

การประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนน
ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

นายยิ่งยศ บุญยานันต์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

การประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนน
ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

(ผศ. ดร.พรศิริ จงกล)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(ผศ. ดร.อนุชิต อุชายภักดี)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ยิ่งยศ บุญยานันต์ : การประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนน
ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ECOSYNTHETIC APPLICATION FOR STABILITY OF
ROAD EMBANKMENT IN AYUTTHAYA PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มตะกอนน้ำพาบริเวณเขตภาคกลางของประเทศไทย ดินในบริเวณนี้เป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) ดังนั้น การก่อสร้างโครงสร้างสาธารณูปโภคจึงมักจะประสบปัญหาทางด้านวิศวกรรมปฐพี อันได้แก่ การทรุดตัวและการเสีรูปด้านข้างอย่างมาก ถนนตามแนวค้ำมักจะเกิดการวิบัติของทางลาด ปัจจัยที่ควบคุมการวิบัติขึ้นอยู่กับความสูงของดินถม คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินฐานรากใต้ดินถม และการลดลงของระดับน้ำตามฤดูกาล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวกับเวลาของคันดินเสริมกำลังด้วยวัสดุ Geotextile รุ่น Polyfelt PEC 150 เปรียบเทียบกับคันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ การทรุดตัวของคันทางวัดจากแผ่นการวัดการทรุดตัวและหมุดวัดการทรุดตัว เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 50 วันหลังก่อสร้าง การทรุดตัวในคันดินที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์มีความสม่ำเสมอ ขณะที่ การทรุดตัวในคันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์เกิดขึ้นอย่างมากที่บริเวณกึ่งกลาง การทรุดตัวของคันดินที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์เกิดขึ้นน้อยมากหลังการก่อสร้างแล้ว 14 วัน ขณะที่ การทรุดตัวยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับคันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ผลการตรวจวัดแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในการปรับปรุงเสถียรภาพของคันดิน แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยกระจายน้ำหนักจากดินถมกระจายลงสู่ชั้นดินอย่างสม่ำเสมอและช่วยลดการเสีรูปด้านข้าง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

YINGYOT BOONYANUNT : ECOSYNTHETIC APPLICATION FOR
STABILITY OF ROAD EMBANKMENT IN AYUTTHAYA PROVINCE :
ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

Ayutthaya province situates on an alluvial plain around center of Thailand. The soil deposit is soft clay with high plasticity index (CH). Thus, the infrastructures encounter with the geotechnical problems such as large settlement and lateral movement. Failure of the road embankment is always recorded. The factors controlling the failure are height of embankment, engineering properties of foundation and piezometric drawdown. This research attempts to study the settlement behavior of embankment reinforced with the Geotextile - Polyfelt PEC 150 and the measured settlements of both unreinforced and reinforced embankments are compared and reported. The settlements were measured from settlement plates and settlement points for 50 days after construction. The settlement of the reinforced embankment is uniform while the large settlement of the unreinforced embankment is found at the center. The settlement of reinforced embankment is insignificant after 14 days of construction whereas it still increases for the unreinforced embankment. The measured data show the effectiveness of geotextile in increasing slope stability of road embankment. With geotextile, the stress on the foundation is more uniform and lateral movement is minimized

School of Civil Engineering
Academic Year 2013

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาฉบับนี้ที่สำเร็จได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินงานครั้งนี้ รวมทั้งคณะกรรมการสอบโครงการที่ร่วมประเมินตรวจสอบให้งานวิจัยสมบูรณ์ขึ้น ขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ได้ทุนการศึกษาบางส่วนและอนุเคราะห์เครื่องจักรกลเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งข้าราชการและพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการใช้แรงงานในการปฏิบัติด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณญาติพี่น้องคนในครอบครัวรวมถึงเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจทั้งในด้านการศึกษาและความก้าวหน้าในหน้าที่การงาน

ยิ่งยศ บุญยานันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สาเหตุการพิบัติของถนน.....	4
2.1.1 ความเปราะบางต่อการวิบัติ.....	4
2.1.2 การทรุดของตัวถนน.....	5
2.1.3 การทรุดแอนของคันทาง.....	6
2.1.4 การทรุดตัวที่ร่องล้อ.....	7
2.2 เสถียรภาพความลาดของดิน.....	8
2.2.1 แบบของการพังทลาย.....	9
2.2.2 การหาเสถียรภาพความลาดดินที่มีความเชื่อมั่น.....	9
2.2.3 การปรับปรุงเสถียรภาพความลาด.....	10
2.3 วัสดุไฮสังเคราะห์.....	11
2.3.1 ประวัติความเป็นมา.....	11
2.3.2 ประเภทและประโยชน์.....	11
2.3.2.1 แผ่นไฮสังเคราะห์.....	12
2.3.2.2 ตะแกรงสังเคราะห์.....	12

2.3.3	การใช้งานแผ่นใยสังเคราะห์และตะแกรงสังเคราะห์	12
2.3.4	การประยุกต์ใช้แผ่นสังเคราะห์และตะแกรงสังเคราะห์ในการเสริมแรง ในคันทาง	13
2.4	การเพิ่มเสถียรภาพของคันทางโดยวัสดุสังเคราะห์	14
2.5	การเพิ่มเสถียรภาพของคันทางโดยการเสริมคันดินด้านข้าง	15
2.6	การประมวลค่าความปลอดภัยของคันทางบนดินอ่อน	16
3	วิธีดำเนินการศึกษา	23
3.1	การสำรวจเส้นทางที่ทรุดตัว	23
3.2	ถ่ายภาพความเสียหายของคันทาง	24
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ	26
3.4	การสำรวจพื้นที่ดำเนินการด้วยเครื่องมือสำรวจเพื่อออกแบบ	28
3.5	การเจาะสำรวจลักษณะชั้นดินพื้นที่ที่ศึกษา	28
3.6	การวิเคราะห์และออกแบบ	28
3.7	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.8	วัสดุที่ใช้ทดลอง	29
3.9	วิธีการทดลองประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทาง	33
3.10	แผนการดำเนินการวิจัย	38
4	การศึกษาและวิเคราะห์ผล	39
4.1	บทนำ	39
4.2	วัสดุและวิธีการดำเนินการวิจัย	40
4.3	ขั้นตอนการก่อสร้างคันดินถม	42
4.4	ผลการทดสอบ	48
4.5	การวิเคราะห์ผลทดสอบ	50
5	สรุปผล	52
	เอกสารอ้างอิง	53
	ประวัติผู้เขียน	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์กับสภาพการใช้งาน	13
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้รุ่น Polyfelt PEC 150.....	42

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการวิบัติแบบFoundation Failure.....	4
2.2 พฤติกรรมการทรุดตัวของคันทางบนดินฐานรากอ่อน.....	5
2.3 การทรุดแอนตัวของคันทาง.....	6
2.4 การทรุดตัวที่ร่องล้อ.....	7
2.5 ลักษณะการเกิดร่องล้อ Tension Crack และHeave Failure จากการอ่อนแอของคันทาง....	7
2.6 พฤติกรรมความอ่อนแอของคันทาง.....	8
2.7 แบบของการพังทลาย.....	9
2.8 แบบของการพังทลายในดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น.....	9
2.9 การปรับความลาด.....	10
2.10 การถมดินด้านท้ายของความลาด.....	10
2.11 โครงสร้างเพื่อการเพิ่มเสถียรภาพของความลาด.....	11
2.12 ทิศทางการเสริมแรงในคันทาง.....	15
2.13 กลไกการเพิ่มค่าของโมเมนต์ต้านการวิบัติโดยการเสริมคันดินด้านข้าง.....	16
2.14 ลักษณะการพังทลายของคันทางบนดินอ่อน.....	18
2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_s , β และ N_d	19
2.16 ตัวแปรในการประมาณค่าความปลอดภัย.....	20
2.17 การเฉลี่ยค่า C_A ให้คงที่ตลอดความลึก D.....	20
2.18 ตัวแปรในการประมาณค่าความปลอดภัยของการเสริมแรงในคันทาง.....	21
3.1 แผนที่ที่ตั้งโครงการ.....	24
3.2 ความเสียหายของคันทาง.....	25
3.3 ความเสียหายของคันทาง.....	25
3.4 กล้องสำรวจ.....	26
3.5 ไม้สตาฟ.....	27
3.6 เทปวัดระยะ.....	27
3.7 กล้องถ่ายภาพ.....	28
3.8 แผ่นทรุดตัว.....	29
3.9 ลักษณะของแผ่นทรุดตัว.....	29

3.10	ดินถมจากคันทางเดิม.....	30
3.11	แผ่น polyfelt.....	30
3.12	แปลนแปลงทดลอง.....	34
3.13	แบบแปลนติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด.....	35
3.14	ตัดคันทางแปลงทดลองที่ 1.....	36
3.15	ตัดคันทางแปลงทดลองที่ 2.....	37
4.1	การวินิจฉัยของคันดินถมบนดินอ่อนเรียบตลิ่ง.....	39
4.2	Boring log โครงการก่อสร้างก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก หมู่ที่ 3 ตำบลสามบัณฑิต อำเภอกุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.....	41
4.3	ที่ตั้งแปลงทดสอบ.....	42
4.4	ขั้นตอนการก่อสร้างคันทาง.....	43
4.5	การติดตั้งแผ่นทรุดตัวในแปลงทดลองที่ 2.....	43
4.6	การติดตั้งแผ่นทรุดตัวในแปลงทดลองที่ 1.....	44
4.7	การถมคันทางในแปลงทดลองที่ 1 และแปลงทดลองที่ 2 และบดอัด.....	45
4.8	การปูแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นที่ 2 ในแปลงทดสอบที่ 1.....	45
4.9	การปรับแต่งผิวหน้าคันทางในแปลงทดลอง.....	46
4.10	รายละเอียดแปลงทดสอบ.....	47
4.11	ค่าการทรุดตัวเทียบกับเวลาตรวจวัดจาก Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 1.....	48
4.12	ค่าการทรุดตัวเทียบกับเวลาตรวจวัดจาก Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 2.....	49
4.13	ลักษณะการทรุดตัวกับเวลาของดินถมคันทางในแนว Cross section ที่ระยะเวลา 50 วัน.....	49
4.14	ค่าการทรุดตัวกับเวลาของดินถมคันทางในแต่ละ Station.....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นจังหวัดที่อยู่ในพื้นที่ราบลุ่มตะกอนน้ำพา (Alluvial plain) ขนาดใหญ่ในภาคกลางของประเทศไทยพื้นที่ราบลุ่มนี้เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนที่ถูกพัดพาจากธารน้ำ ลักษณะทางธรณีวิทยาของที่ราบบริเวณนี้บ่งบอกว่าเคยถูกปกคลุมด้วยน้ำทะเลในช่วงเวลา 5,000 ถึง 3,000 ปีก่อนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดการก่อตัวของดินเหนียวอ่อนระหว่างช่วงกลางและช่วงปลายของสมัยโฮโลซีน (Holocene epoch) ที่ราบนี้เป็นชั้นดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำในช่วงเวลาต่อมาประมาณ 2,700 ปีก่อนระดับน้ำทะเลลดลงและชั้นดินเหนียวอ่อนโผล่ขึ้นมาจนถึงผิวดินดินเหนียวที่ระดับความลึกประมาณ 0 ถึง 2 เมตรเป็นชั้นดินที่เกิดการผุกร่อนเนื่องจากการขึ้นและลงของระดับน้ำใต้ดิน (Weathered clay) เมื่อมีการก่อสร้างโครงสร้างสาธารณูปโภคเช่นถนนและฐานรากสะพานเป็นต้นบนชั้นดินเหนียวอ่อนจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านวิศวกรรมปฐพีชั้นดินนี้จะเกิดการอัดตัวคายน้ำและก่อให้เกิดการทรุดตัวและการเสถียรูปด้านข้างอย่างมากระหว่างและหลังการก่อสร้างเช่นเดียวกันกับถนนในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่กระจายอยู่ใน 16 อำเภอรวม 100 สายเป็นระยะทางประมาณ 500 กิโลเมตรคันทางถนนส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวอ่อนตามแนวคลองและริมน้ำเมื่อถึงฤดูแล้งระดับน้ำในคลองและแม่น้ำจะลดลงประมาณ 2 ถึง 5 เมตรทำให้แรงดันน้ำข้างคันทางลดลงส่งผลให้เสถียรภาพของคันดินลดลงคันดินทางบางเส้นเกิดการเสถียรูปด้านข้างและการทรุดตัวอย่างมากจนกระทั่งเกิดการวิบัติของทางลาด (Slope failure) การวิบัติเห็นได้อย่างชัดเจนจากกองดินในคลองที่เกิดจากการพังทลายของคันดินด้านที่ติดกับคลองระดับความรุนแรงของการวิบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับความสูงของคันทางลักษณะคุณสมบัติของชั้นดิน (กำลังต้านทานแรงเฉือนและความหนาของชั้นดิน) และการลดลงของระดับน้ำองค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมคันทางเป็นจำนวนมากในแต่ละปีแต่ก็ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถาวรเมื่อซ่อมแซมไปได้ระยะหนึ่งก็เกิดการวิบัติของคันทางอีกวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือการเพิ่มกำลังต้านทานแรงดึงให้กับดินฐานรากด้วยการเสริมวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetic) ซึ่งจะช่วยให้เสถียรภาพทางลาดและกำลังต้านทานแรงแบกทานให้กับดินฐานราก

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของคันดินถนนเสริมวัสดุสังเคราะห์คันดินถนนที่วิบัติจะถูกรื้อออกและก่อสร้างคันดินถนนที่เสริมวัสดุสังเคราะห์ (ได้คันทาง) คันดินถนนใหม่นี้จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอันได้แก่ Piezometer, Pressure gauge, Settlement

plate และ Inclinometer เพื่อทำการตรวจวัดความดันน้ำของชั้นดินความดันใต้ฐานรากการทรุดตัวของชั้นดินและการเสยรูปด้านข้างของคันดินเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย3เดือนผลการตรวจวัดทั้งหมดจะนำวิเคราะห์และสรุปผลถึงประสิทธิภาพของการเสริมวัสดุสังเคราะห์ได้คันดินถนนในการเพิ่มเสถียรภาพของคันดินงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการแก้ปัญหาการวิบัติของคันทางถนนในเขตพระนครศรีอยุธยาอย่างยั่งยืนอีกทั้งยังเป็นแนวทางในการออกแบบคันทางถนนที่จะสร้างใหม่

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 สํารวจลักษณะความเสียหายของคันทางถนนในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- 1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของคันดินเสริมวัสดุสังเคราะห์อันได้แก่การกระจายความดันน้ำของดินใต้ฐานรากความดันดินใต้ฐานรากการทรุดตัวของชั้นดินและการเสยรูปด้านข้าง
- 1.2.3 นำเสนอแนวทางการซ่อมแซมถนนที่วิบัติด้วยการเสริมวัสดุสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ผู้วิจัยจะทำการสำรวจความเสียหายของคันทางถนนในเขตความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาหลังจากนั้นจะเลือกคันทางที่เกิดการวิบัติเพื่อใช้เป็นพื้นที่ศึกษาเมื่อได้พื้นที่ศึกษาแล้วผู้วิจัยจะทำการสำรวจชั้นดิน (Soil investigation) เพื่อสรุปลักษณะของชั้นดินใต้คันทางถนนถนนที่วิบัตินี้จะถูกรื้อออกและก่อสร้างใหม่ทดแทนโดยการเสริมวัสดุสังเคราะห์ที่ได้คันทางผู้วิจัยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์มาตรวัดอันได้แก่Piezometer, Pressure gauge, Settlement plate และInclinometer เพื่อทำการตรวจวัดความดันน้ำของชั้นดินความดันใต้ฐานรากการทรุดตัวของชั้นดินและการเสยรูปด้านข้างของคันดินเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย3เดือนและจะนำผลการศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเสริมเสถียรภาพของคันทาง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ข้อมูลความเสียหายของคันทางถนนในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- 1.4.2 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อน

1.4.3 องค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาสามารถแก้ไขการวิบัติของคันทาง
ถนนได้อย่างยั่งยืนด้วยงบประมาณที่คุ้มค่า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

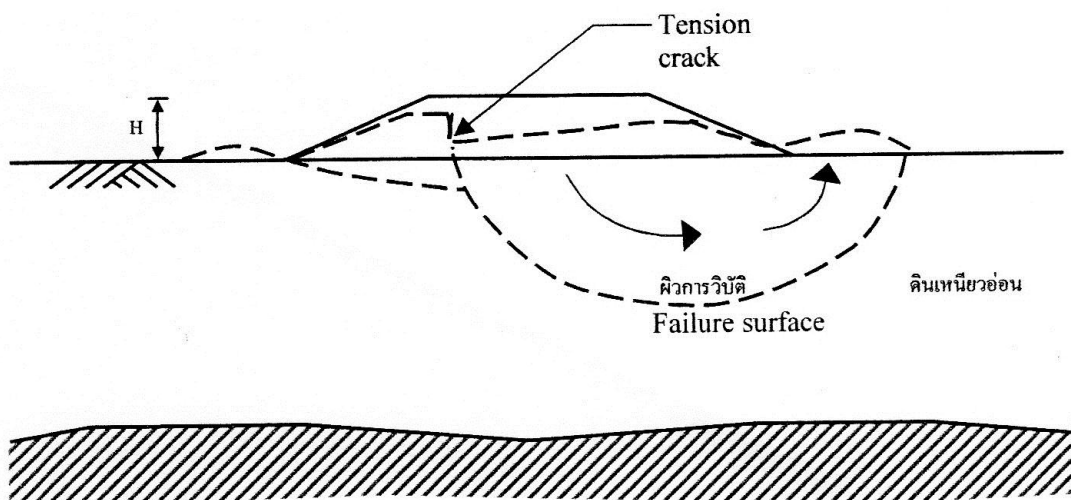
2.1 สาเหตุการวิบัติของถนน

ประมวลปัญหาที่ต้องพิจารณาในการออกแบบคันทางบนดินฐานรากอ่อน

จากพฤติกรรมของคันทางบนดินฐานรากอ่อนตามที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดประกอบกับประสบการณ์เกี่ยวกับถนนบนดินเหนียวอ่อนของประเทศไทยสามารถนำมาประมวลเป็นภาพรวมของประเด็นปัญหาที่ควรต้องพิจารณาในการออกแบบคันทางบนดินฐานรากอ่อน 5 ประเด็นที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1 ความเปราะบางต่อการวิบัติ

การวิบัติของคันทางคือสภาวะที่เกิดการเลื่อนไหลของมวลดินในรูปของ “Foundation Failure” ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการวิบัติแบบ Foundation Failure (วิชาญภูพัฒน์, 2549)

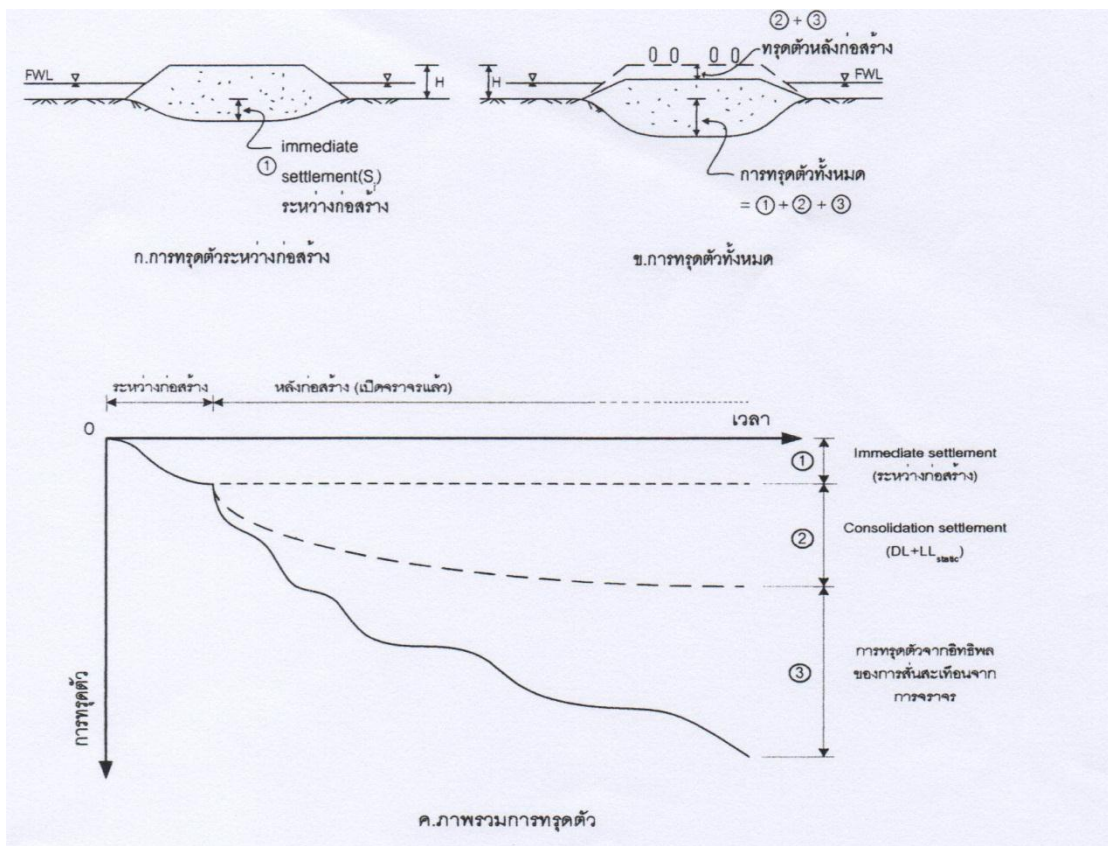
สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการวิบัติส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากตัวแปร 2 ประการคือความสูงของคันทาง (H) มากเกินไปและ/หรือกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินฐานรากต่ำ(ดินเหนียวอ่อน) มีสาเหตุอื่นที่อาจส่งผลต่อการวิบัติได้แก่น้ำหนักที่กระทำบนถนนที่มีค่ามากเกินขอบเขตที่ออกแบบไว้การวิบัติของหลักคันดินในอดีตที่พบในประเทศไทยมีสาเหตุหลักมาจากการออกแบบที่วิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางหรือมีการวิเคราะห์แต่เลือกใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.)ที่ไม่

เหมาะสม(วิชาญภูพัฒน์, 2549)นอกจากนี้หน้าหน้าจากรบรรทุกที่วิ่งผ่านคันดินถมในระหว่างการก่อสร้างทำให้ดินฐานรากถูกรบกวนและเกิดLocal Failureกำลังรับแรงเฉือนการแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิมไม่ได้เลยดังนั้นผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางให้มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S) มากพอ (อาทิเช่น $F.S. \geq 2$) (วิชาญ ภูพัฒน์, เอกสารประกอบการสอน 2545)ใน ส่วนของการควบคุมการก่อสร้างคันทางไม่มีLocal Failure เกิดขึ้นในดินฐานรากแต่หากพบLocal Failureเกิดขึ้นพิจารณาลดความสูงของคันทางหรือปรับปรุงคุณสมบัติของดินฐานราก

2.1.2 การทรุดของตัวถนน

การทรุดตัวของคันทางบนดินฐานรากอ่อนประกอบด้วย3ส่วนหลัก (ดังรูปที่ 2.2) คือ

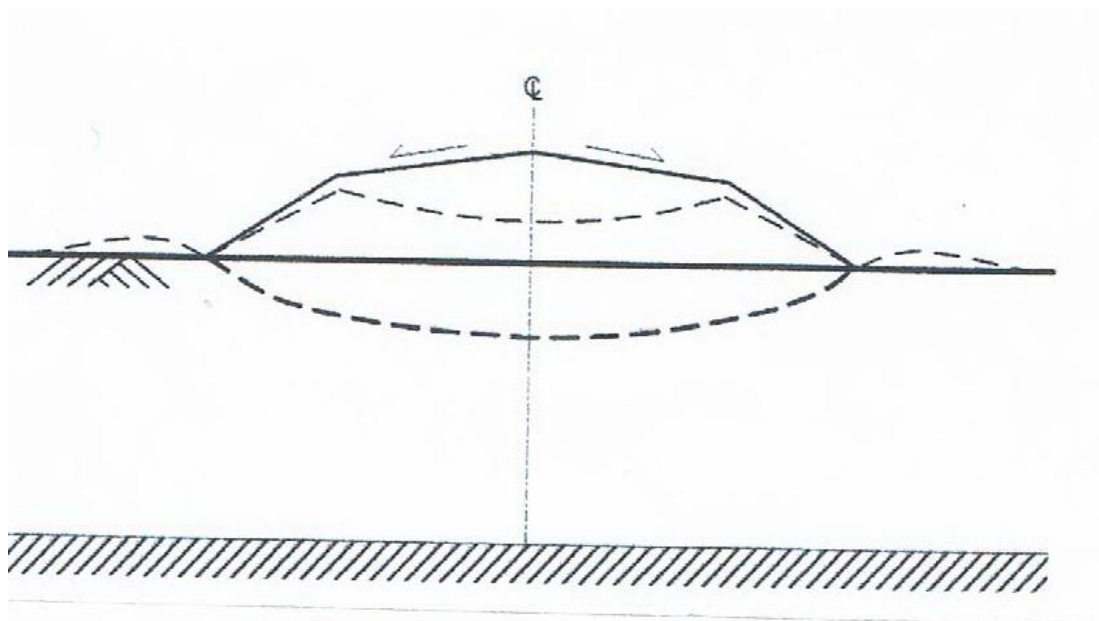
1. การทรุดตัวระหว่างการก่อสร้างในรูปของ Immediate Settlement
2. การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement) จากน้ำหนักของคันทาง+นน. รวมกับน้ำหนักสถิตของการจราจร
3. การทรุดตัวที่เกิดจากอิทธิพลของการสั่นสะเทือนจากการจราจร



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมทรุดตัวของคันทางบนดินฐานรากอ่อน (วิชาญภูพัฒน์, 2549)

การทรุดตัวส่วนที่ (1) และ(2) สามารถประมาณได้ในทฤษฎีซึ่งการทรุดตัวจะสิ้นสุดเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งแต่การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอิทธิพลของการสั่นสะเทือน(3) จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่ยังมีการจากรอยู่และไม่มีทฤษฎีที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากกรณีที่ (3) ได้อย่างถูกต้อง ในปัจจุบันขนาดของการทรุดตัวในกรณี(3) จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดน้ำหนักของการจราจรถนนที่มีรถขนาดเล็กสัญจรและปริมาณจราจรต่ำจะเกิดการทรุดตัวต่ำกว่าถนนที่มีรถบรรทุกขนาดใหญ่สัญจรและมีปริมาณการจราจรสูง

2.1.3 การทรุดแอ่นของคันทาง(Sagging)

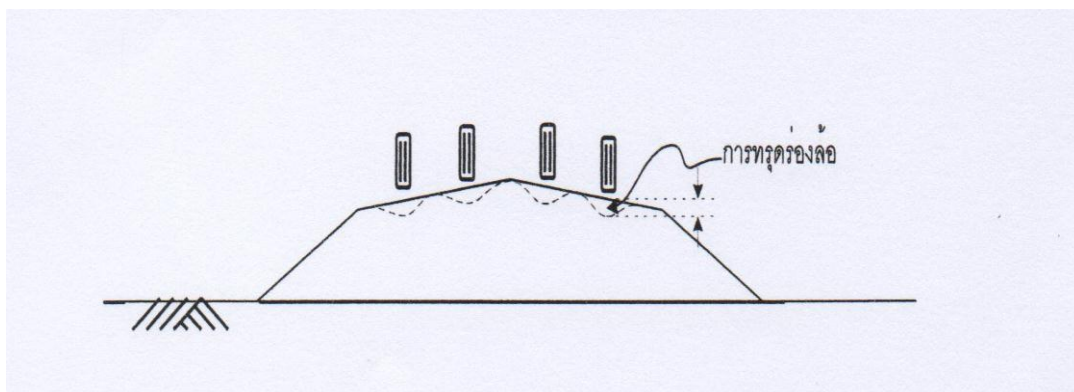


รูปที่ 2.3 การทรุดแอ่นตัวของคันทาง (วิชาญภุพัฒนา, 2549)

การทรุดตัวของคันทางในลักษณะนี้จะเกิดสูงที่กึ่งกลางคันทางและลดน้อยลงไปจนกระทั่งน้อยที่สุดที่ขอบคันทาง การทรุดตัวของคันทางคันบนดินฐานรากแข็งจะมีขนาดน้อยมากจึงแทบไม่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงลาดหลังเต่า (Crown Slope) คันทางได้แต่สำหรับดินเหนียวอ่อน การทรุดมีปริมาณสูงลาดหลังเต่าลาดหลังเต่าอาจแอ่นกลับทางทำให้น้ำฝนซึ่งได้ง่ายบนผิวถนนและระบายน้ำออกได้ยากซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ยาน

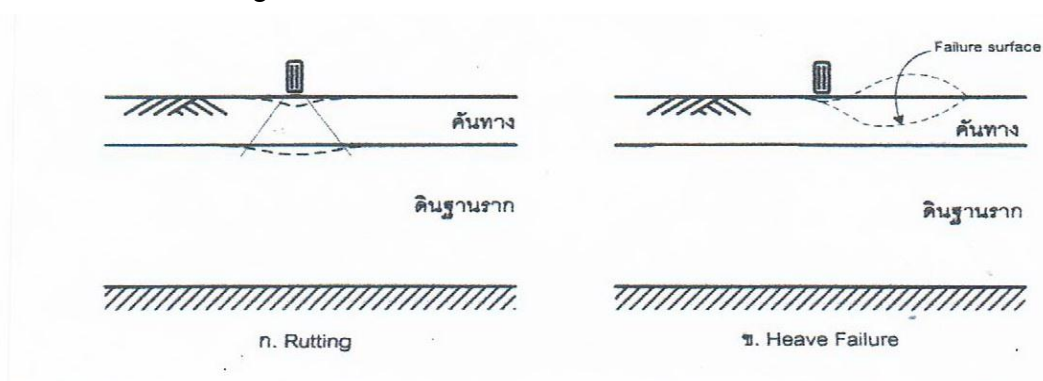
2.1.4 การทรุดตัวของร่องล้อ (Rutting)

การทรุดตัวของร่องล้อก็เป็นการทรุดตัวอีกประเภทหนึ่งที่พบเห็นบ่อยบนผิวทางจราจรแบบยึดหยุ่นการทรุดตัวแบบร่องล้อจะเกิดขึ้นบริเวณที่เป็นร่องของ Wheel track มีผลทำให้ผิวถนนเกิดเป็นร่องขังน้ำฝนซึ่งเป็นอันตรายต่อการขับขี่นอกจากนี้การทรุดตัวของร่องล้อยังทำให้ผิวถนนไม่เรียบทำให้ไม่สะดวกต่อการขับขี่ด้วย

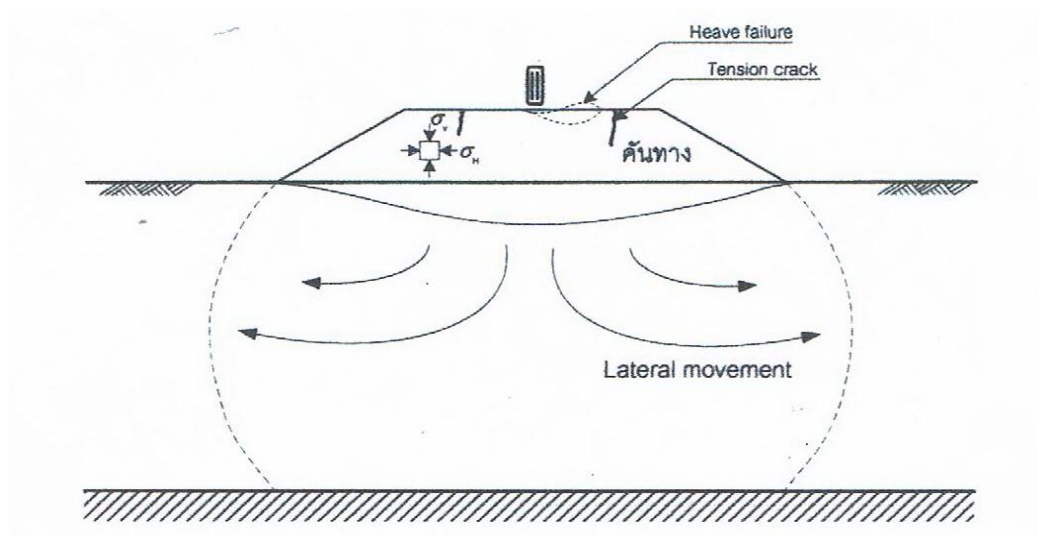


รูปที่ 2.4 การทรุดตัวของร่องล้อ (วิชาญภูพัฒน์,2549)

การทรุดตัวของร่องล้ออาจมีสาเหตุจากการยุบตัวของดินคันทางที่อยู่ในสถานะ Low Confining Pressure การยุบตัวของดินเหนียวอ่อนและการปลูกพวมตัวของดินคันทางการทรุดตัวเนื่องจากดินเหนียวอ่อนจะมีขนาดและระดับความรุนแรงมากกว่าการยุบตัวของดินคันทางที่อยู่ในสถานะ Low Confining Pressure



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดร่องล้อ Tension Crack และ Heave Failure จากการอ่อนแอของคันทาง (วิชาญภูพัฒน์,2549)



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมความอ่อนแอของคั้นทาง (วิชาญภูพัฒน์,2549)

คั้นทางที่ก่อสร้างบนดินฐานรากอ่อนจะมีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากดินฐานรากกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ต้านออกจากรีถนนดังกล่าวเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก (Wheel Load) จะเกิด Rutting หรือ Heave Failure ได้ง่ายผิวถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนจึงมักขรุขระและมีรอยแตกอยู่เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยแตกตามยาวขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

2.2 เสถียรภาพความลาดของดิน (Stability Slope)

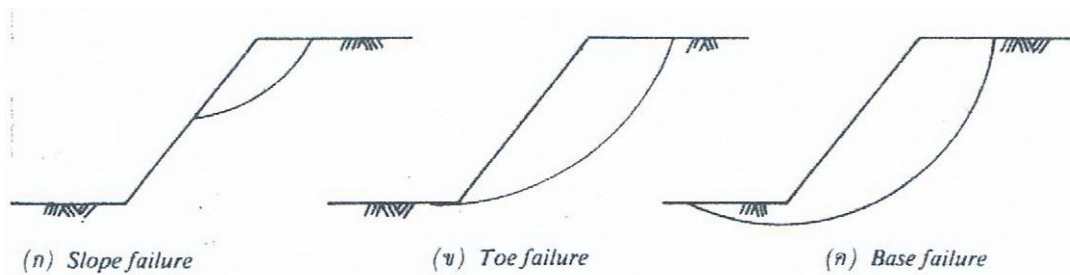
การวิบัติของถนนริมคลองในเขตพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเกิดจากการขาดเสถียรภาพของลาดดินซึ่งส่วนใหญ่พบว่าคันดินในพื้นที่ก่อสร้างมีความลาดชันน้อยเกินไปเนื่องจากพื้นที่ไหล่ทางที่จำกัดและไม่สามารถเสริมหรือเพิ่มความกว้างของไหล่ทางได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านการเวนคืนที่ดินความกว้างของดินถมคันทางรวมทั้งไหล่ทางจึงไม่สามารถก่อสร้างได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงเมื่อมวลดินมีความลาดเอียงซึ่งอาจไม่ว่าจะเกิดจากการขุดหรือการถมก็ตามจะเกิดแรงเฉือนขึ้นภายในมวลดินหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีผลมาจากแรงดึงดูดของโลกและแรงไหลซึมของน้ำเป็นต้นหากหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินมีค่าสูงเกินกว่าความต้านทานแรงเฉือน (ซึ่งเป็นผลรวมของความเสียดทานภายในและความเชื่อมแน่นของดิน) มวลดินจะเกิดการวิบัติ (มณเฑียร,2538) อัตราส่วนปลอดภัยด้านการวิบัติสามารถคำนวณได้จากสมการที่

2.1

$$\text{อัตราส่วนปลอดภัย} = \frac{\text{แรงต้านทาน (หรือโมเมนต์ของแรงต้านทาน)}}{\text{แรงกระทำ (หรือโมเมนต์ของแรงกระทำ)}}$$

2.2.1 แบบของการพังทลาย(Types of Failure)

มณฑะยิธร(2538)กล่าวว่าการเคลื่อนไถลตัวของดินอาจสมมุติให้เป็นส่วนโค้งของวงกลม (Circular arc) ซึ่งแนวส่วนโค้งนี้อาจจะตัดที่ผิวหน้าความลาดของดินเรียกว่า Slope Failure หรือตัดที่ผิวล่างของลาดดินเรียกว่า Toe failure หรืออาจจะตัดลึกลงไปใต้ฐานความลาดของดินเรียกว่า Base Failure รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการวิบัติทั้ง 3 ลักษณะ

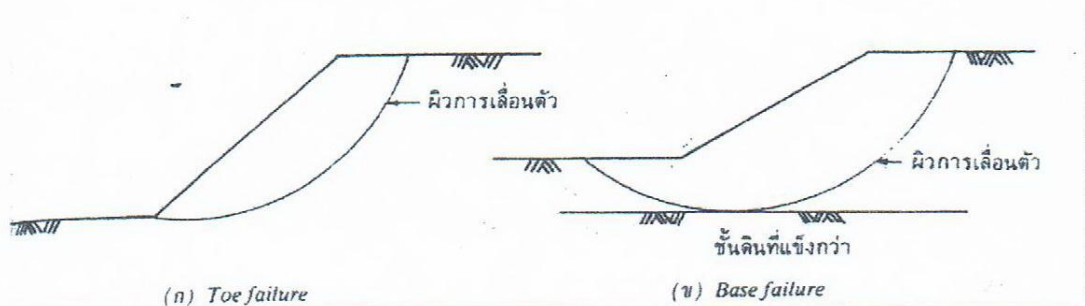


รูปที่ 2.7 แบบของการพังทลาย (มณฑะยิธร,2538)

2.2.2 การหาเสถียรภาพความลาดของดินที่มีความเชื่อมแน่น

มณฑะยิธร(2538) กล่าวหาเสถียรภาพความลาดของดินขึ้นอยู่กับ (Cohesion) และมุมเสียดทานภายใน (Friction angle) ของดิน ความสูงและความชันของลาดดิน ลักษณะการวิบัติของลาดดินในดินประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่เรียกว่า Toe Failure หรือ Base Failure Toe Failure ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งลาดดินทำมุมกับแนวราบชันจนถึง 90 องศาได้

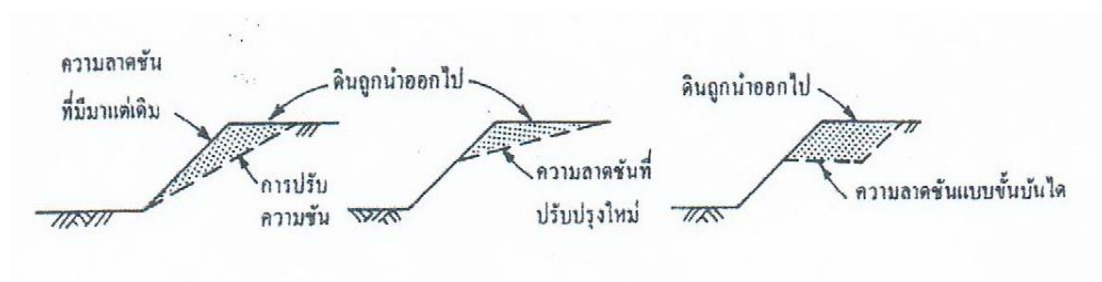
Base Failure จะเกิดกับของลาดดินที่มีความชันที่น้อยแต่วัสดุที่ใช้ทำดินคันทางเป็นดินอ่อนมีชั้นแข็งเป็นฐานรากดังแสดงในรูปที่ 2.8



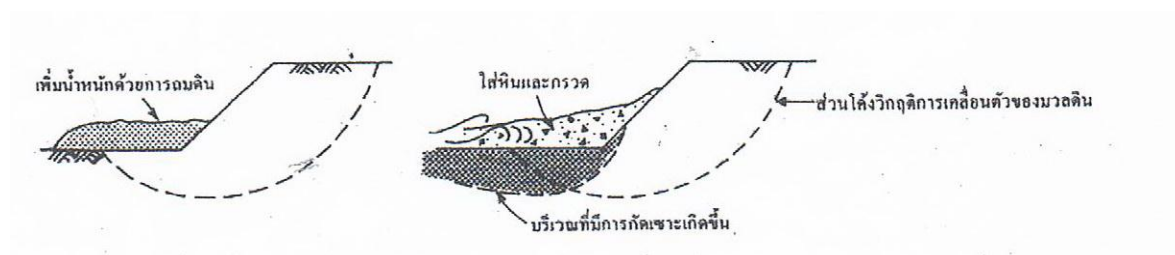
รูปที่ 2.8 แบบของการพังทลายในดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น (มณฑะยิธร,2538)

2.2.3 การปรับปรุงเสถียรภาพความลาด

มานะ (2535) กล่าวว่า การเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินอาจทำได้ด้วยการปรับลดความชันลง หรือทำเป็นขั้นบันไดดังแสดงในรูปที่ 2.9 ในกรณีที่ไม้ปรับลดความลาดการเพิ่มเสถียรภาพคันทาง อาจทำได้โดยการถมดินที่ท้ายลาดดิน (Berm) เพื่อเพิ่มโมเมนต์ความต้านทานการไถล (Resisting moment) ดินที่ถมท้ายความลาดอาจใช้ดินจำพวกกรวดปนทรายเพื่อให้สามารถป้องกันการกัดเซาะ ดินบริเวณท้ายความลาดดังรูปที่ 2.10

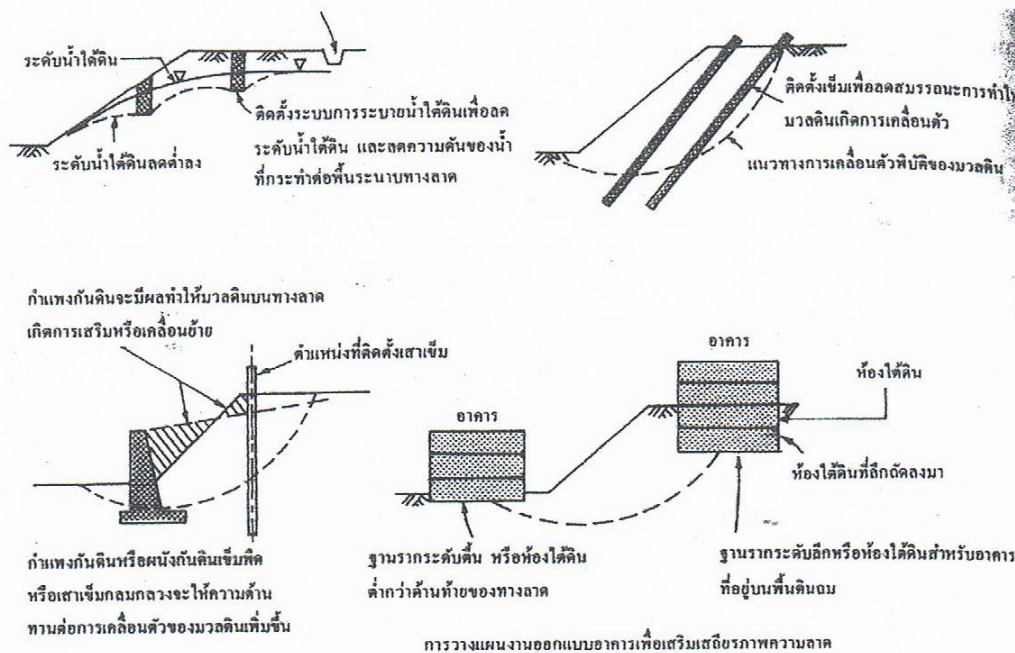


รูปที่ 2.9 การปรับความลาด (มานะ, 2535)



รูปที่ 2.10 การถมดินด้านท้ายของความลาด (มานะ, 2535)

การแก้ปัญหาหาระดับน้ำใต้ดิน (ลดเสถียรภาพของดินถม) สามารถทำได้ด้วยการสร้างระบบระบายน้ำบนดินถมเพื่อรองรับน้ำจากบริเวณข้างเคียงที่มีระดับสูงกว่าและติดตั้งท่อระบายน้ำในดินถมเพื่อให้สามารถระบายน้ำออกไปได้อันจะลดระดับน้ำใต้ดินนอกจากนี้การเพิ่มเสถียรภาพความลาดอาจใช้วิธีตอกเข็มกำแพงกันดินหรือการกำหนดขั้นตอนการทำงานเช่นการก่อสร้างอาคารในบริเวณฐานของคันดินก่อนแล้วจึงก่อสร้างอาคารบนบริเวณคันดินน้ำหนักรวมของฐานอาคารบริเวณฐานของคันดินจะช่วยเพิ่มโมเมนต์ต้านทานการไถลดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างเพื่อการเพิ่มเสถียรภาพของความลาด (มานะ, 2535)

2.3 วัสดุสังเคราะห์

2.3.1 ประวัติความเป็นมา

Koemer (1994) และ, Hooi (1994) ได้ให้นิยามวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetics) ว่าเป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นจากโพลิเมอร์ (Polymer material) เพื่อใช้งานด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Geotechnical engineering) รวมทั้งด้าน โครงสร้างงานดินและงานระบบระบายน้ำและงานป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลหรือริมแม่น้ำ

มนุษย์เรารู้จักการเสริมกำลังให้กับดินด้วยวัสดุธรรมชาติและได้มีการนำวัสดุเส้นใยมาใช้ในงานธรณีเทคนิคตั้งแต่สมัยโบราณ South Carolina Highway Department ได้ริเริ่มนำผ้าฝ้ายที่มีความหนาแน่นมากมาเสริมแรงให้กับคันทางด้วยการปูผ้าบนดินเดิมก่อนแล้วใช้แอสฟัลต์ร้อนเททับบนผ้าจากนั้นใช้ทรายชั้นบางๆปูทับอีกชั้นหนึ่งก่อนดำเนินการก่อสร้างคันทางในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งถนนลาดยางเส้นนี้ได้มีการทดลองการใช้ในปี ค.ศ. 1935 และพบว่าคันทางดังกล่าวมีเสถียรภาพเพียงพอทรานแทนผ้าฝ้ายชำระุดการทดลองครั้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นสู่การพัฒนาและประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์จนถึงปัจจุบัน

2.3.2 ประเภทและประโยชน์

วัสดุสังเคราะห์สามารถจำแนกตามลักษณะรูปร่างวัสดุที่ใช้วิธีการผลิตได้หลายประเภท ซึ่งจะขอกล่าวไว้เพียง 2 ประเภทซึ่งพบบ่อยในงานด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคดังต่อไปนี้

2.3.2.1 แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

แผ่นใยสังเคราะห์มีลักษณะเป็นแผ่นผลิตจากเส้นใยจำพวก Synthetic fiber ซึ่งมีความคงทนดีกว่าเส้นใยธรรมชาติและมีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นสูงและสม่ำเสมอการผลิตเป็นแผ่นทำโดยการถักทอ (Woven) หรือไม่ถักทอ (Non woven) ผ้าแผ่นใยสังเคราะห์สามารถนำมาใช้ในงานแยกชั้นวัสดุ (Separation) งานเสริมแรง (Reinforcement) งานกรองวัสดุ (Filtration) งานระบายน้ำ (Drain) และงานป้องกันการกัดเซาะ (Protection)

2.3.2.2 ตะแกรงสังเคราะห์ (Geogrids)

ตะแกรงสังเคราะห์มีลักษณะเป็นแผ่นผลิตโดยการประสานเส้นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ให้เป็นตะแกรงขนาดต่างๆ มีช่องว่างและขนาดเส้นใยโตกว่าแผ่นใยสังเคราะห์แต่เทคนิคการประสานเส้นใยเหมือนกันนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการเสริมแรงเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความยืดตัวในระยะยาวต่ำกว่าและสามารถผลิตให้มีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูง

2.3.3 การใช้งานของแผ่นใยสังเคราะห์และตะแกรงสังเคราะห์

แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเพื่อใช้ประโยชน์ ได้หลากหลายทั้งการเสริมแรงการแยกชั้นวัสดุและการกรองวัสดุเป็นต้นตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในงานประเภทต่างๆ

ตะแกรงสังเคราะห์เป็นวัสดุที่มีลักษณะเด่นในด้านการเสริมแรงที่ใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคเช่นงานถนนและงานกำแพงดินเป็นต้นเนื่องจากมีกำลังต้านทานแรงดึงและโมดูลัสและความต้านทานการคืบที่สูงกว่าวัสดุสังเคราะห์ประเภทอื่นช่องเปิดของตะแกรงสังเคราะห์สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ อาทิเช่นวงรีและสี่เหลี่ยมเป็นต้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับดินที่มีรูปร่างต่างๆ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแผ่นใยสังเคราะห์กับสภาพการใช้งาน

ประเภทการใช้งาน	วัตถุประสงค์ของการใช้งาน					
	แบ่งแยกวัสดุ	วัสดุกรอง	ระบายน้ำ	เสริมความแข็งแรง	ป้องกันการพังทลาย	ป้องกันการรั่วซึม
ถนนที่ไม่มีผิวทาง	หลัก	รอง	รอง	รอง	-	-
งานซ่อมผิวทาง	-	-	-	รอง	-	หลัก
ทางรถไฟ	หลัก	หลัก	-	-	-	-
โครงสร้างทางชลศาสตร์	รอง	หลัก	-	-	-	-
ทางระบายน้ำ	รอง	หลัก	รอง	-	-	-
สนามกีฬา	หลัก	หลัก	-	-	-	-
งานดินถม	หลัก	รอง	รอง	รอง	-	-
Vertical draine	-	รอง	หลัก	-	-	-
งานกำแพงกันดิน	-	-	รอง	หลัก	-	-
งานอุโมงค์	-	-	หลัก	-	หลัก	-

ที่มา: พิชัย(2539)

นอกจากจะใช้ได้ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นตะแกรงสังเคราะห์ยังนำไปใช้เสริมแรงในงานถนนลาดยางเพิ่มกำลังรับแรงแบกทานให้กับฐานรากดินอ่อนหรือใช้ในงานโครงสร้างของหินขนาดใหญ่โดยทำหน้าที่เป็นตัวยึดรั้งในโครงสร้างกำแพงกันดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพตะแกรงสังเคราะห์บางรุ่นสามารถใช้เสริมแรงในระนาบ 3 มิติได้และสามารถใช้งานร่วมกับแผ่นใยสังเคราะห์หรือแผ่นกรองสังเคราะห์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการแยกชั้นวัสดุหรือการกรองหรือควบคุมอัตราการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างงานดิน (ธีระชาติและสมปาน, 2540)

2.3.4 การประยุกต์ใช้แผ่นสังเคราะห์และตะแกรงสังเคราะห์ในการเสริมแรงในคันทาง

การเสริมแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์และตะแกรงสังเคราะห์มีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

1. ปรับพื้นที่บริเวณก่อสร้างซึ่งอาจเป็นการปรับหน้าดินให้เรียบโดยการถมหรือการขุดพร้อมกับการบดอัดเข้าร่วมด้วยเพื่อให้ได้ระดับตามต้องการ
2. ปูแผ่นใยสังเคราะห์หรือตะแกรงสังเคราะห์บนพื้นที่ก่อสร้างให้ปลายของแผ่นใยสังเคราะห์หรือตะแกรงสังเคราะห์มีความยาวประมาณ 1 เมตรซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า Tail เพื่อพับกลับเข้ามาในถนนคันทาง
3. ทำการก่อสร้างโครงสร้างดินถมเหนือชั้นดินที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์หรือตะแกรงสังเคราะห์แต่หากต้องเสริมแผ่นใยสังเคราะห์หรือตะแกรงสังเคราะห์หลายๆชั้นก็

สามารถทำได้ตามขั้นตอนที่ 2 โดยการใช้เครื่องมือพิเศษคล้ายกับเหล็กรูปตัว L ช่วยในการทำงานขั้นต่อไป (ข้อมูลจาก Polyfelt Geosynthetics, Thailand Co, Ltd.)

2.4 การเพิ่มเสถียรภาพของคันทางโดยวัสดุสังเคราะห์

การเสริมแรงในคันทางโดยวัสดุสังเคราะห์ทั้งประเภทแผ่นใยสังเคราะห์หรือตะแกรงสังเคราะห์จะช่วยเพิ่มโมเมนต์ต้านการไถลพิจารณาสมมูลของโมเมนต์รอบจุดหมุน O ในรูปที่ 2.11 ส่วนความปลอดภัยเมื่อมีการเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์คำนวณได้ดังนี้ (Koemer, et al., 1994)

$$FS = \frac{(M_R + M_T)}{M_D}$$

$$FS = FS_0 + \frac{M_T}{M_D}$$

เมื่อ FS = ค่าความปลอดภัยของคันทางที่มีการเสริมแรง

M_R = โมเมนต์ต้านการวิบัติเนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดิน

M_D = โมเมนต์วิบัติเนื่องจากน้ำหนักของมวลดินวิบัติ

M_T = โมเมนต์ต้านการวิบัติเนื่องจากเสริมแรง

FS_0 = ค่าความปลอดภัยของคันทางเมื่อไม่มีการเสริมแรง

ค่า M_T สามารถหาได้จากสมมูลของโมเมนต์รอบจุด O ซึ่งมี 2 กรณีแล้วแต่กรณีการเสริมแรง (รูปที่ 2.11) ดังนี้

$$M_{Th} = [T_i (Y_i - Y_c)]$$

$$M_T = [T_i (\text{Radius of slip circle})]$$

เมื่อ M_{Th} = โมเมนต์ต้านแรงวิบัติกรณีการเสริมแรงแนวราบ (Horizontal orientation)

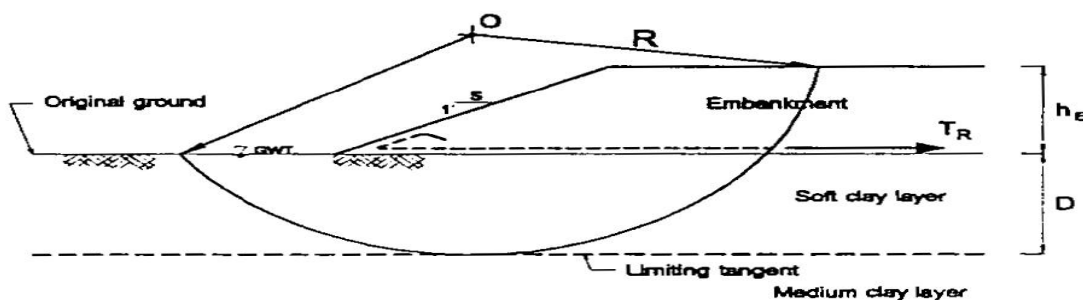
M_T = โมเมนต์ต้านแรงวิบัติกรณีการสัมผัสกับส่วนโค้งของการวิบัติพอดี (Tangential orientation)

T_i = ขนาดของการเสริมแรงด้วยวัสดุใยสังเคราะห์แนวที่ i

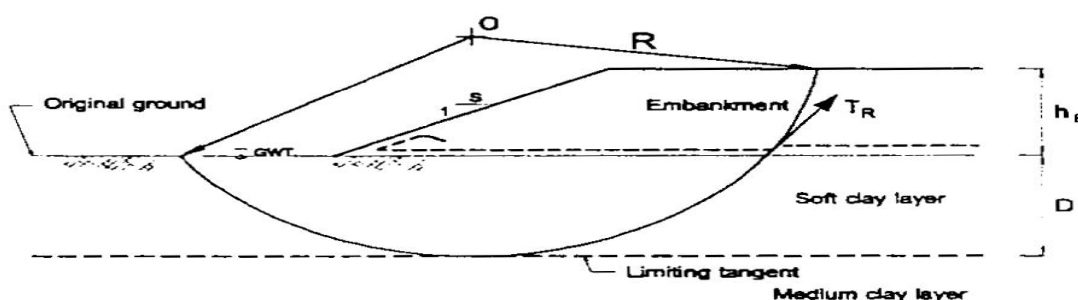
Y_i = ระยะในแนวดิ่ง (แกน Y) ของแนวการเสริมแรง

Y_c = ระยะในแนวดิ่ง (แกน Y) ของจุดศูนย์กลางวงกลมวิบัติ

กลไกการเพิ่มค่าของโมเมนต์ด้านการวิบัติ MT ที่ได้จากการเสริมแรงอธิบายได้จากสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4 ค่าของ MTh จะน้อยกว่าค่า MTt เสมอเนื่องจากระยะของแกน โมเมนต์ที่สั้นกว่ากรณี MTt จะมีค่ามากกว่าแต่ในการก่อสร้างนั้นการจะเสริมแรงให้สัมพันธ์กับวงกลมวิบัติเป็นสิ่งที่ทำให้ยากมาดังนั้นการวิเคราะห์โดยทั่วไปจะทำโดยการเสริมแรงในแนวราบ (Horizontal orientation) เท่านั้น



ก. ทิศทางของการเสริมแรงในแนวราบ



ข. ทิศทางของการเสริมแรงให้สัมพันธ์กับโค้งพอดิ

รูปที่ 2.12 ทิศทางการเสริมแรงในคันทาง

2.5 การเพิ่มเสถียรภาพของคันทางโดยการเสริมคันทางด้านข้าง

กลไกของการเพิ่มโมเมนต์ด้านการวิบัติโดยการเสริมคันทางด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 2.12 อัตราส่วนปลอดภัยด้านการวิบัติคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (SWEROLD,1992)

$$FS = \frac{M_R}{M_D - M_b} \tag{2.6}$$

$$FS = \frac{\tau_{fu} * R * S}{X_p * W_p + X_T * W_T - X_c * W_c} \tag{2.7}$$

อัตราส่วนปลอดภัยประมาณได้จาก

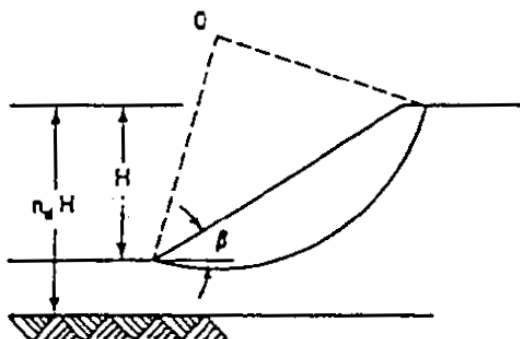
$$FS = \frac{N_s \cdot S_U}{\gamma \cdot H}$$

เมื่อ = ความสูงของคันทาง

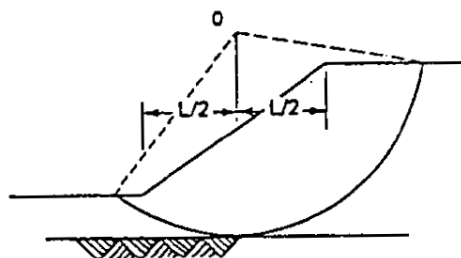
ลักษณะการพังทลายของคันทางบนดินฐานรากที่มีความลึกจำกัดและมุมลาดชันของคันทางเท่ากับ β สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะตามแสดงในภาพที่ 13 ดังนี้

1. Toe circle failure แสดงในรูปที่ 13 (ก) แนวการวิบัติจะผ่านบริเวณขอบล่างของฐานคันทาง
2. Slope circle failure แสดงในรูปที่ 13 (ข) แนวการวิบัติจะผ่านเหนือขอบของฐานคันทางหรือเกิดในส่วนของคันทาง
3. Midpoint circle failure แสดงในรูปที่ 13 (ค) เกิดขึ้นในกรณีที่จุดศูนย์กลางของโค้งวงกลมวิบัติอยู่ที่กึ่งกลางของความลาดชันพอดีและวงกลมวิบัติจะสัมผัสเส้นแบ่งระหว่างชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็งด้านล่างเป็นส่วนใหญ่

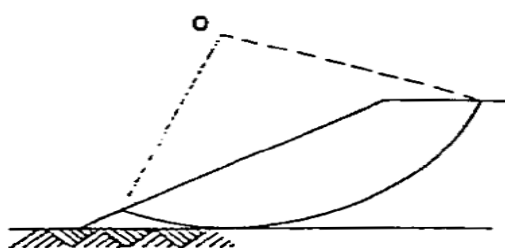
Terzaghi and Peck (1970) ได้ใช้ความสัมพันธ์ของมุม β และค่าอัตราส่วนระหว่างผลรวมของความสูงคันทางกับความลึกของชั้นดินอ่อน ($D+H$) ต่อความสูงของคันทาง (H) ซึ่งเรียกว่า Depth factor (N_d) สำหรับลักษณะการวิบัติทั้งสามแบบในการหาค่า N_s โดยสรุปเป็นกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.14



ก. Toe circle



ค. Midpoint circle

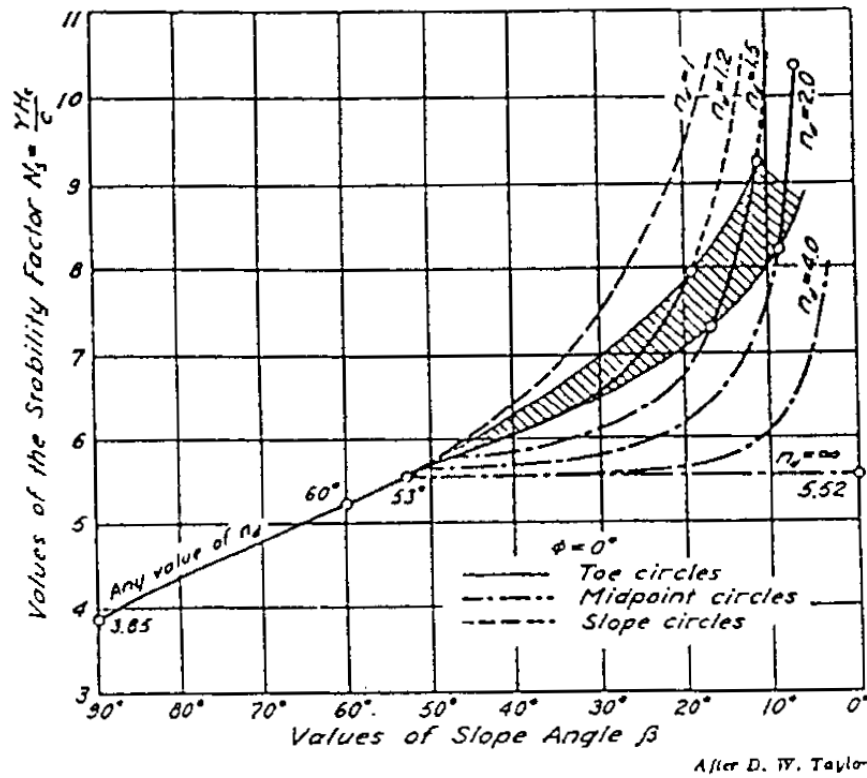


ข. Slope circle

รูปที่ 2.14 ลักษณะการพังทลายของคันทางบนดินอ่อน

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าลักษณะการวิบัติจะขึ้นอยู่กับค่า Depth factor, N_d และหากคันทางมีมุมลาดเอียงด้านข้าง (β) มากกว่า 53° องศาการวิบัติจะเกิดในลักษณะของ Toe circle failure ในกรณี Midpoint circle failure (พิจารณาสมการที่ 2.8) พบว่าค่าหน่วยน้ำหนัก (γ) ของดินอ่อนฐานรากใต้คันทางไม่มีผลต่อค่าความปลอดภัยเนื่องจากลักษณะวงกลมวิบัติเป็นรูปครึ่งเสี้ยวพอดีจึงทำให้เกิดความสมดุลเป็นศูนย์ดังนั้นเฉพาะค่าหน่วยน้ำหนักของดินอ่อนและความสูงของคันทางมีผลต่อการเพิ่มค่าโมเมนต์วิบัติ (MD) โดยตรงและเมื่อชั้นดินอ่อนมีความลึกมากกว่า N_d จะมีค่าสูงมากและในที่นี้มุม β ของคันทางมีค่าไม่เกิน 30° องศาจะได้ค่า N_S เท่ากับ 5.52 (ธีระชาติและสมปาน, 2540) เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 2.8 จะได้สมการคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยของคันทางบนดินอ่อนที่มีความหนามาก่อนการเสริมแรงดังนี้

$$FS = \frac{5.52 \cdot S_U}{\gamma \cdot H}$$



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_s, β และ N_d

Low (1989) ได้เสนอสมการในการประมาณอัตราส่วนความปลอดภัยของคันทางสูง H มุมลาดชันเท่ากับ β ที่มีพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือน C_m, ϕ_m และหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรของคันทาง γ บนฐานรากดินอ่อนซึ่งต้องการเจ็ลลี่ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, CU) ให้คงที่ตลอดความหนา D และสมมติว่า $\phi_U = 0$ (รูปที่ 2.15) ดังนี้

$$FS_D = N_1 \cdot \frac{C_A}{\gamma \cdot H} + N_2 \left(\frac{C_m}{\gamma \cdot H} + \lambda \tan \phi_m \right)$$

เมื่อ FS_D = ค่าความปลอดภัยของคันทางบนดินอ่อน

$$N_1 = 3.06 \left(\frac{D}{H} \right)^{0.53} \frac{a_1^{1.47}}{a_2}$$

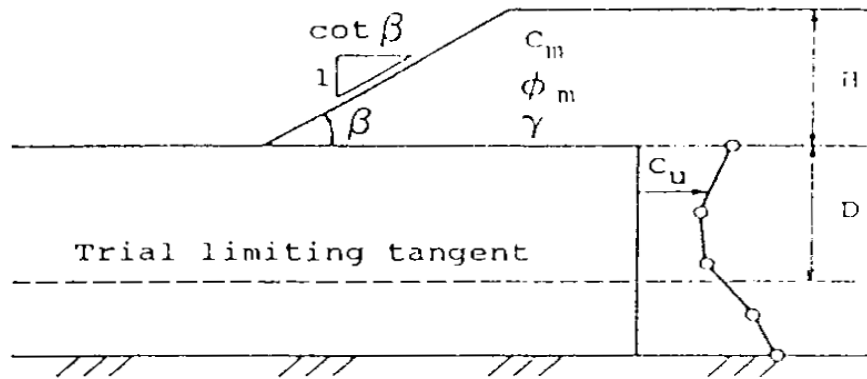
$$N_2 = 1.53 \left\{ \left(\frac{D}{H} + 1 \right)^{0.53} - \left(\frac{D}{H} \right)^{0.53} \right\} \frac{\alpha_1^{1.17}}{a_2}$$

$$\alpha = 1.564 \left(\frac{D}{H} + 0.5 \right) + 0.13003 \frac{\cot^2 \beta + 1}{\frac{D}{H} + 0.5}$$

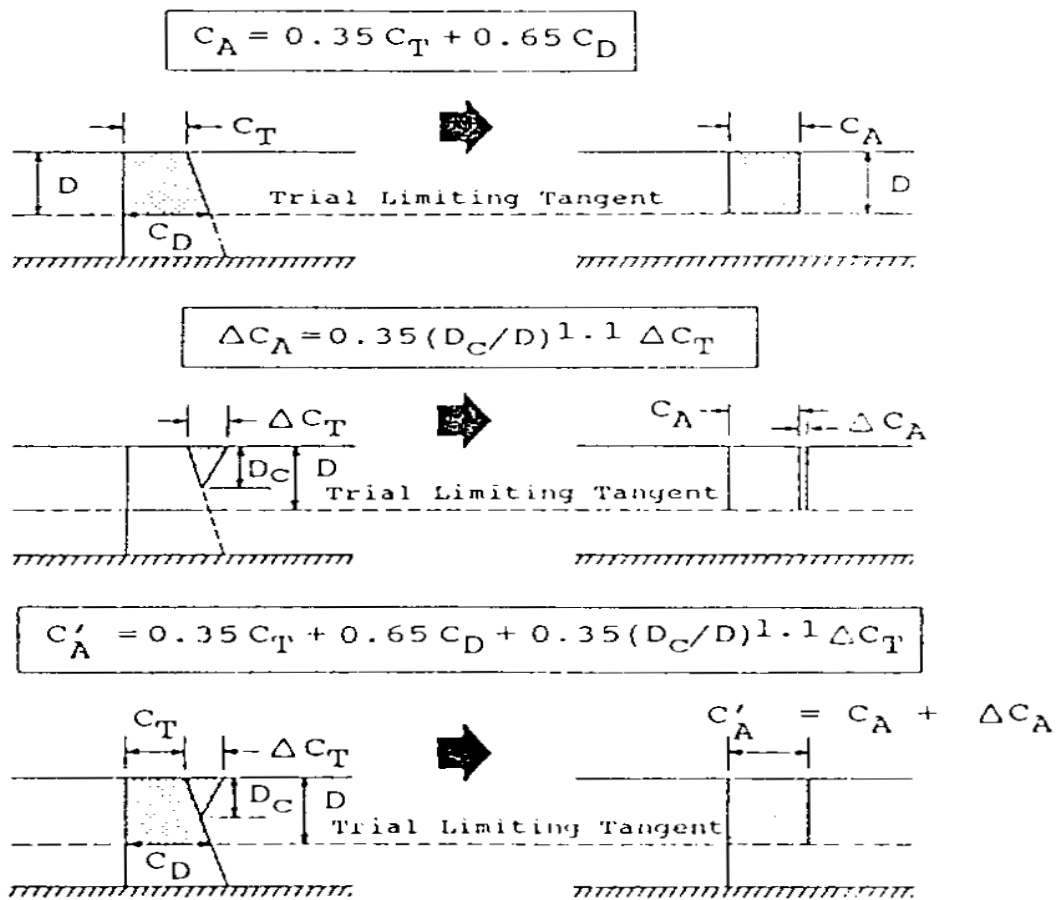
$$\alpha_2 = \alpha \left(\frac{D}{H} + 0.5 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{D}{H} + 0.5 \right)^2 \cdot \frac{1}{24} (\cot^2 \beta + 1)$$

$$\lambda = 0.19 + \frac{0.02 \cot \beta}{D/H} \text{ สำหรับ } \frac{D}{H} \geq 0.5$$

C_A = ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำตลอดความลึก D ดังรูป



รูปที่ 2.16 ตัวแปรในการประมาณค่าความปลอดภัย



รูปที่ 2.17 การเฉลี่ยค่า C_A ให้คงที่ตลอดความลึก D

$$Q_u = 5.75_u$$

เมื่อ Q_u = ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบนดินอ่อน

Kormer(1994)ได้แนะนำสมการสำหรับประมาณค่าการรับน้ำหนักของดินอ่อนทั่วไป

ดังนี้

$$Q_u = \frac{S_u \cdot N_c}{FS}$$

เมื่อ Q_u = ค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยของดินอ่อน

N_c = ค่าBearing capacity factor (ใช้ระหว่างค่า3.5 ถึง5.7)

FS = ค่าความปลอดภัยของคันทางซึ่งควรใช้สูงกว่า1.3

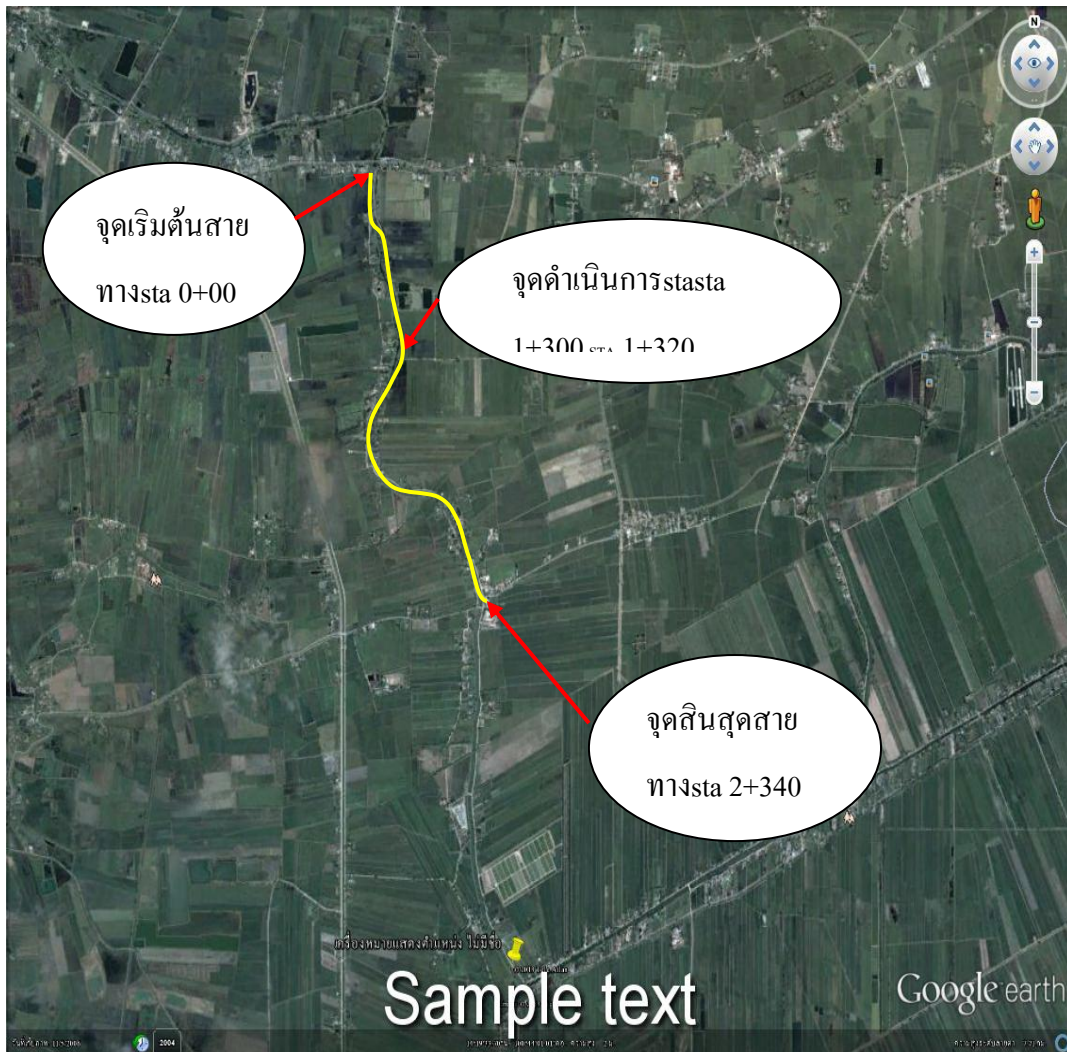
บทที่ 3

การดำเนินการศึกษา

ผู้วิจัยศึกษาแนวทางการซ่อมแซมคันทางที่ทรุดตัวเสียหายเนื่องจากการลดลงของระดับน้ำในคลองให้กลับมาใช้การได้ผลการศึกษานำมาใช้ในการซ่อมแซมบำรุงรักษาสายทางขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่มีลักษณะที่เหมือนกันและคล้ายคลึงกันพื้นที่ศึกษาคือถนนดินผิวจราจรลูกรังสายเลียบบคันคลองหนองน้ำส้มจากแยกถนนสาย3043 หมู่ที่7 ตำบลสามัคคีตำบลอำเภอกุทัยถึงถนนสายอย.3010ตำบลหนองน้ำส้มอำเภอกุทัยจำนวน1แห่ง1เส้นทางโดยจะทำการทดลองที่กม.1+300 ถึงกม.1+320

3.1 การสำรวจเส้นทางที่ทรุดตัว (Check the path of damage after low tide)

หลังเกิดอุทกภัยปีพ.ศ.2554 รัฐบาลและองค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยาได้ดำเนินการซ่อมแซมผิวทางลาดยางเกือบตลอดเส้นทางเมื่อได้ซ่อมแซมผิวทางแล้วทางกรมชลประทานได้มาดำเนินการขุดลอกคลองตามนโยบายฯเพื่อให้คลองหนองน้ำส้มมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีแต่เนื่องจากการขุดคลองทำให้ท้องคลองมีความลึกมากขึ้นเมื่อประมาณวันที่ 15 มีนาคม 2556 ระดับน้ำในคลองลดลงไปมากทำให้คันทางที่อยู่ริมคลองหนองน้ำส้มทรุดตัวลงหลายแห่งและจำเป็นต้องสำรวจระดับมีความเสียหายเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบให้เป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการซ่อมแซมรูปที่ 3.1 แสดงแผนที่ถนนสายเลียบบคันคลองหนองน้ำส้มหมู่ที่ 7 ตำบลสามัคคีตำบลอำเภอกุทัยจังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งเป็นถนนที่จะทำการทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนที่ที่ตั้งโครงการ

3.2 ถ่ายภาพความเสียหายของคันทาง (Take damage)

ผู้วิจัยบันทึกภาพความเสียหายอันเนื่องมาจากความเสียหายหลังการลดระดับน้ำในคลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์ประกอบการศึกษาและการออกแบบดังแสดงในรูป 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 ความเสียหายของคันทาง



รูปที่ 3.3 ความเสียหายของคันทาง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ

3.3.1 แผนที่ (รูปที่ 3.1)

3.3.2 กล้องสำรวจ (รูปที่ 3.4)

3.3.3 ไม้สตาฟ (รูปที่ 3.5)

3.3.4 เทปวัดระยะ (รูปที่ 3.6)

3.3.5 หลักลมุดไม้

3.3.6 กล้องถ่ายรูป (รูปที่ 3.7)

3.3.7 ฆ้อน, ตะปู, สิ



รูปที่ 3.4 กล้องสำรวจ



รูปที่ 3.5 ไม้สตาฟ



รูปที่ 3.6 เทปวัดระยะ



รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายรูป

3.4 การสำรวจพื้นที่ดำเนินการด้วยเครื่องมือสำรวจเพื่อออกแบบ (Location survey)

ผู้วิจัยสำรวจสภาพพื้นที่จริงด้วยเครื่องมือสำรวจอย่างละเอียดซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งเดิมของถนน Center Line และ Cross section ของคันทางและคลองตลอดจนค่าระดับผิวทางเดิมและระดับน้ำสูงสุด (High water level) ระดับน้ำต่ำสุด (Low water level)

3.5 การเจาะสำรวจลักษณะชั้นดินพื้นที่ที่ศึกษา Boring Log

การเจาะสำรวจชั้นดินในพื้นที่ศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ

3.6 การวิเคราะห์และออกแบบ

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพื้นที่ด้วยเครื่องมือสำรวจและนำข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินมาวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินและความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของดินและใช้ประกอบการออกแบบการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในคันทาง

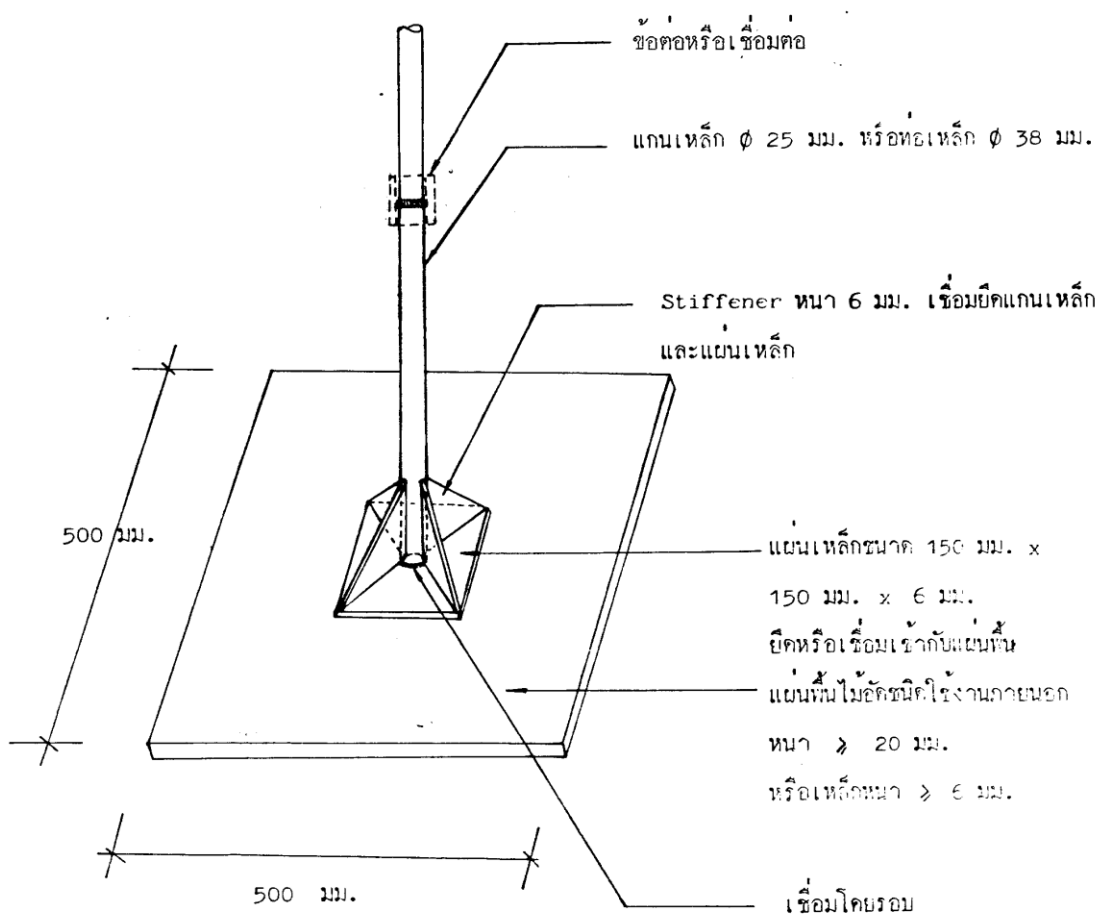
3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.7.1 แผ่นทรุดตัว Settlement Plate (รูปที่ 3.8)

3.7.2 ท่อเหล็ก $\varnothing 25$ mm



รูปที่ 3.8 แผ่นทรุดตัว Settlement Plate



รูปที่ 3.9 ลักษณะของแผ่นทรุดตัว Settlement Plate

3.8 วัสดุที่ใช้ทดลอง

3.8.1 ดินถมจากันทางเดิม

3.8.2 แผ่นใยสังเคราะห์ Polyfelt PEC 100



รูปที่ 3.10 ดินถมจากคันทางเดิม



รูปที่ 3.11 แผ่น polyfelt

TENCATE
Polyfelt®



Polyfelt® PEC Reinforcing Geotextile

Properties of Polyfelt® PEC Reinforcing Geotextile

Property	Unit	PEC										
		35	50	75	100	150	200	35/35	50/50	75/75	100/100	
Characteristic short term tensile strength	MD kN/m	35	50	75	100	150	200	35	50	75	100	
Characteristic short term tensile strength <i>ISO 10319</i>	CD kN/m	14	14	14	14	14	14	35	50	75	100	
Strain at short term strength	MD %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Partial factor – creep rupture at 120 years design life		1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	
Creep limited strength at 120 years design life	kN/m	22.6	32.3	48.4	64.5	96.8	129.0	22.6	32.3	48.4	64.5	
Partial factor – construction damage in clay, silt or sand		1.05	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.02	1.00	1.00	
Partial factor – environmental effects soil environment, pH < 11 at 120 years design life		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
Long term design strengths at 120 years design life in clay, silt or sand	kN/m	19.6	28.8	44.0	58.7	88.0	117.3	19.6	28.8	44.0	58.7	
Water flow rate normal to the plane <i>ISO 11058</i>	mm/s (l/m ² s)	65	65	65	65	65	65	50	50	50	50	
Water flow rate in the plane (20kPa) <i>ISO 12958</i>	10 ⁻⁷ m ² /s l/mh	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	30 11	
Nominal mass <i>ISO 9864</i>	g/m ²	265	280	300	330	400	480	330	360	400	500	

Other forms of supply as well as grades, adjusted to the requirements of the project, are available on request.

TenCate Polyfelt® is a registered trademark of TenCate.

The values given are indicative and correspond to average values obtained in accredited testing laboratories and institutes.

Further details of this application and products can be obtained by contacting your nearest TenCate Technical Support office.

Unauthorized reproduction and distribution prohibited. This document is provided as supporting service only. The information contained in this document is to the best of our knowledge true and correct. No warranty whatsoever is expressed or implied or given. Engineers wishing to apply this information shall satisfy themselves on the validity of the input data relative to the applicable soil and engineering conditions and in doing so assume design liability.

TenCate Geosynthetics Asia Sdn. Bhd. (264232-U)
14, Jalan Sementa 27/91, Seksyen 27
40400 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
Tel +60 3 5192 8568, Fax +60 3 5192 8575
info.asia@tencate.com, www.tencate.com



TENCATE
materials that make a difference

Description of Polyfelt® PEC Geotextile Properties

1. General

Polyfelt® PEC geotextiles are engineered materials suitable for short and long term soil reinforcement applications. They are composed of high modulus polyester yarns stitched to a nonwoven geotextile backing that enables maximum load carrying efficiency. The nonwoven geotextile backing provides in-plane drainage and protection to the polyester reinforcing yarns against installation damage. Due to the composite nature of the geotextile, Polyfelt® PEC is suitable for the reinforcement of both poor draining and granular soils.

To use Polyfelt® PEC geotextiles in long term soil reinforcement applications an assessment of their load carrying capabilities is required. Several assessment procedures are in practice, each adopting the use of the partial factor approach to describe the behaviour of the reinforcement material over time under specific load and environmental regimes. The procedure adopted for Polyfelt® PEC geotextiles is compatible with the procedures adopted by various national codes of practice such as the US Federal Highway of Administration, the British Code of Practice BS8006:1995 and the Australian Standard. The procedure utilises the following partial factor approach to determine the long term design strengths for the reinforcement materials at different design lives:

$$T_d = \frac{T_c}{f_c \cdot f_d \cdot f_e \cdot f_m}$$

where,

T_d is the long term design strength of the reinforcement at the required design life,

T_c is the characteristic short term tensile strength of the reinforcement,

f_c is the partial factor relating to creep effects over the required design life of the reinforcement,

f_d is the partial factor relating to the installation damage of the reinforcement,

f_e is the partial factor relating to environmental effects on the reinforcement,

f_m is the partial factor relating to consistency of manufacture of the reinforcement.

2. Tensile strength-strain properties

The short term relationship of tensile strength and strain properties of Polyfelt® PEC geotextiles is given as a master curve in Figure 1. The ordinate values are expressed in terms of a percentage of the characteristic short term tensile strength. Thus, this one master curve may be used for all Polyfelt® PEC grades by converting the percentage values into actual strength values for individual grades.

3. Partial factor relating to creep, f_c

In assessing the magnitude of the partial factor f_c , the creep rupture properties of the reinforcement must be known. Figure 2 shows the creep rupture curve for Polyfelt® PEC geotextiles obtained from long term creep testing and accelerated tests. From Figure 2 values of f_c can be obtained for different design lives. For example, at 120 year design life, Polyfelt® PEC shows a 67% strength retention which equates to a partial factor $f_c = 1.5$ (1.00/0.67). The published value of f_c for a 120 year design life is given as 1.55.

Polyfelt® PEC geotextiles, being composed of high modulus polyester yarns, exhibit very low creep strains even at high tensile load levels. Creep strains of less than 1.5% over a 120 year design life at a design load of 40% of initial tensile strength are obtained.

4. Partial factor relating to installation damage, f_d

The magnitude of f_d is dependent on the structure of the reinforcement, the aggressiveness of the soil placed either side of the reinforcement and the level of compaction performed. Values of f_d are

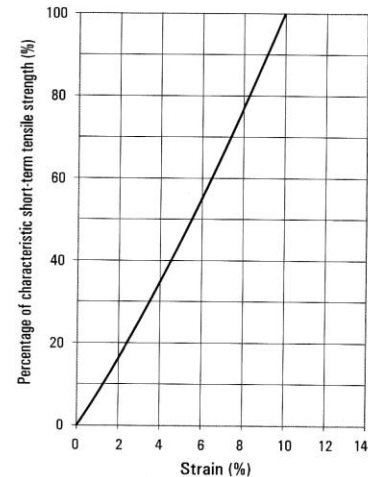


Figure 1. Short term tensile strength - strain master curve for Polyfelt® PEC geotextiles.

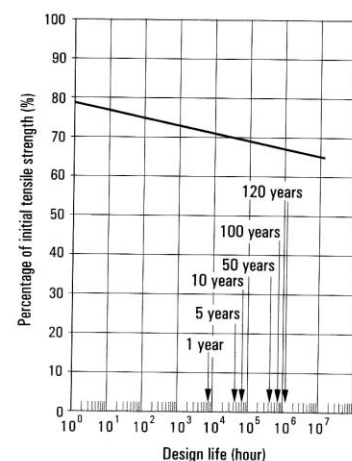


Figure 2. Creep rupture curve for Polyfelt® PEC geotextiles

derived from either field or large-scale laboratory tests. Values of f_d for Polyfelt® PEC geotextiles placed in clay, silt and sand are listed in this datasheet. Where appropriate, the partial factor is interpolated for different grades of Polyfelt® PEC geotextiles.

5. Partial factor relating to environmental effects, f_e

The magnitude of f_e is dependent on the structure of the reinforcement as well as the durability of the polymers used. The high modulus polyester yarns used in Polyfelt® PEC geotextiles are highly resistant to soil environments. For the vast majority of soil environments the $pH \leq 10$. It is only in very extreme cases that the soil environment may have a $pH > 10$. Values of f_e for Polyfelt® PEC geotextiles for 120 year design lives are given in this datasheet.

6. Partial factor relating to consistency of manufacture, f_m

This factor is concerned with the consistency of manufacture of the geotextiles and how variations during manufacturing affect the stated strengths. Polyfelt® PEC geotextiles are manufactured under strict ISO9001 quality control procedures. Quality assurance to ensure compliance with published datasheet is undertaken in an ISO/IEC17025 accredited laboratory specializing in geosynthetic testing. Therefore, this partial factor has the value of 1.0 for Polyfelt® PEC geotextiles for design lives up to and including 120 years.

7. Benefits of Polyfelt® PEC geotextiles in reinforcing poor draining soils

7.1 Rapid dissipation of pore water pressure

In-plane drainage through the nonwoven geotextile backing allows rapid dissipation of pore water pressure within a reinforced soil structure after construction. It therefore allows the use of poor draining soils or available backfills at site resulting in reduction in construction cost. Rapid dissipation of pore water pressure increases the overall factor of safety of the structure. Figure 3 shows rapid dissipation of pore water pressure in PEC geotextiles compared to without PEC or using geogrids.

7.2 Enhances soil/geotextile interaction in saturated soils

In-plane drainage through the nonwoven geotextile of Polyfelt® PEC enhances the soil/geotextile interaction in saturated soils, thus increasing the pull-out resistance of geotextile as shown in Figure 4.

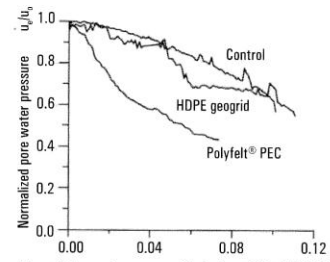


Figure 3. Pore water pressure dissipation of Polyfelt® PEC geotextiles in poor draining soils

(Ref. Large scale studies on contribution of high strength composite geotextile reinforcing poor draining backfill, 7th Int Conf on Geosynthetics, Paris, 2002).

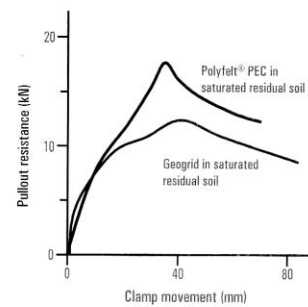
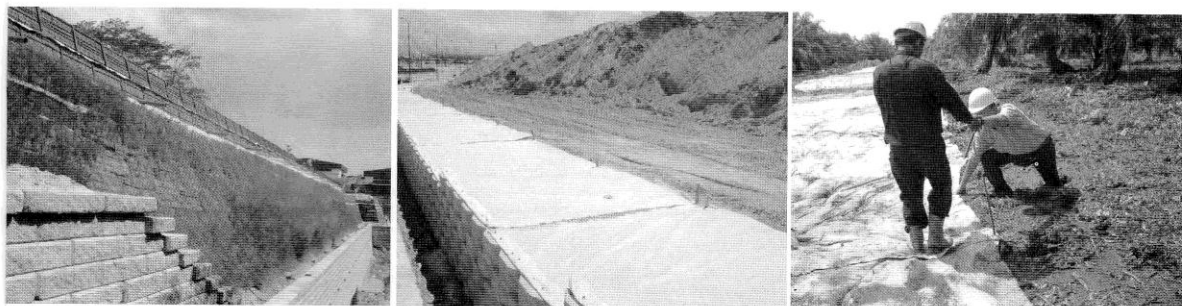
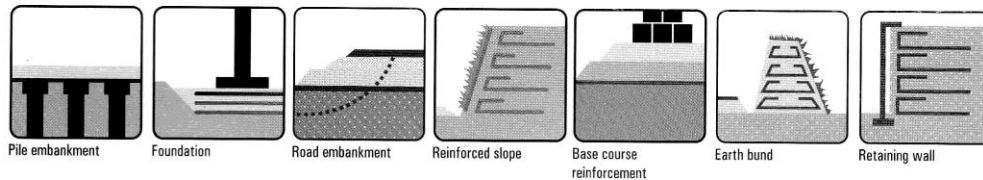


Figure 4. In-plane drainage in Polyfelt® PEC geotextiles increases soil/geotextile interaction in poor saturated soils

(Ref. Large scale studies on contribution of high strength composite geotextile reinforcing poor draining backfill, 7th Int Conf on Geosynthetics, Paris, 2002).

Applications of Polyfelt® PEC geotextiles

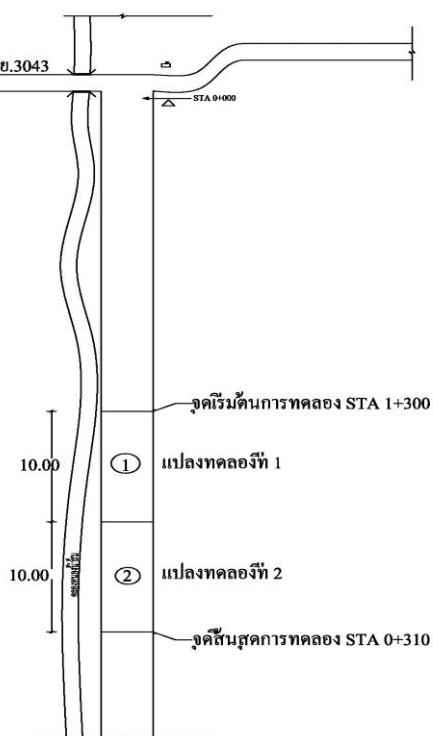


3.9 วิธีการทดลองประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทาง

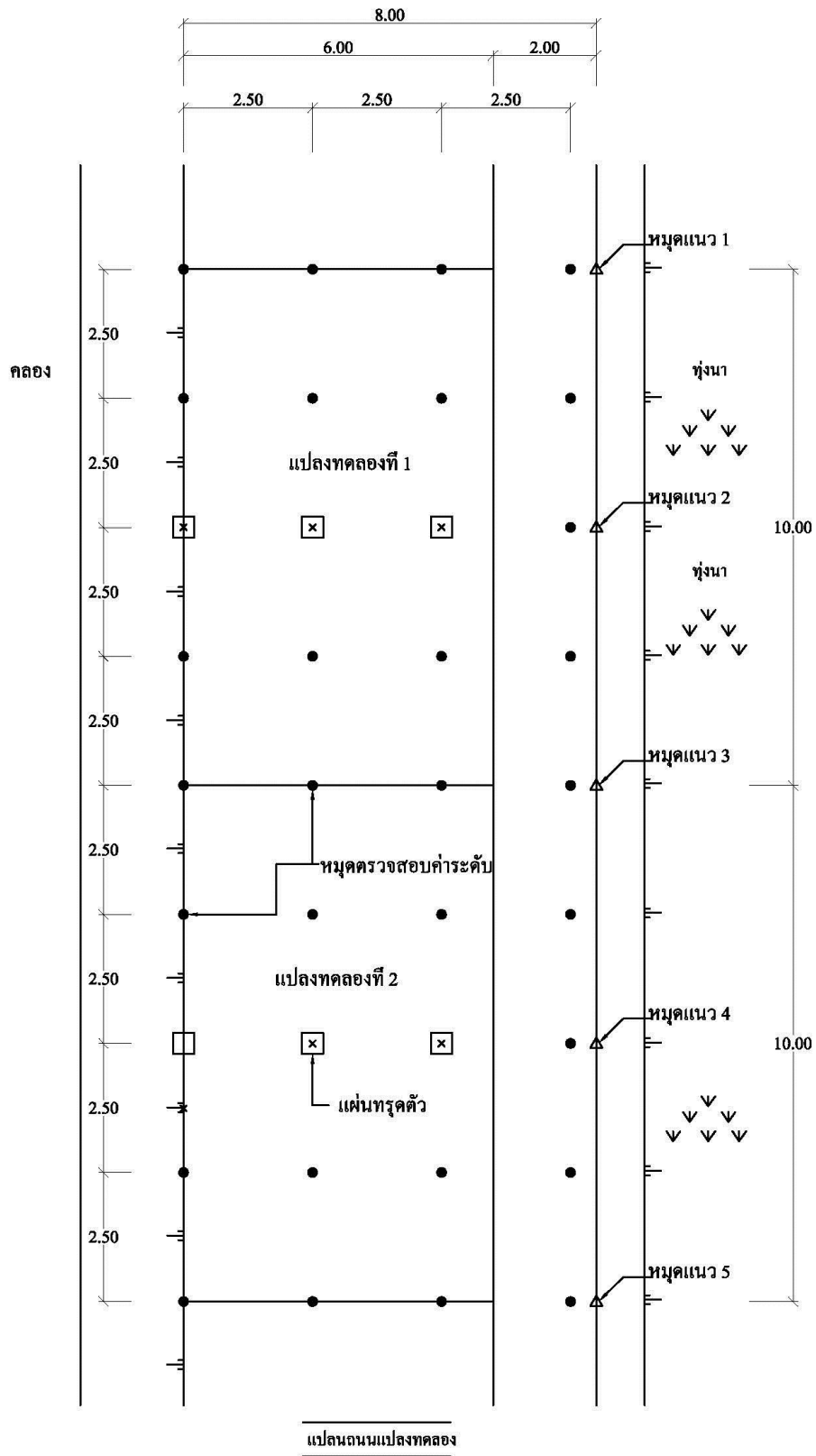
การทำการทดลองจะแบ่งเป็นพื้นที่แปลงทดลอง 2 แปลงทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยให้มีพื้นที่ต่อเนื่องกันคือ sta 1+300-sta 1+310 เป็นแปลงทดลองที่ 1 ซึ่งก่อสร้างคันทางปู

แผ่นใยสังเคราะห์ชั้นละ 0.40 เมตร sta 1+310-sta 1+320 เป็นแปลงทดลองที่ 2 ก่อสร้างคันทางโดย
ไม่ปูแผ่นใยสังเคราะห์โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

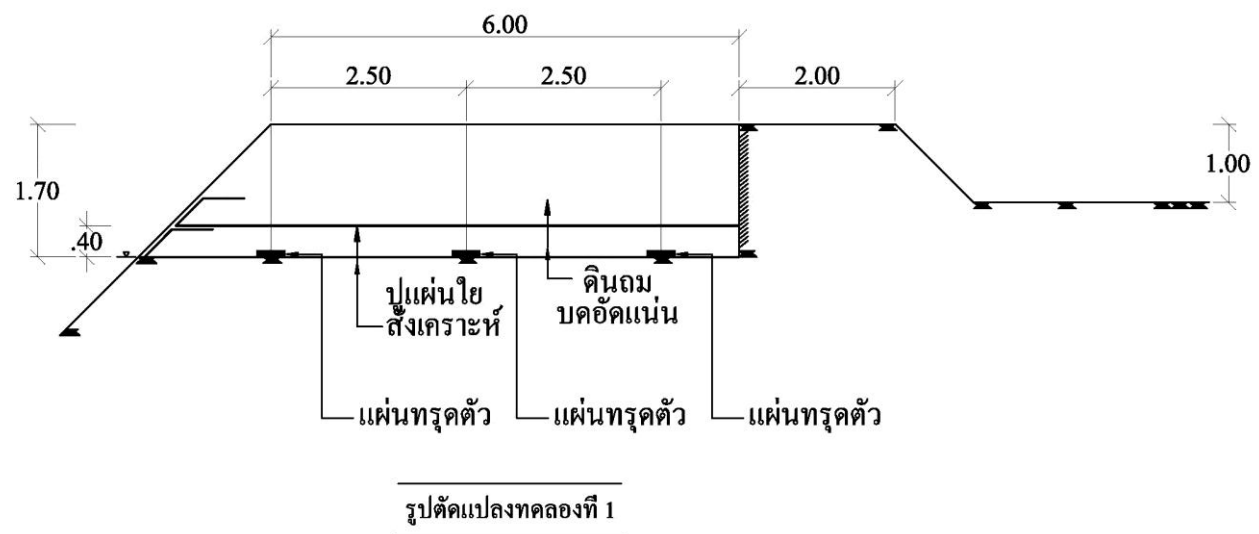
- 3.9.1 รื้อคันทางเดิมออกจนถึงระดับดินเดิมและขนย้ายวัสดุกองไว้ในบริเวณใกล้เคียงกับแปลงทดลอง
- 3.9.2 ปรับเกลี่ยพื้นที่แปลงทดลองให้เรียบและมีระดับที่เท่ากันทุกแปลงทดลอง
- 3.9.3 ลงทรายหนาประมาณ 5 ซม. ในแปลงทดลองที่ 1 และแปลงทดลองที่ 2
- 3.9.4 ปูแผ่นใยสังเคราะห์ให้เต็มพื้นที่แปลงทดลองที่ 1
- 3.9.5 ติดตั้งแผ่นทรูคั่วทุกแปลงทดลองตามแบบที่กำหนดโดยต่อปลายแกนท่อให้มีความยาวเหนือระดับผิวทางพอที่จะตรวจสอบได้
- 3.9.6 นำดินวัสดุคันทางเดิมมาก่อสร้างถมคันทางตามแบบที่กำหนด
- 3.9.7 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมด
- 3.9.8 ตรวจสอบอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมดทุก 7 วัน ในเดือนแรกและทุก 15 วัน ในเดือนต่อไป
- 3.9.9 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างแปลงทดลองที่ 1, 2



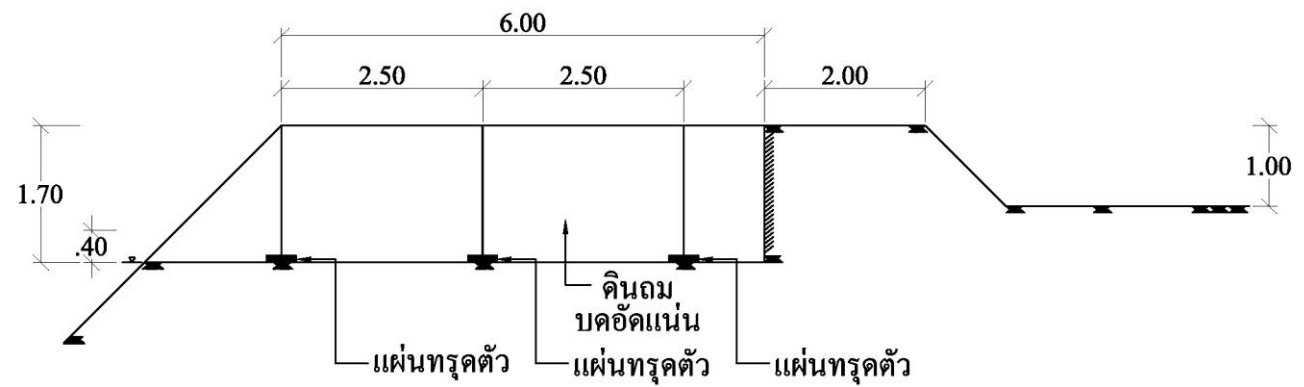
รูปที่ 3.12 แปลนแปลงทดลอง



รูปที่ 3.13 แบบแปลนติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด



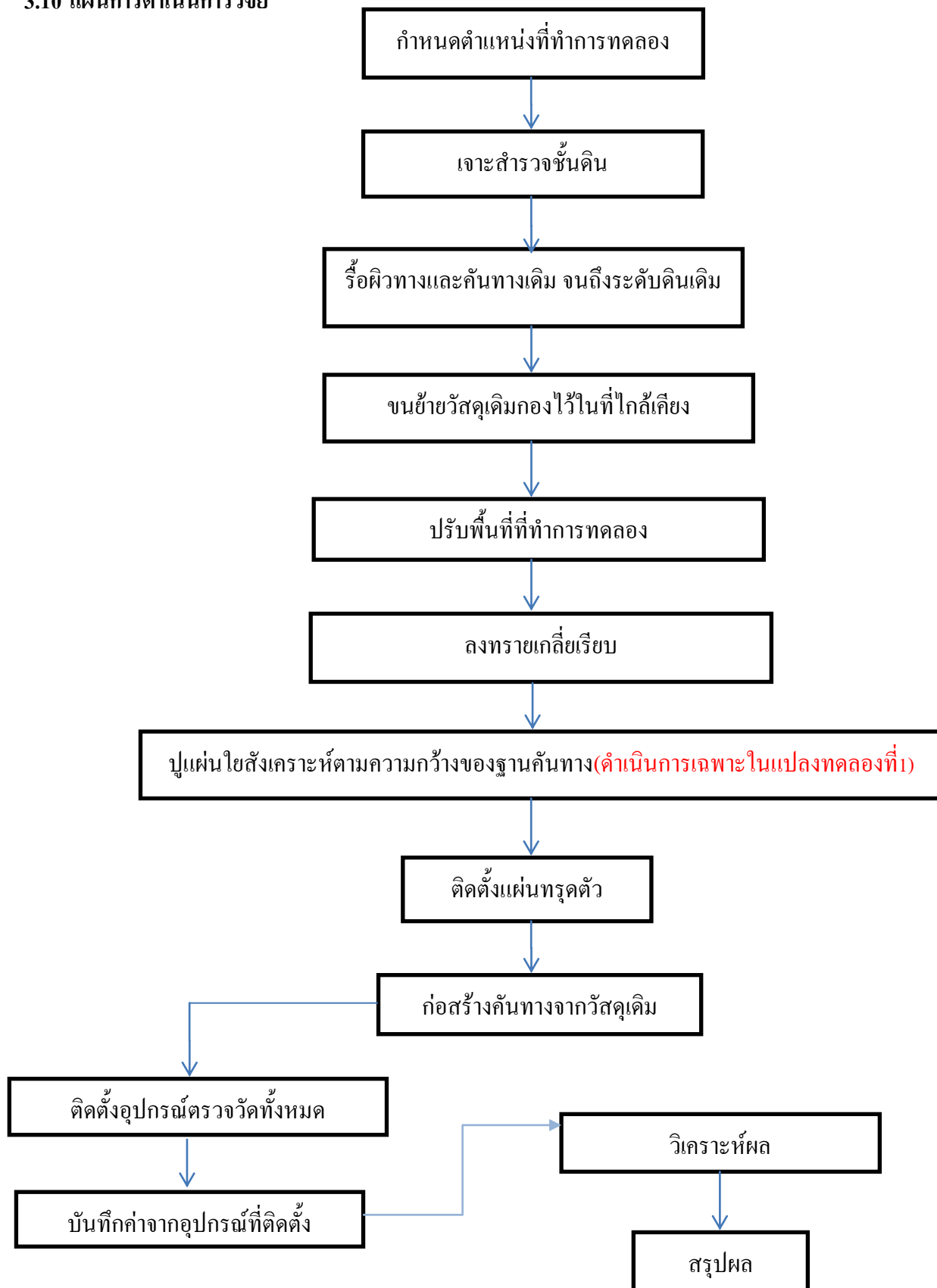
รูปที่ 3.14 ตัดคันทางแปลงทดลองที่ 1



รูปตัดแปลงทดลองที่ 2

รูปที่ 3.15 ตัดคันทางแปลงทดลองที่ 2

3.10 แผนการดำเนินการวิจัย



บทที่ 4

การศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มตะกอนน้ำพา (Alluvial plain) บริเวณเขตภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนที่เกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำ ที่ระดับความลึกประมาณ 0 ถึง 13 เมตร เมื่อมีการก่อสร้างโครงสร้างสาธารณูปโภคบนชั้นดินเหนียวอ่อน จะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านวิศวกรรมปฐพี อันได้แก่ การทรุดตัว และการเสีรูปร่างด้านข้างอย่างมาก ถนนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่ก่อสร้างอยู่บนชั้นดินเหนียวอ่อนตามแนวตลิ่งส่วนมากจะเกิดการวิบัติแบบ Slope failure ดังแสดงในรูปที่ 4.1



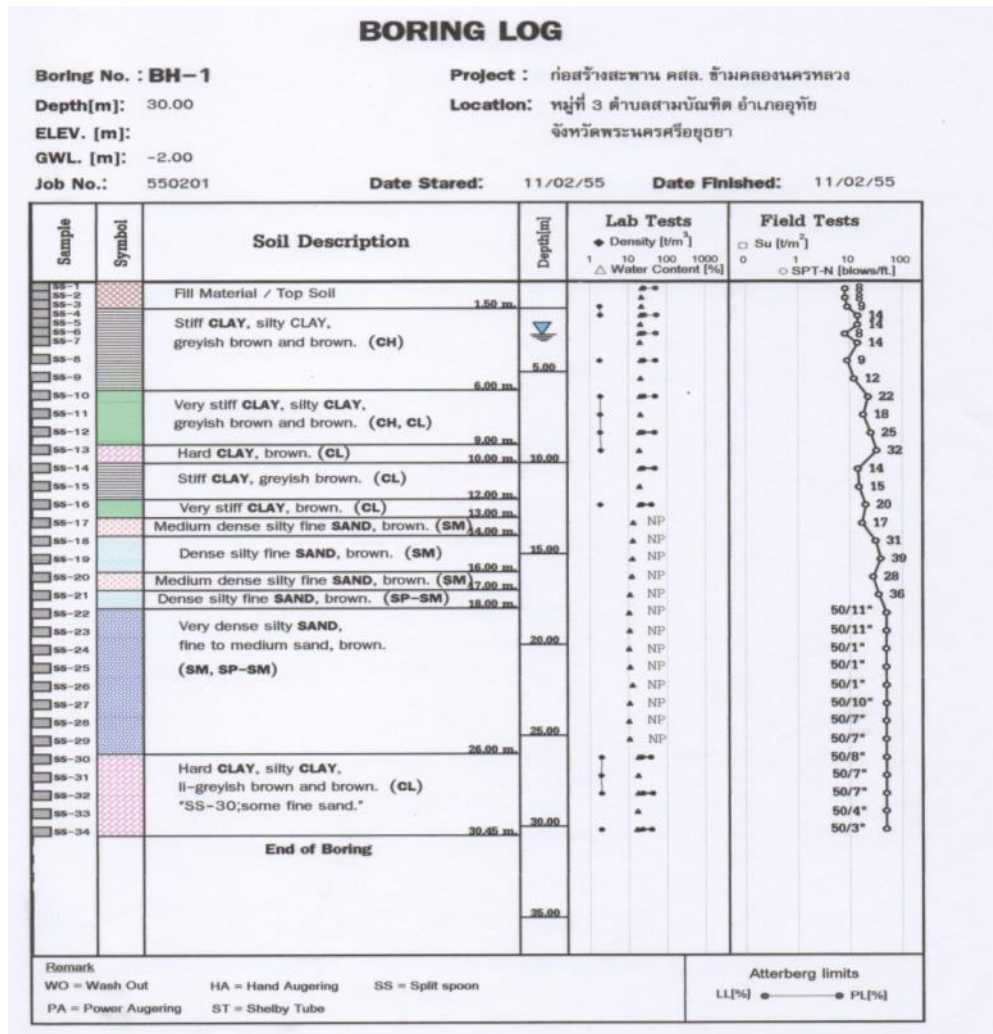
รูปที่ 4.1 การวิบัติของคันดินถมบนดินอ่อนริยบตลิ่ง

ระดับความรุนแรงของการวิบัติขึ้นอยู่กับความสูงของดินถมและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินฐานรากใต้ดินถม นอกจากนี้ การลดลงของระดับน้ำตามฤดูกาลก็ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของดินถมด้วย จากประสบการณ์ที่ผ่านมา ยังไม่มีวิธีแก้ปัญหาคานการวิบัติของคันดินถมในเขตบริเวณนี้ได้อย่างถาวร งานวิจัยด้านการประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetic) ในการก่อสร้างดินถมบนชั้นดินอ่อน แสดงให้เห็นว่าวัสดุสังเคราะห์สามารถเพิ่มเสถียรภาพคันดินถมได้

(Palmeira et al. 1998; Tandjiria et al. 2002; Li and Rowe 2008; Bergado and Teerawattanasuk 2008) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวกับเวลาของคันดินเสริมกำลังด้วยวัสดุ Geosynthetic งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้ง Settlement plate และ Settlement point เพื่อตรวจวัดค่าการทรุดตัวของดินถม เป็นระยะเวลา 50 วันหลังก่อสร้าง ผลการตรวจวัดจะนำวิเคราะห์และสรุปผลถึงประสิทธิภาพดินถมเสริมกำลังด้วยวัสดุ Geosynthetic บนดินอ่อน งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการแก้ไขปัญหาการวิบัติของคันดินถมบนชั้นดินอ่อนเรียบตลิ่ง

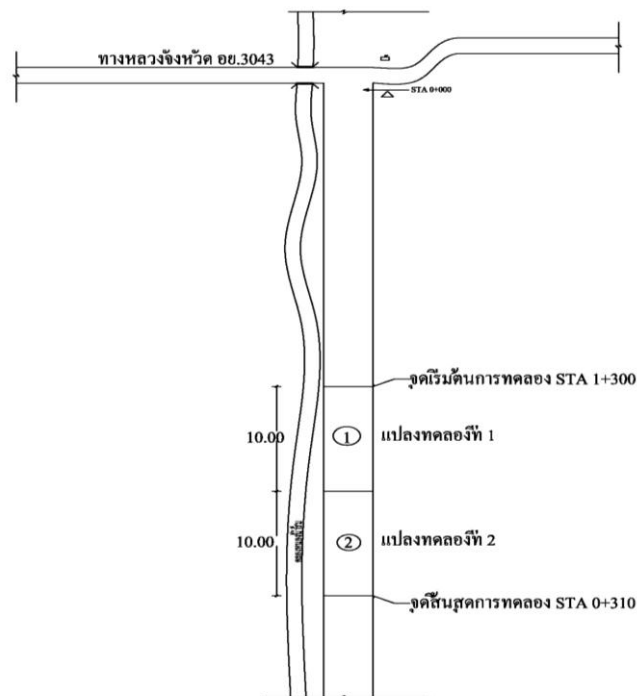
4.2 วัสดุและวิธีการดำเนินการวิจัย

ดินฐานรากใต้ดินถมคันทางเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) จนถึงระดับความลึก 6.00 เมตรจากผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ข้อมูล Boring log ได้มาจากโครงการก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก บริเวณ หมู่ที่ 3 ตำบลสามบั้งทิศ อำเภอยุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



รูปที่ 4.2 Boring log โครงการก่อสร้างก่อสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก หมู่ที่ 3 ตำบลสามบัณฑิต อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ดินถมที่ใช้เป็นดินลูกรังสำหรับการใช้ในการก่อสร้างถนนสายเลียบบคลองหนองน้ำส้ม จากแยกถนนสาย อย. 3043 หมู่ที่ 7 ตำบลสามบัณฑิต อำเภออุทัย แปลงทดสอบมีทั้งสิ้น 2 แปลง โดยเริ่มที่ กม.1+300 ถึง กม.1+320 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ที่ตั้งแปลงทดสอบ

แผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวัสดุใยสังเคราะห์ประเภท geotextile รุ่น Polyfelt PEC 150 ซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้รุ่น Polyfelt PEC 150

Tensile strength		Elongation		Creep limited strength 120 years	Long term design strength 120 years	Water flow rate	
MD	CD	MD	CD			Normal to the plane	In the plane, 20kPa
kN/m	kN/m	%	%	kN/m	kN/m	mm/s	mm/s
150	14	10	60	90	78	65	30

4.3 ขั้นตอนการก่อสร้างคันดินถม

ขั้นตอนการก่อสร้างคันดินถมเริ่มจากการขุดรื้อคันทางเก่าที่วิบัติออกด้วยรถขุดไฮดรอลิก ขนาด 210 แรงม้า น้ำหนักรถ 28 ตัน จนถึงระดับความลึก 5.0 เมตร และขนย้ายวัสดุไว้ท้ายแปลงทดสอบ จากนั้นทำการบดอัดดินให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากนั้นทำการติดตั้ง Settlement

plate จำนวน 3 ชุด ลงในแปลงทดสอบที่ 2 กำหนดให้ระยะห่างระหว่าง Settlement plate เท่ากับ 2.50 เมตร ดังรูปที่ 4.5 และตักดินถมกลับด้วยรถขุดแล้วบดอัดจนได้ความแน่น



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการก่อสร้างคันทาง



รูปที่ 4.5 การติดตั้งแผ่นทรุดตัวในแปลงทดลองที่ 2

แผ่นใยสังเคราะห์ติดตั้งที่ระดับความลึก 1.70 เมตร จากผิวดิน ของแปลงทดสอบที่ 1 แผ่นใยสังเคราะห์ปูตามทิศทางการเสริมแรงของเส้นใย โดยให้มีความยาวเลยออกไปตรงด้านที่ติดกับคลองเพื่อพืชชายในการถมคันทางในขั้นต่อไป หลังติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ ผู้วิจัยทำการติดตั้ง Settlement plate



รูปที่ 4.6 การติดตั้งแผ่นทรุดตัวในแปลงทดลองที่ 1

เมื่อทำการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์และ Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 1 แล้วเสร็จ ผู้วิจัยถมดินคันทางทั้งสองแปลงให้มีความหนาประมาณ 0.60 เมตร (ดังรูปที่ 4.7) โดยเกลี่ยให้สม่ำเสมอและบดอัดด้วยเครื่องจักร (หลังจากบดอัดแล้ว ระดับดินบดอัดจะอยู่ที่ 0.40 เมตร จากผิวดิน) หลังจากนั้น ผู้วิจัยทำการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์บนผิวทางที่บดอัดในแปลงทดลองที่ 1 และดำเนินการเช่นเดียวกับการติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ในระดับ 1 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 การถมคันทางในแปลงทดลองที่ 1 และแปลงทดลองที่ 2 และบดอัด

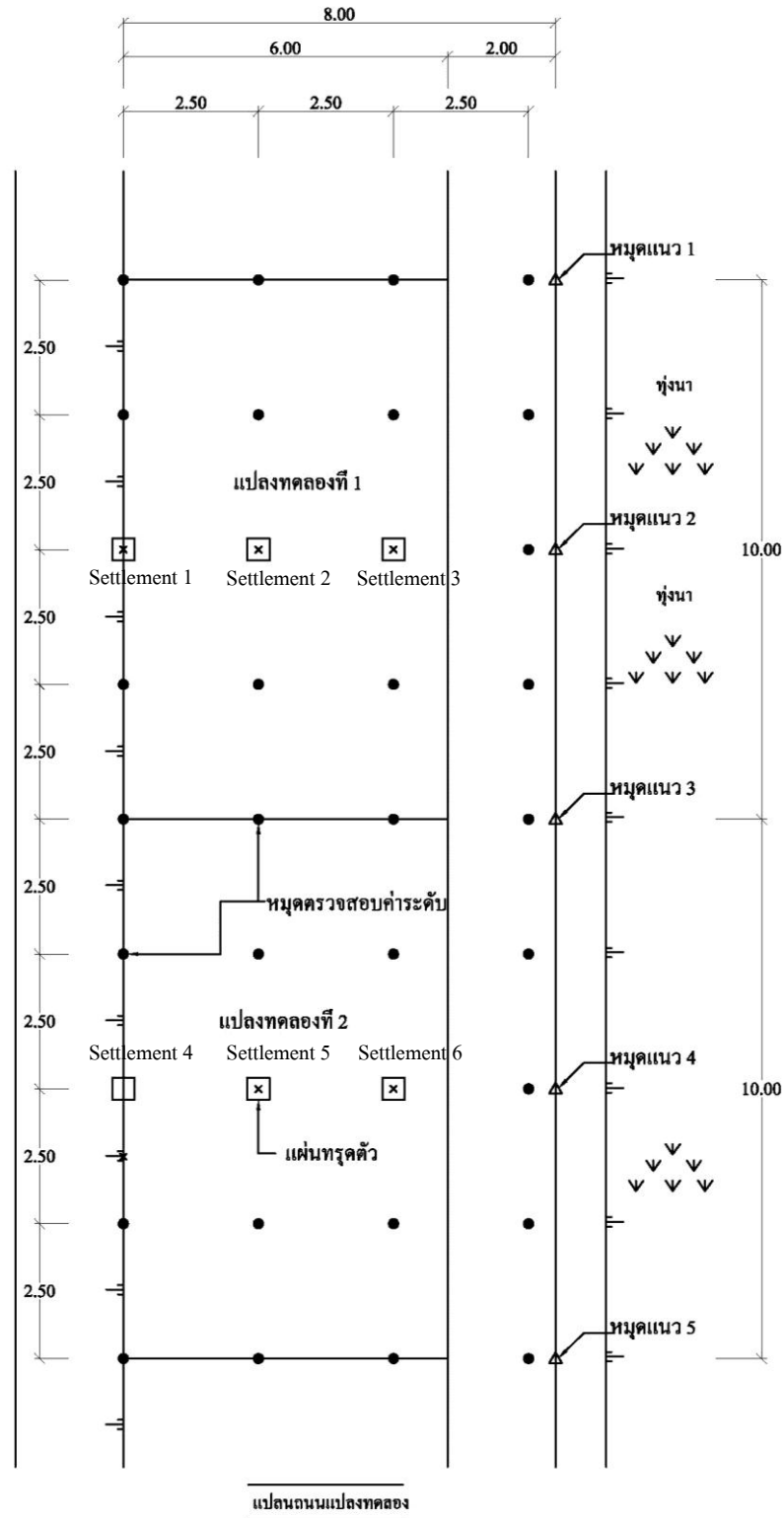


รูปที่ 4.8 การปูแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นที่ 2 ในแปลงทดสอบที่ 1

หลังจากถมดินและบดอัดดินเหนือแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นที่ 2 แล้วเสร็จ ผู้วิจัยนำดินที่เหลือทั้งหมดมาถมเกลี่ยให้ทั่วแล้วบดอัดให้มีความแน่น จนได้ระดับใกล้เคียงกับคันทางเดิมดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง settlement point สำหรับการตรวจวัดการทรุดตัวที่ผิวของคันดินถม



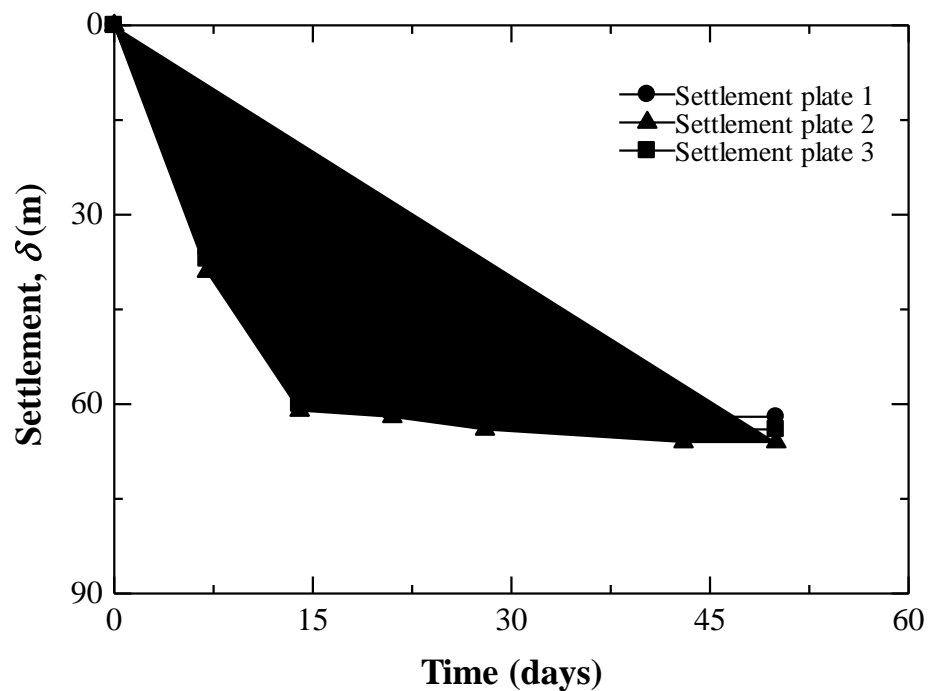
รูปที่ 4.9 การปรับแต่งผิวหน้าคันทางในแปลงทดลอง



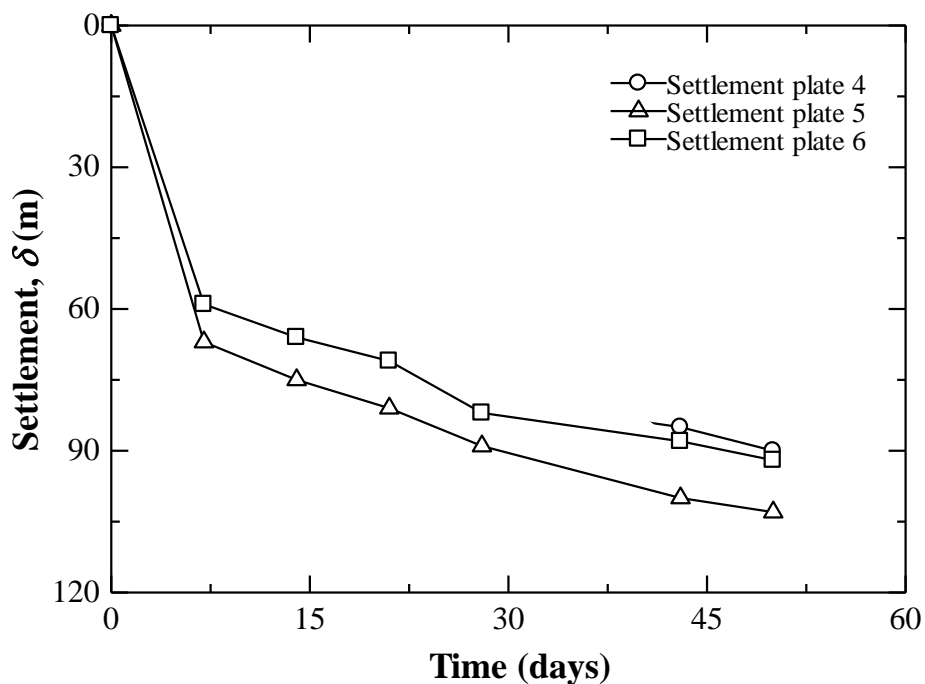
รูปที่ 4.10 รายละเอียดแปลงทดสอบ

4.4 ผลการทดสอบ

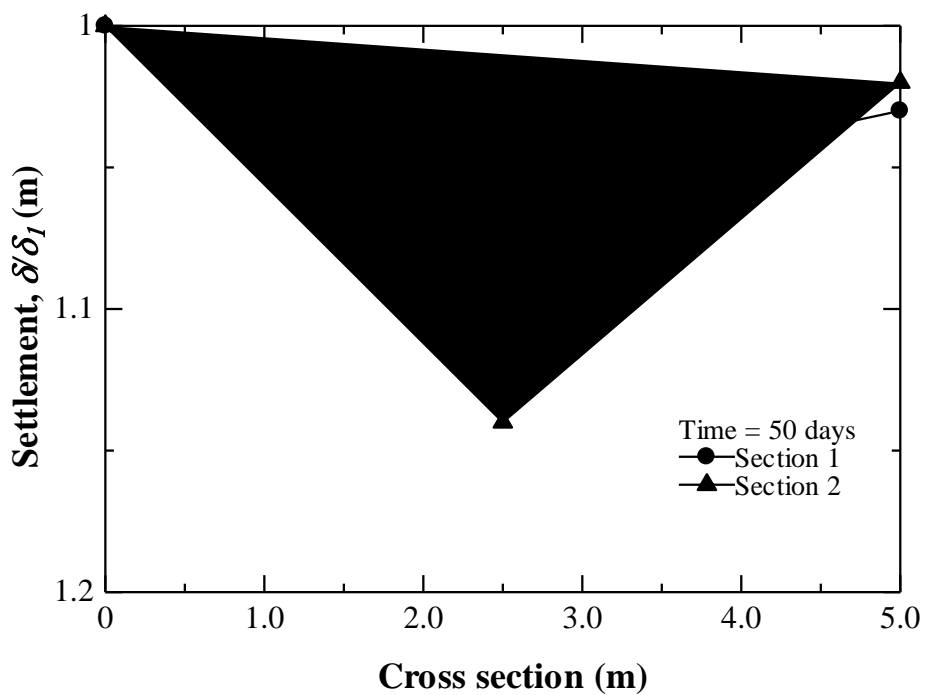
ผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวกับเวลาตรวจวัดจาก Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 1 และแปลงทดสอบที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ผลตรวจวัด (รูปที่ 4.11 และ 4.12) พบว่าค่าการทรุดตัวที่ในแปลงที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ จุดที่ติดตั้ง Settlement plate การทรุดตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 14 วัน หลังจากการก่อสร้าง หลังจากนั้น การทรุดตัวเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ผลการตรวจวัดนี้แตกต่างจากผลการตรวจวัดในแปลงทดสอบที่ 2 ซึ่งพบว่าการทรุดตัวกับเวลาที่ Settlement plate 5 (ตำแหน่งกึ่งกลางของคันทางทดสอบ) มีค่าสูงกว่า Settlement plate 4 และ 6 ตามลำดับ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การทรุดตัวตามแนวขวางของถนนเกิดการแอ่นตัวที่กึ่งกลางมาก นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าการทรุดตัวของ settlement plate ทั้งสามตำแหน่ง มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าสูงถึง 103 มิลลิเมตร (50 วัน) ลักษณะการทรุดตัวตามแนวขวางของถนนทั้งสองแปลงทดสอบที่ระยะเวลา 50 วัน หลังการก่อสร้างแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 ค่าการทรุดตัวเทียบกับเวลาตรวจวัดจาก Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 1

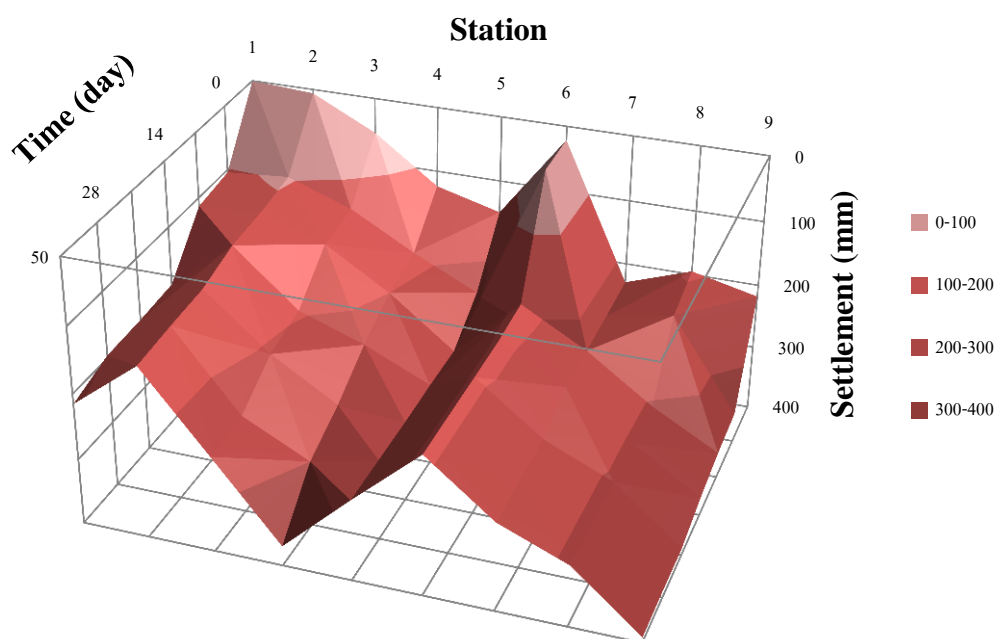


รูปที่ 4.12 ค่าการทรุดตัวเทียบกับเวลาตรวจวัดจาก Settlement plate ในแปลงทดสอบที่ 2



รูปที่ 4.13 ลักษณะการทรุดตัวกับเวลาของดินถมคันทางในแนว Cross section ที่ระยะเวลา 50 วัน

ผลการตรวจวัดที่ระยะเวลา 50 วัน หลังการก่อสร้าง แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า แปลงทดสอบที่ 2 เกิดการแอ่นตัวมากกว่าแปลงทดสอบที่ 1 และการทรุดตัวตามแนวขวางของถนนมีความไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 4.13) ค่าสัดส่วนการทรุดตัว δ/δ_1 คืออัตราส่วนระหว่าง δ (ค่าการทรุดตัวที่ Settlement plate ต่างๆ) และค่า δ_1 (ค่าการทรุดตัวที่ขอบของถนน ซึ่งเป็นค่าของ Settlement plate 1 สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และ Settlement plate 4 สำหรับแปลงทดสอบที่ 2) การทรุดตัวที่ Settlement plate 1 และ 4 มีค่าน้อยที่สุด สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 จึงใช้เป็นค่าอ้างอิง



รูปที่ 4.14 ค่าการทรุดตัวกับเวลาของดินถมคันทางในแต่ละ Station

รูปที่ 4.14 แสดงผลการตรวจวัดค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ผิวของดินถม (อ่านจากหมุดวัดการทรุดตัว) กับเวลา เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการทรุดตัวที่ผิวของดินถมคันทางมีค่าเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจวัดที่ได้มีค่าความแปรปรวนสูงมากในแต่ละแปลงทดสอบ

4.5 การวิเคราะห์ผลทดสอบ

ผลการตรวจวัดที่แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นว่าแปลงที่เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ (แปลงทดสอบที่ 1) มีค่าการทรุดตัวกับเวลาต่ำกว่าแปลงทดสอบที่ไม่เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์ (แปลงทดสอบที่ 2) เนื่องจากวัสดุใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดึงบริเวณที่ดินถมคันทางมีการทรุดตัว อีกทั้งแผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเบกทานของดินถมคันทางด้วย ดังนั้น ดินถมคันทางที่เสริมกำลังด้วยวัสดุใยสังเคราะห์มีความแข็งแรงมากกว่าเนื่องจากแผ่นใย

สังเคราะห์ช่วยกระจายน้ำหนักจากดินถมกระจายลงสู่ชั้นดินอย่างสม่ำเสมอ และช่วยลดการเสียรูปด้านข้าง การทรุดตัวในแปลงทดสอบที่ 1 จึงมีแนวโน้มที่จะสิ้นสุดในระยะเวลาที่สั้นกว่าแปลงทดสอบที่ 2 และการทรุดตัว (การแอ่นตัว) ในแปลงทดสอบที่ 1 จึงต่ำกว่าการทรุดตัวในแปลงที่ 2 ผลการตรวจวัดที่ระดับผิวดินมีความแปรปรวนสูง อาจเนื่องจากกระบวนการบดอัดที่ไม่ดี

บทที่ 5

สรุปผล

แผ่นใยสังเคราะห์สามารถลดอัตราการทรุดกับเวลาในดินคันทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทำการติดตั้งระหว่างชั้นดินเดิมและดินถม ค่าการทรุดตัวที่ผิวในการศึกษาครั้งนี้ไม่ขึ้นอยู่กับ การเสริมกำลัง เนื่องจากการบดอัดอาจไม่ได้มาตรฐาน การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุใยสังเคราะห์สามารถแก้ปัญหการทรุดตัวและการเคลื่อนตัวได้เป็นอย่างดี ตำแหน่งที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในดินคันทางควบคุมการทรุดตัวและการเสียรูปด้านข้าง ดังนั้น จึงควรได้รับการออกแบบเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง.พิมพ์แก้ไข-ปรับปรุงครั้งที่2.
- ธีระชาติและสมมาน.(2540).การวิเคราะห์ความคงตัวของคันทางเสริมใยสังเคราะห์บนดินอ่อน. ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทางกรรมทางหลวงกรุงเทพมหานคร.
- พิชัย ประทุมศรีสาคร.(2539). พฤติกรรมการทรุดตัวของถนนพระรามที่2.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพมหานคร.
- มณเฑียร กังสศิริเทียม.(2538).กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม,พิมพ์ครั้งที่6.กรุงเทพมหานคร : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.
- มานะ อภิพัฒน์มนตรี. (2535).วิศวกรรมปฐพีและฐานรากกรุงเทพมหานคร:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- วิชาญ ภู่อพัฒน์.(2549).ประมวลปัญหาที่ต้องพิจารณาในการออกแบบคันทางบนฐานรากอ่อน. เอกสารประกอบการสอน.
- Allen Lunzhu Li, R. Kerry Rowe. (2008).“**Effects of viscous behavior of geosynthetic reinforcement and foundation soils on the performance of reinforced embankments**” Geotextiles and Geomembranes, Volume 26, Issue 4, Pages 317-334
- Bowles, E.J.(1988). **Foundation analysis and design**. 4th ed.,McGraw-Hill Book Co., New York 1004 p.
- Dennes T. Bergado, Chairat Teerawattanasuk.(2008) “**2D and 3D numerical simulations of reinforced embankments on soft ground Geotextiles and Geomembranes**” Volume 26, Issue 1, Pages 39-55
- Ennio M. Palmeira, Jose H.F. Pereira, Antonio R.L. da Silva(1998)“**Back analyses of geosynthetic reinforced embankments on soft soils**” Geotextiles and Geomembranes, Volume 16, Issue 5, Pages 273-292
- Kenneth, W. (1984).**Prediction of consolidation of very soft soil**. Journal of Geotechnical Eng. Division,ASCE 110(6) : 775-795.
- Terzaghi, K. and R.B. Peck.(1948). **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley and Sons, New York. 347 p.

- V. Tandjiria, B.K. Low, C.I.(2002) **“The Effect of reinforcement force distribution on stability of embankments”** Geotextiles and Geomembranes, Volume 20, Issue 6, Pages 423-443

ประวัติผู้เขียน

นายยิ่งยศ บุญยานันต์ เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2506 ที่อยู่ปัจจุบัน 192 หมู่ที่ 4 ตำบลลำตาเสา อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรชั้นสูง จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตอุเทนถวาย จบการศึกษาระดับปริญญาตรี จากวิทยาลัยครูเพชรบุรี วิทยาลัยการณ และสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี จบการศึกษาระดับปริญญาโทจาก มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย วิทยาเขตมหาวชิราลงกรณ์ ปัจจุบันรับราชการ กองช่าง องค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา