งบวิจัย สกว. ปีงบประมาณ 2547-2548 RUMTT, RMUTR, KMUTT., Copyrigth2006

คู่มือการทดลอง เล่มที่ 1

Laboratory Manual No.1

คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์

Soil Mechanics Laboratory

CivilLabPro Version 1.0

โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา

Development of Computer Programming for Civil Engineering Testing in Laboratory Project

งบประมาณการวิจัย ปีงบประมาณ 2547-2548
สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)

ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย

นายวิชา สุธาสิส (Mr.Wicha Sutasit)
ผู้จัดการบริษัทวิสแลนด์ จำกัด

นายสมศักดิ์ คำปลิว (Mr.Somsak Kampliew)
ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตอุเทนถวาย

คณะผู้จัดทำ

รศ.สุกิจ นามพิชญ์ (Ass.Proff.Sukij Nampich)
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและพัฒนาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์ (Mr.Chusak Kererat)
หัวหน้าสาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตวังไกลกังวล

นายเอกรัตน์ รวยรวย (Mr.Ekarut Ruayruay)
อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นายศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์ (Mr.Supasit Pongsiwasathit)
อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์โยธา ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

นายสุธี ปิยะพิพัฒน์ (Mr.Suthee Piyapipat)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์โยธา ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

จัดพิมพ์เมื่อ 29 **มิถุนายน พ.ศ.** 2549

สารบัญ

หน้า

S01: การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน	1-15
S02: การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	16-31
S03: การทดสอบการเจาะสำรวจดิน	32-50
S04: การทดสอบหากำลังแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา	51-65
S05: การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน	66-79
S06: การทดสอบการหาขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์	80-104
S07: การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก	105-129
S08: การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	130-150
S09: การทดสอบการบดอัดดิน	151-170
S10: การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์	171-197
S11: การทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย	198-217
S12: การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ	218-261
S13: การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง	262-299
S14: การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด	300-326
S15: การทดสอบหาค่ากำลังอัดของดินแบบสามแกน	327-362

การทดลองที่ 1

การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน
Determination of Water Content and Unit Weight

ทฤษฎีและหลักการ

มวลดินประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือมวลของแข็ง (Solid) ซึ่งเป็นอนุภาคของแร่ (Mineral Particles) และอินทรีย์สาร โดยอนุภาคมีรูปร่าง 3 มิติ มีผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Void) ภายในช่องว่างจะบรรจุด้วยมวลของน้ำ (Water) และมวลของอากาศ (Air) ซึ่งจะเรียกว่าดินชื้นหรือดินเปียก (Wet Soil) บางสภาวะช่องว่างระหว่างเม็ดดินอาจมีเฉพาะมวลของน้ำจะเรียกว่าสภาวะอิ่มตัว (Saturation) หรืออาจมีเฉพาะมวลของอากาศจะเรียกว่าอยู่ในสภาพดินแห้ง (Dry Soil) การหาปริมาณความชื้นในมวลดิน (Water Content, w) คือ การหาอัตราส่วนระหว่างมวลหรือน้ำหนักของน้ำต่อมวลหรือน้ำหนักของเม็ดดินที่มีอยู่ในมวลดินวิธีการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลดินจะมีวิธีการทดสอบอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

- การคำนวณหาปริมาณความชื้นในดินโดยวิธีตู้อบธรรมดา (Conventional Oven – Method)
- การคำนวณหาปริมาณความชื้นในดินโดยวิธีตู้อบไมโครเวฟ (Microwave Oven – Method)
- การคำนวณหาปริมาณความชื้นในดินโดยใช้แคลเซี่ยมคาไบค์เป็นตัวทำความชื้น (Calcium Carbide Gas Moisture Tester)

ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight) เป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการคำนวณหาค่าหน่วยแรงกดทับของชั้นดินตามธรรมชาติที่ความลึกต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าคงตัวที่เป็นตัวแปรในสูตรการคำนวณต่าง ๆ เช่น การคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกของฐานราก การคำนวณการทรุดตัวของดิน เป็นต้น การทดสอบหาค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร โดยทั่วไปจะจำกัดเฉพาะดินเหนียว ที่สามารถตั้งรูปทรงได้ ตัวอย่างที่ทดสอบต้องเป็นตัวอย่างดินคงสภาพ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถทดสอบกับ

ตัวอย่างทราย - กรวดได้เพราะไม่สามารถเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพได้ (การเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบางโดยทั่วไปถือว่าตัวอย่างจะถูกรบกวนไปบ้างแล้ว) อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องได้ ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรของดินสามารถทำได้หลายวิธี คือ

- วิธีใช้วงแหวนตัวอย่าง (Sample Ring) มีข้อดีที่ทดสอบได้สะดวก รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างดินน้อย ซึ่งจะเป็นตัวอย่างการทดสอบในบทนี้ แต่อาจจะไม่เหมาะกับดินที่มีทรายมีกรวดปน
- วิธีใช้วัดปริมาตรดินในกระบอก เหมาะสำหรับตัวอย่างดินที่แข็งมาก ไม่สามารถดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกได้ และดินที่มีกรวด – ทรายผสม เมื่อดันตัวอย่างดินออกมาแล้ว ดินอาจจะไม่ทรงตัว
- วิธีใช้การหาปริมาตรของดินด้วยการแทนที่น้ำหรือปรอท เหมาะสำหรับดินเหนียวที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำและไม่ซึมซับน้ำเข้าไปในตัวอย่างในระยะเวลาสั้น ๆ สามารถใช้วิธีแทนที่น้ำได้ ส่วนดินที่แห้งหรือแตกง่ายควรใช้วิธีแทนที่ด้วยปรอท วิธีนี้สามารถใช้กับตัวอย่างดินที่ไม่เป็นรูปทรงที่แน่นอน

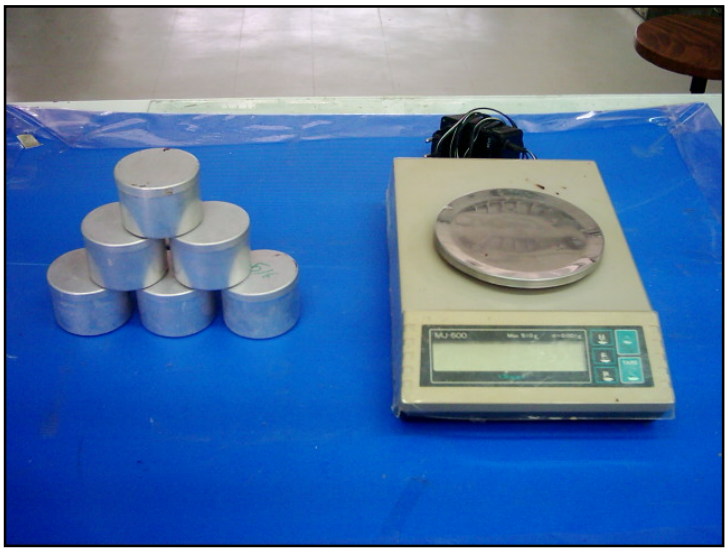
วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติในมวลดินโดยวิธีตู้อบธรรมดา
- เพื่อทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักรวม(Total Unit Weight) ของตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ (Undisturbed Sample)

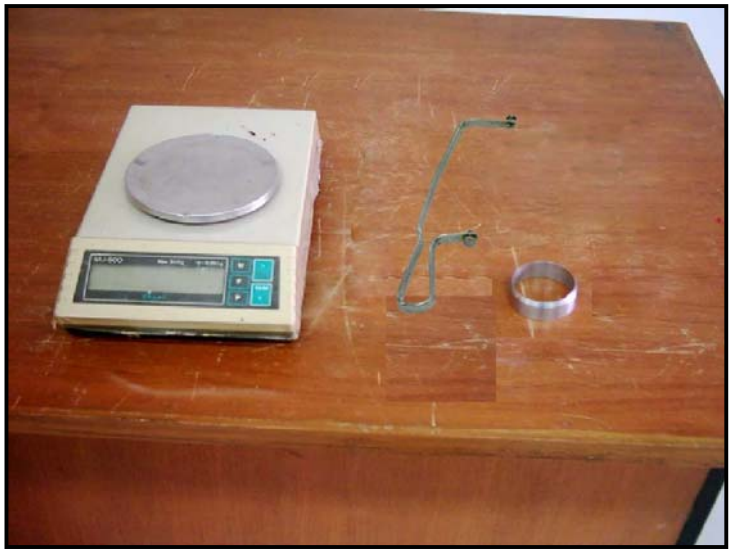
มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- ASTM D 2216 - 98 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and rock by mass
- ASTM D 4718 – 87 Practice for Correction of Unit Wright and Water Content for Soils Containing Oversize Particles

อุปกรณ์และเครื่องมือ



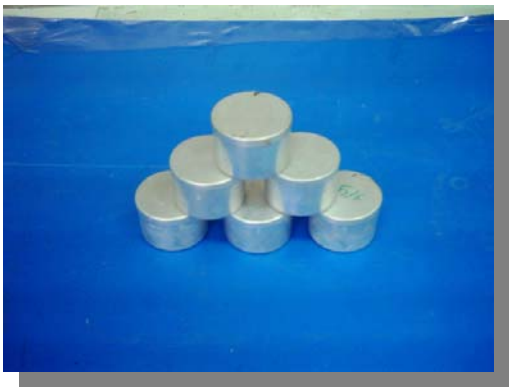
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาปริมาณความชื้นในดิน



อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหาปริมาณความชื้นประกอบด้วย

1) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส
2) กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน (Container)



กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

ตู้อบ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหาหน่วยน้ำหนักประกอบด้วย

1) วงแหวนตัวอย่าง (Sample Ring)
2) เลื่อยเส้นลวด (Wire Saw)

วงแหวนตัวอย่าง

เลื่อยเส้นลวด

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) เครื่องชั่ง (Balance) ชนิดอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม
2) เวอร์เนียร์ (Vernire)
3) จารบีซิลิโคน (Silicone Grease) หรือจารบีธรรมดา

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณความชื้น

ขั้นตอนที่ 1 ทำความสะอาด และเช็ดกระป๋องเก็บตัวอย่างดินพร้อมฝาปิดให้แห้ง แล้วนำกระป๋องเก็บตัวอย่างดินพร้อมฝาปิดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลน้ำหนักกระป๋องที่ได้

ขั้นตอนที่ 2 เลือกตัวอย่างดินที่จะทำการทดลองอย่างน้อย 3 – 5 ตัวอย่าง บรรจุลงในกระป๋องเก็บตัวอย่างแล้วปิดฝาทันที นำไปชั่งน้ำหนัก (ควรให้น้ำหนักของแต่ละตัวอย่างมีความใกล้เคียงกัน และไม่ควรน้อยกว่า 100 กรัม) บันทึกผลน้ำหนักกระป๋องกับน้ำหนักดินเปียกที่ได้

ขั้นตอนที่ 3 นำกระป๋องเก็บตัวอย่างดินเข้าตู้อบ โดยนำฝากระป๋องวางไว้ใต้กระป๋องก่อน และใช้อุณหภูมิในการอบที่ 105 ± 5 °C อย่างน้อย 16 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของดินไม่เปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนที่ 4 นำกระป๋องเก็บตัวอย่างดินออกจากตู้อบ แล้วนำฝากระป๋องมาปิดไว้ โดยทิ้งไว้ให้กระป๋องเย็นก่อน (สามารถจับได้ด้วยมือเปล่า) จึงนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลน้ำหนักกระป๋องกับน้ำหนักดินแห้งที่ได้

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักรวม

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินเหนียว (Clay) แบบคงสภาพจากกระบอกบาง

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 ชั่งวงแหวนตัวอย่าง พร้อมทั้งวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและวัดความสูง 2 – 3 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 2 ใช้จารบี ทาภายในวงแหวนบาง ๆ

ขั้นตอนที่ 3 ตัดตัวอย่างดินที่จะใช้ทดสอบให้มีความยาวกว่าความสูงของวงแหวนเล็กน้อย วางตัวอย่างดินลงบนพื้นโต๊ะ ใช้เลื่อยเส้นลวดตัดตัวอย่างดินในแนวตั้งให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวนเล็กน้อย ตั้งวงแหวนลงบนตัวอย่างดิน แล้วกดวงแหวนลงในดินตามแนวดิ่ง จนกระทั่งมิดและดินภายในวงแหวนพ้นขอบวงแหวนเล็กน้อย ใช้เลื่อยเส้นลวดตัดดินทั้งหัวและท้ายให้เรียบ ทำความสะอาดเศษดินที่ดินอยู่นอกวงแหวนจนสะอาด

ขั้นตอนที่ 4 นำวงแหวนที่มีตัวอย่างดินบรรจุอยู่ขึ้นชั่งน้ำหนัก พร้อมจดบันทึกค่า

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน

Water Content and Unit Weight

Project Name	: บริเวณสระเก็บน้ำ	Date of Test	: 10/18/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: -
Soil Sample	: ดินเหนียว	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1.6

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.		A-1	A-2	A-3		
Mass of Can + Wet soil	(g)	42.546	43.891	42.073		
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.324	39.529	37.781		
Mass of Can	(g)	20.112	20.089	20.218		

Unit Weight of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Diameter of Sample Ring	(cm)	4.8	4.8	4.8		
Height of Sample Ring	(g)	2.01	2.02	2.00		
Mass of Sample Ring	(g)	11.78	11.78	11.78		
Mass of Sample Ring + Soil	(g)	69.27	69.79	69.84		

การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน

Water Content and Unit Weight

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					

Unit Weight of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Diameter of Sample Ring	(cm)					
Height of Sample Ring	(g)					
Mass of Sample Ring	(g)					
Mass of Sample Ring + Soil	(g)					

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ปริมาณความชื้นในมวลดิน คิดเป็นร้อยละ (Water Content , w %)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 \quad (\%) \quad \text{..... (1.1)}$$

เมื่อ

W_C = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

W_1 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินรวมกับน้ำหนักดินเปียก

W_2 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินรวมกับน้ำหนักดินแห้ง

$$w = \frac{W_w}{W_S} \times 100 \quad (\%) \quad \text{..... (1.2)}$$

เมื่อ

W_w = น้ำหนักของน้ำ

W_S = น้ำหนักดินแห้ง

2. ปริมาตรวงแหวน (เท่ากับปริมาตรตัวอย่างดิน)

$$V = \frac{\gamma d^2 h}{4} \quad \text{..... (1.3)}$$

เมื่อ

d = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางวงแหวน ซม.

h = ค่าเฉลี่ยความสูงวงแหวน ซม.

3. น้ำหนักของตัวอย่างดิน

W = (น้ำหนักวงแหวน + ดิน) – (น้ำหนักวงแหวน) ..... (1.4)

4. น้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight)

$$\gamma_t = \frac{w}{v} \quad \text{กรัม / ซม}^3.$$

$$= \frac{w}{v} \times 9.807 \quad \text{กน. / ม}^3 \quad \text{..... (1.5)}$$

5. น้ำหนักแห้งต่อหน่วยปริมาตร (Dry Unit Weight) ในกรณีรู้ค่าความชื้นของดิน

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t \times 100}{(100 + w)} \times 9.807 \quad \text{กน. / ม}^3 \quad \text{..... (1.6)}$$

เมื่อ

w = ปริมาณความชื้นในมวลดิน %

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน

Water Content and Unit Weight

Project Name	: บริเวณสรเก็บน้ำ	Date of Test	: 10/18/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: -
Soil Sample	: ดินเหนียว	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 1.6

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.		A-1	A-2	A-3		
Mass of Can + Wet soil	(g)	42.546	43.891	42.073		
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.324	39.529	37.781		
Mass of Can	(g)	20.112	20.089	20.218		
Mass of Wet Soil	(g)	4.22	4.36	4.29		
Mass of Dry Soil	(g)	18.21	19.44	17.56		
Water Content	(%)	23.17	22.43	24.43		

Unit Weight of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Diameter of Sample Ring	(cm)	4.8	4.8	4.8		
Height of Sample Ring	(g)	2.01	2.02	2.00		
Mass of Sample Ring	(g)	11.78	11.78	11.78		
Mass of Sample Ring + Soil	(g)	69.27	69.79	69.84		
Mass of Soil	(g)	57.49	58.01	58.06		
Volume of Sample Ring	(cm^3)	36.37	36.55	36.19		
Density of Soil	(g/cm^3)	1.58	1.59	1.60		
Unit Weight of Soil	(kN/m^3)	15.50	15.60	15.70		

การทดสอบหาปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดิน
Water Content and Unit Weight

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					
Mass of Wet Soil	(g)					
Mass of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					

Unit Weight of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Diameter of Sample Ring	(cm)					
Height of Sample Ring	(g)					
Mass of Sample Ring	(g)					
Mass of Sample Ring + Soil	(g)					
Mass of Soil	(g)					
Volume of Sample Ring	(cm^3)					
Density of Soil	(g/cm^3)					
Unit Weight of Soil	(kN/m^3)					

การรายงานผลการทดสอบ

1) ลักษณะทางกายภาพของดินตัวอย่าง
2) สภาพของดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
3) ปริมาณความชื้นในมวลดินคิดเป็นร้อยละ (%)
4) ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight)
5) ค่าน้ำหนักแห้งต่อหน่วยปริมาตร (Dry Unit Weight) กรณีรู้ค่าปริมาณความชื้น

ข้อควรระวัง

1) ต้องแน่ใจว่าระยะเวลาในการอบดินเพียงพอต่อการทำให้ดินแห้ง เพราะถ้าหากระยะเวลาไม่เพียงพอจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าความเป็นจริง
2) ต้องตรวจสอบอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 105 $\pm$ 5 $^{\circ}$**C** ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าความเป็นจริง
3) ควรทำความสะอาดรอบๆ วงแหวนก่อนนำไปชั่งหาน้ำหนักของวงแหวนรวมกับดิน

การทดลองที่ 2

การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

Determination of Specific Gravity of Soil

ทฤษฎีและหลักการ

ดินตามธรรมชาติ(Natural Soil) จะประกอบด้วย อากาศ น้ำ และเม็ดดินโดยเม็ดดินจะเกิดจากการรวมตัวกันของแร่ธาตุที่แตกต่างกันออกไปดังนั้นจึงเป็นผลให้ดินในแต่ละพื้นที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน ในขณะที่น้ำจะมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันแต่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

ความถ่วงจำเพาะของดินคืออัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับดินในอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของดินได้ และยังจะสามารถที่จะนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ ในการคำนวณค่าคุณสมบัติอื่นๆ เช่นความพรุน (Porosity) อัตราส่านช่องว่าง (Void Ratio) ของดิน ระดับความอิ่มตัว (Saturation) ความหนาแน่น (Density) เป็นต้น ทั้งยังสามารถนำค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินไปใช้สำหรับวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์แบบ 151 H ได้ด้วย

โดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของดินจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.6 - 2.8 ถ้าค่าต่ำกว่านี้ก็อาจจะมีพวกอินทรีย์สารหรือพวกธาตุเบาต่างๆปะปนอยู่ และถ้าค่าสูงกว่านี้ก็อาจมีธาตุหนักปะปนอยู่ สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะโดยทั่วไปของดินชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง ที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน , G_s
Sand	2.65 - 2.67
Silty Sand	2.67 - 2.70
Inorganic Clay	2.70 - 2.80
Soil with Mica or Iron	2.75 - 3.00
Organic Soil	1.00 - 2.60

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวแปรปรับแก้ , K

อุณหภูมิ °C	ความหนาแน่นของน้ำ , กรัม/ซม.^{3}	ค่าตัวแปรปรับแก้ , K
16	0.99897	1.0007
17	0.99880	1.0006
18	0.99862	1.0004
19	0.99843	1.0002
20	0.99823	1.0000
21	0.99802	0.9998
22	0.99780	0.9996
23	0.99757	0.9993
24	0.99732	0.9991
25	0.99707	0.9989
26	0.99681	0.9986
27	0.99654	0.9983
28	0.99626	0.9980
29	0.99597	0.9977
30	0.99567	0.9974

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)โดยใช้ Volumetric Flask ขนาด 500 ml

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 854 – 00 Standard Test Methods for Specific Gravity Of Soil Solids By Water Pycnometer

อุปกรณ์และเครื่องมือ

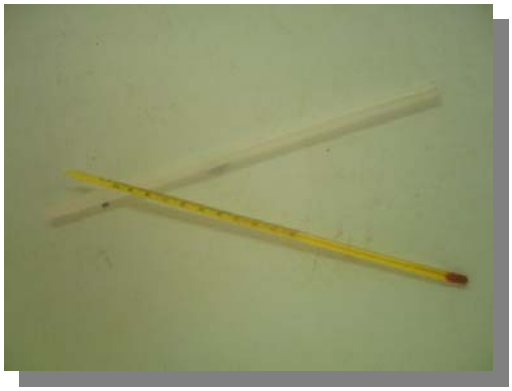
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

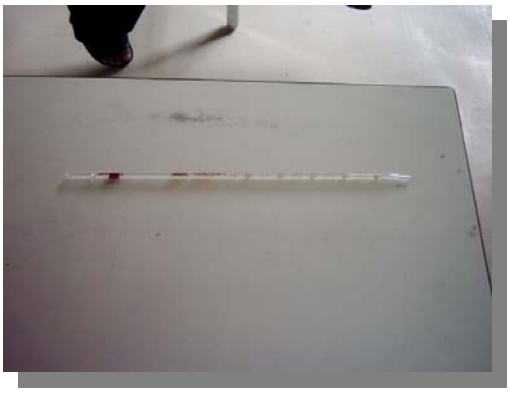
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) ขวดแก้วฟลาส(Volumetric Flask)ขนาดความจุ 500 mlที่สามารถทนความร้อนได้สูง
2) เทอร์โมมิเตอร์ 0 - 100 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด 0.1-0.5 องศาเซลเซียส
3) แท่งแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มม. ยาว 30 ซม. แท่งแก้วคน
4) หลอดใช้ดูดน้ำออกหรือเพิ่มน้ำใน Volumetric Flask

ขวดแก้ว



เทอร์โมมิเตอร์



แท่งแก้ว

หลอดดูดน้ำ

น้ำกลั่น

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ± 5 °c
2) เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียด 0.01 กรัม
3) เตาและภาชนะต้มน้ำ หรือเครื่องปั้มสุญญากาศ

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินเหนียว หรือดินทราย ประมาณ 500 กรัม

ขั้นตอนการทดสอบ

การสอบเทียบ (Calibrate) ขวดฟลาส ก่อนหรือหลังการทดลอง

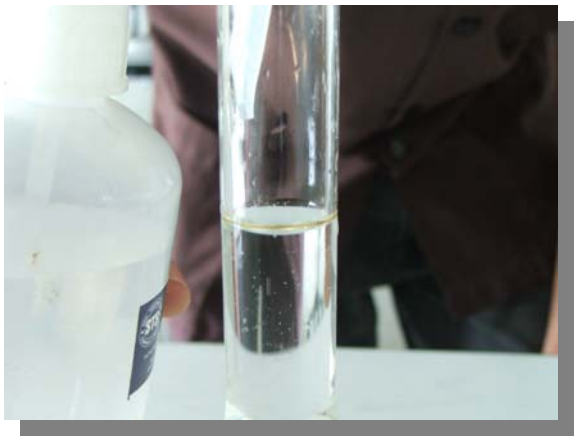
วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักน้ำในขวดฟลาส (ที่ขีดปริมาตร 500 ซม^3) และน้ำหนักขวดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน (ในช่วงที่ทำการทดลอง) สำหรับอ่านค่าน้ำหนักของน้ำในขวดฟลาสที่อุณหภูมิทดลอง

วิธีการหาด้วยวิธีการทดลอง (Experimental Procedure)

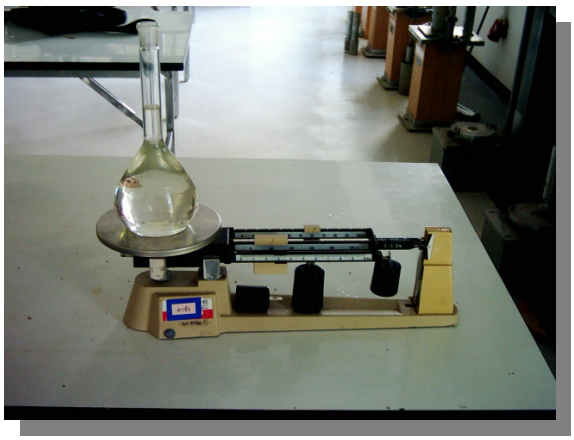
1) ทำความสะอาดขวดแก้วฟลาสที่จะใช้ทำการทดลอง
2) เติมน้ำกลั่นในขวดประมาณ 3/4 ของคอขวด (เพื่อไม่ให้น้ำเดือดขวดแก้วจะแตก)

3) ไล่อากาศในน้ำ ด้วยการต้มน้ำให้เดือดในเตาบุนเส็น หรือ เตาแผ่นร้อน (Hot Plate) ประมาณ 10 นาที นำขวดแก้วลงจากเตา เติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ฟองอากาสทิ้งไว้แล้วลงในขวดแก้วฟลาสให้เต็มด้วยวิธีการลักน้ำ (Siphon) จุ่มปลายสายยางลงใต้ผิวน้ำเพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปผสมในน้ำอีก ปล่อยให้เย็น ถ้าต้องการให้เย็นเร็ว อาจแช่ในแช่อ่างน้ำ (Water Bath) จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 40(50) องศา ตรวจสอบว่าอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วเท่ากันทุกระดับถ้าไม่เท่ากันคลึงขวดเอียงไปมาหรือใช้หลอดแก้วคน

4) แต่งขอบน้ำให้อยู่ที่ขีดบอกปริมาตร 500 ซม^3 สังเกตขอบล่างของโค้งผิวน้ำ เช็ดขวดภายนอกและภายในเหนือผิวน้ำให้แห้ง



5) นำขวดแก้วและน้ำ ขึ้นชั่ง และวัดอุณหภูมิน้ำ ตรวจสอบอีกครั้งว่าอุณหภูมิของน้ำในขวดเท่ากันทุกระดับหรือไม่



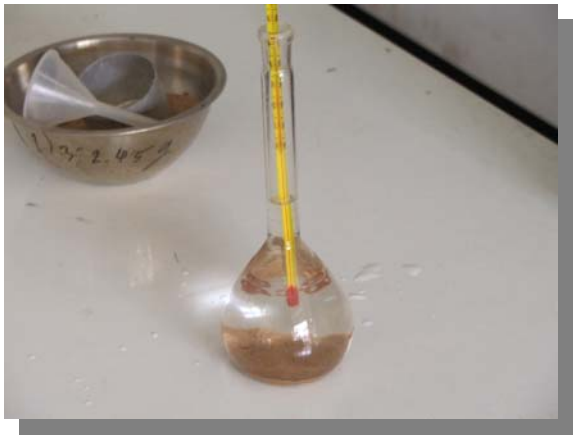
6) ทำการทดลองในข้อ 4 – 5 อีก 3 – 4 ครั้ง ในช่วงอุณหภูมิจากประมาณ 40(หรือ 50) องศา จนถึงอุณหภูมิห้อง ถ้าต้องการให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของห้อง ใช้น้ำแข็งผสมในอ่างแช่น้ำ แต่ต้องระวังขณะอ่านค่า อุณหภูมิทดลองจะต้องกวนน้ำ (แบบไม่ให้อากาศเข้าไปผสม) ให้มีอุณหภูมิเท่ากันทั่วขวด

ขั้นตอนการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

ขั้นตอนที่ 1 นำดินใส่ในขวดแก้วฟลาสและใส่น้ำลงไปประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรขวดโดยให้ดินจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมดและอย่าให้ดินติดอยู่ข้างๆ ขวด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการไล่ฟองอากาศโดยใช้ ปั๊มสูญอากาศ (Vacuum Pump) แรงดูด 10 - 20 นิ้วปรอท ประมาณ 4 - 5 ชั่วโมงหรือนำไปกวนในน้ำร้อนอย่างน้อย 10 นาที หรือจะทำทั้งสองอย่างควบคู่กันไปก็ได้โดยใช้ ปั๊มสุญญากาศไม่น้อยกว่า 10 นาทีแล้วจึงกวนในน้ำร้อนอีกประมาณ 10 นาที พร้อมกับกลิ้งขวดไปมาหลายรอบทำเช่นนี้สลับกันไปเรื่อยๆและคอยสังเกตว่ามีฟองอากาศเกิดขึ้นอีกหรือไม่ ทำจนกระทั่งฟองอากาศหมดไปซึ่งต้องใช้เวลาและความละเอียดในการสังเกต

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากไล่ฟองอากาศหมดแล้ว ทำการเติมน้ำกลั่นให้ระดับท้องน้ำอยู่ที่ขีด 500 มิลลิลิตร พอดี ในการเติมน้ำกลั่นนี้ควรใช้หลอด และปล่อยน้ำกลั่นจากหลอดโดยจุ่มปากหลอดให้อยู่ใต้ระดับน้ำในขวดฟลาสเพื่อป้องกันอากาศลงไปอีก แล้วตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องทดสอบจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำใน Flask เท่ากับอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ต้องการ (โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์คอยเช็คดูอยู่เสมอ) และคอยสังเกตว่าถ้าระดับในขวดฟลาสต่ำว่าขีด 500 มิลลิลิตร ก็ให้เติมน้ำกลั่นให้ท้องน้ำพอดีกับขีดอยู่เสมอ



ขั้นตอนที่ 4 นำขวดฟลาสไปชั่ง จะได้เป็นน้ำหนักของขวดฟลาส + น้ำ + ดิน (Flask + Water + Soil) แล้วจึงทำการวัดอุณหภูมิโดยจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่ประมาณกึ่งกลางกระเปาะของขวด Flask คอยจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ แล้วจึงบันทึกค่าอุณหภูมินี้ไว้ หลังจากนั้นนำไปเทใส่ภาชนะโดยต้องเทดินออกให้หมด จนกระทั่งขวดFlaskสะอาด เสร็จแล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน

ขั้นตอนที่ 5 นำดินที่อบแห้งแล้วไปชั่งแล้วบันทึกค่า เมื่อลบน้ำหนักภาชนะออก จะได้เป็นน้ำหนักของดินแห้ง

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน

Specific Gravity Test

Project Name	: Test	Date of Test	: 11/21/2547	Sample No.	: 1
Location	: kkw	Tested by	: Mr.Somjit Thongseekao	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Clay	Checked by	: Mr.Chusak Kererat	Depth (m)	: 1.6

Calibration Data

No.	Flask + Water (g)	Temperature (°C)
1	672.84	35
2	673.50	30
3	674.36	25
4	674.88	20
5		
6		
7		

Testing Data

Trial No.		1	2	3	4	5	6
1. Temperature	°C	30	28				
2. Flask + Water	g	673.54	673.82				
3. Flask + Water + Soil	g	705.86	706.50				
4. Container No.		C-1	C-2				
5. Dry Soil + Container	g	313.80	289.40				
6. Weight of Container	g	263.50	238.50				

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน
Specific Gravity Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Calibration Data

No.	Flask + Water (g)	Temperature (^{o}C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Testing Data

Trial No.		1	2	3	4	5	6
1. Temperature	^{o}C						
2. Flask + Water	g						
3. Flask + Water + Soil	g						
4. Container No.							
5. Dry Soil + Container	g						
6. Weight of Container	g						

ตัวอย่างการคำนวณ

$$G_S = \frac{W_S K}{Ws + W_{FW} - W_{FWS}} \quad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ

G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่อุณหภูมิน้ำ 20°C

W_S = น้ำหนักของตัวอย่างดินที่อบแห้ง

W_{FW} = น้ำหนักของ Volumetric Flask + น้ำ ที่อุณหภูมิหนึ่ง

W_{FWS} = น้ำหนักของ Volumetric Flask + น้ำ + ดินแห้ง ที่อุณหภูมิเท่ากับ W_{FW}

K = เป็นค่าตัวแปรปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

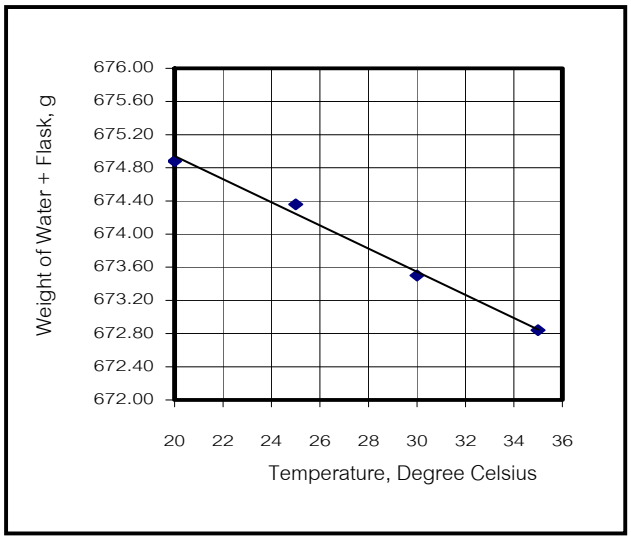
การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน

Specific Gravity Test

Project Name	: Test	Date of Test	: 11/21/2547	Sample No.	: 1
Location	: kkw	Tested by	: Mr.Somjit Thongseekao	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Clay	Checked by	: Mr.Chusak Kererat	Depth (m)	: 1.6

Calibration Data

No.	Flask + Water (g)	Temperature (°C)
1	672.84	35
2	673.50	30
3	674.36	25
4	674.88	20
5		
6		
7		



Testing Data

Trial No.		1	2	3	4	5	6
1. Temperature	°C	30	28				
2. Flask + Water	g	673.54	673.82				
3. Flask + Water + Soil	g	705.86	706.50				
4. Container No.		C-1	C-2				
5. Dry Soil + Container	g	313.80	289.40				
6. Weight of Container	g	263.50	238.50				
7. Dry Soil	g	50.30	50.90				
8. Correction Factor		0.9957	0.9963				
9. Specific Gravity		2.79	2.78				
10. Average Specific Gravity		2.785					

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน
Specific Gravity Test

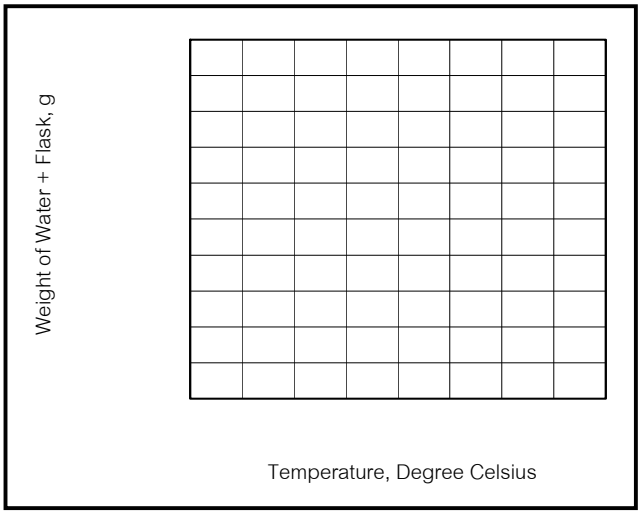
Project Name :
Location :
Soil Sample :

Date of Test :
Tested by :
Checked by :

Sample No. :
Boring No. :
Depth (m) :

Calibration Data

No.	Flask + Water (g)	Temperature (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		



Testing Data

Trial No.		1	2	3	4	5	6
1. Temperature	°C						
2. Flask + Water	g						
3. Flask + Water + Soil	g						
4. Container No.							
5. Dry Soil + Container	g						
6. Weight of Container	g						
7. Dry Soil	g						
8. Correction Factor							
9. Specific Gravity							
10. Average Specific Gravity							

การรายงานผลการทดสอบ

1) ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน
2) ค่าที่ได้จากการทดสอบบ่งชี้ถึงดินอะไร
3) ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ข้อควรระวัง

1) ในการตรวจวัดค่าในขวดฟลาสหรือน้ำผสมดิน จะต้องมีอุณหภูมิเสมอในขณะวัด
2) จะต้องชั่งมวลของภาชนะก่อนจะนำของผสมระหว่างน้ำและดินเทลงไป
3) ต้องไม่ให้ดินที่ใช้ในการทดสอบสูญเสียระหว่างเทลงในขวดฟลาส
4) ต้องให้ส่วนโค้งของน้ำด้านล่างอยู่ตรงขีดของขวดทุกครั้งเมื่อนำไปชั่ง

การทดลองที่ 3

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

ทฤษฎีและหลักการ

การสำรวจดินในงานก่อสร้าง มีความสำคัญในการเป็นข้อมูลประกอบงานออกแบบ และส่งผลให้งานก่อสร้างดำเนินไปด้วยความประหยัดและมีความปลอดภัย ข้อมูลดินเป็นสิ่งที่สำคัญในงานทางวิศวกรรมโยธาทั่วไป เช่น ในกรณีเพื่อก่อสร้างใหม่ ข้อมูลดินเป็นประโยชน์ในการเลือกชนิดและความลึกฐานราก ประเมินการทรุดตัวฐานราก หาระดับน้ำใต้ดิน หาแรงดันต่อผนังกันดิน หาแนวทางแก้ปัญหาละอุปสรรคในงานก่อสร้างหรือกรณีงานถนน สนามบิน พิจารณาเลือกแหล่งวัสดุ ใช้ออกแบบเสาเข็มสะพาน ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด (Slope Stability) เป็นต้น

การสำรวจดินจะทำให้ทราบถึงสภาพและลักษณะของชั้นดินในบริเวณที่ต้องการทำการก่อสร้างหรือในบริเวณโครงการ โดยการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินซึ่งอาจจะหาได้จากการทดสอบในสนาม(In-situ Test) หรือทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) ทั้งยังทำให้สามารถคาดคะเนถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างทำการก่อสร้างได้อีกด้วย สำหรับการทดสอบบางอย่างต้องนำดินไปทดสอบ หาค่าคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการแต่สำหรับการสำรวจในโครงการเพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์เพื่อใช้ ในการประเมินเบื้องต้น จะเรียกว่าเจาะการสำรวจดิน ซึ่งจุดประสงค์หลักในการเจาะสำรวจดินมีดังต่อไปนี้

1) เพื่อประเมินความเหมาะสมของโครงการและสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการวางแผนการดำเนินงาน
2) เพื่อใช้เป็นรายละเอียดซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการออกแบบให้เกิดความประหยัด
3) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคาดการณ์ล่วงหน้าถึงความยากลำบากในการก่อสร้าง และเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในโครงการ ในบางกรณีเป็นการสำรวจถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง
4) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะเกิดจากธรรมชาติ หรือผลกระทบจากการก่อสร้างต่อบริเวณที่อยู่ใกล้เคียง
5) เพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการตัดสินใจถึงความเหมาะสมที่จะใช้เป็นพื้นที่โครงการ

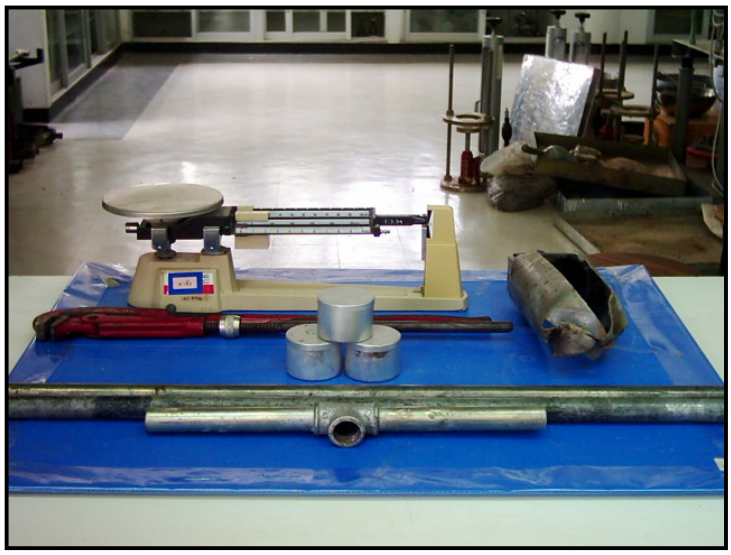
วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อฝึกให้รู้จักการเก็บตัวอย่างดิน และเก็บรายละเอียดทางกายภาพของดินด้วยวิธีการใช้สว่านมือ
- เพื่อให้สามารถเขียนภาพตัดของดิน (Boring Log) อย่างง่ายได้
- เพื่อเก็บตัวอย่างดินไว้ใช้ในการทดสอบครั้งต่อไป

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D1452-80(2000) Standard Practice For Soil Investigation And Sampling By Auger Boring

อุปกรณ์และเครื่องมือ



อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการเจาะสำรวจดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการเจาะสำรวจดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) สว่านเจาะดินแบบมือหมุน (Hand Auger)

2) ด้ามต่อ (Extension Rod)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ° C ± 5° C
2) กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน (Container) ควรเป็นโลหะและมีฝาปิด
3) เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียด 0.01 กรัม
4) ประแจจับท่อ
5) ตลับเมตรไว้ใช้วัดความลึก

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 นักศึกษาแต่ละกลุ่มให้ใช้สว่านแบบมือหมุนเจาะดินลึกอย่างน้อย 3 เมตร หรือเจาะจนกระทั่งเจอหินแข็ง หรือ พบระดับน้ำซึ่งไม่สามารถเจาะต่อไปได้

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเจาะลึกทุกๆ 0.50 เมตร ให้เก็บตัวอย่างดินใส่กระป๋องอบดินเพื่อนำไปหาค่าปริมาณความชื้น พร้อมทั้งบันทึกลักษณะของดิน

ขั้นตอนที่ 3 เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบครั้งต่อไป

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Project Name	: Sample	Date of Test	: 1/31/2548	Sample No.	: 1
Location	: kkw	Water Table	: 0.60	Boring No.	: 1
Test by	: Mr.Montree Rittiboon	Checked by	: Mr.Chusak Kererat	Depth (m)	: 3.00

Sample	Depth		Water	Atterberg Limit		Wet Unit	USC	Shear Strength		SPT	Length
	From (m)	To (m)	Content (%)	L.L. (%)	P.L. (%)	Weight (t/m^2)		Method	Su (t/m^2)		Recovery (m)
HA-1	0.00	0.50									
HA-2	0.50	1.00									
HA-3	1.00	1.50									
HA-4	1.50	1.80									
HA-5	1.80	2.10									
HA-6	2.10	2.50									
HA-7	2.50	3.00									

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Depth(m)		USC	Soil Description
From	To		
0.00	0.50		Top Soil
0.50	1.00		Top Soil
1.00	1.50		Silty clay, dark grey with some organic matter
1.50	1.80		Silty clay, dark grey with some organic matter
1.80	2.10		Silty clay, dark grey with some organic matter
2.10	2.50		Silty Clay, light grey brown and yellow
2.50	3.00		Silty Clay, light grey brown and yellow

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน
Soil Investigation

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Mass of Can + Wet soil	(g)	45.992	47.638	45.508	45.165	48.608
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.622	39.758	37.778	38.025	39.208
Mass of Can	(g)	20.132	20.048	20.218	20.185	20.418

Sample No.		6	7	8	9	10
Moisture Can No.		A-6	A-7			
Mass of Can + Wet soil	(g)	42.546	43.891			
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.324	39.529			
Mass of Can	(g)	20.112	20.089			

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน
Soil Investigation

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Water Table	:	Boring No.	:
Test by	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Sample	Depth		Water	Atterberg Limit		Wet Unit	USC	Shear Strength		SPT	Length
	From (m)	To (m)	Content (%)	L.L. (%)	P.L. (%)	Weight (t/m^2)		Method	Su (t/m^2)		Recovery (m)

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Depth(m)		USC	Soil Description
From	To		

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน Soil Investigation

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					

Sample No.		6	7	8	9	10
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ปริมาณความชื้นในมวลดิน คิดเป็นร้อยละ (Water Content , w %)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 \quad (\%) \quad \text{..... (3.1)}$$

เมื่อ

W_c = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

W_1 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินเปียก

W_2 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินแห้ง

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (\%) \quad \text{..... (3.2)}$$

เมื่อ

W_W = น้ำหนักของน้ำ

W_S = น้ำหนักดินแห้ง

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Project Name	: Sample	Date of Test	: 1/31/2548	Sample No.	: 1
Location	: kkw	Water Table	: 0.60	Boring No.	: 1
Test by	: Mr.Montree Rittiboon	Checked by	: Mr.Chusak Kererat	Depth (m)	: 3.00

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Mass of Can + Wet soil	(g)	45.992	47.638	45.508	45.165	48.608
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.622	39.758	37.778	38.025	39.208
Mass of Can	(g)	20.132	20.048	20.218	20.185	20.418
Mass of Wet Soil	(g)	25.86	27.59	25.29	24.98	28.19
Mass of Dry Soil	(g)	18.49	19.71	17.56	17.84	18.79
Water Content	(%)	31	40	44	40	50

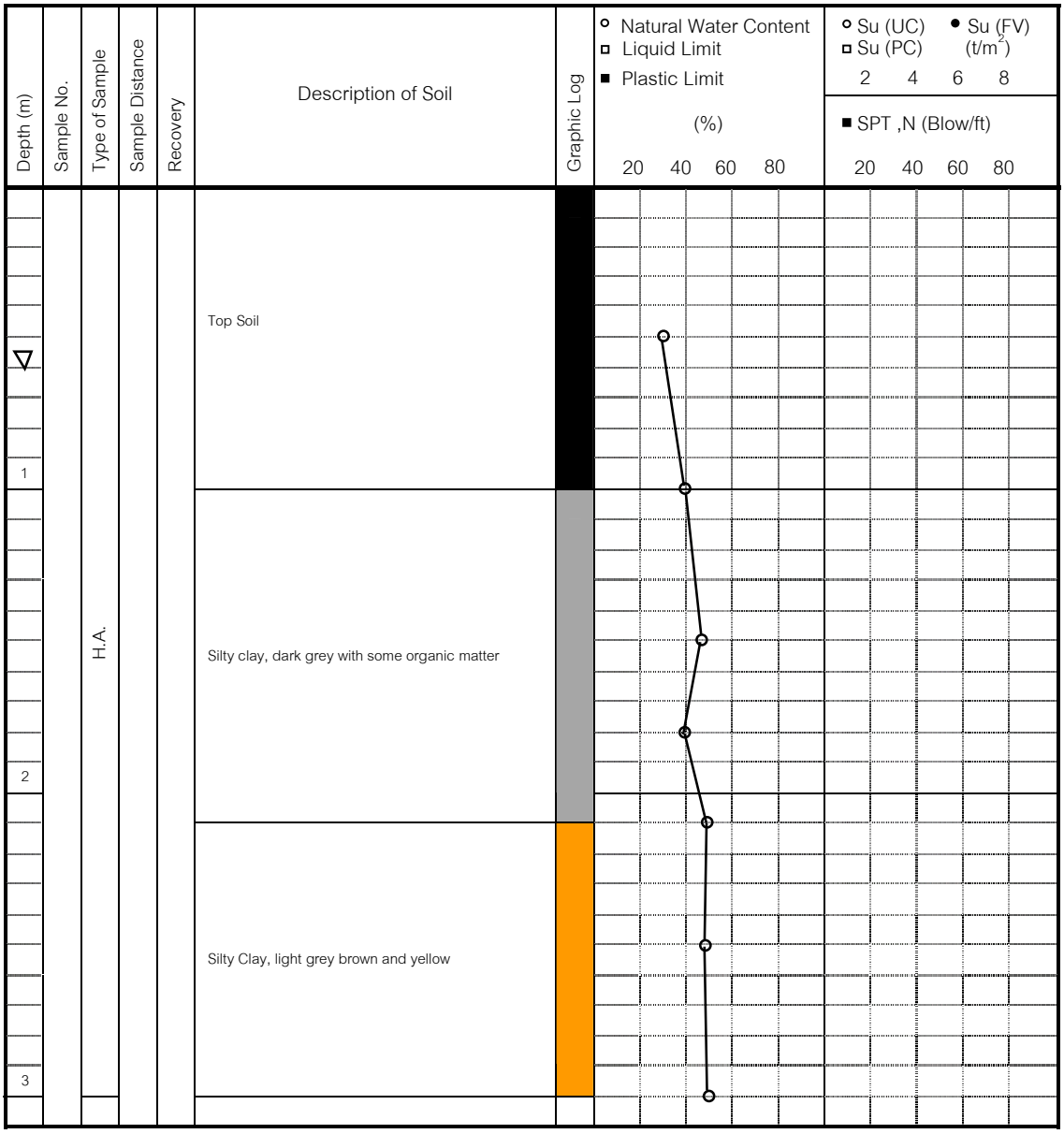
Sample No.		6	7	8	9	10
Moisture Can No.		A-6	A-7			
Mass of Can + Wet soil	(g)	47.242	49.249			
Mass of Can + Dry soil	(g)	38.322	39.529			
Mass of Can	(g)	20.112	20.089			
Mass of Wet Soil	(g)	27.13	29.16			
Mass of Dry Soil	(g)	18.21	19.44			
Water Content	(%)	49	50			

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน
Soil Investigation

Sample	Depth		Water	Atterberg Limit		Wet Unit	USC	Shear Strength		SPT	Length
	From	To	Content	L.L.	P.L.	Weight		Method	Su		Recovery
	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(t/m^2)			(t/m^2)		(m)
HA-1	0.00	0.50	31								
HA-2	0.50	1.00	40								
HA-3	1.00	1.50	44								
HA-4	1.50	1.80	40								
HA-5	1.80	2.10	50								
HA-6	2.10	2.50	49								
HA-7	2.50	3.00	50								

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation



หมายเหตุ H.A. = Hand Auger

M.A = Mechanic Auger

W.S, = Wash Boring

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน
Soil Investigation

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Water Table	:	Boring No.	:
Test by	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Water Content of Soil

Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					
Mass of Wet Soil	(g)					
Mass of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					

Sample No.		6	7	8	9	10
Moisture Can No.						
Mass of Can + Wet soil	(g)					
Mass of Can + Dry soil	(g)					
Mass of Can	(g)					
Mass of Wet Soil	(g)					
Mass of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Project Name :	Date of Test :	Sample No. :
Location :	Water Table :	Boring No. :
Test by :	Checked by :	Depth (m) :

Sample	Depth		Water	Atterberg Limit		Wet Unit	USC	Shear Strength		SPT	Length
	From	To	Content	L.L.	P.L.	Weight		Method	Su		Recovery
	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(t/m^2)			(t/m^2)		(m)

การทดสอบการเจาะสำรวจดิน

Soil Investigation

Depth (m)	Sample No.	Type of Sample	Sample Distance	Recovery	Description of Soil	Graphic Log	○ Natural Water Content □ Liquid Limit ■ Plastic Limit (%) 20 40 60 80	○ Su (UC) ● Su (FV) □ Su (PC) (t/m^2) 2 4 6 8 ■ SPT ,N (Blow/ft) 20 40 60 80
1								
2								
3								

หมายเหตุ H.A. = Hand Auger

M.A = Mechanic Auger

W.S, = Wash Boring

ตารางบันทึกผล

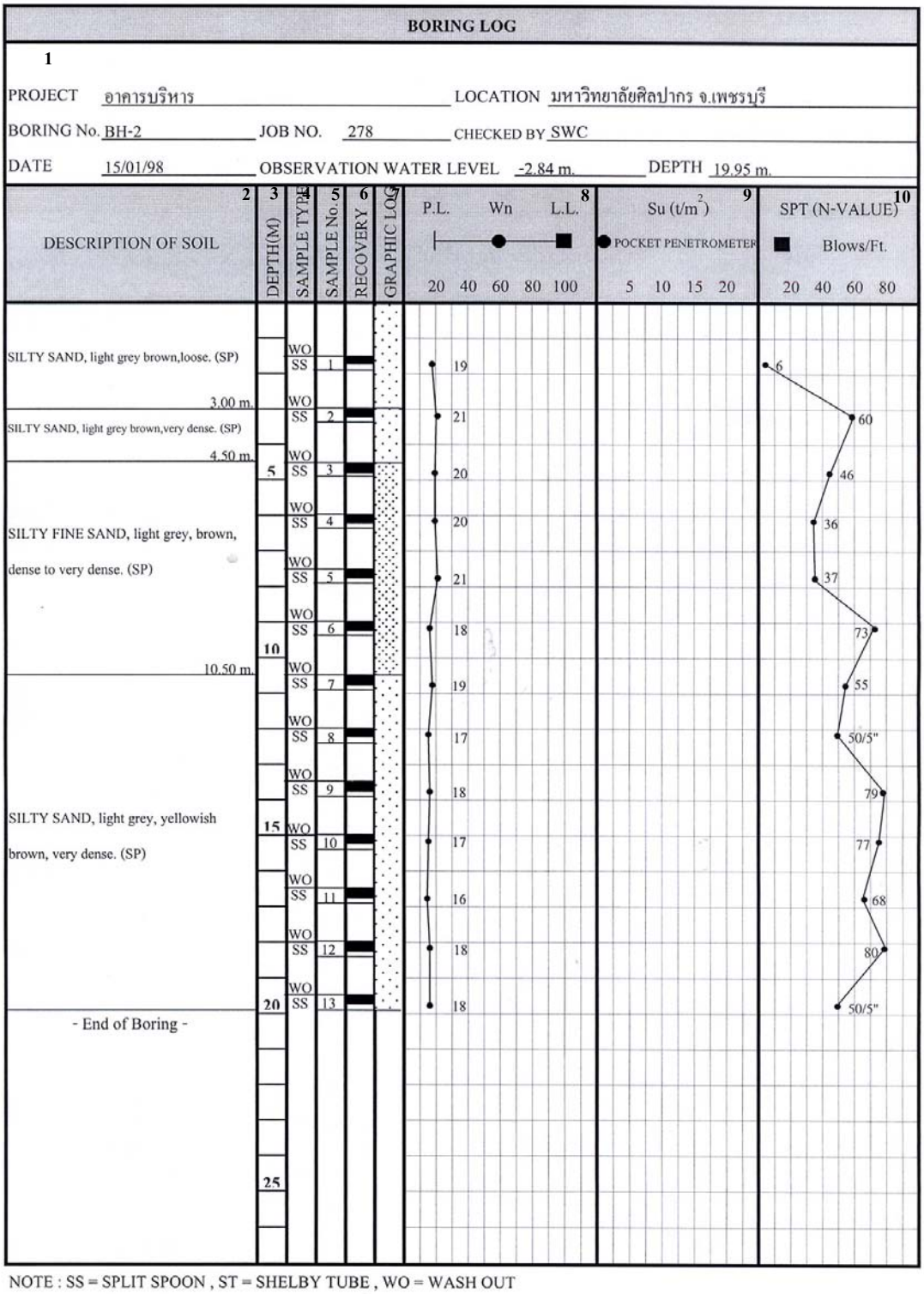
SUMMARY OF TEST RESULTS

PROJECT อาคารบริหาร LOCATION มหาวิทยาลัย ศิลปากร จ.เพชรบุรี

DATE 15/01/98 BORING No. BH-2 JOB No. 278 CHECKED BY SWC OBSERVED WATER LEVEL -2.84 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-VALUE,Blow/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI		No. 3/8	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		UNCONFIED SHEAR	FIELD VANE SHEAR	POCKET PENETROMETER	
SS-1	1.50	1.95	19						100	91	60	2	SP				6
SS-2	3.00	3.45	21										SP				60
SS-3	4.50	4.95	20							100	73	15	SC				46
SS-4	6.00	6.45	20										SC				36
SS-5	7.50	7.95	21										SC				37
SS-6	9.00	9.45	18						100	97	55	19	SC				73
SS-7	10.50	10.95	19						100	99	61	4	SP				55
SS-8	12.00	12.45	17										SP				50/5"
SS-9	13.50	13.95	18										SP				79
SS-10	15.00	15.45	17					100	98	92	62	3	SP				77
SS-11	16.50	16.95	16										SP				68
SS-12	18.00	18.45	18										SP				80
SS-13	19.50	19.95	18										SP				50/5"

SS = Split Spoon ST = Shelby Tute



NOTE : SS = SPLIT SPOON , ST = SHELBY TUBE , WO = WASH OUT

การรายงานผลการทดสอบ

1) ลักษณะของตัวอย่างดิน
2) ปริมาณความชื้นของดินเทียบกับความลึก
3) ภาพตัดของชั้นดิน

ข้อควรระวัง

1) เมื่อเก็บตัวอย่างดินได้แล้วควรป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่าง หรือควรใส่กระป๋องแล้วชั่งทันที
2) เมื่อเจาะสำรวจดินไปแล้ว เจาะไม่ลงอาจจะเจอหินควรต้องเปลี่ยนที่เจาะใหม่

การทดลองที่ 4

การทดสอบหากำลังแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา

Kunzelstab Penetration Test

ทฤษฎีและหลักการ

Kunzelstab เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านการรับน้ำหนักของดินตามธรรมชาติ และยังสามารถบอกถึงความหนาแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดด้วย เครื่องมือชนิดนี้จะใช้ได้ดีกับดินทรายหรือดินปนกรวด (Cohesionless Soil) ถึงแม้จะมีดินเหนียว (Clay) หรือดินร่วน (Silt) ปนอยู่บ้างก็สามารถใช้ได้ การใช้เครื่องมือชนิดนี้ต้องทราบชนิดของดินที่จะทดสอบบ้าง โดยวิธีจำแนกชนิดของดินด้วยสายตาตามความชำนาญ การจำแนกชนิดของดินจะจำแนกจากตัวอย่างดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินด้วย Hand Auger ตรงตำแหน่งที่ต้องการทดสอบแบบหยั่งเบา (Kunzelstab)

สรุปดินที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องมือ ได้แก่

- กรวด (Gravel)
- กรวดปนทราย (Sand – Gravel)
- ทราย (Sand)
- ทรายปนดินลูกรัง (Silty – Sand)
- ดินลูกรังปนทราย (Sandy – Silt)
- ดินลูกรังปนดินเหนียว (Clayey – Silt)

สรุปดินที่ไม่เหมาะสมกับการใช้เครื่องมือ ได้แก่

- ดินเหนียว (Clay)
- ดินเหนียวปนดินร่วน (Clay – Silt)

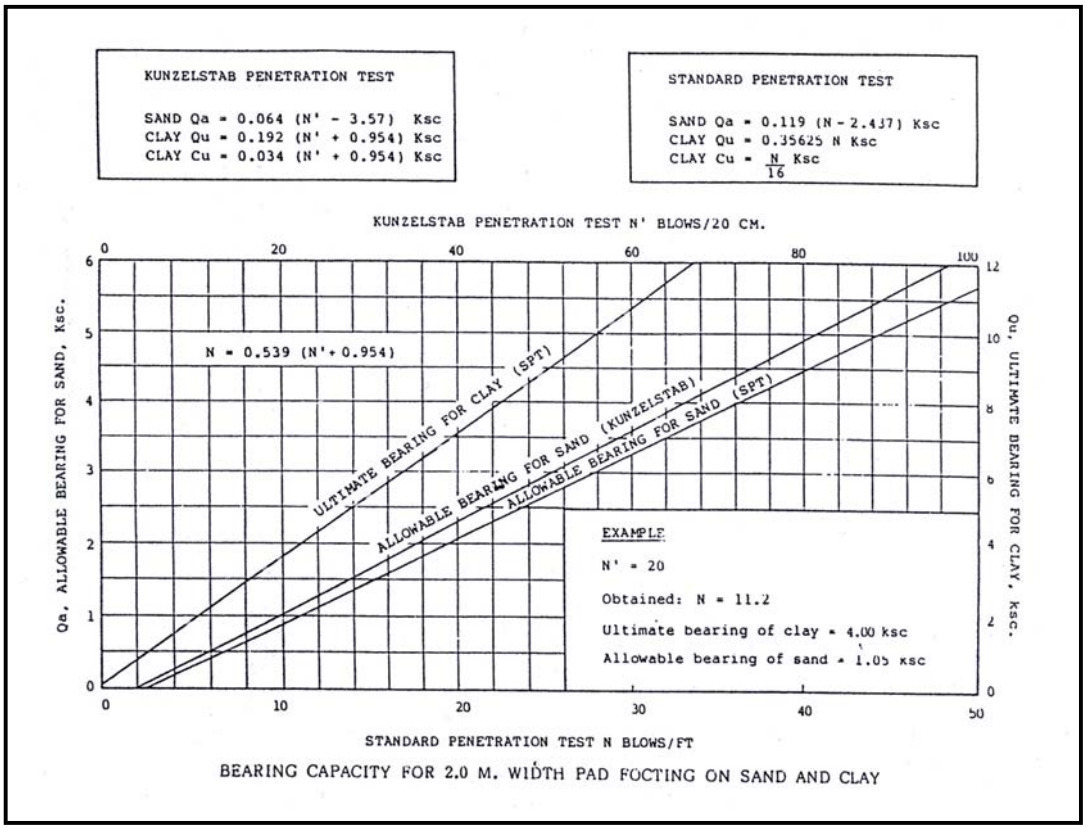
การตอกหยั่งชั้นดินด้วยวิธีของ Kunzelstab นี้เป็นการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของชั้นดิน ณ จุดที่ต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ วิธีการทดสอบโดยใช้หัวกรวยซึ่งมีปลายแหลมทำมุม 90 องศา พื้นที่หน้าตัด 5 ตร.ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.52 ซม. ต่อเข้ากับก้านตอกแล้วตั้งให้อยู่ในแนวดิ่ง จากนั้นนำก้านเหล็กนำพร้อมตุ้มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มาต่อเข้ากับส่วนบนของก้านให้แน่นยกตุ้มตอกแบบอิสระ ในระยะสูง 50 ซ.ม. ด้วยอัตราความเร็ว 30 ครั้ง / 1 นาที และนับจำนวนครั้งที่ตอกต่อ 20 ซม.ของหัวกรวยที่จมลงไปในดิน

การใช้เครื่องมือ Kunzelstab จะใช้สำหรับทดสอบหาค่าความแน่นของดินจากการบดอัด และหากำลังรับน้ำหนักของดินตามธรรมชาติ ซึ่งจะใช้ที่ความลึกไม่เกิน 6.00 เมตร จากระดับผิวดิน

ตารางที่ 4.1 แสดงการแบ่งแยกค่าความแข็งแรงของดินจากการทดสอบด้วย วิธี Kunzelstab

ดินทราย			ดินเหนียว		
จำนวนครั้งที่ตอก ต่อ 20 ซม. N	สภาพดิน	ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด Q_u (T/m^2)	จำนวนครั้งที่ตอก ต่อ 20 ซม. N	สภาพดิน	ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด Q_u (T/m^2)
1 - 6	หลวมมาก	< 3.90	1 - 3	อ่อนมาก	3.75 - 7.59
6 - 22	หลวม	3.90 - 23.10	3 - 6	อ่อน	7.59 - 13.35
22 - 95	แน่นปานกลาง	23.10 - 82.30	6 - 14	ปานกลาง	13.35 - 28.71
มากกว่า 95	แน่น	> 82.30	14 - 39	แข็ง	28.71 - 53.67
			39 - 95	แข็งมาก	53.67 - 107.43
			มากกว่า 95	แข็งที่สุด	> 107.43

จากการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดนี้ สามารถหากำลังรับน้ำหนักของดินโดยปลอดภัยจากตารางสำเร็จ “Standard Penetration Test by Terzaghi and Peck” ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งทำขึ้นโดยมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาและถูกดัดแปลงมาใช้กับเครื่องมือนี้ โดยขึ้นอยู่กับความกว้างของฐานราก แต่วิธีนี้จะใช้การได้กับดินที่เหมาะสม



รูปที่ 4.1 Standard Penetration Test by Terzaghi and Peck

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของดินทางด้านการรับน้ำหนักตามธรรมชาติ โดยวิธีการเจาะหยั่งแบบเบา (Kunzelstab)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- DIN 4094 (Swedish Geotechnical Institute)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการหาปริมาณความชื้นในดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหาปริมาณความชื้นประกอบด้วย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) ท่อนเหล็กกลม (Rod) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาวท่อนละ 1.00 เมตร
2) หัวกรวยเหล็ก (Special round piece) ทำมุม 90 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.52 เซนติเมตร
3) ตุ้มน้ำหนัก (Pile – hammer) (ซึ่งน้ำหนัก 10 กิโลกรัม) โดยตุ้มน้ำหนักมีแขน 2 ข้างติดไว้สำหรับยก
4) ทั่งเหล็ก (Anvil)
5) แผ่นเหล็กควบคุมการตอก (Base plate)
6) เหล็กนำ (Guide Rod)
7) ชุดควบคุมการตอก
8) คานรัดท่อนเหล็ก

ท่อนเหล็กกลม

ตุ้มน้ำหนัก

หัวกรวยเหล็ก

คานงัดท่อนเหล็ก

ทั่งเหล็ก

แผ่นเหล็กควบคุมการตอก

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบแผ่นเหล็กควบคุมการตอกกับชุดควบคุมการตอก แล้วนำไปวางในบริเวณที่ต้องการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 ยึดหัวกรวยเหล็กให้ติดกับปลายของท่อนเหล็กท่อนแรกที่จะใช้ทดสอบใส่ในชุดควบคุมการตอก แล้ววางลงบนแผ่นเหล็กควบคุมการตอก

ขั้นตอนที่ 3 นำทั่งเหล็กมายึดกับปลายด้านบน แล้วนนำท่อนเหล็กที่ใช้เป็นเหล็กนำ (Guide Rod) พร้อมตุ้มน้ำหนักมายึดติดกับทั่งเหล็ก ซึ่งได้วางแผ่นเหล็กควบคุมการตอก (Base plate) บนพื้นดินตรงตำแหน่งที่ต้องการจะทำการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 4 แล้วจัดชุดทดสอบให้อยู่ในแนวดิ่ง แล้วเริ่มนับจำนวนครั้งต่อการจมทุก ๆ 20 เซนติเมตร และบันทึกผลไว้ การตอกควรจะกระทำให้ได้ความเร็วใกล้เคียงกับ 30 ครั้ง ต่อ 1 นาที โดยไม่ต้องหยุดพัก ความเร็วของการตอกจะไม่มีผลต่อดินทรายและกรวด (Cohesionless Soil) แต่จะมีผลต่อดินเหนียวและดินร่วน (Cohesive Soil)

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อเหล็กท่อนแรกถูกตอกจมลง 1 เมตร เหล็กนำ (Guide Rod) และทั่งเหล็กจะถูกถอดออก และนำเหล็กท่อนต่อไปมาต่อแล้วยึดเหล็กนำและทั่งเหล็กต่อเข้าไปเหมือนเดิม ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงความลึกที่ต้องการหรือตอกต่อไปไม่ได้

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบให้ถอดเหล็กนำ ทั่งเหล็กและตุ้มน้ำหนักออก แล้วดึงแท่งเหล็กที่จมในดินขึ้นด้วยคานงัดท่อนเหล็ก (ถ้าไม่มีชุดคานงัดเหล็กอาจจะใช้วิธีกลับกันกับการตอกโดยยกตุ้มน้ำหนักขึ้น กระทบทั่งเหล็กที่สวมไว้ข้างบน ซึ่งเป็นการนำแท่งเหล็กขึ้นอีกวิธีหนึ่ง)

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา

Kunzelstab Penetration Test

Project Name	: โครงการก่อสร้างถังเก็บน้ำหอสูง	Date of Test	: 15/01/2548	Sample No.	: 1
Location	: การประปา ตำบลหนองพลับ	Tested by	: นายประยุทธ พรรณาภพ	Boring No.	: 1
Soil Sample	: ดินทราย	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 5.00

Depth(m)		Blow Per 20 cm	Soil Description
From	To		
0.0	0.2	7	ดินทรายปนดินตะกอน
0.2	0.4	12	ดินทรายปนดินตะกอน
0.4	0.6	15	ดินทรายปนดินตะกอน
0.6	0.8	13	ดินทรายปนดินตะกอน
0.8	1.0	14	ดินทรายปนดินตะกอน
1.0	1.2	8	ดินทรายปนดินตะกอน
1.2	1.4	6	ดินทรายปนดินตะกอน
1.4	1.6	10	ดินทรายปนดินตะกอน
1.6	1.8	7	ดินทรายปนดินตะกอน
1.8	2.0	19	ดินทรายปนดินตะกอน
2.0	2.2	25	ดินทรายปนดินตะกอน
2.2	2.4	27	ดินทรายปนดินตะกอน
2.4	2.6	29	ดินทรายปนดินตะกอน
2.6	2.8	18	ดินทรายปนดินตะกอน
2.8	3.0	14	ดินทรายปนดินตะกอน
3.0	3.2	18	ดินทรายปนดินตะกอน
3.2	3.4	13	ดินทรายปนดินตะกอน
3.4	3.6	11	ดินทรายละเอียดปนกรวด
3.6	3.8	9	ดินทรายละเอียดปนกรวด
3.8	4.0	12	ดินทรายละเอียดปนกรวด
4.0	4.2	18	ดินทรายละเอียดปนกรวด
4.2	4.4	25	ดินทรายละเอียดปนกรวด
4.4	4.6	28	ดินทรายละเอียดปนกรวด
4.6	4.8	33	ดินทรายละเอียดปนกรวด
4.8	5.0	46	ดินทรายละเอียดปนกรวด

การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
Kunzelstab Penetration Test

Project Name :
Location :
Soil Sample :

Date of Test :
Tested by :
Checked by :

Sample No. :
Boring No. :
Depth (m) :

Depth(m)		Blow Per 20 cm	Soil Description
From	To		
0.0	0.2		
0.2	0.4		
0.4	0.6		
0.6	0.8		
0.8	1.0		
1.0	1.2		
1.2	1.4		
1.4	1.6		
1.6	1.8		
1.8	2.0		
2.0	2.2		
2.2	2.4		
2.4	2.6		
2.6	2.8		
2.8	3.0		
3.0	3.2		
3.2	3.4		
3.4	3.6		
3.6	3.8		
3.8	4.0		
4.0	4.2		
4.2	4.4		
4.4	4.6		
4.6	4.8		
4.8	5.0		

ตัวอย่างการคำนวณ

สำหรับดินทราย

$$Q_u = 2.5 \times 0.64 (N' - 3.57)$$

$$= 1.6 (N' - 3.57) \quad \text{.....(4.1)}$$

สำหรับดินเหนียว

$$Q_u = 1.92 (N' + 0.954) \quad \text{.....(4.2)}$$

เมื่อ

Q_u = ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของดิน (t / m^2)

N = จำนวนครั้งของการตอกตุ้ม ต่อ 20 ซ.ม.จากการทดสอบในสนาม

N' = จำนวนครั้งของการตอกตุ้ม ต่อ 20 ซ.ม. (ค่าปรับแก้แล้ว)

$= 15 + ½ (N - 15)$ เมื่อ : N มากกว่า 15 ครั้ง / 20 ซ.ม.

2.5 = ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เลือกใช้

หมายเหตุ $N_{SPT} = 0.539 (N' + 0.954)$

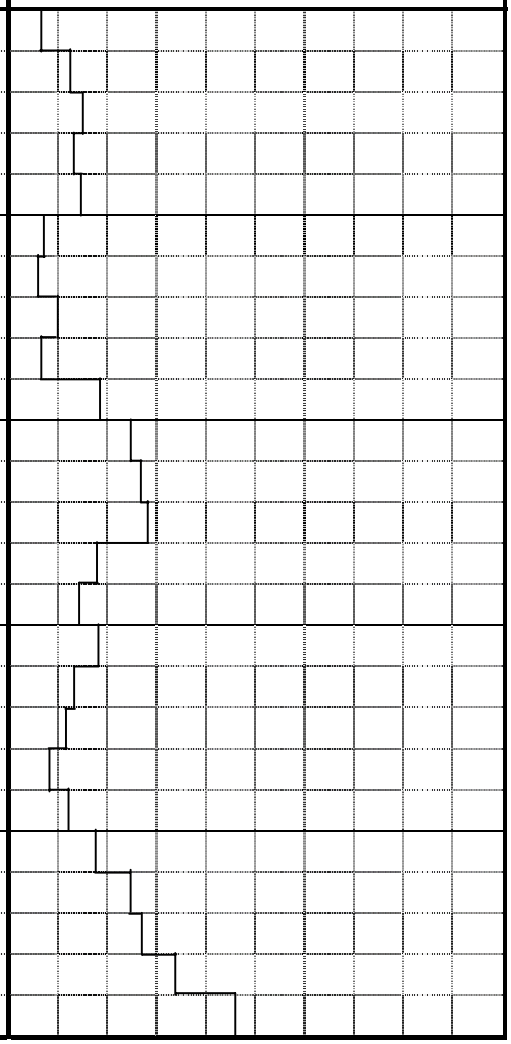
การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
Kunzelstab Penetration Test

Project Name :
Location :
Soil Sample :

Date of Test :
Tested by :
Checked by :

Sample No. :
Boring No. :
Depth (m) :

Description of Soil	Depth (m)	N/20 cm
ดินทรายปนดินตะกอน	0.2	7
	0.4	12
	0.6	15
	0.8	13
	1.0	14
	1.2	8
	1.4	6
	1.6	10
	1.8	7
	2.0	19
	2.2	25
	2.4	27
	2.6	29
	2.8	18
	3.0	14
	3.2	18
	3.4	13
ดินทรายละเอียดปนกรวด	3.6	11
	3.8	9
	4.0	12
	4.2	18
	4.4	25
	4.6	28
	4.8	33
	5.0	46



การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
Kunzelstab Penetration Test

Depth (m)	Blow/20 cm		Ultimate Bearing Capacity For Clay (t/m^2)	Ultimate Bearing Capacity For Sand (t/m^2)
	N	N'		
0.2	7	7.00		**5.50**
0.4	12	12.00		**13.50**
0.6	15	15.00		**18.30**
0.8	13	13.00		**15.10**
1.0	14	14.00		**16.70**
1.2	8	8.00		**7.10**
1.4	6	6.00		**3.90**
1.6	10	10.00		**10.30**
1.8	7	7.00		**5.50**
2.0	19	17.00		**21.50**
2.2	25	20.00		**26.30**
2.4	27	21.00		**27.90**
2.6	29	22.00		**29.50**
2.8	18	16.50		**20.70**
3.0	14	14.00		**16.70**
3.2	18	16.50		**20.70**
3.4	13	13.00		**15.10**
3.6	11	11.00		**11.90**
3.8	9	9.00		**8.70**
4.0	12	12.00		**13.50**
4.2	18	16.50		**20.70**
4.4	25	20.00		**26.30**
4.6	28	21.50		**28.70**
4.8	33	24.00		**32.70**
5.0	46	30.50		**43.10**

From Depth	To Depth	Average Allowable Bearing Capacity For Clay	Average Allowable Bearing Capacity For Sand
			7.66

การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา
Kunzelstab Penetration Test

Project Name :
Location :
Soil Sample :

Date of Test :
Tested by :
Checked by :

Sample No. :
Boring No. :
Depth (m) :

Description of Soil	Depth (m)	N/20 cm	Blow per 20 cm 10 20 30 40 50 60 70 80 90
	0.2		
	0.4		
	0.6		
	0.8		
	1.0		
	1.2		
	1.4		
	1.6		
	1.8		
	2.0		
	2.2		
	2.4		
	2.6		
	2.8		
	3.0		
	3.2		
	3.4		
	3.6		
	3.8		
	4.0		
	4.2		
	4.4		
	4.6		
	4.8		
	5.0		

การทดสอบการเจาะหยั่งแบบเบา

Kunzelstab Penetration Test

Depth (m)	Blow/20 cm		Ultimate Bearing Capacity For Clay (t/m^2)	Ultimate Bearing Capacity For Sand (t/m^2)
	N	N'		

From Depth	To Depth	Average Allowable Bearing Capacity For Clay	Average Allowable Bearing Capacity For Sand

การรายงานผลการทดสอบ

1) ความสามารถในการรับน้ำหนัก
2) จำนวนครั้งต่อการตอกทุกๆ 20 ซม.
3) ภาพตัดแสดงจำนวนครั้งต่อการตอกทุกๆ 20 ซม. เทียบกับความลึก

ข้อควรระวัง

1) การพิจารณาค่าที่จะนำไปใช้งานควรจะอยู่เหนือฐานราก 0.50 ม. และใต้ระดับฐานราก 1.00 ม. เช่น ดินระดับฐานรากลึก 2.50 ม. จะมีค่าการตอกใกล้เคียงกับระดับ 2.00 ม. จนกระทั่งลึกถึง 3.50 ม.
2) ในกรณีของดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำ ค่าที่ใช้ได้สำหรับกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของดินต้องหารสอง
3) ในการคำนวณค่ารับน้ำหนักต้องนำค่า N ที่ถูกต้องมาใช้ในการคำนวณ

การทดลองที่ 5

การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน

Grain Size Determination of Sieve Analysis

ทฤษฎีและหลักการ

การก่อสร้างทั่วไปดินมักจะเป็นส่วนประกอบทางวิศวกรรมอย่างหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการสร้างเขื่อน สนามบิน ถนน แม้แต่ฐานรากอาคารขนาดใหญ่ แต่ดินที่ใช้ในงานก่อสร้างได้ดีนั้นจะต้องมีขนาดคละที่เหมาะสม ซึ่งในการหาว่าดินมีขนาดความคละกันอย่างไรนั้นจะต้องทำการหาขนาดของเม็ดดิน โดยดินเม็ดหยาบใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน และนำขนาดคละของดินมาใช้ในการจำแนกประเภทของดินต่อไป

การหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงจะใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดแตกต่างกันออกไป สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 โดยเบอร์ตะเกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือ เบอร์ 4, 100, 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่บนและไล่ตามลำดับลงมา ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง แต่ก็ไม่แน่เสมอไปเพราะว่าตะแกรงนั้นไม่สามารถแบ่งแยกความแบน ความยาวได้ บางครั้งหินหรือดินเม็ดเล็กแต่มีความยาวกว่าขนาดของตะแกรงก็สามารถค้างอยู่บนตะแกรงนั้นได้

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดินโดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรง

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- ASTM D - 422 Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils

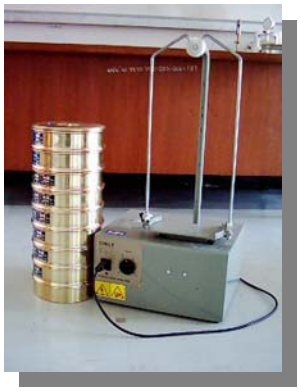
อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) ตะแกรงที่ใช้ร่อนตัวอย่างพร้อมถาดรอง และเครื่องเขย่าตะแกรง



ตะแกรงที่ใช้ร่อนตัวอย่างพร้อมถาดรอง และเครื่องเขย่าตะแกรง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ถาดใส่ตัวอย่าง
2) ค้อนยาง
3) เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม อ่านละเอียด 0.1 กรัม
4) แปรงทำความสะอาดตะแกรง
5) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อบหรือตากแดดให้แห้ง ถ้ายังจับตัวกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบให้แตกเสียก่อน นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าให้เข้ากันบนผืนผ้าใบหรือบนพื้นเรียบแล้วเกลี่ยดินให้กระจายและแยกด้วยวิธีแบ่งสี หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างดินโดยเอา 2 ใน 4 ส่วน สำหรับปริมาณของตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่สุดในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณน้ำหนักดินแห้งซึ่งใช้ในการร่อนผ่านตะแกรง

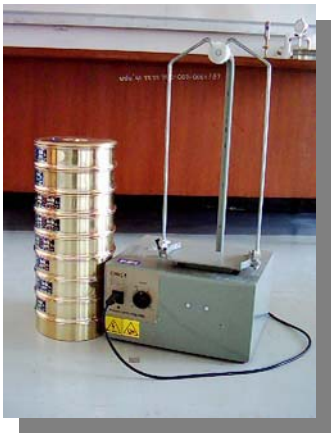
ขนาดเม็ดดินใหญ่สุด	น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย (กรัม)
3/8 นิ้ว (9.5 มม.)	500
3/4 นิ้ว (19.0 มม.)	1000
1 นิ้ว (25.0 มม.)	2000
$1\frac{1}{2}$ นิ้ว (37.5 มม.)	3000
2 นิ้ว (50.0 มม.)	4000
3 นิ้ว (75.0 มม.)	5000

ขั้นตอนการทดสอบ

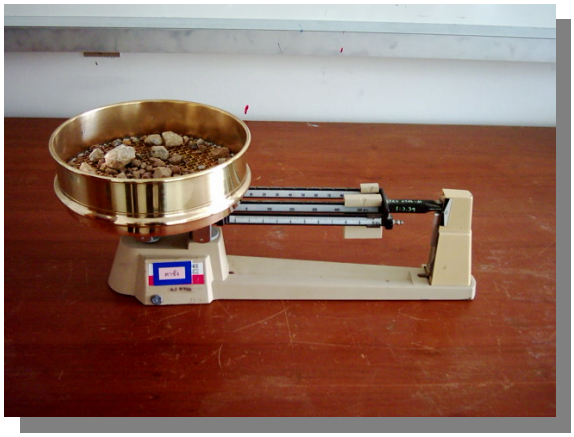
1. วิธีการทดสอบแบบไม่ล้างตะแกรง

ขั้นตอนที่ 1 ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่เบอร์บันทึกค่า (ชั่งน้ำหนักของ Pan ด้วย)

ขั้นตอนที่ 2 นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่บน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุด ดังนี้ No. 3/8 , 4 , 10 , 20 , 40 , 100 , 200 และ Pan



ขั้นตอนที่ 3 นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลาในการเขย่าอย่างน้อย 10 นาที เสร็จ แล้วนำตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง นำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งแล้วทำความสะอาดตะแกรงให้เรียบร้อย

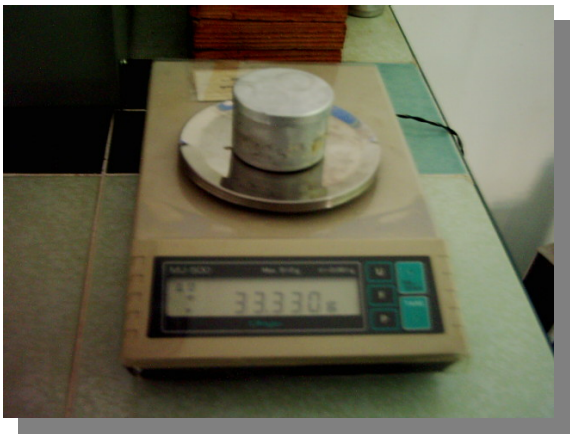


2. **วิธีการทดสอบแบบล้างน้ำ**

ขั้นตอนที่ 1 นำตัวอย่างดินใส่ตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปล้าง โดยการเปิดน้ำให้ไหลจากด้านบนของตะแกรง ซึ่งจะทำให้ดินเม็ดเล็ก ๆ ที่ติดอยู่กับดินก้อนใหญ่ไหลผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ออกไป แล้วคอยสังเกตจนกระทั่งว่าไม่มีดินไหลออกจากตะแกรงแล้ว จึงหยุดล้าง

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างดินที่ยังเหลือค้างอยู่บนตะแกรงไปใส่ภาชนะ แล้วนำไปเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียล โดยใช้เวลาในการอบ 8 – 12 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 นำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักดินที่เหลือจากการล้าง ซึ่งน้ำหนักดินที่หายไปจากการล้างนี้ ให้คิดเป็นดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำดินที่เหลือไปทดสอบตามหัวข้อที่ 1 (การทดสอบแบบไม่ล้างตะแกรง)



การบันทึกผลการทดลอง

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

Sieve Analysis Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 2/24/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: -	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Sample Prewashed			
	Dry Weight of Original Sample	: 1007	grams
	Dry Weight after Prewashing	:	grams
☐ Yes ☑ No	Weight of Washing Loss	:	grams

Sieve No.	Sieve Opening (mm)	Weight Sieve (g)	Weight Sieve+ Soil (g)
3/4 in	19	660.7	705.6
1/2 in	12.5	633.3	774.7
3/8 in	9.51	630.8	747.8
# 4	4.75	616.9	798.9
#10	2.00	418.3	605.9
# 40	0.425	512.6	810.0
#100	0.150	475.9	543.5
# 200	0.075	474.3	494.9
Pan		381.1	399.7

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน
Sieve Analysis Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Sample Prewashed			
	Dry Weight of Original Sample	:	grams
	Dry Weight after Prewashing	:	grams
☐ Yes ☐ No	Weight of Washing Loss	:	grams

Sieve No.	Sieve Opening (mm)	Weight Sieve (g)	Weight Sieve+ Soil (g)
3/4 in			
1/2 in			
3/8 in			
# 4			
#10			
# 40			
#100			
# 200			
Pan			

ตัวอย่างการคำนวณ

1. น้ำหนักของดินที่ค้างบนตะแกรง (Weight of Soil Retained)

   Weight of Soil Retained = (Wt. Sieve + Soil) - (Wt . Sieve)

2. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง (Percent Retained)

   $$\text{Percent Retained} = \frac{\text{Wt.Soil Retained}}{\text{Wt. of Sample}} \times 100$$

3. เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม (Cumulative Percent Retained)

   Cumulative Percent Retained = นำ Percent Retained มาบวกแบบสะสม

4. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (Percent Finer or Percent Passing)

   Percent Finer = 100 - Cumulative Percent Retained

5. สัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity , C_U)

   $$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

6. สัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Curvature , C_C)

   $$C_C = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$$

เมื่อ D_{10} = ขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวน 10 %

D_{30} = ขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวน 30 %

D_{60} = ขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวน 60 %

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

Sieve Analysis Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 2/24/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: -	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Sample Prewashed			
	Dry Weight of Original Sample	: 1007	grams
	Dry Weight after Prewashing	:	grams
☐ Yes ☑ No	Weight of Washing Loss	:	grams

Sieve No.	Sieve Opening (mm)	Weight Sieve (g)	Wt. Sieve + Soil (g)	Wt. Soil Retained (g)	Percent Retained (%)	Cumulative Percent Retained	Percent Passing (%)
3/4 in	19	660.7	705.6	44.90	4.17	4.17	95.83
1/2 in	12.5	633.3	774.7	141.40	13.13	17.30	82.70
3/8 in	9.51	630.8	747.8	117.00	10.86	28.16	71.84
# 4	4.75	616.9	798.9	182.00	16.90	45.06	54.94
#10	2.00	418.3	605.9	187.60	17.42	62.48	37.52
# 40	0.425	512.6	810.0	297.40	27.61	90.09	9.91
#100	0.150	475.9	543.5	67.60	6.28	96.37	3.63
# 200	0.075	474.3	494.9	20.60	1.91	98.28	1.72
Pan		381.1	399.7	18.60	1.73	100.00	-0.01

Remark : Criteria of Well Grade as follow

1. For Sand Cu > 6 and Cc = 1 - 3
2. For Gravel Cu > 4 and Cc = 1 - 3

D60	=	6.265 mm
D30	=	1.485 mm
D10	=	0.430 mm

Conclusion :

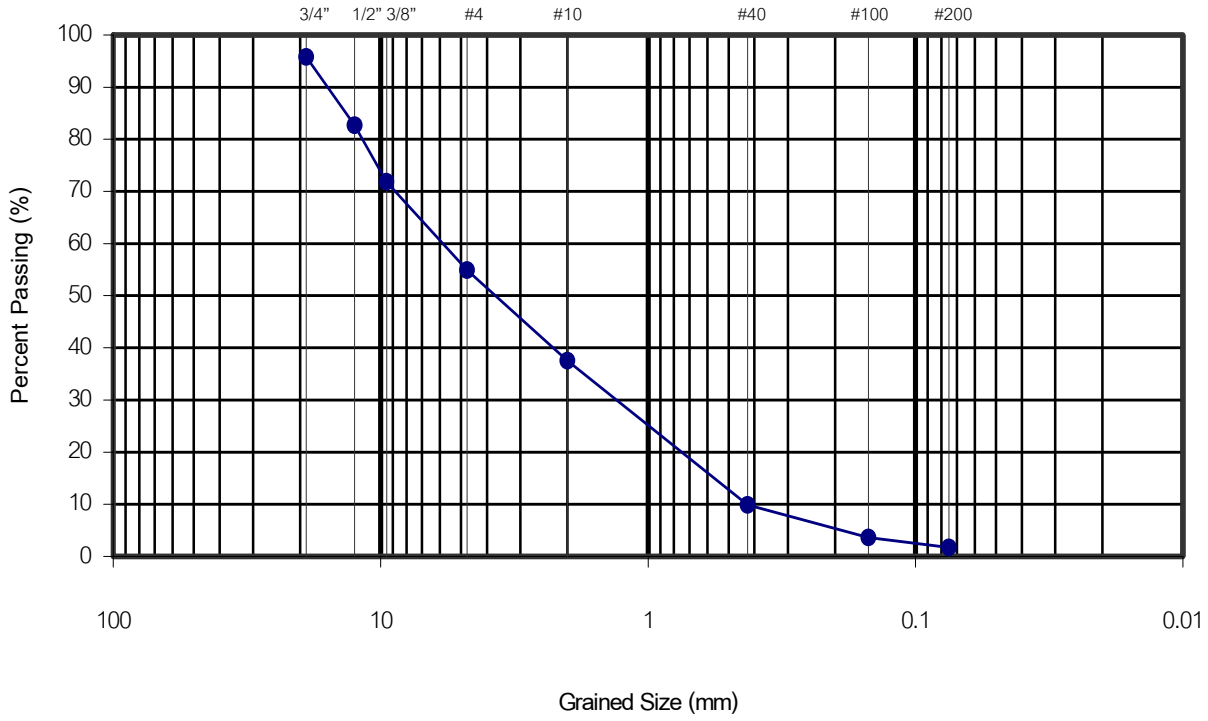
% Error of this Test is 0.01 %

Coefficient of Uniformity ,	Cu	= 14.57
Coefficient of Curvature ,	Cc	= 0.82

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

Sieve Analysis Test

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CURVE



การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน
Sieve Analysis Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Sample Prewashed			
	Dry Weight of Original Sample	:	grams
	Dry Weight after Prewashing	:	grams
☐ Yes ☐ No	Weight of Washing Loss	:	grams

Sieve No.	Sieve Opening (mm)	Weight Sieve (g)	Wt. Sieve + Soil (g)	Wt. Soil Retained (g)	Percent Retained (%)	Cumulative Percent Retained	Percent Passing (%)
3/4 in							
1/2 in							
3/8 in							
# 4							
#10							
# 40							
#100							
# 200							
Pan							

Remark : Criteria of Well Grade as follow

1. For Sand Cu > 6 and Cc = 1 - 3
2. For Gravel Cu > 4 and Cc = 1 - 3

D60	=	mm
D30	=	mm
D10	=	mm

Conclusion :

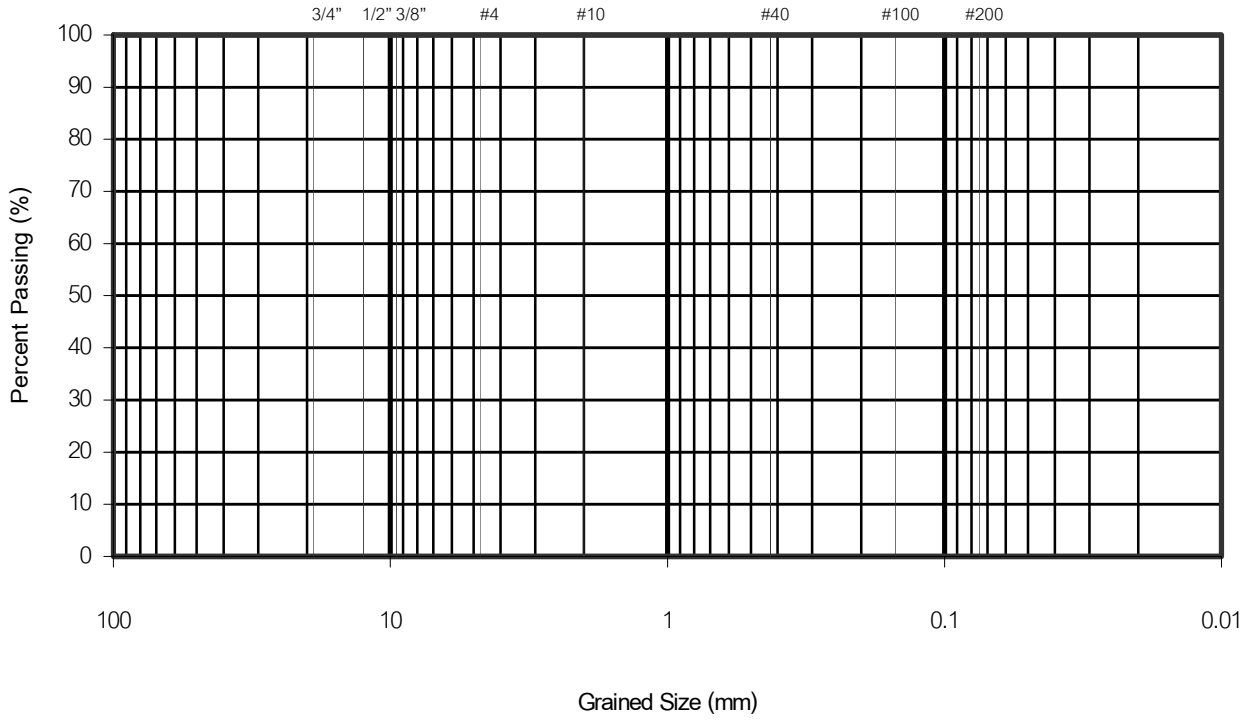
% Error of this Test is %

Coefficient of Uniformity ,	Cu	=	mm
Coefficient of Curvature ,	Cc	=	mm

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

Sieve Analysis Test

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CURVE



การรายงานผลการทดสอบ

1) รายงานค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ
2) แสดงกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน
3) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u) และสัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_C)
4) แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ข้อควรระวัง

1) ห้ามนำตะแกรงที่ชำรุดมาใช้สำหรับการทดลองซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาด
2) ไม่ควรใส่ดินในตะแกรงมากเกินไปเพราะจะทำให้การร่อนทำได้ยาก
3) ควรใช้เวลาในการร่อนตะแกรงให้เพียงพอหรือแน่ใจว่าดินขนาดต่างๆ ได้ผ่านตะแกรงตามขนาดเม็ดดินจริงๆ
4) ถ้าใช้วิธีแบบล้างน้ำต้องแน่ใจว่าดินเม็ดละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จนหมด
5) ระวังอย่าให้เม็ดดินหายไปในระหว่างการทดลอง

การทดลองที่ 6

การทดสอบการหาขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์

Grain Size Determination of Hydrometer Analysis

ทฤษฎีและหลักการ

การหาขนาดดินเม็ดละเอียด ด้วยการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer Analysis) เป็นการวิเคราะห์ขนาดดินที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งจะต้องทดสอบภายใต้สมมติฐานที่ว่าเม็ดดินมีขนาดกลม แต่ เม็ดดินจริงอาจมีลักษณะแบนทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากการคำนวณ การนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ จะต้องคำนึงถึงความเป็นจริงข้อนี้ด้วย

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะอาศัยหลักการตกตะกอนของเม็ดดินในน้ำ เมื่อดินเกิดการแยกตัวออกในน้ำ เม็ดดินจะเกิดการตกตะกอนด้วยความเร็วที่ต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ รูปร่าง ขนาด น้ำหนักและ ค่าความหนืดของน้ำ เพื่อให้เกิดความง่าย จะสมมติว่าลักษณะเม็ดดินมีรูปร่างทรงกลมและความเร็วของเม็ดดิน สามารถที่จะแสดงได้โดยใช้กฎของ Stoke (Stoke 's Law)

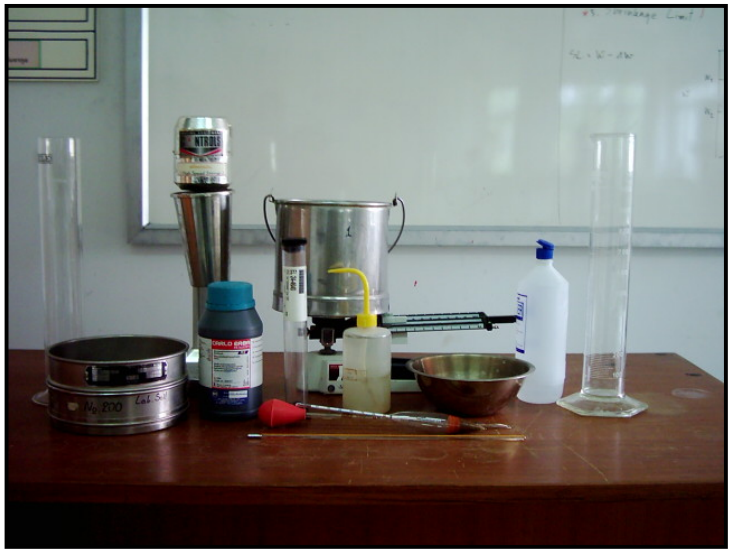
วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาขนาดของเม็ดดิน และความคละของเม็ดดิน ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D4221-99 Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer

อุปกรณ์และเครื่องมือ



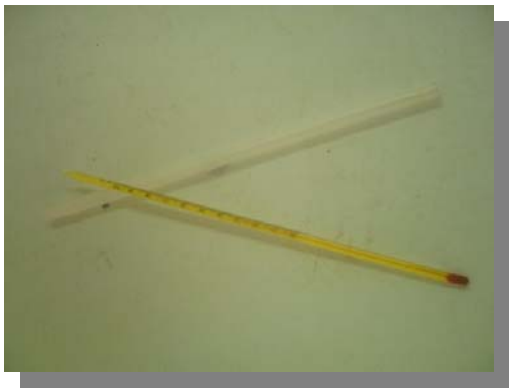
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการหาขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการหาขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) Hydrometer ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ (ASTM 151H) ได้ประมาณ 0.995-1.030 หรืออ่านค่าน้ำหนักเม็ดดินต่อปริมาตร (ASTM 152H) ได้ประมาณ 0-60 กรัม / ลิตร
2) ผงช่วยให้เม็ดกระจายตัว (Dispersing Agent) โดยใช้ Sodium Hexa - Metaphosphate
3) กระบอกไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Jar) หรือกระบอกตวง (Measuring Cylinder) ขนาด 1000 cm^3 2 ใบ
4) เทอร์โมมิเตอร์ 0 - 50 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด 0.1-0.5 องศาเซลเซียส

ไฮโดรมิเตอร์



เทอร์โมมิเตอร์ 0 - 50 องศาเซลเซียส

กระบอกไฮโดรมิเตอร์

ผงช่วยให้เม็ดกระจายตัว

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ° C - 110° C
2) เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียด 0.01 กรัม
3) ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน ภาชนะผสมดิน
4) อุปกรณ์ผสมดิน
5) น้ำกลั่น (Distilled Water)
6) นาฬิกาจับเวลา

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบได้จากการเก็บตัวอย่างดินตามธรรมชาติที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ประมาณ 100 กรัม

การปรับแก้ (Calibration) ไฮโดรมิเตอร์

วัตถุประสงค์คือการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ H โดยแสดงออกมาในรูปกราฟ โดยเราจะทำการทดสอบเทียบ 2 ช่วงคือช่วง 0 – 2 นาทีแรกและช่วงที่นานกว่า 2 นาที เพราะในการทดสอบเราจะอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ 2 ช่วงแรกและช่วงที่นานกว่า 2 นาที โดยในช่วง 0 – 2 นาทีแรกจะไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกน้ำโคลน แต่ช่วงที่ยาวกว่า 2 นาทีเราจะทำการยกไฮโดรมิเตอร์ออกเมื่อทำการอ่านค่าเสร็จ

1. ช่วง 0 – 2 นาทีแรก

ซึ่งจะไม่มีการยกไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกตกตะกอนเมื่ออ่านค่าเสร็จ เนื่องจากในการทดลองช่วง 2 นาทีแรกจะมีการอ่านค่าถี่ เพราะฉะนั้นจะไม่สะดวกหากจะยกไฮโดรมิเตอร์เข้า – ออก จากกระบอกตกตะกอน

เนื่องจากการแช่ไฮโดรมิเตอร์ไว้ตลอดเพราะฉะนั้นระยะตกตะกอน H จะกลายเป็น H′ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$H' = L + \frac{h}{2}$$

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

- นำค่าที่วัดได้ (H′) มาพล็อตกับค่าที่อ่านได้บนก้านไฮโดรมิเตอร์ R = 1000 (r – 1) ต่อจุดด้วยเส้นตรงได้กราฟ A สำหรับอ่านค่า 0 – 2 นาที

2. ช่วงที่นานกว่า 2 นาที

ในช่วงนี้ในการทดลองหลังจากอ่านค่าเสร็จจะยกไฮโดรมิเตอร์ออก เมื่อเราจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงไปในน้ำโคลนปริมาตรของไฮโดรมิเตอร์ที่จุ่มลงไปขณะอ่านจะทำให้ตำแหน่งเม็ดดินเคลื่อนตัวขึ้นสังเกตจากรูปที่ตอนเรายังไม่จุ่มไฮโดรมิเตอร์ระดับน้ำโคลนจะอยู่ที่ระดับ a—a แต่เมื่อจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงไปจะทำให้ระดับน้ำโคลนขึ้นมาที่ระดับ a′—a′ ซึ่งเคลื่อนตัวขึ้นเท่ากับ $\frac{V_h}{2A}$ และที่ระดับผิวน้ำ b—b จะเคลื่อนสูงขึ้นเป็นระยะ $\frac{V_h}{A}$ อยู่ที่ระดับ b′—b′ H ที่เราต้องการ คือ ช่วงก่อนจุ่มไฮโดรมิเตอร์เท่ากับ

$$H = \left[L+\frac{h}{2}+\frac{V_h}{A}\right]-\frac{V_h}{A} = \left[L+\frac{h}{2}\right]-\frac{V_h}{2A}$$

เมื่อ V_h = ปริมาตรของกระเปราะไฮโดรมิเตอร์ cm^3

A = พื้นที่หน้าตัดกระบอกตกตะกอน cm^3

จากสมการทำการพล็อตกราฟ B สำหรับอ่านค่านานกว่า 2 นาที โดยลบกราฟ A ในแกน H ด้วย $\frac{V_h}{2A}$

<u>หมายเหตุ</u> : กราฟที่ได้จะมีประโยชน์คือเราจะหาระยะตกตะกอนจากผิวน้ำถึงระยะตกตะกอนจากผิวน้ำถึงบริเวณกลางกระเปาะไฮโดรมิเตอร์เพื่อนำไปแทนค่า เพื่อขนาดเม็ดดิน แทนที่เราจะวัดระยะจากผิวน้ำคือจากค่า R ที่อ่านบนค่าไฮโดรมิเตอร์ถึงกึ่งกลางกระเปาะทุกครั้งของการอ่าน เราก็จะอ่านจากกราฟ Calibration ได้เลย

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer) ของเม็ดดิน

พิสูจน์ : พิจารณาน้ำโคลนปริมาตร 1 cc. ให้ M_S = มวลเนื้อดินในน้ำโคลน 1 cc. นี้

จาก $G_S = \frac{M_S}{M_W}$ หรือ $M_W = \frac{M_S}{G_S}$

เพราะฉะนั้นมวลน้ำในปริมาตร 1 cc. นี้ $= 1-\frac{M_S}{G_S}$

เพราะฉะนั้นมวลน้ำโคลน (น้ำ + เนื้อดิน) ในปริมาตร 1 cc. $= M_S+\left[1-\frac{M_S}{G_S}\right]$

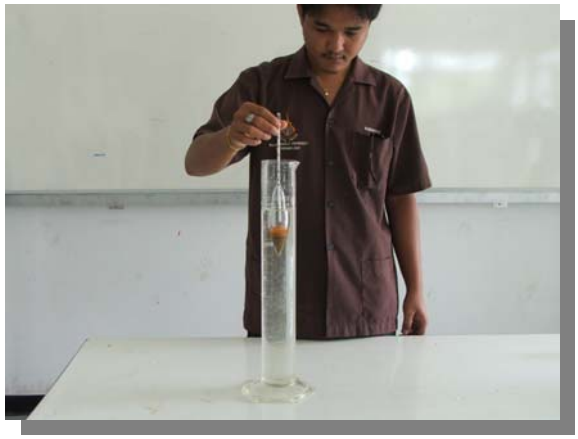
$$= 1+M_S-\frac{M_S}{G_S}$$

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมสารช่วยเม็ดดินกระจายตัว (Dispersing Agent) ความเข้มข้น 4% โดยนำผง Sodium Hexa - Metaphosphate มาละลายในน้ำ โดยใช้อัตราส่วน 4 กรัม ละลายน้ำ 100 ลบ.ซม แล้วตั้งทิ้งไว้ โดย ASTM แนะนำว่าควรทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างดินแห้งที่เตรียมไว้ประมาณ 50 กรัม ผสมเข้ากับ สารช่วยเม็ดดินกระจายตัว (4% Sodium Hexa - Metaphosphate) โดยใช้เครื่องกวนดินไฟฟ้าปั่นส่วนผสมดินประมาณ 10 นาที แล้วเทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดดินออกจากเครื่องผสมให้หมดแล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตร 1000 ลบ.ซม.

ขั้นตอนที่ 3 ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตกตะกอนอีกอันหนึ่ง เพื่อใช้ล้างน้ำโคลนที่อาจติดไฮโดรมิเตอร์มาหลังจากการวัด (โดยจับที่ก้านไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงไปในน้ำแล้วหมุนไปมา) และแช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด



ขั้นตอนที่ 4 ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอนที่มีส่วนผสมดิน แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากันประมาณ 1 นาที จากนั้นวางลงแล้วเริ่มจับเวลาทันที

ขั้นตอนที่ 5 หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำโคลนเพื่ออ่านค่า R ที่เวลา $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 และ 2 นาที ตามลำดับ (15 วินาที , 30 วินาที , 1 นาที ,2 นาที) โดยไม่ต้องยกไฮโดรมิเตอร์ออกขณะที่อ่านค่าตามเวลาดังกล่าว เมื่ออ่านค่าเวลาครบแล้วจึงยกไฮโดรมิเตอร์ออกแล้วทำการวัดอุณหภูมิของน้ำโคลนด้วย

ขั้นตอนที่ 6 เขย่ากระบอกอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 4 แล้ววัดค่า R ที่ 2 , 5 , 10 , 20 , ... นาที (เพิ่มระยะเวลาอ่านครั้งต่อไปประมาณ 2 เท่า) จนกระทั้งค่าที่อ่านได้คงที่โดยประมาณจึงหยุดการทดลอง โดยทุกครั้งที่อ่านค่า R ให้วัดอุณหภูมิของส่วนผสมน้ำโคลน หลังจากเสร็จการอ่านค่าแต่ละครั้งให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้และปิดปากกระบอกน้ำโคลนด้วยจุกยาง

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วให้เขย่ากระบอก เทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะ โดยต้องล้างดินที่ก้นกระบอกออกให้หมด แล้วนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักของดินแห้ง

ตารางที่ 6.1 ค่าปรับแก้ (Correction Factor, a) สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันของดินเมื่อทดสอบด้วยไฮโดรมิเตอร์แบบ 152 H Values of Correction Factor, a for Different Specific Gravity of Soil Particle

Specific Gravity	Correction Factor (a)
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

ตารางที่ 6.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction Factor, Ct)

Temperature ^{o}C	C_t	Temperature ^{o}C	C_t
15	-1.10	23	+0.70
16	-0.90	24	+1.00
17	-0.70	25	+1.30
18	-0.50	26	+1.65
19	-0.30	27	+2.00
20	0.00	28	+2.50
21	+0.20	29	+3.05
22	+0.40	30	+3.80

ตารางที่ 6.3 ค่าความลึกประสิทธิผลบนไฮโดรมิเตอร์ (H) ในหลอดตกตะกอน

Hydrometer					
Original Hydrometer Reading (R)	Effective Depth , (cm) (H)	Original Hydrometer Reading (R)	Effective Depth , (cm) (H)	Original Hydrometer Reading (R)	Effective Depth , (cm) (H)
0	16.3	21	12.9	41	9.6
1	16.1	22	12.7	42	9.4
2	16.0	23	12.5	43	9.2
3	15.8	24	12.4	44	9.1
4	15.6	25	12.2	45	8.9
5	15.5	26	12.0	46	8.8
6	15.3	27	11.9	47	8.6
7	15.2	28	11.7	48	8.4
8	15.0	29	11.5	49	8.3
9	14.8	30	11.4	50	8.1
10	14.7	31	11.2	51	7.9
11	14.5	32	11.1	52	7.8
12	14.3	33	10.9	53	7.6
13	14.2	34	10.7	54	7.4
14	14.0	35	10.6	55	7.3
15	13.8	36	10.4	56	7.1
16	13.7	37	10.2	57	7.0
17	13.5	38	10.1	58	6.8
18	13.3	39	9.9	59	6.6
19	13.2	40	9.7	60	6.5
20	13.0				

ตารางที่ 6.4 ค่า K สำหรับการคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางของขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์

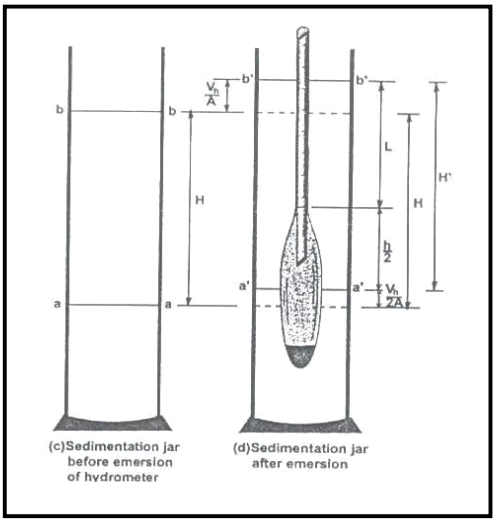
Temp °C	Specific Gravity of Soil Particle								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01423	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01325
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	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 2/24/2548	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: -	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1



Type of Hydrometer		151H
Hydrometer No.		3496
Sedimentary Jar Diameter	(cm)	5.82
Initial Reading of Graduate	(cm^3)	800
After Hydrometer Immersion Reading	(cm^3)	870
Specific Gravity of Soil		2.68
Percent Finer than No.200		28.99
Dry Weight of Sample	(g)	50
Meniscus Correction		0.5
Temperature Correction		0
Dispersion Correction		0

Hydrometer Reading	Length from Tip to Hydrometer (L+ h), cm	Hydrometer Bulb Length (h), cm	Hydrometer Reading r
1.0000	24.5	14	1.00
1.0100	21.8	14	1.01
1.0200	19.1	14	1.02
1.0300	16.4	14	1.03

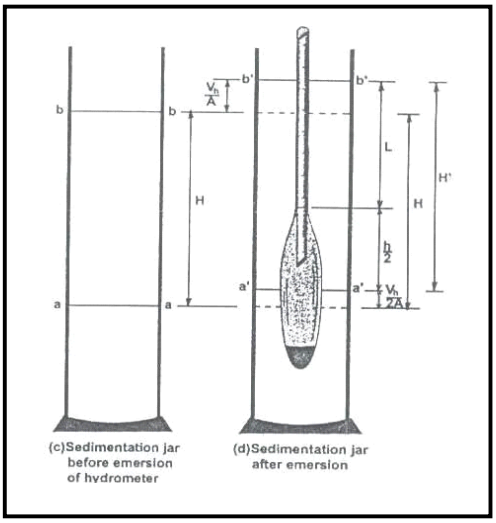
การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

Date	Time	Elapse Time(min)	151H r	151H R = 1000(r - 1)	152H R	Temp. (°C)
24/04/2004	10.10	0	0	0	-	0
		0.25	1.0300	30.00	-	29
		0.50	1.0240	24.00	-	29
		1	1.0195	19.50	-	29
		2	1.0158	15.80	-	29
	10.14	2	1.0157	15.70	-	29
	10.19	5	1.0120	12.00	-	29
	10.24	10	1.0102	10.02	-	29
	10.34	20	1.0090	9.00	-	29
	10.54	40	1.0082	8.20	-	29
	11.34	80	1.0073	7.30	-	29
	13.14	180	1.0068	6.80	-	29
	14.14	240	1.0066	6.60	-	29
	17.14	420	1.0064	6.40	-	29
25/04/2004	9.44	1410	1.0063	6.30	-	29.5
30/04/2004	6.32	9858	1.0062	6.20	-	29.5

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์
Hydrometer Analysis Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:



Type of Hydrometer		
Hydrometer No.		
Sedimentary Jar Diameter	(cm)	
Initial Reading of Graduate	(cm^3)	
After Hydrometer Immersion Reading	(cm^3)	
Specific Gravity of Soil		
Percent Finer than No.200		
Dry Weight of Sample	(g)	
Meniscus Correction		
Temperature Correction		
Dispersion Correction		

Hydrometer Reading	Length from Tip to Hydrometer (L+ h), cm	Hydrometer Bulb Length (h), cm	Hydrometer Reading r
1.0000			
1.0100			
1.0200			
1.0300			

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

Date	Time	Elapse Time(min)	151H r	151H R = 1000(r - 1)	152H R	Temp. (°C)

ตัวอย่างการคำนวณ

1. **ขนาดของเม็ดดิน** (D) **(สูตรนี้ใช้กับ** Hydrometer 151H **และ** 152H)

$$D = K\sqrt{\frac{H(cm)}{t(min)}} \quad mm \qquad \text{..... (6.1)}$$

เมื่อ

H = ระยะตกตะกอน (cm) จากการ Calibration (หรือจากตารางที่ 6.3)

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

K = ค่าคงที่จากตารางที่4

2. **เปอร์เซ็นต์ผ่านของเม็ดดิน**

- **กรณีใช้** Hydrometer 151 H

$$\%\ F = \frac{G_s}{G_s - 1} x \frac{R_c}{W_s} x100 \qquad \text{..... (6.2)}$$

- **กรณีใช้** Hydrometer 152 H

$$\%\ F = \frac{R_c a}{W_s} x100 \qquad \text{..... (6.3)}$$

เมื่อ

G_s = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

R_c = ค่าอ่านสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลนหลังจากปรับแก้แล้ว

a = Correction Factor

W_s = น้ำหนักดินแห้ง, g

3. **เปอร์เซ็นต์ผ่านรวม (สูตรนี้ใช้กับ Hydrometer 151H และ 152H)**

$$\%F' = \%F \times F_{200} \quad \text{..... (6.4)}$$

เมื่อ

$\%F'$ = เปอร์เซ็นต์ผ่านรวมของตัวอย่างดินทั้งหมด

$\%F$ = เปอร์เซ็นต์ผ่านของดินเฉพาะการวิเคราะห์ Hydrometer

F_{200} = เปอร์เซ็นต์ผ่านของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

4. **การหาค่า C_m (151H)**

สมมุติอ่านค่าได้ A = 0.9985

B = 0.9990

แทนค่า จะได้

$$C_m = (B - A) \times 1000 \quad \text{..... (6.5)}$$

$(0.9990 - 0.9985) = 0.0005$

$C_m = 0.0005 \times 1000$

$= +0.5$

5. **การหาค่า R (151H)**

$$R = 1000(r - 1) \quad \text{..... (6.6)}$$

เมื่อ

r = ค่าสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลน (อ่านที่ระดับโค้งบนผิวน้ำ)

6. **การหาค่า R_c หลังจากการปรับแก้ค่าแล้ว จากสมการ**

$$R_c = R + C_m \pm C_t - C_d \quad \text{..... (6.7)}$$

เมื่อ

R = 1000(r – 1) = -5 ถึง 30 สำหรับ 151H

R = 0 – 60 สำหรับ 152H

r = ค่าสเกลไฮโดรมิเตอร์ในน้ำโคลน (อ่านที่ระดับโค้งบนผิวน้ำ)

C_m = ผลกระทบจากระยะโค้งของผิวน้ำ

C_t = ผลกระทบจากอุณหภูมิ

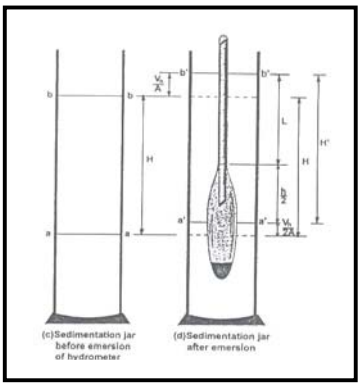
C_d = ผลกระทบจากการเติมสารช่วยให้เม็ดดินกระจายตัว

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

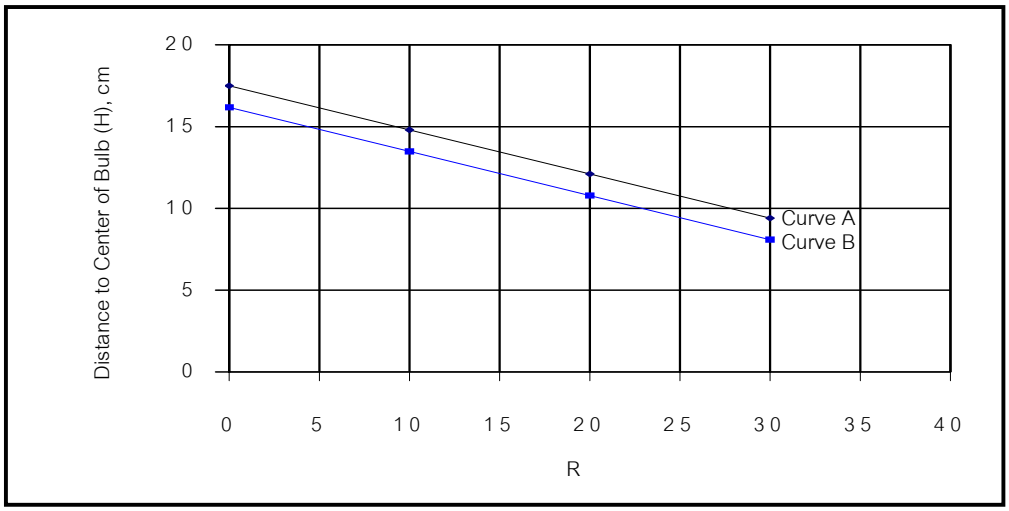
Hydrometer Analysis Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 2/24/2548	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: -	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1



Type of Hydrometer		151H
Hydrometer No.		3496
Sedimentary Jar Diameter	cm	5.82
Sedimentary Jar Cross Section	cm^2	26.61
Initial Reading of Graduate(V1)	cm^3	800
After Hydrometer Immersion Reading(V2)	cm^3	870
Volume of Hydrometer(V = V2 – V1)	cm^3	70
V/2A	cm	1.32

Hydrometer Reading	Length from Tip to Hydrometer (L+ h), cm	Hydrometer Bulb Length (h), cm	R	Curve A (First 2 min) H = (L+ h)-h/2, cm	Curve B (After 2 min) H = Curve A – V/(2A)
1.0000	24.5	14	0	17.50	16.18
1.0100	21.8	14	10	14.80	13.48
1.0200	19.1	14	20	12.10	10.78
1.0300	16.4	14	30	9.40	8.08



การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์
Hydrometer Analysis Test

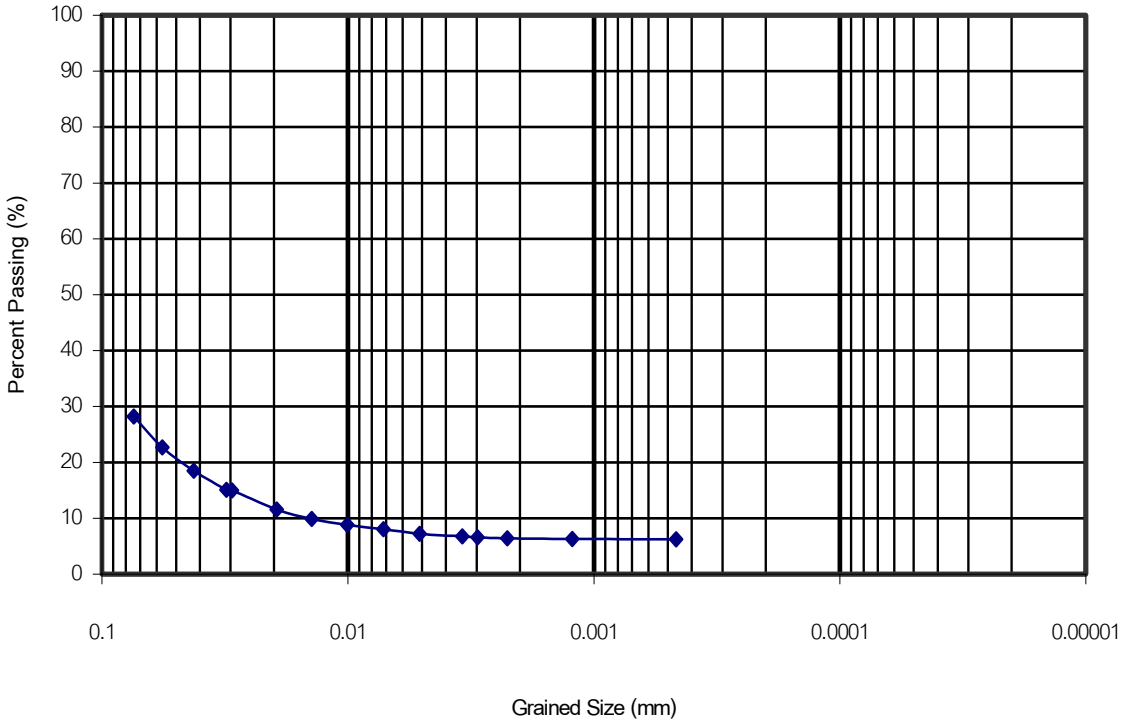
Specific Gravity of Soil	2.68	Meniscus Correction	0.5
Percent Finer than No.200	28.99	Temperature Correction	0
Dry Weight of Sample (g)	50	Dispersion Correction	0

Date	Time (min)	Elapse Time	151H r	152H R	152H R	Temp. (°C)	Rc	% Finer	H (cm)	K	D (mm)	% F'
24/04/47	10.10	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
		0.25	1.0300	30.00	-	29	30.50	97.3095	9.265	0.012192	0.074221	28.21
		0.50	1.0240	24.00	-	29	24.50	78.1667	10.885	0.012192	0.056886	22.66
		1	1.0195	19.50	-	29	20.00	63.8095	12.100	0.012192	0.042410	18.50
		2	1.0158	15.80	-	29	16.30	52.0048	13.099	0.012192	0.031202	15.08
	10.14	2	1.0157	15.70	-	29	16.20	51.6857	11.806	0.012192	0.029622	14.98
	10.19	5	1.0120	12.00	-	29	12.50	39.8810	12.805	0.012192	0.019511	11.56
	10.24	10	1.0102	10.02	-	29	10.70	34.1381	13.291	0.012192	0.014056	9.90
	10.34	20	1.0090	9.00	-	29	9.50	30.3095	13.615	0.012192	0.010059	8.79
	10.54	40	1.0082	8.20	-	29	8.70	27.7571	13.831	0.012192	0.007169	8.05
	11.34	80	1.0073	7.30	-	29	7.80	24.8857	14.074	0.012192	0.005114	7.21
	13.14	180	1.0068	6.80	-	29	7.30	23.2905	14.209	0.012192	0.003425	6.75
	14.14	240	1.0066	6.60	-	29	7.10	22.6524	14.263	0.012192	0.002972	6.57
	17.14	420	1.0064	6.40	-	29	6.90	22.0143	14.317	0.012192	0.002251	6.38
25/04/47	9.44	1410	1.0063	6.30	-	29.5	6.80	21.6952	14.344	0.012197	0.001223	6.29
30/04/47	6.32	9858	1.0062	6.20	-	29.5	6.70	21.3762	14.371	0.012197	0.000463	6.20

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

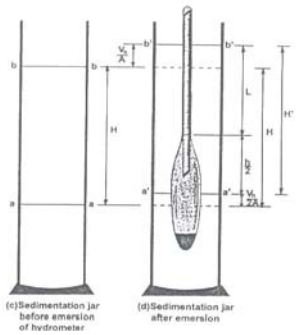
Hydrometer Analysis Test

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CURVE



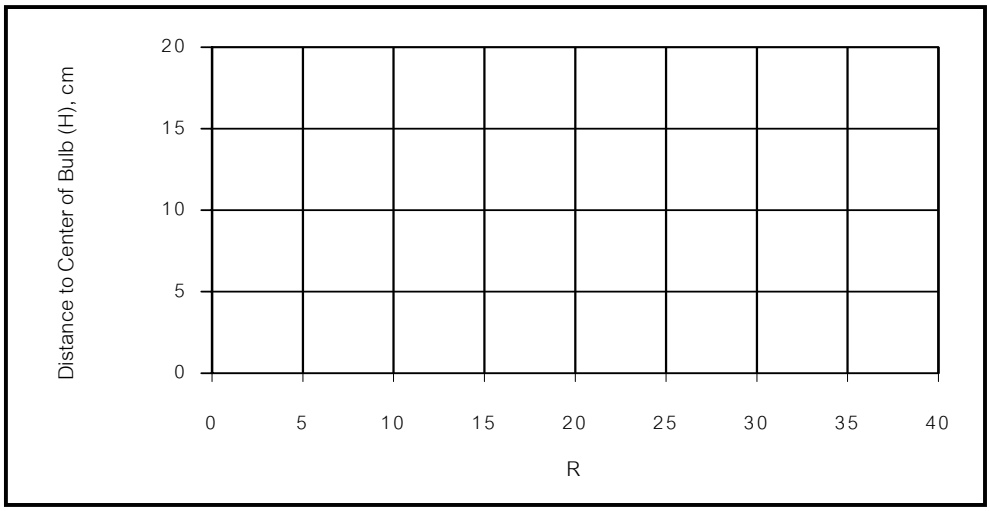
การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์
Hydrometer Analysis Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:



Type of Hydrometer		
Hydrometer No.		
Sedimentary Jar Diameter	cm	
Sedimentary Jar Cross Section	cm^2	
Initial Reading of Graduate(V1)	cm^3	
After Hydrometer Immersion Reading(V2)	cm^3	
Volume of Hydrometer(V = V2 – V1)	cm^3	
V/2A	cm	

Hydrometer Reading	Length from Tip to Hydrometer (L+ h), cm	Hydrometer Bulb Length (h), cm	R	Curve A (First 2 min) H = (L+ h)-h/2, cm	Curve B (After 2 min) H = Curve A – V/(2A)
1.0000					
1.0100					
1.0200					
1.0300					



การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

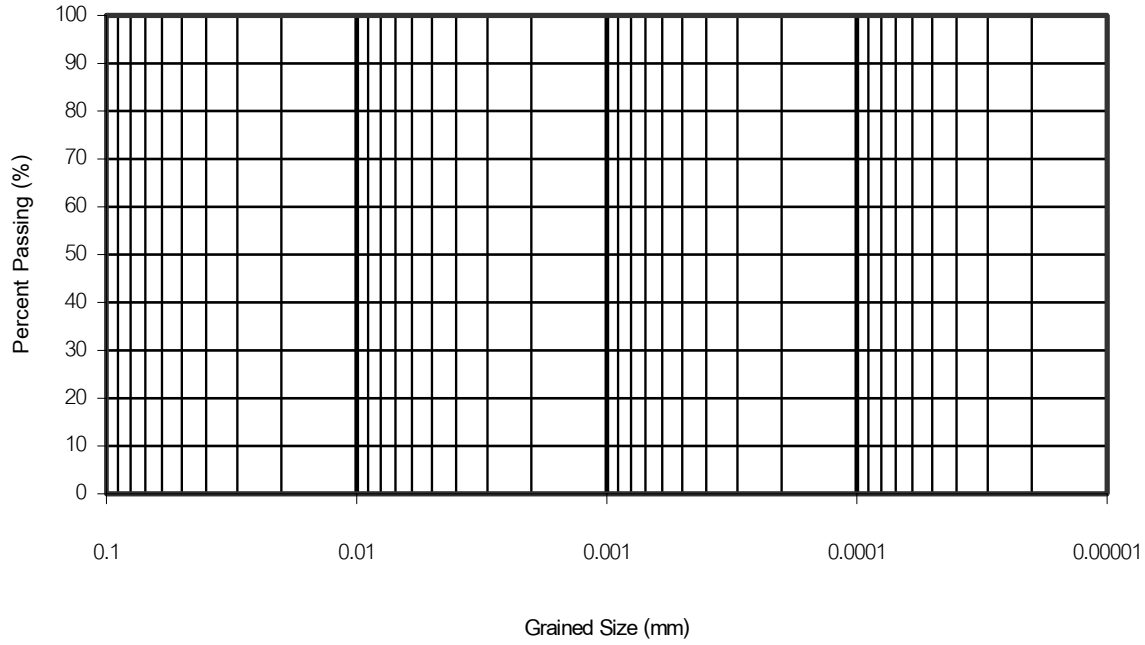
Specific Gravity of Soil		Meniscus Correction	
Percent Finer than No.200		Temperature Correction	
Dry Weight of Sample (g)		Dispersion Correction	

Date	Time (min)	Elapse Time	151H r	152H R	152H R	Temp. (°C)	Rc	% Finer	H (cm)	K	D (mm)	% F'

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CURVE



การรายงานผลการทดสอบ

1) ขนาดของเม็ดดินพร้อมเปอร์เซ็นต์ขนาดเม็ดดิน
2) กราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน

ข้อควรระวัง

1) ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ต้องมีความระเอียดถึง 0.0005
2) การอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ต้องอ่านที่ปลายบนสุดของ Meniscus รอบๆ แกน
3) การจุ่มไฮโดมิเตอร์ลงในของผสมตะระวังอย่าให้ไฮโดมิเตอร์หมุนหรือส่ายไปมา
4) การเอาไฮโดมิเตอร์ออกจากของผสมหลังจากอ่านค่าเสร็จแล้วต้องพยายามให้มีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด
5) ในระหว่างการทดลองต้องไม่ให้ของผสมในกระบอกแก้วได้รับความสั่นสะเทือน

การทดลองที่ 7

การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก

Determination of Atterberg ′s Limits

ทฤษฎีและหลักการ

ขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์ก (Atterberg ′s Limits) หรือ ขีดจำกัดความข้นเหลว(Consistency ‘s Limit) หมายถึงปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้สภาพความเหนียวตัวของมวลดินเปลี่ยนแปลงไป สถานภาพของมวลดินแบ่งออกเป็น 5 สถานภาพ โดยจุดแบ่งแต่ละสถานะภาพเรียกว่า ขีดจำกัด (Limit) ดังนี้

1. Cohesion Limit คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้เศษดินเริ่มมีการยึดเกาะเข้าด้วยกัน
2. Sticky Limit คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้มวลดินเริ่มมีการยึดเกาะกับผิวของโลหะ
3. ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.) หมายถึง ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดในดินที่ทำให้ดินสามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานะภาพของดินก็จะเป็นขีดจำกัด ที่เปลี่ยนจากของเหลว เป็น พลาสติก สามารถหาค่าได้กับดินที่มีความเชื่อมแน่น
4. ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.) หมายถึง ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหนียวหนืดมากขึ้น จะมีปริมาณความชื้นในดิน น้อยกว่าขีดจำกัดเหลวหรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานภาพของดินก็คือขีดที่ดินเปลี่ยนจากสภาพ พลาสติก เป็น กึ่งของแข็ง
5. ขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit, S.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำมากที่สุดในมวลดินที่ไม่ทำให้ปริมาตรทั้งหมดของมวลดินเปลี่ยนแปลง ในที่นี้ก็คือ ปริมาตรของดินแห้งซึ่งเม็ดดินจะอยู่ชิดกัน แม้จะลดปริมาณน้ำจากขีดจำกัดการหดตัวและสูญเสียความชื้นไปอีกก็ตาม ก็ไม่ทำให้ปริมาตรมวลดินเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ดินเริ่มมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งความชื้นในดินนี้จะน้อยกว่าขีดจำกัดพลาสติก หรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานภาพของดิน ก็จะเป็นขีดจำกัดที่ดินเปลี่ยนจาก สภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง ค่าขีดจำกัดหดตัวนี้เป็นค่าที่บอกถึงสภาพการหดตัวหลังจากดินสูญเสียความชื้นไปว่ามีการหดตัวมากน้อยเพียงใด

ต่อมาได้มีการนำค่าขีดจำกัดมาประยุกต์ ซึ่งในปัจจุบันทางด้านวิศวกรรมโยธาจะใช้กันอยู่ 3 ขีดจำกัด คือ ขีดจำกัดการไหลตัว (Liquid Limit) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) และขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit) ซึ่งค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดการอ่อนตัว จะใช้พิจารณาในการจำแนกดิน (Soils Classification) สภาพกำลังของดิน ประมาณการทรุดตัวของดินแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) และประมาณความหนาแน่นสูงสุดจากการบดอัดดินได้ (Compaction) ส่วนค่าขีดจำกัดการหดตัวจะใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาปริมาณความชื้นของดินในสภาพขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) และ ขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage Limit) ได้

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- ASTM D 4318-93 Test Method for Liquid Limit , Plastic Limit , and Plasticity Index of Soils
- ASTM D 427-98 Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method

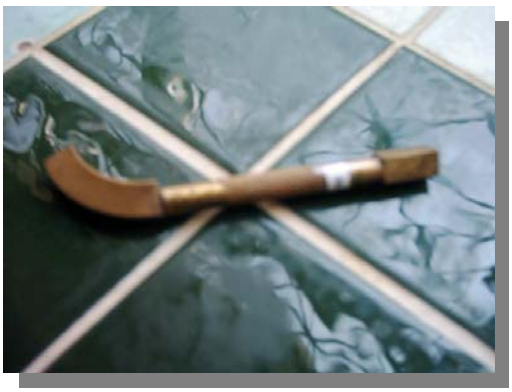
อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทดสอบหา Atterberg 's Limits

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทดสอบหา Liquid Limit

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) เครื่องทดสอบหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit Device) ตามมาตรฐานASTM D 4318
2) เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)
3) มีดปาดดิน (Spatula) ขนาดกว้างประมาณ 3/4 นิ้ว (19 มิลิเมตร) และยาวประมาณ 3 นิ้ว (76 มิลลิเมตร)
4) ชามกระเบื้องเคลือบ (Coat Dish)



เครื่องมือปาดร่องดิน

เครื่องทดสอบหาขีดจำกัดเหลว

มีดปาดดิน

ชามกระเบื้องเคลือบ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทดสอบหา Plastic Limit

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) แผ่นกระจกทดสอบ Plastic Limit (Glass Plate) ขนาดไม่น้อยกว่า 10 × 10 เซนติเมตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทดสอบหา Shrinkage Limit

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) ถ้วยสำหรับหาค่าพิกัดหดตัว (Shrinkage Dish) เป็นโลหะเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $1\frac{3}{4}$ นิ้ว (44 มิลลิเมตร) สูงประมาณ $\frac{1}{2}$ นิ้ว (12 มิลลิเมตร)
2) ถ้วยแก้ว (Glass Cup) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $2\frac{1}{4}$ นิ้ว(57.2 มิลลิเมตร) สูงประมาณ นิ้ว $1\frac{1}{4}$ (31.8 มิลลิเมตร)
3) แผ่นกระจกมีปุ่ม 3 ปุ่ม (Glass Plate 3 bottoms) ขนาดของแผ่นกระจก 3×3นิ้วหนา $\frac{1}{16}$ นิ้ว
4) มีดปาดดิน (Spatula) ขนาดกว้างประมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19 มิลิเมตร) และยาวประมาณ 3 นิ้ว (76 มิลลิเมตร)
5) ปรอท (Mercury)

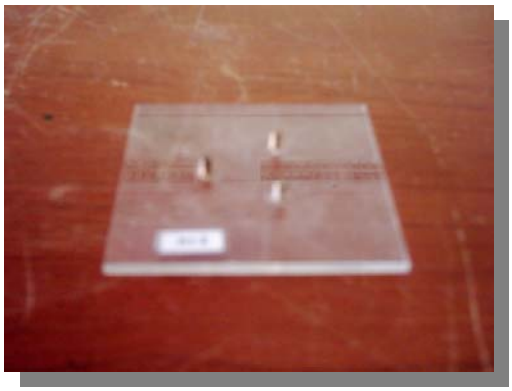
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไป

1) ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ° C - 110° C
2) ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
3) กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

ถ้วยสำหรับหาค่าพิกัดหดตัว

ปรอท

ถ้วยแก้ว



แผ่นกระจกมีปุ่ม 3 ปุ่ม

มีดปาดดิน

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

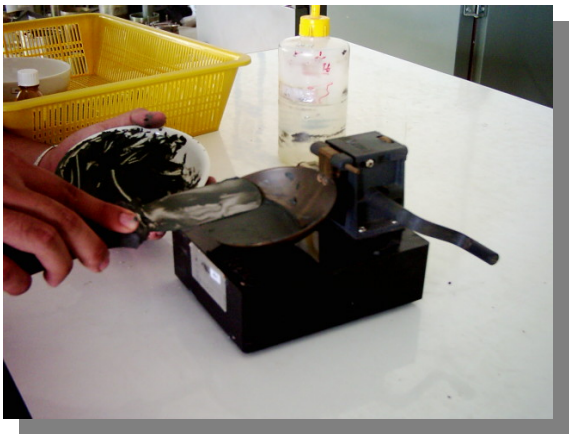
เก็บตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจหรือตามแหล่งที่ต้องการ แล้วนำดินมาทำการตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำดินมาทุบให้แตกด้วยค้อนยาง ทุบให้ดินแยกตัวออกจากกันเท่านั้น ไม่ใช่ทุบจนกระทั่งเม็ดดินแตกออกตามมาด้วย แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยให้ใช้จำนวนตัวอย่างดินตามการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบ Liquid Limit	ประมาณ 100	กรัม
การทดสอบ Plastic Limit	ประมาณ 20	กรัม
การทดสอบ Shrinkage Limit	ประมาณ 30	กรัม

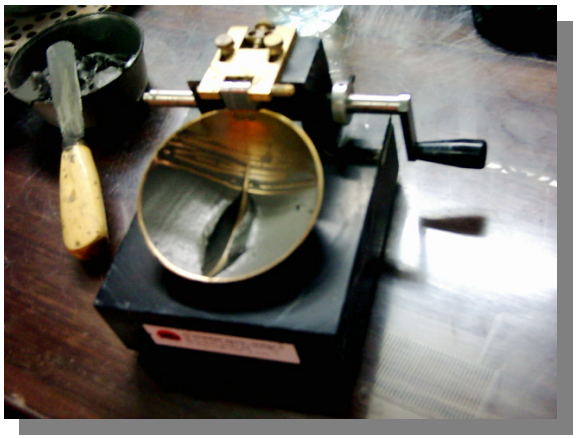
ขั้นตอนการทดสอบ Liquid Limit

ขั้นตอนที่ 1 นำดินที่เตรียมไว้ใส่ในถ้วยเคลือบแล้ว ใส่น้ำประมาณ 15 – 20 มิลลิลิตร หรือในปริมาณที่ไม่เหนียวจนเกินไป แล้วผสมให้เข้ากัน

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมอุปกรณ์ชุดทดสอบ ให้ความสูงของก้นจานอยู่สูงกว่าพื้นรอง 1 ± 0.2 เซนติเมตร โดยใช้ด้ามของ Grooving Tool วัด ทำการปรับปุ่มเลื่อนต่าง ๆ ให้แน่น แล้วใช้มีดปาดดิน (Spatula) ตักดินใส่ลงในจาน แล้วปาดให้เรียบ โดยให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 เซนติเมตร



ขั้นตอนที่ 3 ทำการบากดินในจาน ด้วย Grooving Tool ให้เป็นร่องในครั้งเดียวจนเห็นพื้นรองจานและรอยร่องนี้จะแบ่งดินออกเป็น 2 ข้างเท่า ๆ กัน (ในการบากดินเป็นร่องควรทำครั้งเดียวไม่ควรทำหลายครั้ง เพราะแนวร่องที่ตัดซ้ำจะไม่อยู่ในรอยเดิม ทำให้ยากแก่การสังเกตแนวร่องที่ดินจะไหลมาชนกันจากการตกกระทบของจาน)



ขั้นตอนที่ 4 ทำการหมุนให้จานตกกระทบกับพื้นรองในทันที ซึ่งใช้ความเร็วในการหมุน 1.9 – 2.1 ครั้ง ต่อ 1 วินาที (ประมาณ 2 ครั้ง ต่อ 1 วินาที) โดยนับจำนวนครั้งไว้ด้วย ทำการหมุนจนกระทั้งดินที่บากไว้ไหลเข้ามาชนกันเป็นระยะทาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (12.7 มิลิเมตร)

ขั้นตอนที่ 5 ในการหาค่า Liquid Limit จะนับจำนวนการเคาะที่ 25 ครั้ง แล้วดินไหลมาชนกันเป็นระยะทาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (12.7 มิลิเมตร) พอดีนั้นทำได้ยาก จึงได้มีการกำหนดจำนวน การเคาะครั้งแรกและครั้งต่อ ๆ ไป เพื่อความสะดวก ดังนี้ (ตามมาตรฐาน ASTM D 4318)

จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 1	ประมาณ 25 – 35 ครั้ง
จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 2	ประมาณ 20 - 30 ครั้ง
จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 3	ประมาณ 15 – 25 ครั้ง

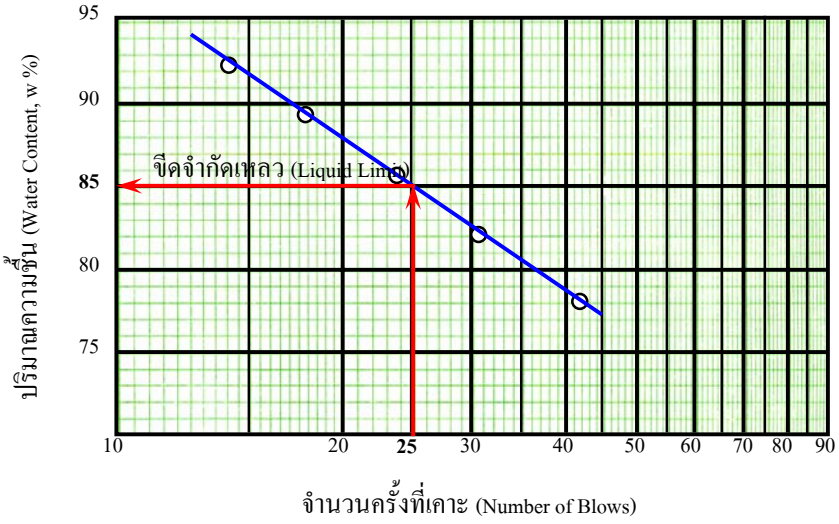
ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้จำนวนการเคาะตามที่กำหนด และดินไหลมาชนกันเป็นระยะทาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว แล้วทำการตักดินเฉพาะตรงที่ดินไหลมาชนกัน โดยใช้ Spatula ปาดขนานกันให้ระยะห่างพอดีกับระยะที่ดินไหลมาชนกันนี้แล้วจึงตัดหัวท้ายของรอยตัดขาดนี้ในแนวตั้งฉากกัน นำดินที่ถูกตักใส่ในกระป๋อง แล้วนำไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น

ขั้นตอนที่ 7 นำดินที่เหลือในจานออกแล้วนำกลับไปผสมกับดินที่เหลืออยู่ในถ้วยเคลือบ โดยเติมน้ำ ทีละน้อย ผสมเข้ากันให้ทั่ว ทำความสะอาดจานของชุดทดสอบ , Grooving Tool, Spatula ให้เรียบร้อย อย่าให้มีเศษดินติดอยู่ พร้อมที่จะทำการทดสอบครั้งต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 ทำการทดสอบซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 4 - 7 จนกระทั่งครบตามจำนวนตัวอย่างดินที่ต้องการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 9 นำข้อมูลที่จำนวนการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (Water Content, w %) ไปเขียนกราฟในกระดาษกราฟ Semi - Log โดยให้จำนวนการเคาะ (N) อยู่ในแนว แกน X (Scale Log) และปริมาณความชื้น (Water Content, w %) อยู่ในแนวแกน Y แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

ขั้นตอนที่ 10 จากจำนวนการการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวดิ่งตัดเส้นกราฟที่ได้เขียนไว้แล้ว ลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน Y ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือ ค่า Liquid Limit, L.L. ดังแสดงในรูปที่ 7.1

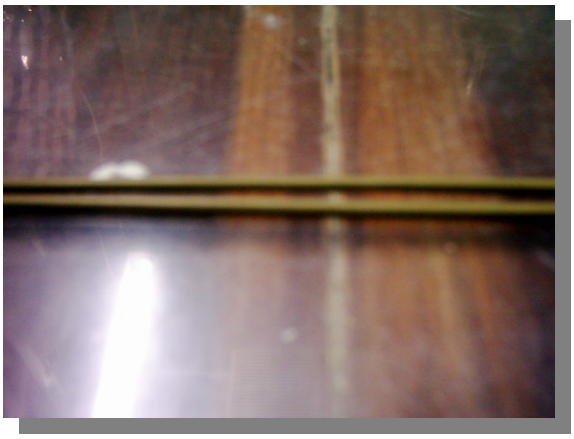


รูปที่ 7.1 ขีดจำกัดเหลว

ขั้นตอนการทดสอบ Plastic Limit

ขั้นตอนที่ 1 นำดินที่เตรียมไว้สำหรับการหาค่า Liquid Limit นำมาประมาณ 20 กรัม ผสมกับน้ำให้เข้ากัน พยายามให้หมาดที่สุด แล้วปั้นเป็นก้อนกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 นำไปคลึงบนแผ่นกระจกในอัตรา 80 – 90 ครั้ง / นาที จนกระทั้งเป็นเส้นกลมยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว (3.2 มิลิเมตร) แล้วให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ทั่วไป จึงจะนำตัวอย่างที่ได้ไปใส่กระป๋องเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น



ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบซ้ำอย่างน้อย 3 –5 ตัวอย่าง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยกัน (ค่าที่จะนำมาเฉลี่ยได้ต้องมีค่าใกล้เคียงกัน คือต่างกันไม่เกิน 2 %)

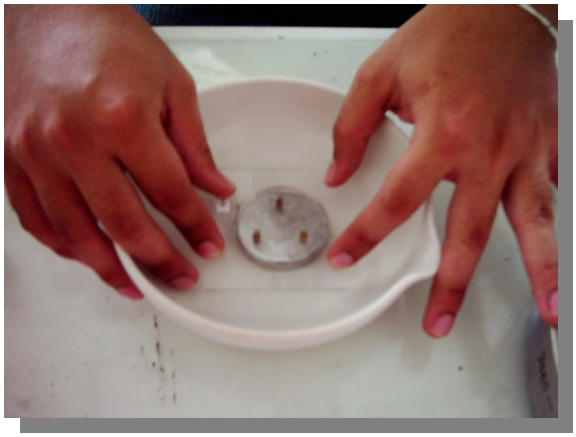
ขั้นตอนการทดสอบ Shrinkage Limit

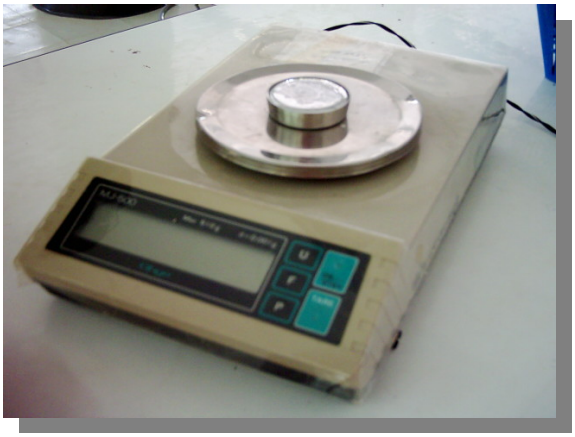
ขั้นตอนที่ 1 นำดินที่เตรียมไว้แล้วจากการหาค่า Liquid Limit มาประมาณ 30 กรัม ผสมกับน้ำให้พอเหลวเพื่อใส่ใน Shrinkage Dish ได้ ก่อนทำการทดสอบให้นำ Shrinkage Dish ไปชั่งน้ำหนักก่อน แล้วทาน้ำมันภายในบาง ๆ เพื่อป้องกันดินติดกับ Shrinkage Dish เมื่อเวลาดินแห้ง

ขั้นตอนที่ 2 นำดินที่ผสมแล้วใส่ลงใน Shrinkage Dish จำนวน 3 ชั้น เท่า ๆ กัน และทำการเคาะ Shrinkage Dish เมื่อใส่ดินในแต่ละชั้น เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากดิน ทำการปรับผิวหน้าดินให้เรียบเสมอขอบของ Shrinkage Dish แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ(อุณหภูมิห้อง) ประมาณ 3 – 6 ชั่วโมง ให้สีของดินเปลี่ยนเป็นสีอ่อน จึงค่อยนำเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 110 ± 5° C ทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน (เพราะถ้ารีบนำเข้าเตาอบเลยจะทำให้ดินแตกเมื่อดินแห้ง)

ขั้นตอนที่ 3 นำ Shrinkage Dish ออกจากเตาอบ ทิ้งไว้ให้เย็นลงสักครู่ แล้วจึงค่อยนำมาชั่งน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 4 การหาปริมาตรก้อนดินเปียกทำได้โดย นำเอาก้อนดินแห้งออกจาก Shrinkage Dish แล้วใส่ปรอทลงใน Shrinkage Dish จนเต็ม วางถ้วยบรรจุปรอทในถ้วยกระเบื้อง ใช้แผ่นกระจกที่มีสามขากดลงบนขอบถ้วยบรรจุปรอท ปรอทส่วนเกินจะล้นออกมาอยู่ในถ้วยกระเบื้อง ปริมาตรปรอทจะเท่ากับขอบถ้วยพอดี นำ Shrinkage Dish ที่บรรจุปรอทนำขึ้นชั่งจะได้น้ำหนักรวมของ Shrinkage Dish + ปรอท เสร็จแล้วเทปรอทออกจาก Shrinkage Dish ซึ่งเราสามารถหาน้ำหนักปรอทใน Shrinkage Dish ซึ่งสามารถนำไปหาปริมาตรที่เท่ากับก้อนดินเปียกได้ (นั้นก็คือการหาปริมาตรของ Shrinkage Dish นั้นเอง)





ขั้นตอนที่ 5 การหาปริมาตรก้อนดินแห้งทำได้โดย วาง Shrinkage Dish ที่บรรจุปรอทเต็มลงในถ้วยกระเบื้อง นำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วมาวางบนปรอทใน Shrinkage Dish แล้วจึงนำแผ่นกระจกที่มีสามขากดให้ดินจมลงไป จนปรอทส่วนเกินล้นออกจากถ้วย ชั่งน้ำหนัก Shrinkage Dish + ปรอท ที่เหลือ เพื่อนำไปหักออกจาก Shrinkage Dish + ปรอท จะได้น้ำหนักปรอทที่ถูกแทนที่เพื่อแปลงเป็นปริมาตรก้อนดินแห้ง

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน

Consistency Limit Test

Project Name	: บ้านจัดสรร	Date of Test	: 25/05/2547	Sample No.	: 1
Location	: อำเภอหัวหิน	Tested by	: นส.ยลวลี บุณขันธ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Dark Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 5

Liquid Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Number of Blows		17	23	32	38	48
Wt. of Can + Wet Soil	(g)	57.08	50.91	46.68	61.13	49.12
Wt. of Can + Dry Soil	(g)	46.77	42.14	39.15	50.76	41.82
Wt. of Can	(g)	12.79	11.96	11.90	12.24	13.69

Plastic Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Wt. of Can + Wet Soil	(g)	47.73	44.20			
Wt. of Can + Dry Soil	(g)	42.17	39.43			
Wt. of Can	(g)	11.77	13.28			

Shrinkage Limit Determination

Trial No.		1	2	3	4	5
Dish No.		K2	K3			
Weight of Wet Soil + Dish	(g)	44.95	45.05			
Weight of Dish	(g)	22.20	22.34			
Weight of Dry Soil + Dish	(g)	37.95	38.24			
Weight of Mercury + Dish	(g)	204.09	204.24			
Weight of Mercury + Tray	(g)	292.30	295.50			
Weight of Tray	(g)	175.80	175.80			

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน
Consistency Limit Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Liquid Limit Determination

Moisture Can No.	1	2	3	4	5
Number of Blows					
Wt. of Can + Wet Soil (g)					
Wt. of Can + Dry Soil (g)					
Wt. of Can (g)					

Plastic Limit Determination

Moisture Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of Can + Wet Soil (g)					
Wt. of Can + Dry Soil (g)					
Wt. of Can (g)					

Shrinkage Limit Determination

Trial No.	1	2	3	4	5
Dish No.					
Weight of Wet Soil + Dish (g)					
Weight of Dish (g)					
Weight of Dry Soil + Dish (g)					
Weight of Mercury + Dish (g)					
Weight of Mercury + Tray (g)					
Weight of Tray (g)					

ตัวอย่างการคำนวณ

1. Liquid Limit

1.1 ค่า Liquid Limit, L.L. อ่านได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเคาะ (N) กับปริมาณความชื้น (Water Content , w %) ที่การเคาะที่ 25 ครั้ง

1.2 ค่า Flow Index, F.I.

$$F.I. = \frac{w_1 - w_2}{\log\frac{N_2}{N_1}} \qquad \text{…….. (7.1)}$$

เมื่อ

w_1 = เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดิน (Water Content, w) ค่าที่ 1 (ค่ามาก)

w_2 = เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในดิน (Water Content, w) ค่าที่ 2 (ค่าน้อย)

N_1 = จำนวนการเคาะ (No. of Blows) ค่าที่ 1 (ค่าน้อย)

N_2 = จำนวนการเคาะ (No. of Blows) ค่าที่ 2 (ค่ามาก)

2. Plastic Limit

2.1 ค่า Plastic Limit, P.L. คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้น (Water Content , w %) ที่ได้จากการทดสอบ

2.2 ค่า Plasticity Index, P.I.

$$P.I. = L.L. - P.L. \qquad \text{…….. (7.2)}$$

2.3 ค่า Liquidity Index, L.I.

$$L.I. = \frac{W_n - P.L.}{P.I.} = \frac{W_n - P.L.}{L.L. - P.L.} \qquad \text{…..… (7.3)}$$

3.3 ดัชนีทาฟเนสส์ (Toughness Index, T.I.)

$$T.I. = \frac{P.I.}{F.I.} \qquad \text{…..… (7.4)}$$

3. Shrinkage Limit

3.1 ค่าปริมาตรของดินเปียก (Volume of Wet Soil , V_m)

$$V_m = \frac{W_m}{13.53} \quad \text{..... (7.5)}$$

เมื่อ

V_m = ปริมาตรของปรอท ลูกบาศก์เซนติเมตร

W_m = น้ำหนักของปรอทที่ถูกแทนที่ ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 ค่าปริมาตรของดินแห้ง (Volume of Dry Soil, Vd)

$$V_d = \frac{W_d}{13.53} \quad \text{..... (7.6)}$$

เมื่อ

W_d = น้ำหนักของปรอทที่ถูกแทนที่ ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 Shrinkage Ratio

$$R = \frac{W_s}{V_s} \quad \text{..... (7.7)}$$

เมื่อ

W_s = น้ำหนักของดินแห้ง กรัม

V_s = ปริมาตรของดินแห้ง ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4 ระดับการหดตัว (Degree of Shrinkage)

$$DS\ (\%) = \frac{V_i - V_f}{V_i} \times 100 \quad \text{..... (7.8)}$$

เมื่อ

V_i = ปริมาตรของดินเปียก

V_f = ปริมาตรของดินแห้งหลังอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน

Consistency Limit Test

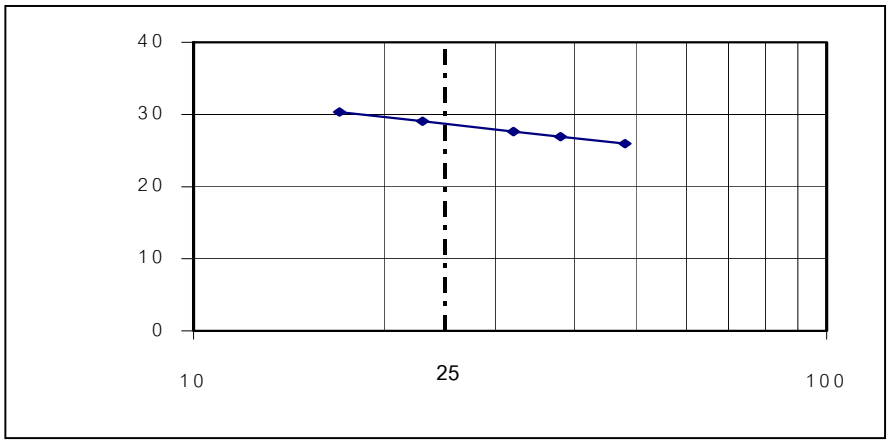
Project Name	: บ้านจัดสรร	Date of Test	: 25/05/2547	Sample No.	: 1
Location	: อำเภอหัวหิน	Tested by	: นส.ยลวลี บุณขันธ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Dark Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 5

Liquid Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Number of Blows		17	23	32	38	48
Weight of Can + Wet Soil	(g)	57.08	50.91	46.68	61.13	49.12
Weight of Can + Dry Soil	(g)	46.77	42.14	39.15	50.76	41.12
Weight of Can	(g)	12.79	11.96	11.90	12.24	13.69
Weight of Water	(g)	10.31	8.77	7.53	10.37	7.30
Weight of Dry Soil	(g)	33.98	30.18	27.25	38.52	28.13
Water Content	(%)	30.34	29.06	27.63	26.92	25.95

Plastic Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Weight of Can + Wet Soil	(g)	47.73	44.20			
Weight of Can + Dry Soil	(g)	42.17	39.43			
Weight of Can	(g)	11.77	13.28			
Weight of Water	(g)	5.56	4.77			
Weight of Dry Soil	(g)	30.4	26.15			
Water Content	(%)	18.29	18.24			
Plastic Limit	(%)	18.29	18.24			



การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน
Consistency Limit Test

Shrinkage Limit Determination

Trial No.		1	2	3	4	5
Dish No.		K2	K3			
Weight of Wet Soil + Dish	(g)	44.95	45.05			
Weight of Dish	(g)	22.20	22.34			
Weight of Dry Soil + Dish	(g)	37.95	38.24			
Weight of Mercury + Dish	(g)	204.09	204.20			
Weight of Mercury + Tray	(g)	292.30	295.50			
Weight of Tray	(g)	175.80	175.80			
Weight of Wet Soil	(g)	22.75	22.71			
Weight of Dry Soil	(g)	15.75	15.90			
Weight of Mercury	(g)	181.89	181.85			
Volume of Mercury	(cm^3)	13.44	13.44			
Weight of Displaced Mercury	(g)	116.50	119.70			
Final Volume of Soil	(cm^3)	8.61	8.85			
Shrinkage Limit	(%)	16.04	16.41			
Average Shrinkage Limit	(%)	16.225				

Summer of Testing

			Natural Water Content	: 20.12	%		
Liquid Limit (LL)	: 28.70	%	Plasticity Index (PI)	: 10.43		Flow Index (FI)	: 9.76
Plastic Limit (LL)	: 18.27	%	Toughness Index (TI)	: 1.07		Liquidity Index (LI)	: 0.18

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน
Consistency Limit Test

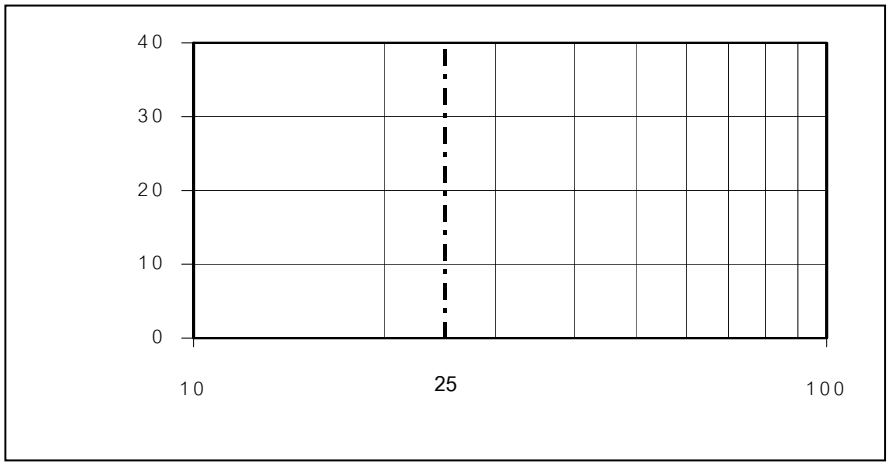
Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Liquid Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Number of Blows						
Weight of Can + Wet Soil	(g)					
Weight of Can + Dry Soil	(g)					
Weight of Can	(g)					
Weight of Water	(g)					
Weight of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					

Plastic Limit Determination

Moisture Can No.		1	2	3	4	5
Weight of Can + Wet Soil	(g)					
Weight of Can + Dry Soil	(g)					
Weight of Can	(g)					
Weight of Water	(g)					
Weight of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					
Plastic Limit	(%)					



การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน
Consistency Limit Test

Shrinkage Limit Determination

Trial No.	1	2	3	4	5
Dish No.					
Weight of Wet Soil + Dish (g)					
Weight of Dish (g)					
Weight of Dry Soil + Dish (g)					
Weight of Mercury + Dish (g)					
Weight of Mercury + Tray (g)					
Weight of Tray (g)					
Weight of Wet Soil (g)					
Weight of Dry Soil (g)					
Weight of Mercury (g)					
Volume of Mercury (cm^3)					
Weight of Displaced Mercury (g)					
Final Volume of Soil (cm^3)					
Shrinkage Limit (%)					
Average Shrinkage Limit (%)					

Summer of Testing

Natural Water Content : %		
Liquid Limit (LL) : %	Plasticity Index (PI) :	Flow Index (FI) :
Plastic Limit (LL) : %	Toughness Index (TI) :	Liquidity Index (LI) :

การรายงานผลการทดสอบ

1) เขียน Flow Curve ลงใน Semi – logarithmic Graph จากปริมาณน้ำในดินและจำนวนครั้งที่เคาะ (Number of Blows) เป็นเส้นตรง ให้ผ่านหรือใกล้เคียงอย่างน้อย 3 จุด
2) ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า Liquid Limit หรือ Plastic Limit ได้ให้รายงานค่า PI ว่า “NP (Non – Plastic)”
3) รายงานค่าคุณสมบัติดังนี้
    1. ขีดจำกัดเหลว
    2. ขีดจำกัดพลาสติก
    3. ขีดจำกัดหดตัว
    4. ดัชนีพลาสติก
    5. ดัชนีเหลว
    6. ดัชนีการไหล

ข้อควรระวัง

1) ดินตัวอย่างที่มีค่า PI ต่ำเช่น Silty Clay หรือ Sandy Clay ขณะที่ปริมาณน้ำในดินน้อยๆ การเคลื่อนที่ของตัวอย่างเข้าติดกันในร่อง อาจจะไม่ใช่การเคลื่อนที่ (Flow) เข้าสัมผัสกันอย่างแท้จริง แต่อาจเกิดจากปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไปตัวอย่างจึงไม่ยึดเกาะพื้นผิวกระทะ ที่ปรากฏให้เห็นการเคลื่อนที่เข้าติดกันนั้น อาจเป็นเพราะตัวอย่างลื่นไถล (Slip) มาชนกัน ให้ตรวจสอบโดยใช้ Spatula ถ่างดูตรงที่ตัวอย่างชนกัน ถ้าปรากฏว่าตัวอย่าง “ชนกัน” เฉยๆ ไม่ “ติดเป็นเนื้อเดียว” แสดงว่าเกิดการ Slip ขึ้น ให้เพิ่มน้ำแล้วทำการทดสอบใหม่
2) ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ จะต้องแน่ใจว่า Sand Grains และ Clay Lumps ต่างๆ แยกออกจากกันจนสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ได้ อย่าอบตัวอย่างที่อุณหภูมิเกิน 60 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ค่า PI และ LL ของวัสดุบางชนิดลดลง และ Organic Matters อาจจะถูกเผาไหม้
3) ให้เก็บตัวอย่างทันทีเมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่เข้ามาติดกันเกิน 12.7 มม. ($\frac{1}{2}$ นิ้ว) แล้วรีบชั่งหามวล เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีจำนวนน้อยอยู่แล้ว การเก็บรอไว้จะทำให้น้ำระเหยออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องทำงานหรือท้องถิ่นที่มีอากาศร้อน การระเหยของน้ำจะมีมากขึ้น

4) ตัวอย่างดินพวก Silt หรือพวก PI ต่ำๆ จะทำลำบากมาก ก่อนคลึงให้แต่งดินเป็นเส้นยาวน้ำหนักนิ้วที่ใช้กดคลึงต้องเบา มิฉะนั้นแท่งตัวอย่างจะแตกทันที และระหว่างคลึงอาจจะต้องคอยซับน้ำที่ออกจากตัวอย่าง
5) ในกรณีที่ตัวอย่างทรายปนมาก ให้หาค่า Plastic Limit ก่อนค่า Liquid Limit ถ้าเป็น Non Plastic จะได้ไม่ต้องทดสอบหาค่า Liquid Limit
6) ห้ามผสมตัวอย่างกับน้ำในถ้วยกระทะของเครื่องมือทดสอบ แต่ให้ผสมตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบ
7) ให้วางเครื่องมือทดสอบกับพื้นราบทุกครั้งในขณะหมุนเครื่อง ห้ามใช้มืออุ้มเครื่องขึ้นเพื่อหมุนทดสอบ
8) น้ำที่ใช้ทดสอบต้องเป็นน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่น

การทดลองที่ 8

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

Permeability Test

ทฤษฎีและหลักการ

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ของดินเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของดินในด้านการยอมให้น้ำไหลผ่านมวลดิน ถ้าน้ำไหลผ่านมวลดินได้ง่ายค่าสัมประสิทธิ์จะมีมาก นั่นคือดินจะมีช่องว่างมาก หรือดินอยู่ในสภาพหลวม และถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยเท่าใดก็แสดงว่าดินนั้นมีความหนาแน่นมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้นี้สามารถวัดความหนาแน่นของดินได้อีกวิธีหนึ่ง

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ของดิน จะใช้ความสัมพันธ์จากสมการของดาร์ซี เป็นทฤษฎีพื้นฐานในการทดสอบ โดยผู้ค้นพบทฤษฎีนี้คือ ดาร์ซี (Darcy) ได้พบว่าอัตราการไหลของน้ำผ่านทรายจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) ดังแสดงในสมการ

จาก $v \propto i$

หรือ เขียนเป็นสมการได้ $v = ki$

การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะมีอยู่ 2 วิธีการ คือ การทดสอบแบบความดันคงที่ สำหรับทดสอบกับดินเม็ดหยาบ และการทดสอบแบบความดันเปลี่ยน สำหรับทดสอบกับดินเม็ดละเอียด ถ้าหากสภาพดินที่แตกต่างกันหลายชั้นก็สามารถจะหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำโดยการนำค่าดังกล่าวของแต่ละชั้นมาใช้ในการแทนค่าสมการซึ่งพิจารณาได้ 2 ทิศทางคือ ทิศทางตั้งฉากกับชั้นดินและทิศทางขนานกับชั้นดิน นอกจากนี้แล้วยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำได้จากการทดสอบในสนามอีกด้วย

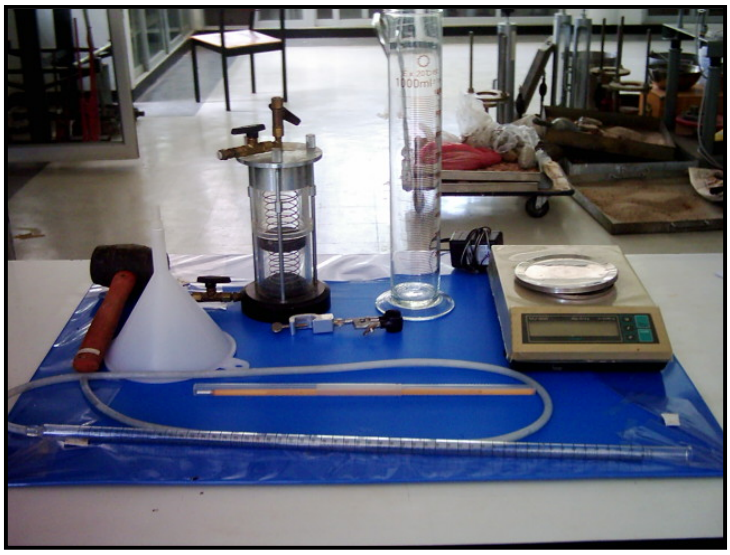
วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำในมวลดิน(Coefficient of Permeability or Hydraulic Conductivity, k)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 2434-68(2000) Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

อุปกรณ์และเครื่องมือ



อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

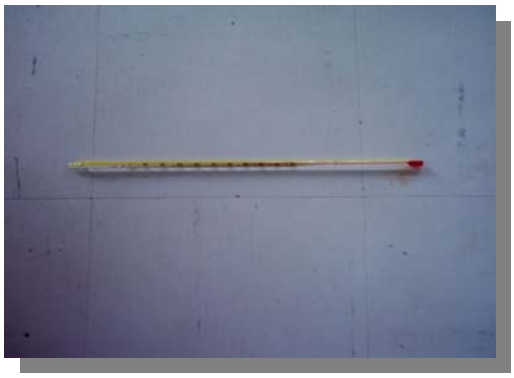
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) แผงเครื่องมือการทดสอบการซึมผ่าน
2) ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดิน (Permeameters)
3) กระบอกบรรจุดิน (Mold or Chamber)
4) อุปกรณ์การบดอัดดิน เช่น ค้อนยาง, เหล็กกระทุ้ง
5) เครื่องดูดอากาศ (Vacuum Pump) ที่มีแรงดูดที่เหมาะสม
6) กระบอกตวงน้ำ (Measuring Cylinder)
7) เทอร์โมมิเตอร์(Thermometer)
8) นาฬิกาจับเวลา (Timer)

แผงเครื่องมือการทดสอบการซึมผ่าน

ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดิน

อุปกรณ์การบดอัดดิน เช่น ค้อนยาง, เหล็กกระทุ้ง



เทอร์โมมิเตอร์

นาฬิกาจับเวลา

กระบอกบรรจุดิน

เครื่องดูดอากาศ

กระบอกตวงน้ำ

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

สำหรับการทดสอบแบบความดันคงที่(Constant-Head) ให้นำตัวอย่างดินที่มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบ เช่น ทราย กรวด มาผึ่งแห้งโดยอากาศ หรือดินอิ่มน้ำ (แช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง) ประมาณ1500 กรัม ส่วนการทดสอบแบบความดันเปลี่ยน(Variable Head or Falling Head) จะใช้ตัวอย่างดินที่มีค่าการซึมผ่านน้อย ซึ่งได้แก่ ทรายละเอียด ดินตะกอน ที่ได้เก็บโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่าง(Tube)

ขั้นตอนการทดสอบการเตรียมการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดิน แล้วประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นเข้ากับ Cell วางวัสดุรอง (ตะแกรงหรือหินพรุน) ไว้ด้านล่างของ Cell วางสปริงและหินพรุนไว้ด้านบนแล้วนำไปชั่งหานำหนักของCell เปล่า

หมายเหตุ : ถ้าตัวอย่างเป็นเม็ดทรายละเอียดควรใช้หินพรุนเป็นวัสดุรองเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างที่ทดสอบอาจถูกพัดพาไปกับน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่าง แต่ถ้าตัวอย่างเป็นเม็ดกรวดซึ่งน้ำพัดพาไปได้ยากให้ใช้แผ่นตะแกรงรองก็ได้

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างดินที่ได้เตรียมไว้บรรจุลงใน Mold ที่ได้ประกอบไว้ใส่ตัวอย่างดินเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งหรือเคาะด้วยค้อนยางโดยให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติมากที่สุด จนกระทั่งผิวหน้าของตัวอย่างดินต่ำกว่าขอบของ Mold ประมาณ 2.5 เซนติเมตร ปรับผิวหน้าของตัวอย่างดินให้เรียบและนำเม็ดดินที่ติดอยู่ข้าง ๆMold ออกให้หมด

ขั้นตอนที่ 3 นำหินพรุนมาวางทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดินและกดให้แน่น นำสปริงและฝาครอบมาใส่และยึดฝาครอบให้แน่นด้วยสกรู แล้วนำไปชั่ง

ขั้นตอนการทดสอบ

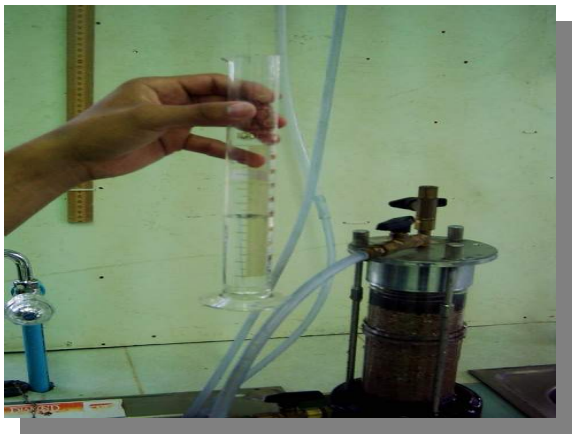
การทดสอบแบบแรงดันคงที่ (Constant-Head)

ขั้นตอนที่ 1 ไล่ฟองอากาศออกและทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว โดยการติดตั้งกรวยให้มีความสูงของกรวยที่เพียงพอให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านตัวอย่างดินได้ด้วยความดันของน้ำเองจากด้านล่างขึ้นสู่ผิวบนของตัวอย่างดินโดยต่อสายยางเข้ากับวาวล์ระบายน้ำออก(Outflow) น้ำจะค่อยๆซึมผ่านตัวอย่างดินพร้อมกับเปิดวาวล์ไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่าง

หมายเหตุ : ถ้าตัวอย่างดินเป็นดินเม็ดหยาบไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องดูดอากาศ(Vacuum Pump)เพราะปริมาณฟองอากาศมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดดิน ถ้าเป็นดินเม็ดละเอียดปริมาณฟองอากาศจะมีผลต่อการไหลของน้ำจึงจำเป็นต้องไล่ฟองอากาศออกให้หมด โดยเมื่อน้ำไหลซึมเข้าในตัวอย่าง ประมาณ $\frac{1}{3}$ ของความสูงแล้วปิดวาล์วน้ำที่ไหลเข้าตัวอย่าง ใช้เครื่องดูดอากาศต่อกับวาล์วดูดอากาศด้านบนของ Cell ดูดอากาศออกจากตัวอย่างประมาณ 10**นาที** จากนั้นเปิดน้ำเข้ามาใหม่ จนน้ำสูงประมาณ $\frac{2}{3}$ ใช้เครื่องดูดอากาศออกอีกประมาณ10 นาที แล้วเปิดน้ำเข้าจนจมหินพรุนใช้เครื่องดูดอากาศออกจนสังเกตได้ว่าไม่มีฟองอากาศอีกแล้วจึงหยุดเครื่อง

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มการทดลองโดยปิดน้ำในสายยางจากกรวย(โดยการพับสายยาง)แล้วถอดสายยางออก ต่อปลายสายยางที่มีน้ำอยู่เต็มเข้ากับท่อน้ำเข้าของตัวอย่างดิน (Inflow) ที่อยู่ด้านบนของ Cell แล้วเปิดวาวล์ให้น้ำไหลเข้าใน Cell ส่วนปลายท่อที่น้ำไหลออก(Outflow) ให้ต่อเข้ากับสายยางเพื่อรองรับน้ำไว้หาอัตราการไหลต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินในช่องน้ำออก(Outflow) ในอัตราการไหลที่คงที่แล้ว โดยลองวัดปริมาณน้ำดู 4-5 ครั้งในเวลาที่กำหนดขึ้นเอง ถ้าทดลองดูแล้วน้ำที่ไหลออกปริมาณที่เท่ากันตลอดในเวลาที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำคงที่แล้ว



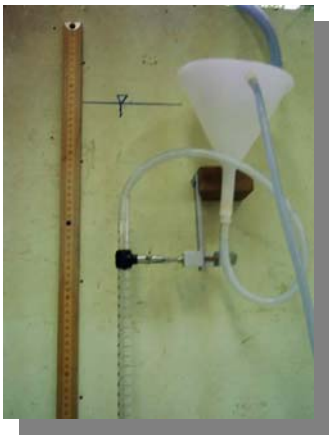
ขั้นตอนที่ 4 เมื่อมีอัตราการไหลคงที่แล้ว จึงหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำหลอดแก้วมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการทดลองหาอัตราการไหลที่คงที่นั้นเอง โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วจึงค่อยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q

หมายเหตุ : ระหว่างปล่อยน้ำเข้าในตัวอย่างดินนี้จะต้องคอยเติมน้ำในกรวยให้พอดีกับช่องระบายน้ำล้นอยู่ตลอดเวลาจนสิ้นสุดการทดลอง

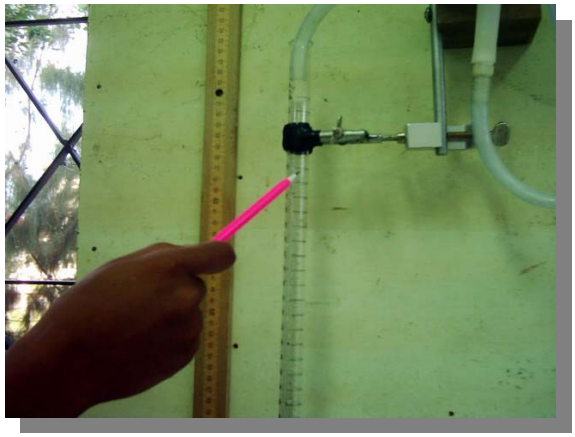
การทดสอบแบบความดันเปลี่ยน (Variable Head or Falling Head)

ขั้นตอนที่ 1 ไล่ฟองอากาศออกและทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว โดยการนำตัวอย่างดินใน Cell ไปแช่น้ำพร้อมกับใช้เครื่องดูดอากาศออก สำหรับดินที่มีการซึมน้ำต่ำจะต้องแช่ตัวอย่างในน้ำประมาณ 24ชั่วโมง

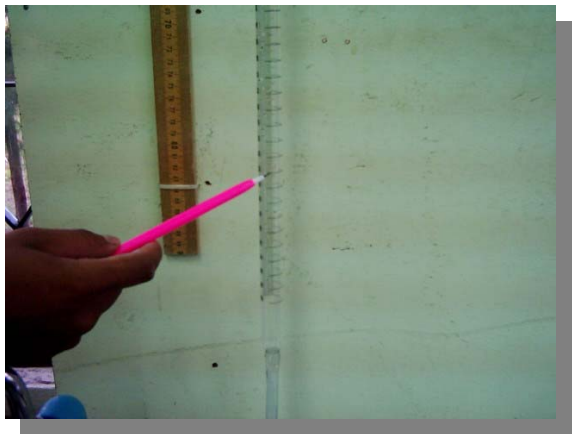
ขั้นตอนที่ 2 ต่อสายยางเข้ากับกรวย กับขาตั้งที่มีไม้บรรทัดวัดระดับน้ำ โดยให้มีความสูงมากพอที่จะทำให้น้ำ ซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างดินได้ ใส่น้ำลงในกรวยที่ต่อสายยางกับหลอดแก้ว(Sand Pipe) ปล่อยให้น้ำสูงขึ้นจนใกล้ปลายหลอดแก้ว แล้ว Set ระดับที่ปลายหลอดแก้ว ให้เป็น h_0



ขั้นตอนที่ 3 ขีดระดับไว้ที่ส่วนล่างของหลอดแก้วเป็น h_1 แล้วคำนวณค่า $\sqrt{h_0 h_1}$ แล้วขีดระดับที่คำนวณได้ที่หลอด



ขั้นตอนที่ 4 ปล่อยให้น้ำไหลลดระดับลงมาจาก h_0 ถึง $\sqrt{h_0 h_1}$ พร้อมกับเริ่มจับเวลา เวลาที่ใช้ในการลดระดับของน้ำจาก h_0 ถึง $\sqrt{h_0 h_1}$ และ จาก $\sqrt{h_0 h_1}$ ถึง h_1 ควรจะมีค่าใกล้เคียงกัน



ขั้นตอนที่ 5 เมื่อค่าที่ทดลองจากข้อที่ 6 ใกล้เคียงกันแล้ว เริ่มการทดลองใหม่ เปิดน้ำเข้าในหลอดแก้ว รอให้ระดับน้ำลงมาถึง h_0 เริ่มจับเวลา จนถึงระดับ $\sqrt{h_0 h_1}$ และจากระดับ $\sqrt{h_0 h_1}$ ถึง h1 และวัดอุณหภูมิของน้ำ ทำการทดลองในข้อนี้ 2 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 6 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแก้ว (Sand Pipe) เพื่อหาอัตราการไหล

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน

Permeability Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 9/11/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Sand	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1.2

Soil Sample Data

Diameter	(cm)	10.10	Initial Mass of Soil + Pan	(g)	3760
Height	(cm)	11.65	Final Mass of Soil + Pan	(g)	1245

Constant Head

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^{o}C)	Head (cm)	Discharged (cm^3)	Time (sec)
1	20	30.5	12	121	68
2	20	30.5	12	145	76
3	20	30.5	12	136	75
4	20	30.5	12	128	70
5					

Variable Head

Inside Diameter of the Burette (cm)	2.523

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^{o}C)	Head (cm)		Time (sec)
			h_o	h_1	
1	20	30.5	100	80	1300
2	20	30.5	100	80	1312
3	20	30.5	100	80	1325
4	20	30.5	100	80	1320
5					

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน
Permeability Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Soil Sample Data

Diameter	(cm)		Initial Mass of Soil + Pan	(g)	
Height	(cm)		Final Mass of Soil + Pan	(g)	

Constant Head

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^{o}C)	Head (cm)	Discharged (cm^3)	Time (sec)
1					
2					
3					
4					
5					

Variable Head

Inside Diameter of the Burette (cm)	

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^{o}C)	Head (cm)		Time (sec)
			h_o	h_1	
1					
2					
3					
4					
5					

ตัวอย่างการคำนวณ

1. รายละเอียดของตัวอย่างดิน (Soil Sample Data)

1.1 ค่าความหนาแน่นแห้ง

$$\rho_d = \frac{W_S}{V} \quad \text{..... (8.1)}$$

เมื่อ

ρ_d = Dry Density

W_S = น้ำหนักดินแห้ง

V = ปริมาตรของตัวอย่าง

1.2 ค่าความหนาแน่นเปียก (Wet density)

$$\rho_w = \frac{W}{V} \quad \text{..... (8.2)}$$

เมื่อ

ρ_w = Wet density

W = น้ำหนักดินเปียก

V = ปริมาตรของตัวอย่าง

1.3 อัตราส่วนช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Void Ratio)

$$e = \frac{G_S \cdot \rho_W}{\rho_d} - 1 \quad \text{..... (8.3)}$$

เมื่อ

e = Void Ratio

G_S = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

ρ_w = Wet density

ρ_d = Dry Density

2. **ผลการทดสอบแบบความดันคงที่** Constant-Head

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านแบบความดันคงที่ (Constant-Head) ที่อุณหภูมิทดลอง k_t

$$K_t = \frac{Q.L}{hAt} \quad \text{..... (8.4)}$$

เมื่อ

K_t = ค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านที่อุณหภูมิทดลอง

Q = ปริมาณการไหลของน้ำผ่านมวลดิน (Quantity of fluid flow) , ซ.ม.^{3}

L = ความยาวของตัวอย่างดินใน Cell, ซม.

t = เวลาที่น้ำไหลผ่านดิน Time, วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน Cross- Section Area, ซ.ม.^{2}

h = ผลรวมของความต่างของระดับน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดิน (Total Head)

3. **ผลการทดสอบแบบความดันเปลี่ยน** (Variable Head or Falling Head)

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน ที่อุณหภูมิทดลอง k_t

$$K_t = \frac{2.3aL}{A.\Delta t} \times \log \frac{h_0}{h_1} \quad \text{..... (8.5)}$$

เมื่อ

k = ค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านที่อุณหภูมิทดลอง

a = ขนาดพื้นที่หน้าตัดของหลอด Manometer

L = ความยาวของตัวอย่างดินใน Cell, ซม

A = พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน Cross- Section Area, ซ.ม.^{2}

Δt = เวลาที่น้ำลดระดับลงจาก h0 ถึง h1

h_0 = ขีดระดับน้ำใน (Sand Pipe) ขณะเริ่มทดสอบ

h_1 = ขีดระดับน้ำใน (Sand Pipe) เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

ปรับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน อุณหภูมิที่ทดลอง เป็นอุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส

$$k_{20} = k_t.\frac{\mu_t}{\mu_{20}} \quad \text{..... (8.6)}$$

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน

Permeability Test

Project Name	: บ่อเก็บน้ำราชมงคล	Date of Test	: 9/11/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Sand	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 1.2

Soil Sample Data

Diameter	(cm)	10.10	Initial Mass of Soil + Pan	(g)	3760
Height	(cm)	11.65	Final Mass of Soil + Pan	(g)	1245
Area	(cm^2)	80.078	Mass of Soil in Cell	(g)	2515
Volume	(cm^3)	932.909	Wet Density	(g/cm^3)	2.696
Water Content	(%)	30	Specific Gravity	(Gs)	2.67
Dry Density	(g/cm^3)	2.074	Void Ratio	(e)	0.287

Constant Head

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^oC)	Head (cm)	Discharged (cm^3)	Time (sec)	K_t (cm/sec)	U_t/u_{20}	K_{20} (cm/sec)
1	20	30.5	12	121	68	0.03703	0.7876	0.02916
2	20	30.5	12	145	76	0.03971	0.7876	0.03128
3	20	30.5	12	136	75	0.03774	0.7876	0.02972
4	20	30.5	12	128	70	0.03806	0.7876	0.02998
5								
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at T Degree, K_t is							0.03814	cm/sec
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at 20 Degree, K_t is							0.03004	cm/sec

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน
Permeability Test

Variable Head

Inside Diameter of the Burette (cm)	2.523	Inside Cross-section Area of the Burette (cm^2)	5.000

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^oC)	Head (cm)		Time (sec)	K_t (cm/sec)	U_t/u_{20}	K_{20} (cm/sec)
			h_o	h_1				
1	20	30.5	100	80	1300	0.000214	0.7876	0.000169
2	20	30.5	100	80	1312	0.000212	0.7876	0.000167
3	20	30.5	100	80	1325	0.000210	0.7876	0.000165
4	20	30.5	100	80	1320	0.000211	0.7876	0.000166
5								

Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at T Degree, K_t is	0.000212	cm/sec
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at 20 Degree, K_t is	0.000167	cm/sec

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน
Permeability Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Soil Sample Data

Diameter	(cm)		Initial Mass of Soil + Pan	(g)	
Height	(cm)		Final Mass of Soil + Pan	(g)	
Area	(cm^2)		Mass of Soil in Cell	(g)	
Volume	(cm^3)		Wet Density	(g/cm^3)	
Water Content	(%)		Specific Gravity	(Gs)	
Dry Density	(g/cm^3)		Void Ratio	(e)	

Constant Head

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^oC)	Head (cm)	Discharged (cm^3)	Time (sec)	K_t (cm/sec)	U_t/u_{20}	K_{20} (cm/sec)
1								
2								
3								
4								
5								

Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at T Degree, K_t is	cm/sec
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at 20 Degree, K_t is	cm/sec

การทดสอบความซึมผ่านของน้ำในดิน
Permeability Test

Variable Head

Inside Diameter of the Burette (cm)		Inside Cross-section Area of the Burette (cm^2)	

No.	Sample Length (cm)	Temperature (^oC)	Head (cm)		Time (sec)	K_t (cm/sec)	U_t/u_{20}	K_{20} (cm/sec)
			h_o	h_1				
1								
2								
3								
4								
5								
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at T Degree, K_t is								cm/sec
Average Coefficient of Permeability for a Test Temperature of Water at 20 Degree, K_t is								cm/sec

การรายงานผลการทดสอบ

1) ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้เฉลี่ยของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ
2) ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้เฉลี่ยของน้ำ ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ข้อควรระวัง

1) การเตรียมตัวอย่างโดยการไล่อากาศออกจากช่องว่าง (SATURATE) ตัวอย่างดิน (ทราย) อาจเกิดการเดือด (BOIL)ได้
2) การอ่านค่าที่เกิดจากการสูญเสียของระดับน้ำ (HEAD LOSS) ในระบบการทดสอบต้องมีความรอบคอบ
3) ช่วงเวลาที่ปล่อยให้ระดับน้ำเข้าสู่สมดุล (ควรจะสังเกตเห็นค่าเปลี่ยนแปลงที่ระดับน้ำในท่อตั้ง)การไล่อากาศ

การทดลองที่ 9

การทดสอบการบดอัดดิน

Determination of Compaction Test

ทฤษฎีและหลักการ

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion less Soil) จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด (Cohesive Soil) สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor แต่ถ้าเป็นในสนามสามารถเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่างๆกัน โดยพิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดิน

จุดประสงค์ของการบดอัดดินก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายข้อดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน
2. เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินและปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน(Slope Stability)
3. ปรับปรุงกำลังต้านทานน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของพื้นทาง
4. ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น สาเหตุจากการบวมตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinkage) ของดิน
5. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความเชื่อมแน่น ได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R. Proctor ในปี 1930 โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (Proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test (Compaction Test) ซึ่งมีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

Proctor ได้กล่าวไว้ว่าในการบดอัดดินมักจะมีตัวแปรควบคุมอยู่ 4 ตัว คือ

1. ความหนาแน่นแห้ง(Dry Density)
2. ปริมาณความชื้น(Water Content)
3. พลังงานในการบดอัด(Compaction Energy)
4. ชนิดของดิน(Soil Type)

สำหรับพื้นที่จริงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่าน แต่สำหรับในห้องปฏิบัติการทดลองจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทุ้งตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับ น้ำหนักของค้อนกระทุ้ง (Hammer) ความสูงของระยะปล่อยตก (Height) จำนวนชั้นของการบดอัด (Layers) จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น (Blows) และปริมาตรของโมล (Mold) หรือ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{พลังงานในการบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักค้อน x ระยะยก x จำนวนครั้ง x จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของโมล}}$$

.

ตารางที่ 9.1 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 นิ้ว (101.6 มม)	4 นิ้ว (101.6 มม)	6 นิ้ว (152.4 มม)
2. ความสูงของโมล	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.075 ลบ.ฟุต (2124 ลบ.ซม)
4. น้ำหนักของค้อน	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)
5. ระยะยก	12.0 นิ้ว (304.8 มม)	12.0 นิ้ว (304.8 มม)	12.0 นิ้ว (304.8 มม)
6. จำนวนชั้น	3	3	3
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8. พลังงานในการบดอัด	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)
9. วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) อาจใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว(9.5 มม)	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) ใช้ดินที่ค้างบนตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว น้อยกว่า30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9.2 วิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 นิ้ว (101.6 มม)	4 นิ้ว (101.6 มม)	6 นิ้ว (152.4 มม)
2. ความสูงของโมล	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.075 ลบ.ฟุต (2124 ลบ.ซม)
4. น้ำหนักของค้อน	10 ปอนด์ (4.54 กก)	10 ปอนด์ (4.54 กก)	10 ปอนด์ (4.54 กก)
5. ระยะยก	18.0 นิ้ว (457.2 มม)	18.0 นิ้ว (457.2 มม)	18.0 นิ้ว (457.2 มม)
6. จำนวนชั้น	5	5	5
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8. พลังงานในการบดอัด	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)
9. วัสดุดิน	ใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า หรือเท่ากับ 20 เปอรเซ็นต์ และค้างตะแกรงขนาด 1/8 นิ้ว น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว มากกว่า 20 เปอรเซ็นต์ และค้างตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว(19 มม) น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

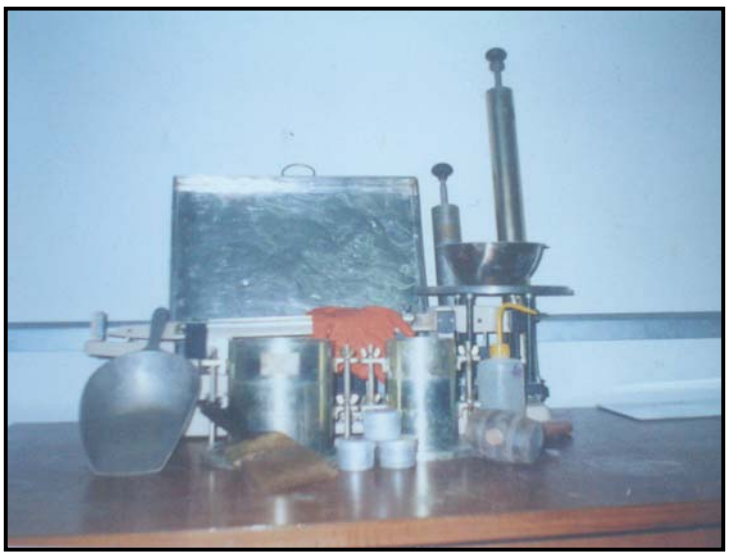
- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นในการบดอัด (Moisture – Density Relative)
- เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ของดินตัวอย่าง
- เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด (Optimum Moisture Content , OMC)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- D 1140 - 54 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft- lb / ft^3 (600 kN- m / m^3)]

- D 1557 – 00 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56,000 ft- lb / ft^3 (2,700 kN- m / m^3)]

อุปกรณ์และเครื่องมือ



อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการบดอัดดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการบดอัดดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) แบบหล่อทดสอบการบดอัดดิน(Compaction Mold) มีสองขนาดให้เลือกใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน 4 นิ้ว (105 ม.ม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 ม.ม) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว (152.4 ม.ม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 ม.ม). พร้อมด้วยปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเดียวกัน (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) สูง 50 ม.ม. (มีปริมาตร 1000 ซม.^{3})
2) ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน (Compaction Hammer) หนัก 5.5 ปอนด์ ระยะยก 12 นิ้ว และแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 18 นิ้ว
3) แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold
4) เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม
5) ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์4 (Sieve)

แบบหล่อการบดอัดดิน

ค้อนบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน

เหล็กปาดดินสันตรง

ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์4

แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) เครื่องชั่งขนาด ตั้งแต่ 1.0 กรัม - 10 กิโลกรัม
2) ขวดฉีดน้ำ
3) ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
4) ที่ตักดิน (Scoop)

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินแปลงสภาพร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หนักประมาณ 3 – 5 กิโลกรัมแล้วผึ่งให้แห้งโดยอากาศ หรือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนาม

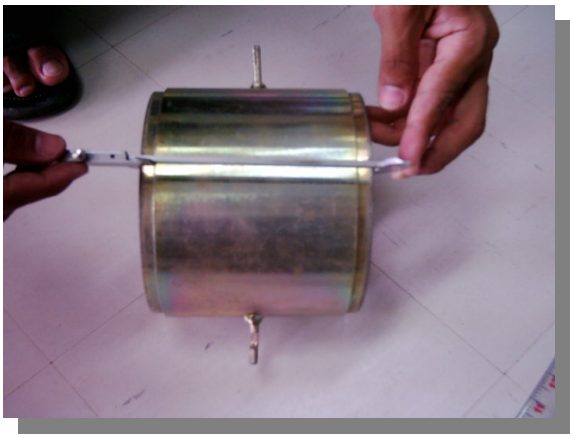
1. นำตัวอย่างดินที่ได้จัดเตรียมไว้มาเทลงในถาดผสมดิน ใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะอยู่ออกจากกัน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเหนียว ผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ละเอียดหรืออาจใช้เครื่องบด

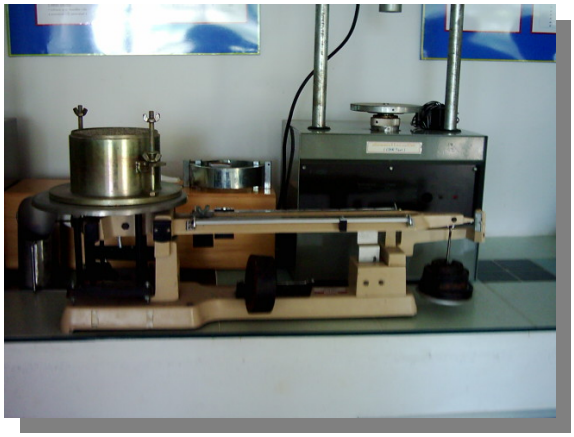
2. พิจารณาตัวอย่างของเม็ดดิน เพื่อเลือกใช้ Mold ให้เหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเม็ดเล็ก ให้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์4 ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 105 ม.ม. ถ้าเม็ดดินมีขนาดใหญ่กว่า ตะแกรงเบอร์ 4 ให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19.05 ม.ม.) ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. โดยส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ให้แทนที่ด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้วและค้างตะแกรงเบอร์ 4 ในปริมาณที่เท่ากัน

3. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตามวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base plate พร้อมชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องชั่ง Collar)





ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้อย่างน้อย 3 กิโลกรัมสำหรับทดสอบแบบมาตรฐานและ 5 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเริ่มผสมน้ำให้มีความชื้น ตามค่าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

ขั้นตอนที่ 3 ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยกะให้ความสูงในแต่ละชั้นเท่าๆ กันโดยมีจำนวน 3 ชั้น กันสำหรับ Standard และ 5 ชั้นสำหรับ Modified เมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแล้วให้ดินพ้นขอบ Mold ขึ้นไปประมาณ 1 - 2 ซม.

ขั้นตอนที่ 4 ใช้ค้อนหนัก 5.5 ปอนด์สำหรับบดอัดแบบมาตรฐานและ 10 ปอนด์สำหรับบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน บดอัดดินใน Mold แต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold บดอัดชั้นละ 25 ครั้ง สำหรับ Mold ขนาด 105 ม.ม. และ 56 ครั้งสำหรับ Mold ขนาด 152.4 ม.ม. โดยให้ Mold วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเรียบ หรือทดสอบตามตารางที่ 10.1

ขั้นตอนที่ 5 ถอดปลอก (Collar) ออก แล้วใช้เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก และแต่งผิวดินให้เรียบ ใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษดินที่ค้างอยู่ออกให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 6 ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เพื่อเก็บตัวอย่างตามแนวผ่าประมาณ 100 กรัม ไปอบเพื่อ หาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

ขั้นตอนที่ 7 ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน แล้วผสมน้ำเพิ่มอีก 2 - 3 % คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่ว แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 4 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลง แล้วทดลองเพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้ได้กราฟทาง ด้านเปียก จำนวนครั้งในการทดสอบไม่ควรเกิน 5 – 6 ครั้ง

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบการบดอัดดิน

Compaction Test

Project Name	: T.T. Local Road	Date of Test	: 4/14/2547	Sample No.	: 1
Location	: T.T.	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Subgrade Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.50

☑ Standard Test ☐ Modified Test	Blows per Layer 25	Number of Layer 3
Weight of Hammer 2.5 kg	Height of Mold 11.64 cm	Diameter of Mold 10.16 cm

Water Content Determination

Sample No.		1		2		3		4		5		6	
Moisture Can No.	(g)	B1		A1		A8		A9		A7			
Wt. of Can + Wet Soil	(g)	187.47		160.07		173.22		211.78		215.30			
Wt. of Can + Dry Soil	(g)	187.47		147.79		157.81		189.35		190.94			
Wt. of Can	(g)	11.68		9.92		1.95		9.97		10.23			

Density Determination

Assume Water Content	(%)	7	9	10	12	13	
Wt. of Soil + Mold	(g)	5956	6102	6182	6214	6157	
Wt. of Mold	(g)	4056	4056	4056	4056	4056	
Water Content	(g)	7.03	8.91	10.49	12.50	13.48	

การทดสอบการบดอัดดิน
Compaction Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blows per Layer	Number of Layer
Weight of Hammer kg	Height of Mold cm	Diameter of Mold cm

Water Content Determination

Sample No.	1		2		3		4		5		6	
Moisture Can No. (g)												
Wt. of Can + Wet Soil (g)												
Wt. of Can + Dry Soil (g)												
Wt. of Can (g)												

Density Determination

Assume Water Content (%)						
Wt. of Soil + Mold (g)						
Wt. of Mold (g)						
Water Content (g)						

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ความหนาแน่นดินเปียก (Wet Density) , ρ

$$\rho = \frac{M}{V} \quad t/m^3 \quad \text{..... (9.1)}$$

2. ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) , ρ_d

$$\rho_d = \frac{\gamma}{1+\frac{w}{100}} \quad t/m^3 \quad \text{..... (9.2)}$$

เมื่อ

M	=	น้ำหนักดินเปียกใน Mold	g
V	=	ปริมาตรของ Mold	cm^3
w	=	ปริมาณความชื้นของดิน	%

3. ปริมาณความชื้น

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} x100 \quad \% \quad \text{..... (9.3)}$$

เมื่อ

W_c	=	น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน
W_1	=	น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินเปียก
W_2	=	น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินแห้ง

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบการบดอัดดิน

Compaction Test

Project Name	: T.T. Local Road	Date of Test	: 4/14/2547	Sample No.	: 1
Location	: T.T.	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Subgrade Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.50

☑ Standard Test ☐ Modified Test	Blows per Layer	Number of Layer
Weight of Hammer kg	Height of Mold cm	Diameter of Mold cm

Water Content Determination

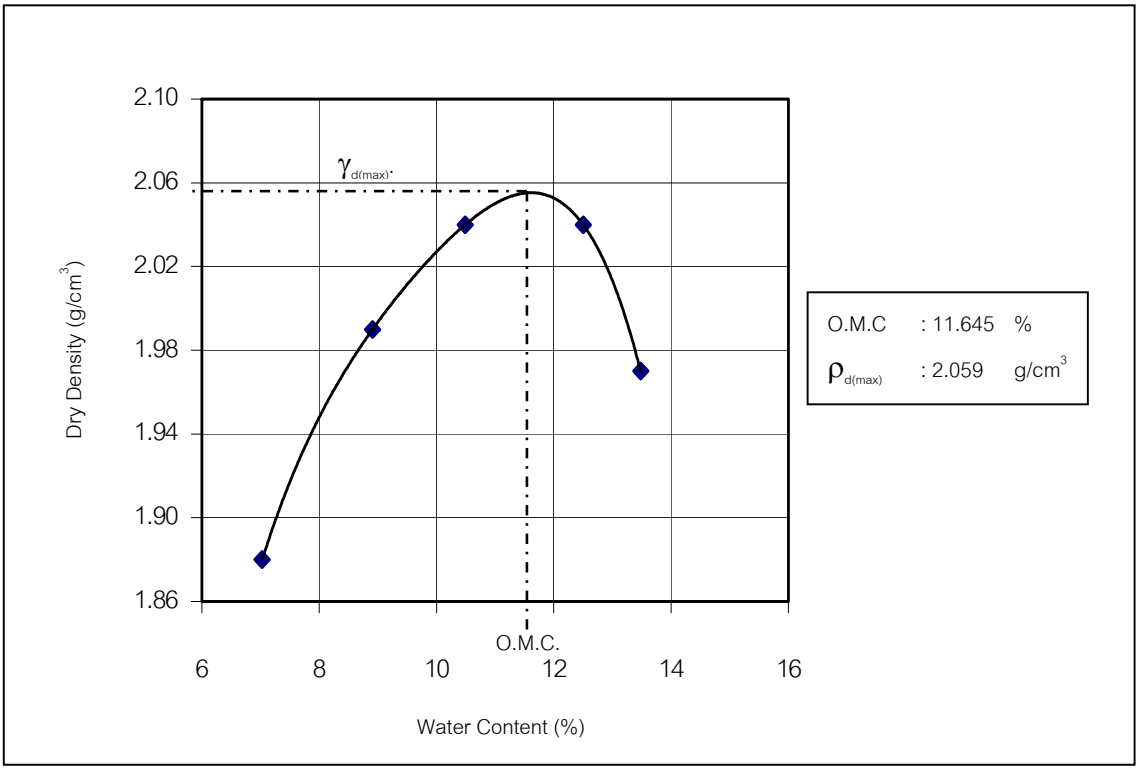
Sample No.		1		2		3		4		5		6	
Moisture Can No.	(g)	B1		A1		A8		A9		A7			
Wt. of Can + Wet Soil	(g)	187.47		160.07		173.22		211.78		215.30			
Wt. of Can + Dry Soil	(g)	187.47		147.79		157.81		189.35		190.94			
Wt. of Can	(g)	11.68		9.92		1.95		9.97		10.23			
Wt. of Water	(g)	11.55		12.28		15.41		22.43		24.36			
Wt. of Dry Soil	(g)	164.24		137.87		146.86		179.38		180.71			
Water Content	(%)	7.03		8.91		10.49		12.50		13.48			

Density Determination

Assume Water Content	(%)	7	9	10	12	13	
Wt. of Soil + Mold	(g)	5956	6102	6182	6214	6157	
Wt. of Mold	(g)	4056	4056	4056	4056	4056	
Water Content	(g)	7.03	8.91	10.49	12.50	13.48	
Wt. of Soil in Mold	(g)	1900.00	2046.00	2126.00	2158.00	2101.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.01	2.17	2.25	2.29	2.23	
Dry Density	(g/cm^3)	1.88	1.99	2.04	2.04	1.97	

การทดสอบการบดอัดดิน

Compaction Test



การทดสอบการบดอัดดิน
Compaction Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blows per Layer	Number of Layer
Weight of Hammer kg	Height of Mold cm	Diameter of Mold cm

Water Content Determination

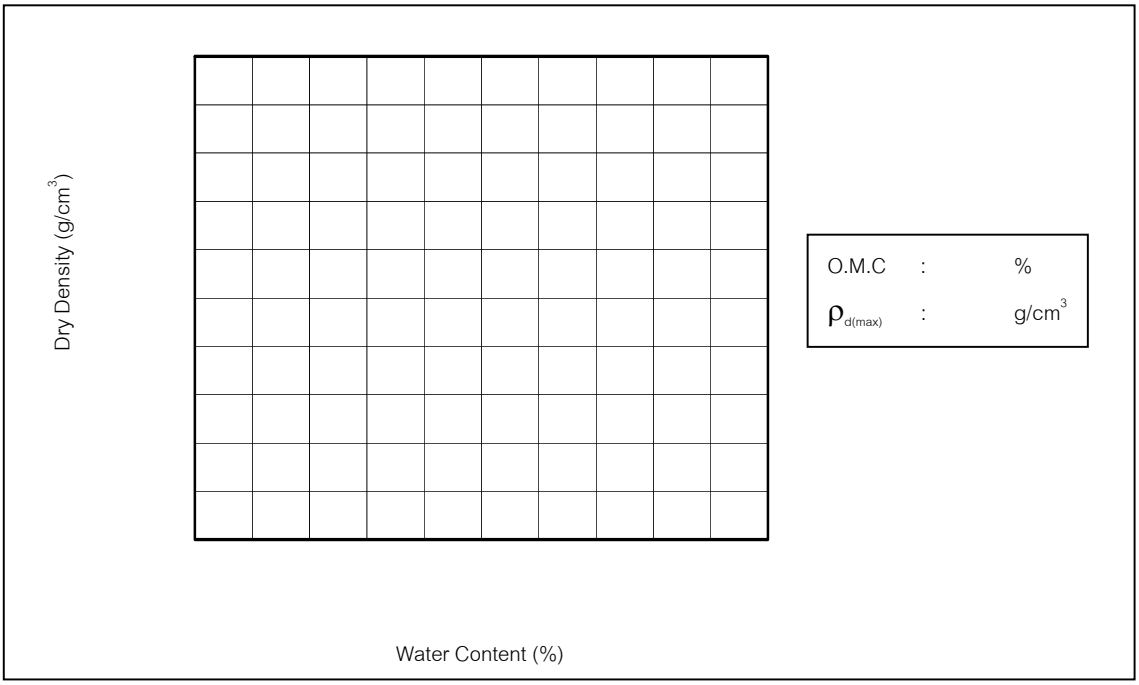
Sample No.	1		2		3		4		5		6	
Moisture Can No. (g)												
Wt. of Can + Wet Soil (g)												
Wt. of Can + Dry Soil (g)												
Wt. of Can (g)												
Wt. of Water (g)												
Wt. of Dry Soil (g)												
Water Content (%)												

Density Determination

Assume Water Content (%)						
Wt. of Soil + Mold (g)						
Wt. of Mold (g)						
Water Content (g)						
Wt. of Soil in Mold (g)						
Wet Density (g/cm^3)						
Dry Density (g/cm^3)						

การทดสอบการบดอัดดิน

Compaction Test



การรายงานผลการทดสอบ

1) รายงานแสดงข้อมูลการทดสอบ
2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง
3) ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ข้อควรระวัง

1) การทดสอบทั้งแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐานจะใช้ได้กับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไม่เกิน 30 % โดยน้ำหนักเท่ากัน
2) หากเป็นดินลูกรังหรือกรวดบดอย่าพยายามอย่าทุบดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียด
3) ในการใช้ค้อนทำการบดอัด ให้ทำบนพื้นที่แข็งแรงมั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เพื่อไม่ให้ หรือกระดอนขึ้นขณะทำการตอก
4) ปริมาตรของแบบให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ

การทดลองที่ 10

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์

Determination of California Bearing Ratio Test:C.B.R.

ทฤษฎีและหลักการ

การทดสอบ California Bearing Ratio หรือเรียกสั้น ๆ ว่า การทดสอบ C.B.R เป็นการทดสอบเพื่อหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแล้ว สำหรับชั้นคันทาง (Sub grade) ชั้นรองพื้นทาง (Sub base) และชั้นพื้นทาง (Base) โดยในแบบก่อสร้างทั่วไปจะกำหนดความหนาแน่นของชั้นดินที่จะบดอัดในแต่ละชั้นเป็น % C.B.R. โดยถ้า % C.B.R. ที่ถูกกำหนดมีค่ามากเท่าใดก็แสดงว่าชั้นดินนั้นต้องบดอัดให้แน่นมากขึ้นตามไปด้วยการทดสอบ C.B.R. เป็นการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินหรือหินคลุกที่บดอัดแล้ว โดยค่าที่ได้จากการทดสอบจะอยู่ในรูปของหน่วยแรงต้านทานของตัวอย่างดินทดสอบที่บดอัด (Test Unit Load) ต่อหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัด (Standard Unit Load) ในระดับความลึกหรือระยะจมของแท่งกด (Penetration Piston) ที่เท่ากัน แล้วเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

การทดสอบ C.B.R. เป็นวิธีการหากำลังรับน้ำหนักของดินบดอัดแน่น ด้วยการใช้แท่งกด (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินด้วยความเร็ว 0.05 นิ้วต่อนาที (1.25 มิลิเมตรต่อนาที) แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดสอบกับวัสดุหินคลุกบดอัดแน่นบนพื้นฐานการทดสอบที่เหมือนกัน โดยค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Unit Load) ได้ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานโดย California Division of Highway ดังตารางที่ 10.1

ตารางที่ 10.1 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดแน่นที่ระยะจมต่างๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm.	in	MPa	psi
2.50	0.10	6.90	1000
5.00	0.20	10.30	1500
7.50	0.30.	13.00	1900
10.00	0.40	16.00	2300
12.70	0.50	18.00	2600

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาค่ากำลังของดินบดอัดตามค่า % C.B.R ที่ 0.10 นิ้ว (2.54 มิลลิเมตร) และที่ 0.20 นิ้ว (5.08 มิลลิเมตร) ในห้องปฏิบัติการ

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 1883-99 Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบ C.B.R.

อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบการหา C.B.R.

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) โมล ซีบีอาร์ (C.B.R. Mold) เป็นโลหะทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (152.4 ± 0.46 มิลิเมตร) สูง 7 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (177.8 ± 0.46 มิลิเมตร)ยึดติดกับ Base plate ที่หนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว และมีรูพรุน ขนาดของรูไม่เกิน $\frac{1}{16}$ นิ้ว และมี Collar ที่สูง 2 นิ้ว เพื่อใช้ครอบปาก Mold ได้
2) ตุ้มบดอัด (Hammer) ใช้บดอัดตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold ตามมาตรฐาน ASTM D 698 หรือD 1557 แบบ Standard Proctor หรือแบบ Modified Proctor
3) กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder) ขนาดความจุประมาณ 250 – 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4) ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
5) ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)
6) เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)
7) กระดาษกรอง (Filter Paper)

8) แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate หรือ Perforated Plate) ใช้ประกอบวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ เป็นโลหะที่ไม่เป็นสนิมง่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\frac{7}{8}$ นิ้ว หนา $\frac{1}{4}$ นิ้ว มีแกน(Stem) ที่ปรับได้เพื่อใช้ติดตั้ง Dial Gauge อ่านค่าการบวมตัว

9) มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ใช้อ่านค่าระยะการจม (Penetration) ของแท่งกด(Penetration Piston) และการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ ขนาด 1 นิ้ว อ่านค่าความละเอียด 0.001 นิ้ว หรือขนาด 25 มิลลิเมตร อ่านค่าความละเอียด 0.01 มิลิเมตร

10) สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) ใช้ประกอบกับมาตรวัดการยุบตัว (Dial Gauge) เป็นโลหะสามขามีรูตรงกลาง เพื่อใช้ติดตั้ง มาตรวัดการยุบตัว (Dial Gauge)

11) แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ใช้วางทับผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ โดยการสมมติให้เป็นน้ำหนักเนื่องจาก Pavement ของถนนหรือพื้น มีลักษณะเป็นโลหะตันรูปวงกลมมีรูตรงกลางหรือรูปเกือกม้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\frac{7}{8}$ นิ้ว หนักแผ่นละ 5 ปอนด์

12) แผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) เป็นแท่งโลหะทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $5\frac{15}{16}$ นิ้ว(150.8 มิลิเมตร) สูง 2.416 $\pm$0.005 นิ้ว (61.37 $\pm$ 0.127 มิลลิเมตร)

13) เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine) สามารถให้แรงกดไม่น้อยกว่า 10,000 ปอนด์ (4,540 กิโลกรัม) และให้มีส่วนเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอที่ส่วนบน (Head) หรือส่วนล่าง (Base) เพื่อให้อัตราการกดของแท่งกด (Penetration Piston) อยู่ในอัตรา 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที และความละเอียดของแรงให้อ่านได้ไม่เกิน 10 ปอนด์ (4.5 กิโลกรัม)

14) แท่งกด (Penetration Piston) เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.954 นิ้ว ± 0.005 นิ้ว (49.63 ± 0.13 มิลลิเมตร) มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว (19.355 ตารางเซนติเมตร) ยาวไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว

โมล ซีบีอาร์ (C.B.R. Mold)

กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder)

ค้อนบดอัด (Hammer)

เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

แท่งกด (Penetration Piston)

เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)

แผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc)

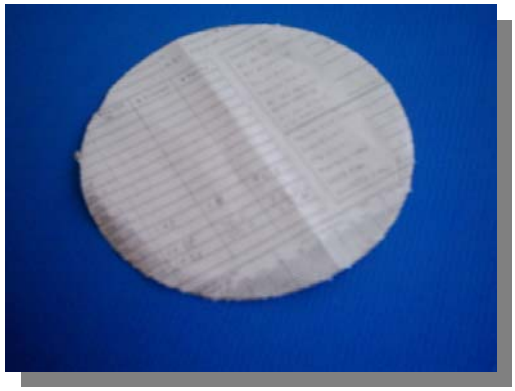
มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge)

วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

แผ่นวัดการบวมตัว

สามขาวัดการบวมตัว

ช้อนตักดิน



กระดาษกรอง

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

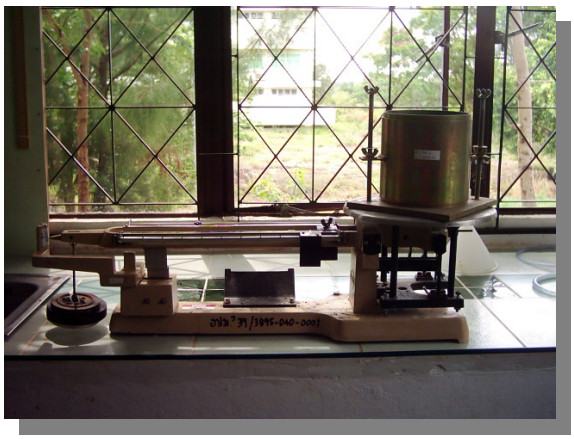
การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

เตรียมตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ Compaction ตามมาตรฐาน ASTM : D698 หรือ D1557 ถ้าเป็นตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ดินเม็ดละเอียด) ควรใช้ประมาณ 5.50 กิโลกรัม และถ้าเป็นตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3 / 4 นิ้ว (ดินเม็ดหยาบ) ควรใช้ประมาณ 6 กิโลกรัม โดยนำมาผสมกับน้ำในปริมาณ O.M.C. ที่ได้จากการทดสอบ Compaction ให้เข้ากันทั่วถึง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. **การทดสอบกับตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำ (Unsoaked Sample)**

ขั้นตอนที่ 1 ทำการชั่งน้ำหนักของ C.B.R. Mold แล้วยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให้แน่นพอสมควร และนำ Spacer Disc มาใส่ลงใน C.B.R. Mold หมุนเอาหูหิ้ว (Handle) ออก นำเอากระดาษกรองมารองบน Spacer Disc เพื่อป้องกันตัวอย่างทดสอบติดกับ Spacer Disc พร้อมประกอบ Collar ให้เรียบร้อย



ขั้นตอนที่ 2 ทำการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D1140 – 54 ใช้ค้อนขนาด 5.5 lb ระยะตก 12 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง หรือ D1557 – 00 ใช้ค้อนขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง (Standard Proctor หรือ Modified Proctor)

ขั้นตอนที่ 3 ถอด Collar ออก ปาดตัวอย่างทดสอบให้เรียบเสมอขอบ C.B.R. Mold แล้วยกออกจาก Base Plate นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเฉพาะของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold แล้วพลิกกลับเอาด้านที่มีตัวอย่างทดสอบเสมอขอบของ C.B.R. Mold มาวางลงบน Base Plate ซึ่งรองด้วยกระดาษกรองไว้ก่อนแล้ว ทำการยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให้แน่น

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากเตรียมตัวอย่างทดสอบเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างทดสอบที่เหลือจากการบดอัดดินไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) ทันที

ขั้นตอนที่ 5 นำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้ตามขั้นตอนที่ 3 มาทดสอบโดยการวาง แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับน้ำหนักของวัสดุ ที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ ให้กดทับลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางในเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

ขั้นตอนที่ 6 ทำการปรับแท่งกด (Penetration Piston) โดยให้ผ่านรูตรงกลางของแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) และให้แท่งกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบพอดี โดยค่อย ๆ ปรับและคอยสังเกตเข็มของ Load Dial Gauge เริ่มขยับขึ้นจึงหยุดปรับ เสร็จแล้วทำการติดตั้ง Penetration Dial Gauge เพื่ออ่านค่าระยะจมของแท่งกด แล้วทำการปรับ Dial Gauge ทั้งสองให้เข็มอยู่ในตำแหน่งเลขศูนย์

ขั้นตอนที่ 7 เริ่มกดแท่งกด (Penetration Piston) ลงบนตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราการกด 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที ต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ ให้อ่านค่าน้ำหนักกดจาก Load Dial Gauge ที่ระยะจม ดังนี้ 0.025 (0.64 มม.), 0.050 (3.81 มม.), 0.075 (1.91 มม.) , 0.100(2.54 มม.) , 0.125 (3.18 มม.), 0.150 (3.81 มม.), 0.175(4.45 มม.), 0.200 (5.08 มม.), 0.250 (6.35 มม.), 0.300 (7.62 มม.), 0.350 (8.98 มม.), 0.400(10.16 มม.), 0.450(11.43 มม.) และ 0.500 นิ้ว (12.7 มม.) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 8 ทำการถอดแท่งกด (Penetration Piston) กลับดังเดิม โดยหมุนให้เข็มของ Penetration Dial Gauge กลับคืนจนสุด แล้วจึงนำชุด C.B.R. Mold ออกจากเครื่องทดสอบ นำตัวอย่างทดสอบส่วนหนึ่งไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) การเก็บตัวอย่างทดสอบเพื่อไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) นั้นควรเก็บบริเวณตรงกลาง ของตัวอย่างทดสอบ

2. การทดสอบกับตัวอย่างที่แช่น้ำ (Soaked Sample)

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมตัวอย่างทดสอบตามขั้นตอนที่ 1 – 4 ทุกประการ และต่อจากนั้นให้วางกระดาษกรองลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold วางแผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) และวางแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ลงตามลำดับโดยแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) นี้ต้องมีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับวัสดุ ที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง (โดยคิดน้ำหนักที่ลงในพื้นดินจริงเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของดินใน C.B.R. Mold แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์)

ขั้นตอนที่ 2 แช่ชุดทดสอบลงในถังน้ำ ให้น้ำสามารถไหลเข้าตัวอย่างทดสอบได้ทั้งด้านล่างและด้านบน ซึ่งหลังจากแช่น้ำแล้ว ควรปรับให้ระดับผิวน้ำอยู่เสมอประมาณขอบปากของ C.B.R. Mold พร้อมกับปรับแกน (Steam) ของแผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) ให้สัมผัสกับขาของ Dial Gauge ซึ่งวางติดกับสามขาวัดการบวม (Swell Tripod) แล้วจึงปรับเซ็ท Dial Gauge ให้เป็นศูนย์

ขั้นตอนที่ 3 ให้อ่านค่าการบวมตัว (Swell) ของตัวอย่างทดสอบทุก ๆ 24 ชั่วโมง (อ่านค่าออกมาเป็นขีดก่อนแล้วจึงค่อยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์) จนกระทั่งครบ 96 ชั่วโมงหรือเมื่อตัวอย่างทดสอบหยุดการบวมตัว เสร็จแล้วนำขึ้นมาจากน้ำ และนำอุปกรณ์ที่ประกอบการหาค่าการบวมตัวออกให้หมด แล้วคว่ำ C.B.R. Mold ปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้น้ำระบายออกไปจากตัวอย่างทดสอบ ถ้ามีน้ำขังอยู่บางส่วนก็ให้ใช้กระดาษซับน้ำช่วยก็ได้ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold

ขั้นตอนที่ 4 นำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้ตามขั้นตอนที่ 3 มาทดสอบโดยการวาง แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับน้ำหนักของวัสดุ ที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ ให้กดทับลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบและในกรณีที่เป็นตัวอย่างทดสอบแบบแช่น้ำ น้ำหนักของแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) นี้จะต้องเท่ากับน้ำหนักที่กดเดิมขณะที่ตัวอย่างทดสอบแช่อยู่ในน้ำ เสร็จเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางในเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

ขั้นตอนที่ 5 ทำตามขั้นตอนในขัวข้อที่ 1 ขั้นตอนที่ 6 – 8 (แบบ Unsoak CBR)

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน

California Bearing Ratio Test

Project Name	: บ่อพักน้ำราชมงคล	Date of Test	: 16/12/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Subgrade Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Type of Test	: Soaked C.B.R.		Proving Right Constant	: 1.883	lb/div
Height of Sample	: 11.66	cm	Surcharge Weight	: 22	kg

Water Content Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Container No.		T - 8	A - 9	T - 4	H - 7	F - 2	H - 4
Weight of Wet Soil + Container	(g)	170.83	174.92	153.10	205.19	203.80	196.12
Weight of Dry Soil + Container	(g)	154.15	157.89	137.95	184.37	182.14	174.64
Weight of Container	(g)	16.00	17.73	17.50	20.17	21.44	16.80

Compaction Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Mold No.		1	2	3			
Number of Blows per Layer	(g)	56/3	25/3	12/3			
Volume of Mold	(g)	2116.72	2174.67	2147.50			
Weight of Mold + Compacted Soil	(g)	11748	10641	11669	12036	11001	11892
Weight of Mold	(g)	7025	6122	7405			

Swell Data

Mold No.			1	2	3
Date	Time	Elapsed Time (hr)	Swell (mm)	Swell (mm)	Swell (mm)
16/12/2547	10.55	0	1.00	1.00	1.00
17/12/2547	8.05	21	1.03	1.03	1.04
18/12/2547	8.00	45	1.04	1.04	1.05
19/12/2547	9.30	70	1.05	1.06	1.06

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Penetration Data

Mold No.	1	2	3
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load Dial Reading (div)	Load Dial Reading (div)
0	0	0	0
0.025	43	30	19
0.050	87	53	36
0.075	122	79	57
0.100	159	107	80
0.125	186	128	102
0.150	218	151	119
0.175	247	173	138
0.200	279	194	152
0.225	309	213	166
0.250	334	234	178
0.275	358	254	190
0.300	382	275	198
0.350	430	313	212
0.400	471	334	225

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Project Name	:		Date of Test	:	Sample No. :
Location	:		Tested by	:	Boring No. :
Soil Sample	:		Checked by	:	Depth (m) :

Type of Test	:		Proving Right Constant	:	lb/div
Height of Sample	:	cm	Surcharge Weight	:	kg

Water Content Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Container No.							
Weight of Wet Soil + Container	(g)						
Weight of Dry Soil + Container	(g)						
Weight of Container	(g)						

Compaction Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Mold No.							
Number of Blows per Layer	(g)						
Volume of Mold	(g)						
Weight of Mold + Compacted Soil	(g)						
Weight of Mold	(g)						

Swell Data

Mold No.			1	2	3
Date	Time	Elapsed Time (hr)	Swell (mm)	Swell (mm)	Swell (mm)

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Penetration Data

Mold No.	1	2	3
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load Dial Reading (div)	Load Dial Reading (div)

ตัวอย่างการคำนวณ

1. คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก (Wet Density, ρ_m)

$$\rho_m = \frac{M}{V} \quad \text{..... (10.1)}$$

2. ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density, ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1+\frac{w}{100}} \quad \text{..... (10.2)}$$

3. ปริมาณความชื้น

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 \quad \text{..... (10.3)}$$

4. หาค่าหน่วยแรงกด (Test Unit Load) โดยการนำจำนวนขีด (Division, Div) มาคูณกับค่าคงที่ของเครื่องทดสอบ (Load Factor, k) มีหน่วยเป็น ปอนด์ (lb) หรือกิโลกรัม (kg) แล้วมาหาค่าหน่วยแรงกด (Test Unit Load) จากสมการด้านล่าง ซึ่งมีหน่วยเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb / in^2) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg / cm^2)

$$\text{Test Unit Load} = \frac{\text{Force at 0.1 or 0.2 in Penetration}}{\text{Area of Piston}} \quad \text{..... (10.4)}$$

เมื่อ

Force at 0.1 or 0.2 in. Penetration = ค่าแรงกดที่อ่านได้ที่ระยะจมของแท่งกด (Penetration Piston) ที่ 0.1 และหรือ 0.2 นิ้ว

Area of Piston = พื้นที่หน้าตัดของแท่งกด (Penetration Piston) ตามมาตรฐานจะมีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว หรือ 19.355 ตารางเซนติเมตร

5. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (% Swell) ของตัวอย่างทดสอบทุก ๆ 24 ชั่วโมง โดยคิดเทียบกับความสูงของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R Mold เป็น 100 % (ความสูงของตัวอย่างทดสอบได้จาก ความสูงของ C.B.R Mold ลบด้วย ความสูงของ Spacer Disc)

$$\% \text{ Swell} = \frac{\text{ค่าการบวมตัวระหว่างแช่น้ำ}}{\text{ความสูงตัวอย่างทดสอบ}} \times 100 \quad \text{..... (10.5)}$$

6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Penetration (ให้เป็นแกนนอน) กับ Stress หรือ Test Unit Load (ให้เป็นแกนตั้ง) ของตัวอย่างทดสอบทั้งแบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำ

7. คำนวณหาค่า % C.B.R โดยอ่านค่าจากกราฟที่ Penetration 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ซึ่งค่า Standard Unit load ที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

$$\% \text{ C.B.R.} = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100 \quad \text{..... (10.6)}$$

หมายเหตุ

- ถ้า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้ว มากกว่า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว ให้รายงานผลที่ 0.1 นิ้ว
- ถ้า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้ว ให้ทำการทดสอบใหม่
- ถ้า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว ยังคงมากกว่า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้ว ให้รายงานผลที่ 0.2 นิ้ว

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน

California Bearing Ratio Test

Project Name	: บ่อพักน้ำราชมงคล	Date of Test	: 16/12/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Subgrade Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Type of Test	: Soaked C.B.R.		Proving Right Constant	: 1.883	lb/div
Height of Sample	: 11.66	cm	Surcharge Weight	: 22	kg

Water Content Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Container No.		T - 8	A - 9	T - 4	H - 7	F - 2	H - 4
Weight of Wet Soil + Container	(g)	170.83	174.92	153.10	205.19	203.80	196.12
Weight of Dry Soil + Container	(g)	154.15	157.89	137.95	184.37	182.14	174.64
Weight of Container	(g)	16.00	17.73	17.50	20.17	21.44	16.80
Weight of Water	(g)	T - 8	A - 9	T - 4	H - 7	F - 2	H - 4
Weight of Dry Soil	(g)	170.83	174.92	153.10	205.19	203.80	196.12
Water Content	(%)	154.15	157.89	137.95	184.37	182.14	174.64

Compaction Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Mold No.		1	2	3			
Number of Blows per Layer	(g)	56/3	25/3	12/3			
Volume of Mold	(g)	2116.72	2174.67	2147.50			
Weight of Mold + Compacted Soil	(g)	11748	10641	11669	12036	11001	11892
Weight of Mold	(g)	7025	6122	7405			
Wet Density	(g/cm^3)	1	2	3			
Dry Density	(g/cm^3)	56/3	25/3	12/3			

Swell Data

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
16/12/2547	10.55	0	1.00	1.00	1.00	16/12/2547	10.55	0
17/12/2547	8.05	21	1.03	1.03	1.04	17/12/2547	8.05	21
18/12/2547	8.00	45	1.04	1.04	1.05	18/12/2547	8.00	45
19/12/2547	9.30	70	1.05	1.06	1.06	19/12/2547	9.30	70

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน

California Bearing Ratio Test

Penetration Data

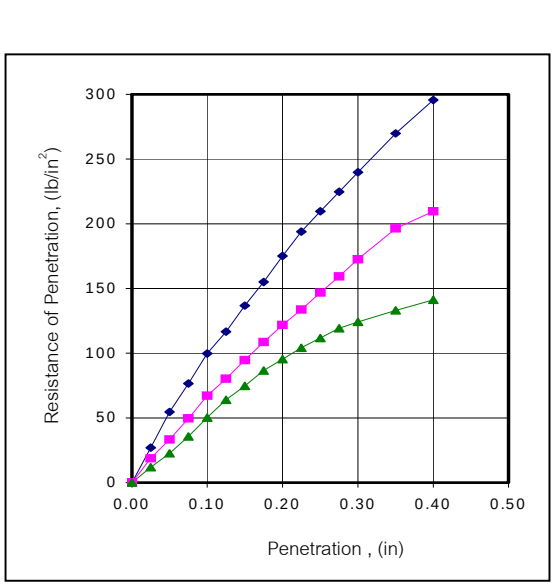
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)
0	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
0.025	43	81.0	27.00	30	56.5	18.83	19	35.8	11.93
0.050	87	163.8	54.60	53	99.8	33.27	36	67.8	22.60
0.075	122	229.7	76.57	79	148.8	49.60	57	107.3	35.77
0.100	159	299.4	99.80	107	201.5	67.17	80	150.6	50.20
0.125	186	350.2	116.73	128	241.0	80.33	102	192.1	64.03
0.150	218	410.5	136.83	151	284.3	94.77	119	224.1	74.70
0.175	247	465.1	155.03	173	325.8	108.60	138	259.9	86.63
0.200	279	525.4	175.13	194	365.3	121.77	152	286.2	95.40
0.225	309	581.8	193.93	213	401.1	133.70	166	312.6	104.20
0.250	334	628.9	209.63	234	440.6	146.87	178	335.2	111.73
0.275	358	674.1	224.70	254	478.3	159.43	190	357.8	119.27
0.300	382	719.3	239.77	275	517.8	172.60	198	372.8	124.27
0.350	430	809.7	269.90	313	589.4	196.47	212	399.2	133.07
0.400	471	886.9	295.63	334	628.9	209.63	225	423.7	141.23

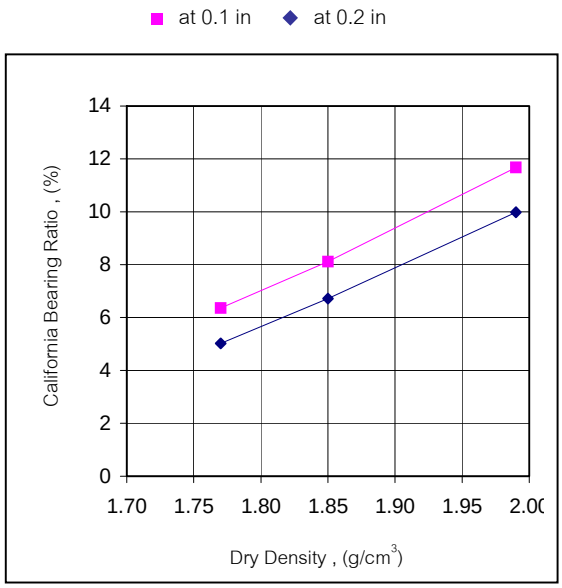
การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Result of Test

Compaction Method	: Standard Compaction Test						
Hammer Weight	: 5.5	lb	Height of Drop	: 12	in	Number of Layer	: 3
Maximum Density	: 2.00	t/m^3	CBR Value at	: 95	%	is	: 9.46 t/m^3

Mold No.	1	2	3
Number of Blows per Layer	56	25	12
CBR at 0.1 in Penetration	9.98	6.27	5.02
CBR at 0.2 in Penetration	11.63	8.12	6.35
Dry Density (t/m^3)	1.99	1.85	1.77
Water Content (%)	12.07	12.15	12.58
Percent Swell (%)	0.043	0.052	0.052
Percent Absorbed (%)	6.834	8.934	5.888





การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Project Name	:		Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:		Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:		Checked by	:	Depth (m)	:

Type of Test	:		Proving Right Constant	:	lb/div
Height of Sample	:	cm	Surcharge Weight	:	kg

Water Content Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Container No.							
Weight of Wet Soil + Container	(g)						
Weight of Dry Soil + Container	(g)						
Weight of Container	(g)						
Weight of Water	(g)						
Weight of Dry Soil	(g)						
Water Content	(%)						

Compaction Data

Condition		Before Soaking			After Soaking		
Mold No.							
Number of Blows per Layer	(g)						
Volume of Mold	(g)						
Weight of Mold + Compacted Soil	(g)						
Weight of Mold	(g)						
Wet Density	(g/cm^3)						
Dry Density	(g/cm^3)						

Swell Data

Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)

การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน

California Bearing Ratio Test

Penetration Data

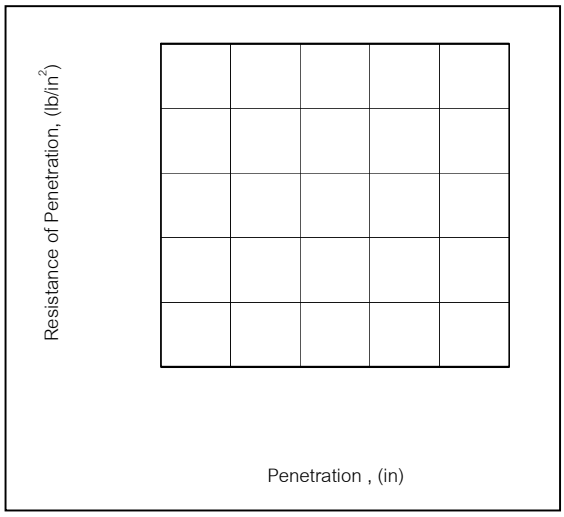
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)	Load Dial Reading (div)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in^2)

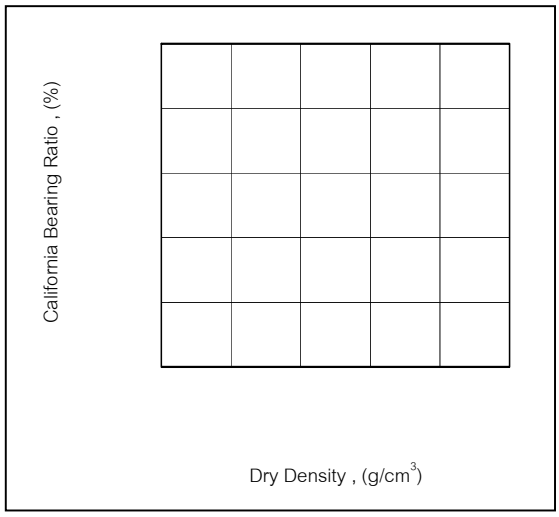
การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. ของดิน
California Bearing Ratio Test

Result of Test

Compaction Method	:						
Hammer Weight	:	lb	Height of Drop	:	in	Number of Layer	:
Maximum Density	:	t/m^3	CBR Value at	:	%	is	: t/m^3

Mold No.	1	2	3
Number of Blows per Layer			
CBR at 0.1 in Penetration			
CBR at 0.2 in Penetration			
Dry Density (t/m^3)			
Water Content (%)			
Percent Swell (%)			
Percent Absorbed (%)			





การรายงานผลการทดสอบ

1) ค่า CBR ที่ความแน่น x % ของความหนาแน่นสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
2) ค่าความหนาแน่นแห้งที่ให้ค่า CBR ตามข้อ 1 ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
3) ค่าการขยายตัว (Swell) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
4) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และ Dry Density
5) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Penetration

ข้อควรระวัง

1) สำหรับดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบดจนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะได้
2) ในการใช้ค้อนบดอัด ให้วางบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้นระหว่างทำการบดอัด
3) ปริมาตรของแบบหลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ
4) ปริมาณที่ใช้ผสมในการทดสอบถ้าดินมีความชื้นต้องหาปริมาณความชื้นของดินก่อนแล้วค่อยคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องผสมเพิ่มโดยรวมแล้วให้ได้ปริมาณน้ำที่ OMC

การทดลองที่ 11

การทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม โดยวิธีกรวยทราย

Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

ทฤษฎีและหลักการ

การทดสอบหาความหนาแน่นแห้งของดินในสนาม คือ การหาค่าความหนาแน่นเปียกและปริมาณความชื้นเปียกในบริเวณที่บดอัดด้วยเครื่องจักรเสร็จเรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความหนาแน่นแห้งเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งที่ของดินที่ได้จากในห้องปฏิบัติการในรูปของเปอร์เซ็นต์การบดอัดหรือค่าบดอัดสัมพัทธ์

ในการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density) จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

1. **Sand Cone Method** วิธีนี้อาศัยทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุมโดยทรายที่ใช้คือ ทราย Ottawa Sand ซึ่งขนาดของเม็ดทรายจะมีลักษณะกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน (Uniform) หรือจะใช้ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 ก็ได้ เพื่อที่จะให้ผลของความหนาแน่นที่เท่ากันโดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดหยาบและเม็ดเล็ก (Segregation) ขณะทำการทดสอบ

2. **Rubber Balloon Method** วิธีนี้ใช้น้ำช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีแรก ในการทดสอบต้องอาศัยลมจากลูกบอลบีบอัดลงไปตรงส่วนบนของผิวน้ำในหลอดแก้วของเครื่องมือเพื่อทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกดันออกไปในลูกโป่งยาง และไหลลงไปในหลุมทดสอบที่ขุดเอาไว้ใต้ Base Plate ลมที่อัดลงไปนี้มีส่วนช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอัดแนบสนิทกับก้นหลุม ทำให้ได้ค่าปริมาตรของหลุมที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

3 **Nuclear Method** วิธีนิวเคลียร์ เป็นการหาค่าความหนาแน่นของดินและปริมาณความชื้นของดินบดอัดแน่น หาความหนาแน่นเปียกของดิน โดยใช้รังสีแกมม่า (Gamma Ray) ส่งผ่านดินที่ต้องการ ก่อนที่

จะไปเข้าเครื่องรับรังสี ถ้ารังสีสะท้อนกลับไปเครื่องรับมาก แสดงว่าดินมีความหนาแน่นสูง ส่วนการหาปริมาณความชื้นโดยใช้นิวตรอน (Newtron) ส่งผ่านเข้าไปในดินและสะท้อนไปยังเครื่องรับ อนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับช้าแสดงว่าปริมาณน้ำในมวลดินมีมาก วิธีนี้จะสะดวกและรวดเร็วให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อต้องการหาความหนาแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์การบดอัดของดินในสนามเปรียบเทียบกับความหนาแน่นสูงสุดการบดอัดดินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

มาตราฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 1556 – 00 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของดินในสนามโดยวิธีกรวยทราย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) กรวยทรายขนาดปากกรวย $6\frac{1}{2}$ นิ้วหรือ $4\frac{1}{2}$ นิ้วมีเกลียวสำหรับหมุนเข้าขวดแก้วและมีวาล์วเปิด-ปิดให้ทรายไหลได้
2) ขวดใส่ทราย ซึ่งมีความจุประมาณ 1 แกลลอน มีเกลียวสำหรับหมุนเข้ากรวยทราย
3) แผ่นหาความหนาแน่น(Field Density Plate) ขนาดประมาณ 12 ×12 นิ้ว มีขอบกันดินรอบด้าน
4) ทรายสำหรับหาปริมาตรหลุมคือ Ottawa Sand เป็นทรายที่มีขนาดเท่าๆกันหรือ ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30

กรวยทราย

ขวดใส่ทราย

แผ่นหาความหนาแน่น

ทรายสำหรับหาปริมาตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) เครื่องชั่งสนามขนาด 10 กิโลกรัมอ่านละเอียด 5 กรัม และเครื่องชั่งอ่านละเอียด 0.01 กรัมสำหรับชั่งหาความชื้นในดิน
2) ตู้อบ (Oven)
3) กระป๋องเก็บตัวอย่างดินมีฝาปิด
4) สกัดขนาดหน้ากว้างประมาณ 1 นิ้ว ยาวประมาณ 8 นิ้ว
5) ช้อนตักดินขนาดประมาณ 8 นิ้วและช้อนเล็กขนาดประมาณช้อนกินข้าว
6) ค้อนยางหรือค้อนหงอน
7) แปรงทาสีขนาด 2 – 3 นิ้ว

การ Calibration เครื่องมือทดสอบความหนาแน่นของดินในสนาม

1. การหาน้ำหนักทรายในกรวย

ขั้นตอนที่ 1 วางแผ่น Plate บนพื้นที่เรียบแล้วนำทรายใส่ขวดพร้อมชั่งน้ำหนักรวมทั้งกรวยทรายบันทึกน้ำหนัก คว่ำขวดทรายลงบนแผ่น Plate ให้กรวยทรายพอดีกับขอบแผ่น Plate แล้วเปิดวาล์วให้ทรายไหลอย่างอิสระระวังอย่าให้เกิดการสั่นสะเทือน

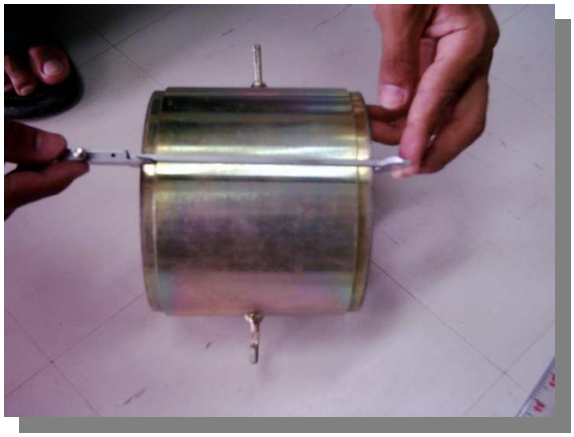
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อแน่ใจว่าทรายหยุดไหลแล้วทำการปิดวาล์วแล้วนำทรายที่เหลือในขวดพร้อมกรวยนำไปชั่งหาน้ำหนัก ผลต่างของน้ำหนักก่อนทดสอบและหลังทดสอบจะเป็นน้ำหนักทรายที่อยู่ในกรวย ควรทำการทดสอบซ้ำ 2 – 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

2. **หาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดสอบ**

ขั้นตอนที่ 1 นำโมลทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานมาประกอบเข้ากับฐานแล้วชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะได้น้ำหนักโมล

ขั้นตอนที่ 2 นำขวดทรายที่ใส่ทรายประมาณค่อนขวดพร้อมทั้งกรวยมาวางบนโมลให้ได้ระดับที่สม่ำเสมอแล้ว เปิดวาล์วปล่อยให้ทรายไหลตกอย่างอิสระโดยพยายามอย่าให้เกิดการสั่นสะเทือนเมื่อแน่ใจว่าทรายหยุดไหลแล้วทำการปิดวาล์วหงายกรวยทรายขึ้นวางไว้ ใช้มีดเหล็กสันตรงหรือแผ่นเหล็กปาดทรายที่ล้นบนขอบโมลให้เสมอกับขอบโมลและใช้แปรงขนอ่อนค่อยๆปัดทรายออกจากฐานโมลให้สะอาดแล้วนำไปชั่งจะได้น้ำหนักทรายรวมกับโมลหล่อเมื่อหักน้ำหนักโมลหล่อออกก็จะได้น้ำหนักทรายที่อยู่ในโมล (Ws)

ขั้นตอนที่ 3 ใช้เวอร์เนียร์หรือไม้บรรทัดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงโมลเพื่อหาปริมาตร



ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบแบบเดียวกันนี้ 2 – 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องที่สุดแล้วนำค่าน้ำหนักทรายในโมลและปริมาตรของโมลไปหาค่าความหนาแน่นของทราย

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

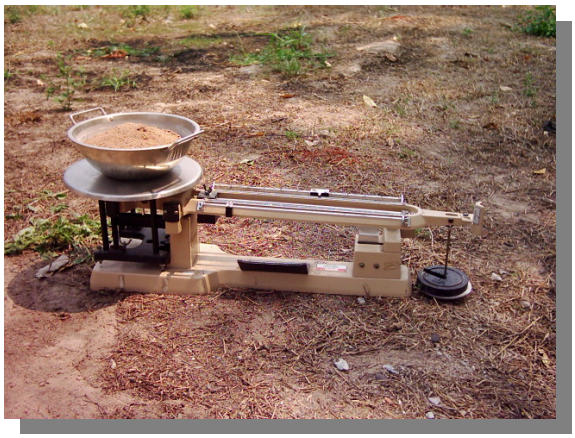
ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 ตวงทรายใส่ขวดอย่างน้อยค่อนขวด ปิดวาล์วแล้วชั่งน้ำหนักของขวดทรายพร้อมทั้งกรวยจดบันทึกค่าไว้ (W1)

ขั้นตอนที่ 2 ปรับพื้นที่ที่จะทำการเจาะให้เรียบก่อนที่จะวางแผ่น plate แล้วตอกตะปูยึดให้แน่น

ขั้นตอนที่ 3 ใช้สกัดเจาะดินบริเวณตรงกลางแผ่น plate ให้มีความลึกประมาณ 10 เซนติเมตรก้นหลุมที่เจาะจะต้องมีขนาดเท่ากับปากหลุมเจาะ ดินที่ขุดจากหลุมจะต้องเก็บให้หมดโดยใช้ช้อนเล็กตักในกรณีเหลือดินน้อยๆให้ใช้แปรงทาสีปัดเศษดินที่อยู่ในหลุมให้เรียบร้อย

ขั้นตอนที่ 4 นำดินที่ได้จากการขุดมาชั่งและจดบันทึกค่าไว้หลังจากนั้นนำดินส่วนหนึ่งที่ขุดได้ไปชั่งเสร็จแล้วนำไปเข้าเตาอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น



ขั้นตอนที่ 5 ทำการคว่ำขวดทรายที่เตรียมไว้แล้วลงบนปากหลุมโดยให้กรวยทรายพอดีกับแผ่น plate แล้วเปิดวาล์วระวังอย่าให้เกิดการกระทบกระเทือนในขณะปล่อยทรายลงหลุมเพราะจะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อแน่ใจว่าทรายที่ปล่อยลงหลุมหยุดไหลแล้วก็ทำการปิดวาล์วแล้วนำทรายที่เหลืออยู่ในขวดไปชั่งน้ำหนักพร้อมกับกรวยทรายและจดบันทึกค่าไว้ (W2)

ขั้นตอนที่ 7 นำทรายที่อยู่ในหลุมใส่ลงในขวดตามเดิมโดยพยามอย่านำดินที่อยู่ในก้นหลุมขึ้นมาด้วย เพราะว่าทรายที่เก็บขึ้นมาจะต้องทดสอบในหลุมต่อไปอีก

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม

Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Project Name	: โครงการสร้างถนน	Date of Test	: 4/16/2548	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Fine Gravel Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 0.1

Diameter of Mold	: 10.13	cm	Height of Mold	: 12.73	cm

Mass of Sand in Cone and Base Plate

Determination No.	1	2	3
Initial Mass of Jar + Sand + Cone	7176	5615	4035
Final Mass of Jar + Sand + Cone (g)	5615	4035	2460

Density of Sand use Mold

Determination No.	1	2	3
Mass of Empty Mold + Base Plate (g)	7884	7884	
Mass of Mold + Sand + Base Plate (g)	9275	9274	

Mass of Wet Soil

Test Hole No.	1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Pan	3086	3201	3174		
Mass of Pan (g)	423	423	423		

Volume from Sand Cone Method

Test Hole No.	1	2	3	4	5
Initial of Soil + Jar + Cone	7168	7137	7242		
Final of Soil + Jar + Cone (g)	3535	3393	3683		

Water Content of Soil

Can No.	1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Can (g)	206.91	206.07	205.33		
Mass of Dry Soil + Can (g)	189.67	196.28	183.00		
Mass of Can (g)	21.37	16.72	20.05		

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม
Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Diameter of Mold	:	cm	Height of Mold	:	cm

Mass of Sand in Cone and Base Plate

Determination No.	1	2	3
Initial Mass of Jar + Sand + Cone			
Final Mass of Jar + Sand + Cone (g)			

Density of Sand use Mold

Determination No.	1	2	3
Mass of Empty Mold + Base Plate (g)			
Mass of Mold + Sand + Base Plate (g)			

Mass of Wet Soil

Test Hole No.	1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Pan					
Mass of Pan (g)					

Volume from Sand Cone Method

Test Hole No.	1	2	3	4	5
Initial of Soil + Jar + Cone					
Final of Soil + Jar + Cone (g)					

Water Content of Soil

Can No.	1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Can (g)					
Mass of Dry Soil + Can (g)					
Mass of Can (g)					

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การ Calibration

1.1 น้ำหนักทรายในโมล (M_S)

$$M_S = M_T - M_M \quad \text{, กรัม} \qquad \text{.....(11.1)}$$

เมื่อ

M_T = น้ำหนักทรายรวมกับน้ำหนักโมล

M_M = น้ำหนักแบบหล่อเปล่า

1.2 ปริมาตรโมล (V_m)

$$V_m = (\frac{\pi}{4} \times d^2 \times h) \qquad \text{.....(11.2)}$$

เมื่อ

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของแบบหล่อ

h = ความสูงของแบบหล่อ

1.3 หาความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดสอบ (ρ_s)

$$\rho_s = \frac{w_s}{v_m} \quad \text{, กรัม/ ซม.}^3 \qquad \text{.....(11.3)}$$

เมื่อ

M_s = น้ำหนักทรายในแบบหล่อ

V_m = ปริมาตรของแบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ

2. การทดสอบแบบกรวยทราย

2.1 น้ำหนักทรายที่ใช้ในการทดสอบ (M_3)

$$M_3 = M_{S1} - M_{S2} \quad \text{.....(11.4)}$$

เมื่อ

M_{S1} = น้ำหนักทราย+กรวยที่ใช้ก่อนทดสอบ

M_{S2} = น้ำหนักทราย+กรวยที่ใช้หลังทดสอบ

2.2 น้ำหนักทรายในหลุมการทดสอบ

$$M_4 = M_3 - M_c \quad \text{..... (11.5)}$$

เมื่อ

M_3 = น้ำหนักทรายที่ใช้ในการทดสอบ

M_c = น้ำหนักทรายในกรวยทรายและแผ่นหาความหนาแน่นที่ได้จากการ Calibration

2.3 ปริมาตรของหลุมทดสอบ (V_s)

$$V_S = \frac{M_4}{\rho_S} \quad \text{..... (11.6)}$$

เมื่อ

M_4 = น้ำหนักทรายในหลุมทดสอบ

ρ_S = ความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดสอบซึ่งได้จากการ Calibration

2.4 ความหนาแน่นเปียก (ρ_{wet})

$$\rho = \frac{M_{wet}}{V_s} \quad ,\text{กรัม / ซม}^3 \qquad \text{..... (11.7)}$$

เมื่อ

M_{wet} = (น้ำหนักดินที่ขุดจากหลุม+น้ำหนักภาชนะ)–น้ำหนักภาชนะ

V_s = ปริมาตรดินที่ขุดจากหลุมทดสอบ

2.5 ความหนาแน่นแห้ง (ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho_{wet}}{1+\frac{w}{100}} \quad ,\text{กรัม / ซม}^3 \qquad \text{..... (11.8)}$$

เมื่อ

ρ_{wet} = ความหนาแน่นเปียก

w = ปริมาณความชื้นของดินที่ทดสอบ

2.6 เปอร์เซ็นต์บดอัด

$$\% \text{ การบดอัด} = \frac{\rho_d}{\rho_m} \times 100 \qquad \text{..... (11.9)}$$

เมื่อ

ρ_d = ความหนาแน่นแห้ง

ρ_m = ความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการบดอัดในห้องทดสอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม

Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Project Name	: โครงการสร้างถนน	Date of Test	: 4/16/2548	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนาวิน สุดถนอม	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Fine Gravel Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.1

Diameter of Mold	: 10.13	cm	Height of Mold	: 12.73	cm

Mass of Sand in Cone and Base Plate

Determination No.		1	2	3
Initial Mass of Jar + Sand + Cone		7176	5615	4035
Final Mass of Jar + Sand + Cone	(g)	5615	4035	2460
Mass of Sand in Cone + Base Plate	(g)	1561	1580	1575
Average	(g)	1572		

Density of Sand use Mold

Determination No.		1	2	3
Mass of Empty Mold + Base Plate	(g)	7884	7884	
Mass of Mold + Sand + Base Plate	(g)	9275	9274	
Mass of Sand	(g)	1391	1390	
Volume of Mold	(cm^3)	1025.98	1205.98	
Density of Sand	(g/cm^3)	1.36		

Mass of Wet Soil

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Pan		3086	3201	3174		
Mass of Pan	(g)	423	423	423		
Mass of Wet Soil	(g)	2663	2778	2751		

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม
Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Volume from Sand Cone Method

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Initial of Soil + Jar + Cone		7168	7137	7242		
Final of Soil + Jar + Cone	(g)	3535	3393	3683		
Mass of Sand in Cone + Base Plate	(g)	1572	1572	1572		
Mass of Sand in Hole	(g)	2061	2172	1987		
Density of Sand	(g/cm^3)	1.36	1.36	1.36		
Volume of Hole	(cm^3)	1515.44	1597.06	1461.03		

Water Content of Soil

Can No.		1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Can	(g)	206.91	206.07	205.33		
Mass of Dry Soil + Can	(g)	189.67	196.28	183.00		
Mass of Can	(g)	21.37	16.72	20.05		
Mass of Wet Soil	(g)	17.24	9.79	22.33		
Mass of Dry Soil	(g)	168.3	179.56	162.95		
Water Content	(%)	10.24	5.45	13.70		

Summary

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Maximum Dry Density in Laboratory	(g/cm^3)	1.67	1.72	1.73		
Wet Density in Filed	(g/cm^3)	1.76	1.74	1.88		
Dry Density	(g/cm^3)	1.60	1.65	1.65		
Relative Density	(%)	95.81	95.93	95.38		

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม
Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Diameter of Mold	:	cm	Height of Mold	:	cm

Mass of Sand in Cone and Base Plate

Determination No.		1	2	3
Initial Mass of Jar + Sand + Cone				
Final Mass of Jar + Sand + Cone	(g)			
Mass of Sand in Cone + Base Plate	(g)			
Average	(g)			

Density of Sand use Mold

Determination No.		1	2	3
Mass of Empty Mold + Base Plate	(g)			
Mass of Mold + Sand + Base Plate	(g)			
Mass of Sand	(g)			
Volume of Mold	(cm^3)			
Density of Sand	(g/cm^3)			

Mass of Wet Soil

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Pan						
Mass of Pan	(g)					
Mass of Wet Soil	(g)					

การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม
Determination of Field Density Test by Sand Cone Method

Volume from Sand Cone Method

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Initial of Soil + Jar + Cone						
Final of Soil + Jar + Cone	(g)					
Mass of Sand in Cone + Base Plate	(g)					
Mass of Sand in Hole	(g)					
Density of Sand	(g/cm^3)					
Volume of Hole	(cm^3)					

Water Content of Soil

Can No.		1	2	3	4	5
Mass of Wet Soil + Can	(g)					
Mass of Dry Soil + Can	(g)					
Mass of Can	(g)					
Mass of Wet Soil	(g)					
Mass of Dry Soil	(g)					
Water Content	(%)					

Summary

Test Hole No.		1	2	3	4	5
Maximum Dry Density in Laboratory	(g/cm^3)					
Wet Density in Filed	(g/cm^3)					
Dry Density	(g/cm^3)					
Relative Density	(%)					

การรายงานผลการทดสอบ

1) ปริมาณความชื้นในมวลดินคิดเป็นร้อยละ
2) ค่าความหนาแน่นแห้งของดิน
3) เปอร์เซ็นต์การบดอัด

ข้อควรระวัง

1) แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดสอบต้องไม่ให้เคลื่อนตัวได้
2) ต้องเก็บทรายที่เทลงครั้งแรกออกจากผิวหน้าทดสอบให้หมด
3) ขณะทดสอบต้องไม่ให้ขวดทรายกระทบกระเทือน
4) ต้องหาค่าความหนาแน่นแห้งของทรายอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
5) ทรายที่ให้ทดสอบต้องสะอาดและแห้ง
6) ต้องปิดวาล์วก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้ง
7) ในขณะที่เคลื่อนย้ายเครื่องมือ ให้อุ้มขวดโดยตรงหรือทำที่หิ้วขวด เพราะกรวยมักจะขาดตรงบริเวณวาล์วถ้าจับหิ้วที่กรวย

การทดลองที่ 12

การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

ทฤษฎีและหลักการ

การยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) เป็นลักษณะการทรุดตัวของดินแบบหนึ่งเมื่อมีแรงกดหรือน้ำหนักมากระทำ จะเกิดขึ้นกับดินดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) เช่น ดินเหนียว (Clay) ซึ่งเป็นการยุบตัวแบบช้า ๆ และใช้ระยะเวลานาน ในหลักของการทดสอบ จะนำน้ำหนักมากดทับบนตัวอย่างดิน แล้วทิ้งไว้และวัดระยะการยุบตัวของตัวอย่างดินตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ต่อไป ส่วนค่าหรือผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบนี้ สามารถนำไปประมาณค่าการทรุดตัวได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใดก็จะขึ้นอยู่กับสภาพตัวอย่างดิน ความละเอียดในการทดสอบ และการพิจารณาต่อผลที่ได้ก่อนนำไปใช้ เป็นต้น เนื่องจากสภาพการทดสอบของตัวอย่างดินจะไม่เหมือนกับสภาพชั้นดินที่อยู่ในธรรมชาติจริง และอุปกรณ์ทดสอบก็มีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง ที่ไม่อาจเลียนแบบสภาพชั้นดินจริงในธรรมชาติได้จึงต้องมีการพิจารณาผลที่ได้อย่างรอบคอบก่อนนำไปใช้ต่อไป

การยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) เป็นลักษณะที่ดินเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดที่เพิ่มขึ้นจำนวนหนึ่งแรงกดที่เพิ่มขึ้นนี้น้ำที่อยู่ในเนื้อดิน (Pores) จะรับไว้ทั้งหมดในช่วงระยะเวลาแรก และระยะเวลาต่อมา น้ำจะเริ่มไหลออกจากดินทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อดิน และเนื้อดินจะรับแรงกดแทนน้ำที่ไหลออกไป เนื้อดินจึงเคลื่อนตัวชิดกัน จึงทำให้ดินยุบตัวลง จากสมมุติฐานการยุบอัดตัว อาจแบ่งสภาพการยุบอัดตัว ออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. Primary Consolidation เป็นการยุบตัวเนื่องจากน้ำในดินไหลออกไป ทำให้ดินรับแรงกดแทนน้ำจึงทำให้เนื้อดินเคลื่อนตัวชิดกันแทนช่องว่างที่น้ำไหลออก การยุบตัวลักษณะนี้จะเป็นแบบ Plastic Deformation

2. Secondary Compression จะเกิดหลัง Primary Consolidation อาจเกิดขึ้นจากเนื้อดินจัดเรียงตัวกันเองให้แน่นขึ้น จึงทำให้ดินเกิดการยุบตัวลงอีกครั้ง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อทดสอบและหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัว (Coefficient of Consolidation, C_v)
- เพื่อหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดในอดีต (Preconsolidation Pressure or Maximum Past Pressure , P'_c)
- เพื่อหาดัชนีของความกดอัด (Compression index, C_c)
- เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการยุบตัว (Coefficient of Volume Compressibility, m_V)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 2435-96 Test Method for one – Dimensional Consolidation Properties of soil

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการยุบตัวคายน้ำ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบการยุบตัวคายน้ำ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) เครื่องทดสอบ Consolidometer หรือ Odometer พร้อม Dial Gauge.
2) Consolidation Cell สำหรับบรรจุตัวอย่างดิน ซึ่งประกอบด้วย
   - วงแหวน Cutting Ring เป็นวงแหวนโลหะด้านหนึ่งคม อีกด้านหนึ่งเรียบ มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 20- 100 ตารางเซนติเมตร สูงประมาณ 2- 4 เซนติเมตร (ที่อยู่ในที่นี้มีพื้นที่หน้าตัด 20 ตารางเซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร)
   - หินพรุน Porous Stone จะประกอบอยู่ทั้งข้างบนและข้างล่างของ Ring สามารถใส่ลงใน Ring ได้เพื่อใช้กดตัวอย่างดิน
   - หัวกดตัวอย่างดิน Load Head หรือ Top Cap เป็นโลหะเพื่อใช้ส่งถ่ายน้ำหนักเพื่อ กดตัวอย่างดิน
3) แผ่นเหล็ก(Slotted Weights) ขนาด 0.5, 1, 2, 5, 10, kg
4) นาฬิกาจับเวลา Timer

เครื่องทดสอบ Consolidometer

วงแหวน Cutting Ring

หินพรุน Porous Stone

หัวกดตัวอย่างดิน Load Head

นาฬิกาจับเวลา Timer

แผ่นเหล็ก (Slotted weights)

.

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) ตู้อบดิน (Oven)
2) เครื่องชั่ง (Balance) ขนาดละเอียด 0.01 กรัม
3) อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ภาชนะอบดิน (Can) เลื่อยตัดดิน (Wire Saw) เป็นต้น

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ในการทดสอบ Consolidation Test จะใช้ตัวอย่างดินที่เป็นดินเหนียวซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างดินในสนาม โดยใช้กระบอกบางเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งไม่ทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนมาก จนทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านความหนาแน่นของดิน และปริมาณน้ำที่อยู่ในดิน คุณสมบัติดังกล่าวจะมีผลโดยตรงกับการทดสอบ Consolidation Test ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาตัวอย่างดินมีปริมาณความชื้นคงที่อยู่ตลอดเวลา และทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ Cutting Ring

ขั้นตอนที่ 2 นำ Cutting Ringไปกดลงบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ แล้วใช้เลื่อยตกแต่งผิวของตัวอย่างดินทั้งด้านบนและด้านล่างให้เรียบ และนำตัวอย่างดินที่เหลือไปหาค่า Water Content

ขั้นตอนที่ 3 นำ Cutting Ring + ดิน ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นของดินและ Initial Void Ratio

ขั้นตอนที่ 4 นำตัวอย่างดินติดตั้งใน Consolidation Cell ซึ่งมีแผ่นหินพรุน (Porous Stone) และกระดาษรองที่เปียกน้ำโดยจะต้องไล่ฟองอากาศออกจากหินพรุนก่อนนำมาประกบเข้ากับตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อให้น้ำสามารถไหลออกได้สะดวก

ขั้นตอนที่ 5 นำ Consolidation Cell ติดตั้งใน Loading Frame และติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดิน และใส่น้ำใน Consolidation Cell ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับตัวอย่างดิน

การเตรียมน้ำหนักสำหรับกดตัวอย่างดิน

ในการทดสอบแต่ละตัวอย่างดินควรทำการเพิ่มน้ำหนักประมาณ 6-8ครั้ง ซึ่งมีหลักในการพิจารณาขึ้นอยู่กับค่าความดันประสิทธิผลเหนือตัวอย่างดินในสนาม(Effective Overburden Pressure, σ'_{VO}) เพื่อให้กราฟ e กับ log P′ จากการทดสอบ อยู่ในช่วงความดันกดทับสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure) และเลยไปยังความดันที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากแรงกดทับจากฐานรากของอาคารสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสามารถกำหนด Pressure ที่จะให้กับตัวอย่างดินในแต่ละชั้นของการให้ Load ได้คร่าวๆคือ $\frac{1}{8}\sigma'_{VO}$, $\frac{1}{4}\sigma'_{VO}$, $\frac{1}{2}\sigma'_{VO}$, σ'_{VO}, $2\sigma'_{V}$, $4\sigma'_{VO}$, $8\sigma'_{VO}$, $16\sigma'_{V}$, $32\sigma'_{VO}$ โดย Pressure ครั้งต่อไปจะมากกว่า Pressure ก่อนหน้า 2 เท่า

ขั้นตอนการเลือกน้ำหนักที่แขวน

ขั้นตอนที่ 1 จากข้อมูลชั้นดินคำนวณหาค่า $\sigma'_{vo} = \gamma \times D$,Kg/cm^2

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่า $\frac{1}{8}\sigma'_{vo}$, $\frac{1}{4}\sigma'_{vo}$, $\frac{1}{2}\sigma'_{vo}$, σ'_{vo}, $2\sigma'_{vo}$, $4\sigma'_{vo}$, $8\sigma'_{vo}$, $16\sigma'_{vo}$, $32\sigma'_{vo}$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหา Load ที่จะใช้แขวนคานในแต่ละขั้นของการให้ Load

$$Load = \frac{\sigma' A}{R} \quad ,kg$$

เมื่อ

Load = น้ำหนักที่แขวนปลายคาน (Applied Load, kg)

σ = แรงดันกดทับ (Applied Pressure, kg/cm^2)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (Area of Sample, cm^2)

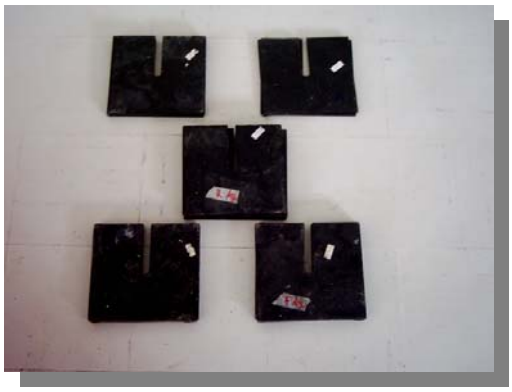
R = อัตราส่วนแทนน้ำหนักของคาน (Beam Ratio) สมมุติใช้ 10:1 (R=10)

ขั้นตอนที่ 4 เลือกน้ำหนักที่จะใช้แขวนจริงให้ใกล้เคียงกับน้ำหนักที่คำนวณได้ เนื่องจากตุ้มน้ำหนักที่ใช้จะเป็นจำนวนเต็ม เช่น 0.5, 1, 2, 5, 10 Kg.

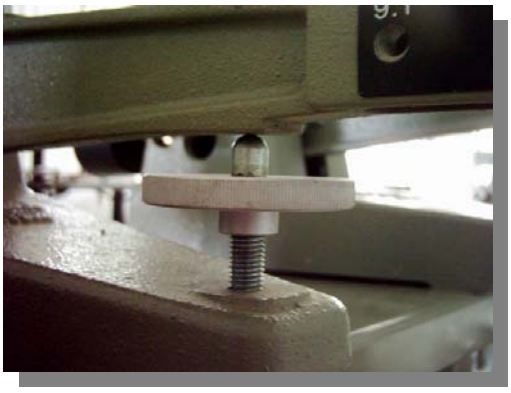
ขั้นตอนที่ 5 ย้อนหา Stress ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวอย่างดินใน Consolidation Cell = $\frac{load.R}{A}$, kg/cm^2

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ให้เตรียมน้ำหนักที่ได้จากคำนวณ เพื่อนำมาแขวนที่คานในแต่ละขั้นของการเพิ่มน้ำหนัก



ขั้นตอนที่ 2 หมุนปรับลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Counterbalance Weight) ให้แนวคาน สมดุลและขนานกับแนวราบโดยสังเกตจาก ระดับน้ำฟองยาวที่ติดตั้งไว้ที่คาน จากนั้นหมุนให้ไปยันกับด้านล่างของคาน

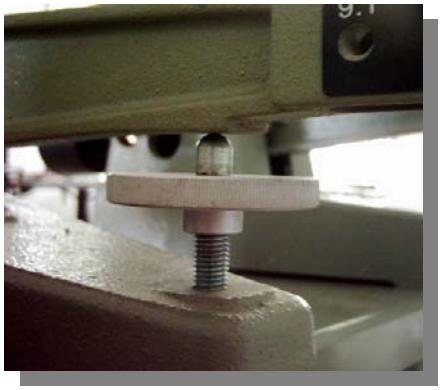


ขั้นตอนที่ 3 วางน้ำหนักในขั้นแรก ลงบนที่แขวนน้ำหนักแล้ว ตรวจสอบความความพร้อมก่อนการปล่อยน้ำหนัก โดยให้ปลายของ Dial gauge ยันกับ Loading stem พร้อมปรับเข็มหน้าปัดของ Dial gauge ให้อยู่ที่ศูนย์

ขั้นตอนที่ 4 หมุน ที่รับคานงัด (Beam support jack) ลงให้สุดพร้อมกับเริ่มจับเวลา ที่เวลาต่างๆ ดังนี้ 7, 15, 30 วินาที 1, 2, 4, 8, 15, 30 นาที 1, 2, 4 ชั่วโมง และบันทึกค่าการทรุดตัวจาก Dial gauge ตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ แล้วนำค่าที่ได้ไป Plot กราฟ โดยวิธี Square Root Time หรือ Log Time

หมายเหตุ : หากเป็นการทดสอบที่ต้องการความละเอียดสูง เมื่อบันทึกค่าครบ 4 ชั่วโมงแล้ว ให้รอบันทึกค่าการทรุดตัวอีกครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง โดยนับเวลาจากจุดที่เริ่มการปล่อยน้ำหนัก แต่สำหรับการทดสอบที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก หรือ ไม่ต้องการใช้เวลาในการทดสอบมาก ก็ให้บันทึกค่าสุดท้ายที่ 4 ชั่วโมงได้

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากปล่อยน้ำหนักครบ 4 ชั่วโมง จึงทำการเพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไป โดยการหมุนที่รองรับคานขึ้นมาแตะที่ใต้คานพอดี แล้วนำน้ำหนักขั้นต่อไปมาแขวนที่แผ่นรับน้ำหนัก พร้อมกับเอาน้ำหนักเดิมออก รอจับเวลาปล่อยน้ำหนักเพื่อ อ่านค่าการทรุดตัวที่ระยะเวลาต่างๆเหมือนขั้นตอนที่ 4



ขั้นตอนที่ 6 เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงขั้นสุดท้ายแล้วจากนั้นทำการถอนน้ำหนักออกทีละระดับโดยแต่ละระดับให้ใช้เวลาประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง แล้วบันทึกค่าการบวมตัวทุกระดับจนหมดน้ำหนัก

หมายเหตุ : ในส่วนของการถอนน้ำหนัก (Rebound load) ออกสามารถถอนน้ำหนักออกหนึ่งขั้นเว้นหนึ่งขั้นจากในตารางคำนวณน้ำหนักที่ใช้แหวน เช่นใส่น้ำหนักขั้นสุดท้าย 32 Kg. การถอนต้องเว้นหนึ่งขั้น คือ 8 Kg. และ 2 Kg. ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากทดสอบตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้ว ให้ถอด Consolidation Cell ออกเพื่อนำตัวอย่างดินที่อยู่ใน Cutting Ring มาชั่งน้ำหนักแล้วนำตัวอย่างดินไปอบหาความชื้นหลังการทดสอบ

ตารางแสดงการคำนวณน้ำหนักที่ใช้แหวน

Consolidation Cell Diameter (cm.) = 5.002			Area (cm^2) = 19.64	
$\sigma'_{vo}(ksc)$ = 0.523		Beam Ratio = 10 : 1		R = 10
Applied Pressure , σ (ksc)		น้ำหนักที่ใช้แขวน , Load (kg) $\frac{\sigma A}{R}$	เลือกน้ำหนักแขวนที่ใช้จริง , (kg)	Stress ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวอย่างดิน , σ (ksc) $\frac{Load\ R}{A}$
$\frac{1}{8}\sigma'_{vo}$	0	0.128401097	-	-
$\frac{1}{4}\sigma'_{vo}$	0	0.256802194	-	-
$\frac{1}{2}\sigma'_{vo}$	0.2615	0.513604387	0.50	0.25
σ'_{vo}	0.523	1.027208774	1.00	0.51
$2\sigma'_{vo}$	1.042	2.054417548	2.00	1.02
$4\sigma'_{vo}$	2.092	4.108835097	4.00	2.04
$8\sigma'_{vo}$	4.184	8.217670194	8.00	4.07
$16\sigma'_{vo}$	8.368	16.43534039	16.00	8.15
$32\sigma'_{vo}$	16.736	32.87068078	32.00	16.29

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

Project Name	: การประปา	Date of Test	: 4/20/2548	Sample No.	: ST-4
Location	: กรุงเทพมหานคร	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: BH-3
Soil Sample	: Clayey Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 12.0-12.7

Apparatus Measurement		
Lever Arm Ratio	: 1 : 10	
Ring Diameter	: 5.985	cm
Ring Height	: 1.995	cm

		Before	After
Can No.	(g)	1	2
Wt. of Wet Soil + Can	(g)	68.73	374.68
Wt. of Dry Soil + Can	(g)	52.97	352.14
Wt. of Can	(g)	10.01	278.81

Soil Sample

		Initial	Final			Initial	Final
Sample Ring No.		1	2	Sample Ring No.		1	2
Weight of Soil + Ring	(g)	212.37	374.68	Solid Height	(cm)	1.008	0.987
Weight of Ring	(g)	110.04	278.81	Specific Gravity		2.641	2.641

Data Monitor

Pressure Increment 0.000 to 0.125 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
29 มี.ค. 2548	8.00	0
	8.00.06	16
	8.00.12	22
	8.00.30	33
	8.01	44
	8.02	55
	8.04	64
	8.08	71
	8.15	76
	8.30	79
	9.00	81
	10.00	82
	12.00	82
	16.00	83
30 มี.ค. 2548	8.00	83

Pressure Increment 0.125 to 0.250 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
30 มี.ค. 2548	8.00	83
	8.00.06	102
	8.00.12	107
	8.00.30	113
	8.01	119
	8.02	127
	8.04	133
	8.08	140
	8.15	146
	8.30	153
	9.00	157
	10.00	161
	12.00	165
	16.00	169
31 มี.ค. 2548	8.00	175

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment 0.250 to 0.500 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
31 มี.ค. 2548	8.00	175
	8.00.06	206
	8.00.12	216
	8.00.30	227
	8.01	237
	8.02	248
	8.04	262
	8.08	274
	8.15	284
	8.30	296
	9.00	305
	10.00	313
	12.00	318
	16.00	324
1 เม.ย. 2548	8.00	334

Pressure Increment 0.500 to 1.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
1 เม.ย.. 2548	8.00	334
	8.00.06	395
	8.00.12	402
	8.00.30	416
	8.01	428
	8.02	442
	8.04	459
	8.08	477
	8.15	494
	8.30	512
	9.00	526
	10.00	537
	12.00	544
	16.00	551
2 เม.ย. 2548	8.00	557

Pressure Increment 1.000 to 2.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
2 เม.ย. 2548	8.00	557
	8.00.06	634
	8.00.12	647
	8.00.30	665
	8.01	680
	8.02	701
	8.04	725
	8.08	747
	8.15	768
	8.30	792
	9.00	818
	10.00	835
	12.00	844
	16.00	860
3 เม.ย. 2548	8.00	865

Pressure Increment 2.000 to 4.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
3 เม.ย. 2548	8.00	865
	8.00.06	928
	8.00.12	940
	8.00.30	961
	8.01	979
	8.02	996
	8.04	1015
	8.08	1042
	8.15	1073
	8.30	1111
	9.00	1148
	10.00	1179
	12.00	1202
	16.00	1209
4 เม.ย. 2548	8.00	1224

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment 4.000 to 8.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
4 เม.ย. 2548	8.00	1224
	8.00.06	1288
	8.00.12	1301
	8.00.30	1318
	8.01	1332
	8.02	1351
	8.04	1377
	8.08	1412
	8.15	1449
	8.30	1501
	9.00	1556
	10.00	1607
	12.00	1638
	16.00	1655
5 เม.ย. 2548	8.00	1674

Pressure Increment 8.000 to 16.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
5 เม.ย. 2548	8.00	1674
	8.00.06	1756
	8.00.12	1772
	8.00.30	1789
	8.01	1807
	8.02	1828
	8.04	1855
	8.08	1895
	8.15	1941
	8.30	2006
	9.00	2075
	10.00	2135
	12.00	2172
	16.00	2195
6 เม.ย. 2548	8.00	2217

Pressure Increment 16.000 to 4.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
6 เม.ย. 2548	8.00	2217
	8.00.06	-
	8.00.12	-
	8.00.30	-
	8.01	-
	8.02	-
	8.04	-
	8.08	-
	8.15	-
	8.30	-
	9.00	-
	10.00	-
	12.00	-
	16.00	-
7 เม.ย. 2548	8.00	1879

Pressure Increment 4.000 to 1.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
7 เม.ย. 2548	8.00	1879
	8.00.06	-
	8.00.12	-
	8.00.30	-
	8.01	-
	8.02	-
	8.04	-
	8.08	-
	8.15	-
	8.30	-
	9.00	-
	10.00	-
	12.00	-
	16.00	-
8 เม.ย. 2548	8.00	1446

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment 1.000 to 0.250 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
8 เม.ย. 2548	8.00	1446
	8.00.06	-
	8.00.12	-
	8.00.30	-
	8.01	-
	8.02	-
	8.04	-
	8.08	-
	8.15	-
	8.30	-
	9.00	-
	10.00	-
	12.00	-
	16.00	-
9 เม.ย. 2548	8.00	1175

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment 0.250 to 0.000 kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading
9 เม.ย. 2548	8.00	1175
	8.00.06	-
	8.00.12	-
	8.00.30	-
	8.01	-
	8.02	-
	8.04	-
	8.08	-
	8.15	-
	8.30	-
	9.00	-
	10.00	-
	12.00	-
	16.00	-
10 เม.ย. 2548	8.00	1033

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Apparatus Measurement		
Lever Arm Ratio	:	
Ring Diameter	:	cm
Ring Height	:	cm

		Before	After
Can No.	(g)		
Wt. of Wet Soil + Can	(g)		
Wt. of Dry Soil + Can	(g)		
Wt. of Can	(g)		

Soil Sample

		Initial	Final			Initial	Final
Sample No.				Sample Ring No.			
Weight of Soil + Ring	(g)			Solid Height	(cm)		
Weight of Ring	(g)			Specific Gravity			

Data Monitor

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Data Monitor

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

Pressure Increment to kg/cm^2		
Date	Time	Dial Gauge Reading

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อเขียนกราฟซึ่งประกอบด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strain กับ Root Time (1 กราฟต่อการใส่Load1 ชั้น), กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strain กับ Log Tim, กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Void Ratio, e กับ Pressure (Stress) (Log scale) เพื่อหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดสุด P' c และรายละเอียดของตัวอย่างดินที่ใช้ในการคำนวณ เรียบร้อยแล้ว นำมาคำนวณหาค่าต่างๆได้ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว C_v

1.1 การหาค่า C_V โดยวิธี Square Root Time ($\sqrt{t}$)

$$C_V = \frac{T_V H^2}{t} = \frac{0.848\ H^2}{t_{90}} \quad \text{..... (12.1)}$$

1.2 การหาค่า C_v โดยวิธี Log Time

$$C_V = \frac{T_v H^2}{t} = \frac{0.197\ H^2}{t_{50}} \quad \text{..... (12.2)}$$

เมื่อ

T_V = Time Factor (ดูได้จากตารางที่12.1 เมื่อทราบค่า U_v)

U_V = เปอร์เซ็นต์การยุบอัดตัว

H = ระยะทางที่น้ำระบายออก (Drainage Path) เป็นระยะที่มากที่สุดที่น้ำ สามารถระบายออกไปจากตัวอย่างดินได้ ในการทดสอบ H จะมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอย่างดิน $\left(\frac{h}{2}\right)$

T = ระยะเวลาที่ใช้ในการยุบอัดตัวของดิน

2. หาค่าดัชนีของความกดอัด, Cc

C_C = ความชันของกราฟระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง Void Ratio กับ log P′ ในช่วงที่เป็นเส้นตรง (Normal Consolidation)

$$C_C = \text{Slope} = \frac{e_1 - e_2}{\log P_2' - \log P_1'} = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)} \quad \text{..... (12.3)}$$

เมื่อ

e1 = อัตราส่วนช่องว่างที่เกิดขึ้นที่แรงกดอัด P'_1

e2 = อัตราส่วนช่องว่างที่เกิดขึ้นที่แรงกดอัด P'_2

3. ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการยุบตัว, m_v

$$m_v = \frac{1}{H} \times \frac{\Delta h}{\Delta P} \quad \text{..... (12.4)}$$

เมื่อ

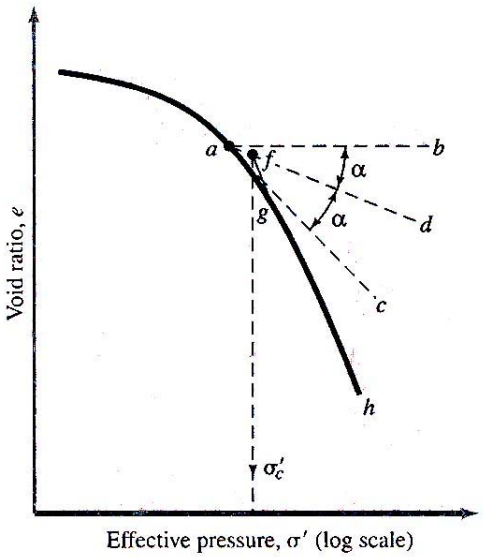
H = ความหนาของตัวอย่าดินในวงแหวนก่อนทดสอบ

Δh = ระยะยุบตัวของดิน

ΔP = ความแตกต่างของน้ำหนัก = $P_2 - P_1$

4. ค่าหน่วยแรงดันสูงสุด(P'_c) Preconsolidation Pressure or Maximum Recompression ค่าหน่วยแรงดันสูงสุด เป็นค่าหน่วยแรงดันที่ดินเคยได้รับมาจากหน่วยแรงกดต่างๆไม่ว่าจากชั้นดินหรือสิ่งที่กดทับที่อยู่เหนือขึ้นไป หรือจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งดินจะจัดเรียงตัวให้แน่นที่สุดตามสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อดินมีเสถียรภาพอยู่ได้ตามธรรมชาติค่าหน่วยแรงดันสูงสุดจะอยู่ในสภาพ Effective Stress ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงดันโดยเนื้อแท้ของดินการหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดของดินสามารถหาได้จากการเขียนกราฟ Semi - log ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างของดิน (Void Ratio, e) กับหน่วยแรงกดที่ถูกกระทำจากการใส่น้ำหนัก (Pressure, P) มีวิธีการหาค่าดังนี้

1. เลือกจุดที่มีรัศมีน้อยที่สุดบนเส้น Consolidation Curve (จุด a)
2. ลากเส้นในแนวนอนจากจุด a (เส้นตรง ab)
3. ลากเส้นสัมผัสโค้งที่จุด a (เส้นตรง ac)
4. ลากครึ่งมุมจากการตัดกันของทั้งสองเส้น ($\alpha/2$)
5. ลากเส้นตรงจากส่วนของกราฟที่เป็นเส้นตรงมาตัดกับเส้นแบ่งครึ่งมุมที่จุด f
6. จากนั้นลากเส้นตรงที่จุด f ลงมาตามแนวดิ่งจะได้ค่าหน่วยแรงดันสูงสุดในอดีต, σ'_c



รูปที่ 12.1 การหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดในอดีต, P'_c

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

Project Name	: การประปา	Date of Test	: 4/20/2548	Sample No.	: ST-4
Location	: กรุงเทพมหานคร	Tested by	: นายมนตรี ฤทธิบูรณ์	Boring No.	: BH-3
Soil Sample	: Clayey Soil	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 12.0-12.7

Apparatus Measurement		
Lever Arm Ratio	: 1 : 10	
Ring Diameter	: 5.985	cm
Ring Height	: 1.995	cm
Ring Area	: 28.13	cm^2
Ring Volume	: 52.12	cm^3

		Before	After
Can No.	(g)	1	2
Wt. of Wet Soil + Can	(g)	68.73	374.68
Wt. of Dry Soil + Can	(g)	52.97	362.14
Wt. of Can	(g)	10.01	278.81
Wt. of Water	(g)	15.76	22.54
Wt. of Dry Soil	(g)	42.96	73.33
Water Content	(%)	36.69	30.74

Soil Sample

		Initial	Final			Initial	Final
Sample Ring No.		1	2	Sample Ring No.		1	2
Weight of Soil + Ring	(g)	212.37	374.68	Solid Height	(cm)	1.008	0.987
Weight of Ring	(g)	110.04	278.81	Total Density	(g/cm^2)	1.823	1.906
Specific Gravity		2.641	2.641	Dry Density	(g/cm^2)	1.334	1.458
Weight of Soil	(g)	102.330	96.870	Void Ratio		0.980	0.811
Volume of Sample	(cm^3)	56.12	50.31	Degree of Saturation	(%)	98.88	100.10

Summary

Applied Pressure (kg/cm^2)	Scale Load (kg)	Final Reading X 0.01(mm)	Accum. Reading Change (cm)	Sample Height (cm)	Void Height (cm)	Void Ratio	Average Sample Height (cm)	Fitting Time T90 (sec)	Cv X 0.001 (cm^2/sec)
0.000	0	0.00	0.0000	1.9950	1.0080	1.0213			
0.125	4	16.60	0.0166	1.9784	0.9914	1.0045	1.9867	279.16	2.9974
0.250	8	35.00	0.0350	1.9600	0.9730	0.9858	1.9692	324.06	2.5368
0.500	16	66.80	0.0668	1.9282	0.9412	0.9536	1.9441	372.01	2.1539
1.000	32	111.40	0.1114	1.8836	0.8966	0.9084	1.9056	596.86	1.2902
2.000	64	173.00	0.1730	1.8220	0.8350	0.8460	1.8528	596.86	1.2193
4.000	128	244.80	0.2448	1.7502	0.7632	0.7733	1.7861	535.69	1.2625

การทดสอบ1.6602การอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Summary(Continue)

Applied Pressure (kg/cm^2)	Scale Load (kg)	Final Reading X 0.01(mm)	Accum. Reading Change (cm)	Sample Height (cm)	Void Height (cm)	Void Ratio	Average Sample Height (cm)	Fitting Time T90 (sec)	Cv X 0.001 (cm^2/sec)
8.000	256	334.80	0.3348	1.6602	0.6732	0.6821	1.7052	799.79	0.7707
16.000	512	443.40	0.4434	1.5516	0.5646	0.5720	1.6059	1204.75	0.4538
4.000	128	375.80	0.3758	1.6192	0.6322	0.6405			
1.000	32	289.20	0.2892	1.7058	0.7188	0.7283			
0.250	8	235.00	0.2350	1.7600	0.7730	0.7832			
0.000	0	206.60	0.2066	1.7884	0.8014	0.8120			

Data Monitor

Pressure Increment 0.000 to 0.125 kg/cm^2			Load Increment 0 to 4 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
29 มี.ค. 2548	8.00	0.00	0.00	0	0.000
	8.00.06	0.10	0.32	16	0.032
	8.00.12	0.20	0.45	22	0.044
	8.00.30	0.50	0.71	33	0.066
	8.01	1	1.00	44	0.088
	8.02	2	1.41	55	0.110
	8.04	4	2.00	64	0.128
	8.08	8	2.83	71	0.142
	8.15	15	3.87	76	0.152
	8.30	30	5.48	79	0.158
	9.00	60	7.75	81	0.162
	10.00	120	10.95	82	0.164
	12.00	240	15.49	82	0.164
	16.00	480	21.91	83	0.166
30 มี.ค. 2548	8.00	1440	37.95	83	0.166

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment 0.125 to 0.250 kg/cm^2			Load Increment 4 to 8 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
30 มี.ค. 2548	8.00	0.00	0.00	83	0.166
	8.00.06	0.10	0.32	102	0.204
	8.00.12	0.20	0.45	107	0.214
	8.00.30	0.50	0.71	113	0.226
	8.01	1	1.00	119	0.238
	8.02	2	1.41	127	0.254
	8.04	4	2.00	133	0.266
	8.08	8	2.83	140	0.280
	8.15	15	3.87	146	0.292
	8.30	30	5.48	153	0.306
	9.00	60	7.75	157	0.314
	10.00	120	10.95	161	0.322
	12.00	240	15.49	165	0.330
	16.00	480	21.91	169	0.338
31 มี.ค. 2548	8.00	1440	37.95	175	0.350
Pressure Increment 0.250 to 0.500 kg/cm^2			Load Increment 8 to 16 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
31 มี.ค. 2548	8.00	0.00	0.00	175	0.350
	8.00.06	0.10	0.32	206	0.412
	8.00.12	0.20	0.45	216	0.432
	8.00.30	0.50	0.71	227	0.454
	8.01	1	1.00	237	0.474
	8.02	2	1.41	248	0.496
	8.04	4	2.00	262	0.524
	8.08	8	2.83	274	0.548
	8.15	15	3.87	284	0.568
	8.30	30	5.48	296	0.592
	9.00	60	7.75	305	0.610
	10.00	120	10.95	313	0.626
	12.00	240	15.49	318	0.636
	16.00	480	21.91	324	0.648
1 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	334	0.668

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment 0.500 to 1.000 kg/cm^2			Load Increment 16 to 32 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
1 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	334	0.668
	8.00.06	0.10	0.32	395	0.790
	8.00.12	0.20	0.45	402	0.804
	8.00.30	0.50	0.71	416	0.832
	8.01	1	1.00	428	0.856
	8.02	2	1.41	442	0.84
	8.04	4	2.00	459	0.918
	8.08	8	2.83	477	0.954
	8.15	15	3.87	494	0.988
	8.30	30	5.48	512	1.024
	9.00	60	7.75	526	1.052
	10.00	120	10.95	537	1.074
	12.00	240	15.49	544	1.088
	16.00	480	21.91	551	1.102
2 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	557	1.114
Pressure Increment 1.000 to 2.000 kg/cm^2			Load Increment 32 to 64 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
2 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	557	1.114
	8.00.06	0.10	0.32	634	1.268
	8.00.12	0.20	0.45	647	1.294
	8.00.30	0.50	0.71	665	1.330
	8.01	1	1.00	680	1.360
	8.02	2	1.41	701	1.420
	8.04	4	2.00	725	1.450
	8.08	8	2.83	747	1.494
	8.15	15	3.87	768	1.536
	8.30	30	5.48	792	1.584
	9.00	60	7.75	818	1.636
	10.00	120	10.95	835	1.670
	12.00	240	15.49	844	1.688
	16.00	480	21.91	860	1.720
3 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	865	1.730

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment 2.000 to 4.000 kg/cm^2			Load Increment 64 to 128 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
3 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	865	1.730
	8.00.06	0.10	0.32	928	1.856
	8.00.12	0.20	0.45	940	1.880
	8.00.30	0.50	0.71	961	1.922
	8.01	1	1.00	979	1.958
	8.02	2	1.41	996	1.992
	8.04	4	2.00	1015	2.030
	8.08	8	2.83	1042	2.084
	8.15	15	3.87	1073	2.146
	8.30	30	5.48	1111	2.222
	9.00	60	7.75	1148	2.296
	10.00	120	10.95	1179	2.358
	12.00	240	15.49	1202	2.404
	16.00	480	21.91	1209	2.418
4 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1224	2.448
Pressure Increment 4.000 to 8.000 kg/cm^2			Load Increment 128 to 256 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
4 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	1224	2.448
	8.00.06	0.10	0.32	1288	2.576
	8.00.12	0.20	0.45	1301	2.602
	8.00.30	0.50	0.71	1318	2.636
	8.01	1	1.00	1332	2.664
	8.02	2	1.41	1351	2.702
	8.04	4	2.00	1377	2.754
	8.08	8	2.83	1412	2.824
	8.15	15	3.87	1449	2.898
	8.30	30	5.48	1501	3.002
	9.00	60	7.75	1556	3.112
	10.00	120	10.95	1607	3.214
	12.00	240	15.49	1638	3.276
	16.00	480	21.91	1655	3.310
5 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1674	3.348

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment 8.000 to 16.000 kg/cm^2			Load Increment 256 to 512 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
5 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	1674	3.348
	8.00.06	0.10	0.32	1756	3.512
	8.00.12	0.20	0.45	1772	3.544
	8.00.30	0.50	0.71	1789	3.578
	8.01	1	1.00	1807	3.614
	8.02	2	1.41	1828	3.656
	8.04	4	2.00	1855	3.710
	8.08	8	2.83	1895	3.790
	8.15	15	3.87	1941	3.882
	8.30	30	5.48	2006	4.012
	9.00	60	7.75	2075	4.150
	10.00	120	10.95	2135	4.270
	12.00	240	15.49	2172	4.344
	16.00	480	21.91	2195	4.390
6 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	2217	4.434
Pressure Increment 16.000 to 4.000 kg/cm^2			Load Increment 512 to 128 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
6 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	2217	4.434
	8.00.06	0.10	0.32	-	-
	8.00.12	0.20	0.45	-	-
	8.00.30	0.50	0.71	-	-
	8.01	1	1.00	-	-
	8.02	2	1.41	-	-
	8.04	4	2.00	-	-
	8.08	8	2.83	-	-
	8.15	15	3.87	-	-
	8.30	30	5.48	-	-
	9.00	60	7.75	-	-
	10.00	120	10.95	-	-
	12.00	240	15.49	-	-
	16.00	480	21.91	-	-
7 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1879	3.758

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment 4.000 to 1.000 kg/cm^2			Load Increment 128 to 32 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
7 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	1879	3.758
	8.00.06	0.10	0.32	-	-
	8.00.12	0.20	0.45	-	-
	8.00.30	0.50	0.71	-	-
	8.01	1	1.00	-	-
	8.02	2	1.41	-	-
	8.04	4	2.00	-	-
	8.08	8	2.83	-	-
	8.15	15	3.87	-	-
	8.30	30	5.48	-	-
	9.00	60	7.75	-	-
	10.00	120	10.95	-	-
	12.00	240	15.49	-	-
	16.00	480	21.91	-	-
8 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1446	2.892
Pressure Increment 1.000 to 0.250 kg/cm^2			Load Increment 32 to 8 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
8 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	1446	2.892
	8.00.06	0.10	0.32	-	-
	8.00.12	0.20	0.45	-	-
	8.00.30	0.50	0.71	-	-
	8.01	1	1.00	-	-
	8.02	2	1.41	-	-
	8.04	4	2.00	-	-
	8.08	8	2.83	-	-
	8.15	15	3.87	-	-
	8.30	30	5.48	-	-
	9.00	60	7.75	-	-
	10.00	120	10.95	-	-
	12.00	240	15.49	-	-
	16.00	480	21.91	-	-
9 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1175	2.350

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

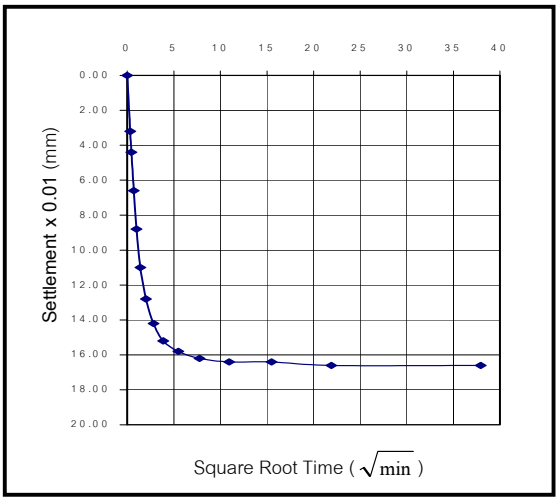
Pressure Increment 0.250 to 0.000 kg/cm^2			Load Increment 8 to 0 kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm
9 เม.ย. 2548	8.00	0.00	0.00	1175	2.350
	8.00.06	0.10	0.32	-	-
	8.00.12	0.20	0.45	-	-
	8.00.30	0.50	0.71	-	-
	8.01	1	1.00	-	-
	8.02	2	1.41	-	-
	8.04	4	2.00	-	-
	8.08	8	2.83	-	-
	8.15	15	3.87	-	-
	8.30	30	5.48	-	-
	9.00	60	7.75	-	-
	10.00	120	10.95	-	-
	12.00	240	15.49	-	-
	16.00	480	21.91	-	-
10 เม.ย. 2548	8.00	1440	37.95	1033	2.066

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

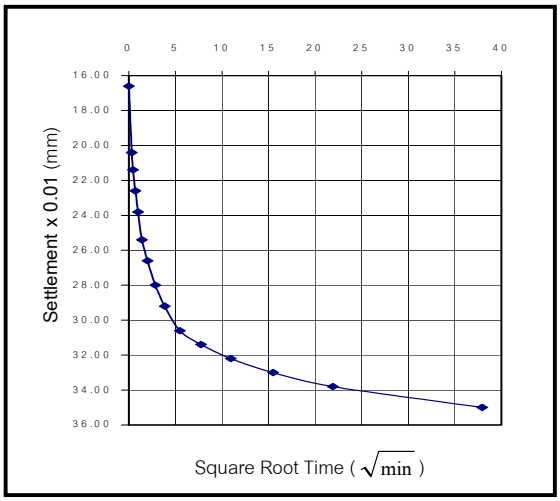
การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

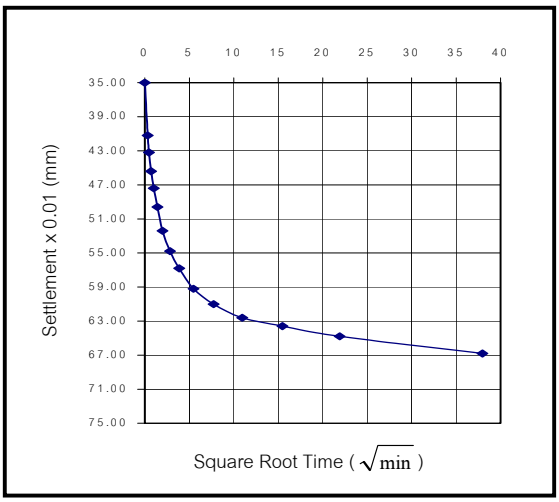
No.1



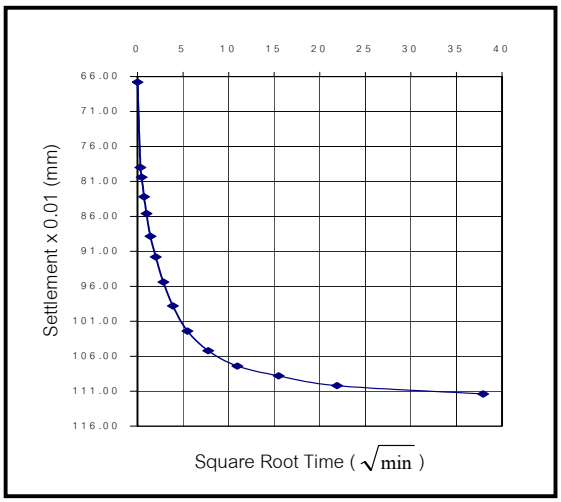
No.2



No.3



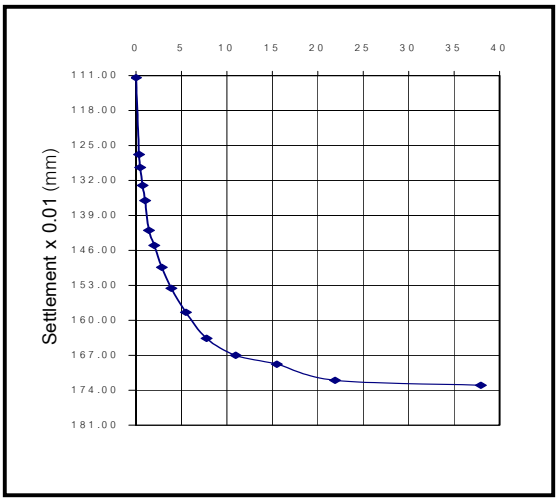
No.4



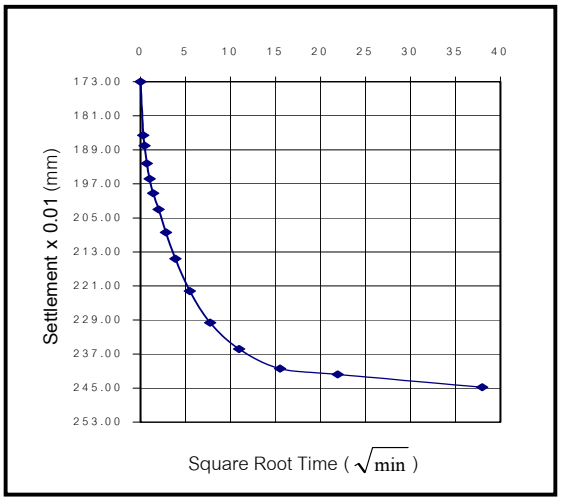
การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

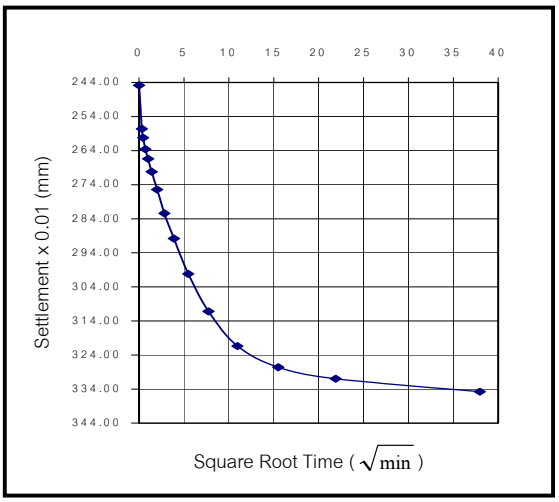
No.5



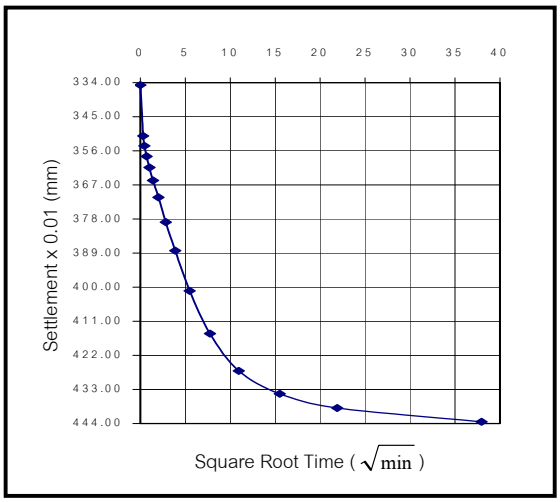
No.6



No.7



No.8



การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

Project Name :
Location :
Soil Sample :

Date of Test :
Tested by :
Checked by :

Sample No. :
Boring No. :
Depth (m) :

Apparatus Measurement		
Lever Arm Ratio	:	
Ring Diameter	:	cm
Ring Height	:	cm
Ring Area	:	cm^2
Ring Volume	:	cm^3

		Before	After
Can No.	(g)		
Wt. of Wet Soil + Can	(g)		
Wt. of Dry Soil + Can	(g)		
Wt. of Can	(g)		
Wt. of Water	(g)		
Wt. of Dry Soil	(g)		
Water Content	(%)		

Soil Sample

		Initial	Final			Initial	Final
Sample No.				Sample Ring No.			
Weight of Soil + Ring	(g)			Solid Height	(cm)		
Weight of Ring	(g)			Total Density	(g/cm^2)		
Specific Gravity				Dry Density	(g/cm^2)		
Weight of Soil	(g)			Void Ratio			
Volume of Sample	(cm^3)			Degree of Saturation	(%)		

Summary

Applied Pressure (kg/cm^2)	Scale Load (kg)	Final Reading X 0.01(mm)	Accum. Reading Change (cm)	Sample Height (cm)	Void Height (cm)	Void Ratio	Average Sample Height (cm)	Fitting Time T90 (sec)	Cv X 0.001 (cm^2/sec)

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

Summary(Continue)

Applied Pressure (kg/cm^2)	Scale Load (kg)	Final Reading X 0.01(mm)	Accum. Reading Change (cm)	Sample Height (cm)	Void Height (cm)	Void Ratio	Average Sample Height (cm)	Fitting Time T90 (sec)	Cv X 0.001 (cm^2/sec)

Data Monitor

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{Time}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

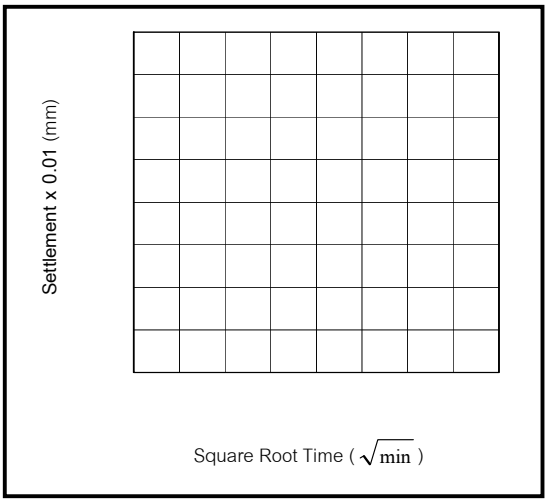
Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

Pressure Increment to kg/cm^2			Load Increment to kg		
Date	Time	Elapse Time (min)	$\sqrt{\text{Time}}$	Settlement	
				Dial Gauge	mm

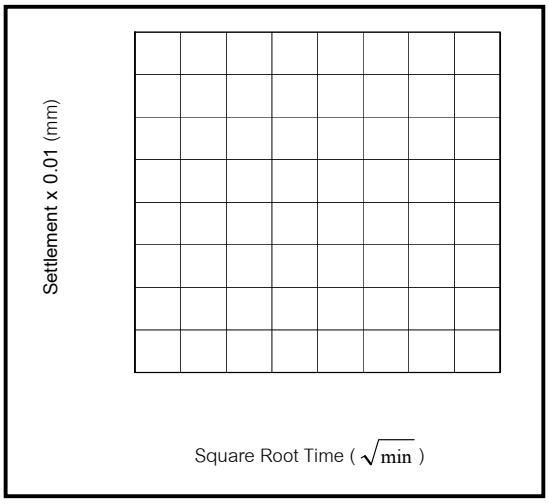
การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

Consolidation Test

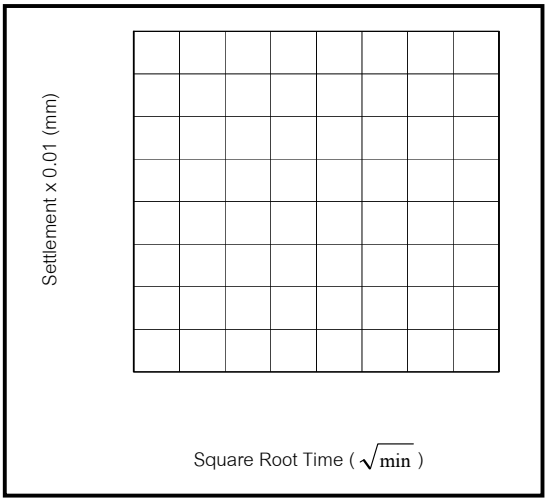
No.1



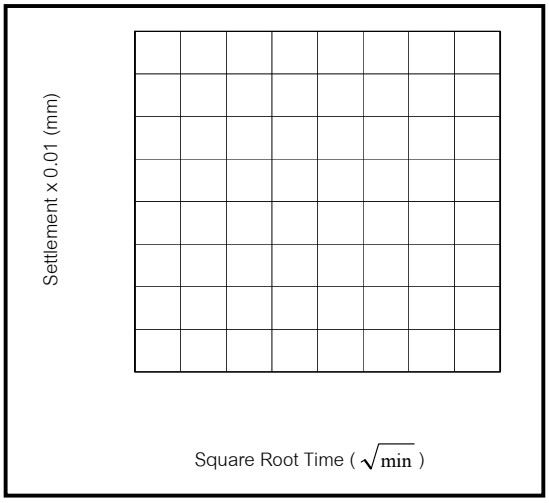
No.2



No.3

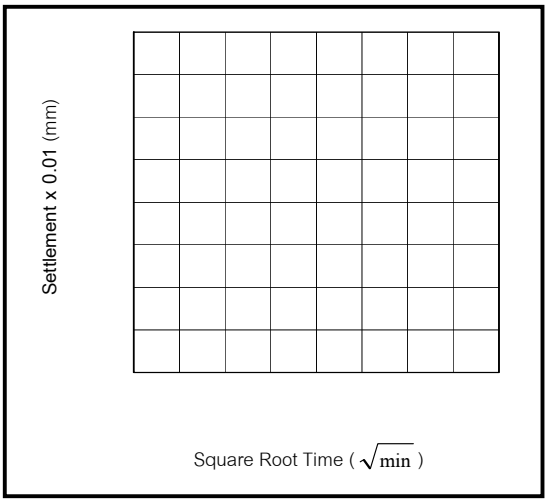


No.4

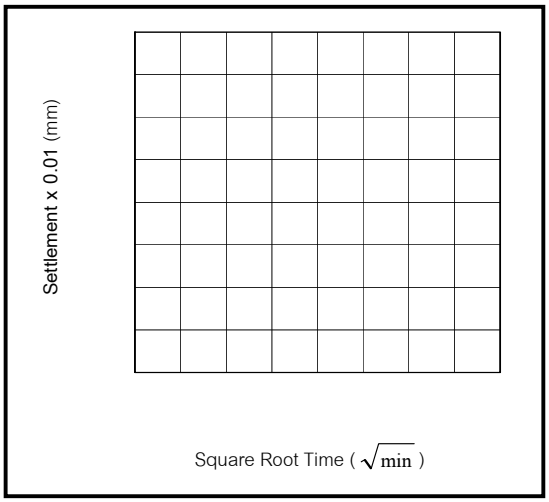


การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ
Consolidation Test

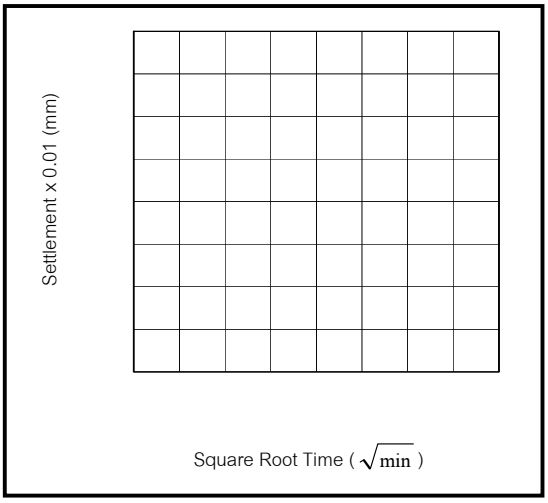
No.5



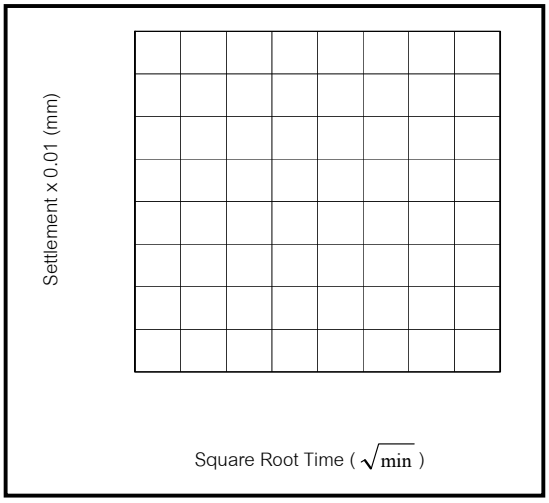
No.6



No.7



No.8



การรายงานผลการทดสอบ

1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Log Time กับ Deformation
2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Void Ratio กับ Log of Pressure Curve
3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_v กับ Log of Pressure Curve
4) ค่าแรงดันสูงสุดในอดีต , P_c'
5) ค่าดัชนีการกดดัด , C_c
6) ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว , m_v

ข้อควรระวัง

1) ต้องคิดหน่วยแรงเป็นหน่วยแรงประสิทธิผลเสมอตามทฤษฎีประสิทธิผลต้องหักแรงดันน้ำออกทุกครั้งก่อนนำไปหาน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ
2) ต้องปรับคานให้ได้ระดับในแนวราบก่อนการทดสอบ

การทดลองที่ 13

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง

Determination of Direct Shear Test

ทฤษฎีและหลักการ

การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง เป็นการทดสอบหาแรงเฉือนของเนื้อวัสดุทั้งทรายและดินเหนียว รวมทั้งหินผุบางชนิด วิธีการทดสอบเป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย สามารถทดสอบตัวอย่างดินได้ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว (63.50 ม.ม.) ขนาด 6 ซม. × 6 ซม. จนถึงขนาด 30 ซม. × 30 ซม. ที่ออกแบบเครื่องมือเป็นพิเศษ การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง ได้นิยมใช้ในสมัยแรกๆ ต่อมามีการพัฒนาการทดสอบอื่นๆ ที่ดีกว่า เช่น การทดสอบแรงอัดสามแกน การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงจึงมีความสำคัญลดลงไปตามลักษณะเครื่องมือการทดสอบแบบนี้จะถูกบังคับให้วิบัติในระนาบที่กำหนด โดยปกติจะเป็นแนวนอนประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงตัวอย่าง ซึ่งในความเป็นจริง การวิบัติของดินจะไม่เกิดขึ้นตามระนาบที่กำหนด ยกเว้นในบางกรณี ในบางส่วนของแนววิบัติ การวิบัติจะคล้ายการวิบัติของการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

การทดสอบ Direct Shear Test สามารถแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

1. Unconsolidated – Undrained Test (Quick Test) เป็นลักษณะการทดสอบแบบไม่ให้ตัวอย่างดินยุบอัดตัวคายน้ำออกไป (Unconsolidated) เนื่องจากหน่วยแรงกดที่เกิดจากการใส่น้ำหนัก Pn ทับลงบนตัวอย่างดิน ก็คือ ไม่ให้ดินมีโอกาสได้ Consolidated น้ำออกไป (โดยสังเกตจากเข็มของ Vertical Dial Gauge ยังไม่หยุดการเคลื่อนที่แต่จะเคลื่อนที่แบบช้ามาก) โดยจะทดสอบทันที และอีกลักษณะหนึ่งควบคู่กันไปคือ ในขณะทดสอบ จะไม่ให้น้ำในตัวอย่างดินระบายออกไป (Undrained) โดยจะปิดทางที่น้ำจะสามารถระบายออกไปได้ทั้งหมดและดำเนินการเฉือน จนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติซึ่งการทดสอบแบบ UU Test ก็เปรียบเสมือนกับดิน ในธรรมชาติถูกแรงกดจำนวนหนึ่งกระทำทันที โดยดินยังไม่มีโอกาส Consolidated และ Drained น้ำออกไป การทดสอบแบบนี้สามารถทดสอบได้รวดเร็วกว่า 2 แบบหลังมาก

2. Consolidated – Undrained Test (Consolidation Quick Test) เป็นลักษณะการทดสอบแบบยอมให้ตัวอย่างดินยุบอัดตัวคายน้ำออกไปได้ (Consolidated) เนื่องจากหน่วยแรงกดเหมือนข้อ 1 ก็คือ

น้ำหนัก P_n กดค้างไว้จนกระทั่งตัวอย่างดินสิ้นสุดการยุบตัว (โดยสังเกตจากเข็มของ Vertical Dial Gauge หยุดการเคลื่อนที่) ซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนานและเมื่อตัวอย่างดินสิ้นสุดการยุบตัวแล้วจึงจะเริ่ม ทำการเฉือน ต่อไปโดยไม่ให้น้ำในตัวอย่างดินระบายออกไปได้ (Undrained) โดยจะปิดทางระบายของน้ำทั้งหมดและดำเนินการ Shear จนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ

3. **Consolidated – Drained Test (Slow Test)** เป็นลักษณะการทดสอบแบบยอมให้ตัวอย่างดินยุบอัดตัวคายน้ำออกไปได้ (Consolidated) เนื่องจากหน่วยแรงกดเหมือนข้อ 2และเมื่อตัวอย่างดินสิ้นสุดการยุบตัวแล้วจึงจะเริ่มทำการเฉือนต่อไปโดยยอมให้น้ำในตัวอย่างดินระบายออกไปได้ (Drained) โดยจะเปิดทางระบายน้ำทั้งหมดไว้ ซึ่งในขณะเฉือนอยู่นั้นตัวอย่างดินก็ยังคง Consolidated และ Drained น้ำออกได้ตลอดเวลาทำให้การทดสอบแบบนี้ต้องให้แรงกับตัวอย่างดินแบบช้ามากอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ต้องใช้เวลาอย่างช้ามากในการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

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

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D 3080-98 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions

อุปกรณ์และเครื่องมือ

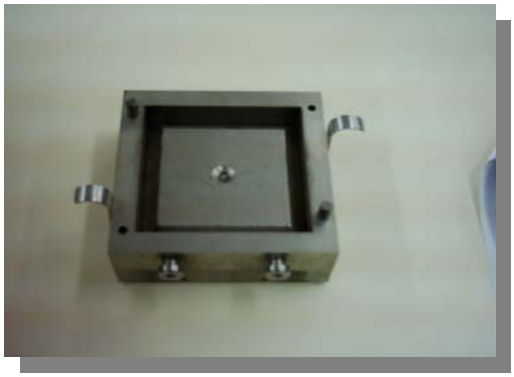
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง

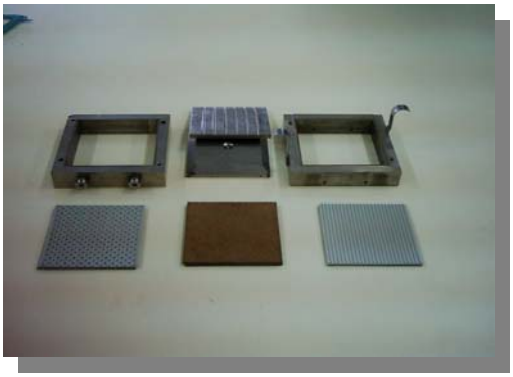
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) เครื่องมือกดทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine) มีแรงดันมากพอสำหรับตัวอย่างที่จะทดสอบ มีอัตราการกระทำแรงเฉือนพอเหมาะ เป็นแบบหมุนทดสอบด้วยมือ หรือแบบขุดกำลังด้วยมอนิเตอร์ไฟฟ้า
2) กล่องตัวอย่าง (Shear Box) และอุปกรณ์
3) วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ขนาดพอเหมาะกับกำลังของตัวอย่างที่จะทดสอบ
4) มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) วัดการเคลื่อนตัว (2 ตัว) อ่านละเอียด 0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว ช่วงชัก 25 มม. หรือ 1 นิ้ว
5) แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)
6) เวอร์เนียร์ (Vernier)

เครื่องมือกดทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Testing Machine)





กล่องตัวอย่าง (Shear Box) และอุปกรณ์

วงแหวนวัดแรง (Proving Ring)

มาตรหน้าปัด (Dial Gauge

แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)

เวอร์เนียร์ (Vernier)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) เครื่องชั่ง (Balance)
2) ตู้อบ (Owen)
3) กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน (Container)

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ถ้าตัวอย่างดินเป็น Cohesion less Soil เช่น ทราย (Sand) ให้นำทรายแห้งหรือทรายอิ่มน้ำ (แช่น้ำ 24 ชั่วโมง) ประมาณ 1000 กรัม

ถ้าตัวอย่างดินเป็น Cohesive Soil เช่น ดินเหนียว (Clay) ที่ได้จากกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (Thin Wall Tube) หรือที่ปั้นขึ้นมาเอง (Remolded) นำมาในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการทดสอบ 3 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่างดิน

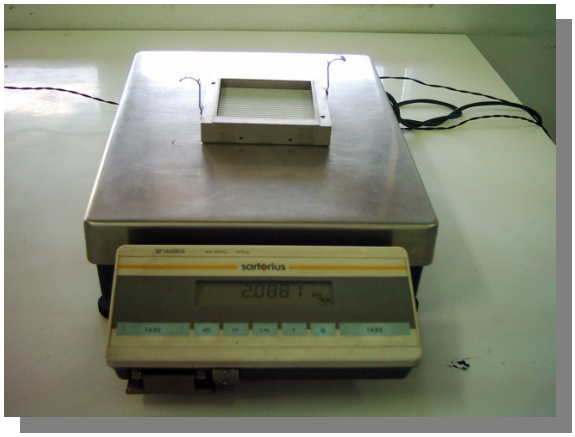
การเตรียมน้ำหนักกดตัวอย่างการทดสอบ

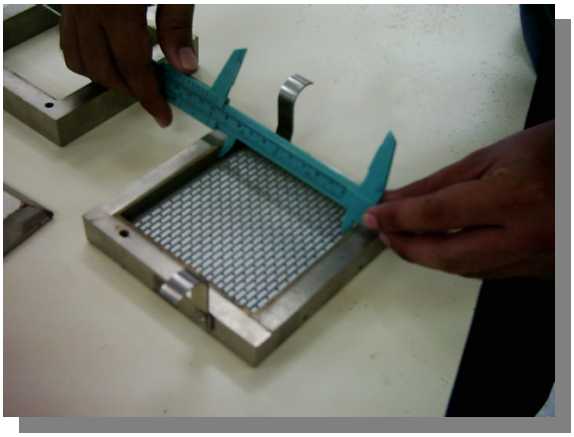
ให้เตรียมน้ำหนักตามที่ได้จากการคำนวณ โดยคำนวณชุดน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 3 ชุด โดยปกติแล้วจะคำนวณน้ำหนักที่แขวนแล้วทำให้เกิด Normal Stress กระทำกับตัวอย่างดินใน Shear Box ประมาณ 1, 2 และ 4 เท่าของ Effective Overburden Pressure, σ'_{vo} ของดิน (วิธีการคำนวณเหมือนกับการทดสอบ Consolidation test)

ขั้นตอนการทดสอบ

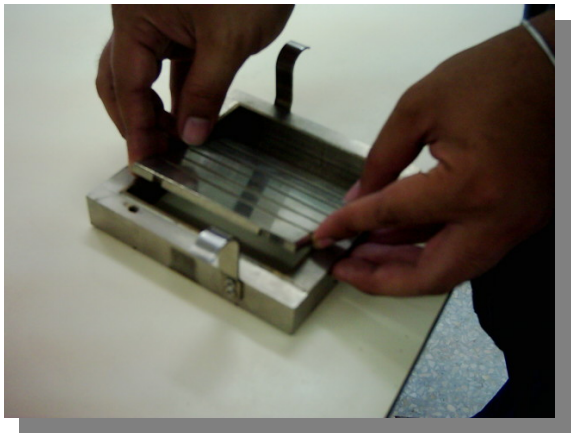
1. **การทดสอบตัวอย่างทราย** (Cohesion less Soil)

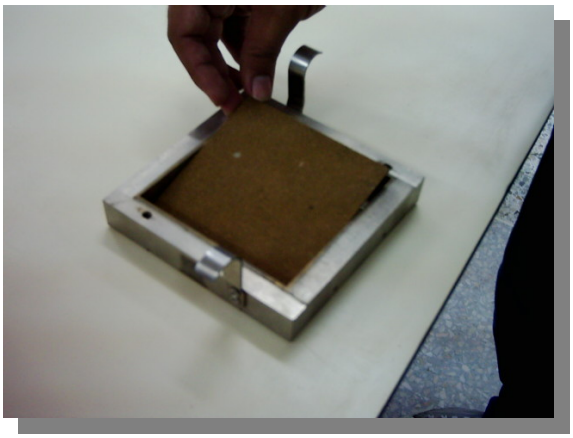
ขั้นตอนที่ 1 ชั่งน้ำหนักของ Shear Box พร้อมอุปกรณ์ประกอบและวัดขนาดหน้าตัดของ Shear Box (Shear Box ที่ใช้ในที่นี้มีขนาดหน้าตัด 10 ×10 เซนติเมตร)

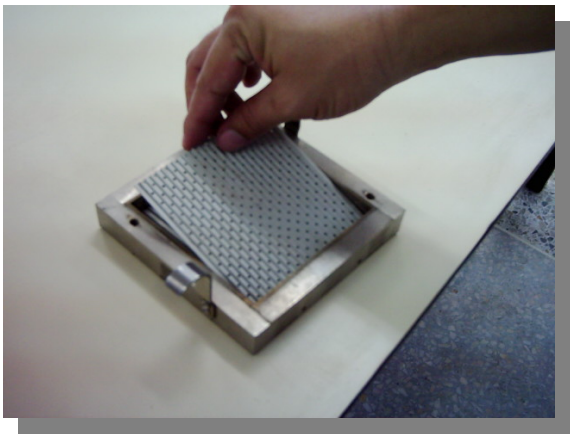




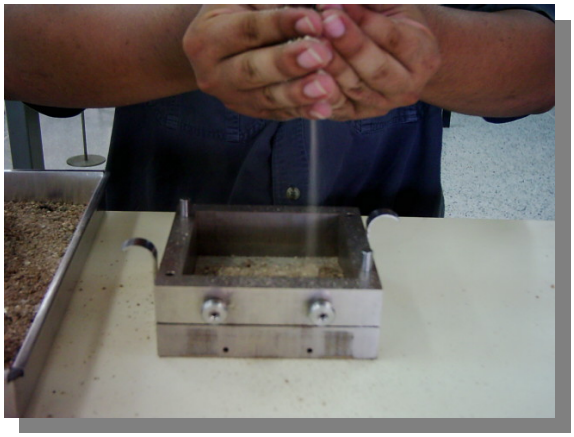
ขั้นตอนที่ 2 ทำการประกอบ Shear Box บนและล่างด้วยสกูให้แน่นพอสมควรแล้ววาง Plate รองรับด้านล่าง ตามด้วย Porous Stone และ Plate ยึดตัวอย่างดินแบบมีรูระบายน้ำในแนวขวางกับทิศทางการเฉือน



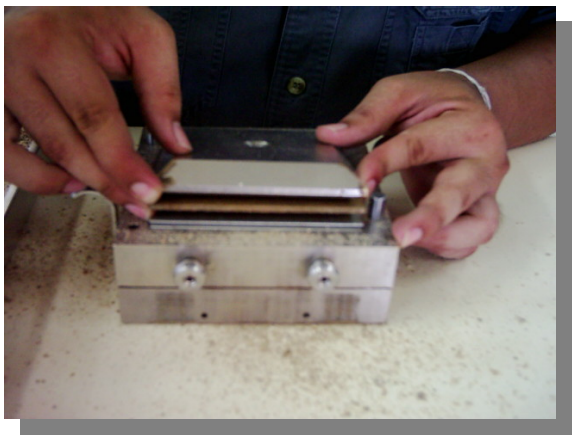


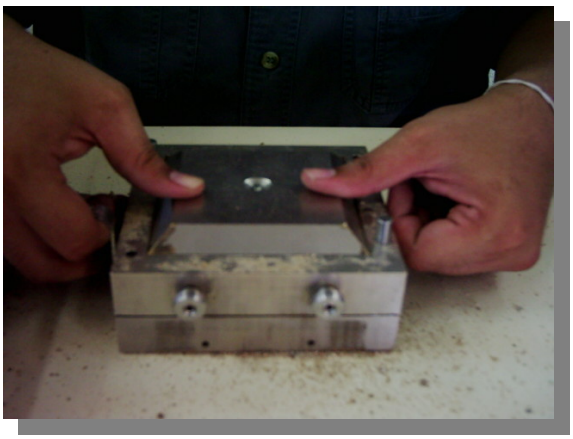


ขั้นตอนที่ 3 ทำการใส่ตัวอย่างดินลงไปเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยการปล่อยให้ตัวอย่างทรายตกอย่างอิสระโดยควบคุมความหนาแน่นของตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงสภาพในสนาม

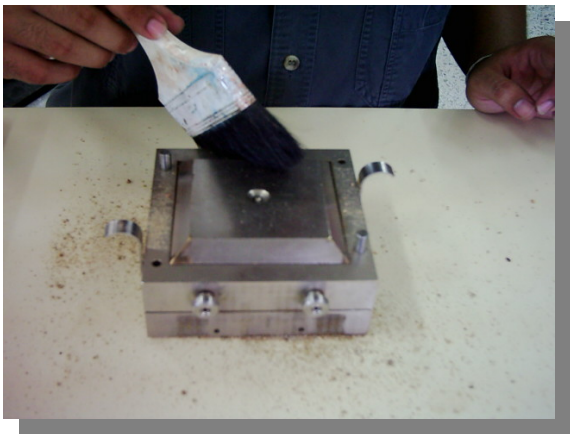


ขั้นตอนที่ 4 วัดความหนาของตัวอย่างดินโดยให้วัดความหนา 5 – 10 จุดให้ทั่วผิวหน้าตัวอย่างดิน แล้วนำค่ามาเฉลี่ย (ความหนาของตัวอย่างดินหลังบดอัดและปรับผิวหน้าจนเรียบร้อยดีแล้ว จะหนาประมาณ 20 มิลลิเมตร) แล้วจึงวาง Plate ยึดตัวอย่างดินแบบมีรูระบายน้ำและ แผ่นเหล็กด้านบนทางด้านบน แล้วจึงตามด้วย Load Hand ตามลำดับ ทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน

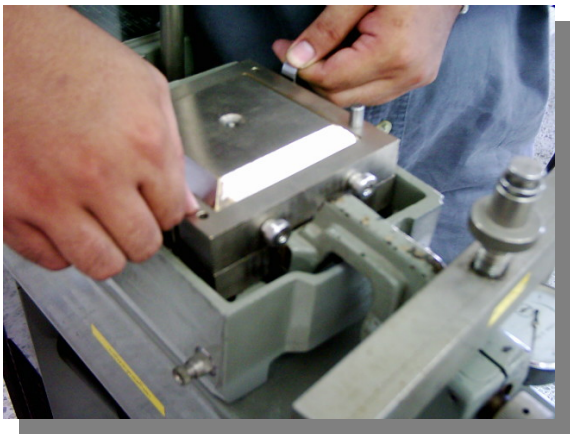


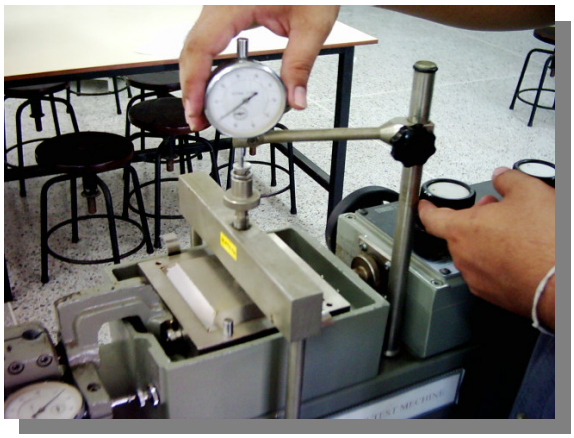


ขั้นตอนที่ 5 เสร็จแล้วทำความสะอาด Shear Box โดยใช้แปรงขนอ่อนปัดทรายที่ติดอยู่ออกให้หมดแล้วจึงนำ Shear Box ที่มีตัวอย่างดินบรรจุอยู่เรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก

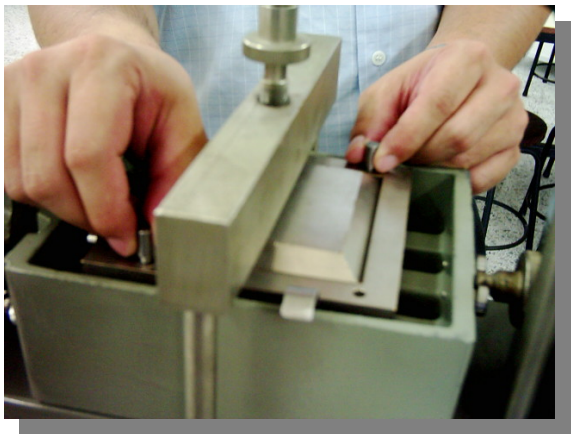


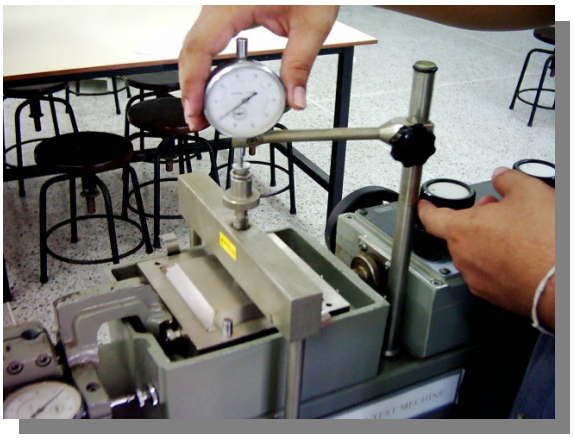
ขั้นตอนที่ 6 นำ Shear Box ใส่ในเครื่องทดสอบ Direct Shear ปรับแกนที่จะให้แรงเฉือนให้แน่นติดตั้ง Horizontal Dial Gauge (0.001 mm / Div.) (ใช้วัดการเคลื่อนตัวของระยะที่เฉือนตามแนวราบ) ทำการใส่แรงกด (Normal Load) บนแผ่นเหล็กด้านบน (Load Hand) ควรใช้น้ำหนักครั้งแรกตามค่าที่คำนวณได้ (ถ้าเป็นการทดสอบแนะนำให้ใช้น้ำหนักครั้งแรกเป็น 4 กิโลกรัม) และติดตั้ง Vertical Dial Gauge (0.001 mm / Div.) (ใช้วัดการเคลื่อนตัวของตัวอย่างดินในแนวดิ่ง) บน Normal Load



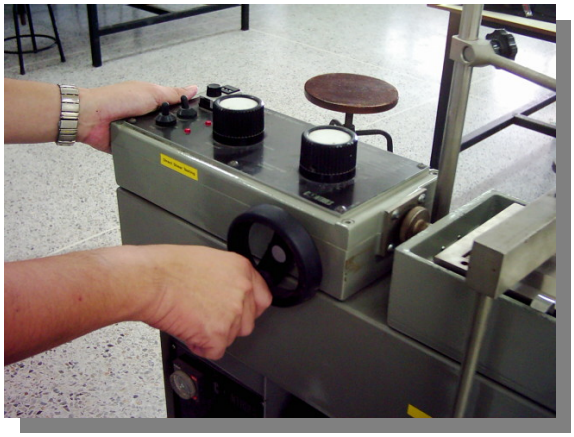


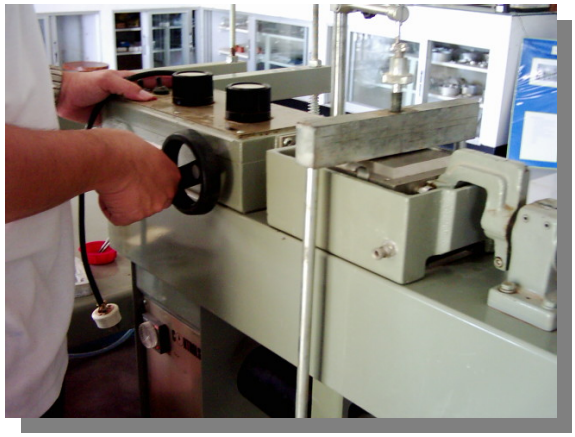
ขั้นตอนที่ 7 เสร็จแล้วหมุน สกรูที่ยึด Shear Box ทั้งสองข้างออกไปและปรับเข็มของ Dial Gauge ทั้งสองให้เข็มชี้ที่เลขศูนย์ (0) ให้เรียบร้อย





ขั้นตอนที่ 8 หมุนคลาย Jack Handle ลงพร้อมทำการ Shear ตัวอย่างโดยให้อัตราการเฉือน 0.5 – 2 มิลลิเมตร / นาที ทำการอ่านค่าแรงเฉือนจาก Load Dial Gauge และการเคลื่อนตัวแนวดิ่งจาก Vertical Dial Gauge (ค่าที่อ่านได้น้อยกว่าศูนย์มีค่าเป็นลบ) ทุก ๆ การเคลื่อนตัวในแนวราบของ Shear Box ที่เหมาะสม (อ่านค่าระยะการเคลื่อนที่ในแนวราบจาก Horizontal Dial Gauge) เช่น 5 , 10 , 20 , 40 , 60 , 80 , 100 , 130 , 160 , 200 , 250 , 300 และ 350 Div. เป็นต้น ซึ่งจะสิ้นสุดการทดสอบได้ก็ต่อเมื่อตัวอย่างดินวิบัติ ก็คือค่าแรงเฉือนที่อ่านได้จาก Load Dial Gauge มีค่าคงที่หรือลดลงอย่างน้อยสองค่า (การ Shear จะใช้เวลา 3 – 5 นาที ของตัวอย่างทราย และ 5 – 10 นาที ของตัวอย่างดินเหนียวแบบ UU Test และ CU Test)

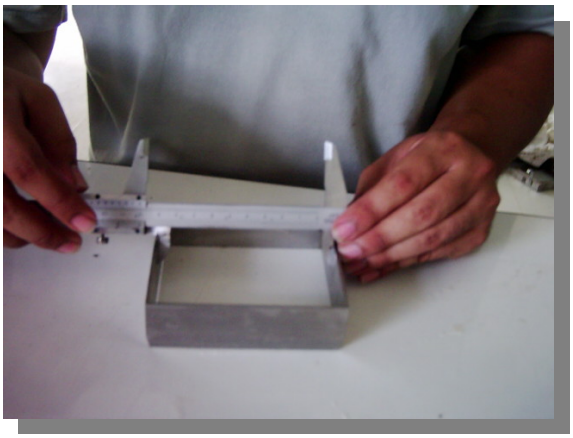




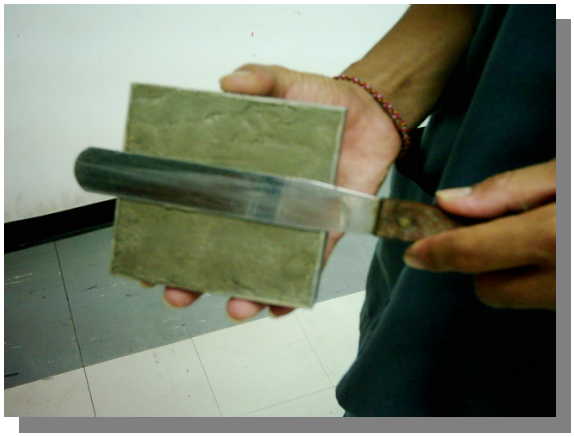
ขั้นตอนที่ 9 หลังจากตัวอย่างดินวิบัติแล้ว ให้นำตัวอย่างดินออกจาก Shear Box แล้วทำความสะอาด Shear Box ให้เรียบร้อย และทำการเตรียมตัวอย่างดินใหม่ของตัวอย่างดินชนิดเดียวกันนี้ โดยดำเนินการทดสอบเหมือนกับขั้นตอน 2 – 5 อีกอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง โดยใส่แรงกด (Normal Load) เพิ่มเป็นสองเท่าของครั้งแรกและครั้งต่อไป ซึ่งควรเพิ่มจากเดิมที่ใส่ไปแล้ว 4 กิโลกรัม เป็น 8 กิโลกรัม และ 16 กิโลกรัม ตามลำดับ

2. **การทดสอบตัวอย่างดินเหนียว** (Cohesive Soil)

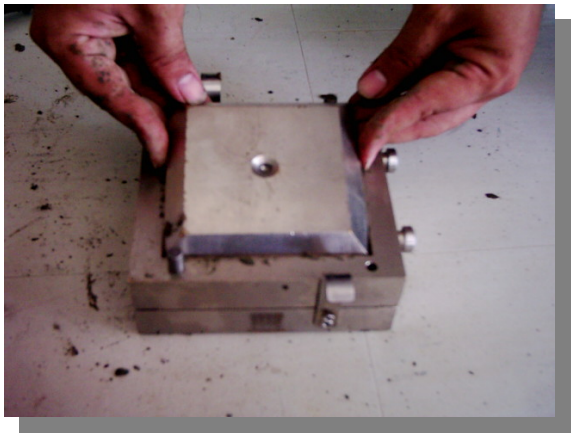
ขั้นตอนที่ 1 ชั่งน้ำหนักและวัดพื้นที่หน้าตัดภาในของ Sample Cutter (Shear Box ที่ใช้ในที่นี้มีขนาดหน้าตัด 6 × 6 เซนติเมตร หนาประมาณ 20 มิลลิเมตร)



ขั้นตอนที่ 2 นำ Sample Cutter ทางด้านคมไปกดลงบนตัวอย่างดิน จนตัวอย่างดินล้นออกมาทางด้านบน ทำการตัดแต่งตัวอย่างดินให้เรียบเสมอขอบผิวล่างของ Sample Cutter และเช็ดตัวอย่างดินที่ติดอยู่บริเวณข้าง ๆ ออกให้หมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก



ขั้นตอนที่ 3 วาง Sample Cutter บน Shear Box (ที่ประกอบแล้วตามขั้นตอนที่ 2 ของตัวอย่างทราย โดยถ้าใช้ Plate ยึดตัวอย่างดินแบบไม่มีรู จะใช้สำหรับ UU Test และแบบมีรูจะใช้สำหรับ CU และ CD Test ให้พอดีกับช่องที่บรรจุตัวอย่างดิน แล้วนำแท่งกด (Plug) มากด ลงบนตัวอย่างดินที่อยู่ใน Sample Cutter ให้ตัวอย่างดินค่อย ๆ เคลื่อนลงไปในช่องบรรจุตัวอย่างดินของ Shear Box จนเรียบร้อย แล้วจึงวาง Plate ยึดตัวอย่างดิน และ หินพรุน (Porous Stone) ตามด้วย Load Head ตามลำดับ มาทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน



ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทดสอบเหมือนขั้นตอนที่ 6 - 7 (ของตัวอย่างทราย) ถ้าทดสอบในสภาพอิ่มตัว ก็นำน้ำมาใส่ลงไปใน Shear Box และทิ้งไว้ในช่วงเวลาหนึ่งที่เหมาะสม เพื่อให้น้ำกระจายไปทั่วตัวอย่างดิน

ขั้นตอนที่ 5 **ถ้าทำการทดสอบตัวอย่างดินแบบ UU Test**

ก็ให้ทดสอบตามขั้นตอนที่ 8 (ของตัวอย่างทราย)

ถ้าทำการทดสอบตัวอย่างดินแบบ CU Test

ก็ให้แรงกด (Normal Load) ค้างไว้จนกระทั่งเข็มของ Vertical Dial Gauge ที่วัดการเคลื่อนที่หรือการยุบตัวในแนวดิ่งของตัวอย่างดินหยุดการเคลื่อนที่ แล้วจึงปรับเข็มให้ชี้เลขศูนย์ (0) อีกครั้งจึงดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ 8 (ของตัวอย่างทราย) ต่อไป

ถ้าทำการทดสอบตัวอย่างดินแบบ CD Test

ก็ให้กดค้างไว้เหมือน CU Test และหลังจากปรับเข็มของ Vertical Dial Gauge ให้ชี้เลขศูนย์ (0) อีกครั้ง แล้วจึงดำเนินการทดสอบตามข้อ 1.8 (ของตัวอย่างทราย) แต่อัตราการให้แรงเฉือนจะช้ามาก โดยพิจารณาให้แรงเฉือนจนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติในเวลา t_f พอดี (หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด) โดยที่

$t_f = 50\, t_{50}$ หรือ $t_f = 35\, t_{60}$ หรือ $t_f = 25\, t_{70}$ หรือ $t_f = 12\, t_{90}$

เมื่อ t_{50} , t_{60} , t_{70} , t_{90} = เวลาที่ตัวอย่างดินชนิดเดียวกันที่ใช้ทดสอบนี้ เกิดการ Consolidation ที่ 50 , 60 , 70 และ 90 % ตามลำดับ โดยหาค่าได้จากการทดสอบ Consolidation Test ในกราฟ Log Time

ขั้นตอนที่ 6 ดำเนินการทดสอบเหมือนขั้นตอนที่ 8 (ของตัวอย่างทราย) ทุกประการ

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Project Name	: ก่อสร้างหอเก็บน้ำถังสูง	Date of Test	: 12/14/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนิพัฒน์ บุญรุ่ง	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Sandy Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Proving Ring No. : 12055 Proving Ring Constant (K) : 0.3862 kg/Div Type of Test : CU Test

Sample Data

					C1	C2	C3
Square Size	(cm)	-	Container No.				
Circular Size	(cm)	6.04	Wt. of Container	(g)	13.8	20.1	20.8
Height	(cm)	1.94	Wt. of Wet Soil + Container	(g)	149.5	155.3	156.9
Wt. of Shear Box	(g)	2100.00	Wt. of Dry Soil + Container	(g)	95.6	102.5	102.4
Wt. of Shear Box + Soil	(g)	2230.22	Normal Load	(kg)	0.912	1.832	3.655

Penetration Data

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3
10	56	58	136	5	9	10
20	58	61	140	7	15	17
30	61.5	64	143	8	18	23
40	64	66	148	9	22	26
50	67	68	151	10.5	25	31
60	69	70	155	11.5	26	35
70	70	72	157	12	26	38
80	71	73.5	160	12.5	28	41
90	73	75	162	13	30	45
100	74	76	165	13.5	32	47
110	75	77	166	14	33	51
120	76	78	168	15.5	35	54
130	77	78	170	15	36	57
140	78	79	172	15.5	37	60
150	78.5	79.5	173	16	38	61

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3
160	79	80	174	16.5	39	63
170	80	82	175.5	17	39.5	68
180	80.5	83	176	17	40	71
190	84	83.5	178	17.5	41	74
200	84	84	178	18	42	76
210	84.5	85	179	18.5	43	78
220	82	86	180	18.5	44	81
230	82.5	86	181	19	45	83
240	82.5	86	182	19	45	85
250	83	86.5	183	19	46	87
260	83	86.5	183.5	19	47	88
270	83	87	184	19.5	47.5	90
280	83	87	185	20	48	92
290	83.5	87.5	185.5	20	49	94
300	83.5	87.5	186	20.5	50	95
310	84	87.5	187	21	50	96.5
320	84	87.5	187.5	21	51	98
330	84	87.5	188	21.5	51	100
340	84	87.5	188	21.5	51	101
350	84	87.5	189	22	51.5	103
360	84	87.5	189	22	52	104
370	84	87.5	190	22	52	106
380	84	87.5	190	22.5	52.5	107
390	84	87	190.5	22.5	53	108
400	84	87	191	22.5	53	109
410	84	86.5	191	23	53	110
420	84	86.5	191	23	53	111
430	84.5	86	192	23	53	111.5
440	84.5	86	192	23	53.5	112

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3
450	84.5	86	192	23	53.5	112
460	84.5	86	192	23	54	113
470	84.5	86	192	23	54.5	113
480	84.5	86	192.5	23.5	55	113
490	84.5	86	193	23.5	55	113.5
500	84.5	86	193	23.5	55	115
510	84.5	85.5	193	23.5	55.5	116
520	84.5	85.5	193	24	56	116.5
530	84.5	85.5	193	24	56	117
540	84.5	85.5	193	24	56.5	117
550	84.5	85	193.5	24.5	57	117
560	84.5	85	193.5	24.5	57	117
570	84.5	85	193.5	24.5	57.5	117
580	84.5	85	193.5	24.5	58	117
590	84.5	85	193.5	24.5	58.5	117.5
600	84.5	85	193.5	25	59	117.5
610	84.5	84	194	25	59	118
620	84.5	84	194	25	59.5	118
630	84.5	84	194	25	59.5	118.5
640	84.5	84	194	25	60	119
650	84.5	84	194	25	60	120
660	84.5	84	194	25	61	120
670	84.5	84	194	25	61	120
680	84.5	84	194	25	61	120
690	84.5	84	194	25.5	61	120
700	84.5	84	194	25.5	61	120
710	84.5	84	194	25.5	61	120.5
720	84.5	84	194	25.5	61	121
730	84.5	84	194	25.5	61	121.5

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3
740	84.5	84	194	25.5	61	121.5
750	84.5	84	194.5	25.5	61	121.5
760	85	84	194.5	25.5	61	121.5
770	85	84	194.5	25.5	61	121.5
780	85	84	195	25.5	61	121.5
790	85	84	195	26	61	121.5
800	85	84	195	26	61.5	121.5
810	85	83.5	195	26	62	121.5
820	85	83.5	195.5	26	62	122
830	85	83	196	26	62	122
840	85	83	196	26	62	122
850	85	83	196	26	62	122
860	85	83	196	26	62	122
870	85	83	196	26	62	122
880	85	83	196	26	62	122
890	85	83	196	26	62	122
900	85	83	196	26	62	122

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Proving Ring No. :	Proving Ring Constant (K) :	kg/Div	Type of Test :

Sample Data

Square Size	(cm)		Container No.			
Circular Size	(cm)		Wt. of Container	(g)		
Height	(cm)		Wt. of Wet Soil + Container	(g)		
Wt. of Shear Box	(g)		Wt. of Dry Soil + Container	(g)		
Wt. of Shear Box + Soil	(g)		Normal Load	(kg)		

Penetration Data

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3

ตัวอย่างการคำนวณ

1. คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก (Wet Density , ρ_m)

$$\rho_m = \frac{M}{V} \quad ,t/m^3 \quad \text{..... (13.1)}$$

2. ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density, ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1+\frac{w}{100}} \quad ,t/m^3 \quad \text{..... (13.2)}$$

3. ปริมาณความชื้น

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 \quad ,\% \quad \text{..... (13.3)}$$

4. ความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress , σ_n)

$$\sigma_n = \frac{\text{Normal Load}}{\text{Area}} \quad ,ksc \quad \text{..... (13.4)}$$

5. แรงเฉือน (Shear Stress , τ)

$$\tau = \frac{\text{Shear Force}}{\text{Area}} \quad ,ksc \quad \text{..... (13.5)}$$

$$\tau = \frac{\text{Load Reading} \times \text{Load Factor}}{\text{Area}} \quad ,ksc \quad \text{..... (13.6)}$$

6. คำนวณค่าเคลื่อนตัวในแนวตั้ง

= ผลต่างค่าอ่านมาตรหน้าปัด × ความละเอียดมาตรหน้าปัดแต่ละขีด(0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว) มีหน่วยเป็น มม. และใช้เครื่องหมาย (-) สำหรับการขยายตัว (+) สำหรับการทรุดตัว

7. คำนวณค่าเคลื่อนตัวในแนวนอน
   = ผลต่างค่าอ่านมาตรหน้าปัด × ความละเอียดมาตรหน้าปัดแต่ละขีด(0.01 มม. หรือ 0.001 นิ้ว) มีหน่วยเป็น มม.

8. เขียนกราฟค่าแรงเฉือน (τ) โดยให้ค่าการเคลื่อนตัวแนวนอนเป็นแกน X และให้ค่าแรงเฉือนเป็นแกน Y

9. จากข้อ 8 อ่านค่าแรงเฉือนสูงสุด (τ_{max}) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นตั้งฉาก (σ_n) เป็นแกน X และ ค่าแรงเฉือนสูงสุด (τ_{max}) เป็นแกน Y ลากเส้นตรงเฉลี่ยผ่านจุดทั้งหมดเป็นเส้นกำลัง (Strength Envelope) อ่านส่วนเส้นตรงที่ตัดแกน Y เป็นค่าคงตัว (c หรือ c') มุมความลาด (Slope) ของเส้นกำลังเป็นค่า ϕ หรือ ϕ'

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Project Name	: ก่อสร้างหอเก็บน้ำถังสูง	Date of Test	: 12/14/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นายนิพัฒน์ บุญรุ่ง	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Sandy Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Proving Ring No. : 12055	Proving Ring Constant (K) : 0.3862	kg/Div	Type of Test : CU Test	

Sample Data

					C1	C2	C3
Square Size	(cm)	-	Container No.		C1	C2	C3
Circular Size	(cm)	6.04	Wt. of Container	(g)	13.8	20.1	20.8
Height	(cm)	1.94	Wt. of Wet Soil + Container	(g)	149.5	155.3	156.9
Wt. of Shear Box	(g)	2100.00	Wt. of Dry Soil + Container	(g)	95.6	102.5	102.4
Wt. of Shear Box + Soil	(g)	2230.22	Normal Load	(kg)	0.912	1.832	3.655
Area	(cm^2)	28.65	Normal Stress	(ksc)	0.03	0.06	0.13
Volume	(cm^3)	55.58	Wt. of Water	(g)	53.90	52.80	54.50
Wt. of Soil	(g)	130.22	Wt. of Dry Soil	(g)	81.80	82.40	81.60
Wet Density	(t/m^3)	2.34	Water Content	(%)	65.89	64.08	66.79
Dry Density	(t/m^3)	1.41	Average Water Content	(%)	65.59		

Penetration Data

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	56	58	136	5	9	10	1.93	3.48	3.86	0.07	0.12	0.13
20	58	61	140	7	15	17	2.70	5.79	6.57	0.09	0.20	0.23
30	61.5	64	143	8	18	23	3.09	6.95	8.88	0.11	0.24	0.31
40	64	66	148	9	22	26	3.48	8.5	10.04	0.12	0.30	0.35
50	67	68	151	10.5	25	31	4.06	9.66	11.97	0.14	0.34	0.42
60	69	70	155	11.5	26	35	4.44	10.04	13.13	0.15	0.35	0.46
70	70	72	157	12	26	38	4.63	10.04	14.68	0.16	0.35	0.51
80	71	73.5	160	12.5	28	41	4.83	10.81	15.83	0.17	0.38	0.56
90	73	75	162	13	30	45	5.02	11.59	17.38	0.18	0.40	0.61
100	74	76	165	13.5	32	47	5.21	12.36	18.15	0.18	0.43	0.63

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
110	75	77	166	14	33	51	5.41	12.74	19.70	0.19	0.44	0.69
120	76	78	168	15.5	35	54	5.60	13.52	20.85	0.20	0.47	0.73
130	77	78	170	15	36	57	5.79	13.90	22.01	0.20	0.49	0.77
140	78	79	172	15.5	37	60	5.99	14.29	23.17	0.21	0.50	0.81
150	78.5	79.5	173	16	38	61	6.18	14.68	23.56	0.22	0.51	0.82
160	79	80	174	16.5	39	63	6.37	15.06	24.33	0.22	0.53	0.85
170	80	82	175.5	17	39.5	68	6.57	15.25	25.49	0.23	0.53	0.89
180	80.5	83	176	17	40	71	6.57	15.45	26.26	0.23	0.54	0.92
190	84	83.5	178	17.5	41	74	6.76	15.83	27.42	0.24	0.55	0.96
200	84	84	178	18	42	76	6.95	16.22	28.58	0.24	0.57	1.00
210	84.5	85	179	18.5	43	78	7.14	16.61	29.35	0.25	0.58	1.02
220	82	86	180	18.5	44	81	7.14	16.99	30.12	0.25	0.59	1.05
230	82.5	86	181	19	45	83	7.34	17.38	31.28	0.26	0.61	1.09
240	82.5	86	182	19	45	85	7.34	17.38	32.05	0.26	0.61	1.12
250	83	86.5	183	19	46	87	7.34	17.77	32.83	0.26	0.62	1.15
260	83	86.5	183.5	19	47	88	7.34	18.15	33.60	0.26	0.63	1.17
270	83	87	184	19.5	47.5	90	7.53	18.34	33.99	0.26	0.64	1.19
280	83	87	185	20	48	92	7.72	18.54	34.76	0.27	0.65	1.21
290	83.5	87.5	185.5	20	49	94	7.72	18.92	35.53	0.27	0.66	1.24
300	83.5	87.5	186	20.5	50	95	7.92	19.31	36.30	0.28	0.67	1.27
310	84	87.5	187	21	50	96.5	8.11	19.31	36.69	0.28	0.67	1.28
320	84	87.5	187.5	21	51	98	8.11	19.70	37.27	0.28	0.69	1.30
330	84	87.5	188	21.5	51	100	8.30	19.70	37.85	0.29	0.69	1.32
340	84	87.5	188	21.5	51	101	8.30	19.70	38.62	0.29	0.69	1.35
350	84	87.5	189	22	51.5	103	8.50	19.89	39.01	0.30	0.69	1.36
360	84	87.5	189	22	52	104	8.50	20.08	39.78	0.30	0.70	1.39
370	84	87.5	190	22	52	106	8.50	20.08	40.16	0.30	0.70	1.40
380	84	87.5	190	22.5	52.5	107	8.69	20.08	40.94	0.30	0.71	1.43
390	84	87	190.5	22.5	53	108	8.69	20.47	41.32	0.30	0.71	1.44

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

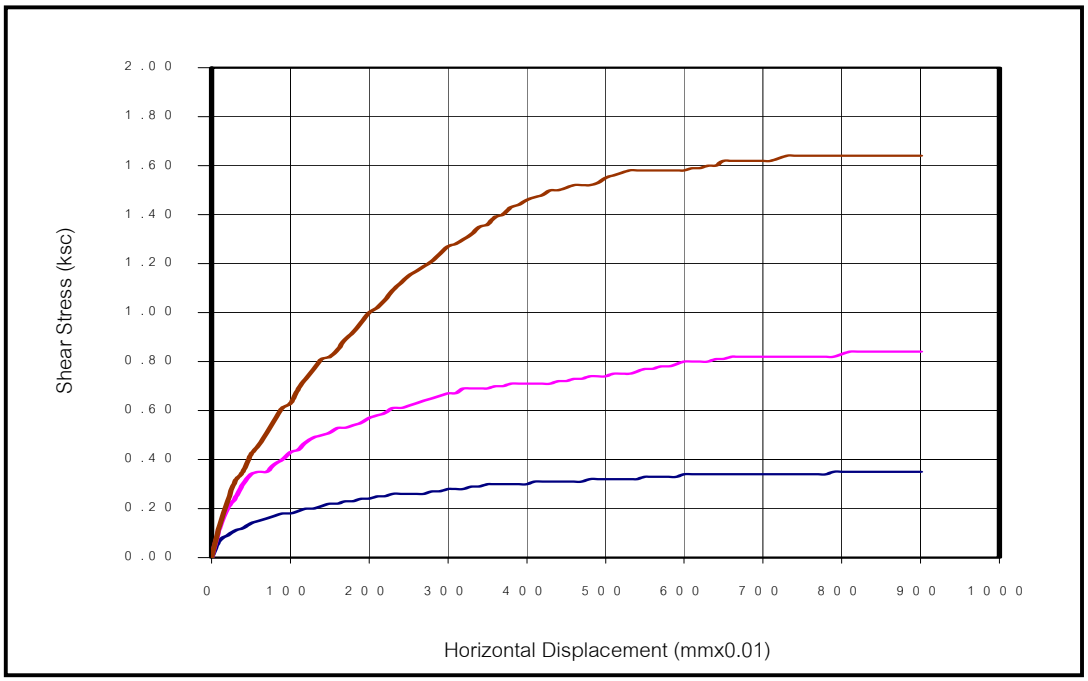
Penetration Data (Continue)

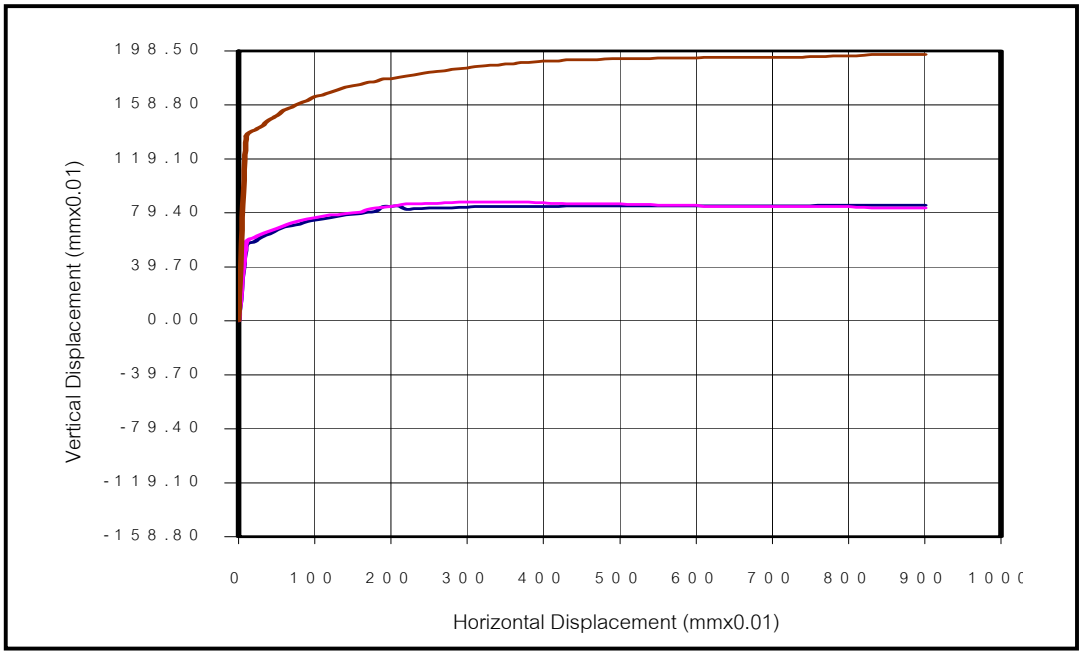
Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
400	84	87	191	22.5	53	109	8.69	20.47	41.71	0.30	0.71	1.46
410	84	86.5	191	23	53	110	8.88	20.47	42.10	0.31	0.71	1.47
420	84	86.5	191	23	53	111	8.88	20.47	42.48	0.31	0.71	1.48
430	84.5	86	192	23	53	111.5	8.88	20.47	42.87	0.31	0.71	1.50
440	84.5	86	192	23	53.5	112	8.88	20.66	43.06	0.31	0.72	1.50
450	84.5	86	192	23	53.5	112	8.88	20.66	43.25	0.31	0.72	1.51
460	84.5	86	192	23	54	113	8.88	20.85	43.64	0.31	0.73	1.52
470	84.5	86	192	23	54.5	113	8.88	21.05	43.64	0.31	0.73	1.52
480	84.5	86	192.5	23.5	55	113	9.08	21.24	43.64	0.32	0.74	1.52
490	84.5	86	193	23.5	55	113.5	9.08	21.24	43.83	0.32	0.74	1.53
500	84.5	86	193	23.5	55	115	9.08	21.24	44.41	0.32	0.74	1.55
510	84.5	85.5	193	23.5	55.5	116	9.08	21.43	44.80	0.32	0.75	1.56
520	84.5	85.5	193	24	56	116.5	9.27	21.63	44.99	0.32	0.75	1.57
530	84.5	85.5	193	24	56	117	9.27	21.63	45.19	0.32	0.75	1.58
540	84.5	85.5	193	24	56.5	117	9.27	21.82	45.19	0.32	0.76	1.58
550	84.5	85	193.5	24.5	57	117	9.46	22.01	45.19	0.33	0.77	1.58
560	84.5	85	193.5	24.5	57	117	9.46	22.01	45.19	0.33	0.77	1.58
570	84.5	85	193.5	24.5	57.5	117	9.46	22.21	45.19	0.33	0.78	1.58
580	84.5	85	193.5	24.5	58	117	9.46	22.40	45.19	0.33	0.78	1.58
590	84.5	85	193.5	24.5	58.5	117.5	9.46	22.59	45.38	0.33	0.79	1.58
600	84.5	85	193.5	25	59	117.5	9.66	22.79	45.38	0.34	0.80	1.58
610	84.5	84	194	25	59	118	9.66	22.79	45.57	0.34	0.80	1.59
620	84.5	84	194	25	59.5	118	9.66	22.98	45.57	0.34	0.80	1.59
630	84.5	84	194	25	59.5	118.5	9.66	22.98	45.75	0.34	0.80	1.60
640	84.5	84	194	25	60	119	9.66	23.17	45.96	0.34	0.81	1.60
650	84.5	84	194	25	60	120	9.66	23.17	46.34	0.34	0.81	1.62
660	84.5	84	194	25	61	120	9.66	23.56	46.34	0.34	0.82	1.62
670	84.5	84	194	25	61	120	9.66	23.56	46.34	0.34	0.82	1.62
680	84.5	84	194	25	61	120	9.66	23.56	46.34	0.34	0.82	1.62

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

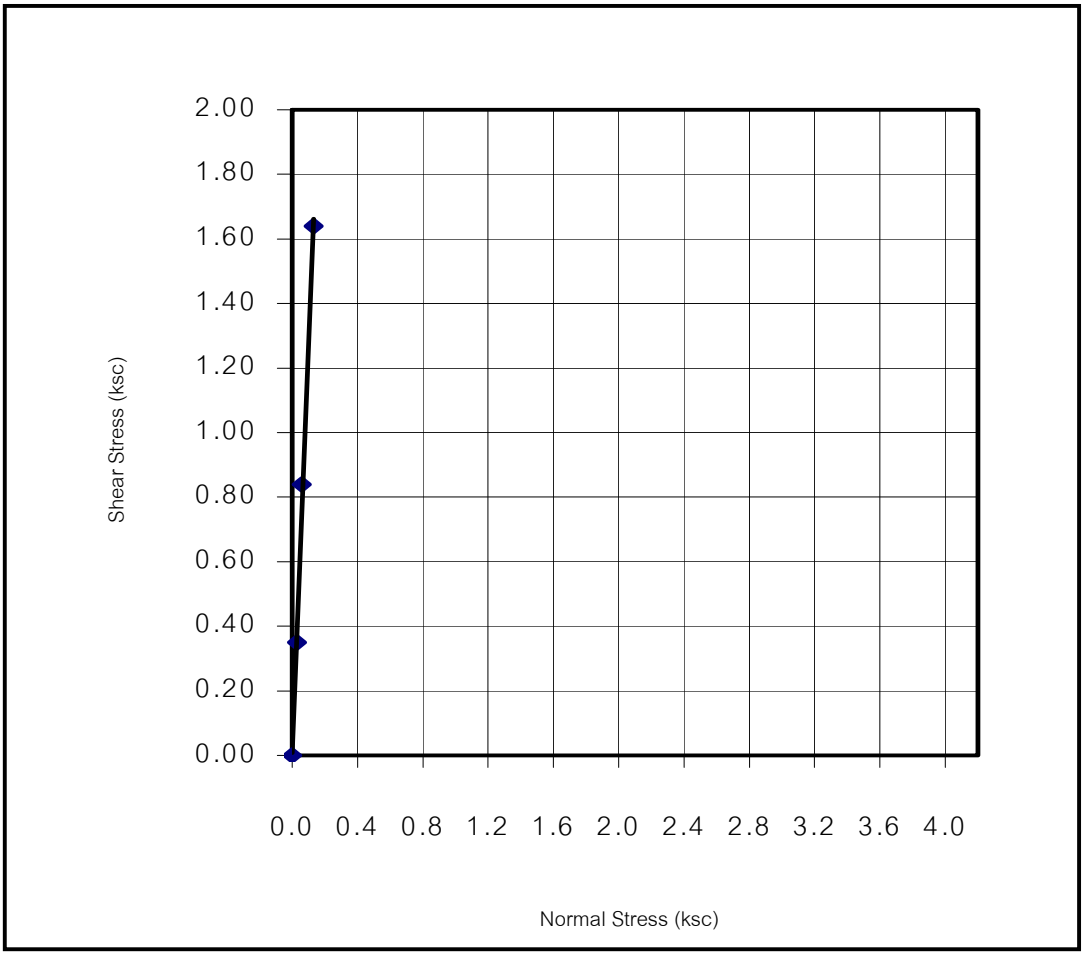
Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
690	84.5	84	194	25.5	61	120	9.85	23.56	46.34	0.34	0.82	1.62
700	84.5	84	194	25.5	61	120	9.85	23.56	46.34	0.34	0.82	1.62
710	84.5	84	194	25.5	61	120.5	9.85	23.56	46.54	0.34	0.82	1.62
720	84.5	84	194	25.5	61	121	9.85	23.56	46.73	0.34	0.82	1.63
730	84.5	84	194	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
740	84.5	84	194	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
750	84.5	84	194.5	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
760	85	84	194.5	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
770	85	84	194.5	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
780	85	84	195	25.5	61	121.5	9.85	23.56	46.92	0.34	0.82	1.64
790	85	84	195	26	61	121.5	10.04	23.56	46.92	0.35	0.82	1.64
800	85	84	195	26	61.5	121.5	10.04	23.75	46.92	0.35	0.83	1.64
810	85	83.5	195	26	62	121.5	10.04	23.94	46.92	0.35	0.84	1.64
820	85	83.5	195.5	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
830	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
840	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
850	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
860	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
870	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
880	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
890	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64
900	85	83	196	26	62	122	10.04	23.94	47.12	0.35	0.84	1.64


2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
Shear Stress (ksc)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Horizontal Displacement (mmx0.01)


198.50
158.80
119.10
79.40
39.70
0.00
-39.70
-79.40
-119.10
-158.80
Vertical Displacement (mmx0.01)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Horizontal Displacement (mmx0.01)

RESULT DATA

Test No.	Water Content (%)	Normal Stress (ksc)	Max. Shear Stress (ksc)
1	53.90	0.03	0.35
2	52.80	0.06	0.84
3	54.50	0.13	1.64



Cohesion (c) = 0.016 ksc	Internal Friction Angle (ϕ) = 85.476°

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Proving Ring No. : Proving Ring Constant (K) : kg/Div Type of Test :

Sample Data

Square Size	(cm)		Container No.				
Circular Size	(cm)		Wt. of Container	(g)			
Height	(cm)		Wt. of Wet Soil + Container	(g)			
Wt. of Shear Box	(g)		Wt. of Dry Soil + Container	(g)			
Wt. of Shear Box + Soil	(g)		Normal Load	(kg)			
Area	(cm^2)		Normal Stress	(ksc)			
Volume	(cm^3)		Wt. of Water	(g)			
Wt. of Soil	(g)		Wt. of Dry Soil	(g)			
Wet Density	(t/m^3)		Water Content	(%)			
Dry Density	(t/m^3)		Average Water Content	(%)			

Penetration Data

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง

Direct Shear Test

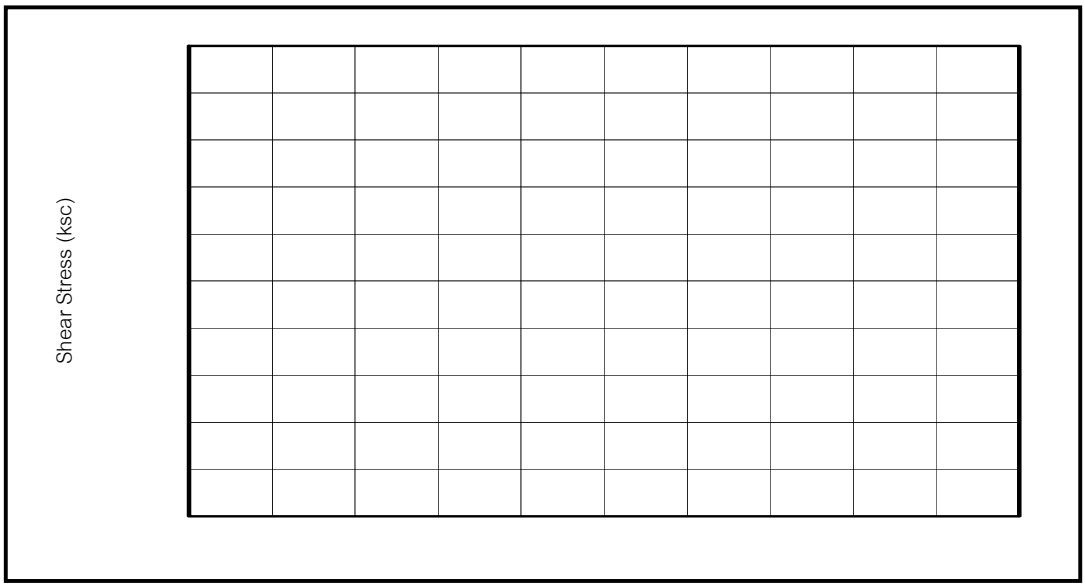
Penetration Data (Continue)

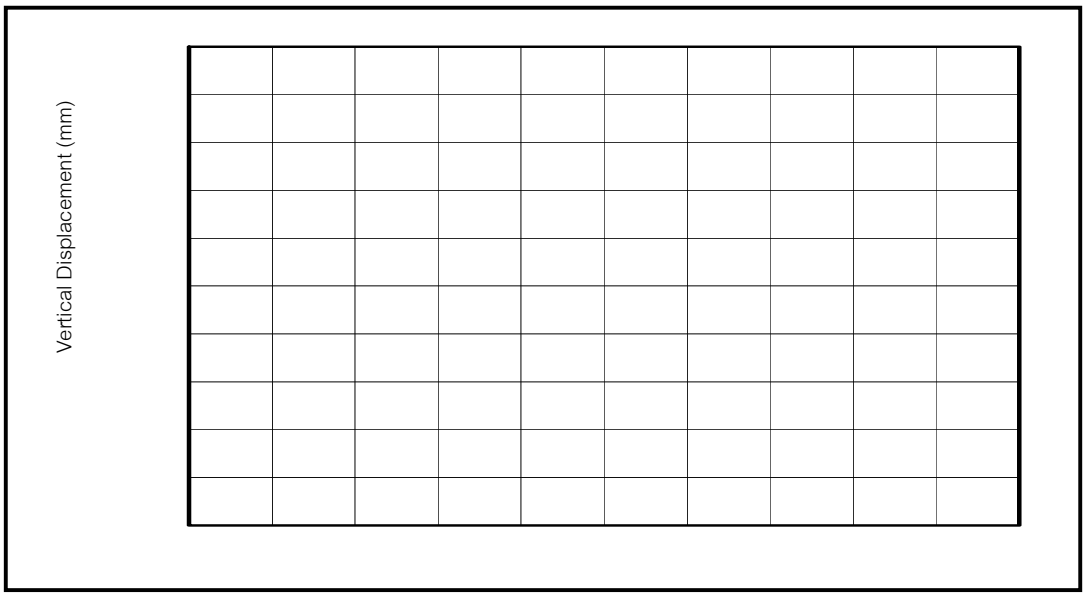
Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

การทดสอบแรงต้านทานแรงเฉือนแบบแรงเฉือนโดยตรง
Direct Shear Test

Penetration Data (Continue)

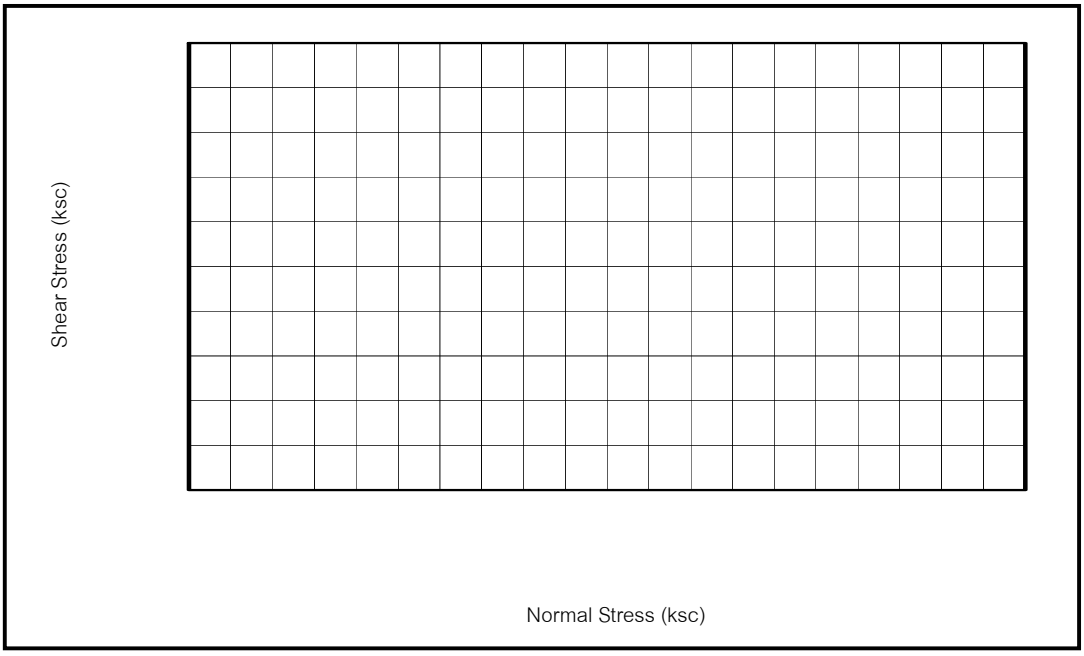
Horizontal Displacement (x 0.01)	Normal Displacement (x 0.01)			Proving Ring Reading (Div)			Shear Force P (kg)			Shear Stress S = P/A (kg/cm^2)		
Sample No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3


Shear Stress (ksc)
Horizontal Displacement (mm)


Vertical Displacement (mm)
Horizontal Displacement (mm)

RESULT DATA

Test No.	Water Content (%)	Normal Stress (ksc)	Max. Shear Stress (ksc)



Cohesion (c) = ksc	Internal Friction Angle (ϕ) = °

การรายงานผลการทดสอบ

1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและการเคลื่อนที่ในแนวราบ
2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งและการเคลื่อนตัวในแนวราบ
3) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง
4) ค่าหน่วยแรงยุดเกาะ (Cohesion) และมุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle)

ข้อควรระวัง

1) อย่าลืมถอดสกูยึด Shear Box ออกในขณะที่ทำการทดสอบ ไม่อย่างนั้นจะเป็นการหาค่าแรงเฉือนของสกูแทนค่าแรงเฉือนของดิน
2) ต้องปรับค่าเข้มของ Dial Gauge ทุกครั้งให้เป็นศูนย์ก่อนการทดสอบเสมอ
3) ในการทดสอบแต่ละ Load ต้องให้ค่าความหนาแน่นของดินเท่ากันทุกตัวอย่าง

การทดลองที่ 14

การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด

Unconfined Compression Test

ทฤษฎีและหลักการ

การทดสอบแท่งตัวอย่างดินชนิด Cohesive Soil โดยปราศจากแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อแท่งตัวอย่างดิน โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบธรรมดา (Compression Machine) ได้ถูกมาทดสอบมานานแล้วและต่อมาก็เป็นที่ยอมรับกันว่า การที่นำแท่งตัวอย่างดินมาทดสอบแบบนี้สามารถที่จะหาความต้านทานต่อแรงเฉือนของดินได้

การทดสอบแรงเฉือนของดินแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test) เป็นการหากำลังต้านทานต่อแรงกดสูงสุดของเนื้อดิน ที่สามารถทดสอบได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ซึ่งในการทดสอบจะกระทำโดยให้แรงกดกับแท่งตัวอย่างดิน จนกระทั่งแท่งตัวอย่างดินวิบัติ แล้วนำค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งความเค้นที่ได้นี้จะเรียกว่า Unconfined Compression Strength (q_u) ซึ่งตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ จะต้องเป็นตัวอย่างดินที่มีความเชื่อมแน่นที่สามารถปั้นเป็นรูปได้ การรับแรงของดินแบบมีความเชื่อมแน่น จะเป็นไปในลักษณะใช้แรงยึดเหนียวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion)ในการรับแรงเป็นส่วนใหญ่ ถ้าดินมีความเชื่อมแน่นน้อยถึงปานกลาง เช่นพวก Sandy Silt , Sandy Clay หรือ Silt เป็นต้น การรับแรงจะเป็นในลักษณะใช้ทั้งแรงยึดเหนียวและแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างเม็ดช่วยกันรับแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น และถ้าดินมีความเชื่อมแน่นมาก เช่น Clay ก็จะใช้แรงยึดเหนียวในการรับแรงไว้ทั้งหมด ซึ่งแรงต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเรียกรวมกันว่า กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) และตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบนี้ จะไม่มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดินทดสอบเสร็จก่อนที่ตัวอย่างดินจะระบายน้ำออกได้ทันจึงเป็นการทดสอบดินแบบ Undrained และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้เป็นแบบแรงรวม (Total Stress)

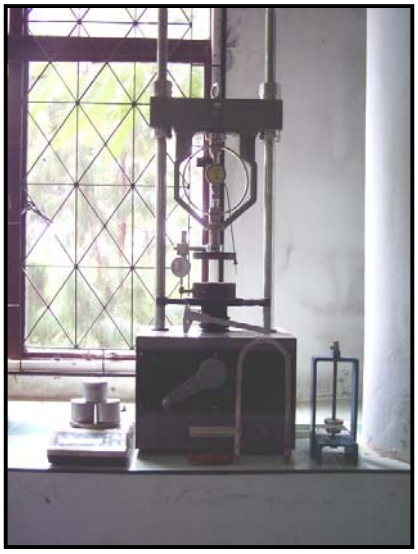
วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาค่าความต้านแรงเฉือนแบบปราศจากแรงดันด้านข้างของดินที่มีความเชื่อมแน่นสูง

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- D 2166-00 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

อุปกรณ์และเครื่องมือ

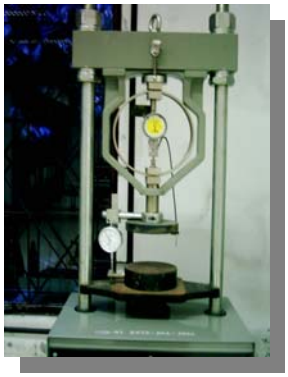


อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด

. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) เครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test Machine พร้อมด้วย Dial Gauge ที่อ่านค่าได้ละเอียด 0.01 mm.
2) เครื่องดันดิน ใช้ดันดินออกจากกระบอกบาง
3) Deformation Indicator
4) Vernier Caliper ใช้วัดขนาดแท่งตัวอย่างโดยวัดละเอียดถึง 0.01 mm
5) กระบอกเก็บตัวอย่างดิน
6) เครื่องมือตัดแต่งดิน



เครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test Machine

เครื่องดันดิน ใช้ดันดินออกจากกระบอกบาง

Deformation Indicator

Vernier Caliper

กระบอกเก็บตัวอย่างดิน

เครื่องมือตัดแต่งดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

1) เตาอบ
2) เครื่องชั่ง ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3) เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เช่น กระป๋องใส่ดิน

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินคงสภาพ

ขั้นตอนที่ 1 นำตัวอย่างดินคงสภาพ ซึ่งอาจห่อหุ้มเทียนหรือเพิ่งเอาออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างมาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งโดยปกติมีขนาดมาตรฐานดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง , นิ้ว	ความสูงของตัวอย่าง, นิ้ว
1.4	2.8 - 3.0
2.8	5.6 - 6.0

แต่ขนาดอื่นๆก็อาจจะใช้ได้ โดยที่ความสูงของตัวอย่างต้องมากกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางการตัดแต่งต้องกระทำด้วยความระมัดระวังโดยใช้เลื่อยเส้นลวดและเครื่องตัดแต่งตัวอย่างดิน

ขั้นตอนที่ 2 ใช้กระบอกผ่า (Split Mold) หุ้มตัวอย่างแล้วตัดส่วนล่างและส่วนบนของตัวอย่างให้ได้ความยาวตามต้องการ แล้วทำการวัดขนาดที่แน่นอนโดยใช้เวอร์เนียร์ ความสูงควรวัดอย่างน้อย 3 ค่ารอบตัวอย่าง เช่นเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางก็ควรจะวัดตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง เพื่อนำค่าเหล่านี้มาหาค่าเฉลี่ยต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 จัดวางตัวอย่างลงบนเครื่องทดสอบ จัดให้ได้ศูนย์กลางของแนวกดปกติ มักจะมีแผ่นพลาสติกกลมประกบไว้ทั้งด้านล่างและด้านบนเพื่อลดความฝืดที่ไม่ต้องการ แล้วจัด dial gauge สำหรับวัดการหดตัวให้เข้าที่ โดยเริ่มตั้งที่เลขศูนย์เพื่อสะดวกในการอ่านก็ได้

ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพหรือตัวอย่างดินที่เตรียมขึ้นเอง(Remolded หรือ Prepared Sample)

ขั้นตอนที่ 1 ในกรณีที่ต้องการทดสอบดินเปลี่ยนสภาพ ก็ต้องนำตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้ทดสอบไปแล้ว หรือตัวอย่างคงสภาพ มาขยำหรือบดเข้ากันให้ทั่วในกระบอกผ่า (ควรทาขี้ผึ้งหล่อลื่นบนผิวภายในของกระบอกแบบเพื่อสะดวกในการดันตัวอย่างออก) พยามให้มีโพรงอากาศอยู่ในตัวอย่างน้อยที่สุดแล้วดำเนินตามขั้นตอน 2 และ 3 เหมือนกับตัวอย่างดินคงสภาพ แต่ถ้าเป็นกรณีดินเหนียวอ่อนมากอาจจะต้องดันตัวอย่างออกเสียก่อนแล้วจึงค่อยวัดขนาดเพราะขนาดจะเปลี่ยนไปในขณะที่ดัน

ในกรณีทดสอบดินที่เตรียมขึ้นเอง ซึ่งเป็นตัวอย่างดินที่เตรียมใหม่จากการบดอัด ให้มีความหนาแน่นและความชื้นตามต้องการ ซึ่งวิธีเตรียมก็คล้ายกับการบดอัดแบบ Standard Proctor, Modified AASHO หรือ Harvard Miniature ต่างกันที่รูปร่างของแบบ Mold จะเปลี่ยนไปให้เหมาะสมกับขนาดมาตรฐานสำหรับ Unconfined Compression Test ดังที่กล่าวแล้วมาข้างต้น เมื่อดันตัวอย่างออกจากแบบสำหรับบดอัดแล้วอาจจะต้องแต่งด้านบนและด้านล่างให้เรียบได้ระดับ แล้วจึงดำเนินการเช่นเดียวกันกับขั้นตอน 2 และ 3 ของตัวอย่างดินคงสภาพ

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 แป้นกดของเครื่องจะต้องสัมผัสตัวอย่างพอดี

ขั้นตอนที่ 2 Dial gauge สำหรับวัดการหดตัวและวัดแรง (ใน Proving ring) ให้ปรับค่าเริ่มต้นอยู่ที่ศูนย์

ขั้นตอนที่ 3 ในกรณีที่เครื่องทดสอบแบบมือหมุน ผู้ทดสอบจะต้องช้อมหมุนให้ได้อัตรากดตาม ต้องการ (ในกรณีที่ยังไม่มีตัวอย่างดิน)

ขั้นตอนที่ 4 เริ่มการกดตัวอย่างโดยให้อัตราการกดคงที่(การเคลื่อนที่แนวดิ่งของเครื่องให้อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1 นิ้วต่อนาที ปรกติใช้ 0.05 นิ้วต่อนาที) ตามความเหมาะสมในช่วงการอ่านต่างๆกัน

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกข้อมูลจากวงแหวนวัดแรงทุกๆการหดตัว 0.005 นิ้ว ของตัวอย่าง (อาจใช้ 0.02 นิ้วในกรณีตัวอย่างเป็นดินเปราะ)

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อแรงในวงแหวนวัดแรงเพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วจึงเริ่มลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังของดิน ให้ยังอ่านผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือน (Failure plane) บนตัวอย่างได้ชัดเจน ในบางกรณีที่ไม่มีรอยเฉือนปรากฏชัด เช่น ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ ให้ทดสอบจนการหดตัวถึงประมาณ 20 % ของความสูงตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 7 วาดรูปลักษณะการเกิดรอยเฉือน และวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบ

ขั้นตอนที่ 8 ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเสร็จแล้วต้องนำไปชั่งและเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Project Name	: ถังเก็บน้ำหอสูง	Date of Test	: 11/24/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นส.ยลวลี บุญขันธ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ ศิรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Proving Ring No. : 138596	Proving Ring Constant (K) : 0.164 Kg/div	Loading Rate : 0.800 mm/min

Undisturbed Data

Sample Diameter	(mm)	35	Weight of Sample	(g)	142.55
Sample Height	(mm)	70	Water Content	(%)	36.7
Sample Area	(cm^2)	9.62	Wet Unit Weight	(g/cm^3)	2.12
Sample Volume	(cm^3)	67.34	Dry Unit Weight	(g/cm^3)	1.55

Undisturbed Data

Sample Diameter	(mm)	35	Weight of Sample	(g)	142.55
Sample Height	(mm)	70	Water Content	(%)	36.7
Sample Area	(cm^2)	9.62	Wet Unit Weight	(g/cm^3)	2.12
Sample Volume	(cm^3)	67.34	Dry Unit Weight	(g/cm^3)	1.55

Penetration Data

Undisturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)
20	4
40	8
60	11
80	14
100	15
120	17
140	18
160	19
180	20

Disturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)
20	2
40	4
60	5
80	6.5
100	7
120	7.5
140	7.8

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Penetration Data(Continue)

Undisturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)
200	20
220	20
240	20
260	20
280	20
300	2
320	20
340	19
360	19
380	19
400	19

Disturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง
Unconfined Compression Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Proving Ring No. :	Proving Ring Constant (K) : Kg/div	Loading Rate : mm/min

Undisturbed Data

Sample Diameter	(mm)		Weight of Sample	(g)	
Sample Height	(mm)		Water Content	(%)	
Sample Area	(cm^2)		Wet Unit Weight	(g/cm^3)	
Sample Volume	(cm^3)		Dry Unit Weight	(g/cm^3)	

Undisturbed Data

Sample Diameter	(mm)		Weight of Sample	(g)	
Sample Height	(mm)		Water Content	(%)	
Sample Area	(cm^2)		Wet Unit Weight	(g/cm^3)	
Sample Volume	(cm^3)		Dry Unit Weight	(g/cm^3)	

Penetration Data

Undisturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)

Disturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Penetration Data(Continue)

Undisturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)

Disturbed Sample	
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)

ตัวอย่างการคำนวณ

1 คำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

$$A_o = \frac{A_1 + 2A_m + A_h}{4} \quad \text{..... (14.1)}$$

เมื่อ

A_o = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย

A_1 = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่าง

A_m = พื้นที่หน้าตัดตรงกลางของตัวอย่าง

A_h = พื้นที่หน้าตัดด้านล่างของตัวอย่าง

2 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปในระหว่างการทดสอบ

$$A_C = \frac{A_O}{(1 - \varepsilon)} \quad \text{..... (14.2)}$$

$$\varepsilon = \Delta L / L_o$$

เมื่อ

A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างขณะที่มีการหดตัว

L_o = ความยาวเดิมหรือความยาวเริ่มแรก

3 คำนวณหาแรงเค้นบนตัวอย่าง

$$\sigma_V = \frac{(P.R.)K}{A_c} \quad \text{..... (14.3)}$$

เมื่อ

σ_v = แรงเค้นบนตัวอย่างในแนวดิ่ง,ปอนด์/ต.ร.นิ้ว(PSI)

P.R. = Proving ring reading

K = Proving Ring Constant

4 คำนวณค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)

$$S_u = \frac{q_u}{2} \qquad \text{…….. (14.4)}$$

เมื่อ

q_u = แรงเค้นสูงสุด

5 ความไว (Sensitivity) ในกรณีทดสอบตัวอย่างแบบ Remold ด้วย

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินคงสภาพ}}{\text{แรงเฉือนตัวอย่างดินแปลงสภาพ}} \qquad \text{…….. (14.5)}$$

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Project Name	: ถังเก็บน้ำหอสูง	Date of Test	: 11/24/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นส.ยลวลี บุญขันธ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Disturbed Sample

Proving Ring No. : 138596	Proving Ring Constant (K) : 0.164 Kg/div	Loading Rate : 0.800 mm/min

Sample Diameter	(mm)	35	Weight of Sample	(g)	142.55
Sample Height	(mm)	70	Water Content	(%)	36.7
Sample Area	(cm^2)	9.62	Wet Unit Weight	(g/cm^3)	2.12
Sample Volume	(cm^3)	67.34	Dry Unit Weight	(g/cm^3)	1.55

Penetration Data

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	4	0.20	0.29	9.65	0.66	0.07
40	8	0.40	0.57	9.68	1.31	0.14
60	11	0.60	0.86	9.70	1.80	0.19
80	14	0.80	1.14	9.73	2.30	0.24
100	15	1.00	1.43	9.76	2.46	0.25
120	17	1.20	1.71	9.79	2.79	0.28
140	18	1.40	2.00	9.82	2.95	0.30
160	19	1.60	2.29	9.85	3.12	0.32
180	20	1.80	2.57	9.87	3.28	0.33
200	20	2.00	2.86	9.90	3.28	0.33
220	20	2.20	3.14	9.93	3.28	0.33
240	20	2.40	3.43	9.96	3.28	0.33
260	20	2.60	3.71	9.99	3.28	0.33
280	20	2.80	4.00	10.02	3.28	0.33
300	20	3.00	4.29	10.05	3.28	0.33
320	20	3.20	4.57	10.08	3.28	0.33
340	19	3.40	4.86	10.11	3.12	0.31

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง
Unconfined Compression Test

Penetration Data(Continue)

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
360	19	3.60	5.14	10.14	3.12	0.31
380	19	3.80	5.43	10.17	3.12	0.31
400	19	4.00	5.71	10.20	3.12	0.31

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง
Unconfined Compression Test

Project Name	: ถังเก็บน้ำหอสูง	Date of Test	: 11/24/2547	Sample No.	: 1
Location	: วิทยาเขตวังไกลกังวล	Tested by	: นส.ยลวลี บุญขันธ์	Boring No.	: 1
Soil Sample	: Silty Clay	Checked by	: นายชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 1

Undisturbed Sample

Proving Ring No. : 235874	Proving Ring Constant (K) : 0.169 Kg/div	Loading Rate : 0.008 mm/min

Sample Diameter	(mm)	35	Weight of Sample	(g)	145.22
Sample Height	(mm)	72	Water Content	(%)	36.8
Sample Area	(cm^2)	9.62	Wet Unit Weight	(g/cm^3)	2.10
Sample Volume	(cm^3)	69.26	Dry Unit Weight	(g/cm^3)	1.54

Penetration Data

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	2	0.20	0.28	9.65	0.34	0.04
40	4	0.40	0.56	9.67	0.68	0.07
60	5	0.60	0.83	9.70	0.85	0.09
80	6.5	0.80	1.11	9.73	1.10	0.11
100	7	1.00	1.39	9.76	1.18	0.12
120	7.5	1.20	1.67	9.78	1.27	0.13
140	7.8	1.40	1.94	9.81	1.32	0.13

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

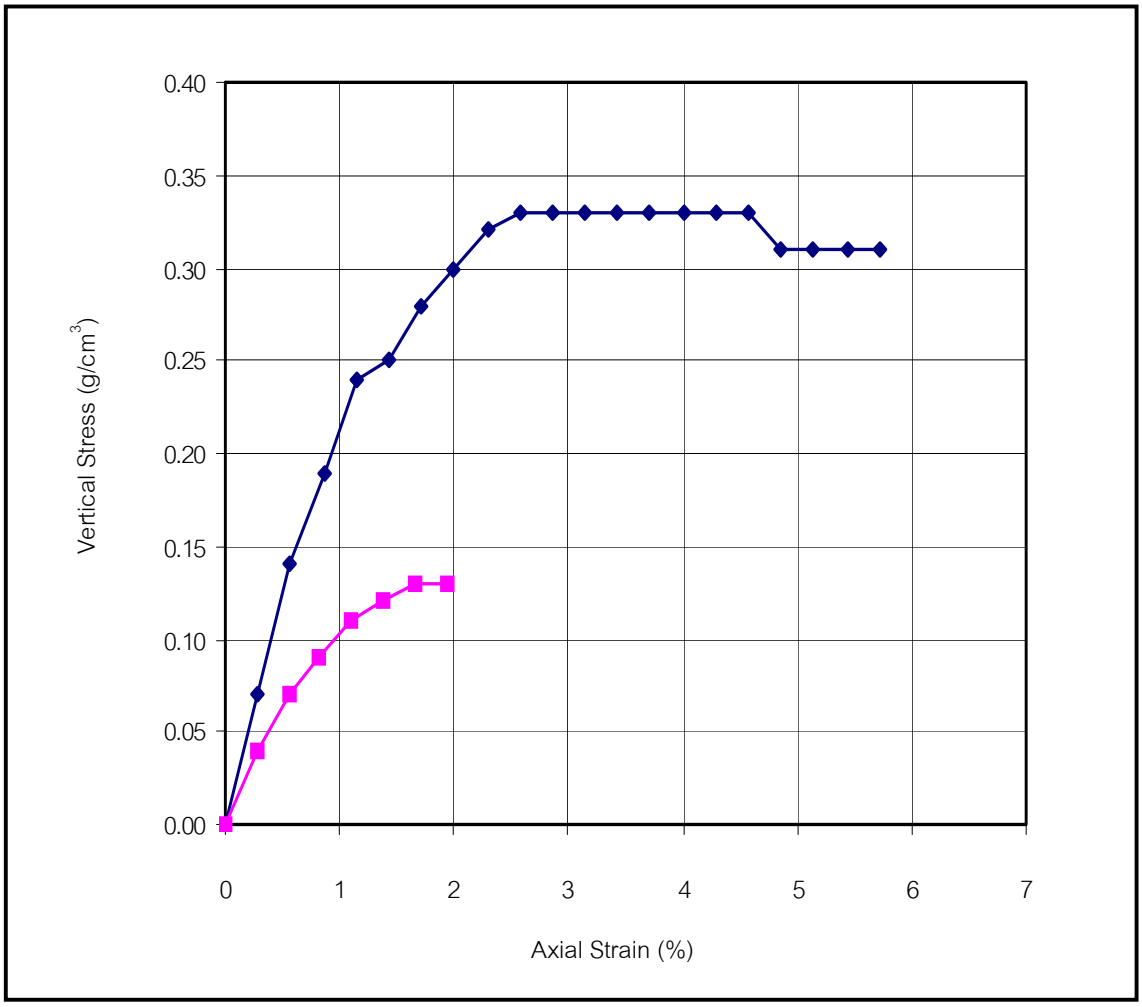
Penetration Data(Continue)

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Undisturbed Sample			Disturbed Sample		
Unconfined Compressive Strength	: 0.33	ksc	Unconfined Compressive Strength	: 0.13	ksc
Undrained Shear Strength	: 0.17	ksc	Undrained Shear Strength	: 0.07	ksc
Strain at Failure	: 4.46	%	Strain at Failure	: 1.78	%
Sensitive	: 2.43				



การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง
Unconfined Compression Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Disturbed Sample

Proving Ring No. :	Proving Ring Constant (K) : Kg/div	Loading Rate : mm/min

Sample Diameter	(mm)		Weight of Sample	(g)	
Sample Height	(mm)		Water Content	(%)	
Sample Area	(cm^2)		Wet Unit Weight	(g/cm^3)	
Sample Volume	(cm^3)		Dry Unit Weight	(g/cm^3)	

Penetration Data

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Penetration Data(Continue)

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง
Unconfined Compression Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Undisturbed Sample

Proving Ring No. :	Proving Ring Constant (K) : Kg/div	Loading Rate : mm/min

Sample Diameter	(mm)		Weight of Sample	(g)	
Sample Height	(mm)		Water Content	(%)	
Sample Area	(cm^2)		Wet Unit Weight	(g/cm^3)	
Sample Volume	(cm^3)		Dry Unit Weight	(g/cm^3)	

Penetration Data

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

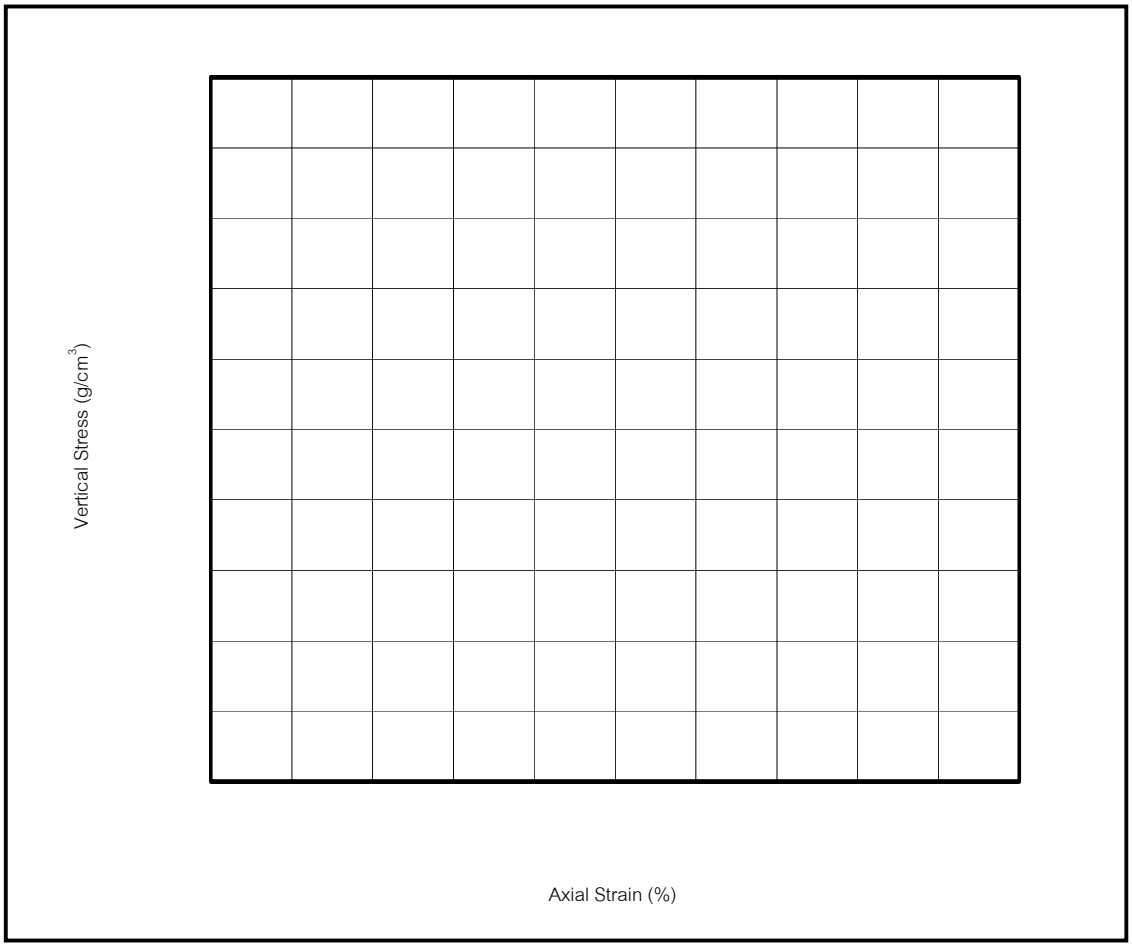
Penetration Data(Continue)

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Ring Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง

Unconfined Compression Test

Undisturbed Sample			Disturbed Sample		
Unconfined Compressive Strength	:	ksc	Unconfined Compressive Strength	:	ksc
Undrained Shear Strength	:	ksc	Undrained Shear Strength	:	ksc
Strain at Failure	:	%	Strain at Failure	:	%
Sensitive	:				



การรายงานผลการทดสอบ

1) ค่า Unconfined Compressive Strength
2) ชนิดและรูปร่างของแท่งตัวอย่าง เช่น
   - Undisturbed
   - Compacted
   - Remolded
   - Cylindrical
   - Prismatic
3) อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง
4) ลักษณะดินโดยทั่วไป เช่น ชื่อของดิน, สัญลักษณ์ เป็นต้น
5) Initial Density ปริมาณน้ำในดินและ Degree of saturation (ถ้าตัวอย่างถูกทำให้อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการให้หมายเหตุ Degree of saturation อีกค่าหนึ่งไว้ด้วย)
6) ค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดเป็นร้อยละ (อ่านจากกราฟ)
7) ค่าอัตราเร็วเฉลี่ยของความเครียดเป็นร้อยละต่อนาที โดยคิดตั้งแต่เริ่มกด จนถึงแรงกดสูงสุด
8) ให้เขียนหมายเหตุในกรณีที่เกิดมีลักษณะผิดปกติในการทดสอบ หรือแนบรายละเอียดอื่นๆ ที่คอดว่ามีความจำเป็นต้องใช้อธิบายผลการทดสอบ

ข้อควรระวัง

1) ในการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบางเพื่อใช้ทดสอบ จะต้องดันไปตามทิศทางเดียวกันกับที่ตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกในระหว่างเก็บตัวอย่าง เพื่อลดการรบกวนตัวอย่างดิน
2) ในการทำตัวอย่าง Remolded ถ้าแท่งตัวอย่างหลังจากทำ Remolded แล้วได้ความแน่นแตกต่างจากก่อนทำ Remolded ให้นำมาดำเนินการใหม่

การทดลองที่ 15

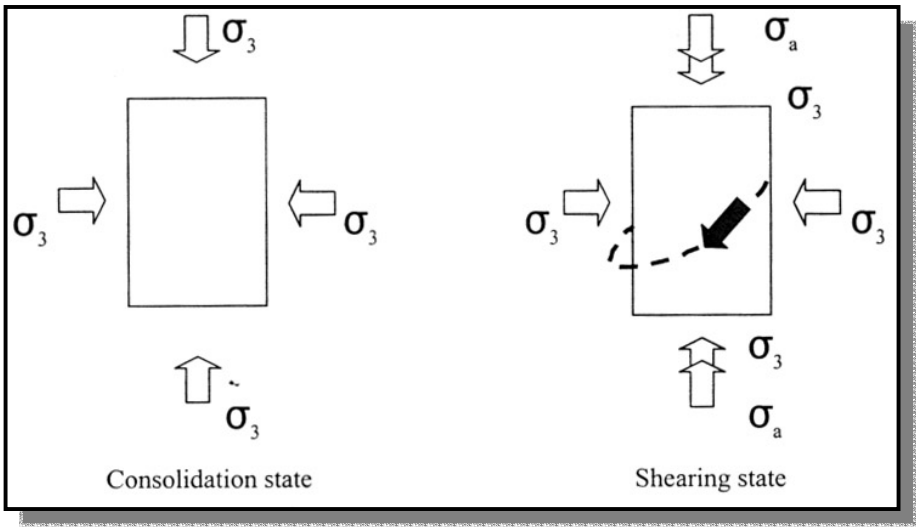
การทดสอบหาค่ากำลังอัดของดินแบบสามแกน
Triaxial Compression Test

ทฤษฎีและหลักการ

มวลดินในระดับต่างๆใต้ผิวดิน ย่อมจะมีแรงดันอันเกิดจากน้ำหนักของดินเองโดยรอบซึ่งเรียกว่า “Geostatic Stress” และเมื่อมีแรงกระทำหรือน้ำหนักภายนอกกระทำเพิ่มเติมอันจะเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนพังของมวลดินขึ้นภายหลัง หน่วยของแรงส่วนนี้เราอาจจะเรียกว่า “Applied Stress” ซึ่งอาจเกิดจากน้ำหนักของอาคารที่ถ่ายลงบนฐานรากหรือ น้ำหนักของเขื่อนดินลงบนผิวดิน เมื่อมี Applied Stress นี้มากเกินไปจนเกินกำลังที่มวลดินจะรับไหวก็จะเกิดการเคลื่อนพัง

หลักการหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือน (Soil Strength Parameter) ของการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน (Triaxial Test) มีความแตกต่างจากการทดสอบแรงเฉือนแบบตรง (Direct Shear Test) ดังนี้ คือ

1. การทดสอบแรงอัดแบบสามแกนจะมีแรงดันตั้งฉากกับผิวของตัวอย่างดินเท่านั้น โดยที่ส่วนมากแรงดันด้านข้าง จะรักษาไว้คงที่ แล้วเพิ่มแรงดันด้านบนจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการเคลื่อนพังขึ้น
2. ระนาบหรือแนวการเคลื่อนพังของตัวอย่างเป็นไปโดยธรรมชาติ ไม่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้าดังเช่นที่เกิดขึ้นในการทดสอบแรงเฉือนแบบตรง
3. การควบคุมการไหลถ่ายเทน้ำภายในตัวอย่างดินทำได้สมบูรณ์ โดยอาศัยวาล์วควบคุมการไหลของน้ำ(Drainage Value) และ อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร(Volume Change Indicator)



รูปที่ 15.1 สภาพเงื่อนไขแรงเค้นในการทดสอบกำลังอัดของดินแบบสามแกน

การทดสอบแรงอัดแบบสามแกน อาจแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1. Consolidation State หลังจากเตรียมตัวอย่างดินในสภาพที่ต้องการแล้ว ตังอย่างดินจะถูกบีบอัดโดยรอบทุกๆด้าน ด้วยแรงดันน้ำที่เท่าๆกัน เรียกว่าConfining Pressure หรือ Consolidation Pressure ภายใต้แรงดันนี้ก็เปรียบเสมือนเรานำตัวอย่างดินข้าสู่สภาพความดัน ถ้ายิ่งลึกมากๆก็จะต้องมี Confining Pressure มาก ภายหลังจากนั้นอาจจะมีการปล่อยให้น้ำภายในตัวอย่างดินไหลออกจนสู่สภาพสมดุลตามทฤษฎี Consolidation และดินหดตัวจนมีสภาพที่เคยเป็นก่อนการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบ
2. Shearing State ภายหลังการ Consolidation แล้ว ความดันด้านบน (บางกรณีอาจจะเป็นการลดแรงดันด้านข้างก็ได้) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งเปรียบเสมือนตัวอย่างดินถูกเพิ่มน้ำหนักหรือแรงภายนอกกระทำ แรงดันนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนตัวอย่างดินทานไว้ไม่ไหวก็จะเกิดการพังขึ้นได้ ซึ่งจะปรากฏเป็น Failure Plane ให้เห็นบนตัวอย่างดิน

ถ้าเราพิจารณาสภาพแรงดันดินในขณะที่เกิดการเคลื่อนพัง จะเห็นว่า แรงดันทั้งหมดเป็นแรงดันหลัก “Principal Stress” หน่วยแรงดันที่มีค่ามาก (แนวดิ่ง) เรียกว่า Major Principal Stress (σ_1) และหน่วยแรงดันที่มีค่าน้อยกว่า (แนวราบ) เรียกว่า Minor Principal Stress (σ_3) หน่วยแรง ทั้งสองค่านี้สามารถนำมาวาดวงกลมมอร์ (Mohr ' s Circle) ได้ และถ้าตัวอย่างดินเหมือนกัน ถูกทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าของσ_3 ให้แตกต่างกันไป ผลที่ได้คือจะได้วงกลมมอร์หลายวง ซึ่งเมื่อลากเส้นสัมผัสวงกลมมอร์เหล่านี้ จะได้เป็นเส้นตรงที่เรียกว่า Mohr ' s Coulomb Envelope ซึ่งแสดงคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของมวลดินนั้น เช่นเดียวกับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) โดยพารามิเตอร์กำลัง (Strength Parameter) มีสองค่า คือ จุดตัดแกนตั้งเรียกว่า Cohesion (c) และความลาดชันคือ Tan ϕ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- เพื่อหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือน (c,ϕ)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

- ASTM D-2850-95 The Method for Unconsolidated – Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils
- ASTM D-4767-95 Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบกำลังอัดของดินแบบสามแกน

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบหาค่ากำลังอัดของดินแบบสามแกน

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1) เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine)
2) วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) และมาตรวัดการทรุดตัวหรือยืดหดตัว (Dial Gauge)
3) อุปกรณ์ในการเหลาตัดแต่งตัวอย่างดิน (Carving Tools)
4) เซลล์สามแกน (Triaxial Cell)
5) แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)
6) ถังเปลี่ยนความดันแบบใช้อากาศ หรือน้ำ (Bladder-type Air/Water Pressure)
7) อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ เช่น แผ่นกดตัวอย่าง แผ่นพลาสติกตัน ที่เบ่งปลอกยาง หินพรุน กระดาษกรอง ปลอกยาง และยาง O–ring เป็นต้น

เครื่องกดตัวอย่าง

วงแหวนวัดแรงและมาตรวัดการทรุดตัวหรือยืดหดตัว

เซลล์สามแกน

ถังเปลี่ยนความดันแบบใช้อากาศ หรือน้ำ

แผงควบคุมความดัน

อุปกรณ์ในการเหลาตัดแต่งตัวอย่างดิน

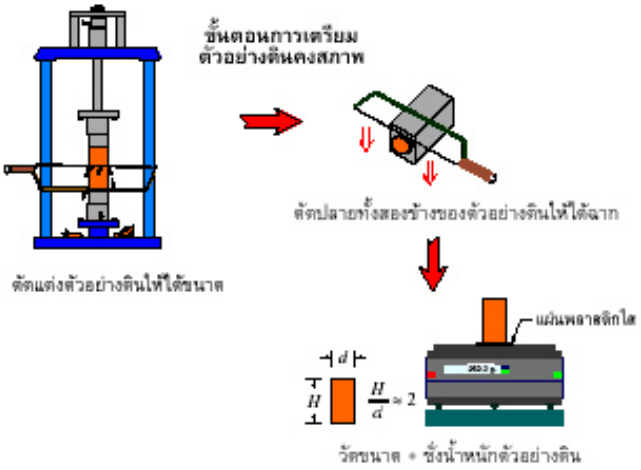
อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ

การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ก. **ดินเหนียว** (Cohesive Soil)

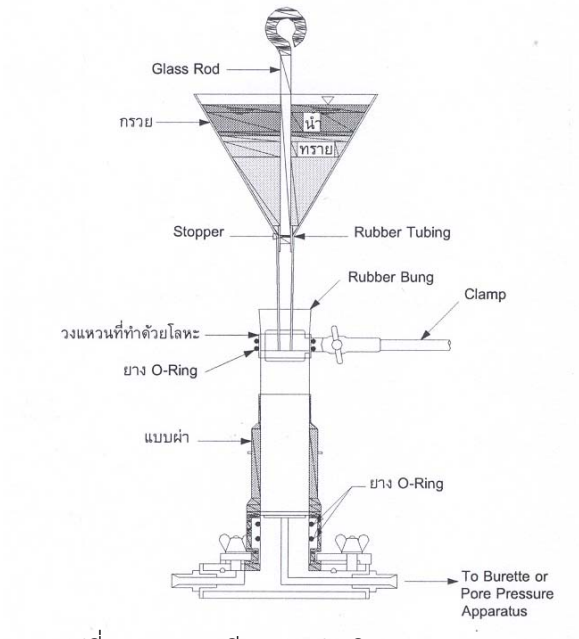
1. นำตัวอย่างดินคงสภาพมาตัดแต่งบนโครงแต่งตัวอย่าง โดยการหมุนตัวอย่างดิน แล้วใช้เลื่อยลวดแต่งดินให้ได้รูปทรงกระบอก เสร็จแล้วใส่ตัวอย่างดินลงในแบบผ่า (Split Former) แล้วใช้เลื่อยลวดแต่งปลายทั้งสองให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน คือมีความสูงเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังรูป 15.2
2. เก็บตัวอย่างดินที่เหลือไปหาปริมาณความชื้น
3. นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเก็บไว้



รูปที่ 15.2 การเตรียมตัวอย่างดินเหนียว

ข. ดินทราย (Granular Soil)

1. นำตัวอย่างดินทรายใส่ลงในแบบผ่า (Split Form) เพื่อช่วยประคองถุงยางเอาไว้ ดังรูปที่ 15.3
2. เก็บตัวอย่างดินที่เหลือไปหาปริมาณความชื้น
3. ชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างดิน และวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่างดินเก็บไว้

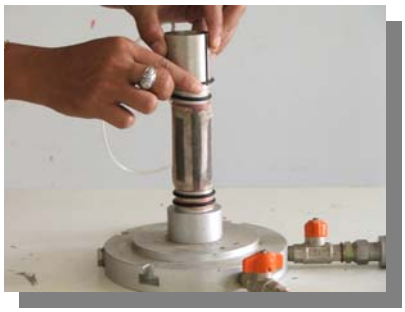


รูปที่ 15.3 การเตรียมตัวอย่างดินทราย

การติดตั้งตัวอย่างดินบนฐานเซลล์ 3 แกน(Traiaxial Cell)

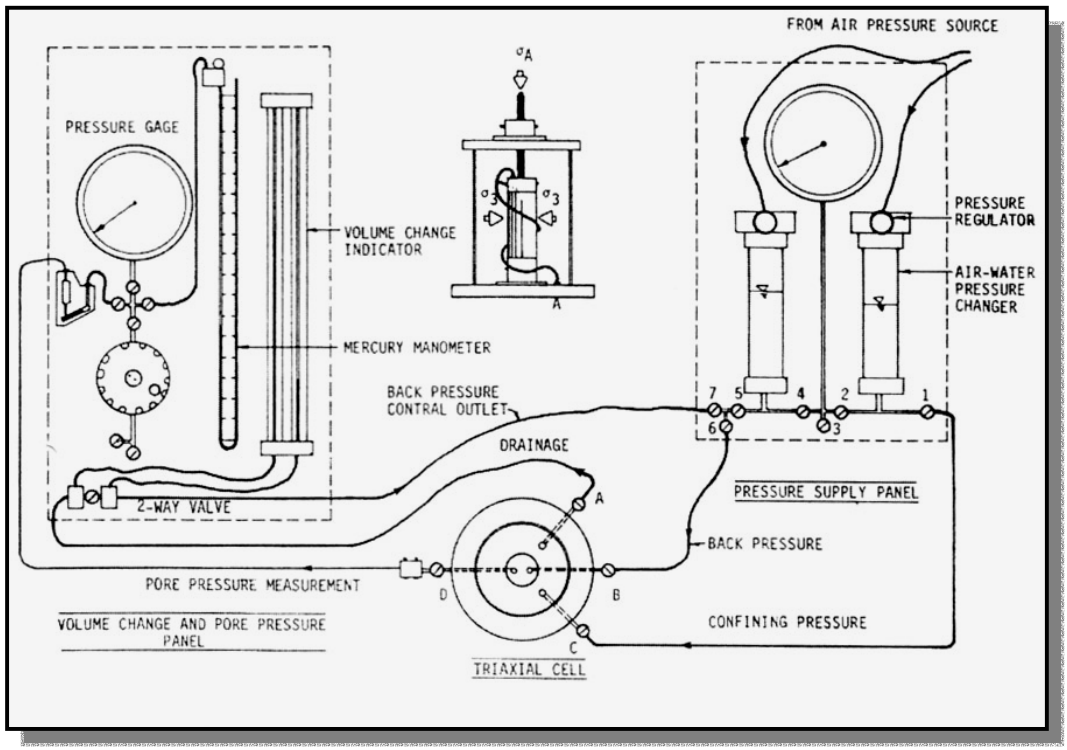
ก. **ดินเหนียว** (Cohesive Soil)

1. นำกระดาษกรองพันรอบตัวอย่างดิน วางตัวอย่างดินลงบนฐานเซลล์ 3 แกน (Triaxial Cell) วางอยู่ระหว่างตัวฐานและตัวอย่างดิน เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำออก
2. ใส่ปลอกยางครอบตัวอย่างดินโดยใช้ที่เบ่งปลอกยาง แล้วใช้ยาง O-Ring รัดปลอกยางให้ติดแน่นกับฐานเพื่อไม่ให้ของเหลวภายนอกซึมผ่านเข้าในตัวอย่างดิน
3. วางแผ่นหินพรุนบน (Top Porous Stone) และหมวกกด (Top Cap) ลงบนตัวอย่างดินตามลำดับ ดึงปลอกยางให้คลุมอยู่ภายนอกแผ่นหมวกกด แล้วใช้ยาง O-Ring รัดให้แน่น ถ้าหมวกกดมีสายระบายน้ำให้ต่อปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับวาล์ว B ที่ฐาน
4. เอาครอบแก้วสวมลงบนตัวอย่างดิน ให้แกนกด (Piston) อยู่ตรงกึ่งกลางของหมวกกดพอดี แล้วขันแป้นเกลียวยึดกับฐานให้แน่น



ข. ดินทราย (Granular Soil)

1. ใส่ถุงตัวอย่างบนฐานก่อนจากนั้นใช้ยาง O-Ring รัดปลอกยางให้แน่นติดกับฐาน วางแบบผ่า (Split Form) ใส่สวมลงบนปลายถุงยางด้านบนให้ดึงออกมารัดไว้ภายนอกแบบผ่า (Split Former)
2. ชั่งน้ำหนักของทรายเก็บไว้ แล้วโรยทรายลงในแบบผ่า (Split Form) โดยใช้กรวย แล้วชั่งน้ำหนักของทรายที่เหลือ
3. ทำตามขั้นตอนข้อ 3 และ 4 ของตัวอย่างดินเหนียว



รูปที่ 15.4 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ

การทำให้ดินชุ่มน้ำ (Saturation of Sample)

ส่วนใหญ่แล้วต้องทำให้ดินชุ่มน้ำ (Saturated) ก่อนการทดสอบ ในกรณีทดสอบทรายแบบไม่วัดค่าการยุบตัวของตัวอย่างอาจไม่จำเป็นต้องทำขั้นตอนนี้ ขั้นตอนทั่วไปสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. ปล่อยน้ำเข้าทาง Valve C เข้าภายใน Cell รอบนอกตัวอย่างดินให้เต็มล้นออกทาง Bleeding Valve ด้านบน
2. เพิ่มความดันของ Confining Pressure ไว้เล็กน้อยประมาณไม่เกิน 5 psi เพื่อช่วยประคองตัวอย่างดินให้แข็งแรงขึ้น ปล่อยน้ำให้เข้าสู่ตัวอย่างทาง Valve B โดยมีความดันช่วยไม่เกิน 3 psi น้ำจะเคลื่อนจากฐานขึ้นสู่เบื้องบน ขณะเดียวกันก็จะไล่ฟองอากาศออกทาง Valve A จนหมดถึงปิด Valve B และ A
3. ในกรณีที่ต้องการวัดความดันในตัวอย่างดิน มักนิยมเพิ่มความดันภายในตัวอย่างและภายนอกตัวอย่างขึ้นเท่ากันประมาณ 20-30 psi เรียกว่า “Back Pressure” ซึ่งจะทำให้ฟองอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ละลายไปได้ เป็นการช่วยให้ดินชุ่มน้ำสมบูรณ์ขึ้น

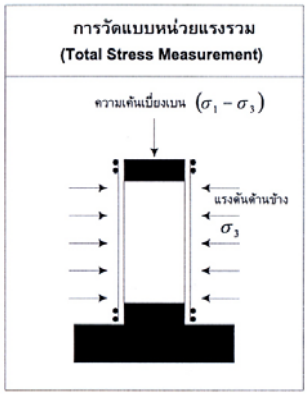
ขั้นตอนการทดสอบ

ก. Unconsolidated Undrained Test (UU-Test)

การทดลองแบบนี้อาจใช้กับตัวอย่างชุ่มน้ำหรือไม่ก็ได้ โดย ควบคุม Valve A, B, C และ D ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ปิด Valve A และ B เพิ่ม Confining Pressure ทาง Valve C ตามความต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 กดตัวอย่างโดย Triaxial Compression Machine แรงดันดินที่เกิดขึ้นเรียกว่า “Deviator Stress” จนกระทั่งตัวอย่างดินเริ่มเคลื่อนพัง



รูปที่ 15.5 แบบจำลอง UU - Test

ข. Consolidated Undrained Test (CU-Test)

การทดลองแบบนี้ ตัวอย่างดินจะต้องชุ่มน้ำเสียก่อนแล้วดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ปิด Valves ทั้งหมดเพิ่ม Confining Pressure ทาง Valve C ให้มากกว่า Back Pressure ที่มีอยู่โดย

Effective Confining Pressure = Total Confining Pressure – Back Pressure

ขั้นตอนที่ 2 เปิด Valve A เพื่อให้ดินตัวอย่างดิน Consolidate น้ำภายในตัวอย่างดินค่อยไหลออก ถ้าต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกต้องต่อกับ Volume change Indicator จนกระทั่งน้ำหยุดไหลออกจากตัวอย่าง ซึ่งอาจจะกินเวลาไม่กี่ชั่วโมงสำหรับ Silty Clay หรือกินเวลา 1-2 วัน สำหรับ Highly Plastic Clay

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อ Consolidate ตัวอย่างดินเสร็จแล้วจะกดตัวอย่างดินภายใต้ Undrained Condition, Valve A จะต้องปิดตลอดการกด นอกจาก Valve D กับ C ถ้าต้องการจะวัดความดันภายในตัวอย่างจะต้องต่อกับ Valve D สู่เครื่อง Pore Pressure Measurement

ขั้นตอนที่ 4 ยก Triaxial cell เข้าใน Compression Machine ให้ Dial gauge สำหรับวัด Vertical Deformation และเลื่อนหัวกดให้พอดีแตะ Loading ram

ขั้นตอนที่ 5 ตั้งอัตราการ Loading rate ประมาณ 0.05-0.1 in/min อ่าน Load และ Pore Pressure ทุก ๆ Vertical Deformation ประมาณ 0.01 in จนกระทั่งตัวอย่างดิน เริ่ม เคลื่อนพัง หรือ Vertical Deformation ประมาณ 20 % Strain

ค. Consolidated Drained Test (CD-Test)

ขั้นตอนที่ 1 ปิด Valves ทั้งหมด เพิ่ม Confining Pressure ทาง Valve C ให้มากกว่า Back Pressure ที่มีอยู่โดย

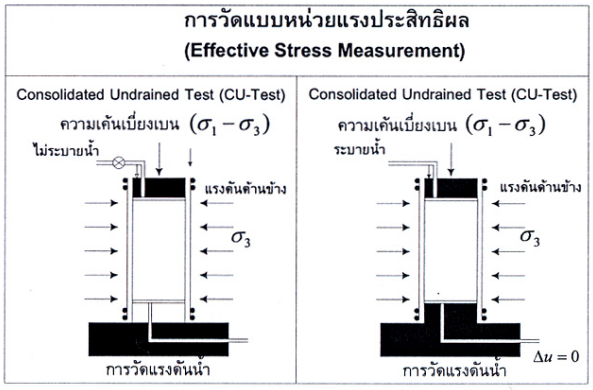
Effective Confining Pressure = Total Confining Pressure – Back Pressure

ขั้นตอนที่ 2 เปิด Valve A เพื่อให้ดินตัวอย่าง Consolidate น้ำภายในตัวอย่างดินจะค่อย ๆ ไหลออก ถ้าต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกต้องต่อกับ Volume change Indicator จนกระทั่งน้ำหยุดไหลออกจากตัวอย่าง ซึ่งอาจจะกินเวลาไม่กี่ชั่วโมงสำหรับ Silty Clay หรือกินเวลา 1-2 วัน สำหรับ Highly Plastic Clay

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อ Consolidate ตัวอย่างดินเสร็จแล้วจะกดตัวอย่างดินภายใต้ Drained Condition, Valve A จะต้องเปิดตลอด ถ้าต้องการจะวัดความดันภายในตัวอย่างจะต้องต่อกับ Valve D สู่เครื่อง Pore Pressure Measurement

ขั้นตอนที่ 4 ยก Triaxial Cell เข้าใน Compression Machine ติด Dial Gauge สำหรับวัด Vertical Deformation และเลื่อนหัวกดให้พอดีแตะ loading ram

ขั้นตอนที่ 5 เปิด Valve A แล้วกด ตัวอย่างด้วยอัตรา Loading Rate ช้ามากจนกระทั่ง Pore Pressure ที่วัดจาก Valve D ไม่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน



รูปที่ 15.6 แบบจำลอง CU - Test และ CD Test

การบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 5	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.1

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
10	13	0.00	0.47
20	19	0.00	0.79
30	26	0.00	1.08
40	30	0.00	1.36
50	35	0.00	1.59
60	39	0.00	1.78
70	42	0.00	1.95
80	44	0.00	2.14
90	45	0.00	2.31
100	45	0.00	2.48
120	47	0.00	2.68
140	48	0.00	2.82
160	50	0.00	2.92
180	51	0.00	3.00
200	51	0.00	3.07
220	51	0.00	3.13
240	51	0.00	3.21
260	51	0.00	3.22
280	51	0.00	3.25
300	51	0.00	3.26
320	51	0.00	3.28
340	52	0.00	3.29
360	52	0.00	3.31
380	52	0.00	3.29

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
400	52	0.00	3.29
420	53	0.00	3.29
440	53	0.00	3.28
460	54	0.00	3.28
480	55	0.00	3.28
500	55	0.00	3.28
520	55	0.00	3.28
540	55	0.00	3.28
560	55	0.00	3.28
580	56	0.00	3.25
600	56	0.00	3.24
640	57	0.00	3.24
680	58	0.00	3.21
720	59	0.00	3.20
760	60	0.00	3.18
800	60	0.00	3.17
840	61	0.00	3.15
880	62	0.00	3.13
920	62	0.00	3.11
960	61	0.00	3.10
1000	60	0.00	3.07

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 10	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.2

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
10	19	0.00	0.53
20	34	0.00	0.87
30	44	0.00	1.15
40	53	0.00	1.44
50	62	0.00	1.71
60	73	0.00	2.05
70	79	0.00	2.26
80	85	0.00	2.46
90	92	0.00	2.67
100	99	0.00	2.89
120	111	0.00	3.26
140	118	0.00	3.60
160	124	0.00	3.89
180	129	0.00	4.15
200	132	0.00	4.36
220	135	0.00	4.53
240	136	0.00	4.68
260	137	0.00	4.84
280	137	0.00	4.94
300	138	0.00	5.05
320	138	0.00	5.18
340	139	0.00	5.27
360	139	0.00	5.33
380	139	0.00	5.37
400	140	0.00	5.44

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
420	140	0.00	5.50
440	140	0.00	5.54
460	140	0.00	5.59
480	140	0.00	5.62
500	140	0.00	5.68
520	141	0.00	5.75
540	141	0.00	5.79
560	141	0.00	5.83
580	142	0.00	5.82
600	142	0.00	5.84
640	143	0.00	5.89
680	144	0.00	5.93
720	145	0.00	5.94
760	146	0.00	5.95
800	147	0.00	5.97
840	149	0.00	5.97
880	149	0.00	5.95
920	148	0.00	5.93
960	146	0.00	5.90
1000	145	0.00	5.89

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 20	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.3

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
10	20	0.00	0.11
20	54	0.00	0.30
30	76	0.00	0.61
40	93	0.00	0.92
50	106	0.00	1.27
60	120	0.00	1.60
70	139	0.00	1.93
80	152	0.00	2.24
90	166	0.00	2.56
100	179	0.00	2.92
120	205	0.00	3.57
140	230	0.00	4.21
160	257	0.00	4.84
180	275	0.00	5.34
200	291	0.00	5.83
220	305	0.00	6.27
240	316	0.00	6.68
260	325	0.00	7.09
280	330	0.00	7.38
300	335	0.00	7.69
320	339	0.00	7.97
340	343	0.00	8.26
360	349	0.00	5.54
380	353	0.00	5.77
400	357	0.00	8.95

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)
420	361	0.00	9.11
440	367	0.00	9.28
460	371	0.00	9.43
480	374	0.00	9.54
500	375	0.00	9.69
520	376	0.00	9.74
540	377	0.00	9.86
560	379	0.00	9.95
580	381	0.00	10.03
600	383	0.00	10.11
640	389	0.00	10.24
680	394	0.00	10.35
720	399	0.00	10.42
760	401	0.00	10.46
800	402	0.00	10.49
840	402	0.00	10.49
880	401	0.00	10.46
920	400	0.00	10.42
960	399	0.00	10.38
1000	398	0.00	10.35

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name :	Date of Test :	Sample No. :
Location :	Tested by :	Boring No. :
Soil Sample :	Checked by :	Depth (m) :

Type of Test :	Initial Water Content : %	Sample Diameter : cm
Load Rate : mm/min	Final Water Content : %	Sample Height : cm
Ring Constant : kg/div	Effective Cell Pressure : t/m^2	Back Pressure : t/m^2

Data Monitor No.1

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	:		Date of Test	:		Sample No.	:	
Location	:		Tested by	:		Boring No.	:	
Soil Sample	:		Checked by	:		Depth (m)	:	

Type of Test	:		Initial Water Content	:	%	Sample Diameter	:	cm
Load Rate	:	mm/min	Final Water Content	:	%	Sample Height	:	cm
Ring Constant	:	kg/div	Effective Cell Pressure	:	t/m^2	Back Pressure	:	t/m^2

Data Monitor No.2

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Type of Test	:		Initial Water Content	:	%	Sample Diameter	:	cm
Load Rate	:	mm/min	Final Water Content	:	%	Sample Height	:	cm
Ring Constant	:	kg/div	Effective Cell Pressure	:	t/m^2	Back Pressure	:	t/m^2

Data Monitor No.1

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

Deform x 0.01 (mm)	Load Reading (div)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press. (t/m^2)

ตัวอย่างการคำนวณ

1. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

$$A_o = \frac{A_t + 2A_m + A_b}{4} \quad \text{..... (15.1)}$$

เมื่อ

A_o = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย

A_t = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่าง

A_m = พื้นที่หน้าตัดส่วนกลางของตัวอย่าง

A_b = พื้นที่หน้าตัดด้านท้ายของตัวอย่าง

2. การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปในระหว่างการทดสอบ

$$A_c = \frac{A_o}{(1-\varepsilon)} \quad \text{..... (15.2)}$$

เมื่อ

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_o}{L}$$

A_o = พื้นที่หน้าตัดเริ่มแรกของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

A_c = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างขณะที่มีการหดตัว

L_o = ความยาวเดิมหรือความยาวเริ่มแรก

3. การคำนวณ Vertical Deviator Load

F_c = (P.R.) * K (kN) ..... (15.3)

K = Proving Ring Constant

P.R. = Proving Ring Reading

4. การคำนวณหา Vertical Deviator Stress

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_c} \quad \text{..... (15.4)}$$

σ_a = แรงกดบนตัวอย่างในแนวดิ่ง, (Psi, kPa)

5. การคำนวณหา Principal Stresses

σ_3 = Confining Pressure

= σ_c

σ_1 = Total Vertical Stress

= $\sigma_3 + \sigma_a$

ในกรณีที่ทำการทดลอง CU-Test และวัด Pore Pressure ด้วย

σ'_3 = Effective Minor Principal Stress

= σ_c

σ'_1 = Effective Major Principal Stress

= $\sigma'_3 + \sigma_a$

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 5	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.1

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
10	0.10	18.12	13	1.82	1.00	5.00	6.00	1.20	5.03	0.50	0.00	0.47
20	0.20	18.14	19	2.66	1.47	5.00	6.47	1.29	4.95	0.74	0.00	0.79
30	0.30	18.16	26	3.64	2.00	5.00	7.00	1.40	4.92	1.00	0.00	1.08
40	0.40	18.18	30	4.20	2.31	5.00	7.31	1.46	4.80	1.16	0.00	1.36
50	0.50	18.19	35	4.90	2.69	5.00	7.69	4.54	4.76	1.35	0.00	1.59
60	0.60	18.21	39	5.46	3.00	5.00	8.00	1.60	4.72	1.50	0.00	1.78
70	0.70	18.23	42	5.88	3.23	5.00	8.23	1.65	4.67	1.62	0.00	1.95
80	0.80	18.25	44	6.16	3.38	5.00	8.38	1.68	4.55	1.69	0.00	2.14
90	0.90	18.27	45	6.30	3.45	5.00	8.45	1.69	4.42	1.73	0.00	2.31
100	1.01	18.29	45	6.30	3.44	5.00	8.44	1.72	4.24	1.72	0.00	2.48
120	1.21	18.32	47	6.58	3.59	5.00	8.59	1.73	4.12	1.80	0.00	2.68
140	1.41	18.40	48	6.72	3.66	5.00	8.66	1.76	4.01	1.83	0.00	2.82
160	1.61	18.36	50	7.00	3.80	5.00	8.80	1.77	3.98	1.90	0.00	2.92
180	1.81	18.44	51	7.13	3.87	5.00	8.87	1.77	3.94	1.94	0.00	3.00
200	2.01	18.47	51	7.13	3.86	5.00	8.86	1.77	3.86	1.93	0.00	3.07
220	2.21	18.51	51	7.13	3.85	5.00	8.85	1.77	3.80	1.93	0.00	3.13
240	2.41	18.55	51	7.13	3.84	5.00	8.84	1.77	3.71	1.92	0.00	3.21
260	2.61	18.59	51	7.13	3.84	5.00	8.84	1.77	3.70	1.92	0.00	3.22
280	2.81	18.63	51	7.13	3.83	5.00	8.83	1.77	3.67	1.92	0.00	3.25
300	3.02	18.67	51	7.13	3.82	5.00	8.82	1.76	3.65	1.91	0.00	3.26
320	3.22	18.71	51	7.13	3.81	5.00	8.81	1.76	3.63	1.91	0.00	3.28
340	3.42	18.74	52	7.27	3.88	5.00	8.88	1.78	3.65	1.94	0.00	3.29
360	3.62	18.78	52	7.27	3.87	5.00	8.87	1.77	3.63	1.94	0.00	3.31

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Data Monitor No.1(Continue)

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
380	3.82	18.82	52	7.27	3.86	5.00	8.86	1.77	3.64	1.93	0.00	3.29
400	4.02	18.86	52	7.27	3.85	5.00	8.85	1.77	3.64	1.93	0.00	3.29
420	4.22	18.90	53	7.41	3.92	5.00	8.92	1.78	3.67	1.96	0.00	3.29
440	4.42	18.94	53	7.41	3.91	5.00	8.91	1.78	3.68	1.96	0.00	3.28
460	4.62	18.98	54	7.55	3.98	5.00	8.98	1.80	3.71	1.99	0.00	3.28
480	4.82	19.02	55	7.69	4.04	5.00	9.04	1.81	3.74	2.02	0.00	3.28
500	5.03	19.06	55	7.69	4.03	5.00	9.03	1.81	3.74	2.02	0.00	3.28
520	5.23	19.10	55	7.69	4.03	5.00	9.03	1.81	3.74	2.02	0.00	3.28
540	5.43	19.14	55	7.69	4.02	5.00	9.02	1.80	3.73	2.01	0.00	3.28
560	5.63	19.18	55	7.69	4.01	5.00	9.01	1.80	3.73	2.01	0.00	3.28
580	5.83	19.22	56	7.83	4.07	5.00	9.07	1.81	3.79	2.04	0.00	3.25
600	6.03	19.26	56	7.83	4.07	5.00	9.07	1.81	3.80	2.04	0.00	3.24
640	6.43	19.35	57	7.97	4.12	5.00	9.12	1.82	3.82	2.06	0.00	3.24
680	6.83	19.43	58	8.11	4.17	5.00	9.17	1.83	3.88	2.09	0.00	3.21
720	7.24	19.52	59	8.25	4.23	5.00	9.23	1.85	3.92	2.12	0.00	3.20
760	7.64	19.60	60	8.39	4.28	5.00	9.28	1.86	3.96	2.14	0.00	3.18
800	8.04	19.69	60	8.39	4.26	5.00	9.26	1.85	3.96	2.13	0.00	3.17
840	8.44	19.77	61	8.53	4.31	5.00	9.31	1.86	4.01	2.16	0.00	3.15
880	8.84	19.86	62	8.67	4.37	5.00	9.37	1.87	4.06	2.19	0.00	3.13
920	9.25	19.95	62	8.67	4.35	5.00	9.35	1.87	4.07	2.18	0.00	3.11
960	9.65	20.04	61	8.53	4.26	5.00	9.26	1.85	4.03	2.13	0.00	3.10
1000	10.05	20.13	60	8.39	4.17	5.00	9.17	1.83	4.02	2.09	0.00	3.07

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 10	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.2

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
10	0.10	18.12	19	2.66	1.47	10.00	11.47	1.15	10.21	0.74	0.00	0.53
20	0.20	18.14	34	4.76	2.62	10.00	12.62	1.26	10.44	1.31	0.00	0.87
30	0.30	18.16	44	6.16	3.39	10.00	13.39	1.34	10.55	1.70	0.00	1.15
40	0.40	18.18	53	7.41	4.08	10.00	14.08	1.41	10.60	2.04	0.00	1.44
50	0.50	18.19	62	8.67	4.77	10.00	14.71	1.48	10.68	2.39	0.00	1.71
60	0.60	18.21	73	10.21	5.61	10.00	15.61	1.56	10.76	2.81	0.00	2.06
70	0.70	18.23	79	11.05	6.06	10.00	16.06	1.61	10.77	3.03	0.00	2.26
80	0.80	18.25	85	11.89	6.52	10.00	16.52	1.65	10.80	3.26	0.00	2.46
90	0.90	18.27	92	12.87	7.04	10.00	17.04	1.70	10.85	3.52	0.00	2.67
100	1.01	18.29	99	13.85	7.57	10.00	17.57	1.76	10.90	3.79	0.00	2.89
120	1.21	18.32	111	15.53	8.48	10.00	18.48	1.85	10.98	4.24	0.00	3.26
140	1.41	18.36	118	16.51	8.99	10.00	18.99	1.90	10.90	4.50	0.00	3.60
160	1.61	18.40	124	17.35	9.43	10.00	19.43	1.94	10.83	4.72	0.00	3.89
180	1.81	18.44	129	18.05	9.79	10.00	19.79	1.98	10.75	4.90	0.00	4.15
200	2.01	18.47	132	18.47	10.00	10.00	20.00	2.00	10.64	5.00	0.00	4.36
220	2.21	18.51	135	18.89	10.21	10.00	20.21	2.02	10.58	5.11	0.00	4.53
240	2.41	18.55	136	19.03	10.26	10.00	20.26	2.03	10.45	5.13	0.00	4.68
260	2.61	18.59	137	19.17	10.31	10.00	20.31	2.03	10.32	5.16	0.00	4.84
280	2.81	18.63	137	19.17	10.29	10.00	20.29	2.03	10.21	5.15	0.00	4.94
300	3.02	18.67	138	19.31	10.34	10.00	20.34	2.03	10.12	5.17	0.00	5.05
320	3.22	18.71	138	19.31	10.32	10.00	20.32	2.03	9.98	5.16	0.00	5.18
340	3.42	18.74	139	19.45	10.38	10.00	20.38	2.04	9.92	5.19	0.00	5.27
360	3.62	18.78	139	19.45	10.36	10.00	20.36	2.04	9.85	5.18	0.00	5.33
380	3.82	18.82	139	19.45	10.33	10.00	20.33	2.03	9.80	5.17	0.00	2.37

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Data Monitor No.2(Continue)

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
400	4.02	18.86	140	19.59	10.39	10.00	20.39	2.04	9.76	5.20	0.00	5.44
420	4.22	18.90	140	19.59	10.37	10.00	20.37	2.04	9.69	5.19	0.00	5.50
440	4.42	18.94	140	19.59	10.34	10.00	20.34	2.03	9.63	5.17	0.00	5.54
460	4.62	18.98	140	19.59	10.32	10.00	20.32	2.03	9.57	5.16	0.00	5.59
480	4.82	19.02	140	19.59	10.30	10.00	20.30	2.03	9.53	5.15	0.00	5.62
500	5.03	19.06	140	19.59	10.28	10.00	20.28	2.03	9.46	5.14	0.00	5.68
520	5.23	19.10	141	19.73	10.33	10.00	20.33	2.03	9.42	5.17	0.00	5.75
540	5.43	19.14	141	19.73	10.31	10.00	20.31	2.03	9.37	5.16	0.00	5.79
560	5.63	19.18	141	19.73	10.29	10.00	20.29	2.03	9.32	5.15	0.00	5.83
580	5.83	19.22	142	19.87	10.34	10.00	20.34	2.03	9.35	5.17	0.00	5.82
600	6.03	19.26	142	19.87	10.32	10.00	20.32	2.03	9.32	5.16	0.00	5.84
640	6.43	19.35	143	20.01	10.34	10.00	20.34	2.03	9.28	5.17	0.00	5.89
680	6.83	19.43	144	20.15	10.37	10.00	20.37	2.04	9.26	5.19	0.00	5.93
720	7.24	19.52	145	20.29	10.39	10.00	20.39	2.04	9.26	5.20	0.00	5.94
760	7.64	19.60	146	20.43	10.42	10.00	20.42	2.04	9.26	5.21	0.00	5.95
800	8.04	19.69	147	20.57	10.45	10.00	20.45	2.05	9.26	5.23	0.00	5.97
840	8.44	19.77	149	20.85	10.55	10.00	20.55	2.06	9.31	5.28	0.00	5.97
880	8.84	19.86	149	20.85	10.50	10.00	20.50	2.05	9.30	5.25	0.00	5.95
920	9.25	19.95	148	20.71	10.38	10.00	20.38	2.04	9.26	5.19	0.00	5.93
960	9.65	20.04	146	20.43	10.19	10.00	20.19	2.02	9.20	5.10	0.00	5.90
1000	10.05	20.13	145	20.29	10.08	10.00	20.08	2.01	9.15	5.04	0.00	5.89

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	: ทดสอบ	Date of Test	: 21/02/2548	Sample No.	: 1
Location	: CV Building	Tested by	: สมชาย	Boring No.	: BH-1
Soil Sample	: Clayey Sand	Checked by	: ชูศักดิ์ คีรีรัตน์	Depth (m)	: 0.00-0.05

Type of Test	: CU		Initial Water Content	: 17.11	%	Sample Diameter	: 4.80	cm
Load Rate	: 0.1	mm/min	Final Water Content	: 24.80	%	Sample Height	: 9.95	cm
Ring Constant	: 0.1399	kg/div	Effective Cell Pressure	: 20	t/m^2	Back Pressure	: 20	t/m^2

Data Monitor No.3

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
10	0.10	18.12	20	2.80	1.55	20.00	21.55	1.08	20.67	0.78	0.00	0.11
20	0.20	18.14	54	7.55	4.16	20.00	24.16	1.21	21.78	2.08	0.00	0.30
30	0.30	18.16	76	10.63	5.85	20.00	25.85	1.29	22.32	2.93	0.00	0.61
40	0.40	18.18	93	13.01	7.16	20.00	28.15	1.41	22.81	4.08	0.00	0.92
50	0.50	18.19	106	14.83	8.15	20.00	28.15	1.41	22.81	4.08	0.00	1.27
60	0.60	8.21	120	16.79	9.22	20.00	29.22	14.46	23.01	4.61	0.00	1.60
70	0.70	18.23	139	19.45	10.67	20.00	30.67	1.53	23.41	5.34	0.00	1.93
80	0.80	18.25	152	21.26	11.65	20.00	31.65	1.58	23.59	5.83	0.00	2.24
90	0.90	18.27	166	23.22	12.71	20.00	32.71	1.64	23.80	6.36	0.00	2.56
100	1.01	18.29	179	25.04	13.69	20.00	33.69	1.68	23.93	6.85	0.00	2.92
120	1.21	18.32	205	28.68	15.66	20.00	35.66	1.78	24.26	7.83	0.00	3.57
140	1.41	18.36	230	32.18	17.53	20.00	37.53	1.88	24.56	8.77	0.00	4.21
160	1.61	18.40	257	35.95	19.54	20.00	39.54	1.98	24.93	9.77	0.00	4.84
180	1.81	18.44	275	38.47	20.86	20.00	40.85	2.04	25.09	10.43	0.00	5.34
200	2.01	18.47	291	40.71	22.04	20.00	42.04	2.10	25.19	11.02	0.00	5.83
220	2.21	18.51	305	42.67	23.05	20.00	43.05	2.15	25.26	11.53	0.00	6.27
240	2.41	18.55	316	44.21	23.83	20.00	43.83	2.19	25.24	11.92	0.00	6.68
260	2.61	18.59	325	45.47	24.46	20.00	44.46	2.22	25.14	12.23	0.00	7.09
280	2.81	18.63	330	46.17	24.78	20.00	44.78	2.24	25.01	12.39	0.00	7.38
300	3.02	18.67	335	46.87	25.10	20.00	45.10	2.26	24.86	12.55	0.00	7.69
320	3.22	18.71	339	47.43	25.35	20.00	45.35	2.27	24.71	12.68	0.00	7.97
340	3.42	18.74	343	47.99	25.61	20.00	45.61	2.28	24.55	12.81	0.00	8.26
360	3.62	18.78	349	48.83	26.00	20.00	46.00	2.30	24.46	13.00	0.00	8.54
380	3.82	18.82	353	49.38	26.24	20.00	46.24	2.31	24.35	13.12	0.00	8.77

การทดสอบแรงอัดสามแกน

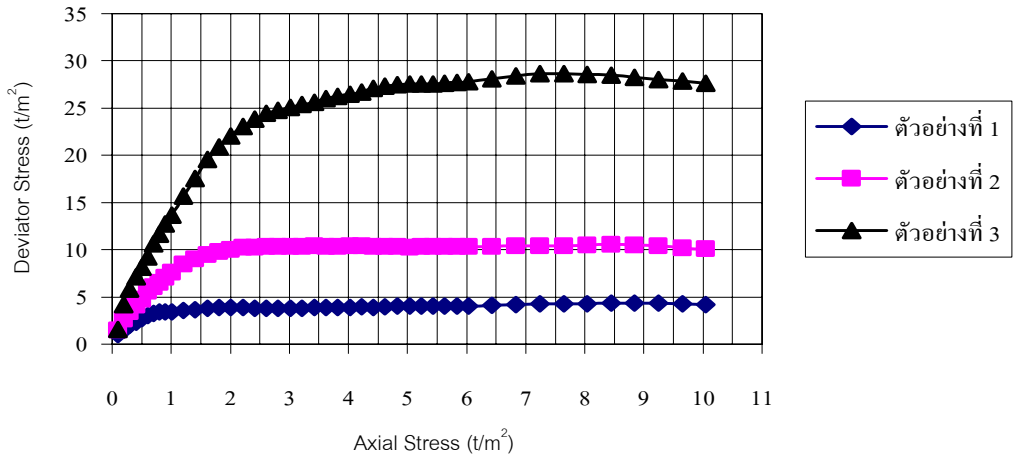
Triaxial Compression Test

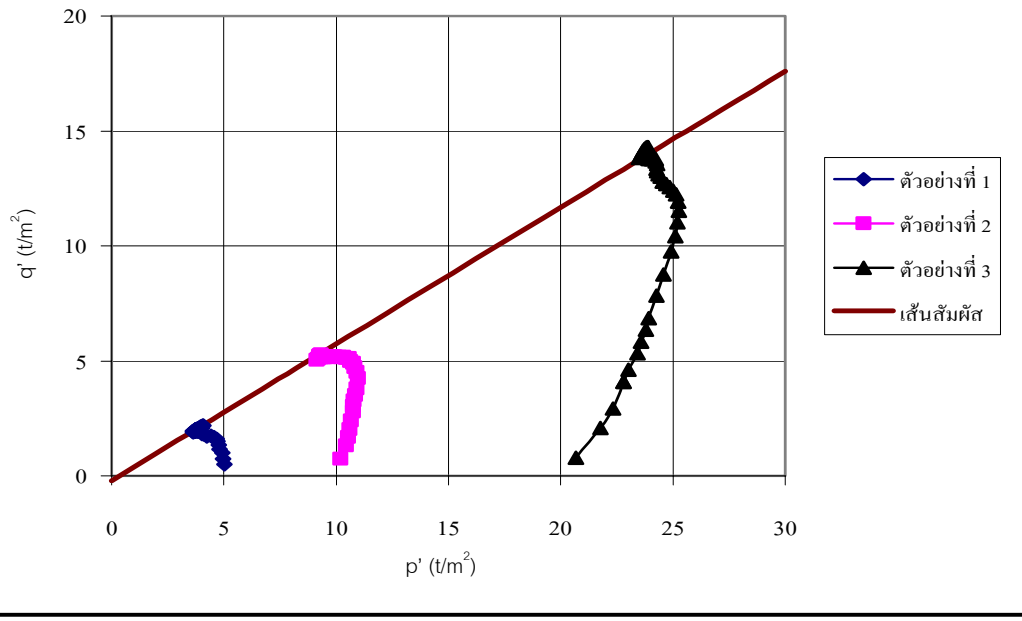
Data Monitor No.3(Continue)

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.
400	4.02	18.86	357	49.94	26.48	20.00	46.48	2.32	24.29	13.24	0.00	8.95
420	4.22	18.90	361	50.50	26.72	20.00	46.72	2.34	24.25	13.36	0.00	9.11
440	4.42	18.94	367	51.34	27.11	20.00	47.11	2.36	24.28	13.56	0.00	9.28
460	4.62	18.98	371	51.90	27.34	20.00	47.34	2.37	24.24	13.67	0.00	9.43
480	4.82	19.02	374	52.32	27.51	20.00	47.51	2.38	24.22	13.76	0.00	9.54
500	5.03	19.06	375	52.46	27.52	20.00	47.52	2.38	24.07	13.76	0.00	9.69
520	5.23	19.10	376	52.60	27.54	20.00	47.54	2.38	24.03	13.77	0.00	9.74
540	5.43	19.14	377	52.74	27.55	20.00	47.55	2.38	23.92	13.78	0.00	9.86
560	5.63	19.18	379	53.02	27.64	20.00	47.64	2.38	23.87	13.82	0.00	9.95
580	5.83	19.22	381	53.30	27.73	20.00	47.73	2.39	23.84	13.87	0.00	10.03
600	6.03	19.26	383	53.58	27.82	20.00	47.82	2.39	23.80	13.91	0.00	10.11
640	6.43	19.35	389	54.42	28.12	20.00	48.12	2.41	23.82	14.06	0.00	10.24
680	6.83	19.43	394	55.12	28.37	20.00	48.37	2.42	23.84	14.19	0.00	10.35
720	7.24	19.52	399	55.82	28.60	20.00	48.60	2.43	23.88	14.30	0.00	10.42
760	7.64	19.60	401	56.10	28.62	20.00	48.62	2.43	23.85	14.31	0.00	10.46
800	8.04	19.69	402	56.24	28.56	20.00	48.56	2.43	23.79	14.28	0.00	10.49
840	8.44	19.77	402	56.24	28.45	20.00	48.45	2.42	23.74	14.23	0.00	10.49
880	8.84	19.86	401	56.10	28.25	20.00	48.25	2.41	23.67	14.13	0.00	10.46
920	9.25	19.95	400	55.96	28.05	20.00	48.05	2.40	23.61	14.03	0.00	10.42
960	9.65	20.04	399	55.82	27.85	20.00	47.85	2.39	23.55	13.93	0.00	10.38
1000	10.05	20.13	398	55.68	27.66	20.00	47.66	2.38	23.48	13.83	0.0	10.35

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Sample		No.1	No.2	No.3
Effective Confining Pressure	(t/m^2)	5	10	20
Maximum Deviator Stress	(t/m^2)	4.38	10.55	28.64
Strain at Failure	(%)	8.64	8.44	7.84

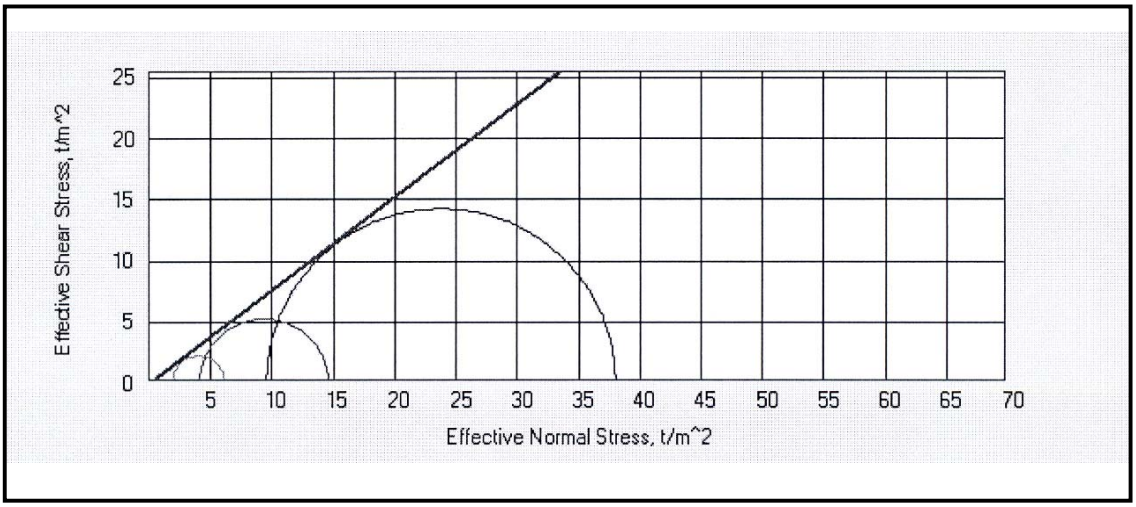




การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

Mohr 's Circle



Stress Path Method		Mohr 's Circle Method	
a' = 0.00 t/m^2	α' = 31.20°	c' = 0.00 t/m^2	ϕ' = 37.28°

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name :
Date of Test :
Sample No. :
Location :
Tested by :
Boring No. :
Soil Sample :
Checked by :
Depth (m) :

Type of Test	:		Initial Water Content	:	%	Sample Diameter	:	cm
Load Rate	:	mm/min	Final Water Content	:	%	Sample Height	:	cm
Ring Constant	:	kg/div	Effective Cell Pressure	:	t/m^2	Back Pressure	:	t/m^2

Data Monitor No.1

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Data Monitor No.1(Continue)

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p’ (t/m2)	q’ (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name :	Date of Test :	Sample No. :
Location :	Tested by :	Boring No. :
Soil Sample :	Checked by :	Depth (m) :

Type of Test :	Initial Water Content : %	Sample Diameter : cm
Load Rate : mm/min	Final Water Content : %	Sample Height : cm
Ring Constant : kg/div	Effective Cell Pressure : t/m^2	Back Pressure : t/m^2

Data Monitor No.2

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Data Monitor No.2(Continue)

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน
Triaxial Compression Test

Project Name	:	Date of Test	:	Sample No.	:
Location	:	Tested by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	Checked by	:	Depth (m)	:

Type of Test	:		Initial Water Content	:	%	Sample Diameter	:	cm
Load Rate	:	mm/min	Final Water Content	:	%	Sample Height	:	cm
Ring Constant	:	kg/div	Effective Cell Pressure	:	t/m^2	Back Pressure	:	t/m^2

Data Monitor No.3

Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

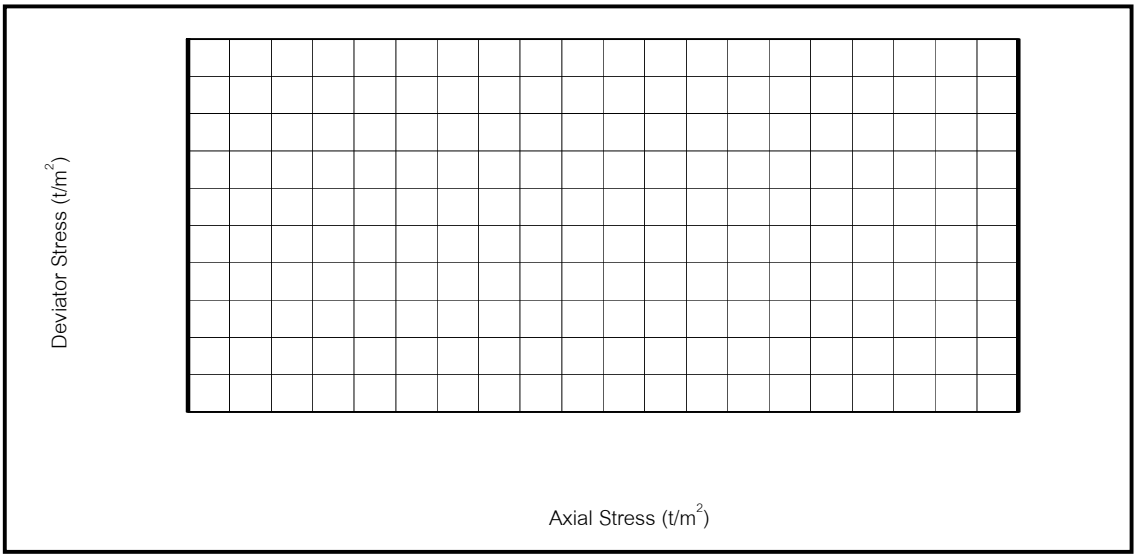
Data Monitor No.3(Continue)

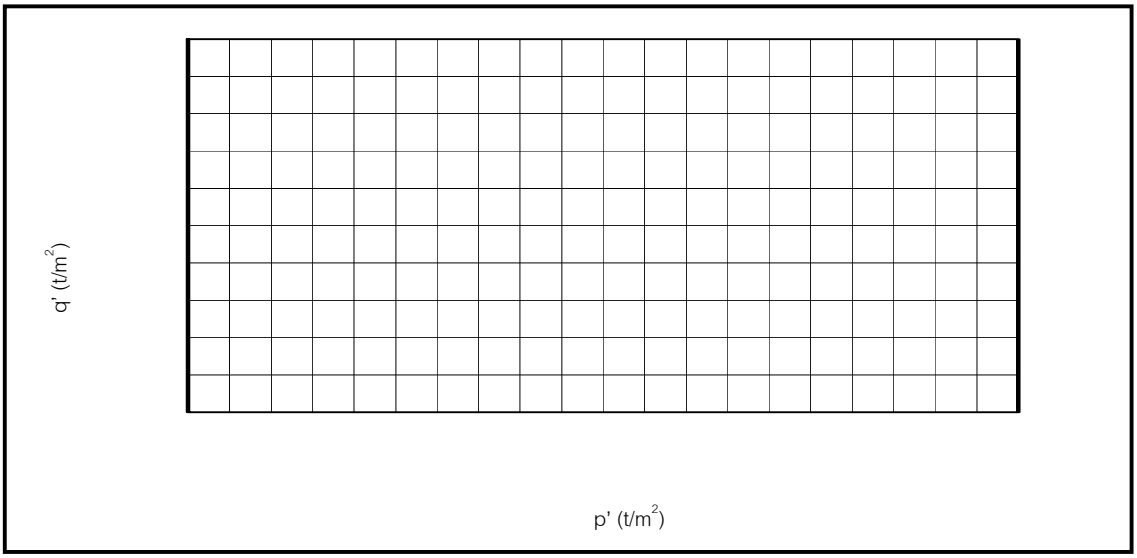
Deform x 0.01 (mm)	Strain (%)	Correct Area (cm2)	Load Reading (div)	Load (kg)	Deviator Stress (t/m2)	Horz. Pressure (t/m2)	Ver. Pressure (t/m2)	Principal Stress (Ratio)	p' (t/m2)	q' (t/m2)	Volume Change (Rdg,cc)	Excess Pore Press.

การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

Sample		No.1	No.2	No.3
Effective Confining Pressure	(t/m^2)			
Maximum Deviator Stress	(t/m^2)			
Strain at Failure	(%)			

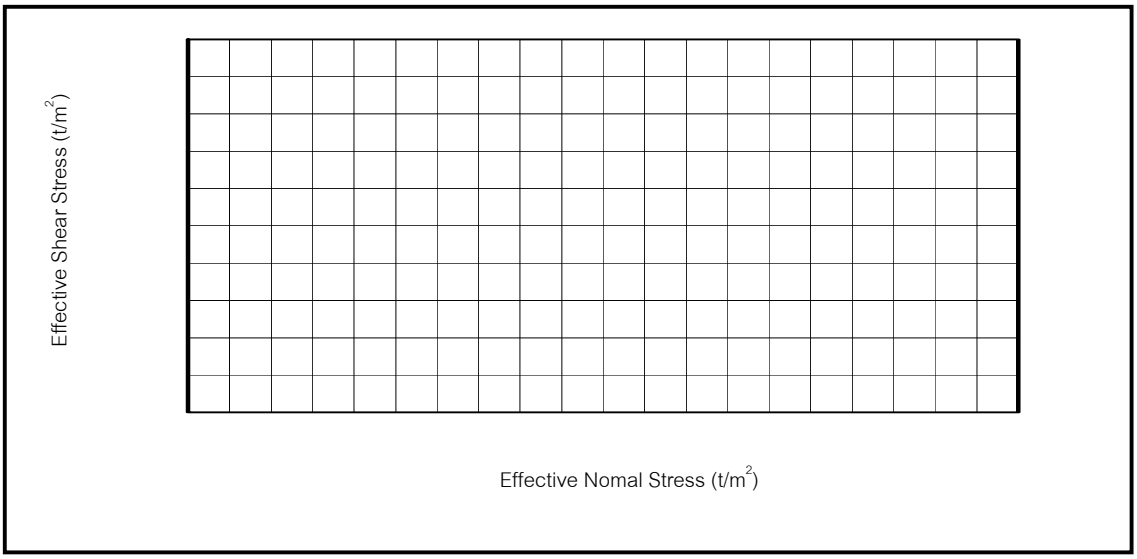




การทดสอบแรงอัดสามแกน

Triaxial Compression Test

Mohr 's Circle



Stress Path Method		Mohr 's Circle Method	
a' = t/m^2	α' = °	c' = t/m^2	ϕ' = °

การรายงานผลการทดสอบ

1) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

σ_1 และ ε หรือ σ'_1 และ ε

σ_3 และ ε หรือ σ'_3 และ ε

2) อ่านค่า σ_1 (หรือ σ'_1) สูงสุด และ σ_3 (หรือ σ'_3) เพื่อนำเขียน Mohr' s Circle

3) เขียน Mohr Circle ของตัวอย่างทั้งหมด

4) ลากเส้นตรงสัมผัสวงกลมทั้งหมดเรียกว่า Mohr – Coulomb' s Envelopeจุดตัดบนแกน y คือ Shearing stress เรียกว่า Cohesion (C) และมุมเอียงของเส้นคือ Angle of internal friction (Φ)