การศึกษาพฤติกรรมการเสริมแรงของรากพืชเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน

นายอดิเทพ วังบุญคง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

A STUDY ON REINFORCED ROOTS BEHAVIOR FOR SLOPE PROTECTION

Mr. Adithep Wangbooncong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมการเสริมแรงของรากพืชเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน
โดย	นายอดิเทพ วังบุญคง
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินิติ โชติสังกาส)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อดิเทพ วังบุญคง : การศึกษาพฤติกรรมการเสริมแรงของรากพืชเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน. (A STUDY ON REINFORCED ROOTS BEHAVIOR FOR SLOPE PROTECTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง, 161 หน้า.

การเกิดการวิบัติของลาดดินบริเวณเชิงเขา อาจส่งผลกระทบก่อให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง แต่การจะแก้ปัญหาการวิบัติของลาดดินอย่างถาวรนั้นจะต้องใช้งบประมาณในการเตรียมการเป็นจำนวนมาก หน่วยงานราชการและเอกชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องจึงได้มีความคิดที่จะนำหญ้าแฝกในโครงการพระราชดำริ ที่มีโครงสร้างรากหยั่งลึกมาช่วยในการป้องกันลาดดินพังทลาย โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกเชิงเดี่ยวและกลุ่มหญ้าแฝกทั้งสายพันธุ์แฝกลุ่มและดอน ควบคุมให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตแบบอิสระ ที่อายุ 2 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ การทดสอบใช้อุปกรณ์เฉือนทางตรงทั้งกล่องเฉือนทางตรงสำหรับตัวอย่างแฝกเชิงเดี่ยวและกล่องเฉือนขนาดใหญ่สำหรับตัวอย่างกลุ่มแฝก ผลการทดสอบนำมาแปลความเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ นั่นคือ ค่าความเชื่อมแน่น และค่ามุมเสียดทานของดินที่เสริมแรงด้วยหญ้าแฝก ตลอดจนใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อหาค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดต่อปริมาณรากหญ้าแฝก นอกเหนือจากนี้ การศึกษายังได้มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พร้อมด้วยวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินอย่างง่ายผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SLOPE/W

ผลการทดสอบด้านกำลังพบว่า ตัวอย่างรากหญ้าแฝกอายุประมาณ 2 - 6 เดือน สามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในดินได้ประมาณ 5 – 9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างแฝกเชิงเดี่ยว และสามารถเพิ่มมากถึง 10 – 13 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแฝกกลุ่ม สำหรับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับปริมาณของรากหญ้าแฝกมีค่าอยู่ที่ 4.56 เปอร์เซ็นต์ ของตัวอย่างหญ้าแฝกอายุ 6 เดือน ที่มีความยาวเฉลี่ยของรากประมาณ 1.8 เมตร อีกทั้งเมื่อนำผลการทดสอบมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าจากกรณีศึกษา รากหญ้าแฝกสามารถเพิ่มค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยได้เพียง 1.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคำนึงถึงผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดินสูงสุด

Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470442021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: SLOPE STABILITY / SHEAR STRENGTH / BIO-ENGINEERING / VETIVER

ADITHEP WANGBOONCONG: A STUDY ON REINFORCED ROOTS BEHAVIOR FOR SLOPE PROTECTION. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUCHED LIKITLERSUANG, 161 pp.

Landslide is one of major disasters in Thailand, especially in the rural slope area. Landslide can affect and disrupt agriculture, housing and transportation routes. The government spends a lot of the annual budget for solving this problem. Recently, a royal project of His Majesty the King's initiative on the use of vetiver grass for soil and water conservation is promoted and implemented by government and non-government sectors. In agriculture, the vetiver root system is believed that it could penetrate deeply into the ground to form a net-like barrier capable of filtering soil particle to protect soil erosion. Therefore, this research aims to study the effect of vetiver root on shear strength of soil. The highland and lowland species of the free-growth vetiver specimens were grown in 2, 4 and 6 months. The vetiver specimens were prepared in a single root for the direct shear box test and in a group for the large direct shear test. The results of direct shear tests can be used to interpret the shear strength parameters of the vetiver reinforced soil (i.e., cohesion and angle of internal friction). The root structure of vegetation can simply be defined by a root-area ratio number. In this study, an image processing technique was employed to determine the root-area ratio of the vetiver specimens. Moreover, a simple slope failure problem was modelled using SLOPE/W software.

The results indicated that the vetiver root can increase the shear strength of soil approximately 5 – 9% and 10 – 13% for single root and group vetiver, respectively. The maximum root-area ratio of 4.56% and the root length of 1.8 m were observed on the 6-months growth vetiver specimen. In addition, the vetiver root can increase the factor safety of slope only 1.2% in the severe case of high water table.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Civil Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Civil Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2013		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเสียสละ ความอนุเคราะห์ และความมีน้ำใจจากหน่วยงาน และบุคคลหลายฝ่ายดังต่อไปนี้ ศูนย์ฝึกอบรมวิจัย ปตท.วังน้อย กรมที่ดิน สำหรับความอนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยของกราบขอบพระคุณในความกรุณามา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสอนหลักการทำวิจัยและมุมมองความคิดในหลายด้าน ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุพจน์เตชวรสินสกุล รศ.ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐี และ ผ.ศ.อภินิติ โชติสังกาส กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่สละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการสอบและให้ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่ช่วยแนะนำตลอดจนแก้ไขปัญหาในส่วนที่บกพร่องต่างๆตั้งแต่เริ่มต้นการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอมอบความดีของงานวิจัยฉบับนี้ แด่ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ตลอดจนผู้ที่ให้ความช่วยเหลือแต่มิได้เอ่ยถึง ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆและให้โอกาสแก่คณะผู้เขียนตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้คงเป็นประโยชน์กับผู้สนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญรูป 1

สารบัญตาราง ..... ง

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขต 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 3

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หญ้าแฝกในประเทศไทย 3

2.1.1 ชนิดของหญ้าแฝก 3

2.1.2 สมบัติของหญ้าแฝก 4

2.1.3 พันธุ์หญ้าแฝก 4

2.1.4 พันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมกับเนื้อดิน 5

2.1.5 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก 6

2.1.6 การควบคุมความสูง 15

2.2 การชะล้างของมวลดิน (Soil Erosion) 15

2.2.1. การลดแรงฉุดลาก (Drag Force) 16

2.2.2. การเพิ่มกำลังต้านทางของผิวดิน 16

2.3 ดินสภาพที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soil) 16

2.3.1 บทบาทของสภาพภูมิอากาศ 17

2.4 น้ำในดินตามธรรมชาติ (Nature of water in clay) 17

หน้า

2.5 ลักษณะของรากและกำลังของราก 18
2.5.1 โครงสร้างของราก 18
2.5.2 ความลึกและการกระจายของราก 19
2.5.3 การกระจายของราก 21
2.5.4 การเสริมแรงของราก 21
2.6 ความแข็งแรงของราก (Root strength) 23
2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรง 23
2.6.2 ระยะของกำลังแรงดึงและความยืดหยุ่นของราก 23
2.6.3 การผุพังของรากและการสูญเสียกำลัง 24
2.7 Large direct shear testing 25
2.7.1 ขอบเขตของ Large direct shear test 25
2.7.2 มาตรฐานการทดสอบ 25
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 30
ขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง 30
3.1 การออกแบบการทดลอง 30
3.2 การสำรวจภาคสนาม 30
3.2.1 ตัวอย่างของการประเมินพื้นที่ 32
3.3 การเตรียมตัวอย่างหญ้าแฝก 34
3.4 การเพาะหน่อหญ้าแฝก 34
3.4.1 กล้าหญ้าแฝกในถุงพลาสติก 34
3.5 การทดสอบหาค่าธาตุอาหารในมวลดิน 35
3.6 สมบัติของดินที่ใช้ 35
3.7 การทดสอบ direct shear box 35
3.7.1 ผลการทดสอบ 37
3.8 การทดสอบ large direct shear 40
3.8.1 การสอบเทียบ (linear calibration) 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.8.2 การทดสอบ 43
3.8.3 ผลการทดสอบ 44
3.9 การวิเคราะห์รูป (image processing) 50
3.9.1 ผลการวิเคราะห์ 51
3.10 การสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝกอิสระ 51
3.10.1 ผลการศึกษา 52
บทที่ 4 56
การวิเคราะห์โปรแกรม 56
4.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพดินด้วยโปรแกรม Geoslope (slope/w) 56
4.2 แบบจำลองการวิเคราะห์ 56
4.3 ผลการวิเคราะห์ 59
บทที่ 5 63
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 63
5.1 สรุปผลการทดลอง 63
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง 65
ภาคผนวก ก 67
ภาคผนวก ข 69
ภาคผนวก ค 76
ภาคผนวก ง 152
ภาคผนวก จ 154
ภาคผนวก ฉ 156
ภาคผนวก ช 158
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 161

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หน่อและรากที่แตกจากข้อก้านดอกของหญ้าแฝก 3
รูปที่ 2.2 ลักษณะหญ้าแฝกบนพื้นที่ลาดชัน 9
รูปที่ 2.3 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกบนพื้นที่ไม่มีความลาดเท 10
รูปที่ 2.4 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกข้างคลองส่งน้ำ 112
รูปที่ 2.5 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกตามไหล่ถนน 13
รูปที่ 2.6 การชะล้างมวลดินจากน้ำไหลจากที่สูงสู่ที่ราบ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 16
รูปที่ 2.7 การกระจายขั้วที่หน้าดิน และ การแสดงระยะของอนุภาคดินกับประจุ 17
รูปที่ 2.8 ลักษณะโดยทั่วไปของดินเหนียว (kaolinite) และการแสดงลักษณะโดยทั่วไปของดินเหนียว (montmorillonite) 18
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบที่สำคัญของราก 19
รูปที่ 2.10 ลักษณะของราก 19
รูปที่ 2.11 ชนิดของลาดดินและผลกระทบของรากที่มีต่อลาดดิน 20
รูปที่ 2.12 รูปแบบวงจรของใยรากเสริมแรง 222
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 30
รูปที่ 3.2 ลักษณะของทางลาดดินที่เกิดจากการวิบัติแบบเฉือน ที่ชุมชนบ้านน้ำพุน้อย ณ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ 33
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างหญ้าแฝกที่ใช้ในงานทดสอบ 36
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างดินที่หลังจากบรรจุใส่วงแหวนเพื่อบรรจุลงในกล่องทดสอบและการแสดงดินที่ถูกเสริมกำลังด้วยรากหญ้าแฝกหลังนำไปทดสอบ 36
รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบ direct shear ของหญ้าแฝกดอน ณ ค่าความเค้นต่างๆ 38
รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบ direct shear ของดินก่อนเสริมแรงด้วยราก ณ ค่าความเค้นต่างๆ 38
รูปที่ 3.7 ผลค่าแรงเฉือนสูงสุดเปรียบระหว่างหญ้าแฝกดอน และหญ้าแฝกลุ่ม อายุ 4 เดือน 39
รูปที่ 3.8 การเตรียมกล่องบรรจุตัวอย่างใช้ในการทดสอบ large direct shear 41
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างหญ้าแฝกและกล่องตัวอย่างนำไปปลูกเพื่อเตรียมทดสอบ 41
รูปที่ 3.10 การเลือกตั้งค่า calibration ของแต่ละค่า 42
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนเลือกหัวข้อเพื่อเข้าไปทำการสอบเทียบ 43
รูปที่ 3.12 ขณะกำลังทำการสอบเทียบ แบบเชิงเส้น (linear calibration) 43
รูปที่ 3.13 ชุดเครื่องมือทดสอบ large direct shear และ การแสดงกล่องตัวอย่างทดสอบถ่ายรูปเพื่อเก็บไปเตรียมทำการวิเคราะห์รูป(image processing) 44

หน้า

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างเตรียมกดตัวอย่างลงกล่องทดสอบและการแสดงวัดระดับน้ำเพื่อตรวจสอบตัวอย่างให้แรงดันดันบนกดลงบนตัวอย่าง อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด 44
รูปที่ 3.15 ผลการทดสอบหญ้าแฝกดอนอายุ 4 เดือนจากผลการทดสอบ large direct shear 45
รูปที่ 3.16 ผลการทดสอบหญ้าแฝกดอนอายุ 6 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear ... 45
รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบหญ้าแฝกลุ่มอายุ 4 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear 46
รูปที่ 3.18 ผลการทดสอบหญ้าแฝกลุ่มอายุ 6 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear 46
รูปที่ 3.19 ผลการทดสอบดินก่อนเสริมแรงด้วยรากได้จากผลการทดสอบ large direct shear 47
รูปที่ 3.20 ผลการเปรียบเทียบแรงเฉือนสูงสุดระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน อายุ 4 เดือน 47
รูปที่ 3.21 ผลการเปรียบเทียบแรงเฉือนสูงสุดระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน อายุ 6 เดือน 48
รูปที่ 3.22 การเปรียบระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน เมื่อเทียบกับดินก่อนเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก ที่อายุ 6 เดือน และความดันเท่ากับ 75 kPa..... 48
รูปที่ 3.23 พื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกก่อนนำมาทำการวิเคราะห์รูปภาพ (image processing) ด้วยโปรแกรม photoshop CS2 และ การแสดงพื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกหลังนำมาทำการวิเคราะห์รูปภาพ (image processing) ด้วยโปรแกรม photoshop CS2..... 50
รูปที่ 3.24 การเตรียมตัวอย่างหญ้าแฝกเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก 52
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างของหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอนที่อายุ 3 เดือน..... 53
รูปที่ 3.26 อัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกดอนที่อายุ 2 ถึง 6 เดือน 53
รูปที่ 3.27 อัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกลุ่มที่อายุ 2 ถึง 6 เดือน..... 54
รูปที่ 3.28 กลุ่มรัศมีของรากหญ้าแฝกมัดรวมเฉลี่ย เปรียบเทียบกับเวลา..... 54
รูปที่ 3.29 อัตราความยาวของหญ้าแฝกดอน และแฝกลุ่มเมื่อเทียบกับเวลา..... 55
รูปที่ 4.1 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีไม่มีการเสริมแรงของรากพืชที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก 58
รูปที่ 4.2 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก..... 58
รูปที่ 4.3 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินปานกลาง 59
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีไม่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก..... 60
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก..... 60

หน้า

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินปานกลาง 653

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับเนื้อดิน 5
ตารางที่ 2.2 ชนิดของพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมกับพื้นที่ 6
ตารางที่ 2.3 ระยะห่างของหญ้าแฝกที่ปลูกในพื้นที่ 7
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างรายการสรุปผู้ประงานงาน/ติดต่อโครงการ 31
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหาค่าธาตุอาหารในมวลดิน (NPK test) 35
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ direct shear 37
ตารางที่ 3.4 สรุปผลการทดสอบของการทดสอบ large direct shear 49
ตารางที่ 3.5 สรุปค่าผลการวิเคราะห์รูป (image processing) 51
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่บันทึกลงในโปรแกรม slope/w 55
ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของ ลาดดิน 57
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยการเสริมกำลังรากหญ้าแฝกโดยโปรแกรม slope/w 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การวิบัติของลาดดินในปัจจุบันมีผลกระทบต่อผู้คนมากมาย ทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินรวมไปถึง การเตรียมการที่จะต้องป้องกันลาดดินตามเชิงเขาซึ่งอาจจะต้องใช้งบประมาณมากขึ้นไปอีก แต่ถึงกระนั้นได้มีแนวคิดของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราชที่พระองค์ทรงได้แนะนำให้เริ่มนำต้นไม้หรือพืชมาใช้เป็นแนวกันลาดดิน โดยต้นไม้หรือพืชมีประโยชน์ทั้งทางด้านความสวยงาม สิ่งแวดล้อม ต้นทุน และการป้องกันลาดดิน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการจะนำต้นไม้หรือพืชมาใช้เพื่อป้องกันลาดดินนั้นจะต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อเตรียมต้นไม้หรือพืชมาใช้งานได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งสมบัติของต้นไม้หรือพืชยังมีงานวิจัยน้อยชิ้นมากที่จะยืนยันว่าต้นไม้หรือพืชนั้นดีหรือไม่อย่างไร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะนำต้นไม้หรือพืชที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในท้องถิ่น ยกตัวอย่างเช่น หญ้าแฝก ที่ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีการพังทลายของลาดดินอย่างแพร่หลาย และในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำตัวอย่างหญ้าแฝกกำลังรับแรงเฉือนของต้นไม้ ตลอดทั้งศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก และนำผลที่ได้จากการทดสอบนำมาทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะสามารถตอบโจทย์ได้ว่าหญ้าแฝกนั้นมีสมบัติเพียงพอที่จะทำให้ลาดดินนั้นๆ มีเสถียรภาพใกล้เคียงกับการใช้วัสดุอื่นๆ เช่น แผ่นวัสดุสังเคราะห์ ใช้ซีเมนต์หรือคอนกรีต เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

การศึกษางานวิจัยได้เน้นไปที่งานทางด้านชีวะวิศวกรรม (bio-engineering) ซึ่งเป็นการศึกษาทางด้านวิศวกรรมโดยใช้พืชหรือวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในการป้องกันเสถียรภาพของลาดดิน โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษากลไกการเสริมแรงของรากหญ้าแฝก

1.2.2 เพื่อศึกษาสัดส่วนการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกและอัตราส่วนของพื้นที่

1.2.3 เพื่อศึกษาผลการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกำหนดค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3 ขอบเขต

ขอบเขตของการศึกษา งานวิจัยชิ้นนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การใช้หญ้าแฝกซึ่งเป็นพืชที่หน่วยงานราชการและเอกชนนำมาใช้ในการป้องเสถียรภาพของลาดดินกันอย่างแพร่หลาย โดยแบ่งขอบเขตการศึกษาเป็น

1.3.1 เลือกศึกษาหญ้าแฝก 2 ประเภทคือ หญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน โดยได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาที่ดิน

1.3.2 ดำเนินการทดสอบหากำลังค่ารับแรงเฉือนของหญ้าแฝกต้นเดี่ยวโดยใช้เครื่องมือทดสอบ direct shear

1.3.3 ทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกโดยใช้เครื่องมือทดสอบ large direct shear

1.3.4 ศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแฟกเตอร์ความปลอดภัย โดยใช้โปรแกรม GeoSlope (2007)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้มุ่งหวังที่จะศึกษาถึงกลไกและประโยชน์ของหญ้าแฝก เพื่อเป็นผลการวิเคราะห์ในทางวิศวกรรม โดยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.4.1 สามารถอธิบายกลไกการเสริมแรงตลอดจนประเมินค่ากำลังของรากหญ้าแฝกในดินได้

1.4.2 ประเมินอัตราการเจริญเติบโต และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกได้

1.4.3 สามารถจำลองและประเมินผลของการเสริมแรงของลาดดินที่เสริมแรงด้วยการปลูกหญ้าแฝกได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หญ้าแฝกในประเทศไทย

ในปี 2534 หน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น กรมพัฒนาที่ดิน มูลนิธิชัยพัฒนา ได้ดำเนินโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช ให้หน่วยงานต่างๆ ศึกษาวิจัยการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำ

2.1.1 ชนิดของหญ้าแฝก

หญ้าแฝก (Vetiveria nizanioides N.) จำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ หญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน จากการคัดเลือกพบว่า พันธุ์ที่มีลักษณะเด่น และน่าสนใจในการนำมาใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีทั้งหมด 28 พันธุ์ เป็นหญ้าแฝกดอน 17 พันธุ์และหญ้าแฝกลุ่ม 11 พันธุ์ (ฉลอง ,2553) ซึ่งแสดงตัวอย่างไว้ดังรูปที่ 1 จากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ได้แก่ การแตกกอ เส้นผ่านศูนย์กลางกอ และความสูง (เมื่ออายุ 90 วันหลังจากปลูกในช่วงฤดูฝน) สามารถคัดเลือกพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตเหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นที่เป็นดินทราย ดินร่วนเหนียว และดินลูกรัง

รูปที่ 2.1 หน่อและรากที่แตกจากข้อก้านดอกของหญ้าแฝก

2.1.2 สมบัติของหญ้าแฝก

1) หญ้าแฝกมีการแตกหน่อรวมเป็นกอและเบียดกันแน่น กอมีความแข็งแรงตั้งตรงและไม่แผ่ขยายด้านข้าง

2) หญ้าแฝกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแต่อายุยืนได้หลายปี เพราะมีการแตกหน่อใหม่ และไม่ต้องดูแลมาก

3) หญ้าแฝกส่วนใหญ่ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดทำให้สามารถควบคุมการแพร่ขยายได้

4) หญ้าแฝกมีระบบรากยาวประสานกันอย่างหนาแน่นช่วยยึดดิน และรากมีลักษณะอวบสามารถอุ้มน้ำได้ดี

5) หญ้าแฝกสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี

2.1.3 พันธุ์หญ้าแฝก

1) พันธุ์หญ้าแฝกลุ่ม

หญ้าแฝกลุ่มมีใบยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีใบโค้งปลายใบแบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้าวเนียน มีไขเคลือบมากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบและเมื่อนำใบส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบเส้นกลางใบ ฝังอยู่ในตัวแผ่นไม่โตหรือเด่นชัดเจนหญ้าแฝกลุ่มที่อายุประมาณ 1 ปี มีรากที่หยั่งลึกได้ประมาณ 1 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และความสมบูรณ์ของพืช

2) พันธุ์หญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียว หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบ สากคายมีไขเคลือบน้อยทำให้ดูกร้านไม่เหลือบมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบแต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบเส้นกลางใบสังเกตได้หญ้าแฝกดอนและหญ้าแฝกลุ่มที่มีอายุเท่าๆ กันหญ้าแฝกดอนจะมีรากที่สั้นกว่า โดยทั่วไปหญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากลึกประมาณ 80-100 เซนติเมตร ช่อดอกของหญ้าแฝกดอนมีได้หลายสีซึ่งเป็นลักษณะปกติประจำถิ่นโดยเฉพาะพันธุ์อุทัยธานีและนครพนม ที่พบทั่วไปได้แก่ ช่อดอกสีขาวครีมถึงสีม่วงอมแดง

2.1.4 พันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมกับเนื้อดิน

การเลือกพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมจะทำให้หญ้าแฝกมีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้เร็ว เช่น มีลักษณะของความทนทานต่อความแห้งแล้ง กอมีขนาดใหญ่ แตกกออย่างหนาแน่น ซึ่งในกรณีที่ในพื้นที่ปลูกมีการจัดการดี มีแหล่งน้ำเพียงพอและดินมีความอุดมสมบูรณ์ การนำหญ้าแฝกไปปลูกจะประสบความสำเร็จได้ง่ายขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของดินและสภาพพื้นที่ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ประเภทของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับเนื้อดิน

ชนิดดินในพื้นที่	**ชนิดหญ้าแฝก**	**พันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสม**
พื้นที่ดินทราย	หญ้าแฝกดอน	นครสวรรค์ กำแพงเพชร 1 ร้อยเอ็ด และราชบุรี
	หญ้าแฝกลุ่ม	กำแพงเพชร 2 และสงขลา 3
พื้นที่ดินร่วน-ดินเหนียว	หญ้าแฝกดอน	เลย นครสวรรค์ กำแพงเพชร 1 ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์
	หญ้าแฝกลุ่ม	สุราษฎร์ธานี และสงขลา 3
พื้นที่ดินลูกรัง	หญ้าแฝกดอน	เลย และประจวบคีรีขันธ์
	หญ้าแฝกลุ่ม	ศรีลังกา กำแพงเพชร 2 สุราษฎร์ธานี และสงขลา 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 ชนิดของพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมกับพื้นที่

พื้นที่ที่เหมาะสม	**พันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสม**
ภาคเหนือ	ศรีลังกา นครสวรรค์ และกำแพงเพชร
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ร้อยเอ็ด และสงขลา 3
ภาคกลางและภาคตะวันออก	ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ กำแพงเพชร 1 กำแพงเพชร 2 สุราษฎร์ธานี และ สงขลา 3
ภาคใต้	สงขลา 3 และสุราษฎร์ธานี

2.1.5 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก

1) การปลูกหญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ

- พื้นที่ลาดชัน

การปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวเดี่ยว ตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่จำเป็นที่จะต้องมีการวางแนวที่ถูกต้อง เครื่องมือช่วยในการกำหนดแนวระดับได้แก่ กล้องส่องระดับ ซึ่งมีราคาแพงหรืออาจใช้เครื่องมือที่ทำเองและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น ไม้เอเฟรม หรือไม้เขาควาย โดยนำไม้มาทำเป็นรูปสามเหลี่ยมปลายแหลมไว้ด้านบน มีเชือกผูกห้อยตุ้มถ่วงแนวดิ่ง

แนวการปลูกหญ้าแกจะวางไปตามเส้นระดับ และกำหนดให้ระยะห่างของแนวปลูกแฝกตามค่าระยะห่างตามแนวดิ่ง 2-3 เมตร) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 แสดงถึงความเหมาะสมสำหรับระยะห่างแถวของหญ้าแฝกที่ปลูกในพื้นที่อย่างไรก็ตามการวางแนวระดับค่อนข้างจะต้องได้รับการฝึกหัด เพื่อให้เกิดทักษะในการปฏิบัติในพื้นที่

ตารางที่ 2.3 ระยะห่างแถวหญ้าแฝกที่ปลูกในพื้นที่

ความลาดชัน (%)	ระยะห่างแถวหญ้าแฝก
5-10	30 เมตร
11-15	20 เมตร
16-20	15 เมตร
21-25	12 เมตร
26-30	10 เมตร
31-35	8 เมตร
36-45	7 เมตร
46-55	6 เมตร

เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ใช้วางแนวปลูกหญ้าแฝกแบบง่ายๆได้แก่การใช้สายยางใสภายในบรรจุน้ำหาระดับแบบช่างไม้ ซึ่งจะมีเพียงสายยางใสเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.25 นิ้ว ยาว 13 เมตร 1 เส้น ไม้ระแนงยาวท่อนละ 2.5 เมตร จำนวน 2 ท่อน ทำเครื่องหมายไว้ที่ระแนงบอกระยะความสูงเป็นเซนติเมตร เพื่อใช้ในการอ่านค่า จากนั้นนำสายยางยึดไว้กับไม้ระแนงเช่นเดียวกันกรอกน้ำสู่สายยางจนกระทั่งเมื่อตั้งไม้ระแนงขึ้นทั้งสองในที่เรียบความสูงของระดับน้ำที่อ่านได้ในสายยางจะอยู่ตรงกับเครื่องหมาย 1 เมตร จากเครื่องมือแบบง่ายๆ ก็สามารถหาทั้งระยะห่างระหว่างแนวหญ้าแฝกและวางหญ้าแฝกตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่ได้

เมื่อได้มีการปรับแนวที่จะปลูกแถวหญ้าแฝกขวางความลาดเทของพื้นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ใช้รถไถเดินตามหรือใช้วัวหรือควายลากไถตามแนวที่วางไว้ก็ได้ พร้อมทั้งย่อยดินให้ละเอียดก้อนเล็กลงพร้อมที่จะปลูก และให้มีการปรับปรุงดินตามแนวปลูกโดยก่อนปลูกคลุกดินด้วยปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอกแล้วโรยด้วยปุ๋ยสูตร 15-15-15 (ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม) หรือ 16-16-16 (ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม) จะช่วยให้หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตที่ดี

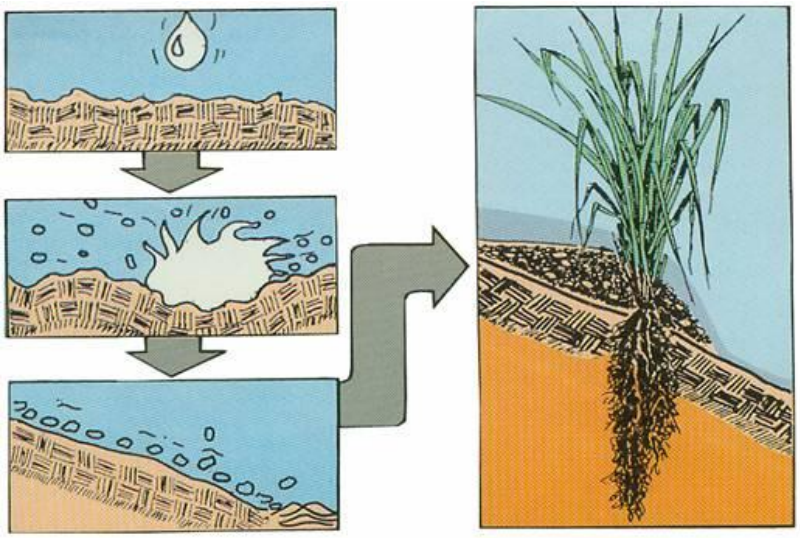
เมื่อเตรียมดินแล้วเสร็จนำกล้าหญ้าแฝกซึ่งเพาะชำไว้ในถุงพลาสติกขนาดเล็กที่มีอายุประมาณ 45-60 วัน ไปวางเรียงชิดติดกันในร่องปลูกที่เตรียมไว้ ซึ่งจะได้ระยะปลูก

ระหว่างต้นประมาณ 5-10 เซนติเมตร ถอดถุงออกแล้วกลบโคนให้แน่น แต่ถ้าใช้กล้าหญ้าแฝกแบบเปลือยรากให้ปลูกหลุมละ 2-3 หน่อ โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้นกล้า 5 เซนติเมตร การปลูกหญ้าแฝกโดยใช้กล้าที่เพาะชำในถุงพลาสติกขนาดเล็กจะมีการเจริญเติบโตและตั้งตัวได้รวดเร็วกว่าการปลูกกล้าเปลือยราก แต่ในสภาพพื้นที่สูงชัน จะกระทำได้ค่อนข้างลำบากกว่า ล่าช้าและค่าใช้จ่ายสูง จึงต้องใช้กล้าหญ้าแฝกชนิดเปลือยรากนำไปปลูกการปลูกฤดูที่เหมาะสม ได้แก่ ในช่วงต้นฤดูฝน และควรปลูกในขณะที่ดินยังมีความชุ่มชื้นอยู่แต่สำหรับพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้ควรปลูกก่อนฤดูฝน ทั้งนี้เพื่อให้หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโต ซึ่งเมื่อมีฝนตกลงมารั้วหญ้าแฝกที่ปลูกไว้ก็สามารถกรองตะกอนดินและซับน้ำฝนที่ไหลลงจากที่สูงเอาไว้ ทำหน้าที่ป้องกันการชะล้างพังทลายได้ หญ้าแฝกจะตั้งตัวและแตกกอชิดติดกันเป็นแนวโดยใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 3 เดือน รูปแบบการปลูกแนวหญ้าแฝกตามลักษณะพื้นที่ มีดังนี้

(1) รูปแบบการปลูกแนวหญ้าแฝกบนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง

ในสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชัน ที่นิยมปลูกไม้ยืนต้นบนต้นคูรับน้ำรอบขอบเขาหรือชั้นบันไดดินดังแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งประสบปัญหาคันดินที่สร้างไว้ถูกน้ำฝนกัดเซาะพังทลายเสียหายเป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะก่อสร้างแล้วเสร็จใหม่ๆ มาตรการที่เหมาะสมและเป็นวิธีง่ายๆ ได้แก่ การปลูกหญ้าแฝกให้เป็นแนวรั้วบริเวณริมคันคูน้ำชิดแนบของภูเขาหรือริมขั้นบันไดดินด้านนอกเพื่อป้องกันความเสียหายดังกล่าวและเพื่อป้องกันความเสียหายดังกล่าวและเพื่อเป็นการรักษาความชุ่มชื้นไว้ในดินได้อย่างยาวนาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.2 ลักษณะหญ้าแฝกบนพื้นที่ลาดชัน

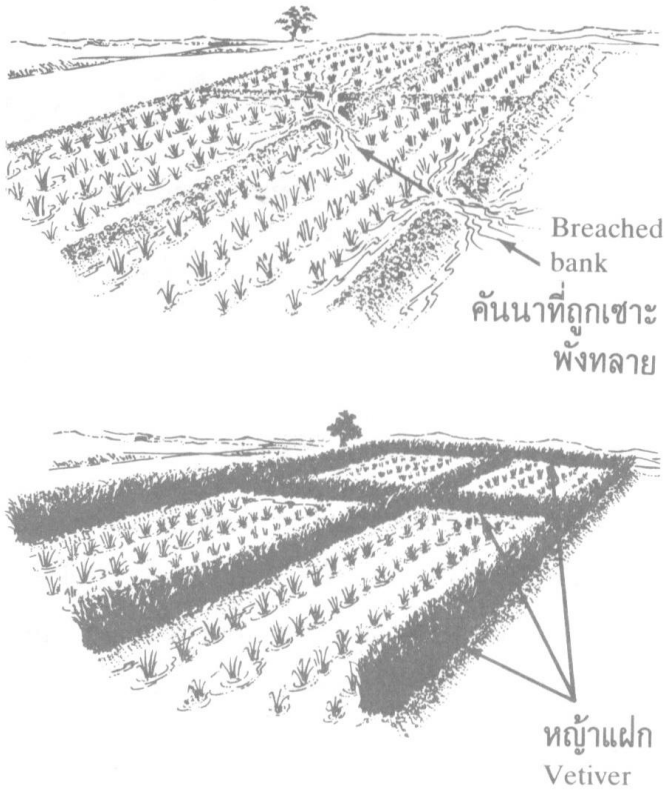
(www.thaikasetsart.com)

(2) รูปแบบการปลูกแนวหญ้าแฝกบนพื้นที่ที่มีความลาดเทปานกลาง

ในสภาพพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอ ความถี่ห่างของแนวหญ้าแฝกที่จะปลูกนั้นขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของพื้นที่ ถ้าพื้นที่มีความลาดเทสูงแนวหญ้าแฝกก็จะถี่กว่าพื้นที่ที่มีความลาดเทต่ำแต่ความห่างระหว่างแนวหญ้าแฝกที่จะปลูก ต้องอยู่ห่างกันไม่เกินค่าสูงต่ำตามแนวดิ่ง 1.50 เมตร ซึ่งหาได้จากการใช้สายยางระดับแบบช่างไม้ ดังนั้นในพื้นที่สวนไม้หรือไม้ยืนต้นที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอนั้นจึงกระทำได้ง่าย ทั้งนี้เมื่อกำหนดแนวที่จะปลูกได้แนวแรกแล้ว แนวถัดไปก็ใช้จำนวนแถวของไม้ผลที่จะปลูกเป็นตัวกำหนด เช่น ในแนวแรกมีไม้ผล 3 แถว ดังนั้น ทุกๆ 3 แถวของไม้ผลก็ปลูกหญ้าแฝก 1 แนว จนตลอดพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้หญ้าแฝกทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแนวปลูกไม้ผลหรือไม้ยืนต้นก็จะต้องวางแนวระดับตามขวางความลาดของพื้นที่ด้วย และการปลูกหญ้าแฝกระหว่างแถวไม้ผล จะปลูกห่างจากโคนไม้ผลที่ปลูก 1.50 เมตร ดังนั้น ความห่างของแนวหญ้าแฝกตามแนวดิ่งอานเกินกว่า 1.50 เมตร หรือเกินกว่า 1.50 เมตร เล็กน้อยก็ได้ตามความเหมาะสมของแถวไม้ที่ปลูก

(3) รูปแบบการปลูกแนวหญ้าแฝกบนพื้นที่ที่ไม่มีลาดเท

ในสภาพพื้นที่ที่ไม่มีความลาดเท หรือพื้นที่ระดับจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสูญเสียดินถึงแม้จะเป็นพื้นที่ราบใดก็ยังคงมีการไหลบ่าของน้ำฝนเกิดขึ้นได้เช่นกัน ดังนั้นวิธีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นในดินในพื้นที่ให้ได้มากที่สุดจึงเป็นวิธีการที่ดี โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรน้ำฝนจะปลูกเพื่อกักเก็บน้ำฝนไว้ในพื้นที่ โดยให้ไหลบ่าออกจากพื้นที่น้อยที่สุดดังนั้นวิธีการปลูกหญ้าแฝกก็จะปลูกเป็นแถวเดี่ยวล้อมรอบพื้นที่และบริเวณที่ปลูกไม้ผลก็จะปลูกหญ้าแฝกระหว่างแถวไม้ผลที่ปลูกทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการตัดใบคลุมโดนไม้ผลดังแดสงในรูปที่ 2.3 เพื่อลดการสูญเสียน้ำในดิน



รูปที่ 2.3 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกบนพื้นที่ไม่มีความลาดเท

(www.thaikasetsart.com)

- พื้นที่แหล่งน้ำ

การนำหน่อหญ้าแฝกมาปลูกรอบๆ บริเวณด้านข้างของแหล่งน้ำ จะช่วยกรองเศษพืชตะกอนดิน รวมทั้งส่งปฏิกูลต่างๆ มิให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำนอกจากนี้ รากหญ้าแฝกที่สานกันอย่างหนาแน่นเป็นกำแพงใต้ดินจะช่วยยึดเหนี่ยวและดูดซับสารเคมีก่อนที่จะไหลลงสู่แม่น้ำด้วย ทำให้น้ำในแหล่งน้ำต่างๆ มีคุณภาพดีอีกทั้งเหมาะสมแก่การอุปโภค บริโภค ตลอดจนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย สำหรับวางแนวปลูกหญ้าแฝกบริเวณแหล่งน้ำเพื่อป้องกันการตื้นเขิน และเพื่อรักษาคุณภาพน้ำ สามารถดำเนินการ ได้ดังนี้

(1) อ่างเก็บน้ำ วางแนวปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวตามระดับ 3 แถว ได้แก่

(1.1) แถวที่ 1 ปลูกที่ระดับทางน้ำล้นหรือระดับกักน้ำ

(1.2) แถวที่ 2 ปลูกที่ระดับอยู่สูงกว่า 1 เมตร ตามแนวดิ่ง 20 เซนติเมตร

(1.3) แถวที่ 3 ปลูกที่ระดับต่ำกว่าแถวที่ 1 ตามแนวดิ่ง 20 เซนติเมตร

(2) บ่อน้ำ สระน้ำ จะต้องวางแนวปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวตามแนวระดับจำนวน 2 แถว คือ

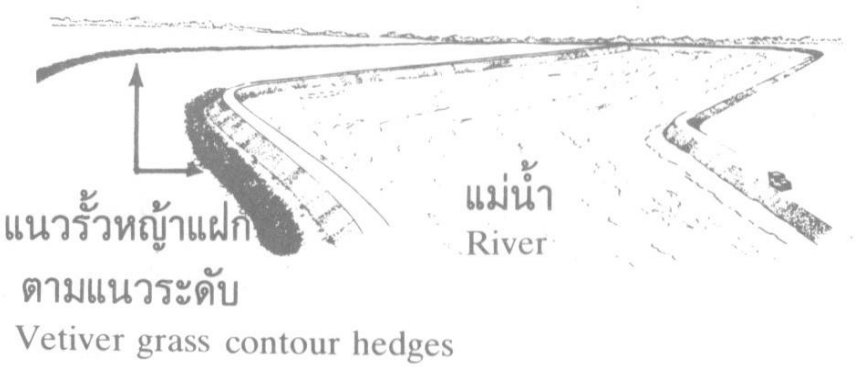
(2.1) แถวที่ 1 ขอบบ่อห่าจากริมขอบบ่อประมาณ 50 เซนติเมตร

(2.2) แถวที่ 2 ที่ระดับทางเข้า

(3) คลองส่งน้ำ

รูปที่ 2.4 แสดงถึงรูปแบบของคลองระบายน้ำ แม่น้ำลำคลอง ปลูกเป็นแถวตามแนวระดับขนานไปตามคลองส่งน้ำ หรือแม่น้ำลำคลองห่างจากริมคลองส่งน้ำหรือแม่น้ำลำคลอง 50 เซนติเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.4 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกข้างคลองส่งน้ำ

(http://www.thaikasetsart.com)

(4) ร่องน้ำ

ปลูกหญ้าแฝกพาดผ่านร่องน้ำเป็นรูปตัววีคว่ำ ส่วนแหลมของตัววีคว่ำจะอยู่กลางร่องน้ำ ด้านทวนน้ำส่วนแขนทั้งสองข้างของตัววีจะวางอยู่บนฝั่งร่องน้ำทั้ง 2 ด้าน โดยระยะห่างระหว่างต้น 5 เซนติเมตร และสำหรับกล้าเปลือยราก 10 เซนติเมตร สำหรับกล้าถุงขนาด 2x6 นิ้ว หรืออาจปลูกสลับฟันปลาเพื่อให้แถวหญ้าแฝกแน่น โดยระยะห่างระหว่างแนวตัววี 2 เมตร

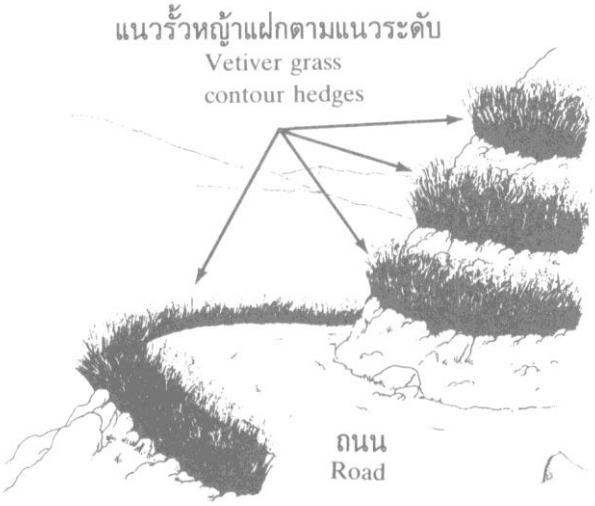
การปลูกควรดำเนินการว่วงต้นฤดูฝนในขณะที่ดินยังมีความชุ่มชื้นอยู่ โดยวางหน่อหญ้าแฝกในร่องที่เตรียมไว้ปลูกแถวเดี่ยวระยะห่างระหว่างต้นราว 5-10 เซนติเมตร กลบโคนให้แน่น หลังจากนั้นควรตรวจและดูแลอย่างสม่ำเสมอและปลูกซ่อมต้นที่ตายไป มีการตัดใบเหลือความสูงระดับประมาณ 40-50 เซนติเมตร หลังปลูกประมาณ 3 เดือน และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ปริมาณเล็กน้อย ข้างแถวแฝกเพื่อเร่งให้หญ้าแฝกแตกกอประสานกันเป็นแนวได้เร็วยิ่งขึ้น

(5) พื้นที่ไหล่ถนน

การปลูกหญ้าแฝกบริเวณด้านข้างของไหล่ถนน เป็นวิธีป้องกันความเสียหายของไหล่ถนนได้ดีโดยเฉพาะถนนลูกรังมักประสบปัญหาถูกน้ำกัดเซาะจนเสียหาย การวางแนวปลูกหญ้าแฝกบริเวณด้านข้ามบริเวณขอบไหล่ถนน แถวแรกอยู่ตามไหล่ถนนแถวถัดลงไปอยู่ต่ำกว่าไหล่ถนนประมาณ 50-100 เซนติเมตรแสดงดังรูปที่ 2.5 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์และความยาวของความลาดชันระยะห่างระหว่าง

ต้นเช่นเดียวกันการปลูกการป้องกันชะล้างพังทลายของดินรูปแบบดังกล่าวข้างต้น โดยปลูกเป็นแนวเดี่ยวระยะห่างระหว่างต้น 5-10 เซนติเมตร

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่พบเป็นประจำได้แก่ บริเวณทางระบายน้ำข้างถนน จะเกิดการกัดเซาะซึ่งบางแห่งรุนแรงจนทำให้ถนนขาดเกิดเสียหายได้ ดังนั้นควรที่จะปลูกหญ้าแฝกขวางทางน้ำเช่นเดียวกับวิธีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการกัดเซาะแบบร่องลึก ซึ่งแถวหญ้าแฝกสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้



รูปที่ 2.5 ลักษณะหญ้าแฝกปลูกตามไหล่ถนน

(http://www.thaikasetsart.com)

(6) พื้นที่ร่องสวน

การยกร่องสวนที่มีร่องน้ำ จำเป็นต้องมีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันขอบร่องพังทลายลงไปในน้ำ ใช้ระยะปลูกเช่นเดียวกับการปลูกป้องกันการชะล้างพังทลายของดินโดยปลูกอย่างน้อย 1 แถวห่างริมขอบแปลง 30 เซนติเมตร

2) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อแก้ไขการเกิดร่องน้ำแบบลึก

สามารถกระทำได้ด้วยวิธีการแบบประหยัดค่าใช้จ่าย โดยสามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง คือ การปลูกหญ้าแฝกพาดขวางร่องน้ำแบบลึก เมื่อหญ้าแฝกแตกหน่อ และเจริญเติบโตแล้ว กอหญ้าแฝกจะประสานชิดตดกันขวางร่อง ซึ่งเมื่อมีน้ำไหลบ่ามาปะทะแนวหญ้าแฝก จะเกิดการกระจายตัวและไหลผ่านไปอย่างช้าๆ ตะกอนดินที่ถูกพัดพามาก็จะทับถมกันอยู่บริเวณหน้าแถวหญ้าแฝกในขณะที่ตะกอนทับถมขึ้นสูงในแต่ละปีจะไม่มี

ปัญหาต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ทั้งนี้เพราะว่าหญ้าแฝกจะแตกหน่อก่อตัวสูงกว่าดินที่ทับถมกลบร่องน้ำแบบลึกไปได้ในที่สุด ประโยชน์ที่ได้รับอีกประการหนึ่ง คือ แนวหญ้าแฝกที่พาดขวางร่องน้ำ และพาดยาวออกไปตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่ จะช่วยกระจายน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในพื้นที่ ทำให้ดินมีความชุ่มชื้นได้นาน

การเตรียมดินเพื่อปลูกหญ้าแฝกริมร่องน้ำแบบลึกซึ่งชันมาก ให้ใช้จอบสับดินให้ลาดลงมาเพื่อสะดวกต่อการปลูก โดยแนวปลูกอาจสับดินเป็นแนวตรงขวางพาดร่องน้ำหรือสับดินเป็นรูปวี คว่ำคือ จะอยู่กลางร่องน้ำและส่วนแขนทั้ง 2 ข้างลาดลงพาดฝั่งร่องน้ำแบบลึกทั้ง 2 ข้าง ดินในบริเวณร่องน้ำจะเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ดังนั้นก่อนปลูกควรมีปุ๋ยสูตร 15-15-15 เล็กน้อยร่องแนวปลูกที่เตรียมไว้แล้ว ใช้ต้นกล้าปลูกในระยะห่างระหว่างต้น 5-10 เซนติเมตร กลบดินให้แน่นบริเวณโคนต้นหญ้าแฝกที่ปลูก หลังปลูกควรตรวจแนวหญ้าแฝกถ้าพบว่าต้นใดตายไปต้องปลูกซ่อมทันที และเมื่ออายุ 3 เดือน ให้ตัดยอดหรือใบหญ้าแฝกให้เหลือสูง จากดิน 40-50 เซนติเมตร เพื่อเร่งให้หญ้าแฝกแตกหน่อประสานเร็วยิ่งขึ้น

3) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อการรักษาความชื้น

ในแปลงไม้ผล นิยมปลูกหญ้าแฝกก่อน จึงทำการปลูกผลไม้ ในกรณีที่ในสวนไม้ผลที่มีไม้ผลเจริญโตอยู่ก่อนแล้ว แต่มีความต้องการที่จะปลูกหญ้าแฝกเพื่อช่วยในการเก็บรักษาความชื้นในดิน ให้ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวยาวขวางความลาดเทของพื้นที่ในระหว่างทรงพุ่มหรือปลูกแบบครึ่งวงกลมหงายรับน้ำนอกรัศมีพุ่งเล็กน้อย

การปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาความชื้นในดิน ที่นิยมใช้มี 3 ลักษณะคือ

(1) การปลูกเป็นแถวระหว่างพืชหรือไม้ผลโดยจะปลูกหญ้าแฝกทุกแถวพืชหรือเว้นระยะทุก 1-2 แถวจึงปลูกหญ้าแฝก 1 แถว ระยะห่างระหว่างต้นหญ้าแฝก 5-10 เซนติเมตรตลอดแนวปลูก

(2) การปลูกแบบครึ่งวงกลมโดยปลูกหญ้าแฝกเป็นครึ่งวงกลมให้แนวหญ้าแฝกห่างจากโคนต้นไม้ผลประมาณ 1.5-2 เมตร ให้รูปครึ่งวงกลมหงายรับน้ำที่ไหลบ่ามา เพื่อกักเก็บน้ำและตะกอนดิน

(3) การปลูกรอบพื้นที่ปลูกพืช โดยปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวล้อมรอบพื้นที่ปลูกพืช ตามแนวขอบเขตของแปลงปลูกพืช และระยะห่างระหว่างต้นหญ้าแฝก 5-10 เซนติเมตร ด้วยวิธีการปลูกแบบนี้จะช่วยรักษาความชื้นในดินช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดินและการตัดใบจะช่วยคลุมดินด้วย

4) การปลูกหญ้าแฝกเพื่อปรับปรุงพื้นที่เสื่อมโทรม

การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ต้องการปรับปรุงดิน เช่น ในพื้นที่นากุ้งร้างพื้นที่เสื่อมโทรม จะต้องปลูกให้เต็มพื้นที่ที่ต้องการปรับปรุง โดยใช้ระยะระหว่างต้น และระหว่างแถว 50x50 เซนติเมตร การเตรียมดินและการดูแลรักษาใช้วิธีการเดียวกันกับแปลงขยายพันธุ์หญ้าแฝก เมื่อหญ้าแฝกอายุ 2-3 ปี ตัดหญ้าแฝกออกและในกรณีที่ต้องการใช้ปลูกพืชเศรษฐกิจ จากนั้นไถกลบส่วนของใบและรากหญ้าแฝกลงดินซึ่งทั้งใบและรากจะถูกย่อยสลายเป็นอินทรียวัตถุลงในดิน ช่วยปรับสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในกรณีที่ดินแข็งมากเช่น เป็นดินดาน การให้หญ้าแฝกช่วยเจาะดินดานโดยการปลูกหญ้าแฝกเป็นแนวระดับ หรือการปลูกเป็นแถวครึ่งวงกลมรอบไม้ยืนต้น ซึ่งระบบรากของหญ้าแฝกจะชอนไชและทะลุผ่านชั้นดานเมื่ออยู่ในสภาพนี้ดินบริเวณนั้นมีความชื้นมากเพียงพอ

2.1.6 การควบคุมความสูง

เมื่อหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตเต็มที่ จะมีความสูงมากกว่า 1.2 เมตร ซึ่งหากพื้นที่นั้นมีหญ้าชนิดอื่นๆ การตัดใบหญ้าแฝกทุกๆ 3-4 เดือน จะเป็นการช่วยให้แนวหญ้าแฝกมีการแตกกอเพิ่มขึ้น กำจัดช่อดอกและยังทำให้สังเกตเห็นแนวหญ้าแฝกได้ชัดเจนมากขึ้นจึงช่วยป้องกันการไถแนว ในช่วงต้นฤดูฝนให้ตัดใบหญ้าแฝกให้สั้น สูงจากผิวดิน 5 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการแตกหน่อใหม่ และกำจัดหน่อแก่ที่แห้งตาย สำหรับในช่วงกลางฤดูฝนให้ใบสูง 40-50 เซนติเมตร เพื่อให้มีแนวกอที่หนาแน่นรับแรงปะทะของน้ำไหลบ่า

2.2 การชะล้างของมวลดิน (Soil Erosion)

การชะล้างของมวลดินมีตัวแปรสำคัญอยู่ 2 ชนิดคือน้ำและลม (อภินิติ, 2556) โดยกล่าวคือ ดินที่อยู่ด้านบนเชิงเขาจะถูกน้ำพัดพาลงมาด้านล่างจนทับถมเป็นดินตะกอน (sedimentary soil) และสะสมเป็นเวลานานจนกลายเป็นหินตะกอน (sedimentary rock) หลักการที่เกิดการชะลางดินแสดงดังรูปที่ 2.6 จากสาเหตุน้ำนั้น มีกระบวนการคือ การทำให้อนุภาคดินหลุดออก และการพัดพาอนุภาคดิน

Chulalongkorn University

รูปที่ 2.6 เกิดการชะล้างมวลดินจากน้ำไหลจากที่สูงสู่ที่ราบ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

จากปัญหาการชะล้างของดินสามารถเพิ่มความต้านทานได้โดย

2.2.1. การลดแรงฉุดลาก (Drag Force)

ลดความเร็วและลดการกระแทกของน้ำจากด้านบนสู่ด้านล่าง ยกตัวอย่างเช่นการตัดหน้าดินเป็นขั้นบันไดหรือการวางวัสดุจากธรรมชาติเช่น ขอนไม้ ฯลฯ เป็นตัวกั้นแรงของน้ำไม่ให้ไหลลงมาอย่างรวดเร็ว

2.2.2. การเพิ่มกำลังต้านทางของผิวดิน

ใช้หลักการเพิ่มน้ำหนักกดทับที่ผิวดิน หรืออาจจะใช้พืชเป็นตัวช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของหน้าดินให้ดีขึ้น

2.3 ดินสภาพที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soil)

คือดินที่สภาพสามารถอิ่มตัวด้วยน้ำหรือด้วยของเหลวชนิดอื่นในช่องว่าง โดยจำแนกเป็นดินจำพวกทราย ดินแป้ง ดินเหนียวและทรายแห้งกับดินที่ยังไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) ความแตกต่างระหว่างดินอิ่มตัวและที่ยังไม่อิ่มตัวนั้น อยู่ที่ธรรมชาติของมันและพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรม ดินที่ยังไม่อิ่มตัวจะมีมากกว่า 2 เฟส และค่าความดันน้ำเป็นลบ (negative)อีกทั้งเกี่ยวข้องกับค่าความดันอากาศ สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวมีเฟส 3 เฟสที่ต้องหาคือ สภาพของแข็ง (solids) สภาพของเหลว (water) และอากาศ (air)

2.3.1 บทบาทของสภาพภูมิอากาศ

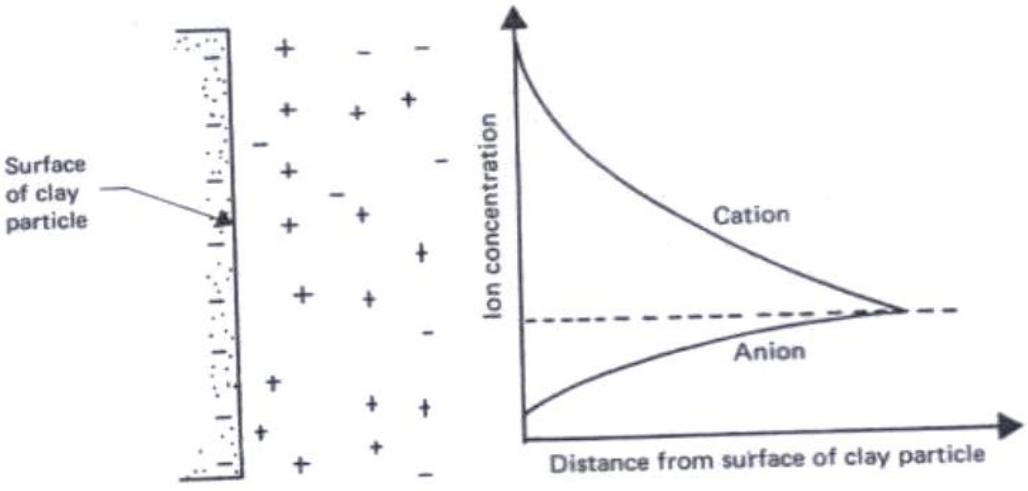
สภาพภูมิอากาศมีความสำคัญเป็นอย่างมากว่าดินนั้นจะเป็นดินอิ่มตัวหรือดินไม่อิ่มตัวน้ำจะออกจากดินโดยการระเหยออกไปจากพื้นดินหรือการคายน้ำของพืชระบบเหล่านี้จะไหลไปจากล่างสู่บนในอีกแง่หนึ่งฝนตกลงมาสู่ดินเป็นจากบนสู่ล่างวนเวียนกันไป ความแตกต่างระหว่างการไหล 2 ชนิดนี้ หลักๆ อยู่ที่สภาพความดันของน้ำในดิน การระเหยขึ้นไปด้านบนหมายถึงดินจะค่อยๆ แห้ง เกิดรอยแตก แต่ถ้าเป็นไหลลงล่าง สุดท้ายแล้วดินก็จะเกิดการอิ่มตัวโดยความลึกของระดับน้ำใต้ดินมีอิทธิพลมาก (Fredlund, 1993)

หญ้า ต้นไม้ และพืชอื่นๆ เติบโตขึ้นมาจากพื้นดินแห้ง โดยใช้แรงดึงที่ความดันน้ำผ่านการคายระเหย (Schmid, 2007) โดยพืชส่วนใหญ่ใช้แรงประมาณ 1-2 เมกะปาสกาล ของแรงดึงของ แรงดันน้ำ ก่อนที่จะถึงจุดที่เหี่ยวแห้ง แรงดึงที่ใช้ของแรงดันน้ำจะกระทำในทุกทิศทางและมีแรงดันด้านข้างในดินมากเกิน และเมื่อเกิดขึ้นหลังจากนั้นการอิ่มตัวของดินก็จะเริ่มขึ้น

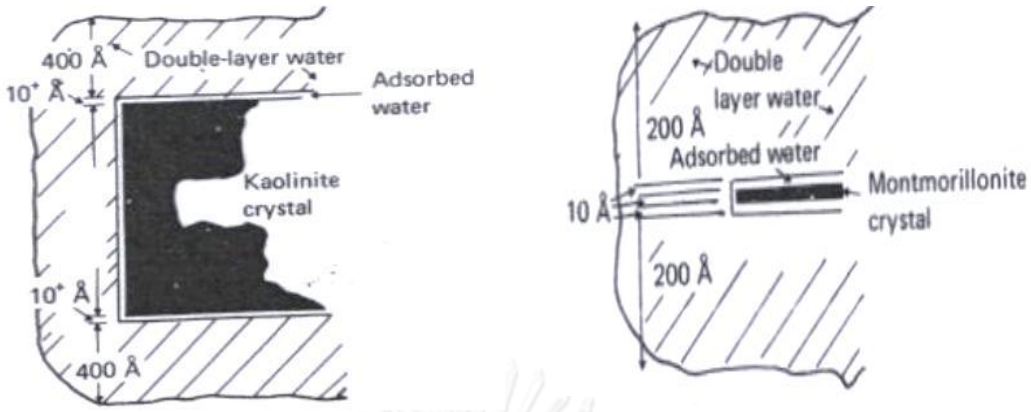
2.4 น้ำในดินตามธรรมชาติ (Nature of water in clay)

เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบวกบนผิวหน้าดินของอนุภาคดิน ตะกอนของเกลือบางส่วนไอออนบวกส่วนที่เกินและไอออนลบที่เกี่ยวข้องแสดงดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 อีกทั้งสามารถเห็นได้บนพื้นผิวดินที่มีอนุภาคแห้งในช่วงที่เพิ่มน้ำในดินไอออนบวกและไอออนลบจะลอยรอบๆอนุภาคของดิน

ในจุดนี้บ่งบอกได้ว่าโมเลกุลในน้ำนั้นเป็นแรงที่เกิดจากการกระทำระหว่างโมเลกุลแบบมีขั้วเนื่องจากอะตอมของไฮโดรเจนไม่ได้เรียงตัวเป็นแนวสมมาตรรอบๆ อะตอมของออกซิเจน หมายความว่าโมเลกุลของน้ำ เหมือนกับขั้วบวกและขั้วลบในด้านตรงกันข้าม (Braja, 1983)



รูปที่ 2.7 การกระจายขั้วที่หน้าดินและการแสดงระยะของอนุภาคดินกับประจุ (ซ้าย)



รูปที่ **2.8** ลักษณะโดยทั่วไปของดินเหนียว (kaolinite**)** และการแสดงลักษณะโดยทั่วไปของดินเหนียว (montmorillonite**) (**ซ้าย**)**

2.5 ลักษณะของรากและกำลังของราก

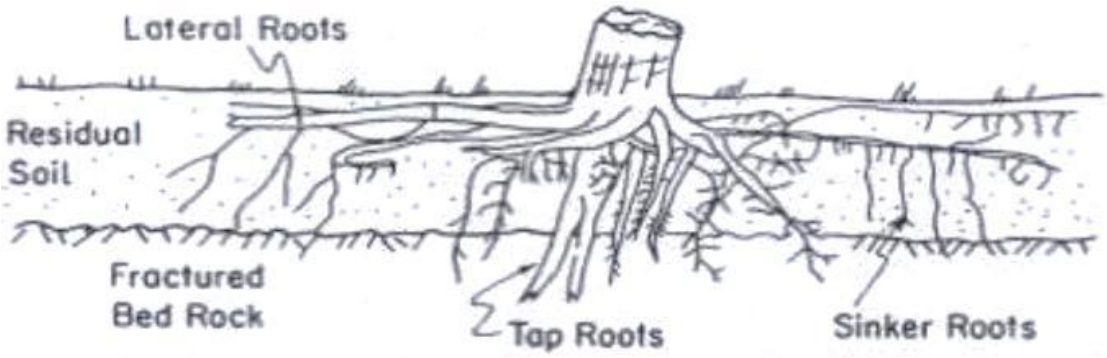
2.5.1 โครงสร้างของราก

1) จำแนกโครงสร้างของราก

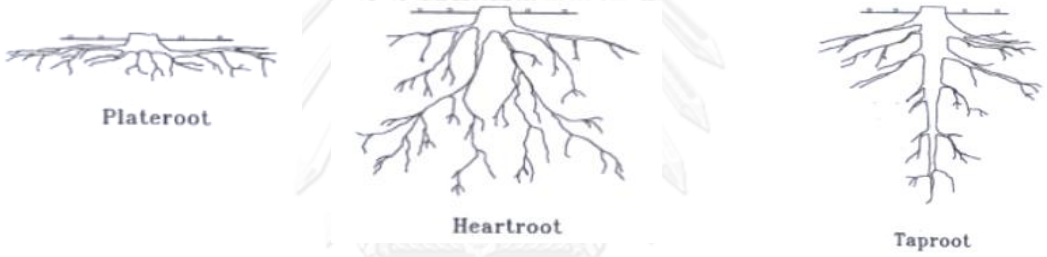
ในส่วนประกอบของรากที่ฝังลงไปในดินจำแนกไว้ดังรูปที่ 22 และยังแบ่งลักษณะของรากที่ เกิดขึ้นได้เป็นอีก 3 แบบดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 (Donald & Robin, 1996) คือ

- Plateroot
- Heartroot
- Taproot

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.9 ถึงส่วนประกอบที่สำคัญของราก



รูปที่ 2.10 ลักษณะของราก

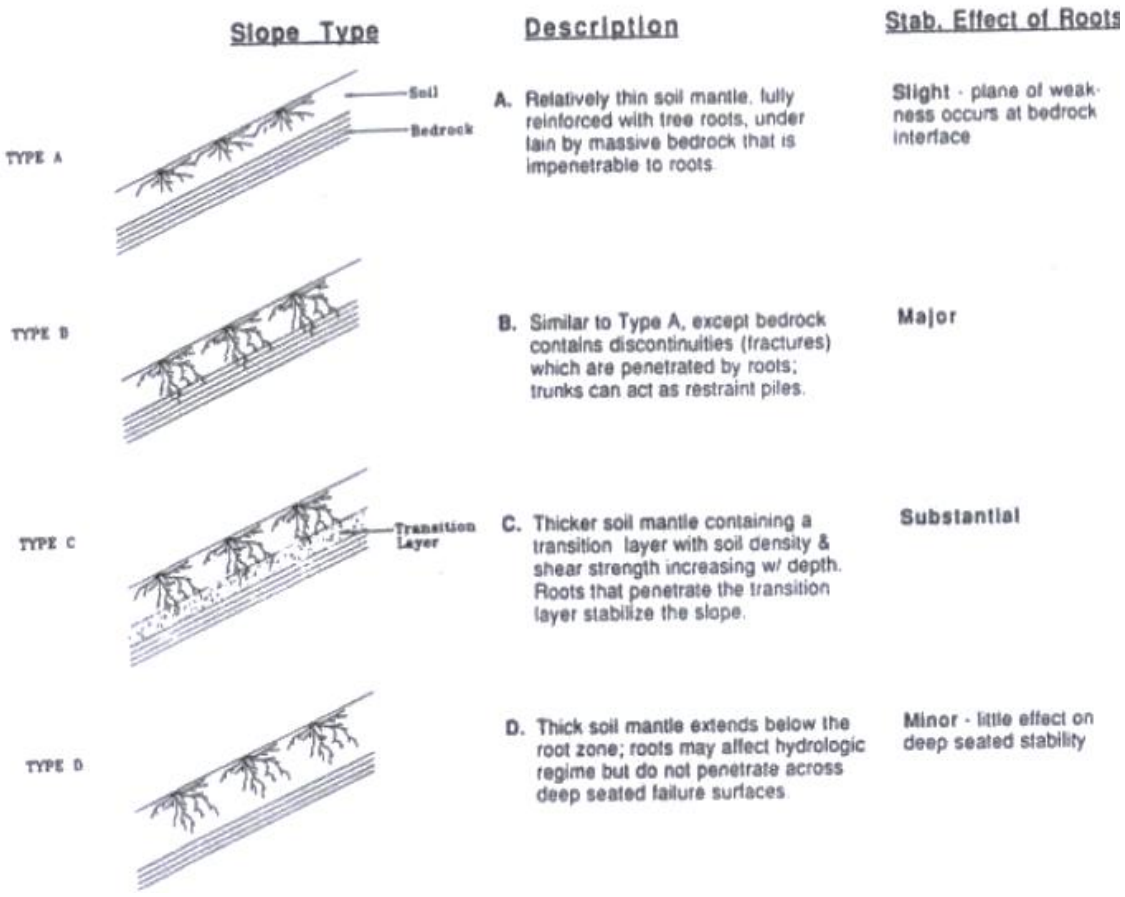
โดยลักษณะของรากที่เกิดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ทำการปลูกต้นไม้ ในการเติบโตของโครงสร้างรากและเนื่องจากสภาพแวดล้อมแต่ละแห่ง จึงทำให้เกิดการกระจายของรากตามแบบต่างๆ ในลาดดินนั้น โดยทั่วไประบบของรากนั้นมีความแข็งแรงมากและเจาะลึกลงไปตามแนวดิ่ง และกระจายไปด้านข้าง และจากสิ่งนี้ทำให้ดินมีความต้านทานการรับแรงเฉือน ในดินที่มีความหนาแน่นมากแต่มีรากเส้นเล็กๆ จำนวนมากก็มีประสิทธิผลมากกว่ารากที่มีขนาดใหญ่

2.5.2 ความลึกและการกระจายของราก

รากแก้วและรากแขนงที่เจาะลึกลงไปในดินจะเป็นตัวหลักในการช่วยทำให้ลาดดินมีเสถียรภาพและช่วยป้องกันลาดดินพังทลาย ในทางกลศาสตร์อาจจะช่วยป้องกันลาดดินได้เพียงตามระยะที่รากสามารถชอนไชไปถึง นอกจากนี้รากจะต้องแทงทะลุออกจากหน้าตัดที่วิบัติจึงจะเกิดผลการป้องกัน โดยแกนหลักที่มีส่วนในการใช้รากเสริมแรงและช่วยยับยั้งการพังทลายของ

ดินได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 โดยรูปแบบของรากที่มีประสิทธิผลมากกว่าสุดคือ ราก ทะลุข้ามไปยังเปลือกและลงไปยังรอยแตกใต้ชั้น bedrock (หรือชนิด B) หรือรากลงไปยังชัด residual soil หรือ transition zone โดยความหนาแน่นและแรงเฉือนจะเพิ่มตามความลึก (ชนิด C) เพราะพืชต้องใช้ออกซิเจน พืชจะต้องแผ่รากออกมาให้ๆ พื้นผิวโดยระยะที่รากบนลาดดินมีขอบเขตจำกัดที่ประมาณ 5 ฟุต หรือ 1.5 เมตร จากพื้นผิว

ด้านเสถียรภาพของรากจะมีค่าน้อยที่สุดในช่วงที่รากไม่มีการทะลุหรือทะลุเพียงเล็กน้อยข้ามไประหว่างผิวหน้าตัดของแรงเฉือน (ชนิด A และ D)



รูปที่ 2.11 ถึงชนิดของลาดดินและผลกระทบของรากที่มีต่อลาดดิน

(Donald & Robin,1996)

2.5.3 การกระจายของราก

รากพืชสามารถกระจายออกไปเกินกว่าที่คาดเดาได้ น้ำมีส่วนอย่างมากต่อพืชกล่าวคือสภาพของน้ำในดินเกิดการระเหยขึ้นไป สามารถรู้ถึงขนาดความสูงของต้นไม้ได้

2.5.4 การเสริมแรงของราก

(1) รูปแบบแรงสมดุล

สิ่งสำคัญในหัวข้อนี้คือตัวแปรที่ได้จากหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งจะช่วยทำให้เข้าใจในกระบวนการของการเสริมแรงและการกระจายของราก โดยรากจะเพิ่มกำลังของแรงรับแรงเฉือนของดินที่ส่วนใหญ่ถูกกระทำโดยความเค้นแรงเฉือนในรูปแบบแมททริกซ์ สู่แรงด้านทานแรงดึงในใยรากรวมไปถึงระหว่างพื้นที่หน้าตัดของความหน่วงตามความยาวของใยราก โดยจะแสดงระบบดังรูปที่ 2.12 สำหรับใยที่ฝังลงไปขึ้นตั้งฉากกับหน้าตัดแรงเฉือนในขณะที่ใยในแรงเฉือนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการเปลี่ยนแปลงทำให้ใยยาวมากขึ้น บ่งบอกให้เห็นว่าความหน่วงระหว่างหน้าตัดนั้นเพียงพอ และความเค้นที่เก็บไว้จะช่วยยึดใยให้อยู่กับที่และป้องกันการเลื่อนหรือหลุดออก โดยใยที่ยืดออกก่อให้เกิดแรงต้านแรงดึงในใยและจากที่กล่าวมาในการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของใยและดินสามารถเขียนดังสมการที่ 2.1

$$\Delta s = t_R[\sin\theta + \cos\theta\tan\emptyset] \qquad \text{.....2.1}$$

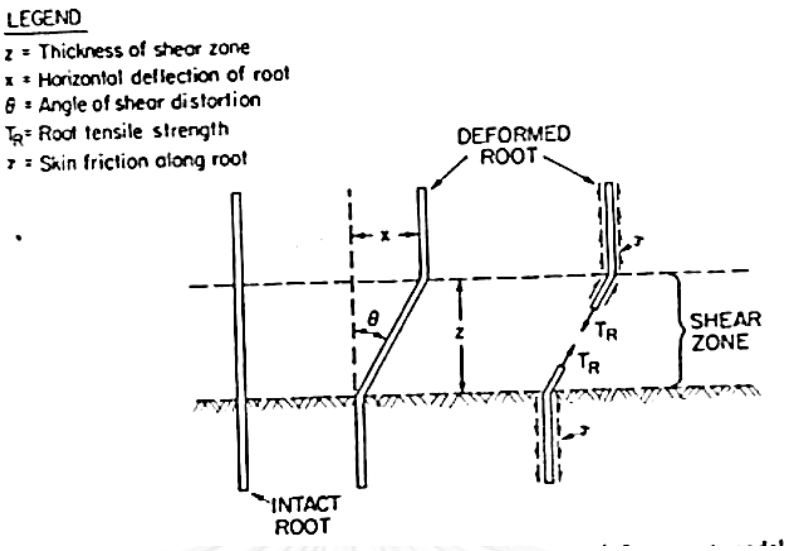
โดย Δs = แรงเฉือนที่เพิ่มขึ้น

$\emptyset$ = มุมเสียดทานภายในของดิน

θ = มุมกระจายของแรงเฉือนในเขตแรงเฉือน

t_R = ความเค้นดึงของรากต่อพื้นที่ของดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.12 รูปแบบวงจรของใยรากเสริมแรง

(Donald & Robin,1996)

(2) วิธีไฟเบอร์เบรก

กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจากการระดมกำลังรับแรงดึงของใยราก ได้จากการเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงของใยราก T_R ส่วนของดินด้านตัดขวางถูกครอบครองโดยราก หรือ (A_R/A) นำมาเขียนได้ดังสมการที่ 2.2 ถึง 2.3

$$t_R = T_R(A_R/A) \quad \text{.....2.2}$$

มุมกระจายของแรงเฉือนหาจาก

$$\theta = tan^{-1}(\frac{x}{z}) \quad \text{.....2.3}$$

โดย

x = การเคลื่อนตัวของแรงเฉือน

z = ความหนาของเขตแรงเฉือน

ส่วนของดิน cross section ที่ถูกครอบคลุมโดยราก สามารถเขียนในรูปของสมการสัดส่วนพื้นที่ (area ratio) อีกทั้งสามารถจำแนกขนาดของรากภายในดินโดยเขียนเป็นสมการที่ 2.4

$$\frac{A_R}{A} = \frac{\Sigma nia_i}{A} \qquad \text{.....2.4}$$

นำมารวมกับ T_R จะได้ดังสมการที่ 2.5

$$T_R = \frac{\Sigma T_i nia_i}{\Sigma ni a_i} \qquad \text{.....2.5}$$

โดย T_R = กำลังของรากในขนาดของ i

นำสมการที่ 2.2 ไปแทนใน 2.1 จะได้สมการที่ 2.6

$$\Delta s = T_R(A_R/A)[sin\,\theta + cos\theta tan\emptyset] \qquad \text{.....2.6}$$

ค่า $[sin\,\theta + cos\theta tan\emptyset]$ มีค่าที่น้อยมากดังนั้น (Wu et al., 1979) จึงกำหนดไว้ใช้ที่ 1.2 ดังนั้นจะเขียนใหม่ดังสมการที่ 2.7

$$\Delta s = 1.2T_R(A_R/A) \qquad \text{.....2.7}$$

2.6 ความแข็งแรงของราก (Root strength)

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรง

การเปลี่ยนแปลงของกำลังแรงดึงของรากจะรายงานในรูปแบบรายงาน การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และปัจจัยของแต่ละสภาพของพื้นที่นั้น เช่น สภาพแวดล้อม ฤดูกาล ขนาดของรากและการปรับตัวของพืช

2.6.2 ระยะของกำลังแรงดึงและความยืดหยุ่นของราก

กำลังแรงดึงของรากจะถูกวัดโดยจำนวนของตัวเลขที่ต่างกันของผู้สำรวจ ไม่ได้อยู่กับความยากในการควบคุมการทดสอบเพียงอย่างเดียวโดยตัวอย่างของค่ากำลังแรงดึง โดยกำลังแรงดึงที่เปลี่ยนไปมีความสำคัญต่อเส้นผ่านศูนย์กลางและวิธีการทดสอบ ซึ่งคาดว่าจะหาโดยวิธีการประมาณหรือเฉลี่ย อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการทดสอบบางชนิดสามารถหาได้จากจัดระเบียบของค่ากำลัง กำลังแรงดึงสามารถไปถึง 70 เมกะปาสกาล แต่มักจะเกิดไม่เป็นจริงในช่วง 10 ถึง 40 เมกะปาสกาล ในพืชส่วนใหญ่

พืชในกลุ่มของต้นสนมีแนวโน้มที่จะมีกำลังของรากค่อนข้างน้อยกว่าต้นไม้ที่ผลัดใบ ส่วนพืชจำพวกไม้พุ่มมีกำลังแรงดึงของรากพอที่จะใช้ได้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะเทียบเท่าของการเสริมแรงสามารถใช้ต้นไม้ที่เป็นพุ่มมาทดแทนได้สำหรับที่ที่มีความลึกไม่มากโดยปราศจากการชักนำของต้นไม้ใหญ่ๆ โดยผลของไม้พุ่มจะดีกว่าทั้งในด้านน้ำหนัก ความแข็งแนวโน้มจากแรงลม ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวสำคัญที่ช่วยใช้ในการตัดสินใจเลือก

ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่ารากมีส่วนสำคัญที่ช่วยเสริมกำลังของดินและกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น โดยรากที่มีรากแก้วเยอะไม่เพียงให้กำลังรับแรงดึงสูงขึ้นเท่านั้น แต่ยังมีแรงต้านการดึงที่จำนวนมากเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเยอะมากต้นไม้ที่มีรากใหญ่ๆ เทียบกับพื้นที่ที่เท่ากันโดยความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงดึงของรากและขนาดของรากสามารถเขียนเป็นสมการในรูปของลอการิทึ่มได้

$$T_r = nD^m \qquad \text{.....2.8}$$

โดย

T_R = กำลังรับแรงดึงของราก

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

n และ m เป็นตัวเลขเชิงประจักษ์ตามชนิดของต้นไม้

2.6.3 การผุพังของรากและการสูญเสียกำลัง

ต้นไม้จะเพิ่มกำลังและเสถียรภาพของดินบนลาดที่สูงชัน ในทางกลับกันจะถูกกำจัดด้วยไฟป่าเหตุผลหลักในการสูญเสียเสถียรภาพ และเพิ่มความถี่ของการวิบัติตามไปด้วยการผุพังของรากและสูญเสียกำลังในที่สุด โดยรากที่เล็กที่สุดมีกำลังรับแรงดึงสูงสุด และแรงเสียดทานหรือแรงต้านทานแรงดึง ในครั้งแรกหลังจากการหายไปของต้นไม้เนื่องจากการตัดหรือเหตุใดๆ ก็ตามมักจะมีช่วงเวลาระหว่างการตัดและฟื้นฟูของพืชขึ้นมาใหม่ ในขณะที่เสถียรภาพลดลงจนถึงจุดต่ำสุด แต่ก็จะเพิ่มขึ้นมาอีกครั้งเมื่อรากของพืชกลับมาเจริญเติบโตอีกครั้ง ช่วงเวลาที่เสถียรภาพลงไปถึงจุดต่ำสุดนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืช สภาพแวดล้อมของพื้นที่และเวลาในการในการปลูกป่าโดยค่าการสูญเสียกำลังกับเวลาสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.9

$$T_{rt} = T_{r0}e^{-bt} \qquad \text{.....2.9}$$

โดย

T_{r0} = กำลังของรากไม้ตัวอย่างจากต้นไม้ที่ยังมีชีวิต

T_{rt} = กำลังของรากไม้ตัวอย่างจากตอไม้ที่ถูกตัด ที่เวลา t เดือน

b = ความน่าจะเป็นของการผุพัง

t = อายุของตอไม้ (ช่วงระยะเวลาระหว่างตัดและเก็บตัวอย่าง)

ในส่วนของ e^{-b} นั้น แสดงถึงระดับของกำลังของรากที่ผุพัง ซึ่งสอดคล้องกับเวลาของกำลังของรากจะลดลงจากต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ซึ่งสรุปเป็นสมการได้ว่า

$$t_{0.5} = \frac{log\ 0.5}{log\ e^{-b}} \quad \text{.....2.10}$$

2.7 Large direct shear testing

2.7.1 ขอบเขตของ Large direct shear test

เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาใช้เพื่อทดสอบวัสดุประเภทวัสดุสังเคราะห์สำหรับงานทางสิ่งแวดล้อม (geosynthetics) ดิน หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดอนุภาคไม่ขนาดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ขนาดสูงสุดของตัวอย่างที่ทดสอบได้คือ ขนาด 300x300 มิลลิเมตรหรือ 30x30 เซนติเมตร

2.7.2 มาตรฐานการทดสอบ

การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนด้วยกล่องขนาดใหญ่ (Large direct shear test) มีขั้นตอนและเครื่องมือทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) D 3080 หรืออาจจะใช้ American Society for Testing and Materials (ASTM) D 5321 ได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) Wu et al. , (1978) ศึกษาถึงเสถียรภาพของลาดดินก่อนและหลังการถอนต้นไม้ โดยวัดค่าแรงดันน้ำโพรงและกำลังรับแรงเฉือน ในส่วนของสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินหาจากทดลองในห้องปฏิบัติการ และในพื้นที่นั้นๆ ในส่วนแบบจำลองระบบราก-ดิน (Model of the soil-roots system) จะถูกประเมินโดยการส่งกำลังรับแรงเฉือนของรากไม้และออกแบบค่าแฟกเตอร์ปลอดภัยเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของลาดดิน และได้พบว่าในการสำรวจครั้งนี้ พบว่าในการวิบัติของลาดดินที่มีผิวหน้าของดินที่ตื้น ค่าแรงดันน้ำโพรงที่วัดและค่าสมบัติของดินที่ประเมินในห้องปฏิบัติการและในพื้นที่นั้นๆ แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนของระบบวิบัติของราก-ดินโดยแบบจำลองได้แสดงถึง

การส่งกำลังของรากไม้เป็นกำลังรับแรงเฉือนหรืออาจจะมีการปฏิบัติร่วมกัน โดยให้ค่า S_r (การส่งกำลังของรากเป็นกำลังแรงเฉือนหรือ contribution of roots to shear strength) ประมาณไว้ที่ 5.9 กิโลปาสกาล

การวิบัติของลาดดินในภูมิภาคที่ศึกษาเกิดขึ้นเนื่องจากอยู่ในช่วงฝนตกหนักในฤดูฝนเป็นเวลานาน 2-3 ปี หลังจากต้นไม้ที่โดนตัดไปจนหมด และผลจากที่ได้วิเคราะห์ลาดดินมาพบว่าถ้า S_r=0 ลาดดินจะไม่มีความเสถียรภาพและในเขตที่ลาดดินวิเคราะห์ได้ S_r=5.9 กิโลปาสกาล และค่าได้ค่าแฟกเตอร์ปลอดภัยที่มากกว่า 1 ดังนั้นจึงบอกได้ว่า กำลังของรากต้นไม้มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชันสูงๆ การตัดต้นไม้จนหมดก็อาจจะมีผลต่อการเสียกำลังของรากไม้ได้

2) Huat & Kazemian, (2010) ศึกษาการวิบัติของลาดดินโดยเลือกใช้วิธีชีวะวิศวกรรม (bioengineering) หรือพืชมาใช้เป็นแกนหลักนำมาออกแบบป้องกันลาดดิน โดยนำประโยชน์ของหญ้าและต้นไม้มาใช้ เพื่อใช้ในการระบายน้ำที่เหมาะสม และเพิ่มประสิทธิภาพของลาดดินให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้จะชี้ไปถึงทฤษฎีเสริมแรงโดยการใช้รากของพืชและให้ความสำคัญกับ ผลกระทบของกำลังรากและการดูดซับของดิน รวมไปถึงการพัฒนาทางด้านเทคนิค และสิ่งแวดล้อมให้ไปได้ด้วยกันและงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์เฉพาะลาดดินต่ำ อีกทั้ง (Huat & Kazemian, 2010) ได้ใช้หญ้าที่มีความยาวไม่เกิน 0.5 เมตร ในส่วนแรงดึงมีอยู่ในช่วง 10 – 40 เมกะปาสกาล และยังมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 70-105 เมกะปาสกาล และนำไปเทียบกับ (Greenway, 1987) และ (Sotir, 1996) แสดงให้เห็นว่าพืชแต่ละสายพันธุ์รับกำลังต่างกันมาก

3) Greenwood et al., (2004) ศึกษาเทคนิคการเพิ่มเสถียรภาพทางกลเช่น สลักยึดดิน (soil nailing) การใช้วัสดุสังเคราะห์เสริมแรง (geosynthetic reinforcement) เพิ่มการระบายน้ำ (improve drainage) และเทคนิคการเพิ่มคุณภาพดิน (ground improvement) โดยใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความเสถียรภาพได้ แต่ค่าใช้จ่ายนั้นค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องการจะลดค่าใช้จ่ายโดยการใช้ประโยชน์จากพืชไม่ว่าจะเป็นเจริญเติบโตได้เองหรือจากการเพาะปลูก และพืชมีส่วนเกี่ยวข้องต่อค่าพารามิเตอร์ทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและในงานวิจัยนี้ได้เน้นไปที่ความเป็นได้ที่อิทธิพลของพืชว่าจะสามารถนำมาใช้กับงานที่อยู่ในขอบเขตของงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคได้และการเสริมแรงโดยตรงจากรากของต้นไม้และต้นไม้ที่มีขนาดเตี้ย จะเป็นแกนหลักที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเรื่องเสถียรภาพของลาดดิน โดยจะใช้การทดลองถอนรากในสนาม (in-situ root pull-out test) อาจจะการประมาณแรงได้

และจากการศึกษาได้พบว่าวิธีที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นวิธีที่ใช้ได้โดยใช้ตัวแปรจากการคำนวณมวลของต้นไม้ ผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน การยึดเกาะที่ดีของราก แรงลม และการยึดเกาะของรากใหญ่ๆ จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่าการยึดเกาะของแรงดึงของรากไม้ใหญ่ๆ เป็นตัวแปรสำคัญและเชื่อถือได้ โดยมีค่า F_r (แฟกเตอร์ความปลอดภัยในรูปของแรงแนวราบสมดุล) หรือ factor of safety in terms of horizontal force equilibrium ratio = 8 หรือมากกว่านั้น (F_R)

4) Operstein & Frydman, (2000) ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของพืชที่มีต่อกำลังของดินโดยเน้นศึกษาที่แรงดึงของพืชในดินโดยใช้การทดสอบถอนตัวอย่าง (pull-out test) และตัวแปรที่ใช้เป็นขนาดของรากพืชต่อกำลังรับแรงดึง ค่าความยืดหยุ่นต่อขนาดรากพืชและค่าแรงวิบัติ ต่อขนาดลำต้น และได้หาค่า ขีดจำกัดเหลว (liquid limit) ค่าความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพของมวลดิน (plastic index) ความถ่วงจำเพาะ (unit weight) และความถ่วงจำเพาะดินแห้ง (optimum dry unit weight) ของดินที่ใช้โดยดินที่ใช้เป็นดินจำพวก soft rock และ chalky soil อีกทั้งยังนำตัวอย่างต้นไม้ไปทดสอบในกล่องแรงเฉือนทางตรงเพื่อหาค่ากำลังแรงเฉือนและการเสียรูป

และจากการศึกษาครั้งนี้ได้พบว่าการทดสอบในงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ทั้งกำลังดึงและขนาดของราก และค่าความยืดหยุ่น กับขนาดของราก มีความสอดคล้องกัน การเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเสริมกำลัง เป็นค่าหลักที่จะช่วยต้านแรงดึงของราก และถ้าหากดินมีการเสริมกำลัง ค่ามุมแรงเสียดทานภายใน ของดินจะมีค่าคงที่จะเห็นได้ชัดเมื่อค่าความเชื่อมแน่นเพิ่มขึ้นพร้อมกับค่า relative roots area, A_r และ relative root tensile strength contribution, T_r ในส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและความสัมพันธ์ของกำลังดึงของราก ค่า T_r เป็นเชิงเส้น และค่าลาดชันมีมุมเท่ากับ 14 องศา สำหรับดิน chalky และ clay โดยค่า shear strength ของรากสามารถหาจากสมการที่ 2.11

$$T_{max} = (c_0 + 0.25T_r) + \sigma tan\phi \quad \text{.....2.11}$$

5) Hengchaovanich D. & Nilaweera N.S., n.d. ได้ทำการศึกษาหากำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกในสนามโดยทดสอบกับหญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 2 ปี โดยใช้เวลาการดึงตัวอย่างแต่ละตัวอย่างประมาณ 2 ชั่วโมง โดยตัวอย่างที่ใช้ 80 ตัวอย่าง และแปลผลขนาดของกอหญ้าแฝกไว้ที่ช่วง 0.2 ถึง 2.2 มิลลิเมตร ในส่วนของการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนได้ใช้ การทดสอบเครื่องหากำลังรับแรงเฉือนขนาดใหญ่ในสนาม (large direct shear test) กล่องทดสอบมีขนาดเท่ากับ 50x50x25 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้นหญ้าแฝกอยู่ที่ 15 เซนติเมตร โดยได้ค่า A_R = สูงสุด 3.31 และต่ำสุด 0.135 เมื่อเทียบจากโคนต้นจนถึงหลายต้น ที่ระยะความลึกสูงสุด 1.5 เมตร และพบว่ากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝก เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 90-12 เปอร์เซ็นต์ ตามความยาวของรากหญ้าแฝกเช่นเดียวกัน

6) Alsheimer & Hughes, (2007) ได้กล่าวถึงการแยกรูปปรับโทนสีขาวดำ (contrast)ให้เหมาะสมด้วยโปรแกรม photoshopCS2 โดยใช้ฟังก์ชั่น grayscale, monochrome, desaturate และ B/W standalone ซึ่งฟังก์ชั่นในแต่ละส่วนนั้นจะมีความใกล้เคียงกันแต่ในส่วนของความชัดเจนและความเข้มของแสงจะแตกต่างกันเนื่องจาก พิกเซลล์(pixels) หรือรายละเอียดของกล้องที่สามารถรับได้นั้นแตกต่างกัน จึงอาจจะทำให้ภาพที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผู้ที่ต้องการจะใช้โปรแกรมว่าต้องการให้รูปภาพที่ต้องการนำมา ปรับสมดุลขาว/ดำ นั้นต้องการให้เป็นไปตามลักษณะที่ต้องการของผู้ใช้

อีกทั้งในส่วนของฟังก์ชั่นแยกสีแล้วควรรับค่า level, white balance ของสีเพื่อเพิ่มความชัดเจนให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะใช้คำสั่ง histogram เพื่อใช้ในการอ่านความละเอียดและปรับค่าต่างๆ ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องการได้

7) Chok & Kaggwa et al, (2004) ได้ศึกษาถึงการทำแบบจำลองของทางลาดดินที่มีการนำพืชมาใช้ผสมผสาน โดยศึกษาถึงผลกระทบทางอุทกวิทยาและทางกลศาสตร์ โดยทางอุทกวิทยาได้ศึกษาถึง การคายน้ำของพืช ซึ่งเป็นไปได้ว่าจะมีผลกระทบอย่างมากสำหรับเกิดการดูดน้ำของพืช (water suction) และอาจมีผลต่อเนื่องไปถึงค่ากำลังรับแรงเฉือน และจะส่งผลกระทบถึงกลไกลทางกลศาสตร์ของทางลาดดิน ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทำแบบจำลองขึ้นมาและได้ลองศึกษาถึงผลกระทบของทางลาดดินดังกล่าวว่ามีผลมากน้อยเพียงใด

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้วิธีไนต์อิลิเม้นต์ (finite element) นำมาทำแบบจำลองขึ้นมาโดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คือ ค่ามุมเสียดทาน (friction angle) = 25 องศา ค่าความเชื่อมแน่นของดิน (cohesive of soil) = 0 ค่าหน่วยจำเพาะของดิน = 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร โดยขนาดของแบบลำลองมาความสูงทั้งหมด 20 เมตร กว้าง 50 เมตร มีทางลาดเทที่ 26.57 และ 25 องศา ตามลำดับ โดยจากผลการศึกษาได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) เท่ากับ 0.95 และเทียบกับวิธี limit equilibrium เท่ากับ 0.93

8) วราธร แก้วแสง (2543) ได้ทำการศึกษาสมบัติของหญ้าแฝกในดินร่วนเหนียว โดยศึกษาถึงกำลังต้านแทนแรงเฉือนของดินในสนามเปรียบกับการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของดินในห้องทดสอบรวมไปถึงหากำลังรับแรงดึงของหญ้าแฝกที่อยู่ในดินร่วนเหนียว และพิจารณาผลกระทบเนื่องจากปัจจัยของรากหญ้าแฝกเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของรากและอายุของการปลูก และศึกษาการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก โดยพจารณาผลระทบเนื่องจากอายุของหญ้าแฝก

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในห้องทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหญ้าแฝกเท่ากับ 10 เซนติเมตร และทำการถ่ายภาพเพื่อสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยอายุของหญ้าแฝกที่ใช้การศึกษาที่อายุการปลูกเท่ากับ 1 2 3 4 5 1และ 6 เดือนตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า ดินที่ใช้ในการทดสอบค่า ความหนาแน่นแห้ง (dry density) เท่ากับ 1.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรเป็นดินชนิด CH และจากการศึกษาหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในสนามพบว่าดินที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วยรากของหญ้าแฝกมีกำลังรับแรงเฉือนน้อยกว่าดินที่มีการเสริมแรงด้วยรากของหญ้าแฝก และสรุปไว้ว่าในการทดสอบภาคสนามเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการทดสอบในห้องทดสอบ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของรากหญ้าแฝกในสนามจะมีค่าน้อยกว่าการทดสอบในห้องทดสอบ

8) พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) ได้ศึกษาการปลูกหญ้าแฝกแบบผสมผสานระหว่างหญ้าแฝกและต้นกระถินเทพา และตั้งสมมติฐานไว้ว่าหญ้าแฝกนั้นน่าจะมีส่วนที่ช่วยในการช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนและแรงดึง โดยระยะเวลาการศึกษาอยู่ที่ 2 ปี โดยในงานวิจัยนี้ พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) ได้ทำการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนขนาดใหญ่ (large direct shear test) และทำการ

ทดสอบหากำลังรับแรงดึง (pull-out test) ตลอดทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝก ผลจากการศึกษาพบว่าการกระจายของรากหญ้าแฝก จากเดิมอยู่ที่ 100 มิลลิเมตรได้เพิ่มเป็น 500 มิลลิเมตร และความยาวเฉลี่ยของรากหญ้าแฝกจากเดิม 5 มิลลิเมตร เป็น 45 มิลลิเมตร จากเริ่มต้น

ในส่วนของการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกในสนาม ขนาดของเครื่องทดสอบหญ้าแฝกอยู่ที่ 0.50x0.50 ตารางเมตร หนา 0.50 เมตร โดยสวมเครื่องมือทดสอบครอบลงไปในหลุมตัวอย่างที่จะทดสอบ และผลจากการทดสอบ ได้ค่าความสัมพันธ์ของ อัตราส่วนของรากต่อพื้นที่สูงสุดเท่ากับ 0.45% โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ A_R= 0.00055B2 + 0.00993B โดย B เป็นระยะการเจริญเติบโตของรากหน่วยเป็นเดือน และค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจาก 27 กิโลปาสกาล เป็น 34 กิโลปาสกาล ในช่วง 2 เดือนถึง 10 เดือน และลดเหลือ 29 กิโลปาสกาล ที่ระยะ 12 เดือนเนื่องจากเข้าสู่ช่วงฤดูฝนทำให้ดินมีความชื้นสูงและเพิ่มขึ้นมาเป็น 48 กิโลปาสกาล ที่เวลา 18 เดือน โดยเพิ่มกำลังคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเฉือนครั้งแรก และตั้งสมมติฐานไว้ว่ารากหญ้าแฝกสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนจากดินเพิ่มขึ้นถึง 1.5 เท่า

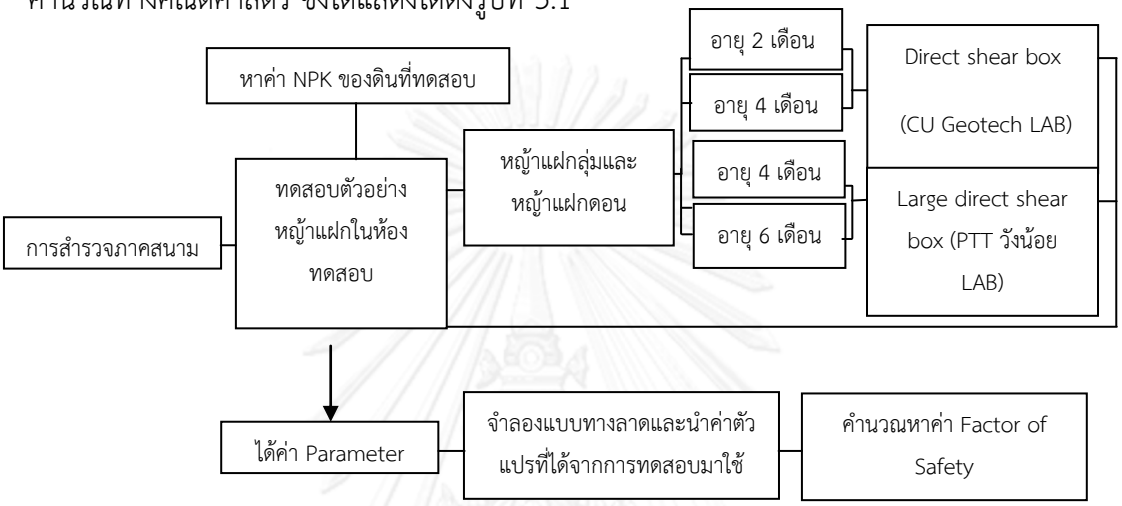
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง

3.1 การออกแบบการทดลอง

ในส่วนของขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบในห้องทดสอบและใช้แบบจำลองคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 การสำรวจภาคสนาม

ในปี พ.ศ. 2556 ได้มีโครงการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกร่วมกับวิธีกลและพืชอื่นเพื่อป้องกันภัยดินถล่ม โดยเป็นความร่วมมือระหว่าง บริษัท ปิโตรเลียมไทย (ปตท.) จำกัด(มหาชน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเนื้อโครงการคือ ต้องการที่จะให้หมู่บ้านในแต่ละพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ ส่งเรื่องเข้ามาเพื่อให้ทางโครงการได้พิจารณาโดยคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่านจะทำการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น และเลือกสุ่มเป็นหมู่บ้านต้นแบบ 14 หมู่บ้านตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยสุ่มพื้นที่สำรวจทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทย โดยโครงการจะเป็นผู้เข้าไปพัฒนาให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ รวมไปถึงเข้าไปเก็บข้อมูลเบื้องต้นของทางลาดดินต่างๆ เช่น ความสูงของลาดดิน อายุของลาดดิน ความยาวของลาดดิน ชนิดของวัสดุที่อยู่ในลาดดิน โดยผู้จัดทำได้มีส่วนร่วมในโครงการนี้ และได้ศึกษาขั้นตอน และวิธีการประยุกต์นำหญ้าแฝกหรือพืชชนิดอื่น มาใช้เพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดินได้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างสรุปรายชื่อผู้ประสานงาน/ติดต่อโครงการ

ที่	ชุมชน	ผู้ประสานงาน	ผู้ประสานงาน ปตท.
1	ชุมชนบ้านน้ำพุน้อย ต.ห้วยโรง อ.ร้องกวาง จ.แพร่	นายณัฐพงษ์ กาสาร ติดต่อ 086 203 7390 นายชาตรี แสนคำลอ ติดต่อ 0843173612	นายลัญจกร สุขสวัสดิ์ ติดต่อ 085 941 5634 E-mail : pondbita@hotmail.com
2	ชุมชนบ้านปางสา ต.จอมจันทร์ อ.เวียงสา จ.น่าน	นายสุมนต์ ตันต่อมแก้ว ติดต่อ 089 956 8205	
3	บ้านห้วยหมี ต.ดงพญา อ.บ่อเกลือ จ.น่าน	นายนิยม ทิศสันขา ติดต่อ 081 796 5887	
4	บ้านน้ำต๊ะ ต.น้ำหมัน อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์	นายยุทธ์ คำป๊อก ติดต่อ 088 421 4218	
5	ชุมชนบ้านแม่ขิ ต.ขี้เหล็ก อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่	ฟ้าหงาย คำอโศก ติดต่อ 089 229 7872	นายชาตรี ทิพย์สิทธิ์ ติดต่อ 085 552 3218 Email : chattree.ts@hotmail.com
6	บ้านสันติคีรี ต.แม่สลองนอก อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย	นายธงชัย บุญเรือง ติดต่อ 081 784 1818	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1 ตัวอย่างของการประเมินพื้นที่

แบบประเมินพื้นที่ตัวอย่างภาคใต้ ณ หมู่บ้านหน้าถ้ำ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

จุดประเมินที่ 1 ริมถนน ลาดดินด้านบน

ลักษณะของลาดดิน : ลาดดินตัด

ความชัน : 35-41 องศา (ใช้ Clinometer)

ระยะตามแนวเอียงประมาณ : 8 เมตร

หันหน้าไปทางทิศ : ตะวันตกเฉียงเหนือ

ลักษณะโครงสร้างเดิม : หินเรียงที่ฐาน

วัสดุที่พบในลาดดิน :เม็ดดินละเอียด 25% ทราย 15% กรวด 30% ใหญ่กว่ากรวด 30% พบเป็น Cobble 80% และ Boulder 20%

กลไกการพิบัติ : -

สาเหตุการพิบัติ : การกัดเซาะจากน้ำผิวดิน (น้ำฝน)

ความลึกของการพิบัติ : -

ประวัติของมวลดินถล่ม : เคยเคลื่อนตัวเมื่อ มีนาคม 2554 เนื่องจากมีฝนตกต่อเนื่อง

แนวโน้มมวลดินถล่ม : ลาดดินยังคงเคลื่อนที่ต่อไป เนื่องจากยังมีปัจจัยกระตุ้น

ลักษณะพืชคลุมดินทั่วไป : ถั่ว

การใช้ประโยชน์ของพื้นที่โดยรอบ : ถนน

โดยข้อมูลต่างๆ จะได้มาจากการสัมภาษณ์จากผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่นั้นๆ การตรวจวัดโดยใช้เทปวัดระยะ การวัดมุมลาดเอียงของทางลาดดินโดยใช้ clinometer (เครื่องมุมลาดเอียง) การประเมินการวิบัติของลาดดินดังตัวอย่างรูปที่ 3.2 โดยเบื้องต้นจะเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินของลาดดินเพื่อนำไปหาค่าสมบัติพื้นฐานของดิน

และหลังจากเก็บข้อมูลก็จะมีการประชุมเพื่อปรึกษาถึงความชัดเจนและแม่นยำของข้อมูลเพื่อนำไปเข้าที่ประชุมเพื่อการประเมินผลอย่างต่อเนื่องโดยจะมีคณาจารย์และผู้เชี่ยวชาญ เข้ามาสำรวจพื้นที่อีกครั้งหนึ่ง และจะใช้ข้อมูลจากการสำรวจครั้งนี้มาช่วยประเมินเพื่อที่จะช่วยให้ประเมินได้เร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น หลังจากนั้นทางผู้เชี่ยวชาญจะแนะนำแนวทางเสนอทางแก้ไขปัญหาทั้งระยะสั้นและระยะยาวแก่ผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ โดยวัตถุระสงค์หลักคือใช้วัสดุที่หาได้จากธรรมชาติหรือนำวัสดุที่เหลือใช้นำมาทำ โดยทางโครงการจะมีงบประมาณมอบให้แต่ละหมู่บ้านเพื่อนำไปพัฒนา โดยหลังจากผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ ได้นำเงินทุนโครงการไปพัฒนา ทางผู้ติดตามจะเข้ามาตรวจสอบและประเมินผล และมอบเงินช่วยเหลืออีกจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปต่อยอดพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 3.2 ลักษณะของทางลาดดินที่เกิดจากการวิบัติแบบเฉือน ที่ชุมชนบ้านน้ำพุน้อย อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่

3.3 การเตรียมตัวอย่างหญ้าแฝก

ในขั้นตอนแรกเตรียมตัวอย่างของหญ้าแฝก นำมาเพาะเลี้ยงกล้าในกระบะ ขนาด 64x52x72 เซนติเมตร หลักจากเพาะตัวอย่างกล้าหญ้าแฝกจนโตได้ขนาดแล้วจึงแบ่งนำมาเพาะไว้ในท่อพลาสติก (PVC) ขนาด 6 นิ้ว และแบ่งอีกส่วนไว้เพื่อนำไปทดสอบ large direct shear หลังจากเลี้ยงพืชตัวอย่างจนได้เวลาที่ต้องการแล้วนำตัวอย่างไปทดสอบในห้องทดสอบ อีกส่วนหนึ่งนำไปทดสอบในสนามเพื่อดูพฤติกรรมจริงของพืชตัวอย่าง จากนั้นนำค่าที่ได้ มาเขียนเปรียบเทียบและกำลังรับแรงเฉือนของดิน

3.4 การเพาะหน่อหญ้าแฝก

3.4.1 กล้าหญ้าแฝกในถุงพลาสติก

กล้าหญ้าแฝกที่ได้จากกล้าที่พันธุ์แข็งแรงซึ่งได้จากแปลงขยายพันธุ์ขนาดใหญ่ หรือแปลงยกร่องหรือแม่พันธุ์ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ นำมาขยายพันธุ์ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ นำมาขยายพันธุ์ในถุงพลาสติกขนาด 2x6 นิ้ว การปลูกหญ้าแฝกที่ได้จากการขยายพันธุ์ในขนาดเล็กนี้จะช่วยให้หญ้าแฝกมีโอกาสรอดตายสูง มีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอ

การเตรียมหน่อโดยใช้หน่อพันธุ์อายุตั้งแต่ 4 เดือนขึ้นไป เตรียมการโดยตัดใบในกอแม่พันธุ์ให้สูงขึ้นจากดิน 10 เซนติเมตร ควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 ให้น้ำโดยที่ยังไม่ต้องขุดกอขึ้นมาและปล่อยให้หน่ออ่อน หรือใบแตกใหม่ขึ้นมาเป็นเวลา 15 วัน แล้วจึงขุดแยกกอและแยกเป็นหน่อเดี่ยวๆ ตัดยอดให้สั้นเหลือความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร และตัดรากให้สั้นที่สุดซึ่งจะทำให้ได้หน่อหญ้าแฝกที่แข็งแรง

สำหรับวัสดุเพาะชำหรือดินปลูก ควรมีการระบายน้ำที่ดี ซึ่งอาจใช้ส่วนผสมระหว่างดินร่วน หรือทราย ต่อขุยมะพร้าว ต่อปุ๋ยหมัก เป็นสัดส่วน 3:1:1 หรือดินร่วน และขี้เถ้าแกลบ ต่อปุ๋ยหมัก เป็นสัดส่วน 3:1:1 ก็ได้ ควรเพาะชำกล้าภายใต้โรงเรือนพรางแสงเป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นให้กล้าได้รับแสงแดดเต็มที่ และใช้น้ำหมักชีวภาพ ฉีดพ่น ควรรักษาความชุ่มชื้นของดินปลูกให้สม่ำเสมอ

สำหรับหญ้าแฝกที่เพาะชำลงในถุงขนาดเล็กเมื่อกล้าอายุ 45 วัน ขึ้นไป จนถึง 60 วัน ทำให้ตัวอย่างพร้อมที่จะนำไปปลูกได้ ซึ่งจะแตกหน่อ 3 ถึง 5 หน่อ ก่อนนำไปปลูก 3 วัน ควรลดการให้น้ำลง และดึงถุงขึ้นมาเพื่อให้กล้าแฝกปรับสภาพต้นก่อน

การปลูกหญ้าแฝกด้วยกล้าถุงก็จำเป็นต้องรดน้ำต่อไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าหญ้าแฝกจะตั้งตัวได้โดยทั่วไปประมาณ 15 วัน หรือช่วงที่มีฝนตกติดต่อกัน 2 สัปดาห์ เมื่อหญ้าแฝกตั้งตัวได้ก็จะมีการปรับตัวเข้ากับสภาพดินต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 การทดสอบหาค่าธาตุอาหารในมวลดิน

การทดสอบหาค่าธาตุอาหารในมวลดิน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า NPK test (ได้ทำการทดสอบที่ภาควิชาปฐพี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) เป็นการทดสอบโดยนำตัวอย่างหาค่า มวลธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชว่ามีมากหรือน้อย หรือมีผลกระทอบอย่างไรต่อพืช โดยผลการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหาค่าธาตุอาหารในมวลดิน (NPK test)

Alkaline-Acidity		Organic		Phosphorus		Calcium		Magnesium		Potassium	
pH	Level	%	Level	mg/kg	Level	mg/kg	Level	mg/kg	Level	mg/kg	Level
6.7	Medium	12.13	High	61	High	7,859	High	974	High	1,996	V.High

จากผลการทดสอบพบว่าค่าธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการปลูกพืชนั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปลูกพืชเป็นอย่างมาก

3.6 สมบัติของดินที่ใช้

จากผลการทดสอบ sieve analysis และ atterberg limits เพื่อทำการจำแนกชนิดของดินที่ใช้ในการทดสอบโดยวิธี unified soil classification system พบว่าลักษณะของดินที่ใช้ในการทดสอบ ไม่สามารถทำ atterberg limits และลักษณะของเม็ดดินเป็นดินร่วนคล้ายเม็ดทราย มีน้ำหนักเบา มีส่วนผสมของรากและใบไม้ หรืออีกนัยหนึ่งคือดินเกษตรที่ใช้ในการเพาะปลูก เมื่อจำแนกตามระบบ unified soil classification system พบว่าดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินชนิด Pt ซึ่งพบได้ในชั้นดินด้านบนของลาดดิน (top soil)

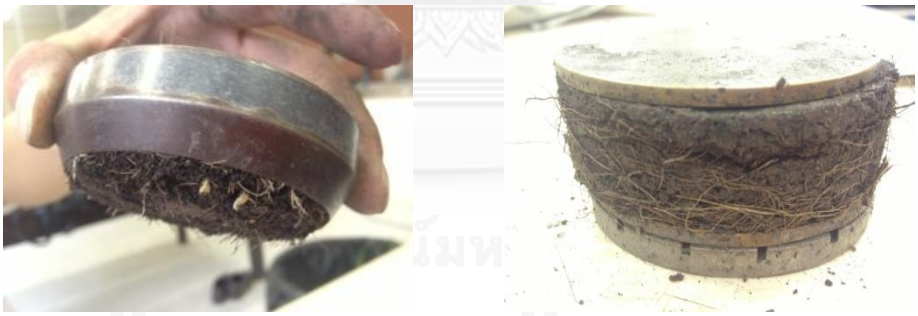
3.7 การทดสอบ direct shear box

ในเบื้องต้นจากงานวิจัยของ (Operstein & Frydman , 2000) ได้ทำการศึกษาหากำลังรับแรงเฉือนของพืชที่มีอยู่ในท้องถิ่น (ประเทศอิสราเอล) ซึ่ง (Operstein & Frydman , 2000) ได้ศึกษาค่าตัวแปรคือ τ (shear stress) และค่า A_R (root area ratio) ซึ่งสมมติฐานของ (Operstein & Frydman , 2000) ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อดินก่อนที่จะปลูกเสริมกำลังด้วยพืชนั้น น่าจะมีกำลังรับแรงเฉือนน้อยกว่าดินที่มีรากของพืชมาช่วยในการเสริมกำลังรับแรงเฉือน และเมื่อค่า shear stress เทียบกับค่า A_R แล้วถ้ายิ่งค่า A_R เพิ่มขึ้น ค่า stress ก็น่าจะเพิ่มขึ้นตามด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาและได้จัดเตรียมตัวอย่างที่จะได้ทดสอบโดยการทดสอบ direct shear (ทดสอบที่ห้องสดสอบวิศวกรรมธรณีเทคนิค,จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย) ขนาดของตัวอย่าง

ทดสอบมีขนาดความสูงเท่ากับ 60 เซนติเมตร และหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบขนาด 15 เซนติเมตร ทำการปลูกไว้ที่เรือนเพาะชำ โดยกำหนดอายุที่ทำการทดสอบคือ 4 เดือน โดยในการทดสอบ direct shear ได้ใช้มาตรฐาน ASTM D 3080 เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ กล่าวคือ ปัจจัยหลักที่ใช้ในการควบคุมการทดสอบคือ ค่าความหนาแน่น (density) และค่าน้ำในมวลดิน (water content) มาใช้ในการควบคุมการทดสอบ โดยลักษณะการเตรียมตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างหญ้าแฝกที่ใช้ในงานทดสอบ



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างดินที่หลังจากบรรจุใส่วงแหวนเพื่อบรรจุลงในกล่องทดสอบและการแสดงดินที่ถูกเสริมกำลังด้วยรากหญ้าแฝกหลังนำไปทดสอบ

หลังจากหญ้าแฝกมีอายุที่ครบตามต้องการแล้วจึงได้ทำการนำตัวอย่างทรงกระบอกดังกล่าวนำมาเตรียมการทดสอบในห้องทดลอง โดยขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างนั้นได้ตัดดินที่อยู่ด้านใต้ของหญ้าแฝกซึ่งมีการกระจายตัวของรากมากที่สุดจากนั้นจึงใช้วงแหวนเหล็ก (ring) กดตัวอย่างลงไป แล้วจึงทำการตัดดินให้มีขนาดเท่ากับกล่องทดสอบและนำไปบรรจุลงในกล่องทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.1 ผลการทดสอบ

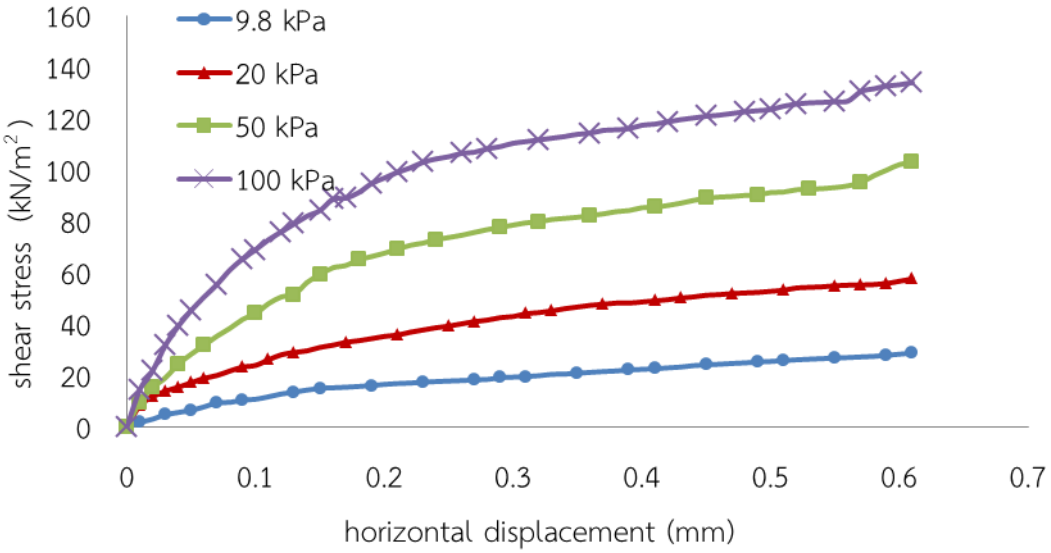
จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนทางตรงแบบปราศจากความเชื่อมแน่น โดยแบ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นหญ้าแฝก 2 สายพันธุ์ คือชนิดดอน และชนิดลุ่ม ที่อายุการปลูก 4 เดือน โดยใช้การควบคุมค่า ปริมาณน้ำในดิน และความหนาแน่น นำมาเปรียบเทียบระหว่างดินที่เสริมแรงด้วยรากพืชกับดินที่ไม่ได้มีการเสริมแรงด้วยรากพืช พบว่าการให้กำลังรับแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากหญ้าแฝกมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยพืชหรือรากของหญ้าแฝกสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ direct shear

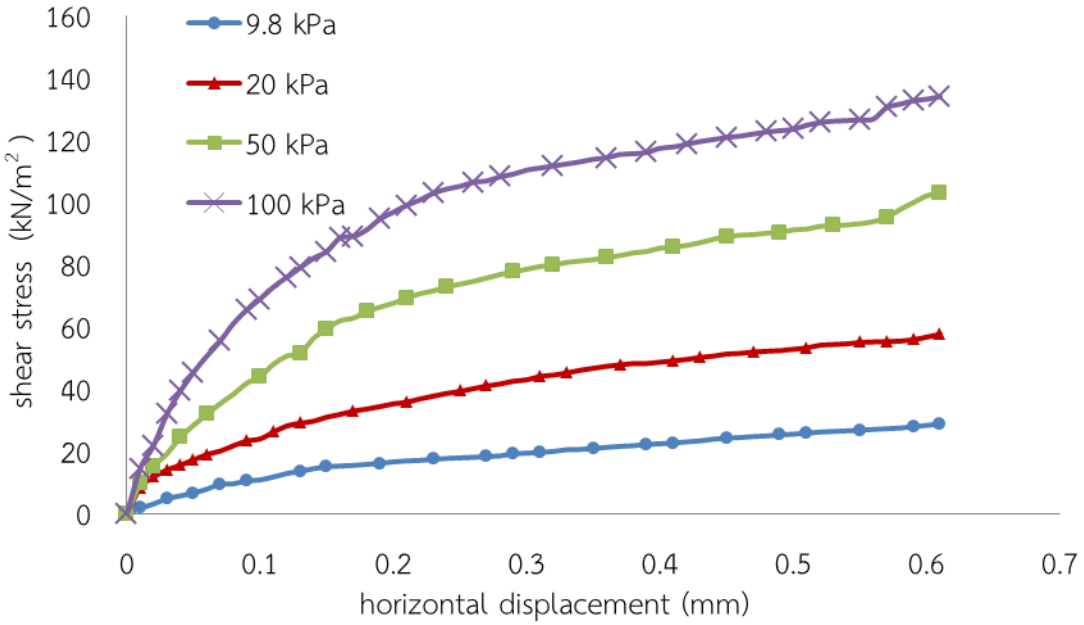
Specimen	Cohesion intercept (kPa)	Angle of internal friction (degree)	Shear strength increase at 1 m depth (%)
Bare soil	8.98	23.56	-
Lowland 4 months	8.13	27.51	2.9
Highland 4 months	9.73	23.98	9.8

หมายเหตุ การควบคุมค่าความหนาแน่นของมวลดินให้มีความใกล้เคียงกันที่โดยกำหนดไว้ที่ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

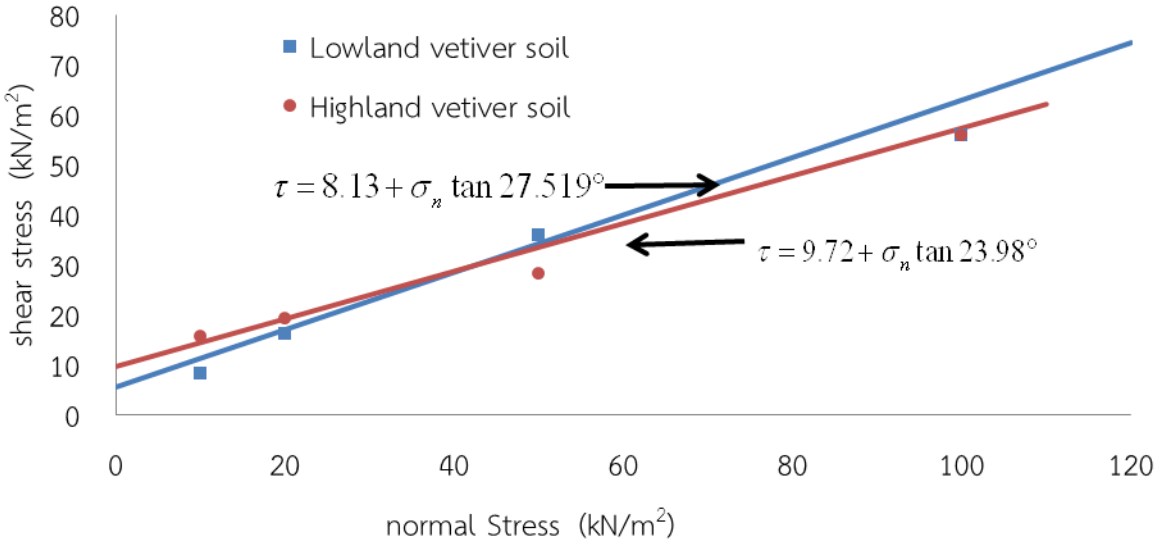
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบ direct shear ของหญ้าแฝกดอน ณ ค่าความเค้นต่างๆ



รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบ direct shear ของดินก่อนเสริมแรงด้วยราก ณ ค่าความเค้นต่างๆ



รูปที่ 3.7 ผลค่าแรงเฉือนสูงสุดเปรียบระหว่างหญ้าแฝกดอน และหญ้าแฝกลุ่ม อายุ 4 เดือน

โดยจากรูปที่ 3.5 3.6 และ 3.7 ได้แสดงผลการทดสอบ direct shear ในระหว่างการทดสอบจะควบคุมค่าความหนาแน่น (density) และค่ามวลน้ำในดิน (water content) ควบคุมโดยการจัดไว้ในสถานที่ในการเตรียมตัวอย่างที่เดียวกัน เตรียมเหมือนกัน สภาพแวดล้อมเดียวกันให้น้ำปริมาณที่เท่ากัน จากนั้นนำมาทดสอบในเครื่องทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน โดยน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบเปลี่ยนเป็นความเค้นตั้งฉากเท่ากับ 9.8 20 50 และ 100 กิโลปาสกาล ตามลำดับ โดยค่าความเค้นตั้งฉากที่ทำการทดสอบ ใช้แนวคิดโดยปกติรากหญ้าแฝกสามารถเจริญเติบโตได้ในอัตราสูงสุดที่ประมาณ 3 ถึง 4 เมตร กรมพัฒนาที่ดิน (2553) ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเปลี่ยนแปลงตามความยาวที่อยู่ในพื้นที่จริงๆ อาจจะมีเพียงแค่ 15 – 20 กิโลปาสกาล แต่เพื่อให้เกิดความแตกต่างเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของกำลังรับแรงเฉือน จึงใช้ความเค้นตั้งฉากดังกล่าว รวมไปถึงข้อจำกัดของเครื่อง direct shear box ในเรื่องของค่าอัตราการเคลื่อนตัวทางแนวราบที่เคลื่อนได้สูงสุดที่ระยะ 6 มิลลิเมตร และใช้อัตราความเร็วการเฉือนอยู่ที่ 1.5 มิลลิเมตร/นาที

จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าดินก่อนที่จะทำการเสริมกำลังด้วยหญ้าแฝก มีค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) และค่าความเชื่อมแน่นของดิน (cohesive of soil) ต่ำกว่าดินที่มีการเสริมกำลังรับหญ้าแฝกจริง เหมือนงานวิจัยของ พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) และ Hengchaovanich & Nilaweera ที่ได้ทำการศึกษาถึงการหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกและมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นหลังจากที่ได้ทำการเสริมกำลังดินด้วยการปลูกพืช ในส่วนพานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) ได้ทำการปลูกพืชแบบผสมผสาน(หญ้าแฝกและกระถินเทพา) อีกทั้งในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ direct shear box เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของ วราธร (2543) ค่าความเค้นสูงสุด ณ ค่าความเค้นตั้งฉากที่เท่ากัน (ประมาณ 9-14

กิโลปาสกาล) พบว่ามีค่าความเค้นที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบในค่าความเค้นตั้งฉากที่มีค่าสูงๆ ได้ เนื่องจากค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ใช้อาจมีค่าไม่เท่ากัน รวมไปถึงค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบ งานของ วราธร (2543) มีค่าที่มีมากกว่างานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากด้วยข้อจำกัดการทดสอบและได้ใช้เครื่องทดสอบ large direct shear ในสนาม ซึ่งมีขนาดใหญ่มากมาทดสอบ ซึ่งเบื้องต้นพบเมื่อว่าทฤษฎีนี้เป็นจริง จากนั้น Hengchaovanich & Nilaweera ได้ทำการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝก โดยใช้เครื่องทดสอบ large direct shear เช่นกันและพบว่ากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นจริง รวมไปถึงกำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกจะเพิ่มขึ้นตามค่า A_R กล่าวคือยิ่งค่า A_R เพิ่มขึ้นกำลังรับแรงเฉือน หรือค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะมีการทดสอบ large direct shear เช่นกัน โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.8 การทดสอบ large direct shear

ในการทดสอบ large direct shear ทางผู้ทดสอบได้ความอนุเคราะห์จาก ดร.ฉัฐวุฒิ จันทร์วานิชสกุล ได้เอื้อเฟื้อให้ใช้เครื่องมือทดสอบที่ศูนย์วิจัยและอบรม ปตท. วังน้อย อ.วังน้อย จ. พระนครศรีอยุธยา

โดยเครื่องทดสอบ large direct shear มีลักษณะดังนี้

1) ใช้สำหรับทดสอบหินตะกอนจากอุตสาหกรรม เศษจากเหมืองถ่านหินวัสดุสังเคราะห์สำหรับงานทางสิ่งแวดล้อม

2) ขนาดกล่องตัวอย่าง 300 มิลลิเมตร

3) แรงเฉือนและแรงอัดตัว สูงสุด 100 กิโลนิวตัน

4) สามารถกำหนดอัตราเร็วได้ ตั้งแต่ 0 จนถึง 9.99999 มิลลิเมตร/นาที

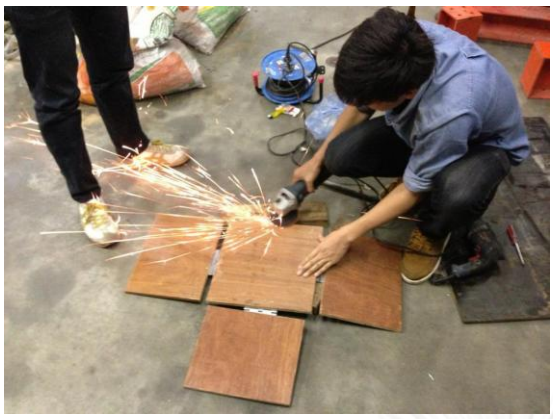
5) ระบบไฮโดรลิกอัตโนมัติเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

6) ระบบทดสอบอัตโนมัติเพื่อหาจุดวิบัติของการอัดตัวคายน้ำ

7) มีการเชื่อมต่อของ กล่องทดสอบแรงเฉือน ตัวแปลงค่าการทดสอบในแนวดิ่งและแนวนอนง่ายต่อการตั้งค่าและแสดงผลการทดสอบอย่างชัดเจน

8) สามารถตั้งค่าความเร็ว (ทั้งตอนเฉือนและถอนแรงเฉือน) ในขณะที่แรงเฉือนทดสอบยังคงเหลืออยู่

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นตัวอย่างหญ้าแฝกที่ปลูกในกล่องไม้สามารถเปิดได้ทุกด้าน เพื่อนำไปบรรจุลงไปกล่องทดสอบตัวอย่างได้ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 การเตรียมกล่องบรรจุตัวอย่างใช้ในการทดสอบ large direct shear

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างหญ้าแฝกและกล่องตัวอย่างนำไปปลูกเพื่อเตรียมทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของอายุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้เตรียมอายุของตัวอย่างไว้ที่อายุ 4 เดือนและ 6 เดือนในและควบคุมการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 3080 เช่นเดียวกับการทดสอบ direct shear box หัวข้อก่อนหน้านี้ โดยทดสอบตัวอย่างจะต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือและฝึกการตั้งค่าแรงดัน (pressure) และก่อนติดตั้งตัวอ่านค่าต่างๆ เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ

3.8.1 การสอบเทียบ (linear calibration)

1) เปิดเครื่องมือทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องมือทดสอบ การสอบเทียบที่ดีเครื่องมือทดสอบควรจะได้ค่าที่เป็นจริงมากที่สุด (ทั้งแรงและการเสียรูป) จากการอ่านค่าในหน้าจออิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11

2) ก่อนเริ่มสอบเทียบ ตรวจดูหน้าจอแสดงค่าของตัวแปลงค่าทดสอบว่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่ในขณะที่ใช้แรงกดลงมาตรวจสอบดูค่าต่ำสุดของเครื่องที่อ่านออกมา (ค่าทศนิยมพยายามให้ใกล้เข้าศูนย์มากที่สุด)

3) เลือกช่องที่จะใช้สอบเทียบกดปุ่ม ENT จากนั้นตำแหน่งของลูกศรจะไปที่ช่องที่เลือกไว้โดยการสอบเทียบนั้นๆ จะมีผลต่อช่องที่เลือกไว้แล้วเท่านั้น

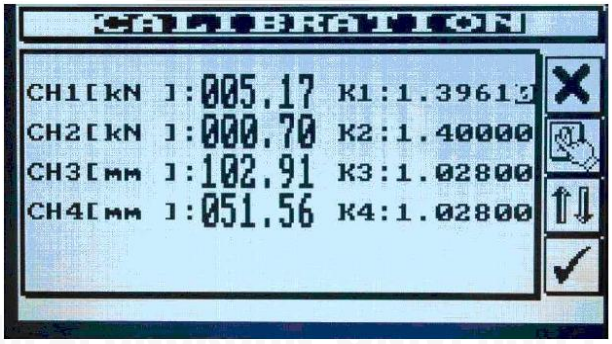
4) กดปุ่ม F2 เพื่อตั้งค่าเป็น 0

5) สำปรับตัวแปลงค่าแรงหรือค่าการเสียรูปต้องใช้กับเครื่องมือที่มีการสอบเทียบมาก่อนแล้วนำผลมาเทียบ (ค่าอ่านจากหน้าจอเทียบกับค่าอ่านจากเครื่องมือทดสอบ)

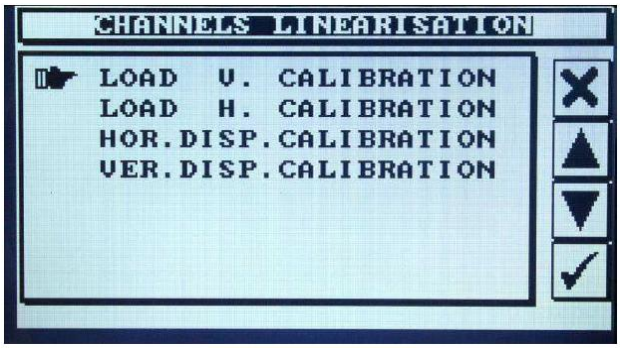
6) คำนวณค่าความต่างระหว่างสองค่าที่อ่านมาถ้าผิดพลาดไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าใช้ได้แต่ถ้าผิดพลาดมากกว่านั้นให้กดปุ่มลูกศรขึ้น เพื่อเพิ่มหรือลดค่าเป็นทศนิยม หรือกดปุ่มซ้ายขวาเพื่อกำหนดค่าในแต่ละหลักดังรูปแสดงในที่ 3.12

7) ถ้าค่า factor เปลี่ยนแล้วกดปุ่ม ENT ยืนยันอีกครั้ง

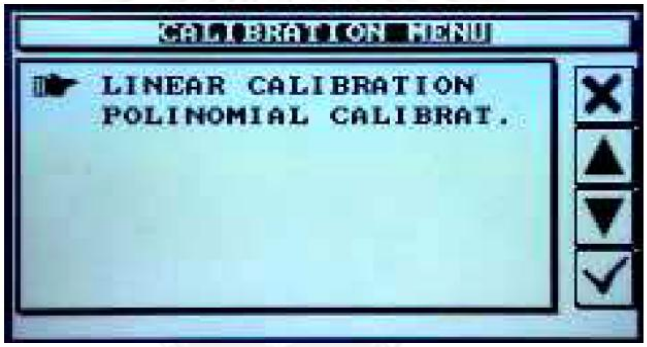
8) ทำการทดสอบเครื่องมือจนค่า error ลดลงซึ่งอยู่ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบแบบ full-scale



รูปที่ 3.10 การเลือกตั้งค่า calibration ของแต่ละค่า



รูปที่ 3.11 การแสดงขั้นตอนเลือกหัวข้อเพื่อเข้าไปทำการสอบเทียบ



รูปที่ 3.12 การแสดงขณะกำลังทำการสอบเทียบ แบบเชิงเส้น (linear calibration)

3.8.2 การทดสอบ

หลังจากตัวอย่างมีอายุตามที่ต้องการจะนำไปทดสอบแล้ว ทางผู้จัดทำจะนำตัวอย่างไปทดสอบที่ ศูนย์วิจัยและอบรม ปตท.วังน้อย อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา โดยแบ่งเป็น หญ้าแฝกดอนและหญ้าแฝกลุ่ม ค่าแรงดัน (pressure) ที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 30 50 และ 75 กิโลปาสกาล ตามลำดับอัตราการเฉือนของตัวอย่างใช้ที่อยู่ที่ 2.5 มิลลิเมตร/นาที

ก่อนทดสอบตัวอย่างผู้จัดทำจะหาค่ามวลน้ำในดิน(water content) และตรวจสอบค่าความหนาแน่น (density) ของตัวอย่างทดสอบก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องทดสอบทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 3080 หลังจากตรวจสอบและบันทึกค่าที่ใช้ก่อนการทดสอบแล้ว จะยกตัวอย่างหญ้าแฝกเพื่อทดสอบ และมีการถ่ายรูปของหน้าตัดตัวอย่างทุกๆ ด้านเพื่อนำไปใช้ในการทำวิเคราะห์รูป (image processing) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14 ในโปรแกรมตัดแต่งภาพ (photoshop CS2) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

รูปที่ 3.13 ชุดเครื่องมือทดสอบ large direct shear และ การแสดงกล่องตัวอย่างทดสอบถ่ายรูปเพื่อเก็บไปเตรียมทำการวิเคราะห์รูป(image processing)

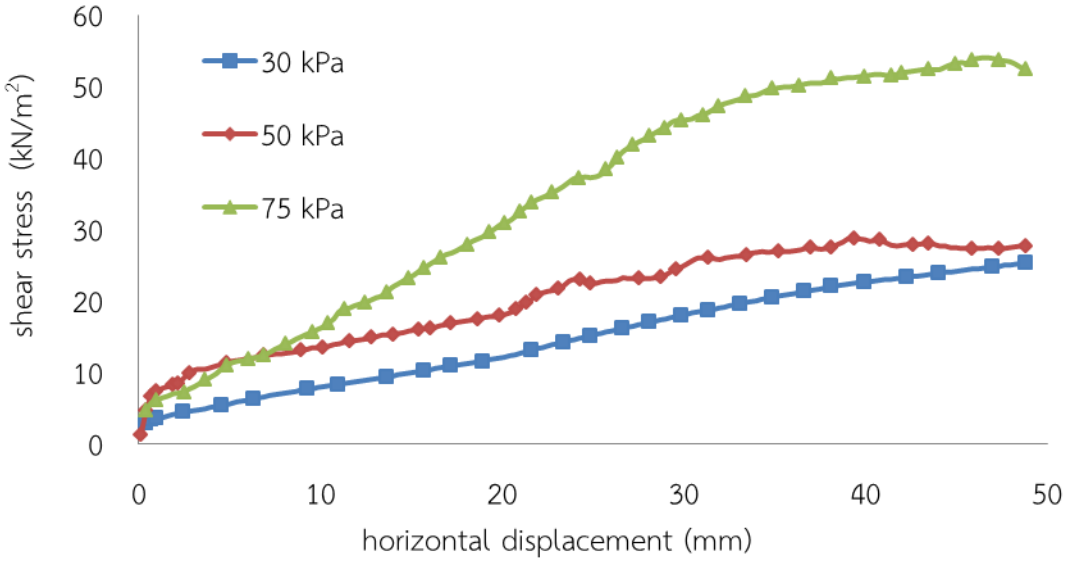
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างเตรียมกดตัวอย่างลงกล่องทดสอบและการแสดงวัดระดับน้ำเพื่อตรวจสอบตัวอย่างให้แรงดันดันบนกดลงบนตัวอย่าง อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

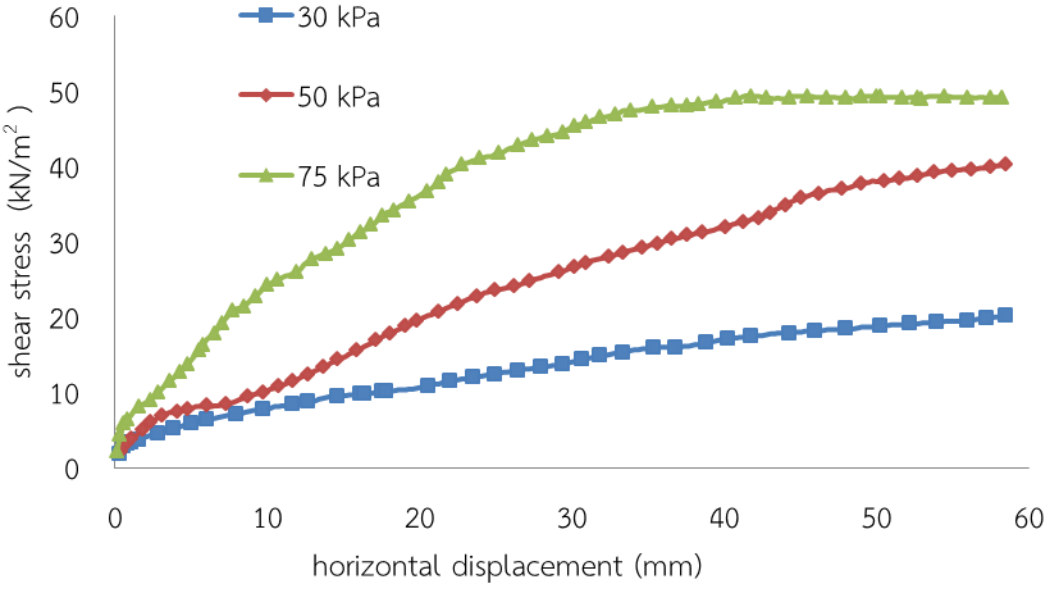
3.8.3 ผลการทดสอบ

ในส่วนผลการทดสอบ large direct shear ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าจากข้อสมมติฐานของ พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) และ Hengchaovanich & Nilaweera ได้ตั้งข้อสงสัยไว้ว่า การเสริมแรงด้วยรากพืชนั้น น่าจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินให้มากขึ้นได้ โดยผู้จัดทำได้ทำการทดสอบและหาค่าตัวแปรต่างๆ นำมาเปรียบเทียบแล้วพบว่า จากการทดสอบ large direct shear ค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) เพิ่มขึ้นจากดินเปล่าหรือดินที่ไม่ได้ทำการเสริมแรง และจากการทดสอบนี้พบอีกว่า ค่า A_R หรือค่า area ratio มีส่วนใน

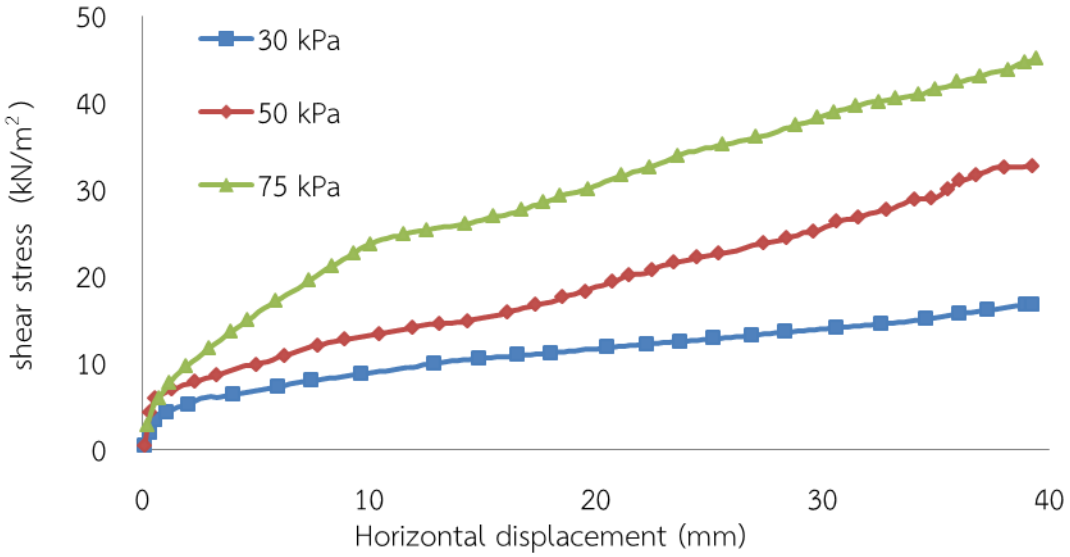
การเพิ่มกำลังรับเฉือนของดินจริง โดยจะแสดงผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.15 ถึง 3.22 ตามลำดับ



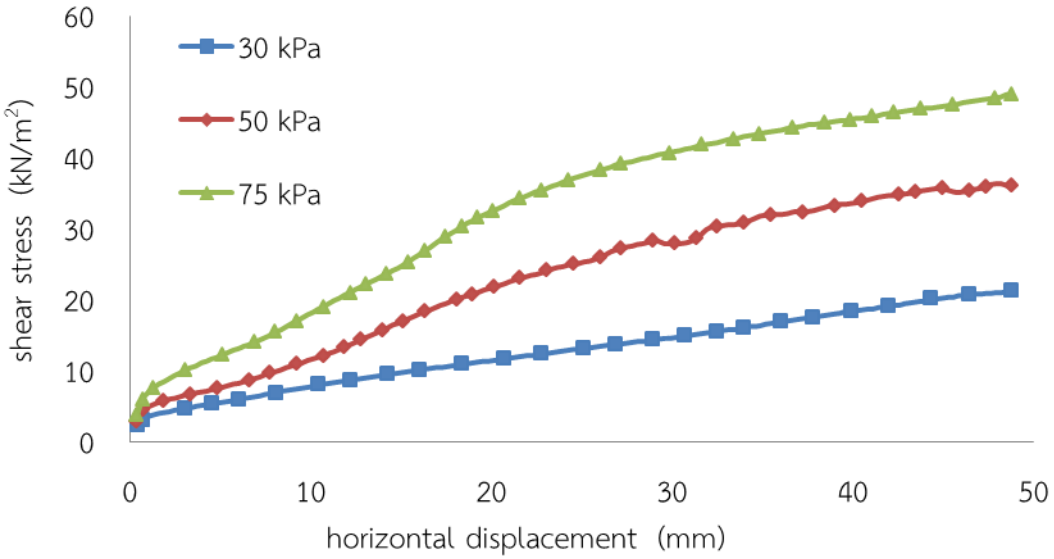
รูปที่ 3.15 ผลการทดสอบหญ้าแฝกดอนอายุ 4 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear



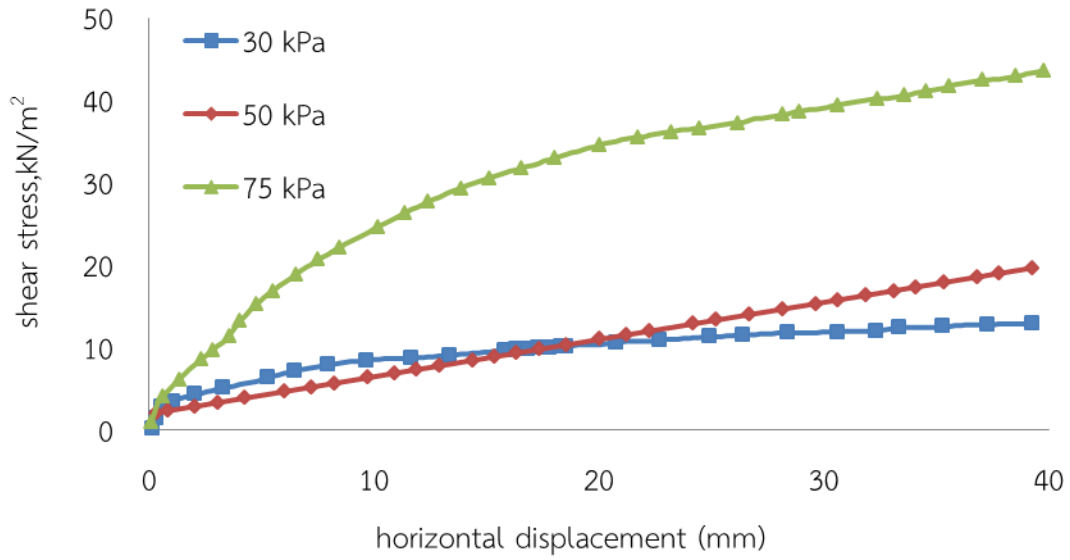
รูปที่ 3.16 ผลการทดสอบหญ้าแฝกดอนอายุ 6 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear



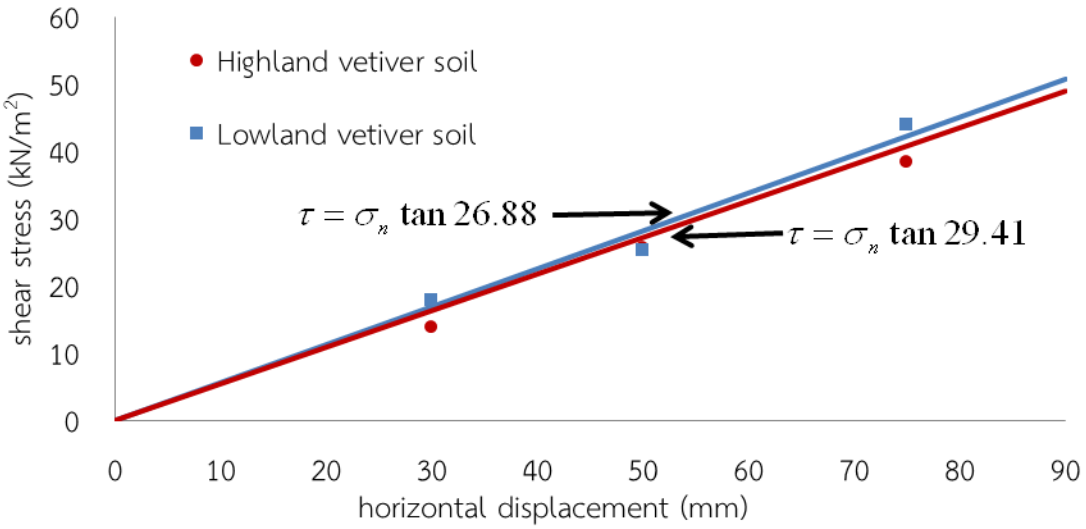
รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบหญ้าแฝกลุ่มอายุ 4 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear



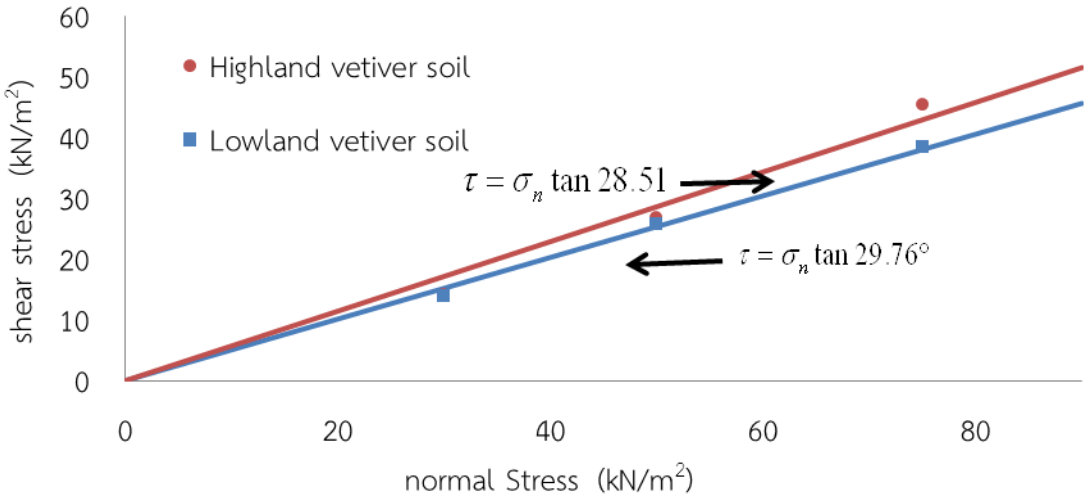
รูปที่ 3.18 ผลการทดสอบหญ้าแฝกลุ่มอายุ 6 เดือนได้จากผลการทดสอบ large direct shear



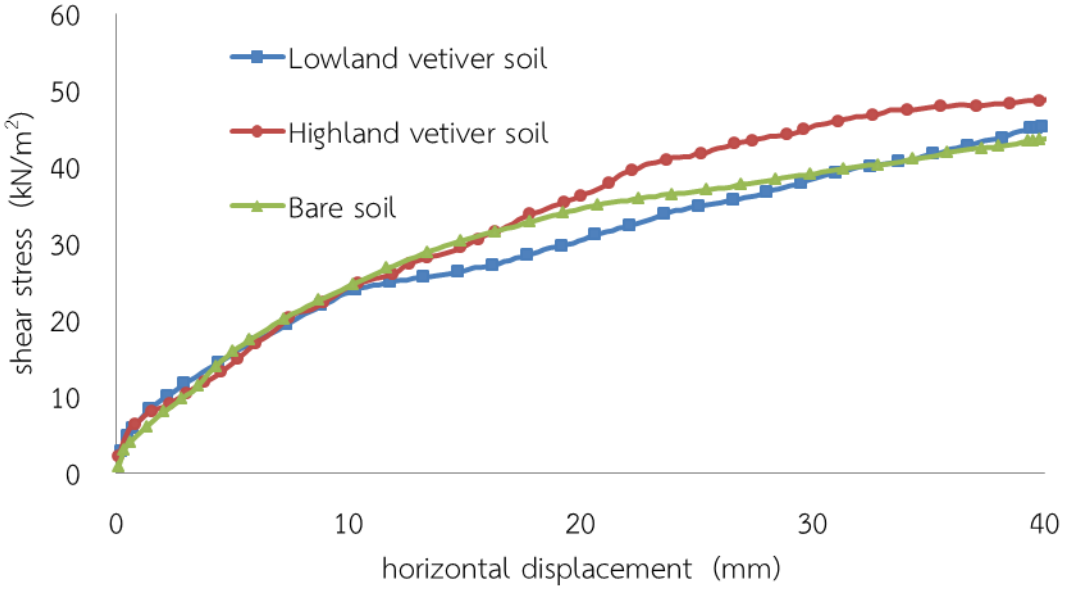
รูปที่ 3.19 ผลการทดสอบดินก่อนเสริมแรงด้วยรากได้จากผลการทดสอบ large direct shear



รูปที่ 3.20 ผลการเปรียบเทียบแรงเฉือนสูงสุดระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน อายุ 4 เดือน



รูปที่ 3.21 ผลการเปรียบเทียบแรงเฉือนสูงสุดระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน อายุ 6 เดือน



รูปที่ 3.22 การเปรียบระหว่างหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน เมื่อเทียบกับดินก่อนเสริมแรงด้วยราก หญ้าแฝก ที่อายุ 6 เดือน และความดันเท่ากับ 75 kPa

ในการทดสอบ large direct shear ความเค้นตั้งฉากที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 30 50 และ 75 กิโลปาสกาล ตามลำดับ โดยเหตุผลในการเลือกค่าความเค้นตั้งฉากในค่าสูงๆ เกิดขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเช่นกัน เนื่องจากตัวเครื่องทดสอบ large direct shear มีค่าความเค้นตั้งฉากเริ่มต้นที่ 30 กิโลปาสกาล ดังนั้นผู้จัดทำจึง ใช้ค่าความเค้นตั้งฉากที่ประมาณ 2 เท่าของความเค้นเริ่มต้น เพื่อให้ข้อมูลเกิดการเปรียบเทียบของงาน และอัตราความเร็วการเฉือนเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตรต่อนาที โดยอัตราการเคลื่อนตัวทางแนวราบที่เคลื่อนได้สูงสุดที่ระยะ 6 เซนติเมตร

จากผลการทดสอบ large direct shear จากการเรียบเทียบในรูปที่ 3.22 พบว่ากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกมีการเพิ่มขึ้นเพียงแต่อาจจะไม่มากพอ แต่สามารถบอกได้ว่าเพิ่มขึ้นไปจากดินเดิมที่ไม่ได้มีการเสริมกำลังของรากหญ้าแฝกโดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปผลการทดสอบของการทดสอบ large direct shear

Specimen	Water content (%)	Bulk density (kg/m^3)	Angle of internal friction (degree)
Bare soil	20.85	1030	23.56
Lowland 4 months	23.97	1101	26.88
Lowland 6 months	25.49	1110	28.51
Highland 4 months	24.43	1073	29.41
Highland 6 months	24.86	1103	29.78

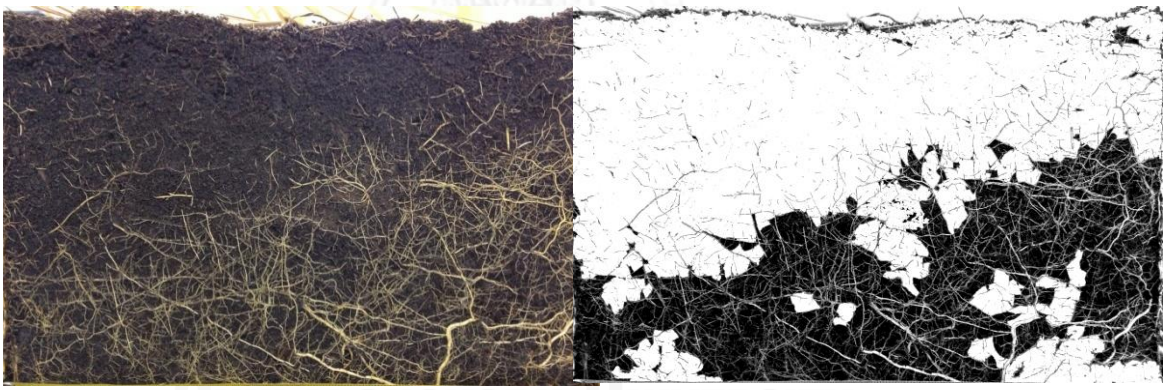
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการนำผลการทดสอบไปหาค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) พบว่าหลังจากที่อายุของหญ้าแฝกเพิ่มมากขึ้นพบว่าค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งในส่วนนี้เป็นไปตามสมมติฐานของ พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) และ Hengchaovanich & Nilaweera ที่กล่าวไว้ว่าหญ้าแฝกน่าจะมีส่วนที่ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกจริง

3.9 การวิเคราะห์รูป (image processing)

การวิเคราะห์รูป (image processing) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรAR หรืออัตราส่วนของพื้นรากต่อพื้นที่ทั้งหมด

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้จัดทำได้ศึกษาการปรับแสงจาก Alsheimer & Hughes (2007) โดย Alsheimer & Hughes (2007) ได้กล่าวถึงผลกระทบจากการตั้งค่าแสงและตัวแปรต่างๆ ที่จะทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัด โดยใช้โปรแกรม photoshop CS2 ซึ่งในตัวโปรแกรมจะมีฟังก์ชั่นตัวหนึ่งมีชื่อว่า histogram ซึ่งฟังก์ชั่นตัวนี้สามารถอ่านค่าความละเอียดของรูป (pixel) ของรูปได้ ซึ่งในกระบวนการวิเคราะห์รูปออกมาให้ได้ค่า A_R นั้น ขั้นตอนแรกคือการปรับแสง ให้ได้ความละเอียดที่ต้องการ จากนั้นเปิดใช้ฟังก์ชั่น histogram ขึ้นมา ใช้คำสั่ง magic ward เพื่อการเลือกพื้นที่ที่ต้องการจะหาค่าความละเอียด (pixel) ในเบื้องต้นบันทึกค่าความละเอียด (pixel) ของพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่างจากนั้นบันทึกค่าไว้ หลังจากนั้นใช้คำสั่ง magic ward อีกครั้งแล้วเลือกกดเฉพาะมวลดิน แล้วกดลบออกให้เหลือเพียงพื้นที่ของราก หลังจากลบรายละเอียดของดินให้เหลือแต่รากแล้ว กดคำสั่ง magic ward และฟังก์ชั่น histogram อีกครั้งเพื่อให้โปรแกรมคำนวณรายละเอียดใหม่ โดยในครั้งนี้จะเป็นความละเอียดของรากหญ้า จากนั้นหารด้วยพื้นที่ทั้งหมด และคูณเป็น เปอร์เซ็นต์ออกมาจะได้เป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่ของราก ดังแสดงในรูปที่ 3.23



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.23 พื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกก่อนนำมาวิเคราะห์รูปภาพ (image processing) ด้วยโปรแกรม photoshop CS2 และ การแสดงพื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกหลังนำมาทำการวิเคราะห์รูปภาพ (image processing) ด้วยโปรแกรม photoshop CS2

3.9.1 ผลการวิเคราะห์

Hengchaovanich & Nilaweera ได้แสดงความเห็นไว้ว่า รากหญ้าแฝกมีความเป็นไปได้ที่จะมีค่า A_R อยู่ในช่วง 3.31 ถึง 0.135 ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้พบว่าค่า A_R ที่ได้จากรากหญ้าแฝกมีค่ามากที่สุดคือหญ้าแฝกดอน 6 เดือน มีค่า A_R เท่ากับ 4.56 และมีค่าน้อยที่สุดคือ หญ้าแฝกลุ่ม มีค่า A_R เท่ากับ 1.52 ทั้งนี้เมื่อนำผลจากการศึกษาพบว่า ค่า A_R มีผลต่อค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) เช่นกัน กล่าวคือยิ่งค่า A_R มีค่ามาก ค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) จะมีค่าเพิ่มตาม โดยสามารถสรุปค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปค่าผลการทดสอบ large direct shear และการวิเคราะห์รูป (image processing)

Specimen	Water content (%)	Bulk density (kg/m^3)	Angle of internal friction (degree)	Root area ratio (%)
Bare soil	20.85	1030	23.56	0
Lowland 4 months	23.97	1101	26.88	1.52
Lowland 6 months	25.49	1110	28.51	3.36
Highland 4 months	24.43	1073	29.41	4.17
Highland 6 months	24.86	1103	29.78	4.56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.10 การสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝกอิสระ

การสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝกอิสระ(free range growth of vetiver grass root) ผู้จัดทำได้ทำการบ่มเพาะตัวอย่างหญ้าแฝกซึ่งเป็น หญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน ได้ทำการจดบันทึกค่าอัตราความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของรากหญ้าแฝกมัดรวม โดยจะจดบันทึกและสังเกตการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอน ที่อายุ 2 4 5 และ 6 เดือน ใช้การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics) ซึ่งเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แต่จะใช้น้ำ อากาศและปุ๋ยชนิดน้ำมาเป็นปัจจัยที่ช่วยในการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกแทน ซึ่งการปลูกด้วยวิธีดังกล่าว สามารถช่วยให้

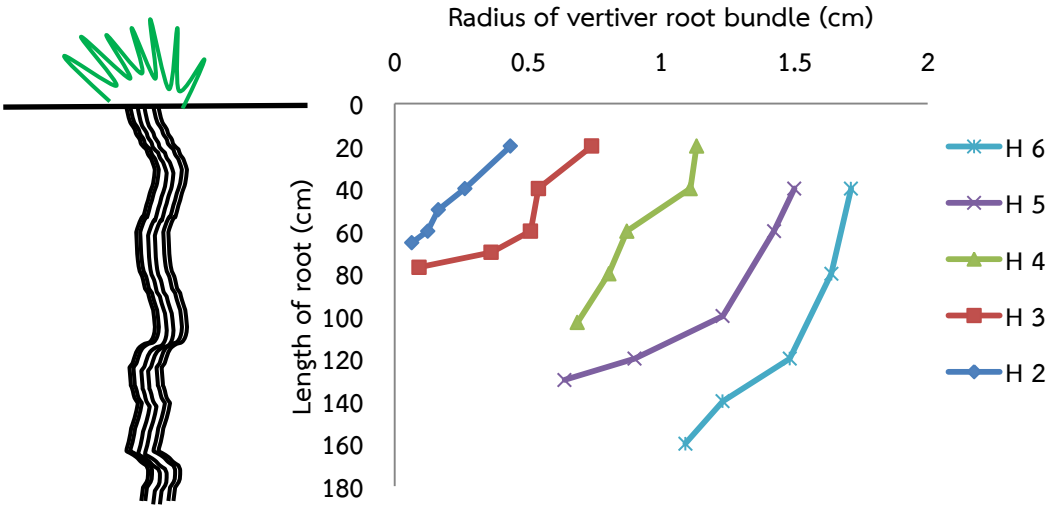
สังเกตถึงอัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกได้ดีกว่าการปลูกในดินหรือในพื้นที่จริง เนื่องจากทำได้ง่ายและประหยัดกว่าวิธีอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.24 การเตรียมตัวอย่างหญ้าแฝกเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

3.10.1 ผลการศึกษา

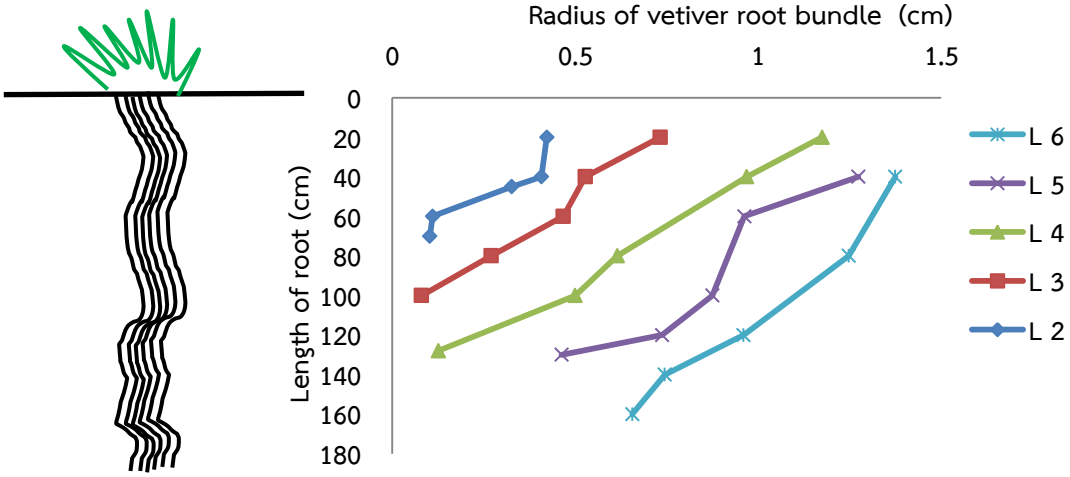
จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกพบว่า ในช่วง 3 เดือนแรกหญ้าแฝกมีอัตราการเจริญเติบที่รวดเร็ว และมีการกระจายของรากเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงช่วง 4-6 เดือนจะพบว่ารากหญ้าแฝกเริ่มมีอัตราความยาวของรากที่น้อยลงโดยหญ้าแฝกดอนมีอัตราความยาวเท่ากับ 28.1 เซนติเมตร/เดือน และหญ้าแฝกลุ่มมีอัตราความยาวเท่ากับ 30.1 เซนติเมตรต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับ วราธร (2543) พบว่ารากหญ้าแฝกในงานวิจัยชิ้นนี้มีอัตราความยาวเฉลี่ยสูงสุดของรากหญ้าแฝกที่มากกว่า 54 เซนติเมตร อาจเพราะเรื่องจากวิธีการเพาะตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นการปลูกที่รับธาตุอาหารในน้ำสู่รากพืชโดยตรง แต่สิ่งที่เข้ามาทดแทนคือการกระจายตัวของรากหรือกล่าวคือเมื่อวัดหาขนาดรัศมีของกลุ่มรากหญ้าแฝกตลอดความยาว ดังแสดงในรูปที่ 3.25 รูปที่ 3.26 รูปที่ 3.27 รูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29 ตามลำดับ ซึ่งหลังจากได้ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ผู้จัดทำได้นำความยาวของรากหญ้าแฝกมาใช้ในการอ้างอิงในส่วนของการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างของหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอนที่อายุ 3 เดือน

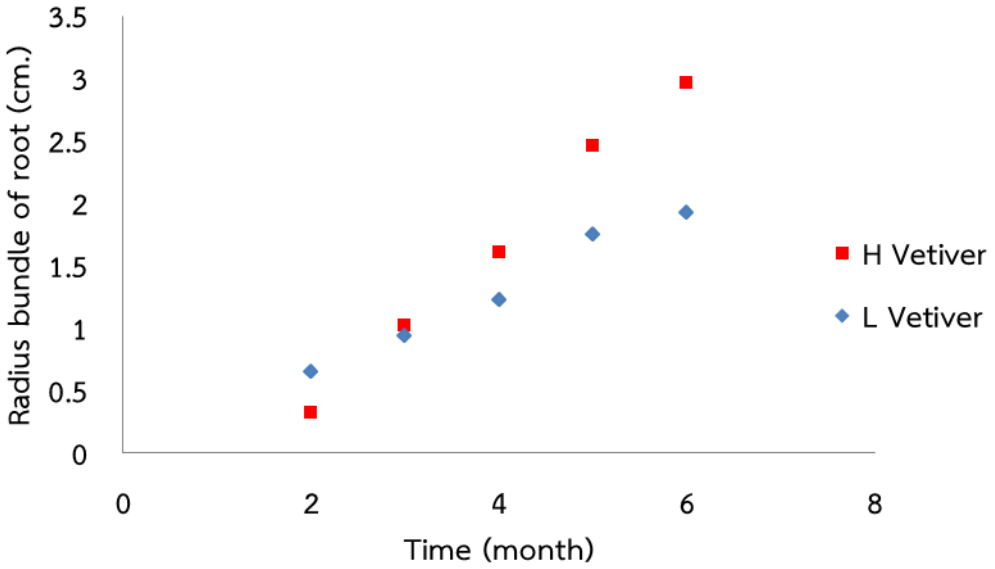


CHULALONGKORN UNIVERSITY

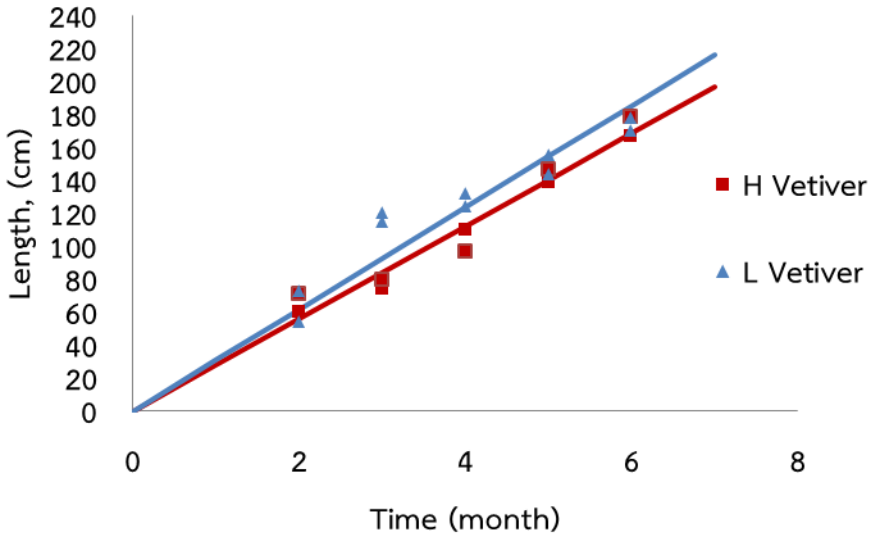
รูปที่ 3.26 อัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกดอนที่อายุ 2 ถึง 6 เดือน



รูปที่ 3.27 อัตราการเจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกดอนที่อายุ 2 ถึง 6 เดือน



รูปที่ 3.28 กลุ่มรัศมีของรากหญ้าแฝกมัดรวมเฉลี่ย เปรียบเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.29 อัตราความยาวของหญ้าแฝกดอน และแฝกลุ่มเมื่อเทียบกับเวลา

เมื่อกล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัยพบว่าเมื่อเสร็จสิ้นทำการสำรวจภาคสนามสำหรับ ศึกษาถึงข้อมูล สายพันธุ์ตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวอย่าง ลักษณะขั้นตอนในการใช้งานจริง ฯลฯ จึงทำให้ต่อเนื่องมาถึง การสังเกตการณ์เจริญเติบโตของรากหญ้าแฝกโดยอิสระ ควบคู่กับการเตรียมตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของหญ้าแฝกเชิงเดี่ยว และเชิงกลุ่ม โดยใช้เครื่อง direct shear box และ เครื่อง large direct shear อีกทั้งในระหว่างการทำ large direct shear มีการศึกษาถึงวิธีการหาค่าอัตราส่วนตัวอย่างต่อพื้นที่ด้วยการทำวิเคราะห์รูปภาพ ด้วยโปรแกรม photoshop เพื่อนำผลการทดสอบใช้ในการเปรียบระหว่าง พานิชย์ วุฒิพฤกษ์และคณะ (2542) และ Hengchaovanich & Nilaweera และงานวิจัยของผู้จัดทำ หลังจากได้ค่าตัวแปรต่างๆ เช่นค่า c และ friction angle ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ป้อนค่าลงในโปรแกรม slope/w ตามโมเดลของ Mohr-Coulomb จากนั้นจึงคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยรวมไปถึงใช้ดินในงานวิจัย ของ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างดินที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ (topsoil) และดิน ในส่วนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

การวิเคราะห์โปรแกรม

4.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพดินด้วยโปรแกรม Geoslope (slope/w)

โปรแกรม slope/w หรือ geoslope เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน โดยจะคำนวณออกเป็นค่า F.S.(factor of safety) หรือค่าอัตราส่วนความปลอดภัย โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำค่าตัวแปรที่ได้จากการทดสอบจากบทอื่นๆ เข้ามาป้อนค่าเพื่อนำไปทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยออกมาเพื่อตรวจสอบว่า รากหญ้าแฝกนั้นมีส่วนช่วยในการทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้นหรือไม่ อย่างไร

4.2 แบบจำลองการวิเคราะห์

ในส่วนของการวิเคราะห์ ค่าตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบไม่สามารถนำค่าที่ได้จากผลการทดสอบของ วราธร (2543) มาใช้ในการคำนวณแฟกเตอร์ความปลอดภัยได้เพื่อเปรียบเทียบได้ เนื่องจากการทดสอบไม่สามารถ หาค่า c และค่ามุมเสียดทายถายใน ได้ ดังนั้นแบบจำลองการเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้จัดทำได้นำแบบจำลองของ Chok & Kaggwa et al (2004) มีขนาดกว้าง 50 เมตร สูง 20 เมตร และมีมุมลาดเอียงภายใน 26.6 องศา อัตราส่วนมุมลาดเอียงเท่ากับ 2:1 โดยในส่วนการคำนวณแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ ผู้จัดทำได้ทำแบบจำลองในเฉพาะกรณีของหญ้าแฝกดอนซึ่งพบว่ามีการให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดและค่าตัวแปรต่างๆ โดยแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่บันทึกลงในโปรแกรม slope/w

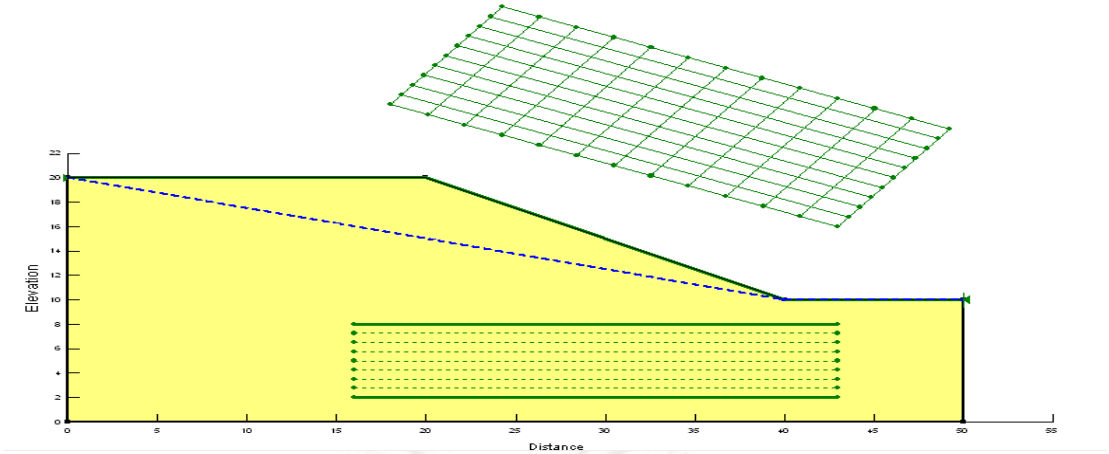
Parameters				
ชนิดของตัวอย่างทดสอบ	**ค่า C' (kPa)**	**ค่า Friction angle (องศา)**	**ค่า Dry Unit weight (kN/m^3)**	**ค่า Wet Unit weight (kN/m^3)**
ดินเปล่า	9	22.2	17.5	21
หญ้าแฝกดอน 4 เดือน	9.7	24	17.5	21
หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน	8.1	27.5	17.5	21

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของ ลาดดิน

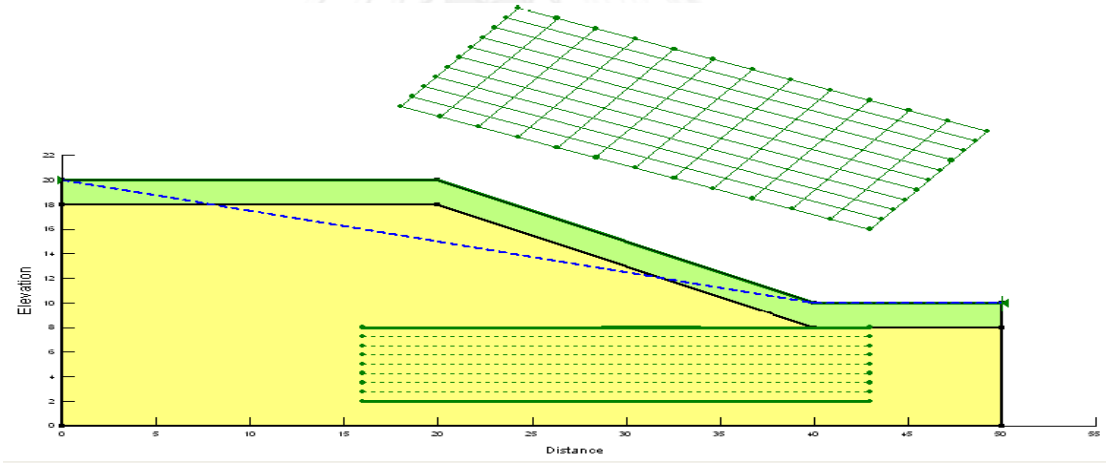
Slope Details	
อัตราส่วน	2:1
ความสูงทั้งหมด (เมตร)	20
ความกว้างของ Slope (เมตร)	50
มุมภายในของ Slope (เมตร)	26.57
Grid	4 : 5
Radius	5

โดยในการคำนวณจะใช้วิธี grid&radius มาใช้ในการคำนวณ ใช้แบบจำลอง Mohr-Coulomb มาใช้ในการป้อนค่าตัวแปรต่างๆ และวิธีการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยผู้จัดทำใช้วิธี Morgenstern & Price หรือ (m-p) วิธี Simplify Bishop method หรือ Bishop และ Janbu รวมทั้งหมด 3 วิธีหลังจากคำนวณจะนำค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้มาเปรียบเทียบกันว่าใกล้เคียงหรือไม่

ในกรณีของการวิเคราะห์ผู้จัดทำได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 8 กรณี กล่าวคือ ในขณะที่ค่าน้ำใต้ดินไม่มี (เท่ากับ 0 เมตร) ในขณะที่ค่าน้ำใต้ดินมีเล็กน้อย (เท่ากับ 10 เมตร) ในขณะที่น้ำใต้ดินมีระดับปานกลาง (เท่ากับ 15 เมตร) และในขณะที่น้ำใต้ดินมีระดับสูงมาก (เท่ากับ 20 เมตร) อีกทั้งยังแบ่งการวิเคราะห์แบ่งตามความยาวของรากหญ้าแฝก โดยแบ่งตามความยาวเป็น 0.5 เมตร 1 เมตร โดยแสดงดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

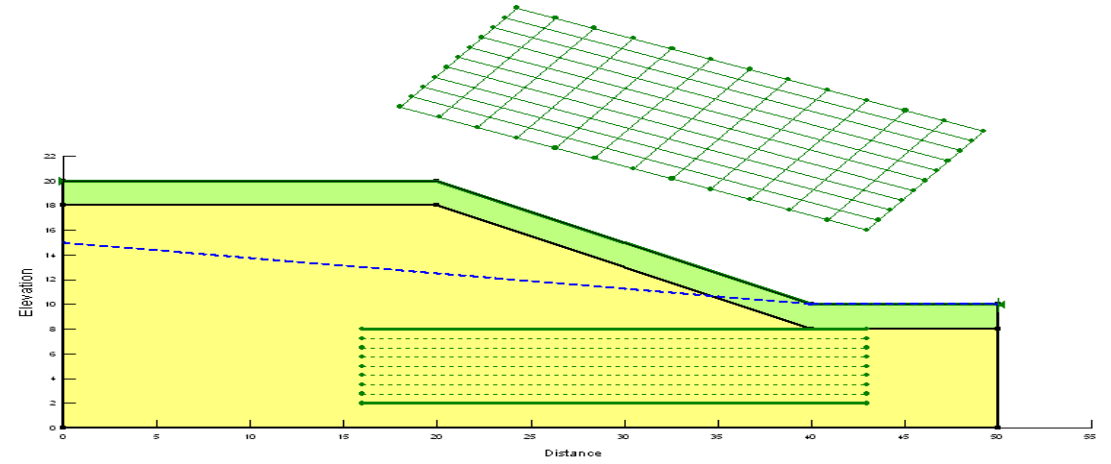


รูปที่ 4.1 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีไม่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก



Chulalongkorn University

รูปที่ 4.2 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก

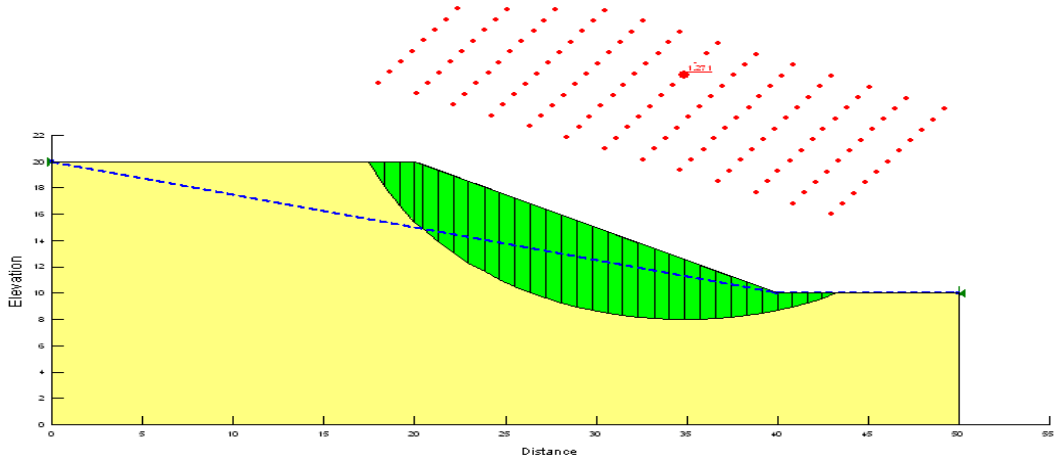


รูปที่ 4.3 รูปแบบการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืชที่ระดับน้ำใต้ดินปานกลาง

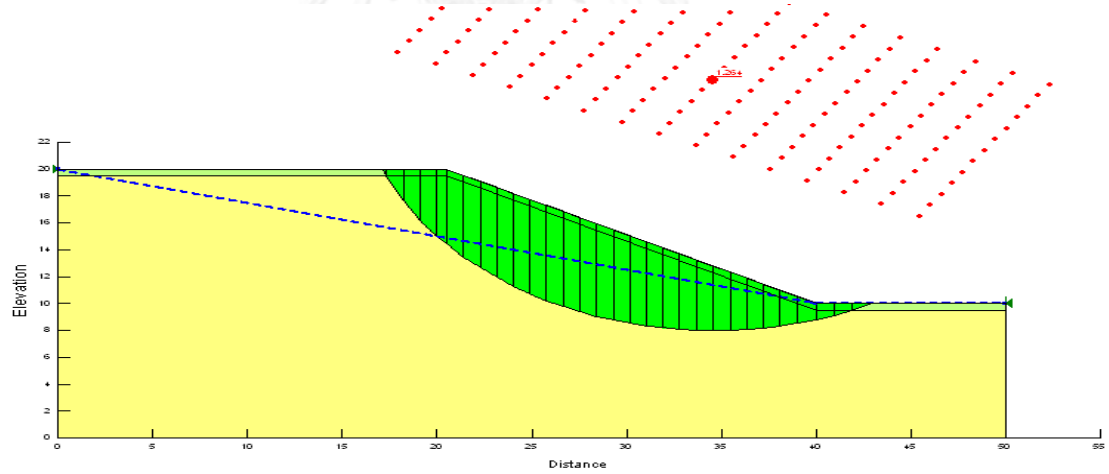
4.3 ผลการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ในช่วงที่หญ้าแฝกมีความยาวเท่ากับ 0.5 เมตร พบว่าหญ้าแฝกยังมีส่วนช่วยในเรื่องเพิ่มกำลังรับหญ้าแฝกน้อย โดยในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) ในกรณีทฤษฎีของ Simplify Bishop method มีการเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ทฤษฎีของ Morgenstern & Price มีการเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และตามทฤษฎีของ และ Janbu มีการเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

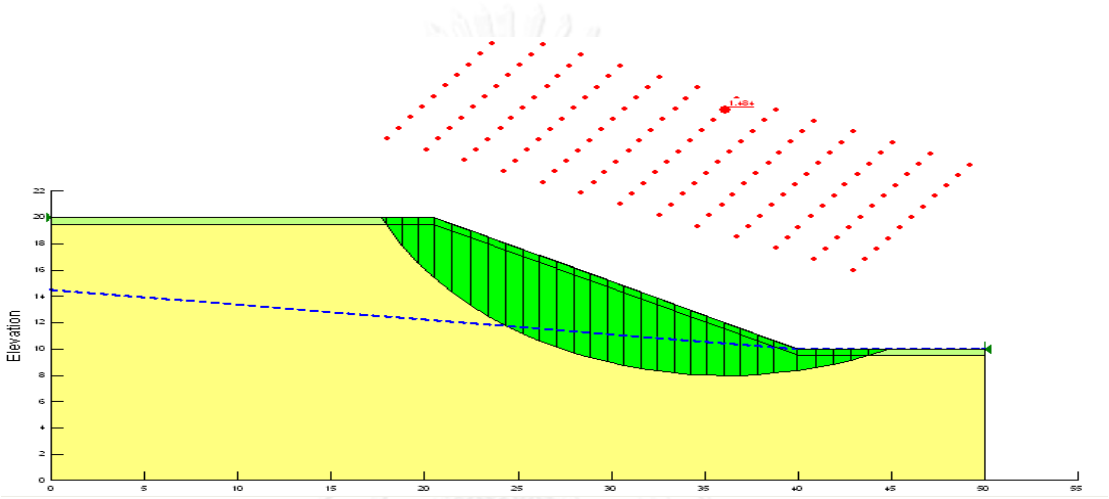


รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีไม่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก

ในกรณีน้ำใต้ดินปานกลาง มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) ในกรณีทฤษฎีของ Simplify Bishop method มีการเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ทฤษฎีของ Morgenstern & Price มีการเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์ และตามทฤษฎีของ และ Janbu's มีการเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับโดยแสดงดังรูปที่ 4.6 และสรุปค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยไว้ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม slope/w ในกรณีที่มีการเสริมแรงของรากพืช ที่ระดับน้ำใต้ดินปานกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยการเสริมกำลังของรากหญ้าแฝกด้วยโปรแกรม slope/w

ชนิด Slope	ความหนาของหญ้าแฝก (เมตร)	ระดับน้ำใต้ดิน (เมตร)	ค่า FS		
			Bishop	Janbu	M-P
ดินเปล่า	-	0	1.269	1.094	1.271
		5	1.412	1.251	1.411
		10	1.497	1.353	1.499
		20	1.598	1.441	1.595
เสริมแรงด้วยหญ้าแฝก	0.5 m	0	1.272	1.095	1.271
		5	1.413	1.251	1.413
		10	1.502	1.358	1.501
		20	1.599	1.444	1.596
	1 m	0	1.279	1.096	1.277
		5	1.419	1.252	1.419
		10	1.507	1.359	1.506
		20	1.607	1.447	1.604

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน พบว่าการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกนั้นสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินให้เพิ่มขึ้นจริงเมื่อเทียบกับดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก

5.1.2 จากการทดสอบ direct shear box พบว่าหญ้าแฝกดอนมีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของดิน (ค่า c และ friction angle) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก และหญ้าแฝกลุ่ม โดยจะเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยประมาณ 5 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 จากการทดสอบ large direct shear พบว่าหญ้าแฝกดอนมีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมกำลังรับแรงเฉือนของดิน (ค่า c และ friction angle) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก และหญ้าแฝกลุ่ม โดยจะเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยประมาณ 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์

5.1.4 จากการสังเกตการณ์อัตราเจริญเติบโตของรากหญ้าโดยอิสระ พบว่าหญ้าแฝกดอนและหญ้าแฝกลุ่ม มีความเป็นไปได้ที่จะยาวได้ถึง 2 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก อาทิเช่น น้ำ ดิน อากาศ ธาตุอาหาร ขนาดของกอเริ่มต้น ฯลฯ

5.1.5 จากผลการวิเคราะห์ลาดดิน ด้วยโปรแกรม slope/w โดยการนำค่าตัวแปรต่างๆ มาป้อนค่าลงในตัวโปรแกรม slope/w พบว่า รากหญ้าแฝกส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) สำหรับการใช้ในทางลาดดินเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทางลาดดินที่ยังไม่ได้เสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝกและทางลาดดินที่มีการเสริมแรงด้วยรากหญ้าแฝก โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (factor of safety) ตามทฤษฎีของ Simplify Bishop method เพิ่มขึ้นที่ประมาณ 0.01 ถึง 1.17 เปอร์เซ็นต์ ตามทฤษฎีของ Morgenstern & Price เพิ่มขึ้นที่ประมาณ 0 ถึง 1.24 เปอร์เซ็นต์ และตามทฤษฎีของ Janbu เพิ่มขึ้นที่ประมาณ 0 ถึง 0.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทางลาดดินมีระดับน้ำใต้ดินที่ปานกลางถึงสูงมากโดยเฉพาะในกรณีที่ระดับสูงและสูงมากที่ควรศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาในห้องทดสอบโดยใช้แบบจำลองของจริง (full scale) เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้น

5.2.2 ศึกษาการผสมผสานของหญ้าแฝกในรูปแบบต่างๆ ประยุกต์ใช้กับพืชเศรษฐกิจที่สามารถนำไปใช้ได้จริง โดยที่หญ้าแฝกไม่ไปรบกวนพืชหลักและสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของทางลาดดินได้

5.2.3 ศึกษาการทำแบบจำลองที่มีความซับซ้อนขึ้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมเพิ่มเติมของรากหญ้าแฝกในกรณีที่ชั้นดินในลาดดินมีหลายระดับ

5.2.4 นำแบบจำลองจริงที่ออกแบบในโปรแกรมวิเคราะห์แล้วนำกลับไปเทียบกับผลการทดสอบในสนาม รวมไปถึงวิเคราะห์ให้สอดคล้องสภาพความเป็นจริงจากนั้นนำผลการทดสอบในสนามที่ได้นำมาเปรียบเทียบกันพร้อมทั้งสังเกตผลกระทบต่างๆ ที่มีแนวโน้มมีความน่าเป็นจะเป็นปัจจัยทำให้ลาดดินทรุดตัวหรือพังทลายทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต่อไป ทั้งนี้อาจจะมีการใช้ค่าใช้จ่ายมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. 27-WF2304 SHEARMATIC 300 Large Shearbox Apparatus, in MANUALE DI ISTRUZIONI INSTRUCTION MANUAL. p. 73-82.
2. Alsheimer, L., and Hughes, B.O., Black and White in Photoshop, in Black and White in Photoshop CS3 and Photoshop Lightroom: Create stunning monochromatic images in Photoshop CS3 2007, Photoshop Lightroom, and beyond. p. 91-139.
3. ASTM D 3080, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions. 1998, American Society for Testing and Materials: ASTM,100 Barr Harbor Drive,PO Box C700,West Conshohocken,PA. p. 5.
4. Braja, M.D. , Advanced Soil Meachanics. 1983: Julienne V. Brown,Brenda Munz Brienza,And CommunicationCrafts Ltd.
5. Bujang, H.B.K. and Kazemian S. , Study of Root Theories in Green Tropical Slope Stability, in Department of Civil Engineering. 2010, University Putra Malaysia UPM, Serdang, Selangor, Malaysia.
6. Chok, Y.H., Kaggwa, W.S., and et. al., Modelling the effects of Vegetation on Stability of Slopes, in 9th australian new zealand conference on geomechanics. 2004: Auckland University,New zealand. p. 391-197.
7. Donald, G.H. and Robin S.B. , Role of Vegetation in the Stability Slopes, in Biotechnical and Soil Bioenineering Slope Stabilization. 1996, John Wiley & Sons. Inc.,1996.
8. Fredlund, D.G., Krahn J. and Pufahl D.E., The Relationship between Limit Equilirium Slope Stability Methods, in Dept. Of Civil Engineering 2011, University Of Saskatchewan: Saskatoon,Satkatchewan , Canada.
9. Fredlund, D.G., Introduction to Unsaturated Soil Mechanics, in Soil Mechanics for Unsaturated Soils. 1993, John Wiley & Sons,Inc.
10. Geo-Slope Manual. 2007, Geo-Slope International Ltd. develops http://www.geo-slope.com/support/geostudio2007/.
11. Gray, D.H. and Sotir, R.B. , Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. 1996: John Wiley & Sons.
12. Greenwood, J.R., Norris, J.E., and Wint, J., Assessing the contribution of vegetation to slope stability, in Faculty of Construction,Computing and Technology. 2004, Nottingham Trent University: United Kingdom.
13. Hengchaovanich, D. and N.S. Nilaweera, An Assessment Of Strength Properties Of Vetiver Grass Roots In Relation To Slope Stailization, in APT Consult Company Limited. Bangkok , Thailand.

14.Large direct shear testing machine.,cited 2012 August . Groups controls.
15.Operstein, V. and Frydman, S., Influence of vegatation on soil strength, in Faculty of Civil Engineering. 2000, Israel Institute Of Technology: Technion,Israel
16.Tien, W.H., Willian, M.P. and Douglas, S.N. ,Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, in Department of Civil Etzgitleering. 1978, The Ohio State University: Columbus,OH .
17.Schmid, T., Altlasten Annual 2007. Vol. 1. 2008, Hessischen Landesamtes Fur Umwelt und Geologie. 206.
18.ฉลอง เทพวิทักษ์กิจ. คู่มือการพัฒนาที่ดินสำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร. 2553. กรมพัฒนาที่ดิน: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
19.วราธร แก้วแสง. คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินร่วนเหนียวเสริมรากหญ้าแฝกดอน กลุ่มพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ สำหรับป้องกันลาดดิน,วิศวกรรมโยธา. 2543, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. p. 148..
20.อภินิติ โชติสังกาส. ชีววิศวกรรมปฐพี เพื่อควบคุมการชะล้างพังทายของลาดและดินถล่ม 2556. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 264 หน้า.
21.กรมป่าไม้ หญ้าแฝก. 2553.
22.พานิชย์ วุฒิพฤกษ์ วรากรณ์ ไม้เรียง และ วิชัย สังวรปทานสกุล. การเพิ่มเสถียรภาพของลาดคันทางสูงชันด้วยระบบรากพืชแบบผสมผสาน, in ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 1998 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้าที่ 15
23.รายงานผลการสำรวจโครงการตัวอย่าง 14 พื้นที่ของ บริษัท ปตท. จำกัด มหาชน 2555.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: บริษัท ปตท. จำกัด มหาชน.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-1 การทดสอบหาค่าถ่วงจำเพาะของดิน

Determination No.		1
1	Temperrature c	25
2	Flask + Water + Soil g	693.78
3	Flask + Water (From Calib.) g	671.3
4	Container No.	S1
5	Dry Soil + Container g	155.78
6	Container g	106.66
7	Dry Soil g	49.12
8	Specific Gravity of Water at t °c	0.9963
9	Specific Gravity of Soil, Gs	1.79
Average Gravity of Soil, Gs		

***ดิน organic

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดสอบ direct shear box

ตารางที่ ข-1 ดินเปล่าหญ้าแฝก

Proving Ring Dial				Shear Force				**T**/A			
Division				kN				kN/m^2			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
4	19	22	0	0.01	0.03	0.03	0.05	1.7	8.3	9.6	14.4
7	27	35	0	0.01	0.04	0.05	0.07	3.1	11.8	15.3	21.8
11	32	44	0	0.02	0.04	0.06	0.10	4.8	14.0	19.2	31.9
13	36	56	0	0.02	0.05	0.08	0.12	5.7	15.5	24.4	39.3
15	40	65	0	0.02	0.05	0.09	0.14	6.5	17.2	28.4	45.4
18	44	73	0	0.02	0.06	0.10	0.16	7.9	19.0	31.9	50.6
22	46	81	0	0.03	0.06	0.11	0.17	9.4	20.1	35.3	55.4
22	50	88	0	0.03	0.07	0.12	0.19	9.6	21.8	38.4	61.1
24	54	96	0	0.03	0.07	0.13	0.21	10.5	23.3	41.9	65.5
25	55	101	0	0.03	0.08	0.14	0.22	10.8	24.0	44.1	69.0
27	60	110	0	0.04	0.08	0.15	0.23	11.8	26.2	48.0	72.9
30	65	116	0	0.04	0.09	0.16	0.24	12.9	28.1	50.6	75.9
31	67	118	0	0.04	0.09	0.16	0.25	13.6	29.0	51.5	79.0
33	68	129	0	0.05	0.09	0.18	0.26	14.4	29.7	56.3	82.0
35	71	136	0	0.05	0.10	0.19	0.26	15.1	31.0	59.4	84.2
35	73	142	0	0.05	0.10	0.19	0.28	15.3	31.9	62.0	88.6
36	76	144	0	0.05	0.10	0.20	0.28	15.5	32.9	62.8	89.0
36	77	149	0	0.05	0.11	0.20	0.29	15.8	33.6	65.0	91.2
37	79	152	0	0.05	0.11	0.21	0.30	16.1	34.4	66.3	94.7
38	81	155	0	0.05	0.11	0.21	0.30	16.6	35.3	67.6	96.9
39	82	159	0	0.05	0.11	0.22	0.31	16.9	35.8	69.2	99.1
39	85	162	0	0.05	0.12	0.22	0.32	17.1	36.9	70.7	100.8
40	87	164	0	0.05	0.12	0.22	0.32	17.5	37.7	71.6	103.0
41	89	167	0	0.06	0.12	0.23	0.33	17.7	38.6	72.9	104.3
41	90	169	0	0.06	0.12	0.23	0.33	17.9	39.3	73.8	105.2
41	92	171	0	0.06	0.13	0.23	0.33	18.1	40.1	74.6	106.5
42	94	174	0	0.06	0.13	0.24	0.34	18.3	41.0	75.7	106.9
43	95	176	0	0.06	0.13	0.24	0.34	18.5	41.6	76.8	108.2
44	98	178	0	0.06	0.13	0.24	0.34	19.2	42.5	77.7	109.1

ตารางที่ ข-1 ดินเปล่าหญ้าแฝก

45	99	180	0	0.06	0.13	0.25	0.35	19.4	43.0	78.6	110.4
45	101	182	0	0.06	0.14	0.25	0.35	19.6	44.1	79.4	111.1
46	102	183	0	0.06	0.14	0.25	0.35	20.0	44.5	79.9	111.7
47	104	185	0	0.06	0.14	0.25	0.35	20.5	45.2	80.7	112.4
47	106	186	0	0.06	0.14	0.25	0.35	20.6	46.0	81.2	113.0
48	107	187	0	0.07	0.15	0.26	0.36	20.9	46.7	81.6	113.9
49	109	189	0	0.07	0.15	0.26	0.36	21.3	47.3	82.3	114.3
50	110	190	0	0.07	0.15	0.26	0.36	21.6	47.8	82.9	115.4
50	111	192	0	0.07	0.15	0.26	0.36	21.8	48.2	83.8	115.6
51	111	193	0	0.07	0.15	0.26	0.36	22.3	48.2	84.2	116.1
51	112	196	0	0.07	0.15	0.27	0.37	22.4	48.7	85.3	117.4
52	113	196	0	0.07	0.15	0.27	0.37	22.7	49.1	85.5	117.8
53	114	198	0	0.07	0.16	0.27	0.37	23.0	49.5	86.2	118.7
54	115	200	0	0.07	0.16	0.27	0.38	23.3	50.2	87.1	119.6
55	116	202	0	0.08	0.16	0.28	0.38	23.9	50.6	88.2	120.2
56	118	204	0	0.08	0.16	0.28	0.38	24.2	51.3	89.0	120.9
56	118	205	0	0.08	0.16	0.28	0.38	24.4	51.5	89.5	121.3
57	119	206	0	0.08	0.16	0.28	0.38	24.7	51.9	89.7	122.0
57	120	207	0	0.08	0.16	0.28	0.38	25.0	52.2	90.1	122.6
58	120	207	0	0.08	0.16	0.28	0.39	25.3	52.4	90.3	123.1
59	121	209	0	0.08	0.17	0.29	0.39	25.5	52.8	91.2	123.5
59	122	210	0	0.08	0.17	0.29	0.39	25.9	53.2	91.4	124.8
60	124	212	0	0.08	0.17	0.29	0.39	26.2	54.1	92.3	125.7
61	125	212	0	0.08	0.17	0.29	0.40	26.4	54.3	92.5	126.1
61	125	213	0	0.08	0.17	0.29	0.40	26.6	54.6	92.7	126.3
61	126	214	0	0.08	0.17	0.29	0.40	26.8	55.0	93.2	126.6
62	126	215	0	0.08	0.17	0.29	0.40	27.1	55.2	93.8	126.8
63	127	218	0	0.09	0.17	0.30	0.41	27.3	55.2	95.1	130.5
63	127	224	0	0.09	0.17	0.31	0.41	27.5	55.4	97.8	131.6
64	128	229	0	0.09	0.18	0.31	0.42	27.9	55.9	99.9	132.7
65	130	234	0	0.09	0.18	0.32	0.56	28.4	56.7	102.1	177.2
66	132	236	0	0.09	0.18	0.32	0.42	28.8	57.6	103.0	134.0
0	134	237	0	0.00	0.18	0.32	0.42	0.0	58.5	103.4	134.6
0	137	0	0	0.00	0.19	0.00	0.42	0.0	59.6	0.0	135.3

ตารางที่ ข-2 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน

Proving Ring Dial				Shear Force				**T**/A			
division				kN				kN/m^2			
1	2	3	4	1	2	3		1	2	3	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	14	7	0.01	0.015	0.019	0.01	0.027	5	6	3	9
14	15	11	0.015	0.019	0.02	0.015	0.041	6	6	5	13
15	15	14	0.019	0.021	0.021	0.019	0.052	7	7	6	17
17	16	16	0.022	0.023	0.021	0.022	0.06	7	7	7	19
19	16	20	0.027	0.025	0.022	0.027	0.066	8	7	9	21
20	17	23	0.031	0.027	0.023	0.031	0.072	9	7	10	23
20	17	26	0.036	0.027	0.023	0.036	0.077	9	7	11	24
21	18	28	0.038	0.029	0.024	0.038	0.081	9	8	12	26
22	18	30	0.04	0.03	0.025	0.04	0.084	10	8	13	27
22	19	31	0.042	0.031	0.025	0.042	0.086	10	8	13	27
23	19	31	0.042	0.031	0.026	0.042	0.093	10	8	14	30
24	20	32	0.043	0.033	0.027	0.043	0.097	10	9	14	31
25	20	32	0.044	0.034	0.027	0.044	0.101	11	9	14	32
25	21	33	0.045	0.034	0.028	0.045	0.105	11	9	14	34
26	21	34	0.047	0.035	0.029	0.047	0.108	11	9	15	34
26	22	35	0.047	0.036	0.029	0.047	0.112	11	9	15	36
27	22	36	0.049	0.036	0.03	0.049	0.116	12	10	15	37
27	23	37	0.051	0.037	0.031	0.051	0.12	12	10	16	38
27	23	38	0.052	0.037	0.031	0.052	0.123	12	10	17	39
29	24	40	0.055	0.04	0.032	0.055	0.126	13	10	17	40
29	24	43	0.058	0.04	0.033	0.058	0.128	13	10	19	41
29	25	44	0.06	0.04	0.034	0.06	0.131	13	11	19	42
29	25	45	0.061	0.04	0.034	0.061	0.133	13	11	19	43
30	26	46	0.062	0.041	0.035	0.062	0.136	13	11	20	43
31	26	46	0.063	0.042	0.036	0.063	0.139	13	11	20	44
31	27	47	0.064	0.042	0.036	0.064	0.141	14	12	21	45
31	27	48	0.066	0.042	0.037	0.066	0.144	14	12	21	46
31	28	49	0.067	0.042	0.038	0.067	0.146	14	12	21	47
31	28	50	0.068	0.042	0.038	0.068	0.149	14	12	22	47
31	32	51	0.07	0.042	0.044	0.07	0.151	14	14	22	48
31	33	52	0.071	0.042	0.044	0.071	0.153	14	14	23	49
31	33	53	0.073	0.042	0.045	0.073	0.154	14	14	23	49
31	34	54	0.074	0.042	0.046	0.074	0.156	14	15	24	50

ตารางที่ ข-2 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน

31	34	55	0.075	0.042	0.047	0.075	0.158	14	15	24	50
31	35	56	0.077	0.043	0.047	0.077	0.159	14	15	24	51
32	35	57	0.077	0.044	0.048	0.077	0.162	14	15	25	51
32	36	57	0.078	0.044	0.049	0.078	0.163	14	15	25	52
33	36	59	0.08	0.044	0.049	0.08	0.165	14	16	26	53
33	38	60	0.081	0.045	0.052	0.081	0.166	14	17	26	53
34	39	61	0.084	0.047	0.053	0.084	0.167	15	17	27	53
35	39	62	0.085	0.047	0.053	0.085	0.17	15	17	27	54
35	40	62	0.085	0.048	0.054	0.085	0.172	15	17	27	55
35	40	63	0.086	0.048	0.055	0.086	0.173	15	17	27	55
36	44	64	0.088	0.049	0.06	0.088	0.175	16	19	28	56
36	44	65	0.089	0.049	0.06	0.089	0.175	16	19	28	56
37	45	66	0.09	0.05	0.061	0.09	0.178	16	19	29	57
37	45	66	0.09	0.051	0.062	0.09	0.179	16	20	29	57
37	46	67	0.091	0.051	0.062	0.091	0.18	16	20	29	58
37	46	68	0.093	0.051	0.063	0.093	0.182	16	20	30	58
38	48	69	0.094	0.052	0.065	0.094	0.184	17	21	30	59
38	49	70	0.095	0.052	0.067	0.095	0.185	17	21	30	59
39	51	70	0.096	0.053	0.069	0.096	0.187	17	22	31	60
39	52	71	0.097	0.053	0.071	0.097	0.189	17	23	31	60
39	54	73	0.1	0.053	0.073	0.1	0.19	17	23	32	61
40	55	75	0.102	0.054	0.075	0.102	0.192	17	24	33	61
40	57	76	0.104	0.055	0.077	0.104	0.196	17	25	33	62
41	58	77	0.105	0.056	0.079	0.105	0.198	18	25	34	63
41	60	78	0.106	0.056	0.081	0.106	0.2	18	26	34	64
42	61	78	0.107	0.057	0.084	0.107	0.201	18	27	34	64
42	63	79	0.108	0.057	0.086	0.108	0.205	18	27	34	65
43	64	80	0.11	0.059	0.088	0.11	0.208	19	28	35	66
43	66	82	0.112	0.059	0.09	0.112	0.212	19	29	36	68
43.5	67	0	0	0.06	0.092	0	0.459	19	29	0	146
44	68.5	0	0	0.06	0.094	0	0.457	19	30	0	146

ตารางที่ ข-3 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน

Proving Ring Dial				Shear Force				**T**/A			
division				kN				kN/m^2			
1	2	3	4	1	2	3		1	2	3	4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	7.0	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	3.1	13.5	11.3
5.0	10.0	38.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	2.2	4.4	16.6	14.8
6.0	11.0	43.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	2.6	4.8	18.8	16.6
7.0	13.0	46.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.1	5.7	20.1	18.8
7.0	14.5	48.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.1	6.3	20.9	20.5
8.0	15.0	50.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.5	6.5	22.0	22.3
8.0	16.0	53.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.5	7.0	23.1	23.6
8.0	17.0	54.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.5	7.4	23.6	25.3
8.5	18.2	56.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.7	7.9	24.4	26.2
9.0	19.0	58.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.9	8.3	25.3	27.1
9.0	19.8	59.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	3.9	8.6	25.7	28.4
9.5	20.0	60.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.1	8.7	26.2	29.7
10.0	20.0	61.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.4	8.7	26.6	30.5
10.0	21.0	62.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.4	9.2	27.3	31.9
10.0	22.0	63.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.4	9.6	27.5	32.7
10.5	23.0	63.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.6	10.0	27.7	34.0
10.5	23.5	64.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.6	10.3	27.9	34.9
11.0	24.0	66.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.8	10.5	28.8	36.2
11.0	25.0	67.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	4.8	10.9	29.2	37.5
11.5	25.5	68.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.0	11.1	29.7	38.2
12.0	26.0	68.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.2	11.3	29.9	39.3
12.0	27.0	69.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.2	11.8	30.1	40.1
12.0	27.5	70.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.2	12.0	30.5	41.0
12.0	28.0	70.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.2	12.2	30.5	41.7
12.8	29.0	70.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.6	12.7	30.8	42.5
13.0	29.1	71.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.7	12.7	31.0	43.2
13.5	29.8	73.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	5.9	13.0	31.9	44.9
13.7	30.0	73.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	6.0	13.1	32.1	45.4
14.0	31.0	74.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	6.1	13.5	32.3	46.3
14.5	31.2	74.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	6.3	13.6	32.5	47.1
15.0	31.5	75.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	6.5	13.7	32.7	48.0
15.2	32.0	75.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	6.6	14.0	32.7	48.4
15.5	32.5	76.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	6.8	14.2	33.2	49.3

ตารางที่ ข-3 หญ้าแฝกลุ่ม 4

16.0	32.8	76.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.0	14.3	33.4	49.8
16.0	33.0	77.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.0	14.4	33.6	50.6
16.5	34.0	78.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.2	14.8	34.0	51.1
17.0	34.0	78.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.4	14.8	34.0	51.5
17.0	34.5	79.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.4	15.1	34.5	52.2
17.2	35.0	79.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.5	15.3	34.5	52.6
18.0	35.0	79.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.9	15.3	34.7	53.2
18.0	35.5	80.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	7.9	15.5	34.9	54.1
18.5	36.0	81.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	8.1	15.7	35.3	54.8
18.5	36.5	81.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	8.1	15.9	35.6	55.4
19.0	36.5	82.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	8.3	15.9	35.8	55.6
19.0	37.2	82.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.3	16.2	36.0	55.9
19.2	38.0	83.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.4	16.6	36.2	56.7
19.5	38.0	84.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.5	16.6	36.7	57.2
20.0	38.2	84.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.7	16.7	36.9	57.6
20.0	39.0	85.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.7	17.0	37.1	58.0
20.5	39.0	85.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.9	17.0	37.3	58.5
20.5	39.2	86.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	8.9	17.1	37.5	58.9
21.0	39.8	87.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	9.2	17.4	38.0	59.4
21.2	40.0	87.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	9.3	17.5	38.2	59.8
21.5	40.0	88.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	9.4	17.5	38.4	60.2
21.5	40.0	88.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	9.4	17.5	38.4	60.4
22.0	40.5	88.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	9.6	17.7	38.6	60.7
23.0	41.0	89.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	10.0	17.9	39.1	61.3
23.0	41.0	90.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	10.0	17.9	39.3	62.0
23.0	41.3	90.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	10.0	18.0	39.3	62.8
23.0	42.0	92.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	10.0	18.3	40.1	63.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทดสอบ large direct shear

ตารางที่ ค-1 ดินเปล่า 30 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.01	0.111	29.6	0.128	0.067
12	0.13	1.444	30.1	0.335	0.141
18	0.25	2.778	30.1	0.581	0.271
24	0.29	3.222	30.1	0.823	0.398
30	0.31	3.444	30	1.079	0.51
36	0.34	3.778	30	1.315	0.629
42	0.36	4.000	30.1	1.557	0.748
48	0.37	4.111	30.1	1.807	0.861
54	0.39	4.333	30	2.051	0.949
60	0.4	4.444	30	2.312	1.052
66	0.42	4.667	30.1	2.554	1.149
72	0.43	4.778	30	2.8	1.243
78	0.45	5.000	30	3.03	1.336
84	0.46	5.111	30.1	3.285	1.44
90	0.47	5.222	30	3.533	1.508
96	0.48	5.333	30.1	3.775	1.597
102	0.5	5.556	30	4.027	1.68
108	0.51	5.667	30	4.278	1.76
114	0.52	5.778	30	4.519	1.825
120	0.53	5.889	30.1	4.765	1.897
126	0.55	6.111	30.1	4.995	1.944
132	0.57	6.333	30	5.26	1.987
138	0.59	6.556	30	5.502	2.019
144	0.6	6.667	30	5.745	2.052
150	0.62	6.889	30.1	5.985	2.084
156	0.63	7.000	30.1	6.248	2.119
162	0.65	7.222	30	6.488	2.143
168	0.66	7.333	30	6.737	2.162
174	0.67	7.444	30	6.981	2.186
180	0.68	7.556	30.1	7.228	2.207
186	0.69	7.667	30.1	7.471	2.223
192	0.7	7.778	30.1	7.72	2.249
198	0.71	7.889	30	7.955	2.285
204	0.72	8.000	30	8.21	2.31

ตารางที่ ค-1 ดินเปล่า 30 kPa (ต่อ)

210	0.73	8.111	30.1	8.452	2.328
216	0.74	8.222	30	8.702	2.355
222	0.75	8.333	30	8.949	2.381
228	0.75	8.333	30.1	9.187	2.41
234	0.75	8.333	30	9.442	2.438
240	0.76	8.444	30	9.687	2.463
246	0.77	8.556	30.1	9.935	2.514
252	0.77	8.556	30.1	10.174	2.534
258	0.78	8.667	30	10.429	2.594
264	0.78	8.667	30	10.662	2.617
270	0.78	8.667	30.1	10.921	2.68
276	0.78	8.667	30.1	11.142	2.767
282	0.78	8.667	30.1	11.381	2.826
288	0.78	8.667	30	11.65	2.894
294	0.79	8.778	30	11.895	2.944
300	0.79	8.778	30.1	12.136	3.005
306	0.8	8.889	30	12.39	3.066
312	0.8	8.889	30	12.637	3.144
318	0.81	9.000	30.1	12.878	3.183
324	0.81	9.000	30.1	13.126	3.232
330	0.82	9.111	30.1	13.383	3.282
336	0.82	9.111	30	13.614	3.306
342	0.83	9.222	30	13.851	3.352
348	0.83	9.222	30	14.117	3.391
354	0.84	9.333	30	14.361	3.439
360	0.84	9.333	30	14.603	3.458
366	0.85	9.444	30	14.848	3.48
372	0.85	9.444	30	15.085	3.514
378	0.86	9.556	30	15.327	3.541
384	0.87	9.667	30	15.585	3.568
390	0.87	9.667	30.1	15.838	3.593
396	0.88	9.778	30	16.088	3.627
402	0.88	9.778	30.1	16.328	3.656
408	0.89	9.889	30	16.571	3.686
414	0.89	9.889	30	16.811	3.703
420	0.9	10.000	30.1	17.071	3.727
426	0.9	10.000	30.1	17.316	3.756
432	0.9	10.000	30.1	17.566	3.777
438	0.9	10.000	30.1	17.797	3.803
444	0.9	10.000	30.1	18.047	3.827

ตารางที่ ค-1 ดินเปล่า 30 kPa (ต่อ)

450	0.91	10.111	30	18.29	3.87
456	0.91	10.111	30	18.543	3.894
462	0.92	10.222	30	18.791	3.927
468	0.93	10.333	30.1	19.045	3.947
474	0.93	10.333	30.1	19.28	3.984
480	0.93	10.333	30.1	19.527	4.018
486	0.93	10.333	30	19.766	4.05
492	0.93	10.333	30	20.014	4.062
498	0.94	10.444	30	20.266	4.091
504	0.95	10.556	30.1	20.511	4.123
510	0.96	10.667	30.1	20.743	4.153
516	0.96	10.667	30.1	20.985	4.183
522	0.97	10.778	30	21.237	4.217
528	0.97	10.778	30	21.483	4.25
534	0.97	10.778	30	21.725	4.273
540	0.97	10.778	30	21.989	4.291
546	0.97	10.778	30.1	22.241	4.326
552	0.97	10.778	30	22.485	4.355
558	0.98	10.889	30	22.715	4.378
564	0.99	11.000	30	22.954	4.397
570	0.99	11.000	30.1	23.225	4.418
576	0.99	11.000	30.1	23.457	4.457
582	1	11.111	30.1	23.715	4.5
588	1	11.111	30	23.952	4.523
594	1.01	11.222	30	24.19	4.544
600	1.01	11.222	30	24.443	4.562
606	1.02	11.333	30	24.696	4.588
612	1.02	11.333	30.1	24.944	4.62
618	1.02	11.333	30.1	25.19	4.648
624	1.02	11.333	30.1	25.445	4.661
630	1.03	11.444	30	25.679	4.684
636	1.03	11.444	30	25.921	4.718
642	1.04	11.556	30.1	26.176	4.744
648	1.04	11.556	30.1	26.424	4.759
654	1.04	11.556	30.1	26.671	4.779
660	1.04	11.556	30	26.914	4.811
666	1.05	11.667	30	27.16	4.841
672	1.05	11.667	30.1	27.411	4.869
678	1.05	11.667	30	27.661	4.889
684	1.06	11.778	30.1	27.9	4.913

ตารางที่ ค-1 ดินเปล่า 30 kPa (ต่อ)

690	1.06	11.778	30.1	28.147	4.946
696	1.06	11.778	30	28.389	4.967
702	1.06	11.778	30	28.643	4.982
708	1.06	11.778	30.1	28.897	5.009
714	1.06	11.778	30.1	29.136	5.038
720	1.06	11.778	30.1	29.387	5.074
726	1.06	11.778	30.1	29.625	5.104
732	1.07	11.889	30.1	29.879	5.118
738	1.07	11.889	30	30.122	5.131
744	1.07	11.889	30	30.371	5.151
750	1.07	11.889	30	30.609	5.183
756	1.08	12.000	30.1	30.85	5.22
762	1.08	12.000	30.1	31.108	5.242
768	1.08	12.000	30.1	31.353	5.256
774	1.08	12.000	30.1	31.592	5.28
780	1.08	12.000	30.1	31.856	5.294
786	1.08	12.000	30.1	32.089	5.324
792	1.08	12.000	30	32.346	5.346
798	1.09	12.111	30.1	32.588	5.368
804	1.1	12.222	30.1	32.834	5.389
810	1.11	12.333	30.1	33.083	5.407
816	1.12	12.444	30.1	33.329	5.439
822	1.12	12.444	30	33.569	5.45
828	1.12	12.444	30.1	33.814	5.461
834	1.12	12.444	30.1	34.061	5.484
840	1.12	12.444	30	34.31	5.508
846	1.12	12.444	30	34.558	5.525
852	1.12	12.444	30.1	34.803	5.544
858	1.12	12.444	30.1	35.054	5.553
864	1.13	12.556	30.1	35.311	5.574
870	1.13	12.556	30.1	35.551	5.6
876	1.14	12.667	30	35.794	5.615
882	1.14	12.667	30	36.046	5.638
888	1.15	12.778	30	36.297	5.65
894	1.15	12.778	30.1	36.538	5.662
900	1.15	12.778	30.1	36.795	5.682
906	1.15	12.778	30	37.046	5.703
912	1.15	12.778	30	37.282	5.724
918	1.15	12.778	30.1	37.525	5.741
924	1.16	12.889	30.1	37.785	5.757

ตารางที่ ค-1 ดินเปล่า 30 kPa (ต่อ)

930	1.16	12.889	30.1	38.019	5.778
936	1.16	12.889	30.1	38.273	5.799
942	1.16	12.889	30.1	38.522	5.825
948	1.16	12.889	30.1	38.778	5.835
954	1.16	12.889	30.1	39.008	5.847
960	1.16	12.889	30.1	39.271	5.869

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-2 ดินเปล่า 50 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.18	2.000	48.5	0.094	0
12	0.19	2.111	49	0.336	0.07
18	0.2	2.222	49.9	0.589	0.2
24	0.21	2.333	50.1	0.83	0.34
30	0.22	2.444	50.1	1.081	0.465
36	0.23	2.556	50.1	1.319	0.581
42	0.24	2.667	50.1	1.562	0.694
48	0.25	2.778	50.2	1.812	0.815
54	0.26	2.889	50.2	2.055	0.931
60	0.27	3.000	50.2	2.316	1.04
66	0.28	3.111	50.1	2.565	1.164
72	0.29	3.222	50.1	2.799	1.27
78	0.3	3.333	50.1	3.035	1.369
84	0.31	3.444	50	3.291	1.465
90	0.32	3.556	50.1	3.538	1.542
96	0.33	3.667	50.1	3.78	1.638
102	0.34	3.778	50.1	4.038	1.727
108	0.35	3.889	50.1	4.28	1.797
114	0.36	4.000	50.1	4.53	1.879
120	0.37	4.111	50	4.768	1.96
126	0.38	4.222	50.1	5.009	2.06
132	0.39	4.333	50.1	5.263	2.132
138	0.4	4.444	50.1	5.517	2.231
144	0.41	4.556	50.1	5.754	2.305
150	0.42	4.667	50.1	5.992	2.374
156	0.43	4.778	50.2	6.255	2.483
162	0.44	4.889	50.2	6.498	2.566
168	0.45	5.000	50.1	6.743	2.638
174	0.46	5.111	50.1	6.988	2.732
180	0.47	5.222	50.1	7.231	2.801
186	0.48	5.333	50.1	7.475	2.883
192	0.49	5.444	50.1	7.722	2.96
198	0.5	5.556	50	7.965	3.016
204	0.51	5.667	50.1	8.216	3.09
210	0.52	5.778	50.1	8.455	3.165
216	0.53	5.889	50.1	8.707	3.22

ตารางที่ ค-2 ดินเปล่า 50 kPa (ต่อ)

222	0.54	6.000	50.1	8.958	3.286
228	0.55	6.111	50.1	9.194	3.353
234	0.56	6.222	50.1	9.448	3.403
240	0.57	6.333	50	9.692	3.468
246	0.58	6.444	50.2	9.941	3.531
252	0.59	6.556	50.1	10.178	3.598
258	0.6	6.667	50.1	10.432	3.657
264	0.61	6.778	50.1	10.669	3.7
270	0.62	6.889	50.1	10.921	3.756
276	0.63	7.000	50.1	11.149	3.809
282	0.64	7.111	50.1	11.387	3.872
288	0.65	7.222	50	11.653	3.927
294	0.66	7.333	50.1	11.901	3.969
300	0.67	7.444	50.2	12.138	4.033
306	0.68	7.556	50.2	12.396	4.063
312	0.69	7.667	50.3	12.646	4.101
318	0.7	7.778	50.2	12.883	4.143
324	0.71	7.889	50.1	13.13	4.172
330	0.72	8.000	50.2	13.386	4.198
336	0.73	8.111	50.1	13.621	4.228
342	0.74	8.222	50.1	13.859	4.265
348	0.75	8.333	50.1	14.123	4.288
354	0.76	8.444	50.1	14.365	4.31
360	0.77	8.556	50	14.61	4.344
366	0.78	8.667	50.1	14.865	4.378
372	0.79	8.778	50.1	15.089	4.406
378	0.8	8.889	50.1	15.337	4.437
384	0.81	9.000	50.1	15.591	4.481
390	0.82	9.111	50.1	15.85	4.528
396	0.83	9.222	50.1	16.092	4.558
402	0.84	9.333	50.1	16.337	4.597
408	0.85	9.444	50.1	16.578	4.644
414	0.86	9.556	50	16.816	4.692
420	0.87	9.667	50.2	17.075	4.734
426	0.88	9.778	50.2	17.326	4.784
432	0.89	9.889	50.2	17.569	4.833
438	0.9	10.000	50.1	17.805	4.885
444	0.91	10.111	50.2	18.053	4.932
450	0.92	10.222	50.2	18.298	4.983
456	0.93	10.333	50.2	18.551	5.014

ตารางที่ ค-2 ดินเปล่า 50 kPa (ต่อ)

462	0.94	10.444	50.1	18.799	5.064
468	0.95	10.556	50.1	19.049	5.109
474	0.96	10.667	50.1	19.286	5.149
480	0.97	10.778	50.2	19.531	5.19
486	0.98	10.889	50.1	19.777	5.222
492	0.99	11.000	50.1	20.016	5.245
498	1	11.111	50.1	20.273	5.266
504	1.01	11.222	50.1	20.517	5.294
510	1.02	11.333	50.2	20.755	5.323
516	1.03	11.444	50.1	20.99	5.337
522	1.04	11.556	50.1	21.245	5.349
528	1.05	11.667	50	21.492	5.358
534	1.06	11.778	50.2	21.731	5.369
540	1.07	11.889	50.2	21.995	5.38
546	1.08	12.000	50.2	22.244	5.391
552	1.09	12.111	50.1	22.489	5.398
558	1.1	12.222	50.2	22.719	5.407
564	1.11	12.333	50.1	22.959	5.411
570	1.12	12.444	50.1	23.23	5.415
576	1.13	12.556	50.1	23.462	5.42
582	1.14	12.667	50.2	23.719	5.426
588	1.15	12.778	50.2	23.957	5.434
594	1.16	12.889	50.2	24.193	5.443
600	1.17	13.000	50.1	24.445	5.454
606	1.18	13.111	50.1	24.704	5.464
612	1.19	13.222	50.1	24.943	5.472
618	1.2	13.333	50.1	25.197	5.482
624	1.21	13.444	50.1	25.45	5.489
630	1.22	13.556	50.1	25.686	5.498
636	1.23	13.667	50	25.924	5.504
642	1.24	13.778	50	26.185	5.514
648	1.25	13.889	50.2	26.43	5.525
654	1.26	14.000	50.2	26.676	5.546
660	1.27	14.111	50.2	26.918	5.56
666	1.28	14.222	50.1	27.17	5.581
672	1.29	14.333	50.1	27.419	5.591
678	1.3	14.444	50.1	27.669	5.603
684	1.31	14.556	50.2	27.905	5.621
690	1.32	14.667	50.3	28.154	5.631
696	1.33	14.778	50.2	28.395	5.641

ตารางที่ ค-2 ดินเปล่า 50 kPa (ต่อ)

702	1.34	14.889	50.1	28.657	5.653
708	1.35	15.000	50.1	28.898	5.669
714	1.36	15.111	50.1	29.149	5.679
720	1.37	15.222	50.1	29.389	5.692
726	1.38	15.333	50.1	29.63	5.694
732	1.39	15.444	50.2	29.89	5.699
738	1.4	15.556	50.1	30.131	5.705
744	1.41	15.667	50.1	30.381	5.713
750	1.42	15.778	50.1	30.617	5.719
756	1.43	15.889	50.2	30.865	5.721
762	1.44	16.000	50.1	31.115	5.727
768	1.45	16.111	50.1	31.364	5.731
774	1.46	16.222	50.2	31.605	5.735
780	1.47	16.333	50.2	31.863	5.751
786	1.48	16.444	50.2	32.098	5.759
792	1.49	16.556	50.1	32.354	5.766
798	1.5	16.667	50.1	32.601	5.781
804	1.51	16.778	50.1	32.842	5.793
810	1.52	16.889	50.2	33.095	5.799
816	1.53	17.000	50.1	33.341	5.801
822	1.54	17.111	50.2	33.577	5.805
828	1.55	17.222	50.1	33.822	5.812
834	1.56	17.333	50.1	34.075	5.813
840	1.57	17.444	50.1	34.316	5.816
846	1.58	17.556	50.1	34.566	5.821
852	1.59	17.667	50.1	34.82	5.824
858	1.6	17.778	50.1	35.062	5.826
864	1.61	17.889	50	35.32	5.831
870	1.62	18.000	50	35.554	5.834
876	1.63	18.111	50.1	35.807	5.834
882	1.64	18.222	50.2	36.055	5.847
888	1.65	18.333	50.2	36.299	5.847
894	1.66	18.444	50.2	36.547	5.86
900	1.67	18.556	50.1	36.807	5.856
906	1.68	18.667	50.2	37.059	5.866
912	1.69	18.778	50.2	37.291	5.867
918	1.7	18.889	50.2	37.534	5.876
924	1.71	19.000	50.3	37.8	5.876
930	1.72	19.111	50.3	38.03	5.88
936	1.73	19.222	50.3	38.284	5.884

ตารางที่ ค-2 ดินเปล่า 50 kPa (ต่อ)

942	1.74	19.333	50.3	38.525	5.885
948	1.75	19.444	50.3	38.784	5.888
954	1.76	19.556	50.2	39.015	5.888
960	1.77	19.667	50.2	39.278	5.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-3 ดินเปล่า 75 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.08	0.889	74.2	0.102	0.054
12	0.27	3.000	75	0.343	0.165
18	0.36	4.000	75.2	0.588	0.271
24	0.43	4.778	75.1	0.84	0.399
30	0.49	5.444	75.1	1.08	0.509
36	0.55	6.111	75.1	1.325	0.622
42	0.61	6.778	75.1	1.569	0.732
48	0.67	7.444	75.1	1.811	0.83
54	0.72	8.000	75	2.065	0.942
60	0.77	8.556	75.1	2.316	1.037
66	0.82	9.111	75	2.564	1.133
72	0.87	9.667	75	2.805	1.225
78	0.92	10.222	75.1	3.039	1.32
84	0.96	10.667	75.1	3.294	1.398
90	1.03	11.444	75.1	3.543	1.462
96	1.11	12.333	75.1	3.791	1.526
102	1.19	13.222	75	4.033	1.583
108	1.25	13.889	75.2	4.284	1.647
114	1.32	14.667	75.1	4.527	1.712
120	1.37	15.222	75.2	4.776	1.764
126	1.43	15.889	75.2	5.02	1.837
132	1.48	16.444	75.1	5.268	1.877
138	1.52	16.889	75.1	5.52	1.952
144	1.57	17.444	75.1	5.758	2.011
150	1.61	17.889	75.2	6.008	2.06
156	1.65	18.333	75.1	6.258	2.128
162	1.69	18.778	75	6.504	2.183
168	1.74	19.333	75.1	6.744	2.237
174	1.78	19.778	75.2	6.996	2.297
180	1.81	20.111	75.1	7.233	2.347
186	1.86	20.667	75.1	7.483	2.397
192	1.89	21.000	75.1	7.728	2.454
198	1.92	21.333	75.1	7.974	2.501
204	1.96	21.778	75	8.214	2.542
210	1.99	22.111	75.2	8.465	2.59
216	2.03	22.556	75.2	8.703	2.648

ตารางที่ ค-3 ดินเปล่า 75 kPa (ต่อ)

222	2.06	22.889	75.1	8.958	2.688
228	2.09	23.222	75.1	9.205	2.741
234	2.12	23.556	75.1	9.451	2.785
240	2.15	23.889	75	9.696	2.825
246	2.19	24.333	75.1	9.952	2.871
252	2.22	24.667	75.2	10.18	2.905
258	2.25	25.000	75.1	10.43	2.955
264	2.28	25.333	75.1	10.676	2.999
270	2.31	25.667	75.1	10.921	3.025
276	2.34	26.000	75	11.153	3.064
282	2.37	26.333	75.2	11.398	3.104
288	2.41	26.778	75.2	11.657	3.125
294	2.43	27.000	75.1	11.907	3.145
300	2.46	27.333	75.1	12.148	3.168
306	2.49	27.667	75.1	12.394	3.193
312	2.52	28.000	75.1	12.651	3.211
318	2.54	28.222	75.1	12.896	3.241
324	2.57	28.556	75.2	13.128	3.259
330	2.6	28.889	75.2	13.386	3.29
336	2.62	29.111	75.2	13.623	3.303
342	2.64	29.333	75.1	13.861	3.326
348	2.67	29.667	75.1	14.125	3.346
354	2.69	29.889	75.1	14.375	3.371
360	2.71	30.111	75.2	14.613	3.391
366	2.73	30.333	75.1	14.866	3.407
372	2.75	30.556	75.1	15.101	3.425
378	2.77	30.778	75.1	15.351	3.458
384	2.79	31.000	75	15.6	3.481
390	2.81	31.222	75.1	15.845	3.502
396	2.83	31.444	75.2	16.095	3.525
402	2.84	31.556	75.1	16.332	3.54
408	2.86	31.778	75.1	16.581	3.559
414	2.88	32.000	75.1	16.827	3.59
420	2.89	32.111	75	17.081	3.612
426	2.91	32.333	75.1	17.329	3.637
432	2.94	32.667	75.2	17.569	3.654
438	2.95	32.778	75.3	17.8	3.665
444	2.97	33.000	75.2	18.052	3.688
450	2.99	33.222	75.1	18.302	3.707
456	3.01	33.444	75.1	18.557	3.724

ตารางที่ ค-3 ดินเปล่า 75 kPa (ต่อ)

462	3.03	33.667	75.1	18.803	3.742
468	3.04	33.778	75.1	19.051	3.762
474	3.06	34.000	75.1	19.276	3.779
480	3.08	34.222	75.1	19.532	3.788
486	3.09	34.333	75.2	19.781	3.81
492	3.11	34.556	75.2	20.025	3.823
498	3.13	34.778	75.1	20.28	3.844
504	3.14	34.889	75.1	20.526	3.869
510	3.15	35.000	75.1	20.755	3.89
516	3.17	35.222	75.1	20.993	3.903
522	3.18	35.333	75.1	21.244	3.918
528	3.19	35.444	75.1	21.493	3.927
534	3.2	35.556	75.2	21.744	3.953
540	3.2	35.556	75.1	22.005	3.97
546	3.22	35.778	75.4	22.251	3.993
552	3.23	35.889	75.3	22.483	4.008
558	3.24	36.000	75.3	22.731	4.03
564	3.25	36.111	75.2	22.962	4.05
570	3.25	36.111	75.1	23.226	4.067
576	3.27	36.333	75.2	23.47	4.101
582	3.28	36.444	75.1	23.729	4.115
588	3.28	36.444	75.1	23.965	4.134
594	3.29	36.556	75.1	24.195	4.149
600	3.29	36.556	75.2	24.449	4.174
606	3.3	36.667	75.1	24.713	4.192
612	3.31	36.778	75.1	24.953	4.211
618	3.32	36.889	75.2	25.191	4.239
624	3.33	37.000	75.2	25.443	4.257
630	3.34	37.111	75.2	25.687	4.271
636	3.35	37.222	75.1	25.928	4.302
642	3.35	37.222	75.1	26.181	4.328
648	3.36	37.333	75.1	26.441	4.351
654	3.38	37.556	75.2	26.684	4.369
660	3.4	37.778	75.2	26.922	4.385
666	3.4	37.778	75.1	27.178	4.404
672	3.41	37.889	75.1	27.417	4.426
678	3.42	38.000	75.1	27.668	4.454
684	3.43	38.111	75.1	27.911	4.478
690	3.44	38.222	75.3	28.156	4.502
696	3.45	38.333	75.3	28.395	4.52

ตารางที่ ค-3 ดินเปล่า 75 kPa (ต่อ)

702	3.47	38.556	75.2	28.658	4.535
708	3.48	38.667	75.1	28.902	4.561
714	3.49	38.778	75.2	29.145	4.58
720	3.5	38.889	75.1	29.392	4.604
726	3.5	38.889	75.1	29.637	4.624
732	3.51	39.000	75.1	29.888	4.646
738	3.52	39.111	75.1	30.134	4.67
744	3.54	39.333	75.1	30.38	4.688
750	3.55	39.444	75	30.624	4.71
756	3.56	39.556	75.2	30.874	4.723
762	3.57	39.667	75.1	31.113	4.739
768	3.58	39.778	75.1	31.361	4.767
774	3.59	39.889	75.1	31.597	4.796
780	3.6	40.000	75	31.854	4.804
786	3.61	40.111	75.2	32.103	4.825
792	3.62	40.222	75.3	32.353	4.846
798	3.62	40.222	75.2	32.597	4.875
804	3.62	40.222	75.2	32.845	4.885
810	3.63	40.333	75.1	33.088	4.903
816	3.64	40.444	75.1	33.334	4.927
822	3.65	40.556	75.1	33.58	4.95
828	3.66	40.667	75.1	33.826	4.966
834	3.68	40.889	75.3	34.073	4.985
840	3.69	41.000	75.1	34.322	5.008
846	3.7	41.111	75.1	34.565	5.021
852	3.71	41.222	75.1	34.814	5.034
858	3.72	41.333	75	35.064	5.061
864	3.73	41.444	75.1	35.319	5.086
870	3.75	41.667	75.4	35.56	5.102
876	3.77	41.889	75.3	35.807	5.115
882	3.78	42.000	75.2	36.055	5.148
888	3.79	42.111	75.1	36.298	5.168
894	3.8	42.222	75.2	36.543	5.184
900	3.81	42.333	75.1	36.807	5.193
906	3.82	42.444	75.1	37.055	5.211
912	3.82	42.444	75.1	37.288	5.235
918	3.83	42.556	75.3	37.535	5.252
924	3.83	42.556	75.1	37.795	5.276
930	3.84	42.667	75.1	38.025	5.292
936	3.85	42.778	75.2	38.281	5.307

ตารางที่ ค-3 ดินเปล่า 75 kPa (ต่อ)

942	3.86	42.889	75.2	38.535	5.323
948	3.87	43.000	75.1	38.786	5.341
954	3.89	43.222	75.1	39.018	5.361
960	3.9	43.333	75.1	39.274	5.387

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-4 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 30 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
12	0.25	2.778	30	0.394	2.956
18	0.31	3.444	30	0.683	3.018
24	0.32	3.556	30	0.983	3.094
30	0.33	3.667	30	1.282	3.165
36	0.35	3.889	30	1.572	3.237
42	0.37	4.111	30	1.863	3.288
48	0.38	4.222	30	2.16	3.327
54	0.4	4.444	30	2.456	3.368
60	0.41	4.556	30	2.753	3.418
66	0.42	4.667	30	3.037	3.465
72	0.43	4.778	30	3.342	3.496
78	0.44	4.889	30	3.633	3.555
84	0.46	5.111	30	3.932	3.584
90	0.47	5.222	30	4.223	3.633
96	0.48	5.333	30	4.522	3.669
102	0.49	5.444	30	4.804	3.737
108	0.51	5.667	30	5.097	3.766
114	0.53	5.889	30	5.392	3.808
120	0.54	6.000	30	5.691	3.861
126	0.55	6.111	30	5.994	3.894
132	0.56	6.222	30	6.289	3.96
138	0.58	6.444	30	6.586	3.999
144	0.59	6.556	30	6.88	4.023
150	0.61	6.778	30	7.181	4.09
156	0.62	6.889	30	7.466	4.146
162	0.63	7.000	30	7.761	4.192
168	0.64	7.111	30	8.046	4.246
174	0.65	7.222	30	8.364	4.289
180	0.66	7.333	30	8.646	4.346
186	0.68	7.556	30	8.939	4.386
192	0.69	7.667	30	9.244	4.43
198	0.69	7.667	30	9.528	4.477
204	0.71	7.889	30	9.827	4.536
210	0.72	8.000	30	10.122	4.593
216	0.73	8.111	30	10.411	4.644
222	0.74	8.222	30	10.713	4.676

ตารางที่ ค-4 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

228	0.75	8.333	30	10.985	4.722
234	0.76	8.444	30	11.281	4.782
240	0.77	8.556	30	11.58	4.81
246	0.78	8.667	30	11.868	4.841
252	0.79	8.778	30	12.17	4.851
258	0.8	8.889	30	12.473	4.853
264	0.81	9.000	30	12.748	4.863
270	0.82	9.111	30	13.055	4.865
276	0.83	9.222	30	13.353	4.87
282	0.84	9.333	30	13.634	4.881
288	0.85	9.444	30	13.944	4.883
294	0.87	9.667	30	14.226	4.886
300	0.88	9.778	30	14.521	4.888
306	0.89	9.889	30	14.834	4.887
312	0.9	10.000	30	15.114	4.895
318	0.91	10.111	30	15.405	4.891
324	0.92	10.222	30	15.707	4.894
330	0.93	10.333	30	16.006	4.893
336	0.95	10.556	30	16.296	4.903
342	0.96	10.667	30	16.595	4.905
348	0.97	10.778	30	16.886	4.905
354	0.98	10.889	30	17.185	4.903
360	0.99	11.000	30	17.481	4.905
366	1	11.111	30	17.759	4.915
372	1.01	11.222	30	18.061	4.918
378	1.02	11.333	30	18.36	4.922
384	1.03	11.444	30	18.639	4.916
390	1.04	11.556	30	18.955	4.922
396	1.06	11.778	30	19.232	4.925
402	1.07	11.889	30	19.534	4.936
408	1.08	12.000	30	19.827	4.937
414	1.09	12.111	30	20.105	4.938
420	1.11	12.333	30	20.415	4.938
426	1.12	12.444	30	20.699	4.939
432	1.14	12.667	30	20.993	4.952
438	1.16	12.889	30	21.291	4.955
444	1.18	13.111	30	21.592	4.972
450	1.2	13.333	30	21.88	4.972
456	1.21	13.444	30	22.188	4.987
462	1.23	13.667	30	22.466	4.996

ตารางที่ ค-4 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

468	1.25	13.889	30	22.76	4.995
474	1.26	14.000	30	23.056	5.004
480	1.28	14.222	30	23.356	5.026
486	1.3	14.444	30	23.657	5.028
492	1.31	14.556	30	23.951	5.049
498	1.33	14.778	30	24.241	5.05
504	1.34	14.889	30	24.542	5.065
510	1.36	15.111	30	24.843	5.085
516	1.38	15.333	30	25.132	5.091
522	1.39	15.444	30	25.414	5.104
528	1.41	15.667	30	25.716	5.12
534	1.42	15.778	30	26.015	5.158
540	1.44	16.000	30	26.316	5.181
546	1.45	16.111	30	26.606	5.205
552	1.47	16.333	30	26.888	5.238
558	1.48	16.444	30	27.2	5.257
564	1.5	16.667	30	27.482	5.277
570	1.51	16.778	30	27.781	5.295
576	1.53	17.000	30	28.077	5.322
582	1.54	17.111	30	28.374	5.379
588	1.56	17.333	30	28.678	5.426
594	1.57	17.444	30	28.973	5.448
600	1.59	17.667	30	29.27	5.466
606	1.6	17.778	30	29.55	5.5
612	1.61	17.889	30	29.849	5.507
618	1.63	18.111	30	30.152	5.528
624	1.65	18.333	30	30.449	5.613
630	1.66	18.444	30	30.733	5.651
636	1.67	18.556	30	31.035	5.67
642	1.68	18.667	30	31.319	5.678
648	1.69	18.778	30	31.624	5.685
654	1.71	19.000	30	31.92	5.706
660	1.72	19.111	30	32.221	5.704
666	1.74	19.333	30	32.504	5.719
672	1.75	19.444	30	32.806	5.723
678	1.76	19.556	30	33.092	5.727
684	1.78	19.778	30	33.389	5.739
690	1.79	19.889	30	33.688	5.741
696	1.8	20.000	30	33.981	5.75
702	1.82	20.222	30	34.268	5.761

ตารางที่ ค-4 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

708	1.83	20.333	30	34.564	5.77
714	1.84	20.444	30	34.862	5.8
720	1.86	20.667	30	35.157	5.814
726	1.87	20.778	30	35.454	5.823
732	1.88	20.889	30	35.755	5.827
738	1.89	21.000	30	36.062	5.857
744	1.91	21.222	30	36.348	5.875
750	1.92	21.333	30	36.649	5.913
756	1.93	21.444	30	36.951	5.979
762	1.94	21.556	30	37.231	6.038
768	1.95	21.667	30	37.535	6.062
774	1.97	21.889	30	37.828	6.063
780	1.98	22.000	30	38.119	6.078
786	1.99	22.111	30	38.416	6.082
792	2	22.222	30	38.716	6.111
798	2.01	22.333	30	38.987	6.12
804	2.02	22.444	30	39.305	6.127
810	2.03	22.556	30	39.599	6.141
816	2.03	22.556	30	39.903	6.158
822	2.04	22.667	30	40.19	6.17021428
828	2.05	22.778	30	40.486	6.18359523
834	2.06	22.889	30	40.784	6.19697619
840	2.07	23.000	30	41.08	6.21035714
846	2.07	23.000	30	41.374	6.22373809
852	2.08	23.111	30	41.671	6.23711904
858	2.08	23.111	30	41.956	6.2505
864	2.1	23.333	30	42.252	6.26388095
870	2.11	23.444	30	42.546	6.27726190
876	2.11	23.444	30	42.855	6.29064285
882	2.12	23.556	30	43.157	6.30402381
888	2.13	23.667	30	43.444	6.31740476
894	2.14	23.778	30	43.739	6.33078571
900	2.15	23.889	30	44.043	6.34416666
906	2.16	24.000	30	44.337	6.35754761
912	2.16	24.000	30	44.64	6.37092857
918	2.17	24.111	30	44.945	6.38430952
924	2.18	24.222	30	45.238	6.39769047
930	2.19	24.333	30	45.535	6.41107142
936	2.2	24.444	30	45.816	6.42445238
942	2.2	24.444	30	46.107	6.43783333

ตารางที่ ค-4 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

948	2.21	24.556	30	46.426	6.45121428
954	2.22	24.667	30	46.714	6.46459523
960	2.23	24.778	30	47.013	6.47797619
966	2.23	24.778	30	47.317	6.49135714
972	2.25	25.000	30	47.61	6.50473809
978	2.25	25.000	30	47.911	6.51811904
984	2.26	25.111	30	48.207	6.5315
990	2.27	25.222	30	48.504	6.54488095
996	2.27	25.222	30	48.796	6.55826190
1002	0.36	4.000	30	48.977	6.57164285

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-5 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 50 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.11	1.222	50	0.101	0.04
12	0.42	4.667	50	0.4	0.118
18	0.6	6.667	50.1	0.686	0.228
24	0.66	7.333	50	0.985	0.318
30	0.7	7.778	50.1	1.287	0.431
36	0.72	8.000	50.1	1.573	0.552
42	0.75	8.333	50.1	1.874	0.66
48	0.76	8.444	50	2.167	0.793
54	0.83	9.222	50.1	2.466	0.913
60	0.89	9.889	50.1	2.765	1.016
66	0.93	10.333	50.1	3.047	1.112
72	0.94	10.444	50.1	3.353	1.208
78	0.94	10.444	50.1	3.647	1.286
84	0.96	10.667	50	3.951	1.366
90	0.98	10.889	50.1	4.23	1.458
96	1	11.111	50	4.535	1.542
102	1.01	11.222	50	4.817	1.65
108	1.04	11.556	50.2	5.114	1.737
114	1.05	11.667	50.1	5.406	1.837
120	1.06	11.778	50	5.705	1.938
126	1.08	12.000	50.1	6.004	2.025
132	1.08	12.000	50	6.302	2.11
138	1.1	12.222	50.1	6.597	2.209
144	1.11	12.333	50	6.898	2.307
150	1.12	12.444	50.1	7.191	2.394
156	1.13	12.556	50	7.479	2.472
162	1.13	12.556	50.1	7.771	2.56
168	1.14	12.667	50.1	8.066	2.653
174	1.15	12.778	50.1	8.379	2.742
180	1.16	12.889	50	8.661	2.81
186	1.18	13.111	50.1	8.953	2.877
192	1.19	13.222	50.1	9.263	2.956
198	1.21	13.444	50.1	9.539	3.018
204	1.21	13.444	50.1	9.849	3.094
210	1.21	13.444	50.2	10.14	3.165
216	1.23	13.667	50.1	10.43	3.237

ตารางที่ ค-5 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

222	1.25	13.889	50.2	10.732	3.288
228	1.26	14.000	50.1	11.008	3.327
234	1.28	14.222	50.1	11.299	3.368
240	1.29	14.333	50.1	11.599	3.418
246	1.3	14.444	50.1	11.896	3.465
252	1.31	14.556	50.2	12.191	3.496
258	1.32	14.667	50.1	12.497	3.555
264	1.34	14.889	50	12.776	3.584
270	1.35	15.000	50.1	13.081	3.633
276	1.37	15.222	50.2	13.372	3.669
282	1.37	15.222	50.1	13.654	3.737
288	1.37	15.222	50	13.964	3.766
294	1.39	15.444	50.1	14.245	3.808
300	1.4	15.556	50	14.543	3.861
306	1.42	15.778	50.1	14.849	3.894
312	1.43	15.889	50	15.128	3.96
318	1.44	16.000	50.1	15.414	3.999
324	1.45	16.111	50	15.728	4.023
330	1.46	16.222	50	16.03	4.09
336	1.47	16.333	50	16.311	4.146
342	1.49	16.556	50.1	16.609	4.192
348	1.5	16.667	50.1	16.894	4.246
354	1.52	16.889	50.1	17.199	4.289
360	1.53	17.000	50.1	17.499	4.346
366	1.54	17.111	50.1	17.786	4.386
372	1.55	17.222	50.1	18.081	4.43
378	1.56	17.333	50.1	18.378	4.477
384	1.57	17.444	50	18.673	4.536
390	1.59	17.667	50.1	18.979	4.593
396	1.6	17.778	50.1	19.262	4.644
402	1.6	17.778	50.1	19.562	4.676
408	1.61	17.889	50.1	19.853	4.722
414	1.63	18.111	50.1	20.134	4.782
420	1.65	18.333	50.1	20.438	4.81
426	1.69	18.778	50.2	20.729	4.841
432	1.73	19.222	50.1	21.013	4.851
438	1.77	19.667	50	21.316	4.853
444	1.82	20.222	50.1	21.612	4.863
450	1.87	20.778	50.1	21.916	4.865
456	1.9	21.111	50	22.208	4.87

ตารางที่ ค-5 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

462	1.92	21.333	50.1	22.491	4.881
468	1.93	21.444	50.1	22.788	4.883
474	1.95	21.667	50	23.085	4.886
480	1.99	22.111	50.1	23.376	4.888
486	2.05	22.778	50.1	23.682	4.887
492	2.07	23.000	50	23.975	4.895
498	2.06	22.889	50.2	24.267	4.891
504	2.04	22.667	50	24.575	4.894
510	2.02	22.444	50	24.86	4.893
516	2.02	22.444	50.1	25.147	4.903
522	2.04	22.667	50.1	25.433	4.905
528	2.05	22.778	50	25.731	4.905
534	2.05	22.778	50.1	26.034	4.903
540	2.06	22.889	50.1	26.353	4.905
546	2.09	23.222	50.1	26.637	4.915
552	2.08	23.111	50.1	26.908	4.918
558	2.08	23.111	50.1	27.223	4.922
564	2.08	23.111	50.1	27.505	4.916
570	2.08	23.111	50.1	27.807	4.922
576	2.08	23.111	50.1	28.099	4.925
582	2.09	23.222	50.1	28.406	4.936
588	2.1	23.333	50.1	28.716	4.937
594	2.13	23.667	50.1	29.01	4.938
600	2.17	24.111	50.1	29.307	4.938
606	2.2	24.444	50	29.589	4.939
612	2.23	24.778	50.2	29.892	4.952
618	2.27	25.222	50.1	30.197	4.955
624	2.31	25.667	50	30.488	4.972
630	2.34	26.000	50.2	30.774	4.972
636	2.34	26.000	50.1	31.069	4.987
642	2.34	26.000	50.2	31.365	4.996
648	2.33	25.889	50	31.662	4.995
654	2.32	25.778	50.2	31.963	5.004
660	2.34	26.000	50.1	32.262	5.026
666	2.35	26.111	50.1	32.546	5.028
672	2.36	26.222	50	32.851	5.049
678	2.36	26.222	50	33.132	5.05
684	2.37	26.333	50	33.434	5.065
690	2.4	26.667	50.1	33.734	5.085
696	2.41	26.778	50.1	34.02	5.091

ตารางที่ ค-5 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

702	2.42	26.889	50.1	34.312	5.104
708	2.41	26.778	50	34.612	5.12
714	2.42	26.889	50.1	34.904	5.158
720	2.42	26.889	50	35.205	5.181
726	2.42	26.889	50.1	35.496	5.205
732	2.42	26.889	50.1	35.794	5.238
738	2.43	27.000	50.1	36.1	5.257
744	2.44	27.111	50.1	36.391	5.277
750	2.46	27.333	50.1	36.68	5.295
756	2.47	27.444	50.1	36.971	5.322
762	2.46	27.333	50.1	37.246	5.379
768	2.45	27.222	50.1	37.548	5.426
774	2.46	27.333	50.1	37.838	5.448
780	2.47	27.444	50	38.128	5.466
786	2.51	27.889	50.2	38.453	5.5
792	2.54	28.222	50.1	38.751	5.507
798	2.58	28.667	50	39.023	5.528
804	2.58	28.667	50.2	39.339	5.613
810	2.58	28.667	50.2	39.609	5.651
816	2.57	28.556	50.2	39.94	5.67
822	2.55	28.333	50.1	40.215	5.678
828	2.56	28.444	50.1	40.513	5.685
834	2.56	28.444	50.1	40.811	5.706
840	2.53	28.111	50.1	41.119	5.704
846	2.5	27.778	50.2	41.404	5.719
852	2.49	27.667	50.2	41.706	5.723
858	2.5	27.778	50.2	41.993	5.727
864	2.51	27.889	50.1	42.299	5.739
870	2.51	27.889	50	42.592	5.741
876	2.51	27.889	50	42.891	5.75
882	2.52	28.000	50.1	43.181	5.761
888	2.52	28.000	50.1	43.486	5.77
894	2.51	27.889	50.1	43.78	5.8
900	2.49	27.667	50	44.07	5.814
906	2.49	27.667	50.1	44.373	5.823
912	2.47	27.444	50.1	44.67	5.827
918	2.47	27.444	50.1	44.959	5.857
924	2.46	27.333	50.1	45.253	5.875
930	2.46	27.333	50.2	45.551	5.913
936	2.46	27.333	50.2	45.839	5.979

ตารางที่ ค-5 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

942	2.46	27.333	50.2	46.125	6.038
948	2.46	27.333	50.1	46.453	6.062
954	2.47	27.444	50.1	46.747	6.063
960	2.46	27.333	50.1	47.042	6.078
966	2.45	27.222	50.1	47.341	6.082
972	2.46	27.333	50	47.628	6.111
978	2.47	27.444	50.1	47.934	6.12
984	2.48	27.556	50.1	48.218	6.127
990	2.49	27.667	50.1	48.518	6.141
996	2.49	27.667	50.1	48.797	6.158

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-6 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 75 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	-0.01	-0.111	71.5	0.104	0.056
12	0.42	4.667	72.2	0.398	0.184
18	0.52	5.778	73.4	0.688	0.41
24	0.55	6.111	74.3	0.978	0.651
30	0.58	6.444	75.1	1.283	0.92
36	0.6	6.667	75	1.578	1.15
42	0.63	7.000	75.1	1.869	1.369
48	0.64	7.111	75.1	2.17	1.578
54	0.65	7.222	75.1	2.47	1.768
60	0.69	7.667	75.3	2.755	1.953
66	0.72	8.000	75.2	3.045	2.13
72	0.76	8.444	75.2	3.346	2.305
78	0.8	8.889	75.3	3.641	2.479
84	0.84	9.333	75.2	3.94	2.63
90	0.88	9.778	75.1	4.234	2.791
96	0.94	10.444	75.1	4.525	2.928
102	0.99	11.000	75	4.815	3.087
108	1.02	11.333	75.2	5.105	3.222
114	1.04	11.556	75	5.402	3.381
120	1.05	11.667	75.1	5.704	3.521
126	1.06	11.778	75.3	6.017	3.666
132	1.08	12.000	75.2	6.291	3.809
138	1.1	12.222	75.1	6.595	3.942
144	1.12	12.444	75.1	6.88	4.081
150	1.15	12.778	75.3	7.183	4.226
156	1.19	13.222	75.2	7.475	4.33
162	1.22	13.556	75.2	7.765	4.466
168	1.26	14.000	75.1	8.052	4.591
174	1.28	14.222	75.2	8.344	4.713
180	1.32	14.667	75.1	8.651	4.827
186	1.35	15.000	75.1	8.951	4.947
192	1.38	15.333	75.2	9.231	5.045
198	1.4	15.556	75.2	9.532	5.173
204	1.44	16.000	75.1	9.823	5.259
210	1.47	16.333	75.1	10.126	5.375
216	1.52	16.889	75	10.419	5.475

ตารางที่ ค-6 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

222	1.57	17.444	75.3	10.708	5.574
228	1.66	18.444	75.2	11.002	5.677
234	1.7	18.889	75.1	11.293	5.766
240	1.71	19.000	75	11.583	5.853
246	1.74	19.333	75.1	11.879	5.951
252	1.76	19.556	75.1	12.17	6.051
258	1.78	19.778	75.1	12.466	6.139
264	1.81	20.111	75.1	12.765	6.224
270	1.84	20.444	75.2	13.057	6.321
276	1.86	20.667	75	13.347	6.412
282	1.91	21.222	75.1	13.643	6.513
288	1.97	21.889	75.1	13.932	6.592
294	2.01	22.333	75.4	14.239	6.665
300	2.05	22.778	75.2	14.532	6.764
306	2.09	23.222	75.2	14.832	6.841
312	2.12	23.556	75.1	15.104	6.939
318	2.17	24.111	75.1	15.407	7.024
324	2.21	24.556	75.2	15.712	7.096
330	2.26	25.111	75.2	15.995	7.184
336	2.3	25.556	75.1	16.288	7.265
342	2.34	26.000	75.2	16.589	7.336
348	2.38	26.444	75.1	16.879	7.418
354	2.4	26.667	75.1	17.188	7.499
360	2.43	27.000	75.4	17.477	7.584
366	2.47	27.444	75.1	17.769	7.649
372	2.51	27.889	75	18.058	7.726
378	2.55	28.333	75.1	18.354	7.795
384	2.58	28.667	75.2	18.654	7.881
390	2.61	29.000	75.2	18.948	7.944
396	2.66	29.556	75.2	19.252	8.029
402	2.7	30.000	75	19.542	8.089
408	2.75	30.556	75.2	19.831	8.161
414	2.78	30.889	75	20.122	8.235
420	2.81	31.222	75.1	20.429	8.31
426	2.86	31.778	75.1	20.716	8.379
432	2.93	32.556	75.1	20.996	8.443
438	2.98	33.111	75	21.291	8.504
444	3.03	33.667	75.3	21.593	8.576
450	3.07	34.111	75.1	21.883	8.661
456	3.1	34.444	75	22.189	8.718

ตารางที่ ค-6 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

462	3.13	34.778	75.1	22.492	8.786
468	3.16	35.111	75	22.765	8.849
474	3.2	35.556	75.1	23.073	8.912
480	3.24	36.000	75.2	23.355	8.977
486	3.29	36.556	75.1	23.646	9.034
492	3.34	37.111	75.1	23.954	9.104
498	3.34	37.111	75.3	24.234	9.162
504	3.36	37.333	75	24.546	9.224
510	3.35	37.222	75.1	24.835	9.288
516	3.36	37.333	75.1	25.135	9.346
522	3.39	37.667	75.2	25.437	9.378
528	3.45	38.333	75.1	25.721	9.406
534	3.51	39.000	75	26.014	9.442
540	3.6	40.000	75.2	26.319	9.466
546	3.67	40.778	75.2	26.594	9.481
552	3.72	41.333	75.2	26.898	9.493
558	3.76	41.778	75.2	27.196	9.524
564	3.8	42.222	75.4	27.498	9.552
570	3.83	42.556	75.2	27.79	9.561
576	3.87	43.000	75.2	28.063	9.574
582	3.91	43.444	75.2	28.375	9.599
588	3.95	43.889	75.2	28.68	9.618
594	3.98	44.222	75.1	28.972	9.636
600	4.04	44.889	75.2	29.276	9.644
606	4.07	45.222	75	29.571	9.66
612	4.07	45.222	75.1	29.849	9.675
618	4.08	45.333	75.2	30.15	9.696
624	4.09	45.444	75.2	30.445	9.716
630	4.13	45.889	75.1	30.748	9.729
636	4.14	46.000	75.1	31.037	9.746
642	4.17	46.333	75.1	31.332	9.767
648	4.21	46.778	75.3	31.618	9.775
654	4.25	47.222	75.2	31.92	9.791
660	4.28	47.556	75.2	32.219	9.827
666	4.3	47.778	75.1	32.511	9.846
672	4.32	48.000	75.1	32.808	9.854
678	4.34	48.222	75.2	33.102	9.872
684	4.37	48.556	75.5	33.399	9.891
690	4.38	48.667	75	33.697	9.919
696	4.39	48.778	75.1	33.986	9.938

ตารางที่ ค-6 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

702	4.42	49.111	75	34.286	9.947
708	4.45	49.444	75.1	34.577	9.962
714	4.47	49.667	75.1	34.868	9.976
720	4.48	49.778	75	35.174	10.008
726	4.49	49.889	75.1	35.479	10.021
732	4.49	49.889	75.3	35.762	10.039
738	4.5	50.000	75.1	36.062	10.059
744	4.51	50.111	75.1	36.355	10.068
750	4.53	50.333	75.1	36.656	10.093
756	4.54	50.444	75.2	36.959	10.113
762	4.54	50.444	75.2	37.259	10.134
768	4.54	50.444	75.1	37.535	10.154
774	4.56	50.667	75.3	37.838	10.171
780	4.6	51.111	75.4	38.125	10.187
786	4.59	51.000	75.3	38.431	10.209
792	4.6	51.111	75.3	38.725	10.23
798	4.61	51.222	75.3	39.019	10.242
804	4.61	51.222	75.2	39.317	10.271
810	4.62	51.333	75.1	39.607	10.287
816	4.62	51.333	75.4	39.905	10.3
822	4.64	51.556	75.2	40.206	10.317
828	4.65	51.667	75.2	40.504	10.33
834	4.65	51.667	75.3	40.793	10.344
840	4.64	51.556	75.1	41.099	10.371
846	4.63	51.444	75.1	41.388	10.389
852	4.65	51.667	75.1	41.693	10.401
858	4.67	51.889	75.1	41.978	10.421
864	4.68	52.000	75	42.261	10.431
870	4.69	52.111	75.2	42.573	10.441
876	4.7	52.222	74.9	42.881	10.458
882	4.71	52.333	75.3	43.168	10.488
888	4.71	52.333	75.1	43.474	10.498
894	4.71	52.333	75.1	43.764	10.513
900	4.71	52.333	75.1	44.058	10.53
906	4.74	52.667	75.1	44.35	10.536
912	4.77	53.000	75.3	44.659	10.558
918	4.78	53.111	75.1	44.953	10.574
924	4.8	53.333	75.2	45.25	10.597
930	4.79	53.222	75.1	45.548	10.615
936	4.83	53.667	75.1	45.843	10.634

ตารางที่ ค-6 หญ้าแฝกดอน 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

942	4.85	53.889	75.3	46.129	10.646
948	4.86	54.000	75.3	46.434	10.663
954	4.86	54.000	75.1	46.732	10.667
960	4.85	53.889	75.1	47.036	10.67
966	4.83	53.667	75.2	47.339	10.679
972	4.82	53.556	75.1	47.644	10.683
978	4.81	53.444	75.2	47.931	10.697
984	4.78	53.111	75.3	48.233	10.712
990	4.74	52.667	75.1	48.522	10.716
996	4.72	52.444	75	48.825	10.736

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-7 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 30 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.04	0.444	28.9	0.1	0.021
12	0.17	1.889	29.3	0.336	0.092
18	0.3	3.333	30	0.586	0.251
24	0.36	4.000	30.1	0.827	0.404
30	0.39	4.333	30.1	1.086	0.579
36	0.41	4.556	30	1.317	0.707
42	0.44	4.889	30	1.566	0.813
48	0.45	5.000	30	1.812	0.958
54	0.47	5.222	30.1	2.053	1.068
60	0.5	5.556	30	2.314	1.143
66	0.53	5.889	30.1	2.562	1.223
72	0.54	6.000	30	2.799	1.331
78	0.55	6.111	30	3.035	1.44
84	0.54	6.000	30	3.287	1.696
90	0.55	6.111	30.1	3.542	1.86
96	0.56	6.222	30.1	3.776	2.004
102	0.57	6.333	30	4.036	2.147
108	0.58	6.444	30.1	4.277	2.295
114	0.59	6.556	30	4.523	2.423
120	0.6	6.667	30.1	4.768	2.558
126	0.61	6.778	30	5	2.687
132	0.62	6.889	30.1	5.264	2.815
138	0.63	7.000	30	5.507	2.933
144	0.64	7.111	30.1	5.747	3.046
150	0.65	7.222	30	5.992	3.149
156	0.66	7.333	30	6.245	3.237
162	0.68	7.556	30	6.494	3.337
168	0.69	7.667	30	6.737	3.407
174	0.7	7.778	30.1	6.986	3.5
180	0.7	7.778	30	7.227	3.587
186	0.71	7.889	30.1	7.473	3.699
192	0.72	8.000	30	7.721	3.778
198	0.73	8.111	30	7.957	3.856
204	0.74	8.222	30	8.215	3.947
210	0.74	8.222	30	8.455	4.041
216	0.75	8.333	30	8.705	4.11

ตารางที่ ค-7 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

222	0.76	8.444	30	8.949	4.202
228	0.77	8.556	30.1	9.189	4.278
234	0.78	8.667	30	9.446	4.352
240	0.78	8.667	30	9.689	4.435
246	0.79	8.778	30.1	9.927	4.505
252	0.8	8.889	30.1	10.178	4.577
258	0.81	9.000	30	10.428	4.647
264	0.81	9.000	30	10.665	4.721
270	0.82	9.111	30.1	10.918	4.776
276	0.83	9.222	30	11.149	4.842
282	0.84	9.333	30.1	11.381	4.907
288	0.85	9.444	30	11.651	4.964
294	0.85	9.444	30.1	11.894	5.021
300	0.86	9.556	30.1	12.138	5.071
306	0.88	9.778	30	12.389	5.134
312	0.88	9.778	30	12.639	5.172
318	0.89	9.889	30.1	12.879	5.225
324	0.9	10.000	30.1	13.128	5.29
330	0.91	10.111	30	13.38	5.331
336	0.92	10.222	30	13.615	5.377
342	0.92	10.222	30	13.852	5.433
348	0.93	10.333	30.1	14.117	5.493
354	0.93	10.333	30	14.36	5.542
360	0.94	10.444	30.1	14.601	5.596
366	0.94	10.444	30	14.853	5.643
372	0.95	10.556	30.1	15.081	5.691
378	0.95	10.556	30	15.327	5.738
384	0.96	10.667	30.1	15.584	5.788
390	0.96	10.667	30	15.836	5.847
396	0.96	10.667	30.1	16.087	5.916
402	0.97	10.778	30	16.326	5.971
408	0.98	10.889	30	16.569	6.022
414	0.98	10.889	30	16.807	6.06
420	0.98	10.889	30.1	17.069	6.129
426	0.99	11.000	30.1	17.32	6.182
432	0.99	11.000	30.1	17.563	6.242
438	1	11.111	30	17.798	6.286
444	1	11.111	30.1	18.042	6.335
450	1.01	11.222	30	18.29	6.377
456	1.01	11.222	30.1	18.543	6.425

ตารางที่ ค-7 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

462	1.02	11.333	30	18.79	6.487
468	1.02	11.333	30.1	19.044	6.528
474	1.03	11.444	30	19.278	6.576
480	1.04	11.556	30.1	19.524	6.617
486	1.04	11.556	30	19.769	6.667
492	1.04	11.556	30.1	20.007	6.708
498	1.05	11.667	30	20.267	6.754
504	1.06	11.778	30.1	20.51	6.802
510	1.06	11.778	30	20.747	6.846
516	1.07	11.889	30.1	20.983	6.898
522	1.07	11.889	30.1	21.237	6.942
528	1.08	12.000	30.1	21.478	6.981
534	1.08	12.000	30	21.725	7.025
540	1.09	12.111	30.1	21.991	7.078
546	1.09	12.111	30	22.243	7.119
552	1.1	12.222	30	22.482	7.167
558	1.1	12.222	30	22.711	7.212
564	1.11	12.333	30.1	22.95	7.245
570	1.11	12.333	30	23.22	7.307
576	1.12	12.444	30.1	23.455	7.368
582	1.12	12.444	30	23.711	7.401
588	1.12	12.444	30.1	23.95	7.447
594	1.13	12.556	30	24.179	7.483
600	1.13	12.556	30	24.439	7.533
606	1.14	12.667	30.1	24.694	7.591
612	1.14	12.667	30	24.934	7.639
618	1.15	12.778	30.1	25.185	7.677
624	1.15	12.778	30	25.442	7.718
630	1.16	12.889	30	25.674	7.782
636	1.16	12.889	30	25.917	7.819
642	1.17	13.000	30	26.169	7.861
648	1.17	13.000	30	26.419	7.917
654	1.18	13.111	30.1	26.665	7.968
660	1.18	13.111	30	26.912	8.005
666	1.19	13.222	30.1	27.157	8.042
672	1.2	13.333	30.1	27.409	8.091
678	1.2	13.333	30.1	27.656	8.125
684	1.21	13.444	30.1	27.893	8.186
690	1.21	13.444	30	28.142	8.219
696	1.22	13.556	30	28.38	8.251

ตารางที่ ค-7 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

702	1.22	13.556	30.1	28.636	8.305
708	1.23	13.667	30	28.887	8.343
714	1.23	13.667	30.1	29.134	8.389
720	1.24	13.778	30	29.376	8.428
726	1.24	13.778	30.1	29.62	8.468
732	1.25	13.889	30	29.869	8.501
738	1.25	13.889	30.1	30.118	8.545
744	1.26	14.000	30	30.368	8.592
750	1.26	14.000	30	30.603	8.635
756	1.27	14.111	30.1	30.852	8.679
762	1.27	14.111	30.1	31.099	8.715
768	1.28	14.222	30.1	31.348	8.775
774	1.28	14.222	30.1	31.59	8.804
780	1.29	14.333	30	31.849	8.862
786	1.29	14.333	30.1	32.083	8.886
792	1.3	14.444	30	32.338	8.927
798	1.3	14.444	30.1	32.578	8.97
804	1.31	14.556	30.1	32.824	9.017
810	1.31	14.556	30.2	33.08	9.045
816	1.32	14.667	30.1	33.327	9.097
822	1.32	14.667	30	33.559	9.134
828	1.33	14.778	30	33.806	9.157
834	1.34	14.889	30.1	34.057	9.207
840	1.34	14.889	30.1	34.305	9.229
846	1.36	15.111	30.1	34.547	9.276
852	1.36	15.111	30.1	34.801	9.299
858	1.37	15.222	30	35.051	9.321
864	1.38	15.333	30.1	35.307	9.37
870	1.39	15.444	30.1	35.539	9.39
876	1.4	15.556	30	35.79	9.428
882	1.41	15.667	30.1	36.042	9.461
888	1.42	15.778	30	36.286	9.487
894	1.42	15.778	30.1	36.533	9.509
900	1.43	15.889	30.1	36.79	9.548
906	1.44	16.000	30.1	37.036	9.573
912	1.45	16.111	30.1	37.276	9.594
918	1.45	16.111	30.1	37.522	9.633
924	1.46	16.222	30.1	37.78	9.664
930	1.47	16.333	30	38.01	9.678
936	1.48	16.444	30	38.265	9.727

ตารางที่ ค-7 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 30 kPa (ต่อ)

942	1.49	16.556	30.2	38.514	9.761
948	1.49	16.556	30.2	38.762	9.798
954	1.5	16.667	30.1	39.002	9.828
960	1.5	16.667	30.1	39.257	9.858

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-8 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 50 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.04	0.444	48.9	0.107	0.049
12	0.38	4.222	49.6	0.339	0.116
18	0.53	5.889	50.1	0.586	0.244
24	0.57	6.333	50.1	0.839	0.371
30	0.6	6.667	50.1	1.082	0.501
36	0.62	6.889	50.1	1.32	0.625
42	0.64	7.111	50.1	1.569	0.745
48	0.67	7.444	50	1.812	0.981
54	0.68	7.556	50.3	2.065	1.305
60	0.7	7.778	50.4	2.318	1.484
66	0.72	8.000	50.3	2.562	1.636
72	0.74	8.222	50.2	2.807	1.795
78	0.75	8.333	50.2	3.042	1.988
84	0.77	8.556	50.2	3.292	2.119
90	0.79	8.778	50.2	3.543	2.252
96	0.81	9.000	50.1	3.785	2.396
102	0.83	9.222	50.1	4.034	2.52
108	0.85	9.444	50.1	4.281	2.633
114	0.87	9.667	50.1	4.527	2.78
120	0.87	9.667	50.1	4.773	3.002
126	0.88	9.778	50.1	5.01	3.213
132	0.9	10.000	50	5.266	3.457
138	0.91	10.111	50.1	5.52	3.697
144	0.93	10.333	50.1	5.761	3.9
150	0.96	10.667	50.1	6.003	4.122
156	0.97	10.778	50.1	6.253	4.317
162	0.99	11.000	50.1	6.504	4.516
168	1.01	11.222	50	6.739	4.706
174	1.03	11.444	50.1	6.989	4.887
180	1.05	11.667	50	7.231	5.045
186	1.07	11.889	50.1	7.475	5.222
192	1.08	12.000	50.1	7.72	5.392
198	1.09	12.111	50.1	7.961	5.56
204	1.11	12.333	50.1	8.213	5.742
210	1.12	12.444	50.2	8.463	5.897
216	1.13	12.556	50.2	8.698	6.035

ตารางที่ ค-8 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

222	1.14	12.667	50.1	8.956	6.169
228	1.15	12.778	50.1	9.196	6.299
234	1.16	12.889	50	9.448	6.409
240	1.17	13.000	50.2	9.695	6.521
246	1.18	13.111	50.2	9.941	6.645
252	1.19	13.222	50.1	10.179	6.758
258	1.2	13.333	50.1	10.43	6.853
264	1.21	13.444	50.1	10.667	6.959
270	1.22	13.556	50.1	10.918	7.055
276	1.23	13.667	50.2	11.151	7.164
282	1.24	13.778	50.2	11.391	7.266
288	1.25	13.889	50.1	11.649	7.347
294	1.26	14.000	50.1	11.898	7.437
300	1.28	14.222	50.1	12.143	7.52
306	1.29	14.333	50.2	12.394	7.613
312	1.3	14.444	50.2	12.646	7.697
318	1.3	14.444	50.2	12.893	7.787
324	1.3	14.444	50.2	13.123	7.868
330	1.31	14.556	50.1	13.381	7.953
336	1.31	14.556	50.1	13.619	8.022
342	1.32	14.667	50.1	13.861	8.113
348	1.32	14.667	50.2	14.121	8.184
354	1.33	14.778	50.2	14.369	8.268
360	1.35	15.000	50.1	14.61	8.347
366	1.36	15.111	50.1	14.856	8.419
372	1.37	15.222	50.1	15.091	8.482
378	1.38	15.333	50.1	15.339	8.566
384	1.39	15.444	50.1	15.595	8.651
390	1.4	15.556	50	15.841	8.704
396	1.42	15.778	50.1	16.089	8.783
402	1.44	16.000	50.1	16.331	8.837
408	1.45	16.111	50.1	16.571	8.912
414	1.47	16.333	50.1	16.818	8.971
420	1.48	16.444	50.1	17.08	9.046
426	1.5	16.667	50.2	17.321	9.101
432	1.51	16.778	50.2	17.566	9.183
438	1.52	16.889	50.2	17.799	9.25
444	1.53	17.000	50.2	18.049	9.3
450	1.55	17.222	50.2	18.3	9.353
456	1.58	17.556	50.1	18.549	9.432

ตารางที่ ค-8 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

462	1.6	17.778	50.1	18.8	9.509
468	1.61	17.889	50.2	19.044	9.547
474	1.63	18.111	50.2	19.276	9.616
480	1.64	18.222	50.1	19.532	9.669
486	1.67	18.556	50.1	19.779	9.735
492	1.69	18.778	50	20.023	9.786
498	1.7	18.889	50	20.272	9.846
504	1.72	19.111	50.2	20.515	9.902
510	1.74	19.333	50.2	20.752	9.972
516	1.76	19.556	50.2	20.987	10.023
522	1.79	19.889	50.2	21.241	10.082
528	1.81	20.111	50.2	21.49	10.139
534	1.82	20.222	50.1	21.731	10.196
540	1.82	20.222	50.1	21.993	10.259
546	1.83	20.333	50.1	22.244	10.3
552	1.86	20.667	50.1	22.48	10.363
558	1.89	21.000	50	22.722	10.424
564	1.91	21.222	50.2	22.957	10.478
570	1.92	21.333	50.2	23.222	10.523
576	1.94	21.556	50.1	23.46	10.586
582	1.95	21.667	50.1	23.721	10.637
588	1.96	21.778	50.1	23.956	10.701
594	1.97	21.889	50.1	24.188	10.74
600	1.99	22.111	50.2	24.444	10.803
606	2	22.222	50.1	24.699	10.858
612	2.01	22.333	50.1	24.944	10.909
618	2.02	22.444	50.1	25.189	10.957
624	2.04	22.667	50.2	25.442	11.017
630	2.04	22.667	50.2	25.681	11.065
636	2.05	22.778	50.1	25.921	11.13
642	2.06	22.889	50.1	26.185	11.165
648	2.08	23.111	50.1	26.428	11.219
654	2.1	23.333	50.1	26.674	11.276
660	2.12	23.556	50.1	26.916	11.33
666	2.13	23.667	50	27.17	11.374
672	2.14	23.778	50.1	27.412	11.444
678	2.15	23.889	50.1	27.666	11.483
684	2.16	24.000	50.1	27.902	11.55
690	2.17	24.111	50.1	28.151	11.595
696	2.19	24.333	50.2	28.394	11.636

ตารางที่ ค-8 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

702	2.21	24.556	50.1	28.654	11.709
708	2.22	24.667	50.1	28.895	11.746
714	2.25	25.000	50.1	29.141	11.796
720	2.25	25.000	50.1	29.388	11.854
726	2.26	25.111	50.1	29.629	11.894
732	2.28	25.333	50.1	29.882	11.932
738	2.31	25.667	50.1	30.128	11.967
744	2.33	25.889	50.1	30.379	11.983
750	2.36	26.222	50.3	30.615	11.993
756	2.38	26.444	50.2	30.863	12.009
762	2.39	26.556	50.2	31.11	12.021
768	2.39	26.556	50.2	31.36	12.03
774	2.41	26.778	50.1	31.597	12.034
780	2.43	27.000	50.1	31.857	12.038
786	2.45	27.222	50.1	32.094	12.048
792	2.46	27.333	50	32.347	12.058
798	2.48	27.556	50.2	32.594	12.086
804	2.49	27.667	50.1	32.836	12.097
810	2.5	27.778	50.1	33.087	12.109
816	2.53	28.111	50.1	33.334	12.124
822	2.55	28.333	50.1	33.576	12.135
828	2.58	28.667	50.1	33.82	12.146
834	2.59	28.778	50.1	34.071	12.163
840	2.6	28.889	50.1	34.309	12.178
846	2.6	28.889	50.1	34.558	12.189
852	2.61	29.000	50.1	34.813	12.202
858	2.62	29.111	50.1	35.062	12.209
864	2.66	29.556	50.1	35.311	12.206
870	2.7	30.000	50.1	35.552	12.222
876	2.75	30.556	50.1	35.802	12.233
882	2.79	31.000	50.2	36.051	12.241
888	2.8	31.111	50.1	36.297	12.255
894	2.82	31.333	50.1	36.537	12.266
900	2.85	31.667	50.2	36.799	12.277
906	2.87	31.889	50.1	37.05	12.284
912	2.89	32.111	50.1	37.282	12.291
918	2.92	32.444	50.2	37.53	12.309
924	2.93	32.556	50.2	37.791	12.314
930	2.93	32.556	50.2	38.019	12.321
936	2.93	32.556	50.2	38.275	12.325

ตารางที่ ค-8 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 50 kPa (ต่อ)

942	2.93	32.556	50.1	38.527	12.333
948	2.93	32.556	50.2	38.779	12.338
954	2.94	32.667	50.2	39.02	12.36
960	2.94	32.667	50.2	39.27	12.363

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-9 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 75 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.25	2.778	74.1	0.224	0.091
12	0.44	4.889	75	0.473	0.205
18	0.53	5.889	75.1	0.718	0.333
24	0.61	6.778	75.1	0.959	0.421
30	0.69	7.667	75.1	1.217	0.528
36	0.76	8.444	75.1	1.452	0.58
42	0.81	9.000	75.1	1.699	0.672
48	0.86	9.556	75.2	1.943	0.748
54	0.91	10.111	75.1	2.192	0.819
60	0.95	10.556	75.1	2.443	0.872
66	1	11.111	75.1	2.693	0.934
72	1.05	11.667	75	2.937	0.997
78	1.09	12.111	75.1	3.173	1.061
84	1.13	12.556	75.1	3.428	1.118
90	1.18	13.111	75.1	3.677	1.173
96	1.22	13.556	75	3.917	1.222
102	1.26	14.000	75.2	4.169	1.285
108	1.3	14.444	75.1	4.419	1.348
114	1.34	14.889	75.1	4.663	1.39
120	1.38	15.333	75.1	4.901	1.454
126	1.43	15.889	75	5.135	1.497
132	1.47	16.333	75.1	5.399	1.546
138	1.5	16.667	75.2	5.652	1.604
144	1.54	17.111	75.1	5.892	1.649
150	1.57	17.444	75.1	6.128	1.696
156	1.61	17.889	75.1	6.385	1.751
162	1.64	18.222	75.1	6.628	1.803
168	1.67	18.556	75.1	6.874	1.848
174	1.71	19.000	75	7.122	1.899
180	1.75	19.444	75	7.364	1.959
186	1.79	19.889	75.2	7.612	2
192	1.83	20.333	75.1	7.859	2.053
198	1.87	20.778	75.1	8.094	2.111
204	1.9	21.111	75	8.349	2.15
210	1.93	21.444	75.1	8.595	2.209
216	1.97	21.889	75.1	8.842	2.256

ตารางที่ ค-9 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

222	2	22.222	75.1	9.086	2.299
228	2.03	22.556	75.1	9.333	2.345
234	2.08	23.111	75.1	9.58	2.398
240	2.11	23.444	75.1	9.827	2.467
246	2.13	23.667	75.1	10.076	2.514
252	2.16	24.000	75.1	10.316	2.561
258	2.18	24.222	75.3	10.565	2.62
264	2.19	24.333	75.2	10.802	2.666
270	2.21	24.556	75.1	11.058	2.729
276	2.21	24.556	75	11.283	2.784
282	2.23	24.778	75.2	11.522	2.823
288	2.25	25.000	75.2	11.792	2.889
294	2.26	25.111	75.2	12.038	2.947
300	2.27	25.222	75.3	12.28	3.009
306	2.27	25.222	75.2	12.537	3.067
312	2.29	25.444	75.2	12.774	3.109
318	2.3	25.556	75.2	13.023	3.151
324	2.31	25.667	75.2	13.268	3.197
330	2.31	25.667	75.1	13.522	3.272
336	2.32	25.778	75.1	13.757	3.319
342	2.33	25.889	75.1	13.991	3.371
348	2.34	26.000	75.1	14.259	3.431
354	2.35	26.111	75	14.504	3.469
360	2.37	26.333	75.1	14.748	3.537
366	2.38	26.444	75.2	14.995	3.594
372	2.4	26.667	75.2	15.234	3.652
378	2.42	26.889	75.1	15.48	3.7
384	2.42	26.889	75.1	15.736	3.754
390	2.43	27.000	75.1	15.985	3.805
396	2.45	27.222	75	16.229	3.849
402	2.46	27.333	75.2	16.47	3.905
408	2.49	27.667	75.2	16.712	3.96
414	2.5	27.778	75.2	16.96	4.007
420	2.53	28.111	75.2	17.212	4.051
426	2.54	28.222	75.1	17.463	4.092
432	2.56	28.444	75.1	17.707	4.133
438	2.58	28.667	75.1	17.941	4.191
444	2.6	28.889	75	18.184	4.231
450	2.63	29.222	75.1	18.434	4.284
456	2.65	29.444	75.1	18.685	4.314

ตารางที่ ค-9 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

462	2.66	29.556	75.2	18.939	4.348
468	2.67	29.667	75.2	19.187	4.396
474	2.69	29.889	75.1	19.419	4.433
480	2.7	30.000	75.1	19.669	4.489
486	2.73	30.333	75.1	19.911	4.532
492	2.75	30.556	75.1	20.158	4.572
498	2.78	30.889	75.2	20.406	4.612
504	2.8	31.111	75.2	20.654	4.653
510	2.82	31.333	75.2	20.885	4.684
516	2.84	31.556	75.2	21.127	4.723
522	2.85	31.667	75	21.379	4.766
528	2.88	32.000	75.1	21.626	4.805
534	2.89	32.111	75	21.867	4.84
540	2.91	32.333	75.2	22.13	4.884
546	2.93	32.556	75.1	22.385	4.931
552	2.95	32.778	75.1	22.622	4.961
558	2.97	33.000	75.1	22.858	5.008
564	2.99	33.222	75.1	23.096	5.052
570	3.02	33.556	75.1	23.36	5.071
576	3.05	33.889	75.1	23.598	5.109
582	3.07	34.111	75.1	23.856	5.158
588	3.09	34.333	75.1	24.096	5.181
594	3.09	34.333	75.2	24.326	5.21
600	3.11	34.556	75.1	24.581	5.265
606	3.13	34.778	75.1	24.838	5.291
612	3.13	34.778	75.1	25.081	5.328
618	3.15	35.000	75.2	25.332	5.367
624	3.16	35.111	75.2	25.587	5.421
630	3.17	35.222	75.2	25.821	5.447
636	3.18	35.333	75.2	26.058	5.471
642	3.2	35.556	75.2	26.315	5.506
648	3.21	35.667	75.2	26.566	5.54
654	3.22	35.778	75.2	26.809	5.574
660	3.24	36.000	75.2	27.055	5.606
666	3.25	36.111	75.1	27.3	5.64
672	3.26	36.222	75.2	27.548	5.68
678	3.28	36.444	75.2	27.803	5.712
684	3.3	36.667	75.2	28.038	5.744
690	3.33	37.000	75.2	28.292	5.768
696	3.34	37.111	75.2	28.531	5.801

ตารางที่ ค-9 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

702	3.36	37.333	75.2	28.784	5.829
708	3.38	37.556	75.2	29.034	5.873
714	3.39	37.667	75.1	29.281	5.9
720	3.41	37.889	75.1	29.527	5.927
726	3.44	38.222	75.1	29.76	5.952
732	3.46	38.444	75.1	30.016	5.96
738	3.48	38.667	75.1	30.263	5.969
744	3.5	38.889	75.1	30.513	5.975
750	3.52	39.111	75.1	30.749	5.986
756	3.53	39.222	75.2	30.995	6.002
762	3.55	39.444	75.2	31.25	6.014
768	3.56	39.556	75.2	31.492	6.025
774	3.58	39.778	75.1	31.731	6.037
780	3.6	40.000	75.1	31.993	6.05
786	3.61	40.111	75.1	32.233	6.072
792	3.61	40.111	75.2	32.482	6.093
798	3.62	40.222	75.2	32.729	6.112
804	3.63	40.333	75.1	32.973	6.122
810	3.64	40.444	75.1	33.225	6.135
816	3.65	40.556	75.1	33.472	6.152
822	3.66	40.667	75.1	33.71	6.162
828	3.67	40.778	75.1	33.955	6.175
834	3.68	40.889	75	34.206	6.197
840	3.69	41.000	75.2	34.453	6.213
846	3.72	41.333	75.1	34.698	6.22
852	3.74	41.556	75.1	34.952	6.234
858	3.75	41.667	75.1	35.191	6.254
864	3.76	41.778	75.1	35.447	6.274
870	3.78	42.000	75.1	35.686	6.284
876	3.81	42.333	75.1	35.935	6.299
882	3.82	42.444	75	36.183	6.316
888	3.84	42.667	75	36.431	6.331
894	3.85	42.778	75	36.68	6.352
900	3.87	43.000	75.1	36.941	6.366
906	3.89	43.222	75.2	37.183	6.368
912	3.91	43.444	75.2	37.422	6.391
918	3.92	43.556	75.2	37.666	6.4
924	3.93	43.667	75.2	37.929	6.413
930	3.94	43.778	75	38.164	6.421
936	3.97	44.111	75.3	38.417	6.433

ตารางที่ ค-9 หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน 75 kPa (ต่อ)

942	4	44.444	75.3	38.66	6.447
948	4.02	44.667	75.3	38.916	6.476
954	4.03	44.778	75.3	39.156	6.494
960	4.05	45.000	75.2	39.41	6.507

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-10 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 30 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	-0.02	-0.222	28.8	0.103	0.001
12	0.17	1.889	29.2	0.339	0.035
18	0.26	2.889	30	0.587	0.23
24	0.28	3.111	30.1	0.837	0.417
30	0.3	3.333	30.1	1.08	0.592
36	0.32	3.556	30	1.327	0.757
42	0.33	3.667	30.1	1.568	0.935
48	0.36	4.000	30	1.819	1.099
54	0.37	4.111	30.1	2.065	1.246
60	0.39	4.333	30.1	2.317	1.405
66	0.4	4.444	30.1	2.564	1.572
72	0.41	4.556	30.1	2.806	1.727
78	0.43	4.778	30	3.04	1.858
84	0.45	5.000	30	3.3	1.984
90	0.46	5.111	30	3.545	2.109
96	0.47	5.222	30.1	3.795	2.24
102	0.48	5.333	30	4.032	2.354
108	0.49	5.444	30	4.28	2.467
114	0.51	5.667	30.1	4.526	2.586
120	0.52	5.778	30	4.772	2.708
126	0.53	5.889	30.1	5.023	2.814
132	0.55	6.111	30.1	5.265	2.911
138	0.56	6.222	30	5.522	3.006
144	0.57	6.333	30.1	5.765	3.114
150	0.57	6.333	30	6.012	3.233
156	0.58	6.444	30.1	6.265	3.346
162	0.59	6.556	30.1	6.507	3.462
168	0.6	6.667	30	6.742	3.562
174	0.61	6.778	30.1	6.997	3.659
180	0.62	6.889	30.1	7.24	3.764
186	0.63	7.000	30	7.484	3.847
192	0.63	7.000	30.1	7.73	3.975
198	0.63	7.000	30.1	7.973	4.073
204	0.64	7.111	30.1	8.217	4.175
210	0.66	7.333	30.1	8.472	4.254
216	0.67	7.444	30	8.703	4.335

ตารางที่ ค-10 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

222	0.68	7.556	30	8.961	4.409
228	0.69	7.667	30.2	9.216	4.494
234	0.7	7.778	30.1	9.454	4.576
240	0.7	7.778	30	9.698	4.685
246	0.7	7.778	30	9.955	4.79
252	0.71	7.889	30	10.188	4.873
258	0.73	8.111	30	10.434	4.954
264	0.73	8.111	30.1	10.686	5.049
270	0.74	8.222	30	10.92	5.132
276	0.74	8.222	30.1	11.16	5.232
282	0.75	8.333	30	11.408	5.329
288	0.76	8.444	30	11.658	5.421
294	0.76	8.444	30	11.91	5.5
300	0.77	8.556	30	12.151	5.571
306	0.78	8.667	30	12.397	5.683
312	0.79	8.778	30	12.66	5.752
318	0.79	8.778	30.1	12.9	5.84
324	0.8	8.889	30	13.132	5.914
330	0.82	9.111	30	13.386	5.971
336	0.83	9.222	30	13.633	6.036
342	0.84	9.333	30.1	13.874	6.104
348	0.85	9.444	30	14.134	6.152
354	0.85	9.444	30	14.384	6.215
360	0.85	9.444	30.1	14.621	6.287
366	0.86	9.556	30.1	14.869	6.35
372	0.86	9.556	30	15.107	6.421
378	0.87	9.667	30.1	15.353	6.492
384	0.87	9.667	30.1	15.604	6.573
390	0.87	9.667	30.1	15.855	6.656
396	0.88	9.778	30.1	16.101	6.75
402	0.88	9.778	30	16.343	6.821
408	0.89	9.889	30.1	16.589	6.903
414	0.89	9.889	30	16.837	6.98
420	0.9	10.000	30.1	17.093	7.058
426	0.91	10.111	30	17.341	7.13
432	0.91	10.111	30	17.575	7.19
438	0.91	10.111	30.1	17.81	7.279
444	0.92	10.222	30	18.068	7.352
450	0.92	10.222	30.1	18.307	7.422
456	0.93	10.333	30	18.565	7.496

ตารางที่ ค-10 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

462	0.93	10.333	30.1	18.807	7.571
468	0.93	10.333	30	19.057	7.632
474	0.94	10.444	30.1	19.279	7.701
480	0.94	10.444	30	19.544	7.778
486	0.95	10.556	30	19.796	7.84
492	0.96	10.667	30.1	20.032	7.916
498	0.97	10.778	30	20.284	7.982
504	0.98	10.889	30	20.535	8.047
510	0.99	11.000	30	20.772	8.115
516	1	11.111	30.1	21.005	8.18
522	1	11.111	30	21.254	8.244
528	1.02	11.333	30.1	21.507	8.312
534	1.02	11.333	30	21.753	8.375
540	1.03	11.444	30.1	22.018	8.431
546	1.04	11.556	30.1	22.254	8.486
552	1.05	11.667	30	22.489	8.537
558	1.06	11.778	30.1	22.735	8.615
564	1.06	11.778	30	22.982	8.662
570	1.07	11.889	30.1	23.228	8.716
576	1.08	12.000	30.1	23.479	8.773
582	1.09	12.111	30	23.734	8.812
588	1.09	12.111	30.1	23.975	8.875
594	1.1	12.222	30	24.204	8.926
600	1.11	12.333	30	24.461	8.978
606	1.12	12.444	30.1	24.719	9.035
612	1.12	12.444	30	24.961	9.076
618	1.13	12.556	30	25.197	9.126
624	1.14	12.667	30	25.446	9.184
630	1.14	12.667	30	25.695	9.23
636	1.15	12.778	30.1	25.94	9.274
642	1.16	12.889	30	26.192	9.319
648	1.16	12.889	30.1	26.456	9.371
654	1.17	13.000	30.1	26.7	9.43
660	1.18	13.111	30	26.929	9.468
666	1.18	13.111	30.1	27.183	9.526
672	1.19	13.222	30.1	27.428	9.566
678	1.19	13.222	30.1	27.676	9.628
684	1.2	13.333	30	27.924	9.665
690	1.21	13.444	30.1	28.16	9.706
696	1.21	13.444	30.1	28.409	9.765

ตารางที่ ค-10 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

702	1.22	13.556	30.1	28.668	9.805
708	1.22	13.556	30	28.908	9.84
714	1.23	13.667	30	29.159	9.858
720	1.24	13.778	30.1	29.402	9.879
726	1.25	13.889	30	29.654	9.896
732	1.26	14.000	30.1	29.901	9.923
738	1.27	14.111	30.1	30.132	9.95
744	1.28	14.222	30	30.392	9.964
750	1.29	14.333	30.1	30.634	9.976
756	1.3	14.444	30.1	30.886	9.993
762	1.31	14.556	30	31.123	10.009
768	1.32	14.667	30.1	31.374	10.029
774	1.33	14.778	30.1	31.611	10.05
780	1.34	14.889	30	31.866	10.062
786	1.34	14.889	30	32.118	10.074
792	1.35	15.000	30	32.367	10.088
798	1.36	15.111	30	32.612	10.107
804	1.37	15.222	30	32.852	10.121
810	1.38	15.333	30.1	33.082	10.131
816	1.38	15.333	30	33.342	10.135
822	1.39	15.444	30.1	33.587	10.152
828	1.4	15.556	30.1	33.84	10.175
834	1.41	15.667	30	34.079	10.193
840	1.41	15.667	30.1	34.337	10.214
846	1.42	15.778	30.1	34.576	10.226
852	1.42	15.778	30	34.825	10.249
858	1.43	15.889	30	35.074	10.26
864	1.43	15.889	30.1	35.327	10.269
870	1.44	16.000	30	35.579	10.29
876	1.44	16.000	30	35.818	10.331
882	1.44	16.000	30.1	36.068	10.37
888	1.44	16.000	30	36.31	10.451
894	1.43	15.889	30.1	36.552	10.539
900	1.44	16.000	30.1	36.818	10.595
906	1.44	16.000	30	37.064	10.65
912	1.45	16.111	30.1	37.292	10.7
918	1.45	16.111	30	37.545	10.745
924	1.46	16.222	30	37.804	10.788
930	1.47	16.333	30.1	38.042	10.83
936	1.47	16.333	30.1	38.296	10.866

ตารางที่ ค-10 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

942	1.48	16.444	30.1	38.545	10.88
948	1.49	16.556	30	38.792	10.901
954	1.5	16.667	30.1	39.025	10.91
960	1.51	16.778	30.1	39.28	10.925

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-11 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 50 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
12	0.19	2.111	49.1	0.355	0.07
18	0.25	2.778	50	0.591	0.198
24	0.3	3.333	50.2	0.844	0.31
30	0.34	3.778	50.2	1.096	0.405
36	0.38	4.222	50.2	1.336	0.508
42	0.42	4.667	50.1	1.588	0.598
48	0.46	5.111	50.1	1.83	0.7
54	0.5	5.556	50.1	2.079	0.774
60	0.54	6.000	50	2.328	0.849
66	0.57	6.333	50.1	2.568	0.93
72	0.6	6.667	50.2	2.816	0.999
78	0.62	6.889	50.1	3.048	1.085
84	0.64	7.111	50.1	3.311	1.164
90	0.66	7.333	50	3.56	1.247
96	0.66	7.333	50.1	3.8	1.343
102	0.67	7.444	50.1	4.044	1.443
108	0.68	7.556	50.1	4.292	1.535
114	0.69	7.667	50	4.53	1.63
120	0.7	7.778	50.2	4.778	1.748
126	0.71	7.889	50.1	5.033	1.846
132	0.73	8.111	50.1	5.275	1.939
138	0.73	8.111	50.1	5.534	2.049
144	0.73	8.111	50	5.774	2.174
150	0.74	8.222	50.1	6.03	2.311
156	0.73	8.111	50.1	6.271	2.471
162	0.74	8.222	50.1	6.519	2.599
168	0.74	8.222	50.1	6.756	2.72
174	0.75	8.333	50.2	7.002	2.852
180	0.76	8.444	50.1	7.251	2.969
186	0.77	8.556	50	7.497	3.065
192	0.78	8.667	50.1	7.735	3.18
198	0.8	8.889	50.1	7.986	3.277
204	0.82	9.111	50.1	8.229	3.372
210	0.83	9.222	50	8.488	3.467
216	0.85	9.444	50.1	8.716	3.583
222	0.87	9.667	50.1	8.979	3.671

ตารางที่ ค-11 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

228	0.88	9.778	50	9.231	3.757
234	0.89	9.889	50.1	9.465	3.868
240	0.9	10.000	50	9.708	3.947
246	0.92	10.222	50.1	9.965	4.048
252	0.94	10.444	50.1	10.202	4.124
258	0.95	10.556	50.1	10.444	4.21
264	0.97	10.778	50.1	10.701	4.294
270	0.99	11.000	50.1	10.933	4.371
276	1	11.111	50.1	11.178	4.462
282	1.02	11.333	50.1	11.419	4.524
288	1.04	11.556	50.1	11.666	4.621
294	1.05	11.667	50.1	11.915	4.699
300	1.08	12.000	50	12.171	4.778
306	1.1	12.222	50	12.411	4.846
312	1.11	12.333	50.1	12.665	4.919
318	1.14	12.667	50	12.906	4.998
324	1.16	12.889	50.1	13.143	5.073
330	1.18	13.111	50.1	13.397	5.159
336	1.2	13.333	50	13.642	5.214
342	1.22	13.556	50.1	13.885	5.298
348	1.25	13.889	50	14.135	5.372
354	1.27	14.111	50.2	14.391	5.445
360	1.29	14.333	50.2	14.629	5.519
366	1.31	14.556	50.2	14.875	5.596
372	1.33	14.778	50.2	15.119	5.671
378	1.36	15.111	50.2	15.36	5.747
384	1.38	15.333	50.2	15.614	5.815
390	1.4	15.556	50.2	15.859	5.883
396	1.42	15.778	50.1	16.107	5.949
402	1.45	16.111	50.1	16.353	6.025
408	1.47	16.333	50.1	16.598	6.089
414	1.49	16.556	50.1	16.839	6.145
420	1.52	16.889	50.1	17.103	6.218
426	1.55	17.222	50.1	17.343	6.281
432	1.57	17.444	50.1	17.582	6.342
438	1.59	17.667	50.1	17.822	6.386
444	1.61	17.889	50.1	18.079	6.454
450	1.63	18.111	50.1	18.32	6.521
456	1.65	18.333	50.1	18.576	6.575
462	1.67	18.556	50	18.816	6.622

ตารางที่ ค-11 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

468	1.69	18.778	50	19.063	6.682
474	1.71	19.000	50.2	19.298	6.742
480	1.73	19.222	50.1	19.556	6.797
486	1.75	19.444	50.1	19.804	6.833
492	1.78	19.778	50.1	20.04	6.91
498	1.8	20.000	50.1	20.293	6.957
504	1.82	20.222	50.1	20.539	7.007
510	1.83	20.333	50.1	20.779	7.081
516	1.85	20.556	50.1	21.013	7.134
522	1.87	20.778	50	21.273	7.176
528	1.89	21.000	50.1	21.513	7.226
534	1.91	21.222	50.2	21.773	7.271
540	1.93	21.444	50.1	22.026	7.337
546	1.94	21.556	50.1	22.265	7.373
552	1.96	21.778	50.1	22.494	7.417
558	1.98	22.000	50.1	22.746	7.479
564	2	22.222	50.1	22.998	7.526
570	2.02	22.444	50.1	23.229	7.575
576	2.03	22.556	50.1	23.485	7.618
582	2.05	22.778	50.1	23.74	7.66
588	2.06	22.889	50	23.979	7.708
594	2.09	23.222	50.3	24.221	7.765
600	2.1	23.333	50.3	24.477	7.822
606	2.12	23.556	50.2	24.731	7.87
612	2.13	23.667	50.2	24.968	7.933
618	2.13	23.667	50.1	25.209	7.962
624	2.14	23.778	50.1	25.453	8.024
630	2.15	23.889	50.1	25.7	8.058
636	2.16	24.000	50.1	25.948	8.105
642	2.17	24.111	50.1	26.207	8.157
648	2.18	24.222	50	26.466	8.196
654	2.2	24.444	50.1	26.705	8.245
660	2.21	24.556	50	26.933	8.284
666	2.23	24.778	50.1	27.189	8.345
672	2.25	25.000	50.2	27.437	8.384
678	2.26	25.111	50.2	27.686	8.438
684	2.27	25.222	50.2	27.933	8.474
690	2.29	25.444	50.2	28.165	8.532
696	2.3	25.556	50.1	28.42	8.582
702	2.31	25.667	50.1	28.673	8.626

ตารางที่ ค-11 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

708	2.33	25.889	50.2	28.923	8.67
714	2.34	26.000	50.1	29.166	8.709
720	2.35	26.111	50.1	29.415	8.748
726	2.37	26.333	50.1	29.668	8.802
732	2.39	26.556	50.3	29.905	8.835
738	2.4	26.667	50.1	30.146	8.894
744	2.41	26.778	50.1	30.397	8.93
750	2.43	27.000	50.1	30.645	8.982
756	2.45	27.222	50.2	30.897	9.023
762	2.47	27.444	50.1	31.131	9.063
768	2.48	27.556	50.1	31.378	9.096
774	2.49	27.667	50.1	31.62	9.136
780	2.5	27.778	50.1	31.875	9.19
786	2.51	27.889	50.1	32.121	9.22
792	2.52	28.000	50.1	32.375	9.274
798	2.53	28.111	50.1	32.613	9.309
804	2.55	28.333	50.1	32.87	9.35
810	2.55	28.333	50	33.084	9.402
816	2.57	28.556	50.2	33.354	9.445
822	2.59	28.778	50.2	33.604	9.49
828	2.6	28.889	50.2	33.852	9.521
834	2.61	29.000	50.1	34.088	9.576
840	2.62	29.111	50.1	34.34	9.601
846	2.63	29.222	50.1	34.591	9.639
852	2.64	29.333	50.1	34.832	9.685
858	2.66	29.556	50.2	35.086	9.73
864	2.67	29.667	50.2	35.337	9.766
870	2.68	29.778	50.2	35.586	9.799
876	2.7	30.000	50.2	35.835	9.849
882	2.71	30.111	50.1	36.079	9.887
888	2.72	30.222	50.1	36.324	9.922
894	2.73	30.333	50.1	36.566	9.969
900	2.74	30.444	50.1	36.829	10.008
906	2.75	30.556	50.2	37.066	10.063
912	2.77	30.778	50.2	37.311	10.112
918	2.78	30.889	50.1	37.562	10.134
924	2.78	30.889	50.1	37.813	10.184
930	2.8	31.111	50.1	38.064	10.222
936	2.8	31.111	50.2	38.315	10.26
942	2.81	31.222	50.2	38.559	10.306

ตารางที่ ค-11 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

948	2.82	31.333	50.2	38.801	10.334
954	2.83	31.444	50.2	39.04	10.391
960	2.84	31.556	50.2	39.292	10.431

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-12 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 75 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
6	0.19	2.111	73.5	0.102	0.016
12	0.39	4.333	74.1	0.339	0.056
18	0.53	5.889	75.1	0.592	0.192
24	0.58	6.444	75.1	0.836	0.291
30	0.64	7.111	75.1	1.085	0.415
36	0.7	7.778	75	1.327	0.543
42	0.73	8.111	75.1	1.563	0.655
48	0.76	8.444	75.1	1.811	0.771
54	0.78	8.667	75.1	2.06	0.883
60	0.81	9.000	75.1	2.317	0.995
66	0.86	9.556	75.1	2.561	1.098
72	0.9	10.000	75.2	2.803	1.229
78	0.94	10.444	75.1	3.037	1.334
84	0.99	11.000	75.1	3.292	1.438
90	1.03	11.444	75.1	3.543	1.538
96	1.07	11.889	75.1	3.786	1.648
102	1.1	12.222	75.1	4.034	1.736
108	1.14	12.667	75.1	4.285	1.849
114	1.19	13.222	75.1	4.529	1.945
120	1.24	13.778	75.1	4.768	2.059
126	1.29	14.333	75.1	5.003	2.149
132	1.35	15.000	75	5.262	2.243
138	1.41	15.667	75.2	5.517	2.343
144	1.47	16.333	75.2	5.758	2.42
150	1.53	17.000	75.1	5.994	2.507
156	1.57	17.444	75.1	6.252	2.594
162	1.61	17.889	75	6.496	2.686
168	1.66	18.444	75.1	6.74	2.761
174	1.72	19.111	75	6.989	2.84
180	1.78	19.778	75.2	7.229	2.922
186	1.83	20.333	75.1	7.473	2.996
192	1.88	20.889	75.1	7.72	3.069
198	1.9	21.111	75.1	7.962	3.154
204	1.91	21.222	75.1	8.213	3.226
210	1.93	21.444	75.1	8.459	3.281
216	1.97	21.889	75	8.705	3.35

ตารางที่ ค-12 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

222	2.01	22.333	75.1	8.954	3.417
228	2.05	22.778	75.1	9.196	3.486
234	2.09	23.222	75.1	9.45	3.562
240	2.14	23.778	75	9.696	3.621
246	2.18	24.222	75.1	9.946	3.698
252	2.2	24.444	75.1	10.177	3.749
258	2.23	24.778	75.1	10.429	3.818
264	2.25	25.000	75.1	10.667	3.887
270	2.27	25.222	75.1	10.921	3.937
276	2.29	25.444	75.2	11.149	4.007
282	2.3	25.556	75.1	11.388	4.072
288	2.32	25.778	75.1	11.656	4.128
294	2.34	26.000	75.1	11.901	4.193
300	2.37	26.333	75.1	12.143	4.244
306	2.43	27.000	75.1	12.398	4.259
312	2.46	27.333	75.1	12.642	4.29
318	2.49	27.667	75.2	12.883	4.306
324	2.51	27.889	75.2	13.129	4.316
330	2.53	28.111	75.2	13.382	4.348
336	2.55	28.333	75.2	13.619	4.373
342	2.56	28.444	75.2	13.856	4.395
348	2.58	28.667	75.2	14.123	4.41
354	2.6	28.889	75.2	14.37	4.426
360	2.62	29.111	75.1	14.609	4.442
366	2.65	29.444	75.1	14.856	4.452
372	2.68	29.778	75.1	15.095	4.468
378	2.72	30.222	75.1	15.342	4.514
384	2.75	30.556	75	15.594	4.54
390	2.79	31.000	75.1	15.845	4.563
396	2.82	31.333	75.2	16.092	4.58
402	2.84	31.556	75.2	16.33	4.603
408	2.86	31.778	75.1	16.571	4.63
414	2.9	32.222	75.1	16.82	4.657
420	2.93	32.556	75.1	17.079	4.677
426	2.98	33.111	75.1	17.326	4.698
432	3.01	33.444	75	17.572	4.724
438	3.05	33.889	75.1	17.798	4.747
444	3.06	34.000	75	18.047	4.774
450	3.08	34.222	75.1	18.297	4.789
456	3.11	34.556	75.2	18.55	4.819

ตารางที่ ค-12 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

462	3.14	34.889	75.2	18.802	4.846
468	3.16	35.111	75.3	19.05	4.869
474	3.18	35.333	75.1	19.282	4.89
480	3.21	35.667	75.2	19.529	4.909
486	3.23	35.889	75.2	19.772	4.953
492	3.26	36.222	75.1	20.017	4.966
498	3.29	36.556	75.1	20.271	4.987
504	3.31	36.778	75.1	20.519	5.013
510	3.34	37.111	75.1	20.754	5.042
516	3.37	37.444	75.1	20.986	5.066
522	3.41	37.889	75.1	21.24	5.076
528	3.46	38.444	75.1	21.488	5.085
534	3.51	39.000	75.1	21.731	5.116
540	3.54	39.333	75.1	21.991	5.128
546	3.56	39.556	75.1	22.243	5.159
552	3.58	39.778	75.1	22.484	5.174
558	3.62	40.222	75.1	22.72	5.202
564	3.64	40.444	75.1	22.955	5.211
570	3.65	40.556	75.1	23.226	5.223
576	3.67	40.778	75.2	23.461	5.235
582	3.68	40.889	75.1	23.719	5.251
588	3.71	41.222	75.1	23.956	5.282
594	3.71	41.222	75.1	24.189	5.314
600	3.72	41.333	75.1	24.445	5.321
606	3.72	41.333	75.2	24.701	5.341
612	3.75	41.667	75.2	24.944	5.346
618	3.76	41.778	75.1	25.195	5.367
624	3.77	41.889	75.2	25.446	5.394
630	3.8	42.222	75.1	25.683	5.402
636	3.82	42.444	75.1	25.923	5.42
642	3.83	42.556	75	26.181	5.436
648	3.85	42.778	75.1	26.432	5.443
654	3.87	43.000	75.2	26.667	5.465
660	3.89	43.222	75.2	26.914	5.471
666	3.9	43.333	75.2	27.168	5.485
672	3.91	43.444	75.1	27.412	5.496
678	3.93	43.667	75.1	27.669	5.501
684	3.94	43.778	75.1	27.905	5.512
690	3.96	44.000	75.1	28.154	5.528
696	3.96	44.000	75.1	28.394	5.534

ตารางที่ ค-12 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

702	3.97	44.111	75.1	28.652	5.538
708	3.98	44.222	75.2	28.9	5.56
714	3.99	44.333	75.1	29.146	5.577
720	4.01	44.556	75	29.386	5.593
726	4.04	44.889	75.2	29.627	5.598
732	4.06	45.111	75.2	29.883	5.608
738	4.09	45.444	75.2	30.125	5.614
744	4.1	45.556	75.2	30.373	5.626
750	4.11	45.667	75.1	30.615	5.637
756	4.13	45.889	75.1	30.86	5.648
762	4.13	45.889	75.1	31.113	5.664
768	4.16	46.222	75.3	31.36	5.675
774	4.17	46.333	75.3	31.597	5.685
780	4.19	46.556	75.3	31.856	5.689
786	4.19	46.556	75.3	32.095	5.705
792	4.2	46.667	75.2	32.35	5.713
798	4.21	46.778	75.2	32.595	5.721
804	4.22	46.889	75.2	32.838	5.721
810	4.24	47.111	75.2	33.089	5.731
816	4.27	47.444	75.4	33.338	5.739
822	4.27	47.444	75.2	33.58	5.741
828	4.27	47.444	75.2	33.821	5.747
834	4.27	47.444	75.1	34.072	5.757
840	4.27	47.444	75.1	34.317	5.768
846	4.28	47.556	75.1	34.562	5.785
852	4.29	47.667	75.1	34.815	5.786
858	4.3	47.778	75.1	35.057	5.795
864	4.31	47.889	75.2	35.313	5.81
870	4.31	47.889	75.2	35.554	5.819
876	4.31	47.889	75.2	35.802	5.824
882	4.32	48.000	75.1	36.049	5.835
888	4.33	48.111	75.1	36.298	5.848
894	4.33	48.111	75.2	36.544	5.854
900	4.32	48.000	75.2	36.804	5.861
906	4.32	48.000	75.2	37.053	5.87
912	4.32	48.000	75.2	37.288	5.879
918	4.33	48.111	75.1	37.534	5.896
924	4.34	48.222	75.2	37.797	5.906
930	4.34	48.222	75.1	38.03	5.927
936	4.34	48.222	75.1	38.283	5.929

ตารางที่ ค-12 หญ้าแฝกดอน 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

942	4.35	48.333	75.1	38.535	5.927
948	4.36	48.444	75.1	38.787	5.932
954	4.37	48.556	75.1	39.018	5.939
960	4.38	48.667	75.1	39.276	5.938

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-13 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 30 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
12	0.21	2.333	30.2	0.408	0.185
18	0.28	3.111	30.2	0.7	0.346
24	0.32	3.556	30.2	1.009	0.49
30	0.34	3.778	30.1	1.297	0.648
36	0.36	4.000	30.1	1.597	0.785
42	0.37	4.111	30	1.893	0.963
48	0.38	4.222	30.1	2.181	1.103
54	0.4	4.444	30.1	2.485	1.264
60	0.41	4.556	30.1	2.773	1.417
66	0.42	4.667	30.1	3.056	1.6
72	0.43	4.778	30	3.358	1.754
78	0.45	5.000	30	3.661	1.899
84	0.46	5.111	30.1	3.957	2.066
90	0.47	5.222	30.1	4.244	2.216
96	0.48	5.333	30.1	4.527	2.356
102	0.49	5.444	30.1	4.82	2.518
108	0.5	5.556	30.1	5.113	2.66
114	0.51	5.667	30.1	5.417	2.811
120	0.52	5.778	30	5.72	2.95
126	0.53	5.889	30	6.02	3.092
132	0.55	6.111	30.2	6.297	3.234
138	0.56	6.222	30.1	6.605	3.354
144	0.57	6.333	30.1	6.898	3.477
150	0.58	6.444	30.1	7.183	3.61
156	0.6	6.667	30.1	7.485	3.719
162	0.61	6.778	30.1	7.78	3.828
168	0.62	6.889	30	8.069	3.932
174	0.64	7.111	30	8.366	4.043
180	0.65	7.222	30.1	8.65	4.16
186	0.66	7.333	30.1	8.962	4.264
192	0.67	7.444	30.1	9.257	4.357
198	0.68	7.556	30.1	9.536	4.471
204	0.69	7.667	30.1	9.83	4.566
210	0.7	7.778	30.1	10.131	4.657
216	0.72	8.000	30	10.417	4.761
222	0.73	8.111	30.1	10.716	4.841

ตารางที่ ค-13 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

228	0.74	8.222	30	11.001	4.942
234	0.75	8.333	30.1	11.289	5.02
240	0.76	8.444	30.1	11.591	5.114
246	0.77	8.556	30.1	11.888	5.22
252	0.78	8.667	30.1	12.193	5.311
258	0.79	8.778	30.1	12.482	5.392
264	0.8	8.889	30.1	12.767	5.475
270	0.81	9.000	30.1	13.057	5.562
276	0.82	9.111	30	13.359	5.646
282	0.83	9.222	30.1	13.652	5.725
288	0.84	9.333	30.1	13.95	5.797
294	0.85	9.444	30	14.243	5.892
300	0.86	9.556	30	14.542	5.974
306	0.87	9.667	30	14.831	6.049
312	0.88	9.778	30.1	15.125	6.122
318	0.89	9.889	30.1	15.419	6.213
324	0.9	10.000	30.1	15.716	6.286
330	0.9	10.000	30.1	16.017	6.359
336	0.92	10.222	30	16.305	6.433
342	0.93	10.333	30.1	16.601	6.511
348	0.94	10.444	30.1	16.893	6.589
354	0.94	10.444	30	17.193	6.666
360	0.95	10.556	30	17.487	6.73
366	0.96	10.667	30.1	17.768	6.822
372	0.97	10.778	30.1	18.079	6.881
378	0.98	10.889	30.1	18.37	6.953
384	0.99	11.000	30.1	18.664	7.034
390	1	11.111	30.1	18.962	7.107
396	1.01	11.222	30	19.236	7.163
402	1.02	11.333	30	19.543	7.228
408	1.02	11.333	30.1	19.838	7.3
414	1.03	11.444	30	20.127	7.375
420	1.04	11.556	30	20.431	7.435
426	1.05	11.667	30.1	20.708	7.504
432	1.06	11.778	30	21.018	7.568
438	1.07	11.889	30.1	21.304	7.632
444	1.08	12.000	30	21.593	7.693
450	1.09	12.111	30	21.9	7.769
456	1.09	12.111	30	22.194	7.822
462	1.1	12.222	30.1	22.491	7.879

ตารางที่ ค-13 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

468	1.11	12.333	30	22.769	7.947
474	1.12	12.444	30	23.074	7.997
480	1.13	12.556	30	23.363	8.058
486	1.14	12.667	30.1	23.657	8.128
492	1.15	12.778	30.1	23.953	8.19
498	1.16	12.889	30.1	24.245	8.239
504	1.17	13.000	30	24.543	8.307
510	1.17	13.000	30.1	24.836	8.356
516	1.18	13.111	30	25.127	8.419
522	1.19	13.222	30	25.437	8.465
528	1.2	13.333	30.1	25.719	8.538
534	1.21	13.444	30.1	26.017	8.593
540	1.22	13.556	30	26.324	8.64
546	1.23	13.667	30.2	26.617	8.698
552	1.23	13.667	30.2	26.906	8.756
558	1.24	13.778	30.1	27.191	8.799
564	1.25	13.889	30	27.491	8.855
570	1.26	14.000	30	27.782	8.909
576	1.27	14.111	30.1	28.066	8.97
582	1.27	14.111	30.1	28.368	9.011
588	1.28	14.222	30	28.681	9.062
594	1.29	14.333	30.1	28.966	9.114
600	1.3	14.444	30.1	29.262	9.157
606	1.31	14.556	30.1	29.573	9.222
612	1.31	14.556	30.1	29.852	9.263
618	1.32	14.667	30.1	30.154	9.324
624	1.33	14.778	30.1	30.432	9.366
630	1.34	14.889	30.1	30.733	9.402
636	1.35	15.000	30.1	31.028	9.457
642	1.36	15.111	30.1	31.316	9.488
648	1.37	15.222	30.2	31.626	9.548
654	1.38	15.333	30.1	31.908	9.598
660	1.39	15.444	30.1	32.214	9.646
666	1.4	15.556	30.1	32.494	9.682
672	1.41	15.667	30	32.798	9.731
678	1.42	15.778	30.2	33.083	9.78
684	1.42	15.778	30	33.383	9.816
690	1.43	15.889	30	33.676	9.868
696	1.45	16.111	30.2	33.965	9.911
702	1.46	16.222	30.1	34.264	9.944

ตารางที่ ค-13 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

708	1.46	16.222	30	34.571	9.997
714	1.47	16.333	30	34.861	10.039
720	1.49	16.556	30.1	35.164	10.088
726	1.5	16.667	30.2	35.461	10.135
732	1.51	16.778	30.1	35.747	10.165
738	1.52	16.889	30.1	36.045	10.203
744	1.53	17.000	30.1	36.345	10.253
750	1.54	17.111	30.2	36.646	10.296
756	1.55	17.222	30.2	36.929	10.34
762	1.56	17.333	30.2	37.231	10.381
768	1.57	17.444	30.2	37.527	10.411
774	1.58	17.556	30.2	37.824	10.467
780	1.59	17.667	30.2	38.117	10.5
786	1.6	17.778	30.1	38.421	10.542
792	1.61	17.889	30.1	38.711	10.58
798	1.62	18.000	30.1	39.003	10.635
804	1.63	18.111	30.1	39.302	10.667
810	1.65	18.333	30.2	39.592	10.717
816	1.65	18.333	30.2	39.89	10.75
822	1.66	18.444	30.1	40.179	10.788
828	1.67	18.556	30	40.472	10.82
834	1.68	18.667	30.1	40.773	10.862
840	1.68	18.667	30	41.077	10.895
846	1.7	18.889	30.2	41.376	10.946
852	1.71	19.000	30.2	41.668	10.992
858	1.72	19.111	30.2	41.954	11.021
864	1.73	19.222	30.2	42.252	11.052
870	1.73	19.222	30.2	42.558	11.099
876	1.75	19.444	30.2	42.857	11.113
882	1.76	19.556	30.2	43.151	11.134
888	1.77	19.667	30.1	43.445	11.142
894	1.78	19.778	30.1	43.746	11.153
900	1.78	19.778	30.1	44.044	11.163
906	1.81	20.111	30.2	44.341	11.167
912	1.81	20.111	30.1	44.637	11.185
918	1.82	20.222	30.1	44.94	11.2
924	1.83	20.333	30.1	45.228	11.21
930	1.83	20.333	30	45.522	11.221
936	1.85	20.556	30.1	45.812	11.226
942	1.85	20.556	30.1	46.117	11.238

ตารางที่ ค-13 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 30 kPa (ต่อ)

948	1.86	20.667	30.1	46.424	11.25
954	1.87	20.778	30	46.723	11.259
960	1.87	20.778	30	47.019	11.265

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-14 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 50 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
12	0.25	2.778	50.2	0.394	0.15
18	0.4	4.444	50.2	0.688	0.315
24	0.44	4.889	50.2	1.004	0.48
30	0.47	5.222	50.1	1.284	0.638
36	0.5	5.556	50.1	1.591	0.815
42	0.52	5.778	50.1	1.88	0.989
48	0.54	6.000	50.1	2.171	1.152
54	0.55	6.111	50	2.468	1.299
60	0.57	6.333	50.1	2.763	1.472
66	0.59	6.556	50.2	3.04	1.609
72	0.6	6.667	50.1	3.348	1.765
78	0.62	6.889	50.1	3.65	1.895
84	0.63	7.000	50.2	3.939	2.036
90	0.64	7.111	50.1	4.235	2.158
96	0.66	7.333	50.1	4.52	2.282
102	0.68	7.556	50	4.811	2.408
108	0.69	7.667	50.1	5.108	2.542
114	0.71	7.889	50.1	5.409	2.669
120	0.73	8.111	50.1	5.702	2.786
126	0.74	8.222	50	6.008	2.909
132	0.76	8.444	50.3	6.286	3.026
138	0.78	8.667	50.2	6.595	3.144
144	0.8	8.889	50.2	6.879	3.259
150	0.82	9.111	50.2	7.174	3.352
156	0.85	9.444	50.1	7.477	3.469
162	0.87	9.667	50.1	7.763	3.569
168	0.89	9.889	50.1	8.061	3.656
174	0.91	10.111	50	8.352	3.768
180	0.94	10.444	50.1	8.64	3.871
186	0.96	10.667	50.2	8.944	3.963
192	0.98	10.889	50.1	9.246	4.034
198	1	11.111	50.1	9.52	4.138
204	1.03	11.444	50.1	9.819	4.239
210	1.05	11.667	50.1	10.119	4.324
216	1.07	11.889	50	10.406	4.419
222	1.09	12.111	50.2	10.708	4.488

ตารางที่ ค-14 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

228	1.12	12.444	50.1	10.992	4.586
234	1.14	12.667	50.1	11.283	4.679
240	1.17	13.000	50.1	11.582	4.757
246	1.2	13.333	50.1	11.877	4.844
252	1.23	13.667	50.1	12.184	4.919
258	1.26	14.000	50.2	12.466	5.015
264	1.29	14.333	50.1	12.756	5.099
270	1.32	14.667	50.1	13.047	5.164
276	1.35	15.000	50.1	13.346	5.238
282	1.38	15.333	50.1	13.635	5.326
288	1.41	15.667	50.1	13.941	5.378
294	1.44	16.000	50	14.23	5.485
300	1.48	16.444	50.2	14.527	5.551
306	1.5	16.667	50.1	14.823	5.632
312	1.53	17.000	50.1	15.115	5.702
318	1.56	17.333	50	15.413	5.753
324	1.59	17.667	50.1	15.713	5.843
330	1.62	18.000	50.1	16.003	5.914
336	1.65	18.333	50	16.291	5.978
342	1.67	18.556	50.1	16.594	6.054
348	1.7	18.889	50.2	16.881	6.127
354	1.73	19.222	50.2	17.182	6.184
360	1.75	19.444	50.1	17.474	6.263
366	1.78	19.778	50.1	17.76	6.31
372	1.8	20.000	50.1	18.068	6.365
378	1.83	20.333	50	18.36	6.436
384	1.85	20.556	50.1	18.653	6.508
390	1.87	20.778	50.1	18.951	6.569
396	1.89	21.000	50.1	19.23	6.645
402	1.92	21.333	50.1	19.538	6.686
408	1.94	21.556	50.1	19.832	6.761
414	1.96	21.778	50	20.121	6.789
420	1.98	22.000	50	20.415	6.874
426	2	22.222	50.2	20.701	6.934
432	2.03	22.556	50.1	21.01	6.977
438	2.05	22.778	50.1	21.292	7.041
444	2.07	23.000	50.2	21.581	7.105
450	2.09	23.222	50.2	21.894	7.174
456	2.11	23.444	50.2	22.181	7.215
462	2.12	23.556	50.1	22.476	7.282

ตารางที่ ค-14 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

468	2.14	23.778	50	22.76	7.333
474	2.17	24.111	50.1	23.062	7.393
480	2.19	24.333	50.1	23.354	7.438
486	2.21	24.556	50.1	23.652	7.485
492	2.22	24.667	50.1	23.952	7.543
498	2.24	24.889	50.1	24.237	7.592
504	2.25	25.000	50.1	24.535	7.653
510	2.26	25.111	50	24.829	7.698
516	2.28	25.333	50	25.118	7.754
522	2.29	25.444	50.2	25.43	7.801
528	2.31	25.667	50.1	25.713	7.856
534	2.34	26.000	50.1	26.008	7.916
540	2.37	26.333	50.1	26.313	7.948
546	2.41	26.778	50	26.608	8.004
552	2.43	27.000	50	26.887	8.037
558	2.45	27.222	50.1	27.188	8.064
564	2.47	27.444	50.2	27.488	8.118
570	2.48	27.556	50.1	27.779	8.154
576	2.5	27.778	50.2	28.057	8.194
582	2.51	27.889	50.2	28.363	8.223
588	2.53	28.111	50.1	28.679	8.261
594	2.55	28.333	50.1	28.963	8.295
600	2.54	28.222	50.1	29.258	8.327
606	2.51	27.889	50.1	29.567	8.363
612	2.51	27.889	50.1	29.841	8.401
618	2.51	27.889	50.1	30.143	8.439
624	2.51	27.889	50.1	30.426	8.464
630	2.52	28.000	50.2	30.729	8.509
636	2.54	28.222	50.1	31.022	8.542
642	2.58	28.667	50.1	31.311	8.567
648	2.63	29.222	50.1	31.613	8.589
654	2.69	29.889	50	31.896	8.628
660	2.72	30.222	50.2	32.206	8.652
666	2.73	30.333	50.1	32.491	8.683
672	2.74	30.444	50.1	32.798	8.704
678	2.75	30.556	50.1	33.086	8.737
684	2.75	30.556	50.1	33.386	8.768
690	2.76	30.667	50	33.679	8.807
696	2.77	30.778	50	33.966	8.842
702	2.8	31.111	50.1	34.258	8.872

ตารางที่ ค-14 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

708	2.83	31.444	50.1	34.563	8.905
714	2.86	31.778	50.1	34.85	8.94
720	2.87	31.889	50.3	35.163	8.983
726	2.88	32.000	50.1	35.462	9.025
732	2.88	32.000	50	35.748	9.058
738	2.88	32.000	50	36.044	9.083
744	2.89	32.111	50.2	36.345	9.106
750	2.91	32.333	50.2	36.647	9.153
756	2.92	32.444	50.3	36.934	9.18
762	2.91	32.333	50.2	37.235	9.227
768	2.92	32.444	50.1	37.53	9.271
774	2.93	32.556	50.1	37.827	9.298
780	2.95	32.778	50.1	38.12	9.324
786	2.97	33.000	50.1	38.423	9.372
792	2.99	33.222	50.1	38.709	9.412
798	2.99	33.222	50.2	39.001	9.438
804	3.01	33.444	50.2	39.302	9.478
810	3.01	33.444	50.1	39.597	9.52
816	3.02	33.556	50.1	39.895	9.551
822	3.03	33.667	50.1	40.178	9.591
828	3.05	33.889	50.1	40.473	9.628
834	3.06	34.000	50.1	40.771	9.661
840	3.08	34.222	50.3	41.073	9.708
846	3.1	34.444	50.1	41.377	9.736
852	3.11	34.556	50.2	41.668	9.786
858	3.12	34.667	50.1	41.954	9.814
864	3.12	34.667	50	42.255	9.86
870	3.14	34.889	50.3	42.565	9.906
876	3.14	34.889	50.1	42.864	9.934
882	3.15	35.000	50.1	43.163	9.981
888	3.16	35.111	50.1	43.443	10.01
894	3.18	35.333	50.1	43.744	10.066
900	3.19	35.444	50.2	44.046	10.1
906	3.2	35.556	50.2	44.345	10.15
912	3.21	35.667	50.2	44.644	10.194
918	3.21	35.667	50.3	44.95	10.228
924	3.19	35.444	50.1	45.237	10.263
930	3.17	35.222	50.2	45.534	10.316
936	3.16	35.111	50.1	45.823	10.348
942	3.17	35.222	50.1	46.124	10.383

ตารางที่ ค-14 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 50 kPa (ต่อ)

948	3.18	35.333	50.1	46.431	10.436
954	3.2	35.556	50.2	46.726	10.474
960	3.21	35.667	50.2	47.019	10.519

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-15 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 75 kPa

เวลาที่ใช้ไป (s)	วัดแรงแนวราบ	แรงเฉือน (kN/m^2)	วัดแรงแนวดิ่ง (kPa)	horz. Disp (mm.)	vert. disp (mm.)
12	0.34	3.778	75.2	0.398	0.104
18	0.54	6.000	75.1	0.695	0.259
24	0.62	6.889	75.1	0.993	0.396
30	0.68	7.556	75.1	1.285	0.556
36	0.73	8.111	75.1	1.583	0.717
42	0.76	8.444	75.3	1.871	0.873
48	0.8	8.889	75.2	2.168	1.032
54	0.84	9.333	75.1	2.468	1.185
60	0.87	9.667	75.2	2.759	1.333
66	0.91	10.111	75.2	3.044	1.477
72	0.94	10.444	75.3	3.355	1.62
78	0.96	10.667	75.1	3.643	1.772
84	1	11.111	75.1	3.946	1.901
90	1.02	11.333	75	4.236	2.059
96	1.05	11.667	75.3	4.522	2.187
102	1.07	11.889	75.2	4.807	2.322
108	1.1	12.222	75.3	5.106	2.46
114	1.13	12.556	75.2	5.403	2.605
120	1.16	12.889	75.1	5.702	2.724
126	1.18	13.111	75.1	6.005	2.84
132	1.21	13.444	75.1	6.295	2.961
138	1.23	13.667	75.2	6.59	3.092
144	1.26	14.000	75.1	6.885	3.212
150	1.29	14.333	75.1	7.181	3.338
156	1.32	14.667	75.1	7.47	3.44
162	1.35	15.000	75.1	7.764	3.567
168	1.39	15.444	75.1	8.052	3.667
174	1.42	15.778	75.1	8.366	3.772
180	1.46	16.222	75	8.653	3.874
186	1.5	16.667	75.1	8.947	4.001
192	1.53	17.000	75.1	9.247	4.104
198	1.57	17.444	75.1	9.525	4.202
204	1.61	17.889	75.2	9.829	4.298
210	1.64	18.222	75.1	10.116	4.394
216	1.68	18.667	75.1	10.403	4.486
222	1.71	19.000	75.2	10.712	4.58

ตารางที่ ค-15 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

228	1.75	19.444	75.1	10.99	4.672
234	1.79	19.889	75.1	11.285	4.771
240	1.82	20.222	75.1	11.582	4.858
246	1.86	20.667	75.2	11.872	4.952
252	1.89	21.000	75.2	12.173	5.042
258	1.93	21.444	75.1	12.47	5.145
264	1.96	21.778	75.1	12.748	5.219
270	2	22.222	75.1	13.052	5.292
276	2.03	22.556	75.1	13.346	5.388
282	2.06	22.889	75.1	13.633	5.467
288	2.1	23.333	75.1	13.941	5.558
294	2.13	23.667	75.2	14.222	5.633
300	2.17	24.111	75.1	14.527	5.715
306	2.2	24.444	75.1	14.828	5.791
312	2.24	24.889	75.2	15.113	5.876
318	2.28	25.333	75.1	15.407	5.94
324	2.33	25.889	75	15.704	5.987
330	2.37	26.333	75.2	16.002	6.057
336	2.42	26.889	75.2	16.291	6.1
342	2.46	27.333	75.2	16.589	6.151
348	2.51	27.889	75.1	16.879	6.19
354	2.56	28.444	75.2	17.18	6.219
360	2.6	28.889	75.2	17.476	6.259
366	2.64	29.333	75.2	17.75	6.286
372	2.68	29.778	75.1	18.058	6.312
378	2.72	30.222	75.2	18.355	6.345
384	2.77	30.778	75.4	18.637	6.369
390	2.8	31.111	75.2	18.951	6.405
396	2.84	31.556	75.1	19.222	6.426
402	2.87	31.889	75.2	19.53	6.448
408	2.9	32.222	75.1	19.816	6.473
414	2.93	32.556	75.1	20.098	6.505
420	2.96	32.889	75.2	20.406	6.524
426	2.99	33.222	75.1	20.695	6.538
432	3.03	33.667	75.1	20.979	6.557
438	3.06	34.000	75.2	21.277	6.583
444	3.08	34.222	75.1	21.576	6.605
450	3.11	34.556	75	21.872	6.628
456	3.14	34.889	75.2	22.176	6.648
462	3.17	35.222	75.4	22.456	6.676

ตารางที่ ค-15 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

468	3.18	35.333	75.2	22.748	6.692
474	3.21	35.667	75.1	23.052	6.71
480	3.24	36.000	75.1	23.347	6.722
486	3.26	36.222	74.6	23.647	6.736
492	3.29	36.556	75.1	23.937	6.759
498	3.31	36.778	75.1	24.221	6.775
504	3.34	37.111	75.2	24.524	6.782
510	3.36	37.333	75.2	24.824	6.788
516	3.38	37.556	75.3	25.112	6.802
522	3.4	37.778	75.1	25.403	6.81
528	3.42	38.000	75.2	25.703	6.815
534	3.44	38.222	75.1	26.001	6.828
540	3.46	38.444	75	26.3	6.839
546	3.48	38.667	75.1	26.589	6.856
552	3.51	39.000	75.2	26.87	6.871
558	3.52	39.111	75.1	27.181	6.885
564	3.54	39.333	75.1	27.469	6.895
570	3.55	39.444	75.1	27.766	6.902
576	3.57	39.667	75.2	28.061	6.913
582	3.59	39.889	75.2	28.357	6.922
588	3.6	40.000	75.1	28.666	6.934
594	3.62	40.222	75.1	28.959	6.939
600	3.64	40.444	75.4	29.251	6.948
606	3.65	40.556	75.1	29.542	6.958
612	3.66	40.667	75.3	29.836	6.965
618	3.68	40.889	75.1	30.129	6.977
624	3.69	41.000	75.2	30.422	6.985
630	3.71	41.222	75.1	30.714	7.001
636	3.72	41.333	75.1	31.014	7.01
642	3.74	41.556	75.2	31.299	7.02
648	3.76	41.778	75.2	31.604	7.025
654	3.77	41.889	75.2	31.898	7.042
660	3.78	42.000	75.1	32.2	7.05
666	3.79	42.111	75.1	32.483	7.056
672	3.81	42.333	75.1	32.787	7.059
678	3.83	42.556	75.1	33.075	7.067
684	3.84	42.667	75.2	33.371	7.072
690	3.85	42.778	75	33.67	7.081
696	3.87	43.000	75.2	33.961	7.091
702	3.88	43.111	75.1	34.255	7.102

ตารางที่ ค-15 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

708	3.89	43.222	75	34.551	7.109
714	3.9	43.333	75.2	34.839	7.117
720	3.92	43.556	75.3	35.142	7.128
726	3.93	43.667	75.3	35.437	7.138
732	3.94	43.778	75.2	35.733	7.147
738	3.95	43.889	75.1	36.043	7.15
744	3.97	44.111	75.4	36.329	7.161
750	3.98	44.222	75.1	36.633	7.17
756	3.99	44.333	75	36.928	7.176
762	4	44.444	75.4	37.214	7.185
768	4.02	44.667	75.2	37.516	7.188
774	4.02	44.667	75.1	37.805	7.195
780	4.03	44.778	75.1	38.089	7.199
786	4.04	44.889	75.3	38.398	7.208
792	4.05	45.000	75.3	38.692	7.214
798	4.06	45.111	75.4	38.975	7.224
804	4.07	45.222	75.1	39.285	7.23
810	4.07	45.222	75.2	39.565	7.242
816	4.08	45.333	75.1	39.873	7.249
822	4.1	45.556	75.4	40.164	7.259
828	4.1	45.556	75.2	40.466	7.281
834	4.11	45.667	75.2	40.76	7.291
840	4.12	45.778	75.4	41.05	7.298
846	4.13	45.889	75.3	41.35	7.307
852	4.15	46.111	75.2	41.646	7.311
858	4.16	46.222	75.2	41.93	7.317
864	4.17	46.333	75.1	42.231	7.323
870	4.18	46.444	75.2	42.527	7.33
876	4.19	46.556	75.2	42.832	7.334
882	4.2	46.667	75.1	43.135	7.344
888	4.21	46.778	75.1	43.427	7.357
894	4.22	46.889	75.2	43.723	7.362
900	4.23	47.000	75.3	44.023	7.371
906	4.23	47.000	75.1	44.325	7.38
912	4.24	47.111	75.1	44.618	7.388
918	4.25	47.222	75.4	44.924	7.403
924	4.26	47.333	75.1	45.211	7.408
930	4.27	47.444	75.1	45.507	7.418
936	4.28	47.556	75.1	45.798	7.428
942	4.3	47.778	75.2	46.097	7.439

ตารางที่ ค-15 หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน 75 kPa (ต่อ)

948	4.31	47.889	75.4	46.4	7.454
954	4.32	48.000	75.2	46.697	7.461
960	4.33	48.111	75.2	46.995	7.476

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง-1 ตัวอย่างการวัดค่าความชื้นในดินประจำวัน

ความชื้นอากาศ,อุณหภูมิ,ความชื้นในดิน วัน ณ วันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2555

อุณหภูมิอากาศ	42	องศาเซลเซียส	
ความชื้นในอากาศ	13	%	

*** %VWc

ความชื้นในดิน ** ก่อนรดน้ำประจำวัน

กระบะ 1	24.6	21	23.2	21.8	22.7
กระบะ 2	18.9	20.6	22.5	23.8	21.5
กระบะ 3	22.5	26.4	20.2	24.8	23.5
กระบะ 4	24.7	21.9	18.2	25	22.5
กระบะ 5	21.5	24	21.7	23.2	22.6
กระบะ 6	19.2	22.8	21.7	20.1	21.0

ความชื้นในดิน หลังรดน้ำประจำวัน

กระบะ 1	23.4	29.3	23.7	26.3	25.7
กระบะ 2	26.2	33.1	27.1	29	28.9
กระบะ 3	30.2	27.6	30.1	37.8	31.4
กระบะ 4	26.5	29.4	28.7	25	27.4
กระบะ 5	27.3	25.8	27.4	27.7	27.1
กระบะ 6	25.7	27	29.6	31.9	28.6

ภาคผนวก จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ จ-1 ผลการทดสอบ หาค่า area ratio,A_R

ลุ่ม 6 เดือน	30kPa	50kPa	75kPa	avg
1	3.25	2.87	3.22	
2	2.93	3.36	3.42	
3	3.35	3.14	3.55	
4	3.45	3.88	3.43	
รวม	3.245	3.3125	3.405	3.32

ดอน 6 เดือน - 2	30kPa	50kPa	75kPa	avg
1	4.65	4.31	4.75	
2	4.55	4.23	4.23	
3	4.97	4.43	4.54	
4	4.67	4.77	4.66	
รวม	4.71	4.435	4.545	4.56

ดอน 4 เดือน	30kPa	50kPa	75kPa	avg
1	4.42	4.32	4.33	
2	4.24	4.03	4.16	
3	3.81	4.1	3.98	
4	4.53	4.17	4.04	
รวม	4.25	4.155	4.1275	4.17

ลุ่ม 4 เดือน	30kPa	50kPa	75kPa	avg
1	1.38	1.27	1.55	
2	1.69	1.32	1.32	
3	1.56	1.77	1.74	
4	1.63	1.43	1.63	
รวม	1.565	1.4475	1.56	1.52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ฉ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ-1 ผลการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำในมวลดิน (water content,%w)

highland 4 months

30kPa	50kPa	75kPa
23.1	24.6	25.4
25.5	22.4	23.2
26.9	25.3	23.5
25.16	24.1	24.03
avg	24.43	

lowand 4 months

30kPa	50kPa	75kPa
23.8	22.1	25.6
25.4	24.3	24.5
24.2	24.51	21.33
24.46	23.63	23.81
avg	23.97	

highland 6 months

30kPa	50kPa	75kPa
23.4	27.11	24.32
24.1	25.77	22.33
27	23.22	26.54
24.83	25.36	24.39
avg	24.86	

lowland 6 months

30kPa	50kPa	75kPa
27.9	24.47	23.2
25.6	25.32	27.32
25.4	25.56	24.72
26.3	25.11	25.08
avg	25.49	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ช-1 ผลการสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝกโดยอิสระ

หญ้าแฝกลุ่ม 2 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกลุ่ม 1	2.24	1.48	1.39	0.6	0.22
หญ้าแฝกลุ่ม 2	0.69	0.63	0.48	0.48	0.1
เฉลี่ย	1.465	1.055	0.935	0.54	0.16

หญ้าแฝกลุ่ม 3 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกลุ่ม 1	0.85	0.88	0.65	0.23	0.26
หญ้าแฝกลุ่ม 2	0.83	0.8	0.54	0.2	0.14
เฉลี่ย	0.84	0.84	0.595	0.215	0.2

หญ้าแฝกลุ่ม 4 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกลุ่ม 1	2.5	1.85	1.7	1.5	1.1
หญ้าแฝกลุ่ม 2	2.3	2	1.6	1.3	0.8
เฉลี่ย	2.4	1.925	1.65	1.4	0.95

หญ้าแฝกลุ่ม 5 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกลุ่ม 1	2.6	2.45	1.475	0.9	0.35
หญ้าแฝกลุ่ม 2	2.495	1.425	0.985	0.95	0.155
เฉลี่ย	2.547	1.937	1.23	0.925	0.252

หญ้าแฝกลุ่ม 6 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกลุ่ม 1	2.85	2.61	1.98	1.54	1.25
หญ้าแฝกลุ่ม 2	2.65	2.38	1.86	1.44	1.375
เฉลี่ย	2.75	2.495	1.92	1.49	1.312

ตารางที่ ช-1 ผลการสังเกตการณ์เจริญเติบโตของหญ้าแฝกโดยอิสระ(ต่อ)

หญ้าแฝกดอน 2 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกดอน 1	1.35	0.66	0.46	0.40	0.20
หญ้าแฝกดอน 2	0.39	0.40	0.20	0.10	0.06
เฉลี่ย	0.87	0.53	0.33	0.25	0.13

หญ้าแฝกดอน 3 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกดอน 1	0.94	0.65	0.59	0.37	0.20
หญ้าแฝกดอน 2	2.02	1.51	1.45	1.08	0.17
เฉลี่ย	1.48	1.08	1.02	0.725	0.19

หญ้าแฝกดอน 4 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกดอน 1	2.33	2.30	1.67	2.00	1.44
หญ้าแฝกดอน 2	2.20	2.14	1.55	1.49	1.30
เฉลี่ย	2.27	2.22	1.61	1.74	1.37

หญ้าแฝกดอน 5 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกดอน 1	3.1	3.2	2.4	1.5	1.0
หญ้าแฝกดอน 2	2.9	2.5	2.5	2.2	1.6
เฉลี่ย	3.0	2.8	2.5	1.8	1.3

หญ้าแฝกดอน 6 เดือน

เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
หญ้าแฝกดอน 1	3.5	3.3	3.0	2.4	2.2
หญ้าแฝกดอน 2	3.4	3.3	3.0	2.6	2.2
เฉลี่ย	3.4	3.3	3.0	2.5	2.2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอดิเทพ วังบุญคง เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2532 จังหวัดลำปาง

การศึกษา

- ระดับมัธยมต้น โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
- ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคลำปาง
- ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมธรณีเทคนิค ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University