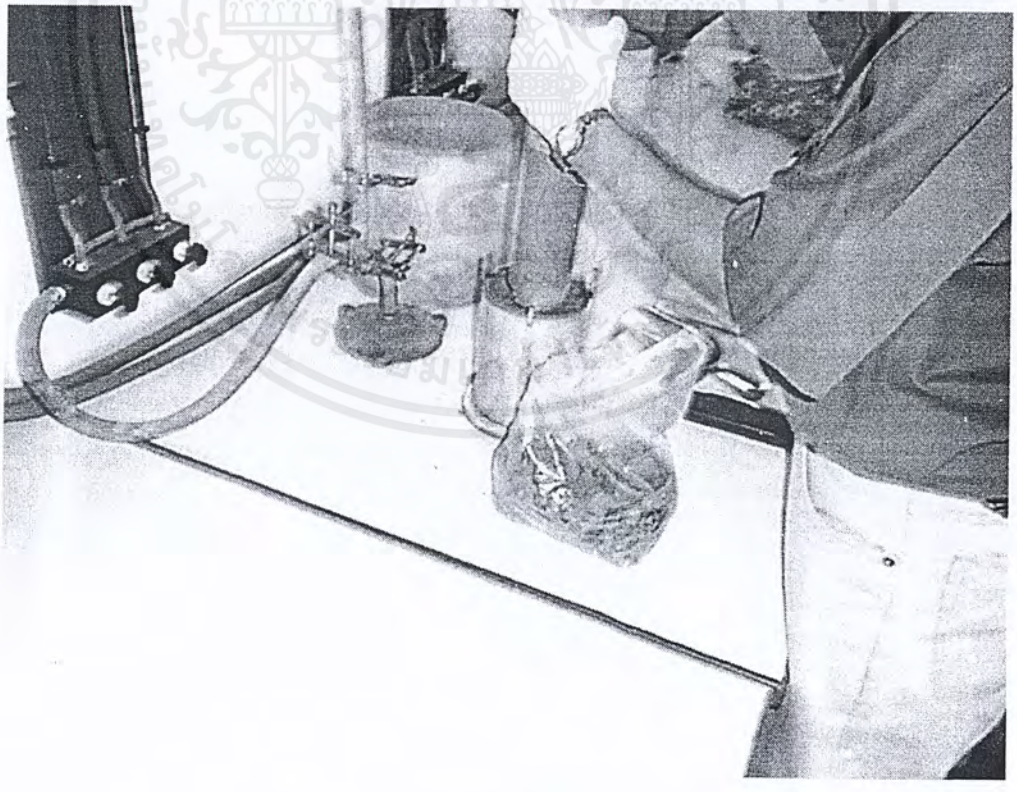
รูปที่ 2.8.5. แสดงการทดสอบตามวิธีแบบ constant head

วิธีการทดลองแบบ Falling Head

1. เตรียมตัวอย่างดินใน Cell ตามวิธี Constant Head โดยทำการบดอัดดินและปาดผิวบนให้เรียบก่อนปิดฝาครอบด้านบน โดยรองแผ่นตะแกรง(wire gauze) ที่ด้านบนและล่างของตัวอย่างดิน ก่อนการใส่ดินลงใน Cell ให้ชั่งน้ำหนักของดินทั้งหมดก่อน
2. วัดขนาดความสูงของตัวอย่างดินใน Cell โดยวัดจากผิวบนถึงผิวล่างของ Cell วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Cell ชั่งน้ำหนักของดินที่เหลือ จากนั้นตรวจสอบค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ standpipe ที่ใช้
3. นำตัวอย่างดินใน Cell ไปแช่ภาชนะบรรจุน้ำ เปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน สำหรับดินที่มีความมซึมน้ำต่ำจะต้องแช่ตัวอย่างในน้ำประมาณ 24 ชม. หรือมากกว่าเพื่อให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว
4. ปล่อยให้น้ำไหลเข้าสู่หลอด standpipe ให้ระดับน้ำสูงถึงระดับ h_1 ขีดระดับนี้ไว้ที่ standpip จากนั้นปล่อยให้ระดับน้ำลดลงพร้อมจับเวลาจนระดับน้ำถึงขีด h_2

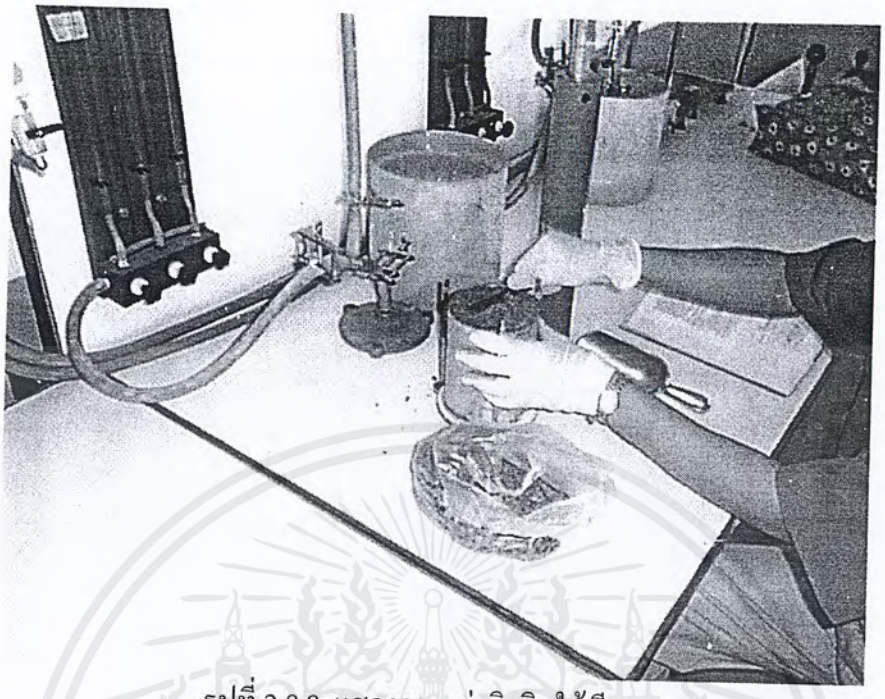
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8.6. แสดงการใส่ตัวอย่างดินลงใน cell

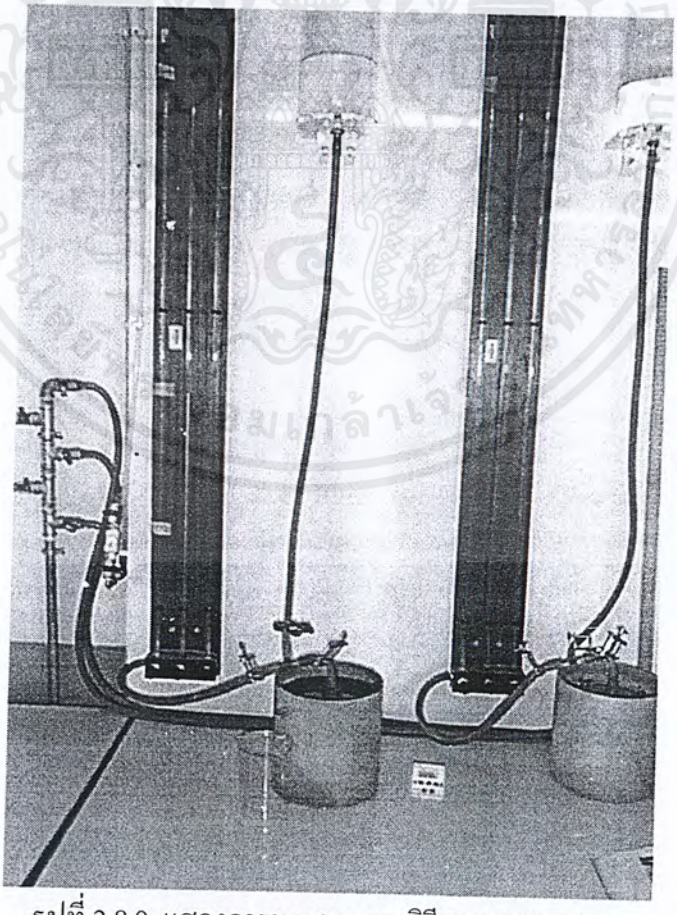


รูปที่ 2.8.7. แสดงการบดอัดตัวอย่างดินใน cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8.8. แสดงการแต่งผิวดินให้เรียบ



รูปที่ 2.8.9. แสดงการทดสอบตามวิธีแบบ falling head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6.การคำนวณผล

1. สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ(k)จากการทดสอบแบบ Constant Head (ที่อุหภูมิทดสอบ)

$$k_T = \frac{Q}{Ait} = \frac{QL}{At\Delta h} \qquad \text{cm/sec}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านในช่วงเวลา t , cm^3

t = เวลาที่วัดที่ใช้วัดปริมาณน้ำ Q ,sec

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน , cm^2

L = ระยะในแนวดิ่งระหว่าง manometer ที่ต่อเข้าCell ,cm

Δh = ผลต่างของระดับน้ำใน manometer ,cm

2. สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ(k)จากการทดสอบแบบ Constant Head (ที่อุหภูมิทดสอบ)

$$k_T = \frac{2.303aL}{AT} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \qquad \text{cm/sec}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน , cm^2

a = พื้นที่หน้าตัดของ standpipe , cm^2

L = ความยาวของตัวอย่างดินใน Cell ,cm

h_1= ระดับน้ำใน standpipe ขณะเริ่มทดลอง ,cm

h_2= ระดับน้ำใน standpipe หลังจากเสร็จการทดลอง,cm

T = เวลาที่ระดับน้ำลดจากระดับ h_1ถึง h_2 ,sec

2.8.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำความรู้เรื่องความซึมน้ำของดินไปใช้ประโยชน์อะไรบ้าง
2. จงบอกถึงลักษณะของตัวอย่างดินที่เหมาะกับการทดสอบแบบ Constant Head
3. จงบอกถึงลักษณะของตัวอย่างดินที่เหมาะกับการทดสอแบบ Falling Head
4. จงบอกข้อจำกัดและข้อผิดพลาดของการทดสอบความซึมน้ำของดินในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PERMEABILITY TEST (CONSTANT HEAD)

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION SILTY SAND

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. PM-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 1.6 m

SAMPLE NO. 1

DATE MARCH 28,2001

SOIL SAMPLE DATA:

DIAMETER ,cm	10.10	WEIGHT OF SOIL + PAN ,g	3760
AREA ,cm^2	80.12	WEIGHT OF PAN ,g	2005
HEIGHT ,cm	11.65	WEIGHT OF SAMPLE ,g	1755
VOLUME ,cm^3	933.50	UNIT WEIGHT ,g/cm^3	1.88

CONSTANT HEAD TEST DATA :

HEAD = 215 cm

TEST NO.	TIME (second)	WATER QUANTITY (cm^3)	TEMPERATURE (C)
1	61	120	30.5
2	65	120	30.5
3	64	120	30.5
4	63	120	30.5
5	63	120	30.5

t (average) = 63 sec

k = Q/Ait = QL/Aht = 0.12 cm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PERMEABILITY TEST (CONSTANT HEAD)

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

SOIL SAMPLE DATA :

DIAMETER ,cm		WEIGHT OF SOIL + PAN ,g	
AREA ,cm^2		WEIGHT OF PAN ,g	
HEIGHT ,cm		WEIGHT OF SAMPLE ,g	
VOLUME ,cm^3		UNIT WEIGHT ,g/cm^3	

CONSTANT HEAD TEST DATA :

HEAD = _____ cm

TEST NO.	TIME (second)	WATER QUANTITY (cm^3)	TEMPERATURE (C)

t (average) = _____ sec

k = Q/Ait = QL/Aht = _____ cm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PERMEABILITY TEST (FALLING HEAD)

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SILTY CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 1.6 m

TEST NO. PM-2

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE MARCH 28,2001

SOIL SAMPLE DATA:

DIAMETER ,cm	10.10	WEIGHT OF SOIL + PAN ,g	4520
AREA ,cm^2	80.12	WEIGHT OF PAN ,g	2510
HEIGHT ,cm	10.52	WEIGHT OF SAMPLE ,g	2010
VOLUME ,cm^3	920.50	UNIT WEIGHT ,g/cm^3	2.18

FALLING HEAD TEST DATA :

AREA OF STANDPIPE ,a = 5 cm^2

TEST NO.	h1(cm)	h2(cm)	TIME (sec)	TEMPERATURE (C)
1	100	80	1325	30.5
2	100	80	1312	30.5
3	100	80	1325	30.5
4	100	80	1320	30.5
5	100	80	1310	30.5

t (average) = 1318 sec

$k = \frac{2.3aL \log(h1/h2)}{AT}$ 4.13×10^{-4} cm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PERMEABILITY TEST (FALLING HEAD)

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

SOIL SAMPLE DATA:

DIAMETER ,cm		WEIGHT OF SOIL + PAN ,g	
AREA ,cm^2		WEIGHT OF PAN ,g	
HEIGHT ,cm		WEIGHT OF SAMPLE ,g	
VOLUME ,cm^3		UNIT WEIGHT ,g/cm^3	

FALLING HEAD TEST DATA :

AREA OF STANDPIPE ,a = _____cm^2

TEST NO.	h1(cm)	h2(cm)	TIME (sec)	TEMPERATURE (C)

t (average) = _____ sec

$k = \frac{2.3aL \log(h1/h2)}{AT}$ _____ cm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.DIRECT SHEAR TEST

2.9.1.อ้างอิง: ASTM D 3080

2.9.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าคงตัวของแรงเฉือน Shear Strength Parameter (Angle of Friction,ϕ & Cohesion,c) ของตัวอย่างทราย หรือดินเหนียวคงสภาพ

2.9.3.อุปกรณ์

1. Direct Shear Testing Machine เป็นแบบหมุนทดสอบด้วยมือหรือเครื่องอิเล็กโทรนิกส์
2. Shear Box พร้อมอุปกรณ์ทดสอบ
3. Proving Ring วัดขนาดของแรง
4. Dial Gauge วัดการเคลื่อนตัว (2 ตัว) ในแนวราบและแนวดิ่ง
5. Plate Loading (แผ่นน้ำหนัก)
6. เครื่องชั่ง
7. เวอร์เนียร์

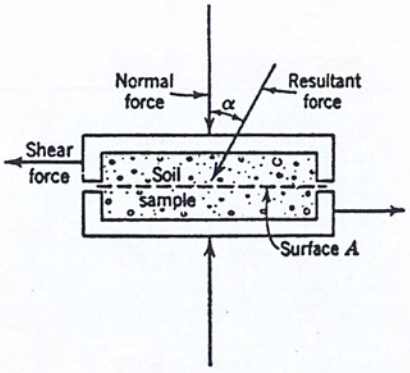
2.9.4.ทฤษฎี

ความสามารถของดินในการรับแรงเฉือน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของดิน เพราะในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาโดยทั่วไป จะเกี่ยวข้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดินทั้งสิ้น

ในรูปที่ 2.9.1. จะแสดงถึงตัวอย่างดินเมื่อถูกกระทำแรงเฉือนในแนวราบ (Shear force) และมีแรงกดทับในแนวดิ่ง (Normal force) เป็นผลทำให้เกิดแรงลัพธ์ (Resultant force) กระทำกับตัวอย่างดินตามรูป ขนาดของแรงเฉือนจะเท่ากับ stress ในแนวดิ่ง (เนื่องจาก Normal force) คูณด้วย $\tan\alpha$ ถ้าพื้นที่ในการต้านทานแรงเฉือนเท่ากับ A แรงเฉือน Shear Stress,τ จะเท่ากับแรงเฉือนที่กระทำต่อพื้นที่ A นี้ และ Normal Stress,σ จะเท่ากับแรงในแนวดิ่ง(normal force) ต่อพื้นที่ A เขียนเป็นสมการคือ

$$\tau = \sigma\tan\alpha \qquad (2.9.1.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9.1. แรงเฉือนในตัวอย่างดินใน Shear Box

แต่กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) นอกจากผลจากแรงเสียดทานแล้วยังมีผลจาก cohesion ระหว่างเม็ดดินอีกด้วย ดังนั้นสมการจะได้เป็น

$$\tau = c + \sigma \tan \varnothing \qquad (2.9.2.)$$

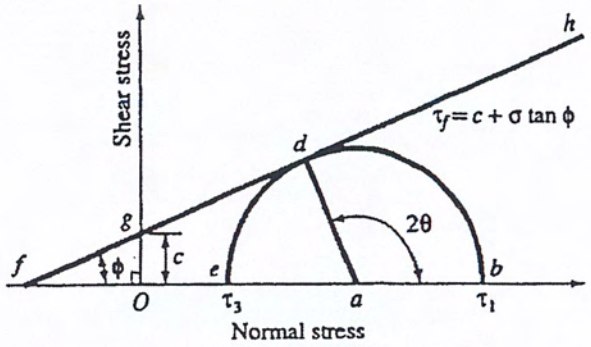
เมื่อ τ = Shear Strength

c = Cohesion

σ = Normal Stress

โดยที่ $\varnothing$ จะเท่ากับมุม α ระหว่างผิวดินที่เคลื่อนตัว และโดยปกติแล้วดินพวก cohesionless soil เช่นพวกทราย จะมีค่า cohesion,c เท่ากับ 0 ดังนั้นจะเหลือในเทอม

$$\tau = \sigma \tan \varnothing$$



รูปที่ 2.9.2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และค่า Normal stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีในการเฉือน

ปกติโดยทั่วๆ ไปแล้วจะมีทฤษฎีในการทดลองหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างดินคือ direct shear, cylindrical หรือ triaxial compression และ torsional shear ในการทดสอบแบบ direct shear ตัวอย่างดินจะ fail โดยการใส่แรงเฉือนให้ตัวอย่างดินสองส่วนโดยให้ตัวอย่างดินเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน แสดงในรูปที่ 9.1 ขณะใส่แรงเฉือนในแนวราบจะมีการใส่ load ในแนวดิ่งด้วย และจะตรวจสอบการเคลื่อนตัวของตัวอย่างดินทั้งในทางแนวดิ่งและในแนวราบ รูปร่างของกล่องใส่ตัวอย่างดินเพื่อออกแรงเฉือน (Shear Box) อาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม เพื่อสะดวกในการหาพื้นที่หน้าตัด

รูปที่ 2.9.3. Torsional Shear

ในการเฉือนตัวอย่างแบบ torsional shear ตัวอย่างดินทรงกระบอกกลมจะถูกหมุนในทิศทางสวนกันดังแสดงในรูปที่ 2.9.3. โดยเราจะใส่ moment ให้กับแผ่น disk ที่ด้านล่างและด้านบนที่ประกบเข้ากับตัวอย่างดินโดยที่ disk จะมีร่องอยู่ด้วยเพื่อให้กับจับยึดระหว่าง disk และดิน ดีขึ้นและป้องกันการเลื่อนไถล ในขณะที่ออกแรงบิด การทดสอบแบบนี้เราสามารถใส่แรงดันด้านข้างให้ตัวอย่างดินได้หากต้องการในขณะที่ทดสอบ

Cylindrical Compression Test หรืออาจเรียกว่า Triaxial Test โดยจะประกอบด้วยแรงในแนวแกนที่กระทำกับตัวอย่างดินทำให้ตัวอย่างดิน fail ดังแสดงในรูปที่ 2.9.4. โดยปกติแล้วตัวอย่างดินจะมีผนังยาง (rubber membrane) ล้อมรอบ และจะมีการใส่แรงดันที่สม่ำเสมอรอบๆ ตัวอย่างดินด้วยของเหลว

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของการทดสอบแบบ torsional shear test คือขณะที่เรากระทำแรงเฉือนจนตัวอย่างดิน fail พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินจะค่อนข้างคงที่ แต่วิธีแบบ direct shear และแบบ cylindrical compression พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินจะไม่คงที่

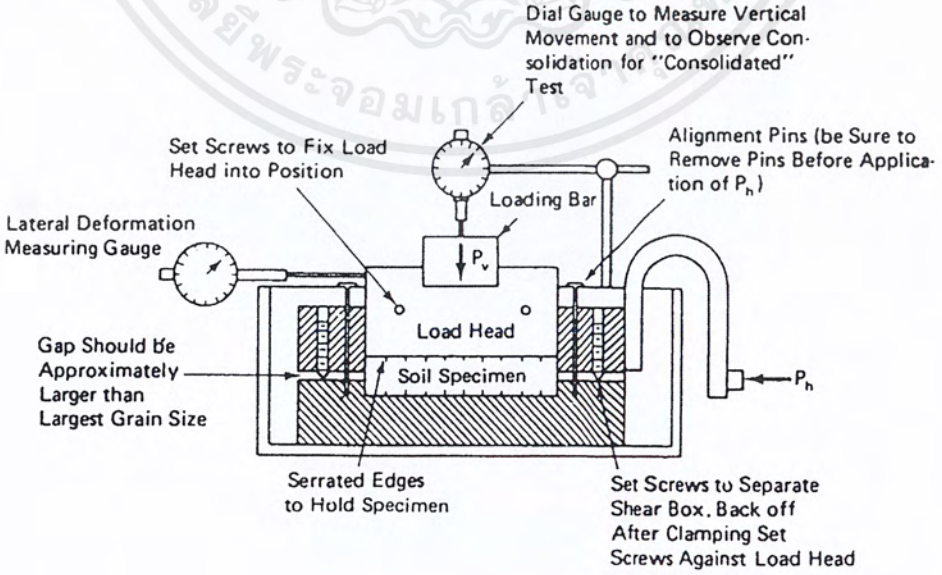
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9.4. Cylindrical compression

การทดสอบแบบ Direct shear เป็นการทดสอบหาค่าคงตัวแรงเฉือนของวัสดุ ทั้งทรายและดินเหนียวคงสภาพ (Angle of Friction,ϕ & Cohesion,c) ตัวอย่างดินจะถูกบังคับให้วิบัติในแนวที่คาดการณ์ได้ ซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณกึ่งกลางตัวอย่างดิน

การทดสอบแบบ direct shear ยังสามารถแบ่งเป็นแบบการควบคุม stress และแบบควบคุม strain

1. Stress-controlled ทำได้โดยการใส่ load เพื่อเฉือนตัวอย่างดินอย่างสม่ำเสมอ ในขณะทำการเฉือนตัวอย่างดินก็ค่อยๆ เพิ่ม load เพื่อเฉือนตัวอย่างดินอย่างคงที่
2. Strain-controlled ทำได้โดยการควบคุมให้ shear box มีการเคลื่อนตัวด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอ ซึ่งปัจจุบันจะนิยมวิธีนี้มากกว่าเนื่องจากความสะดวกในการควบคุม strain จะง่ายกว่าการควบคุม stress นั่นเอง



รูปที่ 2.9.5. ภาพตัดชุดทดสอบ Direct Shear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5.วิธีการทดสอบ

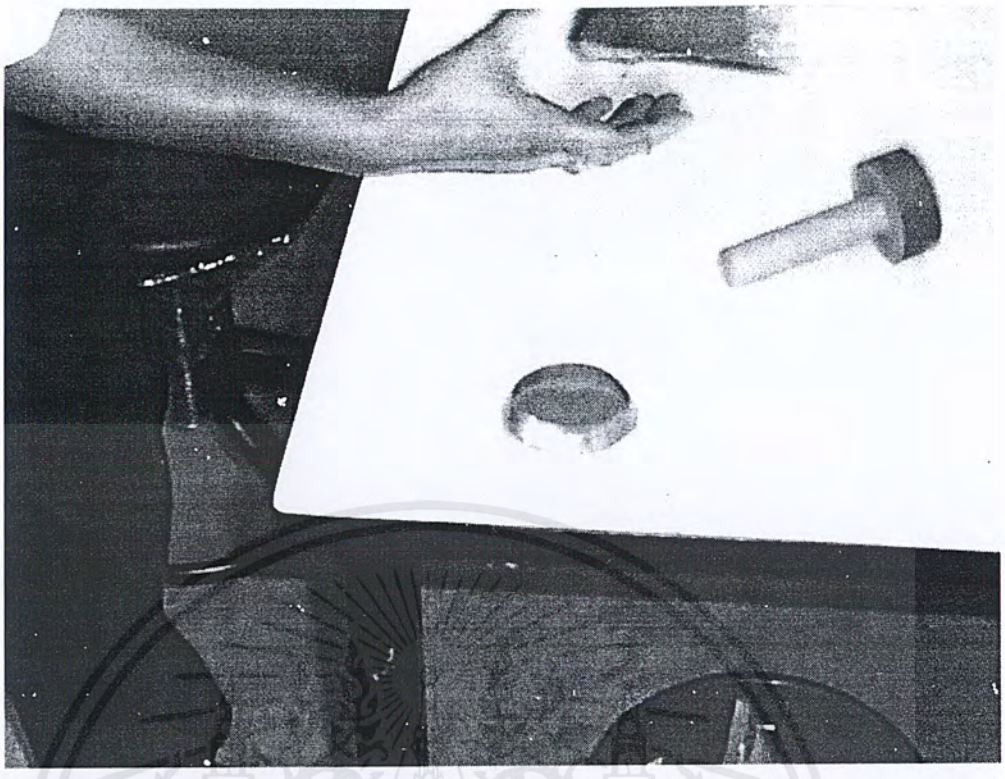
การเตรียมตัวอย่างดินเหนียว

1. นำตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า แบบแต่งตัวอย่าง (Cutting Ring) โดยมีขนาดเท่าขนาด Shear Box (ต้องวัดขนาดภายในแบบตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก) มาทำการกดตัวอย่าง ให้พ้นขอบแบบแต่งตัวอย่างเล็กน้อย จากนั้นใช้เลื่อยเส้นลวดตัดตัวอย่างให้เรียบพอดีขอบแบบ หลังจากนั้นก็ทำความสะอาดขอบแบบ
2. จากนั้นนำตัวอย่างดินที่กดเรียบร้อยพร้อมแบบแต่งตัวอย่างมาทำการชั่งน้ำหนัก
3. นำตัวอย่างดินเหนียวมากดลงในกล่องตัวอย่าง Shear Box โดยมี porous stoneวางอยู่ด้านบนและล่าง

การเตรียมตัวอย่างดินทราย

1. วัดขนาดของแบบแต่งตัวอย่างดิน (Cutting Ring) และทำการชั่งน้ำหนัก
2. เตรียมตัวอย่างดินทรายประมาณ 200-300 กรัม ใส่ตัวอย่างดินทรายลงใน Shear Box เป็นชั้นๆ โดยควบคุมให้ค่าความหนาแน่นคงที่ในแต่ละชุดของการทดสอบ จากนั้นใช้แท่งเหล็กบดอัด จนเต็ม ทำการปรับระดับผิวให้เรียบ จากนั้นวัดระยะจากขอบกล่องไปยังขอบบนของทราย บันทึกค่าน้ำหนัก
3. วาง porous stone ด้านล่างนำตัวอย่างดินทรายกดลงและทับด้วย porous stone ด้านบนและวางแผ่นเหล็กด้านบน (Loading Pad) ให้ร่องขวางทิศการเฉือนตัวอย่างดินทราย

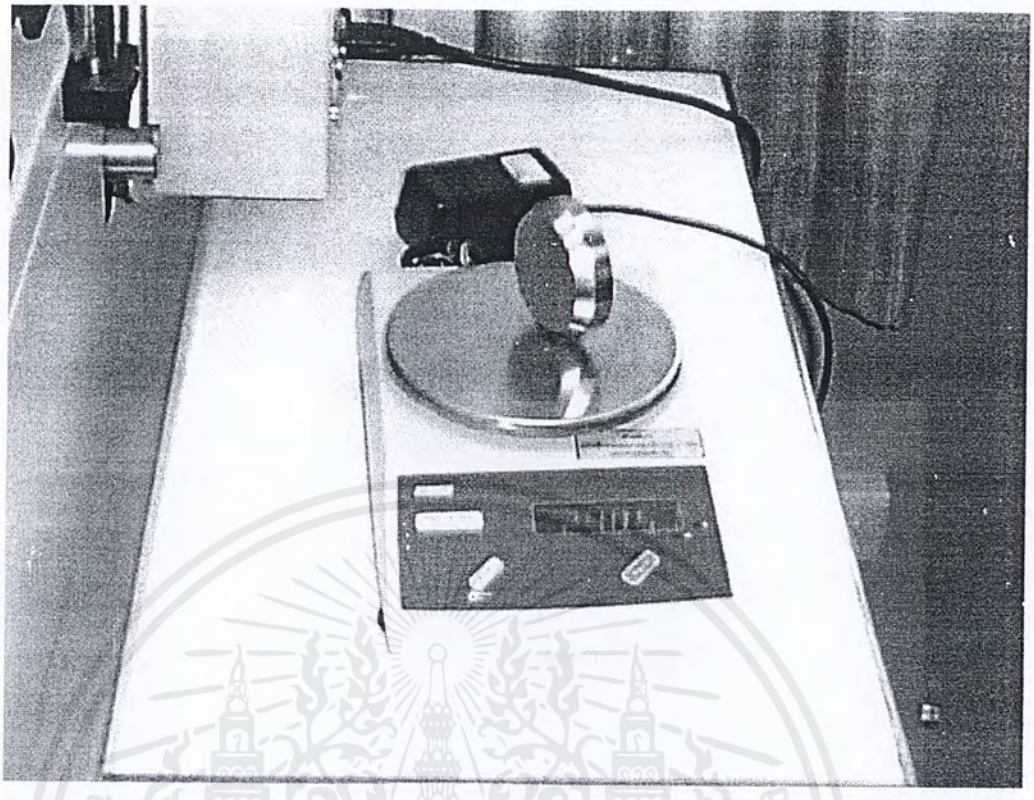
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



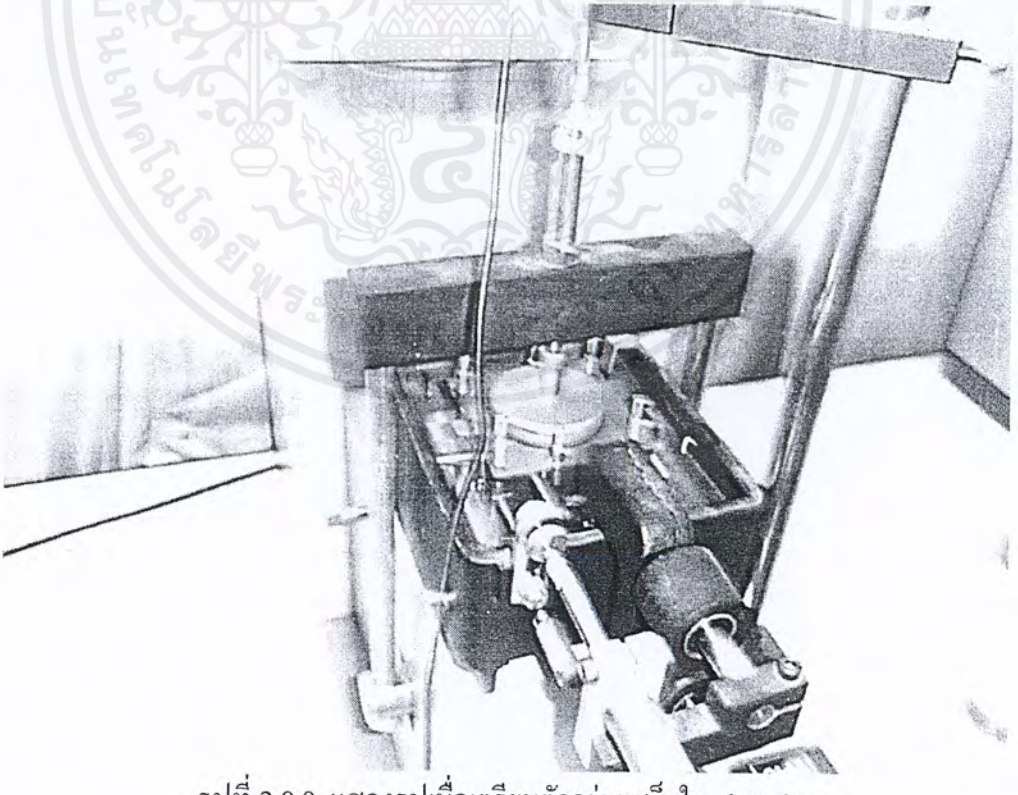
รูปที่ 2.9.6. แสดงการใส่ตัวอย่างดินทรายใน Cutting Ring

รูปที่ 2.9.7. แสดงการบดอัดตัวอย่างดินทรายเป็นชั้นๆ ใน Cutting Ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9.8. แสดงการชั่งตัวอย่างดินทรายที่บดอัดเสร็จแล้วใน Cutting Ring



รูปที่ 2.9.9. แสดงรูปเมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จใน shear box

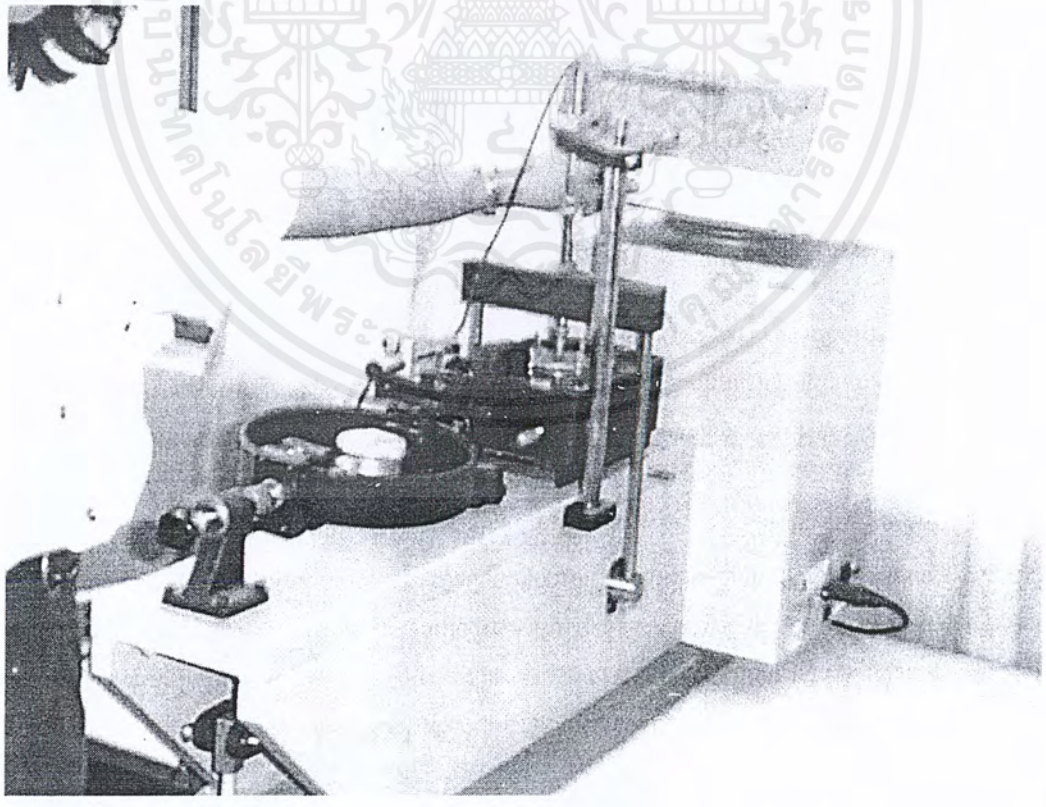
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมเครื่องทดสอบ

1. หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างดินใน Shear Box เรียบร้อยแล้ว ก็นำ Shear Box ดังกล่าวมาติดตั้งที่ Direct Shear Testing Machine ซึ่งที่อุปกรณ์นี้จะมี Proving Ring วัดขนาดแรงเฉือน ซึ่งอยู่ในแนวนอน และจะมี Dial Gauge วัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง และในแนวราบอย่างละตัว
2. หลังจากการติดตั้ง Shear Box ที่ Direct Shear Testing Machine แล้ว ทำการติดตั้ง Dial Gauge วัดการเคลื่อนตัวในแนวราบ (ให้แตะกับกล่องตัวอย่าง Shear Box) รวมถึงการติดตั้งในแนวดิ่ง (ให้แตะกับ Loading Pad)
3. เตรียมน้ำหนัก(normal load) ปกติจะใช้ 1,2 และ 4 เท่าของ Effective Overburden Pressure ของดิน

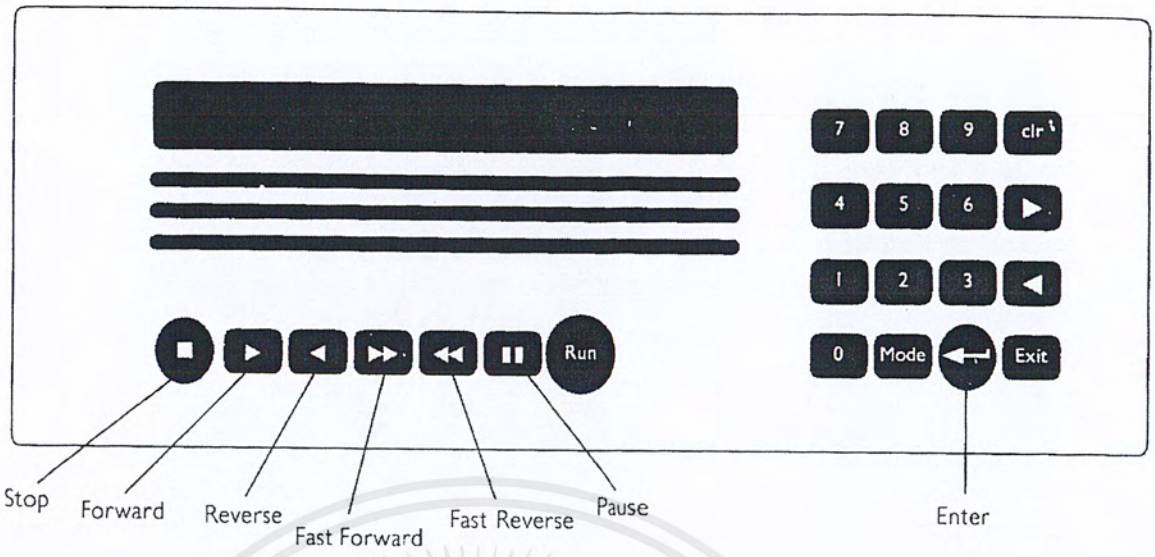
การทดสอบเฉือนตัวอย่างดิน

1. ทำการทดสอบถอดสกรูขันยึดออกก่อน พร้อมแขวนน้ำหนักที่ได้จัดเตรียมไว้
2. เริ่มทดสอบโดยเพิ่มแรงเฉือนให้ตัวอย่างดิน โดยให้อัตราการเคลื่อนตัวในแนวราบคงที่ (0.05-0.10 นิ้ว/นาที) ในที่นี้ใช้ 0.05 มม./นาที



รูปที่ 2.9.10. แสดงเครื่องทดสอบ DirectShearMachine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9.11. แสดงหน้าจอควบคุมบนเครื่อง DigitalShearMachine

การใช้เครื่อง DigitalShearMachine

- ใส่อัตราการเฉือนให้เท่ากับ 0.05 มม./นาที โดย กดบนแป้นตัวเลข 0-0-5 บนหน้าปัดทางด้านขวา
- กดปุ่ม Enter อัตราแรงเฉือนจะอยู่บนหน้าจอสีเขียว
- ทำการเดินเครื่องโดยกดปุ่ม Run

<u>หมายเหตุ</u> ปุ่มอื่นๆ มีรายละเอียดการใช้ดังนี้

- ปุ่ม Stop ทำการหยุดการเดินเครื่อง
- ปุ่ม Pause ทำการหยุดการเดินเครื่องชั่วคราว
- ปุ่ม Forward เดินเครื่องแบบช้าไปข้างหน้า
- ปุ่ม Reverse เดินเครื่องแบบช้าไปข้างหลัง
- ปุ่ม Fast Forward เดินเครื่องแบบเร็วไปข้างหน้า
- ปุ่ม Fast Reverse เดินเครื่องแบบเร็วไปข้างหลัง

โดยปุ่ม Forward และ Reverse ทำหน้าที่ปรับให้ Shear Box อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนทำการเฉือนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากการเดินเครื่อง ทำการอ่านค่าวงแหวนวัดแรงและการเคลื่อนตัวแนวตั้ง ทุกๆ การเคลื่อนตัวในแนวราบ 10 Div of horizontal dial gauge reading ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าจาก Proving Ring ลดลง ประมาณ 5 ค่าจึงพอ
4. ถอดกล่องตัวอย่าง Shear Box ออก ส่วนตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ แยกเทลงในภาชนะ อย่าให้ตกหล่น (สำหรับตัวอย่างดินทราย) สำหรับใช้ในการทดสอบครั้งต่อไป(ความเค้นแนวดิ่งอื่นๆ)
5. หลังจากนั้นทำการทดสอบตัวอย่างอีก 2 ครั้ง ในค่าความเค้นแนวตั้งฉากที่แตกต่างกันตามที่ได้กำหนดไว้พยายามใช้ และทำการเตรียมตัวอย่างดินให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

2.9.6.การคำนวณผล

1. หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ทดสอบ

$$\rho_T = \frac{\text{มวลของตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ซม}^3\text{)}} \quad \text{กรัม/ซม}^3$$

2. ความเค้นแนวตั้งฉาก (Normal Stress)

$$\sigma_n = \frac{\text{น้ำหนักกด (kg)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด shear box (cm}^2\text{)}} \quad \text{ksc}$$

3. แรงเฉือน (Shear Stress,τ)

$$\tau = \frac{\text{แรงต้านตัวอย่างดิน (kg)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด shear box (cm}^2\text{)}} \quad \text{ksc}$$

$$\tau = \frac{RK\ (kg)}{A\ (cm^2)} \quad \text{ksc}$$

เมื่อ R = Proving Ring Reading (ขีด)

K = Proving Constant (kg/ขีด)

A = Shearing Area (cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับ ΔH และหาค่า τ_{max} จากกราฟ
5. เขียน Mohr's Diagram ระหว่าง σ และ τ_{ma} แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเป็นเส้น Strength Envelope และหาค่า c และ $\varnothing$ จากกราฟ

2.9.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกถึงลักษณะงานก่อสร้างที่ใช้การทดสอบแบบ direct shear test เพื่อหาค่า Shear Strength ของดิน
2. จงบอกถึงข้อจำกัดของการทดสอบโดยวิธี direct shear test.
3. จงบอกถึงข้อดีของการทดสอบ โดยวิธี direct shear test และข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับค่าหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Unconfined Compression Test และวิธี Triaxial Test
4. จงอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างดินกับการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและในแนวราบของตัวอย่างดินใน Shear Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT GEO-TEST — OWNER _____

SOIL DESCRIPTION DARK BROWN CLAY — BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING — SAMPLE DEPTH 1.6 m

TEST NO. DS-1 — SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON — DATE MARCH 24,1999

SAMPLE DATA:

INITIAL WEIGHT OF RING + SOIL ,g	287	NORMAL LOAD ,kg	5
WEIGHT OF RING ,g	157.8	LOADING RATE ,mm/min	0.05
WEIGHT OF SOIL ,g	129.2	WET DENSITY ,T/cu.m.	2
DIAMETER SIZE ,g	63.25	NORMAIL STRESS ,ksc	1.81
HEIGHT ,mm	20	LOADING RING CONSTANT ,Kg/div	0.145
AREA ,sq.cm	31.43		
VOLUME ,cu.cm.	64.12		

SHEAR TEST DATA:

HORIZONTAL DIAL (Div)	HORIZONTAL DISP. (mm)	VERTICAL DIAL (Div)	VERTICAL DISPL (mm)	LOAD RING DIAL (Div)	LOAD SHEAR (kg)	SHEAR STRESS (ksc)
0	0.00	0	0.00	0	0	0.00
10	0.10	55	0.55	44	6.38	0.20
20	0.20	58	0.58	54	7.83	0.25
30	0.30	62	0.62	62	8.99	0.29
40	0.40	64	0.64	68	9.86	0.31
50	0.50	67	0.67	72	10.44	0.33
60	0.60	69	0.69	76	11.02	0.35
70	0.70	70	0.7	80	11.6	0.37
80	0.80	71	0.71	82	11.89	0.38
90	0.90	73	0.73	83	12.035	0.38
100	1.00	74	0.74	85	12.325	0.39
120	1.20	76	0.76	88	12.76	0.41
140	1.40	78	0.78	90	13.05	0.42
160	1.60	79	0.79	92	13.34	0.42
180	1.80	81	0.81	93	13.485	0.43
200	2.00	81	0.81	94	13.63	0.43
240	2.40	82	0.82	96	13.92	0.44
280	2.80	83	0.83	94	13.63	0.43
320	3.20	84	0.84	96	13.92	0.44
360	3.60	84	0.84	97	14.065	0.45
400	4.00	84	0.84	99	14.355	0.46
450	4.50	84	0.84	100	14.5	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

SAMPLE DATA:

INITIAL WEIGHT OF RING + SOIL ,g		NORMAL LOAD ,kg	
WEIGHT OF RING ,g		LOADING RATE ,mm/min	
WEIGHT OF SOIL ,g		WET DENSITY ,T/cu.m.	
DIAMETER SIZE ,g		NORMAIL STRESS ,ksc	
HEIGHT ,mm		LOADING RING CONSTANT ,Kg/div	
AREA ,sq.cm			
VOLUME ,cu.cm.			

SHEAR TEST DATA:

HORIZONTAL DIAL (Div)	HORIZONTAL DISP. (mm)	VERTICAL DIAL (Div)	VERTICAL DISPL (mm)	LOAD RING DIAL (Div)	LOAD SHEAR (kg)	SHEAR STRESS (ksc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION DARK BROWN CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

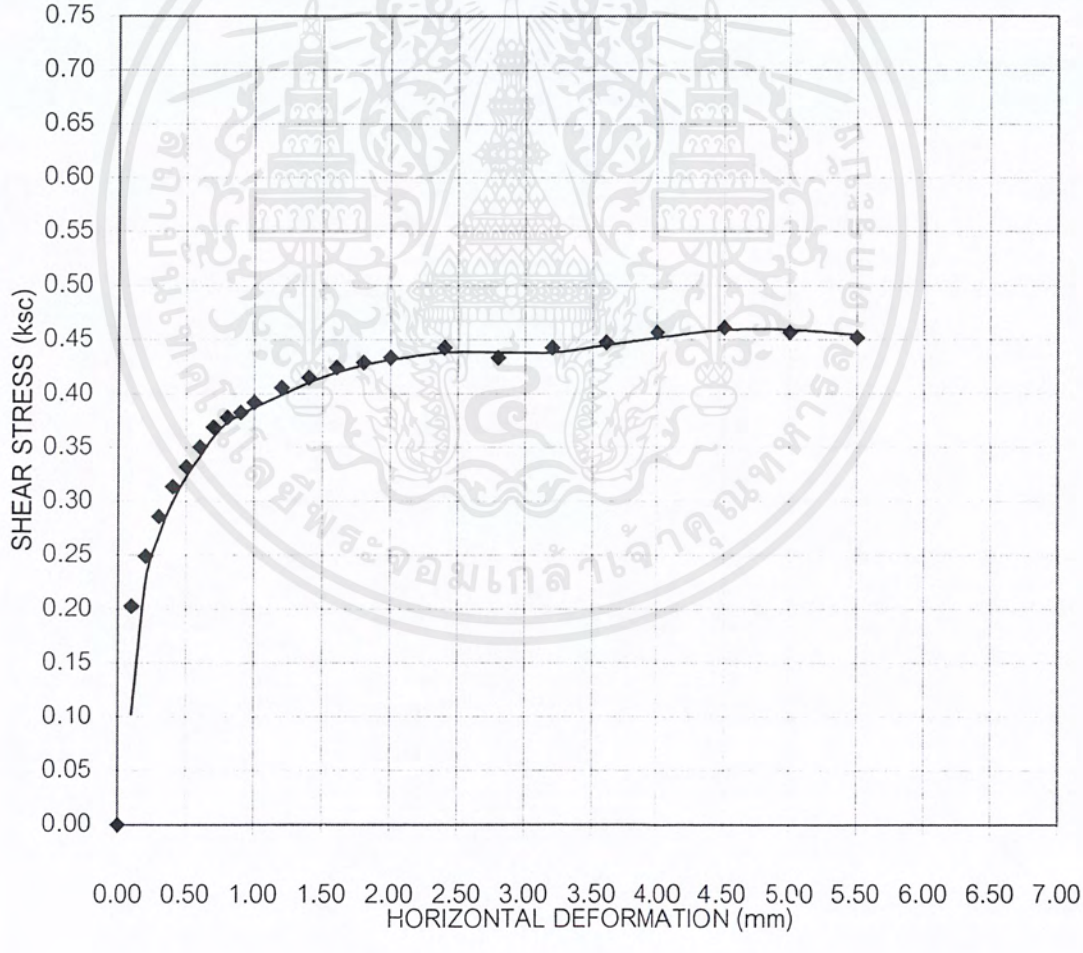
SAMPLE DEPTH 1.6 m

TEST NO. DS-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE MARCH 24,1999



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

DIRECT SHEAR TEST

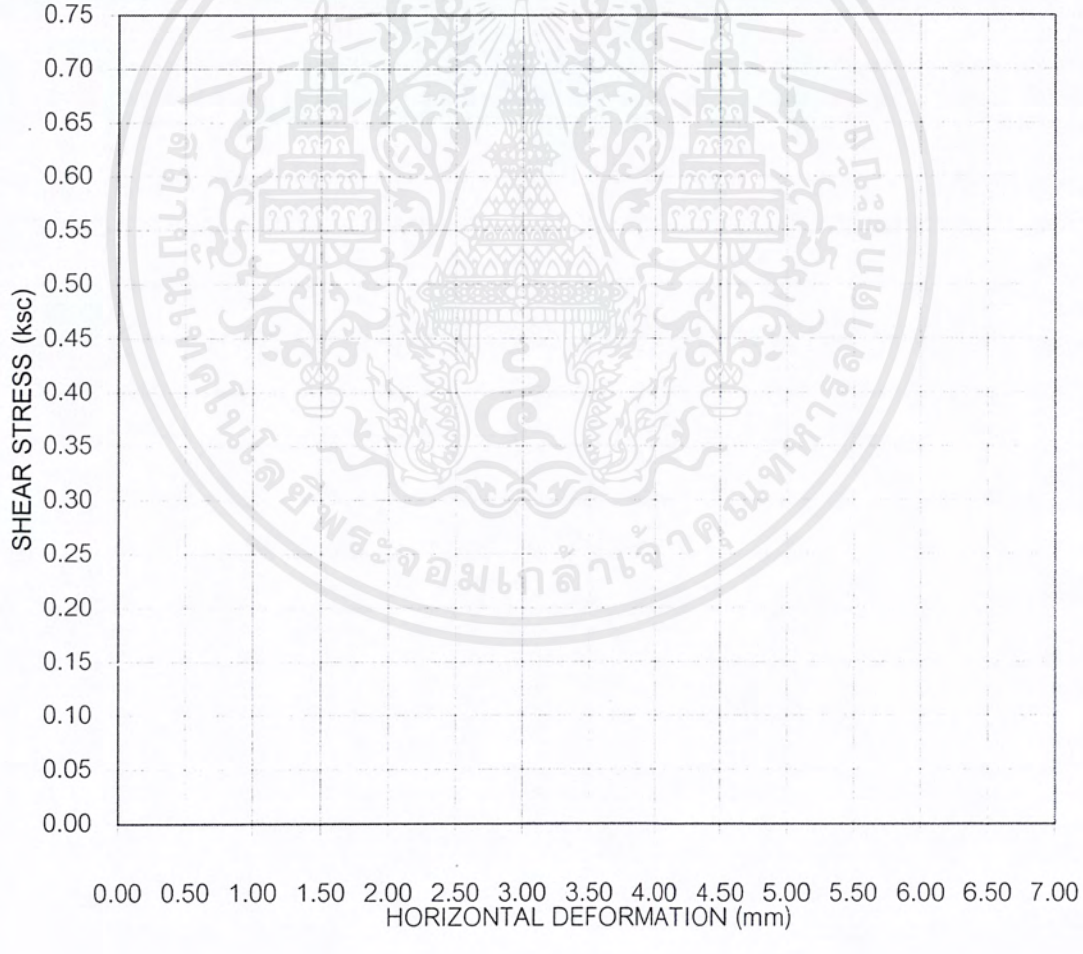
PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.การทดลองแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด(Unconfined Compression Test)

2.10.1.อ้างอิง: ASTM D 2166

2.10.2.วัตถุประสงค์

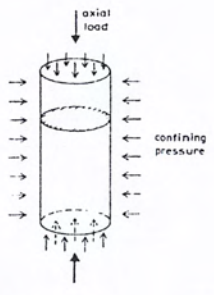
- เพื่อหาค่าแรงเฉือนของดินเหนียวแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง

2.10.3.อุปกรณ์

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)
3. มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) อ่านละเอียด 0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว
4. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
5. เครื่องชั่ง
6. อุปกรณ์หาความชื้นของดิน (water content)

2.10.4.ทฤษฎี

การหากำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Unconfined Compression Test เป็นการเฉือนตัวอย่างดินโดยไม่มีความดันด้านข้างกระทำต่อผิวมวลตัวอย่าง (Confining Pressure) ทำให้สภาพของดินตัวอย่างที่ทดสอบไม่เหมือนกับสภาพดินในสภาวะธรรมชาติ ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยวิธีนี้จึงเป็นค่าประมาณเท่านั้น แต่วิธีการทดสอบ Unconfined Compression Test สามารถปฏิบัติได้รวดเร็วและประหยัด จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย



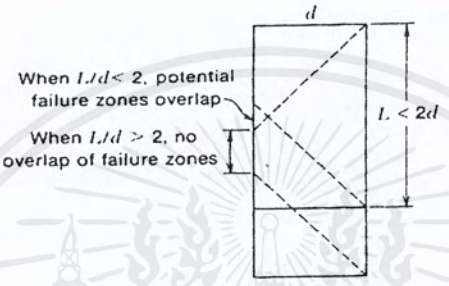
รูปที่ 2.10.1. แสดง axial load และ confining pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกระทำโดยการใส่แรงตามแกน (Axial Load) ให้กับผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างโดยไม่มีแรงดันด้านข้าง จนตัวอย่างวิบัติปกติจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที

ความสูงของตัวอย่างดินที่เหมาะสมในการทดสอบควรจะมีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2:1 หากความสูงน้อยกว่านี้จะเกิดผลกระทบจากการตัดกันของระนาบพังทลาย (45°) ดังรูปที่ 2.10.2. ปกติความสูงของตัวอย่างดินควรอยู่ในช่วง

$2 < L/d < 2.5$

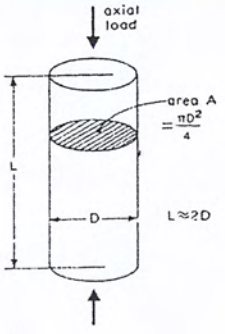


รูปที่ 2.10.2. แสดงระยะที่ทำให้เกิดผลกระทบจากระนาบพังทลาย

การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด ใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนประมาณ 0.5 – 2% ของความยาวของตัวอย่างทดสอบต่อนาที แต่โดยปกติจะใช้อัตราประมาณ 2% ต่อนาที ในการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวทั่วไป

การปรับแก้พื้นที่หน้าตัด (Area Correction)

เนื่องจากเมื่อตัวอย่างดินถูกแรงกดจะทำให้มีการป่องด้านข้าง (barrelling) เกิดขึ้น เพราะฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินจะไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ การป่องด้านข้างของตัวอย่างดินจะทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางและขนาดพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10.3. แสดงพื้นที่หน้าตัดและความสูงของตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัดหลังการปรับแก้แล้วเท่ากับ

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

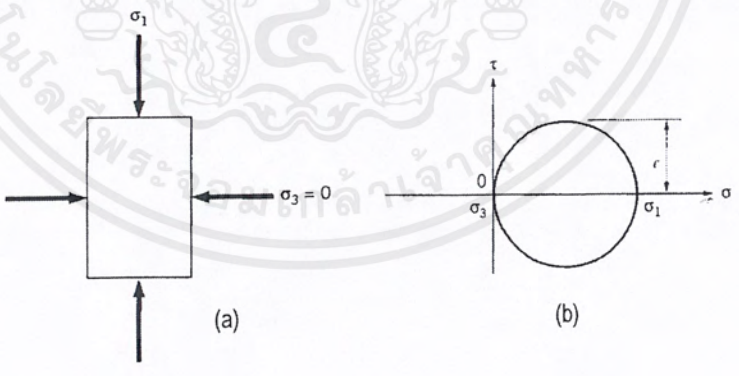
เมื่อ A_0 = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างเริ่มต้น ,cm^2

Principal Stresses

ในตัวอย่างดินทรงกระบอกเมื่อรับแรงจะกด ดินจะ Fail เนื่องจากแรงเฉือน แต่ระนาบของแรงเฉือนที่ดิน Fail นั้นจะเกิดขึ้นภายในตัวอย่างดิน เพราะฉะนั้นเราจำเป็นที่จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (σ) และความเครียด (τ) ในระนาบต่างๆ ภายในตัวอย่างดิน โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับ Mohr's Circle

Mohr's Circle

พิจาราณา element ใดๆ ที่รับ σ และ τ ดังรูปที่ 10.4(a) เราสามารถจะเขียนผัง σ และ τ ในรูปของ Mohr circle ให้มีความสัมพันธ์กับลักษณะ σ และ τ ที่เกิดบน element ได้ ดังรูปที่ 10.4(b)



รูปที่ 2.10.4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผังแรงและ Mohr circle

2.10.5.วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

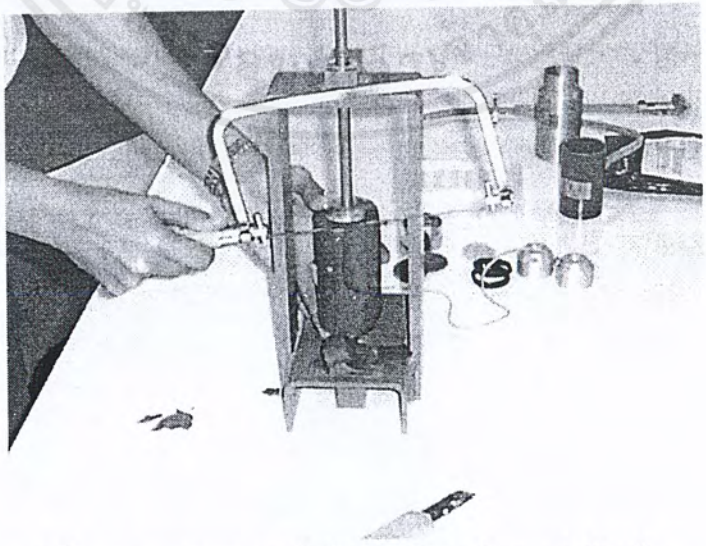
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample)

1. นำตัวอย่างดินคงสภาพวางลงบนโครงแต่งตัวอย่างโดยให้ดินที่วางมีความยาวกว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย จากนั้นทำการแต่งตัวอย่างดิน โดยหมุนตัวอย่างดินแล้วใช้เลื่อยลวดแต่งดินทำการปาดตัวอย่างดินให้เป็นทรงกลมเรียบ
2. นำตัวอย่างดินที่ได้ใส่ลงในแบบผ่า (Split Former) ที่มีขนาดเท่ากับตัวอย่างดิน จากนั้นใช้เลื่อยเส้นลวดตัดปลายทั้งสองที่ขอบแบบผ่า จะได้ขนาดตัวอย่างตามขนาดคือ L/d = 2.0 และจะทำให้ปลายที่ตัดได้แนวฉาก
3. นำเศษดินที่เหลือไม่น้อยกว่า 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น
4. ใช้เวอร์เนียวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (วัดที่ด้านบน กลาง และล่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ย) และความสูง โดยวัดประมาณ 2-3 ครั้งรอบตัวอย่าง
5. นำตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนัก หากเป็นดินอ่อนควรใช้แบบผ่า (Split Former)จับตัวอย่างและชั่งพร้อมกับตัวอย่างเลยเพื่อป้องกันการถูกรบกวน

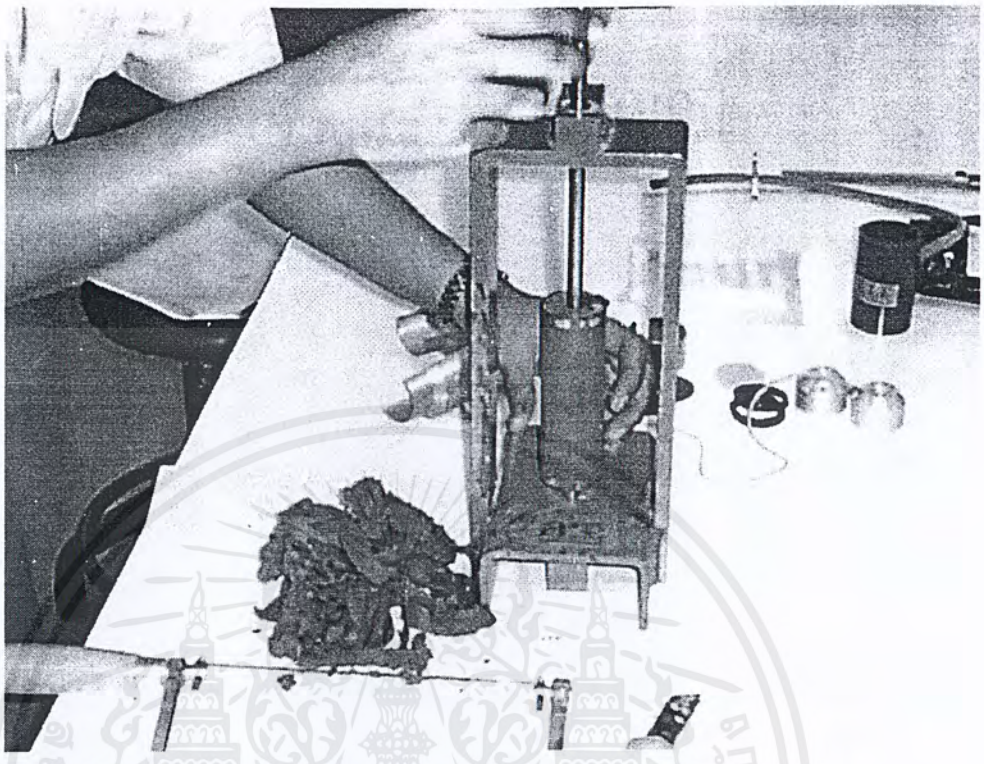
ตัวอย่างแปลงสภาพ (Remolded Sample)

1. นำตัวอย่างดินคงสภาพที่ทดสอบแล้วรวมกับดินที่เหลือในการแต่งตัวอย่างก่อนหน้านี้ มาบีบ ขยำให้เข้ากัน แล้วใส่ลงในแบบผ่าจนเต็ม แบบผ่าควรทาขี้ผึ้งไว้หล่อลื่นเพื่อสะดวกในการนำตัวอย่างดินออก เวลาใส่ดินลงในแบบผ่าพยายามอย่าให้มีโพรงอากาศ
2. ตัดปลายทั้งสองที่ขอบแบบผ่า เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้น

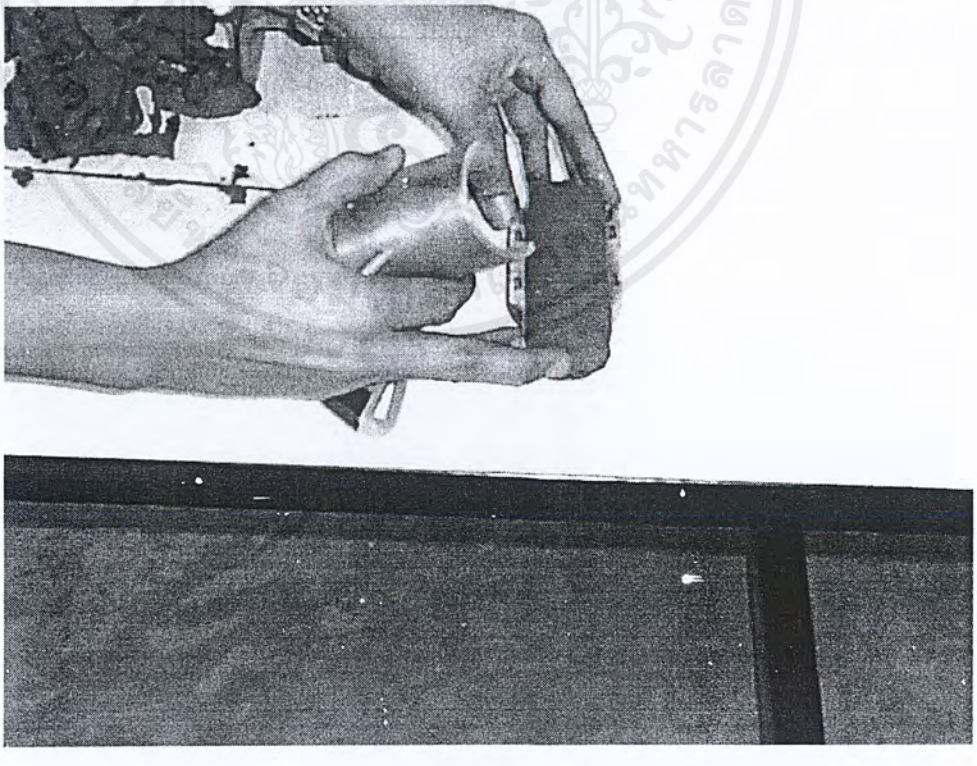


รูปที่ 2.10.5. แสดงการแต่งตัวอย่างดินบนโครงแต่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

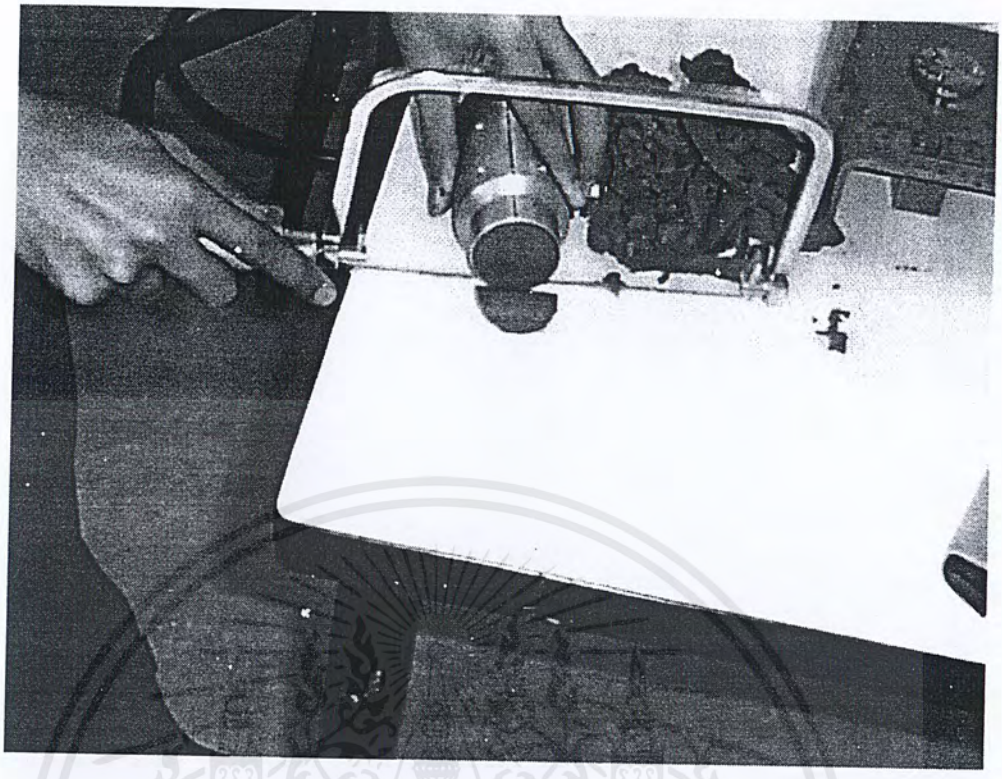


รูปที่ 2.10.6. แสดงตัวอย่างดินเมื่อทำการแต่งเสร็จบนโครงแต่งตัวอย่างดิน



รูปที่ 2.10.7. แสดงการใส่ตัวอย่างดินในแบบผ่า (split former)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



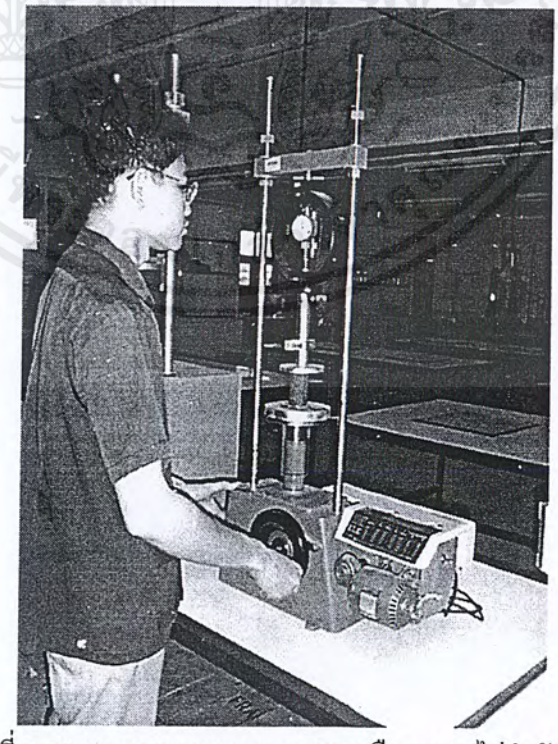
รูปที่ 2.10.8. แสดงการตัดตัวอย่างดินเพื่อให้ผิวตัดได้แนวฉากกับตัวอย่างดิน

รูปที่ 2.10.9. แสดงเศษดินเพื่อนำไปหาความชื้นและตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

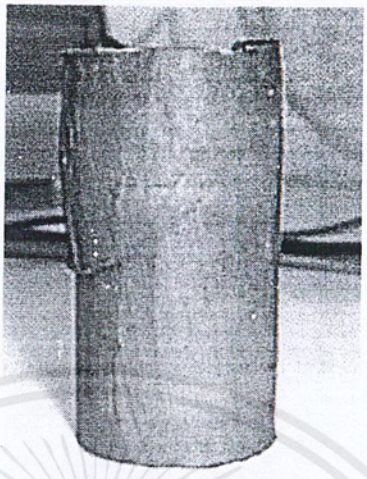
การทดสอบกดตัวอย่างดิน

1. ตั้งตัวอย่างดินตรงกลางฐานเครื่องกดที่มีแผ่นพลาสติกรองอยู่ ถอดแบบผ่า(Split Former) ออก นำแผ่นพลาสติกอีกแผ่นวางดินบนตัวอย่าง ปรับแป้นกดของเครื่องให้สัมผัสตัวอย่างพอดี
2. จัด Dial Gauge โดยให้ปลายสัมผัสกับแป้นฐานของเครื่องกด ปรับหน้าปัด Proving Ring และ Dial Gauge ให้เท่ากับศูนย์
3. เริ่มทดสอบ โดยกดตัวอย่างดินด้วยอัตรา 0.5 ถึง 2% ของความยาวตัวอย่างต่อนาที หากเป็นเครื่องทดสอบแบบหมุนด้วยมือ ควรฝึกหมุนให้ได้อัตรากดคงที่
4. บันทึกค่าแรงกดจาก Proving Ring ทุกๆ การยุบตัว 0.1 – 0.25 มม.
5. ใส่แรงกดจนค่าแรงกดเริ่มลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน ให้บันทึกผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือน (Failure Plane) บนตัวอย่างดินชัดเจน แล้วหยุดการทดสอบ หรือทดสอบจนถึงค่าความเครียด ε= 20% จึงหยุดการทดสอบ
6. วาดรูปแสดงลักษณะตัวอย่างดินที่วิบัติ และวัดมุมที่รอยเฉือนกระทำกับแนวราบ
7. นำตัวอย่างขึ้นชั่งและเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้นหลังการทดสอบ
8. ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับตัวอย่างดินแบบแปลงสภาพ (Remoulded) จนตัวอย่างวิบัติ แต่โดยปกติตัวอย่างดินจะไม่วิบัติแบบ Brittle Failure แต่จะป้องด้านข้างเป็นการวิบัติแบบ Plastic Failure ในกรณีนี้อ่านค่ายุบตัวจนถึงค่า Strain=20% จึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 2.10.10. แสดงการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10.11. แสดงการ fail ของตัวอย่างดินเหนียว

2.10.6.การคำนวณผล

1. พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนทดสอบ

$$A_0 = \frac{A_t + 2A_m + A_b}{4} \quad cm^2 \qquad (2.10.1.)$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างเริ่มต้น(เฉลี่ย) ,cm^2

A_t = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่างดิน ,cm^2

A_m = พื้นที่หน้าตัดตรงของตัวอย่างดิน ,cm^2

A_b = พื้นที่หน้าตัดด้านล่างของตัวอย่างดิน ,cm^2

2. ความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)

$$\varepsilon = \frac{x}{L_0} \qquad (2.10.2.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x = ค่ายุบตัวของตัวอย่างดิน ,mm

L_0 = ความสูงของตัวอย่างดินเริ่มต้น ,mm

3. ปรับแก้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างหลังการทดสอบ

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \qquad (2.10.3.)$$

4. หน่วยแรงกดบนตัวอย่างดิน (Axial Stress)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{R \cdot K}{A} \qquad kg/cm^2$$

$$= \frac{R \cdot K}{A} \times 98.07 \qquad kN/m^2 \qquad (2.10.4.)$$

เมื่อ P = แรงกด = R·K ,kg หรือ lb

R = ค่าอ่านบน Dial Gauge ของ Proving Ring ,ขีด

K = ค่าคงที่ของ Proving Ring ,lb ต่อขีด หรือ kg ต่อขีด

5. เขียนกราฟความเค้น (σ) ในแนวแกนตั้งต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด (ε) ในแกนนอน เพื่อหา

- ค่าความเค้นสูงสุด $(\sigma)_{max}$ เป็นค่าแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, q_u)
- ค่าความเครียดที่ค่าความเค้นสูงสุด (วิบัติ) , ε_f

6. ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained Shear Strength ,S_u) หรือค่า Cohesion,c

$$S_u = \frac{1}{2} q_u = c \qquad (2.10.5.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ค่าความไวของดิน (Sensitivity)

$$\text{Sensitivity} = \frac{S_u \text{ (Undisturbed Sample)}}{S_u \text{ (Remolded Sample)}} \qquad (2.10.6.)$$

8. วิเคราะห์ผลของความหนามแน่นและปริมาณความชื้น(water content) ของตัวอย่างดินว่ามีผลอย่างไรกับค่า S_u

2.10.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกถึงข้อจำกัดของวิธีทดสอบแบบ Unconfined Compression Test และค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. ทำไมเราถึงเลือกการทดสอบแบบ Unconfined Compression Test แทนที่จะทดสอบหาค่าแรงเฉือนโดยวิธีอื่น เช่นวิธี Direct Shear หรือ Triaxial Test
3. การเพิ่มอัตราเร็วในการกดตัวอย่างดินมีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนและโมดูลัสยืดหยุ่นของดินหรือไม่ อย่างไร
4. เราสามารถปรับปรุงดินให้มีความสามารถในการรับแรงเฉือนมากขึ้นได้หรือไม่ และมีวิธีการอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Unconfined Compression Test

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 1.8 m

TEST NO. UC-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE JULY 24,1999

PROVING RING:

Proving ring No.	138596	Proving ring constant (K) =	0.164 kg/DIV.
Loading Rate	0.800 mm/min		

SAMPLE DATA:

SAMPLE DIAMETER ,mm	35	WEIGHT OF SAMPLE ,g	142.55
SAMPLE AREA ,cm^2	9.62	SAMPLE WATER CONTENT ,%	36.7
SAMPLE HEIGHT (L_0) ,mm	70		
SAMPLE VOLUME ,cm^3	67.35		

UNCONFINED TEST RESULT:

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	9.62	0.00	0.00	0.00
20	0.20	0.29	9.65	4.00	0.66	0.07
40	0.40	0.57	9.68	8.20	1.34	0.14
60	0.60	0.86	9.70	11.50	1.89	0.19
80	0.80	1.14	9.73	13.50	2.21	0.23
100	1.00	1.43	9.76	15.50	2.54	0.26
120	1.20	1.71	9.79	17.00	2.79	0.28
140	1.40	2.00	9.82	17.50	2.87	0.29
160	1.60	2.29	9.85	18.00	2.95	0.30
180	1.80	2.57	9.87	18.60	3.05	0.31
200	2.00	2.86	9.90	18.30	3.00	0.30
220	2.20	3.14	9.93	19.00	3.12	0.31
240	2.40	3.43	9.96	18.50	3.03	0.30
260	2.60	3.71	9.99	19.00	3.12	0.31
280	2.80	4.00	10.02	19.00	3.12	0.31
300	3.00	4.29	10.05	19.00	3.12	0.31
320	3.20	4.57	10.08	19.00	3.12	0.31

UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH(q_u) = 0.31 COHESION = $q_u/2$ = 0.15 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Unconfined Compression Test

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION_____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

PROVING RING:

Proving ring No. _____	Proving ring constant (K) = _____
Loading Rate _____	

SAMPLE DATA:

SAMPLE DIAMETER ,mm		WEIGHT OF SAMPLE ,g	
SAMPLE AREA ,cm^2		SAMPLE WATER CONTENT ,%	
SAMPLE HEIGHT (L_0) ,mm			
SAMPLE VOLUME ,cm^3			

UNCONFINED TEST RESULT:

Deformation dial reading (Div)	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Load Proving Ring Reading(Div)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH(q_u) = _____ COHESION = $q_u/2$ = _____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Unconfined Compression Test

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION SOFT CLAY

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. UC-1

TEST BY KANOON

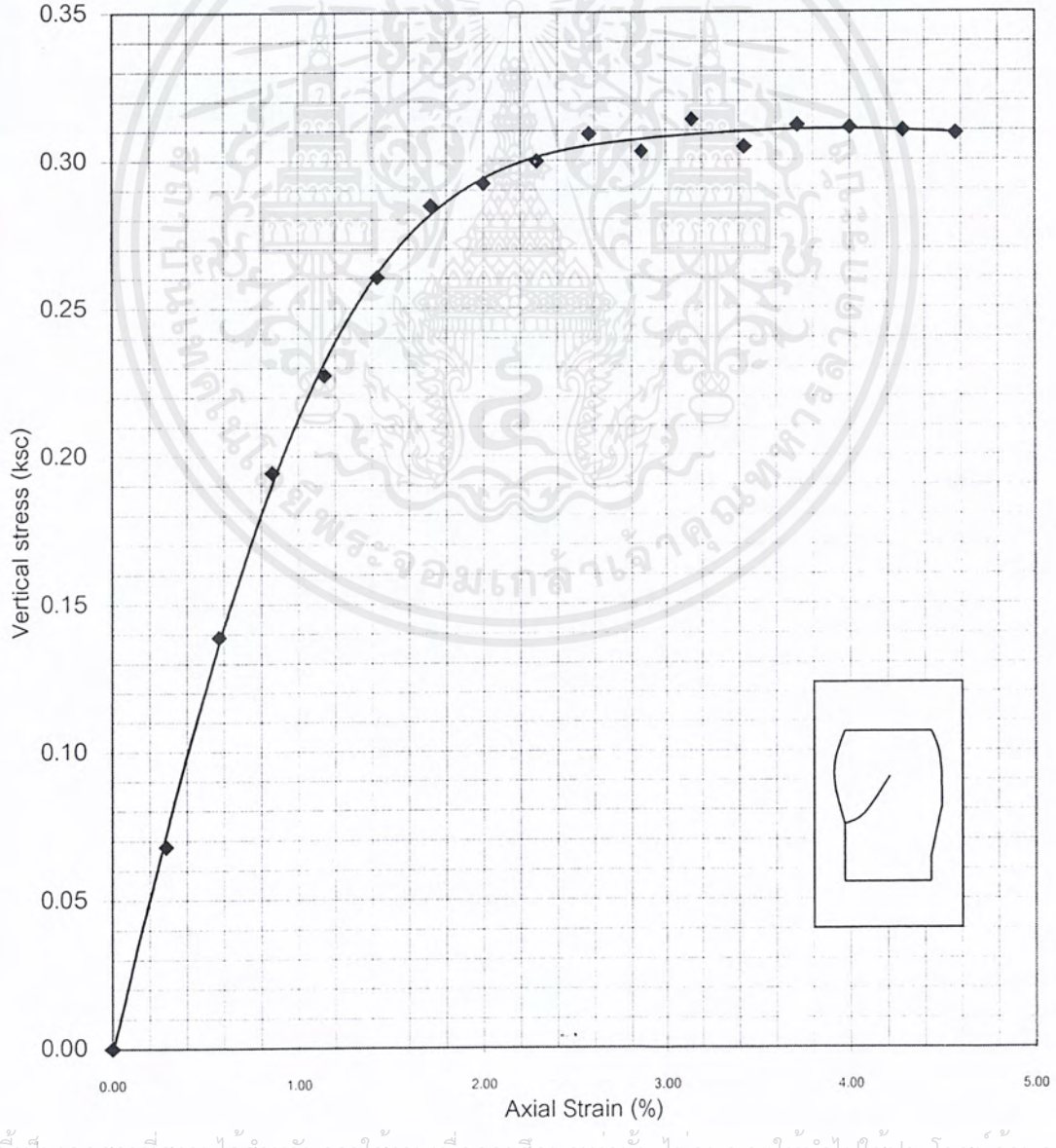
OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 1.8 m

SAMPLE NO. 1

DATE JULY 24,1999



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Unconfined Compression Test

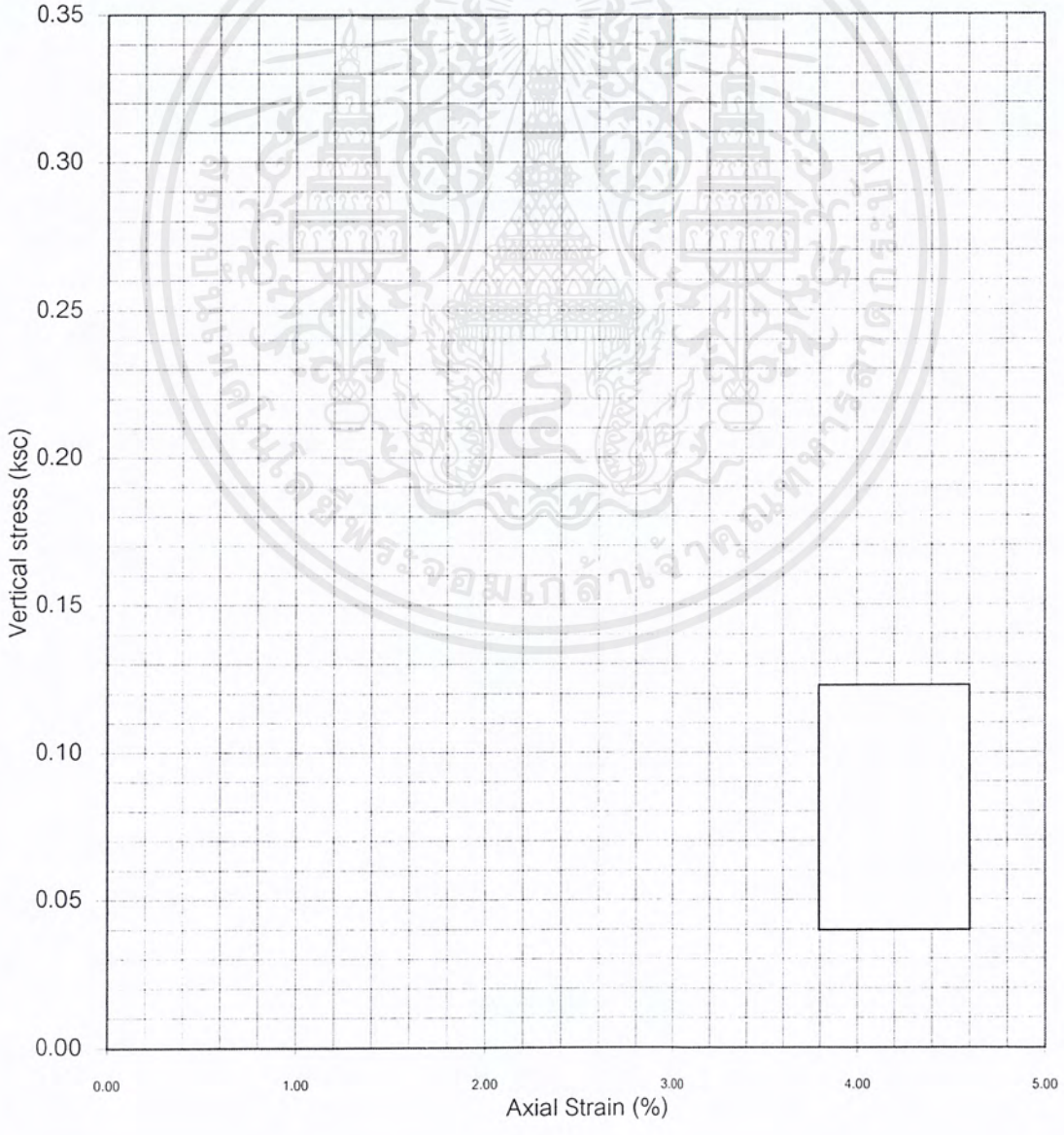
PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.การทดลองการยุบอัดตัวของดิน(CONSOLIDATION TEST)

2.11.1.อ้างอิง: ASTM D-2435

2.11.2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่า Coefficient of Consolidation (C_v) , Compression Index (C_c)
2. เพื่อหาค่า Coefficient of Volume Compressibility (M_v)

2.11.3.อุปกรณ์

1. Consolidometer (เครื่องทดสอบแบบคานงัด) พร้อม Dial Gauge
2. Loading Device ขนาด 10 กก ขนาด 5 กก ขนาด 2 กก ขนาด 1 กก ขนาด 0.5กก จำนวนมากพอสำหรับการกดทดสอบตัวอย่าง
3. อุปกรณ์บรรจุตัวอย่าง และส่วนประกอบ
- แผ่นหินพรุน (Porous Stone) 2 แผ่น
- วงแหวนตัวอย่าง (Sample Ring)
- Cap สำหรับส่งถ่ายน้ำหนัก + ลูกเหล็กส่งถ่ายน้ำหนัก
4. Sample Trimming Equipment
5. วัสดุทั่วไป
- กระดาษกรอง, จาระบี, กระดาษไข
6. เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์
7. dial gauge สำหรับวัดการทรุดตัว (อ่านได้ละเอียด .0001 นิ้ว)
8. นาฬิกาจับเวลา
9. อุปกรณ์หาค่า Water Content

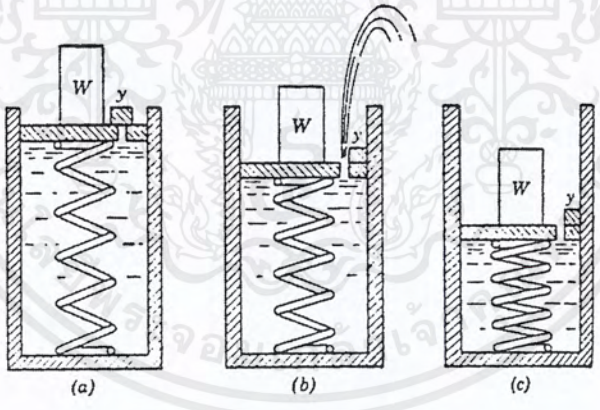
2.11.4.ทฤษฎี

เมื่อตัวอย่างดินอิ่มตัวได้รับแรงกระทำเนื่องจาก Load ที่เพิ่มขึ้น เริ่มแรก Load นั้นจะถูกต้านทานโดย pore water ในมวลดิน เนื่องจากมวลน้ำไม่สามารถจะถูกบีบอัดได้เมื่อเทียบกับมวลดิน แรงดันในน้ำเนื่องจาก Load ที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า “hydrostatic excess pressure” หลังจากนั้น เมื่อน้ำไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มไหลออกจากมวลดิน Load ที่เพิ่มขึ้นนั้น ก็จะเริ่มถ่ายแรงสู่เม็ดดิน แรงดันน้ำ pore water pressure จะลดลง เพราะ Load จะถ่ายแรงสู่เม็ดดินมากขึ้นแทนการถ่ายแรงสู่ pore water ผลจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้ปริมาตรของมวลดินลดลง ปริมาตรมวลดินที่ลดลงจะเท่ากับปริมาตรน้ำที่ไหลออกจากมวลดิน กระบวนการเหล่านี้เรียกว่าการยุบตัว "consolidation"

เราสามารถจะเข้าใจกระบวนการนี้ได้ง่ายขึ้นจาก Model Spring ในรูปที่ 11.1 โดยมวลดินอิ่มตัวจะแทนด้วยรูป 11.1(a) ตัว Spring จะแทนโครงสร้างเม็ดดินและน้ำจะแทน pore water ถ้าน้ำหนัก W วางอยู่บนน้ำและ Spring โดยที่วาล์ว y ถูกปิดอยู่ (รูปที่ 11.1a) น้ำหนัก W ที่กดลงนั้นจะถูกรับด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมวลน้ำไม่สามารถบีบอัดให้ปริมาตรลดลงได้ (incompressible) เมื่อเทียบกับ Spring เมื่อวาล์ว y เปิด ทำให้น้ำสามารถไหลออกได้ จนในที่สุดน้ำหนัก W ทั้งหมดก็จะถูกรับด้วย Spring (รูปที่ 11.1c) ระยะเวลาที่ใช้จากการเปลี่ยนการรับแรงจากน้ำในตอนเริ่มแรกจนถึงในตอนสุดท้ายคือ Spring เป็นตัวรับแรง จะขึ้นอยู่กับความเร็วที่น้ำจะสามารถไหลผ่านวาล์ว y ว่าเร็วและสะดวกเพียงใด ซึ่งถ้าเปรียบกับมวลดินก็คือความสามารถที่น้ำ (pore water) ในมวลดินจะไหลผ่านออกจากมวลดินว่าสะดวกและเร็วเพียงใด หากน้ำไหลออกจากมวลดินได้สะดวกการยุบตัวก็จะเร็ว



รูปที่ 2.11.1. แสดง Model จำลองมวลดินเมื่อเกิดการยุบตัว

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือการยุบตัวที่เกิดขึ้นในมวลดินจะขึ้นอยู่กับความสามารถของดินในการอนุญาติให้น้ำไหลซึมผ่าน "permeability" ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดินพวกทรายส่วนใหญ่จะสูงมาก ต่างกับดินพวกดินเหนียวซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการยุบอัดตัวจะต่ำ เพราะฉะนั้นในการทอลองในห้องปฏิบัติการเราจะทำการทดลองกับดินพวกที่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้ต่ำ (low permeability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการอัดยุบอัดตัว จะได้คุณสมบัติการทรุดตัวของดินที่สำคัญ 3 อย่าง คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของดิน (Coefficient of Consolidation,C_v) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน และความสามารถในการยุบอัดตัวของดิน

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \qquad (2.11.1.)$$

เมื่อ: T_v = Time Factor

$$U_v = \frac{\text{Settlement after time t}}{\text{Total final settlement}} \times 100\ \%$$

= เปอร์เซนต์การยุบอัดตัว

H = ระยะที่มากที่สุดที่ให้น้ำระบายหนีออกไปได้ (Drainage Path)

ในการทดสอบจะมีค่าเท่ากับ $\frac{\text{ความสูงของตัวอย่างดิน}}{2}$

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการยุบอัดตัวของดิน

<u>การหาค่า C_v ด้วยวิธี Square Root Time</u>

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} = \frac{0.848H^2}{t_{90}} \qquad (\text{ที่ } U_v = 90\%\ \ T_v = 0.848) \qquad (2.11.2.)$$

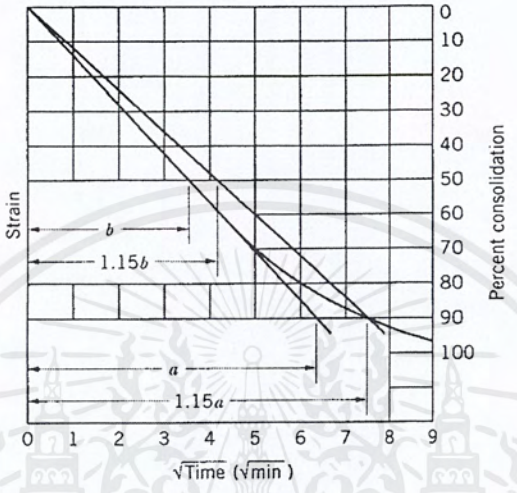
วิธีการหาค่า t_{90} จากวิธี $\sqrt{t}$ โดยหลักการของ Taylor

1. บันทึกค่าในกราฟโดยการทรุดตัวที่อ่านได้จากDial Gauge ในแกน Y และบันทึก $\sqrt{t}$ ใน แกน X ซึ่งจะ ได้ลักษณะกราฟโค้งหงาย
2. ลากเส้นตรงให้สัมผัสและทับกับเส้นกราฟมากที่สุด จุดที่เส้นกราฟตัดแกน Y จะเป็นเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่ 0 % (U_v = 0%)
3. หาค่า U_v = 90% เพื่อทำการหา ค่า t_{90} ทำได้โดยพิจารณาเส้นตรงที่ลากจากขั้นตอนที่แล้ว แล้วทำการเลือกความยาวทางแกน X ที่เหมาะสม สมมติเท่ากับ b (ควรเลือกในจุดที่มีความยาวพอสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควร) จากนั้นให้คูณค่า 1.15 จะได้ความยาวใหม่เท่ากับ 1.15b จุดดังกล่าวลากขึ้นไปตัดกับจุด 0 % consolidation

4. เส้นตรงที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 จะตัดกับกราฟที่ได้จากผลการทดลอง ซึ่งจุดตัดดังกล่าวจะเป็นจุด ที่มีการทรุดตัว 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นอ่านค่าเวลาที่การยุบตัว 90 เปอร์เซ็นต์ ในแกน X



รูปที่ 2.11.2. แสดงค่า strain กับ square root time

การหาค่า C_v ด้วยวิธี Log Time

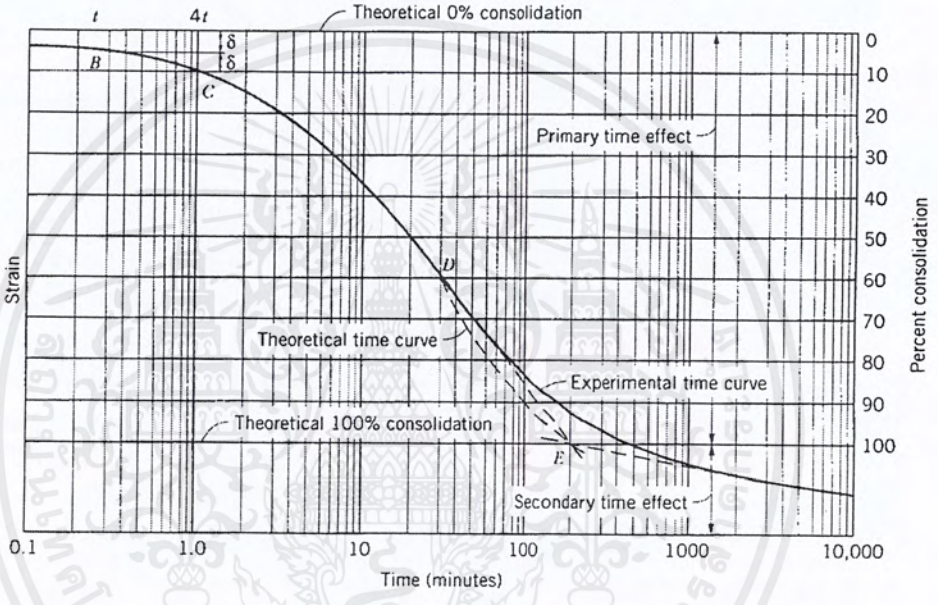
$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} = \frac{0.197H^2}{t_{50}} \quad (\text{ที่ } U_v = 50\% \quad T_v = 0.197) \qquad (2.11.3.)$$

วิธีการหาค่า t_{50} จากวิธี Log t โดยหลักการของ Casagrande

1. บันทึกค่าลงในกราฟสเกล Log โดยที่ค่าในแกนตั้งเป็นค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge และในแกนนอนเป็นค่าของเวลา จะได้ลักษณะของโค้งเป็นรูปตัว S กลับด้าน
2. หาค่า U_v = 0 % โดยส่วนเริ่มของกราฟกำหนดจุดเวลา t (จุด B) และที่จุดเวลา 4t (จุด C) จากจุดที่เลือกข้างต้น ลากเส้นขนานตัดแกนตั้ง ค่าผลต่างสมมติเท่ากับ δ จากนั้นนำขนาดช่วงเท่ากับ δ ระบุลงไปในด้านบนของส่วนเริ่มของกราฟโดยถือว่าจุดดังกล่าวเป็นจุดเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่ 0 % (U_v = 0%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่า U_v = 100 % เพื่อหาค่า t_{50} สามารถทำได้โดยต่อส่วนที่เป็นเส้นตรงที่ช่วงกลางของกราฟและต่อส่วนที่เป็นเส้นตรงทางด้านท้ายของกราฟ จุดตัดระหว่างเส้นตรงทั้งสองเส้นดังกล่าวที่จุด E ทำการลากเส้นขนานแกนนอนไปตัดแกนตั้งค่าที่ได้ถือว่าเป็นการทรุดตัวที่ 100 % (U_v = 100 %)
4. ค่า t_{50} หาได้โดยแบ่งครึ่งระหว่างค่าทางแกนตั้งที่ U_v = 0 % และที่ U_v = 100 % ลากเส้นขนานแกนตั้งไปตัดที่กราฟค่าที่ได้ทางด้านแกนนอน จะได้เป็นค่าเวลาที่ระยะมีการทรุดตัวเท่ากับ 50 % (U_v = 50 %)



รูปที่ 2.11.3. แสดงค่า strain กับ time (log scale)

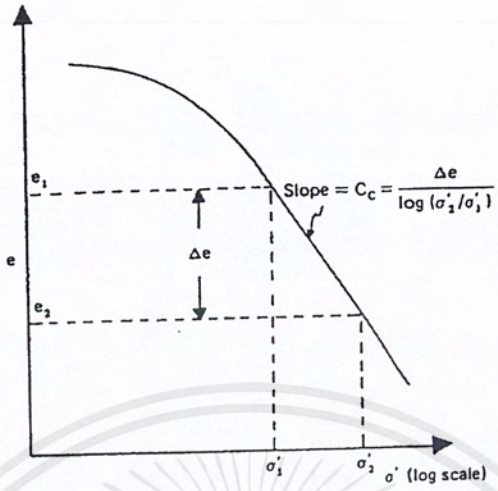
2. ดัชนีของการกดอัด (Compression Index ,C_c)

จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนช่องว่างกับความเค้นแนวแกนประสิทธิผล

C_c = ความชันของกราฟระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง Void Ratio, e กับ log p ในช่วงที่เป็นเส้นตรง (Normal Consolidate)

$$C_c = \text{Slope} = \frac{e_1 - e_2}{\log\sigma'_2 - \log\sigma'_1} = \frac{\Delta e}{\log(\sigma'_2/\sigma'_1)} \qquad (2.11.4.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11.4. รูปแสดงการหาค่า C_c

3. ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการยุบตัว (Coefficient of Volume Compressibility ,m_v)

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} \cdot \frac{1}{1 + e_0} \qquad (2.11.5.)$$

เมื่อ: e_0 = อัตราส่วนช่องว่างของดินเดิม

$1 + e_0$ = ปริมาตรของดินเดิม

Δe = อัตราส่วนช่องว่างที่เปลี่ยนไป

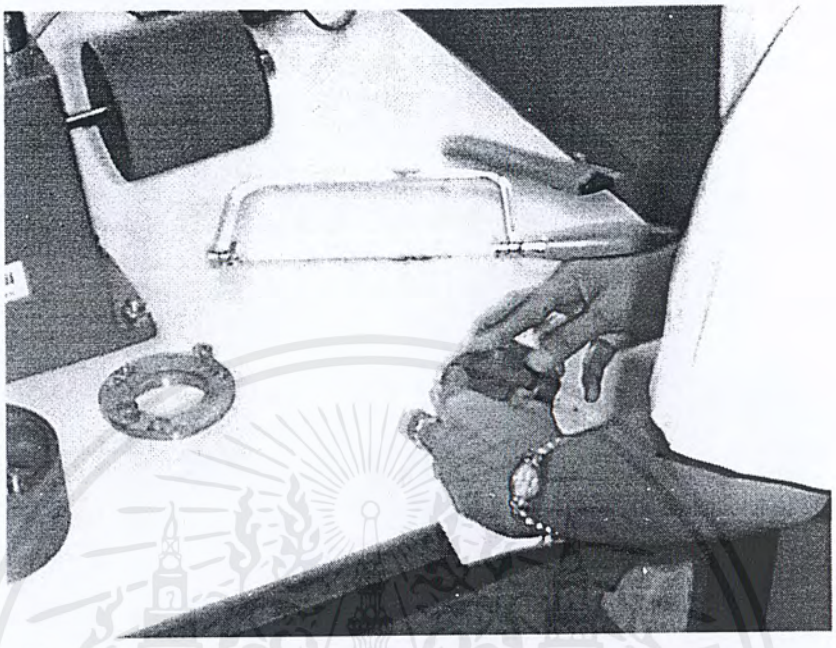
2.11.5.วิธีการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างดิน

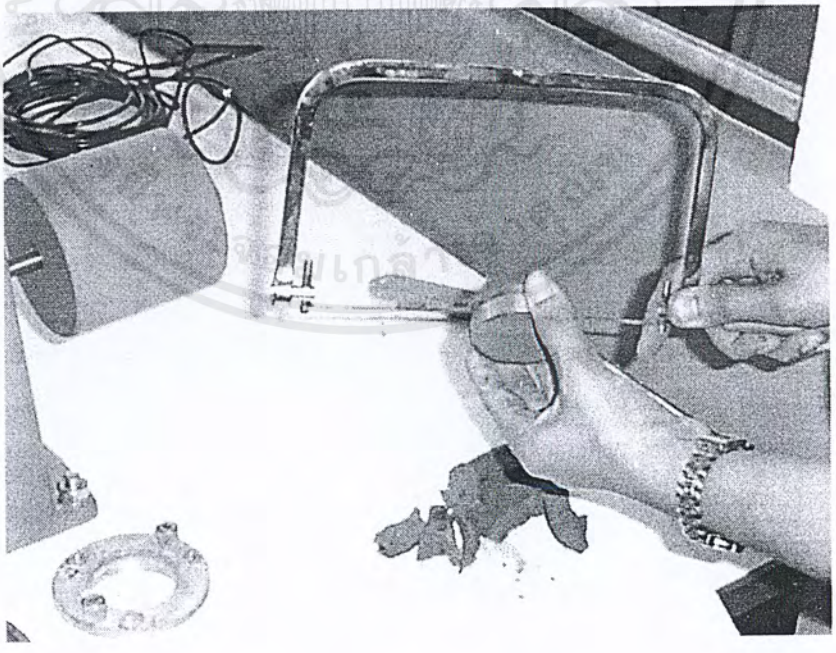
1. นำตัวอย่างดินมาตกแต่งให้ได้ขนาดตาม Consolidation ring โดยใช้ specimen trimmer นำดินที่เหลือจากการตกแต่งไปหา water content
2. วัดขนาดตัวอย่างและชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นและ initial void ratio
3. นำตัวอย่างดินติดตั้งใน Consolidometer ซึ่งมีแผ่นหินพรุน (porous stone) ประกบตัวอย่างทั้งด้านบนและล่าง เพื่อให้น้ำไหลออกได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำ Consolidometer ติดตั้งใน Loading frame และติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดิน จากนั้นใส่น้ำใน Consolidometer ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับตัวอย่างดิน

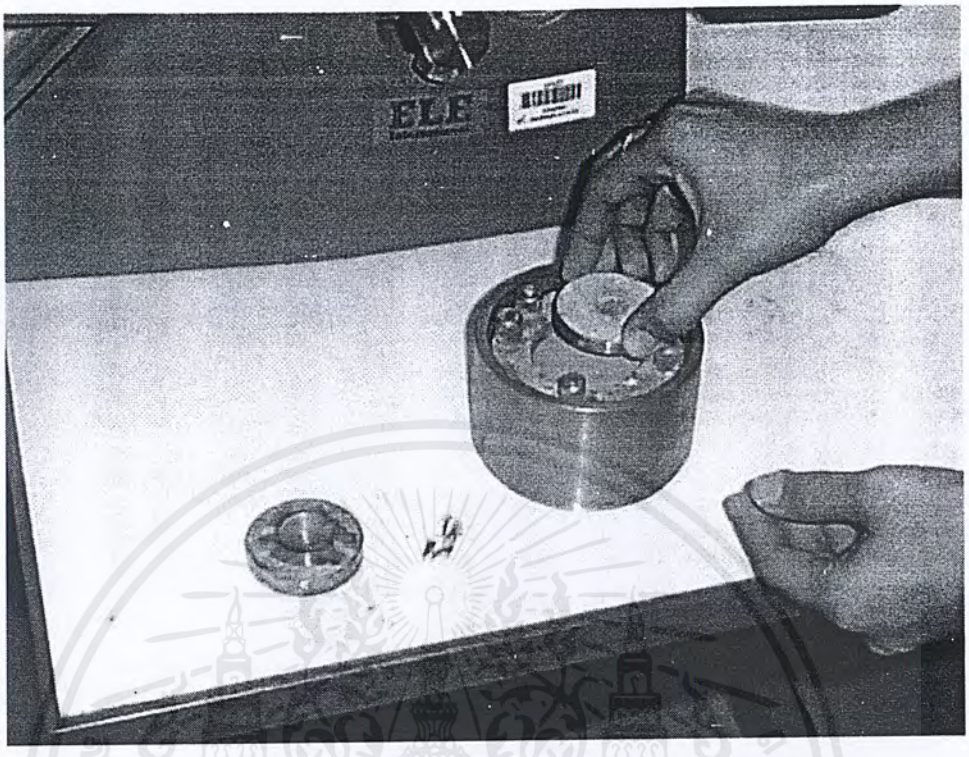


รูปที่ 2.11.5. แสดงการกดให้ได้ตัวอย่างดินตามขนาด

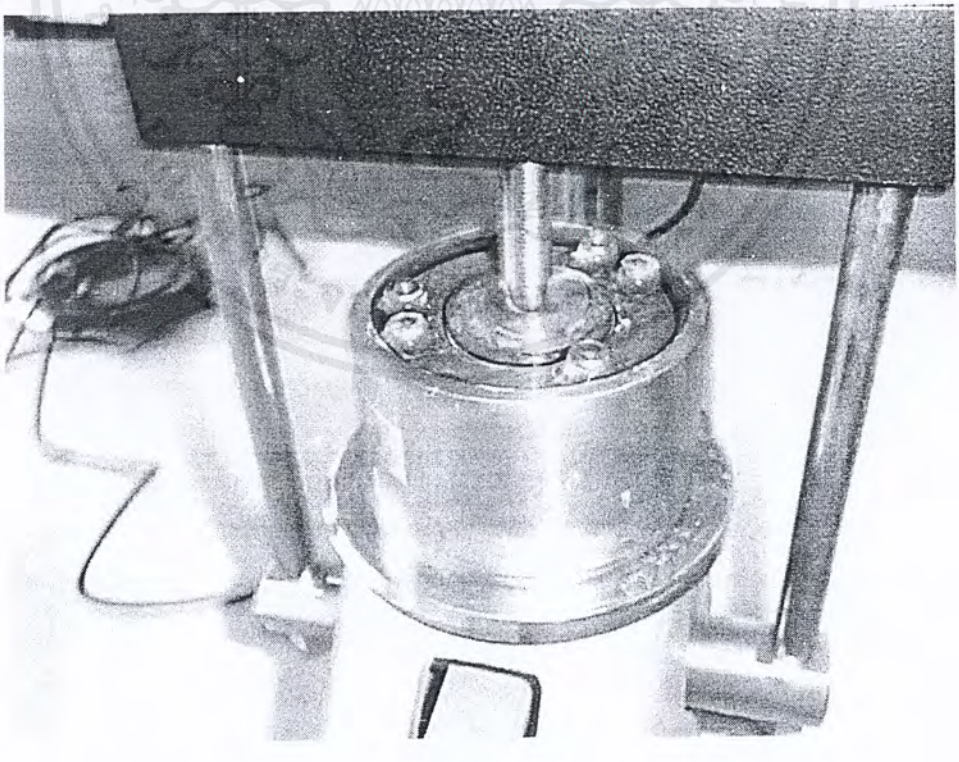


รูปที่ 2.11.6. แสดงการแต่งตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

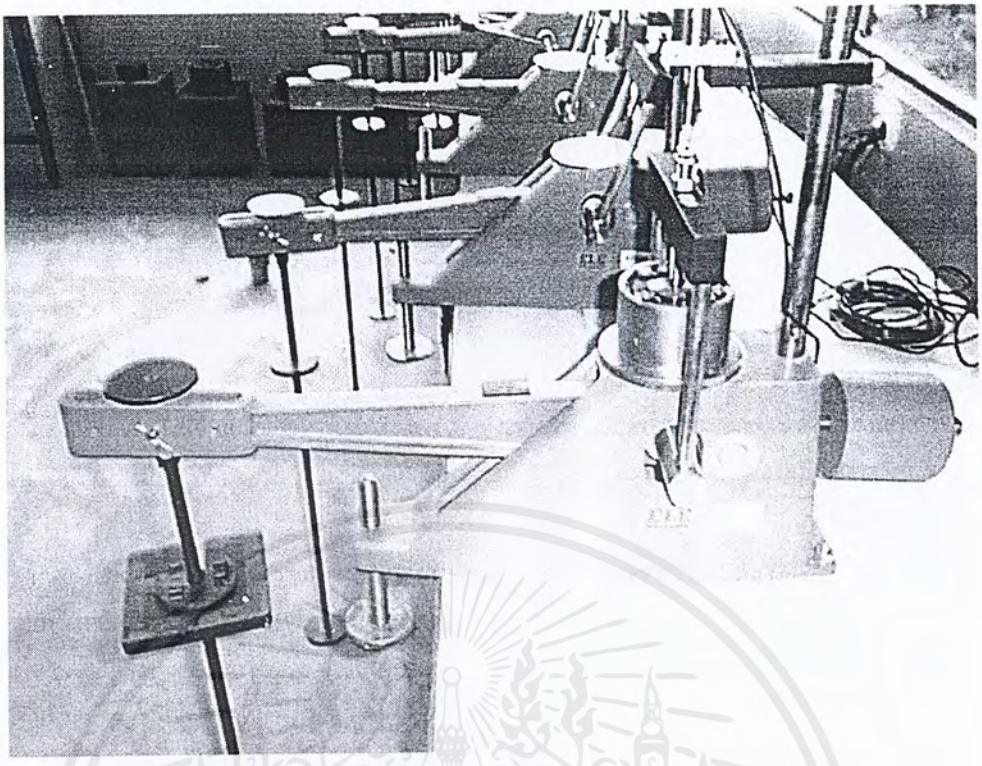


รูปที่ 2.11.7. แสดงการใส่ porous stone ใน mould



รูปที่ 2.11.8. แสดงตัวอย่างเมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11.9. เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยใส่ Load และทำการทดสอบ

การทดสอบตัวอย่างดิน

1. หลังจากได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วนำน้ำหนักที่ได้ เตรียมพร้อมสำหรับวางไว้ที่แขวนน้ำหนัก ตรวจสอบความเรียบร้อยของ Dial Gauge
2. ทำการวางน้ำหนักลงบนคานที่แขวนน้ำหนักพร้อมเริ่มจับเวลาบันทึกค่าที่อ่านได้จาก Dial Gauge ที่เวลาต่างๆ ดังนี้ 0.25,0.5,1,2,4,8,15,30 นาที และ 1,2,4,... ชั่วโมง นับจากเริ่มต้น ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. บันทึกค่าสุดท้าย
3. หลังจากครบ 24 ชม. จึงทำการเพิ่มน้ำหนักในขั้นต่อไป และทำซ้ำตามข้อ 2. โดยการอ่านค่าการทรุดตัวที่ระยะเวลาต่างๆ (ทำการทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักอีกประมาณ 6 ขั้น)
4. เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงขั้นสุดท้ายแล้วจากนั้นทำการถอนน้ำหนักออกโดยลดน้ำหนักที่แขวนลงครึ่งหนึ่งแล้วทิ้งไว้ประมาณ 6-8 ชม. บันทึกค่าที่เวลาดังกล่าว จากนั้นก็ทำการถอนน้ำหนักลงต่อไปอีกครึ่งหนึ่งทำอย่างนี้ต่อไปจนหมด
5. หลังจากทำการทดสอบเรียบร้อยแล้วทำการถอดเพื่อนำวงแหวนทดสอบมาทำการวัดขนาดตัวอย่างดิน เพื่อหาปริมาตร เพื่อนำไปหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้นหลังจากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.6.การคำนวณและแสดงผล

1. รายละเอียดของตัวอย่างดิน

- ค่า Water Content และ Unit Weight ก่อนและหลังการทดสอบ
- ค่า void ratio,e ในแต่ละวัน

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_T - H_S}{H_S} \qquad (2.11.6.)$$

เมื่อ H_T = ความสูงของตัวอย่างดิน cm

H_S = ความสูงของเนื้อดิน = $\frac{W_S}{G_S \rho_w A}$ cm

G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างวงแหวน cm^2

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/cm^3

W_S = น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่างดิน (ได้จากการอบแห้ง) g

2. Plot Graph

- Strain กับ Square Root Time (7กราฟ) กรณีหาค่า C_vด้วยวิธี Square Root Time
- Strain กับ Log Time (7กราฟ) กรณีหาค่า C_vด้วยวิธี Log Time
- Void ratio,e กับ Pressure(Stress)(log scale) (1กราฟ)

3. หาค่า C_v

กรณีหาค่า C_vด้วยวิธี Square Root Time

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} = \frac{0.848H^2}{t_{90}} \qquad (\text{ที่ } U_v = 90\% \quad T_v = 0.848)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีหาค่า C_vด้วยวิธี Log Time

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} = \frac{0.197H^2}{t_{50}} \qquad (\text{ที่ } U_v = 50\% \quad T_v = 0.197)$$

4. ดัชนีของการกดอัด (Compression Index ,C_c)

$$C_c = \text{Slope} = \frac{\Delta e}{\log(\sigma'_2/\sigma'_1)}$$

5. ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการยุบตัว (Coefficient of Volume Compressibility ,m_v)

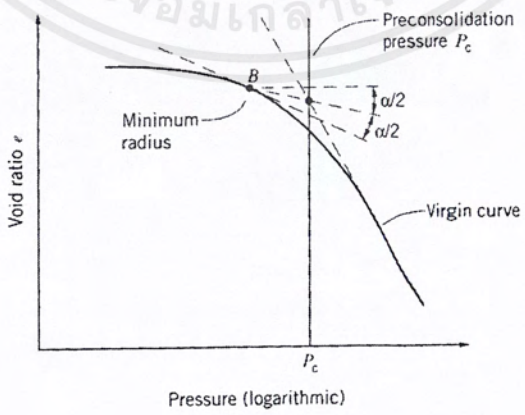
$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} \cdot \frac{1}{1 + e_0}$$

เมื่อ: e_0 = อัตราส่วนช่องว่างของดินเดิม

$1 + e_0$ = ปริมาตรของดินเดิม

Δe = อัตราส่วนช่องว่างที่เปลี่ยนไป

6. หาค่า Maximum Past Pressure, p_mหรือ p_c เป็นความดันสูงสุดซึ่งตัวอย่างดินเคยถูกกดทับมาในอดีต



รูปที่ 2.11.10. แสดงการหาความดันสูงสุดในอดีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำความรู้จากการทดลองการยุบอัดตัวของดินไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. จากการทดลองการยุบอัดตัวของดินเราจะได้ค่าต่างๆ อะไรบ้าง พร้อมบอกว่าค่าต่างๆ เหล่านั้นนำไปใช้ประโยชน์อะไร
3. จากผลการทดลองนี้จะเกิดข้อผิดพลาดได้จากสาเหตุอะไรได้บ้าง
4. ค่า Maximum Past Pressure ทำให้เรารู้อะไรได้บ้างกับตัวอย่างดิน และนำไปใช้ประโยชน์อะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATION TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION DARK GRAY CLAY

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. CS-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 1.6 m

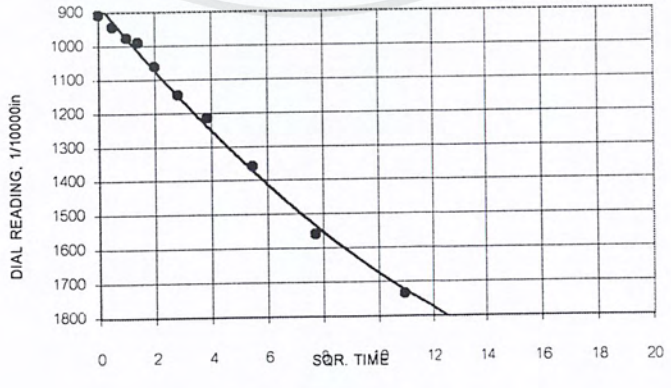
SAMPLE NO. 1

DATE JUNE 24,1999

APPLIED PRESSURE 1.27 ksc To 2.55 ksc

SCALE LOAD 4.0 Kg To 8.0 Kg

DATE	TIME	ELAPSED TIME(Min)	SQR. TIME	DIAL READING (1/10000 in.)	
24-Jun-99	8.40	0	0	910	
		0.25	0.5	945	
		1	1	978	
		2	1.414	991	
		4	2	1063	
		8	2.828	1148	
		15	3.873	1215	
		30	5.477	1359	
		60	7.746	1560	
		120	10.954	1735	
		240	15.49	1913	
	10.40	480	21.91	1998	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATION TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

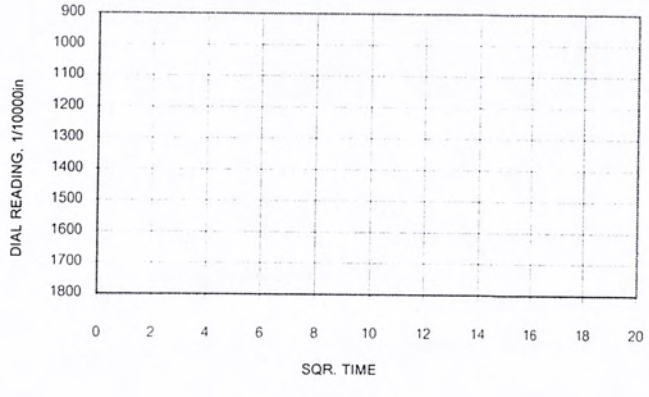
TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

APPLIED PRESSUR _____ To _____

SCALE LOAD _____ To _____

DATE	TIME	ELAPSED TIME(Min)	SQR. TIME	DIAL READING (1/10000 in.)	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATION TEST

PROJECT GEO-TEST

SOIL DESCRIPTION DARK GRAY CLAY

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. CS-1

TEST BY KANOON

OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 1.6 m

SAMPLE NO. 1

DATE JUNE 24,1999

SAMPLE DATA:

INITIAL SAMPLE HT.	2.54 cm		SAMPLE AREA	19.88 sq.cm	
INITIAL SAMPLE VOL.	71.67 sq.cm		DRY WT. OF SOLID	67.33 g	
SOIL SPECIFIC GRAVITY	2.7		HT. OF SOLID	0.793 cm	
INITIAL VOID HT.	1.745		INITIAL VOID RATIO	2.18	

WATER CONTENT DATA:

	BEFORE TEST		AFTER TEST		
CONTAINER NO.	C1		C2		
WET SOIL + CAN g	44.68		45.63		
DRY SOIL + CAN g	40.23		41.95		
WT. OF CAN g	33.2		35.4		
WT. OF WATER g	4.45		3.68		
WT. OF DRY SOIL g	7.03		6.55		
% WATERCONTENT	63.30		56.18		

LOAD kg	PRESSURE ksc	D.R. at END OF LOADING (1/10000 in)	CHANGE IN SAMPL HEIGHT (in)	VOID RATIO	T90 (min)	CV (sq.cm/sec)
0	0	0	0	2.18	-	-
0.5	0.159	172	0.0173	2.134	5.7	3.83×10^{-3}
1	0.368	198	0.0025	2.13	7	3.13×10^{-3}
2	0.6	380	0.0182	2.071	18.4	1.16×10^{-3}
4	1.272	910	0.0532	1.95	44.8	4.54×10^{-3}
8	2.544	2098	0.1184	1.58	143	1.02×10^{-3}
16	5.088	3145	0.104	1.244	114.3	1.11×10^{-3}
4	1.272	2886	-0.0262	1.328	-	-
0	0	1715	-0.117	1.704	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATION TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

SAMPLE DATA:

INITIAL SAMPLE HT.			SAMPLE AREA		
INITIAL SAMPLE VOL.			DRY WT. OF SOLID		
SOIL SPECIFIC GRAVITY			HT. OF SOLID		
INITIAL VOID HT.			INITIAL VOID RATIO		

WATER CONTENT DATA:

	BEFORE TEST		AFTER TEST		
CONTAINER NO.					
WET SOIL + CAN g					
DRY SOIL + CAN g					
WT. OF CAN g					
WT. OF WATER g					
WT. OF DRY SOIL g					
% WATERCONTENT					

LOAD kg	PRESSURE ksc	D.R. at END OF LOADING (1/10000 in)	CHANGE IN SAMPL HEIGHT (in)	VOID RATIO	T90 (min)	CV (sq.cm/sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.TRIAXIAL TEST(UU TEST)

2.12.1.อ้างอิง: ASTM D-2850,D-4767

2.12.2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการหากำลังรับแรงเฉือนของดิน(Shear Strength) แบบไม่ระบายน้ำ(Undrained)
2. เพื่อทำการหาค่า $\varnothing$ และ ค่า C แบบไม่ระบายน้ำ("Undrained" soil shear strength parameters)

2.12.3.อุปกรณ์

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) และมาตรหน้าปัด(Dial Gauge) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดแรง(Load transducer)
3. มาตรหน้าปัด(Dial Gauge)หรือตัวแปลงสัญญาณอ่านความเครียด(Displacement transducer)
4. เซลล์ 3 แกน (Triaxial Cell)
5. แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)
6. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
   - -เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw)
   - -โครงแต่งดิน (Trimming Frame)
   - -แบบแยก (Split Former)
7. อุปกรณ์และวัสดุ
   - -แผ่นกดตัวอย่าง (Load Disc)
   - -ที่เบ่งปลอกยาง (Rubber Membrane Stretcher)
   - -แผ่นตัน (Solid Disc) สำหรับ UU Triaxial Test
   - -หินพรุน (Porous Stone) 2 แผ่น สำหรับ CU Triaxial Test
   - -กระดาษกรอง (Filter Paper) ตัดเท่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่าง 2แผ่น
   - -ปลอกยาง (Rubber Membrane)
   - -ยาง O-Ring (Rubber O-Ring)
8. เครื่องมือทั่วไป
   - -อุปกรณ์หาความชื้นของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ตาชั่งน้ำหนัก

2.12.4.ทฤษฎี

หลักการวิธีทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)

การทดสอบแรงอัด 3 แกน เป็นวิธีหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินตัวอย่าง ที่มีสภาพดินใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติมากที่สุด โดยสามารถปรับความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) ให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน และมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกจากมวลดินได้สะดวก และอ่านค่าได้แน่นอน ลักษณะพื้นระนาบพิบัติของมวลดินตัวอย่างที่เกิดขึ้นเป็นไปตามธรรมชาติ การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินทางด้านการรับกำลังด้วยวิธีการทดสอบแรงอัดสามแกน สามารถหาได้ทั้งหน่วยแรงรวม (Total Stress) และหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของมวลดิน วิธีการทดสอบแรงอัดสามแกนจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

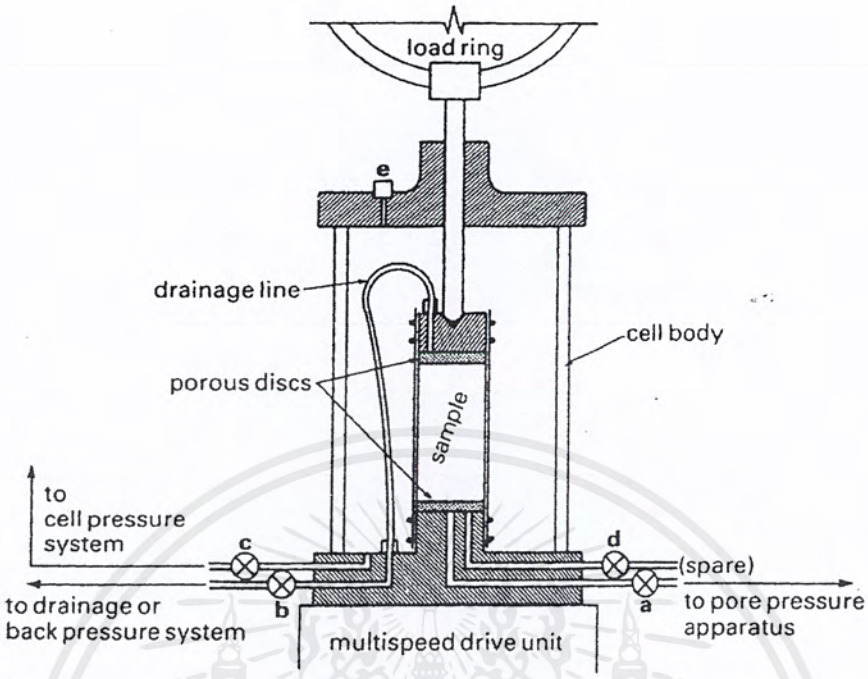
1.ทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (Saturation Stage)
2.ขั้นตอนการขับน้ำออกจากมวลดิน (Consolidation Stage)
3.ขั้นตอนการเพิ่มหน่วยแรงกระทำต่อมวลดินจนกระทั่งมวลดินถึงขีดขั้นของการพิบัติ (Shearing Stage or Compression Stage)

แต่ในบางการทดสอบจะไม่มีในบางขั้นตอนตามชื่อเรียกซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

1. การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Stage)

การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) จำเป็นสำหรับการใช้วัดความดันน้ำส่วนเกิน (Pore water pressure) การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวไปด้วยน้ำ (Saturation) เป็นการเพิ่ม Pore water pressure ให้มีระดับสูงพอที่น้ำจะถูกดูดซับเข้าไปทั่วทุกแห่งของช่องว่างอากาศ ในขณะเดียวกันที่ความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure) จะถูกเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะยังคงรักษาให้ Effective Stress เป็นบวกอยู่เล็กน้อย ส่วนใหญ่วิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติจะใช้การให้ Back pressure น้อยกว่า ความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure) เล็กน้อย (โดย Effective Stress เป็นบวก) และตรวจสอบค่าคงที่ B ในแต่ละครั้งที่เพิ่มความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure) .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12.1. แสดงภาพตัด Cell

2. การขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน (Consolidation Stage)

เป็นการอัดตัวอย่างดินภายใต้ความดันที่ดินถูกกดทับประสิทธิผลตามธรรมชาติหรือภายใต้ความดันที่ต้องการทดสอบ ซึ่งปกติ effective stress หลังขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) จะมีค่าน้อยกว่าความดันจำกัดตัวอย่างดินประสิทธิผล(effective confining pressure) ที่ใช้ในขั้นตอนเฉือนตัวอย่างดิน ดังนั้นจึงต้องขับน้ำออกจากตัวอย่างดินเพื่อให้ได้สภาวะไม่มีความดันน้ำส่วนเกิน(Pore water pressure) ณ สภาวะทดสอบในขั้นตอนการเฉือนตัวอย่างดิน

วิธีการอัดตัวอย่างดินทำโดยการเพิ่มความดันภายนอกตัวอย่างดิน (cell pressure) และเปิดทางระบายให้น้ำระบายออกจากตัวอย่างดิน (back pressure line) จนความต่างศักย์ด้านนอกและด้านในตัวอย่างดินเท่ากัน ตัวอย่างดินจะหยุดอัดตัว

3. การเฉือนตัวอย่างดิน (Shearing Stage)

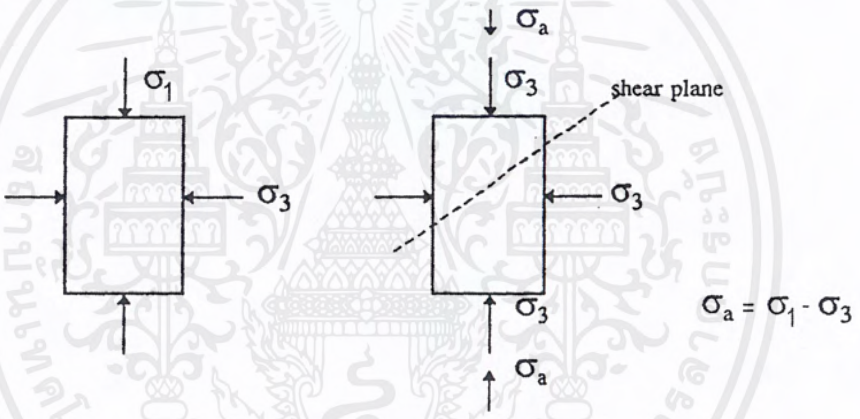
การอัดแรงเฉือนตัวอย่างดินเพื่อให้ได้ค่ากำลังของดิน โดยการเพิ่มหน่วยแรงในแนวแกนดิ่งจนกระทั่งตัวอย่างดินถึงจุดพิบัติ สามารถจำแนกสภาพการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

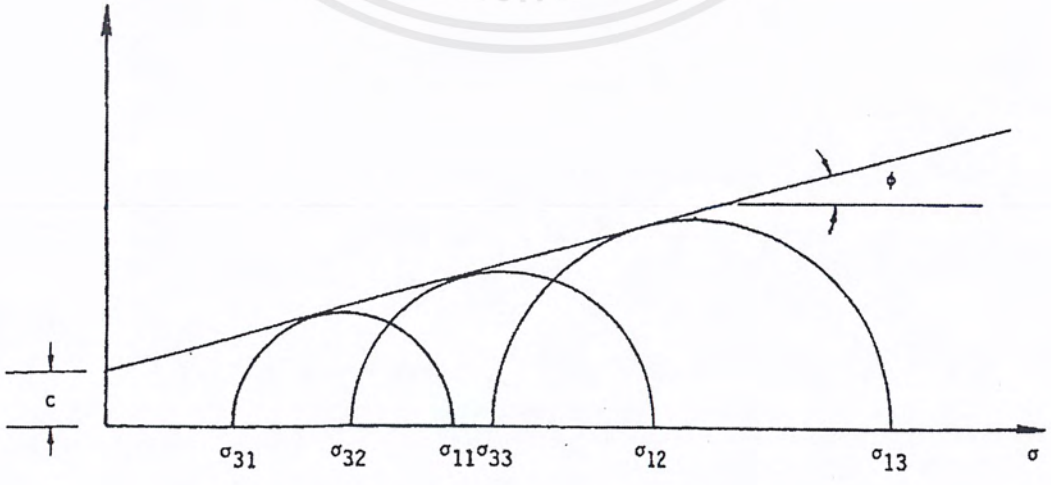
3.1 สภาพไม่ยอมให้น้ำไหลเข้าออกระหว่างเฉือนดิน (Undrained Condition) ขณะที่มีการเฉือนตัวอย่างดิน จะไม่มีการให้น้ำไหลเข้าออก จากตัวอย่างดินทำให้ปริมาณน้ำในมวลดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.2 สภาพยอมให้น้ำไหลเข้าออกระหว่างเฉือนดิน (Drained Condition) ขณะที่มีการเฉือนตัวอย่างดินจะมีการยอมให้น้ำไหลเข้าออกตัวอย่างดิน ความดันของน้ำในตัวอย่างดินจากการเพิ่มหน่วยแรงในแนวดิ่งจะไม่เกิดขึ้น(no excess pore water pressure develop) การทดสอบจะต้องควบคุมอัตราการอัดแรงเฉือนให้ช้ามากเพื่อไม่ให้เกิดความดันน้ำเกิน(Excess pore pressure)ในตัวอย่างดิน

ในการใส่ load ให้กับตัวอย่างดินนั้นทำได้โดยการเพิ่มแรงกดในแนวดิ่ง deviator stress , σ_a



รูปที่ 2.12.2. แสดง model stress ที่กระทำกับตัวอย่างดินใน triaxial cell



รูปที่ 2.12.3. การหาค่า cohesion และ internal friction จากการทดสอบ Triaxial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12.2. ในขั้นของการเฉือนตัวอย่าง เมื่อเราให้ cell pressure (σ_3) ค่าหนึ่ง และทำการทดสอบจนตัวอย่างดินวิบัติ เราจะได้ค่า stress สูงสุดในแนวดิ่งที่ดินแบกทานได้ (σ_1) เพราะฉะนั้นหากเราทำการทดสอบตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยการให้ค่า cell pressure ที่ต่างกันในแต่ละครั้งของการทดสอบตัวอย่างดิน เพราะฉะนั้นเราจะได้ค่า σ_1 3 ค่า เมื่อเรานำมาเขียน Mohr's Circle จะได้ดังรูปที่ 2.12.3. ซึ่งทำให้เราหาค่า cohesion และค่า internal friction ได้

ชนิดของการทดสอบ Triaxial Test

การทดสอบ Triaxial Test นั้นสามารถจำลองสภาพของดินได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติมากที่สุดเพราะฉะนั้นในการทดสอบจึงสามารถจำลองสภาพได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบ และ parameter ที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วสภาพการทดสอบที่นิยมทำกันทั่วไปมีดังนี้

1. Unconsolidated-undrained (UU) คือไม่มีการอัดตัวอย่างอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรก และในขั้นการเฉือนก็ไม่ยอมให้มีน้ำไหลเข้าออกจากตัวอย่างดิน
2. Consolidated-undrained(CU) มีการอัดตัวอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรกโดยให้ confining pressure (cell pressure) และในขั้นการเฉือนก็ไม่ยอมให้มีน้ำไหลเข้าออกจากตัวอย่างดิน
3. Consolidated-drained(CD) มีการอัดตัวอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรกโดยให้ confining pressure (cell pressure) และในขั้นการเฉือนและอัดตัวอย่างให้ใช้อัตราการให้ Strain ที่ช้าเพื่อที่ไม่ให้เกิด pore water pressure ขึ้น ($\Delta u = 0$)

2.12.5.วิธีการทดลอง

<u>ขั้นตอนในการทำการทดสอบแรงอัด 3 แกน</u>

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

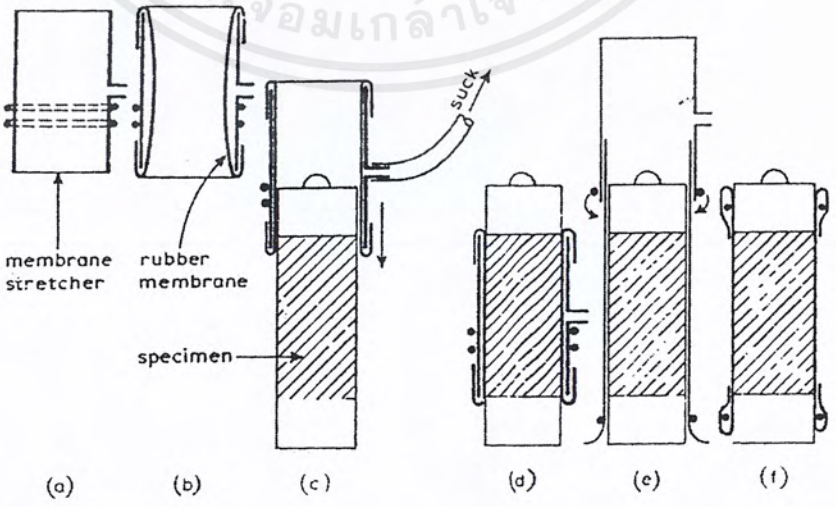
1. แต่งตัวอย่างดินบนโครงแต่งตัวอย่าง ให้เรียบได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่างที่จะทดสอบ
2. ใช้แบบแยก (Split Former) ตัดตัวอย่างให้ได้ความยาว ตามขนาด (L/d = 2.0) และตั้งฉากที่ปลายทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำตัวอย่างดินขึ้นชั่ง โดยใช้พร้อมกับแบบแยก(Split Former) เพื่อป้องกันการถูกรบกวน ดูรูปการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Unconfined Compression Test (วิธีการเตรียมตัวอย่างดินเหมือนกัน)

ขั้นตอนการใส่ปลอกยาง

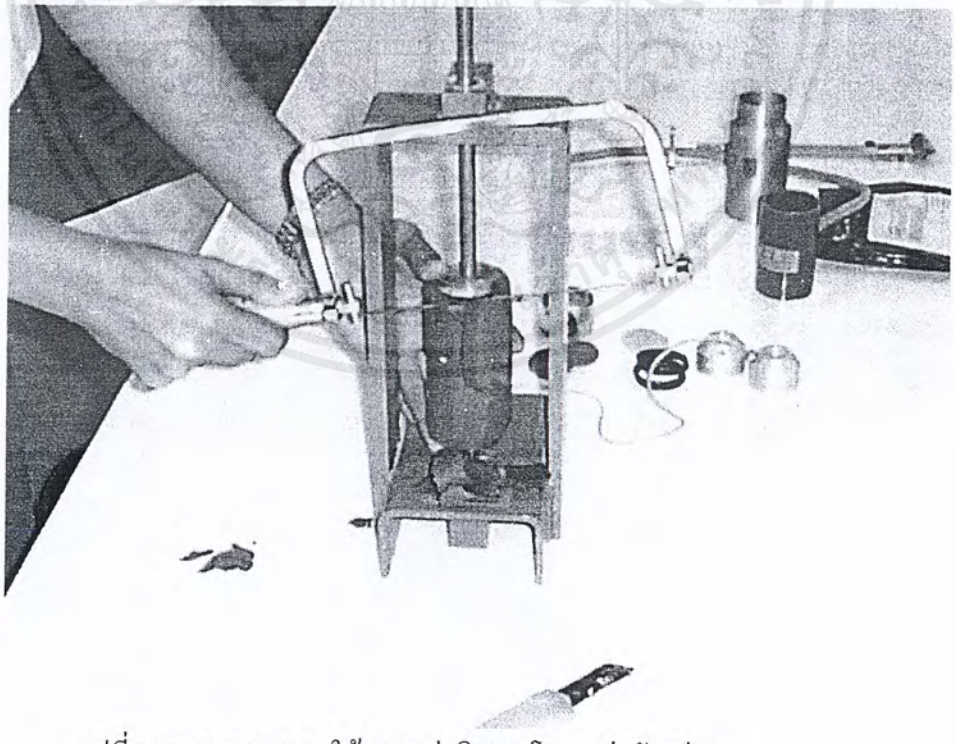
1. วางตัวอย่างดินบนฐานและวางแผ่นกดตัวอย่างด้านบนของตัวอย่าง
2. ใส่ยาง O-ring เหนือที่เบ่งปลอกยางและหมุนยาง O-ring เข้าไปใกล้ส่วนกลางของที่เบ่งปลอกยาง ดังรูปที่ 2.12.4.(a)
3. ใส่ปลอกยางเข้าไปในที่เบ่งปลอกยางและพับปลอกยางออกมาด้านนอกทั้งสองข้างโดยพยายามทำให้ปลอกยางภายในที่เบ่งปลอกยางเรียบ ดังรูปที่ 2.12.4.(b)
4. ดูดลมออกทางที่ดูดลมออกของที่เบ่งปลอกยาง ปลอกยางจะแนบสนิทกับที่เบ่งปลอกยางและใช้ที่บีบท่อยางดูดลมบีบให้ภายในระหว่างปลอกยางและที่เบ่งปลอกยางเป็นสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.12.4.(c)
5. สวมปลอกยางและที่เบ่งปลอกยางบนตัวอย่างและปล่อยที่บีบท่อยางดูดลมปลอกยางจะแนบสนิทกับตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.12.4.(d)
6. ค่อยๆหมุนยาง O-ring ลงไปที่ฐานของตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.12.4.(e)
7. สวมปลอกยางบนแผ่นกดด้านบนของตัวอย่างและใส่ยาง O-ring บนที่เบ่งปลอกยางและนำมาสวมด้านบนของตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.12.4.(e)
8. พับปลอกยางเข้าหาตัวอย่างในแต่ละข้าง ดังรูปที่ 2.12.4.(f)



รูปที่ 2.12.4. แสดงการใส่ปลอกยาง

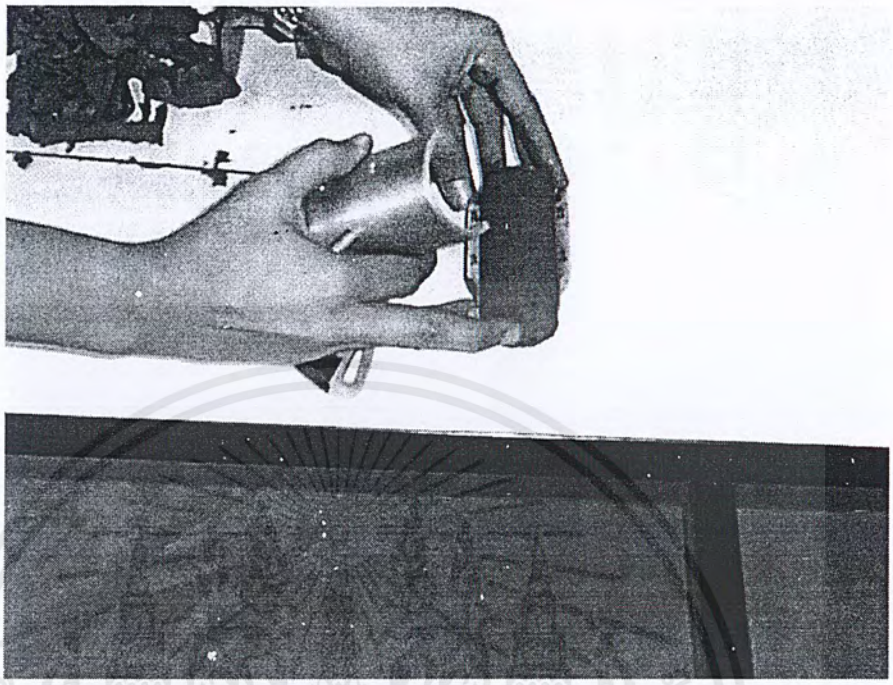
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12.5. แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Triaxial Test

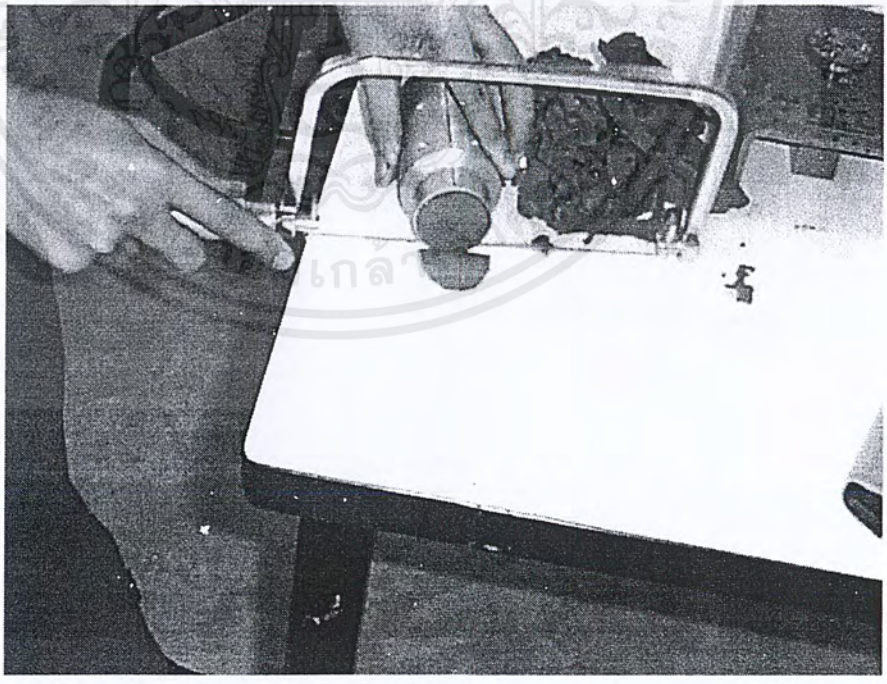


รูปที่ 2.12.6. แสดงการใช้ลวดแต่งดินบนโครงแต่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



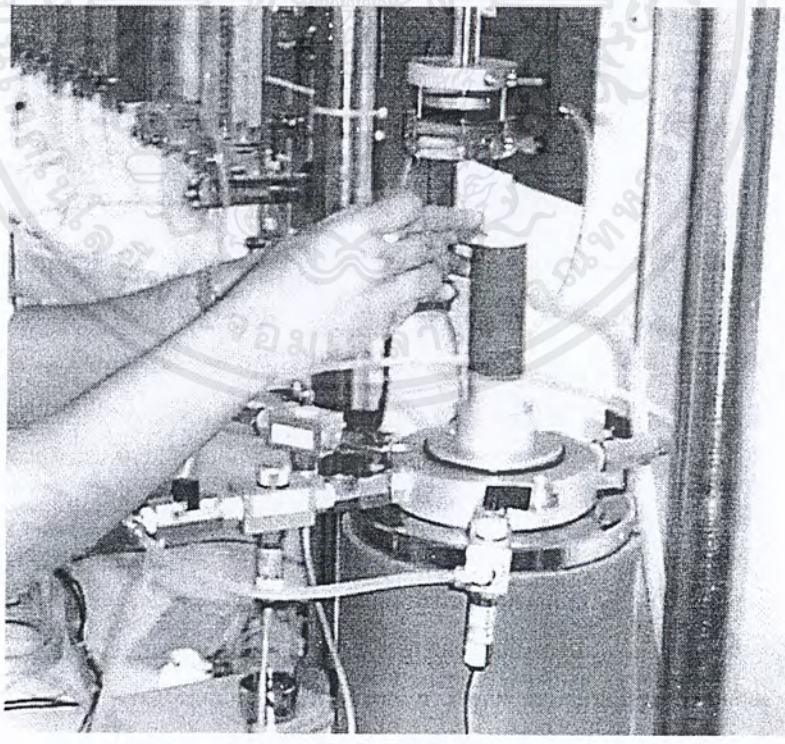
รูปที่ 2.12.7. แสดงการวางตัวอย่างดินใน split former



รูปที่ 2.12.8. แสดงการปาดดินให้ตัวอย่างได้ฉาก

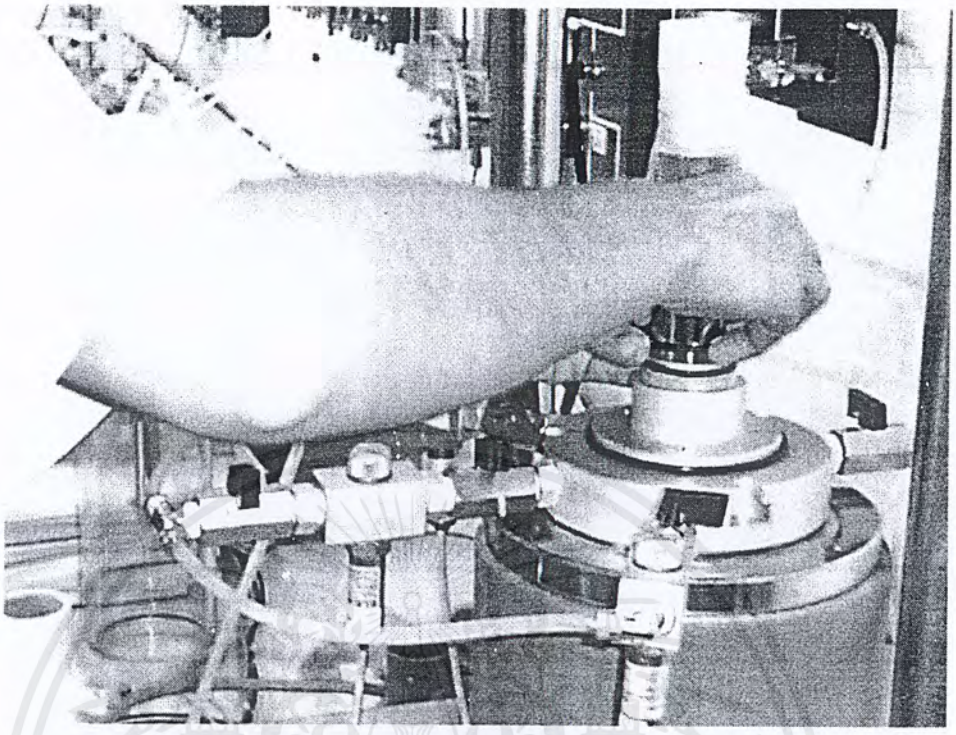
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12.9. แสดงตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จและเศษดินจากการแต่งดิน

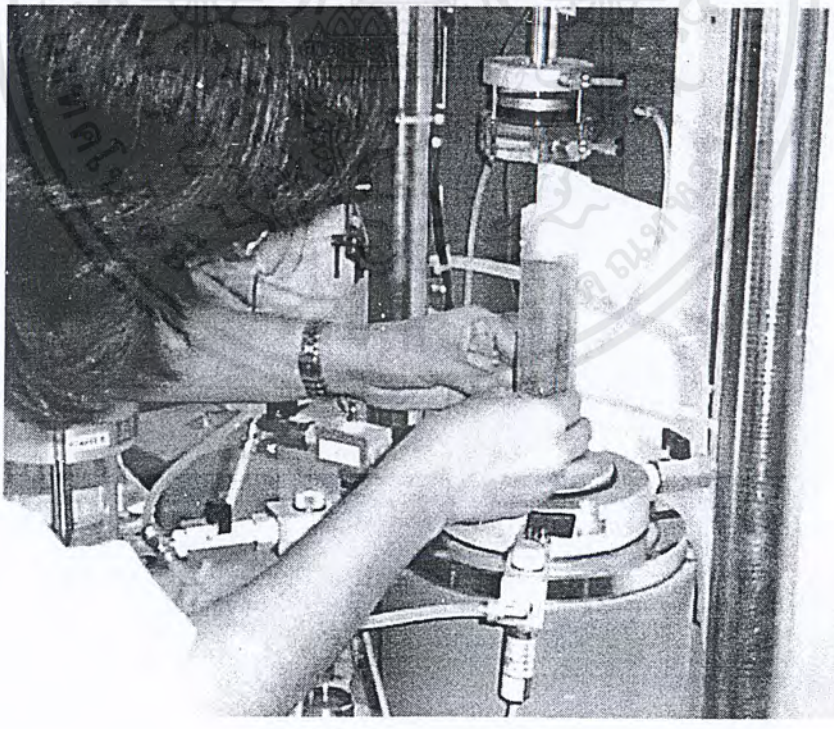


รูปที่ 2.12.10. วางตัวอย่างดินบนฐาน Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

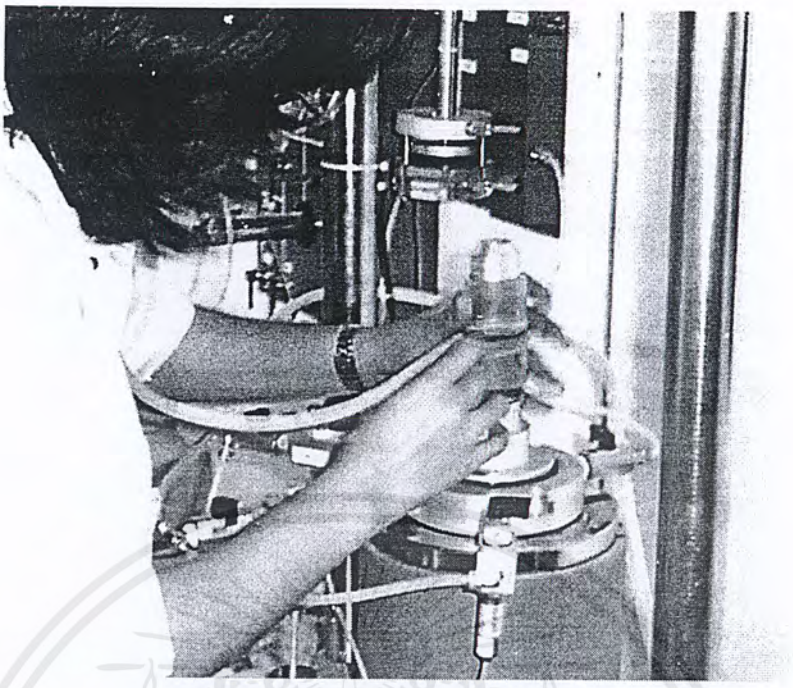


รูปที่ 2.12.11. แสดงการใส่ปลอกยาง

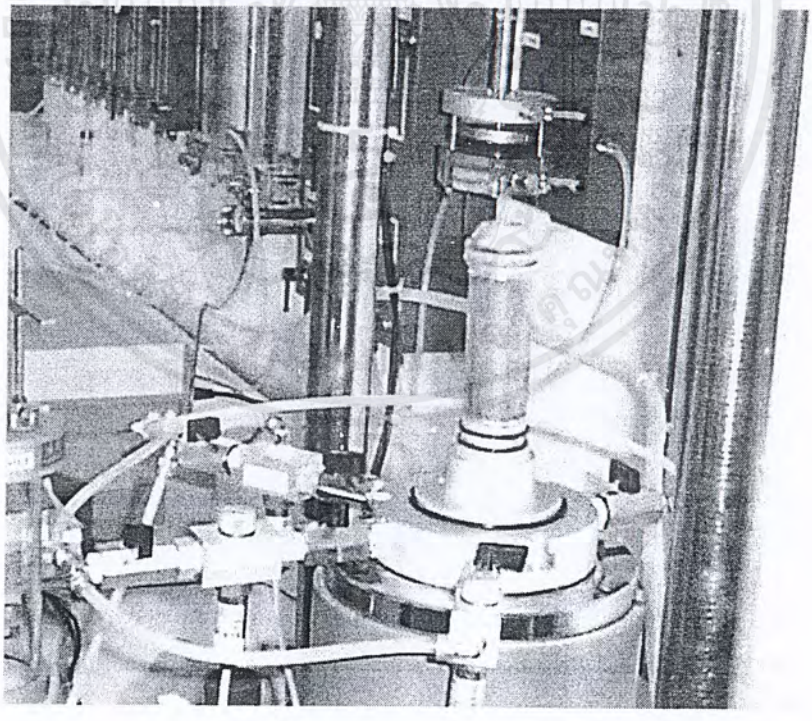


รูปที่ 2.12.12. แสดงการพับปลายปลอกยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

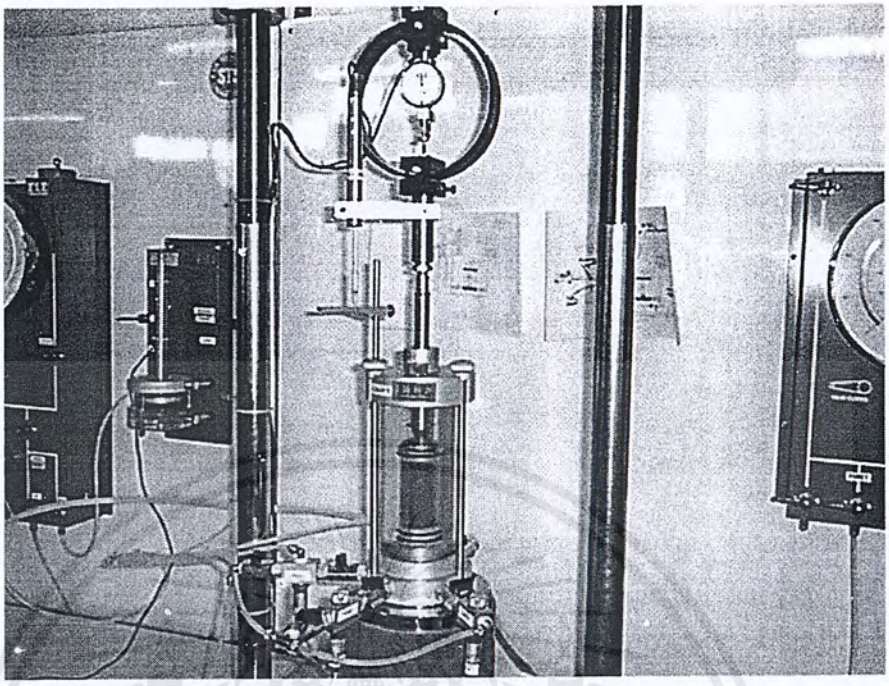


รูปที่ 2.12.13. แสดงการใส่วงแหวนยาง



รูปที่ 2.12.14. แสดงตัวอย่างดินเมื่อเตรียมเรียบร้อยบนฐาน Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12.15. แสดงการ set ตัวอย่างสมบูรณ์ภายใน Triaxial Cell

ขั้นตอนการเตรียม Load Frame และ Triaxial Cell

1. ติดตั้ง Proving ring บน Load frame และปรับระดับ Load frame ให้มีความสูงเหมาะสมกับความสูงของฝาครอบเซลล์
2. นำตัวอย่างดินมาตั้งบนฐานของเครื่องกดตัวอย่าง
3. ครอบฝาครอบเซลล์ลงบนฐานของ Triaxial Cell และขันสกรูยึดฝาครอบเซลล์ให้แน่น

ขั้นตอนการเติมน้ำใน Bladder

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน control panel ทุกตัวปิดหมด
2. เปิดช่องระบายอากาศ(Air bleed) และ ช่องระบายน้ำ(Water bleed) ของ bladder
3. เปิดวาล์ว f,h,j ให้น้ำไหลเข้าสู่ bladder 1
4. ปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยสังเกตจากในลูกโป่งยางไม่มีอากาศเหลืออยู่
5. ปิดวาล์วทั้งหมด
6. เปิดวาล์ว f,i,l ให้น้ำไหลเข้าสู่ bladder 2
7. ปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยสังเกตจากในลูกโป่งยางไม่มีอากาศเหลืออยู่

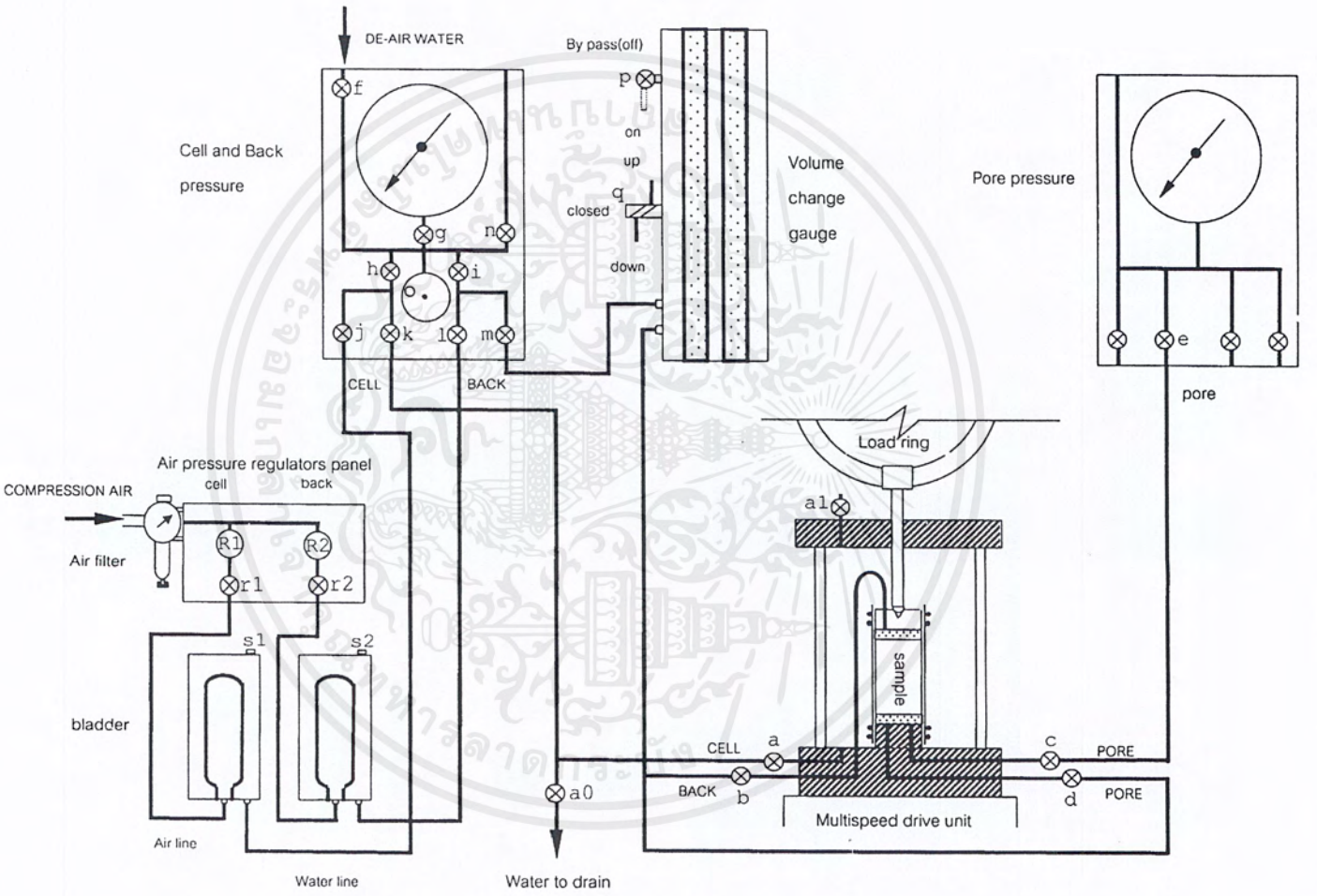
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปิดวาล์วทั้งหมด

ขั้นตอนการเติมน้ำใน Triaxial cell

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน control panel ถูกปิดหมด
2. เปิดช่องระบายอากาศ a1(Air bleed) ของ triaxial cell
3. เปิดวาล์ว f,h,k,a ให้น้ำไหลไปสู่ triaxial cell ดังผังในรูปที่ 2.12.16.
4. ให้น้ำล้นออกวาล์ว a1 เล็กน้อยและไล่อากาศออกจาก cell ให้หมด เมื่อเซลล์ถูกเติมเต็มแล้ว ปิดวาล์วทั้งหมดรวมทั้งช่องระบายอากาศของเซลล์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12.16. แสดงผัง Triaxial(CELL1) ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดลองไม่อัดตัวอย่าง กระทำแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

(Unconsolidated Undrained, UU Triaxial Test)

1. เปิดวาล์ว a1,a,k,h,f เพื่อเติม de-aired water เข้าไปใน cell สังเกตจนไม่มีฟองอากาศอยู่ใน cell จากนั้นปิดวาล์ว a1
2. ปรับค่าความดันใน cell pressure line ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยปรับที่ air pressure regulator R1 และอ่านค่าความดันที่ pressure panel
3. เปิดวาล์ว a ให้ความดันน้ำเข้า cell พร้อมอ่านค่า cell pressure จาก pressure panel บันทึกค่าเป็น σ_3
4. ปรับก้านกด piston ให้แตะกับ top cap ของตัวอย่าง ติดตั้งค่า dial gauge และ proving ring พร้อม set ค่าให้เท่ากับ 0
5. เลือกค่าความเร็วในการให้ strain กับตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดิน โดยที่อัตราในการให้ strain จะต้องทำให้ pore pressure เท่ากันตลอดทั้งตัวอย่าง (แนะนำ อัตราการให้ strain ประมาณ 0.5-1.0% ของความสูงตัวอย่าง/นาที)
6. เดินเครื่องกดทดสอบ พร้อมบันทึกค่าอ่านจาก proving ring ทุกๆ ค่า diai gauge ยุบตัว 10,25 หรือ 50 ขีด ทำการให้ load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านจาก proving ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างจนถึงค่า strain (ε)= 20%
7. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ load ปรับความดัน cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน cell ทิ้งโดยการเปิดวาล์ว a,a0 และปิดวาล์ว k
8. นำ cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Failure Mode) และนำตัวอย่างไปหาค่าความชื้น

2.12.6.การคำนวณผล

1. คำนวณพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน

$$Ao = \frac{p^2}{4\pi} \qquad \text{ซม}^2 \qquad (2.12.1.)$$

โดยที่

P = เส้นรอบรูปตัวอย่าง (Circumference) ซม.

Ao = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ซม^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \qquad (2.12.2.)$$

โดยที่

ΔH = ค่ายุบตัวของตัวอย่างดินตามแนวแกนจากมาตรหน้าปัด, ม.ม.

H = ความสูงตัวอย่างดินวัดก่อนการทดสอบ ,ม.ม.

ε = ความเครียดตามแนวแกน

3. คำนวณพื้นที่หน้าตัดแก้ไข (Corrected Area)

$$A = \frac{Ao}{1-\varepsilon} \qquad (2.12.3.)$$

โดยที่

Ao = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ซม^2

A = พื้นที่หน้าตัดแก้ไข ซม^2

4. คำนวณค่าความเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress)

$(\sigma_1-\sigma_3)$ = Deviator Load / Corrected Area (2.12.4.)

= แรงกด / พื้นที่หน้าตัดแก้ไข กก/ซม^2

2.12.7.การแสดงผล

1. เขียนกราฟความเค้นเบี่ยงเบน $(\sigma_1-\sigma_3)$ ในแกนตั้งต่อค่าความเครียดแนวแกน (ε) ในแกนนอน

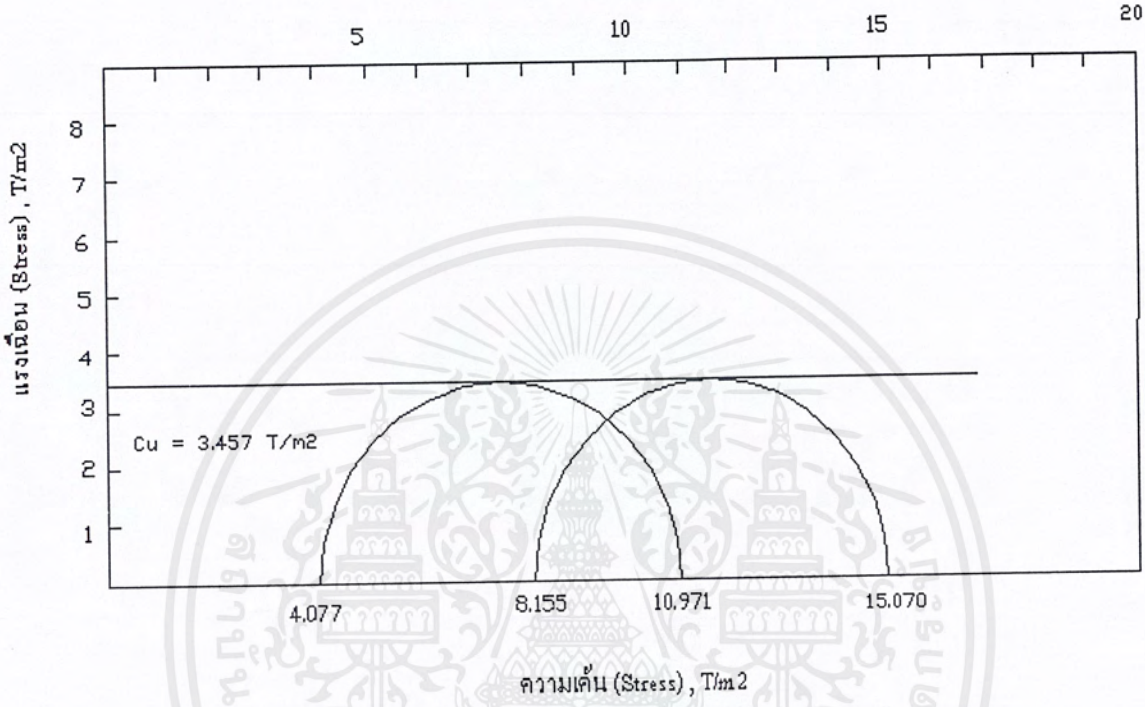
เพื่อหา

- ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$
- ค่าความเครียดที่ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด (วิบัติ) , ε_f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เขียนวงกลมมอร์ (Mohr)

คำนวณค่า σ_1 จากค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ที่อ่านจากกราฟ



รูปที่ 2.12.17. แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test

เขียนวงกลมมอร์ (Mohr)

- เขียนแกนแรงเฉือน τ เป็นแกนตั้ง แกนความเค้น σ เป็นแกนนอน
- หาพิกัดจุดศูนย์กลาง หาจุดศูนย์กลางจุด O ซึ่งมีพิกัดในแกนนอน,

$$= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

- ใช้วงเวียนเขียนวงกลม โดยมีรัศมีเท่ากับ

$$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

- เขียนวงกลม ซึ่งจะผ่านจุด σ_3 และ σ_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบค่าความดันเซลล์ (Cell Pressure) อื่นๆอีก 1-2 ค่า และเขียนวงกลมมอร์ได้รวม 2-3 วง ลากเส้นสัมผัสวงกลมมอร์ทั้ง 3 คือเส้นกำลังรวม (Total Strength Envelope) ซึ่งมีลาด (Slope) เป็นค่ามุมเสียดทาน (ϕ) มีค่าตัดแกนตั้ง (τ) เป็นค่าเชื่อมแน่น (Cohesion, c_u ,S_u) ดังรูปที่ 2.12.17.

ϕ = 0 องศา

C = S_u = 3.457 ตัน/ม^2

2.12.8.คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกความแตกต่างของวิธีการหากำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Triaxial (UU Test) ว่าต่างจากวิธี Direct Shear Test และ Unconfined Test อย่างไร
2. จงบอกความแตกต่างของ parameter ของดินที่ได้โดยวิธี Triaxial (UU Test) ว่าต่างจากวิธี Direct Shear Test และ Unconfined Test อย่างไร
3. การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) มีความสำคัญอย่างไร และเหตุใดจึงต้องมีการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) ก่อนการทดสอบในขั้นอื่น
4. ผลจากการทดสอบจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้จากสาเหตุอะไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Project:	CV TEST			Location:		CV Building	
Boring No.	BH-1	Sample No.	1	Wet Soil + Pan,g	348.6	Sample dia.,cm	4.8
Depth,m	0.00-0.50	Eff.Cell Pres.,ksc	0.5	Dry Soil + Pan,g	299.7	Sample Hight,cm	9.95
Type of Test	UU	Date of Test	7/3/2001	WT. Of Pan,g	15.96	Volume,cc	179.96
Test By:	KANOON	Ring No.	23133	%Water Content	17.22	Unit Weight,t/m^2	1.85

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Corect Area (cm^2)	Load Rdg. (div.)	Load (kg)	Devia Stress (t/m^2)	Horiz. Press. (t/m^2)	Vert. Press. (t/m^2)	Prin Stress Ratio
0	0.00	18.09	0	0	0	5.00	5.00	1.00
10	0.10	18.10	31	4.34	2.40	5.00	7.40	1.48
20	0.20	18.12	43	6.02	3.32	5.00	8.32	1.66
30	0.30	18.14	55	7.69	4.24	5.00	9.24	1.85
40	0.40	18.16	67	9.37	5.16	5.00	10.16	2.03
50	0.50	18.18	79	11.05	6.08	5.00	11.08	2.22
60	0.60	18.20	91	12.73	7.00	5.00	12.00	2.40
70	0.70	18.21	103	14.41	7.91	5.00	12.91	2.58
80	0.80	18.23	115	16.09	8.82	5.00	13.82	2.76
90	0.90	18.25	128	17.91	9.81	5.00	14.81	2.96
100	1.01	18.27	140	19.59	10.72	5.00	15.72	3.14
120	1.21	18.31	162	22.66	12.38	5.00	17.38	3.48
140	1.41	18.34	179	25.04	13.65	5.00	18.65	3.73
160	1.61	18.38	193	27.00	14.69	5.00	19.69	3.94
180	1.81	18.42	204	28.54	15.49	5.00	20.49	4.10
200	2.01	18.46	211	29.52	15.99	5.00	20.99	4.20
220	2.21	18.50	218	30.50	16.49	5.00	21.49	4.30
240	2.41	18.53	223	31.20	16.83	5.00	21.83	4.37
260	2.61	18.57	226	31.62	17.02	5.00	22.02	4.40
280	2.81	18.61	230	32.18	17.29	5.00	22.29	4.46
300	3.02	18.65	232	32.46	17.40	5.00	22.40	4.48
320	3.22	18.69	233	32.60	17.44	5.00	22.44	4.49
340	3.42	18.73	234	32.74	17.48	5.00	22.48	4.50
360	3.62	18.77	234	32.74	17.45	5.00	22.45	4.49
380	3.82	18.80	235	32.88	17.48	5.00	22.48	4.50
400	4.02	18.84	236	33.02	17.52	5.00	22.52	4.50
420	4.22	18.88	237	33.16	17.56	5.00	22.56	4.51
440	4.42	18.92	238	33.30	17.60	5.00	22.60	4.52
460	4.62	18.96	240	33.58	17.71	5.00	22.71	4.54
480	4.82	19.00	242	33.86	17.82	5.00	22.82	4.56
500	5.03	19.04	244	34.14	17.93	5.00	22.93	4.59
520	5.23	19.08	245	34.28	17.96	5.00	22.96	4.59
540	5.43	19.12	246	34.42	18.00	5.00	23.00	4.60
560	5.63	19.17	246	34.42	17.96	5.00	22.96	4.59
580	5.83	19.21	246	34.42	17.92	5.00	22.92	4.58
600	6.03	19.25	245	34.28	17.81	5.00	22.81	4.56
620	6.23	19.29	244	34.14	17.70	5.00	22.70	4.54
640	6.43	19.33	243	34.00	17.59	5.00	22.59	4.52
660	6.63	19.37	242	33.86	17.48	5.00	22.48	4.50
680	6.83	19.41	241	33.72	17.37	5.00	22.37	4.47
700	7.04	19.46	240	33.58	17.26	5.00	22.26	4.45
720	7.24	19.50	239	33.44	17.15	5.00	22.15	4.43
740	7.44	19.54	238	33.30	17.04	5.00	22.04	4.41
760	7.64	19.58	237	33.16	16.93	5.00	21.93	4.39
780	7.84	19.62	236	33.02	16.82	5.00	21.82	4.36
800	8.04	19.67	235	32.88	16.72	5.00	21.72	4.34

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Project:				Location:			
Boring No.		Sample No.		Wet Soil + Pan,g		Sample dia.,cm	
Depth,m		Eff.Cell Pres.,ksc		Dry Soil + Pan,g		Sample Hight,cm	
Type of Test		Date of Test		WT. Of Pan,g		Volume,cc	
Test By:		Ring No.		%Water Content		Unit Weight,t/m^2	

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Corect Area (cm^2)	Load Rdg. (div.)	Load (kg)	Devia Stress (t/m^2)	Horiz. Press. (t/m^2)	Vert. Press. (t/m^2)	Prin Stress Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

PROJECT CV TEST

SOIL DESCRIPTION DARK CLAY SOIL

LOCATION CV BUILDING

TEST NO. UU-1

TEST BY: KANOON

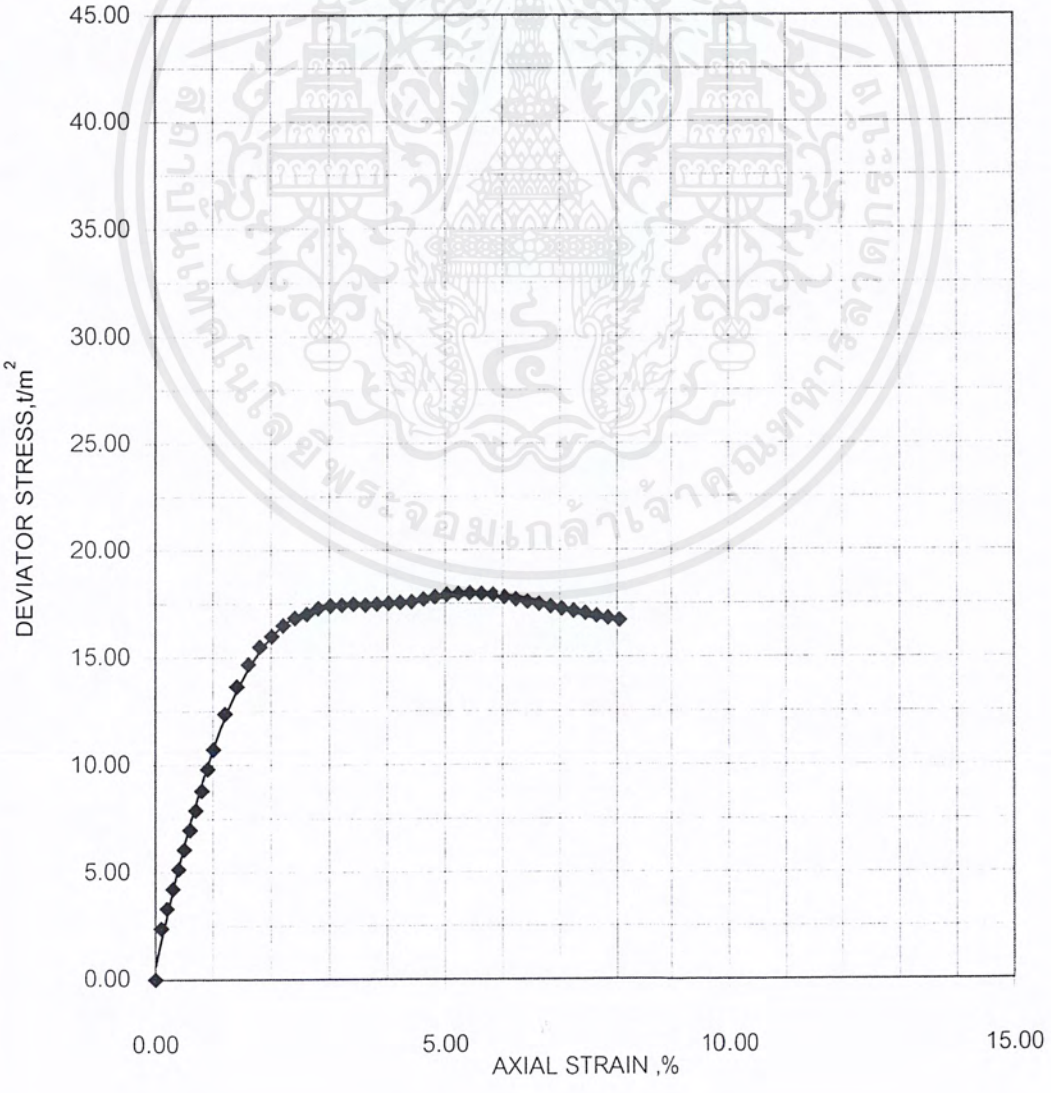
OWNER _____

BORING NO. BH-1

SAMPLE DEPTH 0.00-0.50 m

SAMPLE NO. 1

DATE: 8 FEB 2001



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

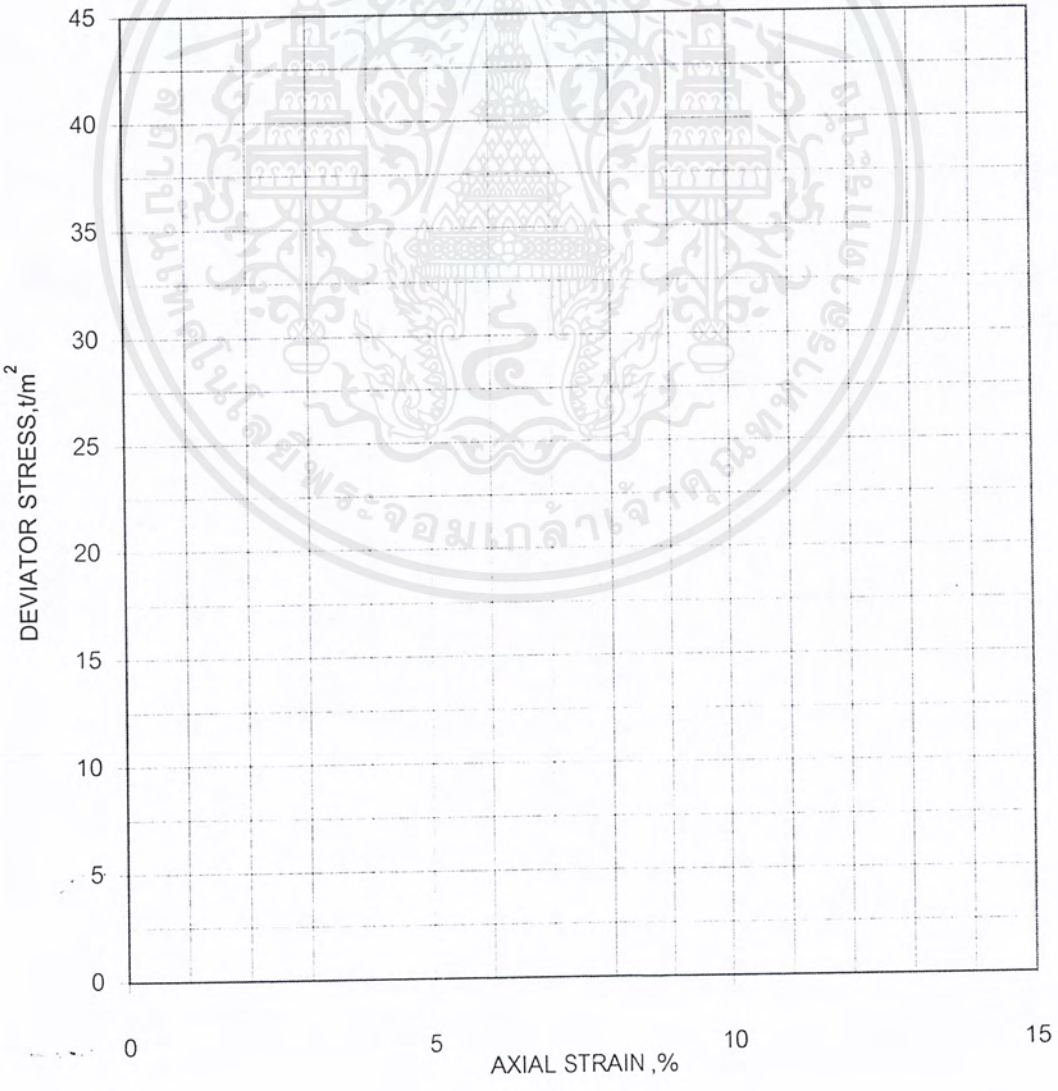
PROJECT_____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO._____

TEST BY: _____ DATE: _____



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์เล่ม2
(เนื้อหานอกเหนือหลักสูตรปริญญาตรี)

3.1.การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด(Field Vane Shear Test)

3.1.1.อ้างอิง ASTM D-2573

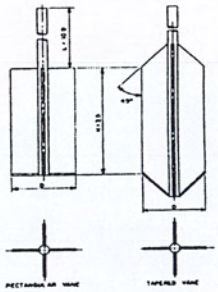
3.1.2.วัตถุประสงค์

-เพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนถึงปานกลางในสนาม

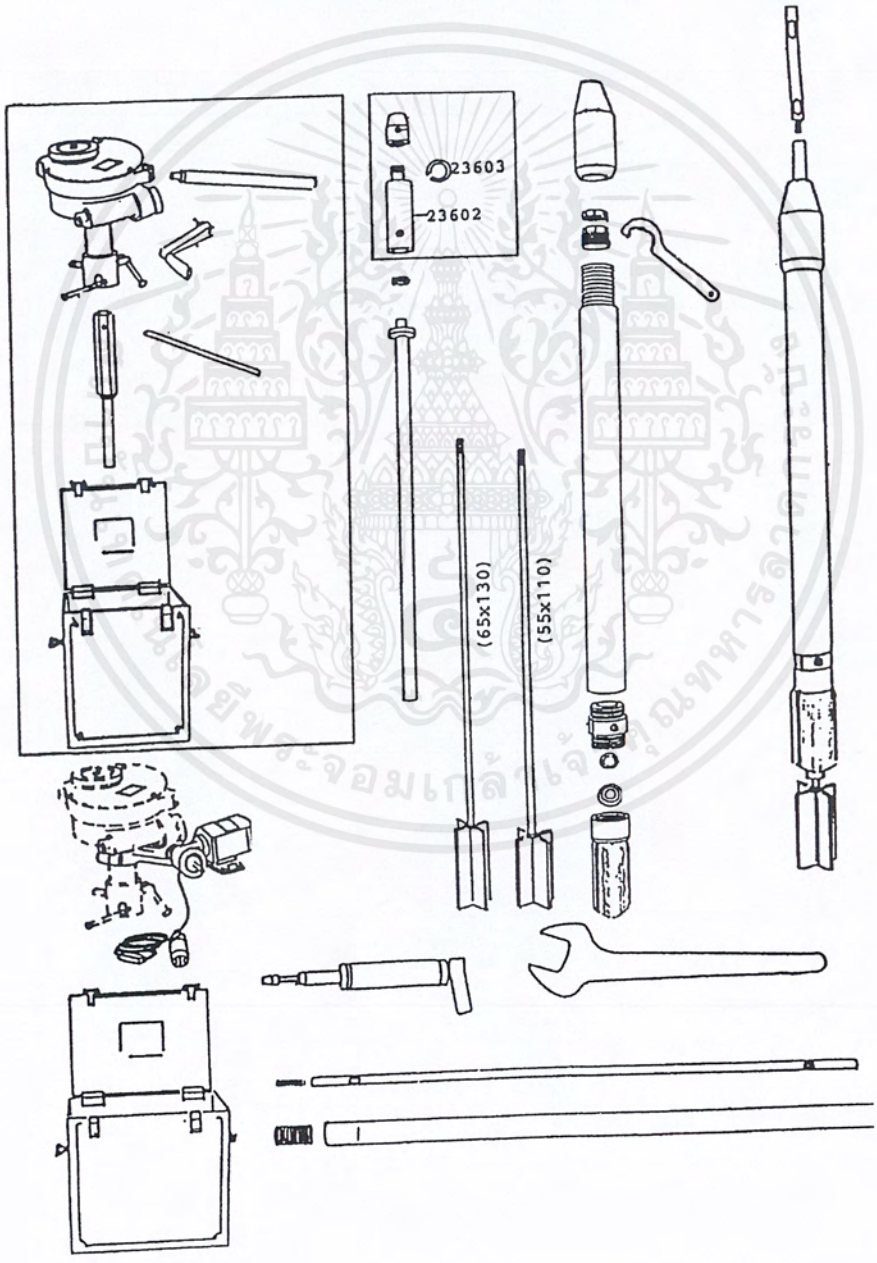
3.1.3.อุปกรณ์

1. ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มม. สูง 110 มม. หรือขนาดกว้าง 65 มม. สูง 130 มม หนา 3 มม.
2. Drill Rod (ก้านเจาะ) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25-1.75 นิ้ว)
3. ก้านบิด (ก้านกด)
4. Torque Head (เครื่องกระทำและวัดแรงบิด)
5. Torque Wrench (ประแจคอม้า)
6. Precision Torque Head (เครื่องวัดแรงบิดแบบละเอียด)
7. สว่านสมอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 – 0.25 เมตร 2 ตัว พร้อมมือหมุนสว่านลงดิน
8. ก้านกด และท่อเหล็กกันดิน ยาวท่อนละ 1.0 เมตร
9. สว่านมือ (Hand Auger)
10. อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.1. แสดงลักษณะใบพัดที่ใช้



รูปที่ 3.1.2. แสดงชุดอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบ Field Vane Shear Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.ทฤษฎี

การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test) เป็นการทดสอบหาค่าแรงเฉือนที่ดีเพราะทดสอบดินที่อยู่ตามธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะเป็นใบพัดรูปกากบาท (Cross Blade) กดลงไปในดินแล้วจึงหมุนก้านต่อบนดินและวัดแรงบิด (Torque) ที่จะทำให้ดินวิบัติ (Fail) รอบใบพัด (Vane) มาแปลงเป็นค่าแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ได้ และจากลักษณะใบพัดที่กระทำดินรอบๆ ให้วิบัติสามารถจะอ่านค่าแรงบิดได้ละเอียด สามารถนำไปคำนวณแรงเฉือนของดินที่มีกำลังต่ำๆ ได้โดยละเอียดถูกต้อง และสามารถทดสอบค่าแรงเฉือนสูงสุดได้ประมาณ 5 – 6 ตัน/ม^2

ระยะทดสอบสามารถเจาะลงไปได้ถึงชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) ส่วนบริเวณดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Bangkok Clay) ได้ทดสอบถึงความลึกประมาณ 17 เมตร มาแล้ว

<u>ผลที่ได้จากการทดสอบ Vane Shear Test จะให้ผลดังต่อไปนี้</u>

ค่าแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)

$$T = s \times K \qquad (3.1.1.)$$

เมื่อ

T = แรงบิดสูงสุด ,N.m (อ่านจากกราฟการสอบเทียบ)

S = กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน

$K = (\pi/10^6)x(D^2H/2)x[1 + D/3H]$

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด (cm)

H = ความสูงของใบพัด (cm)

ค่าที่เราต้องการคือค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเพราะฉะนั้นจะได้

$$s = T \times k$$

เมื่อ $k = 1/K$

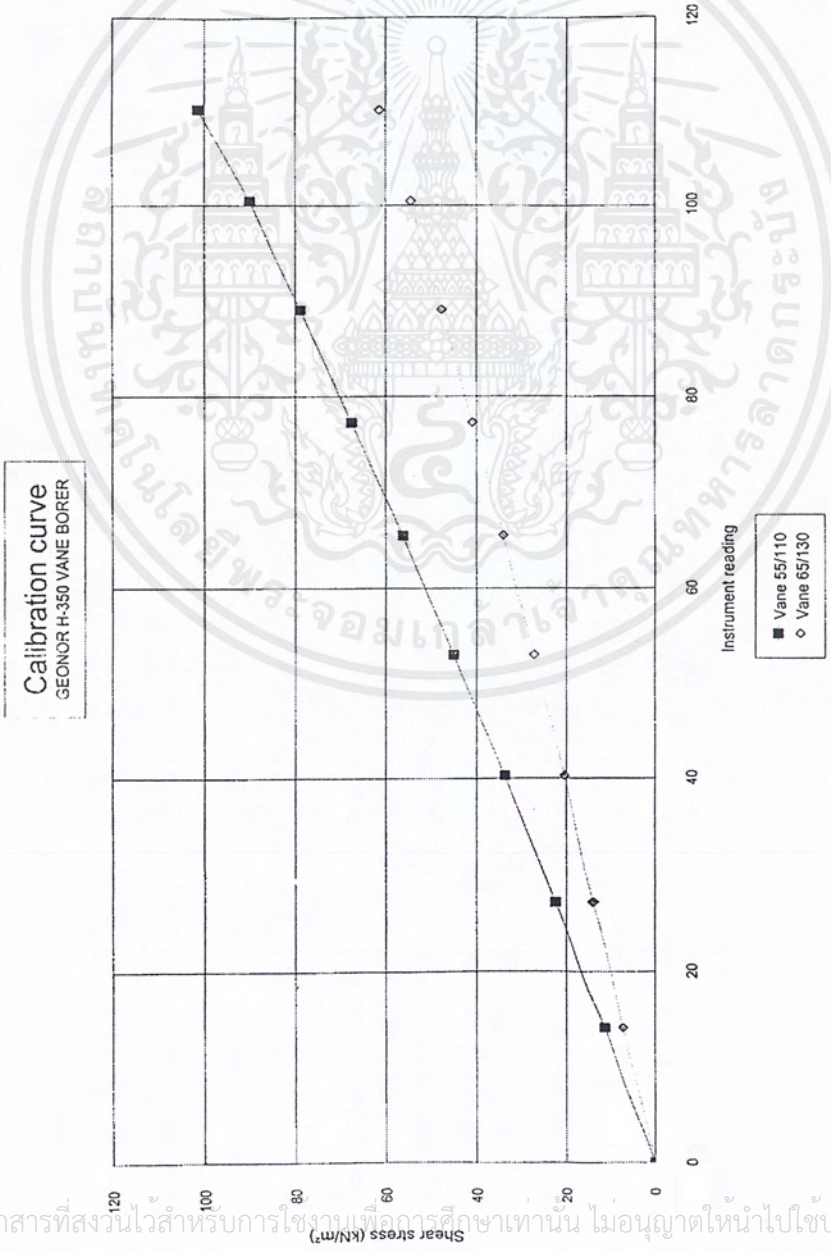
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความไว (Sensitivity)

$$\text{ค่าความไว (Sensitivity)} = \frac{Su}{S'u} \qquad (3.1.2.)$$

$$= \frac{\text{แรงเฉือนดินคงสภาพ}}{\text{แรงเฉือนดินแปลงสภาพ}}$$

S'u = ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำแปลงสภาพ (Remoulded Strength)



รูปที่ 3.1.3. แสดงกราฟ Calibrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Skempton and Northey (1952) ได้ให้ความหมายของดินที่มีค่าความไวอยู่ในช่วงใดๆ (แสดงในตารางที่ 3.1.1.) ซึ่งปกติดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ มีค่าความไวอยู่ในช่วงประมาณ 2 – 6 และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4

ตารางที่ 3.1.1. จำแนกดินเหนียวตามค่าความไว

ความไว (Sensitivity)	จำแนกชนิดของดิน (Classification)
ประมาณ 1.0	Insensitive
1 – 2	Low Sensitivity
2 – 4	Medium Sensitivity
4 – 8	Sensitive
> 8	Extra – Sensitivity
> 16	Quick

3.1.5.วิธีการทดสอบ

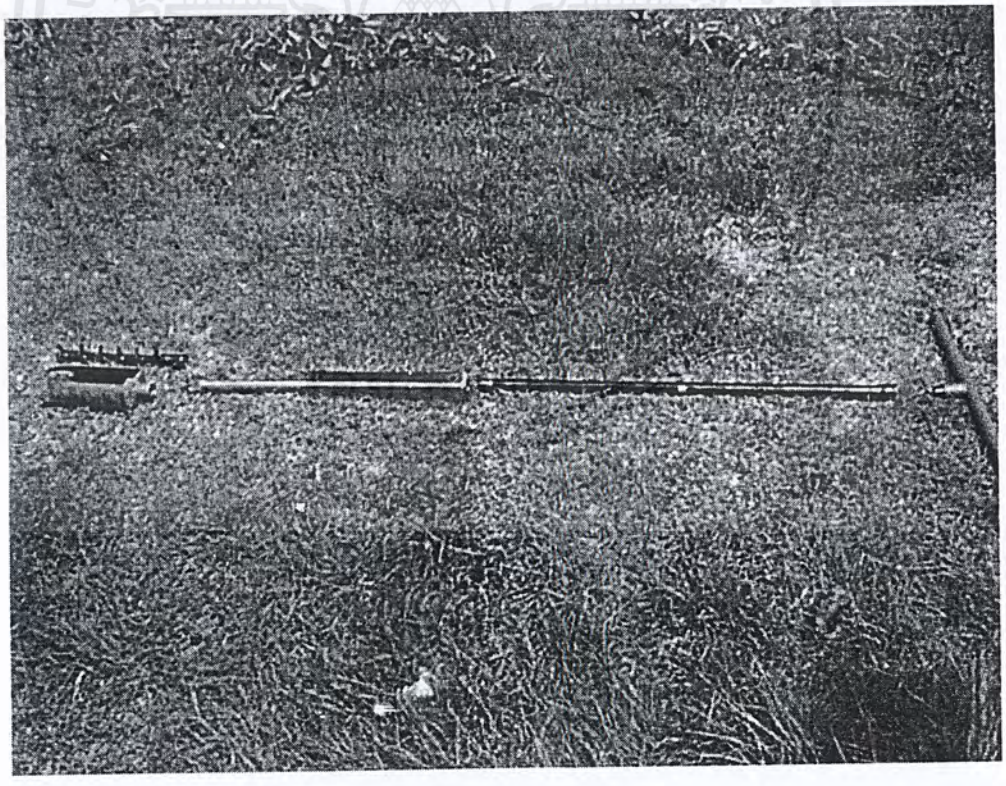
1. เปิดปากหลุมเจาะด้วย Hand Auger ให้ลึกประมาณ 0.50 – 1.0 เมตร โดยใช้หัวแบบสว่านไว้เปิดหน้าดินในตอนแรกและใช้หัวขนาดใหญ่เก็บดินขึ้นให้เป็นหลุม
2. ฝั่งสว่านสมอ 2 ตัว แล้วติดตั้งโครงฐานเหล็กกับแม่แรงกด (ใช้หลักคานงัด)
3. ติดตั้งส่วนหัวกด (Drive Head) ต้องให้ใบพัดจะอยู่ตำแหน่งภายในหัวกด แล้วต่อเกลียวก้านกด
4. ตั้งหัวกดลงในหลุมที่เจาะไว้ โดยใช้แม่แรงกดผ่านประแจคอม้าที่จับส่วนบนของหัวกด ให้ลึกลงเป็นระยะ 0.5,1.0,1.5 เมตร ฯลฯ ต้องควบคุมให้หัวกดตั้งในแนวดิ่งอาจมีระดับวัดด้วยยิ่งดี
5. ให้ใช้ประแจคอม้า จับก้านกด กดก้านกดลงไปอีกระยะ 0.5 เมตร ลูกปืนภายในหัวกดที่รับก้านกดจะลงแตะที่บ่าพอดี ถ้าก้านกดไม่พอก็ต่อเพิ่มขึ้นอีก 1 ท่อน ให้ความสูงปลายบนก้านเจาะสูงพอเหมาะในการทำงาน (สูงไม่เกินประมาณ 1 เมตร เหนือพื้นดิน) ระดับที่ใบพัดนี้จะเป็นความลึกที่ทดสอบ
6. สวมเครื่องกระทำและวัดแรงบิดบนก้านกด ต่อแกนในเข้ากับเกลียวก้านกด ปลอกนอกยึดกับท่อเหล็กกันดิน (Casing) ด้วยสลักเกลียว 2 ตัว (เพื่อรับปฏิกิริยาแรงบิด)
7. ตั้งเข็มให้ชี้ที่อยู่ที่ศูนย์บนหน้าปัด แล้วเริ่มทำการทดสอบภายในเวลา 5 นาที หลังจากกดใบพัดลงถึงระดับที่จะทดสอบ เริ่มหมุนเพื่อกระทำแรงบิดอัตราประมาณ 6 องศาต่อนาที หมุนใบพัดไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยอัตราคงที่จนกระทั่งเข็มหน้าปัดชี้ค่าสูงสุด ซึ่งจะใช้เวลาทดสอบจนกระทั่งดินวิบัติภายในประมาณ 1 – 3 นาที จดค่านี้ไว้

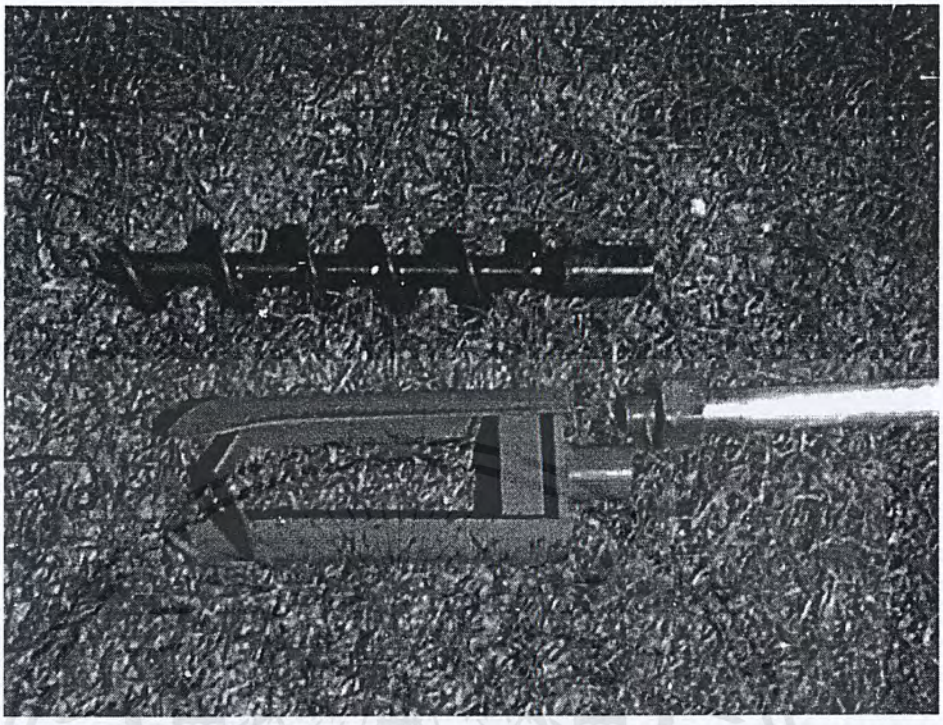
8. ทำดินรอบๆ ใบมีดให้วิบัติ (Remoulded) ด้วยการหมุนใบพัดผ่านส่วนบนของเครื่องวัดแรงบิด 15 – 25 รอบ ให้สวนทางกันกับที่หมุนครั้งแรก แล้วเริ่มการทดสอบหมุนทิศเดิมอีกครั้งจนกระทั่งได้ค่าอ่านสูงสุด จดค่านี้ไว้ ถอดเครื่องวัดแรงบิดออก
9. ถอนใบพัดขึ้นมาให้เข้าอยู่ในหัวเก็บด้วยการดึงขึ้น เมื่อส่วนบนของใบพัดเริ่มชนปลายหัวกด หมุนขยับก้านกดเล็กน้อย (ทางตามเข็มนาฬิกา) ในขณะที่ดึงขึ้น เพื่อให้ใบพัดเข้าซองจนกระทั่งดึงใบพัดเข้าหัวเก็บเรียบร้อย
10. กดหัวกดลงไปที่ความลึกที่จะทดสอบต่อไปโดยกดผ่านท่อเหล็กกันดิน (เช่น ลึกลงไปอีก 0.5 ม.) ทำการทดสอบตามข้อ 6) – 9) ทำการทดสอบไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสุดกำลังของเครื่องวัดแรงบิด หรือเมื่อถึงชั้นดินเหนียวแข็ง

<u>หมายเหตุ</u> ในเนื้อหาของบท Vane Shear Test สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากวีดีโอของภาควิชาได้

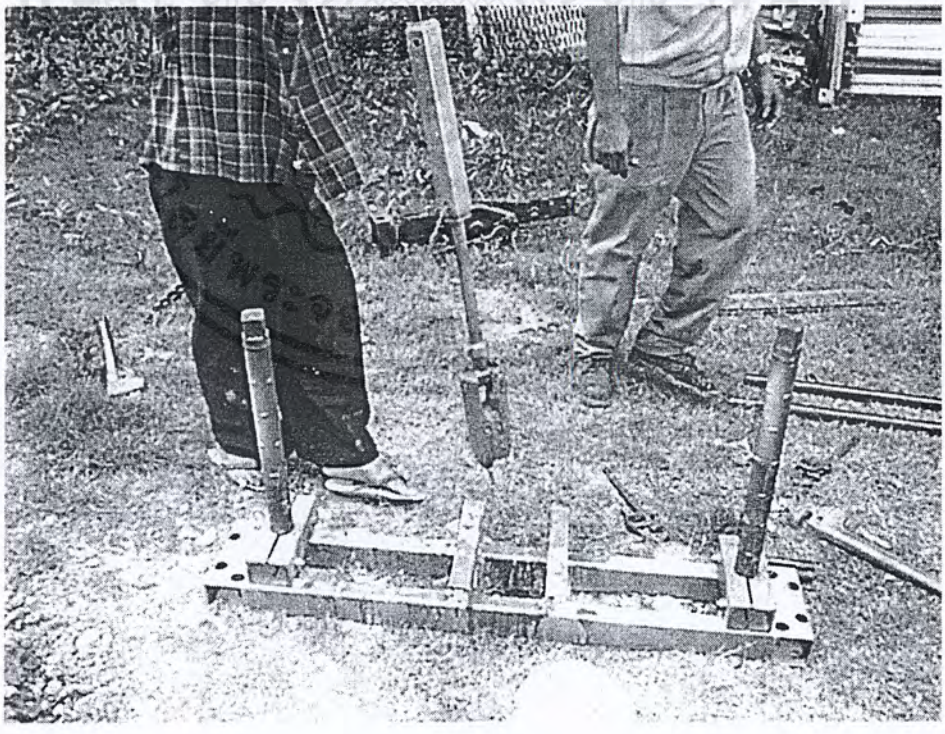


รูปที่ 3.1.4. แสดง Hand Auger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

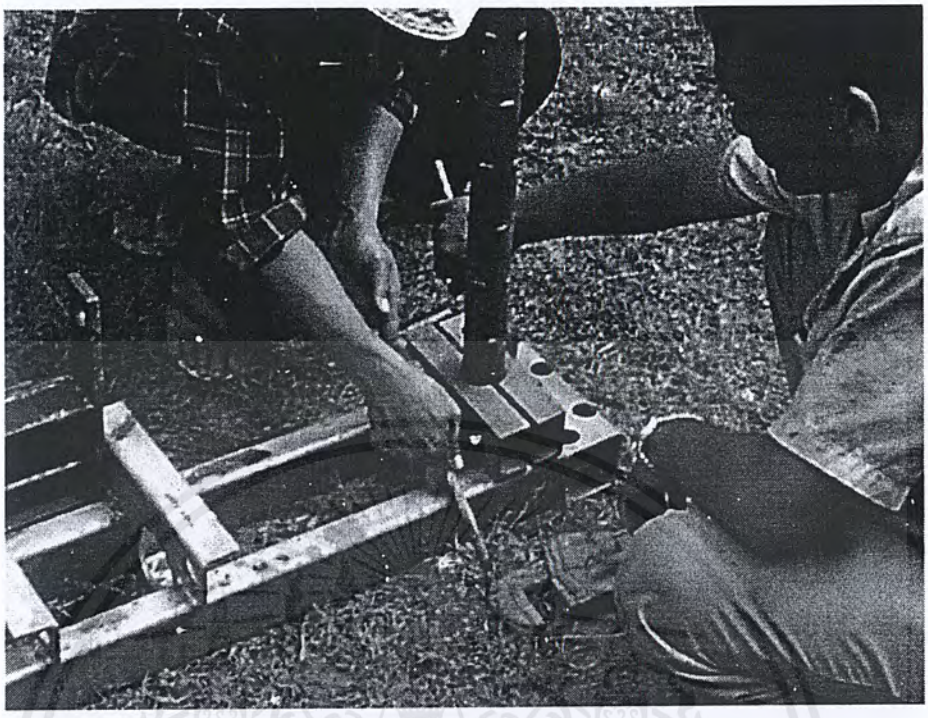


รูปที่ 3.1.5. แสดงหัว Hand Auger

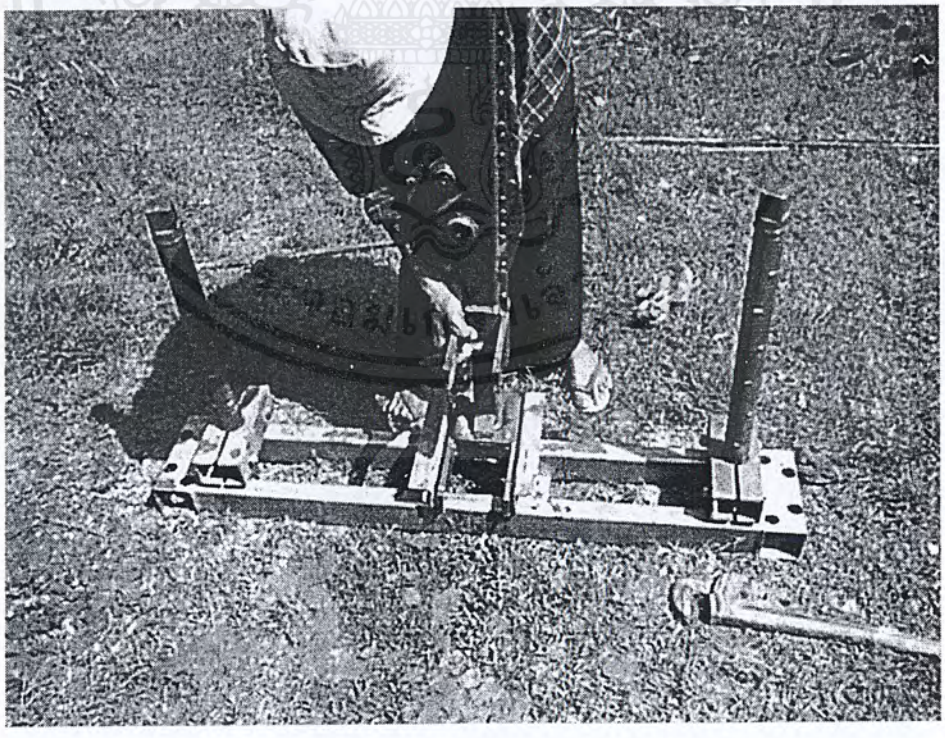


รูปที่ 3.1.6. แสดงการเปิดหน้าดินและขุดดินออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

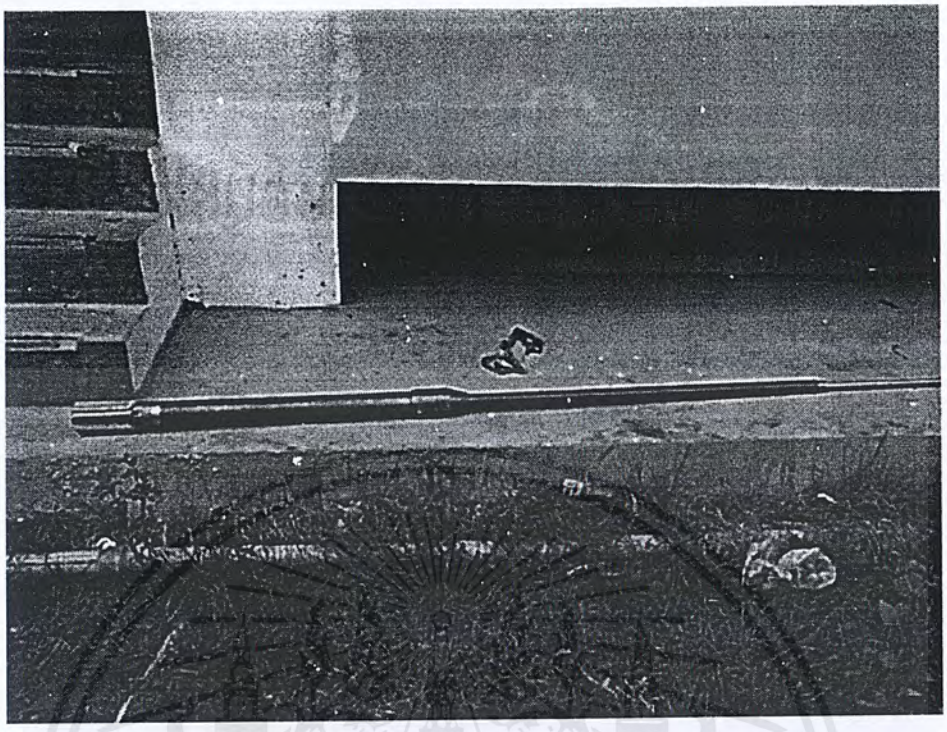


รูปที่ 3.1.7. แสดงการล็อคเหล็กคานที่ฐาน

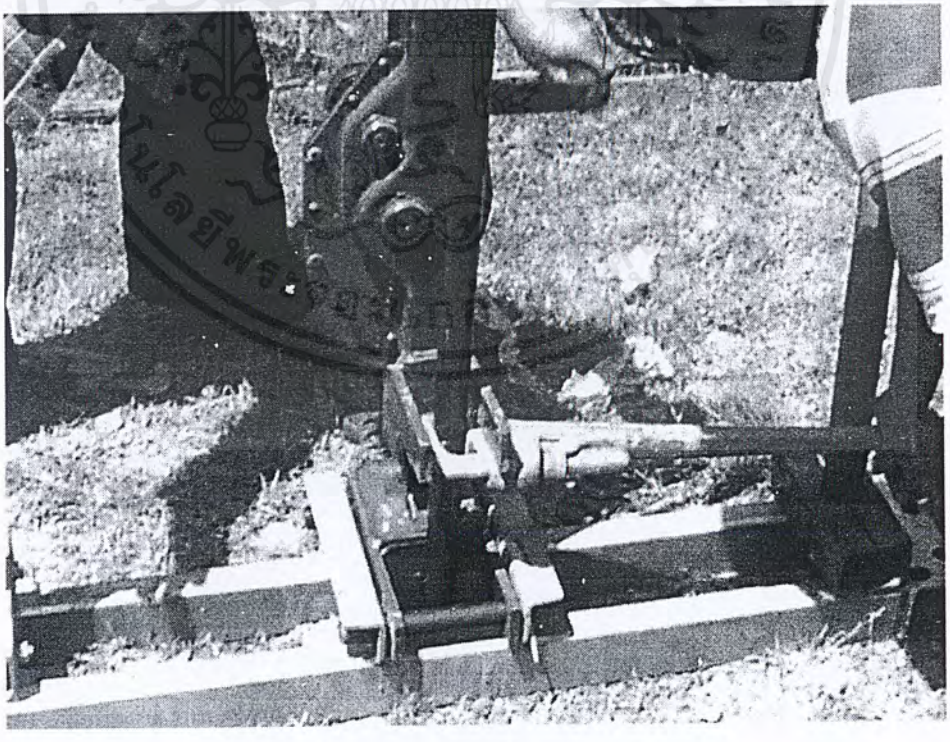


รูปที่ 3.1.8. แสดงการใส่อุปกรณ์เพื่อช่วยในการส่งและถอน rod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



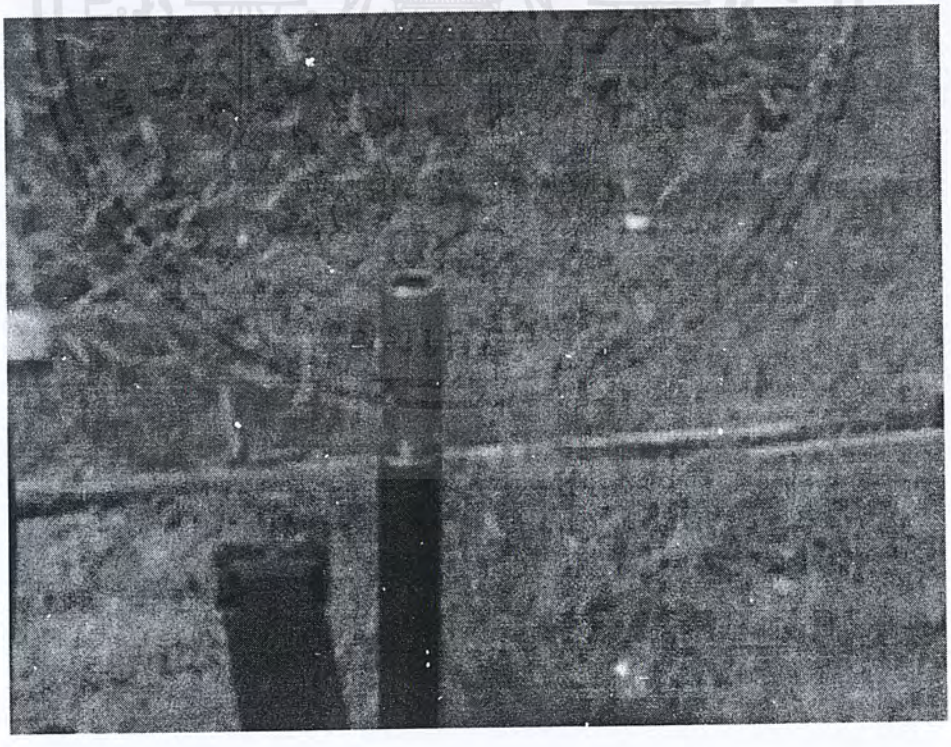
รูปที่ 3.1.9. แสดงการประกอบหัว vane shear



รูปที่ 3.1.10. แสดงการกดส่งหัว vane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

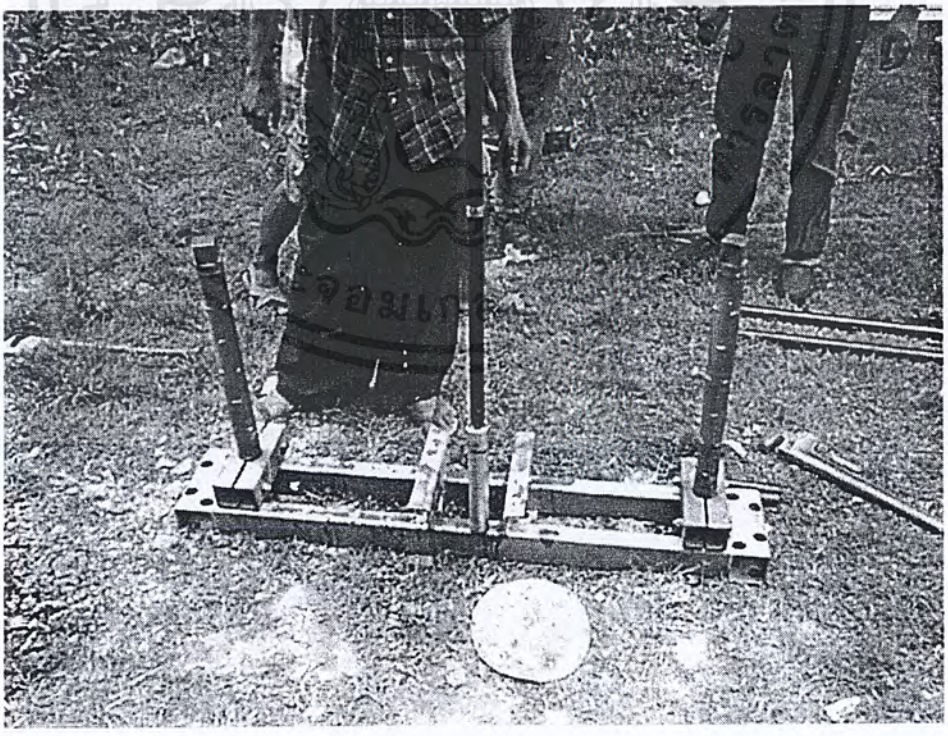
รูปที่ 3.1.11. แสดงการต่อท่อนเหล็ก



รูปที่ 3.1.12. แสดงหัวต่อเข้ากับชุดหน้าปัดอ่านค่า Shear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1.13. แสดงการประกอบหน้าปัดกับตัวแกนเหล็ก



รูปที่ 3.1.14. แสดงกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1.15. แสดงดันในกระบอกเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 3.1.16. แสดงหัว vane ถอนออกจากหลุมเมื่อทำการทดสอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6.การคำนวณผล

(บริเวณหลัง Shop โยธาใหม่ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

1. จากค่าสูงสุดของ Torque Reading ,div

สำหรับ Undisturbed ,Torque Reading = 40

สำหรับ Remoulded ,Torque Reading = 7

2. จากสูตรของค่า Vane Shear

$$Su,Su' = \frac{10xT}{\pi(h\frac{d^2}{2}+\frac{d^3}{6})} \quad \text{ตัน/ม}^2$$

สำหรับ Undisturbed ,Su = 2.497 ตัน/ม^2

สำหรับ Remoulded ,S'u = 0.445 ตัน/ม^2

3. ค่าความไว (Sensitivity) $= \frac{Su}{S'u} = \frac{2.497}{0.445} = 5.615$

3.1.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกถึงข้อดีของการทดสอบแรงเฉือนโดยวิธี Field Vane Shear Test
2. เราสามารถทดสอบ Field Vane Shear Test ได้ถึงระดับความลึกเท่าใด
3. ดินลักษณะใดที่เหมาะสมในการทดสอบแบบ Field Vane Shear Test
4. จงบอกถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการทดสอบที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD VANE SHEAR TEST

PROJECT GEO-TEST

LOCATION CV BUILDING

TEST BY KANOON

CHECK BY _____

OWNER _____

DATE MARCH 2,2001

VANE BLADE: 55x110 mm

TEST NO. FVT1

TEST NO.	FV-1			TEST NO.	FV-2		
DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	SENSITIVITY	DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	SENSITIVITY
2	2.5	1.57	1.59	2	4.66	2.29	2.03
3	3.83	1.26	3.04	3	3.83	1.26	3.04
4	3.63	1.16	3.13	4	3.83	1.16	3.30
5	2.4	1.26	1.90	5	4.04	1.26	3.21
6	3.32	1.16	2.86	6	3.22	1.16	2.78
7	3.63	1.37	2.65	7	3.22	1.47	2.19
8	3.32	1.37	2.42	8	4.35	1.47	2.96
9	4.66	1.37	3.40	9	3.73	1.57	2.38
10	4.86	1.5	3.24	10	5.69	1.98	2.87
11	11.24	3.22	3.49	11	6.10	1.88	3.24
12	10.11	4.66	2.17	12	10.31	3.12	3.30
				13	11.44	6.20	1.85

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FIELD VANE SHEAR TEST

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ DATE _____

TEST BY _____ VANE BLADE: _____

CHECK BY _____ TEST NO. _____

TEST NO.				TEST NO.			
DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	SENSITIVITY	DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH t/m^2	SENSITIVITY

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.Hand Vane Tester

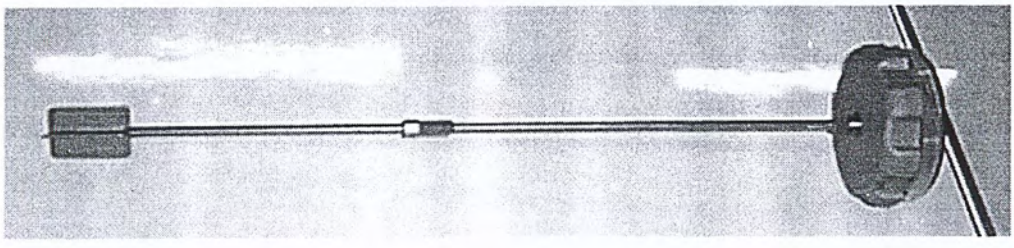
3.2.1.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียว

3.2.2.อุปกรณ์

1. ชุดหัวอ่านค่าแรงเฉือน(Vane Tester Head)
2. ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. (สำหรับวัดช่วงแรงเฉือน 0-120 kPa)ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มม. (สำหรับวัดช่วงแรงเฉือน 0-28 kPa)
3. ก้านบิด(extension rod) ขนาดยาว 300 mm และ 1 m

รูปที่ 3.2.1. แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ Hand Vane Test



รูปที่ 3.2.2. แสดง Hand Vane Tester เมื่อประกอบเสร็จ

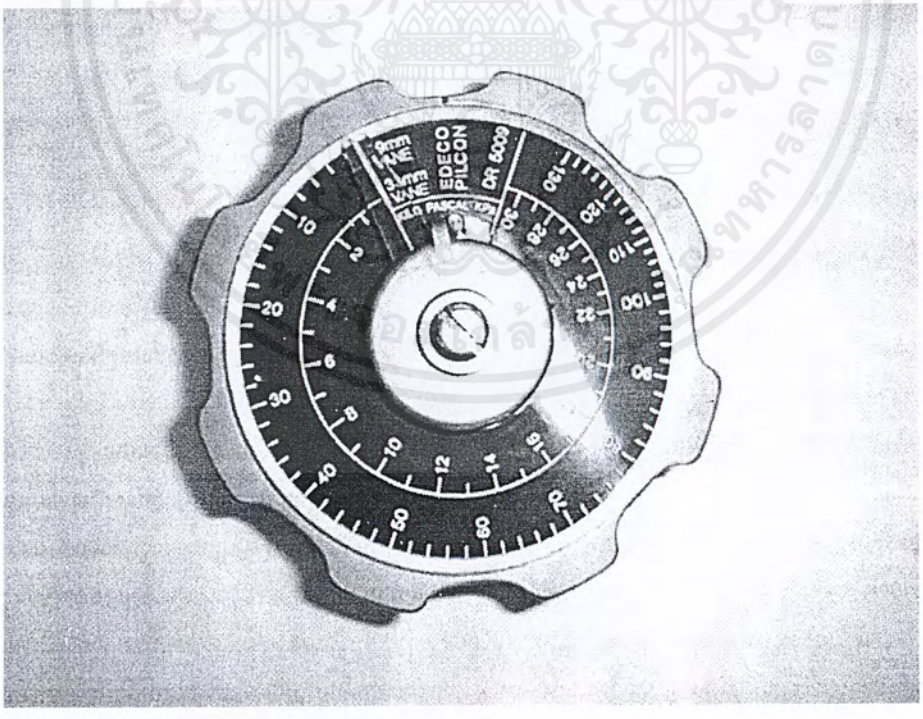
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.ทฤษฎี

วิธีการทดสอบหาค่าแรงเฉือนของดินโดยวิธี Hand Vane Tester สามารถหาค่าแรงเฉือนของดินประเภทมีความยึดเกาะ (cohesive soil) โดยใช้ได้ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ

ชุดเครื่องมือจะประกอบไปด้วยกระทำและอ่านค่าแรงเฉือน(Vane Tester Head) สำหรับอ่านค่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ และชุดก้านต่อ (extension rod) สำหรับต่อความยาวตามขนาดความลึกที่เราต้องการทดสอบ และตัวชุดใบพัดซึ่งจะมีสองขนาดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. สำหรับวัดช่วงแรงเฉือน 0-120 kPa และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มม. สำหรับวัดช่วงแรงเฉือน 0-28 kPa เพราะฉะนั้นในการทดสอบควรทราบคร่าวๆ ก่อนว่าดินที่เราจะทำการทดสอบมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนประมาณเท่าใด

ค่าที่อ่านบนหน้าปัดจะมีหน่วยเป็น kPa ซึ่งเราหากเราต้องการแปลงหน่วยก็สามารถใช้ค่าในตารางที่ 3.2.1. แปลงหน่วยได้



รูปที่ 3.2.3. แสดงหน้าปัดของ Hand Vane Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

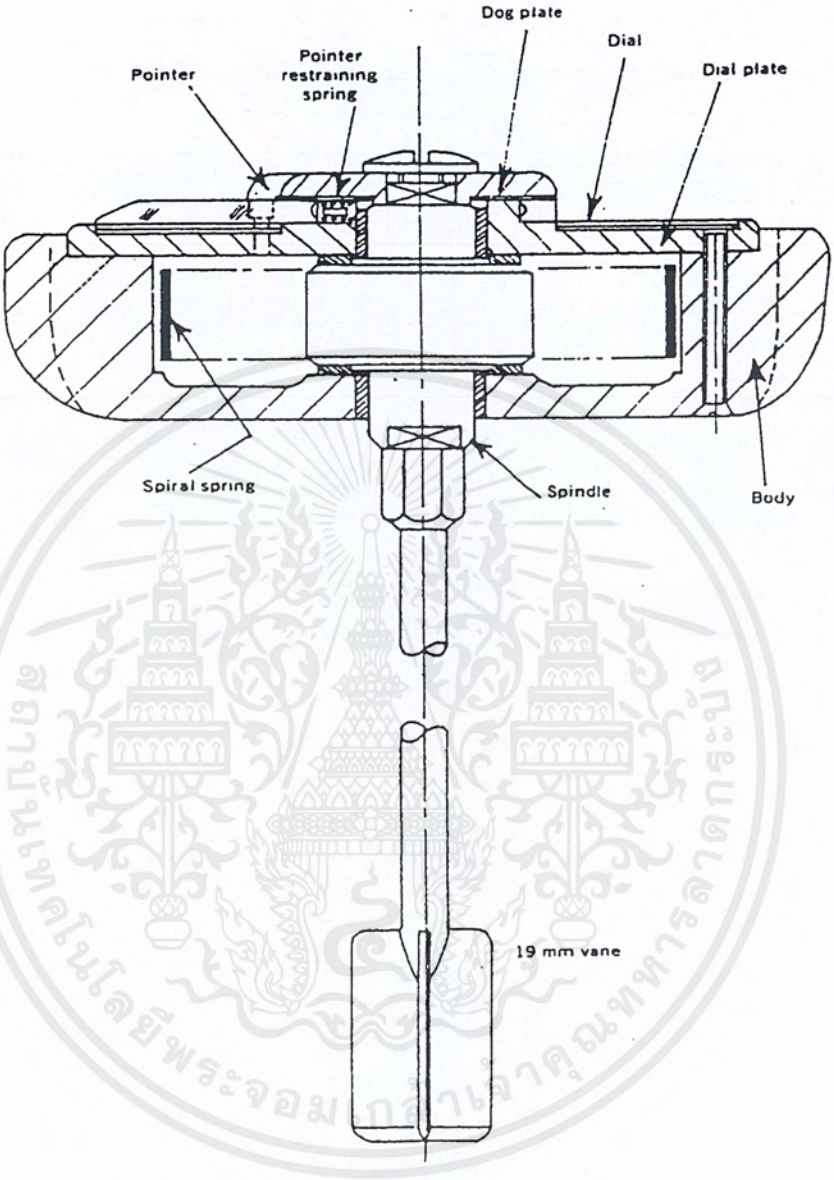
ตารางที่ 3.2.1. แสดงการแปลงหน่วย

Kpa	Kgf/cm^2	lbf/ft^2
1	.01	20.89
2	.02	41.77
3	.03	62.66
4	.04	83.54
5	.05	104.4
6	.06	125.3
7	.07	146.2
8	.08	167.1
9	.09	188.0
10	.10	208.9
12	.12	250
14	.14	292
16	.16	334
18	.18	376
20	.20	418
22	.22	459
24	.24	501
26	.27	543
28	.29	585
30	.31	627
32	.33	668
34	.35	710
36	.37	752
38	.39	794
40	.41	835
45	.46	940
50	.51	1044
55	.56	1149
60	.61	1253
65	.66	1358
70	.71	1462
75	.77	1566
80	.82	1671
85	.87	1775
90	.92	1880
95	.97	1984
100	1.02	2089
105	1.07	2193
110	1.12	2297
115	1.17	2402
120	1.22	2506
125	1.28	2616
130	1.33	2715
135	1.38	2820
140	1.43	2924
145	1.48	3028
150	1.53	3133

<u>หมายเหตุ</u> แปลงจาก kPa เป็น lbf/ft^2 ให้คูณด้วย 20.8854

แปลงจาก kPa เป็น kgf/cm^2 ให้คูณด้วย 0.0102

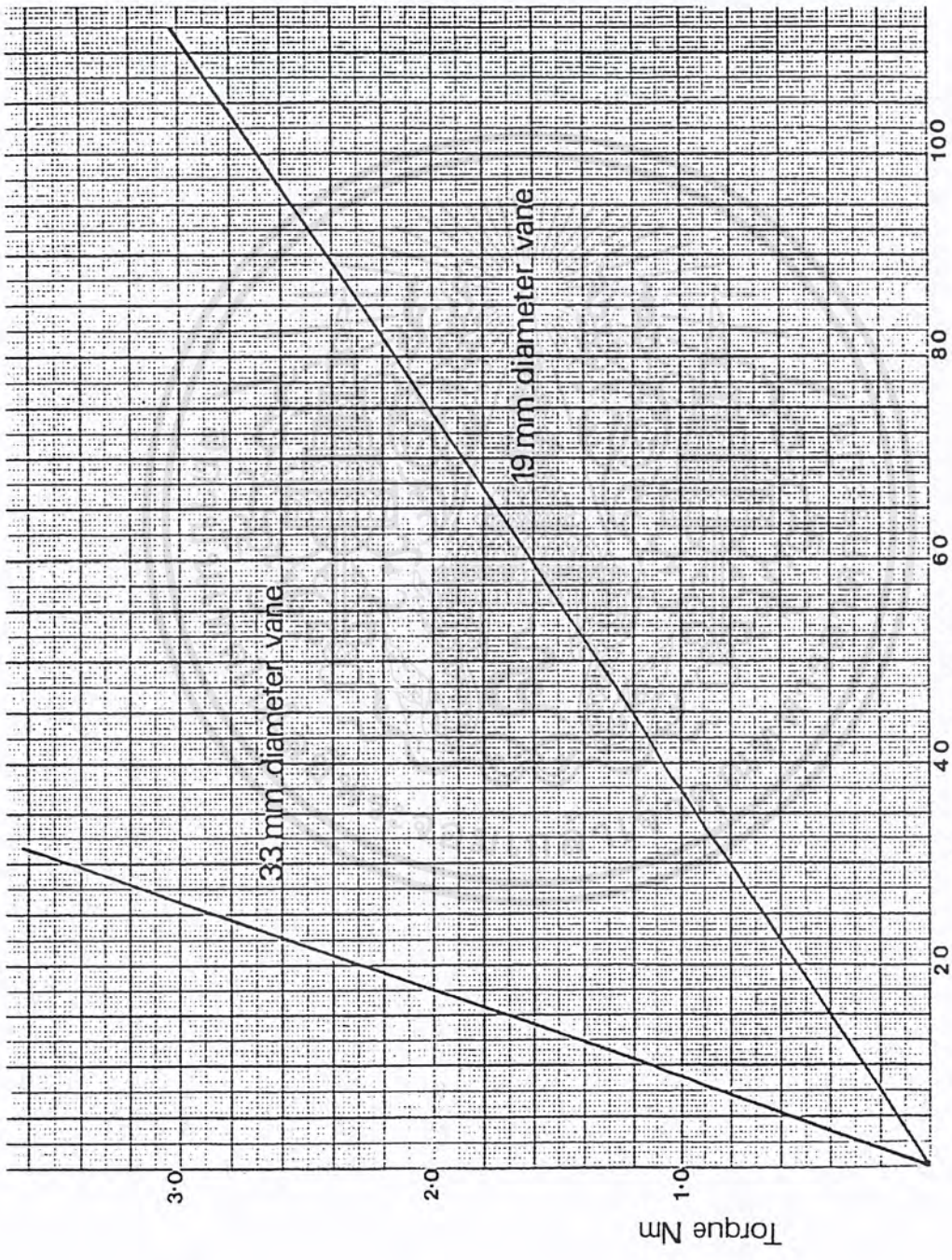
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.4. แสดงภาพตัด Hand Vane Tester

เราสามารถอ่านค่า Shear Strength ของดินในจากหน้าปัด และหากต้องการแปลงเป็น Torque ก็สามารถแปลงได้จากกราฟในรูปที่ 3.2.5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.5. กราฟ แปลงจาก Shear Strength เป็น Torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.วิธีการทดลอง

1. นำหน้ากากพลาสติกออกจากหน้าปัดวัดแรงและปรับตำแหน่งเข็มวัดแรงโดยหมุนตามเข็มนาฬิกาให้ชี้อยู่ที่ศูนย์จากนั้นนำหน้าการพลาสติกสวมเข้าอย่างเดิม
2. ต่อเข้ากับก้านต่อและใบพัดเฉือนดิน โดยใช้ขนาดใบพัดตามขนาดแรงเฉือนของดินที่จะทดสอบและต่อก้านต่อตามความลึกของดินที่ต้องการทดสอบ
3. กดชุดทดสอบลงในดินอย่างช้าๆ พยายามให้ดินได้รับความกระทบกระเทือนน้อยที่สุด
4. เมื่อถึงระดับที่จะทำการทดสอบให้หมุนชุดหัวอ่านในทิศทางตามเข็มนาฬิกาอย่างช้าๆ และเมื่อตัวอย่างดินถึงค่า Shear สูงสุดตัวดันเข็มจะตกลงแต่เข็มจะถูก set ให้อยู่ที่ตำแหน่ง Shear Max
5. ทำการทดสอบในความลึกที่ต้องการมากกว่านี้ หรือทดสอบในตัวอย่างดินในระยะใกล้เคียงเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้
6. หลังใช้งานทุกครั้งให้ทำความสะอาดเครื่องมือให้เรียบร้อย พร้อมกับชโลมน้ำมันบางๆ

3.2.5.คำถามท้ายการทดลอง

1. การทดลองหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Hand Vane Tester มีข้อดีข้อเสียอย่างไร
2. เราสามารถใช้วิธีการทดสอบแบบ Hand Vane Tester กับลักษณะดินอย่างไรได้บ้าง
3. ค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Hand Vane Tester แตกต่างจากการหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธีการอื่นหรือไม่อย่างไร (อาจยกตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธี Triaxial Test แบบ Undrained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HAND VANE TESTER

ddd

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ DATE _____

TEST BY _____ VANE BLADE: _____

CHECK BY _____ TEST NO. _____

TEST NO.				TEST NO.			
DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH kN/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH kN/m^2	SENSITIVITY	DEPTH (m)	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH kN/m^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH kN/m^2	SENSITIVITY

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.Torvane Shear

3.3.1.วัตถุประสงค์

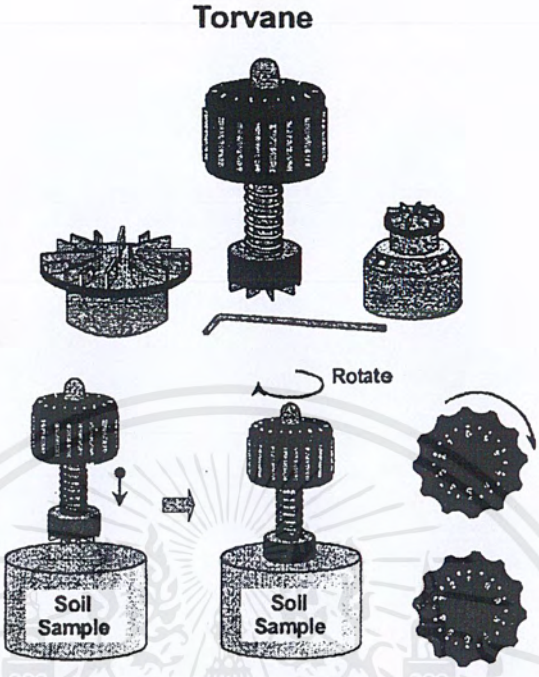
- เพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนและจำแนกประเภทของดินเหนียวอย่างคร่าวๆ
  (ค่าช่วง Shear Strength 5-250 kPa)

3.3.2.อุปกรณ์

1. ชุดหัวอ่านค่าแรงเฉือน(Vane Tester Head)
2. ใบพัดขนาดมาตรฐาน (ratio 1.0) ใบพัดขนาดใหญ่(ratio 0.2) และใบพัดขนาดเล็ก(ratio 2.5)
3. เลื่อยแต่งผิวตัวอย่างดิน (Wire-saw)

รูปที่ 3.3.1. แสดงชุดอุปกรณ์ Torvane Shear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2. แสดงชุดอุปกรณ์ Torvane Shear และลักษณะการทดสอบ

3.3.3.ทฤษฎี

วิธีการทดสอบหาค่าแรงเฉือนของดินโดยวิธี Torvane Shear สามารถหาค่าแรงเฉือนของดินประเภทมีความยึดเกาะ (cohesive soil) อย่างคร่าวๆ สามารถใช้ทดสอบได้ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ ช่วงกำลังรับแรงเฉือนที่อ่านได้จะอยู่ประมาณ 5-250 kPa การทดสอบเป็นแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained Shear Strength)

ใบพัดที่ใช้มีด้วยกัน 3 ขนาดคือขนาดมาตรฐาน (ratio 1.0) ใบพัดขนาดใหญ่ (ratio 0.2) ไว้สำหรับทดสอบตัวอย่างที่ remolded แล้ว ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย factor 0.2 และใบพัดขนาดเล็ก (ratio 2.5) ไว้สำหรับตัวอย่างดินที่แข็ง (stiffer clays) ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย factor 2.5

เพราะฉะนั้นในการทดสอบควรทราบคร่าวๆ ก่อนว่าดินที่เราจะทำการทดสอบมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนประมาณเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่อ่านบนหน้าปัดจะมีหน่วยเป็น kg/cm^2 ซึ่งเราหากเราต้องการแปลงหน่วยก็สามารถใช้ค่าในตารางที่ 3.3.1. แปลงหน่วยได้

ตารางที่ 3.3.1. แสดงการจำแนกประเภทดิน

Stiffness Defination	Undrained Shear Strength (ton/m^2)	SPT ,N value
Very Soft	<1.25	0-2 Blows
Soft	1.25-2.5	3-4 Blows
Medium	2.5-5	5-8 Blows
Stiff	5-10	9-15 Blows
Very Stiff	10-20	16-30 Blows
Hard	>20	>30 Blows

3.3.4.วิธีการทดสอบ

1. ทำการแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบให้เรียบด้วยเลื่อยแต่งดิน
2. เลือกขนาดใบพัดให้เหมาะสมกับกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยพิจารณาว่าลักษณะดินที่นำมาทดสอบ stiff เพียงใด โดยหากดินมีความแข็ง (stiff) ให้ใช้ใบพัดขนาดเล็ก หากดินมีความแข็งปานกลาง (medium) ให้ใช้ใบพัดขนาดกลาง และหากตัวอย่างอ่อนมากหรือถูก remolded แล้ว ให้ใช้ใบพัดขนาดใหญ่
3. กด torvane ลงบนบริเวณกลางผิวของตัวอย่างดินให้ผิวของดินสัมผัสกับแผ่นฐานของใบพัด
4. set ตำแหน่งขีดชี้ scale ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
5. ทำการหมุนใบพัดอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างดิน fail
6. ทำการบันทึกค่า undrained shear strength จากขีดที่ชี้ (maximum shear strength)
7. นำตัวอย่างดินไปหาปริมาณความชื้น
8. ทำการทดสอบซ้ำกับตัวอย่างดินอย่างน้อยอีก 2 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.การคำนวณผล

- คำนวณค่าเฉลี่ยของ undrained shear strength
- water content

3.3.6.คำถามท้ายการทดลอง

1. การทดลองหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Torvane Shear มีข้อดีข้อเสียอย่างไร
2. เราสามารถใช้วิธีการทดสอบแบบ Torvane Shear กับลักษณะดินอย่างไรได้บ้าง
3. ค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Torvane Shear แตกต่างจากการหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธีการอื่นหรือไม่อย่างไร (อาจยกตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธี Triaxial Test แบบ Undrained)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

TORVANE SHEAR

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ DATE _____

TEST BY _____ BLADE RATIO _____

CHECK BY _____ TEST NO. _____

TEST NO.	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH kg/cm^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH kg/cm^2	SENSITIVITY	TEST NO.	UNDISTURBED VANE SHEAR STRENGTH kg/cm^2	REMOLDED VANE SHEAR STRENGTH kg/cm^2	SENSITIVITY

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.Pocket Penetrometer

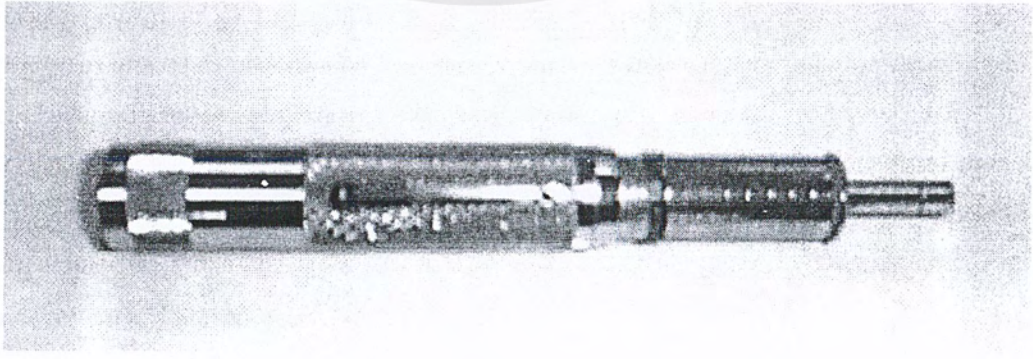
3.4.1.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่า unconfined compressive strength และจำแนกประเภทของดินเหนียวอย่างคร่าวๆ (สำหรับดินที่แข็งปานกลางถึงแข็งมาก)

3.4.2.อุปกรณ์

1. Pocket Penetrometer
2. เลื่อยแต่งผิวตัวอย่างดิน (Wire-saw)

(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4.1. (ก),(ข) แสดง Pocket Penetrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.ทฤษฎี

วิธีการทดสอบหาค่า unconfined compressive strength ของดินโดยวิธี Pocket Penetrometer สามารถหาค่า compressive strength ของดินอย่างคร่าวๆ สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ ช่วงกำลังที่อ่านได้จะอยู่ประมาณ 0-4.5 kg/cm^2

ประโยชน์ของการทดสอบโดยวิธี Pocket Penetrometer ส่วนมากจะนำค่าไปใช้ในการตรวจสอบค่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดลองอื่นๆ หรือนำไปใช้ในการจำแนกประเภทของดินตามค่าในตารางที่ 3.4.1. หรือสำหรับหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินอย่างคร่าวๆ ซึ่งลักษณะดินที่จะทดสอบจะมีความแข็งปานกลางถึงแข็งมาก (medium to very stiff soil)

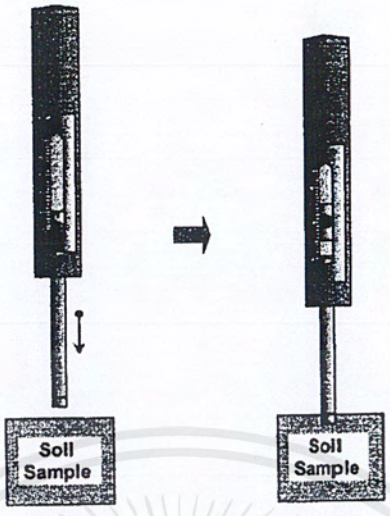
ตารางที่ 3.4.1. แสดงการจำแนกประเภทดิน

Stiffness Defination	Undrained Shear Strength (ton/m^2)	SPT N value
Very Soft	<1.25	0-2 Blows
Soft	1.25-2.5	3-4 Blows
Medium	2.5-5	5-8 Blows
Stiff	5-10	9-15 Blows
Very Stiff	10-20	16-30 Blows
Hard	>20	>30 Blows

3.4.4.วิธีการทดสอบ

1. ทำการแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบให้เรียบด้วยเลื่อยแต่งดิน
2. วาง Pocket Penetrometer ลงบริเวณกลางของตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบ
3. set วงแหวนชี้ scale ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
4. ทำการจับด้ามของ Pocket Penetrometer และค่อยๆ กดลงบนตัวอย่างดินอย่างช้าๆ จนถึงขีดระดับยุบตัว
5. ทำการบันทึกค่า unconfined compressive strength จากวงแหวนที่ชี้ (maximum shear strength)
6. นำตัวอย่างดินไปหาปริมาณความชื้น
7. ทำการทดสอบซ้ำกับตัวอย่างดินอย่างน้อยอีก 2 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.2. แสดงการกดตัวอย่าง

3.4.5.การคำนวณผล

- คำนวณค่าเฉลี่ยของ unconfined compressive strength
- Undrained shear strength เมื่อ Undrained shear strength = 0.5 x unconfined compressive strength
- water content

3.4.6.คำถามท้ายการทดลอง

1. การทดลองหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Pocket Penetrometer มีข้อดีข้อเสียอย่างไร
2. เราสามารถใช้วิธีการทดสอบแบบ Pocket Penetrometer กับลักษณะดินอย่างไรได้บ้าง
3. ค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธี Pocket Penetrometer แตกต่างจากการหาค่า Shear Strength ของดินด้วยวิธีการอื่นหรือไม่อย่างไร (อาจยกตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธี Triaxial Test แบบ Undrained)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

POCKET PENETROMETER TEST

PROJECT _____ OWNER _____

LOCATION _____ DATE _____

TEST BY _____ POCKET NO. ____ _____

CHECK BY _____ TEST NO. _____

TEST NO.	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH kg/cm^2	UNDRAINED SHEAR STRENGTH kg/cm^2	TEST NO.	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH kg/cm^2	UNDRAINED SHEAR STRENGTH kg/cm^2

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.Plate Bearing Test

3.5.1.อ้างอิง: ASTM D1194

3.5.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังต้านทานแรงกดของดิน (Bearing Capacity of Soil)

3.5.3.อุปกรณ์

1. แผ่นทดสอบแรงกด (Bearing Plates) จำนวน 3 แผ่น โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ กัน โดยมีขนาดตั้งแต่ 12-30 in (305-762 mm) แต่ละแผ่นหนาไม่น้อยกว่า 1 in(25 mm)
2. แม่แรงไฮโดรลิกส์ (Hydraulic Jack) (มีหน้าปัดวัดแรง)
3. แท่นน้ำหนักทดสอบ (Loading Platform) หรือระบบสมอยึด (Anchor Piles)
4. Dial Gauge วัดการทรุดตัวความละเอียด 0.01 in(0.25 mm)

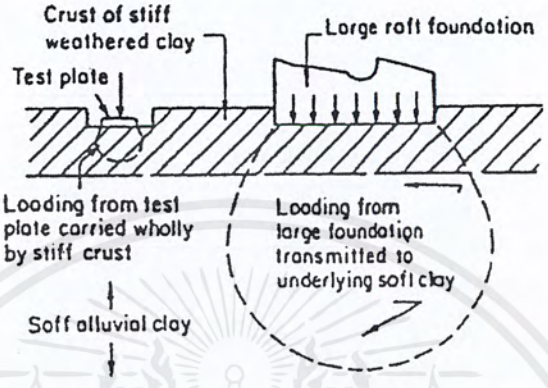
3.5.4.ทฤษฎี

การทดสอบ Plate Bearing Test เป็นการทดสอบเพื่อประมาณค่าความสามารถต้านทานกำลังแบกทานของดินภายใต้ Load ซึ่งกระทำ ขนาดกำลังต้านทานแรงแบกทานของดินจะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแรงกด ขนาดของแรงกด การกระจายของแรง ซึ่งการทดสอบเพื่อหากำลังแบกทานของดินนำไปใช้ทดสอบกับงานพวกฐานราก และการสำรวจข้อมูลดินเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบต่อไป

การทดสอบ Plate Bearing นอกจากจะได้กำลังแบกทานของดินแล้ว ยังทราบถึงคุณสมบัติการทรุดตัวของดิน (Deformation) ด้วย แต่การทดสอบ Plate Bearing Test ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้างเพราะในการทดสอบกำลังแบกทานของดินเช่นฐานรากแผ่ เราจะทำการทดสอบที่ระดับฐานรากและทดสอบด้วยแผ่นเหล็กขนาดหนึ่ง ซึ่งขนาดของแผ่นเหล็กนั้นเมื่อเทียบกับฐานรากจริงจะเล็กกว่ามาก เพราะฉะนั้น stress ของแผ่นเหล็กทดสอบจะอยู่ตื้นกว่า stress ของฐานรากแผ่จริง ซึ่งลักษณะของชั้นดินอาจจะต่างไปจากด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บน เพราะฉะนั้นข้อมูลที่ได้จะต้องพิจารณาถึงตัวแปรอื่นๆ ด้วย เช่นเราอาจหาข้อมูลดินจากการทดสอบอื่นๆ ประกอบ เพื่อความมั่นใจมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.5.1. เปรียบเทียบผลของ stress ระหว่างแผ่นทดสอบกับฐานรากจริง

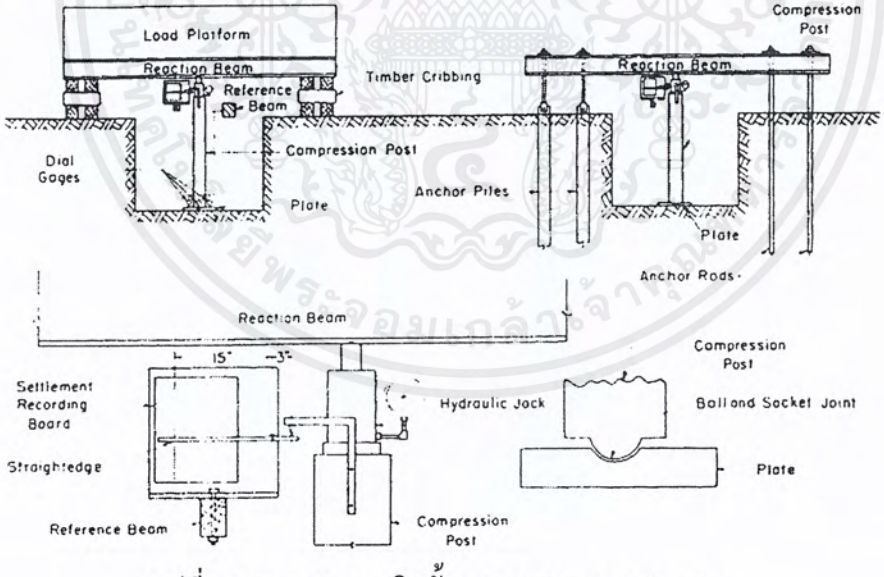
3.5.5.วิธีการทดสอบ

1. เลือกสถานที่ที่เราจะทำการทดสอบ และระดับที่จะทำการทดสอบ ซึ่งควรเป็นระดับเดียวกันกับที่ต้องรับ Load จริง เช่นฐานรากแผ่
2. ในการทดสอบควรทดสอบอย่างน้อย 3 จุด เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ระยะห่างระหว่างจุดทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดของแผ่นทดสอบ หลุมทดสอบต้องเรียบผิวหน้าสม่ำเสมอเพื่อให้ Load จาก Plate ถ่ายแรงกระจายสม่ำเสมอ และหากเราขุดดินเพื่อทำการทดสอบที่ระดับที่ทำงานจริง ต้องระวังไม่ให้ความชื้นของดินในหลุมเปลี่ยนแปลง ยกเว้นในการก่อสร้างบางอย่างเช่นงานทางโครงสร้างชลประทานซึ่งดินจะได้รับความชื้นและเปียกมากขึ้นอยู่แล้ว
3. เตรียมโครงสร้างค้ำยัน อาจใช้ระบบน้ำหนักกดด้านบน(Loading Platforms) หรือระบบสมอยึด (Anchor Rods) ดูในรูปที่ 3.5.2. ที่มั่นคงแข็งแรงสามารถรองรับ Load ได้โดยไม่ถอนตัวหรือโยกเอน และจุดที่จะปักค้ำยันต้องเว้นระยะห่างจากจุดทดสอบพอสมควรเพื่อความสะดวกในการติดตั้งชุดทดสอบ hydraulic (เพื่อความสะดวกในการทดสอบจริง ระยะไม่ควรน้อยกว่า 2.4 m
4. ชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ต่างๆ ที่วางอยู่เหนือผิวดินที่จะทำการทดสอบ เช่น hydraulic jack, steel plates, loading column เพราะอุปกรณ์เหล่านี้จะส่งผลให้ stress ในดินเพิ่มมากขึ้น
5. ทำการติดตั้งชุด Dial Gauge กับคานอ้างอิงระดับ เพื่อวัดค่าการทรุดตัว (settlement) และต้องวางในระยะไม่น้อยกว่า 8 ft (2.4 m) จากศูนย์กลางของจุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการติดตั้งชุดทดสอบดังรูปที่ 3.5.2. เสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการใส่ Load ให้กับดิน แต่ต้องไม่มากกว่า 1.0 ton/ft^2 (95 kPa) หรือไม่มากกว่า 1/10 ของกำลังแบกทานของดินที่จะทดสอบ (จากการประมาณหรือข้อมูลดินใกล้เคียง) การให้ Load ต้องค่อยๆ เพิ่มอย่างช้าๆ จนถึงค่าที่เราต้องการโดยโยกก้านของ hydraulic jack
7. ปล่อยทิ้ง Load ให้กระทำกับดินในช่วงเวลาหนึ่ง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทิ้ง Load ไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 15 นาที หรือจนกระทั่งการทรุดตัวคงที่
8. ในช่วงระหว่างการปล่อย Load ทิ้งไว้นั้นต้องวัดการทรุดตัวของดินด้วย และต้องวัดระยะทรุดตัวก่อนและหลังการใส่ Load ในแต่ละครั้ง ทุกครั้ง โดยในช่วงที่ทิ้ง Load ไว้นั้นต้องวัดค่าการทรุดตัวไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง โดยใช้เวลาเท่าๆ กันในการวัดแต่ละครั้ง

   <u>หมายเหตุ</u> หากใช้เวลาในการทิ้ง Load ในแต่ละขั้นเท่ากับ 15 นาที แนะนำให้อ่านค่าการทรุดตัวที่เวลา 0, 1, 2, 4, 8, 15 นาที ตามลำดับ
9. ทำการเพิ่ม Load ในขั้นต่อไป โดยให้ stress เป็น 2 เท่าของ Load ในครั้งก่อน และทำตามข้อ 7 และ 8
10. ทำการทดสอบจนกระทั่งถึงค่า Load สูงสุดที่ดินแบกทานไว้ได้ (peak load) หรือจนค่าการทรุดตัวมากกว่า 25 มม.

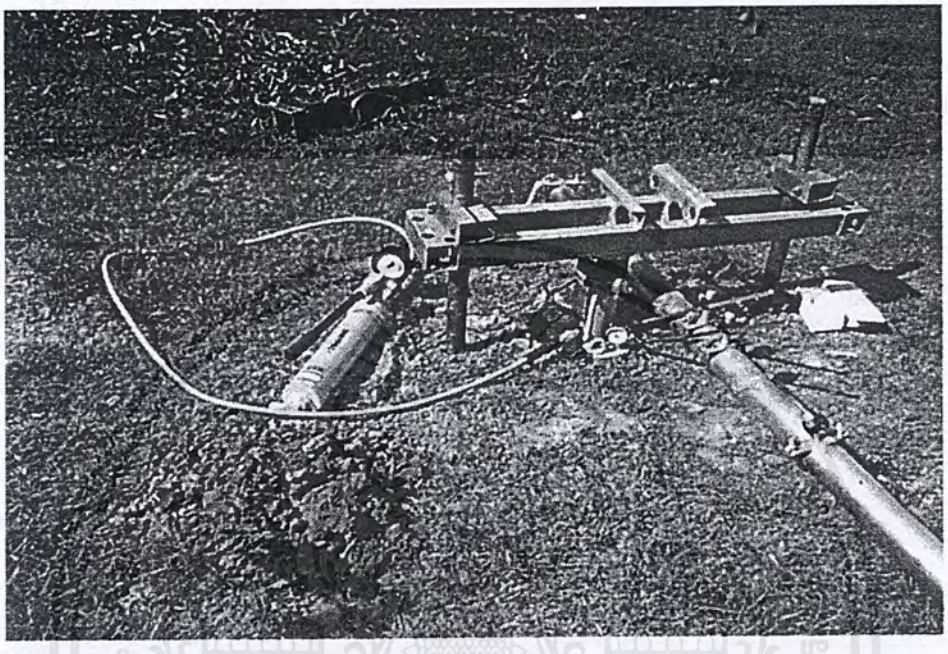


รูปที่ 3.5.2. แสดงการติดตั้งชุดทดสอบ Plate Bearing

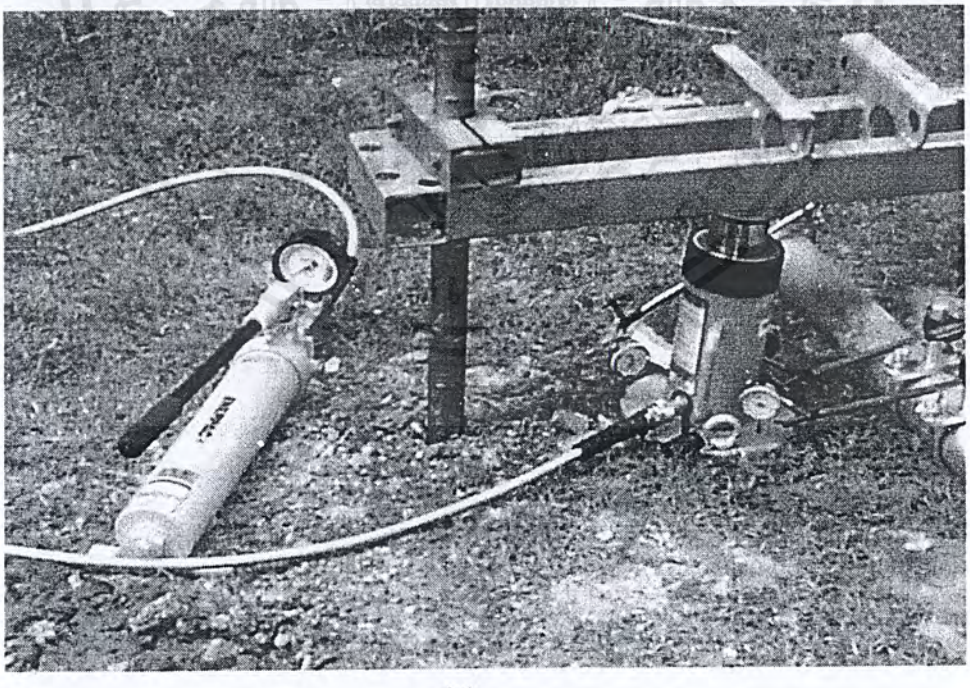
11. หลังการทดสอบการให้ Load ให้ทดสอบการคืนตัวของดิน โดยผ่อนการให้ Load ประมาณ 3 ครั้ง โดยให้ stress ลดลงเท่าๆ กัน และในระหว่างการถอน Load ในแต่ละครั้งให้ทำการจดค่าการทรุดตัวเหมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนให้ Load ระยะเวลาในการทิ้ง Load ใช้เวลาจนกระทั่งดินหยุดการคืนตัว และต้องไม่น้อยกว่าระยะเวลาในการให้ Load ในแต่ละขั้น



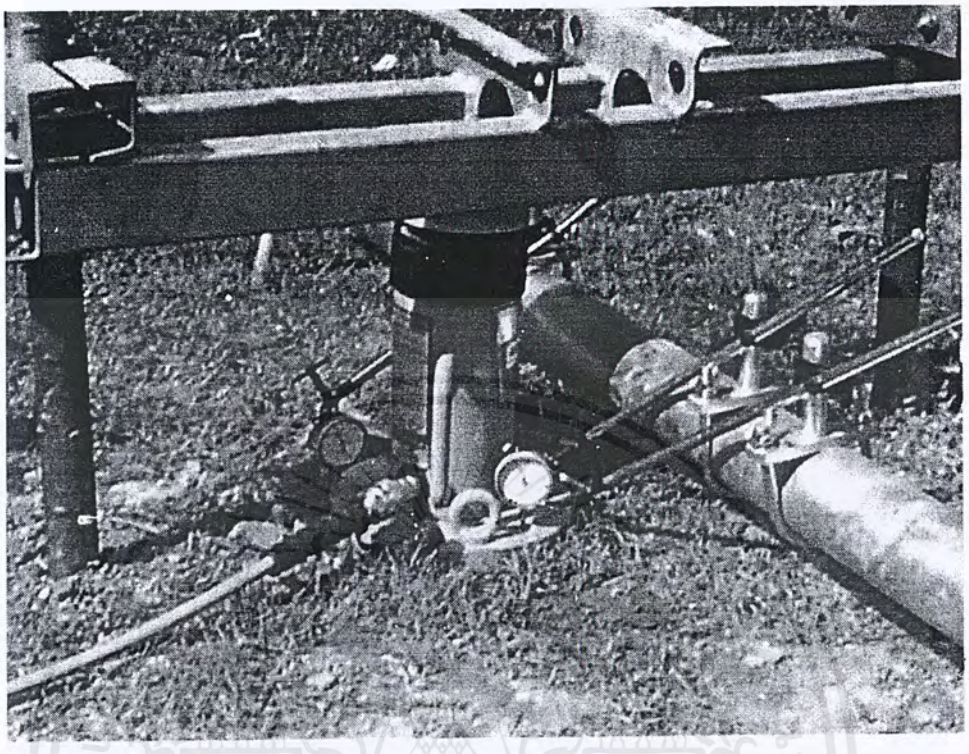
(ก)



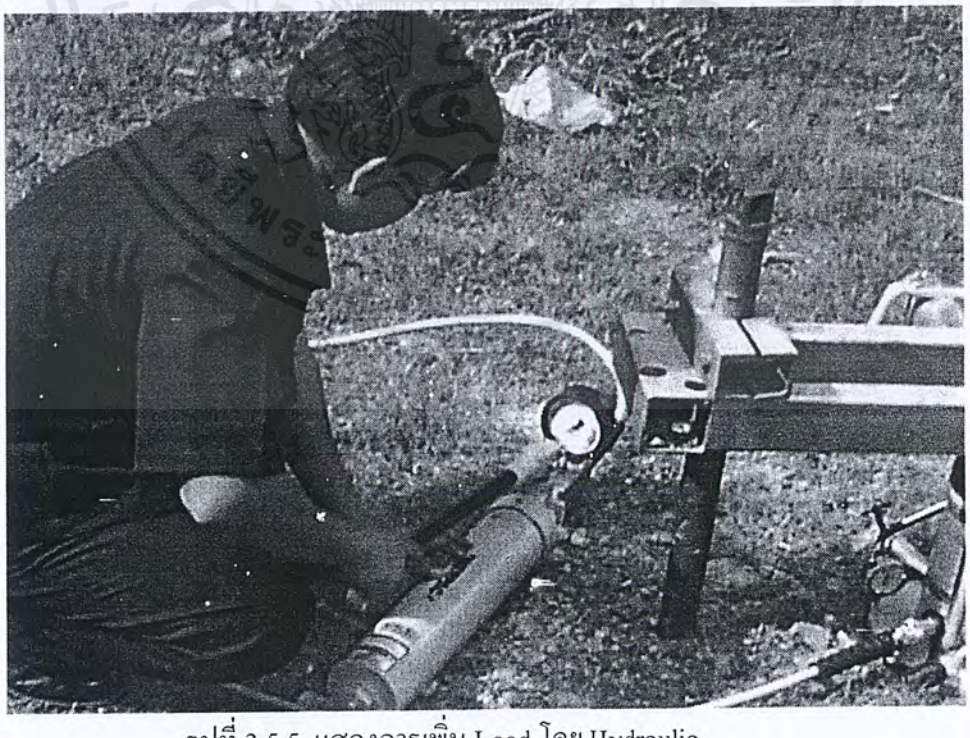
(ข)

รูปที่ 3.5.3.(ก),(ข) แสดงการติดตั้งชุดทดสอบ Plate Bearing Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5.4. แสดงการติดตั้ง Dial Gauge

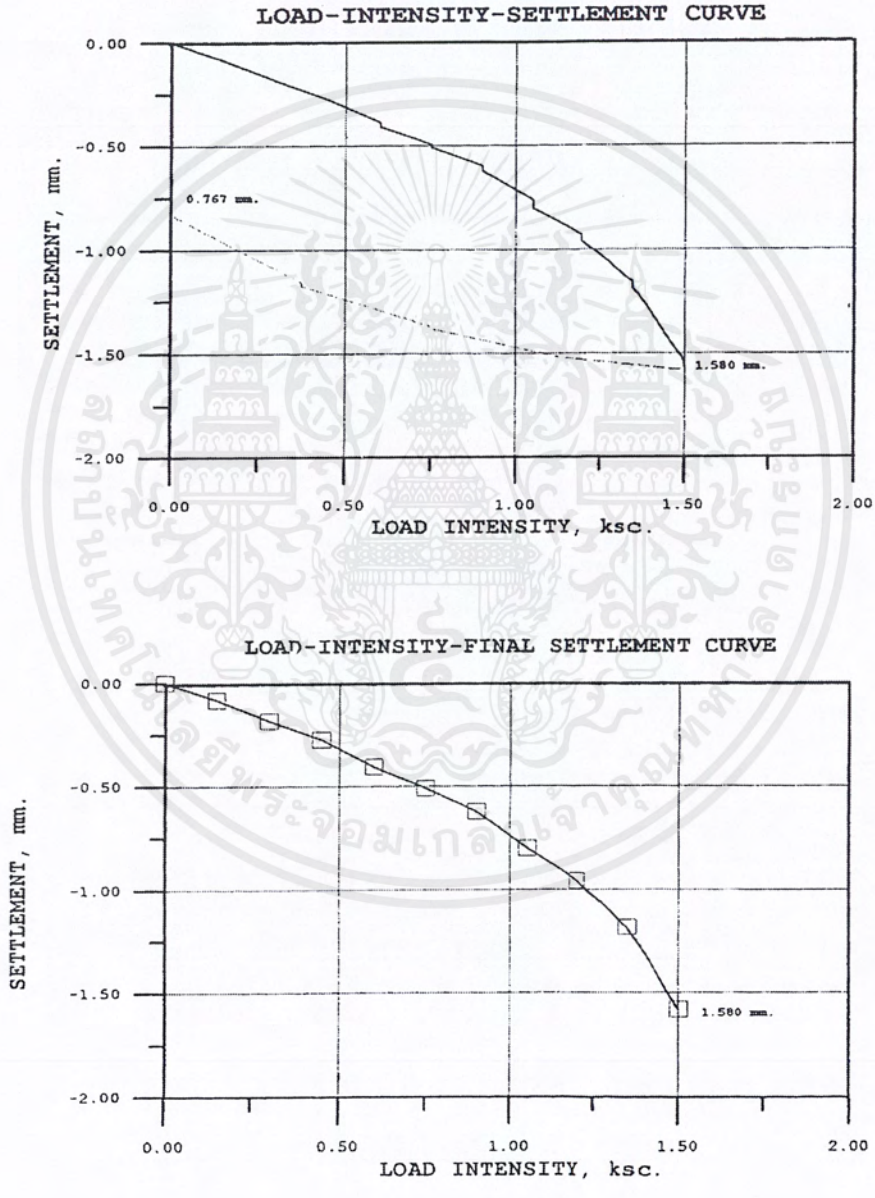


รูปที่ 3.5.5. แสดงการเพิ่ม Load โดย Hydraulic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6.การรายงานผล

- Plot กราฟระหว่างค่าการทรุดตัวของดินกับค่าน้ำหนักบรรทุกของดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.6
- วิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวจากกราฟ



รูปที่ 3.5.6. แสดงตัวอย่างกราฟระหว่างค่าการทรุดตัวและน้ำหนักบรรทุกของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เรานำการทดสอบ Plate Bearing Test ไปใช้ในงานวิศวกรรมอะไรบ้าง
2. ลักษณะของดินที่จะทำการทดสอบ Plate Bearing Test ได้ มีข้อจำกัดหรือไม่ว่าต้องมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร
3. นอกจากผลของ Stress ที่ตื้นกว่าของ Steel Plate ซึ่งต่างจากระดับ Stress ของฐานรากจริงแล้ว ในการนำข้อมูลของการทดสอบไปใช้งานจริงเราควรพิจารณาข้อมูลอะไรเพิ่มเติมอีกบ้าง
4. จงอธิบายถึงการทดสอบ Pile Load Test อย่างคร่าวๆ โดยอาศัยความรู้จากการทดสอบ Plate Load Test (วาดรูปการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบประกอบคำอธิบาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PLATE BEARING TEST

PROJECT GEO-TEST OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SAND TEST NO. PBT-1 TEST LOAD 15 t/m2

LOCATION MAPTAPHUT ,RAYONG PROVINCE DESIGN LOAD 5 t/m2 TEST ELEV. +48.20 MSL.

TEST BY KANOON DATE AUGUST 24,2000 PLATE SIZE 12 Inch dia.

TIME	LOAD GAUGE READ	LOAD kg	STRESS ksc	ELAP. TIME min	SETTLEMENT			AVG. SETTLE. x0.01mm	DIFF. SETTLE. x0.01mm	ACTUAL SETTLE. mm	REMARKS
					GA1	GA2	GA3				
12:00	0	0	0.000	0	500	500	500	500.00		0.000	
12:00	28	110	0.150	0	507	508	507	507.33		0.073	
12:01	28	110	0.150	1	507	508	507	507.33		0.073	
12:02	28	110	0.150	2	507	508	507	507.33		0.073	
12:04	28	110	0.150	4	507	508	507	507.33		0.073	
12:08	28	110	0.150	8	507	508	507	507.33		0.073	
12:15	28	110	0.150	15	507	508	507	507.33	0.00	0.073	
12:15	53	219	0.300	0	516	518	516	516.67		0.167	
12:16	53	219	0.300	1	516	518	516	516.67		0.167	
12:17	53	219	0.300	2	516	518	516	516.67		0.167	
12:19	53	219	0.300	4	516	518	516	516.67		0.167	
12:23	53	219	0.300	8	516	518	516	516.67		0.167	
12:30	53	219	0.300	15	517	519	517	517.67	1.00	0.177	
12:30	78	329	0.450	0	526	527	526	526.33		0.263	
12:31	78	329	0.450	1	526	527	526	526.33		0.263	
12:32	78	329	0.450	2	526	527	526	526.33		0.263	
12:34	78	329	0.450	4	526	527	526	526.33		0.263	
12:38	78	329	0.450	8	526	527	526	526.33		0.263	
12:45	78	329	0.450	15	526	527	526	526.33	0.00	0.263	
12:45	104	438	0.600	0	535	533	533	533.67		0.337	
12:46	104	438	0.600	1	535	533	533	533.67		0.337	
12:47	104	438	0.600	2	535	533	533	533.67		0.337	
12:49	104	438	0.600	4	535	533	533	533.67		0.337	
12:53	104	438	0.600	8	536	534	534	534.67		0.347	
13:00	104	438	0.600	15	537	535	535	535.67	2.00	0.357	
13:00	129	548	0.750	0	549	540	539	542.67		0.427	
13:01	129	548	0.750	1	549	540	539	542.67		0.427	
13:02	129	548	0.750	2	549	540	539	542.67		0.427	
13:04	129	548	0.750	4	549	541	540	543.33		0.433	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PLATE BEARING TEST

PROJECT GEO-TEST OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SAND TEST NO. PBT-1 TEST LOAD 15 t/m2

LOCATION MAPTAPHUT ,RAYONG PROVINCE DESIGN LOAD 5 t/m2 TEST ELEV. +48.20 MSL.

TEST BY KANOON DATE AUGUST 24,2000 PLATE SIZE 12 Inch dia.

TIME	LOAD GAUGE READ	LOAD kg	STRESS ksc	ELAP. TIME min	SETTLEMENT GA1	SETTLEMENT GA2	SETTLEMENT GA3	AVG. SETTLE. x0.01mm	DIFF. SETTLE. x0.01mm	ACTUAL SETTLE. mm	REMARKS
13:08	129	548	0.750	8	550	541	540	543.67		0.437	
13:15	129	548	0.750	15	550	541	540	543.67	1.00	0.437	
13:15	155	657	0.900	0	558	549	549	552.00		0.520	
13:16	155	657	0.900	1	558	549	549	552.00		0.520	
13:17	155	657	0.900	2	558	549	549	552.00		0.520	
13:19	155	657	0.900	4	559	550	550	553.00		0.530	
13:23	155	657	0.900	8	560	550	550	553.33		0.533	
13:30	155	657	0.900	15	561	551	551	554.33	2.33	0.543	
13:30	180	767	1.050	0	570	560	560	563.33		0.633	
13:31	180	767	1.050	1	570	560	560	563.33		0.633	
13:32	180	767	1.050	2	570	560	560	563.33		0.633	
13:34	180	767	1.050	4	571	561	561	564.33		0.643	
13:38	180	767	1.050	8	572	562	562	565.33		0.653	
13:45	180	767	1.050	15	573	563	563	566.33	3.00	0.663	
13:45	205	876	1.200	0	582	571	572	575.00		0.750	
13:46	205	876	1.200	1	582	571	572	575.00		0.750	
13:47	205	876	1.200	2	582	571	572	575.00		0.750	
13:49	205	876	1.200	4	583	572	573	576.00		0.760	
13:53	205	876	1.200	8	584	573	574	577.00		0.770	
14:00	205	876	1.200	15	585	574	575	578.00	3.00	0.780	
14:00	231	986	1.350	0	597	583	585	588.33		0.883	
14:01	231	986	1.350	1	597	583	585	588.33		0.883	
14:02	231	986	1.350	2	598	583	586	589.00		0.890	
14:04	231	986	1.350	4	599	584	587	590.00		0.900	
14:08	231	986	1.350	8	600	585	588	591.00		0.910	
14:15	231	986	1.350	15	601	586	589	592.00	3.67	0.920	
14:15	256	1095	1.500	0	601	601	605	602.33		1.060	
14:16	256	1095	1.500	1	601	601	605	602.33		1.060	
14:17	256	1095	1.500	2	613	602	606	607.00		1.070	
14:19	256	1095	1.500	4	614	603	607	608.00		1.080	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ...กรณีศึกษา ทั้งสิ้นการทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหาและการอ้างอิงในเจาของสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PLATE BEARING TEST

PROJECT GEO-TEST OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SAND TEST NO. PBT-1 TEST LOAD 15 t/m2

LOCATION MAPTAPHUT ,RAYONG PROVINC DESIGN LOAD 5 t/m2 TEST ELEV. +48.20 MSL.

TEST BY KANOON DATE AUGUST 24,2000 PLATE SIZE 12 Inch dia.

TIME	LOAD GAUGE READ	LOAD kg	STRESS ksc	ELAP. TIME min	SETTLEMENT			AVG. SETTLE. x0.01mm	DIFF. SETTLE. x0.01mm	ACTUAL SETTLE. mm	REMARKS
					GA1	GA2	GA3				
14:23	256	1095	1.500	8	615	604	608	609.00		1.090	
14:30	256	1095	1.500	15	616	605	609	610.00	4.00	1.100	
14:30	193	821	1.125	0	613	602	604	606.33		1.063	
14:31	193	821	1.125	1	613	602	604	606.33		1.063	
14:32	193	821	1.125	2	613	602	604	606.33		1.063	
14:34	193	821	1.125	4	613	602	604	606.33		1.063	
14:38	193	821	1.125	8	613	602	604	606.33		1.063	
14:45	193	821	1.125	15	613	602	604	606.33	0.00	1.063	
14:45	129	548	0.750	0	602	594	593	596.33		0.963	
14:46	129	548	0.750	1	602	594	593	596.33		0.963	
14:47	129	548	0.750	2	602	594	593	596.33		0.963	
14:49	129	548	0.750	4	602	594	593	596.33		0.963	
14:53	129	548	0.750	8	601	593	592	595.33		0.953	
15:00	129	548	0.750	15	600	592	591	594.33	2.00	0.943	
15:00	66	274	0.375	0	586	580	579	581.67		0.817	
15:01	66	274	0.375	1	586	580	579	581.67		0.817	
15:02	66	274	0.375	2	585	580	579	581.67		0.817	
15:04	66	274	0.375	4	586	580	579	581.67		0.817	
15:08	66	274	0.375	8	585	579	578	580.67		0.807	
15:15	66	274	0.375	15	584	578	577	579.67	2.00	0.797	
15:15	0	0	0.000	0	512	509	507	509.33		0.093	
15:16	0	0	0.000	1	512	509	507	509.33		0.093	
15:17	0	0	0.000	2	512	509	507	509.33		0.093	
15:19	0	0	0.000	4	512	509	507	509.33		0.093	
15:23	0	0	0.000	8	512	509	507	509.33		0.093	
15:30	0	0	0.000	15	511	508	506	508.33	1.00	0.083	
					END OF TEST						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PLATE BEARING TEST

PROJECT ______________________ OWNER ______________

SOIL DESCRIPTION ______________ TEST NO. ____________ TEST LOAD ______________

LOCATION ______________________ DESIGN LOAD __________ TEST ELEV. ______________

TEST BY ______________ DATE ______________ PLATE SIZE ______________

TIME	LOAD GAUGE READ	LOAD kg	STRESS ksc	ELAP. TIME min	SETTLEMENT			AVG. SETTLE. x0.01mm	DIFF. SETTLE. x0.01mm	ACTUAL SETTLE. mm	REMARKS
					GA1	GA2	GA3				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PLATE BEARING TEST

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION SAND

TEST NO. PBT-1

TEST LOAD 15 t/m2

LOCATION MAPTAPHUT ,RAYONG PROVINCE

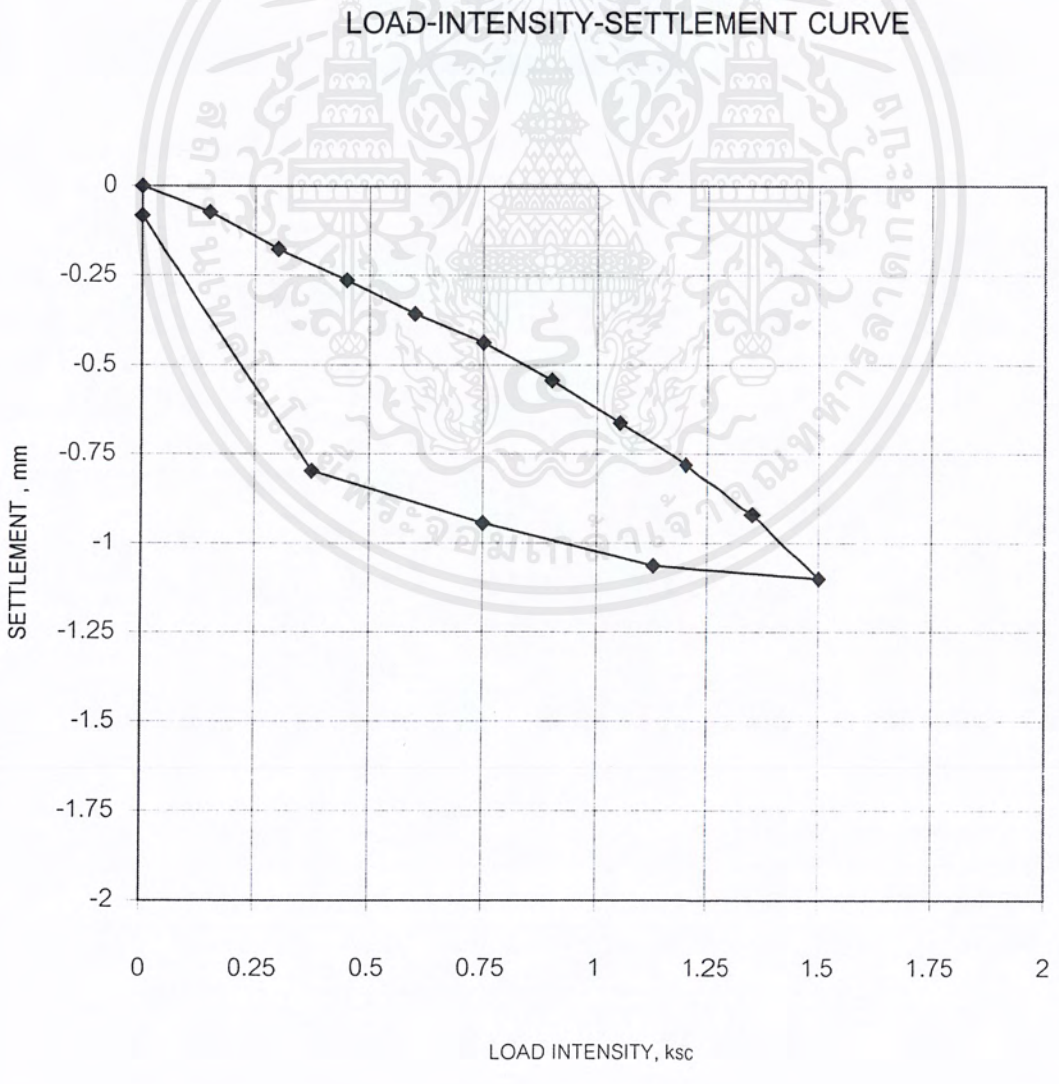
DESIGN LOAD 5 t/m2

TEST ELEV. +48.20 MSL.

TEST BY KANOON

DATE AUGUST 24,2000

PLATE SIZE 12 Inch dia.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

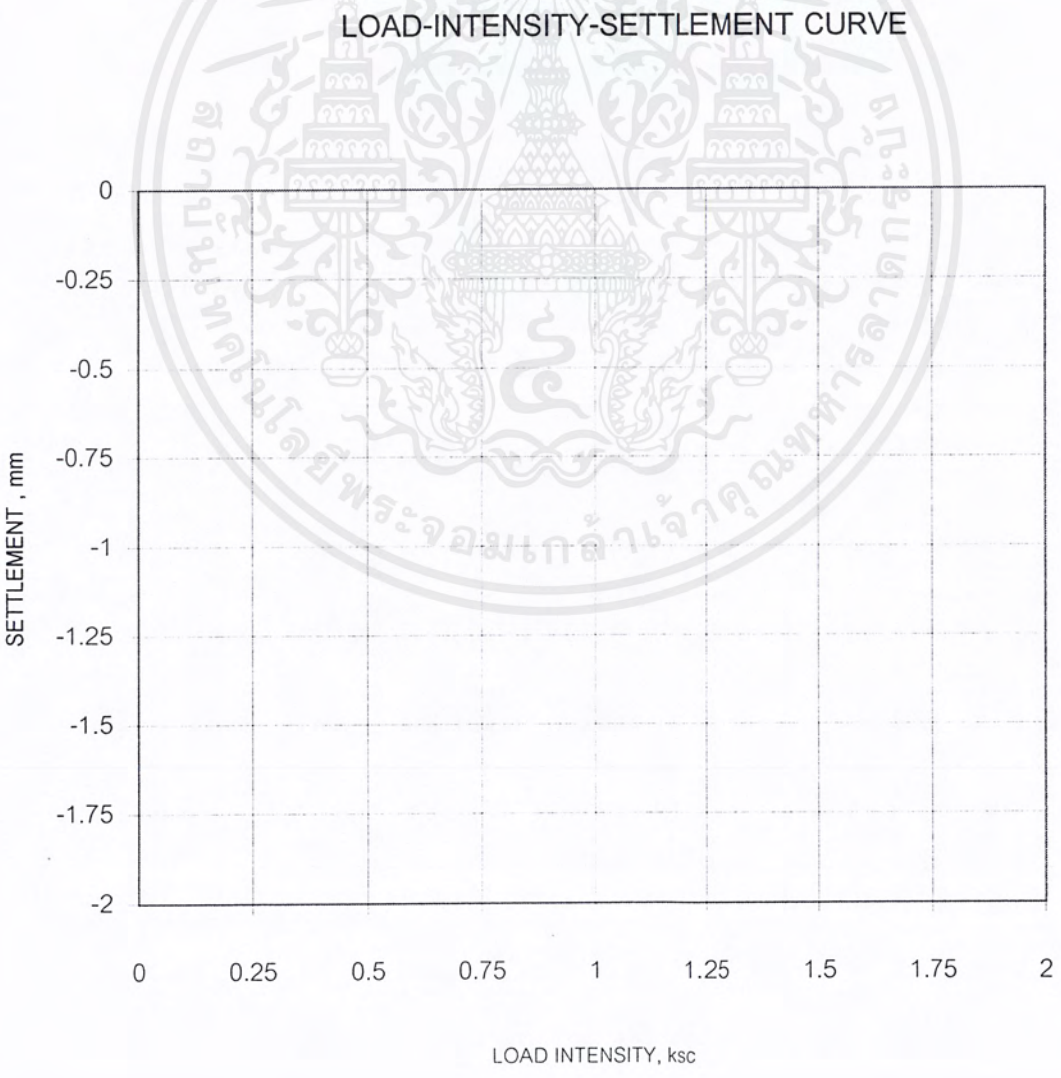
PLATE BEARING TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ TEST NO._____ TEST LOAD _____

LOCATION _____ DESIGN LOAD_____ TEST ELEV. _____

TEST BY_____ DATE_____ PLATE SIZE_____



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.ERODIBILITY TEST(Pinhole Test)

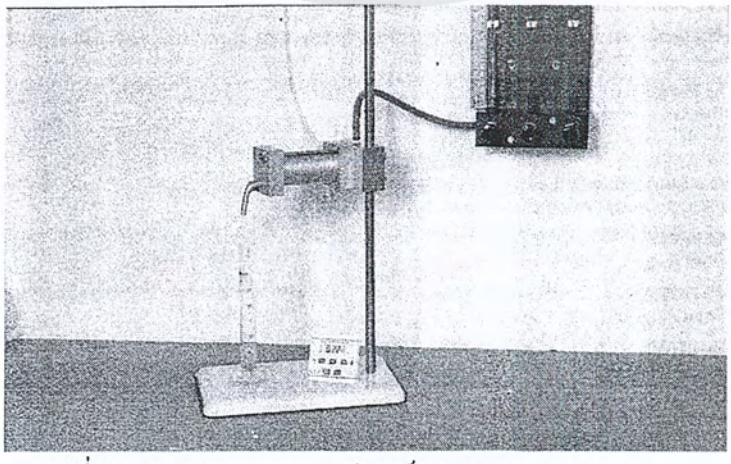
3.6.1.อ้างอิง: ASTM D4647

3.6.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการกัดกร่อนของดิน

3.6.3.อุปกรณ์

1. Mould ใส่ตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 in (33 mm) ยาว 4 in (101.6 mm)
2. ฐานและหัวประกบ Mould (Top and base end plates)
3. หัวกดตัวอย่าง(Nipple) และเข็มเจาะตัวอย่างดิน(Needle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm
4. กรวดหรือทรายหยาบ (ขนาดประมาณ 5 mm)
5. ชุดอุปกรณ์ทดสอบประกอบ
   -แหล่งจ่ายน้ำกลั่น (Distilled Water Constant Head) ที่สามารถปรับ Head น้ำได้
   -หลอดแก้วอ่านค่าระดับ head น้ำ (standpipe)
   -แผ่นตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 in (จำนวน 3 แผ่น)
   -แท่งอัดตัวอย่างดิน (compaction tamper)
   -นาฬิกาจับเวลา
   -บีกเกอร์ตวงน้ำ(มีขีดบอกปริมาตรน้ำ)
6. ชุดอุปกรณ์หาความชื้นของตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.6.1. แสดงการ set อุปกรณ์ทดสอบ erodibility test

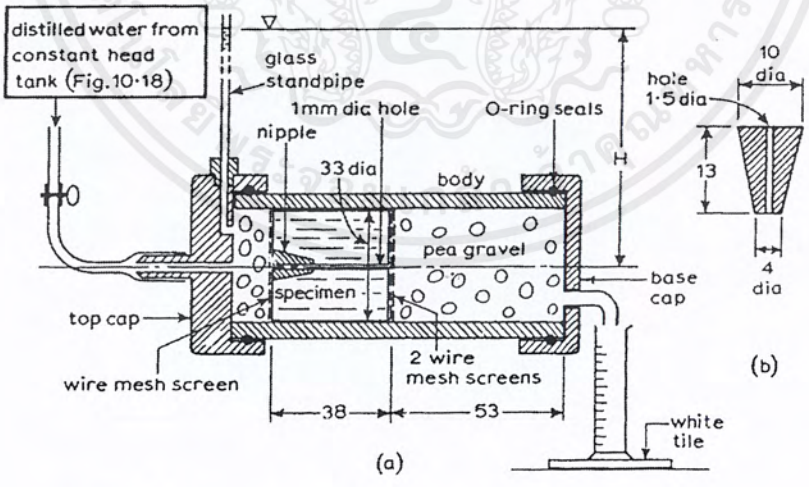
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4.ทฤษฎี

การทดสอบการกัดกร่อนของดิน (erodibility test) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงลักษณะของดินชนิดต่างๆ เมื่อมีน้ำไหลผ่านว่า เม็ดดินมีการกัดกร่อนมากเพียงใด ซึ่งนำไปประยุกต์กับงานดินที่มีกระแสน้ำไหลผ่านหรือมีการกัดกร่อนจากกระแสน้ำ และนำผลของลักษณะดินต่างๆ ไปประยุกต์กับงานนั้นๆ ให้สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ในขอบเขตที่ยอมรับได้

การทดสอบการกัดกร่อนของดินมีการนำไปใช้ในงานต่างๆ เช่น งานเขื่อน คลองส่งน้ำ ลักษณะงานดินที่จะเกิดความเสียหายจาก Piping

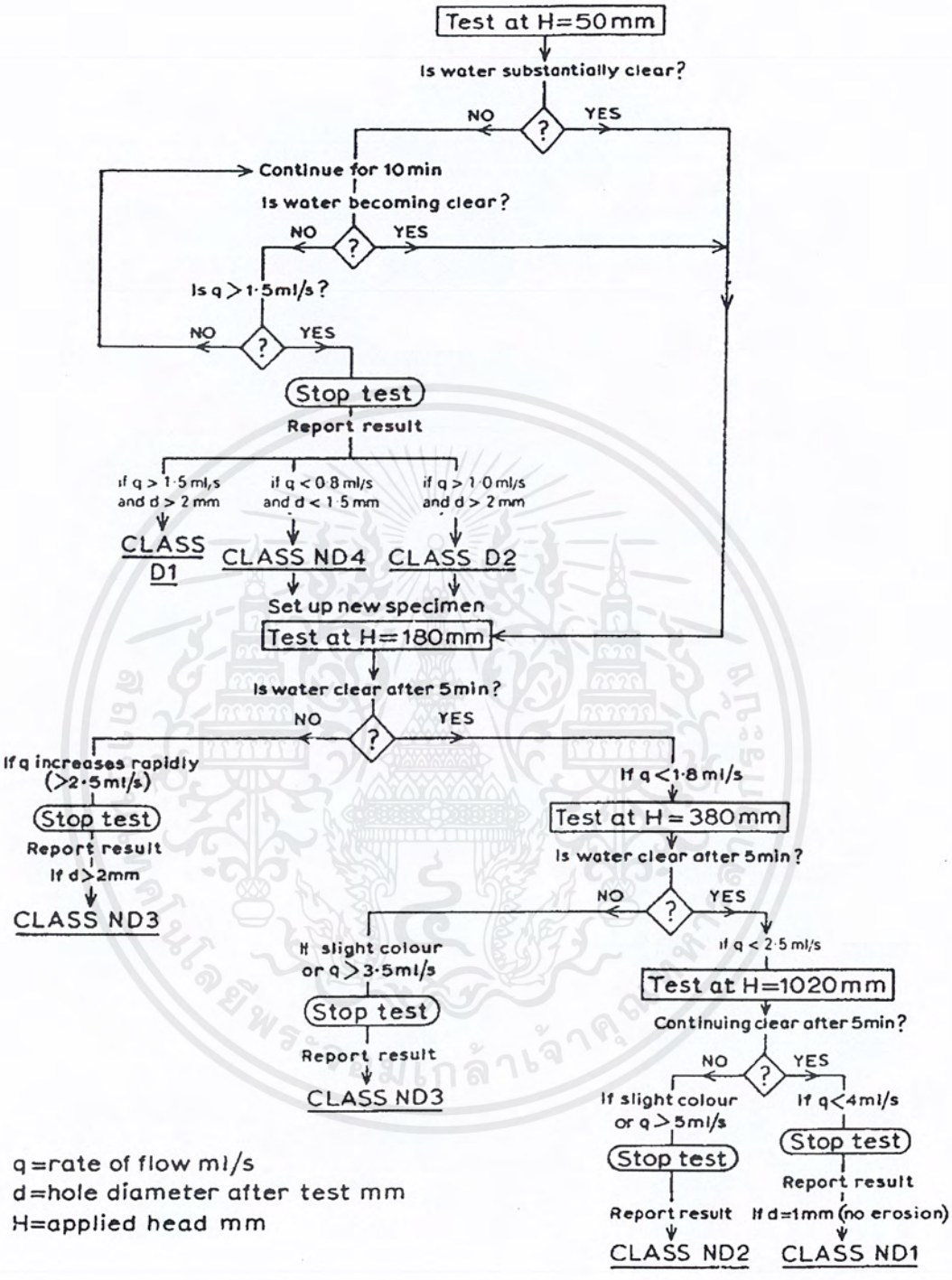
การทดสอบนี้ทำได้โดยปล่อยกระแสน้ำให้ไหลผ่านตัวอย่างดินที่ผ่านการบดอัดและมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm โดยควบคุมให้แหล่งจ่ายน้ำมี Head คงที่ ดินที่มีการกัดกร่อนน้อยจะสังเกตเห็นว่าน้ำที่ไหลผ่านลงสู่บีกเกอร์จะค่อนข้างใส ส่วนตัวอย่างดินที่มีการกัดกร่อนมากน้ำที่ไหลผ่านจะมีลักษณะขุ่นมัว ซึ่งลักษณะของตัวอย่างดินดังกล่าวเราสามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อเลือกลักษณะของดินในงานทางวิศวกรรมที่มีน้ำกัดเซาะต่อไป



รูปที่ 3.6.2. แสดงภาพตัดการทดลอง erodibility test

Sherard et al(Jan. 1976) ได้แนะนำการทดสอบในข้อ 14 และ 15 ขึ้นโดยเน้นถึงลักษณะของและลักษณะของตัวอย่างดินซึ่งแสดงดัง Flow Chart ในรูปที่ 3.6.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6.3. แสดง flow chart การทดลอง erodibility test

จาก Chart ในรูปที่ 3.6.3. ตัวอย่างดินจะถูกจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ โดยแบ่งเป็นดิน 'Dispersive soils' (D1,D2) และ 'Non-dispersive soils' (ND1 ถึง ND4) ซึ่งการจำแนกในตารางที่ 3.6.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6.1. แสดงการจำแนกดินตามความต้านทานการกัดเซาะ

จำแนกประเภท	Head น้ำ (mm)	ระยะเวลาในการทดสอบ (min)	อัตราการไหล (ml/s)	สี,ความขุ่นของน้ำที่ทางออก	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูหลังการทดสอบ (mm)
Dispersive					
D1	50	5	>1.5	Very distinct	>2
D2	50	10	>1.0	Distinct to slight	>2
Non-dispersive	50	10	<0.8	Slight but easily	<1.5
ND4	180	5	>2.5	visible	>2
ND3	380	5	>3.5	Slight but easily	2
	1020	5	>5	visible	2
ND2	1020	5	<4	Slight	1
ND1				Clear or barely visible	(no erosion)
				Crystal clear	

3.6.5.วิธีการทดลอง

ตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบต้องให้อยู่ในสภาพที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด ต้องไม่ให้น้ำในมวลดินระเหยหรือออกจากตัวอย่างดิน

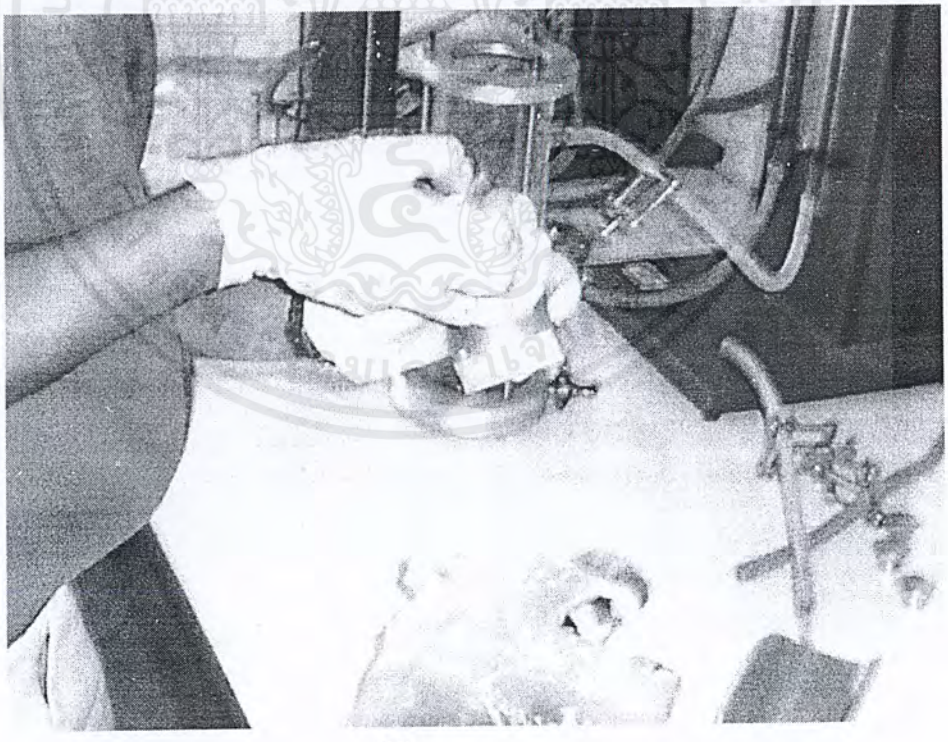
1. นำตัวอย่างดินบางส่วนไปหาค่าปริมาณความชื้นและ Atterberg limits
2. นำตัวอย่างดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่มีขนาดช่อง 2 มม. ออก
3. นำตัวอย่างดินมาทำให้อยู่ในสภาพประมาณ plastic limit โดยอาจจะเติมน้ำกลั่นหรือปล่อยให้น้ำในตัวอย่างดินระเหยออก
4. นำฐาน Mould มาประกอบกับตัว Mould
5. นำกรวดหยาบใส่ลงใน Mould ให้มีความสูง 2.1 in(53 mm) ปรับระดับผิวให้เรียบ
6. นำแผ่นตะแกรงวางบนกรวดใน Mould

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการนำตัวอย่างดินใส่ใน Mould แล้วทำการบดอัดโดยใช้ Harvard tamper โดยทำการบดอัดทั้งหมดแบ่งเป็น 5 ชั้น โดยเมื่อบดอัดเสร็จทั้ง 5 ชั้นแล้วดินต้องมีความสูง 1.5 in(38 mm) ในแต่ละชั้นในการบดอัดให้บดอัดชั้นละ 16 ครั้ง (ซึ่งจะประมาณ 95% Proctor)
8. ทำการกดหัวกดตัวอย่างดิน(Nipple) ลงบนตัวอย่างดินบดอัดใน Mould โดยกดลงบริเวณกลางของ Mould
9. นำเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. (Needle) เจาะผ่านหัวกดตัวอย่างดิน(Nipple) เข้าไปในตัวอย่างดินบดอัด โดยตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้แทงจนทะลุตลอดตัวอย่างดิน
10. วางแผ่นตะแกรงลวดลงบนตัวอย่างดิน แล้วนำกรวดหยาบใส่เป็นชั้นสุดท้าย
11. ทำการจุดชุดทดสอบตัวอย่าง โดยจัดแหล่งจ่ายน้ำกลั่นให้มี Head น้ำคงที่ สูง 50 มม. วัดจากกึ่งกลางของชุด Mould
12. ต่อท่อน้ำเข้า(inlet) และท่อวัดระดับ Head น้ำ (Standpipe) กับชุดเครื่องมือทดสอบ
13. ปล่อยน้ำให้ไหลเข้า Mould และรอสักพักให้น้ำไหลคงที่ สังเกตลักษณะของน้ำในบีกเกอร์ทางด้านน้ำออก ถ้าหากไม่มีน้ำไหลออกจาก Mould ให้ทำการเจาะตัวอย่างดินด้วยเข็มเจาะ (Needle) อีกครั้งและทำการทดสอบซ้ำดังกล่าว
14. วัดอัตราการไหลของน้ำโดยจับเวลาที่ใช้เมื่อน้ำในบีกเกอร์ถึงระดับ 10 ml ในช่วงที่หาอัตราการไหลของน้ำนั้นให้สังเกตและบันทึกสีและลักษณะเม็ดดินในน้ำในบีกเกอร์ด้วย ทำการทดสอบเช่นนี้ซ้ำประมาณ 5-10 นาที
15. เปลี่ยน Head ของแหล่งจ่ายน้ำเป็นระดับ 180 mm 380 mm และ 1020 mm และในแต่ละครั้งที่ทำการเปลี่ยนระดับ Head น้ำให้ทำการทดสอบเช่นเดิม ตามข้อ 13 และ 14
16. ในแต่ละครั้งที่ Head น้ำของแหล่งจ่ายสูงขึ้นจะทำให้อัตราการไหลมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการหาอัตราการไหลของน้ำโดยนำบีกเกอร์ไปรองน้ำแล้วจับเวลานั้น ควรเพิ่มปริมาณน้ำที่รองรับ 25 หรือ 50 ml ในทุกขั้นที่เปลี่ยน Head น้ำ (เช่นในขั้นที่ Head น้ำแหล่งจ่ายเป็น 180 mm ก็ให้จับเวลาที่ใช้เมื่อน้ำในบีกเกอร์ถึงระดับ 10+25 = 35 ml เป็นต้น)
17. เมื่อการทดสอบเสร็จสมบูรณ์ ทำการถอดท่อแหล่งจ่ายน้ำกลั่น และ Standpipe จากนั้นถอดชุดอุปกรณ์ Mould ออก
18. นำตัวอย่างดินออกจาก Mould ทำการตัดกึ่งกลางตัวอย่างดินเพื่อดูลักษณะรูที่น้ำไหลผ่าน จากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูโดยประมาณ และ sketch ภาพตัดรูหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

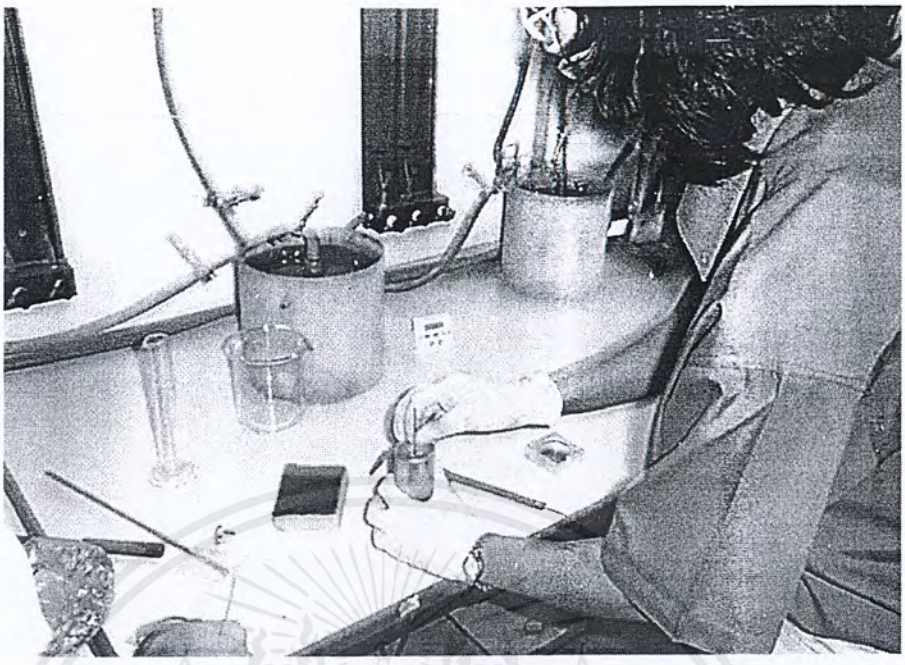
(ก)



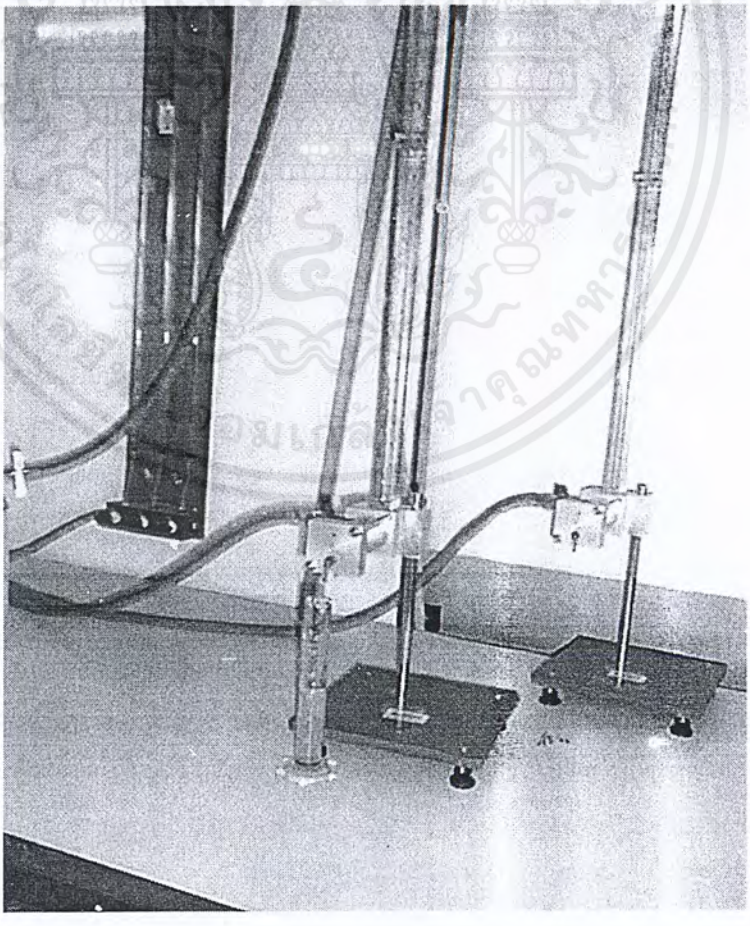
(ข)

รูปที่ 3.6.4. (ก),(ข) แสดงการอัดตัวอย่างดินเข้าใน Mould

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6.5. แสดงการเจาะตัวอย่างดินตรงกลาง



รูปที่ 3.6.6. แสดงการทดสอบการกัดกร่อนของตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.6.การวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

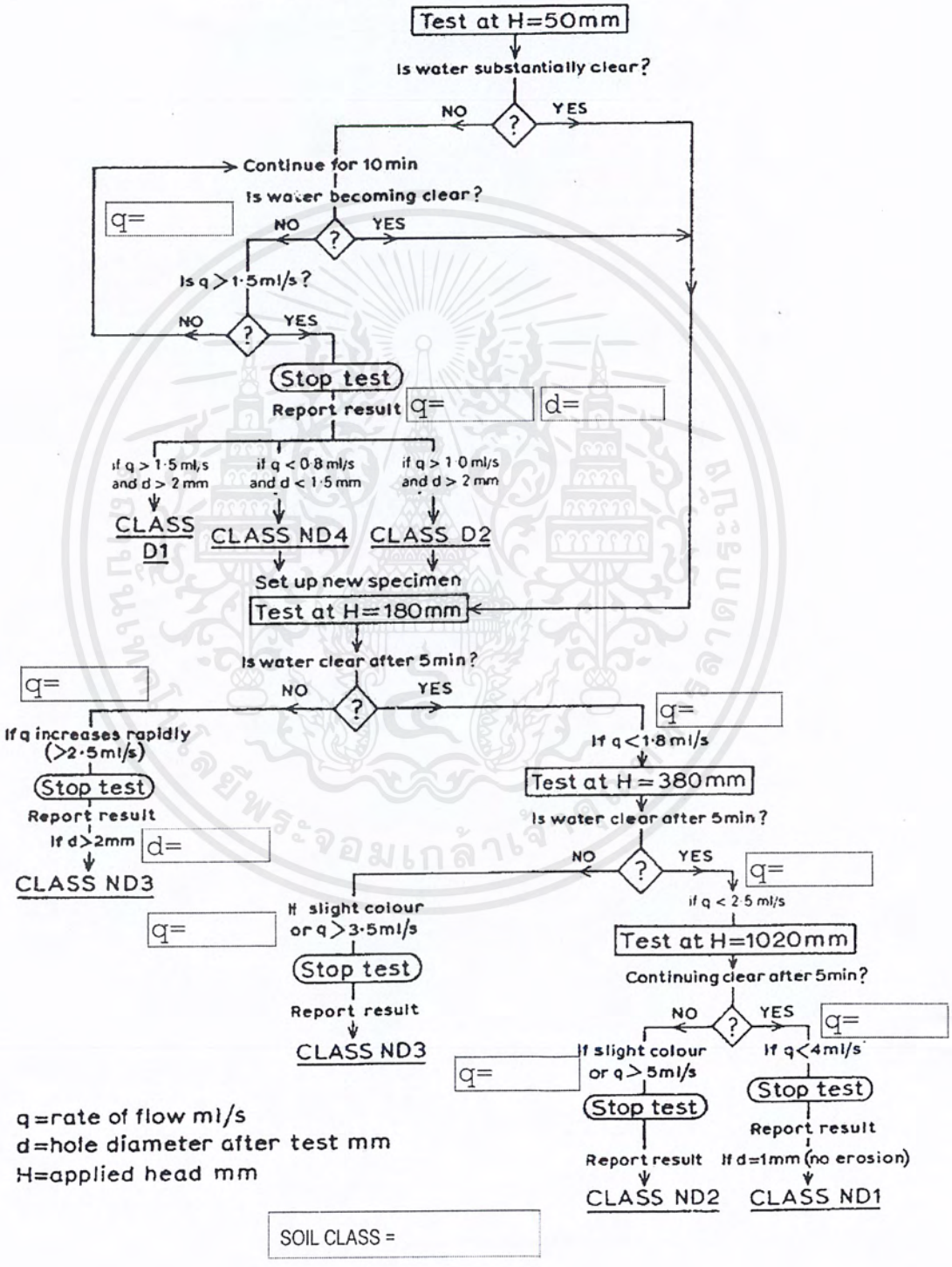
1. ลักษณะสีและเม็ดดินในบีกเกอร์
2. อัตราการไหล
3. ขนาดรูหลังการทดสอบ
4. ประเภทดินที่นำมาทดสอบ (ใช้ตารางที่ 3.6.3. ในการจำแนกประเภทดิน)

3.6.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำการทดลอง erodibility test ไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. จงยกตัวอย่างงานดินทางวิศวกรรมที่มีการกัดกร่อนของดินจากน้ำ และอธิบายถึงลักษณะการกัดกร่อนพร้อมวาดรูปประกอบ
3. หากเราทำการบดอัดตัวอย่างดินใน Mould มากขึ้นจะมีผลต่อการกัดเซาะของดินจากน้ำหรือไม่อย่างไร
4. จงบอกถึงวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อต้านทานการกัดเซาะจากน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.TRIAXIAL TEST(CU & CD TEST)

3.7.1.อ้างอิง: ASTM D-2850,D-4767

3.7.2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการหากำลังรับแรงเฉือนของดิน(Shear Strength) แบบมีการอัดตัวก่อน (Consolidate) ทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained) และแบบระบายน้ำ(Drained)
2. เพื่อทำการหาค่า $\varnothing$ และ ค่า C แบบมีการอัดตัวก่อน (Consolidate) ทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained) และแบบระบายน้ำ(Drained)

3.7.3.อุปกรณ์

1. เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ความละเอียดพอเหมาะกับค่ากำลังของตัวอย่างที่ทดสอบ และมาตรหน้าปัด(Dial Gauge) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดแรง(Load transducer)
3. มาตรหน้าปัด(Dial Gauge)หรือตัวแปลงสัญญาณอ่านความเครียด(Displacement transducer)
4. เซลล์ 3 แกน (Triaxial Cell)
5. แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)
6. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
   - -เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw)
   - -โครงแต่งดิน (Trimming Frame)
   - -แบบแยก (Split Former)
7. อุปกรณ์และวัสดุ
   - -แผ่นกดตัวอย่าง (Load Disc)
   - -ที่เบ่งปลอกยาง (Rubber Membrane Stretcher)
   - -หินพรุน (Porous Stone) 2 แผ่น
   - -กระดาษกรอง (Filter Paper) ตัดเท่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่าง 2แผ่น
   - -กระดาษกรองฉลุระบายน้ำจากตัวอย่างรอบข้าง 1 แผ่น
   - -ปลอกยาง (Rubber Membrane)
   - -ยาง O-Ring (Rubber O-Ring)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องมือทั่วไป

-อุปกรณ์หาความชื้นของดิน

-ตาชั่งน้ำหนัก

3.7.4.ทฤษฎี

หลักการวิธีทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)

การทดสอบแรงอัด 3 แกน เป็นวิธีหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินตัวอย่าง ที่มีสภาพดินใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติมากที่สุด โดยสามารถปรับความดันที่บริเวณผิวของมวลดินรอบข้าง (Confining Pressure) ให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินตามธรรมชาติที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน และมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกจากมวลดินได้สะดวก และอ่านค่าได้แน่นอน ลักษณะพื้นระนาบพิบัติของมวลดินตัวอย่างที่เกิดขึ้นเป็นไปตามธรรมชาติ การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินทางด้านการรับกำลังด้วยวิธีการทดสอบแรงอัดสามแกน สามารถหาได้ทั้งหน่วยแรงรวม (Total Stress) และหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ของมวลดิน วิธีการทดสอบแรงอัดสามแกนจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1. ทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (Saturation Stage)
2. ขั้นตอนการขับน้ำออกจากมวลดิน (Consolidation Stage)
3. ขั้นตอนการเพิ่มหน่วยแรงกระทำต่อมวลดินจนกระทั่งมวลดินถึงขีดขั้นของการพิบัติ (Shearing Stage or Compression Stage)

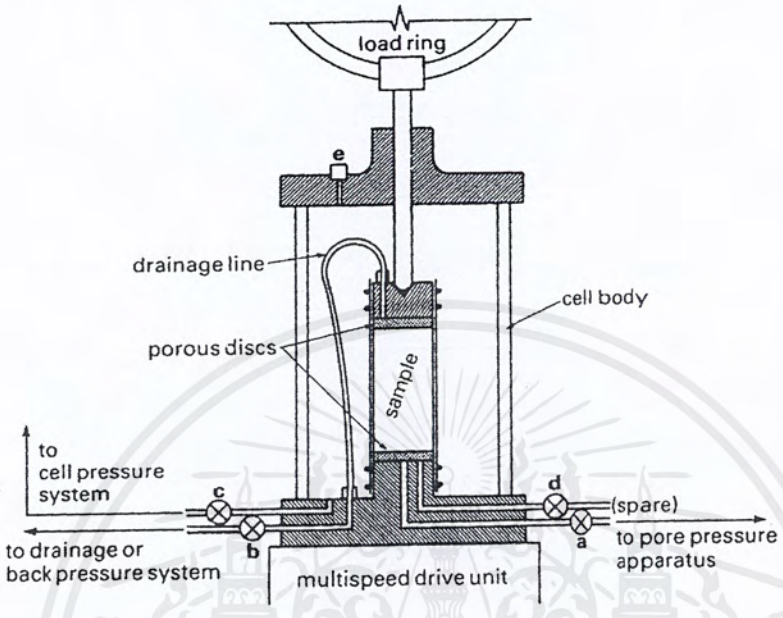
แต่ในบางการทดสอบจะไม่มีในบางขั้นตอนตามชื่อเรียกซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

1.การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Stage)

การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) จำเป็นสำหรับการใช้วัดความดันน้ำส่วนเกิน (Pore water pressure) การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวไปด้วยน้ำ (Saturation) เป็นการเพิ่ม Pore water pressure ให้มีระดับสูงพอที่น้ำจะถูกดูดซับเข้าไปทั่วทุกแห่งของช่องว่างอากาศ ในขณะเดียวกันที่ความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure) จะถูกเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะยังคงรักษาให้ Effective Stress เป็นบวกอยู่เล็กน้อย ส่วนใหญ่วิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติจะใช้การให้ Back pressure น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า ความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure) เล็กน้อย (โดย Effective Stress เป็นบวก) และตรวจสอบค่าคงที่ B ในแต่ละครั้งที่เพิ่มความดันจำกัดตัวอย่างดินโดยรอบ (Confining pressure)



รูปที่ 3.7.1. แสดงภาพตัด Cell

2.การขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน (Consolidation Stage)

เป็นการอัดตัวอย่างดินภายใต้ความดันที่ดินถูกกดทับประสิทธิผลตามธรรมชาติหรือภายใต้ความดันที่ต้องการทดสอบ ซึ่งปกติ effective stress หลังขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) จะมีค่าน้อยกว่าความดันจำกัดตัวอย่างดินประสิทธิผล(effective confining pressure) ที่ใช้ในขั้นตอนเฉือนตัวอย่างดิน ดังนั้นจึงต้องขับน้ำออกจากตัวอย่างดินเพื่อให้ได้สภาวะไม่มีความดันน้ำส่วนเกิน(Pore water pressure) ณ สภาวะทดสอบในขั้นตอนการเฉือนตัวอย่างดิน

วิธีการอัดตัวอย่างดินทำโดยการเพิ่มความดันภายนอกตัวอย่างดิน (cell pressure) และเปิดทางระบายให้น้ำระบายออกจากตัวอย่างดิน (back pressure line) จนความต่างศักย์ด้านนอกและด้านในตัวอย่างดินเท่ากัน ตัวอย่างดินจะหยุดอัดตัว

3.การเฉือนตัวอย่างดิน (Shearing Stage)

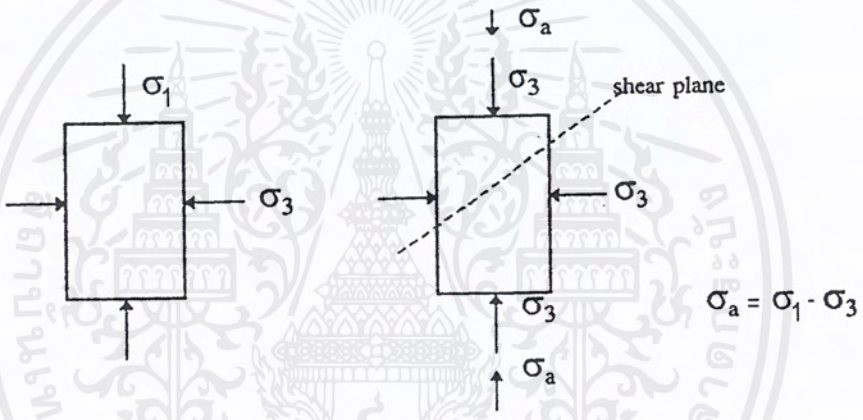
การอัดแรงเฉือนตัวอย่างดินเพื่อให้ได้ค่ากำลังของดิน โดยการเพิ่มหน่วยแรงในแนวแกนดิ่งจนกระทั่งตัวอย่างดินถึงจุดพิบัติ สามารถจำแนกสภาพการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

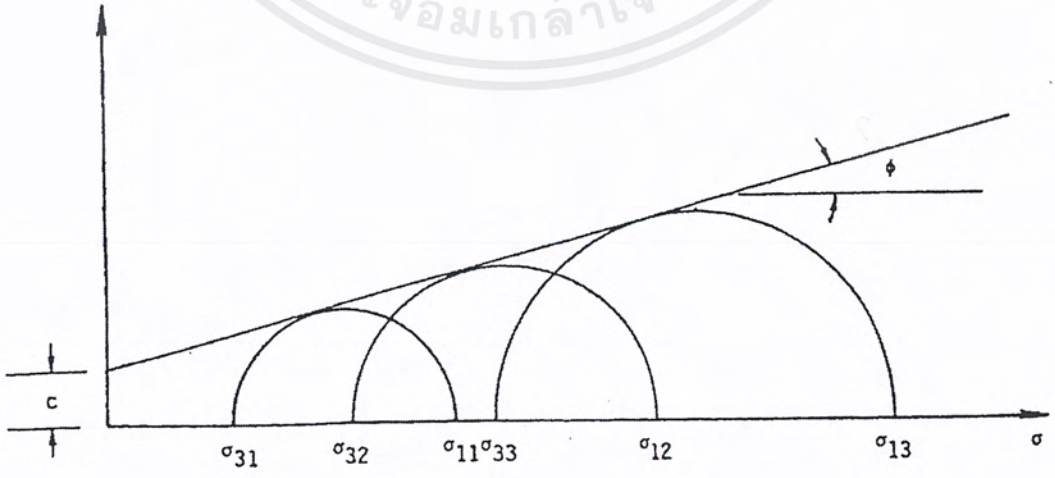
3.1 สภาพไม่ยอมให้น้ำไหลเข้าออกระหว่างเฉือนดิน (Undrained Condition) ขณะที่มีการเฉือนตัวอย่างดิน จะไม่มีการให้น้ำไหลเข้าออก จากตัวอย่างดินทำให้ปริมาณน้ำในมวลดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.2 สภาพยอมให้น้ำไหลเข้าออกระหว่างเฉือนดิน (Drained Condition) ขณะที่มีการเฉือนตัวอย่างดินจะมีการยอมให้น้ำไหลเข้าออกตัวอย่างดิน ความดันของน้ำในตัวอย่างดินจากการเพิ่มหน่วยแรงในแนวดิ่งจะไม่เกิดขึ้น(no excess pore water pressure develop) การทดสอบจะต้องควบคุมอัตราการอัดแรงเฉือนให้ช้ามากเพื่อไม่ให้เกิดความดันน้ำเกิน(Excess pore pressure)ในตัวอย่างดิน

ในการใส่ load ให้กับตัวอย่างดินนั้นทำได้โดยการเพิ่มแรงกดในแนวดิ่ง deviator stress ,σ_a



รูปที่ 3.7.2. แสดง model stress ที่กระทำกับตัวอย่างดินใน triaxial cell



รูปที่ 3.7.3. การหาค่า cohesion และ internal friction จากการทดสอบ Triaxial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7.1. ในขั้นของการเฉือนตัวอย่าง เมื่อเราให้ cell pressure (σ_3) ค่าหนึ่งและทำการทดสอบจนตัวอย่างดินวิบัติ เราจะได้ค่า stress สูงสุดในแนวดิ่งที่ดินแบกทานได้ (σ_1) เพราะฉะนั้นหากเราทำการทดสอบตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยการให้ค่า cell pressure ที่ต่างกันในแต่ละครั้งของการทดสอบตัวอย่างดิน เพราะฉะนั้นเราจะได้ค่า σ_1 3 ค่า เมื่อเรานำมาเขียน Mohr's Circle จะได้ดังรูปที่ 3.7.3. ซึ่งทำให้เราหาค่า cohesion และค่า internal friction ได้

<u>ชนิดของการทดสอบ Triaxial Test</u>

การทดสอบ Triaxial Test นั้นสามารถจำลองสภาพของดินได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติมากที่สุดเพราะฉะนั้นในการทดสอบจึงสามารถจำลองสภาพได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบ และ parameter ที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วสภาพการทดสอบที่นิยมทำกันทั่วไปมีดังนี้

1. Unconsolidated-undrained (UU) คือไม่มีการอัดตัวอย่างอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรก และในขั้นการเฉือนก็ไม่ยอมให้มีน้ำไหลเข้าออกจากตัวอย่างดิน
2. Consolidated-undrained(CU) มีการอัดตัวอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรกโดยให้ confining pressure (cell pressure) และในขั้นการเฉือนก็ไม่ยอมให้มีน้ำไหลเข้าออกจากตัวอย่างดิน
3. Consolidated-drained(CD) มีการอัดตัวอย่างดินให้ยุบตัวในตอนแรกโดยให้ confining pressure (cell pressure) และในขั้นการเฉือนและอัดตัวอย่างให้ใช้อัตราการให้ Strain ที่ช้าเพื่อที่ไม่ให้เกิด pore water pressure ขึ้น ($\Delta u = 0$)

3.7.5.วิธีการทดลอง

<u>ขั้นตอนในการทำการทดสอบแรงอัด 3 แกน</u>

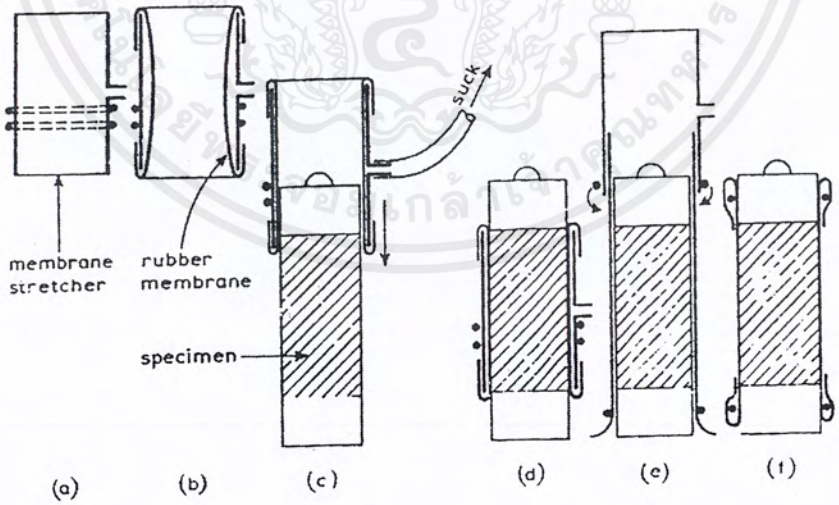
ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน

1. แต่งตัวอย่างดินบนโครงแต่งตัวอย่าง ให้เรียบได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่างที่จะทดสอบ
2. ใช้แบบแยก (Split Former) ตัดตัวอย่างให้ได้ความยาว ตามขนาด (L/d = 2.0) และตั้งฉากที่ปลายทั้งสอง
3. นำตัวอย่างดินขึ้นชั่ง โดยใช้พร้อมกับแบบแยก(Split Former) เพื่อป้องกันการถูกรบกวน ดูรูปการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Unconfined Compression Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใส่ปลอกยาง

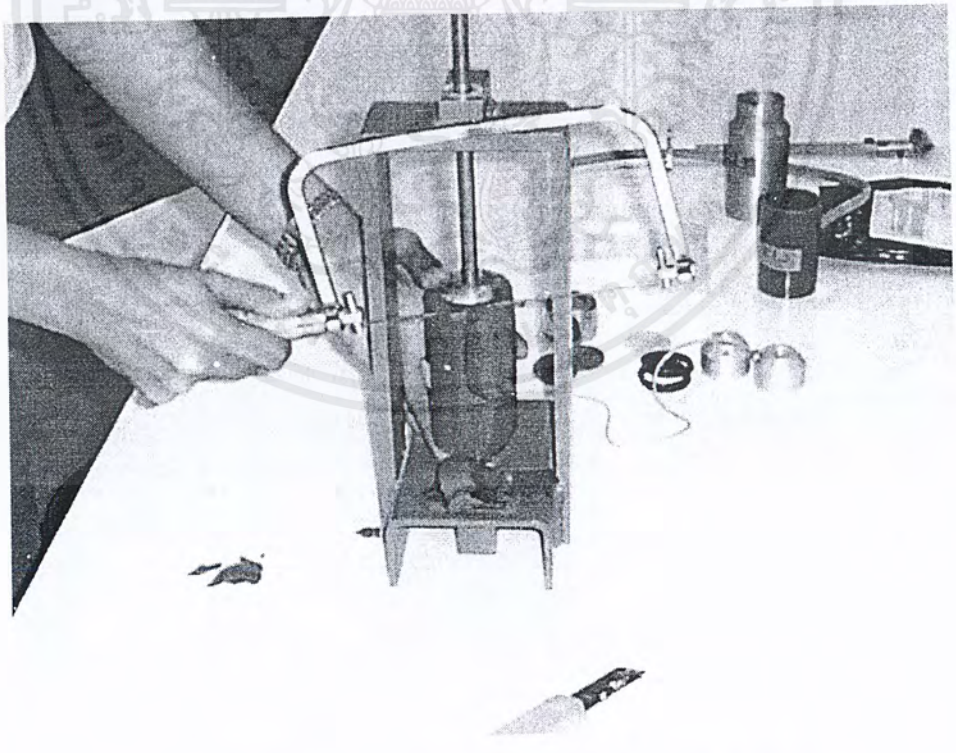
1. วางตัวอย่างดินบนฐานและวางแผ่นกดตัวอย่างด้านบนของตัวอย่าง
2. ใส่ยาง O-ring เหนือที่เบ่งปลอกยางและหมุนยาง O-ring เข้าไปใกล้ส่วนกลางของที่เบ่งปลอกยาง ดังรูปที่ 3.7.4.(a)
3. ใส่ปลอกยางเข้าไปในที่เบ่งปลอกยางและพับปลอกยางออกมาด้านนอกทั้งสองข้างโดยพยายามทำให้ปลอกยางภายในที่เบ่งปลอกยางเรียบ ดังรูปที่ 3.7.4.(b)
4. ดูดลมออกทางที่ดูดลมออกของที่เบ่งปลอกยาง ปลอกยางจะแนบสนิทกับที่เบ่งปลอกยางและใช้ที่บีบท่อยางดูดลมบีบให้ภายในระหว่างปลอกยางและที่เบ่งปลอกยางเป็นสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.7.4.(c)
5. สวมปลอกยางและที่เบ่งปลอกยางบนตัวอย่างและปล่อยที่บีบท่อยางดูดลมปลอกยางจะแนบสนิทกับตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.7.4.(d)
6. ค่อยๆหมุนยาง O-ring ลงไปที่ฐานของตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.7.4.(e)
7. สวมปลอกยางบนแผ่นกดด้านบนของตัวอย่างและใส่ยาง O-ring บนที่เบ่งปลอกยางและนำมาสวมด้านบนของตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.7.4.(e)
8. พับปลอกยางเข้าหาตัวอย่างในแต่ละข้าง ดังรูปที่ 3.7.4.(f)



รูปที่ 3.7.4. แสดงการใส่ปลอกยาง

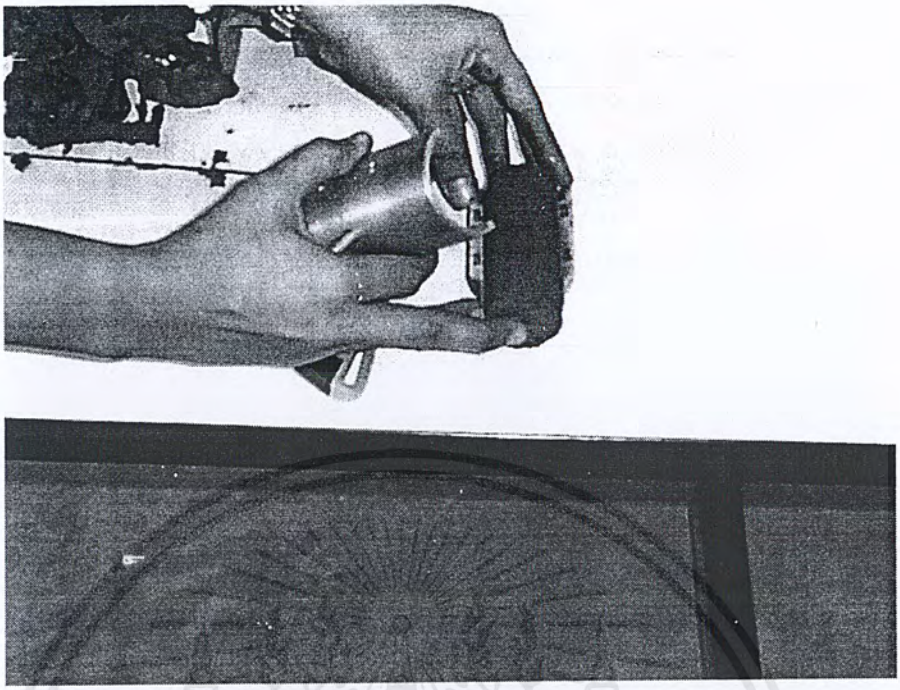
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7.5. แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบ Triaxial Test



รูปที่ 3.7.6. แสดงการใช้ลวดแต่งดินบนโครงแต่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

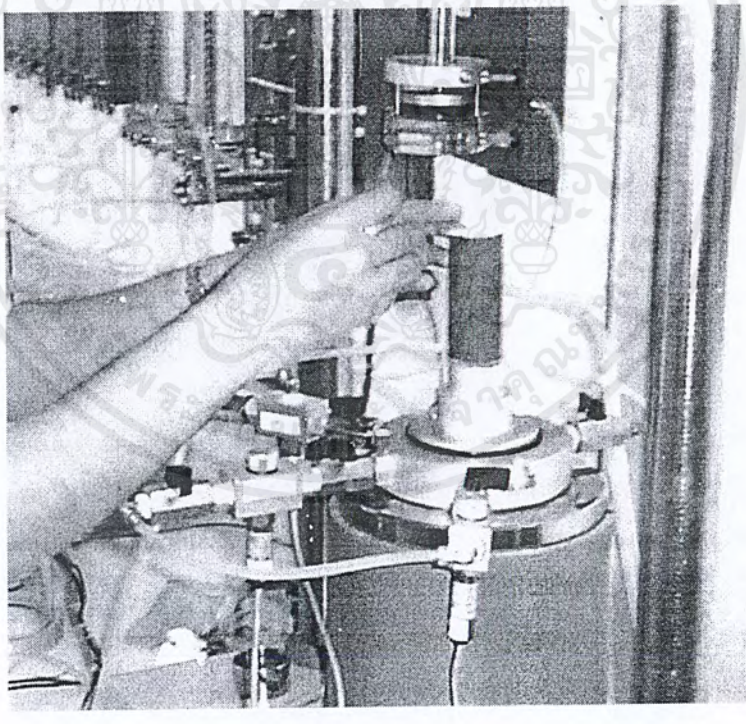


รูปที่ 3.7.7. แสดงการวางตัวอย่างดินใน split former

รูปที่ 3.7.8. แสดงการปาดดินให้ตัวอย่างได้ฉาก

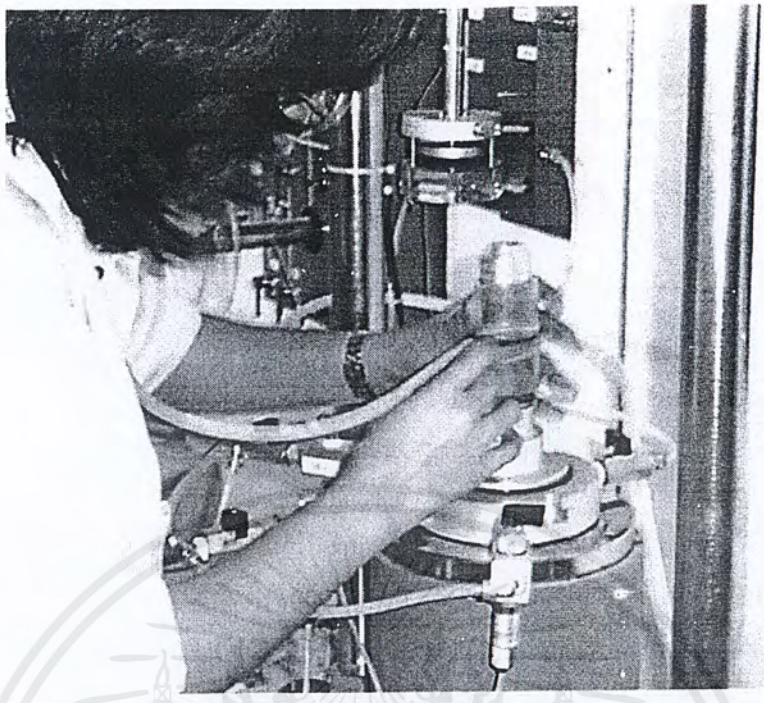
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7.9. แสดงตัวอย่างดินเมื่อแต่งเสร็จและเศษดินจากการแต่งดิน

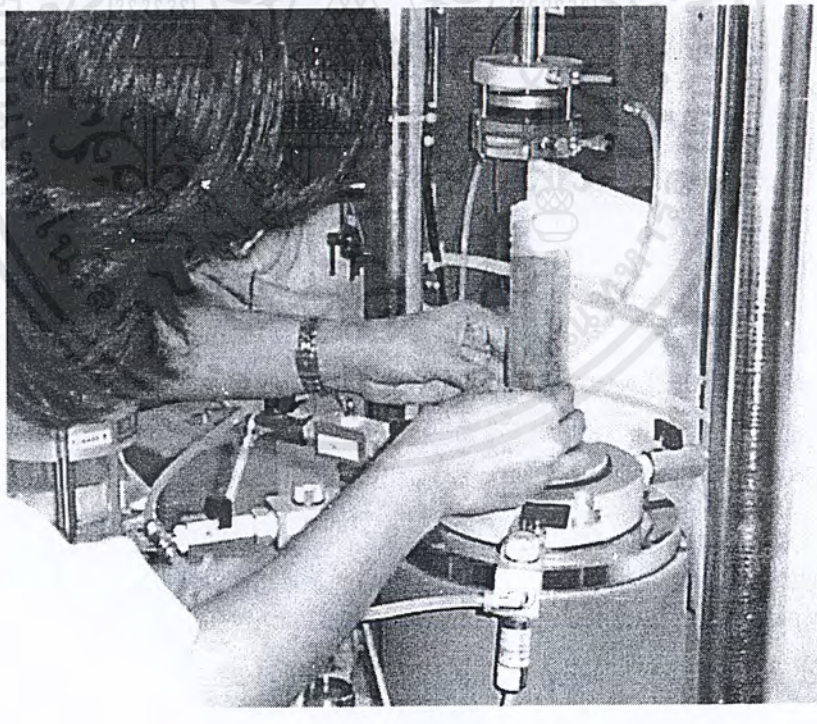


รูปที่ 3.7.10. วางตัวอย่างดินบนฐาน Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

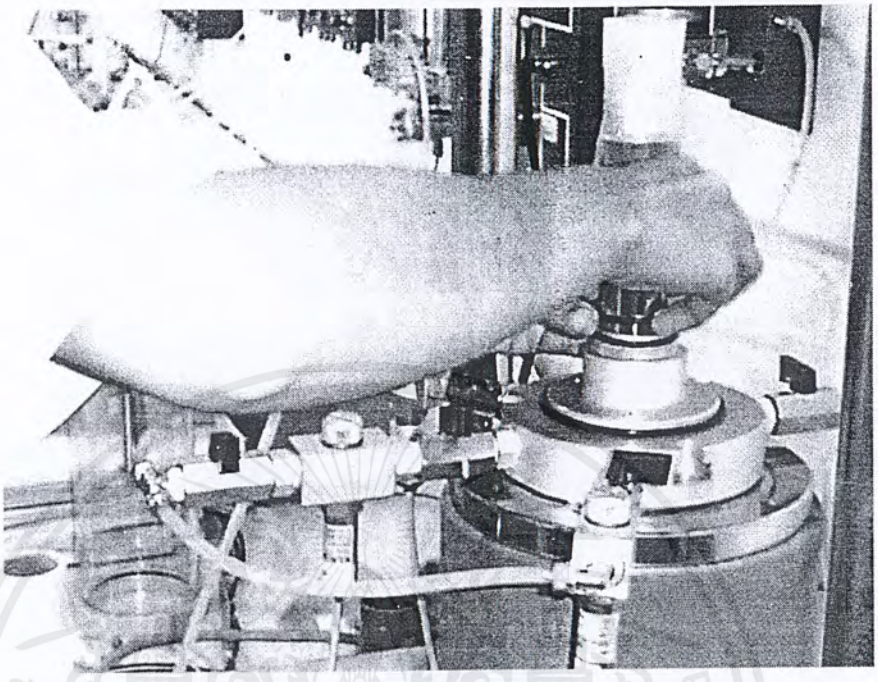


รูปที่ 3.7.11. แสดงการใส่ปลอกยาง

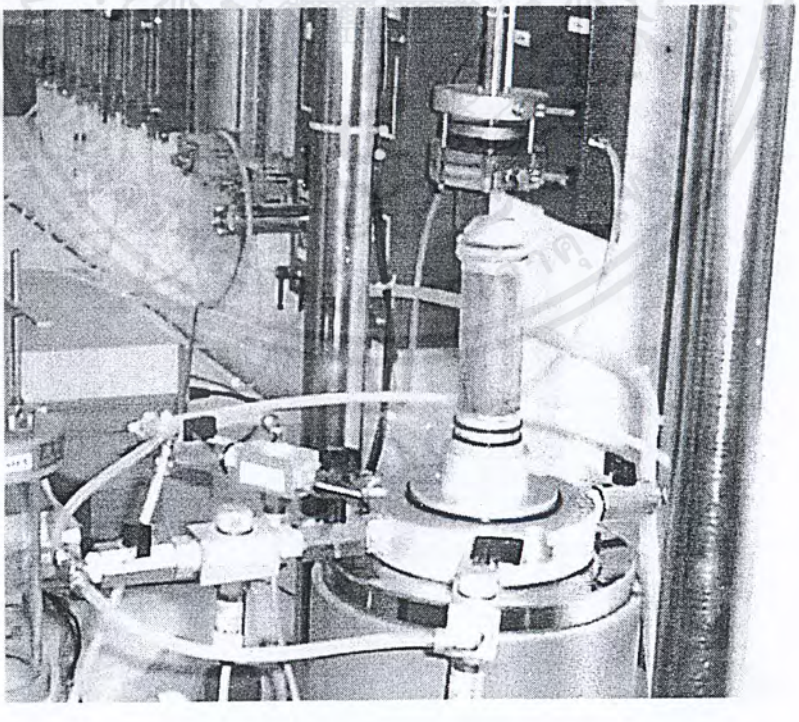


รูปที่ 3.7.12. แสดงการพับปลายปลอกยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

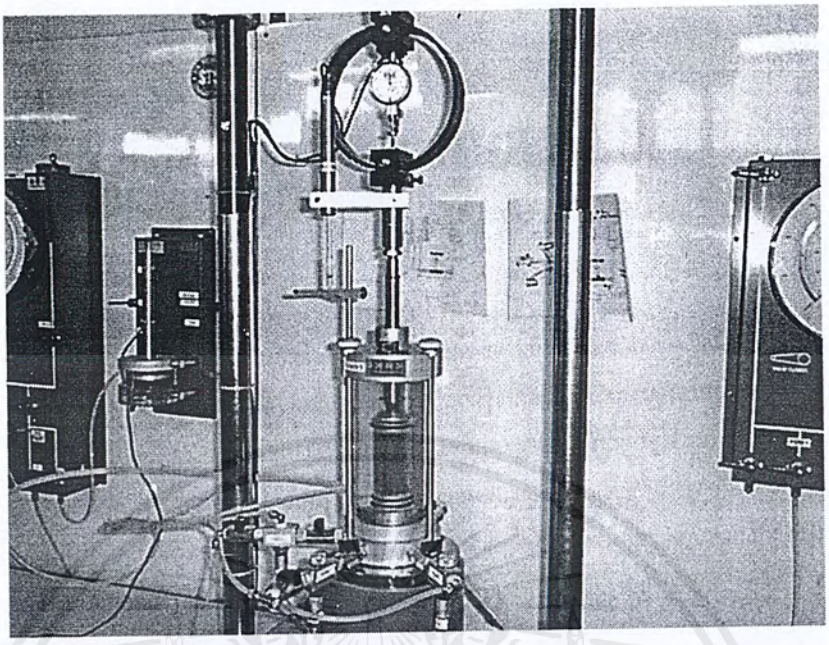


รูปที่ 3.7.13. แสดงการใส่วงแหวนยาง



รูปที่ 3.7.14. แสดงตัวอย่างดินเมื่อเตรียมเรียบร้อยบนฐาน Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7.15. แสดงการ set ตัวอย่างสมบูรณ์ภายใน Triaxial Cell

ขั้นตอนการเตรียม Load Frame และ Triaxial Cell

1. ติดตั้ง Proving ring บน Load frame และปรับระดับ Load frame ให้มีความสูงเหมาะสมกับความสูงของฝาครอบเซลล์
2. นำตัวอย่างดินมาตั้งบนฐานของเครื่องกดตัวอย่าง
3. ครอบฝาครอบเซลล์ลงบนฐานของ Triaxial Cell และขันสกรูยึดฝาครอบเซลล์ให้แน่น

ขั้นตอนการเติมน้ำใน Bladder

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน control panel ทุกตัวปิดหมด
2. เปิดช่องระบายอากาศ(Air bleed) และ ช่องระบายน้ำ(Water bleed) ของ bladder
3. เปิดวาล์ว f,h,j ให้น้ำไหลเข้าสู่ bladder 1
4. ปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยสังเกตจากในลูกโป่งยางไม่มีอากาศเหลืออยู่
5. ปิดวาล์วทั้งหมด
6. เปิดวาล์ว f,i,l ให้น้ำไหลเข้าสู่ bladder 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

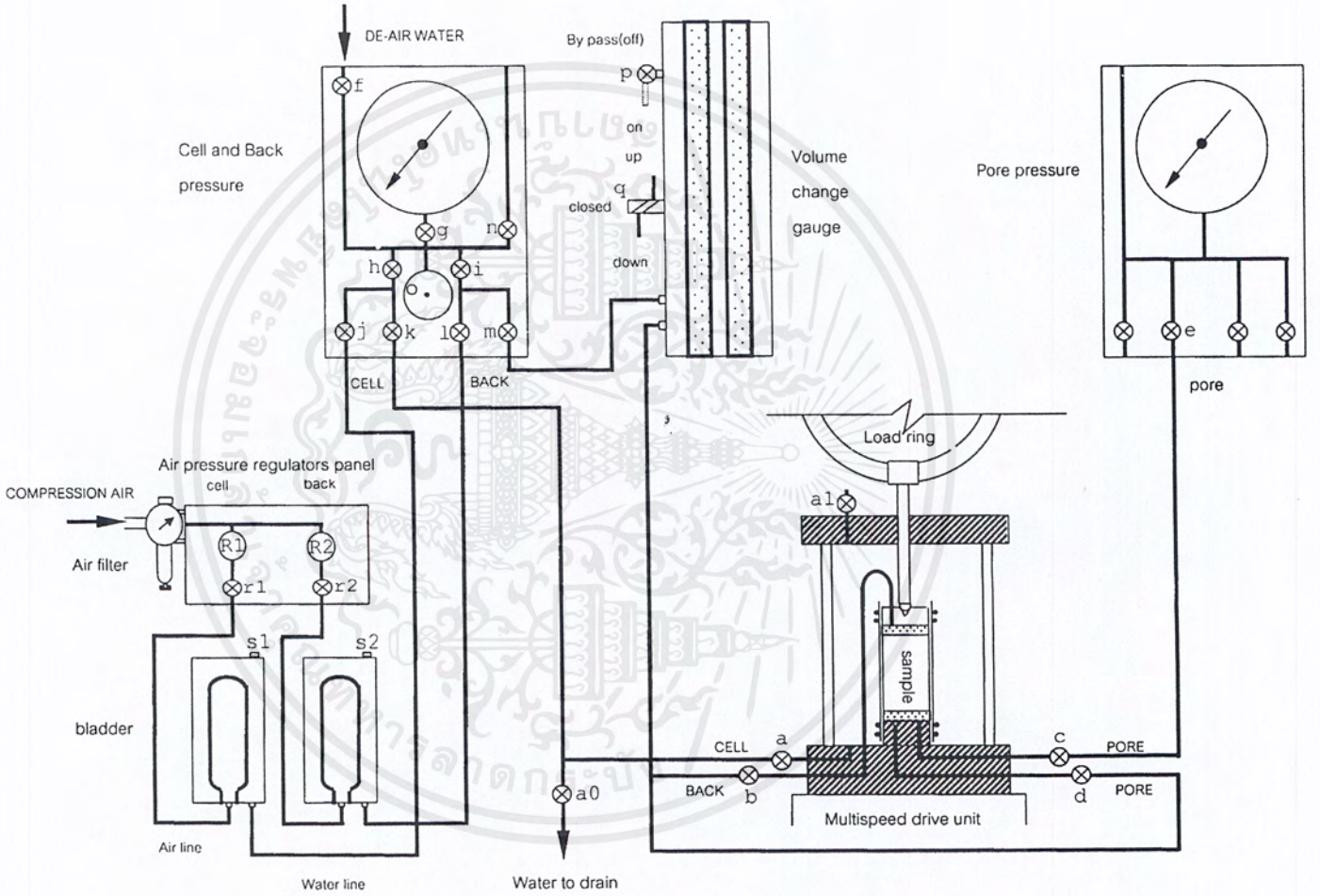
7. ปล่อยให้น้ำเติมจนเต็มโดยสังเกตจากในลูกโป่งยางไม่มีอากาศเหลืออยู่
8. ปิดวาล์วทั้งหมด

ขั้นตอนการเติมน้ำใน Triaxial cell

1. ตรวจสอบว่าวาล์วทุกตัวใน control panel ถูกปิดหมด
2. เปิดช่องระบายอากาศ a1(Air bleed) ของ triaxial cell
3. เปิดวาล์ว f,h,k,a ให้น้ำไหลไปสู่ triaxial cell ดังผังในรูปที่ 3.7.16.
4. ให้น้ำล้นออกวาล์ว a1 เล็กน้อยและไล่อากาศออกจาก cell ให้หมด เมื่อเซลล์ถูกเติมเต็มแล้ว ปิดวาล์วทั้งหมดรวมทั้งช่องระบายอากาศของเซลล์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

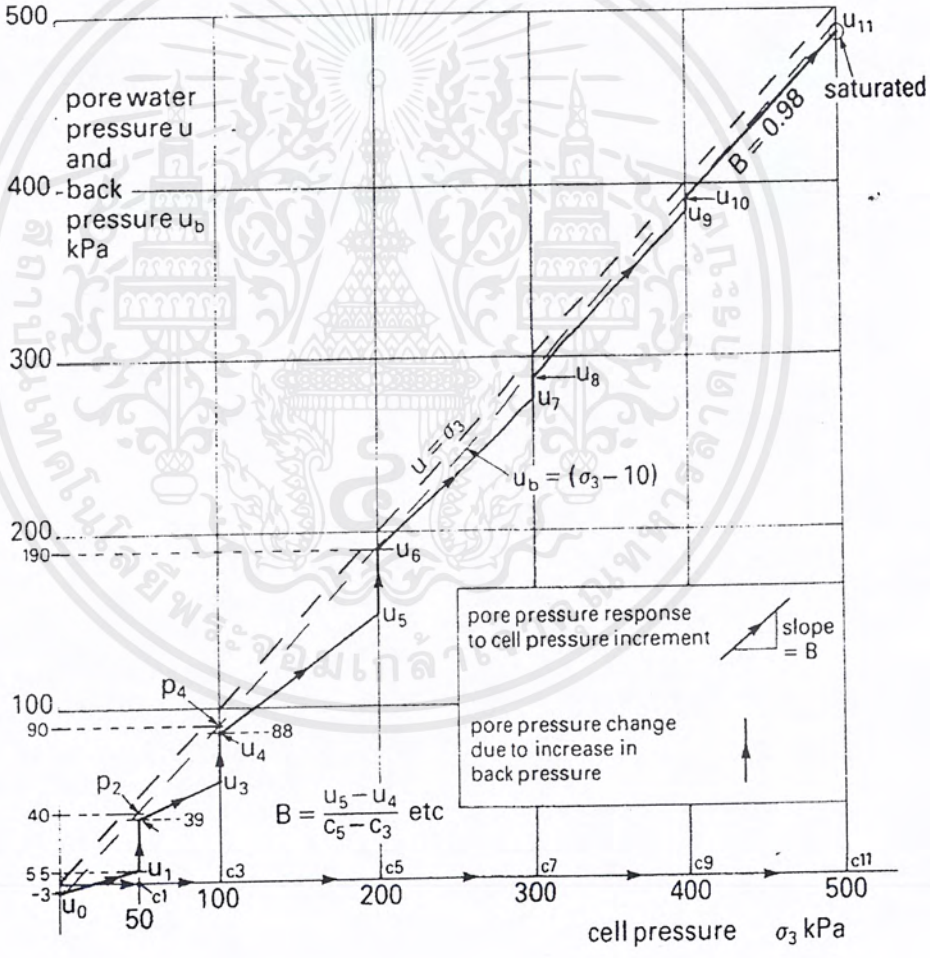
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.7.16. แสดงผัง Triaxial(CELL1) ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation)

เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว จะยกตัวอย่างดังนี้ ในขั้นแรกเราจะใส่ cell pressure 50 kPa และขั้นต่อไปเพิ่มอีก 50 kPa เป็น 100 kPa ส่วนขั้นต่อๆ ไปจากนี้จะเพิ่มความดันใน cell ทีละ 100 kPa (ดูรูปที่ 3.7.17. ประกอบ) ส่วนในการให้ back pressure ในแต่ละ step นั้น จะให้น้อยกว่า cell pressure เท่ากับ 10 kPa โดยผลต่างระหว่าง cell pressure และ back pressure อาจจะน้อยหรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สมมติว่า initial pore pressure ติดลบอยู่เล็กน้อย ให้แทนด้วย (u_0) kPa



รูปที่ 3.7.17. แสดงตัวอย่างผังการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการทำให้ตัวอย่างดิน Saturate

1. เพิ่มความดันใน cell line ให้เท่ากับ 50 kPa โดยการเปิดวาล์ว j,h,g,k และปรับความดันจาก air pressure regulator R1 สังเกตให้เข้มบน pressure panel เท่ากับ 50 kPa รอประมาณ 5-10 นาทีให้ความดันคงที่
2. เปิดวาล์ว a เพื่อให้ความดันเข้าไปใน cell ให้ความดันใน cell ตอนนี้เท่ากับ c_1(50kPa) ซึ่งความดัน cell จะมีผลให้ pore pressure เพิ่มขึ้น
3. เปิดวาล์ว c,e เพื่อวัด pore pressure รอจนค่าความดัน pore pressure ไม่เปลี่ยนแปลง (steady) บันทึกค่า pore pressure (u_1)
4. คำนวณค่าเริ่มต้นของ pore pressure coefficient B หรือB value จากสมการ

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} = \frac{u_1 - u_0}{\Delta \sigma_3} \qquad (3.7.1.)$$

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

5. เพิ่มความดันใน back pressure line ให้น้อยกว่าความดันใน cell pressure 10 kPa ในตัวอย่างนี้คือ เพิ่มความดันใน back pressure line ให้เท่ากับ 40 kPa

ในการเพิ่มความดันใน back pressure line ทำได้โดยเปิดวาล์ว g,i,l,m,p(by pass),q(up) และปรับความดันจาก air pressure regulator R2 สังเกตให้เข้มบน pressure panel เท่ากับ 40 kPa รอประมาณ 5-10 นาทีให้ความดันคงที พร้อมบันทึกค่าบน volume change gauge ซึ่งเป็นค่าเริ่มแรก (before)

6. เปิดวาล์ว b เพื่อให้ความดัน back pressure เข้าสู่ตัวอย่างดิน สังเกตระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงใน volume change gauge คือปริมาณน้ำที่เข้าสู่ตัวอย่างดิน จากนั้นรอจนกระทั่ง pore pressure เพิ่มขึ้นจนเท่ากับหรือใกล้เคียงกับ back pressure (อาจใช้เวลาหลายชั่วโมงสำหรับตัวอย่างดินเหนียว) ในตัวอย่างนี้ pore pressure คงที่ ที่ความดัน 39 kPa (back pressure ที่เราให้คือ p_2=40kPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราให้มีการ drain ด้านข้าง (side drains) ของตัวอย่างด้วยเพื่อให้ pore pressure เพิ่มขึ้นได้เร็วขึ้นในตัวอย่างดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก โดยใช้กระดาษกรอง แต่ว่า pore pressure จะไม่เท่ากันโดยตลอดทั้งตัวอย่างดิน ซึ่งเราจะต้องใช้เวลานานเพียงพอที่จะทำให้ pore pressure เท่ากันโดยตลอดทั้งตัวอย่างดิน โดยการปิดวาล์ว b และทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่ง หาก pore pressure มีค่าลดลงแสดงว่า poie pressure ในตัวอย่างดินไม่เท่ากันโดยตลอด เพราะฉะนั้นจะต้องเปิดวาล์ว b เพื่อใส่ความดันให้ตัวอย่างดินอีกครั้งและรอจน pore pressure เท่ากับ back pressure หรือใกล้เคียง สังเกตจน pore pressure คงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีก หรืออาจสังเกตจาก ระดับน้ำใน volume change gauge ไม่เปลี่ยนแปลง

7. เมื่อ pore pressure เท่ากับ back pressure แล้ว บันทึกค่า pore pressure u_2และค่าระดับน้ำใน volume gauge โดยให้เป็นค่าอ่านทีหลัง (aftcr) ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงคือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าตัวอย่างดิน จากนั้นปิดวาล์ว a และ b
8. เพิ่มความดันใน cell pressure line ตามข้อ 1 อีก 50 kPa เป็น 100 kPa (c_3)
9. ทำซ้ำตามข้อ 2-8 โดยที่ pore pressure จะเพิ่มขึ้นจาก u_2 เป็น u_3 โดยที่ cell pressure จะเพิ่มขึ้นจาก c_1 เป็น c_3 จากนั้นคำนวณค่า B value ในข้อ 6 จะทำการเพิ่มค่า back pressure จนเท่ากับ 90 kPa (p_4) ค่า pore pressure ที่ได้ในข้อ 8 จะเท่ากับ 88 kPa (u_4)
10. หลังจากนี้ให้เพิ่มความดันใน cell pressure ขึ้นทีละ 100 kPa และทำซ้ำตามข้อ 1-8 โดยในการให้ back pressure เราจะให้น้อยกว่า pore pressure 10 kPa ในทุกขั้นที่เพิ่ม cell pressure (เพื่อรักษาให้ effective stress ในตัวอย่างดินให้เป็นบวกอยู่เล็กน้อย)
11. ทำซ้ำข้อ 11 จนกระทั่งค่า B value ในข้อ 4 ถึง 0.95 หลังจากนั้นให้ปิดวาล์วทุกตัวเพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะอิ่มตัวพร้อมที่จะทำการ consolidate ต่อไป

วิธีการขับน้ำออกจากตัวอย่างดิน (Consolidation Stage)

1. ปิดวาล์ว a,b,c,d และเพิ่มความดันใน cell pressure line ให้มากกว่าค่า cell pressure ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัวประมาณ 20 ksc
2. เปิดวาล์ว a ให้ความดันเข้าไปใน cell และเปิดวาล์ว c เพื่อสังเกตค่าความดันที่เพิ่มขึ้น
3. set เวลาให้เท่ากับศูนย์พร้อมกับบันทึกค่า pore pressure
4. เริ่มขั้นตอนการ consolidate ตัวอย่างดินด้วยการเปิดวาล์ว b,p(by pass),q(down),m,i,g,l,r2 เพื่อให้น้ำ drain ออก และเปิดวาล์ว c เพื่อวัดค่า pore pressure พร้อมกับเริ่มจับเวลา
5. บันทึกค่า pore pressure volume ของตัวอย่างดินที่ลดลงเนื่องจากการ drain ออกของน้ำจาก volume change gauge ในช่วงเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทิ้งตัวอย่างภายใต้ความดันไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง
7. สิ้นสุดขั้นตอนการ consolidate ตัวอย่าง ทำการปิดวาล์ว b โดยวาล์ว a ยังคงเปิดอยู่

การทดลองไม่อัดตัวอย่าง กระทำแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ
(Consolidated Undrained, CU Triaxial Test)

1. เปิดวาล์ว c เพื่อวัดค่า pore pressure เริ่มแรก
2. เปิดวาล์ว a1,a,k,h,f เพื่อเติม de-aired water เข้าไปใน cell สังเกตจนไม่มีฟองอากาศอยู่ใน cell จากนั้นปิดวาล์ว a1,c
3. ปรับค่าความดันใน cell pressure line ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยปรับที่ air pressure regulator R1 และอ่านค่าความดันที่ pressure panel
4. เปิดวาล์ว a และบันทึกค่า pore pressure
5. ปรับก้านกด piston ให้แตะกับ top cap ของตัวอย่าง ติดตั้งค่า dial gauge และ proving ring พร้อม set ค่าให้เท่ากับ 0
6. เลือกค่าความเร็วในการให้ strain กับตัวอย่างดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดิน โดยที่อัตราในการให้ strain จะต้องทำให้ pore pressure เท่ากันตลอดทั้งตัวอย่าง (แนะนำ อัตราการให้ strain ประมาณ 0.5-1.0% /hr.)
7. เดินเครื่องกดทดสอบ พร้อมบันทึกค่าอ่านจาก proving ring ทุกๆ ค่า dial gauge ยุบตัว 10,25 หรือ 50 ขีด ทำการให้ load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านจาก proving ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างจนถึงค่า strain (ε)= 20%
8. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ load ปรับความดัน cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน cell ทิ้งโดยการเปิดวาล์ว a,a0 และปิดวาล์ว k
9. นำ cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Failure Mode) และนำตัวอย่างไปหาค่าความชื้น

การทดลองไม่อัดตัวอย่าง กระทำแรงเฉือนแบบระบายน้ำ
(Consolidated Drained, CD Triaxial Test)

ในการทดสอบแบบระบายน้ำ (Drained Condition) นั้น ในระหว่างการให้ Load กับตัวอย่าง จะยอมให้น้ำมีการ drain เข้าออกจากตัวอย่าง เพราะฉะนั้นจะไม่มีการเพิ่มหรือลดของ pore pressure วาล์ว b จะเปิดในระหว่างการทดสอบเพื่อให้น้ำมีการ drain ออกได้ pore pressure ยังคงเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ปริมาตรของดินจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง การให้ compression ต้องช้าพอที่จะให้เกิดการ drain ออกของน้ำ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เปิดวาล์ว b,p(by pass),q(down),m,i,g,l,r2 โดยตลอดการทดสอบเพื่อให้น้ำสามารถ drain ออกได้
2. ปิดวาล์ว a และเปิดวาล์ว k,h,j,r1 พร้อมปรับ air pressure regulator R1 ให้ได้ความดันตามต้องการ โดยอ่านค่าจาก pressure panel
3. เปิดวาล์ว a ให้ความดันเข้าไปใน cell
4. เปิดวาล์ว c เพื่อวัดค่า pore pressure ในระหว่างการทดสอบ
5. เปิดเครื่องใส่ Load ให้กับตัวอย่างดิน โดยอัตราการให้ Strain ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินว่ายอมให้มีการ drain ได้ง่ายเพียงใด (แนะนำ อัตราการให้ strain ประมาณ 0.2 % /hr.)พร้อมบันทึกค่าเวลาเริ่มต้น
6. ในระหว่างการทดสอบให้บันทึกและสังเกตค่าต่างๆ ดังนี้

   -วันและเวลาในการบันทึกสังเกตผล

   -ค่า strain ของตัวอย่าง

   -Proving Ring วัดแรง

   -pore water pressure

   -back pressure volume change

   -ตรวจสอบความดันภายใน Cell และ Back pressure

   (ทั้งสองค่านี้ต้องเท่ากับค่าตอนเริ่มทดสอบในตอน run load)
7. ปกติเวลาที่ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆ จะใช้เวลาประมาณ 0.2-1.0% strain ในการอ่านค่าต่างๆต้องระมัดระวังโดยเฉพาะเมื่อค่าเข้าใกล้ peak deviator stress
8. ทำการให้ load ไปเรื่อยๆ จนค่าที่อ่านจาก proving ring ลดลง 2-3 ค่า จึงหยุดเครื่อง หากตัวอย่างดินยังไม่วิบัติ ให้กดตัวอย่างจนถึงค่า strain (ε)= 20%
9. ปิดวาล์ว c ถอนการให้ load ปรับความดัน cell ให้น้อยลง และทำการปล่อยน้ำใน cell ทิ้งโดยการเปิดวาล์ว a,a0 และปิดวาล์ว k
10. นำ cell ไปถอดและแกะตัวอย่างออกมาวาดภาพการวิบัติ (Failure Mode) และนำตัวอย่างไปหาค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6.การคำนวณผล

1. คำนวณพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน

$$Ao = \frac{p^2}{4\pi} \quad \text{ซม}^2 \qquad (3.7.2.)$$

โดยที่

p = เส้นรอบรูปตัวอย่าง (Circumference) ซม.

Ao = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ซม^2

2. คำนวณความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \qquad (3.7.3.)$$

โดยที่

ΔH = ค่ายุบตัวของตัวอย่างดินตามแนวแกนจากมาตรหน้าปัด, ม.ม.

H = ความสูงตัวอย่างดินวัดก่อนการทดสอบ ,ม.ม.

ε = ความเครียดตามแนวแกน

3. คำนวณพื้นที่หน้าตัดแก้ไข (Corrected Area)

$$A = \frac{Ao}{1-\varepsilon} \qquad (3.7.4.)$$

โดยที่

Ao = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ ซม^2

A = พื้นที่หน้าตัดแก้ไข ซม^2

4. คำนวณค่าความเค้นเบี่ยงเบน (Deviator Stress)

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \text{Deviator Load / Corrected Area} \qquad (3.7.5.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= แรงกด / พื้นที่หน้าตัดแก้ไข กก/ซม^2

3.7.7.การแสดงผล

1. เขียนกราฟความเค้นเบี่ยงเบน ($\sigma_1 - \sigma_3$) ในแกนตั้งต่อค่าความเครียดแนวแกน (ε) ในแกนนอน เพื่อหา

- ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$
- ค่าความเครียดที่ค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด (วิบัติ) , ε_f

2. เขียนวงกลมมอร์ (Mohr)

คำนวณค่า σ_1 จากค่าความเค้นเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ ที่อ่านจากกราฟ

เขียนวงกลมมอร์ (Mohr)

- เขียนแกนแรงเฉือน τ เป็นแกนตั้ง แกนความเค้น σ เป็นแกนนอน
- หาพิกัดจุดศูนย์กลาง หาจุดศูนย์กลางจุด O ซึ่งมีพิกัดในแกนนอน,

$$= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

- ใช้วงเวียนเขียนวงกลม โดยมีรัศมีเท่ากับ

$$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

- เขียนวงกลม ซึ่งจะผ่านจุด σ_3 และ σ_1

ทำการทดสอบค่าความดันเซลล์ (Cell Pressure) อื่นๆอีก 1-2 ค่า และเขียนวงกลมมอร์ได้รวม 2-3 วง ลากเส้นสัมผัสวงกลมมอร์ทั้ง 3 คือเส้นกำลังรวม (Total Strength Envelope) ซึ่งมีลาด(Slope) เป็นค่ามุมเสียดทาน (ϕ) มีค่าตัดแกนตั้ง (τ) เป็นค่าเชื่อมแน่น (Cohesion, c_u ,S_u)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.8.คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกความแตกต่างของวิธีการหากำลังรับแรงเฉือนของดินประสิทธิผลจากการทดสอบ Unconsolidated Undrained test และ Unconsolidated Drained test
2. กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากวิธี Unconsolidated Undrained test มีความแตกต่างจากค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression test อย่างไร และให้เหตุผลว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
3. การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) มีความสำคัญอย่างไร และเหตุใดจึงต้องมีการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) ก่อนการทดสอบในขั้นอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Project:	CV TEST			Location:		CV Building			
Boring No.	BH-1	Sample No.	1	%Water Content		348.6	Sample dia.,cm	4.8	
Depth,m	0.00-0.50	Eff.Cell Pres.,ksc	2	Initial	17.1	299.7	Sample Hight,cm	9.95	
Type of Test	CU	Date of Test	7/3/2001	Final	22.7	15.96	V_0,cc	181.65	
Test By:	KANOON	Ring No.	23133	strain rate:1%/hr		17.22	Sat.Vol.,cc	187.55	

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Corect Area (cm^2)	Load Rdg. (div.)	Load (kg)	Deviator Stress (t/sq.m)	horizontal pressure (t/sq.m)	vertical pressure (t/sq.m)	principal stress ratio	Excess Pore Press. (t/sq.m)	Volume Chang Reading,cc
0	0.00	18.09	0	0	0.00	20	20.00	1.00	0.00	0.00
10	0.10	18.10	20	2.77	1.53	20	21.53	1.08	0.11	0.00
20	0.20	18.12	54	7.62	4.20	20	24.20	1.21	0.30	0.00
30	0.30	18.14	76	10.67	5.88	20	25.88	1.29	0.61	0.00
40	0.40	18.16	93	13.03	7.18	20	27.18	1.36	0.92	0.00
50	0.50	18.18	106	14.83	8.16	20	28.16	1.41	1.27	0.00
60	0.60	18.20	120	16.84	9.25	20	29.25	1.46	1.60	0.00
70	0.70	18.21	139	19.40	10.65	20	30.65	1.53	1.93	0.00
80	0.80	18.23	152	21.28	11.67	20	31.67	1.58	2.24	0.00
90	0.90	18.25	166	23.22	12.72	20	32.72	1.64	2.56	0.00
100	1.01	18.27	179	25.02	13.69	20	33.69	1.68	2.92	0.00
120	1.21	18.31	205	28.62	15.63	20	35.63	1.78	3.57	0.00
140	1.41	18.34	230	32.16	17.53	20	37.53	1.88	4.21	0.00
160	1.61	18.38	257	35.90	19.53	20	39.53	1.98	4.84	0.00
180	1.81	18.42	275	38.46	20.88	20	40.88	2.04	5.34	0.00
200	2.01	18.46	291	40.68	22.04	20	42.04	2.10	5.83	0.00
220	2.21	18.50	305	42.69	23.08	20	43.08	2.15	6.27	0.00
240	2.41	18.53	316	44.21	23.85	20	43.85	2.19	6.68	0.00
260	2.61	18.57	325	45.46	24.48	20	44.48	2.22	7.09	0.00
280	2.81	18.61	330	46.15	24.80	20	44.80	2.24	7.38	0.00
300	3.02	18.65	335	46.85	25.12	20	45.12	2.26	7.69	0.00
320	3.22	18.69	339	47.40	25.36	20	45.36	2.27	7.97	0.00
340	3.42	18.73	343	48.02	25.64	20	45.64	2.28	8.26	0.00
360	3.62	18.77	349	48.79	26.00	20	46.00	2.30	8.54	0.00
380	3.82	18.80	353	49.34	26.24	20	46.24	2.31	8.77	0.00
400	4.02	18.84	357	49.97	26.52	20	46.52	2.33	8.95	0.00
420	4.22	18.88	361	50.52	26.75	20	46.75	2.34	9.11	0.00
440	4.42	18.92	367	51.28	27.10	20	47.10	2.35	9.28	0.00
460	4.62	18.96	371	51.84	27.34	20	47.34	2.37	9.43	0.00
480	4.82	19.00	374	52.32	27.53	20	47.53	2.38	9.54	0.00
500	5.03	19.04	375	52.46	27.55	20	47.55	2.38	9.69	0.00
520	5.23	19.08	376	52.60	27.56	20	47.56	2.38	9.74	0.00
540	5.43	19.12	377	52.81	27.61	20	47.61	2.38	9.86	0.00
560	5.63	19.17	379	53.08	27.70	20	47.70	2.38	9.95	0.00
580	5.83	19.21	381	53.36	27.78	20	47.78	2.39	10.03	0.00
600	6.03	19.25	383	53.64	27.87	20	47.87	2.39	10.11	0.00
620	6.23	19.29	386	54.05	28.02	20	48.02	2.40	10.18	0.00
640	6.43	19.33	389	54.47	28.18	20	48.18	2.41	10.24	0.00
660	6.63	19.37	392	54.82	28.30	20	48.30	2.41	10.31	0.00
680	6.83	19.41	394	55.16	28.41	20	48.41	2.42	10.35	0.00
700	7.04	19.46	397	55.58	28.57	20	48.57	2.43	10.38	0.00
720	7.24	19.50	399	55.86	28.65	20	48.65	2.43	10.42	0.00
740	7.44	19.54	400	55.99	28.65	20	48.65	2.43	10.44	0.00
760	7.64	19.58	401	56.13	28.66	20	48.66	2.43	10.46	0.00
780	7.84	19.62	402	56.27	28.67	20	48.67	2.43	10.48	0.00
800	8.04	19.67	402	56.27	28.61	20	48.61	2.43	10.49	0.00
820	8.24	19.71	402	56.27	28.55	20	48.55	2.43	10.49	0.00
840	8.44	19.75	402	56.2	28.45	20	48.45	2.42	10.49	0.00
860	8.64	19.80	401	56.13	28.35	20	48.35	2.42	10.48	0.00
880	8.84	19.84	401	56.06	28.25	20	48.25	2.41	10.46	0.00
900	9.05	19.89	401	56.06	28.19	20	48.19	2.41	10.44	0.00
920	9.25	19.93	400	55.99	28.09	20	48.09	2.40	10.42	0.00
940	9.45	19.97	400	55.93	28.00	20	48.00	2.40	10.39	0.00
960	9.65	20.02	399	55.86	27.91	20	47.91	2.40	10.38	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Project:				Location:			
Boring No.		Sample No.		%Water Content		Sample dia.,cm	
Depth,m		Eff.Cell Pres.,ksc		Initial		ample Hight,c	
Type of Test		Date of Test		Final		V_0,cc	
Test By:		Ring No.		strain rate:1%/hr		Sat.Vol.,cc	

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Corect Area (cm^2)	Load Rdg. (div.)	Load (kg)	Deviator Stress (t/sq.m)	horizonta pressure (t/sq.m)	vertical pressure (t/sq.m)	principal stress ratio	Excess Pore Press. (t/sq.m)	Volume Chang Reading,cc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

PROJECT CV TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION DARK CLAY SOIL

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

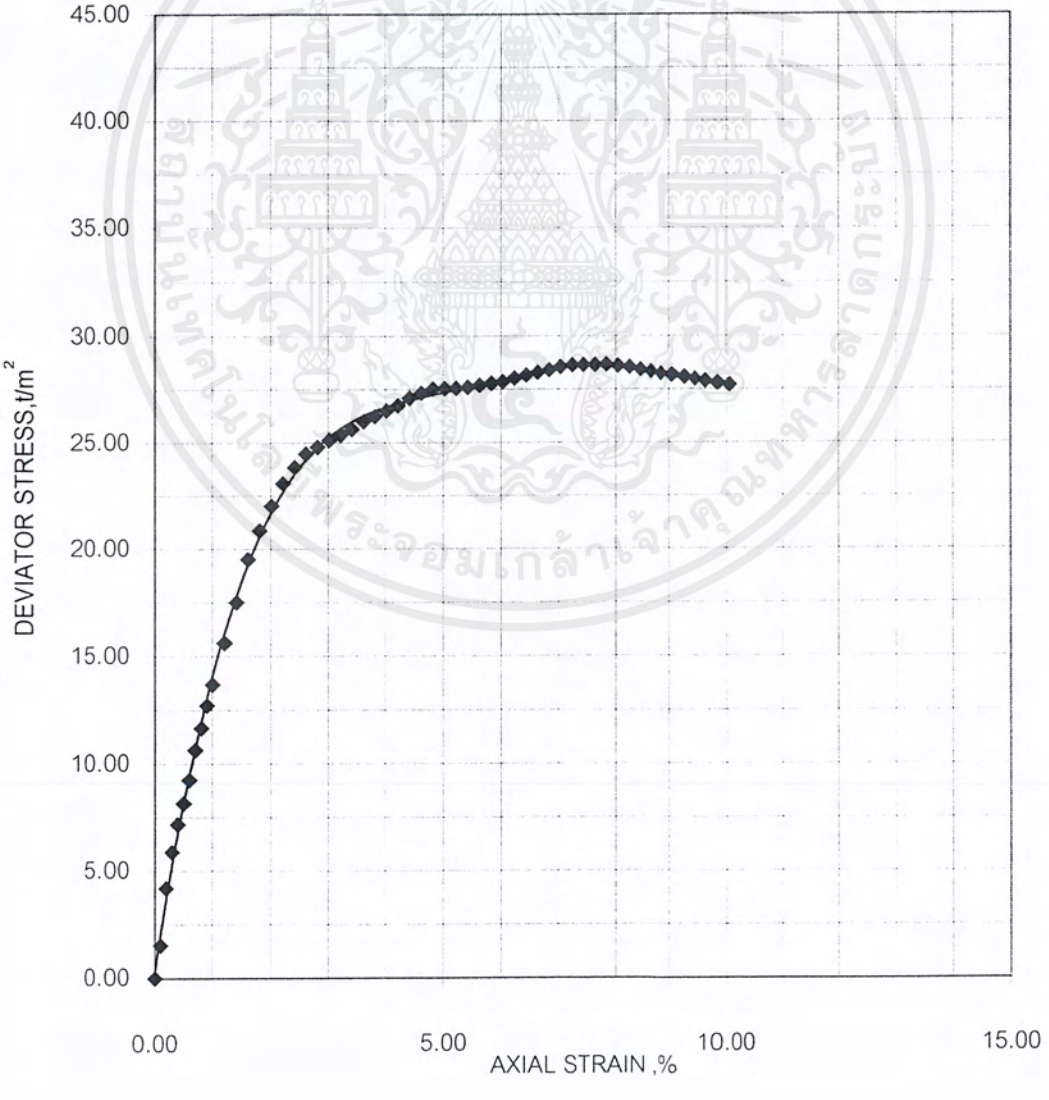
SAMPLE DEPTH 0.00-0.50 m

TEST NO. CU-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY: KANOON

DATE: 8 FEB 2001



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST

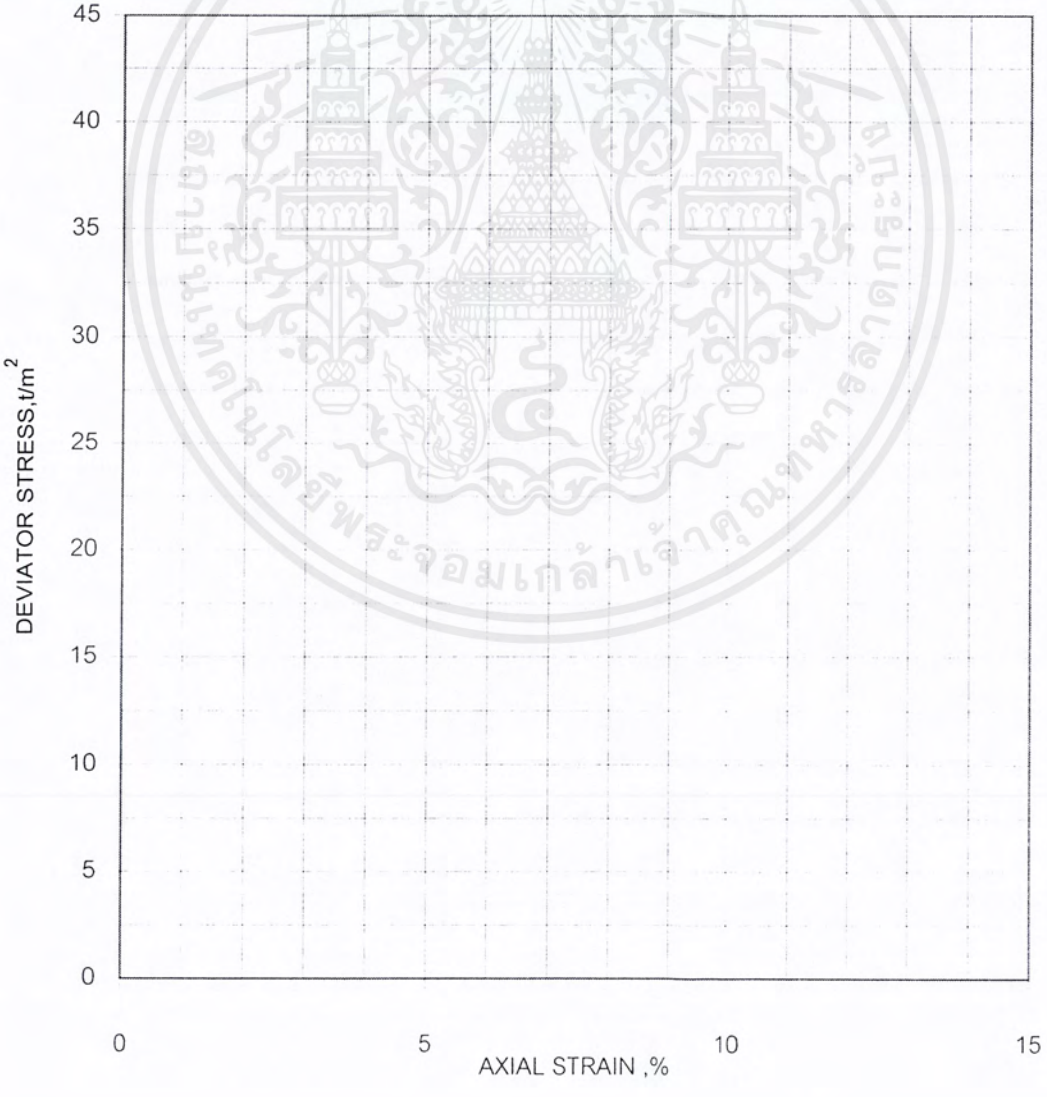
PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO. _____ SAMPLE NO. _____

TEST BY: _____ DATE: _____



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.ROWE CELL CONSOLIDATION TEST

3.8.1.วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่า Coefficient of Consolidation (C_v) , Compression Index (C_c)
2. เพื่อหาค่า Coefficient of Volume Compressibility (M_v)
3. จัดทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ Void Ratio(e) กับ Applied Pressure (Log p')

3.8.2.อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ ROWE CELL
2. มาตรหน้าปัด(Dial Gauge) หรือตัวแปลงสัญญาณวัดแรงt(Load ransducer)
3. มาตรหน้าปัด(Dial Gauge)หรือตัวแปลงสัญญาณอ่านความเครียด(Displacement transducer)
4. แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)
5. อุปกรณ์แต่งตัวอย่างดิน
6. อุปกรณ์และวัสดุ
   -แผ่นหินพรุนแบบ Rigid สำหรับการทดสอบแบบ "Equal strain" Loading
   -แผ่นหินพรุนแบบ Flexible สำหรับการทดสอบแบบ "Free strain" Loading
7. เครื่องมือทั่วไป
   -อุปกรณ์หาความชื้นของดิน
   -ตาชั่งน้ำหนัก

3.8.3.ทฤษฎี

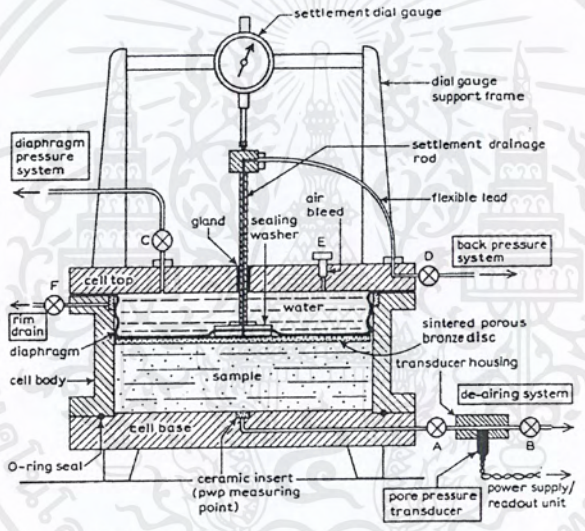
การทดสอบแบบ Rowe Cell ได้ถูกพัฒนาโดย Professor P.W.Rowe จาก Manchester University เพื่อลดการจำกัดของการทดลอง Consolidation แบบ Mechanical Lever System (แบบชุดทดสอบการยุบตัวโดยใช้คานยื่น) เนื่องจากการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบแบบ Rowe Cell สามารถวัด pore pressure ควบคุมความดันของตัวอย่างดิน ตลอดจนให้ Load แบบ Flexible (จากแผ่นยาง) แทนการให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load แบบ rigid surface และกำหนดทิศทางการ drain ของน้ำใน Cell ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดสอบแบบ Mechanical

ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบสามารถมีขนาดถึง 10 in เราสามารถกำหนดทิศทางการ drain ของน้ำได้ว่าจะให้ drain ออกทางด้านข้างหรือทางแนวดิ่งแต่ในการทดลองแบบพื้นฐานจะให้มี drain ของน้ำในแนวดิ่ง และเราสามารถกำหนด back pressure ให้กับตัวอย่างดินได้

นอกจากนี้เรายังสามารถกำหนดได้ว่าจะให้ Load กระทำแบบให้ Strain เท่ากัน (Equal Strain Loading) หรือแบบให้ Strain อิสระ (Free Strain Loading)



รูปที่ 3.8.1. แสดงภาพตัดของ Rowe Cell

จากรูปที่ 3.8.1. เราสามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขการ drain ของน้ำและการยุบตัวของผิวหน้าตัวอย่างดิน (แบบ Equal Strain และแบบ Free Strain) ได้แต่ในการทดสอบปกติแล้วจะทำการทดสอบใน Type a หรือ b

<u>หมายเหตุ</u> -Free Strain คือใช้แผ่น drain แบบ Flexible

-Equal Strain คือใช้แผ่น drain แบบ Rigid

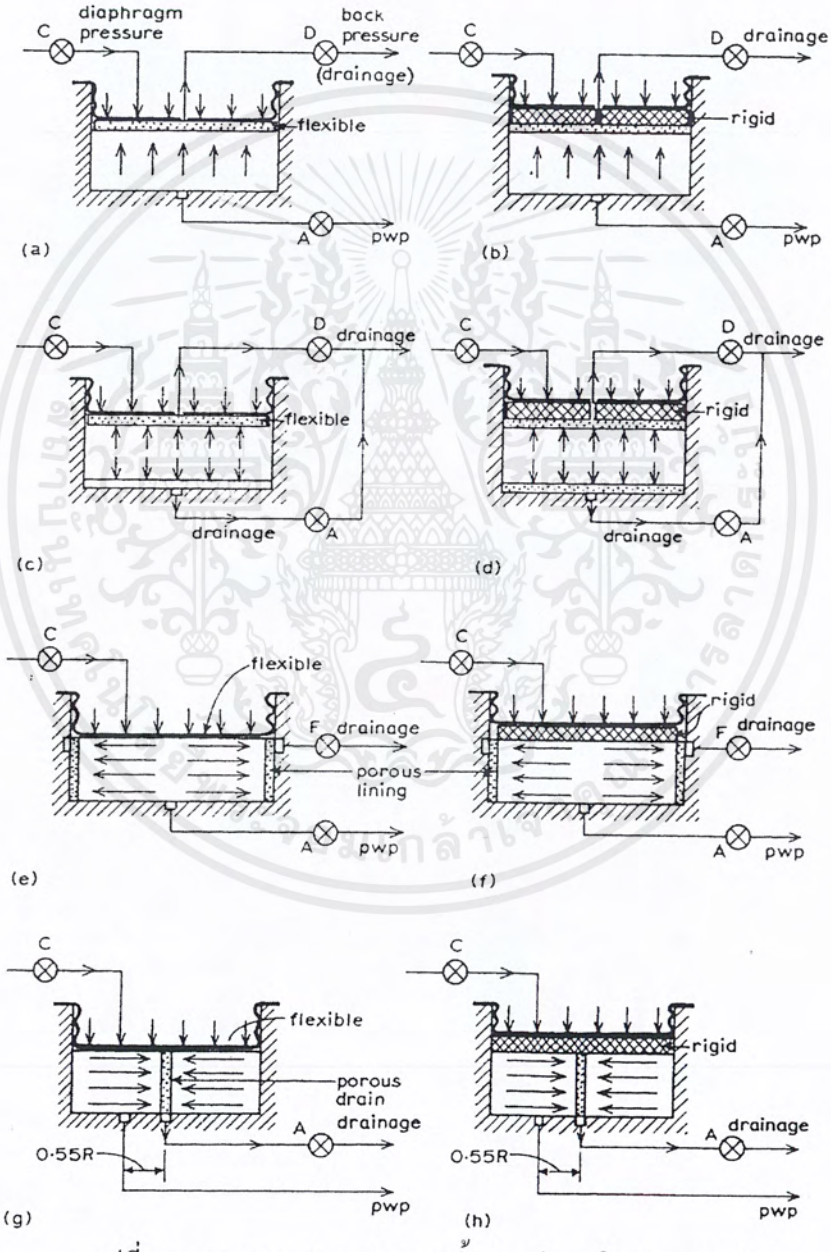
ในการทดสอบที่จะกล่าวต่อไปจะยกตัวอย่างการทดสอบแบบ Type a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า C_v

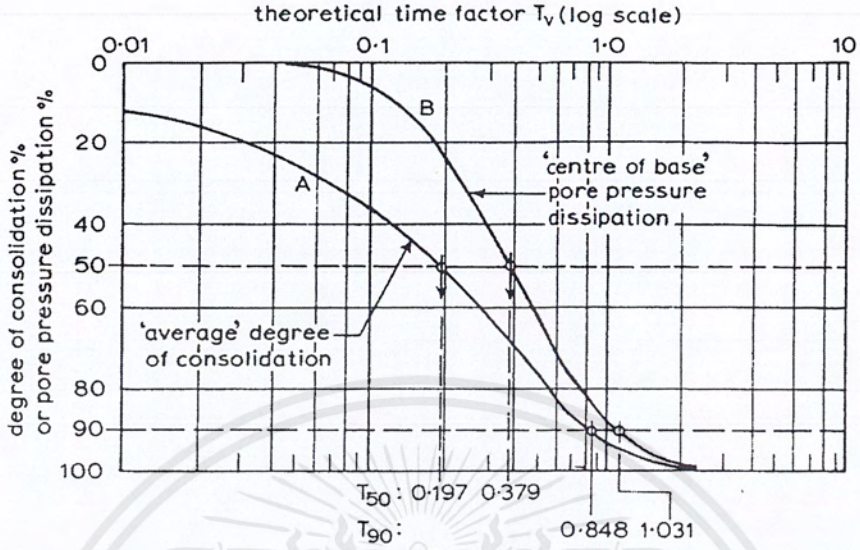
การหาค่า C_vสามารถหาได้ 2 วิธี คือหาจากกราฟ Strain ('average' degree of consolidation) และจากกราฟ pore pressure dissipation (at center of base)

โดยค่า Factor T_v ที่การยุบตัว 50% และ 90% ดูได้จากกราฟในรูปที่ 3.8.3.



รูปที่ 3.8.2. แสดงการ drain ของน้ำแบบต่างๆ ใน Rowe Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.3. แสดงตัวอย่างกราฟเพื่อหาค่า t_{50} และ t_{90}

ค่า C_v หาได้จากสมการ

$$C_v = \frac{T_{50} H^2}{t_{50}}$$

หรือ $$C_v = \frac{T_{90} H^2}{t_{90}}$$

เมื่อ: T_v = Time Factor

H = ระยะที่มากที่สุดที่ให้น้ำระบายหนีออกไปได้ (Drainage Path) ในการทดสอบจะมีค่าเท่ากับความสูงของตัวอย่างดิน

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการยุบอัดตัวของดิน

หากเราใช้กราฟ 'average' degree of consolidation เพราะฉะนั้นค่า C_v จะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_v = \frac{0.197\ H^2}{t_{50}}$$

หรือ $$C_v = \frac{0.848\ H^2}{t_{90}}$$

หากเราใช้กราฟ 'center of base' pore pressure dissipation เพราะฉะนั้นค่า C_v จะได้เป็น

$$C_v = \frac{0.379\ H^2}{t_{50}}$$

หรือ $$C_v = \frac{1.031\ H^2}{t_{90}}$$

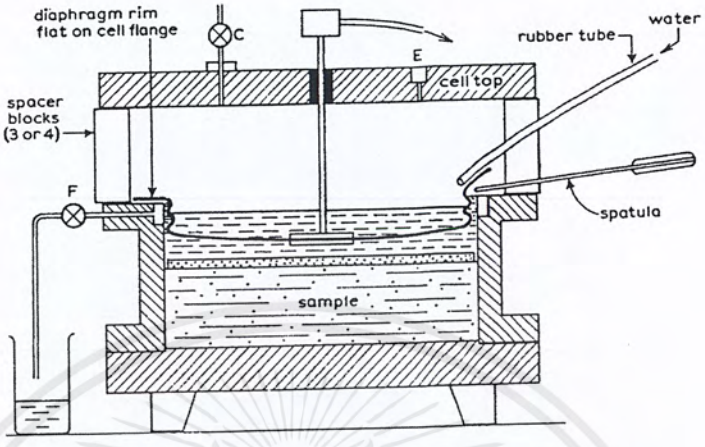
3.8.4.วิธีการทดลอง (Vertical Drainage,one way)

การเตรียมตัวอย่าง

1. ทำการเติมน้ำ(De-Aired Water) ลงใน Cell ที่บรรจุตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดิน ที่มีขนาดเท่ากับขนาดของCell (ตัวอย่างดินผ่านการแต่งให้มีขนาด cell)
2. สำหรับการทดสอบแบบ 'free' strain test ให้วางแผ่น plastic ที่ยอมให้มีการ drain ของน้ำ (porous plastic) ขนาดความหนา 3 มม. ลงใน Cell ให้วางเหนือตัวอย่างดิน โดยแผ่นพลาสติกจะต้องใช้แผ่นใหม่ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน และจะต้องผ่านการไล่อากาศออกก่อนโดยการทำไปต้มในน้ำ หรับการทดสอบแบบ 'equal' strain test ให้วางแผ่นหินพรุน (sintered bronze disc) ที่ยอมให้มีการ drain ของน้ำลงใน Cell

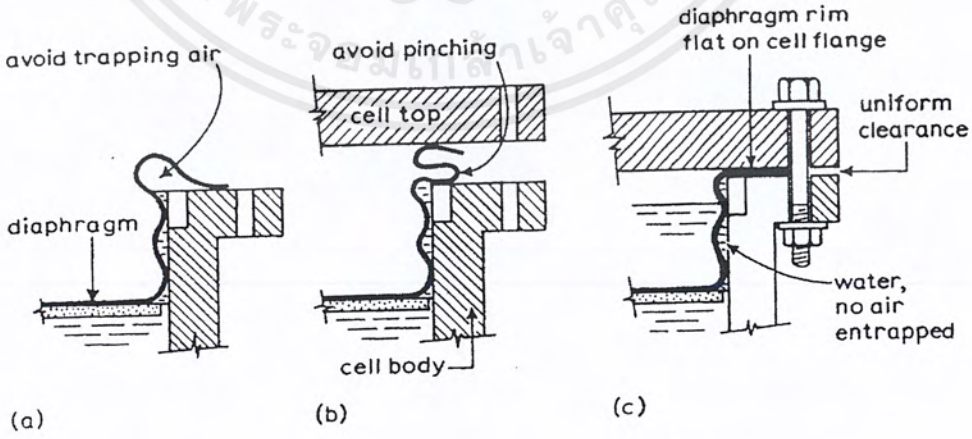
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการต่อท่อน้ำล้นและเปิดวาล์ว F ในรูปที่ 3.8.4.



รูปที่ 3.8.4. แสดงการเติมน้ำและการ set ตัวอย่างดินใน cell

4. ทำการวางชุดครอบ Cell โดยให้ diaphragm จุ่มลงใน cell ที่มีน้ำบรรจุอยู่
5. ทำการเปิดวาล์ว C ในรูปที่ 8.4 เพื่อเติมน้ำ De-Aired Water ลงใน diaphragm น้ำใต้ diaphragm จะล้นออกทางวาล์ว F
6. ทำการขันยึดระหว่าง top cell และตัว cell ด้วยขายึดให้แน่น โดยระวังอย่าให้แผ่น diaphragm ที่ขอบเกิดช่องอากาศดังรูปที่ 3.8.5.(a) หรือเกิดการพับดังรูปที่ 3.8.5. (b) น้ำใต้ diaphragm จะล้นออกทางวาล์ว F จากนั้นปิดวาล์ว F



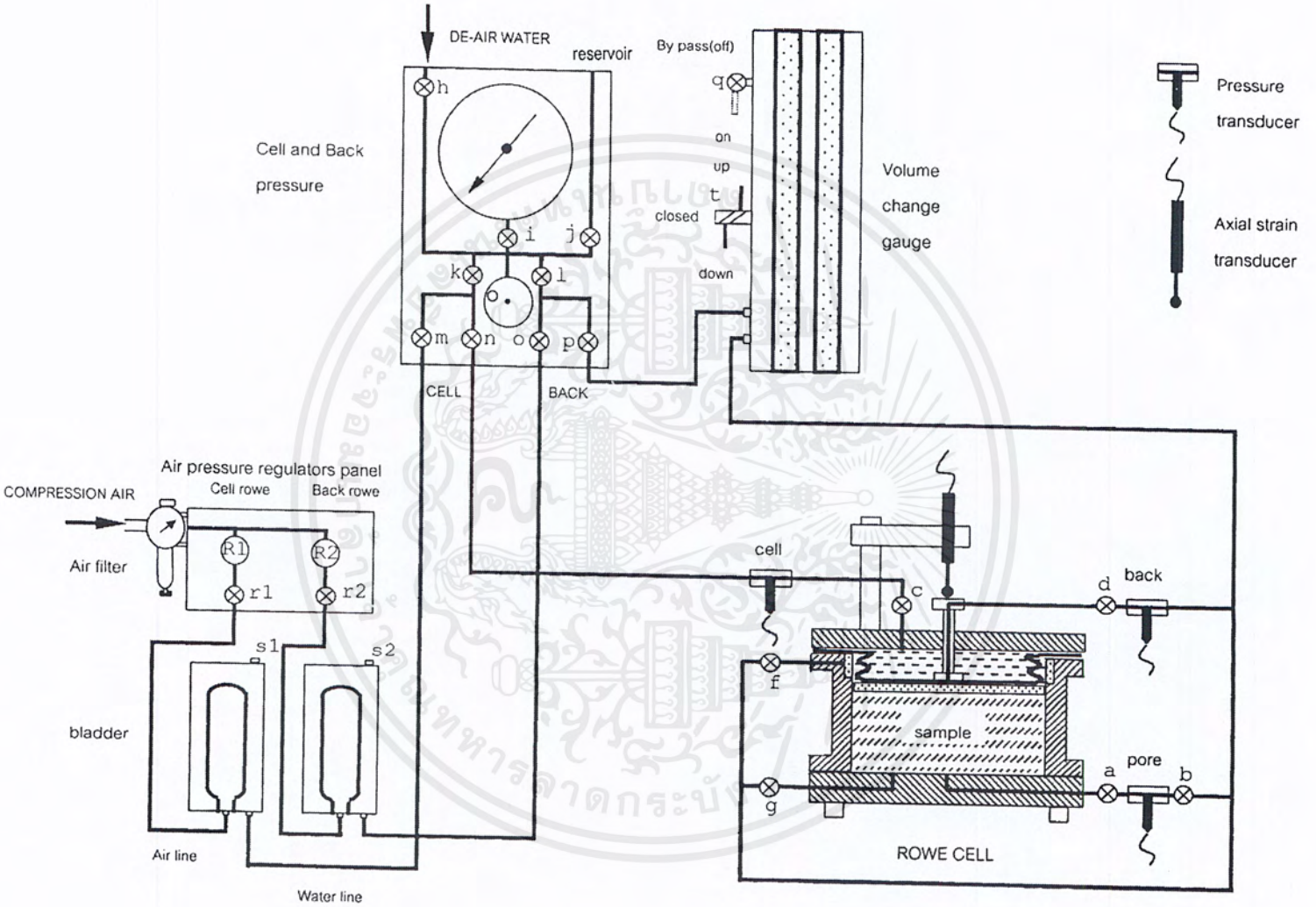
รูปที่ 3.8.5. แสดงการล๊อคแผ่น diaphragm (a),(b) ผิดวิธี วิธีที่ถูกคือ (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปิดวาล์ว D ในรูปที่ 3.8.6. (วาล์ว F ถูกปิด) จากนั้นกดก้านวัดการทรุดตัวลงบนแผ่น porous disc โดยให้แน่ใจว่า diaphragm แนบกับ porous disc พอดี น้ำส่วนเกินจะล้นออกทางวาล์ว D เมื่อน้ำล้นออกจนหมดทำการปิดวาล์ว D
8. เติมน้ำอีกบางส่วนบน diaphragm ผ่านทางวาล์ว C โดยเปิดวาล์ว E ในรูปที่ 3.8.6. ให้น้ำล้นออก
9. ปิดวาล์ว E ทำการต่อวาล์ว D เข้า back pressure line และต่อวาล์ว C เข้า cell pressure line โดยต้องแน่ใจว่าไม่มีช่องหรือฟองอากาศอยู่ใน Cell
10. วัด pore pressure (at base of sample) โดยให้เป็นค่า pore pressure เริ่มต้น u_0

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.6. แสดงผัง Rowe Cell ห้องปฏิบัติการ Triaxial ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นที่ 1 การ set ชุดทดสอบ

1. เปิดวาล์ว a เพื่อวัดค่า pore pressure ทาง pressure transducer โดยปิดวาล์ว b เพื่อไม่ให้ pressure เชื่อมต่อกับส่วนอื่น
2. ทำการ set dial gauge ให้เป็นศูนย์หรืออ่านค่าเป็นค่าอ้างอิงเริ่มต้น (datum) เพื่อวัดค่าการ settlement ของตัวอย่างดิน
3. check back pressure line ให้พร้อมใช้งาน พร้อมบันทึกค่า volume เริ่มต้น บน volume change gauge

ขั้นที่ 2 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว (Saturation)

ในการทำให้ตัวอย่างดินใน Rowe Cell อิ่มตัวก็มีวิธีเหมือนกันกับการทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัวในการทดสอบ Triaxial โดยความดันน้ำใน diaphragm ก็คือความดันใน cell ใน Triaxial Cell ทำการใส่ค่า back pressure และทำการวัดค่า pore pressure (เมื่อรอจน steady แล้ว) แล้วคำนวณค่า B value เหมือนกับการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวใน Triaxial Test ในการเพิ่มความดัน back pressure ในแต่ละครั้งและปล่อยให้ pore pressure คงที่นั้น ให้บันทึกและสังเกตค่า Volume ที่เปลี่ยนไปด้วยจาก Volume Change Gauge

ในการใส่ cell pressure นั้นเริ่มจากใส่ความดัน 50 kPa และเพิ่มในขั้นต่อไปทีละ 50 kPa และในการใส่ค่า back pressure ต้องให้น้อยกว่าค่า cell pressure ที่ใส่เข้าไป10 kPa

เราจะสิ้นสุดขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวก็ต่อเมื่อค่า B value มีค่ามากกว่า 0.95 จากนั้นดูค่า Volume Change ใน back pressure line (ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าตัวอย่างดิน) นอกจากนี้เรายังดูค่า vertical displacement ได้จาก axial strain transducer

ขั้นที่ 3 ขั้นการใส่ Load (Loading stage)

โดยทำการปิดวาล์ว d และเปิดวาล์ว c และเพิ่มความดันใน cell pressure ให้เท่ากับ σ_d โดยค่าσ_d ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_d = \sigma' + u_b \qquad (3.8.1.)$$

เมื่อ σ' = เป็นค่า effective stress ที่ต้องการให้กับตัวอย่าง

u_b = back pressure

ตั้งเวลาเป็นศูนย์ บันทึกค่าการยุบตัว แล้วรอจนกระทั่ง pore pressure คงที่ (ค่า pore pressure ที่คงที่นั้นควรจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับ cell pressure ที่ใส่เข้าไป)

ขั้นที่ 4 ขั้นตอนการยุบอัดตัว (Consolidation stage)

ขั้นตอนการยุบตัวเริ่มโดยการเปิดวาล์ว d ให้น้ำ drain ออกจากตัวอย่าง พร้อมกับเริ่มจับเวลา และในช่วงการยุบตัวให้อ่านค่าเหมือนการการทดสอบการยุบอัดตัวของดินโดยวิธี mechanical lever โดยอ่านค่าต่างๆ ดังนี้

-vertical settlement

-pore water pressure

-volume change ใน back pressure line

-ตรวจสอบค่า Diaphragm pressure (Cell pressure) (ควรจะคงที่ตลอดการทดลอง)

ขั้นตอนการยุบตัวจะถือว่าหยุดได้ก็ต่อเมื่อค่า pore pressure เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า back pressure สำหรับการทดลองเพื่อความสะดวกจะใช้ค่าประมาณ 95% dissipation ของความดันส่วนเกิน (excess pore pressure)

ค่าเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน (percentage pore pressure dissipation,U%) เท่ากับ

$$\text{pore water pressure dissipation ณ เวลา } t = U\% = \frac{u_0 - u}{u_0 - u_b} \times 100\% \qquad (3.8.2.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ u_0= ความดัน pore pressure ในตัวอย่างดินเริ่มต้น(ก่อนมีการ drain)

u_b= ความดันใน back pressure line ก่อนเปิดวาล์วให้มีการ drain

u = ความดัน pore pressure ณ เวลาต่างๆ

สำหรับดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ (low permeability) อาจจะใช้เวลาหลายวันเพื่อให้ถึงค่า 95% dissipation เมื่อถึงค่า pore pressure dissipation ถึงค่า 95% ก็ทำการหยุดการ consolidate จากนั้นปิดวาล์ว d

ขั้นที่ 5 การเพิ่ม Load

โดยเพิ่มความดัน cell pressure (diaphragm pressure) ซึ่งจะได้ค่า effective stress ค่าใหม่ และเริ่มทำการทดสอบซ้ำดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยก่อนดำเนินการทดสอบในขั้นต่อไปต้องรอให้ pore pressure คงที่เสียก่อน

โดยปกติแล้วค่า effective stress จะเพิ่มขึ้นหนึ่งเท่าตัวหากเราเพิ่มความดัน cell pressure ให้เท่ากับค่า effective ในขั้นการให้ Load ในครั้งก่อน

ทำการเพิ่มค่า cell pressure อีกและทำการทดสอบซ้ำในขั้นที่ 3 และ 4 ซ้ำ

ขั้นที่ 6 การถอน Load

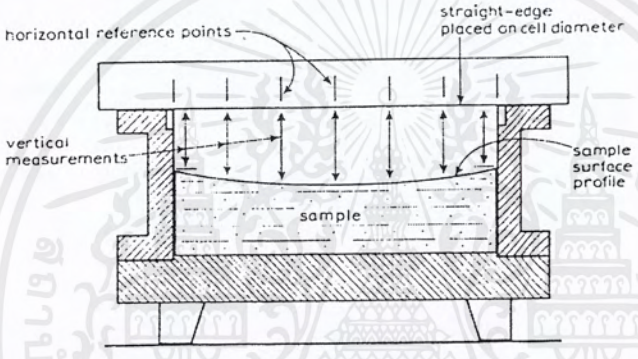
เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างดินยุบตัว (consolidation stage) ในขั้นของการถอน Load ก็จะเหมือนกับขั้นตอนการใส่ Load ให้กับตัวอย่าง โดยในการถอน Load แต่ละครั้งให้ปิดวาล์ว d และทำการลดความดัน cell pressure จน pore pressure คงที่ จากนั้นให้เปิดวาล์ว d ในระหว่างที่ตัวอย่างดินบวมตัว (swelling) ปริมาตรของตัวอย่างดินจะเพิ่มขึ้น และให้ทำการอ่านค่า pore pressure ในช่วงเวลาต่างๆ เหมือนกันกับในขั้นการยุบตัว ทำการทดสอบจนค่า pore pressure คงที่จึงหยุด และทำการ unloading ในครั้งต่อไปซ้ำวิธีการเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

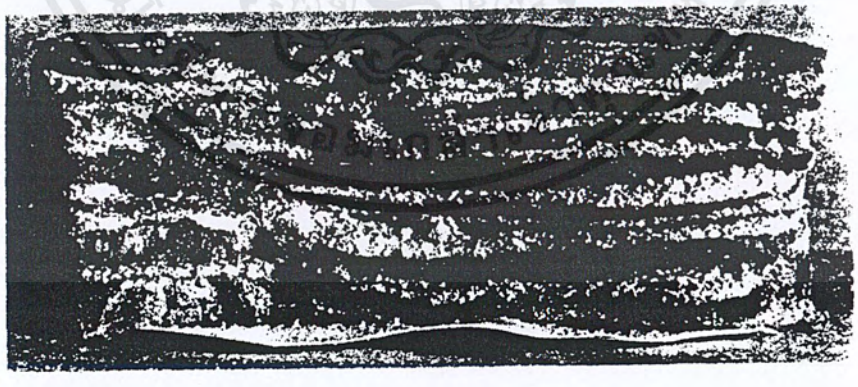
ขั้นที่ 7 สรุปผลการทดสอบ

จากข้อมูลที่ได้จะประกอบด้วยค่ายุบตัวสุดท้าย ค่าปริมาตรตัวอย่างดินที่เปลี่ยน ค่า pore pressure ที่อ่านได้ ณ เวลาต่างๆ

ทำการปิดวาล์ว a และเปิดวาล์ว c,d,f ให้มีความดันเท่ากับความดันภายนอก (ความดันบรรยากาศ) ปล่อยให้น้ำล้นออก(จากแรงดัน) ถอนที่ยึด Cell ออก และยก top cell ออก



รูปที่ 3.8.7. แสดงการวัดผิวของตัวอย่างดินเพื่อนำไปเขียนหน้าตัดของตัวอย่างหลังจากการทดสอบ



รูปที่ 3.8.8. แสดงหน้าตัดตัวอย่างดินที่ผ่านการทดสอบ Rowe Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 8 การวัดขนาดตัวอย่าง

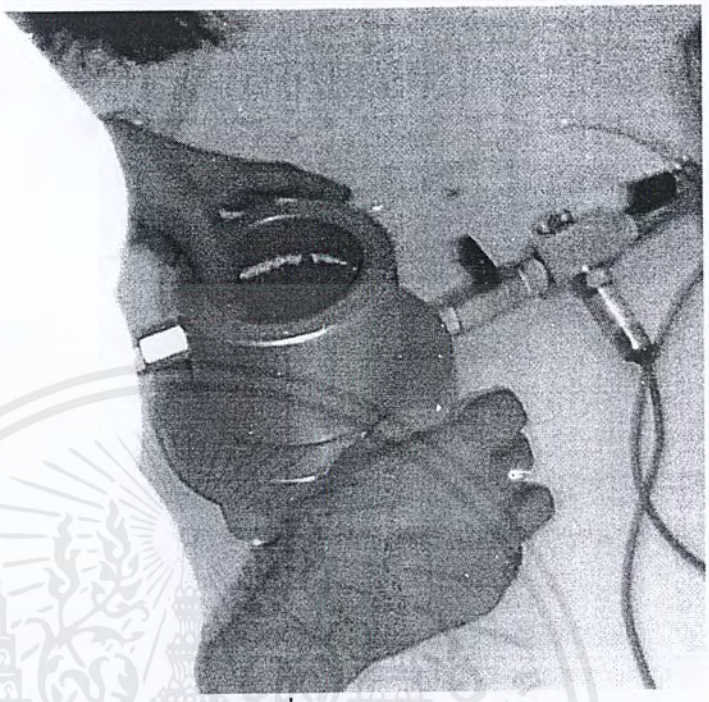
นำ porous plates ออกจาก cell เราจะเห็นผิวหน้าของตัวอย่างดิน จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความลึกของผิวตัวอย่างดินจากขอบบนของ cell จากนั้นทำการวาดรูปตัวผิวหน้าตัวอย่างดิน

นำ cell body ออกจากฐาน cell และนำตัวอย่างดินออกจาก cell แบ่งตัวอย่างออกเป็นสามส่วนตามความสูงของตัวอย่าง และนำตัวอย่างดินบางส่วนไปเป็นตัวแทนในการหาความความชื้นต่อไป

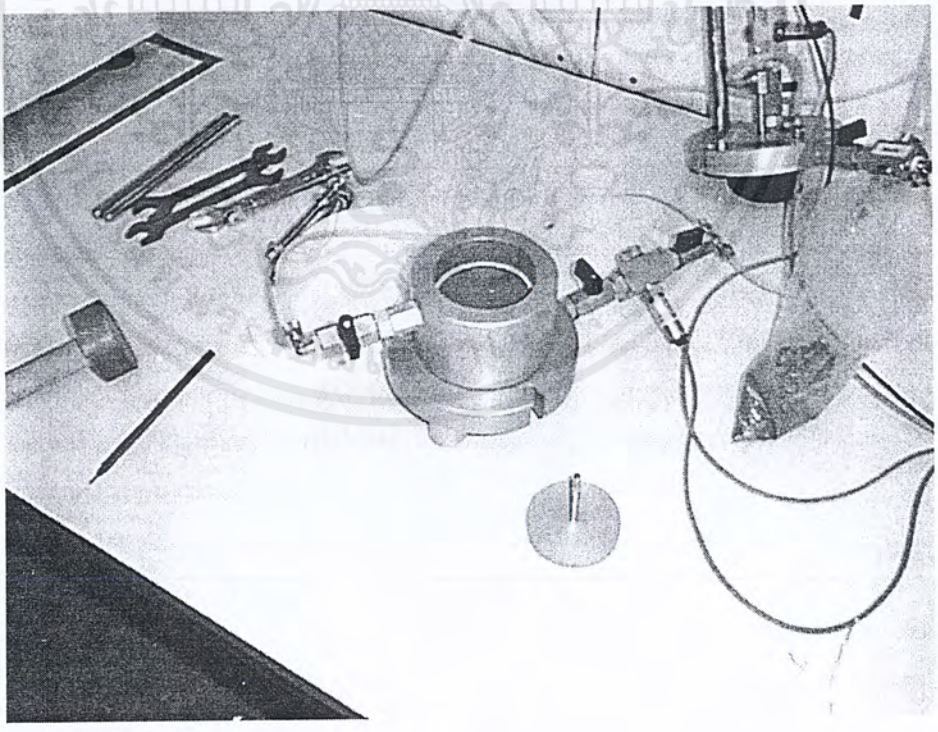
ขั้นที่ 9 การบำรุงรักษาส่วนประกอบของ cell

ทำการล้างส่วนประกอบต่างๆ ของ cell และทำให้แห้ง โดยจะต้องทำความสะอาดด้วยความระมัดระวัง แผ่นหินพรุน (หากทดสอบแบบ Rigid strain) จะต้องนำไปต้มและปัดเศษดินเพื่อให้ดินบางส่วนที่เข้าไปอุดในช่องว่างหลุดออกเพื่อจะได้นำไปใช้ในครั้งต่อไปได้ ส่วนแผ่นพลาสติกพรุน (หากทดสอบแบบ Flexible strain) จะต้องทิ้งทันทีไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ได้อีก ข้อต่อต่างๆ ต้องทำการล้างไม่ให้เศษดินติดอยู่เพราะจะมีผลกระทบในการทดสอบครั้งต่อไป โลหะต่างๆ ต้องทาน้ำมันบางๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

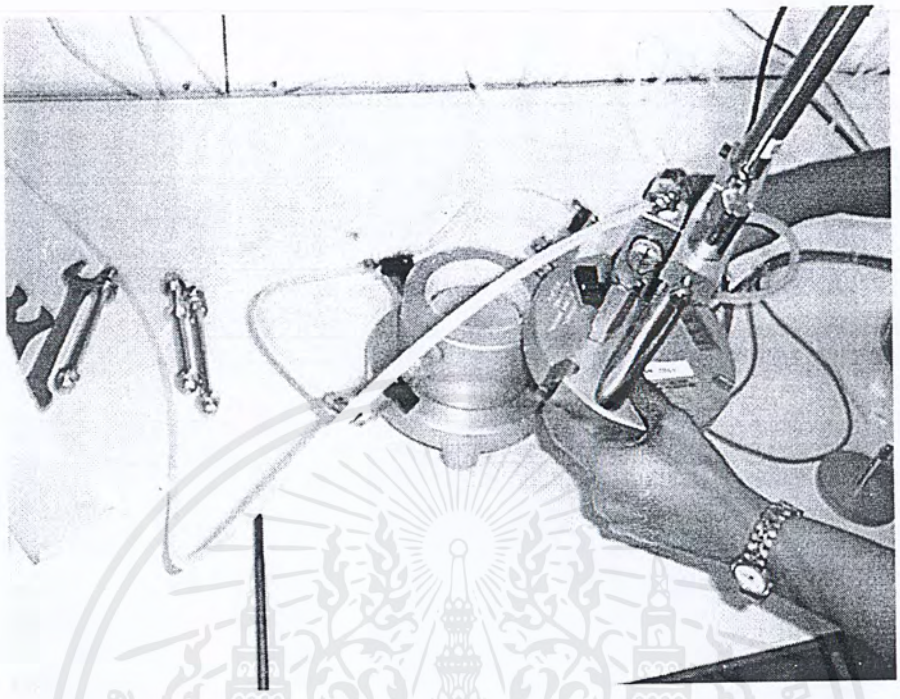


รูปที่ 3.8.9. แสดงการใส่ตัวอย่างดินที่จะทดสอบใน rowe cell

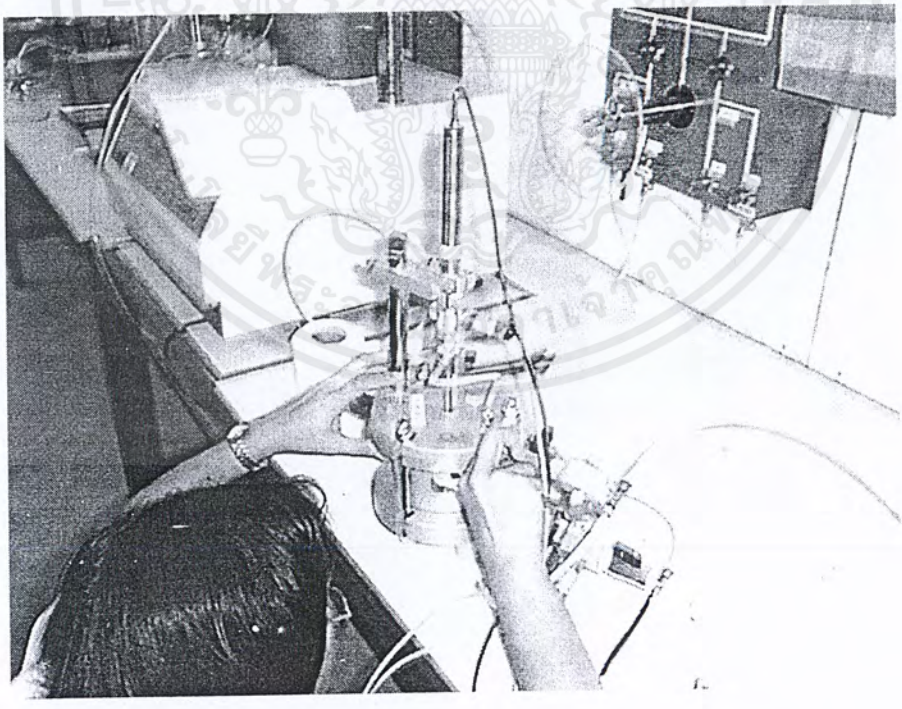


รูปที่ 3.8.10. แสดงชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ Rowe Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.11. แสดงการติดตั้งหัวครอบ cell



รูปที่ 3.8.12. แสดงการประกอบ cell พร้อมที่จะทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.5.การคำนวณและรายงานผล

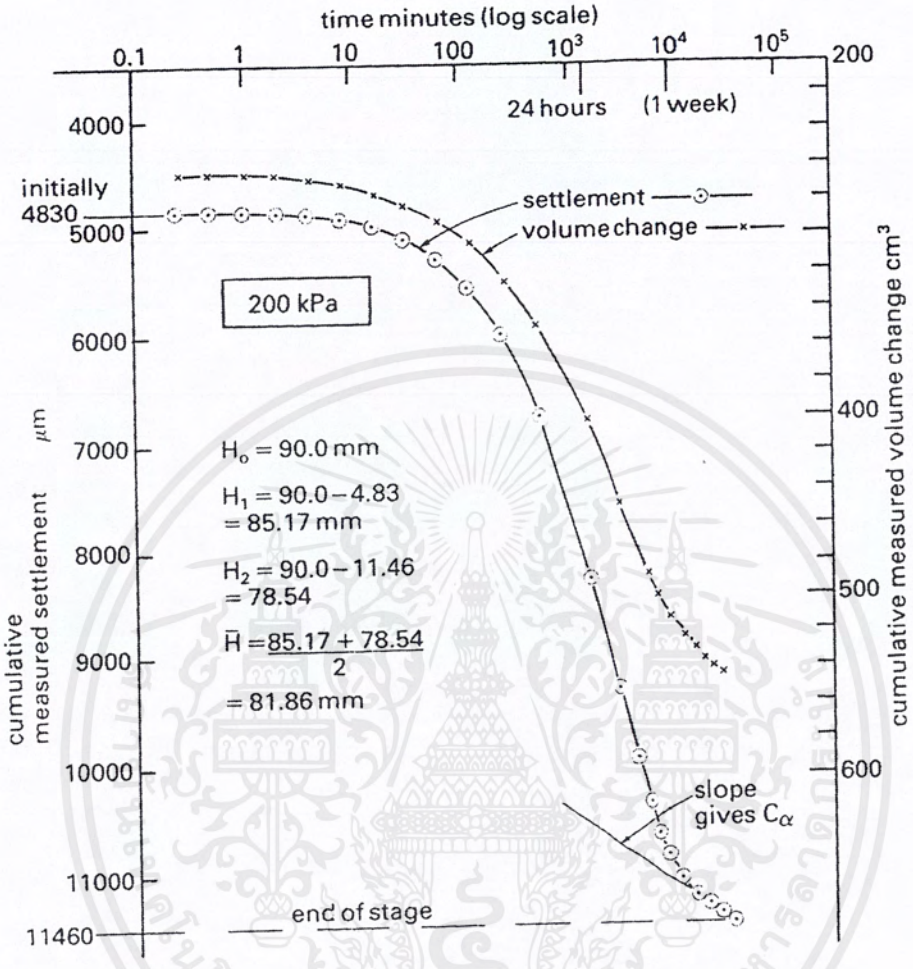
1. plot graph

จากข้อมูลการทดสอบให้ทำการ plot ค่าต่างๆ คือ

- ค่าการยุบตัว (settlement) กับค่า log time (1 กราฟต่อการให้ load 1 ขั้น)
- การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร (volume change) กับค่า log time (1 กราฟต่อการให้ load 1 ขั้น) และอาจ plot graph ต่อไปนี้ด้วยเพื่อประกอบในการพิจารณา
- ค่าการยุบตัว (settlement) กับค่า square-root time (1 กราฟต่อการให้ load 1 ขั้น)
- การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร (volume change) กับค่า square-root time (1 กราฟต่อการให้ load 1 ขั้น)
- pore water pressure dissipation (U%) กับค่า log time (1 กราฟต่อการให้ load 1 ขั้น)
- กราฟระหว่างค่า e กับ log p (1 กราฟต่อการทดลองทั้งหมด)

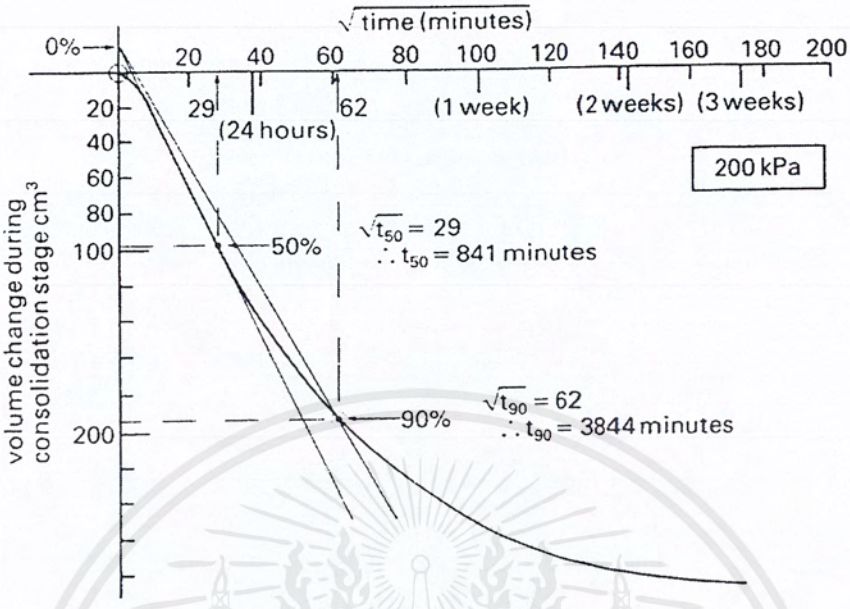
กราฟในรูปที่ 3.8.13.,3.8.14.,3.8.15. เป็นตัวอย่างในการให้ความดัน cell pressure เท่ากับ 200 kPa (การให้ load 1 ขั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

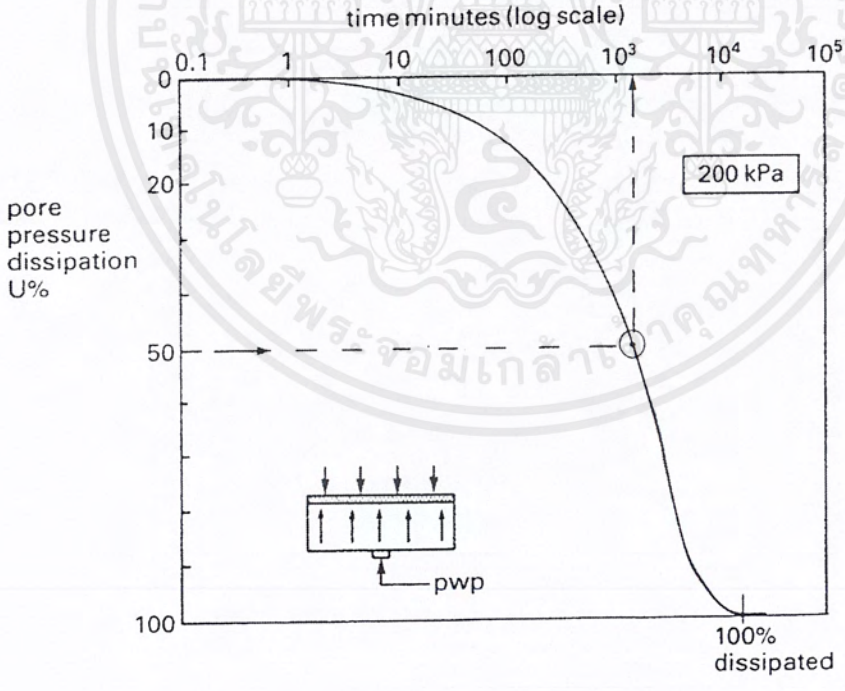


รูปที่ 3.8.13. กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยุบตัว การเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับ log time (one stage of a consolidation test at 200kPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.14. แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับค่า square-root time



รูปที่ 3.8.15. แสดงค่า pore pressure dissipation กับค่า log time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รายละเอียดของตัวอย่างดิน

ทำการคำนวณผลคล้ายกันกับการทดลองการยุบอัดตัวของดินแบบคานงัด (mechanical lever) ดังรายละเอียดดังนี้

- ค่า Water Content และ Unit Weight ก่อนและหลังการทดสอบ
- ค่า void ratio,e ในแต่ละขั้นของการให้ load

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_T - H_S}{H_S}$$

เมื่อ H_T = ความสูงของตัวอย่างดิน cm

H_S = ความสูงของเนื้อดิน = $\frac{W_S}{G_S \rho_w A}$ cm

G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างวงแหวน cm^2

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/cm^3

W_S = น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่างดิน (ได้จากการอบแห้ง) g

3. หาค่า C_v

หากเราใช้กราฟ 'average' degree of consolidation เพราะฉะนั้นค่า C_v จะได้เป็น

$$C_v = \frac{0.197\ H^2}{t_{50}} \qquad (3.8.3.)$$

หรือ $$C_v = \frac{0.848\ H^2}{t_{90}} \qquad (3.8.4.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราใช้กราฟ 'center of base' pore pressure dissipation เพราะฉะนั้นค่า C_vจะได้เป็น

$$C_v = \frac{0.379\ H^2}{t_{50}} \qquad (3.8.5.)$$

หรือ $$C_v = \frac{1.031\ H^2}{t_{90}} \qquad (3.8.6.)$$

4. ดัชนีของการกดอัด (Compression Index ,C_c)

$$C_c = \text{Slope} = \frac{\Delta e}{\log(\sigma'_2/\sigma'_1)} \qquad (3.8.7.)$$

5. ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการยุบตัว (Coefficient of Volume Compressibility ,m_v)

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} \cdot \frac{1}{1 + e_0} \qquad (3.8.8.)$$

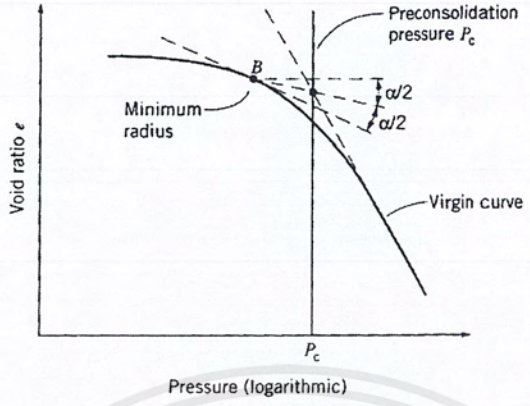
เมื่อ: e_0 = อัตราส่วนช่องว่างของดินเดิม

$1 + e_0$ = ปริมาตรของดินเดิม

Δe = อัตราส่วนช่องว่างที่เปลี่ยนไป

6. หาค่า Maximum Past Pressure, p_mหรือ p_c เป็นความดันสูงสุดซึ่งตัวอย่างดินเคยถูกกดทับมาในอดีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.16. แสดงการหาความดันสูงสุดในอดีต

3.8.6.คำถามท้ายการทดลอง

1. การทดลองโดยวิธี Rowe Cell ต่างจากการทดลองการยุบอัดตัวของดินโดยวิธีแบบคานงัด (mechanical lever) อย่างไร และมีข้อดีข้อเสียกว่ากันอย่างไร
2. เราสามารถปรับปรุงชุดทดสอบ Rowe Cell ไปประยุกต์ทดสอบคุณสมบัติของดินอะไรได้อีกบ้าง
3. การ drain ของน้ำในตัวอย่างดินใน cell มีกี่แบบอะไรบ้าง
4. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงและระมัดระวังในการทดสอบ Rowe Cell คืออะไร และการทดสอบจะคลาดเคลื่อนจากเหตุผลอะไรได้บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ROWE CELL CONSOLIDATION TEST

PRCJECT _____ OWNER _____ SAMPLE DEPTH _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____ SAMPLE NO. _____

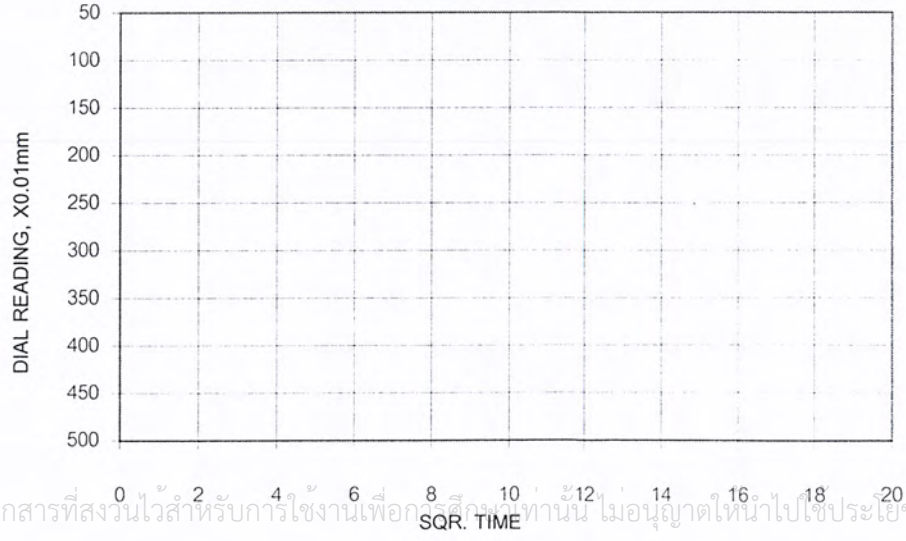
LOCATION _____ TYPE OF TEST _____ TEST NO._____

TEST BY _____ DATE _____

APPLIED CELL PRESSURE _____ To _____

PORE PRESSURE BEFORE DRAINED,u_0_____ BACK PRESSURE BEFORE DRAINED,u_b_____

DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	SQR. TIME	VERTICAL SETTLEMENT (x 0.01 mm)	Volume Chang Reading,cc	CELL PRESSURE (t/sq.m) (Check)	PORE PRESSURE (t/sq.m)	PORE PRESSURE DISSIPATION (%)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ROWE CELL CONSOLIDATION TEST

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH _____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

CONDITION OF TEST _____

SAMPLE DATA:

INITIAL SAMPLE HT.			SAMPLE AREA		
INITIAL SAMPLE VOL.			DRY WT. OF SOLID		
SOIL SPECIFIC GRAVITY			HT. OF SOLID		
INITIAL VOID HT.			INITIAL VOID RATIO		

WATER CONTENT DATA:

	BEFORE TEST		AFTER TEST		
CONTAINER NO.					
WET SOIL + CAN g					
DRY SOIL + CAN g					
WT. OF CAN g					
WT. OF WATER g					
WT. OF DRY SOIL g					
% WATERCONTENT					

STEP NO.	PRESSURE ksc	SETTL. at END OF LOADING x0.01mm	CHANGE IN SAMPL HEIGHT (mm)	VOID RATIO	T90 (min)	CV (sq.cm/sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.การหาค่า pH ของดิน

3.9.1.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่า pH ของตัวอย่างดิน

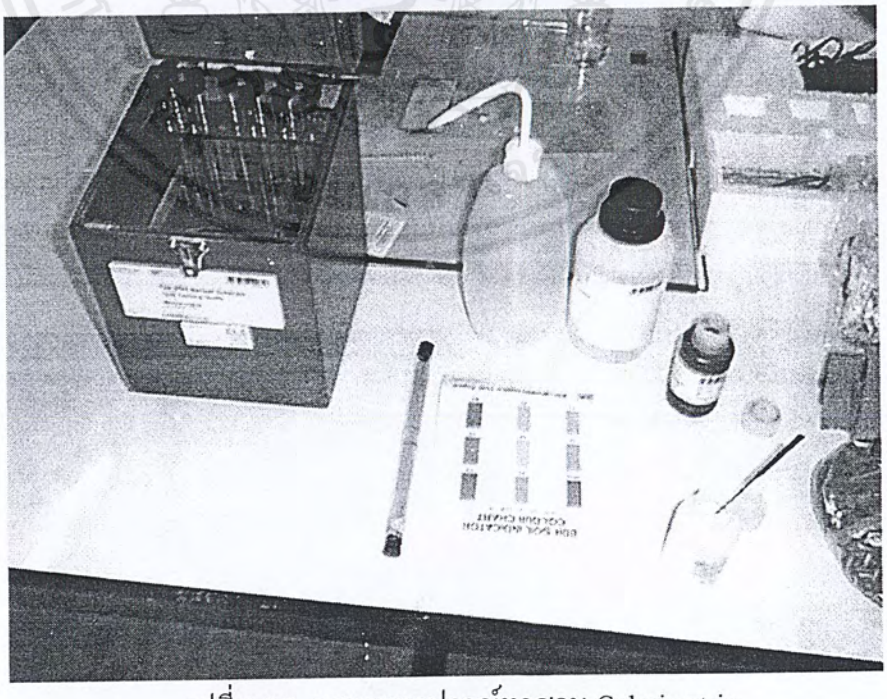
3.9.2.อุปกรณ์

วิธี Litmus Paper - กระดาษลิสมัส

วิธี Colorimetric pH Method - ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Colorimetric

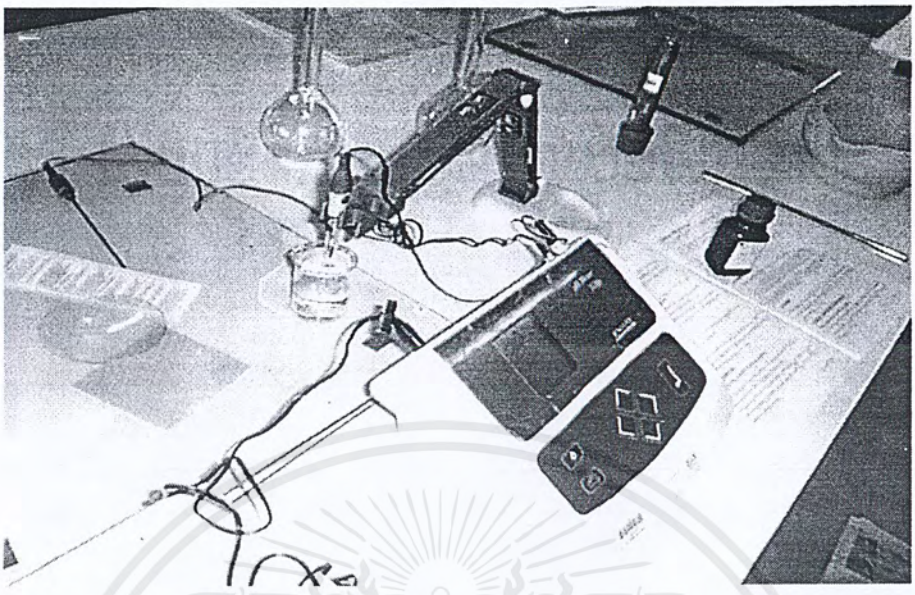
วิธี Electrometric Method - ชุดอุปกรณ์ทดสอบอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.9.1. แสดงกระดาษ Litmus



รูปที่ 3.9.2. แสดงชุดอุปกรณ์ทดสอบ Colorimetric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9.3. แสดงอุปกรณ์ Electrometric และการทดสอบ

3.9.3.ทฤษฎี

ในมวลดินนอกจากจะประกอบด้วยเนื้อดิน น้ำ และอากาศแล้ว ภายในองค์ประกอบของเนื้อดินนั้นจะมีสารซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินในบริเวณนั้นๆ ซึ่งดินจะแสดงสมบัติความเป็นกรด ด่าง หรือเป็นกลางก็แล้วแต่ลักษณะขององค์ประกอบ

เมื่อดินมีลักษณะเป็นกรดหรือเป็นด่าง จะทำให้ดินมีผลต่อปฏิกริยากับสารต่างๆ ไม่เหมือนกันตามลักษณะของค่า pH

ค่า pH สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ เช่นการกัดกร่อนของเสาเข็มใต้ดิน การกัดกร่อนของเหล็ก การทำปฏิกริยากับซัลเฟต และอื่นๆ

3.9.4.วิธีการทดสอบ

<u>วิธี Litmus Paper</u>

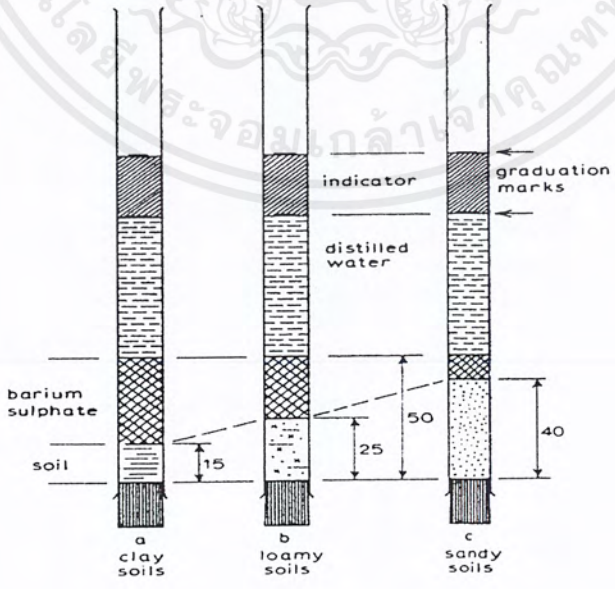
1. นำกระดาษลิสมัสยาวประมาณ 5 cm ออกจากตลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการจุ่มปลายด้านหนึ่งของกระดาษลิสมัสในสารที่เราต้องการหาค่า pH ในที่นี้คือดินที่ทำการผสมน้ำและทำการละลายแล้ว
3. รอประมาณ 5-10 นาที เพื่อให้สีบนกระดาษลิสมัสคงที่
4. เทียบสีของกระดาษลิสมัสกับสีบนตลับแล้วอ่านค่า pH

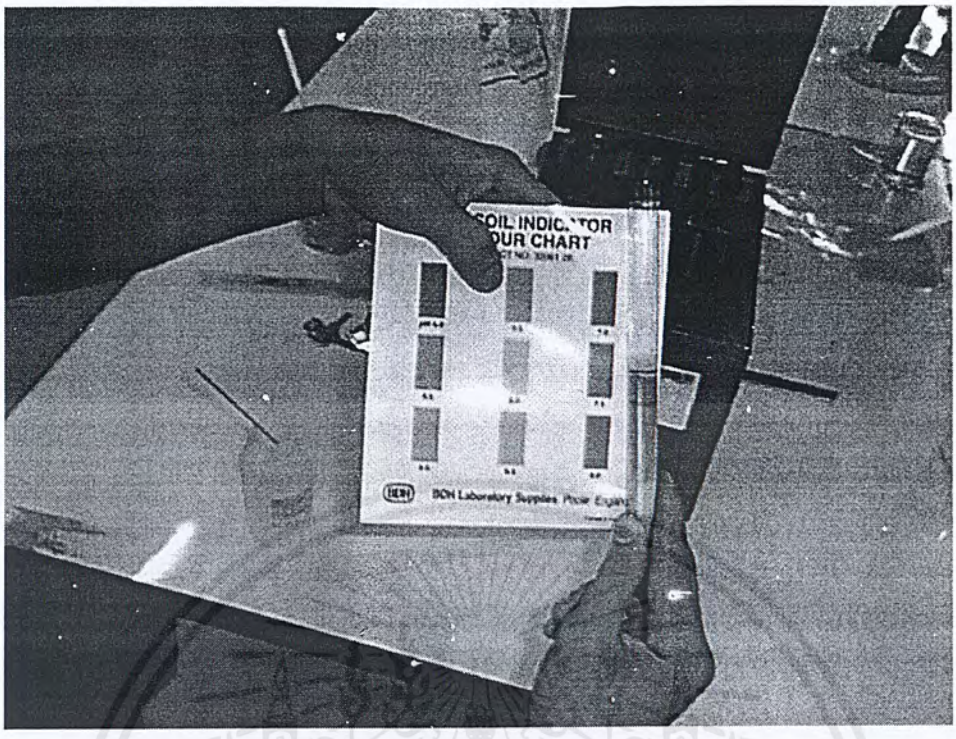
วิธี Colorimetric pH Method

1. พิจารณาลักษณะของดินที่จะนำมาทดสอบว่าเป็นดินลักษณะใด เช่นเป็นดินเหนียว ทราย หรือดินที่มีสารอินทรีย์สูง
2. พิจารณาในรูปที่ 3.9.4. เพื่อเลือกว่าจะต้องใส่สารใดปริมาณเท่าใด
3. นำหลอดใส่ตัวอย่างดินมาหนึ่งหลอด ทำการปิดจุกยางที่ก้น
4. ทำการใส่ตัวอย่างดินให้มีปริมาตรเท่ากับในรูปที่เลือกไว้เทียบกับความสูงของหลอด
5. ใส่ barium sulphate ให้มีความสูงตามรูป และใส่น้ำ De-Ion จนระดับน้ำและส่วนผสมทั้งหมดอยู่ในระดับขีดบนบริเวณกึ่งกลางของหลอด
6. ปิดจุกยางที่ปลายของอีกด้านหนึ่งแล้วทำการเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน
7. ตั้งหลอดทดสอบให้อยู่ในแนวดิ่ง รอจนตัวอย่างดินตกตะกอนเสร็จ
8. ดูสีของของเหลวในหลอดบริเวณขีด 2 ขีดตรงกลางหลอดแล้วทำการเทียบสีกับ Soil Indicator Colour Chart และทำการอ่านค่า pH



รูปที่ 3.9.4. แสดงปริมาณการใส่สารต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่จะทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9.5. แสดงการเทียบสีเพื่ออ่านค่า pH จาก Soil Indicator Colour Chart

วิธี Electrometric Method

การ Calibrate เครื่องทดสอบ

1. นำ Buffer Tablets pH=4 มาผสมน้ำ 100 mL ในบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 25 องศา
2. จุ่มหัววัดค่า pH ลงในบีกเกอร์ ทำการอ่านค่า CAL1 จากหน้าปัดบนเครื่อง รอจนคงที่ (สังเกตจะมีกราฟขึ้นบนจอ) หากค่า pH ที่อ่านได้ไม่เท่ากับ 4 ให้กดตัวเลขป้อนค่าให้เท่ากับ 4 แล้ว Enter
3. นำ Buffer Tablets pH=7 มาผสมน้ำ 100 mL ในบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 25 องศา
4. จุ่มหัววัดค่า pH ลงในบีกเกอร์ ทำการอ่านค่า CAL2 จากหน้าปัดบนเครื่อง รอจนคงที่ (สังเกตจะมีกราฟขึ้นบนจอ) หากค่า pH ที่อ่านได้ไม่เท่ากับ 7 ให้กดตัวเลขป้อนค่าให้เท่ากับ 7 แล้ว Enter
5. เมื่อ set ค่าต่างๆ ถูกแล้วก็พร้อมที่จะใช้งาน

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำของเหลวหรือสารที่เราต้องการทราบค่า pH ใส่ลงในบีกเกอร์ความสูงพอประมาณ
2. นำหัววัดมาจุ่มพยายามให้หัววัดอยู่บริเวณกลางบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รอจนกราฟขึ้นบนหน้าปัดของเครื่องอ่าน (pH ที่อ่านคงที่แล้ว) บันทึกค่า pH ที่อ่านได้
4. หากต้องการบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำให้นำหัวจุ่มอ่านค่าอุณหภูมิจุ่มลงในของเหลวด้วย โดยใช้แขนด้ามจับ

3.9.5.การรายงานผล

- บันทึกลักษณะของดิน สี
- บันทึกค่า pH

3.9.6.คำถามท้ายการทดลอง

1. เราสามารถนำความรู้ที่ได้จากการหาค่า pH ของดินไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้างในงานวิศวกรรมโยธา
2. ลักษณะของการทดสอบหาค่า pH ที่ได้กล่าวข้างต้นทั้ง 3 แบบ มีข้อดีข้อเสียต่างกันอย่างไร
3. การทดสอบอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้จากสาเหตุอะไรบ้าง
4. ดินบริเวณที่มีซัลเฟตสูงๆ จะมีผลอย่างไรต่อการก่อสร้างเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

pH VALUE OF SOIL

PROJECT_____ OWNER _____

LOCATION_____

TEST NO. _____

TEST BY _____ DATE _____

LITMUS PAPER METHOD

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
pH						
Soil Description						
Depth (m)						
pH Average						

COLORIMETRIC METHOD

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
pH						
Soil Description						
Depth (m)						
pH Average						

ELECTROMETRIC METHOD

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
pH						
Soil Description						
Depth (m)						
pH Average						

REMARK:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.LIQUID LIMIT TEST WITH CONE PENETROMETER

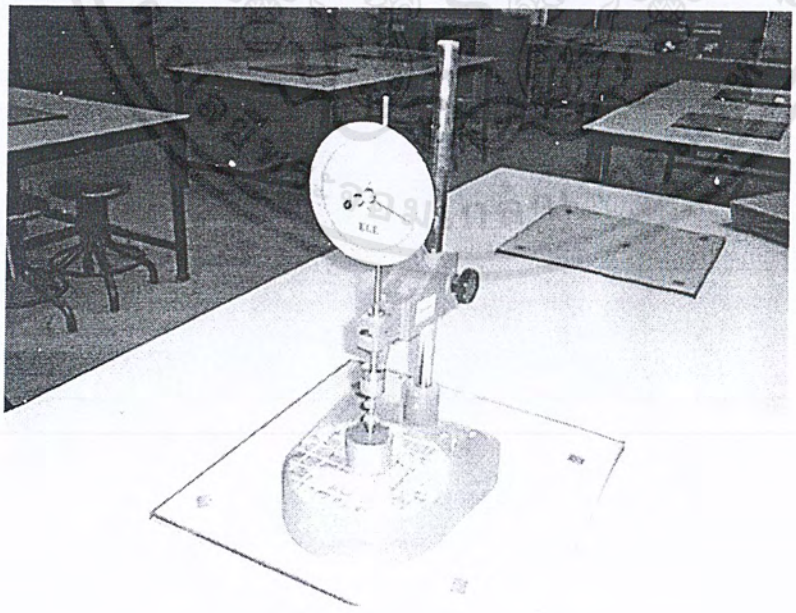
3.10.1.อ้างอิง: BS 1377

3.10.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหาขีดจำกัดเหลว (liquid limit) ของตัวอย่างดินเหนียว

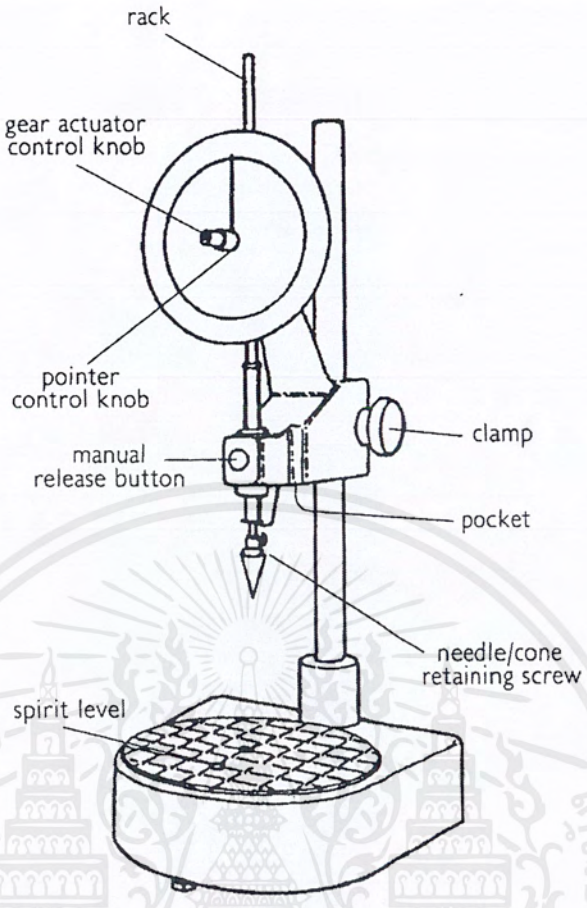
3.10.3.อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ Cone Penetrometer
2. แผ่นกระจกใสขนาดประมาณ 50x50 cm
3. ถ้วยทดสอบดิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 cm ลึก 4.0 cm
4. ขวดฉีดน้ำ
5. ถ้วยผสมดิน
6. กระป๋องใส่ดิน 3 กระป๋อง
7. มีดปาดดิน



รูปที่ 3.10.1.แสดงชุดทดสอบ Cone Penetrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10.2. แสดงรายละเอียดชุดทดสอบ Cone Penetrometer

3.10.4.ทฤษฎี

น้ำในมวลดินจะมีผลต่อคุณสมบัติของมวลดินอย่างมาก โดยเฉพาะดินเม็ดละเอียด เช่น ดินเหนียว เพราะปริมาณน้ำในมวลดินจะมีผลต่อแรงยึดเหนียวระหว่างเม็ดดิน เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้น ดินจะเหลวมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวจะน้อยลง

Atterberg นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนในเสนอจุดเปลี่ยนสถานภาพ หรือลิมิตของมวลดิน (Atterberg's Limits) ขึ้นมา 5 ลิมิต แต่ที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรมโยธาโดยทั่วไปนำมาใช้เพียง 3 ลิมิต คือ

1. liquid limit
2. plastic limit
3. shrinkage limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liquid Limit (w_L หรือ L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Liquid ของดิน หรือปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนจากสภาวะของเหลวไปอยู่ในสภาวะพลาสติก (plastic state) ปริมาตรของดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำในมวลดิน

รายละเอียดของ plastic limit และ shrinkage limit ดูในคู่มือปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ เล่ม1 โดยผู้เขียน

ในที่นี้เราจะกล่าวเฉพาะการหาค่า Liquid Limit โดยวิธี Cone Penetrometer เราสามารถหาค่า liquid limit โดย cone penetrometer ได้โดยการปล่อยให้หัวลูกดิ่งจมลงบนตัวอย่างดินเหนียว ซึ่งหากตุ้มจมลง 20 mm ความชื้นของตัวอย่างดินในที่นี้ก็จะเป็นค่า liquid limit ของดินนั้น

3.10.5.วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินแห้งที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200-250 กรัม
2. นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้เข้ากัน ระวังอย่าให้เหลวเกินไป การผสมต้องผสมให้เข้ากันดีที่สุด อย่าให้เป็นเม็ดหรือจับกันเป็นก้อน
3. นำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว ใส่ในถ้วยทดสอบ โดยใส่เป็นชั้นๆ เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศ เมื่อเต็มถ้วยให้ปาดดินให้เรียบด้วยเหล็กปาด
4. นำถ้วยที่บรรจุตัวอย่างดินมาวางบนเครื่อง Penetrometer โดยพยายามให้ปลาย Cone อยู่ติดผิวหน้าดินที่สุด และพยายามให้อยู่บริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างดิน
5. ปรับเข็มอ่านค่าบนหน้าปัดให้เป็นศูนย์
6. ปล่อยให้ Cone ตกโดยอิสระ เป็นเวลา 5 วินาที หลังจากนั้นก็หยุด จากนั้นทำการยึด Cone อ่านค่าบนหน้าปัดเป็นค่า R
7. บันทึกค่า Cone Penetration จากค่า R ที่ได้
8. นำตัวอย่างดินบริเวณที่ถูกกดไปหาปริมาณความชื้น
9. นำตัวอย่างดินที่เหลือ เติมน้ำเพิ่มอีกเล็กน้อย และทำการผสมดินเพิ่มหากไม่พอที่จะบรรจุให้เต็มถ้วย จากนั้นทำซ้ำตามข้อ 2-8 อีกประมาณ 4 ครั้ง จะได้ค่า cone penetration 4 ค่า และค่าความชื้นอีก 4 ค่า โดยพยายามให้ค่าของ Cone Penetration อยู่ในช่วง 12-25 มม.
10. นำค่า cone penetration และค่าความชื้นที่หาได้มาเขียนกราฟ
11. จากกราฟที่ได้ ค่า liquid limit คือค่าความชื้น ณ. จุดที่มีค่า cone penetration 20 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.6.การคำนวณและแสดงผล

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า cone penetration และค่าปริมาณความชื้น
- จากกราฟหาค่า liquid limit คือค่าปริมาณความชื้นที่จุด cone penetration 20 มม.

3.10.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. ค่า liquid limit ที่ได้จากการทดสอบ Cone Penetration ต่างจากการทดสอบแบบถ้วยเคาะอย่างไร
2. การทดสอบอาจเกิดข้อผิดพลาดได้จากสาเหตุอะไรได้บ้าง
3. เราสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
4. เราสามารถหาค่า liquid limit ได้จากวิธีอะไรได้อีกบ้าง จงอธิบายพร้อมวาดรูปประกอบอย่างคร่าวๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LIQUID LIMIT TEST WITH CONE PENETROMETER

PROJECT GEO-TEST

OWNER _____

SOIL DESCRIPTION DARK CLAY

BORING NO. BH-1

LOCATION CV BUILDING

SAMPLE DEPTH 1.6 m

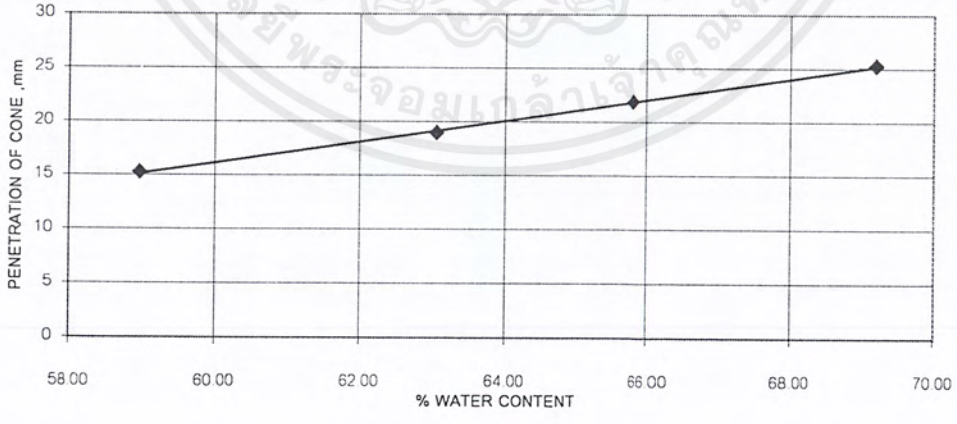
TEST NO. CP-1

SAMPLE NO. 1

TEST BY KANOON

DATE JULY 24,1999

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
CONE PENETRATION (mm)	15.3	19	21.9	25.3		
CONTAINER NO.	C-1	C-2	C-3	C-4		
WET SOIL + CONTAINER ,g	46.78	57.2	63.6	71.72		
DRY SOIL + CONTAINER ,g	32.51	38.31	41.64	45.78		
WT. OF CONTAINER ,g	8.31	8.35	8.26	8.29		
WET SOIL ,g	14.27	18.89	21.96	25.94		
DRY SOIL ,g	24.20	29.96	33.38	37.49		
% WATER CONTENT	58.97	63.05	65.79	69.19		



LIQUID LIMIT = 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LIQUID LIMIT TEST WITH CONE PENETROMETER

PROJECT _____ OWNER _____

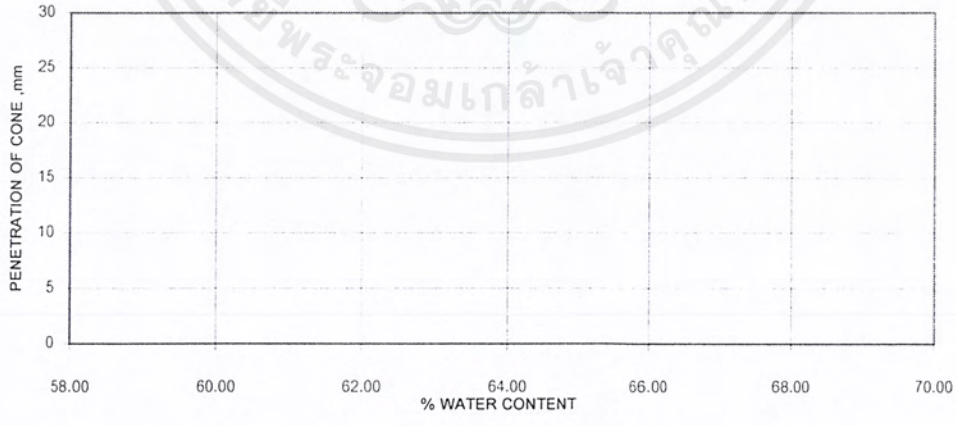
SOIL DESCRIPTION _____ _____ BORING NO. _____

LOCATION _____ SAMPLE DEPTH_____

TEST NO._____ SAMPLE NO. _____

TEST BY_____ DATE _____

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6
CONE PENETRATION (mm)						
CONTAINER NO.						
WET SOIL + CONTAINER ,g						
DRY SOIL + CONTAINER ,g						
WT. OF CONTAINER ,g						
WET SOIL ,g						
DRY SOIL ,g						
% WATER CONTENT						



LIQUID LIMIT = ☐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ในสนาม(CALIFORNIA BEARING RATIO In-Situ: CBR In-Situ)

3.11.1.อ้างอิง: ASTM D 4429

3.11.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังของดินบดอัดในค่าของ CBR ในสนาม

3.11.3.อุปกรณ์

1. น้ำหนักกด (อาจเป็นรถบรรทุกหรือเครื่องจักรที่หนักพอ)
2. เครื่องใส่ Load แบบมือหมุน (Screw Jack)โดยมีกำลังไม่ต่ำกว่า 5000 kg ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วของการกดให้คงที่ได้ด้วยอัตราเร็ว 0.05 นิ้วต่อนาที
3. ท่อนกด (Penetration piston) เป็นท่อนทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.95 นิ้ว มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว และมีความยาวไม่น้อยกว่า 6 นิ้ว มีเกลียวภายในสำหรับต่อกับท่อนต่อ (Piston rod) หรือใช้ต่อกับ Proving ring ได้
4. เครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงพร้อมที่จับเป็นแม่เหล็ก (Dial-gauge with magnetic holder) ชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01มม. วัดได้ 25 มม.
5. แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (Steel Plate)
6. Proving Ring ขนาด 1000 กก.
7. โครงเหล็กพร้อมส่วนประกอบ เพื่อประกอบเป็นแท่นช่วยยึด Dial guage
8. ท่อนต่อ (piston rod) เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อนกด ใช้เพิ่มความยาวของท่อนกด

3.11.4.ทฤษฎี

การทดสอบ CBR เป็นวิธีการหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่า เปอร์เซ็นต์ CBR เราสามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการปกติเราจะทำการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดที่ Optimum Moisture Content โดยใช้แท่งเหล็กกลมตัน (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที (1.25 มิลลิเมตรต่อนาที) แล้วนำค่า Unit Load ที่ได้จากการทดสอบนี้ (Test Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่างๆ ไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Standard Unit Stress ที่การยุบตัวเดียวกัน โดยค่าหน่วยแรงมาตรฐาน(Standard Unit Stress) เป็นค่าหน่วยแรงมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุก(crushed rock) ที่กำหนดโดย California Division of Highways และกำหนดให้มีค่าเป็นมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.11.1.

$$CBR = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100 \quad (\%) \qquad (3.11.1.)$$

ตารางที่ 3.11.1. แสดงค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่างๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm	in	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

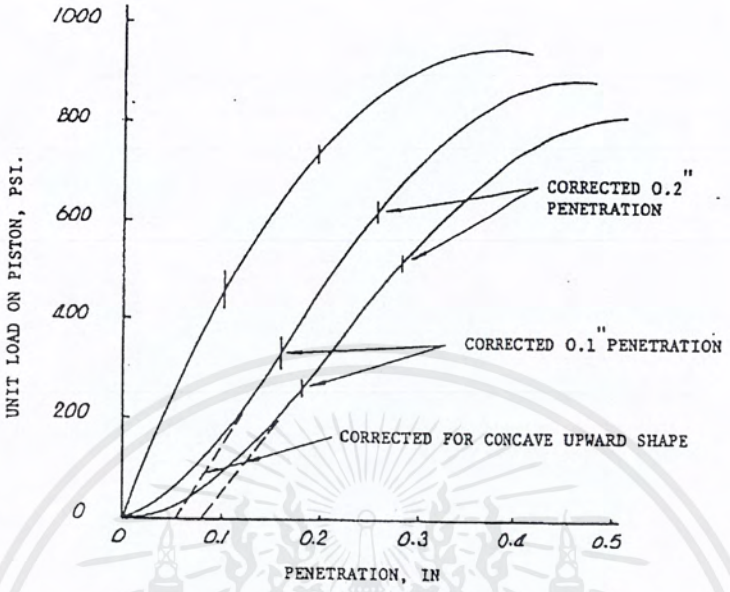
โดยทั่วไปจะใช้ค่า CBR ที่ความลึกของการกด (Penetration) 0.1 นิ้ว แต่ถ้าค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วจะมีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว) และหากการทดสอบใหม่ได้ค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

การทดสอบ CBR เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างค่าหน่วยแรงกับค่ายุบตัว กราฟจะต้องได้โค้งที่มีส่วนของเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ถ้าส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ (Correct) โดยลากเส้นให้สัมผัสกับส่วนของเส้นตรงมากที่สุดมาตัดกับแกนนอนจะได้จุดเริ่มใหม่ (new origin) ค่ายุบตัว 0.1" และ 0.2" จะต้องเริ่มวัดจากจุดนี้ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 3.11.1.

การทดสอบ CBR ในช่วงที่เราทำการกดทดสอบ (Penetration Test) และตอนที่เราแช่ตัวอย่างดินในน้ำ เราจะใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) บนตัวอย่างดินด้วยเพื่อจำลองน้ำหนักชั้นดินที่กดทับด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR (Correction to curve)



รูปที่ 3.11.1. แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ CBR

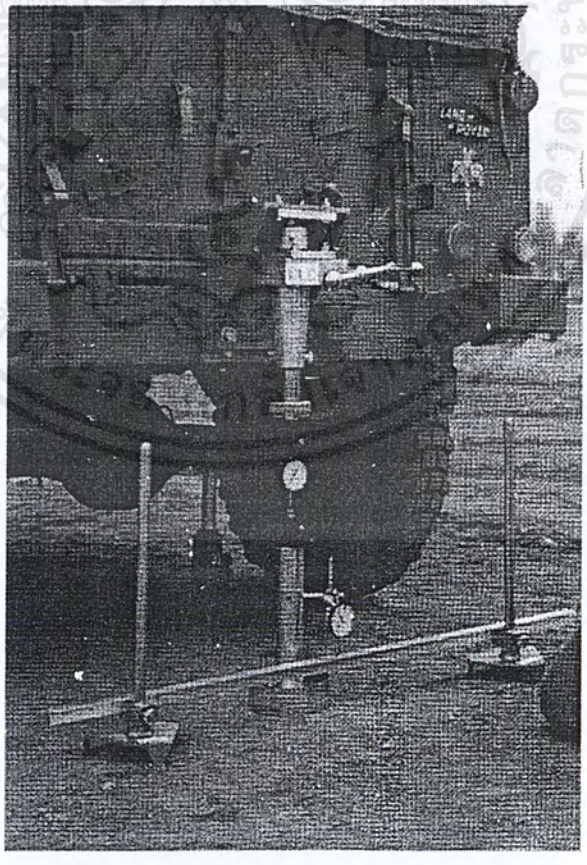
3.11.5.วิธีการทดลอง

1. เลือกจุดที่จะทำการทดสอบ CBR ในสนามที่ไม่มีวัสดุก้อนใหญ่กว่า 19 ซม. (3/4 นิ้ว) ขุดผิวหน้าวัสดุออกจนถึงชั้นที่จะทำการทดลอง มีขนาดหลุมประมาณ 50 ซม. ปรับผิวหน้าให้เรียบและได้ระดับ
2. นำเครื่องกดติดตั้งเข้ากับสิ่งที่มีน้ำหนักมากพอเช่นท้ายรถบรรทุก หรือโครงสร้างถาวรที่สามารถยึดติดกับเครื่องมือได้ จากนั้นติด Proving Ring พร้อมด้วยท่อนกดเข้ากับเครื่องกด แล้วเลื่อนท่อนกดให้ตรงกับจุดที่จะทำการทดสอบ ปรับให้ท่อนกดตั้งฉากกับพื้นที่ที่จะทดสอบ
3. วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักขนาด 10 lb สำหรับวัสดุพื้นทาง วัสดุรองพื้นทางและวัสดุคัดเลือกหรือน้ำหนักอื่นใดตามที่กำหนด แต่ต้องไม่เกิน 30 lb
4. วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักขนาด 15 lb สำหรับวัสดุ Subgrade หรือน้ำหนักอื่นใดตามกำหนด แต่ต้องไม่เกิน 30 lb
5. ติด Dial gauge เข้ากับแท่นกด โดยลักษณะการติดตั้งต้องสามารถอ่านค่าระยะจมลงของท่อนกดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

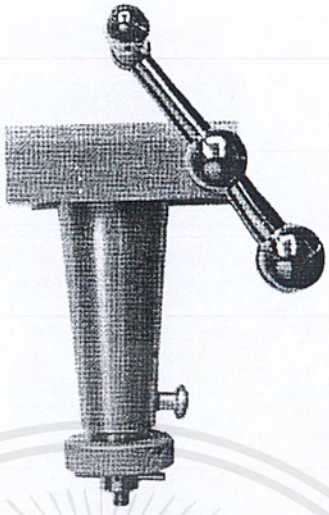
6. หมุนเครื่องกดให้ปลายของท่อนกด กดบนผิวหน้าของพื้นที่ทดลองด้วยแรงกดประมาณ 4 กก. เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสกับผิวที่จะทดลองแล้ว ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring และ dial gauge ให้เป็นศูนย์
7. หมุนเครื่องกดให้จมลงด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ เท่ากับ 1.27 มม./นาที (0.05 นิ้ว/นาที)
8. ทำการบันทึกน้ำหนักที่กดจากหน้าปัด Proving Ring เมื่อท่อนกดจมลง ที่ระยะ 0.025 นิ้ว, 0.050 นิ้ว, 0.075 นิ้ว, 0.100 นิ้ว, 0.125 นิ้ว, 0.150 นิ้ว, 0.175 นิ้ว, 0.200 นิ้ว, 0.250 นิ้ว, 0.300 นิ้ว, 0.350 นิ้ว, 0.400 นิ้ว, 0.450 นิ้ว, 0.500 นิ้ว เสร็จแล้วคลายน้ำหนักที่กดออก นำท่อนกดออกนำแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักออก
9. นำตัวอย่างดินบริเวณที่ถูกกด ไปหาปริมาณความชื้น โดยปริมาณของตัวอย่างดินที่จะนำไปหาความชื้นให้ใช้ ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม



รูปที่ 3.11.2. แสดงตัวอย่างการติดตั้งชุดทดสอบ CBR ในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11.3. แสดงเครื่องกด CBR ในสนาม (Mechanical Jack)

3.11.6.การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

$$\text{Test Unit Stress} = \frac{\text{Test Unit Load (lb)}}{3\ (\text{in}^2)} \quad \text{psi} \qquad (3.11.2.)$$

$$\text{Test Unit Load} = R \cdot K$$

เมื่อ R = ค่าอ่านบน Dial Gauge ของ Proving Ring ,ขีด (0.0001 นิ้ว หรือ 0.002 มม)

K = ค่าคงที่ของ Proving Ring ,lb ต่อขีด หรือ kg ต่อขีด

2. Plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Test Unit Stress กับค่า Penetration พร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีการปรับแก้ข้างต้น
3. อ่านค่า Test Unit Stress จากกราฟที่ค่า Penetration 0.1 นิ้วและ 0.2 นิ้ว และคำนวณหาค่า CBR

$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100 \quad (\%) \qquad (3.11.3.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration 0.1 และ 0.2 นิ้ว แสดงไว้ในตารางที่ 3.11.1.

ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วควรจะมีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว ถ้าค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (Retest) หากการทดสอบใหม่ยังได้ค่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่า CBR ที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (Dry Density) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ของแต่ละตัวอย่าง
5. ร่างผังแสดงตำแหน่งที่ทำการทดสอบและอธิบายลักษณะภูมิประเทศโดยรอบ และลักษณะตัวอย่างพื้นผิวดินที่ทำการทดสอบ รูปตัดถนนบริเวณที่ทำการทดสอบ

3.11.7.คำถามท้ายการทดลอง

1. ทำไมเราถึงเลือกน้ำหนักขนาด 10 และ 15 lb ในการกดทับตัวอย่าง
2. เราสามารถนำค่า CBR ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านใดได้บ้าง
3. จงหาตารางแสดงค่า CBR ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานถนนของประเทศไทย โดยแบ่งตามประเภทชั้นทาง
4. การทดลองจะเกิดข้อผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนจากสาเหตุใดบ้าง อธิบาย
5. ค่า CBR ในสนามมีข้อดีและข้อเสียอย่างไรเมื่อเทียบกับค่า CBR ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST (IN-SITU)

PROJECT _____ OWNER _____

SOIL DESCRIPTION _____ SAMPLE DEPTH _____

LOCATION _____ SAMPLE NO. _____

TEST NO._____

TEST BY _____ DATE _____

SAMPLE DATA:

TRIAL NO.	1	2
CONTAINER NO.		
WET SOIL + CONTAINER ,g		
DRY SOIL + CONTAINER ,g		
WT. OF WATER ,g		
WT. OF CONTAINER ,g		
WT. OF DRY SOIL ,g		
% WATER CONTENT		

CBR LOAD TEST DATA:

TRIAL NO.	1		2	
PENETRATION ,in	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)	LOAD DIAL READING(DIV)	LOAD (psi)
0.000				
0.025				
0.050				
0.075				
0.100				
0.125				
0.150				
0.175				
0.200				
0.250				
0.300				
0.350				
0.400				
0.450				
0.500				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1.สรุปผลการศึกษา

1. จากการทำคู่มือปฏิบัติการณ์ปฐพีกลศาสตร์ทั้ง 2 เล่ม ทำให้ทราบถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องแต่ละชนิด ซึ่งในบางอุปกรณ์สามารถใช้แทนกันได้
2. ทราบถึงวิธีการทดสอบ เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ มาตรฐานต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงในการทดลอง
3. ทราบถึงทฤษฎีทางด้านปฐพีกลศาสตร์และการเชื่อมโยงกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
4. ทราบถึงกระบวนการเก็บและบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อทางภาควิชาวิศวกรรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้รับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในส่วนของการปฏิบัติการมาใหม่ควรศึกษาถึงการใช้อย่างถูกต้อง และนำเครื่องมือนั้นมาใช้อย่างคุ้มค่าทั้งในด้านของการศึกษาและการบริการต่อสาธารณะชน
2. คู่มือที่จัดทำขึ้นนี้อาจมีข้อบกพร่องและจุดที่ต้องแก้ไขอยู่บ้างซึ่งควรที่จะได้รับการปรับปรุงต่อไปในอนาคต
3. ควรมีการตีพิมพ์คู่มือปฏิบัติการณ์ทั้ง 2 เล่ม เพื่อใช้ในการเรียนการสอนหรือเผยแพร่ต่อบุคคลที่สนใจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. K.H. Head,"Volume 1:Soil Classification and Compaction Tests,Manual of Soil Laboratory Testing",1986
2. K.H. Head,"Volume 2:Permeability,Shear Strength and Compressibility Tests,Manual of Soil Laboratory Testing",1986
3. K.H. Head,"Volume 3:Effective Stress Tests,Manual of Soil Laboratory Testing",1986
4. "ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS,Section 4,Construction,Soil and Rock(I):D420-D4914,Volume 04.08",1997
5. T. WILLIAM LAMBE,"SOIL TESTING for Engineers",1951
6. JOSEPH E. BOWLES,"ENGINEERING PROPERTIES OF SOILS AND THEIR MEASUREMENT",Fourth Edition,1992
7. "Civil and Environmental Engineering Test Equipment",9th Edition Catalogue,ELE International
8. BRAJA M. DAS ,"Principles of Geotechnical Engineering",Third Edition,1941
9. JOHN N. CERNICA,"Geotecnical Engineering:SOIL MECHANICS",1995
10. "Operating Instructions",ELE International
11. JOSEPH E. BOWLES,"FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN",Fifth Edition,1996
12. สถาพร คูวิจิตรจารุ,"ทดลองปฐพีกลศาสตร์",พิมพ์ครั้งที่ 1,2541
13. สถาพร คูวิจิตรจารุ,"การเจาะสำรวจดิน เก็บตัวอย่างดิน และการทดสอบดินในสนาม",มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,2542
14. การอบรมเรื่อง,"การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ และในสนามรามถึงการแปลข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล",สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้