การประเมินพารามิเตอร์ด้านกำลังของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยการทดลองแรงอัดสามแกนในสภาพระบายน้ำ

Evaluation of strength parameter by triaxial drained test of soil in Northeast of Thailand

ปริญญานิพนธ์

ของ

ณัฐวุฒิ ทุดปอ 54010310205

อาทิตย์ บุตรภักดี 54010310382

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมูล) ประธานกรรมการ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหลาส หอมวุฒิวงศ์) กรรมการ

.....

(อาจารย์นบปนม แก้วหานาม) อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกสร วงศ์เกษม)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

Mahasarakham University

ว 414 ใคร

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณอาจารย์นบปนม แก้วหานาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้ให้แนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ซึ่งทำให้ได้ความรู้ในการจัดวางแผนงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด อีกทั้งอบรมสั่งสอนข้อคิดต่างๆ เพื่อนำมาปรับปรุงและแก้ไขให้ผลงานมีคุณภาพที่ดี นอกจากนั้นยังสามารถนำความรู้ในการทำปริญญานิพนธ์ไปประยุกต์กับการใช้ชีวิตได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริสน์ ชัยมูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหลาภ หอมวุฒิวงศ์ ประธานและกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ช่วยชี้แนะในส่วนของเนื้อหาปริญญานิพนธ์ทำให้การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้เสร็จสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นางสาวตรีญาภัทร์ แสงตา ผู้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาที่มีการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายอุไร เนื่องมหา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านรถยนต์สำหรับการเดินทางไปเก็บตัวอย่างดินในจังหวัดมหาสารคาม มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด

ขอขอบพระคุณ นายกิตติภณ วงศ์พิทักษ์ และนางสาวดบัสวินี ปะติคำ บุคลากรและนักศึกษาคณะเกษตรศาสตร์หมวดปศุสัตว์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้ทั้งการให้กำลังใจและช่วยออกแรงกาย ทำให้ปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จที่สำคัญยิ่งคือบิดา มารดา ของข้าพเจ้ารวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยจนถึงวันนี้ ทั้งยังคอยสนับสนุนปัจจัยต่างๆ ทั้งกำลังกาย กำลังทรัพย์ ขอขอบพระคุณที่ท่านส่งเสียผู้วิจัยให้ได้ศึกษาเล่าเรียนในศาสตร์วิชาที่สนใจ เป็นกำลังสำคัญที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันที่ยิ่งใหญ่ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่างๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ณัฐวุฒิ ทุดปอ
อาทิตย์ บุตรภักดี

Mahasarakham University

ชื่อเรื่อง การประเมินพารามิเตอร์ด้านกำลังของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยการทดลองแรงอัดสามแกนในสภาพระบายน้ำ
ผู้วิจัย ณัฐวุฒิ ทุดปอ
อาทิตย์ บุตรภักดี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นบปนม แก้วหานาม
ปริญญา วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2558

บทคัดย่อ

พารามิเตอร์ด้านกำลังของดินมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการออกแบบด้านวิศวกรรมฐานราก ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินซึ่งได้แก่ ค่าความเชื่อมแน่นและมุมเสียดทานภายในในสภาพระบายน้ำของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ตัวอย่างดินแบบคงสภาพในการศึกษาเก็บด้วยวิธีการขุดเปิดหน้าดินที่ความลึกประมาณ 2.0-2.5 เมตร จากผิวดินในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด มีการทดสอบความแน่นของดินในสนามด้วยวิธีการแทนที่ทรายที่ระดับความลึกเดียวกันกับตัวอย่างดินที่เก็บมา จากนั้นนำมาทดสอบเพื่อจำแนกดินในห้องปฏิบัติการ และทดสอบด้วยวิธีแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำ ตัวอย่างดินมีการควบคุมให้มีค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ เป็น 1 2 และ 4 โดยที่ใช้ 3 ตัวอย่างดินสำหรับแต่ละค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ รวมเป็นตัวอย่างดินทั้งหมด 27 ตัวอย่างดิน จากผลการทดลอง พบว่าตัวอย่างดินจำแนกเป็นดินกลุ่ม A-2-6 (AASTO) หรือ CL (USCS) มีค่าความเชื่อมแน่นประมาณ 0.27-1.09 ตันต่อตารางเมตร และค่ามุมเสียดทานภายในประมาณ 21°-39° นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่ากำลังรับแรงเฉือนในสภาพระบายน้ำมีความสัมพันธ์กับความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่ง และค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำคือ $S_u/\sigma'_{vo} = 0.267OCR^{-0.994}$ ซึ่งสมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือ r^2 เท่ากับ 0.743 ซึ่งสามารถนำไปในการคาดการณ์กำลังรับแรงเฉือนของดินชนิดเดียวกันในบริเวณอื่นได้

Mahasarakham University

TITTLE	Evaluation of strength parameters by triaxial drained test of soil in Northeast of Thailand
AUTHORS	Mr. Nattawoot Tootpor
	Mr. Artid Budpakdee
ADVISOR	Mr. Nopanom Kaewhanam
DEGREE	B. Eng (Civil Engineering)
UNIVERSITY	Mahasarakham University YEAR 2015

ABSTRACT

Strength parameters of soil play an important role in the design of geotechnical engineering. The objective of this research is to study the strength parameters i.e., cohesion and internal friction angle of soil in northeast of Thailand. Undisturbed samples were collected from test pits with the depth of 2.0-2.5 m measured from ground surface in 3 provinces i.e., Maha Sarakham, Khon Kaen and Roi Et. The field density of soil was also determined at site by sand cone method. Soil samples were then classified and were tested by drained triaxial compression test in the laboratory. In the test, soil samples were controlled to achieve the value of overconsolidation ratio of 1, 2 and 4 which 3 samples were tested for 1 ratio. The total soil samples used in this study were 27. The results showed that soil is categorized as A-2-6 (AASTO) or CL (USCS) with the value of cohesion of 0.27-1.09 t/m^2 and internal friction angle of 21°-39°. In addition, the relation between drained shear strength, effective vertical stress and the overconsolidation ratio can be expressed as $S_u/\sigma'_{vo} = 0.267OCR^{-0.994}$ with the coefficient of determination $r^2=0.743$. The relation can be applied to predict the drained cohesion of the same type of soil for other regions.

Mahasarakham University

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ	6
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความเค้น	7
2.2 อัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ (Over consolidation ratio, OCR)	8
2.3 การอัดตัวคายน้ำ	9
2.4 การทดสอบความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)	10
2.5 การหาขนาดเม็ดดิน	10
2.6 การทดสอบขีดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limits)	13
2.7 การจำแนกดินทางวิศวกรรม	14
2.8 กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength of Soil)	17
2.9 ทฤษฎีการวิบัติของดินโดย มอร์-คูลอมป์	18
2.10 เส้นทางความเค้น (Stress Path)	19
2.11 การทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) แบบ CD Test	21
3 วิธีการดำเนินงาน	30
3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา	30
3.2 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	30
3.3 แผนการดำเนินงาน	31
3.4 การเก็บตัวอย่างดิน	31
3.5 ทำการทดลอง	32
3.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	32

Mahasarakham University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ 33
4.1 วิธีการศึกษา 33
4.2 ผลการศึกษา 33
4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษา 43

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 47
5.1 สรุปผลการศึกษา 47
5.2 ข้อเสนอแนะ 48

บรรณานุกรม 49

ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก ภาพการเก็บตัวอย่างดินและทดลองหาความแน่น 52
ภาคผนวก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดิน ที่ค่า OCR 1 2 และ 4 56

ประวัติย่อผู้วิจัย 62

Mahasarakham University

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 สมการสำหรับประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว..... 4
2 แสดงลักษณะของดินที่มีขนาดเมล็ดคละ..... 11
3 แสดงการจำแนกดินโดยระบบ AASHTO..... 15
4 การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification system..... 16
5 พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน..... 23
6 แผนการดำเนินงาน..... 31
7 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม..... 34
8 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น..... 34
9 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด..... 35
10 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit และ Field Density..... 35
11 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 1..... 36
12 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 2..... 37
13 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 4..... 38
14 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 1..... 38
15 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 2..... 39
16 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 4..... 40
17 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 1..... 40
18 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 2..... 41
19 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 4..... 42
20 สรุปพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินในพื้นที่เป้าหมายที่ค่า OCR ที่แตกต่างกัน..... 43

Mahasarakham University

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 ภาพแสดงชั้นดินตามธรรมชาติ 1
2 เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน 2
3 กราฟแสดงการหาค่า c' และ Ø' (Mohr's Circle) ในสภาพการระบายน้ำ 3
4 ความเค้นทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรเล็กๆ dx dy dz ในสภาวะสมดุล 8
5 การหาจุด Maximum Past Pressure 9
6 การกระจายของขนาดเม็ดดิน 10
7 สถานภาพของดินเหนียว 14
8 กำลังที่เกิดจากแรงเสียดทานและกำลังเชื่อมแน่นระหว่างผิวพื้นเม็ดดิน 17
9 หน่วยแรงหลัก 18
10 วงกลมมอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล 19
11 Stress Path 20
12 การแปลผลการทดลองแรงอัด 3 แกนแบบ CD Test 22
13 เครื่องกดตัวอย่าง 24
14 วงแหวนวัดแรงและมาตรวัดการทรุดตัวหรือยืดหดตัว (Dial Gauge) 24
15 เซลล์สามแกน 25
16 ถังเปลี่ยนความดันแบบใช้อากาศ หรือน้ำ 25
17 อุปกรณ์ในการเหลาตัดแต่งตัวอย่างดิน (Carving Tools) 26
18 แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel) 26
19 Air Compressor Pump 27
20 ปั๊มสุญญากาศ 27
21 อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ 28
22 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 1 37
23 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 2 37
24 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.มหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 4 38
25 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 1 39
26 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 2 39

Mahasarakham University

27 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 4 40
28 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 1 41
29 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 2 41
30 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD จาก จ.ร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 4 42
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า S_u/σ'_{vo} 44
32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า $(S_u/\sigma'_{vo})_{OC} / (S_u/\sigma'_{vo})_{NC}$ 45
33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OCR และค่า S_u/σ'_{vo} 46

Mahasarakham University

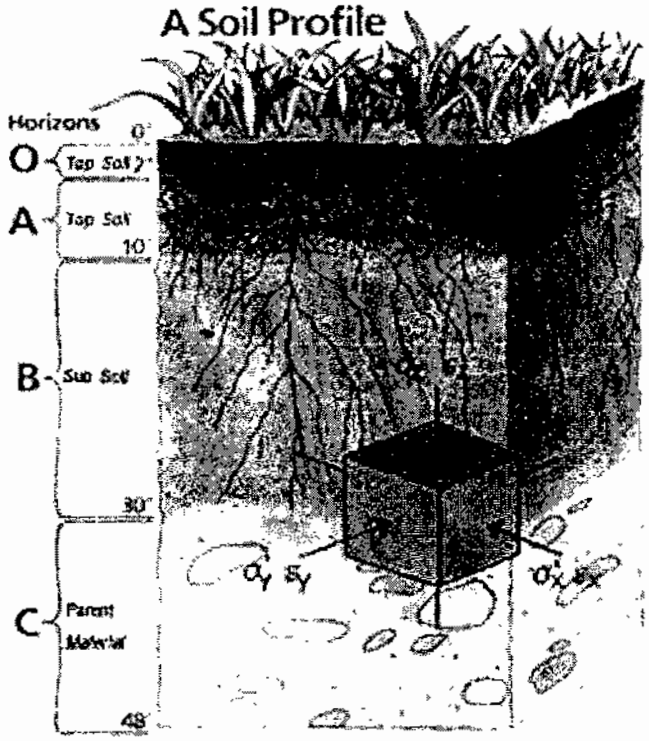
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial Test) เป็นการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนที่มีความถูกต้องมากที่สุดในหลายๆวิธี โดยการทดสอบจะมีสภาพใกล้เคียงความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในชั้นดินธรรมชาติมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอื่นๆ โดยสามารถควบคุมแรงดันรอบตัวอย่างดิน (Confining Pressure) สามารถควบคุมให้เหมาะสมใกล้เคียงตามสภาพธรรมชาติได้ และในระหว่างทำการทดลองความดันน้ำในตัวอย่างดินหรือปริมาตรน้ำที่ไหลเข้าหรือออกจากตัวอย่างดินสามารถทำได้โดยละเอียด (วรากร ไม้เรียง และคณะ: 2525.62) โดยการทดสอบแรงอัดสามแกนนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างต่างๆ

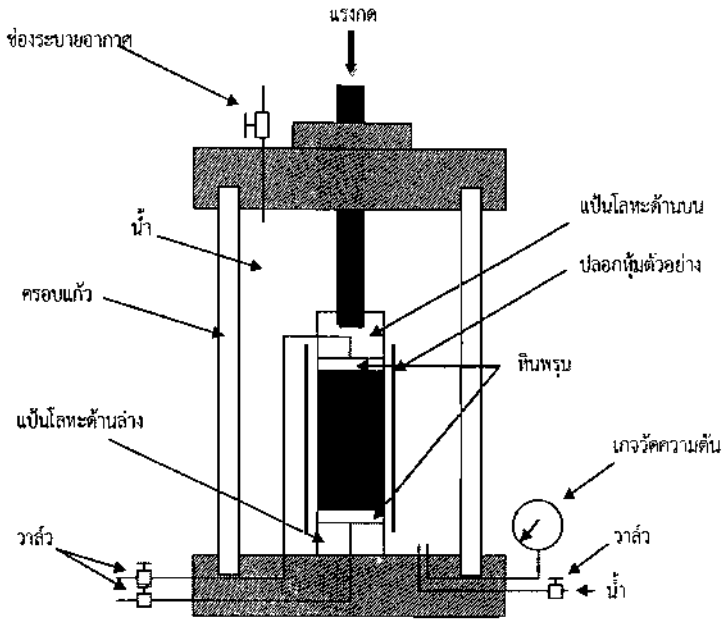
การทดสอบแรงสามอัดสามแกนนั้น เป็นการศึกษาพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของดินและค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยจะจำลองสภาพความเค้นที่มีอยู่ในธรรมชาติ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ภาพแสดงชั้นดินตามธรรมชาติ
(วรากร ไม้เรียง และคณะ: 2525.62)

Mahasarakham University

และได้มีการคิดค้นอุปกรณ์และมาตรฐานการทดสอบแรงอัดสามแกนขึ้นโดย อลัน บิชอป และ เดวิด เฮงเคิล (Bishop & Henkel 1962.130) ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ซึ่งมีความสามารถทดสอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริง



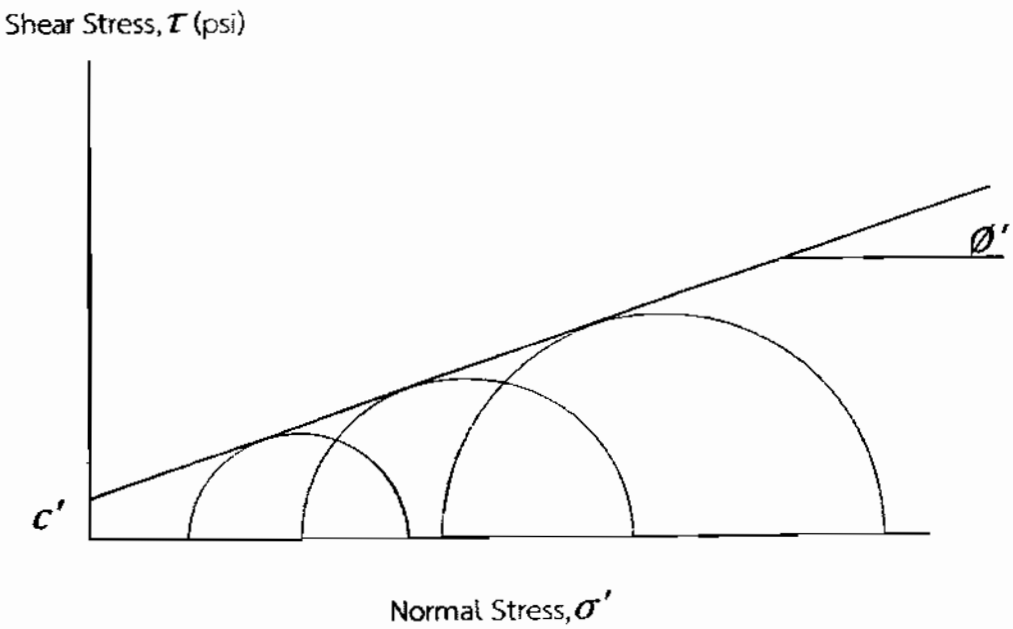
ภาพประกอบ 2 เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน

ในปัจจุบันการทดสอบแรงอัดสามแกนได้มีการพัฒนาให้มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นขึ้น โดยจะใช้การควบคุมและวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ในการทดสอบนั้นจะแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ การทดสอบแบบที่ไม่มีการอัดตัวคายน้ำและไม่มีการระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Test, UU) คือการทดลองที่ทำการปิดวาล์วเพื่อป้องกันการระบายน้ำของช่องว่างระหว่างเม็ดดินไม่ให้ไหลออก จากนั้นทำการเพิ่มความดันใน Cell แล้วเริ่มทำการกดตัวอย่างดินทันทีซึ่งเป็นทดสอบที่ง่ายและรวดเร็ว อย่างไรก็ดีผลที่ได้จะมีความไม่แน่นนอนสูง การทดสอบแบบมีการอัดตัวคายน้ำแต่ไม่มีการระบายน้ำ (Consolidated Undrained Test, CU) การทดลองวิธีนี้ดินจะถูกดันจากแรงดันน้ำรอบข้างให้น้ำไหลออก จากนั้นทำการปิดวาล์วระบายน้ำของตัวอย่างดินและทำการกดตัวอย่างดินทันที การทดสอบแบบมีการอัดตัวคายน้ำและมีการระบายน้ำ (Consolidated Drained test, CD test) การทดสอบวิธีนี้จะทำการเปิดวาล์วระบายน้ำของตัวอย่างดินไว้ตลอดเวลา หลังจากทำการเพิ่มความดันรอบข้างจนการอัดตัวคลายน้ำสิ้นสุดลง จึงทำการกดตัวอย่างดินโดยกระทำอย่างช้าๆ โดยจะมีสภาพเหมือนกับดินที่อยู่ในธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการทดสอบแรงอัดสามแกนจะมีการทดสอบในดินทราย และดินเหนียวแต่มีการศึกษาเกี่ยวกับดินชนิดอื่นน้อยมาก

Mahasarakham University

ในปี 2545 มนตรี บุญเสนอ พบว่าดินส่วนมากในภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย พบว่าเป็นดินลมหอบ (Loess) และในปี พ.ศ. 2546 วัชรินทร์และคณะ ได้กล่าวว่าดินชนิดนี้จะปกคลุมเป็นบริเวณกว้างในเกือบทุกจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงจะมีความหนาเฉลี่ยประมาณ5-6 เมตรจากระดับผิวหนาดิน หากจำแนกลักษณะทางวิศวกรรมดินจะประกอบไปด้วยทรายละเอียดปนทรายแป้ง(Silty sand) จากผลทดสอบในหองปฏิบัติการพบวาแรงยึดเหนี่ยวระหวางเม็ดดินจะมีคานอยมาก ความแข็งแรงของดินจะสูงมากในสภาพแหงแตจะพังทลาย(Collapse) ไดงายเมื่อมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น นอกจากนั้น นบปนม และคณะพบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดินลมหอบ (Loess) แบ่งออกเป็น 3 สี คือ ดินลมหอบสีแดง ดินลมหอบสีเหลือง และดินลมหอบสีเทา ตามระบบ USCS จะจำแนกออกได้ดังนี้คือ SM SC SM-SC ดังนั้นการวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับดินลมหอบทั้ง 3 สี ซึ่งสามารถพบได้ง่ายในพื้นที่เป้าหมาย

ทดลองโดยวิธีแรงอัดสามแกน (Triaxial compression test) ซึ่งการทดลองวิธีนี้จะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีอื่นก็ต้องมีปัจจัยหลายประการ เช่น การเก็บรักษาตัวอย่าง การตัดตัวอย่าง และวิธีการทดสอบ เป็นต้น ซึ่งวิธีการทดสอบการอัดตัวคายน้ำและมีการระบายน้ำ เป็นวิธีที่ดีที่สุดใน 3 วิธี โดยเราจะได้ค่าที่มีความใกล้เคียงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงและนำไปออกแบบฐานรากที่มีการใช้งานในระยะยาว ค่าที่ใช้ออกแบบจากการทดสอบนี้คือ ค่า c' (Cohesion) ค่ามุมเสียดทาน Ø' (Angle of Internal Friction) จะหาได้จากวงกลมมอร์ (Mohr's Circle) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงการหาค่า c' และ Ø' (Mohr's Circle) ในสภาพการระบายน้ำ

Mahasarakham University

จากภาพประกอบ 3 ซึ่งได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนเราจะพิจารณาหาค่า Cohesion, c' โดยลากเส้นสัมผัสวงกลมทั้งสามจนตัดกับแกน Y ดังในภาพโดยเรียกเส้นนี้เรียกว่า ขอบเขตความแข็งแรงของความเค้นประสิทธิผล ก็จะได้ค่า c' และค่า Angle of Internal Friction, Ø' สามารถหาได้โดยลากเส้นขนานแกน X ตัดกับเส้นสัมผัสวงกลมมอร์

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว และได้เสนอสมการดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 สมการสำหรับประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว

ประเภทดิน	สมการ	นักวิจัย
1. ดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally consolidated clay), NC	$\left(\frac{S_u}{\sigma'_{vo}}\right)_{NC} = 0.11 + 0.0037PI$	Skempton (1957)
2. ดินเหนียวอัดแน่นกว่าปกติ (Overconsolidated clay), OC	$\frac{(S_u/\sigma'_{vo})_{OC}}{(S_u/\sigma'_{vo})_{NC}} = OCR^{0.8}$	Ladd, et al. (1977)
	$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = (0.23 \pm 0.04)OCR^{0.8}$	Jamiolkowski, et al. (1985)
3. ดินเหนียวทุกประเภท	$\frac{S_u}{\sigma'_{v\,max}} = 0.22$	Mesri (1975)

โดยที่

S_u = Undrain Shear Strength (kPa)

σ'_{vo} = Vertical effective stress (kPa)

$\sigma'_{v\,max}$ = Maximum vertical effective stress (kPa)

OCR = Overconsolidation ratio

การอัดตัวของดิน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินอย่างมากดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาประวัติการถูกอัดตัวของดินด้วย ซึ่งหาได้จากค่าความดันที่เคยกดทับ (Preconsolidation pressure) ต่อ ค่าความเค้นประสิทธิผลในปัจจุบัน จะได้อัตราส่วนการอัดตัวมากกว่าปกติ (Overconsolidation ratio, OCR) อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับดินที่มีลักษณะคล้ายดินลมหอบ ซึ่งพฤติกรรมต่างๆของดินอาจไม่สอดคล้องกับทฤษฎีพื้นฐาน ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์เป็นไปได้ยาก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนของดินลมหอบในพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด โดยการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำและมีการระบายน้ำด้วย เพื่อหาค่าที่บอกถึงกำลังรับแรงเฉือนของดินลมหอบ และศึกษาเกี่ยวอัตราส่วนการอัดตัวมากกว่าปกติ ของดินชนิดดังกล่าวโดยจะใช้การทดสอบที่ค่า CBR หลายๆค่าเพื่อยืนยันทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Mahasarakham University

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบใน จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด โดยวิธีการอัดตัวคายน้ำและมีการระบายน้ำ

2. เพื่อศึกษาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบใน จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เพื่อให้การศึกษาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ผู้ศึกษา จึงได้กำหนดขอบเขตและข้อจำกัดของโครงการ ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลพื้นที่ที่มีดินลมหอบใน จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด

2. ทำการเก็บตัวอย่างตามแหล่งพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด โดยกำหนดการเก็บตัวอย่างจำนวน 12 ตัวอย่าง

3. นำตัวอย่างดินลมหอบไปทดสอบด้วยวิธี Triaxial Test แบบ Consolidated Drained test, CD test

4. บันทึกผลการทดลองและนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความเค้นเฉือนและความเค้นตั้งฉาก และนำไปพล็อตกราฟวงกลมมอร์เพื่อหาค่าความต้านทานแรงเฉือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบว่าคุณสมบัติการต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบในพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด

2. ทราบว่าค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบใน จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR แตกต่างกัน

Mahasarakham University

1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ

ในการศึกษาพฤติกรรมการต้านทางแรงเฉือนของดินลมหอบ โดยทำการศึกษาในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งต้องเดินทางไปเก็บตัวอย่างดินลมหอบทั้งสิ้นจำนวน 20 ตัวอย่างสำหรับการทดลองแบบ Triaxial Test (Consolidated Drained test) ที่ความลึก 2.0 เมตรถึง 3.0 เมตร การเก็บข้อมูลในครั้งนี้ ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือการดำเนินงานคิดเป็นค่าเหมาจ่าย 10,000 บาท ดังนี้

1. ค่ายานพาหนะแบบเหมารวม (รถตู้เพื่อไม่ให้ดินได้รับการรบกวน) จำนวน 8,500 บาท
   1.1 เดินทางเก็บตัวอย่างที่ จังหวัดขอนแก่น
   1.2 เดินทางเก็บตัวอย่างที่ จังหวัดมหาสารคาม
   1.3 เดินทางเก็บตัวอย่างที่ จังหวัดร้อยเอ็ด
2. ค่าอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน จำนวน 1000 บาท
   2.1 กล่องโฟมกันกระแทก
   2.2 พลาสติกหุ้มตัวอย่าง

ค่า Flash Drive (USB) ขนาดความจุ 16 GB 1 เครื่อง จำนวน 500 บาท

Mahasarakham University

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้จะเกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ต้องทำการศึกษาอยู่หลายส่วนดังต่อไปนี้

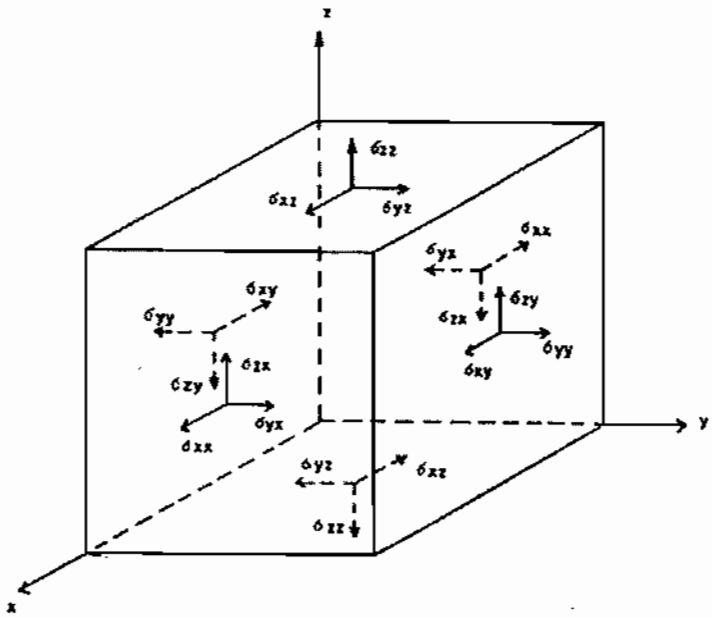
1. ความเค้น (Stress)
2. อัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ (OCR)
3. การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)
4. การทดสอบความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)
5. การหาขนาดเม็ดดิน
6. การทดสอบซีดอัตเทอร์เบอร์ก (Atterberg's Limits)
7. การจำแนกดินทางวิศวกรรม
8. กำลังรับแรงเฉือนของดิน
9. ทฤษฎีการวิบัติของดินโดยมอร์-คูลอมป์
10. เส้นทางความเค้น (Stress Path)
11. การทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) แบบ CD Test

2.1 ความเค้น

ความเค้นคือ แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หากแรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ เรียก ความเค้นนั้นว่า ความเค้นปกติ (normal stress) แต่ถ้าหากแรงกระทำขนานกับพื้นที่ ความเค้นดังกล่าวคือ ความเค้นเฉือน (shearing stress) ความเค้นอาจเกิดขึ้นได้จากทั้งกรณีแรงกดลงหรือดึงขึ้น ณ พื้นผิวใด ๆ กรณีแรงกด เรียกความเค้นดังกล่าวว่า ความเค้นอัด (compressive stress) ส่วนกรณีแรงดึง เรียกความเค้นนั้นว่าความเค้นดึง (tensile stress)

ถ้าหากพิจารณาปริมาตรเล็ก ๆ dx dy dz ภายในวัตถุที่ถูกกระทำโดยแรงภายนอกจนอยู่ในสภาวะสมดุล ความเค้นที่กระทำต่อพื้นผิวเล็ก ๆ ทั้งหกผิว สามารถแยกออกได้ดังแสดงในรูป เมื่อ σ_{xx}, σ_{yy}, σ_{zz} คือ ความเค้นปกติ ส่วน σ_{xy}, σ_{yx}, σ_{yz}, σ_{zy}, σ_{zx}, σ_{xz} คือความเค้นเฉือน จะเห็นได้ว่าเพื่อให้วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล นอกจากความเค้นที่กระทำต่อผิวที่อยู่ตรงข้ามต้องมีขนาดเท่ากัน และทิศทางความเค้นคือ $\sigma_{yx} = \sigma_{xy}$, $\sigma_{zx} = \sigma_{xz}$ และ $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$ มิฉะนั้นจะเกิดการหมุน

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 4 ความเค้นทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรเล็กๆ d_x d_y d_z ในสภาวะสมดุล
(รศ.มนตรี บุญเสนอ: 2545.94)

2.2 อัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ (Over consolidation ratio, OCR)

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ (OCR) ที่อ้างอิงมาจากค่าความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่งเท่านั้นดังสมการ (2.1) และจะใช้หลายๆ ค่าในการทดลอง เพราะดินแต่ละที่ค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำจะไม่เท่ากัน ซึ่งค่าความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่งสูงสุดในอดีต (σ'_{vmax}) จะหาได้จากกระบวนการการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) และค่าความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่ง ณ ปัจจุบัน (σ'_{vo}) จะหาได้จากการทดสอบความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone Method) นั่นเอง

$$OCR = \frac{\sigma'_{vmax}}{\sigma'_{v0}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ OCR = ค่าอัตราส่วนการอัดตัวคายน้ำ

σ'_{vmax} = ค่าความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่งสูงสุดในอดีต

σ'_{vo} = ค่าความเค้นประสิทธิผลแนวดิ่ง ณ ปัจจุบัน

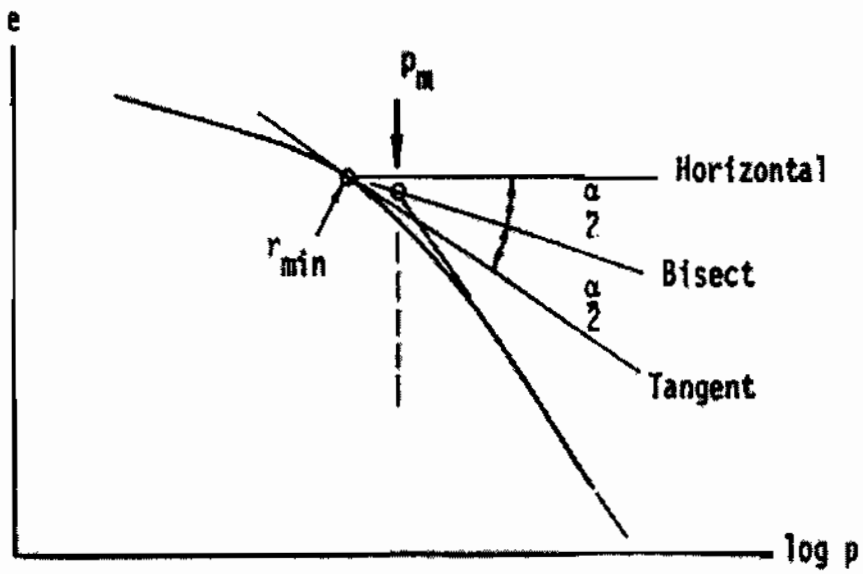
Mahasarakham University

2.3 การอัดตัวคายน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้เราจะนำค่าที่ได้จากขั้นตอน Consolidation State ที่อยู่ในกระบวนการของ Triaxial Test แบบ CD Test มาคำนวณเพื่อหาค่า OCR ในตัวอย่างดินนั้นโดยมีขั้นตอนดังนี้

นำตัวอย่างดินที่ผ่านการตัดเป็นรูปทรงกระบอกมาติดตั้งที่ฐานรองและพร้อมทำการทดลอง หลังจากนั้นเพิ่มน้ำเข้าไปจนเต็ม ตัวอย่างดินก็จะถูกอัดทุกๆ ด้านด้วยแรงดันที่เท่าๆกัน เรียกว่า Confining Pressure หรือ Consolidation Pressure ภายใต้แรงดันนี้ก็เปรียบเสมือนเรานำตัวอย่างดินเข้าสู่สภาพความดันใต้ชั้นดิน ถ้ายิ่งลึกมากๆ ก็ยิ่งต้องมี Confining Pressure มาก พร้อมทั้งบันทึกการทรุดตัวในแนวดิ่งและปริมาตรน้ำในหลอดแก้วที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา และสามารถตรวจสอบได้ว่าการอัดตัวคายน้ำสิ้นสุดหรือยัง โดยการวาดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำในหลอดแก้วที่เพิ่มขึ้นกับ Log ของเวลา อาจจะมีการปล่อยให้น้ำภายในตัวอย่างดินไหลออกจนสู่สภาพสมดุล คือ ไม่ไหลต่อไปแล้ว ซึ่งในส่วนการทดลองนี้เราจะได้ค่า σ'_{vmax} นั่นเอง

-การหา σ'_{vmax} (Maximum past pressure) ทำได้โดยวิธีการของ Casagrande (1936) และเป็นความดันสูงสุดซึ่งตัวอย่างดินเคยถูกกดทับมาในอดีต ดังรายละเอียดภาพประกอบ5



ภาพประกอบ 5 การหาจุด Maximum Past Pressure
(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.23)

Mahasarakham University

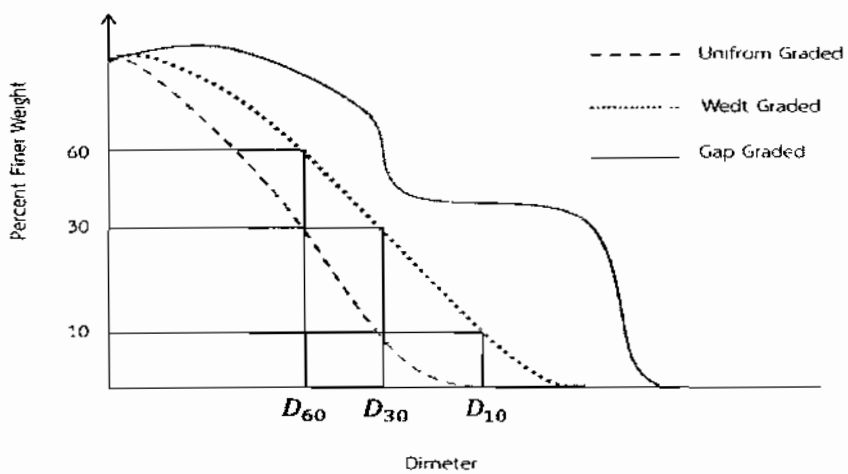
2.4 การทดสอบความหนาแน่นโดยใช้กรวยทราย (Sand Cone Method)

Sand Cone Method วิธีนี้ใช้ทรายช่วยในการหาปริมาตรของหลุม ทรายที่ใช้ คือ Ottawa sand ซึ่งมีเม็ดของทรายกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน (Uniform) เพื่อที่จะให้ผลของความหนาแน่นเท่ากันโดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดหยาบและเม็ดเล็ก (Segregation) ขณะทำการทดลอง ถ้าหากไม่มี Ottawa sand อาจจะใช้ทรายซึ่งร่อนผ่านตะแกรง No. 20 แต่ค้างบนตะแกรง No. 30 หรือทรายขนาดผ่านตะแกรง No. 30 แต่ค้างบนตะแกรง No. 40 แทนได้

ก่อนอื่นต้องทำการ Calibrate Bulk Density ของทรายและทำการ Calibrate หาปริมาตรของขวด ขั้นตอนต่อไปให้ตวงทรายใส่ให้เต็มโดยเม็ดทรายต้องไหลลงขวดอย่างอิสระจนเต็ม ทำการปิดวาล์วและชั่งน้ำหนักต่อไป ส่วนในการเตรียมพื้นที่ควรทำความสะอาดอย่างเรียบร้อย ขุดหลุมพร้อมกับเตรียมอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องและดินที่ขุดขึ้นมานำไปหาความชื้นด้วย หลังจากนั้นก็คว่ำทรายลงแทนที่ดินที่ขุดขึ้นมาพร้อมกับให้ทรายไหลลงหลุมอย่างอิสระจนเต็ม จึงทำการปิดวาล์วและนำทรายที่เทลงหลุมขึ้นมาพร้อมการชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักรวมของดินในกระบวนการต่อไป

2.5 การหาขนาดเม็ดดิน

ในการศึกษาครั้งนี้จะมีการทดลองที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ชนิดคือ การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน(Sieve Analysis) และการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)ซึ่งผลการทดลองที่จะแสดงออกมาเป็นรูปของกราฟดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 6 การกระจายของขนาดเม็ดดิน

Mahasarakham University

จากภาพประกอบ 6 กราฟจะมีอยู่ 2 กรณีดังนี้

-ถ้าผลจากการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) เมื่อนำมาพล็อตกราฟแล้วสามารถหาค่า D_{60} D_{30} และ D_{10} ได้แล้วนั้นก็ไม่ต้องทำการการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

-ถ้าผลจากการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) เมื่อนำมาพล็อตกราฟแล้วสามารถหาค่าได้เพียง D_{60} และ D_{30} ก็ต้องทำการการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) เพื่อหาค่า D_{10} ในกระบวนการต่อไป

ซึ่งค่า D_{60} D_{30} และ D_{10} แทนขนาดของเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงคิดเป็นร้อยละโดยน้ำที่จุด 60%, 30% และ 10% ตามลำดับ และยังจะไปเชื่อมโยงกับสมการ (2.2) และ(2.3) ดังต่อไปนี้

$$C_u = D_{60} / D_{30} \qquad (2.2)$$

และ $$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60}) \qquad (2.3)$$

เมื่อ C_u = ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity)

C_c = ค่าสัมประสิทธิ์เส้นความโค้ง (Coefficient of Curvature)

ค่า C_u และ C_c จะบ่งบอกถึงลักษณะของดินที่มีขนาดคละกันดีดังแสดงในตาราง

ตาราง 2 แสดงลักษณะของดินที่มีขนาดเมล็ดคละ

ชนิด	C_u	C_c
หิน	มากกว่า 4	1 – 3
ทราย	มากกว่า 6	1 – 3

(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.26)

Mahasarakham University

2.5.1 วิธีการทดสอบ

2.5.1.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง

-ชั่งตะแกรงทุกๆ ขนาดที่ใช้ โดยตาชั่งอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบ โดยมีขนาดละเอียดถึงเบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง

-ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบ แยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก

- นำตัวอย่างดินที่อบชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด โดยมีฝาปิดด้าน บนและมีถาด (PAN) รองด้านล่างรวมเป็นเถาของตะแกรงนำไปเข้าเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) เขย่านานอย่างน้อย 10 นาที

-ชั่งทั้งดินที่ค้างอยู่ในแต่ละตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาค่า %F

2.5.1.2 วิธีตกตะกอน

- นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่น และน้ำยา Dispersing Agent (4% สารละลาย Sodium hexa meta phosphate) ดังรูปด้านล่าง จนได้น้ำผสมประมาณ 300 – 500 ลบ. ซม.

-ปั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 10 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ลบ.ซม.

-ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้างๆ อีกหนึ่งกระบอกไว้เพื่ออ่านค่าปรับแก้ เนื่องจากอุณหภูมิและแซ่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด

-ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลง เริ่มจับเวลาทันที

-หย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า Ra ที่เวลา 0.25, 0.5, 1 และ 2 นาที โดยไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออก จนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออก แล้วเขย่ากระบอกใหม่

-วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้ววัด R1 ที่ 2, 5, 10, 20, ...ฯลฯ จนไฮโดรมิเตอร์อ่านประมาณ 8 ถึง 15 ขีด ซึ่งอาจกินเวลาถึง 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการอ่านให้วัดอุณหภูมิด้วยอย่างน้อยทุกๆ 1 ชม

-เมื่อทดลองเสร็จแล้ว เทส่วนผสมลงในถาด นำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

Mahasarakham University

2.6 การทดสอบขีดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limits)

ในการศึกษาจุดเปลี่ยนสภาพของมวลดิน จะมีวิธีที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 วิธีคือ Liquid Limit Plastic Limit และ Shrinkage Limit แต่ที่เกี่ยวข้องหลักๆคือ Liquid Limit กับ Plastic Limit เท่านั้น

2.6.1 Liquid Limit คือ ความชื้นของมวลดินที่เมื่อเตรียมดินลงในถ้วยเคาะ (Liquid limit device) โดยมีรอยบากมาตรฐาน แล้วเคาะได้ 25 ครั้ง รอยบากนั้นจะเคลื่อนมาบรรจบกัน ยาวประมาณ 1 ซ.ม. พอดีซึ่ง A.Cassagrande ได้ให้ความเห็นไว้ว่าเท่ากับความชื้น ณ. จุดที่กำลังของดินเท่ากับ 25 กรัม/ตร.ซ.ม. โดยเปรียบเทียบไว้ว่าการเคาะแต่ละครั้ง เท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อมวลดินมีค่าประมาณ 1 กรัม/ ตร.ซ.ม.

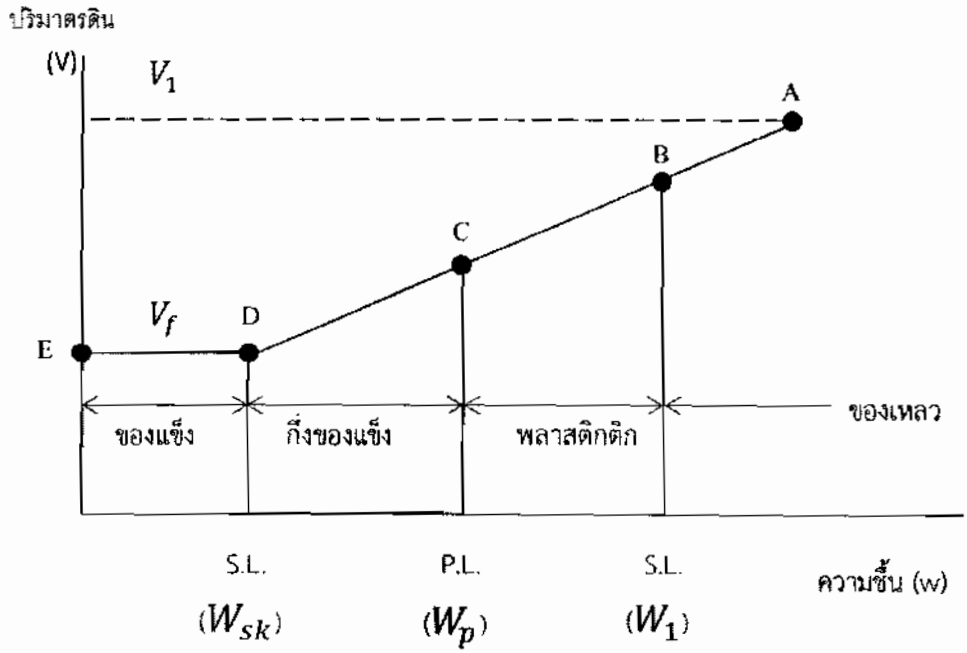
2.6.2 Plastic limit คือ ความชื้นในมวลดิน ซึ่งเมื่อถูกปั้นคลึงเป็นเส้นยาวและมีขนาด 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วจะมีรอยแตกปรีโดยรอบผิวดินเกิดขึ้นพอดี ซึ่งในการปฏิบัติจริงทำได้ยากพอสมควรต้องอาศัยความชำนาญ กว่าจะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 จะมีความเกี่ยวข้องอีกค่าหนึ่งคือ Plasticity Index (PI) โดยค่านี้เราเรียกว่าค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดิน หรือหมายถึงค่าผลต่างของขีดความเหลว และขีดความเหนียว มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไหวต่อการเปลี่ยนสภาพต่อความชื้นต่อมวลดินนั้นจึงเป็นค่าที่สำคัญและนำมาใช้มากในการจำแนกดิน ซึ่งมีสมการดังนี้

$$PI = LL - PL \qquad (2.4)$$

เมื่อ PI = ดัชนีพลาสติก (Plasticity Index)
LL= พิกัดเหลว (Liquid Limit)
PL= พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 7 สถานภาพของดินเหนียว

2.7 การจำแนกดินทางวิศวกรรม

การจำแนกดินสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม อาศัยการจำแนกด้วยตาเปล่า และผลการกระจายของเม็ดดิน ขีดเหลว และขีดพลาสติก ปริมาณของเม็ดดินขนาดต่างๆ จะถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของดิน พร้อมกับสมบัติทางด้านพลาสติกซิตี้ ระบบจำแนกดินที่ใช้มากที่สุดในงานฐานรากและผู้ศึกษานำมาศึกษามีดังนี้

2.7.1 ระบบ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)

ดังแสดงในตาราง 3 แสดงการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งมีตั้งแต่ A-1 ถึง A-7 ตัวเลขมากขึ้นแสดงว่าดินมีพลาสติกซิตี้สูงขึ้น และมีสมบัติทางด้านการทรุดตัวที่สูง การแยกใช้ค่าขีดเหลว ดัชนีพลาสติกซิตี้ การกระจายเม็ดดิน และค่าดัชนีกลุ่ม (Group Index, GI)

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามการกระจายของเม็ดดิน
2. แบ่งตามค่า Atterberg's Limits
3. แบ่งตามค่า Group Index โดยค่า GI หาได้ดังนี้

Mahasarakham University

$$G.I. = 0.2a + 0.005\,ac + 0.001\,bd \qquad (2.5)$$

เมื่อ a = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 35% แต่ต่ำกว่า 75% ใช้เลขจำนวนเต็ม
b = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 15% แต่ต่ำกว่า 55% ใช้เลขจำนวนเต็ม
c = ค่า LL ส่วนที่เกิน 40% แต่ต่ำกว่า 60% ใช้เลขจำนวนเต็ม
d = ค่า PI ส่วนที่เกิน 10% แต่ต่ำกว่า 30% ใช้เลขจำนวนเต็ม

ตาราง 3 แสดงการจำแนกดินโดยระบบ AASHTO

General classification	Granular Materials (35% or Less Passing No.200)							Silt-Clay Materials More than 35% Passing No.200)			
	A-1			A-2							A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve analysis,percent passing:											
No.10	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.40	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
No.200	15 max	25 max	10 min	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Charateristics of fraction passing No.40:											
Liquid limit	-		-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clay gravel and sand				Silty siols		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.30)

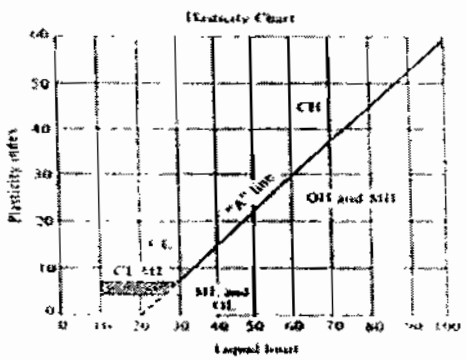
Mahasarakham University

2.7.2 ระบบ USCS (Unified soil classification system)

ใช้อักษรย่อ 2 ตัว ทำให้จดจำง่าย และมีความหมายในตัวเอง เช่น G = Gravel (กรวด), S = Sand (ทราย), M = Silt (ดินทราย), C = Clay (ดินเหนียว), W = Well Graded (เม็ดคละ), P = Poorly Grade (เม็ดไม่คละ), H = High Liquid Limit (L.L. มีค่าสูง), L = Low Liquid Limit (L.L. มีค่าต่ำ) หรือ O = Organic (ดินมีอินทรียสารปนมาก) ดังแสดงตารางที่ 4

ตาราง 4 การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification system

Major Divisions			Group Symbols	Typical Names	Laboratory Classification Criteria
Coarse-grained soils (More than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	Clean gravels (Little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for GW
		Gravels with fines (Appreciable amount of fines)	GM[a] d u	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or P.I. less than 4 / Above "A" line with P.I. between 4 and 7 are border line cases requiring use of dual symbols
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits below "A" line with P.I. greater than 7
	Sands (More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	Clean sands (Little or no fines)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 6; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for SW
		Sands with fines (Appreciable amount of fines)	SM[a] d u	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits above "A" line or P.I. less than 4 / Limits plotting in hatched zone with P.I. between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with P.I. greater than 7
Fine-grained soils (More than half of material is smaller than No. 200 sieve)	Silts and clays (Liquid limit less than 50)		ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size) coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5 per cent — GW, GP, SW, SP; More than 12 per cent — GM, GC, SM, SC; 5 to 12 per cent — Borderline cases requiring dual symbols[b]
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
			OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	
	Silts and clays (Liquid limit greater than 50)		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	
			CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
			OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	
Highly organic soils			Pt	Peat and other highly organic soils	



(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.32)

Mahasarakham University

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะขนาดเม็ดดิน เป็นพวกเม็ดหยาบได้แก่ กรวด (Gravel) และทราย (Sand) และพวกเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) และดินทราย (Silt)

2. แบ่งย่อยตามลักษณะการกระจายของเม็ด สำหรับพวกเม็ดหยาบเป็นพวกที่เม็ดคละหลายขนาด (Well Graded) และเม็ดไม่คละ เนื่องจากมีเม็ดขนาดเดียวกันมากหรือขนาดเม็ดขาดช่วง (Poorly Grade)

3. แบ่งย่อยตามค่า Atterberg's Limits สำหรับพวกเม็ดละเอียด เรียกว่า Plasticity เช่น พวกมีค่า L.L. และ P.I. สูงเรียกว่า High Liquid Limit เป็นต้น

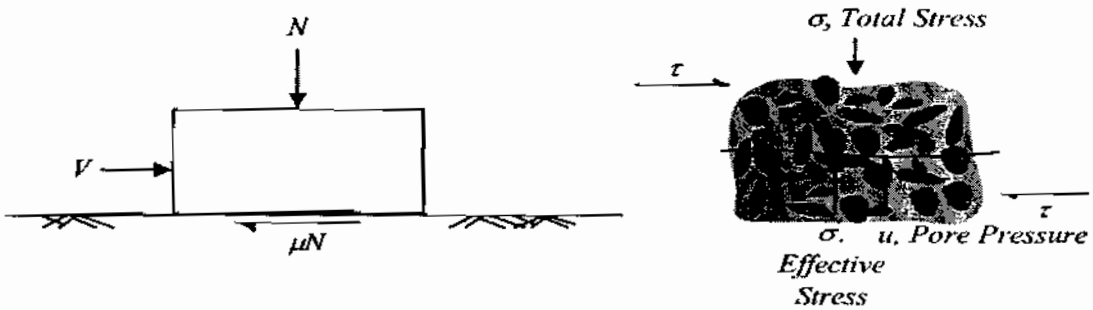
เมื่อถึงขั้นสุดท้าย จะมีอักษรย่อแทน 2 ตัว (ในกรณีก้ำกึ่งใช้ 4 ตัว) เช่น CH, GW, SP หรือ GM-GC, ML-CL

2.8 กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength of Soil)

กำลังรับแรงเฉือนของดินเกิดจาก 2 ส่วนหลัก คือ

1. กำลังเสียดทานระหว่างเม็ดดิน (Frictional Strength) และการขัดกันระหว่างเม็ดดิน (Interlocking of Particles)

2. กำลังเชื่อมแน่นระหว่างผิวเม็ดดิน (Cohesive Strength) เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดิน



ภาพประกอบ 8 กำลังที่เกิดจากแรงเสียดทานและกำลังเชื่อมแน่นระหว่างผิวพื้นเม็ดดิน (สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.18)

Mahasarakham University

2.9 ทฤษฎีการวิบัติของดินโดย มอร์-คูลอมป์

Mohr (1900) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับความแข็งแรงของดินว่า การวิบัติของดินไม่ได้เกิดขึ้นในระนาบที่มีค่าความเค้นเฉือนที่มากที่สุด แต่ตะเกิดขึ้นในระนาบที่วิกฤติเนื่องจากผลของความเค้นในแนวตั้งฉากและความเค้นเฉือนรวมกัน

2.9.1 ทฤษฎีการวิบัติของ Mohr-Coulomb สามารถวิเคราะห์ได้ 2 สภาวะ ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในสนามดังต่อไปนี้

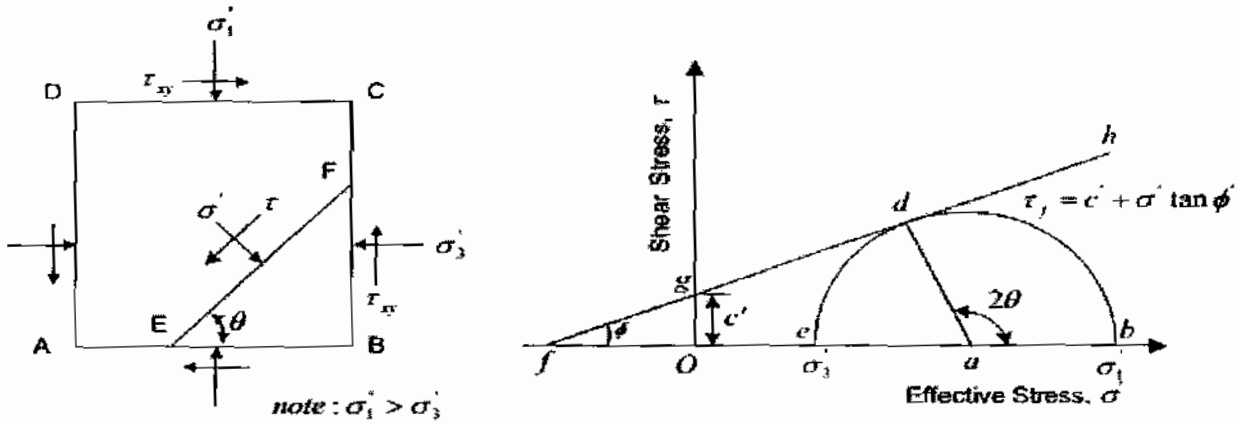
-สภาวะหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress)

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \qquad (2.6)$$

- สภาวะหน่วยแรงรวม (Total Stress)

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \qquad (2.7)$$

2.9.2 หน่วยแรงหลักที่จุดวิบัติและระนาบวิบัติ



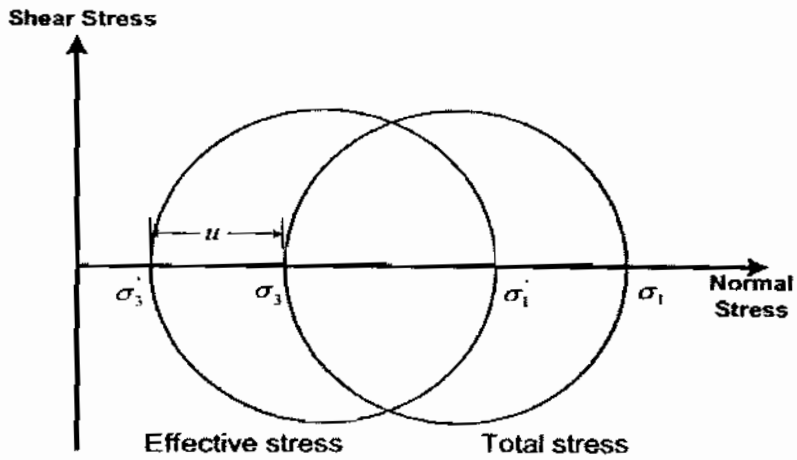
(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.24)

จากรูปเรขาคณิต มุมวิบัติ; $\theta = 45 + \frac{\phi'}{2}$ (2.8)

หน่วยแรงหลักประสิทธิผล $\sigma' = \sigma'_3 \tan^2 (45 + \frac{\phi'}{2}) + 2c' \tan (45 + \frac{\phi'}{2})$ (2.9)

Mahasarakham University

2.9.3 วงกลมมอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล



ภาพประกอบ 10 วงกลมมอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.24)

จากภาพประกอบ 10 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นรวม (σ) ความเค้นประสิทธิผล(σ') และความดันโพง (U) ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma = \sigma' + u \qquad (2.10)$$

หรือ $$\sigma' = \sigma - u \qquad (2.11)$$

2.10 เส้นทางความเค้น (Stress Path)

Stress Path คือเส้นทางที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในมวลดินแสดงได้ด้วยเส้นและลูกศรที่ลากผ่านจุดยอดของวงกลมมอร์ยังคงให้ข้อมูลที่เทียบเท่าการเขียนวงกลมมอร์ แต่จะแสดงได้ง่ายกว่าเพราะไม่ต้องเขียนวงกลมหลายวงต่อเนื่องกันและยังคงเปลี่ยนกลับมาเขียนวงกลมมอร์ได้ง่าย

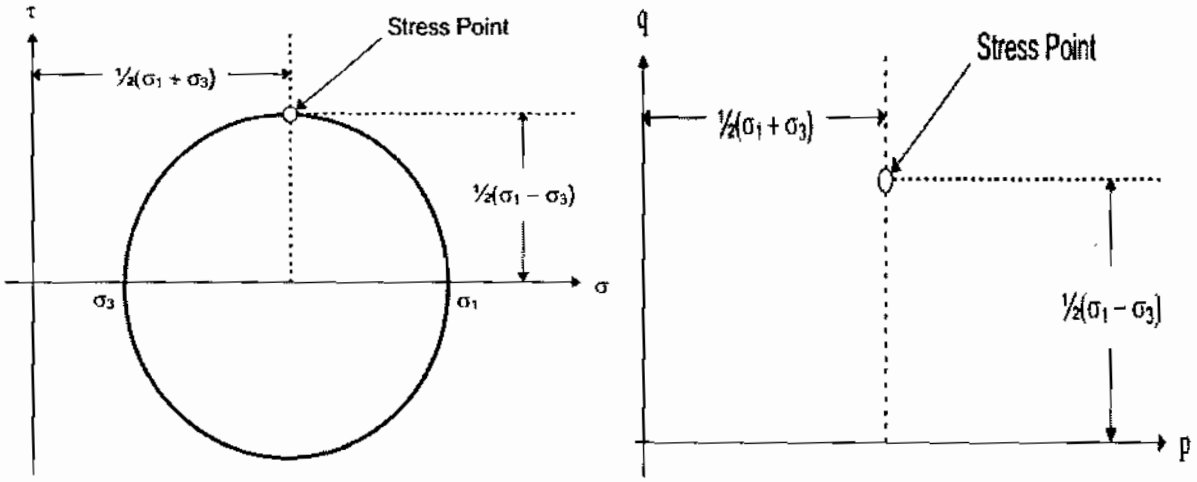
Lambe และ Whitman (1969) ได้เสนอวิธีการใช้ p-q ไดอะแกรมและทางเดินของหน่วยแรงสำหรับงานวิศวกรรมปฐพีแทนการเขียนวงกลมมอร์ โดยให้คำจำกัดความของ p-q และทางเดินหน่วยแรงดังนี้

Mahasarakham University

p คือ ค่าหน่วยแรงในแนวตั้งฉากบนระนาบทำมุม 45 องศา กับระนาบ σ_1 ส่วน q คือ ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในมวลดินที่จุดนั้น หน่วยแรงเฉือนนี้อยู่บนระนาบที่ทำมุม 45 องศากับระนาบของ σ_1 เช่นกันดังนั้น

$$P = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (2.12)$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2.13)$$



ภาพประกอบ 11 Stress Path

(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.26)

2.10.1 **ข้อดีของเส้นทางความเค้น** (Stress Path) **มีดังนี้**

-ง่ายต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในมวลดิน จากสาเหตุต่างๆ

-สามารถทราบพฤติกรรมและประวัติของดินจากรูปร่างของ Stress Path

-สามารถจำลองสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในมวลดินและนำมาทดสอบเพื่อคาดการณ์ในห้องทดลองได้

Mahasarakham University

2.11 การทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) แบบ CD Test

2.11.1 ขั้นตอนการทดสอบแรงอัด 3 แกนมีดังต่อไปนี้

-การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัว (Saturation Stage)

Saturation Stage คือการให้ความดันกลับ (Back pressure) กับตัวอย่างดินประมาณ 150-200 kPa เพื่อทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ Back pressure จะต้องถูกเพิ่มเป็นขั้นๆ ขั้นตอนละ 25 kPa ระหว่างที่ทำการเพิ่มความดันกลับ ต้องควบคุมความดันรอบข้างให้มีค่าสูงกว่าความดันกลับเสมอ เพื่อป้องกันการวิบัติของดิน ความดันควรต่างกันประมาณ 10-20 kPa เมื่อได้ความดันที่ต้องการแล้วเปิดวาล์วระบายน้ำและปล่อยตัวอย่างดินให้อยู่สภาพนี้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

-การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Stage)

หลังสิ้นสุดขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัว บันทึกปริมาตรน้ำในหลอดแก้ววัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดิน และการทรุดตัวในแนวดิ่ง และทำการปิดวาล์วน้ำพร้อมกับวางแกนให้น้ำหนักบนแท่นน้ำหนัก ต่อจากนั้นทำการเพิ่มความดันรอบข้างจนได้รับความดันรอบข้างประสิทธิผลที่ต้องการ และเปิดวาล์วน้ำ พร้อมทั้งบันทึกการทรุดตัวในแนวดิ่งและปริมาตรน้ำในหลอดแก้วที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา และสามารถตรวจสอบได้ว่าการอัดตัวคายน้ำสิ้นสุดหรือยัง โดยการวาดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำในหลอดแก้วที่เพิ่มขึ้นกับ Log ของเวลา

-การกดตัวอย่าง (Shearing Stage)

เป็นการให้แรงในแนวแกนจนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ มีทั้งแบบควบคุมแรง (Load control) โดยทำการควบคุมลูกสูบให้แรง (Loading piston) หรือควบคุมเคลื่อนที่ (Displacement control) จากการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้การเคลื่อนที่ขึ้นลงของแท่นฐาน

2.11.2 วิธีการทดลองแรงอัด 3 แกนแบบ CD Test

-เตรียมแท่นวางตัวอย่างดิน (Pedestal)

-หุ้มตัวอย่างดินด้วยปลอกยาง (Rubber membrane) เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไปในตัวอย่างดินขณะทดลอง

-วางหินพรุนและอุปกรณ์ปิดด้านบนใช้วงแหวนรัดยึดปลอกยาง แล้วนำตัวอย่างดินมาวางบนแท่นโลหะ โดยแท่นนี้จะมีรูต่อไปยังวาล์วเพื่อระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน นอกจากนี้แท่นโลหะด้านบนที่วางซ้อนอยู่บนตัวอย่างดินจะมีรูที่สามารถระบายน้ำได้ด้วย

-ติดตั้งเซลล์บรรจุตัวอย่าง ซึ่งบรรจุตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้วให้เข้าที่บนโครงรับน้ำหนักและเติมน้ำให้เต็มห้องบรรจุตัวอย่าง และปิดวาล์วระบายน้ำ ซึ่งในขั้นตอนต่อไปนี้จะเปิดวาล์วระบายน้ำออกจากตัวอย่างดินไว้ตลอดเวลาจนทำการทดลองเสร็จสิ้น

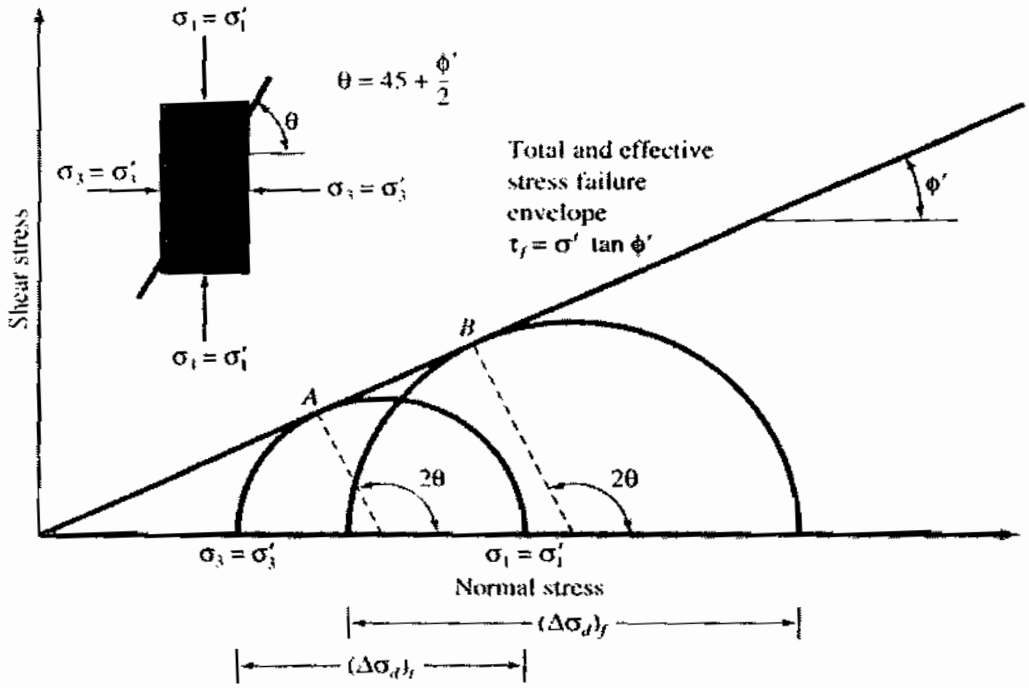
-เพิ่มแรงดันด้านข้างให้เท่ากับแรงดันของดิน ซึ่งเกิดจากส่วนของดินที่อยู่เหนือจุดต้องการ พิจารณา (Over-burden pressure) ที่ตัวอย่างดินนั้นเคยได้รับ

-เปิดสวิทช์เครื่องเพิ่มแรงกดตามแนวแกน ซึ่งจะต้องกระทำอย่างช้าๆ ความเร็วในการกดควรอยู่ในช่วง 1-0.0005 mm/min

Mahasarakham University

-หลังจากการทดสอบถึงจุดวิบัติแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินและนำไปใส่ตู้อบแห้งหาค่า ปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

2.11.3 การแปลผลการทดลองแรงอัด 3 แกนแบบ CD Test



ภาพประกอบ 12 การแปลผลการทดลองแรงอัด 3 แกนแบบ CD Test
(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.28)

Mahasarakham University

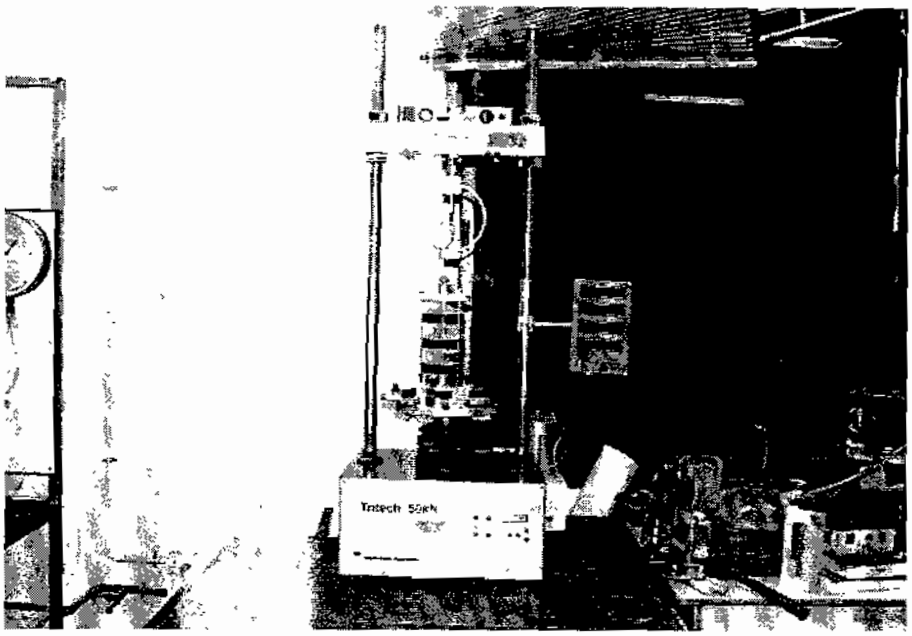
ตาราง 5 พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแบบสามแกน

ชนิดการทดสอบ	ประเภทดินที่เหมาะสม	ค่าที่ได้	ลักษณะเฉพาะ
Unconsolidated Undrained Triaxial Test (UU-Test)	ดินเหนียว,ทรายแป้งและดินเหนียวบดอัดที่ไม่อิ่มตัว	Cu , Ø สำหรับดินที่บดอัดไม่อิ่มตัว Øเท่ากับศูนย์	ไม่สามารถแทนสภาพการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินที่อิ่มตัวได้
Consolidated Undrained Triaxial Test (CU-Test)	ดินบดอัด,ดินทราย,ทรายแป้งและดินเหนียว	Cu , Ø , u สำหรับดินอิ่มตัวและถ้าวัดแรงดันน้ำในตัวอย่างดินจะได้ C' , $Ø'$, Δu, E, V	เป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานของ Triaxial Test
Consolidated Drained Triaxial Test (CD-Test)	ดินทราย,ทรายแป้งและดินเหนียว	C', $Ø'$, E, ΔV	ใช้เวลานานในการทดสอบจึงนิยมใช้กับดินทรายหรือดินที่ระบายน้ำได้ดี

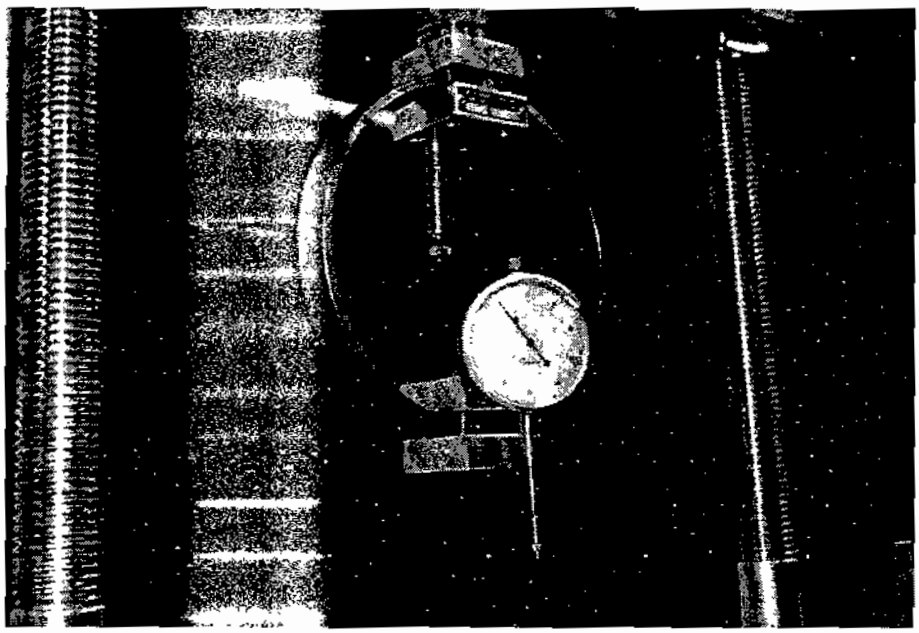
(สถาพร คูวิจิตรจารุ: 2546.29)

Mahasarakham University

2.11.4 อุปกรณ์และเครื่องมือใน[illegible] Triaxial Compression Test

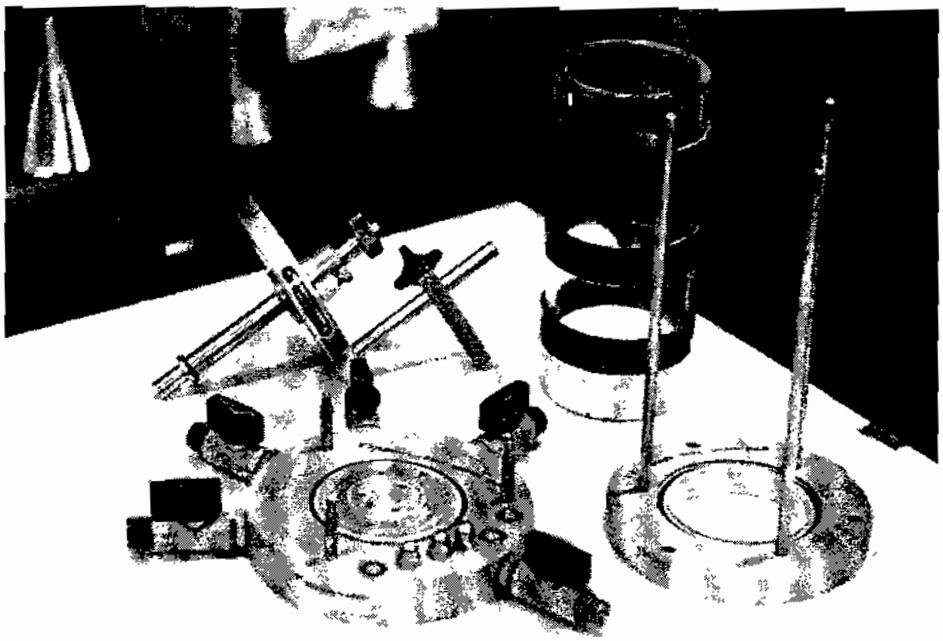


ภาพประกอบ 13 เครื่องกดตัวอย่าง

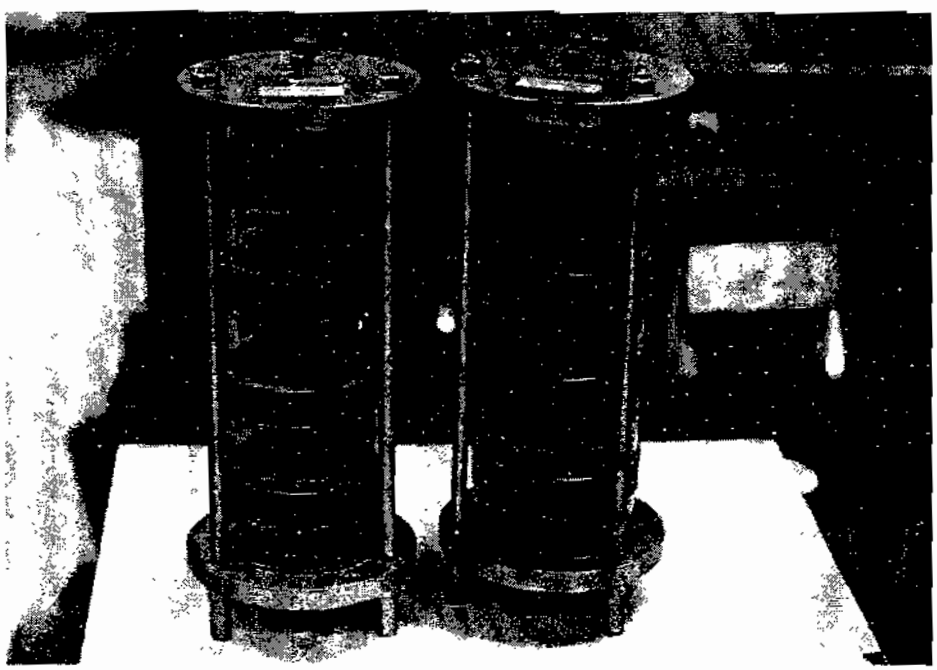


ภาพประกอบ 14 [illegible]แรงและมาตรวัดการทรุดตัวหรือยืดหดตัว (Dial Gauge)

Mahasarakham University

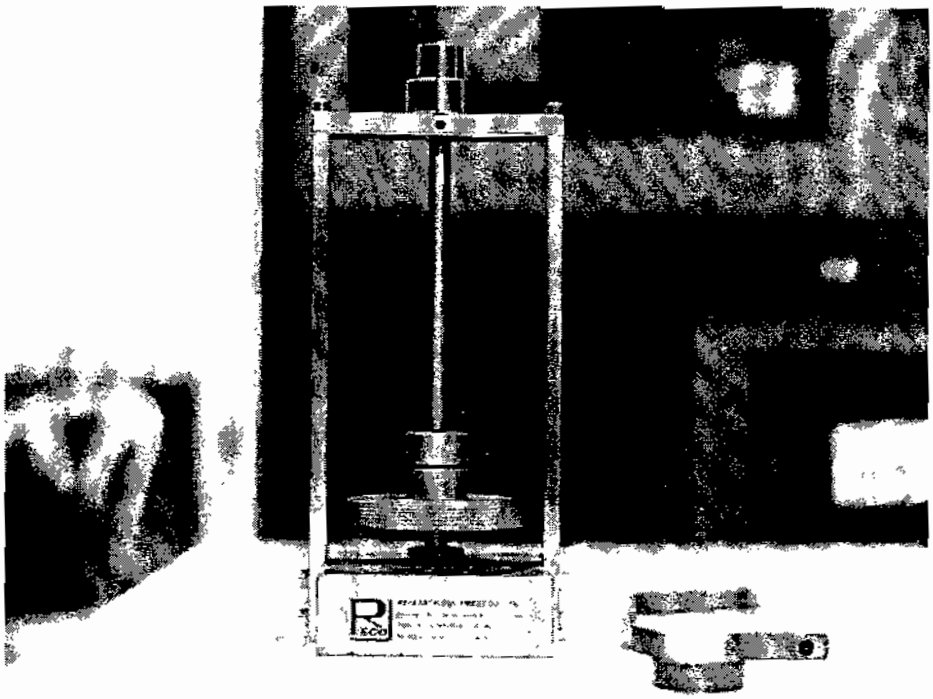


ภาพประกอบ 15 เซลล์สามแกน

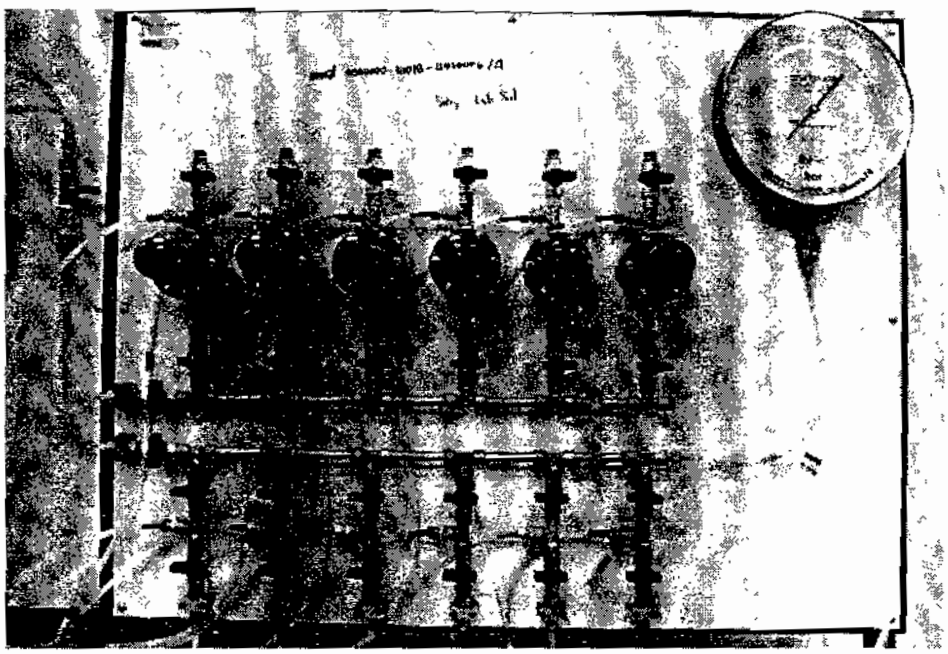


ภาพประกอบ 16 ถังเปลี่ยนความดันแบบใช้อากาศ หรือน้ำ

Mahasarakham University

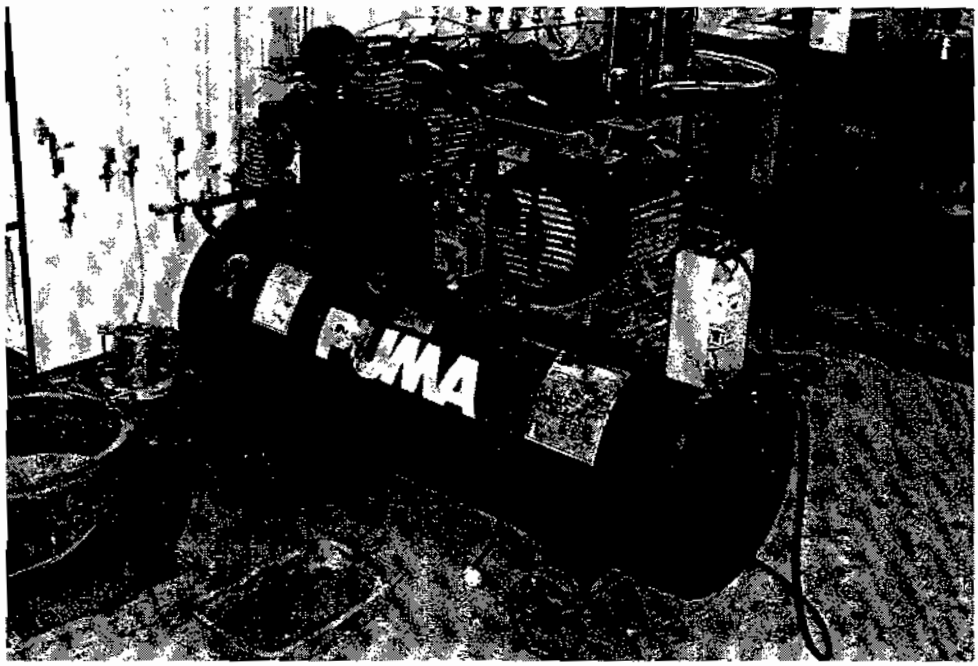


ภาพประกอบ 17 อุปกรณ์ในการเหลาตัดแต่งตัวอย่างดิน (Carving Tools)

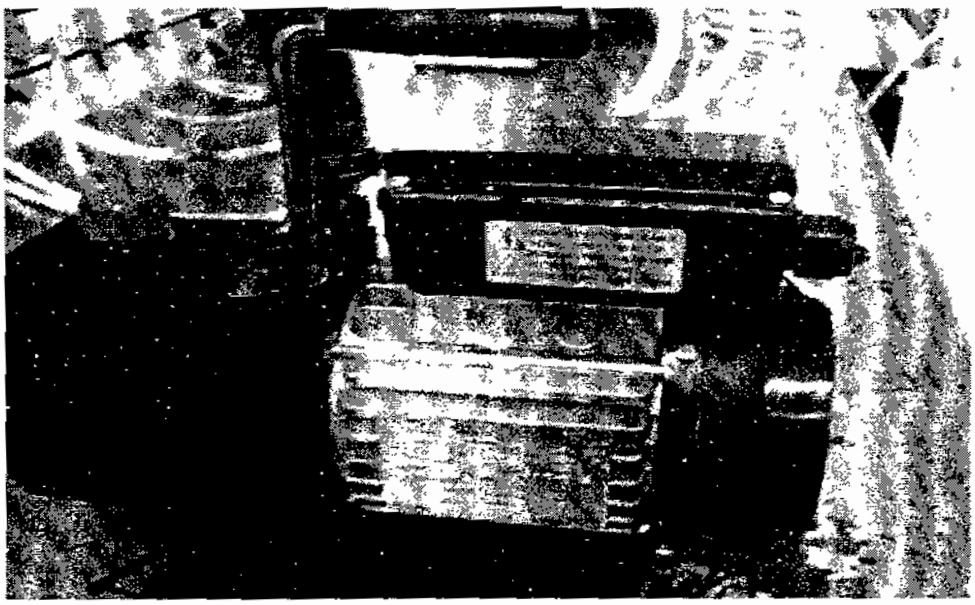


ภาพประกอบ 18 แผงควบคุมความดัน (Pressure Control Panel)

Mahasarakham University

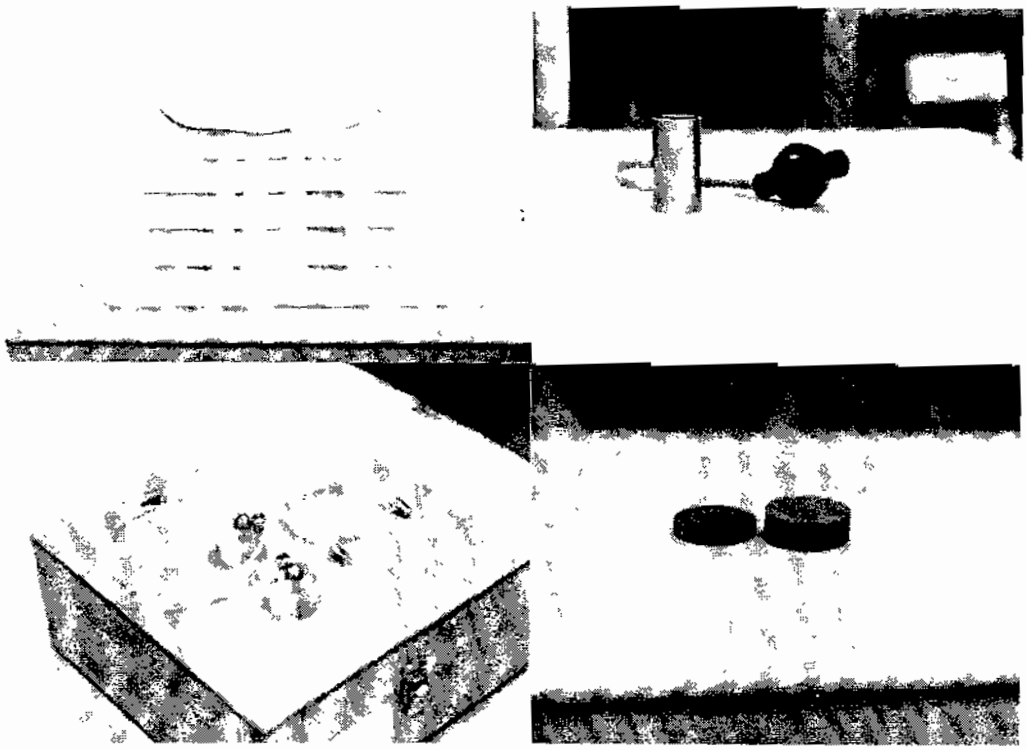


ภาพประกอบ 19 Air Compressor Pump



ภาพประกอบ 20 Vacuum pumps

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ

2.11.5 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบดิน

-นำตัวอย่างดินคงสภาพมาตัดแต่งบนโครงแต่งตัวอย่าง โดยการหมุนตัวอย่างดิน แล้วใช้เลื่อยลวด แต่งดินให้ได้รูปทรงกระบอก เสร็จแล้วใส่ตัวอย่างดินลงในแบบผา (Split Former) แล้วใช้เลื่อยลวดแต่งปลายทั้งสองให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน คือมีความสูงเป็น2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง

-เก็บตัวอยางดินที่เหลือไปหาปริมาณความชื้น

-นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเก็บไว้ โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นต้องวัด 3 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย และเก็บไว้ในโถแก้วที่มีฝาปิดเพื่อรักษาความชื้นในดินได้

2.11.6 การติดตั้งตัวอย่างดินบนฐานเซลล์3 แกน (Triaxial Cell)

-นำกระดาษกรองพันรอบตัวอย่างดิน วางตัวอย่างดินลงบนฐานเซลล์ 3 แกน (Triaxial Cell) วาง อยู่ระหว่างตัวฐานและตัวอย่างดิน เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำออก

-ใส่ปลอกยางครอบตัวอย่างดินโดยใช้ที่เบ่งปลอกยาง แล้วใช้ยาง O-Ring รัดปลอกยางให้ติดแน่นกับฐานเพื่อไม่ให้ของเหลวภายนอกซึมผ่านเข้าในตัวอย่างดิน

Mahasarakham University

-วางแผ่นหินพรุนบน (Top Porous Stone) และหมวกกด (Top Cap) ลงบนตัวอย่างดิน ตามลำดับ ดึงปลอกยางให้คลุมอยู่ภายนอกแผ่นหมวกกด แล้วใช้ยาง O-Ring รัดให้แน่น ถ้าหมวกกดมีสายระบายน้ำให้ต่อปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับวาลวที่ฐาน

-เอาครอบแก้วสวมลงบนตัวอย่างดิน ให้แกนกด (Piston) อยู่ตรงกึ่งกลางของหมวกกดพอดีแล้วขันแป้น เกลียวยึดกับฐานให้แน่น

Mahasarakham University

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

1. ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแรงอัดสามแกนและการอัดตัวของดิน
2. เก็บตัวอย่างดินแบบตัวอย่างไม่ถูกรบกวน (Undisturbed sample)
    2.1 ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม
    2.1 ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น
    2.1 ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด
3. ทำการทดลอง
    3.1 การทดลองหาการกระจายของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (ASTM D 422-63)
    3.2 การทดลองโฮโดรมิเตอร์ (ASTM D 422-63 H151)
    3.3 การทดลองหาค่าพิกัดอัตเทอร์เบอร์ก (Atterberg's Limit ASTM D 423-66)
    3.4 การหาความแน่นของดิน (ASTM D 1556 – 64 (Reapproved 1968))
    3.5 การทดลองแรงอัดสามแกน (ASTM D 2850)
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. จัดทำเอกสาร

3.2 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

โดยเริ่มจากการหาข้อมูลของดินลมหอบและวิธีการทดลองทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง เช่น การทดลองการอัดตัวคายน้ำ การทดสอบขีดอัตเทอร์เบิอร์ก การหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีตกตะกอน และวิธีร่อนผ่านตะแกรง ฯลฯ จากแหล่งความรู้ต่างๆ อาทิ ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สื่อการเรียนการสอนต่างๆ ทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางอินเตอร์เน็ตและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Mahasarakham University

3.3 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 6 แผนการดำเนินงาน

รายการ	ระยะเวลา									
	พ.ศ.2557					พ.ศ.2558				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีแรงอัดสามแกน	←	—	—	→						
2. วางแผนการเก็บข้อมูลและจัดหาวัสดุอุปกรณ์เตรียมการทดลอง						←	→			
3. ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล						←	—	—	→	
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์								←	→	
5. สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								←	—	→

3.4 การเก็บตัวอย่างดิน

1. เคลียร์พื้นที่เป้าเพื่อจะทำการขุดดิน วางแผนเกี่ยวกับความลึก ความกว้างของหลุมที่จะทำการขุดเพื่อให้การเก็บตัวอย่างเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็ว

2. ต้องทำการเก็บดินตัวอย่างดินด้วยความระมัดระวังเพื่อในตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวน

3. ขุดดินโดยกำหนดมาตราส่วน ความกว้าง 5 เมตร x ลึก 2 เมตร x ยาว 5 เมตร เพื่อให้พื้นที่การขุดไม่ขยายกว้างเกินไป

4. เก็บตัวอย่างดินแบบลูกบาศก์ ขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร

5. เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 2-3 เมตร อย่างน้อยจำนวน 4 ตัวอย่าง เพื่อนำมาทดลองคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การจำแนกประเภทของดินตามระบบ ASSTO และ USCS โดยหลังจากนั้นจะทำการตัดตัวอย่างให้ได้ขนาด ทรงกระบอก สูง 7 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 cm เพื่อทำการทดลองแรงอัดสามแกนต่อไป

Mahasarakham University

3.5 ทำการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองจะแบ่งออกเป็นหลักๆได้ 3 กระบวนการดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างแบบ Undisturbed sample ดังกระบวนการที่กล่าวข้างต้น

2. การจำแนกประเภทของดินที่นำมาทดสอบ โดยจำแนกออกเป็นระบบ ASSHTO และระบบ USCS

3. การทดสอบด้านกำลังรับน้ำหนักของดิน

3.1 การทดลองในสนาน การหาความแน่นของดิน

3.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองแรงอันสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ

3.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การทดลองวิธีนี้จะทำให้ดินมีการอิ่มตัวด้วยน้ำ และมีการอัดตัวคายน้ำซึ่งจะกระทำโดยให้ค่าความดันรอบข้างมากกว่าหรือเท่ากับความดันที่ดินเคยถูกอัดมา หลังจากที่ให้ตัวอย่างอัดตัวคายน้ำเสร็จแล้วจึงเพิ่มความเค้นเบี่ยงเบนอย่างช้าๆ โดยที่ช่องระบายน้ำของตัวอย่างยังถูกเปิดอยู่เพื่อให้มีการระบายน้ำออกได้ ทำให้ไม่มีค่าความดันโพรงเกิดขึ้นในตัวอย่างดิน การทดลองนี้ถ้าเพิ่มความเค้นเบี่ยงเบนเร็วเกินไป จะทำให้ดินไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดความดันโพรงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเค้นประสิทธิผลลดลงนั่นเอง โดยจะมีกระบวนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ทำการคัดเลือกข้อมูลเกี่ยวกับดินที่ใช้ทำการทดลองที่มากที่สุดในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง

2. ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

3. สรุปการวิเคราะห์และนำเสนอสมการที่ใช้

Mahasarakham University

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1 วิธีการศึกษา

4.1.1 การเลือกพื้นที่สำรวจพื้นที่และตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจจำนวน 3 ตำแหน่งได้ทำการพิจารณาเลือก พื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดร้อยเอ็ด

4.1.2 การเก็บตัวอย่างดินในสนาม ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed sample)

4.1.3 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินในการโดยทำการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM เป็นหลัก มีการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)
2. การทดสอบหาค่าพิกัดอัตเทอร์เบอร์ก (Atterberg Limits) เพื่อหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
3. การทดสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density Test)
4. การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบ Consolidation Drained Triaxial (CD)

4.2 ผลการศึกษา

จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดินลมหอบในจังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางต่อไปนี้

Mahasarakham University

ตาราง 7 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

Test	Sieve No.	EX.1	EX.2	EX.3	Avg.
		% Passing			
Sieve Analysis	4	100.0			
	10	98.94			
	40	88.14			
	60	75.51			
	100	47.34			
	200	19.32			
	PAN	0			
	ASSHTO	A-2-4, A-4 silty or clayey gravel and sand, Silty soil			
	USCS	CL (Lean clay with gravel)			

จากตาราง 7 เราจะเห็นว่าดินลมหอบในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เป็นดินค่อนข้างเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-6 (AASHTO) CL (USCS)

ตาราง 8 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น

Test	Sieve No.	EX.1	EX.2	EX.3	Avg.
		% Passing			
Sieve Analysis	4	100.0			
	10	98.94			
	40	88.14			
	60	75.51			
	100	47.34			
	200	19.32			
	PAN	0			
	ASSHTO	A-2-4, A-4 silty or clayey gravel and sand, Silty soil			
	USCS	CL (Lean clay with gravel)			

Mahasarakham University

จากตาราง 8 เราจะเห็นว่าดินลมหอบในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เป็นดินผสมกันมีทั้งดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-4, A-4 (AASHTO) CL (USCS)

ตาราง 9 แสดงผลการทดสอบ Sieve Analysis ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด

Test	Sieve No.	EX.1	EX.2	EX.3	Avg.
		% Passing			
Sieve Analysis	4	100.00			
	10	100.00			
	40	84.32			
	60	67.17			
	100	40.16			
	200	16.30			
	PAN	0			
	ASSHTO	A-2-4, A-4 silty or clayey gravel and sand, Silty soil			
	USCS	CL (Lean clay with sand)			

จากตาราง 9 เราจะเห็นว่าดินลมหอบในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เป็นดินผสมกันมีทั้งดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-4, A-4 (AASHTO) CL (USCS)

ตาราง 10 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit และ Field Density

Test	Unit \ No.	EX.1 *	EX.2 **	EX.3 ***	Remark
Atterberg Limit	Liquid Limit (%)	30	18	30	
	Plastic Limit (%)	12	10	10	
	Plasticsity Index (%)	18	8	20	
Water Content	%	6.01	6.10	5.46	
Dry Density	t/m^3	1.44	1.36	1.37	
Wet Density	t/m^3	1.46	1.44	1.44	

Mahasarakham University

*EX.1 เป็นดินในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

*EX.2 เป็นดินในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น

*EX.3 เป็นดินในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด

จากตาราง 10 เราจะเห็นว่า

ดินลมหอบในพื้นจังหวัดมหาสารคาม มีค่า LL เท่ากับ 30 ค่า PL เท่ากับ 12 ค่า PI เท่ากับ 18 ค่า Water Content เท่ากับ 6.01 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.44 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.46 t/m^3

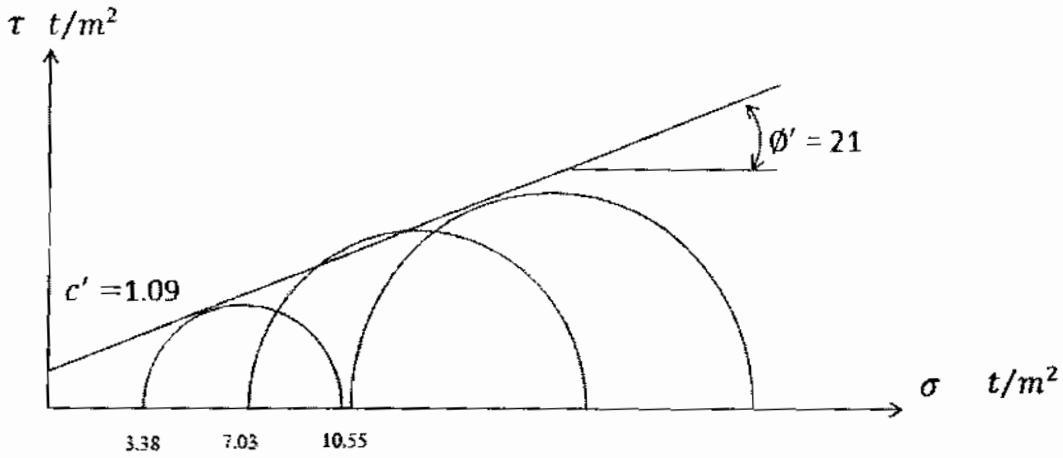
ดินลมหอบในพื้นจังหวัดขอนแก่น มีค่า LL เท่ากับ 18 ค่า PL เท่ากับ 10 ค่า PI เท่ากับ 8 ค่า Water Content เท่ากับ 6.10 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.44 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.46 t/m^3

ดินลมหอบในพื้นจังหวัดร้อยเอ็ด มีค่า LL เท่ากับ 30 ค่า PL เท่ากับ 10 ค่า PI เท่ากับ 20 ค่า Water Content เท่ากับ 5.46 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.37 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.44 t/m^3

ตาราง 11 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 1

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	10.28	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	18.90	“-“
3	10.55	21.26	“-“

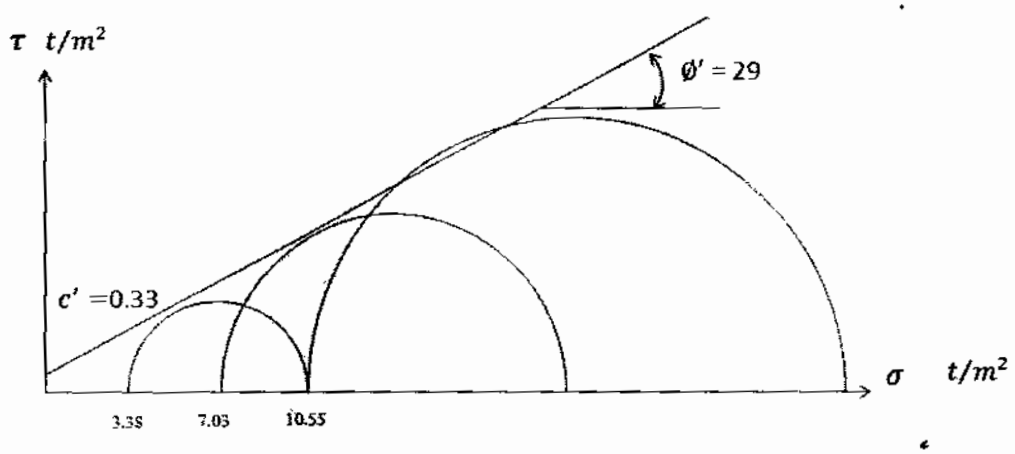
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 22 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD มหาสารคาม OCR 1

ตาราง 12 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 2

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	10.51	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	20.97	“-“
3	10.55	32.33	“-“

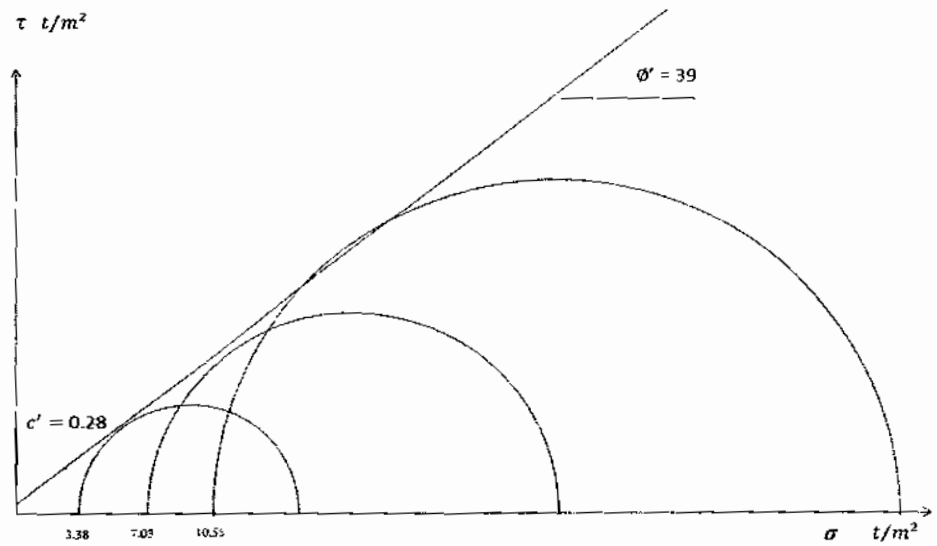


ภาพประกอบ 23 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD มหาสารคาม OCR 2

Mahasarakham University

ตาราง 13 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR เท่ากับ 4

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	15.32	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	29.31	“_“
3	10.55	47.78	“_“

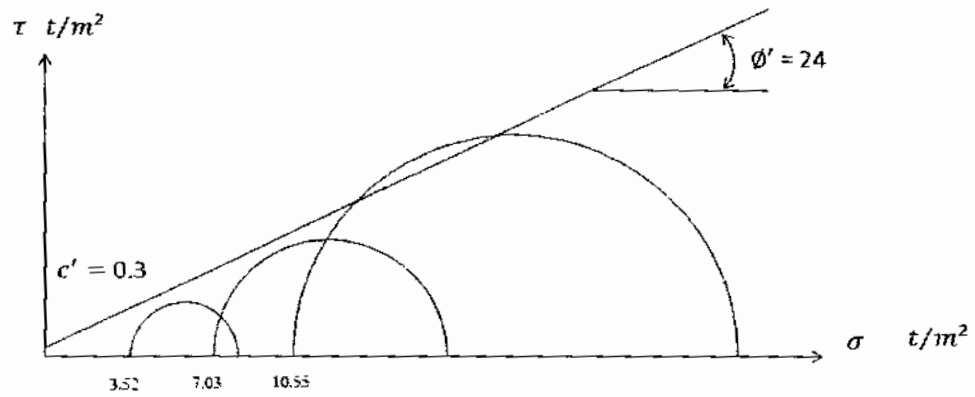


ภาพประกอบ 24 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD มหาสารคาม OCR 4

ตาราง 14 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 1

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	8.11	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	16.11	“_“
3	10.55	29.20	“_“

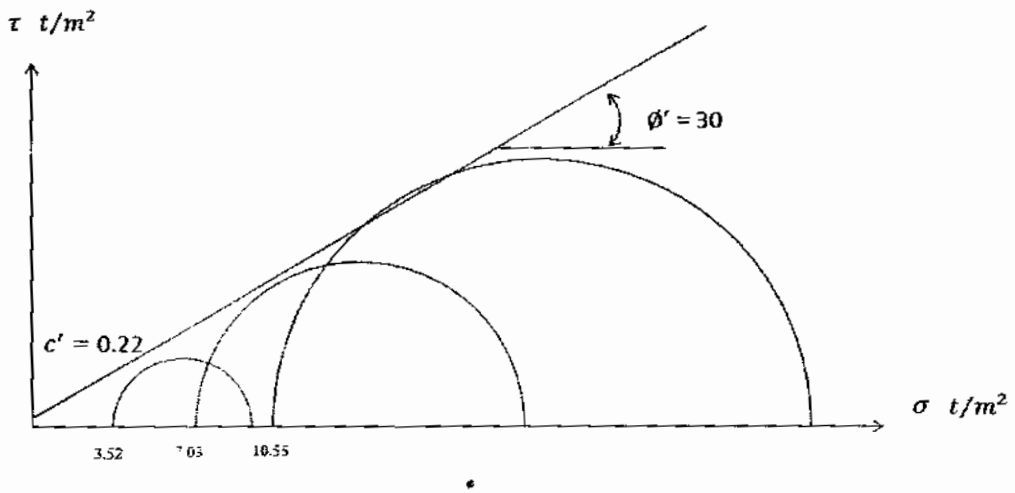
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 25 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ขอนแก่น OCR 1

ตาราง 15 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 2

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	9.53	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	21.51	"_"
3	10.55	34.07	"_"

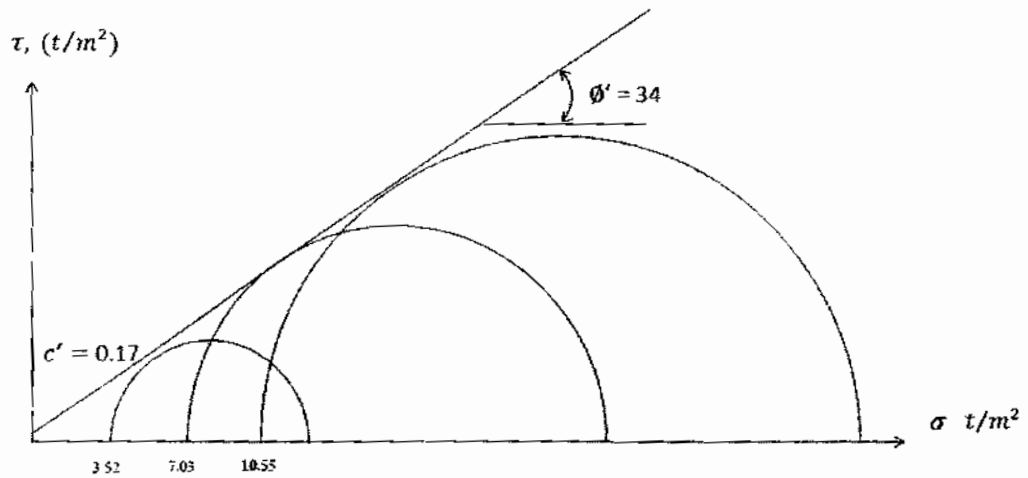


ภาพประกอบ 26 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ขอนแก่น OCR 2

Mahasarakham University

ตาราง 16 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดขอนแก่น ที่ค่า OCR เท่ากับ 4

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	12.70	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	26.15	"_"
3	10.55	37.68	"_"

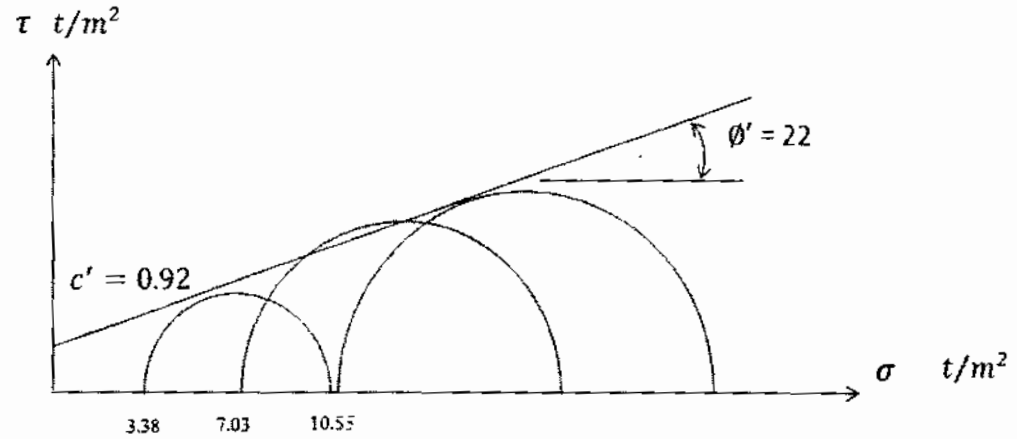


ภาพประกอบ 27 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ขอนแก่น OCR 4

ตาราง 17 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 1

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	10.32	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	18.90	"_"
3	10.55	24.54	"_"

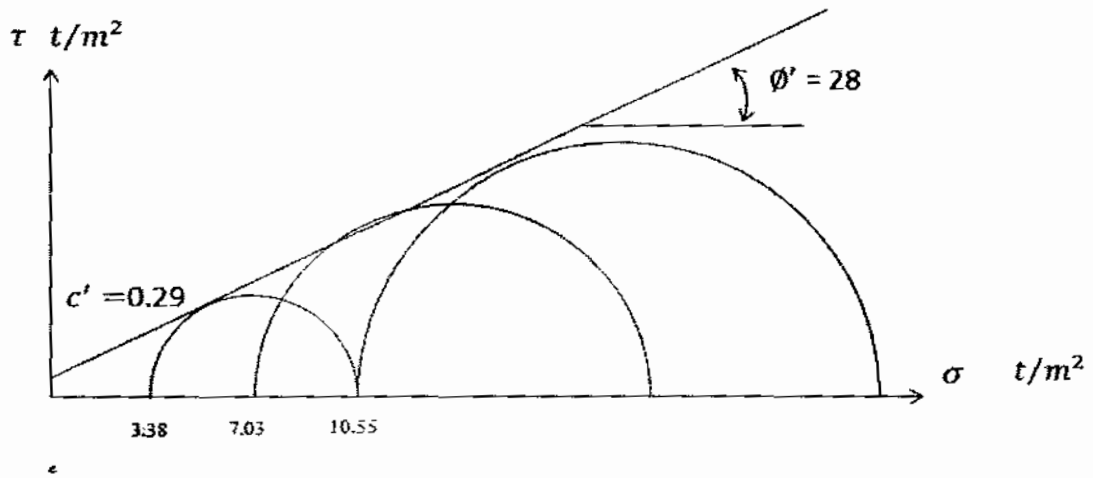
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 28 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ร้อยเอ็ด OCR 1

ตาราง 18 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 2

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	10.53	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	20.59	"-"
3	10.55	28.57	"-"

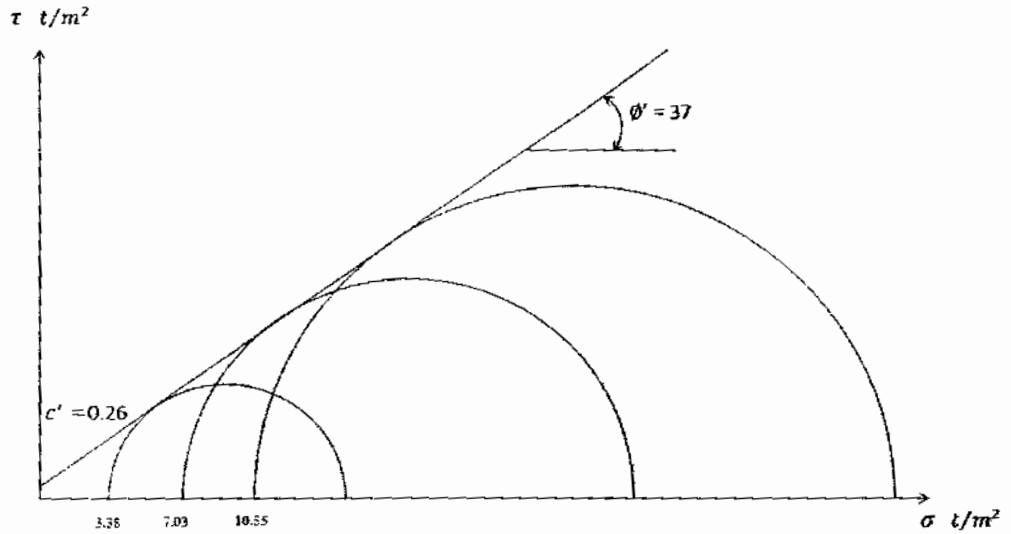


ภาพประกอบ 29 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ร้อยเอ็ด OCR 2

Mahasarakham University

ตาราง 19 แสดงผลการทดลองแบบแรงอัดสามแกน (CD) จากจังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR เท่ากับ 4

Sample No.	σ_3 (t/m^2)	σ_1 (t/m^2)	Remark
1	3.38	14.98	ที่ความลึก 2 เมตร
2	7.03	29.21	“_“
3	10.55	42.15	“_“



ภาพประกอบ 30 วงกลมมอร์ของการทดลองแบบแรงอัดสามแกนโดยวิธี CD ร้อยเอ็ด OCR 4

Mahasarakham University

4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากที่ได้ทำการจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่เป้าหมาย และได้ทำการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบการอัดตัวและมีการระบาย โดยใช้ OCR ที่ต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

ตาราง 20 ตารางสรุปพารามิเตอร์ด้านกำลังรับน้ำหนักของดินในพื้นที่เป้าหมายที่ค่า OCR ที่แตกต่างกัน

AREA	OCR	C' (t/m^2)	$\emptyset'$ (deg)
MAHA SARAKHAM	1	1.09	21
	2	0.33	29
	4	0.28	39
KHON KAEN	1	0.30	24
	2	0.22	30
	4	0.17	34
ROI ET	1	0.92	22
	2	0.29	28
	4	0.26	37

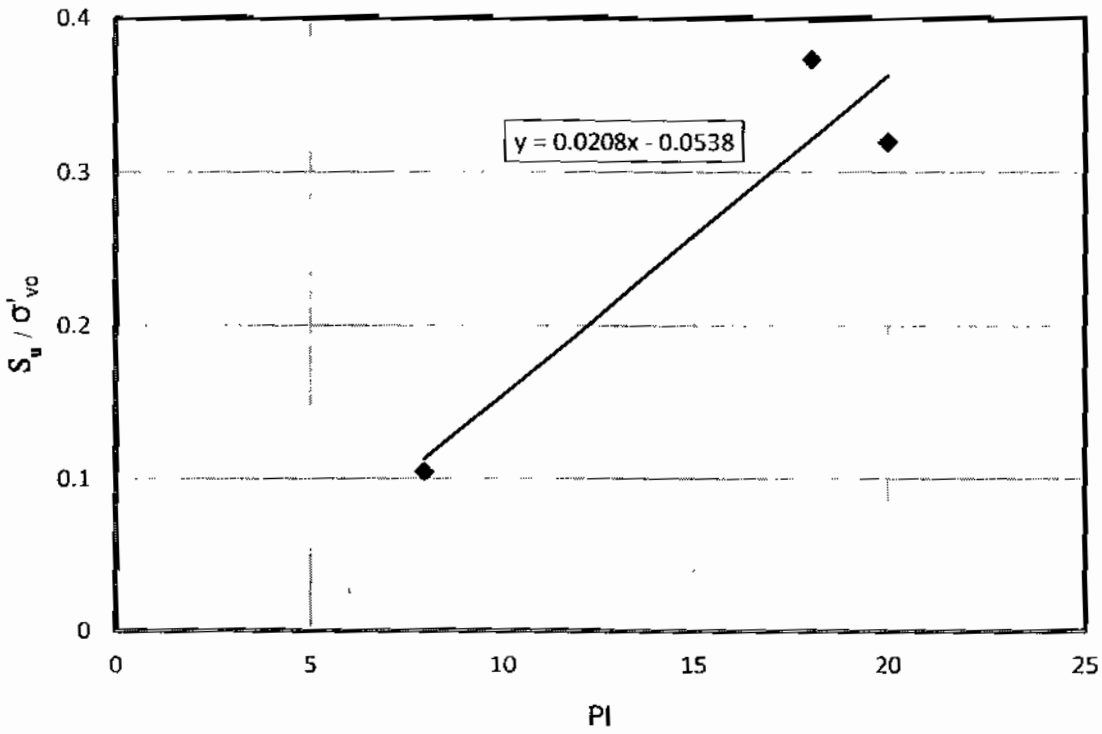
จากตาราง 20 สรุปได้ดังนี้

จังหวัดมหาสารคาม จะมีค่า C' อยู่ระหว่าง 1.09 - 0.28 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ อยู่ระหว่าง 21° -39°

จังหวัดขอนแก่น จะมีค่า C' อยู่ระหว่าง 0.30 - 0.17 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ อยู่ระหว่าง 24° -34°

จังหวัดร้อยเอ็ด จะมีค่า C' อยู่ระหว่าง 0.92 - 0.26 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ อยู่ระหว่าง 22° -37°

Mahasarakham University



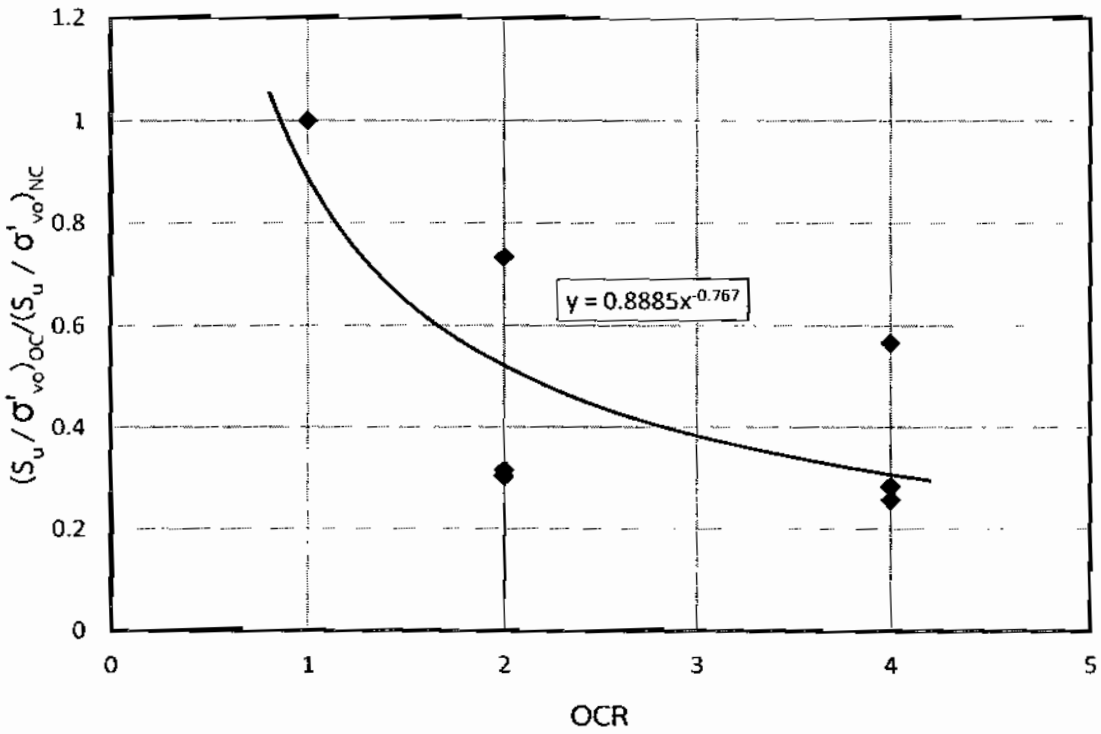
ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า S_u/σ'_{vo}

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า S_u/σ'_{vo} แบบดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally consolidated clay), NC ของทั้ง 3 พื้นที่ นำมาเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.0208PI - 0.0538 \qquad (4.1)$$

จากสมการ 4.1 ซึ่งเป็นสมการเส้นตรง มีค่าความน่าเชื่อถือ (R-squared) คือ 0.8847

Mahasarakham University



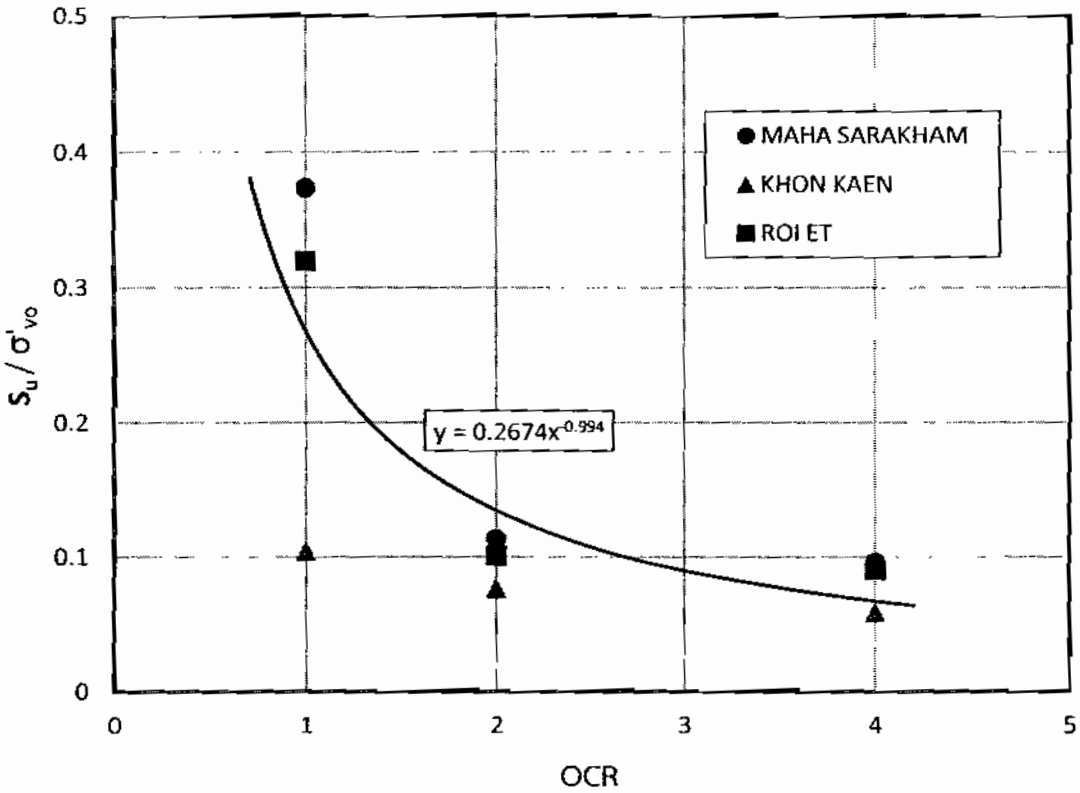
ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า $(S_u/\sigma'_{vo})_{OC} / (S_u/\sigma'_{vo})_{NC}$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PI และค่า $(S_u/\sigma'_{vo})_{OC} / (S_u/\sigma'_{vo})_{NC}$ แบบดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally consolidated clay), NC และ ดินเหนียวอัดแน่นกว่าปกติ (Over consolidated clay), OC ของทั้ง 3 พื้นที่ นำมาเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{(S_u/\sigma'_{vo})_{OC}}{(S_u/\sigma'_{vo})_{NC}} = 0.8885OCR^{-0.767} \qquad (4.2)$$

จากสมการ 4.2 ซึ่งเป็นสมการยกกำลัง มีค่าความน่าเชื่อถือ (R-squared) คือ 0.6016

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OCR และค่า S_u/σ'_{vo}

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OCR และค่า S_u/σ'_{vo} ของทั้ง 3 พื้นที่ นำมาเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.2674OCR^{-0.994} \qquad (4.3)$$

จากสมการ 4.2 ซึ่งเป็นสมการยกกำลัง มีค่าความน่าเชื่อถือ (R-squared) คือ 0.7429 เนื่องจาก OCR1 ของจังหวัดขอนแก่นมีค่าแตกต่างจาก จังหวัดมหาสารคาม และ จังหวัดร้อยเอ็ด มากจึงไม่ได้นำมาพิจารณา ในสมการ 4.3

Mahasarakham University

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาพารามิเตอร์ด้านกำลังของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยในครั้งนี้ เริ่มศึกษาในพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดร้อยเอ็ด โดยเริ่มจากการเก็บตัวอย่างดินแบบตัวอย่างไม่ถูรบกวน (Undisturbed sample) ที่ความลึก 2 เมตร จังหวัดละ 9 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างดินมาทำการทดลองดังต่อไปนี้ การทดลองหากากระจายของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน การทดลองโฮโดรมิเตอร์ การทดลองหาค่าพิกัดอัตเทอร์เบอร์ก การหาความแน่นของดิน และการทดลองแรงอัดสามแกน ซึ่งในละแต่พื้นที่ได้ผลการทดลองดังนี้

จังหวัดมหาสารคามเป็นดินค่อนข้างเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-6 (AASHTO) CL (USCS) มีค่า LL เท่ากับ 30 ค่า PL เท่ากับ 12 ค่า PI เท่ากับ 18 ค่า Water Content เท่ากับ 6.01 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.44 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.46 t/m^3 และมีค่า C' ประมาณ 0.57 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ ประมาณ 29.7° จังหวัดขอนแก่นเป็นดินผสมกันมีทั้งดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-4, A-4 (AASHTO) CL (USCS) มีค่า LL เท่ากับ 18 ค่า PL เท่ากับ 10 ค่า PI เท่ากับ 8 ค่า Water Content เท่ากับ 6.10 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.44 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.46 t/m^3 และมีค่า C' ประมาณ 0.23 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ ประมาณ 29.3° จังหวัดร้อยเอ็ดเป็นดินค่อนข้างเม็ดละเอียด จัดอยู่ในกลุ่ม A-2-6 (AASHTO) CL (USCS) มีค่า LL เท่ากับ 30 ค่า PL เท่ากับ 10 ค่า PI เท่ากับ 20 ค่า Water Content เท่ากับ 5.46 เปอร์เซ็นต์ ค่า Dry Density เท่ากับ 1.37 t/m^3 และค่า Wet Density เท่ากับ 1.44 t/m^3 และมีค่า C' ประมาณ 0.49 t/m^2 และค่า $\emptyset'$ ประมาณ 29°

Mahasarakham University

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงออกเป็น 3 วิธี ดังต่อไปนี้

Skempton (1957) $$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.0208PI - 0.0538 \quad (5.1)$$

Ladd, et al. (1977) $$\frac{(S_u/\sigma'_{vo})_{OC}}{(S_u/\sigma'_{vo})_{NC}} = 0.4919OCR^{-0.256} \quad (5.2)$$

Jamiolkowski, et al. (1985) $$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.2674OCR^{-0.994} \quad (5.3)$$

ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้างต้นนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการของ Jamiolkowski, et al. (1985) ให้ความใกล้เคียงและมีความถูกต้องมากสุด ซึ่งอ้างอิงได้จากค่า $R^2 = 0.7429$ ซึ่งมีค่ามากที่สุด และสามารถบอกได้ว่าดินทั้ง 3 จังหวัดนี้หรือดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันสามารถใช้สมการเบื้องต้นร่วมกันได้ ซึ่งอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์เดียวกันที่มีสมการที่มีความเชื่อถือสูง และเราสามารถเขียนสมการอยู่ในรูปพารามิเตอร์ต่างๆได้ดังนี้

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = aOCR^b \quad (5.4)$$

พารามิเตอร์ a=0.2674, b=-0.994 และ $R^2 = 0.7429$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเก็บตัวอย่างแต่ละพื้นที่ควรทำการเก็บเพิ่มมากขึ้น เพื่อป้องกันการทดลองที่ผิดพลาด และจะได้ค่าทดลองที่แม่นยำตามจำนวนตัวอย่างที่เราทำการเก็บมา

2. เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างดิน ควรทำการทดลองทันทีหรืออย่างช้า 24 ชั่วโมง

3. ควรทำการทดลองอย่างระมัดระวัง และทำการทดลองหลายๆ ครั้งเพื่อจะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือและแม่นยำ

4. ควรเพิ่มพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างดินมากขึ้น และที่ระยะความลึกที่มากขึ้นด้วย

Mahasarakham University

บรรณานุกรม

Mahasarakham University

บรรณานุกรม

ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์. *วิศวกรรมปฐพี.* พิมพ์ครั้งที่ 2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548.

นบปนม แก้วหานาม และคณะ. *The updated physical properties of soil in Northeast Thailand.International Conference on Science, Technology and Innovation For SustainableWell-Being (STISWB VI),* 28-30 August 2014

วรรธนัย คูบุญอารักษ์ และ YinhSeyha. *พฤติกรรมต้านทานแรงเฉือนของดินลมหอบ.*คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.

วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์โชติกไกร, ประทีป ดวงเดือน. *ปฐพีกลศาสตร์ :ทฤษฎีและปฏิบัติการ.*ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพฯ, 2525.
*ลมหอบขอนแก่น.*โครงการนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

วัชรินทร์กาสลัก และอนุชิต เรืองวัฒนานนท์. *การปรับปรุงวัสดุท้องที่ :กรณีศึกษาของการปรับปรุงดิน*

รศ.ชินะวัฒน์มุกตพันธ์. *ปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics).*พิมพ์ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555.

รศ.มนตรีบุญเสนอ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณีคณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2545.

สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. *ปฐพีกลศาสตร์หลักการพื้นฐาน (Soil Mechanics: Fundamentals).*พิมพ์ครั้งที่ 1จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

สถาพร คูวิจิตรจารุ.*ปฐพีกลศาสตร์ (SOIL MECHANICS).* พิมพ์ครั้งที่ 1 รุ่งแสงการพิมพ์,2542.

สถาพร คูวิจิตรจารุ. *ทดลองปฐพีกลศาสตร์.*ไลบรารี่ นาย พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ, 2546.

Mahasarakham University

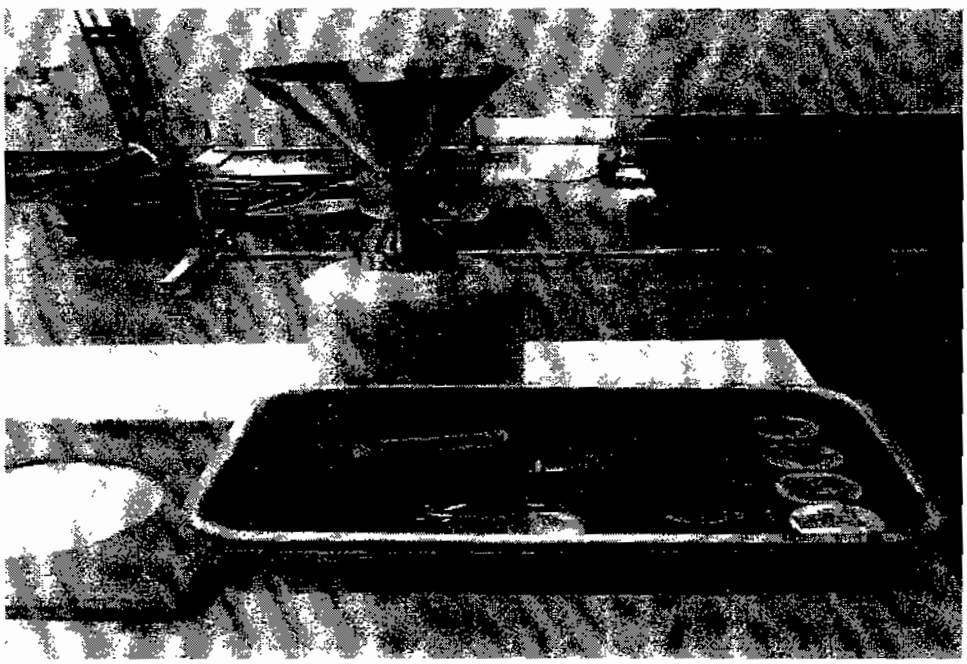
ภาคผนวก

Mahasarakham University

ภาคผนวก ก

ภาพการเก็บตัวอย่างดินและทดลองหาความแน่นดินโดยวิธีแทนที่ทราย

Mahasarakham University

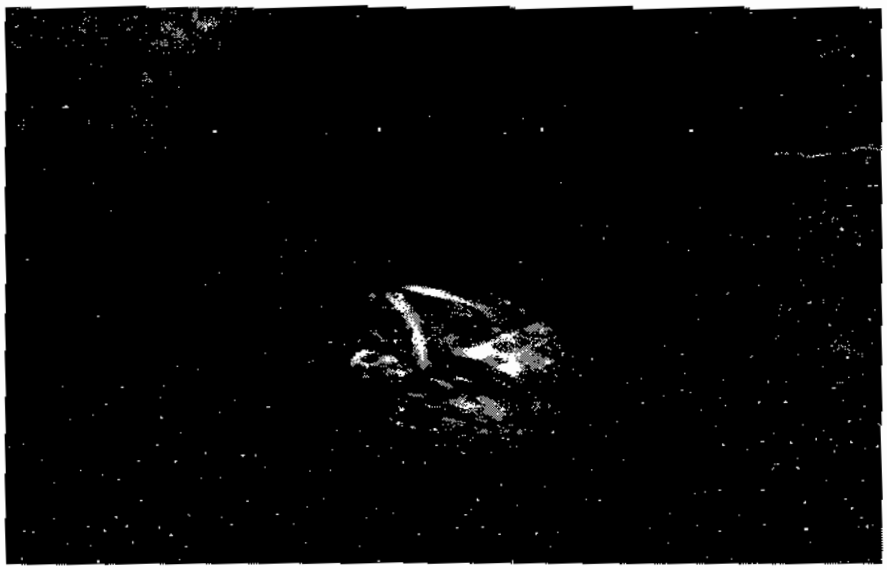


เตรียมอุปกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างดินและหาความหนาแน่นของดิน

เตรียมเตรียมพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างดิน

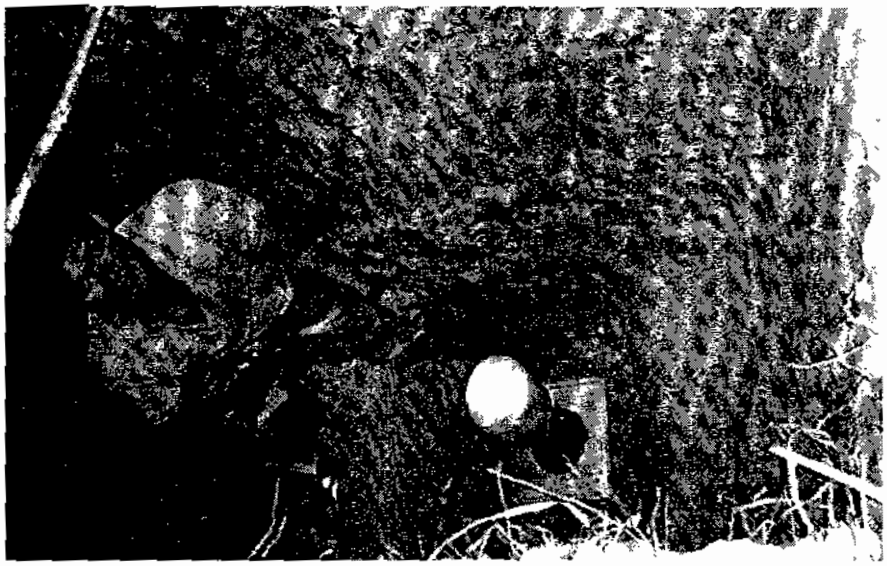
Mahasarakham University

ทำการขุดหลุมเพื่อเก็บตัวอย่างดิน



เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน

Mahasarakham University



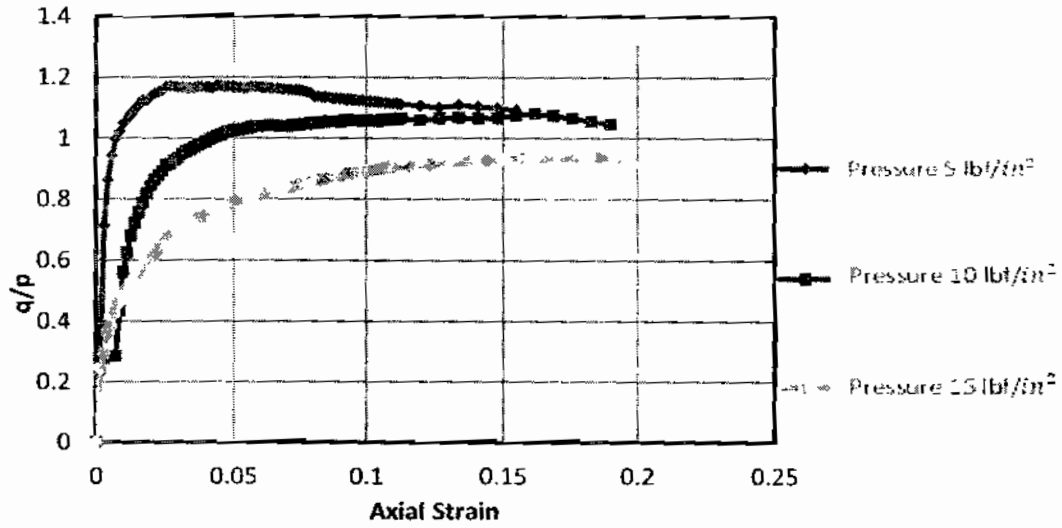
ทำการหาค่าความหนาแน่นของดินโดยวิธีแทนที่ทราย

Mahasarakham University

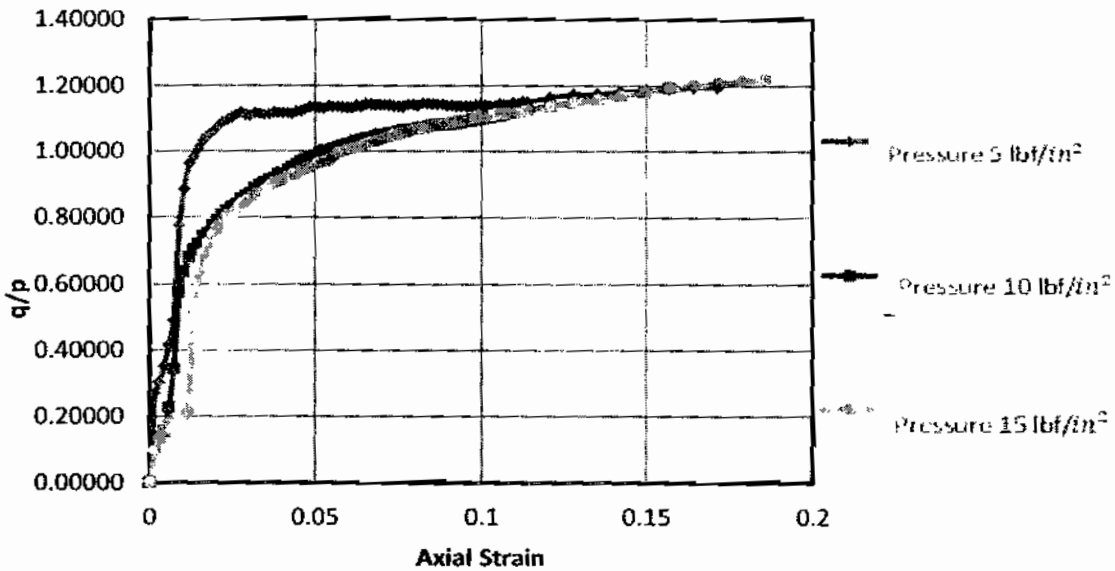
ภาคผนวก ข

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดิน ณ ค่า OCR 1 2 ,4

Mahasarakham University

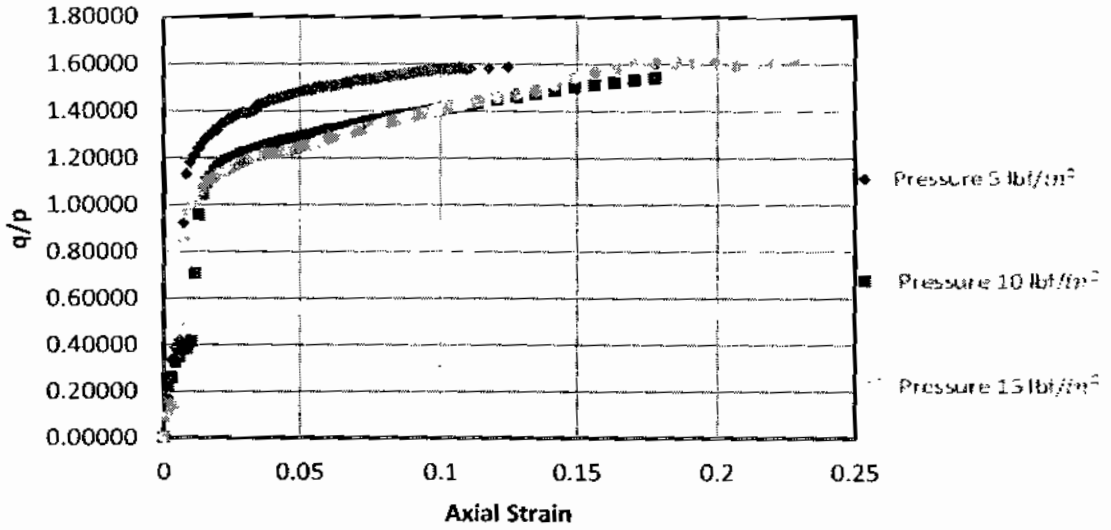


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR=1

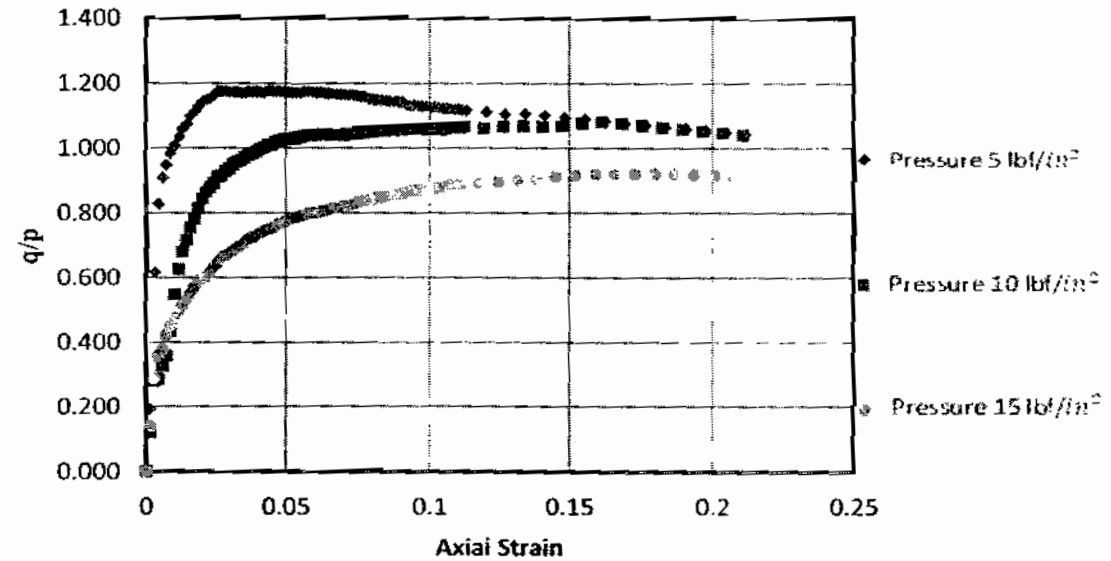


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR=2

Mahasarakham University

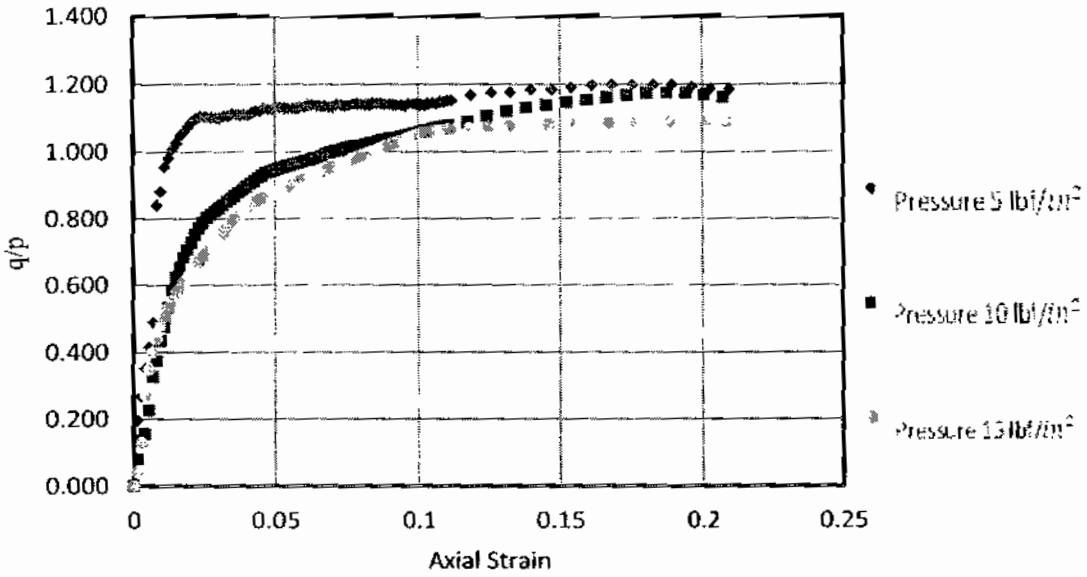


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดมหาสารคาม ที่ค่า OCR=4

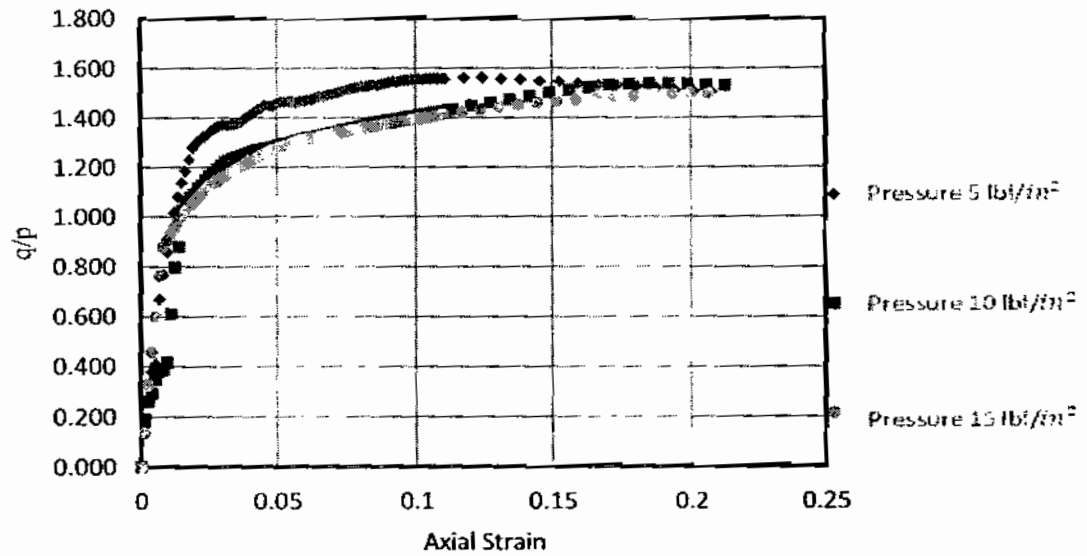


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดร้อยเอ็ด ที่ค่า OCR=1

Mahasarakham University

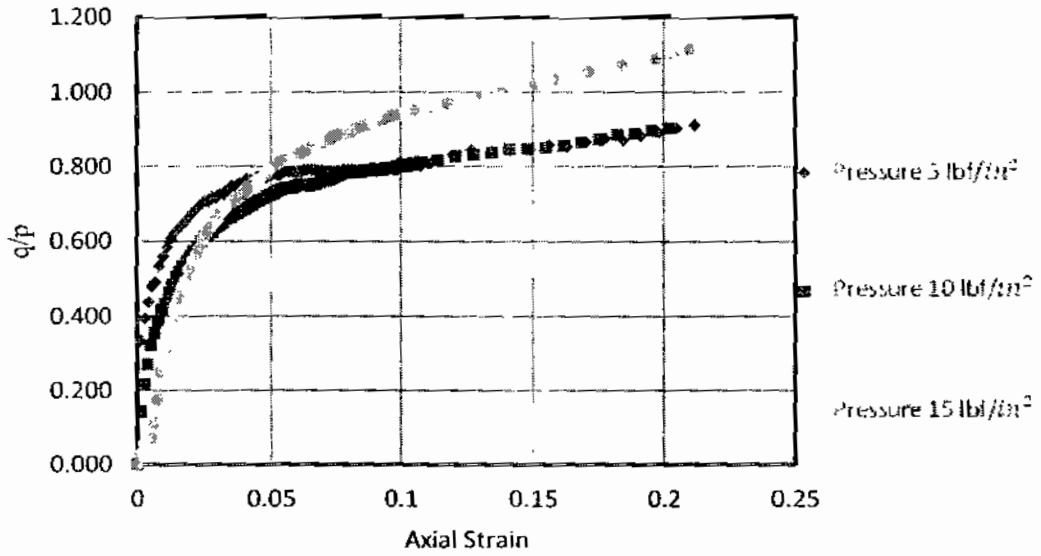


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดร้อยเอ็ดที่ค่า OCR=2

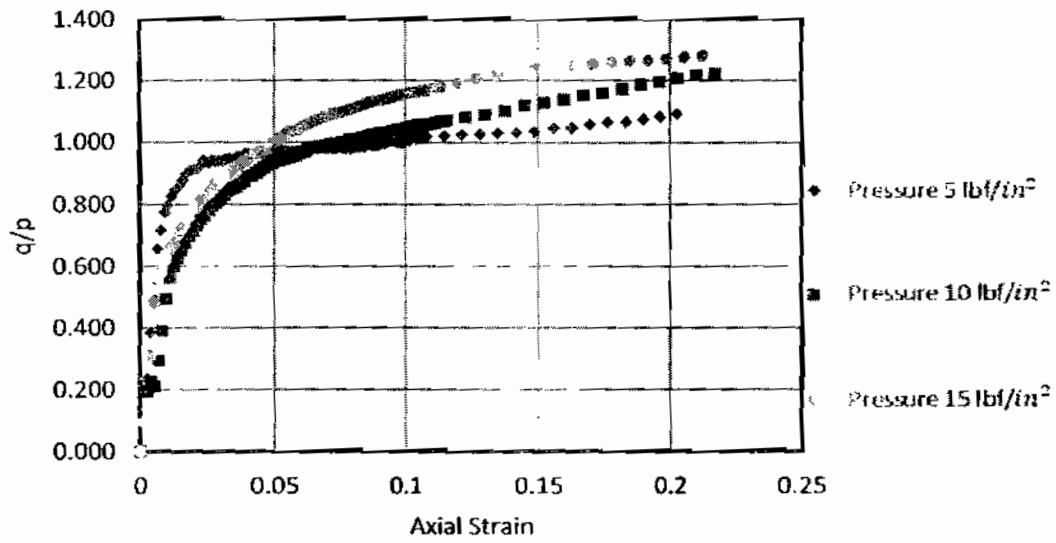


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดร้อยเอ็ดที่ค่า OCR=4

Mahasarakham University

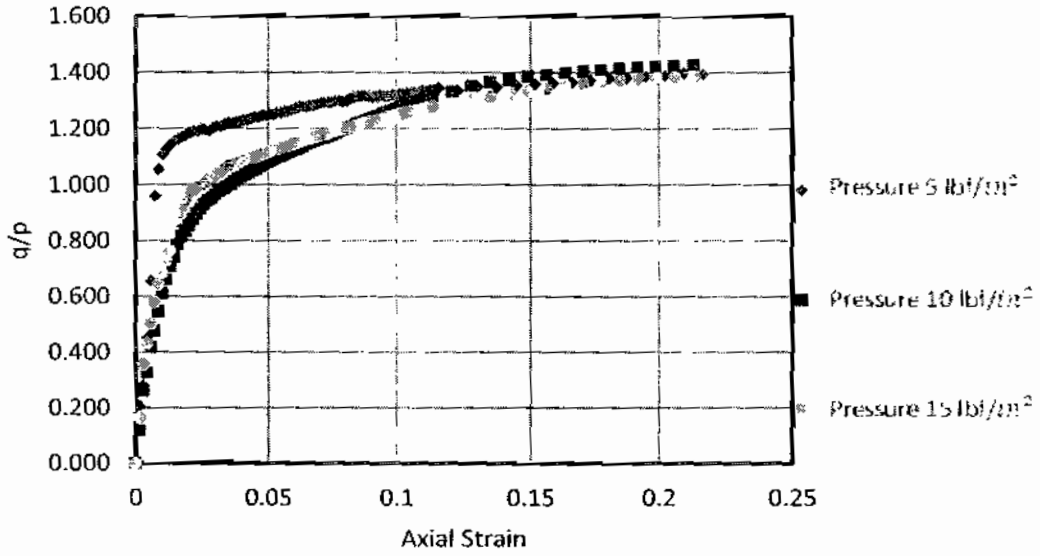


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดขอนแก่นที่ค่า OCR=1



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดขอนแก่นที่ค่า OCR=2

Mahasarakham University



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strain และ q/p ของดินจังหวัดขอนแก่นที่ค่า OCR=4

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายณัฐวุฒิ ทุดปอ
วันเกิด 14 กรกฎาคม 2536
สถานที่เกิด อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 77 หมู่ 9 ตำบลบัวใหญ่ อำเภอบัวใหญ่
จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2557 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายอาทิตย์ บุตรภักดี
วันเกิด 04 ตุลาคม 2535
สถานที่เกิด อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 112 หมู่ 3 ตำบลโคกกกม่วง อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนม่วงมิตรวิทยาคม จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนม่วงมิตรวิทยาคม จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University