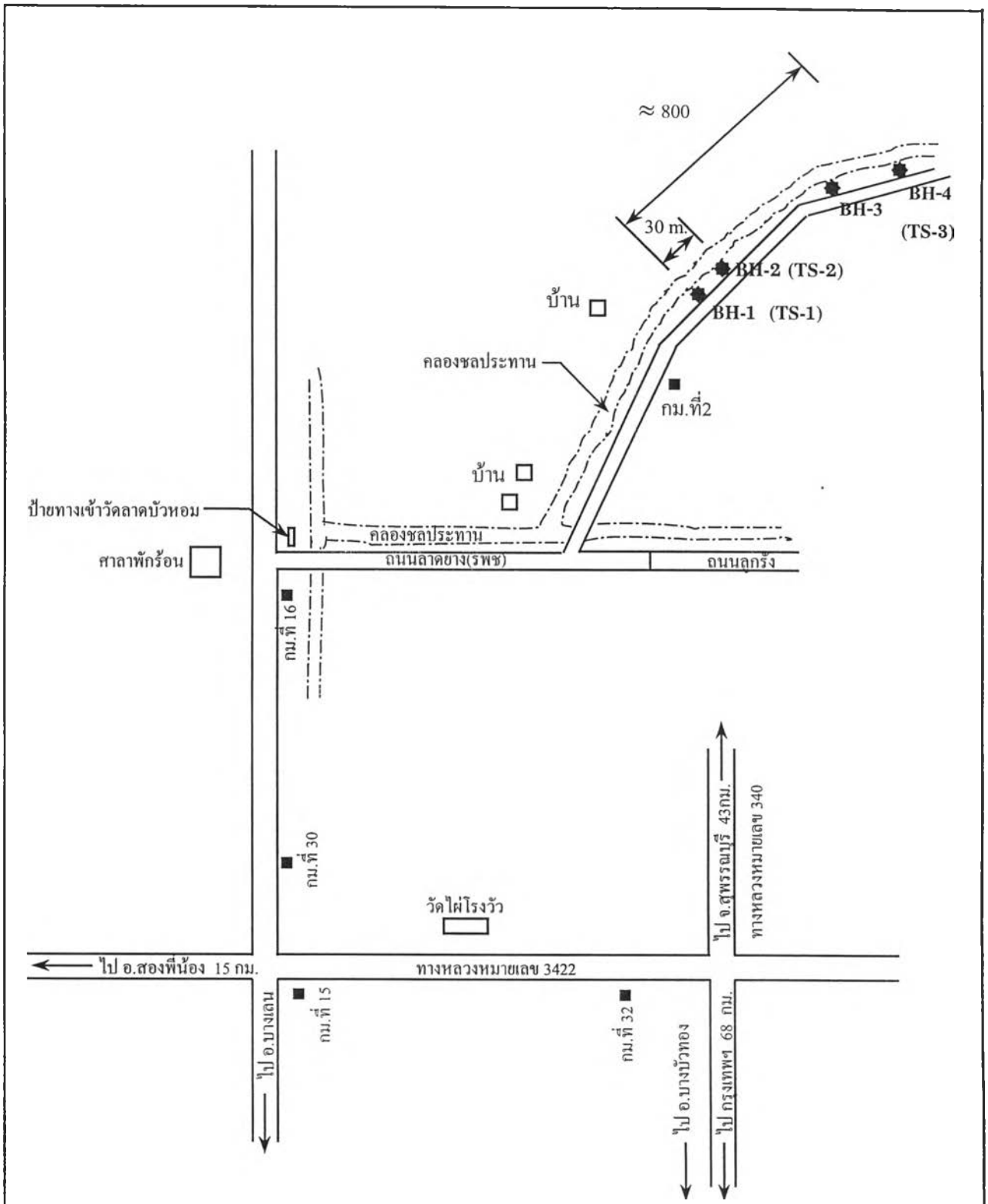
บทที่ 3
ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.1 สถานที่ที่ใช้ทำการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยได้ใช้วิธีการเปรียบเทียบแปลงตัวอย่างทดสอบ(Test Section) ระหว่างแปลงที่ใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงกับแปลงที่ไม่ใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรง โดยจะทำเป็น Test Section แบบ Full Scale บนถนนสายหมายเลข สพ. 3190 ระหว่างบ้านแหลม–บ้านย่านซื่อ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ซึ่งเป็นถนนที่ก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อน ลักษณะของพื้นที่รอบๆ บริเวณจะเป็นทุ่งนาข้าวทั้ง 2 ฝั่งถนนและมีคลองชลประทานอยู่ด้านข้าง รูปที่ 3.1 เป็นแผนที่โดยสังเขปของสถานที่ที่ใช้ทำการศึกษา โดยก่อนหน้านี้ถนนได้เกิดการพังทลายอยู่ก่อนแล้วซึ่งมีอยู่หลายจุด บางจุดการพังทลายจะเกิดขึ้นมากโดยมีลักษณะของการพังทลายคล้ายๆกันคือจะเกิดการทรุดตัวของไหล่ทางและเลื่อนไถลลงไปในคลองชลประทานความยาวของถนนที่พังทลายในแต่ละจุดจะมีความยาวประมาณ 10 เมตร

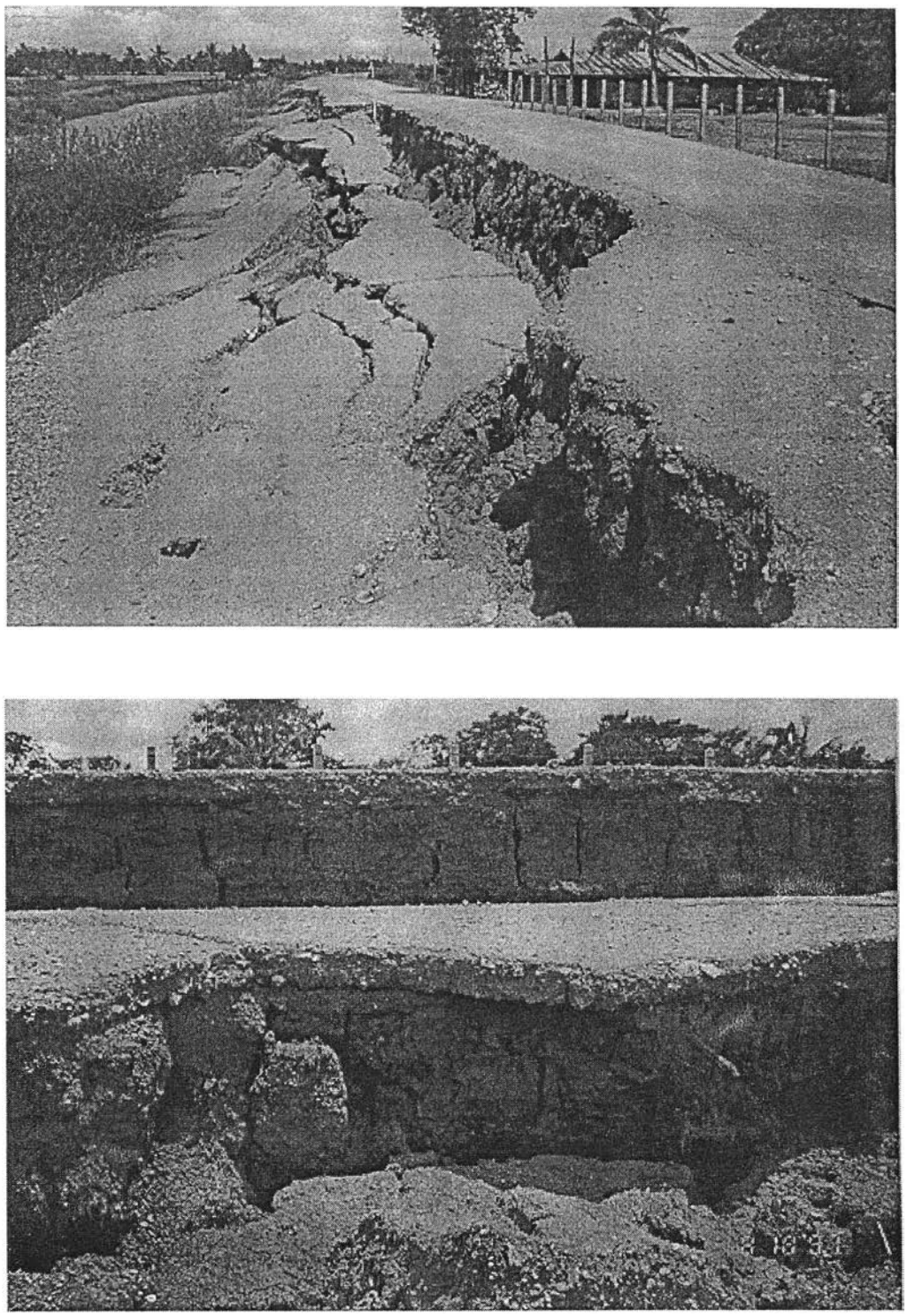
สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะทำการศึกษา 2 จุดด้วยกัน โดยจุดแรกจะเป็นบริเวณของแปลงทดสอบ TS-2 ซึ่งเป็นจุดที่มีการพังทลายเกิดขึ้นโดยสามารถวัดรอย crack ได้ยาวประมาณ 10 เมตรและวัดการทรุดตัวของถนนได้ประมาณ 0.7 เมตร และจุดที่ 2 จะเป็นบริเวณของแปลงทดสอบ TS-3 ซึ่งเป็นจุดที่มีการพังทลายเกิดขึ้นมากสามารถวัดรอย crack ที่เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของถนนได้ยาวประมาณ 100 เมตรและวัดการทรุดตัวของถนนได้ประมาณ 1.6 เมตร รูปลักษณะการพังทลายของทั้ง 2 จุดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ โดยที่แปลงทดสอบ TS-2 และ TS-3 นี้จะเป็นแปลงทดสอบที่มีการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรง สำหรับแปลงทดสอบ TS-1 ซึ่งเป็นแปลงทดสอบที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลกับแปลงทดสอบ TS-2 โดยจะเป็นแปลงทดสอบที่ไม่มีการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงและอยู่ติดกับแปลงทดสอบ TS-2 ตำแหน่งและระยะห่างระหว่างแปลงทดสอบ TS-1, TS-2 และ TS-3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนที่โดยสังเขปของแปลงทดสอบและตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ

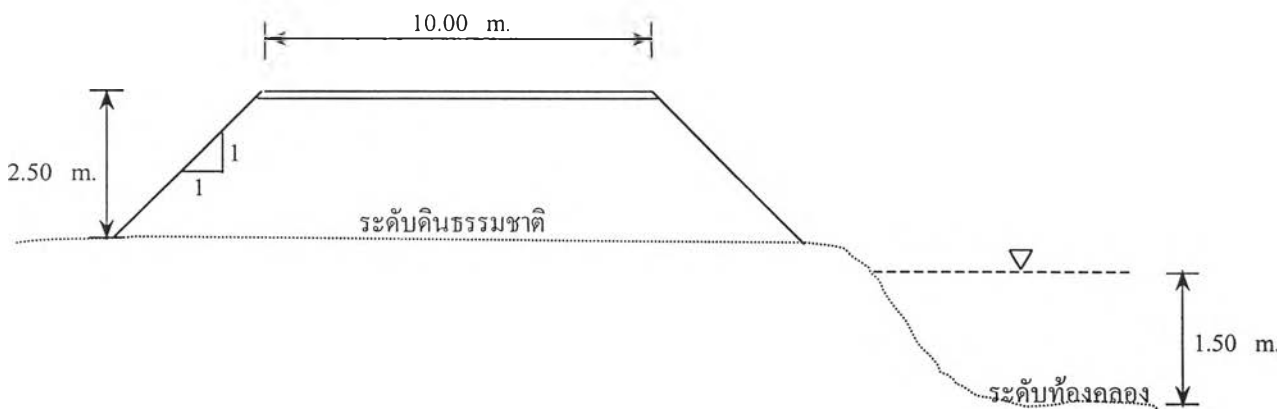
Scale : not to scale

รูปที่ 3.2 ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-2



รูปที่ 3.3 ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-3

จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 จะเห็นว่าการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-2 และ TS-3 จะมีความแตกต่างกันมาก สาเหตุของการพังทลายซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการก่อสร้างได้ประมาณ 1 เดือน คาดว่าอาจจะเนื่องมาจากสภาพของชั้นดินเหนียวอ่อนไม่เหมือนกันหรืออาจจะเกิดจากสาเหตุของการลดระดับน้ำในคลองชลประทานในช่วงหน้าแล้ง นอกจากนี้การออกแบบด้วย Factor Safety ที่ต่ำเกินไปก็อาจจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการพังทลายขึ้น



รูปที่ 3.4 แสดงรูปหน้าตัดของถนนก่อนการพังทลาย

Scale : not to scale

รูปที่ 3.4 ได้แสดงหน้าตัดของถนนตรงบริเวณที่ทำการศึกษาก่อนเกิดการพังทลาย โดยการก่อสร้างจะเป็นการถมดินขึ้นมาจากระดับดินเดิมประมาณ 2.50 เมตร ถนนจะมีความกว้างประมาณ 10 เมตร และมี slope ด้านข้างประมาณ 1:1 โดยดินที่นำมาใช้ถมทำเป็น embankment จะเป็นดินเหนียวจากบริเวณใกล้เคียง ส่วนชั้นที่เป็น base course ซึ่งเป็นชั้นบนสุดจะเป็นดินลูกรังหนาประมาณ 0.10 เมตร

3.2 การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

ได้มีการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินจำนวน 4 หลุม โดยหลุมแรก (BH-1) ได้เจาะตรงบริเวณที่เป็นแปลงทดสอบ TS-1 ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการพังทลายเกิดขึ้นและหลุมที่ 2 (BH-2) ได้เจาะตรงบริเวณที่เป็นแปลงทดสอบ TS-2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการพังทลายเกิดขึ้น โดยให้มีระยะห่างกันประมาณ 30 เมตร และเริ่มเจาะหลังจากที่ได้มีการขุดเอาดินถมออกไปแล้วประมาณ 2 เมตรแต่ละหลุมจะเจาะลึกประมาณ 10.50 เมตรจนถึงชั้นดินเหนียวแข็ง ส่วนอีก 2 หลุมคือ BH-3 และ BH-4 จะเจาะที่บริเวณแปลงทดสอบ TS-3 ซึ่งอยู่ห่างจาก TS-1 และ TS-2 ประมาณ 800 เมตรโดยหลุมเจาะ BH-3 และ BH-4 จะมีระยะห่างกันประมาณ 100 เมตร และเริ่มเจาะที่ระดับดินถม (Top of Embankment) ซึ่งมีความหนาประมาณ 2.50 เมตร สำหรับหลุมเจาะที่ 3 (BH-3) ได้เจาะตรงบริเวณที่เกิดการพังทลายโดยเจาะลึกประมาณ 14 เมตร จนถึงชั้นดินเหนียวแข็งส่วนหลุมเจาะที่ 4 (BH-4) ได้เจาะตรงบริเวณใกล้เคียงกับส่วนที่เกิดการพังทลายโดยเจาะลึกประมาณ 11 เมตรจนถึงชั้นดินเหนียวแข็งและใน BH-3 และ BH-4 ได้ทำการทดสอบ standard penetration test ในชั้นดินเหนียวแข็งทั้ง 2 หลุมด้วย วิธีการเจาะได้ใช้วิธีแบบ Wash Boring และมีการเก็บตัวอย่างดินเหนียวอ่อนทุกระยะ 1.50 เมตร โดยจะเก็บในลักษณะคงสภาพ (Undisturbed Samples) ด้วยกระบอกบาง (Shelby Tube) เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ตำแหน่งและระยะห่างของหลุมเจาะทั้ง 4 หลุม ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่เก็บมาได้จะนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะมีการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน (Basic Properties of Soil) ได้แก่ Atterberg's Limit , ประมาณความชื้น , ความหนาแน่นรวม (γ_t) , และ specific gravity
2. การทดสอบหาคุณสมบัติความสามารถรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำโดยใช้การทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Test
3. การทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านการทรุดตัว (Consolidation Test)

3.3.1 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

ในการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินจะทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งจะประกอบด้วย

1. การทดสอบหาปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
2. การทดสอบหาปริมาณความชื้น ณ จุดที่มวลดินเปลี่ยนสถานะ (Atterberg's Limit)
3. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight)
4. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

3.3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติความสามารถรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ

การทดสอบนี้ทำขึ้นเพื่อหาความสามารถรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของชั้นดินเหนียวอ่อนเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety , F.S.) ของเสถียรภาพความลาดชันของคันดิน และเพื่อใช้ในแบ่งแยกลักษณะชั้นดินอ่อนและแข็ง วิธีการทดสอบแบบ UU test ได้ใช้การทดสอบแบบ control rate of strain ด้วยอัตราความเครียดประมาณ 10% ต่อชั่วโมง (ASTM D2850) ซึ่งรายละเอียดของวิธีการทดสอบและเครื่องมือทดสอบสามารถหาดูได้จากหนังสือปฏิบัติการทดสอบทางวิศวกรรมปฐพีทั่วไป

3.3.3 การทดสอบหาคุณสมบัติการทรุดตัว

การทดสอบหาคุณสมบัติการทรุดตัวเพื่อที่จะหาค่าการยุบอัดตัว (Compressibility) ของดิน ซึ่งจะทำการทดสอบด้วยเครื่อง Oedometer แบบใช้ pressure โดยการเตรียมตัวอย่างดินใส่ในวงแหวนแล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้นและอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น (Initial Void Ratio) โดยจะทำการทดสอบแบบวิธีมาตรฐานคือทิ้งน้ำหนักไว้ 24 ชั่วโมง และการเพิ่มน้ำหนักทดสอบหรือ pressure แต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นเป็น 1 เท่าของน้ำหนักชุดก่อน บันทึกค่าการยุบตัวและเวลาอย่างต่อเนื่อง

3.4 การคำนวณออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์

การคำนวณออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์โดยทั่วไปจะใช้ทฤษฎีแรงดันดิน (Earth Pressure) และการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชัน (Slope Stability) ของดันดิน ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากมายที่สามารถช่วยในด้านการคำนวณและออกแบบ เช่น REACTIV , RESLOPE , SLOPE V8.23 เป็นต้น แต่ในที่นี้ได้ใช้โปรแกรม SB-SLOPE ช่วยในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันเท่านั้นส่วนการคำนวณอื่นๆ ได้ใช้วิธีการคำนวณแบบปกติ โดยจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การคำนวณหาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ (The Require Reinforcement Forces)
2. การออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์หรือการออกแบบหาค่าแรงดึงที่แผ่นใยสังเคราะห์สามารถรับได้ (The Available Reinforcement Force) โดยใช้ F.S. เท่ากับ 2.0

3.4.1 การคำนวณหาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์

การคำนวณหาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องพิจารณาถึงการพิบัติของดินถมในลักษณะต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งลักษณะของการพิบัติแต่ละmodeจะให้ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ไม่เท่ากัน โดยจะเลือกค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์มากที่สุดหรือให้ค่า Factor of Safety (F.S.) น้อยที่สุดมาคำนวณออกแบบ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการพิบัติแบบ Rotational Slope Failure จะให้ค่าแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์มากกว่าการพิบัติแบบอื่นๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์นี้จะเริ่มทำการวิเคราะห์การพิบัติแบบ Rotational Slope Failure เป็นอันดับแรก โดยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้วิธีของ Jewell, R.A. (1982) โดยการหา F.S. ของเสถียรภาพความลาดชันของดันดินในกรณีที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรง (Unreinforced) จากนั้นจะใช้วิธีการคำนวณย้อนกลับ (Back Calculation) เพื่อหาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ในกรณีที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Reinforced) โดยใช้ Critical Circle ที่วิเคราะห์ได้

จากกรณีของ Unreinforced เพื่อให้ได้ค่า F.S. ของ slope มีค่าเท่ากับ 1.3 ค่าแรงดึงที่คำนวณมาได้นี้จะเป็นค่าแรงดึงที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับค่า Allowable Tensile Strength ของแผ่นใยสังเคราะห์ต่อไปในหัวข้อที่ 3.4.2 รายละเอียดของการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของคันดินและการคำนวณย้อนกลับหาค่าแรงดึงที่มากที่สุดในแผ่นใยสังเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.4.2 การออกแบบหาชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์

จากหัวข้อ3.4.1เมื่อสามารถคำนวณหาค่าแรงดึงที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ที่มากที่สุดได้แล้ว ค่าแรงดึงที่ได้นี้จะเป็นค่า Allowable Tensile Strength ต่ำสุดในการเลือกใช้แผ่นใยสังเคราะห์ ซึ่งสามารถที่จะคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดที่แผ่นใยสังเคราะห์จะสามารถรับได้ (Ultimate Tensile Strength)โดยการคูณด้วย F.S. เท่ากับ 2.0 ดังนั้นการเลือกใช้ชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องเลือกใช้แผ่นใยสังเคราะห์ที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้นี้ โดยการเลือกจาก Specification Sheet ของบริษัทผู้ผลิตต่างๆ ซึ่งได้รวบรวมไว้บางบริษัท ในภาคผนวก ค

สำหรับในงานวิจัยนี้ แปลงทดสอบ TS-2 ได้เลือกใช้แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงสูงแบบถักทอ (High Strength Woven Geotextile) สามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ 500 kN/m โดยเสริมเพียงชั้นเดียวยาวตลอดทั้งหน้าตัดของคันดิน และในแปลงทดสอบ TS-3 ได้เสริมแผ่นใยสังเคราะห์จำนวน 3 ชั้นโดยมีระยะห่างของแต่ละชั้น 0.30 เมตรและไม่ได้เสริมยาวตลอดทั้งหน้าตัดของคันดินแต่จะเสริมเพียงครึ่งเดียว โดย 2 ชั้นแรกได้ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงปานกลางแบบผสมระหว่างถักทอและไม่ถักทอ (Composite Geotextile) สามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ 75 kN/m และชั้นล่างสุดจะเป็นแบบชนิดไม่ถักทอ (Nonwoven Geotextile) สามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ประมาณ 27 kN/m รูปหน้าตัดของคันดินที่แสดงลักษณะการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ของทั้ง 2 แปลงทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

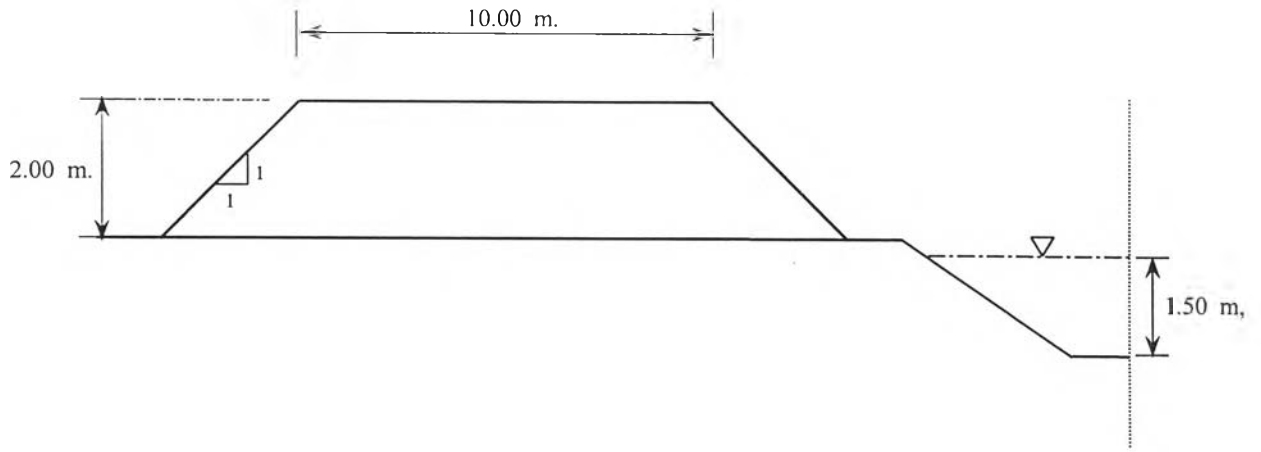
3.5 การก่อสร้างและการติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค

3.5.1 วิธีการก่อสร้าง

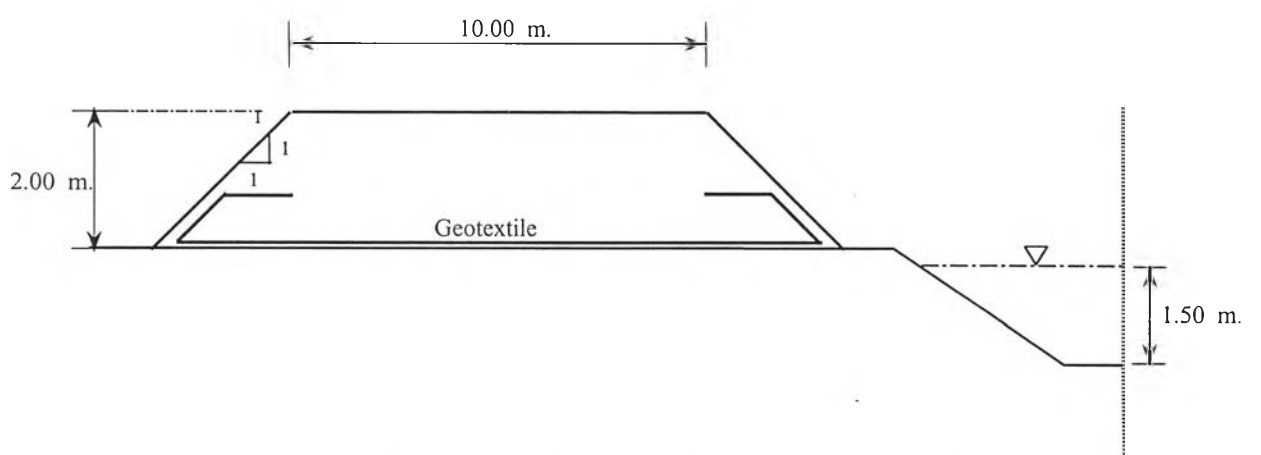
สำหรับแปลงทดสอบ TS-1 (รูปที่ 3.5) และ TS-2 (รูปที่ 3.6) จะทำการก่อสร้างไปพร้อมๆ กันซึ่งวิธีการก่อสร้างจะเริ่มจากการขุดเอาส่วนที่เกิดการพังทลายออกโดยจะขุดตลอดตามแนวหน้าตัดของถนน เพื่อเป็นการเพิ่มความยาวของแผ่นใยสังเคราะห์ (Anchor Length) ที่จะช่วยต้านแรงดึงที่เกิดขึ้น โดยจะขุดลึกประมาณ 2 เมตร และเป็นระยะทางยาวประมาณ 70 เมตร โดยจะแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ได้เกิดการพังทลายจะไม่มีการปูแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงและให้เป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-1 ส่วนช่วงที่ 2 ให้เป็นตำแหน่งของแปลงของแปลงทดสอบ TS-2 (ดูรูปที่ 3.6 สำหรับ Cross Section ของคันดิน) ซึ่งเป็นบริเวณที่เคยเกิดการพังทลายได้มีการปูแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงโดยได้ตัดเป็นแผ่นไว้ก่อนแล้วแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้จะเป็นชนิดทนแรงดึงสูงแบบถักทอ (High Strength Woven Geotextile) ซึ่งผลิตด้วยเส้นใย Polyester สามารถรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ได้ 500 kN/m จำนวน 1 ม้วนสามารถปูได้ระยะทางยาวประมาณ 30 เมตรโดยมี Overlap Length ประมาณ 1 เมตร จากนั้นก็จะทำการถมดินและบดอัดไปพร้อมๆ กันทั้ง 2 ช่วง

สำหรับที่แปลงทดสอบ TS-3 (ดูรูปที่ 3.7 สำหรับ Cross Section ของคันดิน) วิธีการก่อสร้างจะแตกต่างจากแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 โดยจะขุดเฉพาะส่วนที่เกิดการพังทลายเท่านั้น คือเพียงครึ่งเดียวของหน้าตัดถนนและขุดลึกประมาณ 3.2 เมตร และได้มีการก่อสร้างคันดิน (Berm) สูงประมาณ 2.20 เมตรไว้หน้า slope การปูแผ่นใยสังเคราะห์จะปูทั้งหมดจำนวน 3 ชั้น โดยชั้นแรกและชั้นที่ 2 จะใช้แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงปานกลางแบบผสมระหว่างแบบถักทอกับไม่ถักทอ (Composite Geotextile) สามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ 75 kN/m และชั้นล่างสุดจะเป็นแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงต่ำแบบไม่ถักทอ (Nonwoven Geotextile) โดยสามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ประมาณ 27 kN/m

ลักษณะของแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้ในแปลงทดสอบ TS-2 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15และของแปลงทดสอบ TS-3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 และ 2.18 ในหัวข้อที่ 2.4

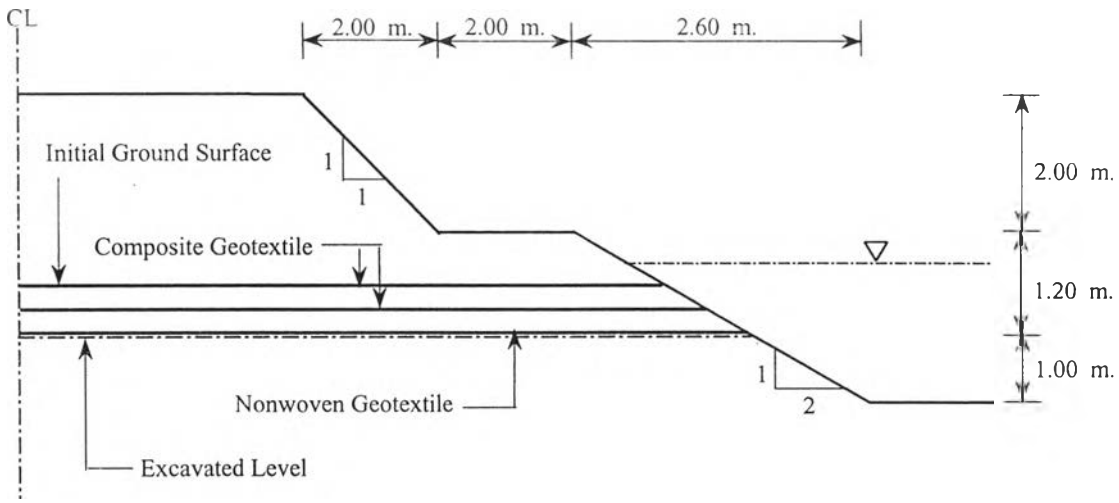


รูปที่ 3.5 แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-1 โดยไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Scale : not to scale)



รูปที่ 3.6 แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-2 โดยมีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงยาว 14 เมตรเพียงชั้นเดียว

Scale : not to scale



รูปที่ 3.7 แสดงรูปหน้าตัดของถนนหลังการก่อสร้างของแปลงทดสอบ TS-3 โดยมีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงยาว 11.4 เมตรจำนวน 3 ชั้นระยะห่างของแต่ละชั้น 0.30 เมตร โดยเสริมถึงเส้นกึ่งกลางของถนน (Scale : not to scale)

3.5.2 การปูแผ่นใยสังเคราะห์

ในการปูแผ่นใยสังเคราะห์ตามแนวขวางของคันดินจะต้องมีการต่อแผ่นใยสังเคราะห์ซึ่งวิธีในการต่อแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปจะมีอยู่ 2 วิธีคือ

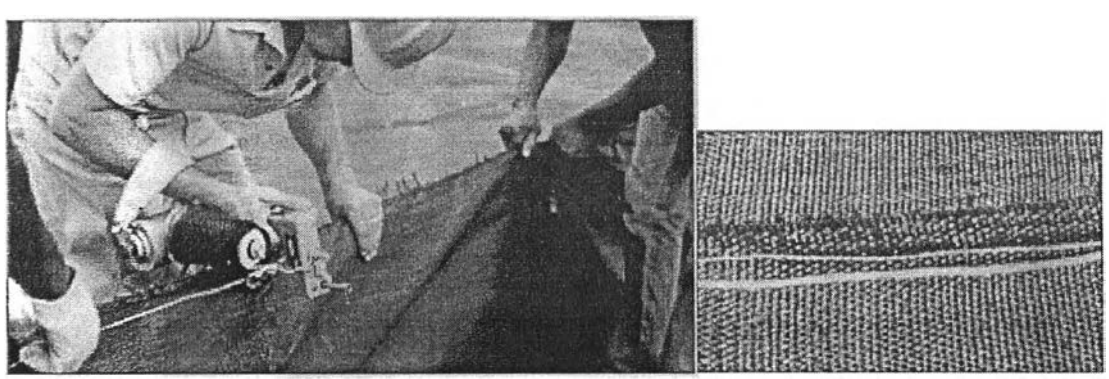
1. การต่อแบบปูแผ่นใยสังเคราะห์ซ้อนทับกัน
2. การต่อแบบเย็บแผ่นใยสังเคราะห์ให้เป็นผืนเดียวกัน

การจะเลือกใช้วิธีการต่อแผ่นใยสังเคราะห์แบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพดินที่จะปูแผ่นใยสังเคราะห์ว่าอ่อนมากน้อยแค่ไหน โดยสามารถใช้ค่า CBR ของชั้นดินที่จะปูเป็นตัวพิจารณาดังแสดงในตารางที่ 3.1

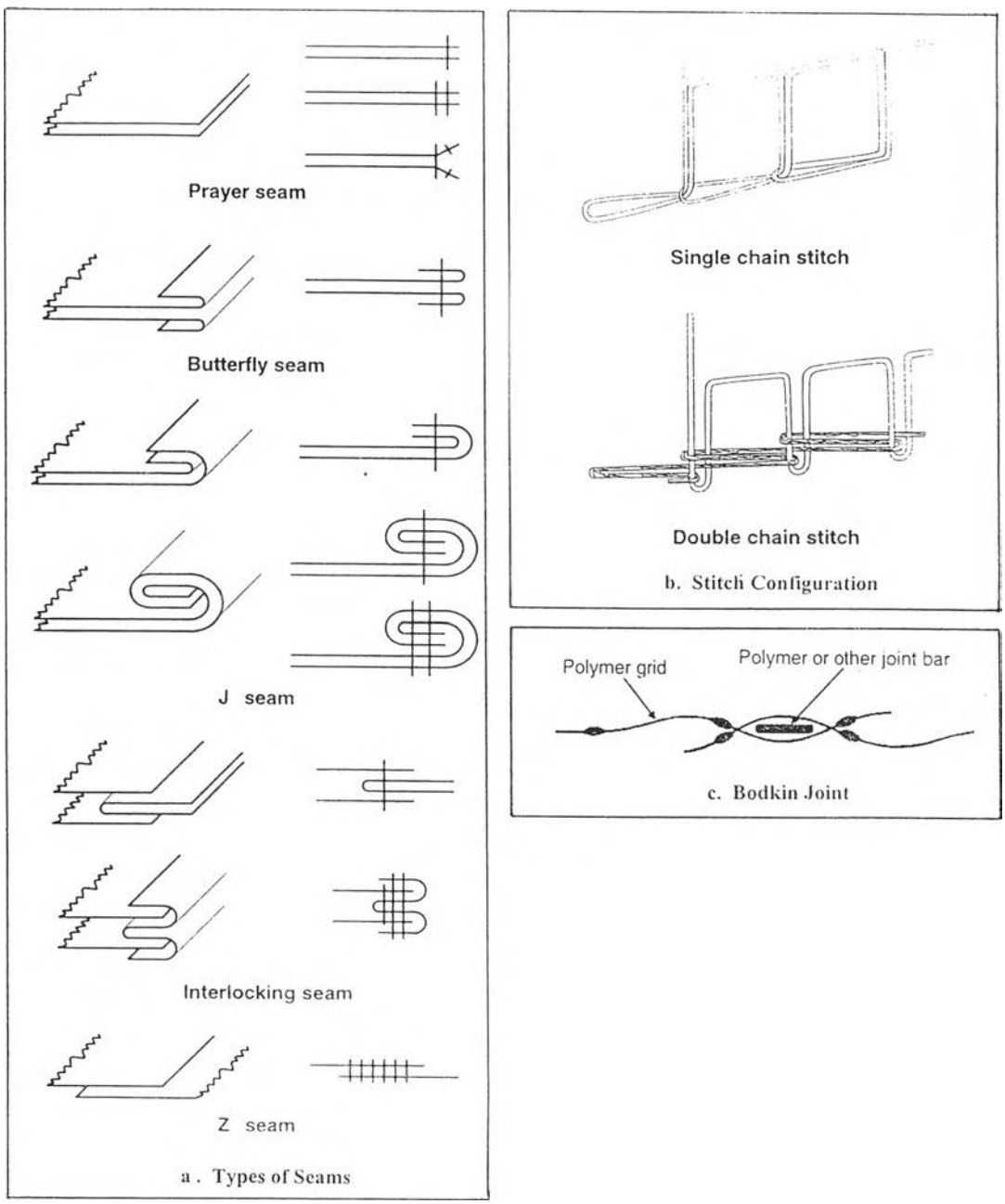
ตารางที่ 3.1 วิธีการต่อแผ่นใยสังเคราะห์โดยการใช้ค่า CBR ของชั้นดินเป็นตัวกำหนด

CBR Value of Foundation Soil	Overlap Length of Geotextile (m.)
≥ 3.0	0.30 – 0.50
1.0 – 3.0	0.50 – 1.00
0.5 – 1.0	> 1.00 or Sewing
< 0.5	Only Sewing

ในการเย็บแผ่นใยสังเคราะห์จะมีเครื่องมือที่ใช้เย็บโดยเฉพาะ (Sewing Machines) ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถนำไปเย็บในสถานที่ก่อสร้างได้สะดวก รูปที่ 3.8 ได้แสดงวิธีการเย็บแผ่นใยสังเคราะห์ในสนาม ลักษณะรูปแบบของการเย็บจะมีหลายชนิดและหลายรูปแบบด้วยกันแต่ละชนิดมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ต่างกัน เช่น การเย็บในลักษณะแบบ Prayer Seam ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จะสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 30-50% ของแรงดึงที่แผ่นใยสังเคราะห์สามารถรับได้ , การเย็บในลักษณะแบบ Butterfly Seam จะสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 40-70% และการเย็บในลักษณะแบบ Interlocking Seam จะสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด 80% เป็นต้น แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการต่อแผ่นใยสังเคราะห์แบบซ้อนทับกัน 1.00 เมตร



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการเย็บแผ่นใยสังเคราะห์ในสนาม



รูปที่ 3.9 ลักษณะรูปแบบของการต่อแผ่นใยสังเคราะห์โดยใช้วิธีเย็บ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีต่อแผ่นใยสังเคราะห์แบบ Overlaping โดยมีระยะทาบ 1.00 เมตรในแปลงทดสอบ TS-2 และ TS-3

ในการปูแผ่นใยสังเคราะห์แบบชนิดถักทอ (Woven Geotextiles) จะต้องพิจารณาดูให้ดีว่าได้ปูถูกต้องตรงกับทิศทางการรับแรงของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยในแผ่นใยสังเคราะห์จะมี 2 แนว คือ เส้นใยตามแนวยาว (Wrap) และเส้นใยตามแนวขวาง (Weft) ซึ่งเส้นใยแต่ละแนวจะมีความสามารถในการรับแรงได้ต่างกัน ดังนั้นในการปูแผ่นใยสังเคราะห์จึงควรพิจารณาถึงทิศทางของแรงและความสามารถในการรับแรงของเส้นใยในแต่ละแนวของแผ่นใยสังเคราะห์ด้วย ในที่นี้ได้ปูแผ่นใยสังเคราะห์ตามแนวขวางของถนนโดยให้เส้นใยตามแนวยาวของแผ่นใยสังเคราะห์เป็นตัวรับแรงซึ่งสามารถรับแรงได้สูงกว่าเส้นใยตามแนวขวาง

เมื่อปูแผ่นใยสังเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะทำการถมดินพร้อมทั้งบดอัดตามมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบก่อสร้างถนนโดยความหนาของแต่ละชั้นที่ถมบดอัดดินไม่ควรเกิน 0.30 เมตร

3.5.3 การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค

การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิคเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมของแผ่นใยสังเคราะห์และชั้นดินเหนียวอ่อนจะมีการติดตั้งเฉพาะที่แปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 เท่านั้น โดยเครื่องมือที่ติดตั้งทั้งหมดจะประกอบด้วย (ดูรูปที่ 3.10 และ 3.11)

1. Strain Gauge เป็นชนิด Foil Gauge ใช้วัดอัตราการยืดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์
2. Inclinometer ใช้วัดการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน
3. Piezometer ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนที่ระดับ 2.50 เมตร และ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม

ทั้ง Inclinometer และ Piezometer จะมีการติดตั้งจำนวน 2 จุดตรงตำแหน่งที่มีการเจาะหลุมสำรวจ BH-1 และ BH-2 ซึ่งห่างกันประมาณ 30 เมตร โดยจุดแรกจะติดตั้งตรงบริเวณที่ไม่มีการปูแผ่นใยสังเคราะห์ (TS-1) และจุดที่ 2 จะติดตั้งตรงบริเวณที่มีการปูแผ่นใยสังเคราะห์ (TS-2) เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงกับส่วนที่ไม่ได้ใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมแข็งแรง รายละเอียดและขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องมือต่างๆ มีดังนี้

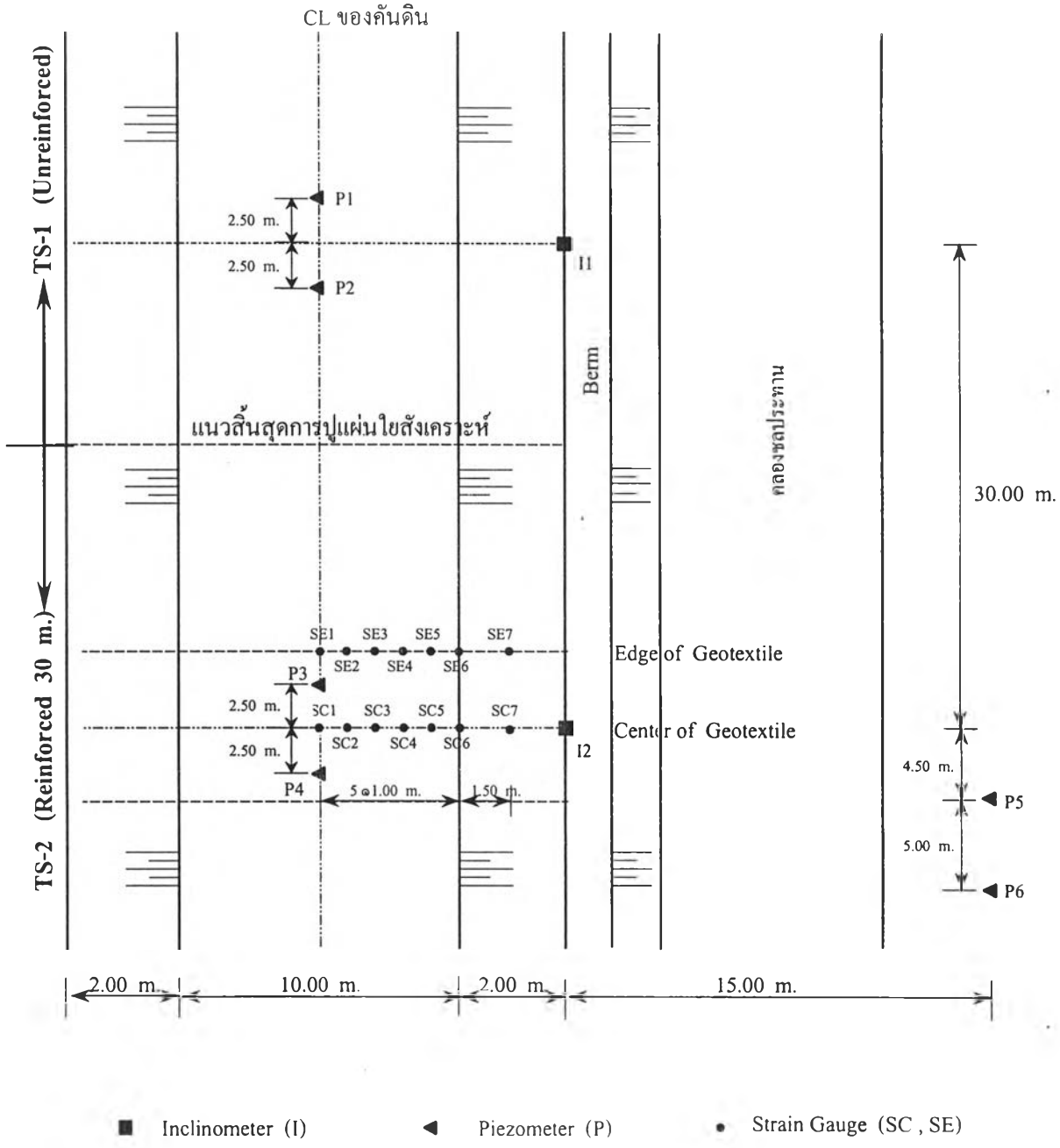
ตารางที่ 3.2 แสดงชนิดของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในแปลงทดสอบต่างๆ

แปลงทดสอบ	ชนิดของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ติดตั้งในแปลงทดสอบ		
	Inclinometer	Piezometer	Strain Gauge
TS-1	✓	✓	-
TS-2	✓	✓	✓
TS-3	-	-	-

3.5.3.1 Strain Gauge

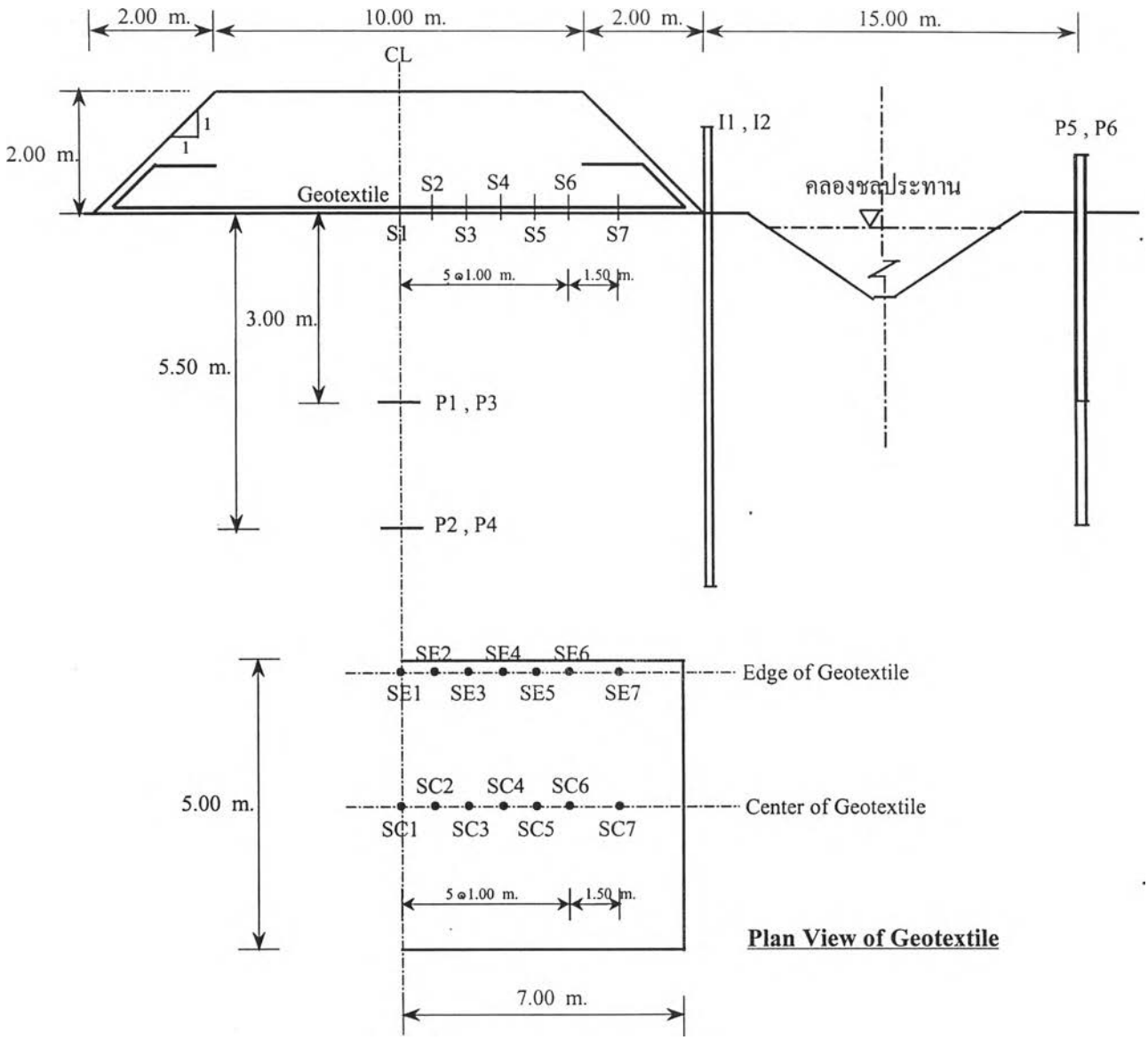
Strain Gauge เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่า strain ที่เกิดขึ้นในวัสดุจะมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกใสบางมีขนาดเล็ก บนแผ่นพลาสติกจะมีวงจรไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ของวัสดุ ในการวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นในวัสดุจะใช้หลักการเมื่อมีการยืดหรือหดตัวของวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ในวัสดุ ดังนั้นถ้าสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในวัสดุได้ก็จะสามารถคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงการยืดตัวหรือหดตัวของวัสดุได้

วิธีการติดตั้ง Strain Gauge ลงบนแผ่นใยสังเคราะห์จำเป็นต้องใช้ความละเอียดและความพิถีพิถันเป็นพิเศษเนื่องจาก Strain Gauge มีขนาดเล็ก โดยขั้นแรกจะต้องทำความสะอาดแผ่นใยสังเคราะห์ตรงบริเวณที่จะติดและแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องแห้งสนิท จากนั้นใช้กาวที่ใช้ติด Strain Gauge โดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ Strain Gauge ที่ใช้ ทาลงบนด้านหลังของแผ่นพลาสติก Strain Gauge แปะลงบนแผ่นใยสังเคราะห์ให้ตรงแนวที่จะวัดค่า strain กดเบา ๆ รอให้กาวแห้งสนิท จากนั้นใช้สายไฟเชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าบน Strain Gauge โดยการบัดกรีเพื่อป้องกันสายไฟหลุด สายไฟที่ใช้จะต้องยาวพอประมาณให้โผล่ออกมาข้างนอกได้หลังจากถมดินแล้ว ทาซิลิโคนบน Strain Gauge และรอยต่อของสายไฟเพื่อป้องกันความชื้นและน้ำใต้ดิน ในที่นี้ได้ติดตั้ง Strain Gauge ทั้งหมดจำนวน 14 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 2 แนว ๆ ละ 7 ตัวคือ ที่ขอบและที่กึ่งกลางของแผ่นใยสังเคราะห์ โดยตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 6 จะติดห่างกัน 1.00 เมตรและตัวที่ 7 จะติดห่าง 1.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11



PLAN VIEW

รูปที่ 3.10 แสดงรูปแปลนตำแหน่งและระยะห่างของเครื่องมือทางธรณีเทคนิค ที่ติดตั้งในแปลงทดสอบ TS-2 (Scale : not to scale)



I = Inclinometer P = Piezometer SC , SE = Strain Gauge

SECTION VIEW

รูปที่ 3.11 แสดงรูปหน้าตัดตำแหน่งและระยะห่างของเครื่องมือทางธรณีเทคนิค ที่ติดตั้งในแปลงทดสอบ TS-2 (Scale : not to scale)

วิธีการวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นโดยปกติจะมีเครื่องวัดเฉพาะเรียกว่า Data Logger หรือ Strainmeter แต่เนื่องจากไม่สามารถที่จะหาเครื่องวัดเหล่านี้ได้ จึงใช้วิธีการคำนวณประมาณค่า strain ที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ โดยอาศัยหลักการของ Strain Gauge ที่ติดบนแผ่นใยสังเคราะห์ที่ว่า เมื่อวัตถุเกิดการยืดหรือหดตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ในวัตถุนั้น จากหลักการที่ว่านี้ ถ้าสามารถวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นใน Strain Gauge ที่ติดบนแผ่นใยสังเคราะห์ได้ก็จะสามารถประมาณค่า strain ที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ได้เช่นกัน

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ของ Strain Gauge ที่ติดบนแผ่นใยสังเคราะห์จะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิคแบบง่ายๆ ที่ทำขึ้นมาเองโดยจะประกอบด้วยความต้านทาน 120 Ω จำนวน 3 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรแบบ Wheatstone Bridge โดยใช้ Battery จากถ่านไฟฉาย 1.5V จำนวน 2 ก้อนเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า นำวงจรนี้ไปต่อเข้ากับสายไฟที่ต่อเชื่อมกับ Strain Gauge และ Voltmeter อ่านค่าความต่างศักย์จากเครื่อง Voltmeter ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่าความต่างศักย์เริ่มต้นที่ได้วัดไว้ก่อนแล้วก็จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นและสามารถนำมาคำนวณหาค่า strain ที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ได้ รายละเอียดของการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ค่า strain ที่คำนวณมาได้นี้ไม่สามารถกล่าวได้ว่าเป็นค่า strain ที่เกิดขึ้นจริงในแผ่นใยสังเคราะห์เนื่องจากความไม่แน่นอนของเครื่องมือที่ใช้วัดแต่สามารถนำมาใช้ดูแนวโน้มการเกิดstrainในแผ่นใยสังเคราะห์ได้ว่าเกิดขึ้นมากที่สุดที่บริเวณไหนบนแผ่นใยสังเคราะห์ รายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับ Strain Gauge ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.5.3.2 Inclinometer

Inclinometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินและใช้ตรวจสอบพฤติกรรมและความปลอดภัยของโครงสร้างทั่วไป เช่น Embankment , Retaining Wall หรือ Tunnel เป็นต้น อุปกรณ์ของ Inclinometer จะประกอบด้วย ดังนี้

- Inclinometer Casing เป็นท่อพลาสติกที่มีการบากร่องเป็นแนวยาวตลอดไว้ภายในโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อประมาณ 2.5 นิ้ว
- Probe เป็นแท่งเหล็กกลมมีลูกล้ออยู่ด้านข้างที่บริเวณปลายทั้ง 2 โดยภายในจะ

มีตัว Sensor ที่ใช้วัดค่าการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนตัวด้านข้าง

- Indicator เป็นตัวแปลงสัญญาณที่ส่งมาจากตัว Sensor และจะแสดงค่าออกมาเป็นการเคลื่อนตัวด้านข้าง
- Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้ต่อระหว่าง Probe และ Indicator
- Pulley Assembly เป็นรอกที่ใช้สาวสายเคเบิลและมีที่ยึดสายไว้เพื่อความสะดวกในการวัด

วิธีการติดตั้งจะเริ่มด้วยการเจาะหลุมขนาด ∅ 4 นิ้ว จนถึงระดับดินแข็งโดยจะต้องให้ปลายท่อ Inclinometer ซึ่งมีขนาด ∅ 2.54 นิ้ว ฝังอยู่ในชั้นดินแข็งไม่น้อยกว่า 3 เมตร เพื่อให้ปลายท่อติดยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่จะได้วัดการเคลื่อนตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนได้ถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น หลังจากเจาะจนถึงระดับที่ต้องการแล้วทำความสะอาดหลุมเจาะ หย่อนท่อ Inclinometer ที่ได้ปิดปลายท่อแล้วลงในหลุมกรอกน้ำใส่ลงไปในท่อเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อลอยขึ้นมา ต่อท่อท่อนต่อ ๆ ไปจนได้ความยาวของท่อตามที่ต้องการ จัดวางท่อให้อยู่ในแนวดิ่งและแนวร่องภายในท่อจะต้องตรงกับทิศทางที่จะวัดการเคลื่อนตัวไม่เฉหรือเอียงไปทางใดทางหนึ่งเพราะจะทำให้การวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างผิดพลาด จากนั้นฉีดส่วนผสมของ Cement - Bentonite (1:3) ลงไปในหลุมรอบๆ ท่อจนเต็มปิดฝาท่อไว้เพื่อป้องกันมิให้เศษสิ่งของตกลงไป ใช้เครื่องเจาะดินกดท่อไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจนกระทั่ง Cement-Bentonite รอบ ๆ ท่อแข็งตัว ทำการวัดและอ่านค่าเริ่มต้น (Initial Reading) สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มีการติดตั้ง Inclinometer ทั้งหมดจำนวน 2 ตัวคือ I1 และ I2 ที่แปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11

วิธีการอ่านค่าทำได้โดยการหย่อน Probe ลงไปในท่อ Inclinometer ให้ล้ออยู่ในร่องที่บากไว้ภายใน ตัว Sensor ที่อยู่ใน Probe ก็จะส่งสัญญาณมาตามสายเคเบิล ซึ่งได้ต่อเข้ากับเครื่อง Indicator และจะแปลงสัญญาณออกมาเป็นค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นผลต่างระหว่าง 2 ค่าที่วัดได้ก็จะเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน

3.5.3.3 Piezometer

Piezometer เป็นอุปกรณ์การวัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Pore Water Pressure) ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้ง Piezometer 2 ชนิดคือ Pneumatic Piezometer และ Standpipe Piezometer โดย Pneumatic Piezometer ได้ติดตั้งทั้งหมด 4 ตัว (P1, P2 , P3 , P4) โดยได้ติดในแปลงทดสอบ TS-1 (P1, P2) และ TS-2 (P3 , P4) ส่วน Standpipe Piezometer ได้ติดตั้งจำนวน 2 ตัว (P5, P6) และได้ติดตั้งนอกแปลงทดสอบ ตำแหน่งของ Piezometer ทั้ง 6 ตัว ได้แสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 โดย Piezometer ทั้ง 2 ชนิดจะทำหน้าที่ต่างกัน ดังนี้

- Pneumatic Piezometer

Pneumatic Piezometer จะทำหน้าที่วัดแรงดันน้ำใต้ดินของชั้นดินเหนียวอ่อน โดยจะติดตั้งที่กึ่งกลาง (Centerline) ของถนนในแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 จำนวน 2 จุด แต่ละจุดจะมี Piezometer 2 ตัวคือ ที่ระดับความลึก 2.50 เมตร และ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม โดยจุดหนึ่งจะติดตั้งตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์และอีกจุดหนึ่งจะติดตั้งตรงบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลซึ่งกันและกัน

วิธีในการติดตั้งจะเริ่มด้วยการเจาะหลุมจนถึงระดับที่ต้องการแล้วหย่อนหัว Pneumatic Piezometer ลงไปในหลุมจนถึงระดับความลึกที่ต้องการจะวัดแรงดันน้ำ จากนั้นเทเม็ดกรวดลงไปในหลุมเพื่อให้ช่วยพยุงหัวของ Piezometer ไว้ ใส่ก้อน Bentonite ที่ปั้นไว้ก่อนแล้วเพื่อคอยยึดสายของ Piezometer อีกชั้นหนึ่งเสร็จแล้ว Grout หลุมด้วย Cement-Bentonite ทำการเช็คดูว่า Piezometer ทำงานหรือไม่โดยการวัดและอ่านค่าเริ่มต้น

วิธีการวัดค่าแรงดันน้ำจะต้องใช้เครื่องวัดเฉพาะเรียกว่า Pneumatic Pressure Indicator ซึ่งภายในเครื่องจะอัด pressure ไว้ เวลาอ่านก็จะต่อสาย Piezometer เข้ากับเครื่อง Indicator ปล่อย pressure เข้าไปใน Piezometer โดยกะประมาณให้มากกว่าแรงดันน้ำใต้ดิน แล้วปล่อย pressure ออก แรงดันภายใน Piezometer ซึ่งเป็นแรงดันน้ำใต้ดินก็จะดัน pressure กลับขึ้นมาจนกระทั่งค่าแรงดันที่แสดงอยู่หยุดคงที่ก็จะเป็นค่าของแรงดันน้ำใต้ดินขณะนั้น

- Standpipe Piezometer

จะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ (Dummy) คอยวัดแรงดันน้ำใต้ดินตามธรรมชาติโดยจะติดตั้งห่างจากบริเวณที่ก่อสร้างหรืออีกด้านหนึ่งของคลองชลประทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 จำนวนที่ติดตั้ง 2 ตัวคือ ที่ระดับความลึก 2.50 เมตรและ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม ลักษณะของ Standpipe Piezometer จะแตกต่างจาก Pneumatic Piezometer โดยอุปกรณ์จะประกอบด้วยท่อ PVC ∅ 1/2 นิ้วต่อติดกับหัว Filter ซึ่งเป็นท่อเหล็กกลมเจาะรูโดยรอบและมี Porous Stone อยู่ภายในเพื่อให้น้ำซึมผ่านได้ วิธีการติดตั้งจะเหมือนกับ Pneumatic Piezometer

การวัดค่าแรงดันน้ำจะใช้วิธีการวัดระดับน้ำภายในท่อ PVC โดยนำสายไฟที่ต่อกับเครื่องวัดระดับน้ำหย่อนลงภายในท่อ เมื่อสายไฟแตะถูกน้ำก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าครบวงจรมีเสียงร้องและไฟสัญญาณติดก็จะทราบความสูงของระดับน้ำภายในท่อเทียบกับปลายท่อ และเมื่อนำค่าแรงดันน้ำที่ได้จาก Pneumatic Piezometer และ Standpipe Piezometer มาเปรียบเทียบกันก็จะสามารถหาค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) ของชั้นดินเหนียวอ่อนได้

3.6 การบันทึกผลและระยะเวลาในการบันทึกผล

การบันทึกผลจากเครื่องมือที่ได้ติดตั้งในสนามจะกระทำไปพร้อมกับการถมบดอัดดินก่อสร้างถนนหลังจากที่ได้ปูแผ่นใยสังเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยได้เริ่มบันทึกผลครั้งแรกเมื่อวันที่ 30 พ.ค. 2541 เป็นการวัดของ Strain Gauge โดยจะวัดค่าความต่างศักย์เริ่มต้น (Initial Reading) ก่อนที่จะมีการถมบดอัดดิน เสร็จแล้วก็จะถมบดอัดดินสูงขึ้นมาประมาณ 0.50 เมตร จึงวัดอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นการวัดครั้งที่ 2 หลังจากนั้นได้มีการหยุดการก่อสร้างเป็นเวลา 10 วันเนื่องจากอยู่ในช่วงหน้าฝนและดินถมเป็นดินเหนียวจึงไม่สามารถทำการบดอัดดินได้และในช่วงนี้ได้มีการติดตั้ง Inclinometer และ Piezometer ด้วย ดังนั้นในการวัด Strain Gauge ครั้งที่ 3 ได้ทำการวัดเมื่อวันที่ 9 มิ.ย. 2541 หลังจากที่ได้มีการถมบดอัดดินเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 0.50 เมตร และจากนั้นก็จะทำการวัดครั้งที่ 4 เมื่อวันที่ 15 มิ.ย. หลังจากที่ได้มีการถมบดอัดดินชั้นสุดท้ายเสร็จแล้วจนได้ระดับ 2.00 เมตรจากระดับดินเดิม และจะทำการวัดติดต่อกันไปอีก 2 วันคือวันที่ 16 และ

17 มิ.ย. จากนั้นก็จะเว้นระยะห่างในการบันทึกผลเป็นทุกๆ 7 วันเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยได้ใช้ระยะเวลาในการบันทึกผล Strain Gauge ทั้งสิ้น 117 วัน

สำหรับ Inclinometer ได้เริ่มบันทึกผลครั้งแรกเมื่อวันที่ 9 มิ.ย. 2541 ซึ่งถือเป็นค่าเริ่มต้น (Initial Reading) หลังจากที่ได้มีการถมบดอัดดินไปแล้ว 1.00 เมตร เนื่องจากการติดตั้งได้มีความล่าช้า และเริ่มวัดครั้งที่ 2 ในวันที่ 12 มิ.ย. ครั้งที่ 3 ในวันที่ 15 มิ.ย. หลังจากถมบดอัดดินชั้นสุดท้ายเสร็จแล้ว และวัดครั้งที่ 4 และ 5 ในวันที่ 16 และ 17 มิ.ย. ตามลำดับ จากนั้นจะเว้นระยะห่างในการบันทึกผลเป็นทุกๆ 7 วันเป็นระยะเวลา 3 เดือนเช่นเดียวกัน โดยได้ใช้ระยะเวลาในการบันทึกผลทั้งสิ้น 108 วัน

ในการจดบันทึกค่า Inclinometer ครั้งแรก (9 มิ.ย.) ได้ใช้เครื่องวัดของบริษัทผู้ติดตั้ง (STS) และในการวัดครั้งที่ 2 (12 มิ.ย.) ได้ใช้เครื่องวัดของภาควิชาวิศวกรรมโยธาและของบริษัทผู้ติดตั้งโดยได้มีการปรับแก้ให้ตรงกันจากนั้นได้ใช้เครื่องวัดของภาควิชาวิศวกรรมโยธาตลอดระยะเวลาในการบันทึกผล

สำหรับ Piezometer ได้เริ่มมีการติดตั้งเมื่อวันที่ 4 มิ.ย. 2541 โดยเป็นการติดตั้งของ Piezometer P4 และวันที่ 5 มิ.ย. เป็นการติดตั้งของ Piezometer P2 และ P3 , วันที่ 6 มิ.ย. เป็นการติดตั้งของ Piezometer P1 และ P6 และวันที่ 7 มิ.ย.เป็นการติดตั้งของ Piezometer P5 ในการบันทึกผลได้เริ่มมีการบันทึกผลครั้งแรกของ Piezometer แต่ละตัวหลังจากที่ได้มีการติดตั้งเสร็จ หลังจากนั้นก็ได้มีการบันทึกผลครั้งต่อไปเมื่อวันที่ 11 มิ.ย. หลังจากที่ได้มีการถมบดอัดดินไปแล้ว 1.00 เมตรเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นก็จะทำการบันทึกผลตรงกับวันที่มีการวัด Inclinometer โดยได้ใช้ระยะเวลาในการบันทึกผลทั้งสิ้น 106 วัน

วันที่ของการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มทำการถมบดอัดดิน และวันที่ที่เริ่มมีการบันทึกผลของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้น (Initial Reading) จนถึงวันที่มีการบันทึกผลครั้งสุดท้ายได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงวันที่ในการก่อสร้างและการบันทึกผลของเครื่องมือทางธรณีเทคนิคต่างๆ

วันที่	จำนวนวัน	ความสูงของดินถม (m.)	การบันทึกผลของเครื่องมือทางธรณีเทคนิค							
			Strain Gauges	Inclinometers	Piezometers					
					P1	P2	P3	P4	P5	P6
30/5/41	1	0.00	I.R.	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.50	↓	-	-	-	-	-	-	-
4/6/41	6	0.50	-	-	-	-	-	I.R.	-	-
5/6/41	7	0.50	-	-	-	I.R.	I.R.	-	-	-
6/6/41	8	0.50	-	-	I.R.	-	-	-	-	I.R.
7/6/41	9	0.50	-	-	-	-	-	-	I.R.	-
9/6/41	11	1.00	↓	I.R.	-	-	-	-	-	-
11/6/41	13	1.00	-	-	↓	↓	↓	↓	↓	↓
12/6/41	14	1.30	-	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
13/6/41	15	1.60	-	-	-	-	-	-	-	-
15/6/41	17	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
16/6/41	18	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
17/6/41	19	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
25/6/41	27	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2/7/41	34	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
9/7/41	41	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
16/7/41	48	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
23/7/41	55	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
30/7/41	62	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
6/8/41	69	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
13/8/41	76	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
20/8/41	83	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
27/8/41	90	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
3/9/41	97	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
24/9/41	118	2.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Remark : I.R. = Initial Reading , ↓ = วันที่มีการบันทึกผล , - = วันที่ไม่ได้มีการบันทึกผล