



การศึกษาถึงรูปแบบและพฤติกรรมของการรักษาเสถียรภาพของ
ลาดชันโดยใช้ตาข่ายรับแรง GEOGRID
THE STUDY OF BEHAVIOR STABILITY
OF SLOPE WITH GEOGRID

โดย

นาย ภาสกร มีสาวงษ์

นาย วณา นิธิวนา

๒๕๓๙
วัน เดือน ปี.....
เลขทะเบียน.....038440
เลขเรียกหนังสือ.....T 39468/2539

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำใบ
038440

**THE STUDY OF BEHAVIOR STABILITY
OF SLOPE WITH GEOGRID**

MR. PASSAKORN MEESAWONG

MR. WANA NITIWANA



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาถึงรูปแบบและพฤติกรรมของการรักษาเสถียรภาพของลาดชัน
โดยใช้ตาข่ายรับแรง GEOGRID

นักศึกษา นายภาสกร มีสาวงษ์ รหัสประจำตัว 36014319

นายวนา นิธิวนา รหัสประจำตัว 36014368

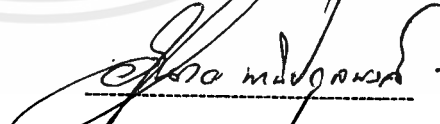
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์ สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์	
อาจารย์ คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นาย อำนวย พณิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงสำเร็จลงได้นั้น มิได้เกิดจากคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษเพียงลำพัง

จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนที่ทำให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลสำเร็จด้วยดี ดังนี้

อ. สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ตลอดจนคุณครู, อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้, อบรมจริยธรรม ศีลธรรม คุณธรรม ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมามี

บริษัท Gel ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูลและวัสดุอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ
ลุงชะอ้อน ลุงจำลอง และพี่ๆ เจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติงานภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเครื่องกลทุกท่าน

เพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข ให้คำแนะนำที่ดีตลอดระยะเวลา 4 ปี

เพื่อนๆ ภาควิชาอื่นๆที่ให้ความสนใจในการทำโครงการพิเศษเสมอมา

เพื่อนๆต่างสถาบันที่ให้ความสนใจยามอ่อนล้าและทุนทรัพยากรยามขัดสนเสมอมา

ขอบคุณห้องสมุด ซึ่งเป็นสถานที่จัดทำโครงการพิเศษและพักผ่อนตลอดระยะเวลาการทำโครงการพิเศษ

ขอบคุณบทเพลงทุกบทเพลงที่ให้กำลังใจและคลายเหงาในช่วงเวลาค่าคืนตลอดระยะเวลาการทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้ที่ระลึกเสียมิได้คือ บุพการี ญาติพี่น้อง บุคคลซึ่งให้สิ่งที่ยิ่งใหญ่และดีที่สุดในชีวิตของผู้จัดทำโครงการพิเศษที่ผ่านมา

กราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ. ที่นี้ แต่ยังคงระลึกถึงตลอดไป

นายภาสกร มีสาวงษ์

นายวณา นิธิวนา

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาถึงรูปแบบและพฤติกรรมของการรักษาเสถียรภาพของ
ความลาดชันโดยใช้ตาข่ายรับแรง GEOGRID
THE STUDY OF BEHAVIOR STABILITY
OF SLOPE WITH GEOGRID

โดย นายภาสกร มีสาวงษ์ 36014319
นายวนา นิธิวนา 36014368

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล

บทคัดย่อ

ในการก่อสร้างงานดิน ที่ต้องมีการขุดหรือการถมดิน เช่น การก่อสร้างคลองส่งน้ำ การก่อสร้างคันดินถนนนั้น เราต้องมีการพิจารณาและออกแบบ ให้ความลาดชันของดินปลอดภัยจากการพังทลาย ซึ่งถ้าความลาดชันมีความชันน้อยความปลอดภัยก็จะสูง แต่ในบางกรณีเราจำเป็นต้องทำความลาดชันให้มีความชันมาก ก็จะทำให้ความปลอดภัยลดน้อยลงไปด้วย การใช้ตาข่ายรับแรง (Geogrid) เสริมเข้าไปในดินเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงรูปแบบและพฤติกรรมของการรักษาเสถียรภาพของความลาดชันโดยใช้ตาข่ายรับแรง (Geogrid) และทำการเปรียบเทียบผลกับกรณีที่ไม่ได้เสริมตาข่ายรับแรง (Geogrid)

ตาข่ายรับแรง (Geogrid) นั้น ผลิตจากวัสดุประเภทโพลีเมอร์ชนิดพิเศษ มีความแข็งแรงสามารถทนแรงดึงได้ดี มีค่าความเครียดต่ำทนต่อแสงแดด กรด และด่าง จึงเหมาะสำหรับใช้เสริมกำลังในดิน

abstract

In build of soil , there is cutting and filling , such as , channel , embankment . We must to consider and design that make slope safety form failure . If it slope have the safety is high , but some case , we must do the slope is high , but the safety decrease . Using geogrid to reinforce of slope is the way to cure this problem . In this special project is studying about the form and behavior in keeping stability of slope with geogrid and compare the result with the the case that without geogrid .

Geogrid is made from a special polimer that it strong and it against tensile force , and it have low strain that it bear form the sun , acid and base . So it is appropriate for using reinforce of soil .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิจกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงานพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ใน โครงการงานพิเศษ	1
1.4 ขอบเขตของ โครงการงานพิเศษ	1
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนิน โครงการงานพิเศษ	1
บทที่ 2 เสถียรภาพความลาดชันของดิน	4
2.1 แบบของการพังทลาย	4
2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพ	5
2.2.1 Ordinary Method Of Slices	10
2.2.2 Simplified Bishop Method	11
บทที่ 3 การเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลัง	19
3.1 หลักการของการเสริมกำลังของดิน	19
3.2 องค์ประกอบของระบบ ของการเสริมกำลัง โดยวัสดุเสริมกำลัง	22
3.2.1 ดิน	22
3.2.2 วัสดุเสริมกำลังประเภทตาข่าย	24
3.2.3 ปฏิกิริยาระหว่างมวลดินกับวัสดุเสริมกำลัง	24
- แรงยึดเหนี่ยว	25
- ความต้านทานการเคลื่อนตัว	26
3.3 วิธีการออกแบบ	27
3.3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	28
3.3.2 ตัวอย่างการออกแบบ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4 การออกแบบ	35
บทที่ 4 การกระจายหน่วยแรงในดิน	41
4.1 หน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดจากมวลดิน	41
4.2 หน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักบนพื้นดิน	41
4.2.1 น้ำหนักกระทำแบบจุด	41
4.2.2 น้ำหนักกระทำแบบเป็นแนว	42
4.2.3 น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอบนพื้นที่เป็นแถบ	43
4.2.4 น้ำหนักกระทำแบบเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงบนพื้นที่เป็นแถบ	44
4.2.5 น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปวงกลม	45
4.2.6 น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปสี่เหลี่ยม	46
4.2.7 น้ำหนักกระทำเป็นแบบน้ำหนักบรรทุกของดินถม	46
4.2.8 แผนภูมิของ Newmark	47
4.2.9 วิธีโดยประมาณ	49
4.3 แผนภาพการกระจายหน่วยแรง	49
บทที่ 5 วัสดุและการทดสอบ	53
5.1 การทดสอบทางด้านกลศาสตร์ของดิน	53
5.1.1 การหาขนาดเม็ดดิน	55
5.1.2 การบดอัดดิน	68
5.1.3 การหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม	79
5.1.4 Direct Shear Test	102
บทที่ 6 การทดสอบเสถียรภาพความลาดของดิน	115
6.1 ขั้นตอนการทำการทดสอบ	115
6.2 ผลการทดสอบ	116
บทที่ 7 วิเคราะห์และสรุปผล	118
7.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	118
7.2 สรุปผลการทดสอบ	118
บรรณานุกรม	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของเนินดิน	2
รูปที่ 2.1 แบบของการพังทลาย	4
รูปที่ 2.2 การหาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤตโดยวิธีของ Fellenius	6
รูปที่ 2.3 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลม $\beta > 53^\circ$	8
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลม $\beta < 53^\circ$	9
รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดชัน	9
รูปที่ 2.6 กราฟหาค่าของ $m\alpha$	12
รูปที่ 3.1 พฤติกรรมการรับแรงของวัสดุเสริมกำลัง (จากการทดสอบ Direct Shear Test)	20
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่า Strain กับการเสริมวัสดุเสริมกำลัง	21
รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเสริมกำลังกับมวลดิน	25
รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบความต้านทานการเคลื่อนตัวของวัสดุเสริมกำลัง	26
รูปที่ 3.5 Design Chart	37
รูปที่ 3.6 Design Chart	37
รูปที่ 3.7 Design Chart	38
รูปที่ 3.8 Design Chart	39
รูปที่ 3.9 Design Chart	39
รูปที่ 3.10 Design Chart	40
รูปที่ 4.1 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นจุด	41
รูปที่ 4.2 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบเป็นแนว	42
รูปที่ 4.3 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบ แผ่นสม่ำเสมอบนพื้นที่เป็นแถบ	43
รูปที่ 4.4 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบ เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงบนพื้นที่เป็นแถบ	44
รูปที่ 4.5 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบ แผ่นสม่ำเสมอรูปวงกลม	45
รูปที่ 4.6 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบ แผ่นสม่ำเสมอเป็นรูปสี่เหลี่ยม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.7 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบ น้ำหนักบรรทุกทุกของดินถม	47
รูปที่ 4.8 แผนภูมิของ Newmark	48
รูปที่ 4.9 การกระจายแรงในแนวตั้ง ตามระยะความลึกของผิวดิน	49
รูปที่ 4.10 แผนภาพการกระจายหน่วยแรง	50
รูปที่ 4.11 แผนภูมิอิทธิพลของ เฟดัม	51
รูปที่ 4.12 แผนภูมิอิทธิพลของ ออสเตอร์เบิร์ก	52
รูปที่ 5.1 รูปรกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน	56
รูปที่ 5.2 การตกตะกอนของเม็ดดิน	59
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ของ R_c และ h	61
รูปที่ 5.4 เครื่องใช้ทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน	63
รูปที่ 5.5 การเขย่ากระบอกตกตะกอนและการหย่อน ไฮโดมิเตอร์	63
รูปที่ 5.6 เครื่องมือใช้ทดสอบหาขนาดเม็ดดิน โดยการร่อน	65
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density(γ_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น(Percent water content) ของ Standard Proctor (1) และ Modified Proctor (2)	69
รูปที่ 5.8 เครื่องมือใช้ในการทดสอบการบดอัด	71
รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ทดสอบความแน่นในสนาม	82
รูปที่ 5.10 การเคลื่อนพังทางปฐพีกลศาสตร์	102
รูปที่ 5.11 การเคลื่อนตัวและแรงต้านทาน	103
รูปที่ 5.12 เครื่องมือใช้ทดสอบ Direct Shear Test	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขบวนการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาด	5
ตารางที่ 2.2 ค่ามุมสำหรับหาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤต	7
ตารางที่ 2.3 ค่าของ n' , β , α_1 และ α_2 ในรูปที่ 2.4	8
ตารางที่ 3.1 Partil factor of Safety	29
ตารางที่ 5.1 ลักษณะของดินที่มีขนาดกละ	57
ตารางที่ 5.2 ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	58
ตารางที่ 5.3 ค่าคงที่ K_2	60
ตารางที่ 5.4 น้ำหนักตัวอย่างดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง	62
ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor	69
ตารางที่ 5.6 ค่า Strength Parameter ของดินบางชนิด	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1) ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งของงานดิน คือ เสถียรภาพความลาดชันของดิน ซึ่งจะพบปัญหาเหล่านี้ได้บ่อยครั้ง เช่น การเคลื่อนพังของความลาดชันของถนน การเคลื่อนพังของความลาดชันของเนินดินสูง ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการแก้ไขปัญหเกี่ยวกับเสถียรภาพความลาดชันของดินอยู่หลายวิธี ซึ่งต่างก็มีแนวทางปฏิบัติที่ต่างกัน ซึ่งโครงการพิเศษนี้จะกล่าวถึงการเสริมเสถียรภาพความลาดชันของดิน ในอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งเป็นแนวทางที่ค่อนข้างใหม่ในประเทศไทย และน่าสนใจในพฤติกรรมและแนวทางปฏิบัติ ซึ่งวิธีดังกล่าวคือ การเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลัง ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ใช้ geogrid เป็นชนิดของวัสดุเสริมกำลัง

1.2) วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) เพื่อศึกษาหลักการการเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลังประเภท geogrid
- 2) เพื่อศึกษาความแตกต่างของเสถียรภาพของความลาดชันของดินที่เสริม geogrid และเสถียรภาพความลาดชันของดินที่ไม่เสริม geogrid
- 3) เพื่อศึกษาการออกแบบเพื่อนำ geogrid ไปใช้งาน

1.3) ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

- 1) ทฤษฎีเกี่ยวกับกลศาสตร์ของดิน
- 2) ทฤษฎีเกี่ยวกับการเสริมกำลังของดิน โดยใช้วัสดุเสริมกำลัง

1.4) ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1) ทำการศึกษาหลักการการเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลัง ประเภท geogrid และการออกแบบ เพื่อนำ geogrid ไปใช้งาน
- 2) ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของเสถียรภาพความลาดชันของดินที่เสริม geogrid และเสถียรภาพความลาดชันของดินที่ไม่ได้มีการเสริม geogrid

1.5) วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

วิธีเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ทำการทดลองทางด้านกลศาสตร์ของดิน โดยมีการทดลองดังนี้
 - Sieve Analysis
 - Compaction test
 - Field density test
 - Direct shear test
- 2) ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเสริมกำลังจากการติดต่อข้อมูลจากบริษัท เอกสาร วารสาร สิ่งตีพิมพ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 3) ทำการทดสอบเสถียรภาพความลาดชันทั้งแบบที่เสริม geogrid และแบบที่ไม่เสริม geogrid โดยทำเนินดินขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 1 เมตร โดยทำการติดตั้ง plate เอาไว้เพื่อเช็การเคลื่อนตัวด้านข้าง แล้วทำการนำดินไปวางบนเนินดินแล้วใส่น้ำเพื่อทำเป็นload พร้อมทั้งทำการติดไม้บรรทัดไว้กับถังก้าน้ำเพื่อวัดการทรุดตัวของเนินดิน



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของเนินดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูล

1) นำค่าการเคลื่อนตัวทางแนวตั้ง และทางค้ำข้างมา plot เป็นกราฟ ณ น้ำหนักต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบแบบไม่เสริม geogrid และเสริม geogrid



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2.

เสถียรภาพความลาดชันของดิน (Stability of Slope)

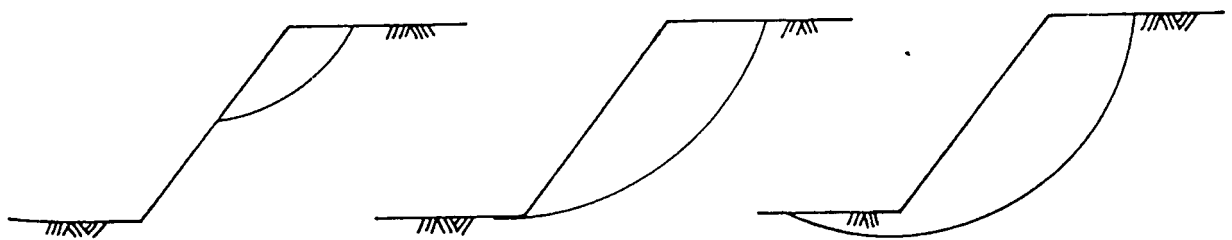
เมื่อดินมีความลาดเอียง ความลาดชันไม่ว่าจะเกิดจากการขุดหรือการถมก็ตาม ก็จะมีแรงเกิดขึ้น ซึ่งพยายามจะทำให้ดินเคลื่อนที่จากจุดที่สูงกว่ามายังจุดที่ต่ำกว่า แรงกระทำเหล่านี้ที่สำคัญได้แก่ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของดินเอง แรงกระทำภายนอก แรงที่เกิดจากการไหลซึมของน้ำ ซึ่งทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนขึ้นในดิน ส่วนในดินก็จะมีแรงต้านทานต่อแรงเฉือนของดิน แรงต้านทานที่สำคัญได้แก่ แรงเสียดทานภายในและแรงเชื่อมแน่นของดิน ถ้าแรงต้านทานมีค่ามากกว่าแรงกระทำดินก็จะไม่เกิดการเคลื่อนตัวและพังทลาย การทำพื้นดินให้ลาดเอียง เช่น ในการทำคันดินก่อสร้างถนน การก่อสร้างทำคลองส่งน้ำ ต้องพิจารณาและออกแบบให้ความลาดเอียงของดินนี้ปลอดภัยจากการพังทลาย หรือจากการไหลเซาะของน้ำ ซึ่งมีผู้วิจัยและค้นคว้าตลอดมาเกี่ยวกับเสถียรภาพของความลาดชัน

เสถียรภาพความลาดชันของดินก็คือ การหาส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ต่อการพังทลาย

$$\text{ส่วนปลอดภัย} = \frac{\text{แรงต้านทาน (หรือ โมเมนต์ของแรงต้านทาน)}}{\text{แรงกระทำ (หรือ โมเมนต์ของแรงกระทำ)}}$$

2.1) แบบของการพังทลาย (Type of Failure)

การพังทลายของดินที่มีความลาดเอียง จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ดินเคลื่อนตัวเป็นแนวโค้ง (Rotational slide) เนื่องจากโมเมนต์ของแรงกระทำที่มีค่าสูงกว่าโมเมนต์ที่ได้จากแรงต้านทานต่อการเคลื่อนตัว ซึ่งแนวโค้งนี้อาจจะตัดที่ผิวหน้าความลาดของดินเรียกว่า Slope failure หรือ ตัดที่ผิวลาดความลาดของดิน เรียกว่า Toe failure หรือ อาจจะตัดลึกลงไปใต้ฐานความลาดของดิน เรียกว่า Base failure



(ก) Slope failure

(ข) Toe failure

(ค) Base failure

รูปที่ 2.1 แบบของการพังทลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปัจจัยของความปลอดภัย สามารถหาค่าได้จาก

$$F.S. = \frac{M_r}{M_D}$$

หรือ

$$F.S. = \frac{\tau_{max}}{\tau_{req}}$$

เมื่อ

M_r = โมเมนต์ต้านทานการเคลื่อนตัวของดิน

M_D = โมเมนต์กระทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน

τ_{max} = หน่วยแรงเฉือนสูงสุดของดิน

τ_{req} = หน่วยแรงเฉือนของดินที่ต้องการในสภาพสมดุล

2.2) การวิเคราะห์เสถียรภาพ

การวิเคราะห์เสถียรภาพของดินต่างระดับ ประเภทงานดินถม ต้องพิจารณากำลังของดินสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งเรียกว่า หน่วยแรงรวม (Total Stress) ใช้หาเสถียรภาพของงานดินถมในระยะเวลาที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ (Short Term Stability) และพิจารณากำลังของดินสภาพไม่มีน้ำสอดแทรกในช่องของเม็ดดิน ซึ่งกำลังของดินเกิดจากเนื้อดินโดยเฉพาะ เรียกว่า หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ใช้หาเสถียรภาพของดินที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จมาเป็นเวลาอันยาวนาน (Long Term Stability) ขบวนการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดพิจารณาได้ดังตาราง

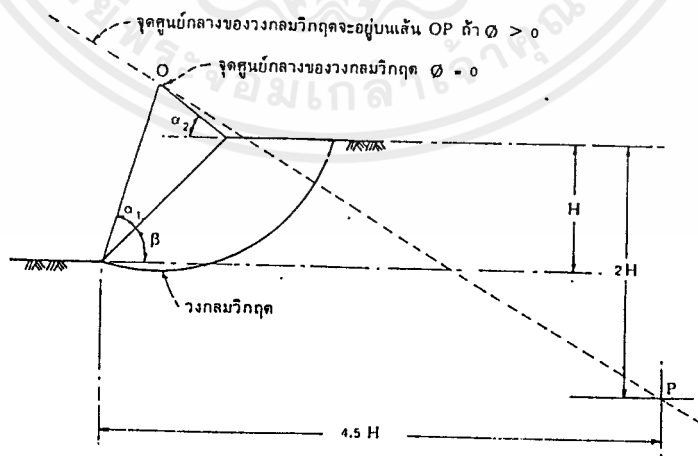
ขบวนการวิเคราะห์	ทิศของการใช้งาน	ข้อแนะนำการใช้งาน
Basic Method	พื้นระนาบพิบัติวงกลม สำหรับความลาดของดิน เหนียว	วิธีการไม่ซับซ้อน ซึ่งในทาง ปฏิบัติสามารถคำนวณด้วยมือ
Ordinary Method of Slices	พื้นระนาบพิบัติวงกลมของ ดินทุกชนิด	วิธีการไม่ซับซ้อน ซึ่งในทาง ปฏิบัติสามารถคำนวณด้วยมือ
Bishop Method of Slices	พื้นระนาบพิบัติวงกลมของ ดินทุกชนิด	วิธีการไม่ซับซ้อน เหมาะ สำหรับทำงานด้วยเครื่อง คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการวิเคราะห์	พิภคของการใช้งาน	ข้อแนะนำการใช้งาน
Simplified Bishop Method of Slices	พื้นราบพิบัติวงกลมของดินทุกชนิด	วิธีการความซับซ้อนไม่มากนักสามารถคำนวณด้วยมือในทางปฏิบัติ
Morganstem Price Method of Slices	พื้นราบพิบัติวงกลมและไม่เป็นวงกลมของดินทุกชนิด	วิธีการซับซ้อนต้องปฏิบัติการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์
Spencer Method of Slices	พื้นระนาบพิบัติวงกลมและไม่เป็นวงกลมของดินทุกชนิด	วิธีการซับซ้อนต้องปฏิบัติการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์
Janbu Method of Slices	พื้นระนาบพิบัติวงกลมและไม่เป็นวงกลมของดินทุกชนิด	การคำนวณต้องใช้คอมพิวเตอร์

ตารางที่ 2.1 ขบวนการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาด

ในที่นี้จะแสดงรายละเอียดในการคำนวณด้วยวิธี Ordinary Method of Slices และ Simplified Bishop Method of Slices ซึ่งวิธีการความซับซ้อนไม่มากนักสามารถคำนวณด้วยมือได้ การหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมของส่วนโค้งวงกลมวิกฤต ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งวงกลมที่เป็นผิวของการเลื่อนตัววิกฤตสามารถหาได้โดยใช้วิธีสร้างของเฟลลิเนียส (Fellenius) ดังรูป



รูปที่ 2.2 การหาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤตโดย วิธีของ Fellenius

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ $\emptyset = 0$

หาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤต \bigcirc ได้จากค่ามุมต่างๆ ตามตาราง

Slope	β^0	α_1^0	α_2^0
1 : 0.58	60	29	40
1 : 1	45	28	37
1 : 1.5	33.8	26	35
1 : 2	26.6	25	35
1 : 3	18.4	25	35
1 : 5	11.3	25	37

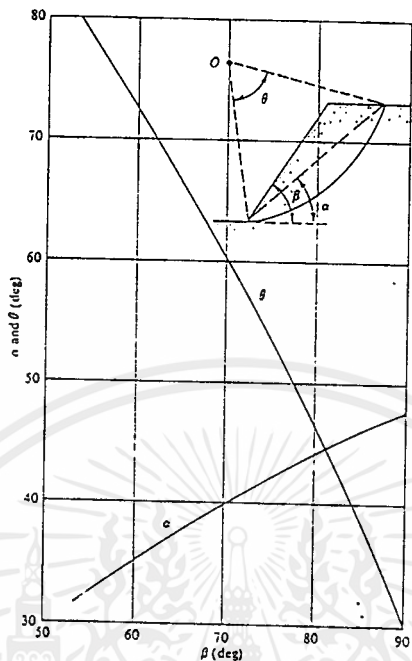
ตารางที่ 2.2 ค่ามุมสำหรับหาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤต

ในกรณีที่ $\emptyset > 0$

หาจุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤตได้ดังนี้

1. หาจุด \bigcirc ตามวิธีของ $\emptyset = 0$
2. ลากเส้นในแนวราบที่ระยะลึกจากผิวดินเป็น 2 เท่าของความสูงทำนบ (2H)
3. ลากเส้นในแนวตั้งที่ระยะห่างจากฐานของลาดทำนบเท่ากับ 4.5 เท่าของความสูงทำนบ (4.5 H)
4. ลากเส้น OP จุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤตจะอยู่บนเส้น OP นี้ หรือหาได้จาก

กราฟ



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลม $\beta > 53^\circ$

n'	β (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)
1.0	45	28	37
1.5	33.68	26	35
2.0	26.57	25	35
3.0	18.43	25	35
5.0	11.32	25	37

ตารางที่ 2.3 ค่าของ n' , β , α_1 , และ α_2 ในรูปที่ 2.4 ($\beta < 53^\circ$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1) Ordinary Method of Slices

การวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยวิธีนี้ ทำได้โดยแบ่งพื้นที่หน้าตัดของดินออกเป็น ส่วน ๆ ในแนวคิ่ง และพิจารณาเสถียรภาพของความลาดจากการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในพื้นที่หน้าตัดของดินแต่ละส่วนที่แบ่ง ดังรูป แต่วิธีนี้อิทธิพลของแรงเฉือน T และแรงตั้งฉาก E บนพื้นระนาบคิ่งของพื้นที่ส่วนที่แบ่งจะไม่นำมาพิจารณา จากรูป

พิจารณาพื้นระนาบเอียง

$$\Delta F_n = (W+Q) \cos\alpha$$

$$\Delta F_t = (W+Q) \sin\alpha$$

จะได้ normal stress $\sigma_n = \frac{1}{\Delta L} (W+Q) \cos\alpha$

shear stress $\tau_n = \frac{1}{\Delta L} (W+Q) \sin\alpha$

จาก shearing stress $S = C + \sigma \tan\phi$

อัตราส่วนความปลอดภัย

$$F = \frac{S}{\tau}$$

$$F = \frac{\sum [C\Delta L + (W+Q) \tan\phi]}{\sum (W+Q) \sin\alpha}$$

แบบ Effective

$$F = \frac{\sum [C'\Delta L + (W+Q - \mu L) \tan\phi']}{\sum (W+Q) \sin\alpha}$$

เมื่อ

$W =$ น้ำหนักของดิน

$Q =$ น้ำหนักภายนอก

$E_1, E_2 =$ แรงตั้งฉากบนพื้นระนาบคิ่งแนวส่วนแบ่งของดิน

$T_1, T_2 =$ แรงเฉือนบนพื้นระนาบคิ่งแนวส่วนแบ่งของดิน

$\mu L =$ แรงเนื่องจากความดันของน้ำ

$\Delta F_t =$ แรงเสียดทานที่พื้นเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta F_n = \text{แรงดึงฉากกับพื้นเอียง}$$

2.2.2) Simplified Bishop Method

รวมแรงกระทำบนพื้นที่ในแนวตั้ง

$$\sum F_y = 0$$

$$\Delta F_n \cos \alpha = (W+Q) + (T_1 - T_2) - \Delta F_t \sin \alpha$$

$$\Delta F_n = \frac{c \Delta L}{F} + \Delta F_n \frac{\tan \phi}{F}$$

$$F = \frac{\sum [c \Delta L + \Delta F_n \tan \phi]}{\sum (W+Q) \sin \alpha}$$

$$F = \frac{\sum [c \Delta L \cos \alpha + ((W+Q) + (T_1 - T_2)) \tan \phi]}{\sum (W+Q) \sin \alpha} \cdot \frac{1}{m \alpha}$$

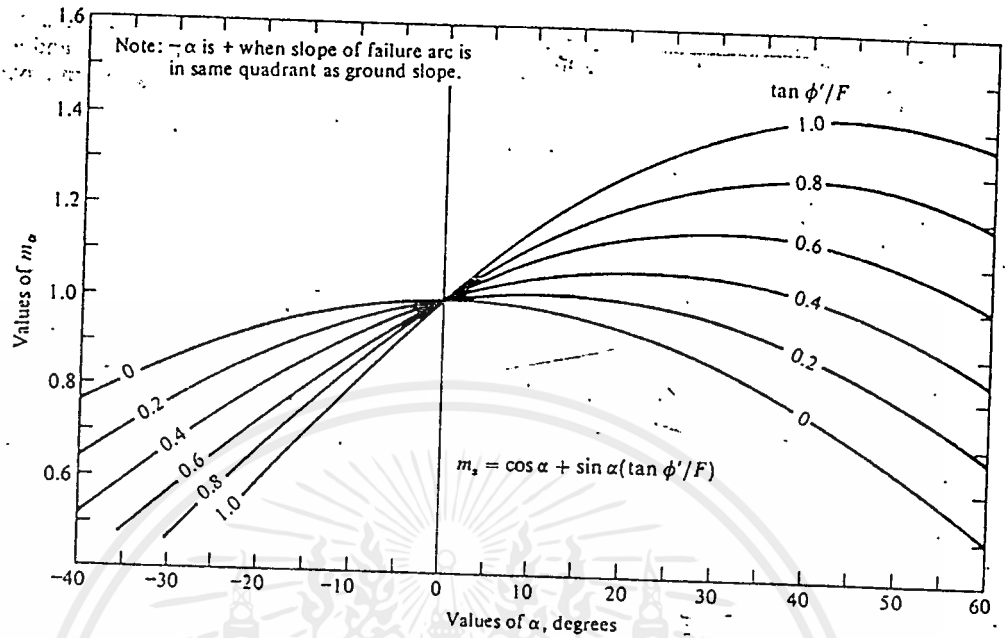
โดย $m \alpha = \cos \alpha + \sin \alpha \left(\frac{\tan \phi}{F} \right)$

หรือหาได้จากรูป

แบบ Effective

$$F = \frac{\sum [c' \Delta L \cos \alpha + (W+Q) - \mu L \cos \alpha] \tan \phi'}{\sum (W+Q) \sin \alpha} \cdot \frac{1}{m \alpha}$$

โดย $m \alpha = \cos \alpha + \sin \alpha \left(\frac{\tan \phi'}{F} \right)$



รูปที่ 2.6 กราฟหาค่าของ m_α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

1) UNIT WEIGHT = 1.88 2) SURCHARGE = 0

3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22

4) PORE PRESSURE = 0

5) COHESIVE = 0.39 6) SAFETY FACTOR = 2.346

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HIEGTH)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	[(c*b)+(w-ub)tan ϕ]/Ma	WSIN α
1	0.06	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0146	0.0149	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0140	0.0297	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.0067	0.0355	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	0.9953	0.0394	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	0.9743	0.0449	0.02225
6	0.1	0.61	0.05734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	0.9393	0.0494	0.03039
7	0.1	0.54	0.05076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	0.8940	0.0489	0.03125
8	0.1	0.45	0.0423	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	0.8488	0.0475	0.02885
9	0.1	0.35	0.0329	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	0.7860	0.0465	0.02483
10	0.1	0.22	0.02068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.6891	0.0459	0.01734
11	0.08	0.07	0.005264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.5787	0.0358	0.00477
												0.4384	-0.1869

SAFETY FACTOR = 2.346

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

- 1) UNIT WEIGHT = 1.98 2) SURCHARGE = 0.4
 3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22 4) PORE PRESSURE = 0
 5) COHESIVE = 0.39 6) SAFETY FACTOR = 1.472

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HIEGTH)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	[(c*b)+(w-ub)tan ϕ]/Ma	WSIN α
1	0.06	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0306	0.0146	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0352	0.0291	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.0366	0.0345	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	1.0319	0.0380	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	1.0191	0.0429	0.02225
6	0.1	0.61	0.09734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	0.9935	0.0630	0.05158
7	0.1	0.54	0.09076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	0.9570	0.0626	0.05588
8	0.1	0.45	0.0823	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	0.9185	0.0615	0.05613
9	0.1	0.35	0.0729	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	0.8632	0.0610	0.05502
10	0.1	0.22	0.06068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.7748	0.0616	0.05089
11	0.08	0.07	0.037264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.6714	0.0501	0.03377
												0.5190	0.3527

SAFETY FACTOR =

1.472

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

- 1) UNIT WEIGHT = 1.88 2) SURCHARGE = 0.9
 3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22°
 4) PORE PRESSURE = 0
 5) COHESIVE = 0.39 6) SAFETY FACTOR = 1.149

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HIEGTH)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	$[c^*b)+(w-ub)tan\phi]/Ma$	WSIN α
1	0.06	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0427	0.0145	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0513	0.0286	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.0591	0.0338	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	1.0596	0.0370	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	1.0529	0.0416	0.02225
6	0.1	0.61	0.13734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	1.0344	0.0761	0.07278
7	0.1	0.54	0.13076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	1.0045	0.0757	0.08050
8	0.1	0.45	0.1223	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	0.9712	0.0748	0.08341
9	0.1	0.35	0.1129	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	0.9214	0.0747	0.08521
10	0.1	0.22	0.10068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.8395	0.0761	0.08444
11	0.08	0.07	0.069264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.7413	0.0628	0.06277
												0.5958	0.5185

SAFETY FACTOR = 1.149

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

- 1) UNIT WEIGHT = 188
- 2) SURCHARGE = 12
- 3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22
- 4) PORE PRESSURE = 0
- 5) COHESIVE = 0.39
- 6) SAFETY FACTOR = 0.979

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HIEGTH)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	$[c*b+(w-ub)tan\phi]/Ma$	WSIN α
1	0.06	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0522	0.0143	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0640	0.0283	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.0770	0.0332	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	1.0815	0.0362	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	1.0797	0.0405	0.02225
6	0.1	0.61	0.17734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	1.0667	0.0890	0.09398
7	0.1	0.54	0.17076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	1.0421	0.0885	0.10513
8	0.1	0.45	0.1623	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	1.0128	0.0877	0.11069
9	0.1	0.35	0.1529	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	0.9675	0.0879	0.11540
10	0.1	0.22	0.14068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.8908	0.0899	0.11798
11	0.08	0.07	0.101264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.7966	0.0747	0.09178

SAFETY FACTOR =	0.979
------------------------	--------------

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

- 1) UNIT WEIGHT = 1.98 2) SURCHARGE = 1.6
 3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22
 4) PORE PRESSURE = 0
 5) COHESIVE = 0.39 6) SAFETY FACTOR = 0.875

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HEIGHT)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	$[(c^*b)+(w-ub)\tan\phi]/Ma$	WSIN α
1	0.08	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0599	0.0142	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0741	0.0280	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.0913	0.0328	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	1.0991	0.0357	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	1.1012	0.0397	0.02225
6	0.1	0.61	0.21734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	1.0927	0.1016	0.11517
7	0.1	0.54	0.21076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	1.0723	0.1011	0.12976
8	0.1	0.45	0.2023	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	1.0463	0.1003	0.13797
9	0.1	0.35	0.1929	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	1.0045	0.1007	0.14558
10	0.1	0.22	0.18068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.9319	0.1033	0.15153
11	0.08	0.07	0.133264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.8411	0.0861	0.12078
												0.7436	0.8502

SAFETY FACTOR =

0.875

STABILITY OF SLOPE

(BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES)

INPUT DATA

1) UNIT WEIGHT = 188 2) SURCHARGE = 2

3) ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22

4) PORE PRESSURE = 0

5) COHESIVE = 0.39 6) SAFETY FACTOR = 0.803

SLICE NO.	b(WIDTH)	h(HIEGTH)	W	α	U	TAN ϕ	SIN α	COS α	C*b	U*b	Ma	[c*b)+(w-ub)tan ϕ /Ma	WSIN α
1	0.06	0.05	0.00282	9	0	0.4040	0.1564	0.9877	0.0234	0	1.0664	0.0141	0.00044
2	0.1	0.18	0.01692	12	0	0.4040	0.2079	0.9781	0.039	0	1.0828	0.0278	0.00352
3	0.1	0.33	0.03102	17	0	0.4040	0.2924	0.9563	0.039	0	1.1034	0.0324	0.00907
4	0.1	0.42	0.03948	21	0	0.4040	0.3584	0.9336	0.039	0	1.1139	0.0352	0.01415
5	0.1	0.54	0.05076	26	0	0.4040	0.4384	0.8988	0.039	0	1.1194	0.0391	0.02225
6	0.1	0.61	0.25734	32	0	0.4040	0.5299	0.8480	0.039	0	1.1147	0.1141	0.13637
7	0.1	0.54	0.25076	38	0	0.4040	0.6157	0.7880	0.039	0	1.0978	0.1135	0.15438
8	0.1	0.45	0.2423	43	0	0.4040	0.6820	0.7314	0.039	0	1.0745	0.1127	0.16525
9	0.1	0.35	0.2329	49	0	0.4040	0.7547	0.6561	0.039	0	1.0358	0.1133	0.17577
10	0.1	0.22	0.22068	57	0	0.4040	0.8387	0.5446	0.039	0	0.9666	0.1163	0.18508
11	0.08	0.07	0.165264	65	0	0.4040	0.9063	0.4226	0.0312	0	0.8786	0.0972	0.14978
												0.8157	1.0161

SAFETY FACTOR =

0.803



บทที่ 3

การเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลัง

ตามปกตินั้นเมื่อมีน้ำหนักมากระทำต่อมวลดินแล้วจะทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้น (σ_v) ในมวลดิน เป็นผลทำให้เกิดแรงเฉือน (shear τ) ขึ้นในมวลดิน ซึ่งเมื่อค่าความต้านทานแรงเฉือน ไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ก็จะทำให้เกิดการพังทลายของดิน ซึ่งการเสริมกำลังของดิน จะเข้ามาช่วยทำให้ดินมีคุณสมบัติทางด้านการรับแรงที่กระทำและต้านทานแรงเฉือนได้ดีขึ้น

3.1) หลักการของการเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลัง

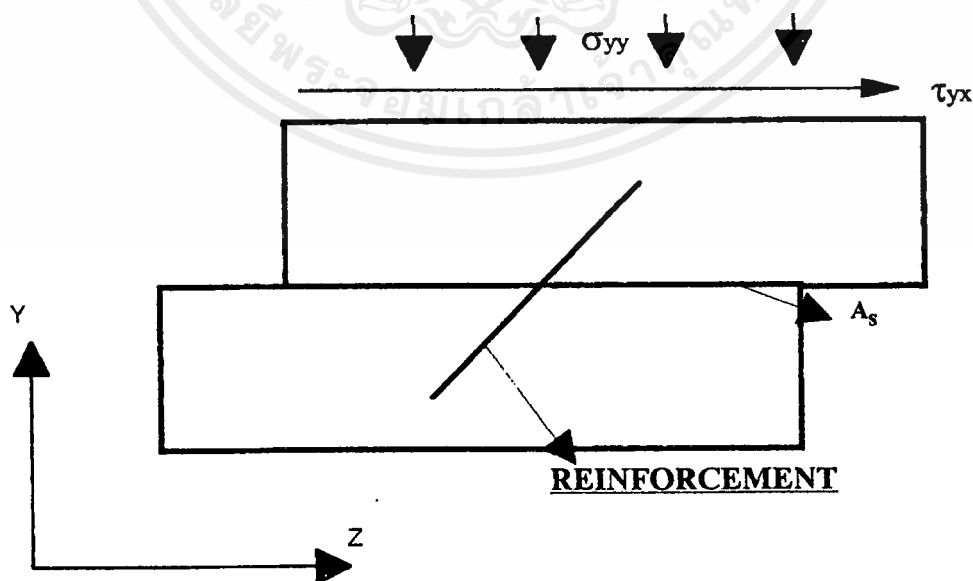
หลักการพื้นฐานของการเสริมกำลังดินโดยวัสดุเสริมกำลัง คือ

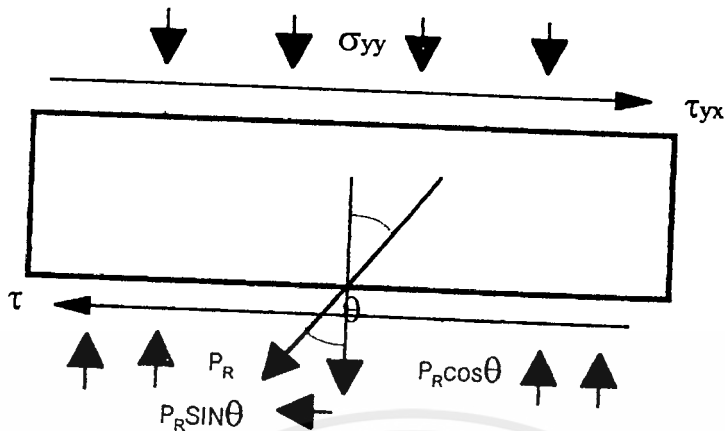
3.1.1) ค่า Tensile Strain ของดินทำให้เกิดแรงดึง (P_R) ขึ้นในวัสดุเสริมกำลังดิน

3.1.2) แรงที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมกำลังในทิศทางสัมผัสกับพื้นผิวที่เกิดแรงเฉือน ($P_R \sin\theta$) จะทำให้เกิดแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับมวลดินนั้นลดลง

3.1.3) แรงที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมกำลังในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวที่เกิดแรงเฉือน ($P_R \cos\theta$) จะทำให้ดินมีความสามารถในการรับแรงทางแนวตั้งที่มากกระทำได้มากขึ้น

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมกรรับแรงของวัสดุเสริมกำลัง (จากการทดสอบ Direct Shear test)





รูปที่ 3.1 พฤติกรรมการรับแรงของวัสดุเสริมกำลัง (จากการทดสอบ Direct Shear test)

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau = \tau_{yx} - \frac{P_R \sin \theta}{A_s} \quad (\text{ลดค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น}) \quad (3.1)$$

$$\sigma = \sigma_{yy} - \frac{P_R \cos \theta}{A_s} \quad (\text{เพิ่มความสามารถในการรับแรงในแนวตั้งเพิ่มขึ้น}) \quad (3.2)$$

เมื่อ P_R = แรงที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมกำลัง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เมื่อมีแรงเฉือนเกิดขึ้นในมวลดิน จะทำให้เกิด tensile stress ขึ้น และเป็นผลทำให้เกิด tensile strain ซึ่งวัสดุเสริมกำลังนั้นจะช่วยลด tensile stress ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้โดยอาศัยทฤษฎีแรงดันด้านข้างของดินได้ดังนี้

$$\text{จาก } \sigma_v = \gamma h$$

$$\text{at - rest lateral stress} = \sigma_h = K_o \gamma h$$

เมื่อ K_o = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Coefficient of earth pressure at rest)

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

จากสมการจะเห็นว่าเมื่อน้ำหนักมากกระทำจะทำให้เกิดแรงดันด้านข้างและเป็นผลทำให้เกิด Horizontal tensile strain ขึ้นในมวลดิน จนถึงจุดที่ดินขยายตัวจนถึงจุดพังทลาย ซึ่งจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Active lateral stress} = \sigma_{\text{h}} = K_a \gamma h$$

เมื่อ K_a = สัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบ active (Coefficient of active earth pressure)

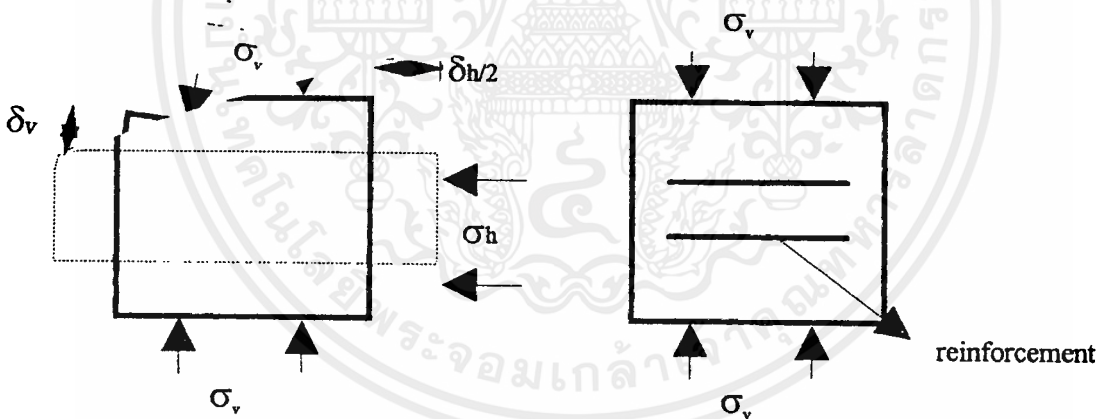
$$K_a = \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเสริมกำลังของดินโดยวัสดุเสริมกำลังของดิน จะทำให้ค่า Horizontal tensile strain (δ_{h}) มีค่าลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งเกิดมาจากผลของแรงที่เกิดขึ้นระหว่างดินกับวัสดุเสริมกำลัง ซึ่งพยายามทำให้มวลดินอยู่ในสภาพคงที่ (at - test)

∴ จะได้ว่า ค่าหน่วยแรงที่ดินถ่ายให้แก่วัสดุเสริมกำลัง = $K_0 \sigma_v$

$$\therefore \text{หน่วยแรงดึงต่อหน่วย} = \frac{K_0 \sigma_v}{a_r}$$

โดย a_r = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุเสริมกำลัง



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่า strain กับการเสริมวัสดุเสริมกำลัง

โดยค่า strain ที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมกำลัง จะเท่ากับ

$$\delta_r = \frac{K_0 \sigma_v}{a_r E_r}$$

โดย E_r = elasticity modulus of reinforcement

$$E_r = \frac{\delta_r}{\epsilon_r} = \frac{K_0 \sigma_v}{a_r \epsilon_r}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ϵ_r = lateral strain of soil in direction of reinforcement

$a_r \epsilon_r$ = effective stiffness

ถ้า $a_r \epsilon_r$ สูง ทำให้ ϵ_r มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (ดินอยู่ในสภาพคงที่)

ค่า $a_r \epsilon_r$ ทำให้ ϵ_r มีค่ามาก (ดินขยายตัวมากจนถึงจุดพัง)

3.2) องค์ประกอบของระบบของการเสริมกำลังโดยใช้วัสดุเสริมกำลัง

องค์ประกอบของการเสริมกำลังดิน ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ดิน
2. วัสดุเสริมกำลัง
3. ปฏิกริยาระหว่างมวลดินกับวัสดุเสริมกำลัง

3.2.1) ดิน

ในการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลังของดินนั้นคุณสมบัติของดินมีผลสำคัญที่จะทำให้ระบบของการเสริมของดินเปลี่ยนแปลงไปในกรณีการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลัง โดยวัสดุเสริมกำลังนั้นจะกล่าวถึงดิน 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

3.2.1.1) ดินประเภทมวลหยาบอัดแน่น

เป็นดินประเภทที่ความสามารถด้านทานแรงเฉือนของมวลดิน ขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction ϕ) ซึ่งค่ามุมเสียดทานภายในของดินประเภทมวลหยาบอัดแน่น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 2 ประการ คือ

1. องค์ประกอบแรก จะมีค่าคงที่โดยค่ามุมเสียดทานภายในของดินจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน โดยค่ามุมเสียดทานภายใน ณ จุดนี้ จะถือว่ามีความน้อยที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 32° ถึง 37° โดยค่ามุมเสียดทานภายใน ณ จุดนี้ อาจเรียกว่า มุมเสียดทานวิกฤต (Critical state angle of friction ϕ'_c)
2. องค์ประกอบที่สอง ขึ้นอยู่กับความอัดแน่นของมวลดิน โดยเมื่อดินมีการอัดตัวกันแน่น เมื่อเกิดแรงเฉือนขึ้น ดินมวลหยาบที่ถูกอัดแน่นนั้นจะเกิดการขยายตัว โดยอัตราการขยายตัวนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสัมพัทธ์และขนาดของหน่วยแรงที่มากระทำต่อมวลดิน โดยการขยายตัวของมวลดินนี้ทำให้ค่ามุมเสียดทานเพิ่มขึ้น

โดยค่ามุมเสียดทาน ณ จุดนี้ เรียกว่า ค่ามุมเสียดทานภายในสูงสุด (peak angle of friction ϕ'_p) ซึ่งสามารถจะแสดงได้ดังสมการนี้

$$\phi'_p = \phi'_c + 0.8i \quad (3.3)$$

เมื่อ i = มุมของการขยายตัว (angle of dilation)

จากการทดสอบ Direct Shear test นั้นจะสามารถหาค่ามุมการขยายตัว (i) โดยได้จาก ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวทางแนวตั้ง (dy) ต่อการเคลื่อนตัวในแนวแรงเฉือน (dx)

$$\frac{dx}{dy} = \tan i \quad (3.4)$$

ในการออกแบบแล้วปกติจะใช้ค่ามุมเสียดทานภายในวิกฤต (ϕ'_c) มาใช้ แต่ในกรณีที่มีค่าความปลอดภัยสูงพออาจนำค่ามุมเสียดทานภายในสูงสุด (ϕ'_p) มาใช้ได้

3.2.1.2) ดินประเภทดินเหนียวอ่อน

ดินประเภทดินเหนียวค่าความต้านทานแรงเฉือนจะขึ้นอยู่กับค่าแรงยึดเหนี่ยวในมวลดิน (Cohesive c) โดยค่าแรงยึดเหนี่ยวที่นำมาใช้ในการออกแบบนั้นจะคิดว่าเป็นดินเหนียวอยู่ในสภาพที่เมื่อมีน้ำหนักมากกระทำจะไม่มีกรกระจายหรือถ่ายเท แรงคั้นน้ำภายในมวลดิน โดยค่าความต้านทานแรงเฉือน ณ จุดนี้จะเรียกว่า สภาวะ Undrained Shear Strength

โดยค่า Undrained Shear Strength นั้นจะขึ้นอยู่กับหน่วยแรงในแนวตั้งมากที่สุด ที่มากระทำต่อมวลดินในเวลาที่ผ่านมา (Preconsolidation pressure, σ'_{vm})

โดยค่า Undrained Shear Strength จะสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

นี้

สำหรับ Normally consolidated clays :

$$\left[\frac{\delta u}{\sigma'_{v'}} \right]_{nc} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.5)$$

โดยค่าคงที่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.3

สำหรับ Overconsolidated clays :

$$\left[\frac{\delta u}{\sigma'_{v'}} \right]_{oc} = \left[\frac{\delta u}{\sigma'_{v'}} \right]_{(OCR)^m} \quad (3.6)$$

โดย m = ค่าคงที่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.78 ถึง 0.80 เมื่อค่า $OCR < 4$

$$OCR = \sigma'_{mv} / \sigma'_{v'}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ OCR = Overconsolidation ratio
 ในทางปฏิบัติแล้วจะต้องคำนึงระดับน้ำใต้ดิน, ค่าการซึมขึ้นของน้ำในมวลดิน
 ประกอบในการออกแบบด้วย

3.2.2) วัสดุเสริมกำลังประเภทตาข่าย (Grid)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. Intensible Reinforcement - ตะแกรงเหล็ก (Steel Grid)

เป็นวัสดุเสริมกำลังประเภทไม่ยืดขยายตัว ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป ตะแกรงเหล็ก, Wire Mesh ซึ่งข้อได้เปรียบของวัสดุประเภทนี้คือ ราคาไม่แพงมากนัก, ง่ายต่อการขนส่ง, มีอัตราการใช้สูง แต่จะมีข้อด้อย อยู่ที่อาจเสื่อมคุณภาพได้โดยการสึกกร่อนโดยสภาวะแวดล้อม

2. Extensible Reinforcement - Geogrid

เป็นวัสดุเสริมกำลังประเภทที่มีการขยายตัวเมื่อมีการรับกำลัง โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวัสดุสังเคราะห์หรือเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งในกรณีของ Geogrid คือ วัสดุสังเคราะห์ซึ่งทำมาจาก high Strength polymer ที่ใช้ในการเสริมกำลังดิน โดยอาศัยการรับแรงอยู่ในรูปของแรงเสียดทานระหว่างผิวของ geogrid กับอนุภาคของดินและการ interlock ในช่องว่างของ geogrid

คุณสมบัติเบื้องต้นของ geogrid ที่จะนำมาใช้

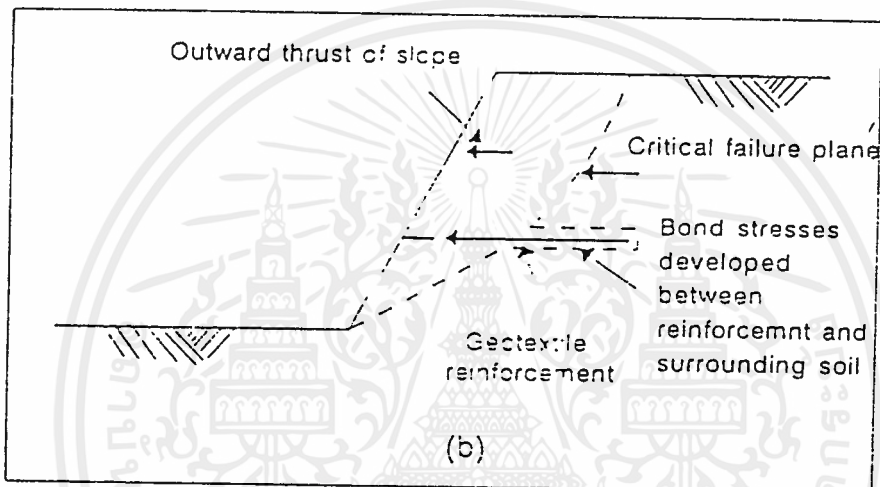
- 1) Strength - วัสดุเสริมกำลังจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานหน่วยแรงที่เกิดขึ้น เพื่อรักษาสมดุลย์ของอนุภาคได้
- 2) Stiffness - วัสดุเสริมกำลังจะต้องมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากพอเมื่อเกิด tensile strain ขึ้น
- 3) Bond - วัสดุเสริมกำลังจะต้องมีความสามารถจะถ่ายเทแรงยึดเหนี่ยวให้แก่ดินรอบ ๆ ได้ดีเพื่อที่จะรักษาสมดุลย์ของมวลดินที่อยู่รอบ ๆ
- 4) Durability - วัสดุเสริมกำลังจะต้องมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เช่น อุณหภูมิ กรด ด่าง ฯลฯ

3.2.3) ปฏิกริยาระหว่างมวลดินกับวัสดุเสริมกำลัง

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างมวลดินกับวัสดุเสริมกำลังจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ใหญ่ ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **แรงยึดเหนี่ยว (Bond)** หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นใน geogrid จะถูกถ่ายเทให้กับดินโดยรอบ ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัว geogrid กับดินที่อยู่ติดกัน โดยแรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทาน ระหว่างตัว geogrid กับดินที่อยู่รอบ ๆ ตลอดผิวของ geogrid ตามทิศทางขนานกับตัววัสดุเสริมกำลัง geogrid



Reinforcement and soil bond by friction (EXXON, 1989)

รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเสริมกำลังกับมวลดิน

ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้จากแรงยึดเหนี่ยวจะได้ดังสมการดังนี้

$$(P_R)_{\max} \leq 2\sigma'_v L_b W \tan \phi_c \quad (3.7)$$

- เมื่อ
- W = ความกว้างของ geogrid
 - L_b = ความยาวของ geogrid ในช่วงที่เกิดแรงยึดเหนี่ยว
 - σ'_v = หน่วยแรงแนวตั้ง
 - ϕ_c = มุมเสียดทานระหว่าง geogrid กับดินที่อยู่รอบ ๆ

ในทางปฏิบัติ, ϕ_c มีความสัมพันธ์กับมุมเสียดทานภายใน (ϕ') ดังสมการนี้

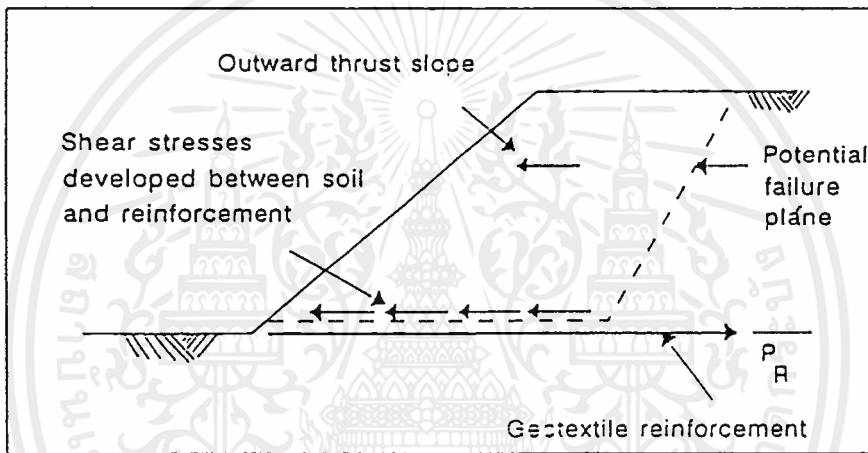
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan \phi_c = f_b \tan \phi' \quad (3.8)$$

เมื่อ f_b = สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างดินกับวัสดุเสริมกำลัง

2. ความต้านทานการเคลื่อนตัว sliding resistance

แรงเฉื่อยคานที่เกิดขึ้นระหว่าง geogrid กับดินที่อยู่รอบ ๆ โดยแรงนี้จะช่วยต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดินภายใน ซึ่งแรงคั้นจะถูกกล่าวถึงเมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวกับพื้นผิวของการเสริม geogrid ตรงกันพอดี ตามรูป 3.5



Direct sliding along surface of geotextile reinforcement
(EXXON, 1989)

รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบความต้านทานการเคลื่อนตัวของวัสดุเสริมกำลัง

โดยแรงที่ทำให้เกิดความสมดุล จะแสดงดังสมการ

$$(P_a)_{\max} \leq L_s W \sigma'_v \tan \phi_c \quad (3.9)$$

- เมื่อ
- W = ความกว้างของ geogrid
 - L_s = ความยาวของแนวการเคลื่อนตัว
 - σ'_v = หน่วยแรงในแนวดิ่ง
 - ϕ_c = มุมเสียดทานระหว่าง geogrid กับวัสดุเสริมกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งขบวนการแรงยึดเหนี่ยว (Bond) และความต้านทานแรงเฉือน (sliding resisting) ขึ้นอยู่กับขบวนการทางกลศาสตร์ที่เป็นพื้นฐาน 3 ประการ คือ

- 1) แรงเฉือนของดินบนระนาบของพื้นผิวของวัสดุเสริมกำลังโดยมีทิศทางขนานกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคของดิน
- 2) การรับน้ำหนักของดินบนพื้นผิวที่รับน้ำหนัก ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนตัวของอนุภาคของดิน
- 3) แรงเฉือนของอนุภาคดินเองบนช่องว่างของวัสดุเสริมกำลัง

3.3) วิธีการออกแบบ

ณ ที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบโดยวิธี Tensar ซึ่งอาศัยแผนภาพช่วยในการออกแบบโดยแผนภาพนั้น มีพื้นฐานมาจาก limit equilibrium methods of analysis ซึ่งจะให้พื้นผิวการพังทลายเป็นแบบ two - part wedge failure surfaces.

สมมติฐานเบื้องต้นในการใช้แผนภาพช่วยในการออกแบบ (design chart) โดยวิธีของ tensar

- 1) ดินถมหรือความลาดชันจะต้องมีระดับบนสุดเป็นแนวระดับ และมีความลาดชันอยู่ในช่วง 30° ถึง 80°
- 2) ดินถมจะต้องวางอยู่บนฐานรากที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักเพียงพอ
- 3) ดินถมจะต้องเป็นวัสดุเพียงชนิดเดียว
- 4) ดินถมสามารถรับน้ำหนักแผ่แบบสม่ำเสมอได้ (Uniform load)
- 5) วัสดุเสริมกำลังจะต้องวางในแนวระดับเท่านั้น
- 6) ไม่สามารถใช้กับกรณีที่ดินถมอยู่ภายใต้ระดับน้ำหรือจมอยู่ในน้ำบางส่วน
- 7) ไม่สามารถใช้กับกรณีที่มีน้ำหนักแบบจุด (Point load) , แบบเส้น (line load)

ในการใช้แผนภาพช่วยในการออกแบบ (design chart) นั้น ค่ามุมเสียดทานภายในจะใช้ค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผลมาใช้ (effective angle of internal friction) ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง $20^\circ - 40^\circ$ สำหรับวัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวมาเกี่ยวข้อง ค่าแรงยึดเหนี่ยวก็ใช้ค่า แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (effective cohesive C') ส่วนแรงดันน้ำจะแสดงออกในรูปของสัมประสิทธิ์ของแรงดันน้ำ (Pore water pressure coefficient r_u) ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5

$$\text{โดย } r_u = \frac{\text{แรงดันน้ำ ณ จุดหนึ่งจุดใด}}{\text{หน่วยแรงในแนวตั้ง ณ จุดหนึ่งจุดใด}} = \frac{u}{\gamma z}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1) ขั้นตอนการออกแบบ

1. ค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ (chart parameter)

1.1) ลักษณะภายนอกของโครงสร้าง - ค่าความสูง (H), ความลาดเอียงของโครงสร้าง (β)

1.2) น้ำหนักที่กระทำ - น้ำหนักของมวลดิน (γ), ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงคั้นน้ำ (r_u) และน้ำหนักภายนอกที่กระทำ (W_s) ซึ่งค่าดังกล่าวเมื่อนำมาคิดจะแปลงให้อยู่ในรูปของความสูงของมวลดิน โดยมีค่าเท่ากับ $\frac{W_s}{\gamma}$

1.3) ค่าความแข็งแรงของมวลดินและวัสดุเสริมกำลัง

- ดิน ในการออกแบบคำนวณเสียดทานภายในจะคิดในกรณีที่เป็นค่ามุมเสียดทานภายในวิกฤต ($\phi'c$)

- วัสดุเสริมกำลัง คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรง Tensar geogrids สามารถหาได้จาก “Test Methods and Physical Properties of Tensar Geogrids” จัดทำโดย Nelton limited จากการทดสอบจะได้ค่า Characteristic Strength (f_k) ของ grid ณ อุณหภูมิคงที่สำหรับช่วงระยะเวลาการใช้งาน โดยค่านี้จะได้มาจากความเชื่อมั่น 95% และรวมถึงผลกระทบของความล้าแล้ว ในทางปฏิบัติแล้วอาจจะมีผลกระทบทางการก่อสร้าง เช่น การบดอัด และอาจจะมีการลดสมรรถภาพของวัสดุ เพราะฉะนั้นจึงมีการเพิ่มค่าความปลอดภัยให้กับตัววัสดุเสริมกำลัง ซึ่งเรียกว่า partial factor of safety (τ_m) ซึ่งจะได้ค่า characteristic Strength Service ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\text{Characteristic Strength Service} = \frac{f_k}{\tau_m} \quad (3.11)$$

ซึ่งค่า τ_m ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ตามตารางที่ 3.1

1.4) ค่าความปลอดภัยทั้งหมด (Overall Factor of Safety)

ค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการออกแบบที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ซึ่งนำมาใช้โดยตรงกับการออกแบบ ซึ่งค่าตัวแปรเหล่านี้อาจมีความคลาดเคลื่อน เพราะฉะนั้นจึงมีการให้ค่าความปลอดภัยแก่ค่าเหล่านั้น โดยจะได้ค่า Safe Design Strength เพื่อนำไปออกแบบโดยค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Safe Design Strength} = \frac{\text{Characteristic Strength Service}}{\text{Overall factor of Safety}} \quad (3.12)$$

โดยค่า Overall Factor of Safety มีค่าอยู่ในช่วง 1.3 ถึง 1.5

2. ขั้นตอนการออกแบบ

2.1) นำค่าความลาดเอียงของโครงสร้าง (β) และค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') ของดิน นำไปหาค่า K (Force Coefficient) จาก design chart ซึ่งค่า K จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันน้ำ (r_u)

2.2) ค่าความยาวที่ต้องการของวัสดุเสริม (L) ซึ่งจะหาได้จาก ค่า (L/H) ซึ่งจะหาได้จาก design chart ซึ่งนำค่าของความลาดเอียงของโครงสร้าง (β) และมุมเสียดทานภายใน (ϕ') ใช้ประกอบการหา ซึ่งค่า L/H จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าอัตราส่วน L/H

2.3) โดยทั่วไปแล้วปกติระยะห่างทางแนวตั้ง จะเพิ่มขึ้นจากฐานของโครงสร้างขึ้นไปจนถึงด้านบนสุดของความลาดชัน ซึ่งขั้นตอนในการหาระยะห่างน้อยที่สุดของวัสดุเสริมกำลังซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.1 สมมติระยะห่างน้อยที่สุด (v) ขึ้นมา

2.3.2 หาค่า Spacing constant (Q) ซึ่งหาได้จาก

$$Q = \frac{\text{Safe Design Strength of Grid}}{KYV} \quad (3.13)$$

2.3.4 ถ้าค่า Q ที่หาได้นั้นมีค่าน้อยกว่าความสูงของโครงสร้างจริง แสดงว่าค่าระยะห่างทางแนวตั้งน้อยที่สุดที่สมมติมากเกินไป ต้องสมมติค่าขึ้นมาใหม่ แล้วทำการตรวจสอบค่าเหมือนขั้นตอนที่ผ่านมา

2.4) ค่าแรงในแนวระดับที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก

$$T = \frac{1}{2} k \gamma H^2 \quad (3.14)$$

จำนวนของ geogrids ที่ต้องการ (N) หาได้จาก

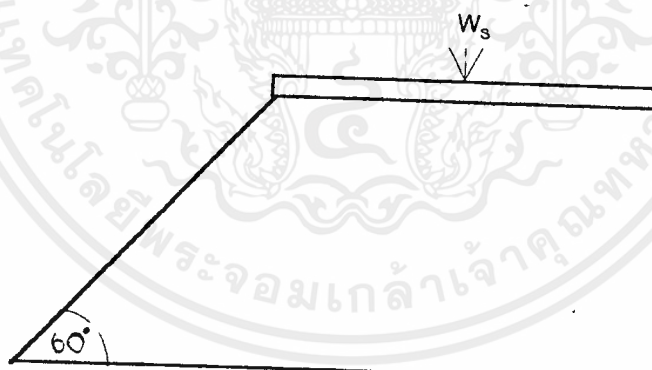
$$N = \frac{T}{\text{Safe Design Strength of Grid}} \quad (3.15)$$

3.3.2) ตัวอย่างการออกแบบ

ออกแบบการวาง Tensar Geogrid อย่างเหมาะสมสำหรับ Steep Embankment โดยใช้ Granular Material ตามสมบัติที่แสดงดังรูป ไม่มีแรงดันน้ำมาเกี่ยวข้อง เมื่อมี Surcharge 20 กน/ม²

เมื่อค่า Characteristic Strength (f_k) ของ Tensar 'SR 55 และ SR 80 ซึ่งมีอายุการใช้งาน 120 ปี ได้จากตาราง Tensar SR55

$$F_k = 22.0 \text{ กน/ม. Tensar SR 80} = 32.5 \text{ กน/ม.}$$



ค่า Partial Factor of Safety (τ_m) ของ SR55 = 1.25

ค่า Partial Factor of Safety (τ_m) ของ SR80 = 1.20

ค่า Overall Factor of Safety = 1.35

$$\text{Safe Design Strength (S.D.S)} = \frac{f_k}{\tau_m * \text{Overall Factor of safety}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Tensar SR55} = \frac{22}{1.25 \times 1.35} = 13 \text{ กน./ม.}$$

$$\text{Tensar SR80} = \frac{32.5}{1.25 \times 1.35} = 20.1 \text{ กน./ม.}$$

เนื่องจากอิทธิพลของ Surcharge ทำให้ต้องคิดความสูงประสิทธิผล

$$H' = \frac{H + W_s}{\gamma} = \frac{16 + 20}{19} = 17.05 \text{ ม.}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ K ถูกกำหนดจาก chart โดยใช้ค่า $\phi = 35$ องศา และ $\beta = 60$ องศา

$$K = 0.12$$

ค่า L/H ถูกกำหนดจาก chart

$$L/H = 0.53$$

$$\text{ค่า } L = 0.53 \times 17.05 = 9 \text{ เมตร}$$

เริ่มต้นด้วยการสมมติความหนา $V = 0.2$ ม. และทำการคำนวณระยะระหว่าง grid

ดังสูตร

$$Q = \frac{\text{Safe Design Strength}}{K \times \gamma \times V}$$

$$Q(\text{SR80}) = \frac{20.1}{0.12 \times 19 \times 0.2} = 44 \text{ ม.}$$

$$Q(\text{SR55}) = \frac{13}{0.12 \times 19 \times 0.2} = 28.5 \text{ ม.}$$

เพื่อความประหยัดเราจึงทำการวาง Geogrid SR80 ที่ 2 V, 3 V, 4 V, 5 V และใช้ SR 55 ที่ 5 V ด้วย

Grid Type	Spacing in zone (ม.)	ความหนา (ม.)	การคำนวณจำนวน Grid	เลือกใช้ Grid	ส่วนที่เหลือ (ม.)
SR80	2v = 0.4	17.05 - 14.67 = 2.38	$\frac{2.38}{0.4} = 5.95$	5	2.38 - 5(0.4) = 0.38
SR80	2v = 0.6	14.67 - 11 + 0.38 = 4.05	$\frac{4.05}{0.6} = 6.75$	6	4.05 - (6 x 0.6) = 0.45
SR80	4v = 0.8	11 - 8.84 + 0.45 = 2.65	$\frac{2.65}{0.8} = 3.31$	3	2.65 - (3 x 0.8) = 0.25
SR80	5v = 1.0	8.8 - 5.7 + 0.25 = 3.35	$\frac{3.35}{1} = 3.35$	3	3.35 - (3 x 1) = 0.35
SR55	5v = 1.0	5.7 - 1.05 + 0.35 = 5	$\frac{5}{1} = 5$	4	5 - (4 x 1) = 1

สุดท้ายทำการตรวจสอบแรงรวมตามแนวราบเพื่อดูว่า Geogrid จะสามารถที่จะต้านทานแรงที่เกิดขึ้นหรือไม่

$$\begin{aligned} \text{แรงรวมตามแนวราบ, T} &= \frac{1}{2} k \gamma H^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 0.12 \times 19 \times (17.05)^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 331.4 \text{ กน./ม.} \\
 \text{แรงต้านทานที่เกิดขึ้น ,} & 18 \text{ NO. SR80} + 4 \text{ NO. SR55} \\
 &= (18 \times 20.1) + (4 \times 13) = 413.8 \text{ กน./ม.}
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบการทดลอง

การหาค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชันเมื่อเสริมกำลังโดย Geogrid
ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Geogrid

- 1) ค่า Quality Control Strength หรือค่า Characteristic Strength (f_u)

ของ Geogrid SS2 = 17.5 kN/m

- 2) ค่า Partial Safety Factor จากตาราง 3.1 = 1.4

- 3) ค่า Overall Factor of Safety = 1.4

$$\text{ค่า Safety Design Strength (S.D.S.)} = \frac{17.5}{1.4 \times 1.4} = 8.93 \text{ kN/m} = 0.91 \text{ T/m}$$

ค่า k จาก Design Chart (รูปที่ 3.5-3.10) เมื่อ $\phi = 22^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $r_u = 0$

จะได้ค่า k = 0.35

Surcharge ที่มากที่สุดในการทดลอง = 2 ton/m²

$$\text{ดังนั้น ความสูงประสิทธิผล} = \frac{H + W_s}{\gamma} = \frac{1 + 2}{1.88} = 2.063 \text{ m.}$$

ค่าแรงตามแนวราบที่เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักต่างๆมากระทำ

$$\begin{aligned} 1) \text{ Surcharge} &= 0 \text{ ton/m}^2 & \text{ค่า } T &= \frac{1}{2} k \gamma H^2 \\ & & T &= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times 1^2 \\ & & T &= 0.329 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Surcharge} &= 0.4 \text{ ton/m}^2 & \text{ค่า } T &= \frac{1}{2} k \gamma H^2 \\ & & T &= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times (1 + 0.2127)^2 \\ & & T &= 0.4838 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Surcharge} &= 0.8 \text{ ton/m}^2 & \text{ค่า } T &= \frac{1}{2} k \gamma H^2 \\ & & T &= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times (1 + 0.425)^2 \\ & & T &= 0.6685 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Surcharge} &= 1.2 \text{ ton/m}^2 & \text{ค่า } T &= \frac{1}{2} k \gamma H^2 \\ & & T &= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times (1 + 0.638)^2 \\ & & T &= 0.883 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

- 5) Surcharge = 1.6 ton/m² ค่า $T = \frac{1}{2} k\gamma H^2$
 $T = \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times (1+0.851)^2$
 $T = 1.127 \text{ ton/m}$
- 6) Surcharge = 2.0 ton/m² ค่า $T = \frac{1}{2} k\gamma H^2$
 $T = \frac{1}{2} \times 0.35 \times 1.88 \times (1+1.063)^2$
 $T = 1.4 \text{ ton/m}$

ค่า Safety Factor เมื่อน้ำหนักต่างๆจาก

ค่า Safety Design Strength

แรงในแนวราบที่เกิดขึ้น

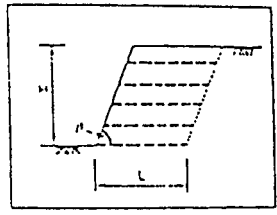
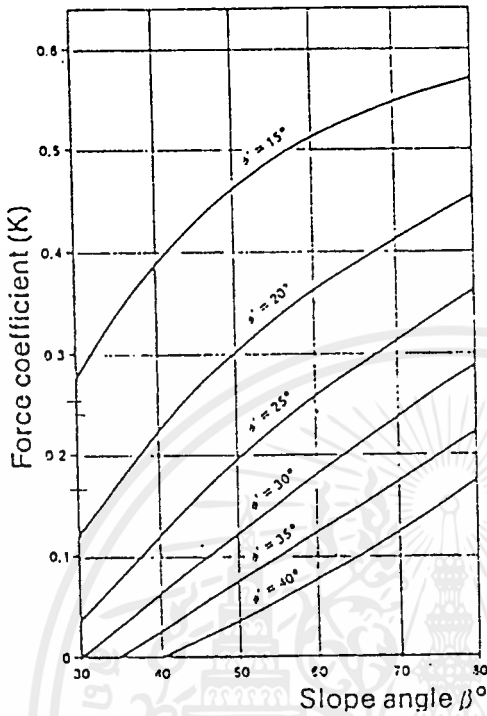
- | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 1) Surcharge = 0 | ton/m ² | Safety Factor = 2.766 |
| 2) Surcharge = 0.4 | ton/m ² | Safety Factor = 1.88 |
| 3) Surcharge = 0.8 | ton/m ² | Safety Factor = 1.361 |
| 4) Surcharge = 1.2 | ton/m ² | Safety Factor = 1.03 |
| 5) Surcharge = 1.6 | ton/m ² | Safety Factor = 1.807 |
| 6) Surcharge = 2.0 | ton/m ² | Safety Factor = 0.65 |

Suggested Partial Factors of Safety
(TENSAR 1986)

Basic Soil Type	Particle Size (mm)	Suggested Partial Factors of safety F_m
BOULDERS		Limited to 1.25 min max size. Sand carpet or alternative protection to be used with this of fill material
COBBLES	200	1.5-1.6
	60	
GRAVELS	course	1.3-1.5
	medium	
	fine	1.25-1.4
	2	
SANDS	course	1.1-1.25
	medium	
	fine	Not normally used in construction
	0.06	
SILTS	course	0.002
	medium	
	fine	
CLAYS		1.1-1.3
Pulverized Fuel Ash		1.1-1.25

ตารางที่ 3.1 Partial Factor of Safety

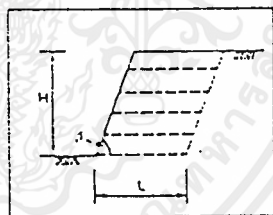
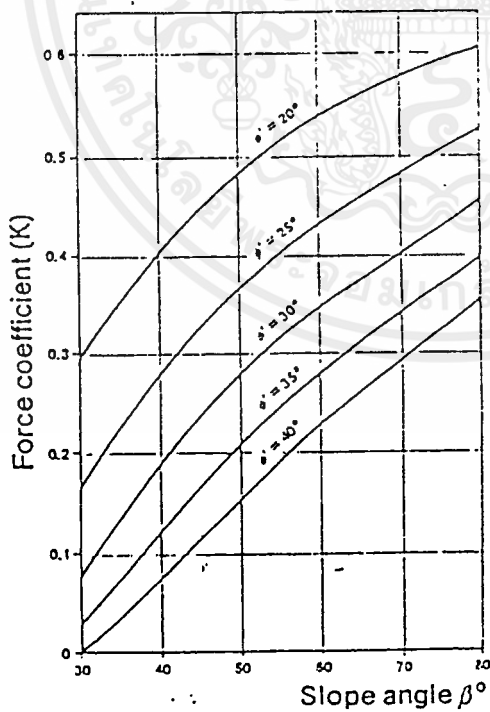
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$c' = 0$$

$$r_u = 0$$

Design Charts (TENSAR, 1986)

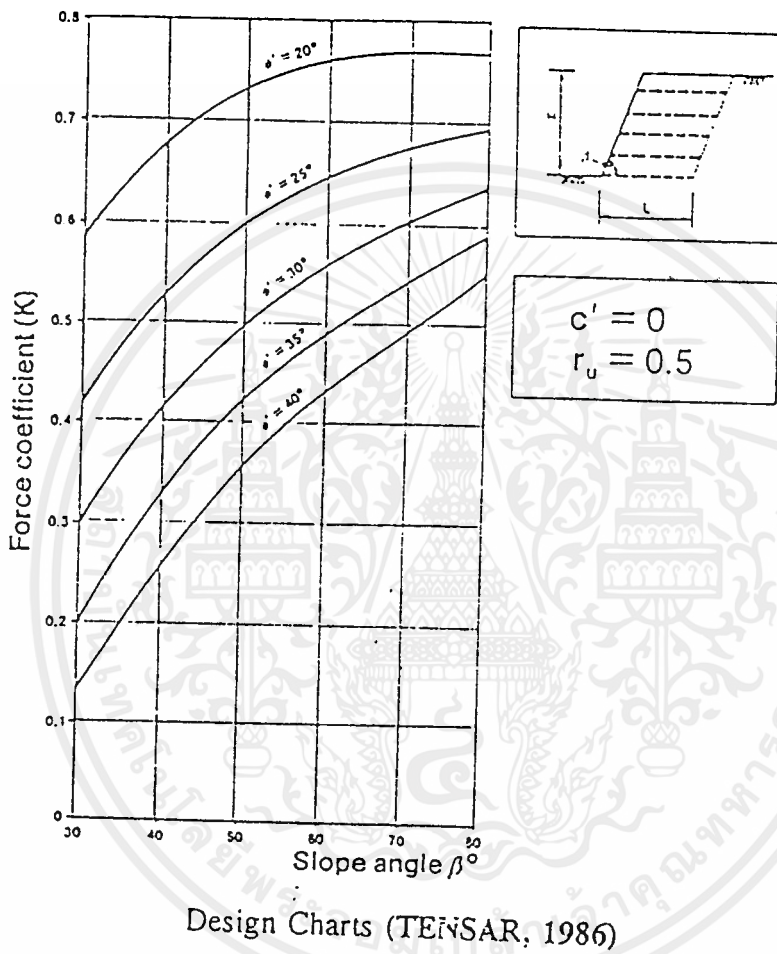


$$c' = 0$$

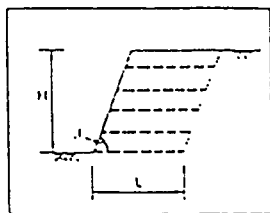
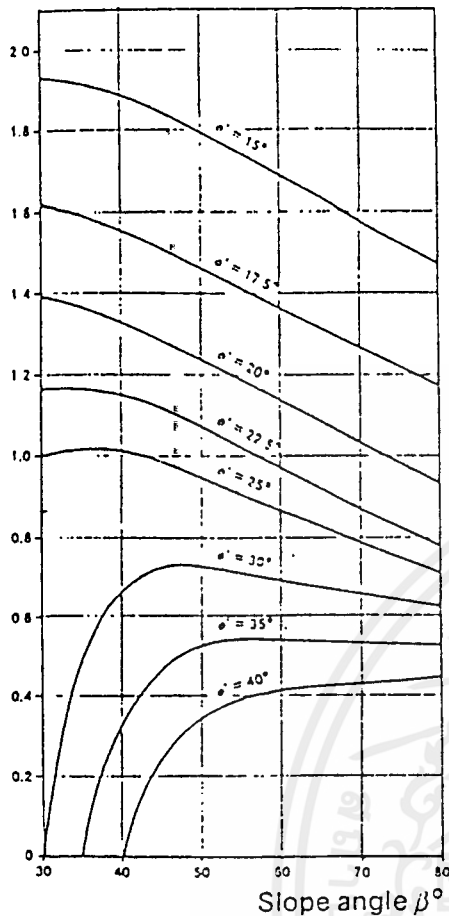
$$r_u = 0.25$$

Design Charts (TENSAR, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

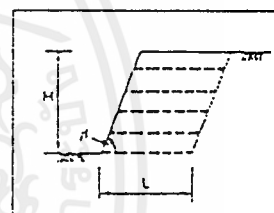
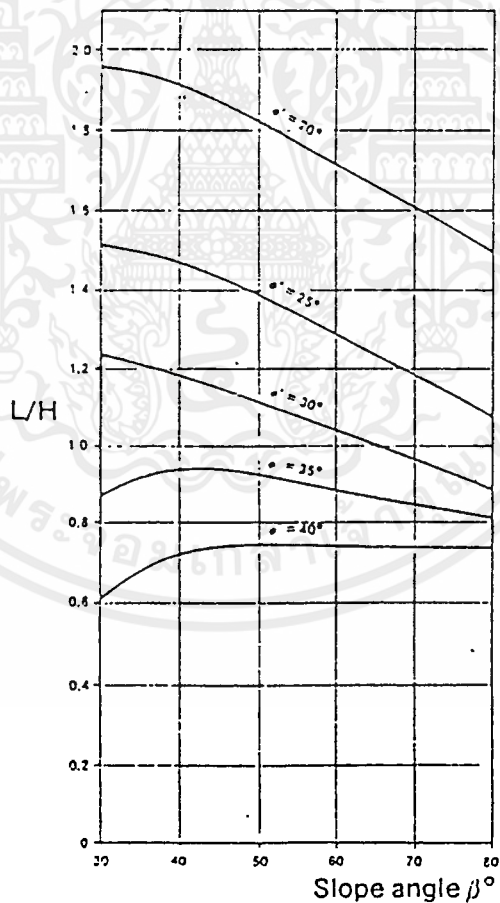


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$c' = 0$
 $r_u = 0$

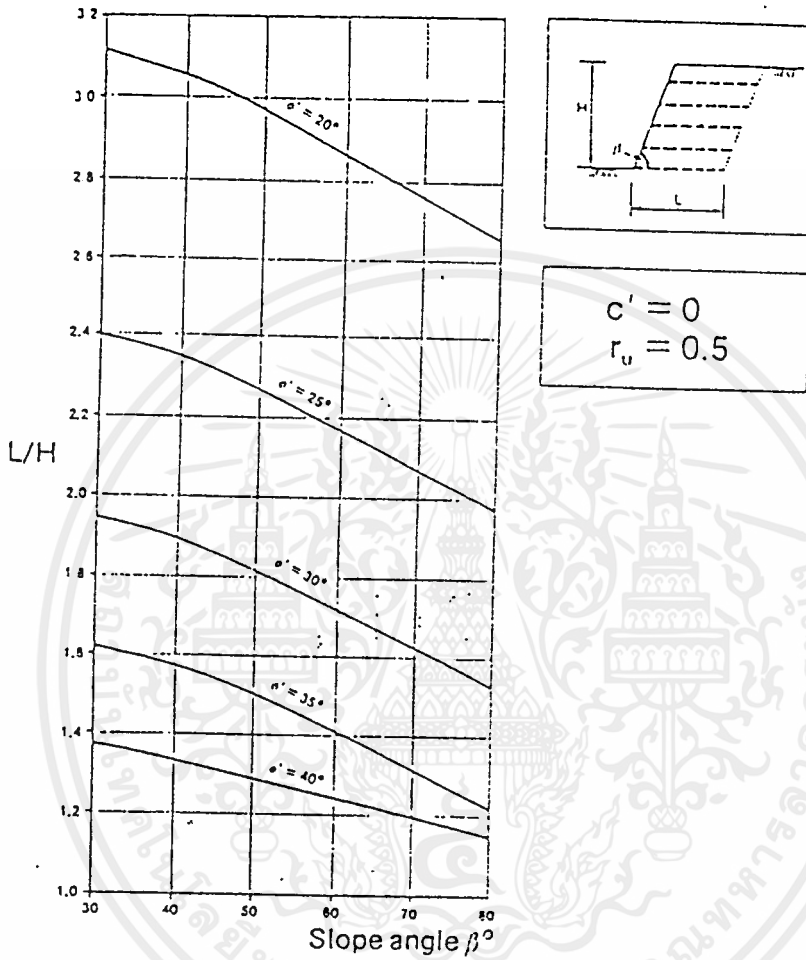
Design Charts
(TENSAR, 1986)



$c' = 0$
 $r_u = 0.25$

Design Charts (TENSAR, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Design Charts (TENSAR, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การกระจายหน่วยแรงในดิน

เมื่อพื้นดินบริเวณใดถูกรับน้ำหนัก ก็จะเกิดหน่วยแรงต่าง ๆ (Stress) ขึ้นในดินหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะแผ่ไปในทุกทิศทางไม่จำกัด โดยหน่วยดังกล่าวจะแบ่งที่ออกมาออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

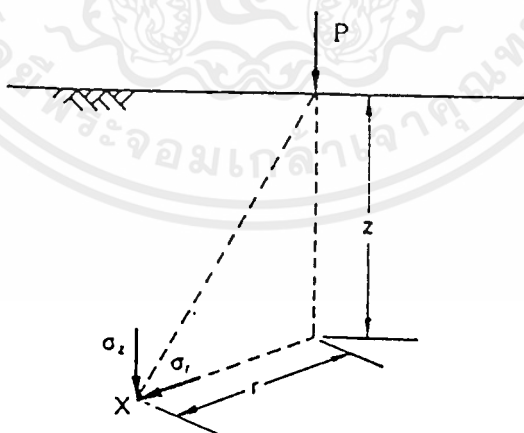
4.1) หน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดจากมวลดิน (Vertical Stress Cause by the Soil Mass)

คือ หน่วยแรงที่กระทำ ต่อมวลดิน ณ จุดที่ลึกลงไปจากพื้นผิวดิน เนื่องจากน้ำหนักของชั้นดินที่กดทับเหนือจุดนั้น

4.2) หน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักบนพื้นดิน (Vertical Stress Cause by Vertical Surface Loading)

คือ หน่วยแรงที่กระทำต่อมวลดิน ณ จุดใด ๆ ของมวลดินเนื่องจากน้ำหนักภายนอกที่มากระทำบนผิวดิน เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่าหน่วยแรงต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ดินถูกสมมุติว่ามีความลึกไม่มากนัก มีความยืดหยุ่น มีเนื้อเดียวกันทุกทิศทาง และนิยมใช้ทฤษฎียืดหยุ่น (Theory of Elasticity) ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยบูสซิเนสก์ (Boussinesq) ในการคำนวณหาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ จะมีความสำคัญอย่างยิ่ง และมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดได้บริเวณที่น้ำหนักกระทำโดยตรง น้ำหนักหรือแรงที่กระทำบนผิวดินมีหลายรูปแบบ ดังนี้

4.2.1) น้ำหนักกระทำแบบจุด (Point Load)



รูปที่ 4.1 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นจุด

จากรูปที่ 4.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่จุด X เนื่องจากน้ำหนัก P กระทำแบบจุดบนผิว

ผิวดินสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi Z^2} \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{Z}\right)^2} \right\}^{\frac{5}{2}} \quad (4.1)$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{3r^2 Z}{(r^2 + Z^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1 - 2\nu}{r^2 + Z^2 + Z(r^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (4.2)$$

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi} \left\{ \frac{rZ^2}{(r^2 + Z^2)^{\frac{5}{2}}} \right\} \quad (4.3)$$

เมื่อ

 σ_z = หน่วยแรงในแนวตั้ง σ_r = หน่วยแรงนอนในแนวรัศมี τ_{rz} = หน่วยแรงเฉือน

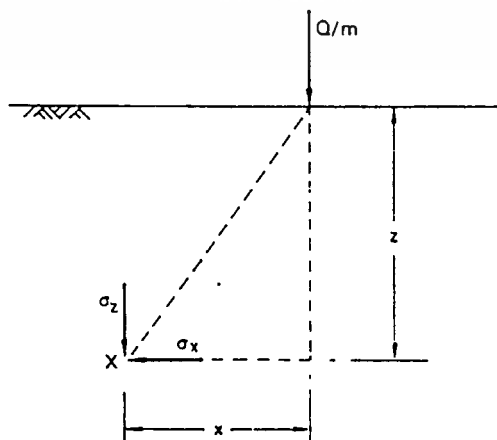
P = น้ำหนักกระทำในแนวตั้ง

Z = ระยะตั้งได้น้ำหนัก P

r = ระยะราบห่างจากน้ำหนัก P

 ν = อัตราส่วนปัวซงของ (Poisson's ratio)

4.2.2) น้ำหนักกระทำแบบเป็นแนว (Line Load)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ที่ดูแลรับผิดชอบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบเป็นแนว
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X เนื่องจากน้ำหนัก Q ต่อหน่วยความยาวกระทำแบบเป็นแนวบนผิวดิน สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

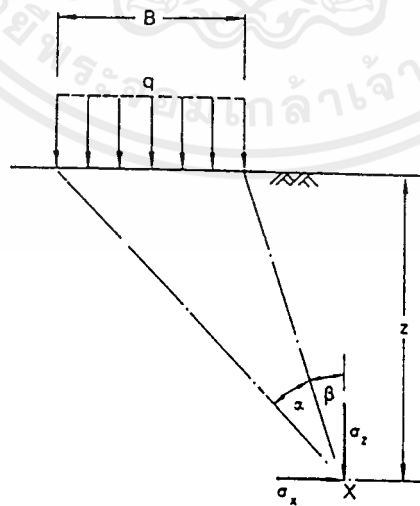
$$\sigma_z = \frac{2Q}{\pi} * \frac{Z^3}{(x^2 + Z^2)^2} \quad (4.4)$$

$$\sigma_x = \frac{2Q}{\pi} * \frac{x^2 Z}{(x^2 + Z^2)^2} \quad (4.5)$$

$$\tau_{xz} = \frac{2Q}{\pi} * \frac{xZ^2}{(x^2 + Z^2)^2} \quad (4.6)$$

เมื่อ σ_z = หน่วยแรงในแนวราบ
 τ_{xy} = หน่วยแรงเฉือน
 Q = น้ำหนักที่กระทำต่อหน่วยความยาว
 X = ระยะห่างจากน้ำหนัก Q

4.2.3) น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอบนพื้นที่เป็นแถบ (Strip Area Carrying Uniform Pressure)



รูปที่ 4.3 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอบนพื้นที่เป็นแถบ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X เนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ q เป็นแถบบนพื้นที่กว้าง B และยาวไม่มากนัก สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \{ \alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta) \} \quad (4.7)$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \{ \alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta) \} \quad (4.8)$$

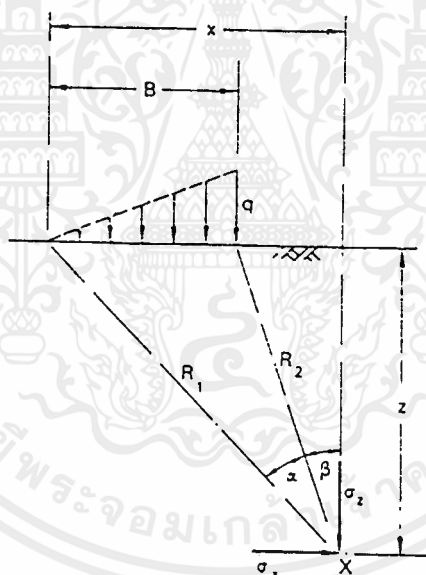
$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi} \{ \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta) \} \quad (4.9)$$

เมื่อ q = น้ำหนักที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่

B = ความกว้างของพื้นที่

4.2.4) น้ำหนักกระทำแบบเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงบนพื้นที่เป็นแถบ (Strip Area

Carrying Linearly - Increasing Pressure)



รูปที่ 4.4 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงบนพื้นที่เป็นแถบ

จากรูปที่ 4.4 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X เนื่องจากน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง

จาก

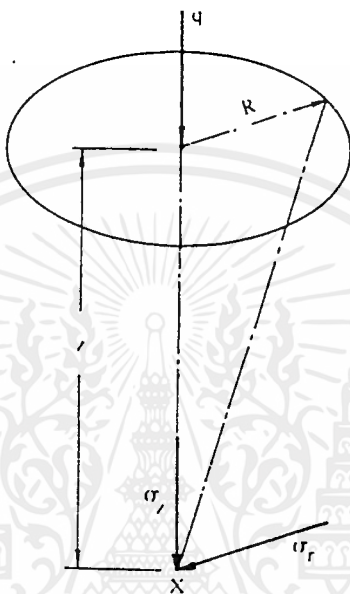
0 ถึง q เป็นแถบบนพื้นที่ซึ่งกว้าง B สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{z}{B} \ln \frac{R_1^2}{R_2^2} + \frac{1}{2} \sin 2\beta \right)$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ (4.11) ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_{xz} = \frac{q}{2\pi} \left(1 + \cos 2\beta - 2 \frac{Z}{B} \alpha \right) \quad (4.12)$$

4.2.5) น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปวงกลม (Circular Area Carrying Uniform Pressure)



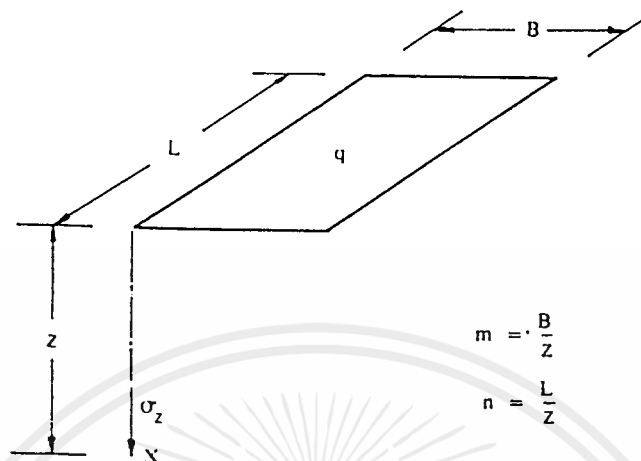
รูปที่ 4.5 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปวงกลม
จากรูปที่ 4.5 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X เนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ q เป็นรูปวงกลม ซึ่งมีรัศมี R สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_z = q \left[1 - \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{Z} \right)^2} \right\}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (4.13)$$

$$\sigma_r = \frac{q}{2} \left[(1 + 2\nu) - \frac{2(1 + \nu)}{\left\{ 1 + \left(\frac{R}{Z} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{R}{Z} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (4.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6) น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Area Carrying Uniform Pressure)



รูปที่ 4.6 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นแบบแผ่สม่ำเสมอเป็นรูปสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.6 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X ซึ่งอยู่ใต้มุมรูปสี่เหลี่ยมเป็นระยะ Z เนื่องจากน้ำหนักกระทำแผ่สม่ำเสมอ q บนพื้นที่สี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดกว้าง B ยาว L สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_z = qI_r \quad (4.15)$$

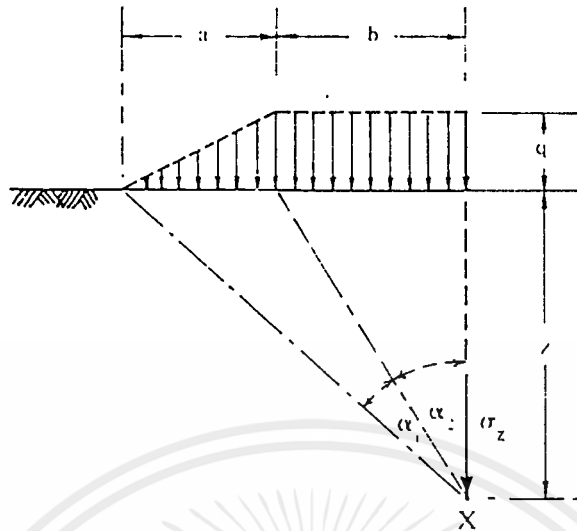
เมื่อ I_r = แฟกเตอร์อิทธิพล

$$= \frac{1}{4} \left\{ \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} - \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} - \tan^{-1} \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right\}$$

ซึ่งค่า I_r จะหาได้จากแผนภูมิอิทธิพลเฟดัม

4.2.7) น้ำหนักกระทำเป็นแบบน้ำหนักบรรทุกของดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักกระทำแบบน้ำหนักบรรทุกของดินถม
จากรูปที่ 4.7 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดินที่จุด X เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของดินถม เช่น
เขื่อนดิน คันดิน หรือ ถนน สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left\{ \left(\frac{a+b}{a} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right\} \quad (4.16)$$

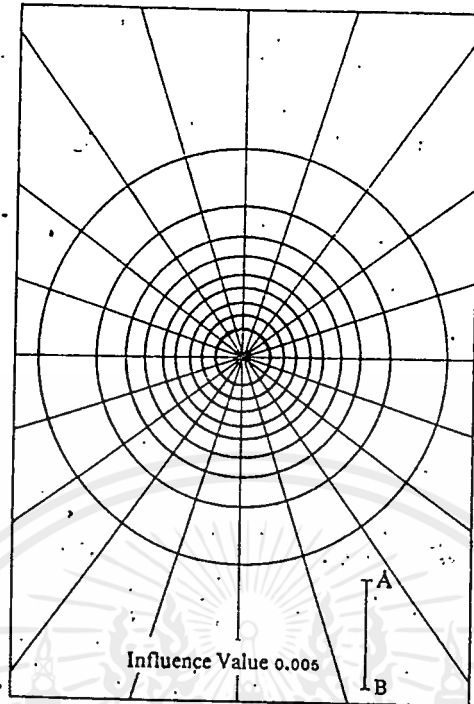
$$= qI$$

เมื่อ I = แฟกเตอร์อิทธิพล

ค่า I = ซึ่งแปรไปตาม a/z และ b/z หาได้จากแผนภูมิของออกสเตอร์เบิร์ก

4.2.8) แผนภูมิของ Newmark

แผนภูมิของ Newmark ได้สร้างขึ้นบนพื้นฐานของสมการ Boussinesq เพื่ออำนวยความสะดวกต่อพื้นที่ของน้ำหนักที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ลักษณะของแผนภูมิของ Newmark ดังรูปที่ 4.8 จะประกอบไปด้วยเส้นวงรอบและเส้นรัศมี



รูปที่ 4.8 แผนภูมิของ Newmark

รายละเอียดขั้นตอนการหาหน่วยแรงในแนวดิ่งที่มีระดับความลึกค่าจากระดับพื้นผิวดินสามารถปฏิบัติการได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ระยะความลึกของหน่วยแรงในแนวดิ่งที่ต้องการทราบเท่ากับ ความยาวของเส้นตรง AB ในแผนภูมิ Newmark และเขียนแปลนของพื้นที่รับน้ำหนักตามขนาด มาตราส่วนที่แทนระยะความลึกด้วยความยาวเส้นตรง A-B

ขั้นตอนที่ 2 นำแปลนของพื้นที่รับน้ำหนักที่ได้จากการสร้างของขั้นตอนที่ 1 มาวางทับลงบนแผนภูมิของ Newmark ด้วยการให้จุดที่ต้องการหาหน่วยแรงบนแนวดิ่งทับจุดศูนย์กลางแผนภูมิของ Newmark

ขั้นตอนที่ 3 นับจำนวนช่องว่างของแผนภูมิภายในพื้นที่ของน้ำหนัก จำนวนช่องที่ได้คือค่าของ N_r

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าหน่วยแรงในแนวดิ่งที่ระยะความลึกจากพื้นผิวดินที่ต้องการจาก

$$\Delta\sigma_v = N_r \cdot I_r \cdot q \quad (4.17)$$

เมื่อ $\Delta\sigma_v$ = หน่วยแรงในแนวดิ่งที่ระยะความลึกจากพื้นผิวดินตามที่ต้องการ

N_r = จำนวนช่องในแผนภูมิของ Newmark ที่อยู่ภายในพื้นที่ของน้ำหนักบรรทุก

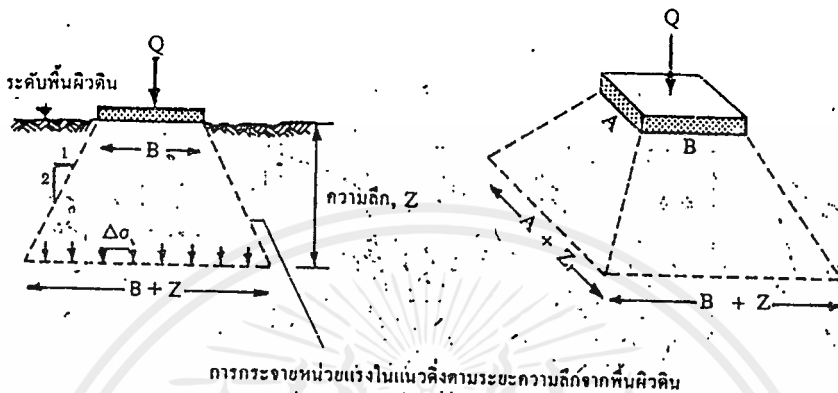
q = หน่วยแรงที่กระทำบนพื้นผิวดิน

I_r = ค่าอิทธิพล (Influence Value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9) วิธีโดยประมาณ

เป็นการหาหน่วยแรงใต้ดินในแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักบนพื้นผิวดิน โดยสมมติให้หน่วยแรงกระทำต่อชั้นดิน ณ ระดับความลึกหนึ่ง ๆ เท่ากันโดยตลอด พื้นที่ของแรงเพิ่มขึ้น 1 หน่วย บนแนวราบทุกระยะความลึก 2 หน่วย ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การกระจายแรงในแนวตั้ง ตามระยะความลึกของผิวดิน
หน่วยแรงในแนวตั้ง ที่ระยะความลึก Z หาได้จาก

$$\Delta\sigma_v = \frac{Q}{(B+Z)(A+Z)} \quad (4.18)$$

เมื่อ Q = น้ำหนักที่กระทำบนพื้นที่

B = ความกว้างของพื้นที่

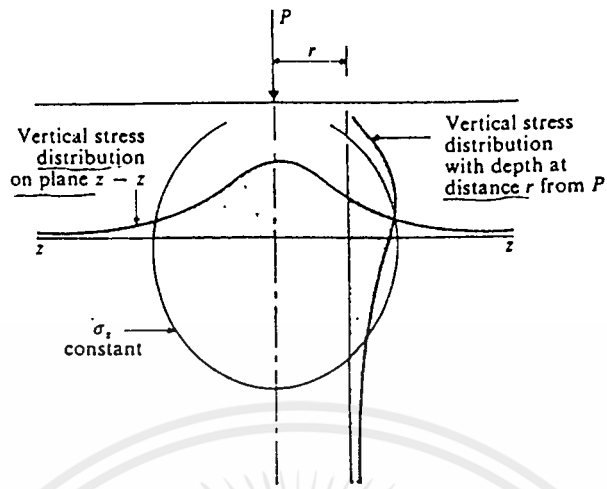
A = ความยาวของพื้นที่

4.3 แผนภาพการกระจายหน่วยแรง

เราสามารถเขียนแผนภาพการกระจายหน่วยแรงได้ ออกเป็น 3 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ

- 1) เส้นที่มีหน่วยแรงเท่ากัน
- 2) เส้นที่แสดงค่าหน่วยแรง ณ ระดับแนวราบ Z ได้ผิวดิน
- 3) เส้นที่แสดงค่าหน่วยแรง ณ จุดใดจุดหนึ่ง ณ ความลึกที่แตกต่างกัน

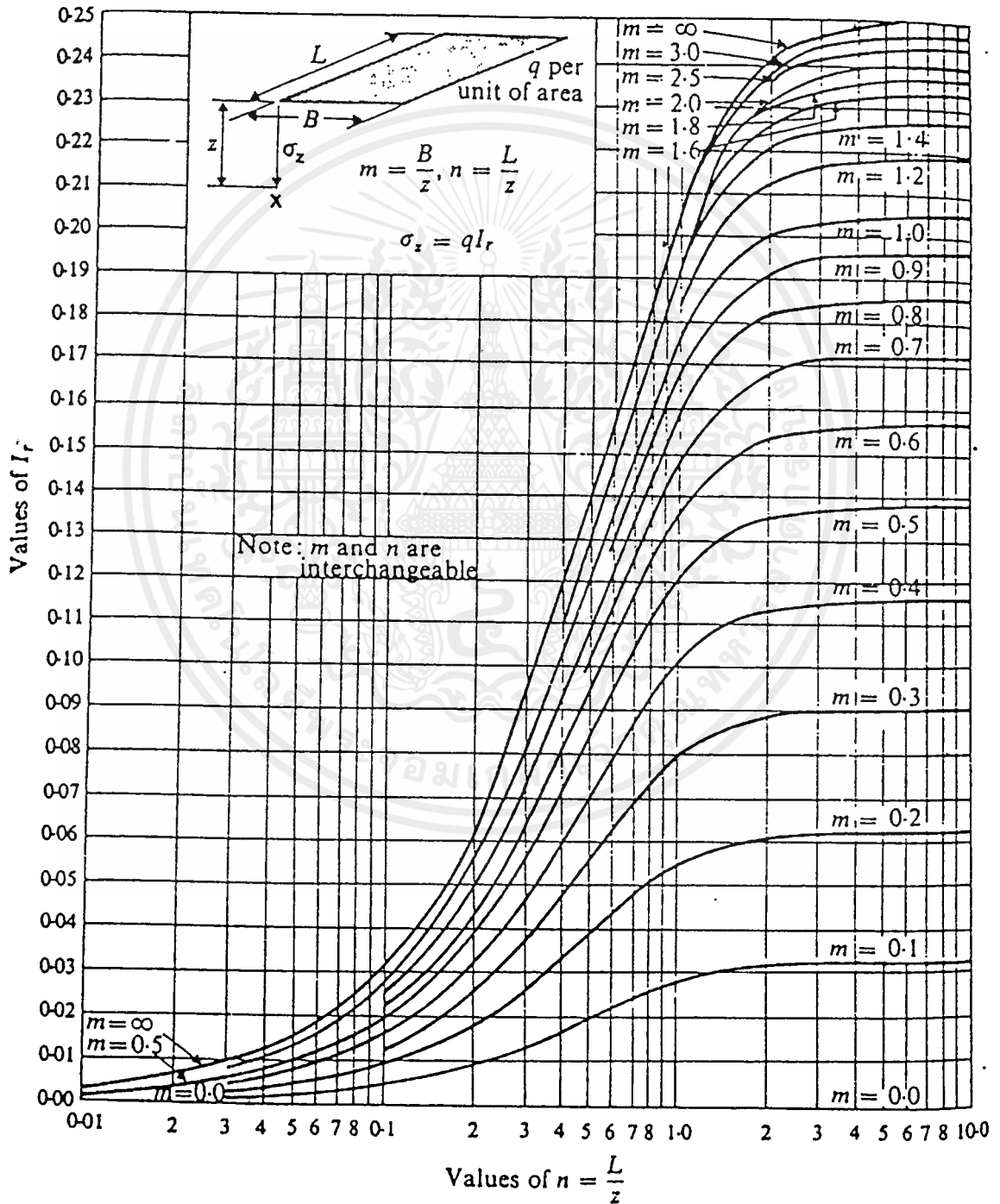
แผนภาพการกระจายหน่วยแรงแสดงดังรูป 4.10



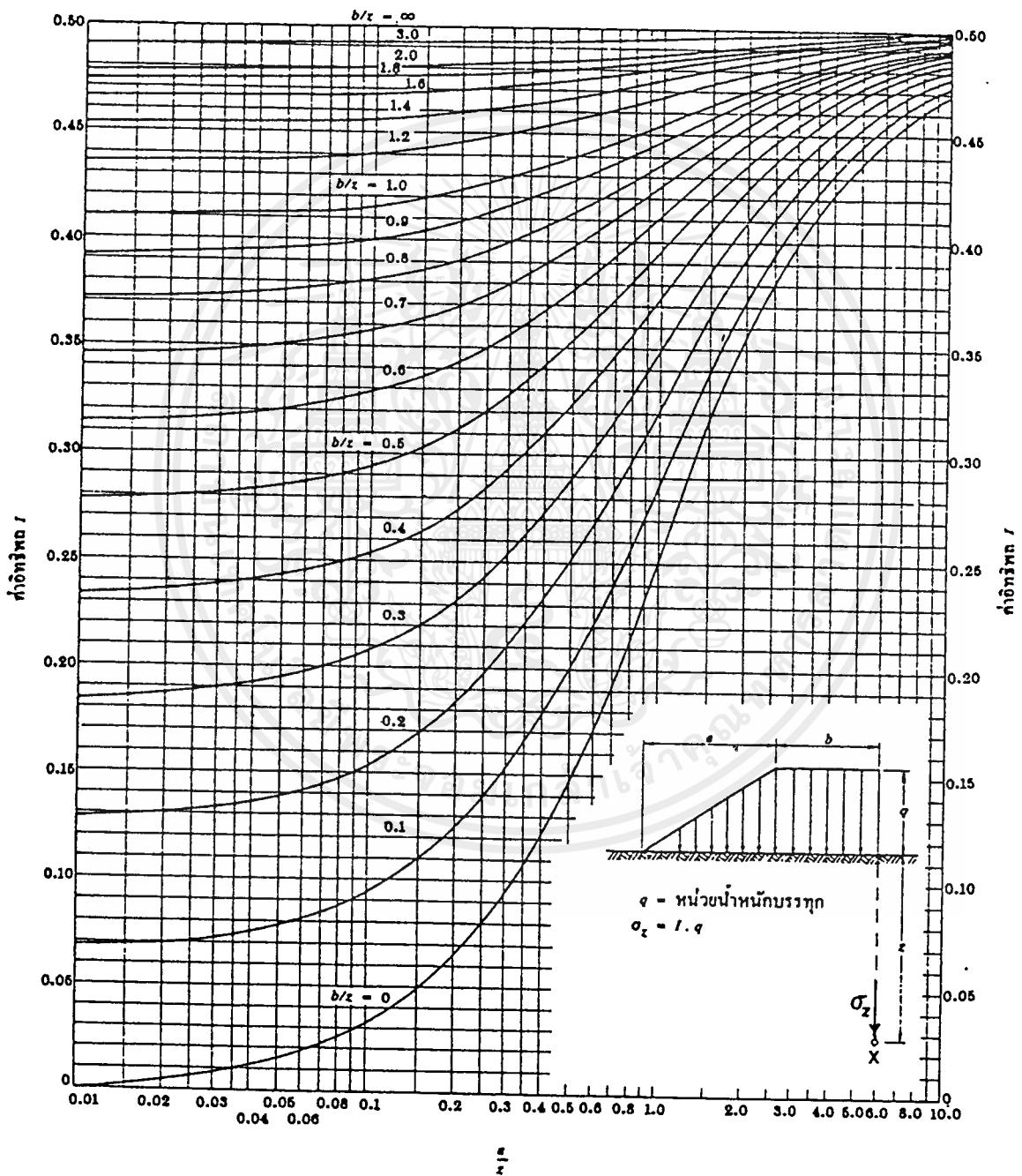
รูปที่ 4.10 แผนภาพการกระจายหน่วยแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.11 แผนภูมิอิทธิพลของเฟดัม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แผนภูมิอิทธิพลของฮอสเตอร์เบิร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วัสดุและการทดสอบ

วัสดุที่เราใช้ในการทดลองได้แก่

1. ดินลูกรัง
2. Tensar SS2 Geogrid ซึ่งเราจะรู้คุณสมบัติของมันในหน้าถัดไป

5.1 การทดสอบทางด้านกลศาสตร์ของดิน ได้แก่

- การหาขนาดเม็ดดิน
- การบดอัดดิน
- การหาค่าความหนาแน่นของดินในสนาม
- Direct Shear Test



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensar SS2 Geogrid



Specification

Tensar SS2 Geogrid was developed for stabilising weak, low load bearing soils e.g. for the construction of temporary and permanent roads.

Roll dimensions

Length: 50m
 Width: 4m
 Approx diameter: 0.5m
 Approx weight: 68kg

Physical properties of the grid

Weight: 0.3 kg/m²
 Colour: Black

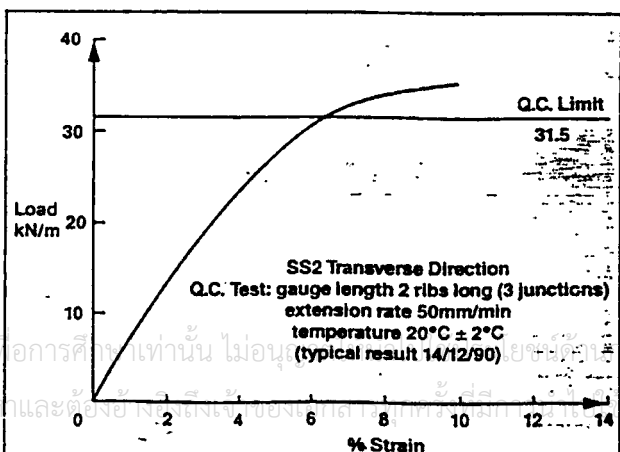
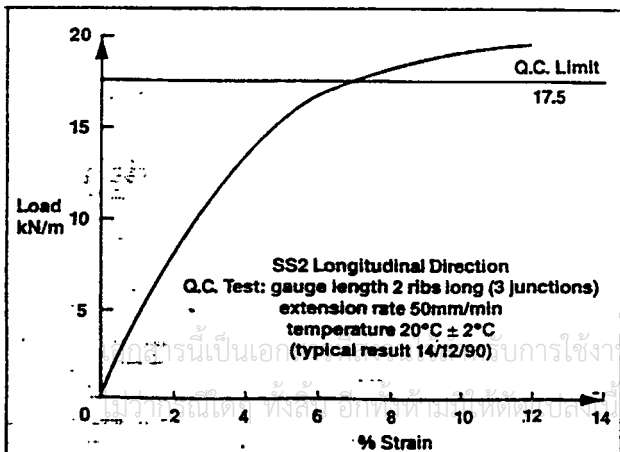
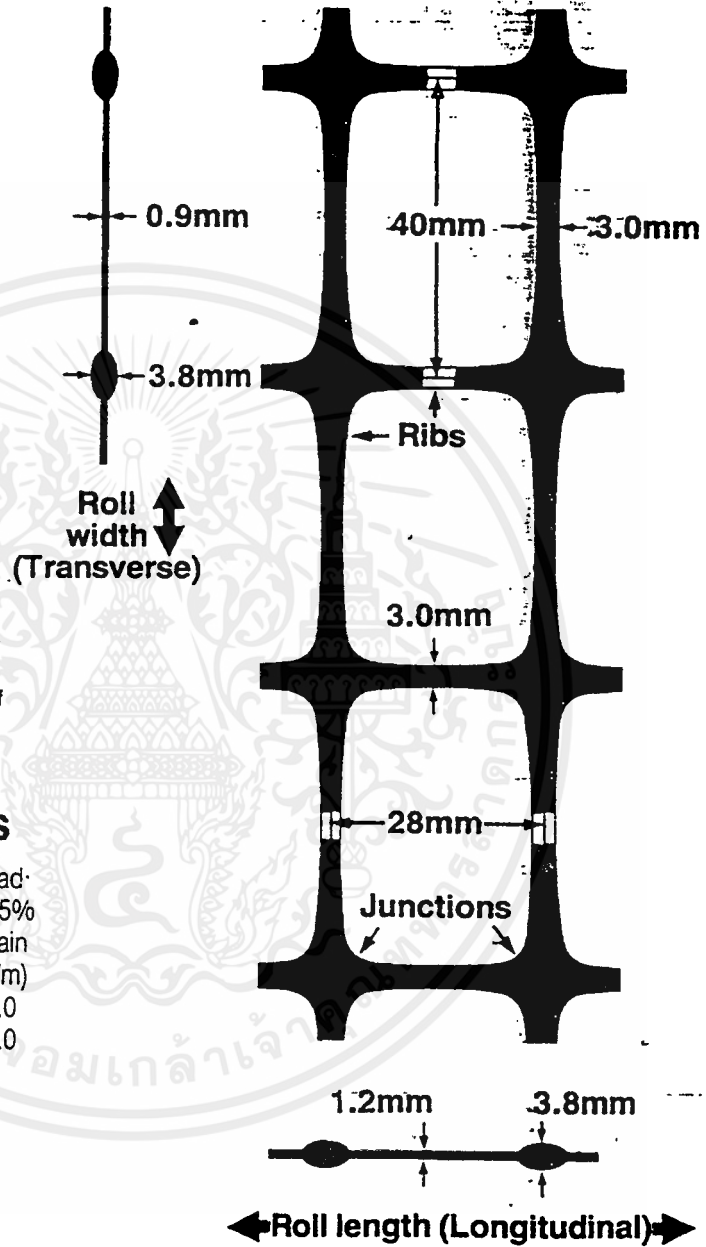
• The typical strength of the nodes between the longitudinal and transverse ribs, as determined by the Geosynthetic Research Institute, Drexel University, USA, Test Method GG2-87, is $\geq 90\%$ of the Quality Control Strength in both longitudinal and transverse directions.

Quality Control Properties

	*Quality Control Strength (kN/m)	Approx Peak Strain (%)	Load at 2% Strain (kN/m)	Load at 5% Strain (kN/m)
Transverse	31.5	10.0	12.0	23.0
Longitudinal	17.5	12.0	7.0	14.0

*Determined as a 95% lower confidence limit

Typical Dimensions



5.1.1 การหาขนาดเม็ดดิน (GRAIN SIZE ANALYSIS)

อ้างอิง ASTM D 422-63

บทนำ

มวลดินหนึ่งคิวบิกฟุต อาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 ม.ม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มี ความเหนียว หรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก ก็จะเรียกว่าดินเหนียว (Cohisive Soil) นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับความซึบ น้ำ (Permeability) การรับแรง (Strength) , อัตราการทรุดตัว (Rate Of Consolidation) และอื่น ๆ อีกมาก

การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธีแต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่าง ๆ กัน มักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 ม.ม. ขึ้นไป วิธีตกตะกอน โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือหลอดดูด (Pipette) วัดการตกตะกอน เหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 ม.ม. ถึง 0.0002 ม.ม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

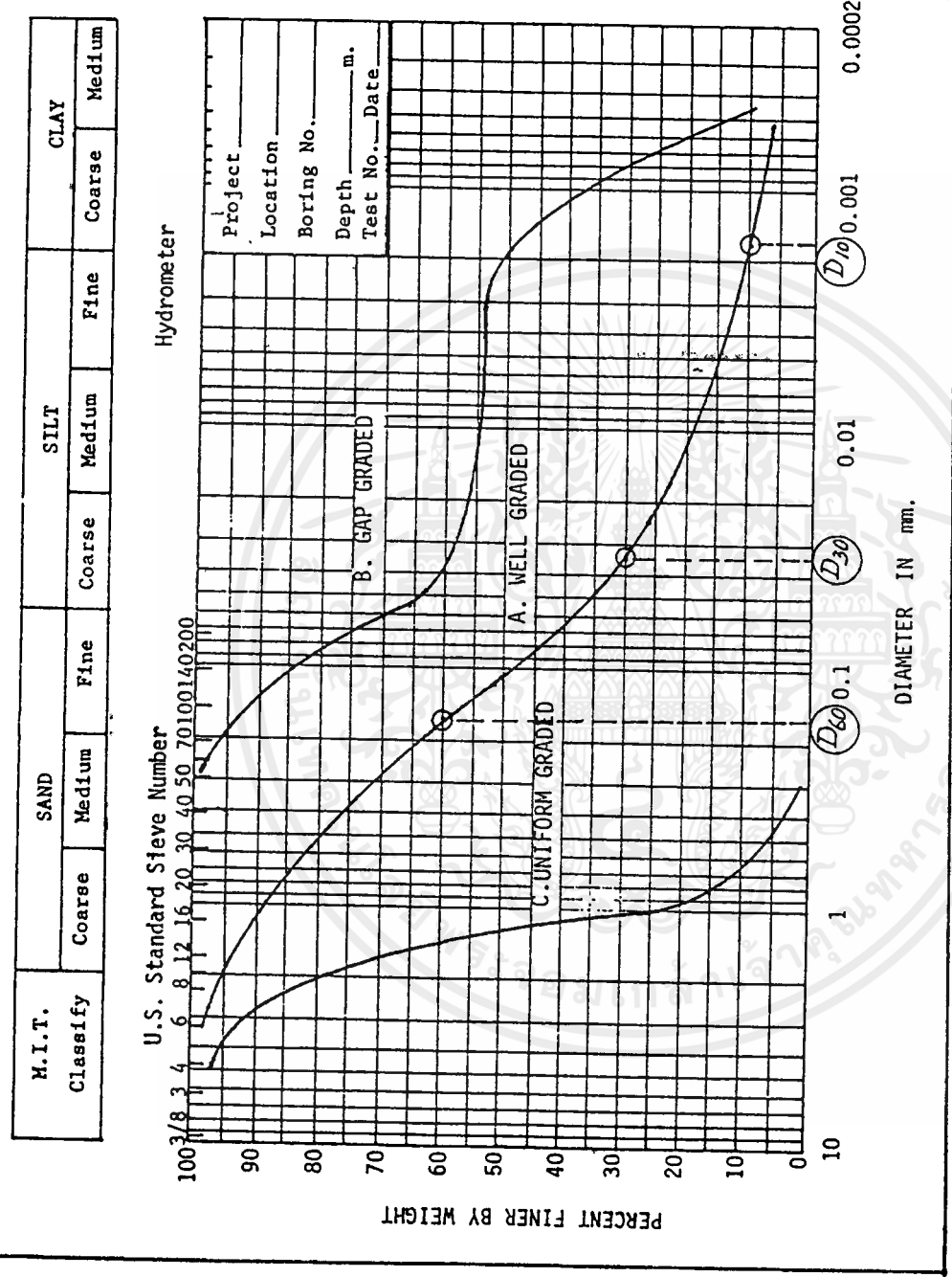
ทฤษฎี

การกระจายของขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดใน สเกล ลอการิทึม (Logarithmic Scale) และ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าที่ ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูปที่ 5.1

ขนาดที่ระบุในกราฟนั้นแท้ที่จริงแล้วเป็นเพียงขนาดประมาณ (Equivalent Diameter) เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ขนาดช่องของตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่ขนาดเม็ดดินอาจมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ยาวรี, แผ่น, กลม หรืออื่น ๆ ได้
2. ในการตกตะกอนอาจมีอิทธิพลของเม็ดดินเองและผนังภาชนะบรรจุมาเกี่ยวข้องทำให้ การตกตะกอนไม่อิสระอย่างแท้จริง
3. รูปร่างของเม็ดดินเหนียวมักเป็นแผ่น มิใช่ทรงกลมตามสมมติฐานของการตกตะกอน ดังนั้น การตกตะกอนของเม็ดดินจริงจึงคล้ายใบไม้ห่อจากต้น จึงทำให้การคำนวณ ความเร็วตกตะกอนผิดไปจากที่เป็นจริง
4. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินในการคำนวณการตกตะกอน ถือเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งความจริง

ดินแต่ละเม็ดอาจจะมีธาตุสาร ไม่เหมือนกัน ทำให้ความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมากก็ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเรียงนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ให้เนื้อหาในเอกสารนี้เป็นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟการกระจายขนาดของขนาดเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของกราฟการกระจายของขนาดของเม็ดดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 แบ่งเป็นพวกใหญ่ด้วยกันคือ

1. ดินที่มีขนาดเม็ดคละกัณฑ์ (Well Graded Soil) คือเม็ดดินที่ขนาดต่าง ๆ โดยพิจารณาจากช่วงของกราฟเรียกว่า Coefficient of Uniformity

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

และความโค้งของเส้นกราฟเรียกว่า Coefficient of Concavity

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

เมื่อ D_1 = ขนาดเส้นค่าศูนย์กลางของเม็ดดินที่มี I เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีขนาดเล็กกว่านี้ เช่น D_{60} ในกราฟ A 0.17 ม.ม.

ดินจะคุณสมบัติคละกัณฑ์ต่อเมื่อมีคุณสมบัติตามตารางที่ 5.1

	C_u	C_c
ดี	มากกว่า 4	1 - 3
ทรายเป็น	มากกว่า 6	1 - 3

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของดินที่มีขนาดเม็ดคละ

สำหรับในกราฟ 5.1 A $C_u = 94$, $C_c = 1.58$ จึงเป็นลักษณะของทรายที่มีขนาดเม็ดคละกัณฑ์ (Sand Well Graded)

2. ดินที่ไม่มีขนาดเม็ดคละ (Poorly Graded Soil) จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

ก. ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Grade) เช่นในกราฟ 5.1 B จะเห็นว่าขนาดระหว่าง .0025 ถึง .017 ม.ม. หายไป กราฟจึงเป็นเส้นระนาบ

ข. ดินที่มีเม็ดขนาดเดียว (Uniform Graded) เช่น ในกราฟ 5.1 C จะเห็นว่าขนาดของเม็ดระหว่าง 1.0 - 2.0 ม.ม. มีถึง 55 เปอร์เซ็นต์

วิธีการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีตกตะกอน อาศัย ทฤษฎีของ Stoke ที่ว่าความเร็วในการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ด, ความหนาแน่นของของเหลว, ความหนืดของของเหลว และขนาดของเม็ดดังความสัมพันธ์ ต่อไปนี้

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} \quad (5.1)$$

เมื่อ γ_s = ความหนาแน่นของเม็ดดิน

γ_w = ความหนาแน่นของของเหลว

μ = ความหนืดของของเหลว (Viscosity) แสดงในตารางที่ 5.2

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน

(หน่วยเป็น millipoises = 1 Dyne - sec/sq. cm.)

C°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.21	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.49	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

ตารางที่ 5.2 ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 5.2 เมื่อเวลาผ่านไป t เม็ดดินที่ตกตะกอนลงมาอยู่ที่ความลึก h จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังในสมการที่ 5.2 เหนือระยะ h ขึ้นไปจะมีแต่เฉพาะ

$$D = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w} \cdot \frac{h}{t}} \quad (5.2)$$

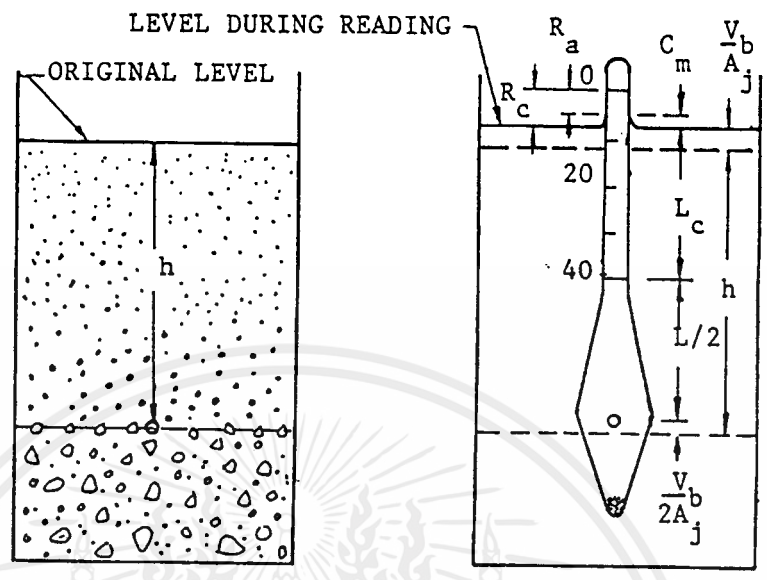
เม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า D ในสมการ 5.2 ทั้งนั้น เพราะเม็ดใหญ่กว่านี้ได้ตกตะกอนลงมาข้างล่างหมดแล้ว ฉะนั้นที่ระยะ h นี้ ความเข้มข้นหรืออัตราส่วนของเม็ดเล็กกว่า D ในสารผสมจะยังไม่เปลี่ยนแปลง คงเหมือนกับที่จุดใด ๆ เมื่อเริ่มการตกตะกอน ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า D จะเท่ากับ

$$\%F = \frac{\text{น้ำหนักของเม็ดดินต่อ ลบ.ช.ม. ที่ความลึก } h \text{ ที่เวลา } t}{\text{น้ำหนักของเม็ดดินต่อ ลบ.ช.ม. ของส่วนผสมเริ่มต้น}} * 100 \quad (5.3)$$

น้ำหนักของเม็ดดินต่อ ลบ.ช.ม. ของส่วนผสมเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{W_d}{W_{sol}} \times 100$$



รูปที่ 5.2 การตกตะกอนของเม็ดดิน

เมื่อเราจุ่ม Hydrometer ไปวัดก็จะอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของสารผสมนั้น

$$\begin{aligned}
 1 + \frac{R_c}{1000} &= 1 + \text{น้ำหนักเม็ดดินซึ่งในน้ำ/ลบ.ซ.ม.} \\
 &= 1 + W_d * \frac{(G-1)}{G} \\
 \therefore W_d &= \frac{R_c}{1000} * \frac{G}{(G-1)} \tag{5.4}
 \end{aligned}$$

เมื่อ R_c = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (ส่วนที่เกิน 1.000 เป็นจำนวนเต็ม)
แทนค่า W_d ในสมการ 5.4 ลงในสมการ 5.3

$$\%F = \frac{1}{10} \times \frac{R_c}{W_{sol}} \frac{G}{(G-1)} \tag{5.5}$$

ในกรณีที่ใช้กระบอกตกตะกอนขนาด 1000 ล.บ.ซ.ม. สมการที่ 5.5 อาจจะหาอยู่ในค่าของน้ำหนักดินแห้งในสารผสม, W_s ได้ดังนี้

$$\%F = \frac{100}{W} \times \frac{G}{(G-1)} * R_c = K_1 * R_c \tag{5.6}$$

สำหรับสมการที่ 5.2 เทอมค่าคงที่เฉพาะกรณี (μ, γ_s, γ_w). อาจรวมเป็นค่าคงที่ K_2 ได้คือ

$$D = K_2 * \sqrt{\frac{h}{t}} \tag{5.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $K_2 = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w}}$ แสดงในตารางที่ 5.3

Temperature, deg C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16.....	0.01510	0.01606	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17.....	0.01511	0.01486	0.01452	0.01430	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18.....	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19.....	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20.....	0.01466	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.....	0.01401	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24.....	0.01388	0.01366	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	0.01216
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	0.01166	0.01149

ตารางที่ 5.3 ค่าคงที่ K_2

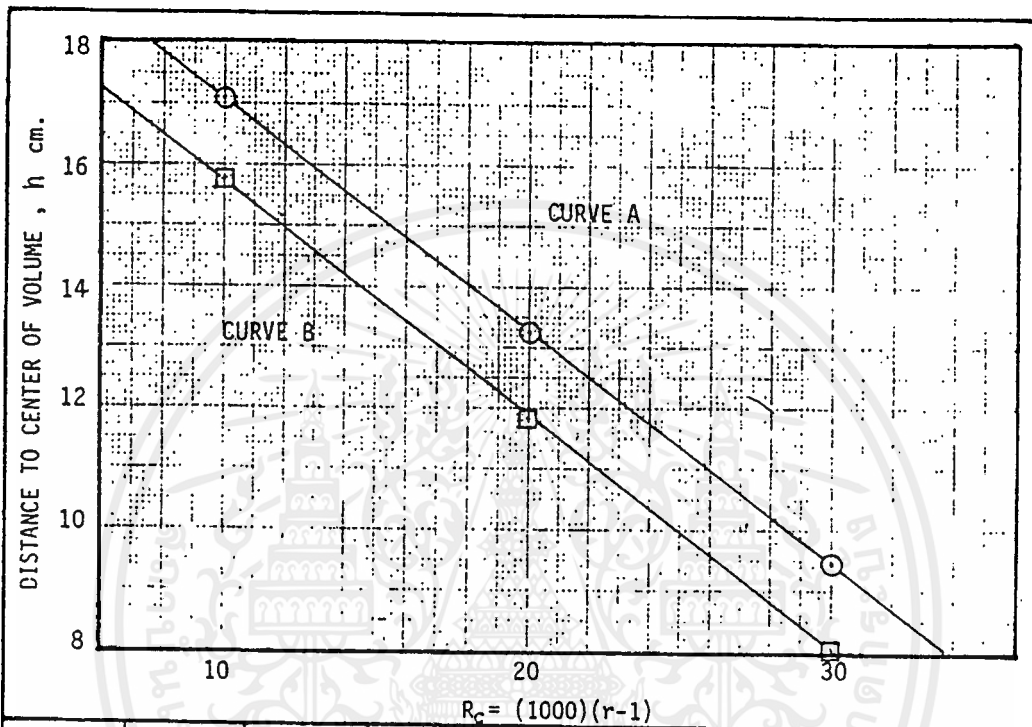
การอ่านค่า R_c มักมีปัญหาที่จะต้องปรับแก้ไขคือ

1. Meniscus Correction, C_m คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านจริงและค่าที่ควรจะอ่านที่ระดับท้องน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ทั้งนี้เพราะส่วนผสมมีลักษณะขุ่นการอ่านที่ระดับท้องน้ำจะทำได้ จึงต้องอ่านที่ส่วนบนของ Meniscus แทน การหาค่า C_m ทำได้โดยอ่านในน้ำเปล่า
2. Temperature Correction, C_T คือค่าความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ในน้ำเปล่ากับค่า 1.000 จริง เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ ได้จากการอ่านค่าในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิเท่ากับส่วนผสม

วิธีการทดลอง

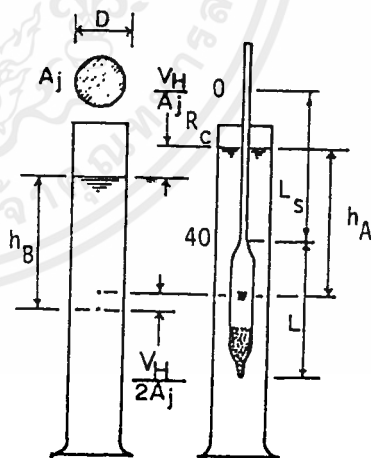
ก. วิธีร่อนผ่านตะแกรง

น้ำหนักดินแห้งที่พอดีจะใช้ในการทดลองนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดใหญ่ที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้



L cm.	L cm. ²	R _c	h _A cm.	h _B cm.
16.10	12.07	10.0	17.10	15.77
16.10	12.07	20.0	13.25	11.82
16.10	12.07	30.0	9.45	8.02

DIAMETER OF HYDROMETER JAR, D	cm.	5.86
CROSS-SECTIONAL AREA OF JAR, A _j	cm. ²	26.97
INITIAL GRADUATEE CYLINDER READING, V ₁	cm. ³	810
AFTER HYDROMETER IMMERSION READING, V ₂	cm. ³	887
VOLUME OF HYDROMETER, V _H = V ₂ - V ₁	cm. ³	77
WEIGHT OF HYDROMETER, W _H	gm.	76.29
MINIMUM HYDROMETER READING, r _H		
VOLUME OF HYDROMETER, V _H = W _H / r _H	cm. ³	



PLOT CURVE A: R vs h	FIRST 2 min.
PLOT CURVE B: R vs h - V _H /2A _j	AFTER 2 min.

HYDROMETER NO.	K1985
HYDROMETER JAR NO.	1

รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ของ R_c และ h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด เม็ดใหญ่ที่สุด, (นิ้ว)	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย, กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

ตารางที่ 5.4 น้ำหนักตัวอย่างดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

1. ซึ่งตะแกรงทุก ๆ ขนาดที่ใช้ โดยตาชั่งอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบ โดยมีขนาดละเอียดถึง เบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง
2. ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบ แยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยมืออย่างแต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก
3. นำตัวอย่างดินที่อบซึ่งน้ำหนักแล้ว ใสลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด โดยมีฝาปิดด้านบน และมีภาค (PAN) รองด้านล่าง รวมเป็นภาชนะของตะแกรงนำไปเข้าเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) เขย่านานอย่างน้อย 10 นาที
4. ชั่งทั้งดินที่ค้างอยู่ในแต่ละตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรงแล้วนำไปคำนวณหาค่า %F ดังแสดงในรูปที่ 5.5

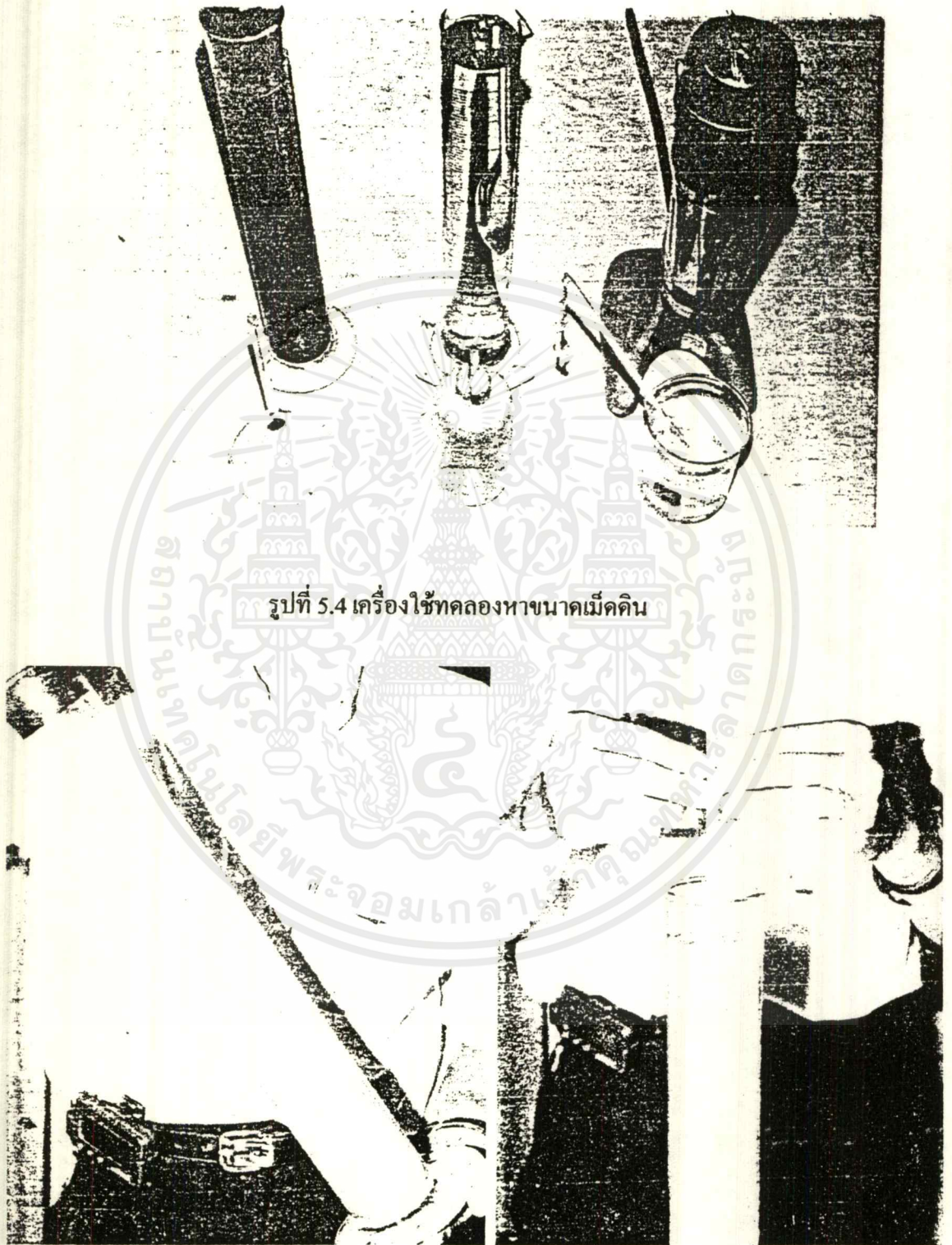
ข. วิธีตกตะกอน

ก่อนทำผู้ทดลองควรลองจุ่ม ไฮโดรมิเตอร์ ในลักษณะที่ถูกต้องเสียก่อน โดยจับก้านไฮโดรมิเตอร์ทั้งสองมือ แล้วค่อย ๆ ปล่อย ถ้าปล่อยสูงเกินไปจะทำให้ไฮโดรมิเตอร์จมลงไปกระทบก้นกระบอก เกิดแตกหักเสียหายได้

การหาความสัมพันธ์ของ R_c และ h จะทำได้โดยการวัดขนาดกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (L) ,ความยาวก้านจาก 1.000 ถึง 1.040 (L_g) ,ปริมาตรกระเปาะ (V_p) โดยอ่านจากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง แล้วอ่านระดับน้ำที่เปลี่ยนไป ,พื้นที่หน้าตัดของกระบอกตกตะกอน (A_p) แล้วนำไปคำนวณเขียนกราฟดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สำหรับขั้นตอนการทดลองทำได้ดังนี้

1. นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่น และน้ำยา Dispersing Agent (4%สารละลาย Sodium hexa meta phosphate) จนได้น้ำผสมประมาณ 300-500 ล.บ.ช.ม.
2. บั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 10 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ล.บ.ช.ม.
3. ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้าง ๆ อีกหนึ่งกระบอกไว้เพื่ออ่าน ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ และ แซไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 เครื่องใช้ทดลองหาขนาดเม็คดิน

รูปที่ 5.5 การเขย่ากระบอตกตะกอนและการหย่อนไฮโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลง เริ่มจับเวลาทันที
5. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า R_1 ที่เวลา .25, .5, 1 และ 2 นาที โดยไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออกจนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออก แล้วเขย่ากระบอกใหม่
6. วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้ววัด R_1 ที่ 2, 5, 10, 20, ... ฯลฯ จนไฮโดรมิเตอร์อ่านประมาณ 8 ถึง 15 ซีด ซึ่งอาจกินเวลาถึง 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการอ่านให้วัดอุณหภูมิด้วยอย่างน้อยทุก ๆ 1 ชม.
7. เมื่อทดลองเสร็จแล้ว เทส่วนผสมลงในถาด นำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

การคำนวณผล

ก. การร่อนผ่านตะแกรง

1. เปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง = $\frac{\text{น.น.ดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น.น.ดินทั้งหมด}}$
2. เปอร์เซนต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า
3. เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Finer) = 100 - เปอร์เซนต์ค้างสะสม

ข. การตกตะกอน

1. ขนาดของเม็ดดิน (D) = $K_2 \cdot \sqrt{\frac{h}{t}}$
 เมื่อ K_2 = ค่าอ่านได้จากตารางที่ 5.3
 h = ระยะตกตะกอน (ซ.ม.) อ่านได้จากกราฟรูปที่ 5.3
 t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)
2. เปอร์เซนต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (% Finer)
 จากสมการ 5.6

$$\%F = \frac{100}{W} \times \frac{G}{(G-1)} * R_c$$

W_s = น้ำหนักดินแห้งในส่วนผสม (กรัม)

G = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

R_c = ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์หลังจากแก้ไขแล้ว (ซิด)

ค. การคำนวณผลรวม

ในบางกรณีการหาขนาดเม็ดดินทำต่อเนื่องจากการอ่าน แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาทดลองโดยวิธีตกตะกอนต่อ ในลักษณะนี้ ต้องคำนวณผล

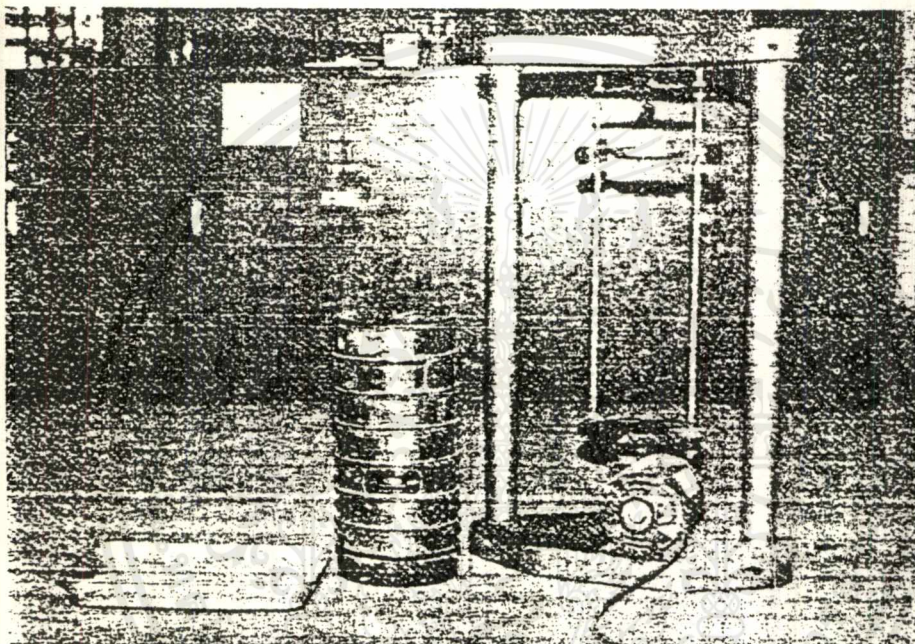
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการร่อนก่อน แล้วย่นำ $\%F_{200}$ ของตะแกรงเบอร์ 200 มาคำนวณในการตกตะกอน คือ

เปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่า

$$\%F = \frac{100}{W} \times \frac{G}{(G-1)} * R_c(F_{200})$$

เมื่อ F_{200} คือ $\%F$ ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200



รูปที่ 5.6 เครื่องมือใช้ทดลองหาขนาดเม็ดดินโดยการร่อน



SIEVE

ANALYSIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE ANALYSIS

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SIEVE ANALYSIS

PROJECT _____
 LOCATION kmit'l
 TEST 1
 TEST BY KMIT'L ENGINEERING DATE _____

Sample Data :

Soil sample	1	Specific Gravity	1.88
Contain No.	1	Wt. Container	213.00 gm.
Dry soil+ Container	1405.00 gm	Wt. dry soil	1192.00 gm.

Sieve Analysis data and Result :

No.	Seive No.	Sieve Opening mm.	Sieve Wt. gm.	Sieve + Retain	Weight Retain	Cumulat. Retain	Cumulat. Retain %	% Finer
1	#4	4.760	584.00	738.00	154.00	154.00	12.98	87.02
2	#8	2.360	477.00	672.00	195.00	349.00	29.43	70.57
3	#10	2.000	463.00	523.00	60.00	409.00	34.48	65.52
4	#20	0.850	448.00	775.00	327.00	736.00	62.06	37.94
5	#50	0.300	375.00	695.00	320.00	1056.00	89.04	10.96
6	#100	0.15	368.00	448.00	80.00	1136.00	95.78	4.22
7	#200	0.075	339.00	370.00	30.00	1167.00	98.40	1.60
8	PAN	-	381.00	400.00	19.00	1186.00	-	-
9								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การบดอัดดิน (COMPACTION)

อ้างอิง ASTM D 698 - 70

ASTM D 1557 - 70

บทนำ

ในสมัยก่อนเมื่อการก่อสร้างยังไม่ได้พัฒนามาก การประดิษฐ์เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดดินยังมีไม่มาก งานก่อสร้างที่เกี่ยวกับงานดิน เช่น ถนน ทางรถไฟ หลังจากการขุดถมแล้วก็ต้องปล่อยทิ้งไว้ 3 ถึง 5 ปี เพื่อรอให้มีการทรุดตัวแน่นก่อนที่จะมีการวางไม้หมอนรางรถไฟหรือลงผิวจราจร

การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ของดิน เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ (Sheep Foot Rollers) รถบดชนิดตี้นกระแทก (Vibrating Rollers) เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด

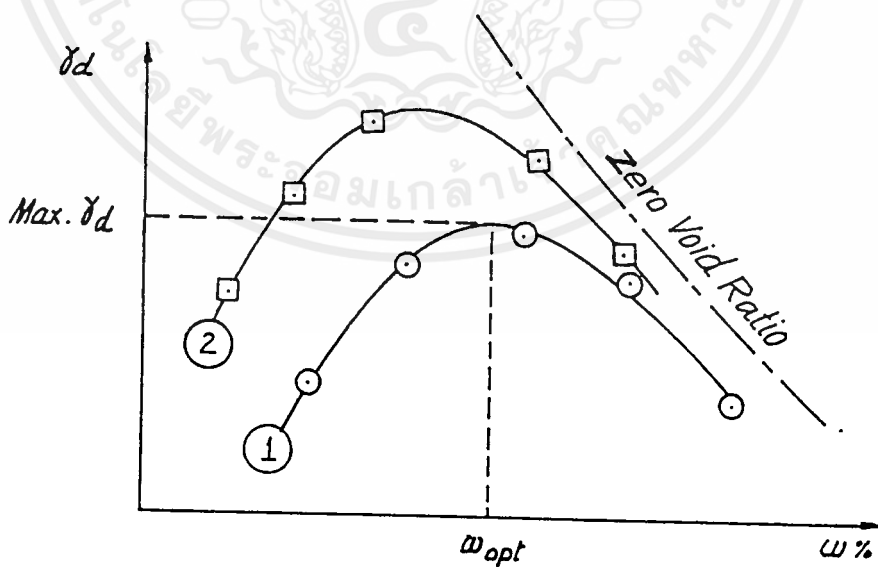
ทฤษฎี

วิธีบดอัดดินให้ได้ความแน่น (Density) สูงตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของการใช้งานจะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น แต่ถ้ามีน้ำอยู่มากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบ ๆ มวลดินทำให้อนุของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกันหรือถ้ามีน้ำอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดเม็ดดินเบียดชิดกันเท่าที่ควร ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว PR.Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความแน่น (Density) ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้าง โดยทั่วไปว่าเป็นวิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน (Runway) เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงาน (Energy) ที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่าวิธีทดสอบแบบ โมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor

Test	Mold size	Wt. of hammer (lb.)	No. of layer	height of drop (in)	No. Of blow per layer	energy/vol. ft - lb/ft ³
Standard Proctor	φ4.0"×4.6"	5.5	3	12	25	12,400
	φ6.0"×5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified Proctor	φ6.0"×5.0"	10	5	18	56	56,000
	φ4.0"×4.6"	10	5	18	25	56,300

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor .



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ Standard Proctor (1) และ Modified Proctor (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำการบดอัดในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐานควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้บดอัดในสนาม เข้ามาฝั่งให้แห้งแล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำเข้าไปในปริมาณที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้บดอัด) โดยวิธีการที่จะพูดถึงรายละเอียดภายหลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ อย่างน้อย 4 ถึง 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของดินกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นที่จุดนั้นเรียกว่า “ความหนาแน่นสูงสุด” (Maximum Dry Density) และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า “ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด” (Optimum Water Content) ดังแสดงในรูปที่ 5.6 (1)

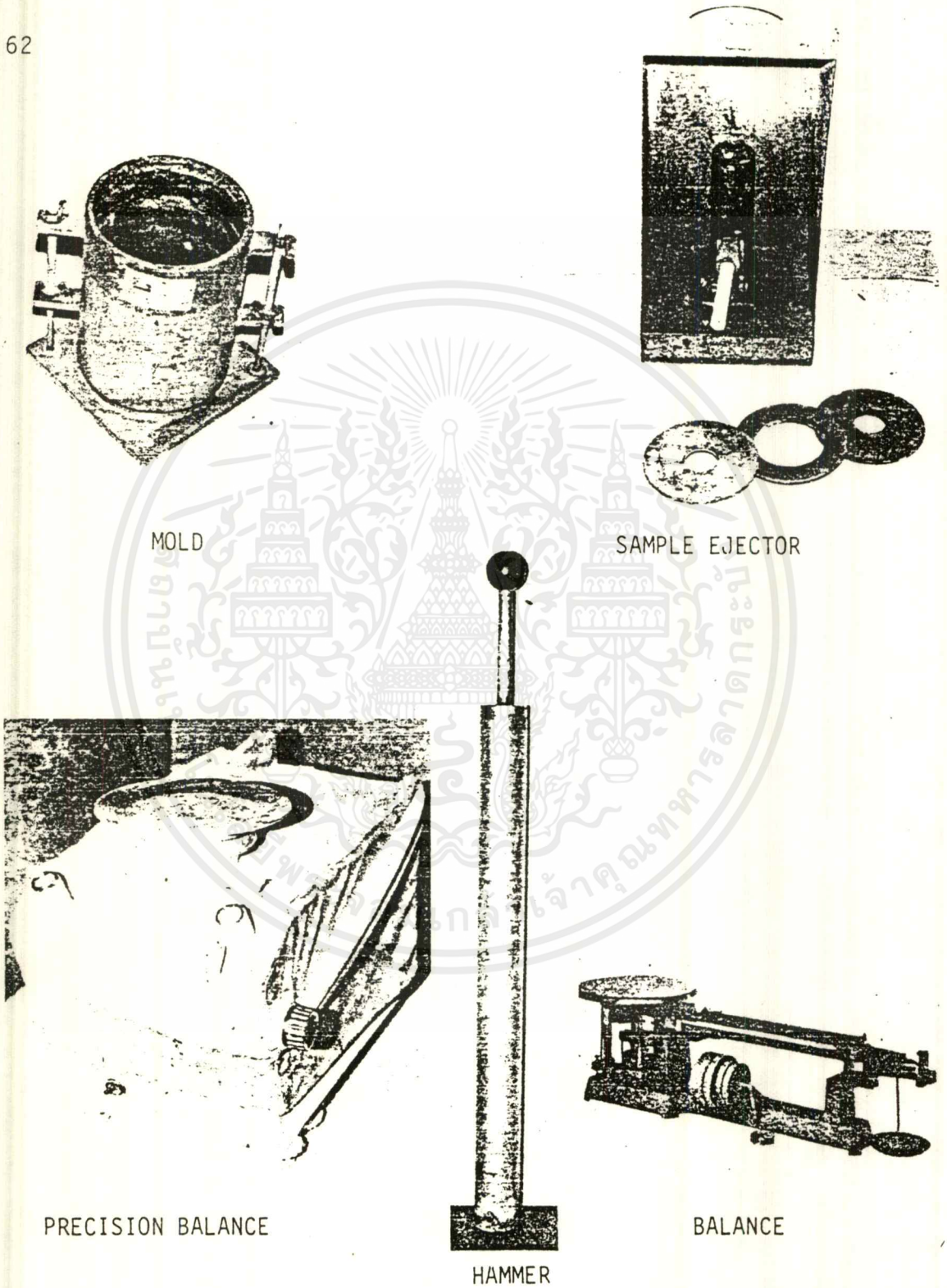
ถ้าเอาพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นไปในดินชนิดเดียวกัน เส้นกราฟการบดอัดจะขยับสูงขึ้น ดังเช่นในรูปที่ 5.6 (2) สามารถสังเกตลักษณะพิเศษสองประการ คือค่า γ_d ของ Modified Proctor จะสูงกว่า γ_d ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด γ_d สูงสุด ซึ่งเรียกว่าความชื้นเหมาะสม (Optimum moisture content) ก็จะลดลงด้วยขณะที่ γ_d เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติของดิน โดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

การทดลองบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องทดลอง

1. mold $\varnothing 4'' \times 4.6''$ with collar 2.5 in high (Standard Proctor)
mold $\varnothing 6'' \times 5.0''$ with collar 2.5 in high (Modified Proctor)
2. hammer $\varnothing 2''$ Weight 5.5 lb" (Standard Proctor)
hammer $\varnothing 2''$ weight 10.0 lb (Modified Proctor)
3. ตะแกรงร่อน เบอร์ 4 (Standard Proctor)
ตะแกรงร่อน เบอร์ 3/4 นิ้ว (Modified Proctor)
4. ฆ้อนยาง, แปรงอ่อน ใช้ปิดดิน
5. ช้อนตักดิน
6. บรรทัดเหล็กปาดดิน
7. ภาดผสมดิน
8. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
9. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด .01 กรัม
10. เตาอบอุณหภูมิสูงถึง 100 °C
11. กระจบ้องใส่ตัวอย่างดิน
12. เครื่องดันตัวอย่างดินออกจาก Mold (jack)
13. กระจบอควงน้ำ มีขีดแบ่งปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOLD

SAMPLE EJECTOR

PRECISION BALANCE

HAMMER

BALANCE

รูปที่ 5.7 เครื่องมือใช้ในการทดลองการบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อให้ขนาดของเม็ดดินและขนาดของ mold ที่ใช้ทดลองมีส่วนสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม ดินตัวอย่างที่จะใช้จำเป็นต้องร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดดังนี้
Standard Proctor test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่

เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

Modified Proctor test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" ดินที่มีขนาดโตกว่าเบอร์ 3/4" จะต้องทิ้งไปและดินที่ทิ้งไปนี้จะต้องชั่งด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แต่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน วิธีที่สะดวกในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทำ Modified Proctor test ก็โดยการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นกอง ๆ โดยวิธี Quartering แต่ละกองให้มีน้ำหนักประมาณ 6 กก. ร่อนดินกองแรกผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และชั่งน้ำหนักดินที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 3/4" และร่อนดินอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4" และเบอร์ 4 ชั่งดินที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 3/4" ที่จัดไว้ นำไปผสมกับดินกองแรกเพื่อทดลองต่อไป

วิธีการทดลอง Standard Proctor ใช้ mold $\varnothing 4" \times 4.6"$

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold
2. ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4 % คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอจนตลอด
4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่า ๆ กันเมื่อ compact เสร็จแล้ว ชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นที่ส่วนบนของ mold เล็กน้อย ประมาณ 1-2 ซม.
5. ใช้ hammer ขนาด 5.5 lb compact ดินใน mold ในแต่ละชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากัน โดยตลอดขณะ Compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base plate ออกนำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ดันตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้ อย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3 % คลุกเคล้ากันให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึง ข้อ 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลงและอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

วิธีการทดลอง Modified Proctor ใช้ mold $\varnothing 6'' \times 5''$

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของดินใน mold
2. ชั่งน้ำหนักของตัว mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 7 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4 เปอร์เซ็นต์คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นในดินสม่ำเสมอจนตลอด
4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบด้วย collar , base plate และ spacer disc เรียบร้อยแล้วกะแบ่งปริมาณดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้นเท่า ๆ กัน เมื่อ compact แล้วชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นปาก mold เล็กน้อย ประมาณ 1.0 ซม.
5. ใช้ hammer ขนาด 10 lb .compact ในดิน mold ในแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 56 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความหนาแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่อยู่เหนือปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบสม่ำเสมอปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold ถอด base plate ออก นำ mold ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างอย่างน้อย 500 กรัม ไปชั่งหาน้ำหนักแล้วเข้าเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลืออยู่มาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3 % ลงไปคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึง ข้อ 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลงและอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

การคำนวณ

$$1. \text{ Wet density ของดิน} = \frac{\text{WET WEIGHT}}{\text{VOLUME OF MOLD}} \quad \text{lb/cu.ft}$$

$$2. \text{ Dry density} = \frac{W}{V(1+W)} \quad \text{lb/cu.f}$$

W = น้ำหนักดิน (Wet weight) ใน mold

V = ปริมาตรของ mold

w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (water content)

ผลการทดลอง

1. หาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content) และ dry density โดยการนำค่า dry density มา plot ในแกนตั้งและ water content (%) plot ในแกนนอน
2. หาค่า optimum moisture content จาก curve ในข้อ 1
3. หาค่า Max. γ_d จาก curve ในข้อ 1

COMPACTION

TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT _____

LOCATION KMITLTEST NO. 1TESTED BY KMITL ENGINEERING DATE _____Type of Compaction : modified Mold Volume = 0.00204 cu.m

Water Content Determination

Trial No.		1	2	3	4	5
Wet soil+Can ,	gm .	390.00	382.00	396.00	389.00	
Dry soil +Can ,	gm .	381.00	366.00	376.00	365.00	
Wt. of Can ,	gm .	202.00	202.00	203.00	200.00	
Wt. of Water	gm .	9.00	16.00	20.00	24.00	
Wt. of Dry soil ,	gm .	188.00	180.00	193.00	189.00	
Water Content ,	%	4.79	8.89	10.36	12.70	

Density Determination

Trial No.		1	2	3	4	5
Wt. of Soil +Mold ,	gm .	10669.00	10981.00	11032.00	10746.00	
Wt. of Mold ,	gm .	6176.00	6176.00	6176.00	6176.00	
Wt. of Soil ,	gm .	4493.00	4805.00	4856.00	4577.00	
Wet Density ,	kg/cu .m .	2202.00	2355.00	2380.00	2243.00	
Dry density ,	kg/cu .m .	2101.00	2162.00	2156.00	1990.00	

Max. Dry Density 2165 kg/cu .m .Optimum Water Content 9.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT _____

LOCATION KMITLTEST NO. 2TESTED BY KMITL ENGINEERING DATE _____Type of Compaction : modified Mold Volume = 0.0024 cu.m

Water Content Determination :

Trial No.		1	2	3	4	5
Wet soil+Can ,	gm .	321.00	351.00	329.00	322.00	
Dry soil +Can ,	gm .	312.00	336.00	314.00	304.00	
Wt. of Can ,	gm .	203.00	201.00	201.00	202.00	
Wt. of Water	gm .	9.00	15.00	15.00	18.00	
Wt. of Dry soil ,	gm .	109.00	135.00	113.00	106.00	
Water Content ,	%	8.25	11.11	13.20	16.90	

Density Determination :

Trial No.		1	2	3	4	5
Wt. of Soil +Mold ,	gm .	11056.00	11261.00	11135.00	11040.00	
Wt. of Mold ,	gm .	6490.00	6490.00	6490.00	6490.00	
Wt. of Soil ,	gm .	4771.00	4771.00	4645.00	4550.00	
Wet Density ,	kg/cu .m .	2238.00	2338.00	2276.00	2230.00	
Dry density ,	kg/cu .m .	2062.00	2105.00	2011.00	1907.00	

Max. Dry Density 2,110 kg/cu .m.Optimum Water Content 10.4 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ภายนอกการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT _____
 LOCATION KMITL
 TEST NO. 3
 TESTED BY KMITL ENGINEERING DATE _____

Type .of Compaction : modified Mold Volume = 0.0024 cu.m

Water Content Determination

Trial No.	1	2	3	4	5
Wet soil+Can , gm .	342.00	317.00	322.00	320.00	
Dry soil +Can , gm .	331.00	306.00	308.00	297.00	
Wt. of Can , gm .	203.00	202.00	203.00	203.00	
Wt. of Water gm .	11.00	11.00	14.00	23.00	
Wt of Dry soil , gm .	128.00	104.00	105.00	94.00	
Water Content , %	8.50	10.57	13.30	24.46	

Density Determination

Trial No.	1	2	3	4	5
Wt . of Soil +Mold , gm .	10974.00	11253.00	11170.00	11072.00	
Wt . of Mold , gm .	6490.00	6490.00	6490.00	6490.00	
Wt . of Soil , gm .	4484.00	4763.00	4680.00	4582.00	
Wet Density , kg/cu .m .	2198.00	2335.00	2294.00	2246.00	
Dry density , kg/cu .m .	2026.00	2111.00	2030.00	1804.00	

Max. Dry Density 2,113 kg/cu .m.

Optimum Water Content 10.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การหาความหนาแน่นของดินในสนาม (FIELD DENSITY TEST)

อ้างอิง .: ASTM D 1556-64 (Reapproved 1968)

ASTM D 2167-66

บทนำ

การก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ จะต้องบดอัดด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ตามชนิดและประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หลังจากบดอัด ได้ที่แล้วก็ต้องมีการตรวจสอบผลของการบดอัดนั้นว่า มีความแน่นสามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบคำนวณไว้หรือไม่ เช่น งานชั้นรองพื้นทาง (subbase) ชั้นพื้นทาง (base) จะต้องบดอัดให้ได้ 100 % Modified AASHO งานชั้นดินเค็ม และดินถมจะต้องบดอัดให้ได้ 95 % Modified AASHO การบดอัดนี้จะต้องมีการควบคุมความชื้นในดินและพลังงานที่จะใช้ในการบดอัดให้พอเพียงและประหยัด ถ้าจำนวนเที่ยวที่บดอัดมากเกินไป ก็จะสิ้นเปลืองทั้งค่าแรงงานและค่าน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ถ้าบดอัดน้อยไปก็จะ ได้ความแน่นที่ต้องการจะต้องกลับมาทำงานซ้ำอีก

ทฤษฎี

การหาความแน่นของดิน คือ การหาน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา และการที่จะหาปริมาตรของหลุมที่กล่าวนี้จำเป็นจะต้องวัดหรือใช้วัสดุที่รู้ความแน่น (density) และความถ่วงจำเพาะแน่นอนแล้วไปแทนที่ในหลุมที่ขุดดินขึ้นมา ซึ่งการทดสอบดังกล่าวอาจกระทำได้โดยวิธีใช้ทรายมาตรฐาน (Sand Cone Method) ช่วยในการทดสอบหรือใช้น้ำ (Balloon Density Method) ทั้งสองวิธีนี้ต่างก็อาศัยหลักการเดียวกัน คือ ชั้นแรกจะต้องขุดดินบริเวณที่จะทำการทดสอบให้ให้เป็นหลุมเล็ก ๆ และนำดินที่ขุดออกมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และหาปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา

$$\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักของดินชื้นขุดจากดินทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$$

และถ้าหาก w คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w}$$

เพื่อที่จะ ให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องเหมาะสมตามความต้องการปริมาตรของหลุมที่จะทดลอง และตัวอย่างดินที่เก็บไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของเม็ดดินดังนี้

ขนาดใหญ่สุดของ เม็ดดิน	ปริมาตรของหลุม อย่างน้อย (ฟ.๓)	น้ำหนักของดินอย่างน้อย (กรัม)
NO. 4	0.025	100
½ นิ้ว	0.050	250
1 นิ้ว	0.075	500
2 นิ้ว	0.100	1,000

1. Sand Cone Method วิธีนี้ใช้ทรายช่วยในการหาปริมาณของหลุม ทรายที่ใช้คือ Ottawa sand ซึ่งมีเม็ดของทรายกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน (Uniform) เพื่อที่จะให้ผลของความหนาแน่นเท่ากัน โดยตลอด และไม่เกิดการแยกตัวของเม็ดทรายและเม็ดเล็ก (Segregation) ขณะทำการทดลอง ถ้าหากไม่มี Ottawa sand อาจจะใช้ทรายซึ่งร่อนผ่านตะแกรง No. 20 แต่ค้ำบนตะแกรง No. 30 หรือทรายขนาดผ่านตะแกรง No. 30 แต่ค้ำบนตะแกรง No. 40 แทนได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Density apparatus ประกอบด้วยขวดแก้วขนาดจุก 1 แกลลอนพร้อมด้วยกรวยและ base plate ซึ่งตรงกลางเจาะรูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 นิ้ว เท่ากับปากของกรวย
2. Ottawa sand หรือทรายที่ผ่านตะแกรง No. 20 และค้ำบนตะแกรง No. 30
3. เครื่องชั่งชนิดชั่งได้ละเอียด 0.01 ปอนด์ หรือ 0.1 กรัม
4. สี่เจาะดิน ฆ้อน ช้อนตักดิน แปรงทาสีใช้ปิดดิน กระจบ้องใส่ดิน
5. เตาอบ

ก่อนทำการทดลองจะต้องตรวจสอบหาค่าคงที่ (Calibrate) เครื่องมืออุปกรณ์และทรายที่ใช้ในการทดลองก่อน

การ Calibrate หาน้ำหนักของทรายในกรวย

1. ควงทรายใส่ขวดอย่างน้อยก่อนขวด ปิดควาล์วตรงก้นกรวยนำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้
2. วางแผ่น base plate ลงบนพื้นราบหรือ โต๊ะปฏิบัติการซึ่งมีผิวเรียบ คว่ำขวดให้กรวยวางบน base plate ในลักษณะเดียวกับที่จะออกไปทดลองในสนาม
3. เปิดควาล์ว ปล่อยให้ทรายในขวดไหลลงสู่กรวยอย่างอิสระและไม่ให้มีการสั่นหรือกระแทกในบริเวณใกล้ ๆ ขวดจนทรายหยุดไหลก็ปิดควาล์ว
4. นำทรายในขวดที่เหลือ ไปชั่งหาน้ำหนัก ผลต่างระหว่างการชั่งครั้งแรกและครั้งหลังจะเป็นน้ำหนักของทรายที่อยู่ในกรวย
5. ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยมาเพื่อใช้ในการทดลองในสนามต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Calibrate Bulk Density ของทราย

1. ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย
2. วางขวดเปล่าบนพื้นราบเปิดวาล์วของกรวยแล้วเททรายลงในขวดทางกรวยปล่อยให้ทรายไหลลงขวด โดยสม่ำเสมอจนเต็มขวดแล้วปิดวาล์ว ห้ามมิให้มีการสั่นสะเทือนขณะเติมทรายลงในขวด
3. เททรายที่เหลือค้างในกรวยออกนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของทรายในขวดโดยเอาน้ำหนักของขวดเปล่าพร้อมกรวยมาหักออกต้องทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาน้ำหนักของทรายในขวดโดยใช้ค่าเฉลี่ย

$$\text{Density ของทราย} = \frac{\text{น้ำหนักทรายในขวด}}{\text{ปริมาตรของขวด}} \quad \text{กรัม/ลบ.ซม.}$$

การ Calibrate หาปริมาตรของขวด

1. วางขวดบนพื้นราบ เปิดวาล์วกันกรวย แล้วเติมน้ำลงขวดจนน้ำล้นท่วมขึ้นเหนือวาล์ว
2. ปิดวาล์วแล้วเทน้ำส่วนที่อยู่เหนือวาล์วออก เช็ดขวดภายนอกให้แห้งนำไปชั่งหาน้ำหนักขวด+น้ำ หัก น้ำหนักขวดเปล่าออกก็จะได้น้ำหนักของน้ำในขวด
3. ทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาน้ำหนักเต็มขวดด้วยค่าเฉลี่ย
4. คำนวณหาปริมาตรของขวดดังนี้

$$V = WT$$

$$V = \text{ปริมาตรของขวด (ซม.}^3\text{)}$$

$$W = \text{น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม)}$$

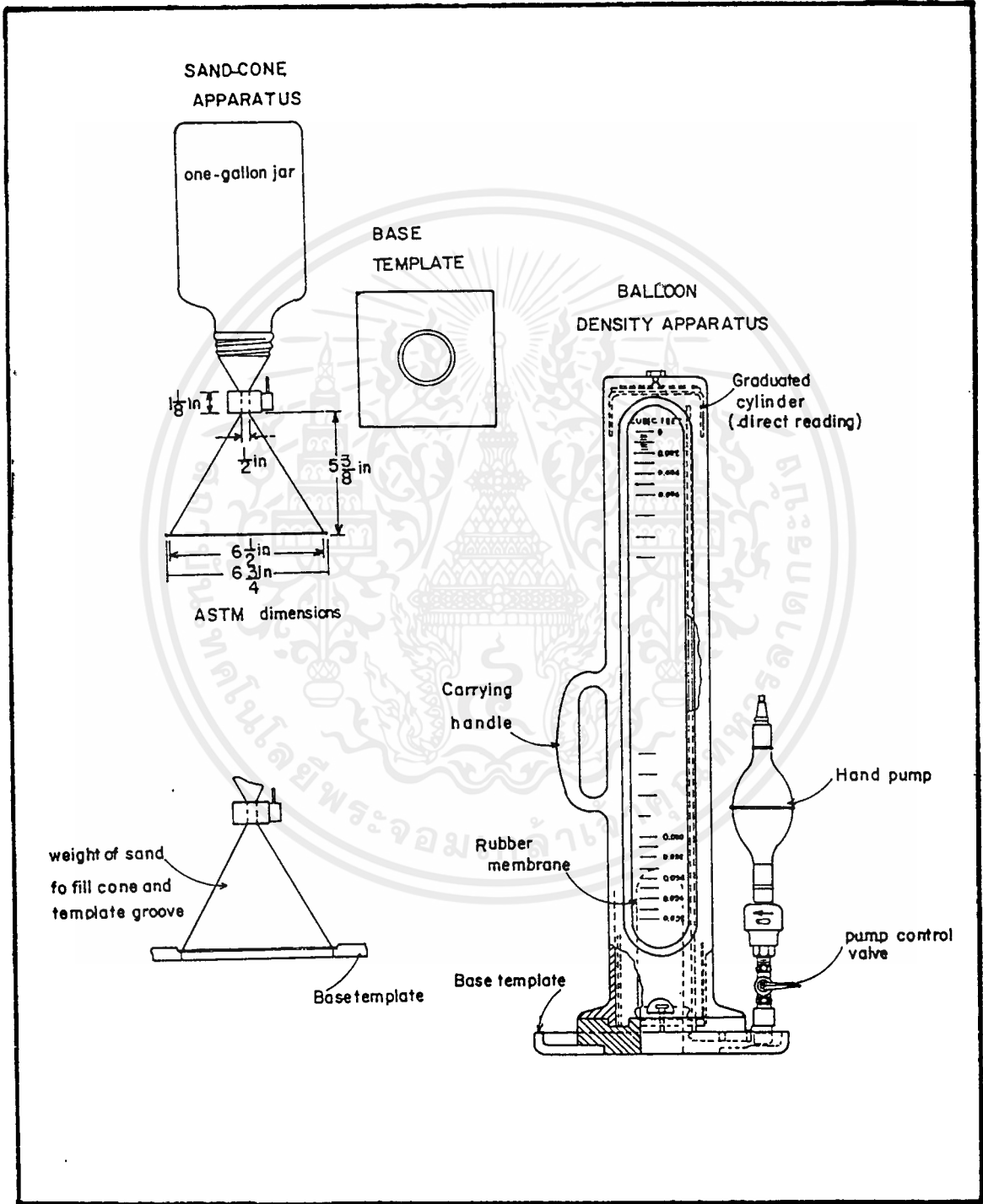
$$T = \text{ปริมาตรของน้ำต่อน้ำหนักหนึ่งกรัมที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้}$$

อุณหภูมิองศา	ปริมาตรของน้ำ
เซลเซียส	ซม. ³ / กรัม

12	1.00038
14	1.00073
16	1.00103
18	1.00138
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435
32	1.00497

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 28 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอามาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก 30 เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 อุปกรณ์ทดสอบความแน่นในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ตวงทรายใส่ขวดอย่างน้อยก่อนขวด ปิดควาล้ว ซึ่งน้ำหนักของขวดทรายรวมทั้งกรวยและจดน้ำหนักไว้ (W_1)
2. ปรับพื้นที่ ๆ จะทำการทดลองให้เรียบวาง base plate คอกตะปูยึดให้แน่น
3. ใช้สิ่วเจาะดินจากรุกกลาง base plate ลึกประมาณ 10 ซม. ควรแต่งให้กันหลุมมนคล้ายกันกะทะ แต่งหลุมให้เรียบ ดินที่ขุดออกจากหลุมต้องเก็บใส่กระป๋องให้หมด มิให้ตกหล่น ซึ่งจดน้ำหนักไว้แล้วนำเข้าเตาอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
4. คว่าขวดทรายลงบน base plate เสร็จแล้วเปิดควาล้วให้ทรายไหลลงอย่างอิสระจนเต็มแล้วปิดควาล้ว เอาขวดทรายไปซึ่งน้ำหนักของทรายที่เหลือ (W_2) เก็บทรายสะอาดในหลุมกลับคืนใส่ในภาชนะที่เตรียมมาเพื่อไปทำความสะอาดและนำไปใช้ได้อีก

การคำนวณผลการทดลอง

1. น้ำหนักทรายที่แทนในหลุมได้จาก
น้ำหนักในหลุม = $W_1 - W_2$ น้ำหนักทรายในกรวย

2. ปริมาตรของหลุมที่ขุด = $\frac{\text{น้ำหนักทรายในหลุม}}{\text{density ของทราย}}$

3. $\gamma_{wet} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่ขุดจากหลุม}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$

4. $\gamma_{dry} = \frac{\text{น้ำหนักดิน}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$

5. Zero air- voids density = $\frac{G \cdot \gamma_w}{1 + w \cdot G} \cdot 100$

6. Percent air voids = $100 \left(1 - \frac{\text{actual dry density}}{\text{Zero air-void density}} \right)$

7. Percent proctor density

$$= \frac{\text{actual dry density}}{\text{Proctor maximum dry density}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. rubber Balloon Method วิธีนี้ใช้น้ำช่วยในการหาปริมาตรของหลุมซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีใช้ทราย ในการทดลองอาศัยใช้ลมจากลูกยางบีบอัดลงไปตรงส่วนบนของผิวน้ำในหลอดแก้วของเครื่องมือ ทำให้น้ำในหลอดแก้วถูกอัดดันลงไปในลูกโป่งยางและไหลลงไปในหลุมทดลองที่ขุดไว้ได้ base plate ลมที่อัดลงไปนี้มีส่วนช่วยให้น้ำในลูกโป่งยางอัดแน่นสนิทกับหลุม ทำให้ได้ค่าปริมาตรของหลุมที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. rubber balloon apparatus
2. เครื่องชั่งชนิดชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
3. สิว, ฆ้อน ช้อนตักดิน แปรงปักดิน กระบองใส่ดิน
4. เตาอบ

วิธีการทดลอง

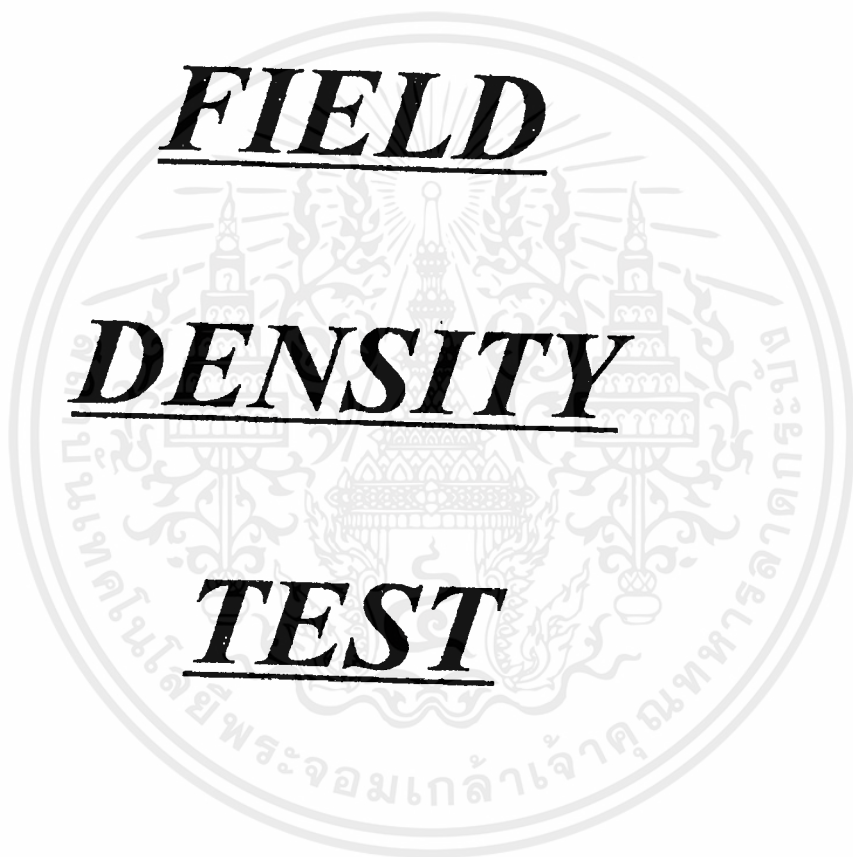
1. ประกอบ balloon apparatus โดยใส่น้ำในหลอดแก้ว ซึ่งมีลูกโป่งยางประกอบใส่ตรงฐานของเครื่องมือให้ระดับน้ำต่ำกว่าขีดศูนย์ของหลอดแก้วเล็กน้อย
2. วาง base plate ลงบนที่ราบและเรียบ เช่น บนโต๊ะปฏิบัติการแล้ววาง balloon apparatus ลงบน base plate ให้เหมือนกับลักษณะที่จะไปทดลองในสนาม เปิดควาล์วได้ลูกบิบบยางและบีบลูกบิบบยางอัดลมดัน (pressure) ลงบนผิวน้ำในกระบอกแก้ว อ่านและจดระดับครั้งแรกไว้เสร็จแล้วกลับลูกบิบบยางเอาด้านที่เกิดแรงดูด (suction) ประกอบเข้ากับเครื่องมือบีบให้เกิด suction ดึงเอาระดับน้ำและลูกโป่งยางกลับขึ้นมาเก็บในหลอดแก้วเท่าระดับเดิม แล้วเปิดควาล์วได้ลูกบิบบยางไว้
3. นาเครื่องมือออกไปในสนาม ปรับพื้นที่ ๆ จะทำการทดลองให้เรียบวาง base plate ลงและตอกตะปูยึดให้แน่น
4. ใช้สิ่วเจาะดินจากช่องกลาง base plate ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดช่องกลาง base plate และลึกประมาณ 10 ซม. ควรให้กันหลุมบน แต่งหลุมให้เรียบ ดินที่ขุดออกจากหลุมต้องเก็บใส่กระป๋องให้หมดมิให้ตกหล่น นำไปชั่งจนน้ำหนักไว้ นำเข้าเตาอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
5. วาง balloon apparatus ลงบน base plate ประกอบลูกบิบบยางด้านที่อัดลม (pressure) เข้ากับ balloon apparatus เปิดควาล์วได้ลูกบิบบยางอัดลม (pressure) ลงบนผิวน้ำในหลอดแก้ว อ่านระดับน้ำขีดต่ำสุดไว้ ขณะที่อัดลม (pressure) จะต้องกด balloon apparatus ให้แน่นติดกับ base plate จึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง

6. กลับลูกบิบบางด้านที่ทำให้เกิดแรงดูด (suction) ดึงเอาระดับน้ำกลับขึ้นมาอยู่ในระดับเดิมแล้วปิดวาล์วได้ลูกบิบบาง

การคำนวณผลการทดลอง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของหลุม} &= \text{ระดับน้ำอ่านครั้งแรก} - \text{ระดับน้ำอ่านครั้งหลัง} \\ \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} &= \frac{\text{น้ำหนักดินขึ้น} - \text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง}} \times 100\% \\ \gamma_{\text{wet}} &= \frac{\text{น้ำหนักดินขึ้นที่ขุดจากหลุมทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{dry}} &= \frac{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรของหลุม}} \\ \text{เปอร์เซ็นต์ Proctor density} &= \frac{\gamma_{\text{dry}} \text{ ได้จากการทดลองในสนาม}}{\gamma_{\text{dry}} \text{ ได้จาก Proctor density}} \times 100\% \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO. 1

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT. OF WET SOIL + CAN gm	109
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	105
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	5
WT. OF DRY SOIL gm	78
% WATER CONTENT	6.4

FIELD DATA

<u>SAND REPLACEMENT METHOD:</u>	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1512
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5390
JUG + CONE AFTER USE gm	2880
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	929
VOLUME OF HOLE cc	714.6

SUMMARY

WET DENSITY = 1.82 gm/ccDRY DENSITY = 1.71 gm/cc% OF COMPACTION = 81.4 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 2

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT.OF WET SOIL + CAN gm	150
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	143
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	7
WT.OF DRY SOIL gm	111
% WATER CONTENT	6.3

FIELD DATA

<u>SAND REPLACEMENT METHOD:</u>	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1517
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5412
JUG + CONE AFTER USE gm	2892
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	939
VOLUME OF HOLE cc	722.3

SUMMARY

WET DENSITY = 1.8 gm/cc

DRY DENSITY = 1.69 gm/cc

% OF COMPACTION = 80.5 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 3 _____

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT.OF WET SOIL + CAN gm	122
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	116
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	6
WT.OF DRY SOIL gm	89
% WATER CONTENT	6.7

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1528
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5410
JUG + CONE AFTER USE gm	2897
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	932
VOLUME OF HOLE cc	716.9

SUMMARY

WET DENSITY = 1.83 gm/cc

DRY DENSITY = 1.72 gm/cc

% OF COMPACTION = 81.9 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 4 _____

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT. OF WET SOIL + CAN gm	140
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	137
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	7
WT. OF DRY SOIL gm	105
% WATER CONTENT	6.6

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1602
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5405
JUG + CONE AFTER USE gm	2893
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	931
VOLUME OF HOLE cc	716.1

SUMMARY

WET DENSITY = 1.94 gm/cc

DRY DENSITY = 1.82 gm/cc

% OF COMPACTION = 86.6 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 5

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT. OF WET SOIL + CAN gm	143
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	135
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	8
WT. OF DRY SOIL gm	108
% WATER CONTENT	7.4

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1534
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5412
JUG + CONE AFTER USE gm	2897
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	934
VOLUME OF HOLE cc	718.4

SUMMARYWET DENSITY = 1.84 gm/ccDRY DENSITY = 1.71 gm/cc% OF COMPACTION = 81.4 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 6

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT.OF WET SOIL + CAN gm	131
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	124
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	7
WT.OF DRY SOIL gm	92
% WATER CONTENT	7.6

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1582
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5415
JUG + CONE AFTER USE gm	2890
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	944
VOLUME OF HOLE cc	726.1

SUMMARY

WET DENSITY = 1.88 gm/ccDRY DENSITY = 1.75 gm/cc% OF COMPACTION = 83.3 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 7

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT.OF WET SOIL + CAN gm	121
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	114
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	7
WT.OF DRY SOIL gm	87
% WATER CONTENT	8.0

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1610
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5409
JUG + CONE AFTER USE gm	2902
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	926
VOLUME OF HOLE cc	712.3

SUMMARY

WET DENSITY = 1.96 gm/ccDRY DENSITY = 1.81 gm/cc% OF COMPACTION = 86.2 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 8

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT.OF WET SOIL + CAN gm	113
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	107
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	6
WT.OF DRY SOIL gm	75
% WATER CONTENT	8.0

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1542
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5397
JUG + CONE AFTER USE gm	2884
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	932
VOLUME OF HOLE cc	716.9

SUMMARYWET DENSITY = 1.85 gm/ccDRY DENSITY = 1.71 gm/cc% OF COMPACTION = 81.4 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 9

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT. OF WET SOIL + CAN gm	115
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	110
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	5
WT. OF DRY SOIL gm	83
% WATER CONTENT	6.0

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1574
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5413
JUG + CONE AFTER USE gm	2887
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	945
VOLUME OF HOLE cc	726.9

SUMMARY

WET DENSITY = 1.87 gm/ccDRY DENSITY = 1.76 gm/cc% OF COMPACTION = 83.8 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 10 _____

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT. OF WET SOIL + CAN gm	124
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	118
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	6
WT. OF DRY SOIL gm	86
% WATER CONTENT	6.9

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1578
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5417
JUG + CONE AFTER USE gm	2895
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	941
VOLUME OF HOLE cc	723.8

SUMMARY

WET DENSITY = 1.88 gm/cc

DRY DENSITY = 1.76 gm/cc

% OF COMPACTION = 83.8 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 11

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT. OF WET SOIL + CAN gm	112
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	106
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	6
WT. OF DRY SOIL gm	79
% WATER CONTENT	7.6

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1607
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5412
JUG + CONE AFTER USE gm	2892
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	939
VOLUME OF HOLE cc	722.3

SUMMARY

WET DENSITY = 1.93 gm/ccDRY DENSITY = 1.76 gm/cc% OF COMPACTION = 83.8 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 12 _____

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN. NO.	2
WT. OF WET SOIL + CAN gm	125
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	120
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	5
WT. OF DRY SOIL gm	88
% WATER CONTENT	5.7

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1592
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5397
JUG + CONE AFTER USE gm	2901
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	915
VOLUME OF HOLE cc	703.8

SUMMARY

WET DENSITY = 1.95 gm/cc

DRY DENSITY = 1.84 gm/cc

% OF COMPACTION = 87.6 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 13

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT.OF WET SOIL + CAN gm	123
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	117
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	6
WT.OF DRY SOIL gm	90
% WATER CONTENT	6.6

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1587
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5403
JUG + CONE AFTER USE gm	2887
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	935
VOLUME OF HOLE cc	719.2

SUMMARY

WET DENSITY = 1.91 gm/cc

DRY DENSITY = 1.79 gm/cc

% OF COMPACTION = 85.2 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY**SAND CONE TEST**

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 14 _____

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	2
WT. OF WET SOIL + CAN gm	125
WT. OF DRY SOIL + CAN gm	118
WT. OF CAN gm	32
WT. OF WATER gm	7
WT. OF DRY SOIL gm	86
% WATER CONTENT	8.1

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1593
WT. OF PAN gm	215
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5410
JUG + CONE AFTER USE gm	2881
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	948
VOLUME OF HOLE cc	729.2

SUMMARY

WET DENSITY = 1.89 gm/cc

DRY DENSITY = 1.75 gm/cc

% OF COMPACTION = 83.3 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELD DENSITY

SAND CONE TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO 15

TEST BY _____ DATE _____

WATER CONTENT DETERMINATION:

CAN NO.	1
WT.OF WET SOIL + CAN gm	114
WT.OF DRY SOIL + CAN gm	107
WT. OF CAN gm	27
WT. OF WATER gm	7
WT.OF DRY SOIL gm	80
% WATER CONTENT	8.7

FIELD DATA

SAND REPLACEMENT METHOD:	
WT. OF WET SOIL + PAN gm	1594
WT. OF PAN gm	213
UNIT WT. OF SAND gm/cc	1.3
JUG + CONE BEFORE USE gm	5398
JUG + CONE AFTER USE gm	2902
WT. OF SAND IN CONE gm	1581
WT. OF SAND IN HOLE gm	915
VOLUME OF HOLE cc	703.8

SUMMARY

WET DENSITY = 1.96 gm/ccDRY DENSITY = 1.80 gm/cc% OF COMPACTION = 85.7 % OF MODIFIED PROCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

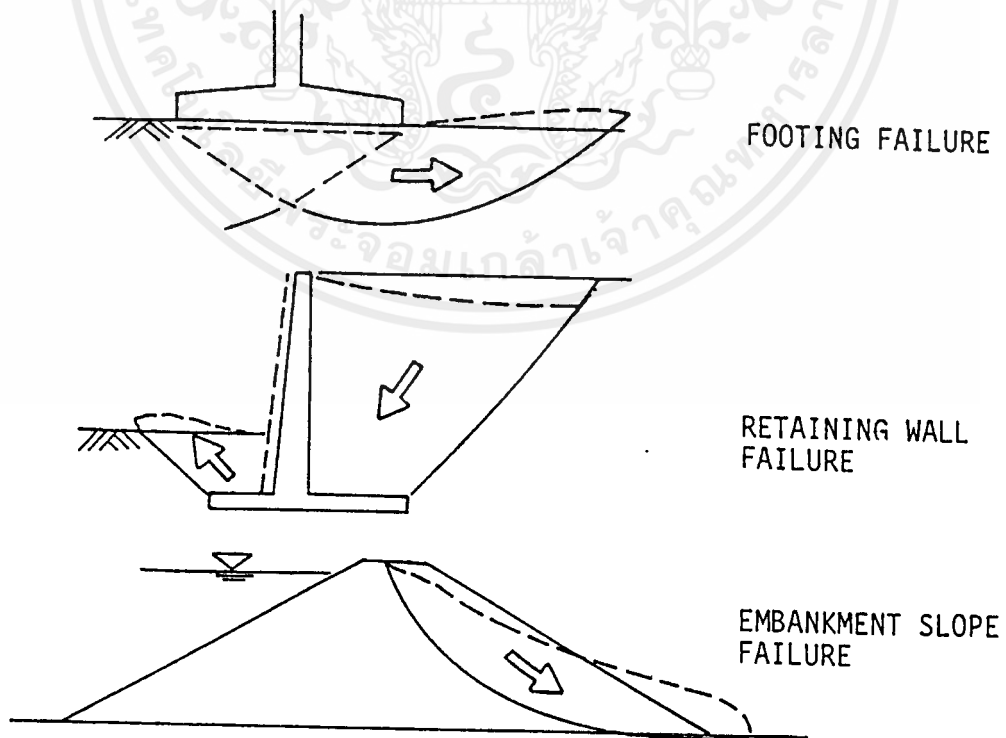
5.1.4 DIRECT SHEAR TEST

บทนำ

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินที่สำคัญประการหนึ่งคือ กำลังหรือความแข็งแรงของมวลดิน (Soil Strength) ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นในวิเคราะห์หรือออกแบบ ฐานราก, ผนังกันดิน, เขื่อนดิน และสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับดินและหินอีกหลายอย่าง ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ เราถือว่ากำลังของดินคือความสามารถของมวลดินในการรับแรงเฉือน (Shearing Strength) ซึ่งแตกต่างจากเหล็กหรือคอนกรีต ซึ่งพิจารณาแรงดึงหรือแรงอัดเป็นสำคัญ

เมื่อมวลดินได้รับแรงกระทำไม่ว่าจะเป็นแรงจากภายนอกหรือ เนื่องจากน้ำหนักของมวลดินเอง ในระยะแรกจะมีการเคลื่อนตัวเล็กน้อยอยู่ในช่วงของ Elastic แต่เมื่อมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น การเคลื่อนตัวก็จะสูงขึ้นจนถึง ช่วงของ Ultimate โดยมีการเคลื่อนของดินส่วนหนึ่งเฉือนออกจากมวลดินอีกส่วนหนึ่ง เรียกว่า “การเคลื่อนพัง” (Shearing Failure) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5.9

ในการวิเคราะห์ว่ามวลดินจะสามารถรับแรงต้านทานได้สูงสุดเท่าใด เช่น ฐานแผ่จะรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่าใด หรือลาดเขื่อนจะก่อสร้างได้ชั้นที่สูงสุดเท่าใด จะต้องคำนวณได้จากความแข็งแรงของมวล และลักษณะของสิ่งก่อสร้าง



รูปที่ 5.9 การเคลื่อนพังทางปฐพีกลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี

การเคลื่อนที่ของมวลดินมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของวัตถุบนผิวฝืด (Friction surface) ดังแสดงในรูปที่ 5.10



ก. การเคลื่อนที่ของวัตถุบนผิวฝืด

ข. การเคลื่อนที่ของมวลดิน

รูปที่ 5.10 การเคลื่อนที่ตัวและแรงต้านทาน

ถ้าเราต้องการดึงหรือดันให้วัตถุบนผิวฝืดในรูปที่ 5.10 ก. ให้เคลื่อนไปจะต้องใช้แรงดึงในแนวราบ (H) จะต้องใช้แรงอย่างน้อยเท่ากับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) คูณด้วยแรงกดตั้งฉากผิว (N)

$$H = \mu N \quad (5.9)$$

แต่ในมวลดินการที่จะเฉือนมวลดิน 2 ส่วนออกจากกัน นอกจากแรงในสมการที่ 5.9 แล้ว ยังต้องมีแรงเกิดจากความเหนียวของดิน (Cohesive Force), C เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว (Clay) แต่ไม่เกิดขึ้นใน Cohesionless Soil เช่น ทราย กรวด หิน เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นแรงเฉือนจึงต้องมีอย่างน้อยเท่ากับสมการที่ 5.10

$$H = C + \mu N \quad (5.10)$$

ถ้าเราจะเปลี่ยนสมการที่ 5.10 ไปในรูปของความเข้มของแรง (Stress) โดยเอาพื้นที่ผิวเฉือน (Shearing area) ไปหารสมการที่ 5.10 ก็จะได้

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (5.11)$$

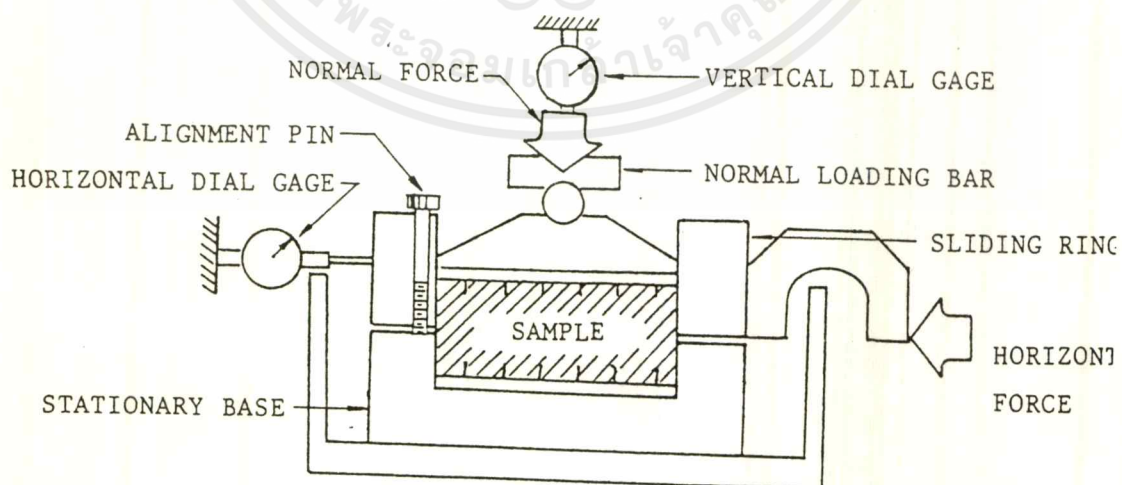
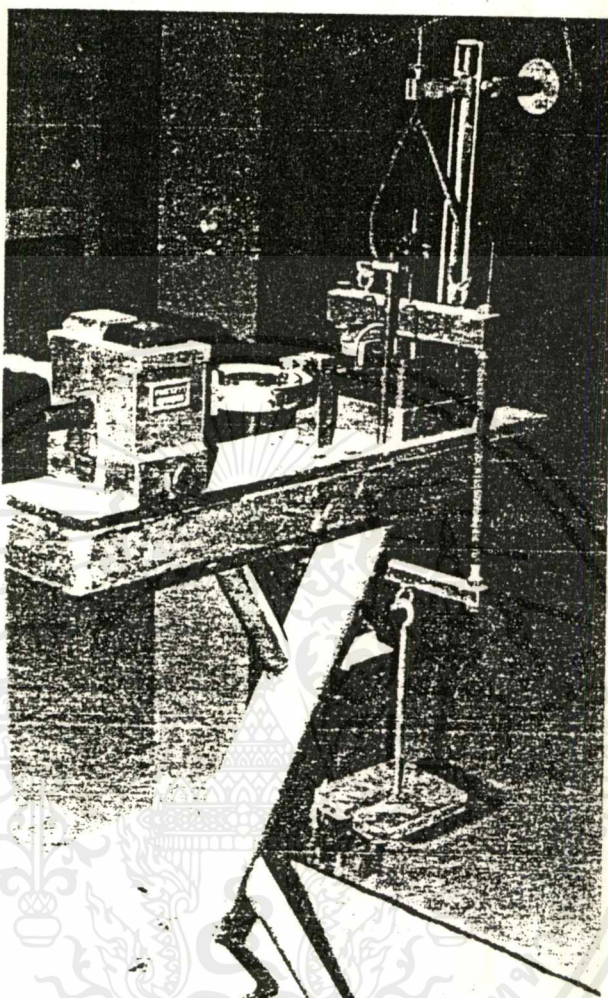
เมื่อ $\tau =$ Shearing strength $= H/A$

$c =$ Cohesion $= C/A$

$\sigma =$ Normal stress $= N/A$

$\tan \phi = \mu =$ Coefficient of internal friction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 เครื่องมือใช้ทดสอบ Direct Shear Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 5.11 เป็นสมการที่สำคัญในเรื่องความแข็งแรงของมวลดิน เรียกว่า “Mohr-Coulomb’s Equation” ดินแต่ละตัวอย่างจะมีค่าของ c และ ϕ แตกต่างกันไป ซึ่งแต่ละค่าบ่งถึงความแข็งแรงของมวลดินนั้น ๆ เรียกว่า “Strength parameters” ตัวอย่างค่า c และ ϕ ของดินบางชนิดได้แสดงไว้ ในตารางที่ 5.6

ลักษณะของดิน	Cohesion, ksc.	Angle of Internal Friction, ϕ°	หมายเหตุ
Soft Bangkok Clay	0.05 - 0.15	0 - 10°	Undrained Strength
Soft Bangkok Clay	0.06 - 0.13	0 - 22°	Undrained Strength
Ottawa Sand	0.0	25 - 40°	Depend on Void Ratio
Gravel	0.0	35 - 50°	Depend on Void Ratio

ตารางที่ 5.6 ค่า Strength Parameters ของดินบางชนิด

วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน

ก. ตัวอย่างดินเหนียว (Cohesive Soil)

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ เรียกว่า Direct Shear Machine ดังแสดงในรูปที่ 10.3

1. ตัวอย่างดินจะตัดโดย Trimmer ซึ่งเป็นวงแหวนกลมขอบหนึ่ง บางคมใช้กดตัวอย่าง ขนาดตัวอย่างมาตรฐานที่นิยมใช้ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และความหนา 1.0 นิ้ว ก่อนตัดตัวอย่างเราควรชั่งน้ำหนักเฉพาะ Trimmer เสียก่อน เมื่อตัดตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จึงชั่งน้ำหนักทั้งตัวอย่าง และ Trimmer
2. วัดขนาดตัวอย่างโดยละเอียดโดยใช้เวอร์เนีย ซึ่งทำให้เราสามารถหาความหนาแน่นของตัวอย่างดินได้
3. ค่อย ๆ คั้นตัวอย่างออกจาก Trimmer โดยใช้ Top cap เป็นตัวช่วยใช้ตัวอย่างบรรจุลงบน Shear box โดยมีการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด โดยขณะที่ Sliding ring จะถูกยึดใช้ติดกับ Stationary base โดยมี Alignment pin เป็นตัวยึด

4. เมื่อตัวอย่างดินเข้าที่แล้วจัด Loading bar ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่ Normal load จัด Vertical dial gage, Horizontal dial gage และ Horizontal Shearing Device ให้เข้าที่ (ถ้าตั้งให้ Dial gage ทุกตัวอยู่ที่ 0 จะสะดวกที่สุด)

ข. ตัวอย่างดินทราย (Granula Soil)

1. จัด Shear box ให้พร้อมโดยส่วน Sliding ring ยึดติดกับ Stationary base อาจจะยก Shear box ออกจาก Direct Shear Machine มาเตรียมข้างนอกเพื่อความสะดวกก็ได้

2. เตรียมทรายที่ต้องการทดสอบให้มากพอ ประมาณ 250 หรือ 300 gm. ชั่งให้ ทรายน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปเตรียมลงใน Shear box โดยใช้วิธีโรยแล้ว Compact หรือเขย่า ให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการ

3. วัดความสูงของตัวอย่างทราย และชั่งน้ำหนักทรายที่เหลือก็จะสามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 ของการเตรียมตัวอย่างดินเหนียว

ค. การเฉือนตัวอย่าง (Shearing)

1. กดตัวอย่างดินด้วยน้ำหนัก (Normal load) ที่ต้องการแล้วรอให้การทรุดตัวทางแนวตั้งหยุด ซึ่งจะกินเวลาประมาณ 2 - 10 นาที

2. เริ่มแรงเฉือนให้ตัวอย่าง โดยให้อัตราการเคลื่อนที่ตามแนวราบประมาณ .05 นิ้ว/นาที ถึง .10 นิ้ว/นาที โดยสม่ำเสมอ

3. อ่าน ค่าแรงเฉือนจาก Proving ring dial, ค่าการเคลื่อนที่ตัวทางแนวตั้ง จาก Vertical dial gage ทุก ๆ การเคลื่อนที่ตามแนวราบ .01 นิ้ว จนกระทั่งตัวอย่างดินไม่สามารถรับแรงเฉือนได้อีก โดยค่าจาก Proving ring dial จะลดลง

4. เตรียมตัวอย่างเหมือน ๆ กันอีกอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง โดยใช้น้ำหนักของแฉกต่างกัน แล้วทำการทดลอง เหมือนข้อ 1 ถึงข้อ 4

การคำนวณและรายงานผลการทดลอง

1. คำนวณหา Shearing Stress, τ

$$\tau = \frac{P.R. \times K}{A}$$

P.R. = Proving ring reading

K = Proving ring constant

A = Shearing area

2. เขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง τ และ ΔH , ΔV และ ΔH ของทุกตัว ในการทดลอง ชุดเดียวกัน หาค่าสูงสุดของ τ จากกราฟ

3. เขียน Mohr's Diagram ระหว่าง σ และ τ_{\max} ของทุกตัวอย่างแล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น เส้นตรงนี้เรียกว่า "Mohr - Coulomb Failure Envelope" คือเส้นที่แทนความแข็งแรงหรือกำลังของดินดังสมการ

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$



DIRECT

SHEAR

TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

DATE _____

TEST NO _____

1

TEST BY _____

SAMPLE DATA:

INITIAL AREA _____

4 in²

INITIAL HEIGHT _____

1 in

INITIAL WEIGHT _____

136.24 gm

INITIAL WATER CONTENT _____

9.21 %

TYPE OF TEST _____

NORMAL STRESS _____

2.25 psi

NORMAL LOAD _____

4 kg

PROVING RING CONSTANT _____

0.757 lb/div

LOADING RATE _____

0.08 lb/min

HORIZONTAL DEFORMATION .001 in	PROVING RING READ .0001 in	VERTICAL DEFORMATION .001in	CORRECTED AREA in ²	SHEARING STRESS psi
0	0	0	4	0
10	2	0	4	0.375
20	4	0	4	0.757
30	7	-0.5	4	1.325
40	7.5	-0.5	4	1.419
50	7.5	-1.0	4	1.419
60	7.5	-1.0	4	1.419
70	7.5	-1.0	4	1.419
80	7	0.5	4	1.325
90	7	0.5	4	1.325
100	6	0.5	4	1.135
120	6	1.0	4	1.135
140	6	1.0	4	1.135
160	5.5	1.0	4	1.040
180	5.5	1.0	4	1.040
200	5.5	1.5	4	1.040
250	5.5	1.5	4	1.040
300	5.5	1.5	4	1.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT _____

LOCATION _____ DATE _____

TEST NO 2

TEST BY _____

SAMPLE DATA:

INITIAL AREA 4 in² INITIAL HEIGHT 1 in
 INITIAL WEIGHT 136.50 gm INITIAL WATER CONTENT 9.30 %
 TYPE OF TEST _____ NORMAL STRESS 4.5 psi
 NORMAL LOAD 8 kg PROVING RING CONSTANT 0.757 lb/div
 LOADING RATE 0.07 lb/min

HORIZONTAL DEFORMATION .001 in	PROVING RING READ .0001 in	VERTICAL DEFORMATION .001in	CORRECTED AREA in ²	SHEARING STRESS psi
0	0	0	4	0
10	3	0	4	0.568
20	5	0	4	0.946
30	8	-0.5	4	1.514
40	9	-0.5	4	1.703
50	12	-1.0	4	2.271
60	14	-1.0	4	2.650
70	13	0.5	4	2.460
80	13	0.5	4	2.460
90	12	0.5	4	2.271
100	12	1.0	4	2.271
120	12	1.0	4	2.271
140	11	1.0	4	2.080
160	11	1.5	4	2.080
180	11	1.5	4	2.080
200	11	1.5	4	2.080
250	11	2.0	4	2.080
300	11	2.0	4	2.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

DATE _____

TEST NO

3

TEST BY _____

SAMPLE DATA:

INITIAL AREA

4 in²

INITIAL HEIGHT

1 in

INITIAL WEIGHT

137.60 gm

INITIAL WATER CONTENT

9.22 %

TYPE OF TEST

NORMAL STRESS

6.75 psi

NORMAL LOAD

12 kg

PROVING RING CONSTANT

0.757 lb/div

LOADING RATE

0.08 lb/min

HORIZONTAL DEFORMATION 0.001 in	PROVING RING READ 0.0001 in	VERTICAL DEFORMATION 0.001in	CORRECTED AREA in ²	SHEARING STRESS psi
0	0	0	4	0
10	3	0	4	0.568
20	6	-0.5	4	1.135
30	9	-0.5	4	1.703
40	13	-0.5	4	2.460
50	15	-1.0	4	2.830
60	17.5	-1.0	4	3.310
70	17.5	-1.0	4	3.310
80	17.5	0.5	4	3.310
90	16	0.5	4	3.028
100	16	1.0	4	3.028
120	14	1.0	4	2.650
140	14	1.5	4	2.650
160	14	1.5	4	2.650
180	13	1.5	4	2.460
200	13	2.0	4	2.460
250	13	2.0	4	2.460
300	13	2.0	4	2.460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT SHEAR TEST

PROJECT _____

LOCATION _____

TEST NO _____

TEST BY _____ DATE _____

TYPE OF TEST _____

SAMPLE NO.	WATER CONTENT		NORMAL STRESS psi	MAX. SHEARING STRESS psi
	BEFORE TEST	AFTER TEST		
1	9.21	9.17	2.25	1.419
2	9.3	9.26	4.5	2.65
3	9.22	9.17	6.75	3.31

COHESION = 0.55 PSI = 0.39 TON/M²

ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 22 DEGREE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบเสถียรภาพความลาดของดิน

6.1 ขั้นตอนการทำการทดสอบ

1. แบบไม่เสริม Geogrid

- 1.1) สร้างเนินดินขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 1 เมตร ความชัน 60°
- 1.2) การทำเนินดินจะทำการบดอัดทุก 20 เซนติเมตร แล้วทดสอบความหนาแน่น โดยวิธี SAND CONE ชั้นละ 3 จุด
- 1.3) การวัดผล (การทรุดตัวและการเคลื่อนตัวของด้านข้าง)
 - ใช้ Plate เหล็กขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 ฟุต วัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง
 - ใช้ไม้บรรทัดซึ่งทำการขีดไว้ที่ตั่งน้ำเพื่อวัดการทรุดตัวของเนินดิน โดยตั่งน้ำจะวางไว้บนเนินดินแล้วทำการใส่น้ำลงไปเพื่อเป็น load ซึ่งตั่งน้ำนั้นมีขนาด $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ ลูกบาศก์เมตร
 - ในการวัดค่าการทรุดตัวนั้นเราจะใช้ กด้องระดับเป็นตัวอ่านค่าจากไม้บรรทัด โดยเราจะทำระดับอ้างอิงไว้ที่ตั่งไม้ และในการวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเราจะใช้ เชือกเอ็นชิงให้ ตึงเพื่อเป็นแนวอ้างอิง
 - โดย Plate เหล็ก ฟังเข้าไปในดิน 20 เซนติเมตร มีระยะห่างกันในแนวระดับ 40 เซนติเมตรและตามแนวตึงจะมีระยะห่างจากผิวดิน 40 เซนติเมตร
- 1.4) แล้วทำการใส่ Load และเพิ่ม Load เรื่อยๆ แล้วทำการบันทึกผล ระหว่าง Load กับการทรุดตัวและการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง

2. แบบเสริม Geogrid

- 2.1) สร้างเนินดินขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 1 เมตร ความชัน 60°
- 2.2) การทำเนินดินโดยเสริม Geogrid ขนาด 2×2 ตารางเมตร
- 2.3) นอกนั้นทำเหมือนเดิม

6.2 ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SETTLEMENT-LOAD

NON REINFORCEMENT

LOAD (ton/m ²)	SETTLEMENT (CM)											
	point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.4	1.23	1.12	1.03	1.12	1.24	1.37	1.32	1.21	1.33	1.13	1.27	1.21
1 hr	1.25	1.12	1.03	1.12	1.24	1.37	1.32	1.21	1.33	1.13	1.27	1.21
0.8	2.32	2.51	1.53	2.21	2.33	2.36	2.24	2.44	2.33	2.24	2.33	2.41
1 hr	2.32	2.52	1.53	2.2	2.33	2.36	2.24	2.44	2.33	2.25	2.33	2.41
1.2	4.62	4.31	2.63	3.63	4.33	4.77	4.33	4.21	4.33	3.97	4.33	4.59
1 hr	4.62	4.31	2.64	3.63	4.33	4.77	4.33	4.22	4.33	3.98	4.33	4.6
1.6	4.97	4.72	3.44	4.21	4.72	4.93	4.88	4.63	4.93	4.46	4.62	4.93
1 hr	4.97	4.72	3.44	4.21	4.72	4.93	4.88	4.63	4.93	4.46	4.62	4.93
2	5.62	5.52	3.92	4.97	5.33	5.45	5.32	5.48	5.72	5.58	5.03	5.64
1 hr	5.62	5.52	3.92	4.97	5.33	5.46	5.32	5.48	5.72	5.58	5.04	5.64

SETTLEMENT-LOAD

REINFORCEMENT (GEOGRID)

LOAD (ton/m ²)	SETTLEMENT (CM)											
	point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.4	1.01	0.98	1.23	1.13	0.82	1.13	1.32	1.08	1.12	1.08	1.11	1.03
1 hr	1.01	0.98	1.24	1.13	0.82	1.13	1.33	1.08	1.12	1.08	1.11	1.03
0.8	1.33	1.23	1.42	1.33	1.12	1.22	1.36	1.22	1.24	1.27	1.28	1.23
1 hr	1.33	1.23	1.42	1.33	1.12	1.22	1.36	1.22	1.24	1.27	1.28	1.23
1.2	1.83	1.77	1.63	1.66	1.64	1.53	1.59	1.66	1.42	1.67	1.52	1.64
1 hr	1.83	1.77	1.63	1.66	1.64	1.53	1.59	1.67	1.43	1.68	1.53	1.65
1.6	1.93	1.83	1.88	2.04	2.13	1.82	1.77	1.74	1.77	1.93	1.66	1.74
1 hr	1.93	1.83	1.88	2.04	2.13	1.82	1.78	1.74	1.77	1.94	1.67	1.74
2	2.01	2.33	1.96	2.12	2.44	2.2	1.92	2.43	1.97	2.22	2.11	2.04
1 hr	2.01	2.33	1.96	2.12	2.44	2.2	1.93	2.43	1.97	2.22	2.11	2.04

DISPLACEMENT-LOAD

NON REINFORCEMENT

LOAD (ton/m ²)	DISPLACEMENT (CM)												
	point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0
1 hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0
1 hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0
1.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0
1 hr	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0
1.6	0	0.06	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
1 hr	0	0.06	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
2	0	0.06	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
1 hr	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0

DISPLACEMENT-LOAD

REINFORCEMENT (GEOGRID)

LOAD (ton/m ²)	DISPLACEMENT (CM)												
	point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
1 hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
1 hr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
1.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1
1 hr	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1
1.6	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1
1 hr	0.14	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1
2	0.14	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1
1 hr	0.14	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

7.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของดินโดยวิธี BISHOP'S SIMPLIFIED METHOD OF SLICES และการออกแบบการเสริมกำลังของดินโดยใช้วัสดุ GEOGRID โดยใช้วิธี TENSAR METHOD นั้นเราสามารถเปรียบเทียบค่า SETTLEMENT, DISPLACEMENT ณ น้ำหนักต่างๆกัน โดยเป็นการเพิ่มน้ำหนักที่ละ 0.4 ตัน ต่อตารางเมตร ซึ่ง ณ . ที่นี้จะใช้จุดที่มีน้ำหนักเท่ากับ 1.2 ตันต่อตารางเมตร เป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบ เนื่องจากค่า SAFETY FACTOR ของความลาดชันของดินเริ่มต่ำกว่า 1 ถือว่า ณ . จุดนี้ทางทฤษฎีแล้วเนินดินไม่มีเสถียรภาพ โดยการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์ค่า Average settlement, Average displacement ณ น้ำหนักต่างๆกัน แล้วทำการเปรียบเทียบค่าดังกล่าว ระหว่างแบบเสริม GEOGRID และ ไม่เสริม GEOGRID ซึ่งแสดงดังตาราง 7.1 - 7.3 จากค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เนินดินที่มีการเสริม GEOGRID นั้นสามารถป้องกัน SETTLEMENT ได้ดีกว่าประมาณ 2.5 เท่า ส่วนในกรณีของ DISPLACEMENT นั้นจะเห็นได้ว่าจะไม่มีผลแตกต่างกัน ซึ่งผลจากค่า SETTLEMENT แสดงให้เห็นว่าจากหลักการของการเสริมกำลังของดิน ที่แสดงให้เห็นการลดค่าแรงเฉือนและการเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักในแนวตั้งเพิ่มขึ้น นั้นมีผลทำให้การเคลื่อนตัวน้อยลง

7.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบในการนำเอาวัสดุประเภท GEOGRID มาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของ ความลาดชันของดินนั้นถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมวิธีหนึ่ง แต่ต้องคำนึงถึงปัญหาทางด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ทางด้านราคา ฯลฯ

	SAFETY FACTOR	
	NON - REINFORCEMENT	GEOGRID
1) SURCHARGE = 0 TON/M ²	2.346	2.766
2) SURCHARGE = 0.4TON/M ²	1.472	1.88
3) SURCHARGE = 0.8 TON/M ²	1.149	1.361
4) SURCHARGE = 1.2 TON/M ²	0.979	1.03
5) SURCHARGE = 1.6 TON/M ²	0.875	0.807
6) SURCHARGE = 2.0 TON/M ²	0.803	0.65

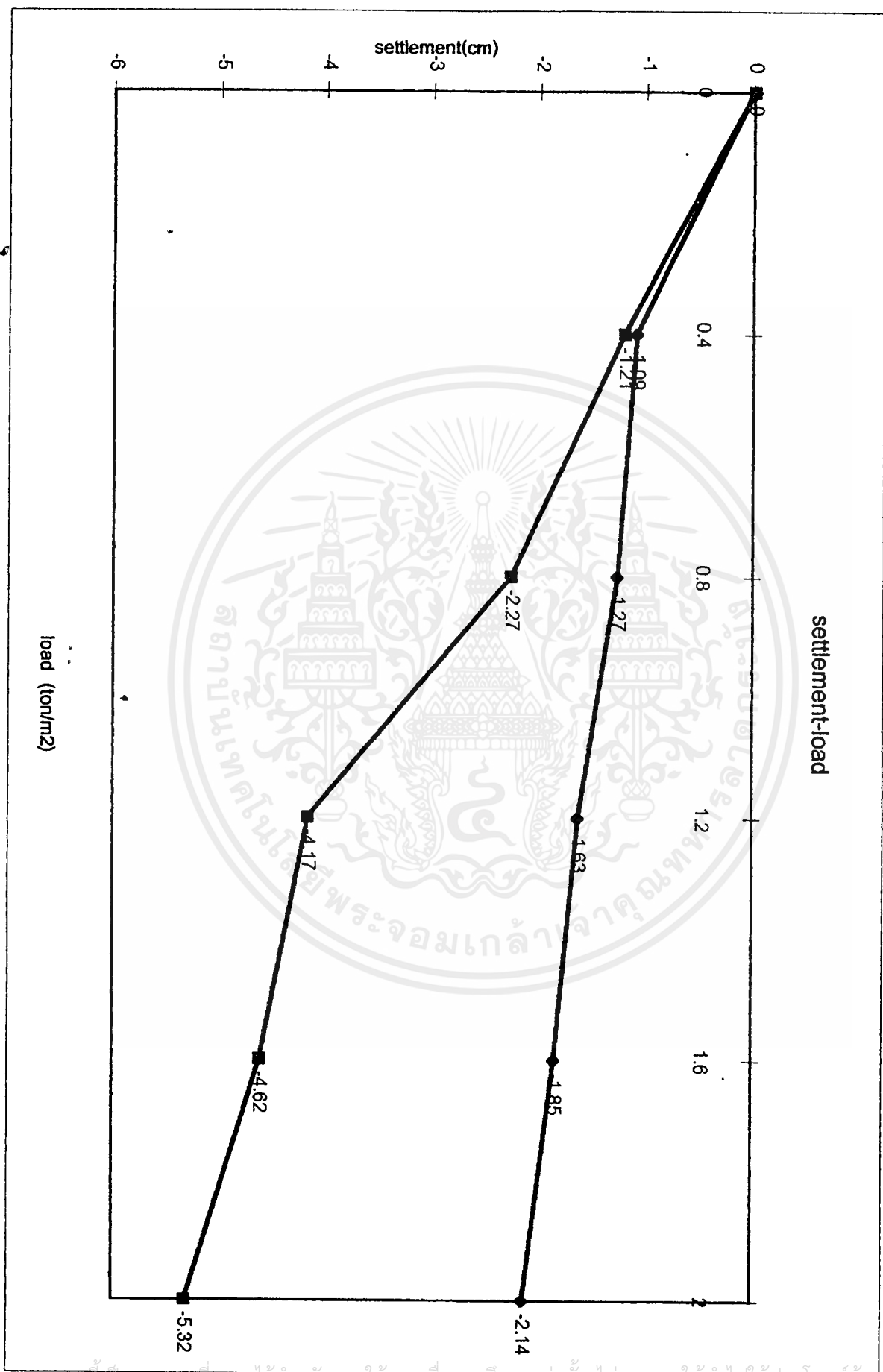
ตาราง 7.1 เปรียบเทียบค่า SAFETY FACTOR ณ . น้ำหนักต่างๆ ของ เหมเสริมและไม่เสริมGEOGRID

	AVERAGE SETTLEMENT (CM)	
	NON - REINFORCEMENT	GEOGRID
1) SURCHARGE = 0 TON/M ²	0	0
2) SURCHARGE = 0.4 TON/M ²	1.21	1.09
3) SURCHARGE = 0.8 TON/M ²	2.27	1.27
4) SURCHARGE = 1.2 TON/M ²	4.17	1.63
5) SURCHARGE = 1.6 TON/M ²	4.62	1.85
6) SURCHARGE = 2.0 TON/M ²	5.32	2.14

ตาราง 7.2 เปรียบเทียบค่า AVERAGE SETTLEMENT ณ . น้ำหนักต่างๆ ของ แบบเสริมและไม่เสริม GEOGRID

	AVERAGE DISPLACEMENT (CM)	
	NON - REINFORCEMENT	GEOGRID
1) SURCHARGE = 0 TON/M ²	0	0
2) SURCHARGE = 0.4TON/M ²	0.1	0.1
3) SURCHARGE = 0.8 TON/M ²	0.1	0.1
4) SURCHARGE = 1.2 TON/M ²	0.1	0.1
5) SURCHARGE = 1.6 TON/M ²	0.093	0.105
6) SURCHARGE = 2.0 TON/M ²	0.1	0.105

ตาราง 7.3 เปรียบเทียบค่า AVERAGE DISPLACEMENT ณ . น้ำหนักต่างๆ ของ แบบเสริมและไม่เสริมGEOGRID



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังช่องทางอื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดร. ชัย มุกตพันธ์, ดร. กาซุโตะ นาซากาวา
ปฏิพิภคศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก
:สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ พ.ศ. 2526
2. ศ. วัฒนา ชรรรมงคล, ศ.ดร. วินิต ช่อวิเชียร
ปฏิพิภคศาสตร์
: หจก. ป. สัมพันธ์พาณิชย์ พ.ศ. 2532
3. ผศ. มานะ อภิพัฒน์มนตรี
วิศวกรรมปฏิพิภคและฐานราก
: หจก. ชรรคมลการพิมพ์ พ.ศ. 2533
4. มณฑะเชียร กังคศิเทียม
ภคศาสตร์ของคินทางด้านวิศวกรรม
: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
5. ดร. วรกร ไม้เรียง, อ. จิรพัฒน์ โชติกไกร, อ. ประทีป ควงเดือน
ทฤษฎีและปฏิบัติการ ปฏิพิภคศาสตร์
:ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน 2525
6. LAMBE, T.WILLIAM
SOIL MECHANICS, S.L.VIRSION
: JOHN WILEY AND SONS, INC 1979
7. NELTON'S CIVIL ENGINEERING
TENSAR
: SHANLEY, BOLTON 5K.8/1990
8. R.A. JEWELL, BINNIE AND PARTNERS G.W.E.
INTERACTION BETWEEN SOIL AND GEOGRIDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนเวลาหรับการเขางานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: MILLIGAN, UNIVERSITY OF OXFORD, R.W.

9. R.A. JEWELL, N. PAINE AND R.I. WOODS

DESIGN METHOD FOR STEEP REINFORCED EMBANKMENTS

: BINNIE AND PARTNERS

10. COLIN JFP JONES

EARTH REINFORCEMENT AND SOIL STRUCTURES

BUTTERWORTHS ADVANCED SERIES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING

11. GOPAL RANJAN A.S.R. RAO

BASIC AND APPLIED SOIL MECHANIC

: WILEY EASTERN LIMITED

12. ROBERT M. KOERNER

DESIGN WITH GEOSYNTHETICS. THIRD EDITION

: PRENTICE HALL EAGLEWOODS CLIFFS, NEWJERSEY 07632

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้