

การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเสริมกำลังรับแรง
ในการก่อสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อน จ.สุพรรณบุรี



นาย สุธรรม โรจนเมฆา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-059-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

29 ๒๘ ๒๕๔๑

๕ ๑๘๑๖๑๘๖๖

USE OF GEOTEXTILES AS EARTH REINFORCEMENT
FOR ROAD CONSTRUCTION ON SUPHANBURI SOFT CLAY

MR. SUTHAM ROTCHANAMEKHA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

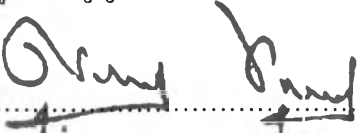
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

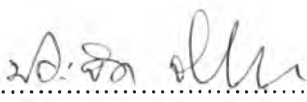
ISBN 974-332-059-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเสริมกำลังรับแรงในการก่อสร้างถนนบนชั้น
ดินเหนียวอ่อน จ.สุพรรณบุรี
โดย นาย สุธรรม โรจนเมฆา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์

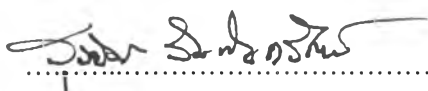
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

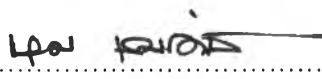

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

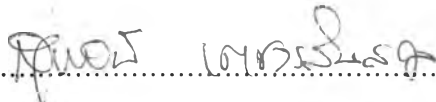
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ประจิด จิรัปปภา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


.....กรรมการ
(ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

สุธรรม โรจนเมฆา : การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเสริมกำลังรับแรงในการก่อสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อน จ.สุพรรณบุรี (Use of Geotextiles as Earth Reinforcement for Road Construction on Suphanburi Soft Clay) อ.ที่ปรึกษา : ศศ. ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ , 137 หน้า. ISBN 974-332-059-8.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของดินถมที่ก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนระหว่างมีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงกับไม่มีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรง โดยได้ศึกษาเฉพาะพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน เสถียรภาพความลาดชันของดินถมและการยึดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์ ในการเปรียบเทียบได้ใช้แปลงตัวอย่างทดสอบจำนวน 3 แปลง คือ TS-1 เป็นบริเวณที่ไม่มีเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ , TS-2 เป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงสูงแบบถักทอเพียงชั้นเดียว และ TS-3 เป็นบริเวณที่มีการเสริมใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงต่ำแบบไม่ถักทอและแบบผสมจำนวน 3 ชั้น

จากผลการตรวจวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์พบว่า แผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่า strain เกิดขึ้นมากที่สุดที่บริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ (SE6) ซึ่งสามารถวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 8.9% นอกจากนี้ยังพบว่า Strain Gauge ที่ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางของแผ่นใยสังเคราะห์ซึ่งเป็น Strain Gauge ตัวที่ 5 (SC5) สามารถวัดค่า strain ได้ใกล้เคียงกับ Strain Gauge ที่ติดตั้งบริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ (SE6) โดยสามารถวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 8.5% ซึ่งจากผลการตรวจวัดนี้จะสังเกตเห็นว่า Strain Gauge ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ตรงบริเวณ slope ของดินถม ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่เกิดในแผ่นใยสังเคราะห์จะเกิดตรงบริเวณ slope ของดินถม และจากการเปรียบเทียบค่า stress-strain ของแผ่นใยสังเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบหาค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 4.6) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของ strain ที่วัดได้จาก Strain Gauge SE6 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.3% พบว่าเกิดแรงดึงในแผ่นใยสังเคราะห์ประมาณ 485 kN/m โดยมีค่า F.S. ของแผ่นใยสังเคราะห์ (Local Failure) เท่ากับ 1.07

จากผลการตรวจวัดของ Inclinator พบว่าค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างมากที่สุดของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 มีค่าประมาณ 0.013 และ 0.023 เมตร โดยเกิดขึ้นที่ระดับ 1.00 และ 4.00 เมตรจากระดับดินเดิม ตามลำดับ และสำหรับแปลงทดสอบ TS-3 ได้มีการพังทลายเกิดขึ้นโดยจะสังเกตเห็นรอยแยกบนชั้นดินถมได้อย่างชัดเจนซึ่งสามารถวัดความกว้างของรอยแยกที่มากที่สุดได้ประมาณ 0.30 เมตร

และจากการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของดินถมพบว่า ที่แปลงทดสอบ TS-1 มีค่า F.S. เท่ากับ 1.16 , ที่แปลงทดสอบ TS-2 ในกรณีที่ยังไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่า F.S. เท่ากับ 0.87 และกรณีที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์แล้วค่า F.S. จะเพิ่มขึ้นเป็น 1.71 โดยการใช้ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในแผ่นใยสังเคราะห์ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบค่า strain ที่วัดได้ในสนามกับค่า strain ที่ได้จากการทดสอบหาค่าแรงดึงสูงสุดในแผ่นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 4.6) ในส่วนของแปลงทดสอบ TS-3 ในกรณีที่ยังไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่า F.S. เท่ากับ 0.61 และเมื่อมีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์แล้วจะมีค่า F.S. เท่าเดิม เนื่องจากแผ่นใยสังเคราะห์ที่เสริมมีความยาวไม่ถึงแนวของ slip plane จึงไม่ได้ช่วยให้เสถียรภาพของดินถมเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C815250 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: GEOTEXTILES / BASAL REINFORCED EMBANKMENTS / SOFT FOUNDATION SOIL
SUTHAM ROTCHANAMEKHA : USE OF GEOTEXTILES AS EARTH REINFORCEMENT FOR ROAD
CONSTRUCTION ON SUPHANBURI SOFT CLAY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SURAPHOL
CHIVALAK, Ph.D. 137 pp. ISBN 974-332-059-8.

This thesis presents the comparing behavior of embankments on soft soil which have the high strength woven geotextile reinforced embankment and unreinforced embankment. The lateral movement of soft soil, slope stability problem of the embankment and the elongation of the reinforcement are interested in this study. Three test sections, which are full-scale tests, used in the comparisons for this study. The behavior of TS-1, which is the unreinforced embankment, TS-2, which is the single layer reinforced embankment by the high strength woven geotextile, and the TS-3, which has the 3-layers reinforced embankment by the composite geotextiles and nonwoven geotextile, are studied.

The strain gauges at TS-2 were attached to the geotextile to measure the strain in the geotextile during and after construction. From the results of monitoring, the strain gauges were attached at the center and the edge of geotextile (SC5 and SE6), which are near the slope of embankment, showed 8.5% and 8.9% respectively of maximum strain. These results indicated that the greatest structural tensile demand on the geotextile are required at these locations of embankment. The F.S. for local geotextile failure is 1.07. The maximum tensile load occurred nearly at the same time with the measured sudden lateral movement. This may be resulted from the previously occurrence of the slip plane.

From the results of instrumentation indicated that the maximum lateral movement of soft soil of the TS-1 and TS-2 are 0.013 and 0.023 meter at depth 1.00 and 4.00 meter from initial ground surface respectively. For the TS-3, where the crack occurs on the embankment, there are no lateral movement occur. But this test section has been failed, having the failure length about 100 meter.

From the analysis of overall slope stability indicated that the minimum factor of safety of the TS-1 is about 1.16, and the TS-2 is about 0.87 for unreinforced embankment and 1.71 for reinforced embankment, upon using the actual tensile force measured from the strain gauge. The TS-3 has the minimum factor of safety about 0.61 for unreinforced and reinforced embankment, since the length of geotextiles are not long enough to the slip plane then they are not useful to increase the stability of embankment.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวลักษณ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรจักร สัมพันธ์รักษ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณพิศิษฐ ศรีวิไลฤทธิ์ กรรมการผู้จัดการบริษัท จีโอเนท จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดในสนาม และบริษัท Royal Ten Cate, Malaysia โดย Mr. Chris Lawson และ Mr. Yee Tack Weng ที่ได้อนุเคราะห์แผ่นใยสังเคราะห์ สำหรับใช้ในการทำวิจัยนี้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและให้คำปรึกษาในด้านการออกแบบและการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดบนแผ่นใยสังเคราะห์ และทุนการวิจัยนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณณรงค์ คุ่มขลิบ ที่ได้สละเวลาในวันหยุดไปช่วยผู้เขียนบันทึกผลในสนามที่ จ. สุพรรณบุรี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบดินและแนะนำการใช้เครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้เขียนตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนรำลึกถึงพระคุณของมารดา บิดา และครู อาจารย์ ทุกท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนผู้เขียนจนได้สำเร็จการศึกษาถึงปัจจุบัน

สุธรรม โรจนเมฆา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาในอดีต.....	6
2.1 การศึกษาในอดีต.....	6
2.1.1 การศึกษาการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงให้กับเขื่อนดิน ที่ก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อน.....	6
2.1.2 การออกแบบและก่อสร้างคันดินบนพื้นที่ที่เป็นบ่อทิ้งกากสารเคมี โดยใช้ Synthetic-Grid เสริมความแข็งแรง.....	9
2.2 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์และออกแบบมวลดินเสริมความแข็งแรง.....	12
2.3 ลักษณะของการพิบัติ.....	17
2.3.1 Horizontal Sliding/Lateral Spreading of Embankment.....	18
2.3.2 Rotational Slope/Foundation Bearing Failure.....	22
2.3.3 Foundation Extrusion Failure.....	31
2.4 ชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์.....	34

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 พฤติกรรมการร่วมกันระหว่างมวลดินและแผ่นใยสังเคราะห์เมื่อมวลดินเกิดการเคลื่อนตัว.....	40
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	42
3.1 สถานที่ที่ใช้ทำการศึกษา.....	42
3.2 การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน.....	47
3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	47
3.3.1 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน.....	48
3.3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติความสามารถรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ... ..	48
3.3.3 การทดสอบหาคุณสมบัติการทรุดตัว.....	48
3.4 การคำนวณออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์.....	49
3.4.1 การคำนวณหาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์.....	49
3.4.2 การออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์.....	50
3.5 การก่อสร้างและการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค.....	51
3.5.1 วิธีการก่อสร้าง.....	51
3.5.2 การปูแผ่นใยสังเคราะห์.....	53
3.5.3 การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค.....	56
3.5.3.1 Strain Gauge.....	57
3.5.3.2 Inclinator.....	60
3.5.3.3 Piezometer.....	62
3.6 การบันทึกผลและระยะเวลาในการบันทึกผล.....	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	66
4.1 ผลการเจาะสำรวจและการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	66
4.1.1 คุณสมบัติของดินบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์.....	67
4.1.2 คุณสมบัติของดินบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว.....	67
4.1.3 คุณสมบัติของดินบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น.....	68

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.4 คุณสมบัติของดินถม.....	76
4.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลในสนามและการวิเคราะห์ผล.....	76
4.2.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Strain Gauge.....	76
4.2.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Inclinometer.....	79
4.2.3 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Piezometer.....	92
4.3 การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน.....	95
4.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของดินถม.....	99
4.4.1 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์.....	99
4.4.2 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นเดียว.....	99
4.4.3 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น.....	100
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษาวิจัยต่อ.....	104
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบของผลการตรวจวัดในสนามของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2.....	107
- ผลการตรวจวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นใน Strain Gaugesและค่าการยึดตัว ที่ได้จากการคำนวณ.....	108
- ผลการคำนวณค่าการยึดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์ที่จุดต่างๆ.....	109
- ผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ ของ I1 (TS-1).....	110
- ผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ ของ I2 (TS-2).....	111
- ผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินและแรงดันน้ำใต้ดินส่วนเกินของ Piezometers แต่ละตัว.....	112

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข รายการคำนวณ.....	113
- การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของแปลงทดสอบ TS-1 , TS-2 และ TS-3 กรณีที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์โดยการใช้โปรแกรม SB-SLOPE	114
- การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของแปลงทดสอบ TS-2 กรณีที่มีการเสริม ความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว.....	123
- การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของแปลงทดสอบ TS-3 กรณีที่มีการเสริม ความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น.....	124
- การตรวจสอบการพิบัติในลักษณะแบบอื่นๆ ของแปลงทดสอบ TS-2.....	126
- การตรวจสอบการพิบัติในลักษณะแบบอื่นๆ ของแปลงทดสอบ TS-3.....	127
- การคำนวณหาค่า strain ที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์.....	128
ภาคผนวก ค.....	130
- หลักการทั่วไปของ Strain Gauges และรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการติด Strain Gauges บนวัตถุ.....	131
- Specification Sheet ของแผ่นใยสังเคราะห์แต่ละชนิด.....	133
ประวัติผู้เขียน.....	137

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	Summary of Embankment Analysis Results..... 11
3.1	วิธีการต่อแผ่นใยสังเคราะห์โดยการใช้ค่า CBR ของชั้นดินเป็นตัวกำหนด..... 54
3.2	แสดงชนิดของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในแปลงทดสอบต่างๆ..... 57
3.3	แสดงวันที่ในการก่อสร้างและการบันทึกผลของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคต่าง ๆ..... 65
4.1	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างดินของหลุมเจาะ BH-1 (TS-1)..... 68
4.2	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างดินของหลุมเจาะ BH-2 (TS-2)..... 70
4.3	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างดินของหลุมเจาะ BH-3 (TS-3)..... 72
4.4	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างดินของหลุมเจาะ BH-4 (TS-3)..... 72
4.5	แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 โดยวิธีของ Terzaghi..... 97
4.6	แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 โดยวิธีของ Terzaghi..... 97
4.7	แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 โดยวิธีการใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่วัดได้ในสนาม.... 98
4.8	แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 โดยวิธีการใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่วัดได้ในสนาม.... 98
ก-1	แสดงผลการตรวจวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นใน Strain Gauges และค่าการยืดตัวที่ได้จากการคำนวณ..... 108
ก-2	แสดงผลการคำนวณค่าการยืดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์ที่จุดต่างๆ..... 109
ก-3	แสดงผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ ของ I1 (TS-1).. 110
ก-4	แสดงผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ ของ I2 (TS-2). 111
ก-5	แสดงผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินและแรงดันน้ำใต้ดินส่วนเกินของ Piezometers แต่ละตัว..... 112

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	รูปแบบการใช้วัสดุสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงในมวลดิน.....	3
2.1	แสดงการเพิ่มขึ้นและลดลงของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในมวลดินเมื่อมีการเสริมความแข็งแรงให้กับมวลดิน.....	13
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความปลอดภัยกับเวลาในช่วงระหว่างการก่อสร้าง.....	14
2.3a	แสดงการกระจายของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรณีที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรง.....	16
2.3b	แสดงการกระจายของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนชั้นดินเหนียวอ่อนเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการเสริมแข็งแรงกับกรณีที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรง.....	16
2.4	รูปแบบของการพิบัติลักษณะต่างๆ.....	19
2.5	การวิเคราะห์หาแรงดันดินเนื่องจากการพิบัติแบบ Horizontal Sliding.....	19
2.6	การวิเคราะห์ระนาบของการพิบัติที่ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นใยสังเคราะห์.....	23
2.7	Definitions and Forces for a Slip Circle Analysis.....	24
2.8	การวิเคราะห์ดินถมเสริมความแข็งแรงโดยใช้ทฤษฎีของ Fowler.....	27
2.9	Design Chart for Determining Stability Number.....	30
2.10	Design Chart for Determining Fabric Strength.....	30
2.11	Force Component in Foundation Extrusion Stability Analysis.....	31
2.12	Analysis of Foundation Extrusion Stability.....	33
2.13	ลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด Woven Geotextile (John 1987).....	35
2.14	ลักษณะของ Knitted Woven Geotextile (John 1987).....	36
2.15	ลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอที่ผลิตด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ.....	36
2.16	ลักษณะการยึดเกาะของเส้นใยของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด Nonwoven Geotextile.....	37
2.17	แสดงลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดไม่ถักทอที่ใช้กรรมวิธีผลิตแบบ Needle Punched.....	38
2.18	ลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด Composite Geotextile (John 1987).....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19	Reinforcement and Soil Bond by Friction..... 40
2.20	Sliding Resistance along Surface of Geotextile Reinforcement..... 41
3.1	แผนที่โดยสังเขปของแปลงทดสอบและตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ..... 43
3.2	ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-2..... 44
3.3	ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-3..... 45
3.4	แสดงรูปหน้าตัดของถนนก่อนการพังทลาย..... 46
3.5	แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-1 โดยไม่มีการเสริม แผ่นใยสังเคราะห์..... 52
3.6	แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-2 โดยมีแผ่นใย สังเคราะห์เสริมความแข็งแรงยาว 14 เมตร เพียงชั้นเดียว..... 52
3.7	แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-3 โดยมีแผ่นใย สังเคราะห์เสริมความแข็งแรงยาว 11.4 เมตร จำนวน 3 ชั้น ระยะห่างของแต่ละชั้น เท่ากับ 0.30 เมตร โดยเสริมถึงเส้นกึ่งกลางของถนน..... 53
3.8	แสดงวิธีการเย็บแผ่นใยสังเคราะห์ในสนาม..... 54
3.9	ลักษณะรูปแบบของการต่อแผ่นใยสังเคราะห์โดยใช้วิธีเย็บ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี ต่อแผ่นใยสังเคราะห์แบบ Overlapping โดยมีระยะทับ 1.00 เมตรในแปลงทดสอบ TS-2 และ TS-3..... 55
3.10	แสดงรูปแปลนตำแหน่งและระยะห่างของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในแปลง ทดสอบ TS-2..... 58
3.11	แสดงรูปหน้าตัดตำแหน่งและระยะห่างของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในแปลง ทดสอบ TS-2..... 59
4.1	แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 1 (BH-1) ของแปลงทดสอบ TS-1 ตรง บริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์และไม่เกิดการพิบัติของดินถม โดยที่ดินถม มีความสูง 2.00 เมตร..... 70

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.2	แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 2 (BH-2) ของแปลงทดสอบ TS-2 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์เพียงชั้นเดียวและไม่เกิดการพิบัติของดินถม โดยที่ดินถมมีความสูง 2.00 เมตร.....	72
4.3	แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 3 (BH-3) ของแปลงทดสอบ TS-3 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้นและเกิดการพิบัติของดินถม เมื่อดินถมมีความสูงได้ 3.20 เมตร โดยในการเจาะหลุมสำรวจนี้ได้เจาะสำรวจหลังจากที่ดินถมได้เกิดการพังทลายในครั้งแรกแล้ว.....	74
4.4	แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 4 (BH-4) ของแปลงทดสอบ TS-3 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้นและเกิดการพิบัติของดินถม เมื่อดินถมมีความสูงได้ 3.20 เมตร โดยได้เจาะหลุมสำรวจตรงบริเวณที่ใกล้กับที่ดินถมได้เกิดการพังทลายในครั้งแรก.....	75
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์เทียบกับระยะเวลา.....	78
4.6	กราฟแสดงผลของ Stress-Strain ที่ได้จากการทดสอบ Wide Width Tensile Strength เพื่อหาค่าความสามารถรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด PET 500/50.....	80
4.7	แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับระยะเวลาที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของแปลงทดสอบ TS-1 (I1).....	82
4.8	แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับความลึกของแปลงทดสอบ TS-1 (I1).....	83
4.9	แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับระยะเวลาที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของแปลงทดสอบ TS-2 (I2).....	84
4.10	แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับความลึกของแปลงทดสอบ TS-2 (I2).....	85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-3 หลังการก่อสร้างเสร็จได้ 1 วัน..... 87
4.12	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)..... 89
4.13	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)..... 90
4.14	แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-3 ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)..... 91
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pore Water Pressure กับเวลาของ Piezometer ที่ระดับ 2.50 เมตร จากระดับดินเดิม..... 93
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pore Water Pressure กับเวลาของ Piezometer ที่ระดับ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม..... 93
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess Pore Water Pressure กับเวลาของ Piezometer ที่ระดับ 2.50 เมตร จากระดับดินเดิม..... 94
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess Pore Water Pressure กับเวลาของ Piezometer ที่ระดับ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม..... 94
ค-1	หลักการทั่วไปของ Strain Gauges..... 131
ค-2	ขั้นตอนวิธีการติดตั้ง Strain Gauges บนวัตถุ..... 132

สัญลักษณ์

A_s	=	พื้นที่สัมผัสระหว่างมวลดินและวัสดุเสริม
c	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวรวม
c_g	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในแผ่นใยสังเคราะห์
c_u	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในชั้นดินเหนียวอ่อน
D	=	Depth Ratio
E_f	=	Tensile Modulus ของแผ่นใยสังเคราะห์
F_D	=	แรงที่ทำให้เกิดการพิบัติ (Driving Force)
F_R	=	แรงที่ช่วยต้านไม่ให้เกิดการพิบัติ (Resisting Force)
$F.S._{reinforced}$	=	Factor of Safety against Slope Failure of Reinforced Embankment
$F.S._{sliding}$	=	Factor of Safety against Sliding
$F.S._{unreinforced}$	=	Factor of Safety against Slope Failure of Unreinforced Embankment
H	=	ความสูงของดินถม
h	=	ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน
K_a	=	Active Earth Pressure Coefficients
L	=	ความยาวส่วนโค้งของระนาบพิบัติส่วนที่อยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนหรืออยู่ใต้แผ่นใยสังเคราะห์
L_b	=	ความยาวของแผ่นใยสังเคราะห์หลังแนวระนาบพิบัติ
L_c	=	Width of Embankment Crest
L_c	=	ความยาว side slope ของดินถม
L_g	=	ความยาวของแผ่นใยสังเคราะห์ตามแนวหน้าตัดของดินถม
L_s	=	ความยาวของแผ่นใยสังเคราะห์ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดเสียดทานคอยต้านการพิบัติของดินถมแบบ Sliding
M_D	=	Disturbing Moments
M_R	=	Restoring Moments
ΔM_R	=	Restoring Moments ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์
N	=	Stability Number

สัญลักษณ์ (ต่อ)

N_g	=	Stability Number ของแผ่นโยสักระาะห์
N_u	=	Stability Number ของชั้นดินเหนียวอ่อน
P_a	=	แรงดันดินด้านข้างเนื่องจากดินถม
P_R	=	แรงดึงที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริม
P_r	=	แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างดินถมและแผ่นโยสักระาะห์
R	=	รัศมีของระนาบพิบัติวงกลม
R_{ha}	=	แรงดันดินด้านข้างที่จะทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนเกิดการเคลื่อนตัว
R_{hp}	=	แรงดันดินด้านข้างที่จะช่วยด้านไม่ให้ชั้นดินเหนียวอ่อนเกิดการเคลื่อนตัว
R_R	=	แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสใต้แผ่นโยสักระาะห์กับผิวสัมผัสบนชั้นดินเหนียวอ่อน
R_s	=	แรงเฉือนในชั้นดินเหนียวอ่อนที่จะช่วยด้านไม่ให้เกิดการพิบัติ
S_u	=	ค่า Undrained Shear Strength ของชั้นดินเหนียวอ่อน
T_g	=	แรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นโยสักระาะห์ที่จุดตัดระหว่างระนาบพิบัติกับแนวของแผ่นโยสักระาะห์
T_{ug}	=	แรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นโยสักระาะห์ที่ได้มาจาก Ultimate Limit State
T_{ult}	=	แรงดึงสูงสุดที่แผ่นโยสักระาะห์รับได้
T_{wg}	=	แรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นโยสักระาะห์ที่ได้มาจาก Working Limit State
W	=	น้ำหนักของดินถมที่จะทำให้เกิดการพิบัติ
W_s	=	น้ำหนักภายนอกที่กระทำบนชั้นดินถม
x	=	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของระนาบพิบัติกับแนวแรงของน้ำหนักดินถมที่จะทำให้เกิดการพิบัติ
Y, Y_R	=	ระยะในแนวตั้งระหว่างจุดศูนย์กลางของระนาบพิบัติกับแนวของแผ่นโยสักระาะห์
Z_c	=	ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน
σ_{fill}, σ_v	=	Vertical Stress
σ_h	=	Horizontal Stress

สัญลักษณ์ (ต่อ)

σ_{ha}	=	หน่วยแรงด้านข้างที่จะทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนเกิดการเคลื่อนตัว
σ_{hp}	=	หน่วยแรงด้านข้างที่จะช่วยต้านไม่ให้ชั้นดินเหนียวอ่อนเกิดการเคลื่อนตัว
σ_v'	=	Effective Vertical Stress
$\tau, \tau_{fill}, \tau_h$	=	Shear Stress
τ_s	=	หน่วยแรงเฉือนบนระนาบพิบัติ
ε_{max}	=	ค่าการยืดตัวมากที่สุดที่ยอมให้ได้ของแผ่นใยสังเคราะห์
γ_m, γ_1	=	หน่วยน้ำหนักของดินถม
γ_2	=	หน่วยน้ำหนักของชั้นดินเหนียวอ่อน
δ_s	=	ส่วนโค้งเล็กๆ บนระนาบพิบัติ
α, f_b	=	Coefficient of Interaction
θ	=	มุมระหว่างแนวของวัสดุเสริมกับแนวตั้ง
θ	=	มุมระหว่างแนวแรง Normal Force ที่กระทำบนระนาบพิบัติกับแรงในแนวตั้ง
ϕ_m	=	ค่ามุมเสียดทานภายในของดินถม
ϕ_{sg}	=	ค่ามุมเสียดทานภายในระหว่างดินถมและแผ่นใยสังเคราะห์