

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการเจาะสำรวจและการทดลองในห้องปฏิบัติการ

จากการเจาะสำรวจดินจำนวน 4 หลุมของแปลงทดสอบ TS-1 , TS-2 และ TS-3 และการนำดินตัวอย่างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถรวบรวมและสรุปคุณสมบัติต่างๆ ของชั้นดินได้โดยจะแยกสรุปตามลักษณะของการมีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมและไม่มีแผ่นใยสังเคราะห์เสริม ความแข็งแรง ดังนี้

1. หลุมเจาะสำรวจที่ 1 (BH-1) ซึ่งเป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-1 และเป็นบริเวณที่ไม่มีเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Unreinforced Embankment)
2. หลุมเจาะสำรวจที่ 2 (BH-2) เป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-2 และเป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์เพียงชั้นเดียวด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดทนแรงดึงสูงแบบถักทอ (Single Layer Reinforced Embankment with High Strength Woven Geotextile)
3. หลุมเจาะสำรวจที่ 3 และ 4 (BH-3 และ BH-4) เป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-3 และเป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จำนวน 3 ชั้นด้วยแผ่นใยสังเคราะห์แบบไม่ถักทอและแบบผสมระหว่างถักทอและไม่ถักทอ (3-Layers Reinforced Embankment with Nonwoven Geotextiles and Composite Geotextile)

ในการเลือกตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจของแปลงทดสอบ TS-2 (BH-2) ได้เลือกตรงบริเวณที่เกิดการพังทลาย ส่วนตำแหน่งหลุมเจาะของแปลงทดสอบ TS-1 (BH-1) ได้เลือกตรงตำแหน่งที่ห่างจากหลุมเจาะ BH-2 เป็นระยะทางประมาณ 30 เมตร และสำหรับแปลงทดสอบ TS-3 (BH-3 และ BH-4) ได้เลือกตำแหน่งของหลุมเจาะตรงบริเวณที่ใกล้ๆ กับที่เกิดการพังทลายมากที่สุด โดยได้เจาะหลังจากที่เกิดการพังทลายแล้วประมาณ 1 เดือน

4.1.1 คุณสมบัติของดินบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Unreinforced Embankment)

ที่จุดนี้จะเป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-1 และเป็นบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ โดยได้มีการเจาะสำรวจจำนวน 1 หลุมคือ BH-1 ซึ่งเริ่มทำการเจาะหลังจากที่ขุดเอาดินถมออกไปแล้วประมาณ 2 เมตร ผลการเจาะสำรวจพบว่าที่ระดับ 2.50 - 8.50 เมตรจากระดับชั้นบนดินถมจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนสีเทาดำมีค่า Undrained Shear Strength, S_u ประมาณ 1.4 - 1.7 t/m^2 และมีค่าหน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight, γ_t) ประมาณ 1.6 - 1.7 t/m^3 จากนั้นก็จะ เป็นชั้นดินเหนียวแข็งสีเทาปนเหลืองตั้งแต่ว่าระดับ 8.50 เมตรจนถึงจุดสิ้นสุดการเจาะสำรวจ ค่า Water Content ของดินทั้ง 2 ชั้นจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50 - 64% ต่ำกว่า Liquid Limit ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 65 - 75% และจากการทดสอบหาคุณสมบัติการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนพบว่า มีค่า Compression Ratio ประมาณ 0.25 และมีค่า OCR ประมาณ 2.0 รายละเอียดต่างๆ ของผลการเจาะสำรวจของหลุมเจาะที่ 1 และผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

4.1.2 คุณสมบัติของดินบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว (Single Layer Reinforced Embankment)

ที่จุดนี้เป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-2 เป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียวได้มีการเจาะสำรวจ 1 หลุมคือ BH-2 โดยเจาะห่างจาก BH-1 ประมาณ 30 เมตร และเริ่มเจาะที่ระดับเดียวกับ BH-1 คือที่ระดับ 2.0 เมตรจากระดับบนดินถม ผลการเจาะสำรวจพบว่าลักษณะของชั้นดินจะเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากสีเทาดำหนาประมาณ 5 เมตรจากระดับดินเดิมหรือที่ระดับ 2.50 - 7.50 เมตร จากระดับบนดินถม มีค่า S_u ประมาณ 0.7 - 2.3 t/m^2 , มีค่า γ_t ประมาณ 1.6 - 1.7 t/m^3 และมีค่า Water Content อยู่ในช่วง 55 - 64% มีค่า Liquid Limit อยู่ใน ช่วง 60 - 78% จากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางสีเทาปนน้ำตาลมีก้อนกรวดปะปนอยู่ด้วยที่ระดับ 8.00 - 8.50 เมตร จากระดับดินถมมีค่า S_u ประมาณ 3.15 t/m^2 , มีค่า γ_t ประมาณ 2.0 t/m^3 และมีค่า Water Content ประมาณ 25% มีค่า Liquid Limit ประมาณ 54% และจากผลการ

ทดสอบหาคุณสมบัติการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนพบว่า มีค่า Compression Ratio ประมาณ 0.24 และมีค่า OCR ประมาณ 3.3 รายละเอียดเพิ่มเติมได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

4.1.3 คุณสมบัติของดินบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น

(3-Layers Reinforced Embankment)

ที่จุดนี้จะเป็นตำแหน่งของแปลงทดสอบ TS-3 และเป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้นเพียงครั้งเดียว ได้ทำการเจาะสำรวจจำนวน 2 หลุม คือ BH-3 และ BH-4 ระยะห่างกันประมาณ 100 เมตร โดยเริ่มเจาะที่ระดับผิวถนน (Top of Embankment) ซึ่งผลการเจาะสำรวจของ BH-3 พบว่าที่ระดับ 2.50 - 7.00 เมตร จะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมากที่สุดหาค่า มีค่า S_u ประมาณ 0.5 - 0.6 t/m^2 และมีค่า γ_t ประมาณ 1.3 - 1.5 t/m^3 และที่ระดับ 7.00 - 10.00 เมตร จะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางสีเทาปนน้ำตาล โดยได้เก็บตัวอย่างดินมาเพียงตัวอย่างเดียวมีค่า S_u ประมาณ 2.6 t/m^2 มีค่า γ_t ประมาณ 1.9 t/m^3 และจากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งซึ่งไม่ได้มีการเก็บตัวอย่างดิน แต่ได้มีการทำ SPT โดยสามารถวัดค่าได้ประมาณ 11 - 14 blows/ft และต่อจากชั้นดินเหนียวแข็งจะเป็นชั้นทรายแน่นปานกลางถึงแน่นมากสีน้ำตาลวัดค่า SPT ได้ประมาณ 16 - 50 blows/ft ตั้งแต่ระดับ 10.00 เมตร จนถึงจุดสิ้นสุดการเจาะสำรวจ

สำหรับผลการเจาะสำรวจของ BH-4 พบว่าที่ระดับ 2.50 - 7.50 เมตร จากระดับดินถมจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมากที่สุดหาค่า มีค่า S_u ประมาณ 0.6 - 1.0 t/m^2 มีค่า γ_t ประมาณ 1.4 - 1.8 t/m^3 และได้มีการทำ SPT ในชั้นดินเหนียวอ่อนด้วยโดยสามารถวัดได้ประมาณ 2 blows/ft และที่ระดับ 7.50 - 10.00 เมตร จะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งสีเทาสามารถวัดค่า SPT ได้ประมาณ 8 - 12 blows/ft ต่อจากนั้นก็จะเป็นชั้นดินดานมีหินผุปะปนอยู่ด้วย วัดค่า SPT ได้ประมาณ 36 blows/ft รายละเอียดเพิ่มเติมของผลการเจาะสำรวจของ BH-3 และ BH-4 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 , รูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างดินของ BH-1 (TS-1)

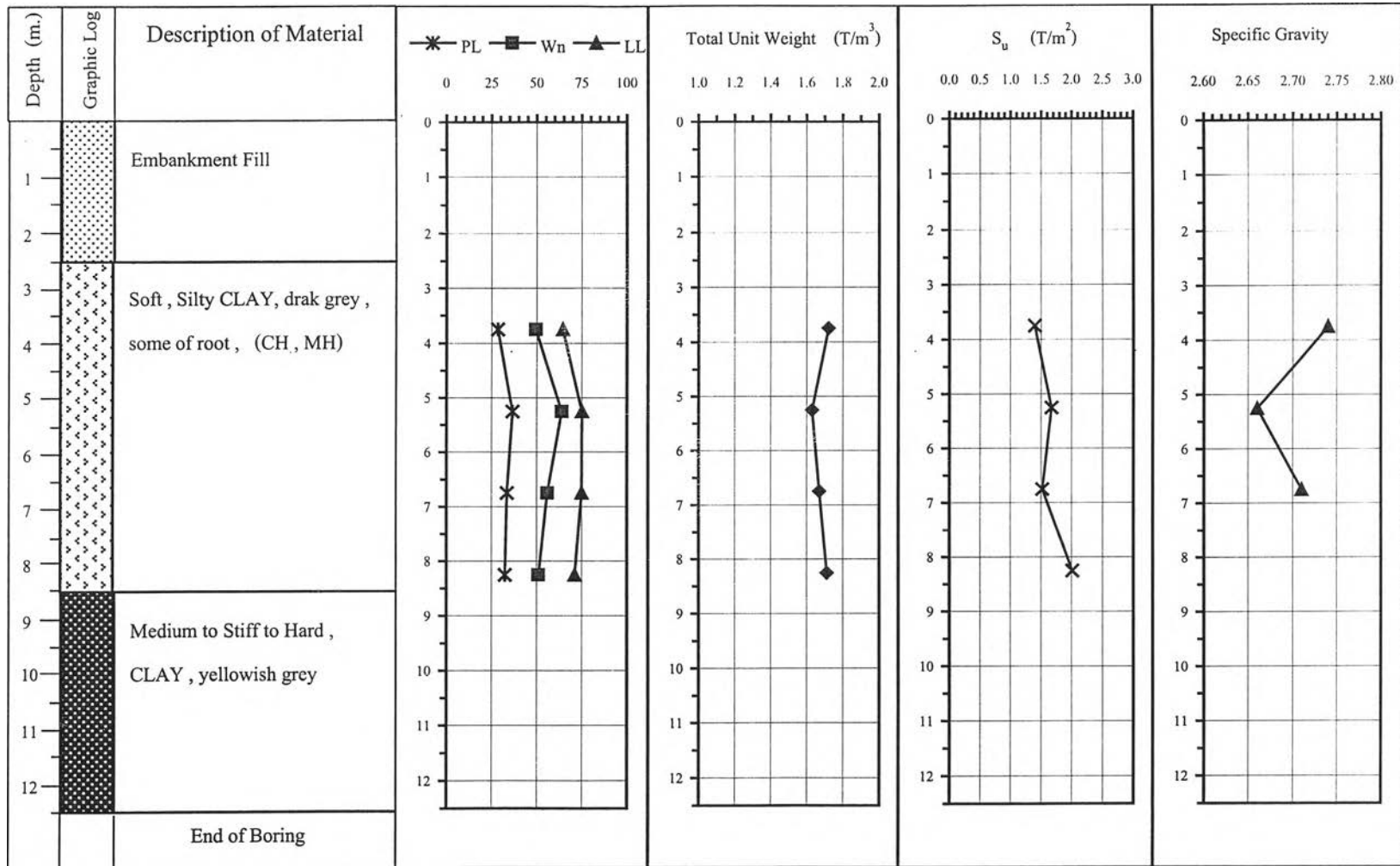
Project : Full Scale Field Test of Embankment

Location : Unreinforced Embankment

Boring No. : BH-1

Test By :

Sample No.	Depth from Top of Embankment (m.)	Water Content (%)	Atterberg's Limit			Total Unit Weight (t/m^3)	Classification	UU test S_u (t/m^2)	Specific Gravity	Consolidation Test			
			LL (%)	PL (%)	PI (%)					e_0	$\frac{c_c}{1 + e_0}$	σ_{pm} (t/m^2)	OCR
ST-1	3.50-4.00	49.36	64.5	28.4	36.1	1.72	CH	1.40	2.74	1.582	0.27	8.0	2.96
ST-2	5.00-5.50	63.92	75.1	36.7	38.4	1.63	MH	1.67	2.66	1.553	0.26	6.4	1.83
ST-3	6.50-7.00	55.81	74.9	33.5	41.4	1.67	CH	1.52	2.71	1.568	0.21	5.5	1.28
ST-4	8.00-8.50	50.93	71.0	32.4	38.6	1.71	CH	2.01	-	-	-	-	-



รูปที่ 4.1 แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 1 (BH-1) ของแปลงทดสอบ TS-1 ตรงบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ และไม่เกิดการพังทลายของดินถม โดยที่ดินถมมีความสูง 2.00 เมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างดินของ BH-2 (TS-2)

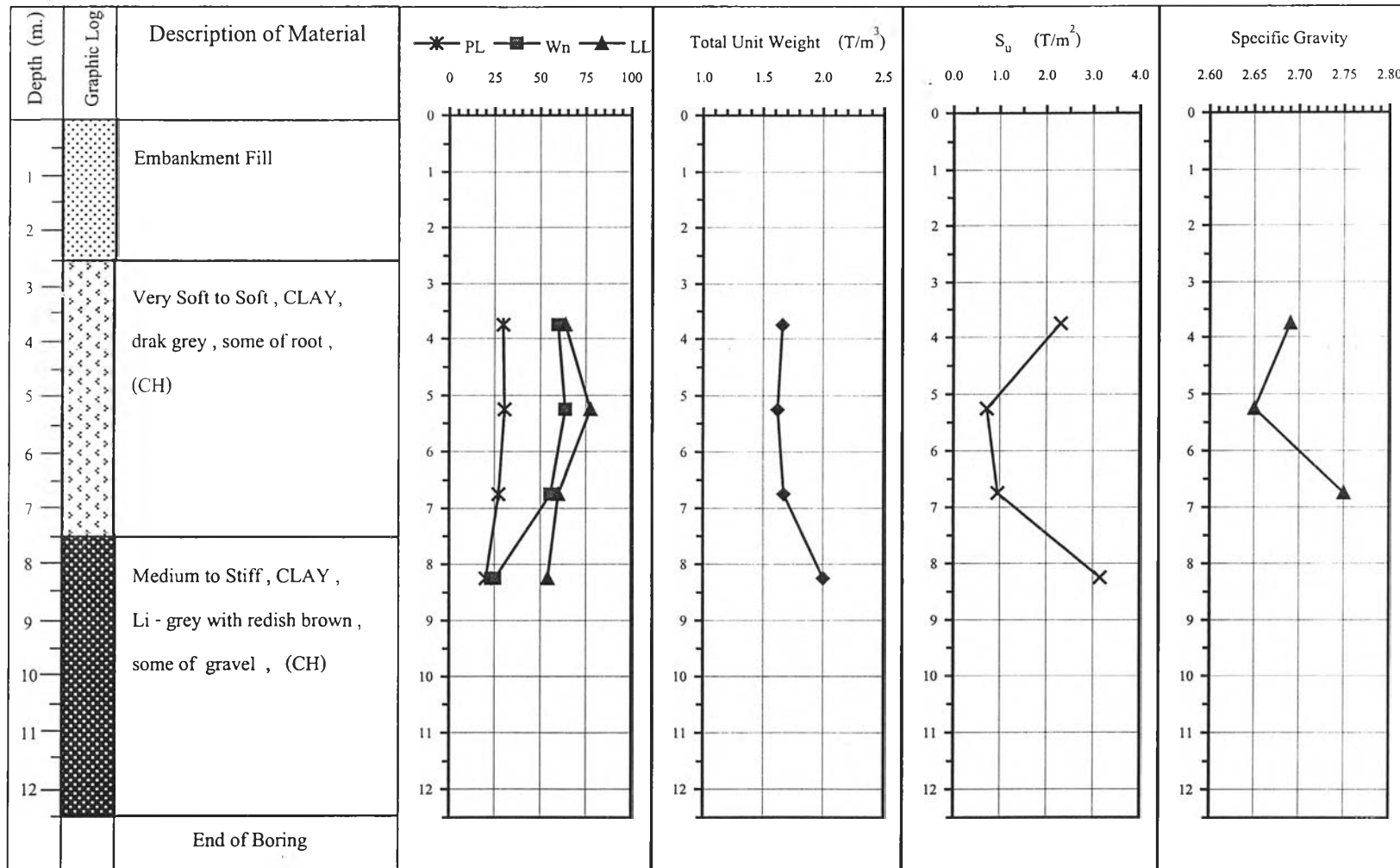
Project : Full Scale Field Test of Embankment

Location : 1-Layer Reinforced Embankment

Boring No. : BH-2

Test By :

Sample No.	Depth from Top of Embankment (m.)	Water Content (%)	Atterberg's Limit			Total Unit Weight (t/m^3)	Classification	UU test S_u (t/m^2)	Specific Gravity	Consolidation Test			
			LL (%)	PL (%)	PI (%)					e_0	$\frac{c_c}{1 + e_0}$	σ_{pm} (t/m^2)	OCR
ST-1	3.50-4.00	59.57	63.5	29.6	33.9	1.66	CH	2.30	2.69	1.215	0.14	10.0	4.00
ST-2	5.00-5.50	63.52	77.5	30.4	47.1	1.62	CH	0.72	2.65	1.692	0.28	10.5	3.18
ST-3	6.50-7.00	55.56	59.8	27.1	32.7	1.67	CH	0.95	2.75	1.725	0.31	11.4	2.78
ST-4	8.00-8.50	25.03	54.0	20.1	33.9	2.00	CH	3.15	-	-	-	-	-



รูปที่ 4.2 แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 2 (BH-2) ของแปลงทดสอบ TS-2 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์

เพียงชั้นเดียวและไม่เกิดการบีบอัดของดินถม โดยที่ดินถมมีความสูง 2.00 เมตร

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างดินของ BH-3 (TS-3)

Project : Full Scale Field Test of Embankment Location : 3 Layers Reinforced Embankment

Boring No. : BH-3

Test By :

Sample No.	Depth from Top of Embankment (m.)	Water Content (%)	Atterberg's Limit			Total Unit Weight (t/m^3)	Classification	UU test S_u (t/m^2)
			LL (%)	PL (%)	PI (%)			
ST-1	1.50-2.00	30.86	66.2	35.8	30.4	1.80	MH	2.00
ST-2	3.00-3.50	74.47	77.2	30.0	47.2	1.50	CH	0.61
ST-3	4.50-5.00	144.3	104.0	46.1	57.9	1.32	MH	0.48
ST-4	6.00-6.50	72.4	76.5	33.8	42.7	1.45	CH	0.62
ST-5	7.50-8.00	30.48	72.8	26.4	46.4	1.88	CH	2.60

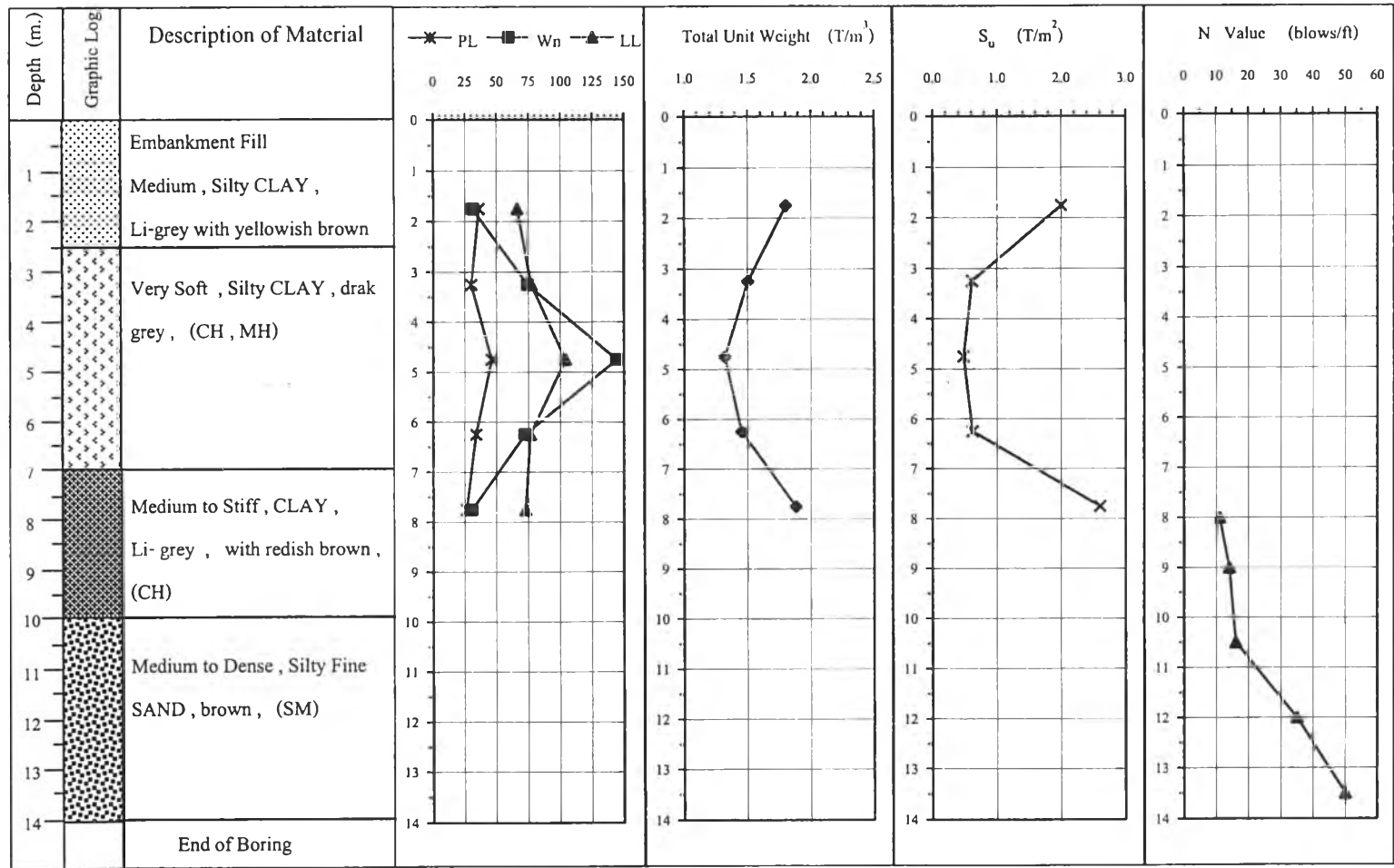
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างดินของ BH-4 (TS-3)

Project : Full Scale Field Test of Embankment Location : 3-Layers Reinforced Embankment

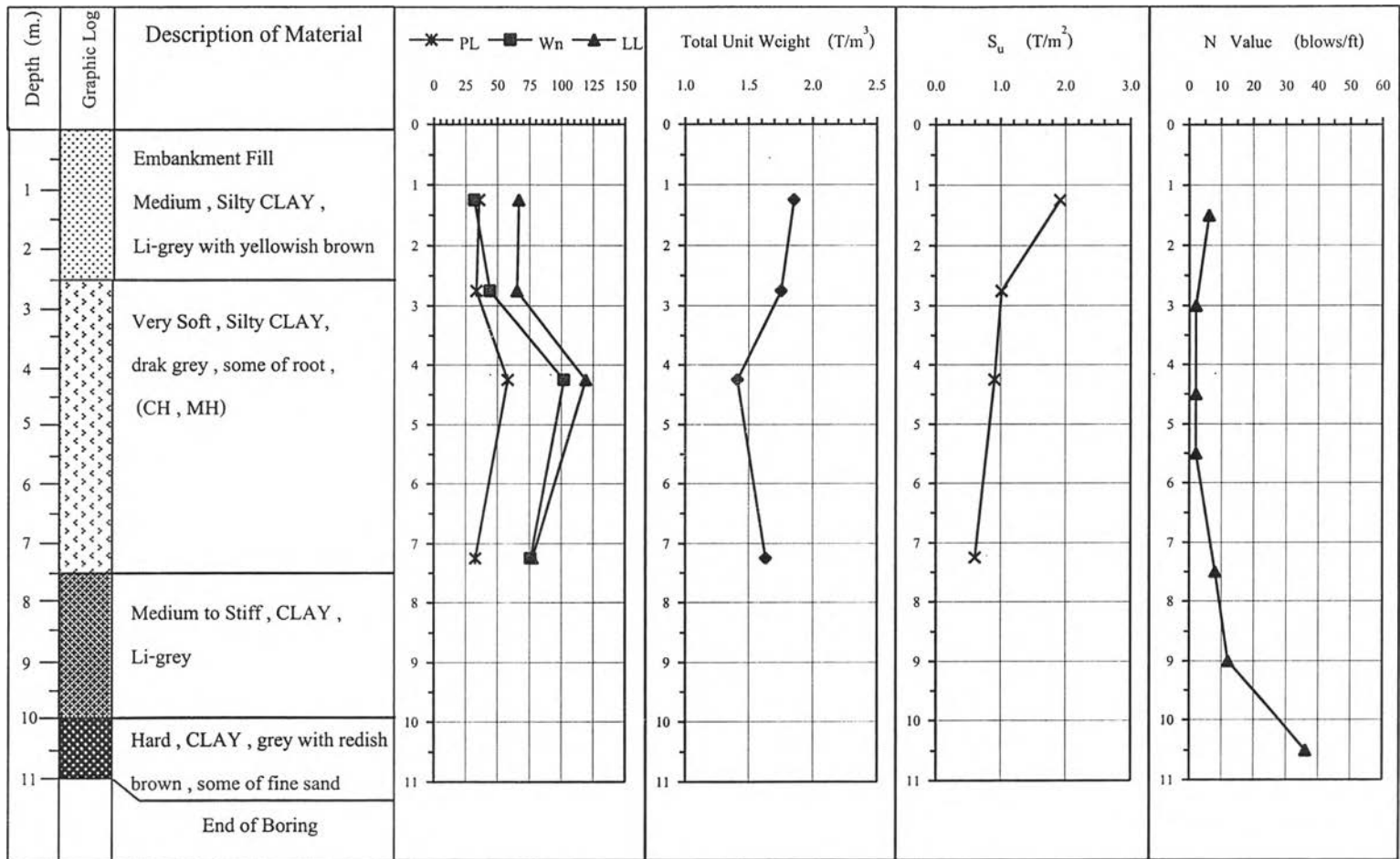
Boring No. : BH-4

Test By :

Sample No.	Depth from Top of Embankment (m.)	Water Content (%)	Atterberg's Limit			Total Unit Weight (t/m^3)	Classification	UU test S_u (t/m^2)	N Value (blows/ft)
			LL (%)	PL (%)	PI (%)				
ST-1	1.00-1.50	31.67	66.4	35.3	31.1	1.85	MH	1.91	6
ST-2	2.50-3.00	43.91	64.9	33.3	31.6	1.75	MH	1.01	2
ST-3	4.00-4.50	101.92	119.0	57.7	61.3	1.41	MH	0.90	2
ST-4	7.00-7.50	75.91	77.2	32.7	44.5	1.63	CH	0.60	8



รูปที่ 4.3 แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 3 (BH-3) ของแปลงทดสอบ TS-3 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น และเกิดการพิบัติของดินถมเมื่อดินถมมีความสูง 3.20 เมตร โดยในการเจาะหลุมสำรวจนี้ได้เจาะสำรวจหลังจากที่ดินถมได้เกิดการพังทลายครั้งแรกแล้ว



รูปที่ 4.4 แสดงผลการเจาะสำรวจดินของหลุมเจาะที่ 4 (BH-4) ของแปลงทดสอบ TS-3 ตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น และเกิดการพิบัติของดินถมเมื่อดินถมมีความสูง 3.20 เมตร โดยได้เจาะหลุมสำรวจตรงบริเวณที่ใกล้กับที่ดินถมเกิดการพังทลายครั้งแรก

จากผลการเจาะสำรวจของ BH-3 และ BH-4 จะสังเกตเห็นว่าที่ระดับ 3.00 - 7.00 เมตร จะมีค่า Water Content เกือบเท่ากับ Liquid Limit โดยเฉพาะที่ระดับ 4.50 - 5.00 เมตร จะมีค่า Water Content มากกว่า 100% และสูงกว่า Liquid Limit ใน BH-3 นอกจากนี้ยังมีค่า PI สูงถึง 60% ซึ่งแสดงว่าสภาพดินจะเป็นดินเหนียวอ่อนมากจึงอาจจะเป็นสาเหตุของการบีบอัดได้

4.1.4 คุณสมบัติของดินถม (Embankment Fill)

เนื่องจากหลุมเจาะที่ 1 และ 2 ไม่ได้เริ่มเจาะที่ระดับดินถมดังนั้นจึงไม่มีข้อมูลของระดับดินถมที่จุดนี้ แต่สามารถใช้ข้อมูลของดินถมของหลุมเจาะที่ 3 และ 4 ได้ เนื่องจากเป็นดินถมที่นำมาจากแหล่งเดียวกัน โดยหลุมเจาะที่ 3 พบว่าที่ระดับ 1.00 - 2.50 เมตร ซึ่งเป็นชั้นของดินถมจะเป็นดินเหนียวสีเทาปนน้ำตาลเหลืองมีค่า S_u ประมาณ 2.0 t/m^2 และมีค่า γ_t ประมาณ 1.8 t/m^3

สำหรับ BH-4 ที่ระดับ 0.00 - 2.50 เมตร พบว่าดินถมเป็นดินเหนียวสีเทาปนน้ำตาลเหลืองเช่นเดียวกัน มีค่า S_u ประมาณ 1.9 t/m^2 และมีค่า γ_t ประมาณ 1.85 t/m^3 รายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ของดินถมของ BH-3 และ BH-4 ได้แสดงไว้ในตารางและรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลในสนามและการวิเคราะห์ผล

การก่อสร้างดินถมได้ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 16 วัน เพื่อถมดินขึ้นมาสูง 2.00 เมตร และเวลาที่เริ่มวัด Strain Gauge ได้เริ่มจากเวลาก่อสร้าง ส่วน Piezometer และ Inclinator ได้เริ่มวัดหลังจากที่ได้มีการก่อสร้างถมดินไปแล้ว 0.5 เมตร และ 1.00 เมตร ตามลำดับ

4.2.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Strain Gauge

วัตถุประสงค์ของการติดตั้ง Strain Gauge บนแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อที่จะวัดการยึดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์ขณะที่มีน้ำหนักกระทำ จำนวน Strain Gauge ที่ติดตั้งทั้งหมด 14 ตัว แบ่งเป็น 2 แนว ๆ ละ 7 ตัว โดยแนวที่ 1 ได้ติดตั้งที่กึ่งกลางของแผ่นใยสังเคราะห์และแนวที่ 2 ติดที่บริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ โดย Strain Gauge แต่ละตัวจะเว้นระยะห่างกัน 1.00 เมตร ยก

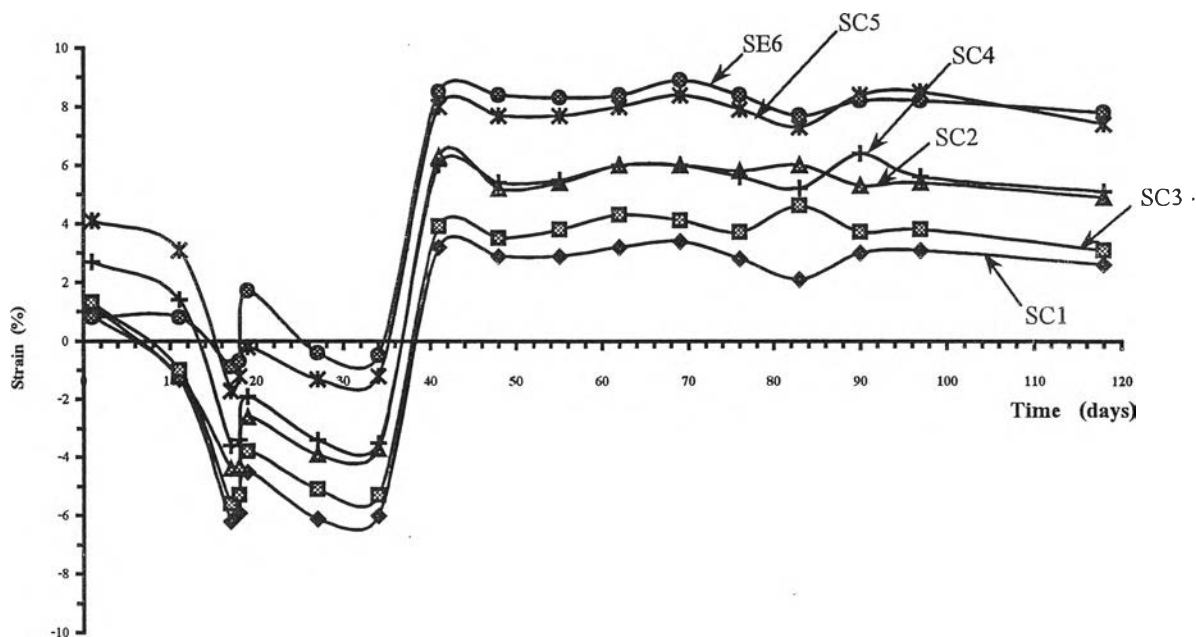
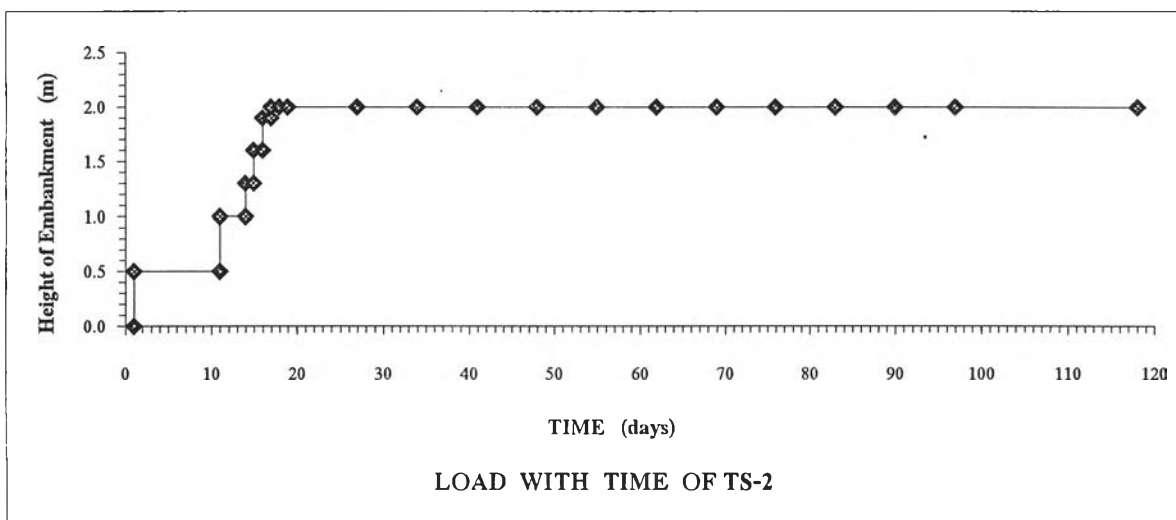
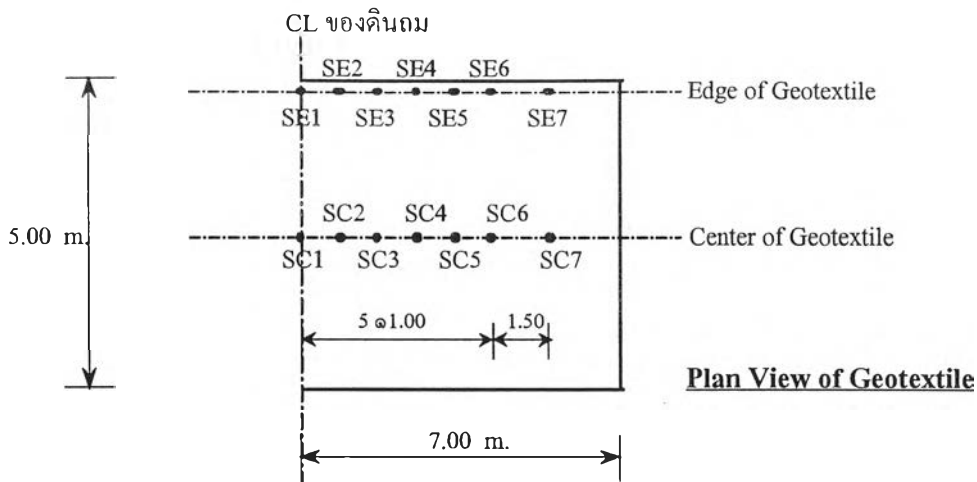
เว้นตัวสุดท้าย (SC7 และ SE7) ที่เว้นระยะห่าง 1.50 เมตร รูปแบบของการติดตั้ง Strain Gauge ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 และ 3.11

หลังจากได้มีการถมดินและบดอัดสูงประมาณ 0.50 เมตร ได้มี Strain Gauge ที่เสียไปจำนวน 8 ตัวที่ไม่สามารถใช้งานได้ โดย Strain Gauge ที่ติดที่ขอบของแผ่นใยสังเคราะห์จะเสียไปจำนวน 6 ตัวคือ 5 ตัวแรกและตัวสุดท้าย (SE1 - SE5 และ SE7) เหลือตัวที่ 6 (SE6) ที่สามารถใช้งานได้เพียงตัวเดียว ส่วนที่กึ่งกลางแผ่นใยสังเคราะห์จะเสียไป 2 ตัวสุดท้าย คือตัวที่ 6 และตัวที่ 7 (SC6 และ SC7) ดังนั้นจึงเหลือ Strain Gauge ที่สามารถใช้งานได้เพียง 6 ตัว คือ ที่กึ่งกลางแผ่นใยสังเคราะห์จำนวน 5 ตัว (SC1 - SC5) และที่ขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ 1 ตัว (SE6)

รูปที่ 4.5 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัด สำหรับรายละเอียดของผลการตรวจวัดค่า strain ของแผ่นใยสังเคราะห์ที่จุดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก-1 และ ก-2 ในภาคผนวก ก

ผลการตรวจวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นบนแผ่นใยสังเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาในการบันทึกผลทั้งสิ้น 118 วัน พบว่า Strain Gauge ที่ติดตรงบริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ ซึ่งเป็น Strain Gauge ตัวที่ 6 (SE6) ที่เหลืออยู่เพียงตัวเดียวสามารถวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดเท่ากับ 8.9% โดยสามารถวัดได้ในวันที่ 6/8/41 หรือ 69 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้างถมดิน นอกจากนี้ยังพบว่า Strain Gauge ที่ติดตรงบริเวณกึ่งกลางของแผ่นใยสังเคราะห์ซึ่งเป็น Strain Gauge ตัวที่ 5 (SC5) สามารถวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับ Strain Gauge ที่ติดตรงบริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ (SE6) โดยสามารถวัดค่า strain ที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 8.5% เมื่อวันที่ 3/9/41 หรือ 97 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้างถมดิน

จากผลการตรวจวัดนี้จะสังเกตเห็นว่า Strain Gauge ที่ติดตรงบริเวณ slope ของดินถม (SC5, SE6) จะมีค่า strain เกิดขึ้นมากกว่า Strain Gauge ที่ติดตรงบริเวณ Center Line ของดินถม (SC1 - SC4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตรงบริเวณ slope ของดินถมจะเป็นจุดที่ critical ที่สุดและมีแรงดึงเกิดขึ้นมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่เกิดในแผ่นใยสังเคราะห์จะเกิด



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัวของแผ่นใยสังเคราะห์เทียบกับระยะเวลา

ตรงบริเวณ slope ของดินถมซึ่งตรงกับผลการทดลองในอดีตที่เคยมีผู้กระทำไว้ (J. Fowler, 1979 และ F.M. Duarte and G.S. Satterlee, 1989)

รูปที่ 4.6 เป็นกราฟที่แสดงค่า Stress-Strain ที่ได้จากการทดสอบหาค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นใยสังเคราะห์ (Ultimate Tensile Strength) โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Wide Width Tensile Test จะได้ว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่แผ่นใยสังเคราะห์สามารถรับได้จะมีค่าประมาณ 520 kN/m. โดยมีค่า max. strain ประมาณ 9.3% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่า strain ที่วัดได้ในสนามโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของ strain ที่วัดได้ในสนามของ Strain Gauge ที่ติดตั้งบริเวณขอบของแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีค่า strain ที่วัดได้มากที่สุด (SE6) โดยจะคิดเฉพาะค่าเป็นบวกได้ค่า strain เฉลี่ยเท่ากับ 8.3% ซึ่งจะตรงกับค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ประมาณ 485 kN/m. ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกับค่า Ultimate Tensile Strength ของแผ่นใยสังเคราะห์แสดงว่าแผ่นใยสังเคราะห์กำลังรับแรงดึงเกือบจะเต็มความสามารถของแผ่นใยสังเคราะห์ โดยมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่จะป้องกันการพิบัติแบบ Local Failure ได้เท่ากับ 1.07 เท่านั้นซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมาก แต่อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.5.3.1 ค่า strain ที่วัดได้ไม่สามารถเชื่อถือได้ว่าเป็นค่า strain ที่เกิดขึ้นจริงในแผ่นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดไม่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำเพียงพอ ดังนั้นค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ที่ได้จากค่า strain จึงอาจไม่ใช่ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นจริงในแผ่นใยสังเคราะห์ก็ได้

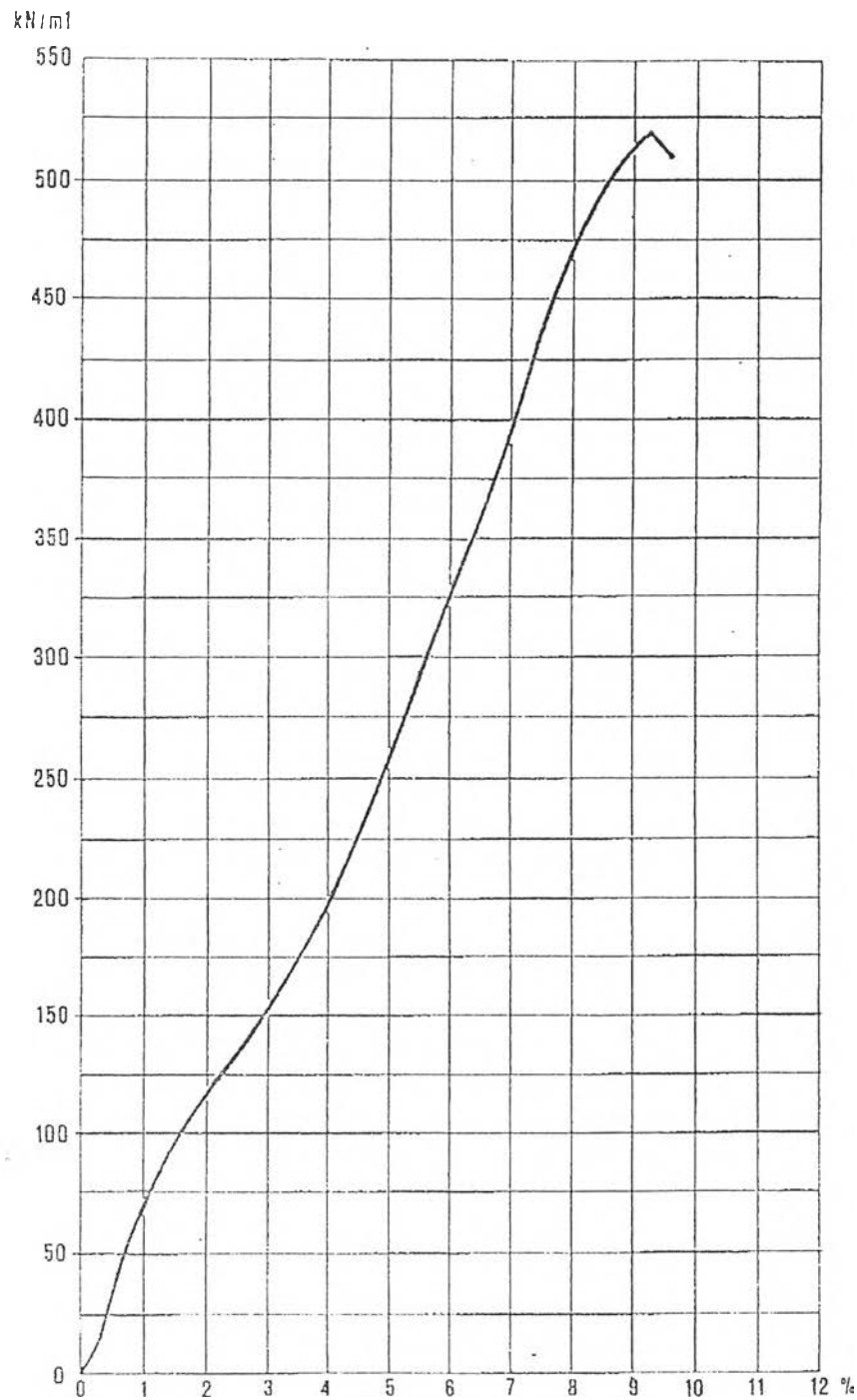
4.2.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Inclinometer

วัตถุประสงค์ของการติดตั้ง Inclinometer เพื่อที่จะวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน จำนวน Inclinometer ที่ติดตั้งทั้งหมดจำนวน 2 ตัว คือ I1 และ I2 โดยได้ติดตั้งที่แปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 เท่านั้น เพื่อเปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนระหว่างจุดที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์กับจุดที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 1 ชั้น โดยจะติดตั้งตรงตำแหน่งที่เจาะหลุมสำรวจ BH-1 และ BH-2 ตามลำดับ

GEOLON PETP 500/50 - R515

MEAN STRESS/STRAIN CURVE - WARP

TEST NO. B247



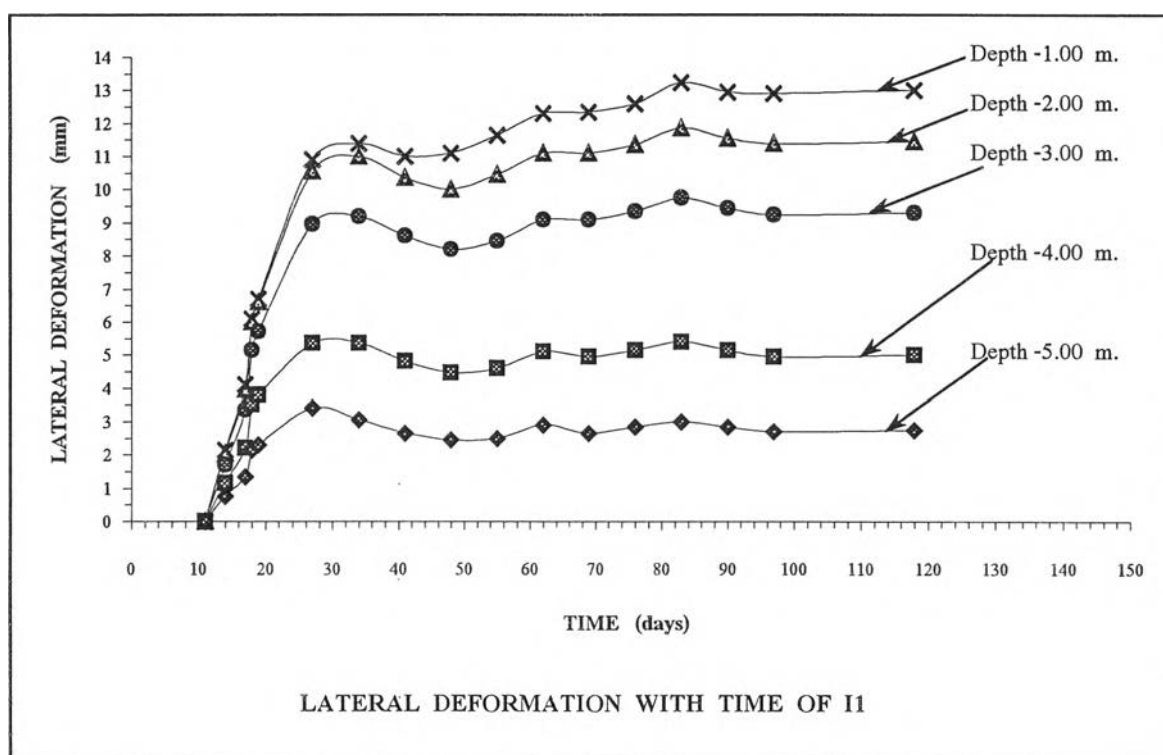
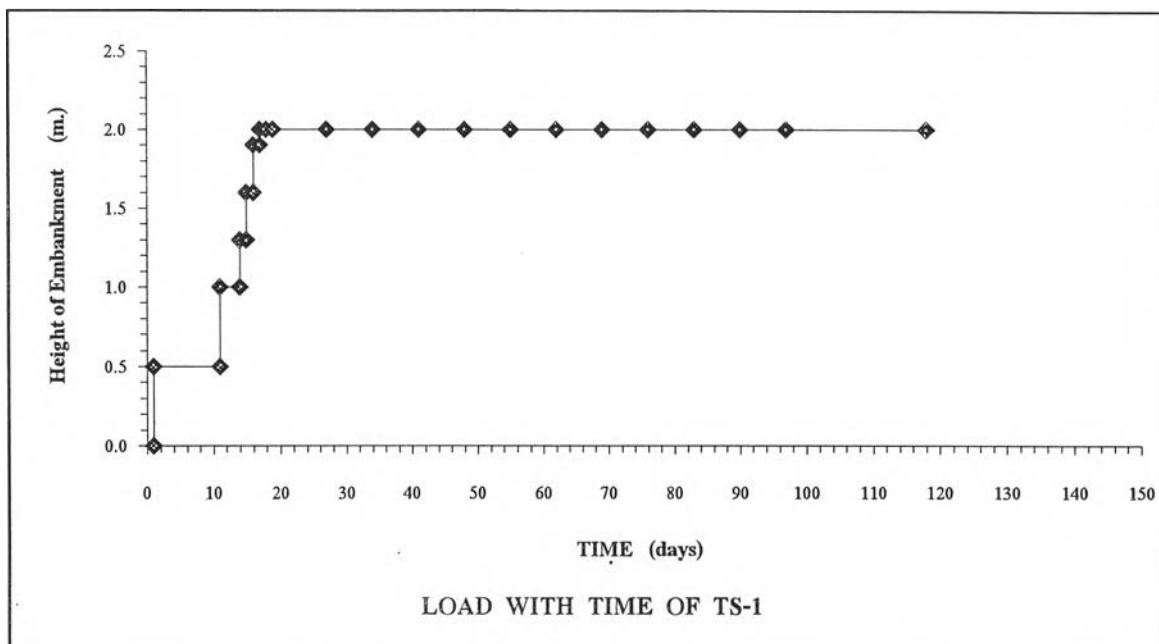
NICOLON

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของ Stress-Strain ที่ได้จากการทดสอบ Wide Width Tensile Strength เพื่อหาค่าความสามารถรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของแผ่นใยสังเคราะห์ชนิด PET 500/50

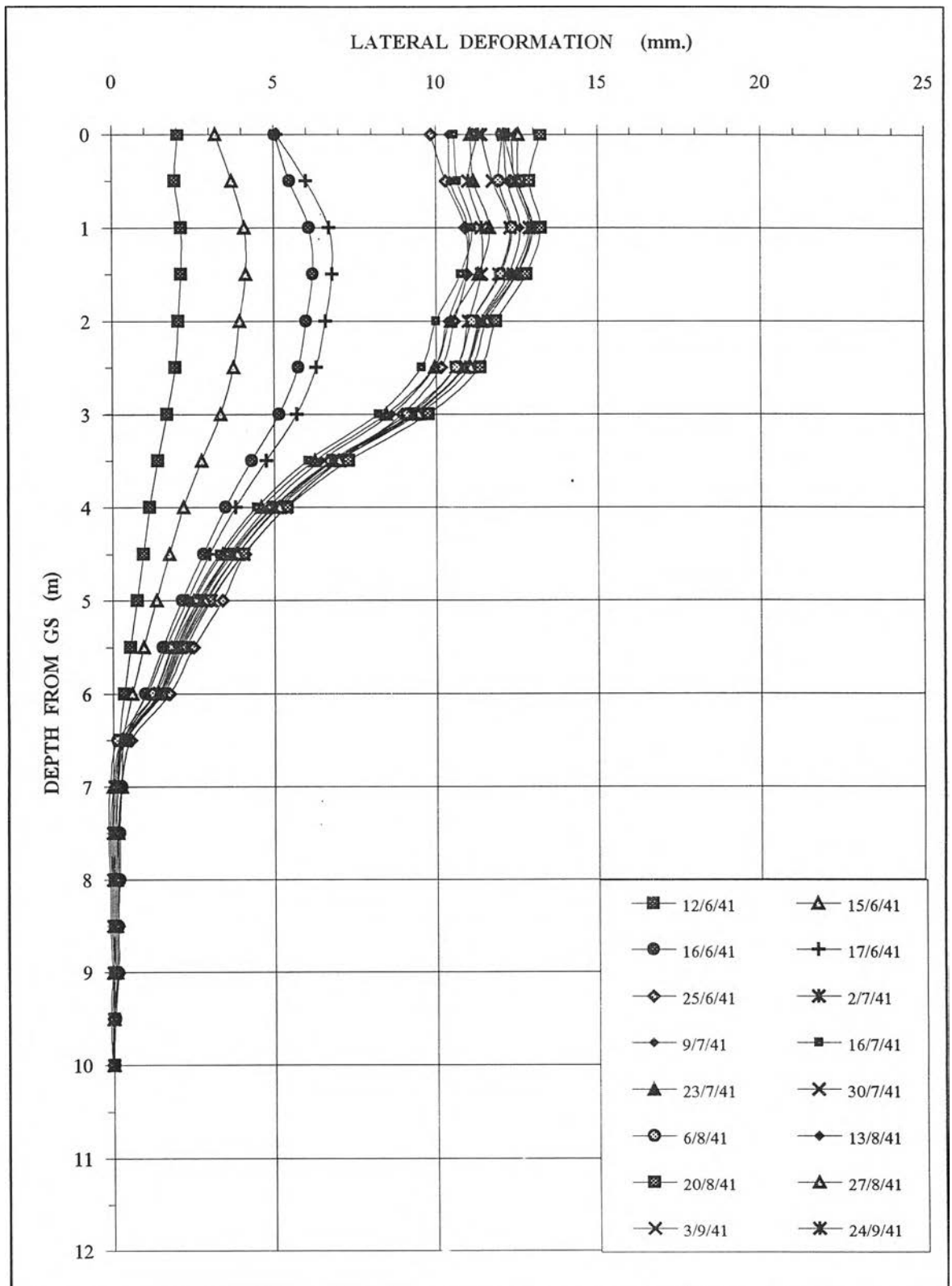
รูปที่ 4.7 และ 4.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนกับระยะเวลาที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 และ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนกับความลึกที่ระดับต่าง ๆ เทียบกับระดับดินเดิมของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ตามลำดับ รายละเอียดของผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก-3 และ ก-4 ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดพบว่า Inclinometer ตัวที่ 1 (I1, รูปที่ 4.7 และ 4.8) ที่ติดตั้งตรงบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (TS-1) มีการเคลื่อนตัวด้านข้างเกิดขึ้นมากที่สุดที่ระดับ 1.00 เมตรจากระดับดินเดิม โดยสามารถวัดได้ประมาณ 0.013 เมตร เมื่อวันที่ 20/8/41 หรือ 83 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้าง ส่วน Inclinometer ตัวที่ 2 (I2, รูปที่ 4.9 และ 4.10) ที่ติดตั้งตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (TS-2) วัดการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นมากที่สุดได้ประมาณ 0.023 เมตร โดยเกิดขึ้นที่ระดับ 4.00 เมตร จากระดับดินเดิม ซึ่งตรงกับวันที่ 20/8/41 หรือ 83 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้างเช่นเดียวกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการบันทึกผลทั้งสิ้น 108 วัน การเคลื่อนตัวของทั้งสองแปลงทดสอบก็หยุดนิ่ง

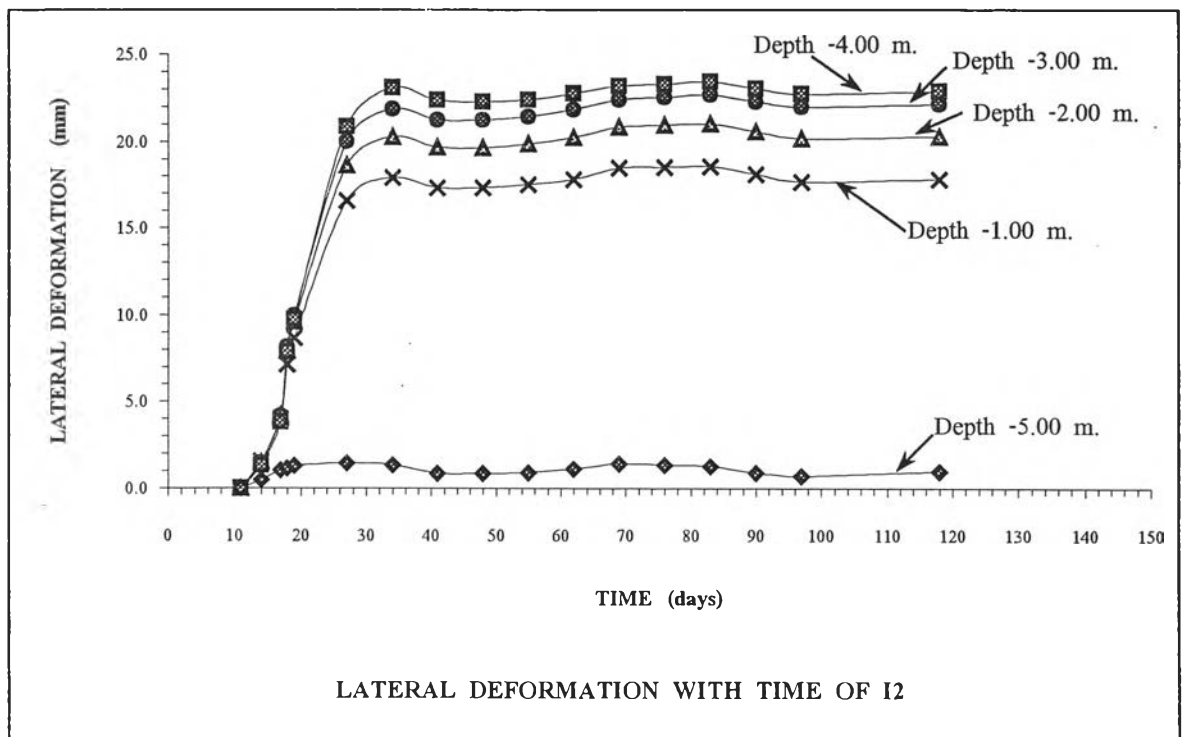
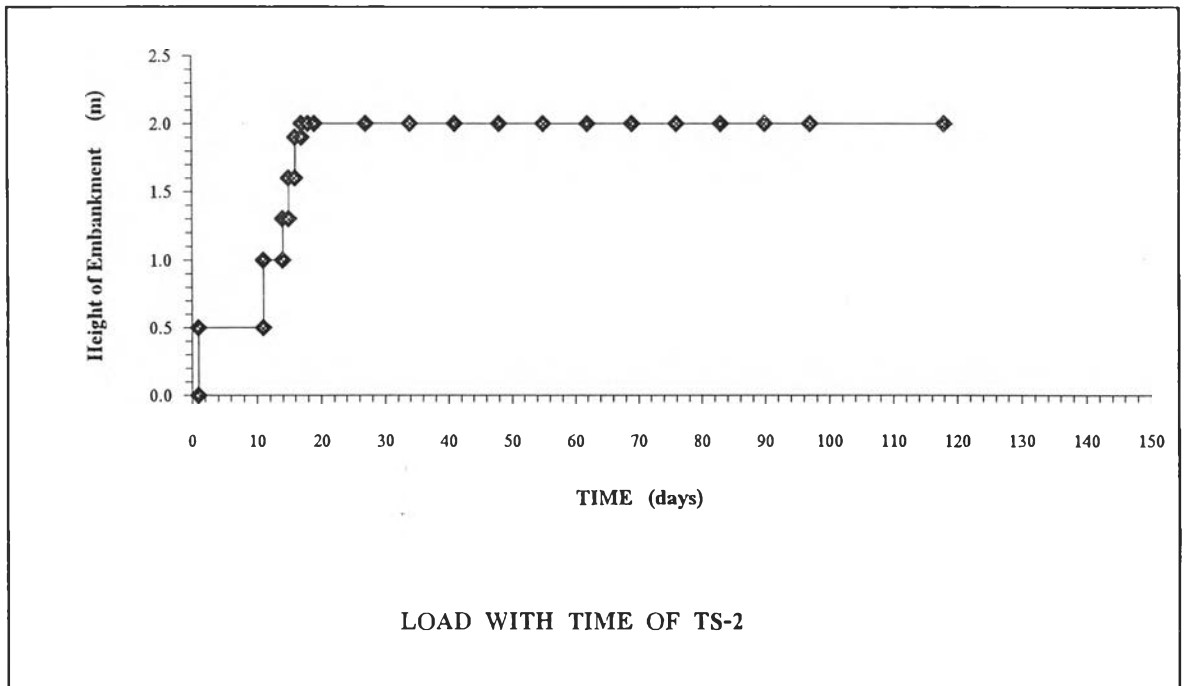
จากผลการตรวจวัดจะเห็นว่าที่แปลงทดสอบ TS-2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์จะเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนมากกว่าที่แปลงทดสอบ TS-1 ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ได้มีการเสริมความแข็งแรง ทั้งนี้เนื่องจากตรงบริเวณแปลงทดสอบ TS-2 ที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ได้เคยเกิดการพิบัติมาก่อนแล้วและแนวการเคลื่อนตัว (Slip Plane) ของชั้นดินเหนียวจึงไปตรงกับ slip plane เดิมที่เคยเกิดขึ้น นอกจากนี้ค่า Undrained Shear Strength ของชั้นดินทั้ง 2 บริเวณก็มีค่าแตกต่างกันมาก โดยตรงบริเวณที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่า Undrained Shear Strength ต่ำกว่าซึ่งอาจจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แปลงทดสอบ TS-2 มีค่าการเคลื่อนตัวที่มากกว่าแปลงทดสอบ TS-1 ซึ่งไม่ได้มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์



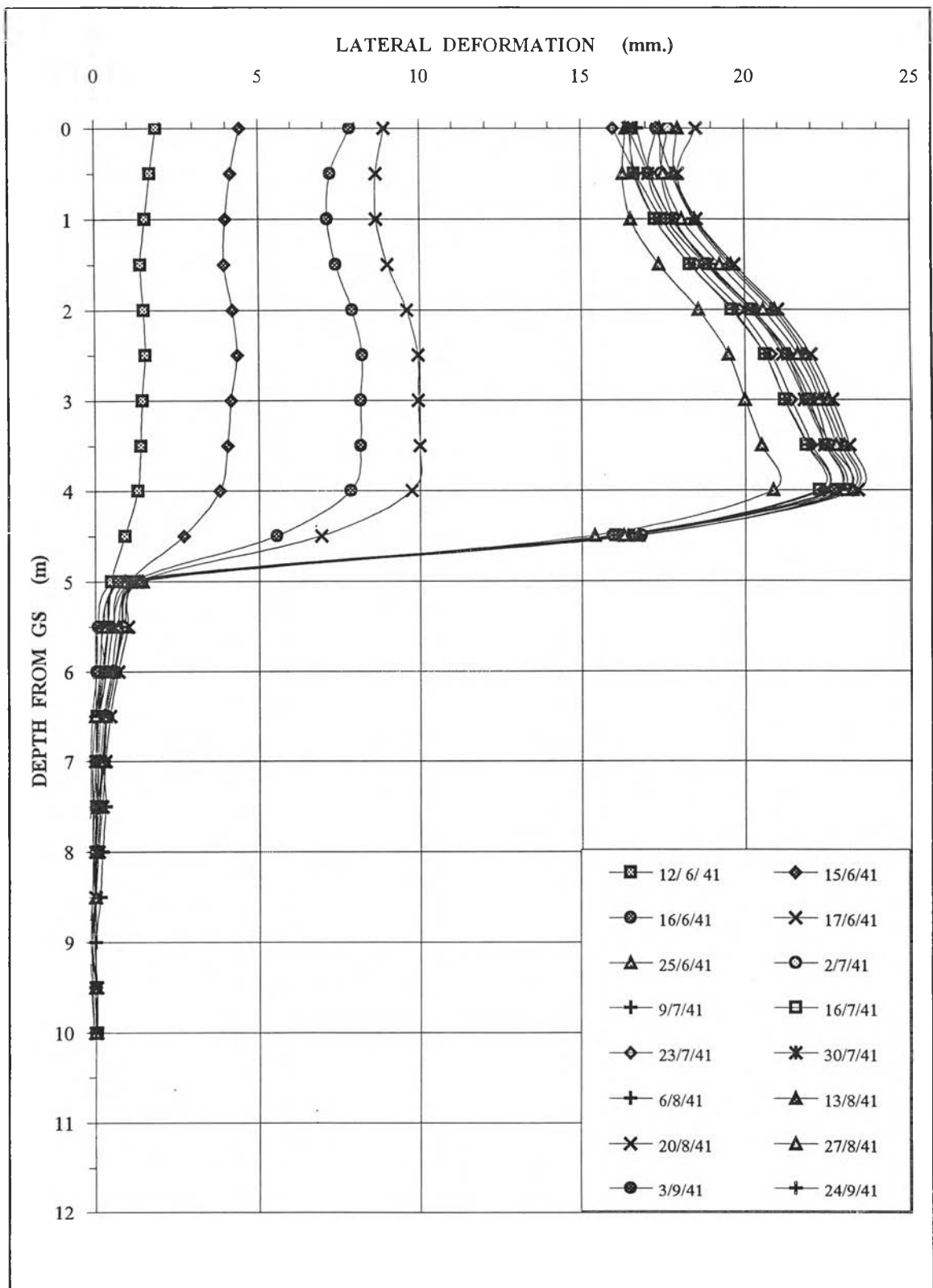
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับระยะเวลาที่ระดับความลึกต่างๆ ของแปลงทดสอบ TS-1 (I1)



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับความลึกของแปลงทดสอบ TS-1 (II)



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับระยะเวลาที่ระดับความลึกต่างๆ ของแปลงทดสอบ TS-2 (I2)



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนเทียบกับความลึกของแปลงทดสอบ TS-2 (12)

และจากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.7 และ 4.9 จะสังเกตเห็นว่าบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีอัตราการเคลื่อนตัวด้านข้างค่อนข้างคงที่หรือมีการเคลื่อนตัวเพียงเล็กน้อยหลังจากเสร็จสิ้นการก่อสร้างแล้ว แต่บริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีอัตราการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากสิ้นสุดการก่อสร้างแล้วและการเคลื่อนตัวได้หยุดนิ่งเมื่อระยะเวลาผ่านไปได้ประมาณ 80 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นใยสังเคราะห์สามารถช่วยให้การเคลื่อนตัวหยุดนิ่งเร็วขึ้น

นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าช่วงระยะเวลาที่เริ่มเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างมากที่สุดของแปลงทดสอบ TS-2 คือ 34 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้าง (รูปที่ 4.9) ซึ่งตรงกับวันที่ 2/7/41 (รูปที่ 4.10) และช่วงระยะเวลาที่เริ่มมีค่า strain เกิดขึ้นสูงสุดคือ 41 วันนับจากวันที่เริ่มก่อสร้าง (รูปที่ 4.5) ซึ่งตรงกับวันที่ 9/7/41 จะอยู่ในช่วงระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือหลังจากที่ชั้นดินเหนียวอ่อนเกิดการเคลื่อนตัวมากที่สุดแผ่นใยสังเคราะห์ก็จะเริ่มมีการยึดตัวเกิดขึ้น ซึ่งถ้าไม่มีแผ่นใยสังเคราะห์เสริมความแข็งแรงแล้วดินถมอาจจะเกิดการพิบัติก็เป็นได้ ดังนั้นจากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแผ่นใยสังเคราะห์ช่วยป้องกันการพิบัติของดินถมที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน

สำหรับแปลงทดสอบ TS-3 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้นเพียงครั้งเดียวโดยไม่ได้มีการติดตั้ง Inclinometer จึงไม่มีผลการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน แต่ที่แปลงทดสอบนี้ได้เกิดการพังทลายโดยจะเห็นรอยแตกบนชั้นดินถมเป็นทางยาวได้อย่างชัดเจนซึ่งรอยแตกนี้จะตรงกับแนวที่ได้มีการขุดเพื่อปูแผ่นใยสังเคราะห์หรือตรงบริเวณที่สิ้นสุดการปูแผ่นใยสังเคราะห์พอดี โดยสามารถวัดความกว้างของรอยแตกที่มากที่สุดได้ประมาณ 0.30 เมตร แสดงว่าชั้นดินเหนียวอ่อนได้มีการเคลื่อนตัวด้านข้างออกไปมากกว่า 0.30 เมตรเช่นเดียวกัน รูปลักษณะของการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11

H.G. Poulos (1967) ได้เสนอสูตร Elastic Solution ที่ใช้สำหรับประมาณค่าการเคลื่อนตัวในแนวระดับ (Horizontal Displacement) ของชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งจากการคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวสามารถหาค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 , TS-2 และ TS-3 เปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่วัดได้จริงในสนาม



รูปที่ 4.11 ลักษณะการพังทลายของแปลงทดสอบ TS-3 หลังการก่อสร้างเสร็จได้ 1 วัน

สำหรับแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนที่วัดได้จริงในสนามเกิดจากน้ำหนักของดินถมที่มีความสูง 1.00 เมตร เนื่องจากได้เริ่มมีการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนหลังจากที่ได้มีการถมและบดอัดดินไปแล้ว 1.00 เมตร ดังนั้นน้ำหนักต่อพื้นที่ (p) ที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 จะใช้น้ำหนักของดินถมที่มีความสูง 1.00 เมตร มาใช้ในการคำนวณ

และสำหรับแปลงทดสอบ TS-3 เนื่องจากไม่ได้มีการติดตั้ง Inclinometer ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อน จึงไม่มีค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนที่วัดได้จริงในสนามมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่สามารถนำมาคาดคะเนค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของชั้นดินเหนียวอ่อนได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการวัดรอยแตก (crack) บนผิวของชั้นดินถมที่เกิดจากการพิบัติ (รูปที่ 4.11)

จากการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ที่ได้จากการวัดจริงในสนาม (รูปที่ 4.8 และ 4.10) กับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution) ของ Poulos (รูปที่ 4.12 และ 4.13) จะเห็นว่าค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ที่ได้จากการวัดจริง (0.013 และ 0.023 เมตร ตามลำดับ) จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งสามารถคำนวณค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของชั้นดินเหนียวอ่อนได้ประมาณ 0.009 และ 0.017 เมตรสำหรับแปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 ตามลำดับ โดยเกิดขึ้นที่ระดับ 4.00 และ 3.00 เมตรจากระดับดินเดิมตามลำดับ และสำหรับแปลงทดสอบ TS-3 สามารถคำนวณค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของชั้นดินเหนียวอ่อนได้ประมาณ 0.175 เมตร โดยเกิดขึ้นที่ระดับประมาณ 2.00 เมตรจากระดับดินเดิม (รูปที่ 4.14) ซึ่งจะเห็นว่ามิต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากรอย crack ที่เกิดขึ้นบนผิวชั้นดินถม (0.30 เมตร) จากผลที่ได้นี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า สูตรการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนนี้จะให้ค่าที่น้อยกว่าค่าที่วัดได้จริงในสนาม

$$P = \gamma H = 1.8 \times 1.0 = 1.8 \text{ t/m}^2$$

$$h = 6.00 \text{ m.} \quad B = 12.00 \text{ m.} \quad h/B = 0.5$$

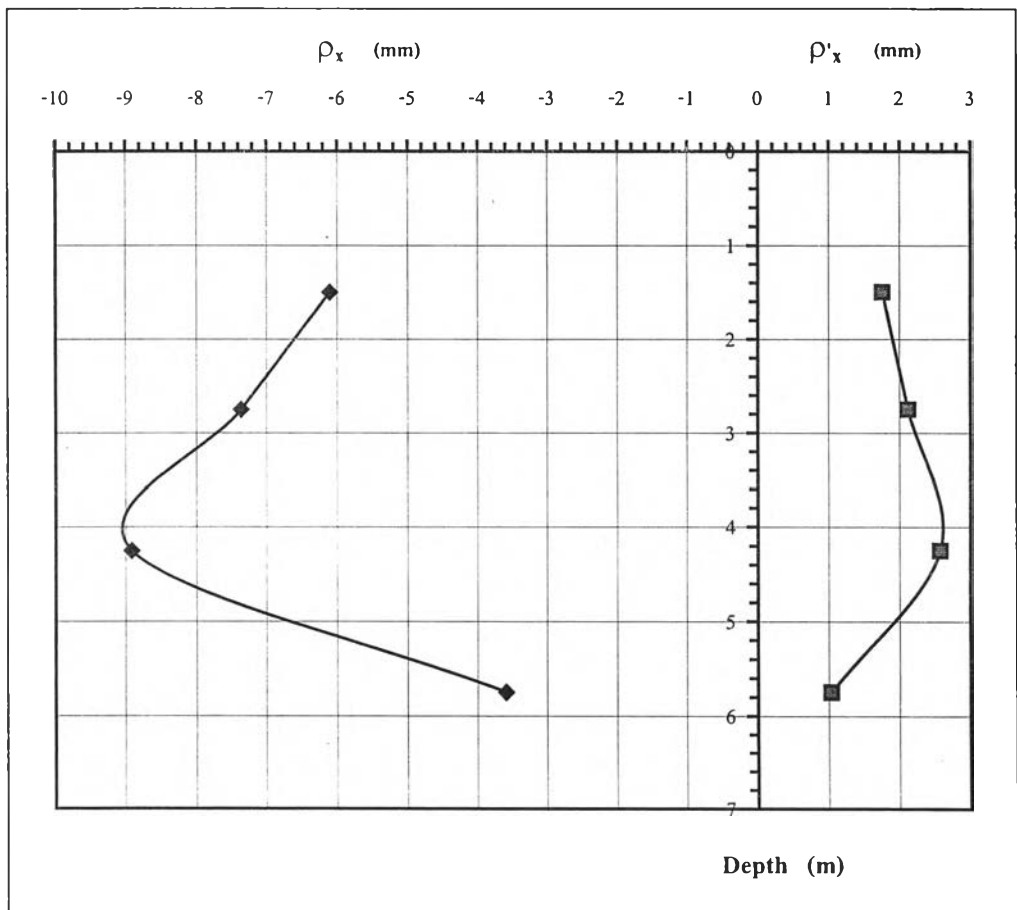
$$\nu = 0.5 \quad \nu' = 0.3$$

$$I_{st} = -0.8 \quad I'_{st} = 0.2$$

$$G = E_u/2(1+\nu) \quad G' = E'_u/2(1+\nu')$$

$$\rho_x = \text{ph}I_{st}/\pi E_u \quad \rho'_x = \text{ph}I'_{st}/\pi E'_u$$

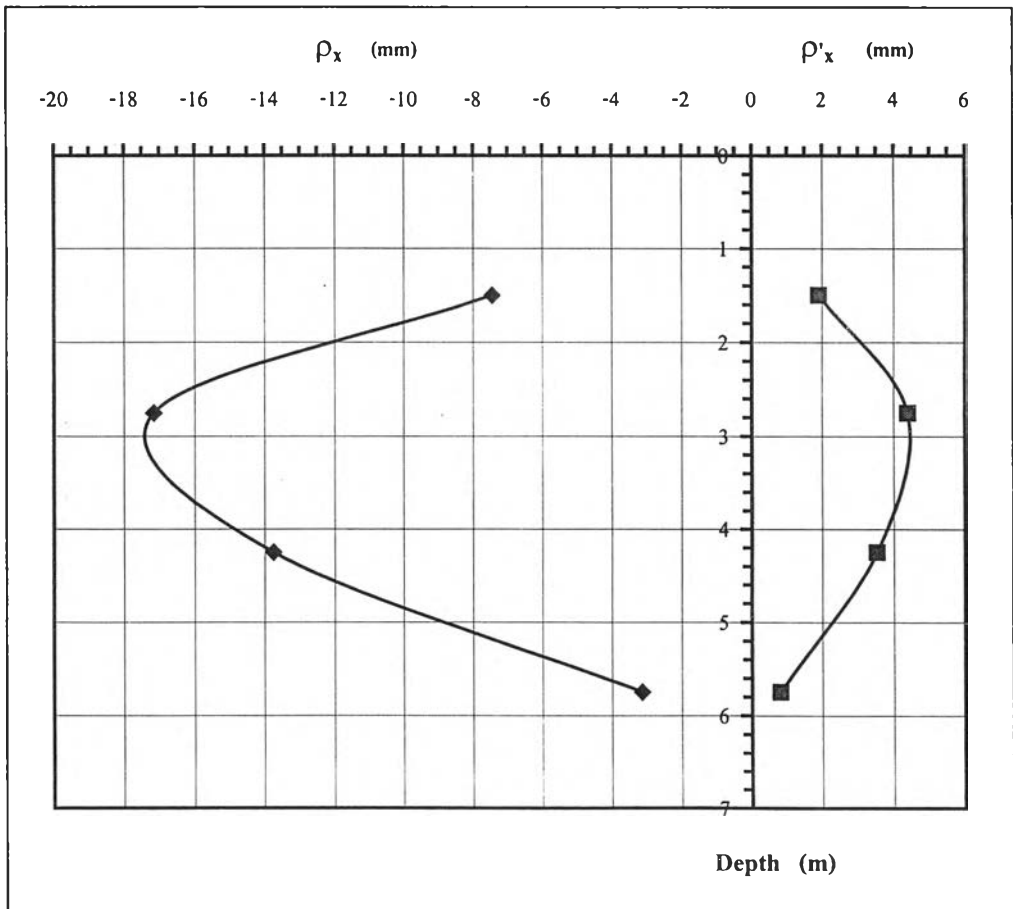
Depth from initial ground surface	At the end of construction		At 101 days after the end of construction		
	E_u (T/m ²)	ρ_x (mm)	$G = G'$	E'_u (T/m ²)	ρ'_x (mm)
1.5	451.00	-6.10	150.33	390.87	1.76
2.75	373.71	-7.36	124.57	323.88	2.12
4.25	308.63	-8.91	102.88	267.48	2.57
5.75	766.00	-3.59	255.33	663.87	1.04



รูปที่ 4.12 แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)

$$\begin{aligned}
 P &= \gamma H = 1.8 \times 1.0 = 1.8 \text{ t/m}^2 \\
 h &= 5.00 \text{ m.} \quad B = 12.00 \text{ m.} \quad h/B = 0.42 \\
 \nu &= 0.5 \quad \nu' = 0.3 \\
 I_{st} &= -0.9 \quad I'_{st} = 0.2 \\
 G &= E_u/2(1+\nu) \quad G' = E'_u/2(1+\nu') \\
 \rho_x &= \phi I_{st}/\pi E_u \quad \rho'_x = \phi I'_{st}/\pi E'_u
 \end{aligned}$$

Depth from initial ground surface	At the end of construction		At 101 days after the end of construction		
	E_u (T/m^2)	ρ_x (mm)	$G = G'$	E'_u (T/m^2)	ρ'_x (mm)
1.5	346.45	-7.44	115.48	300.26	1.91
2.75	150.27	-17.16	50.09	130.23	4.40
4.25	187.48	-13.75	62.49	162.48	3.53
5.75	821.26	-3.14	273.75	711.76	0.80



รูปที่ 4.13 แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)

$$P = \gamma H = 1.8 \times 3.2 = 5.76 \text{ t/m}^2$$

$$h = 4.50 \text{ m.} \quad B = 14.00 \text{ m.} \quad h/B = 0.32$$

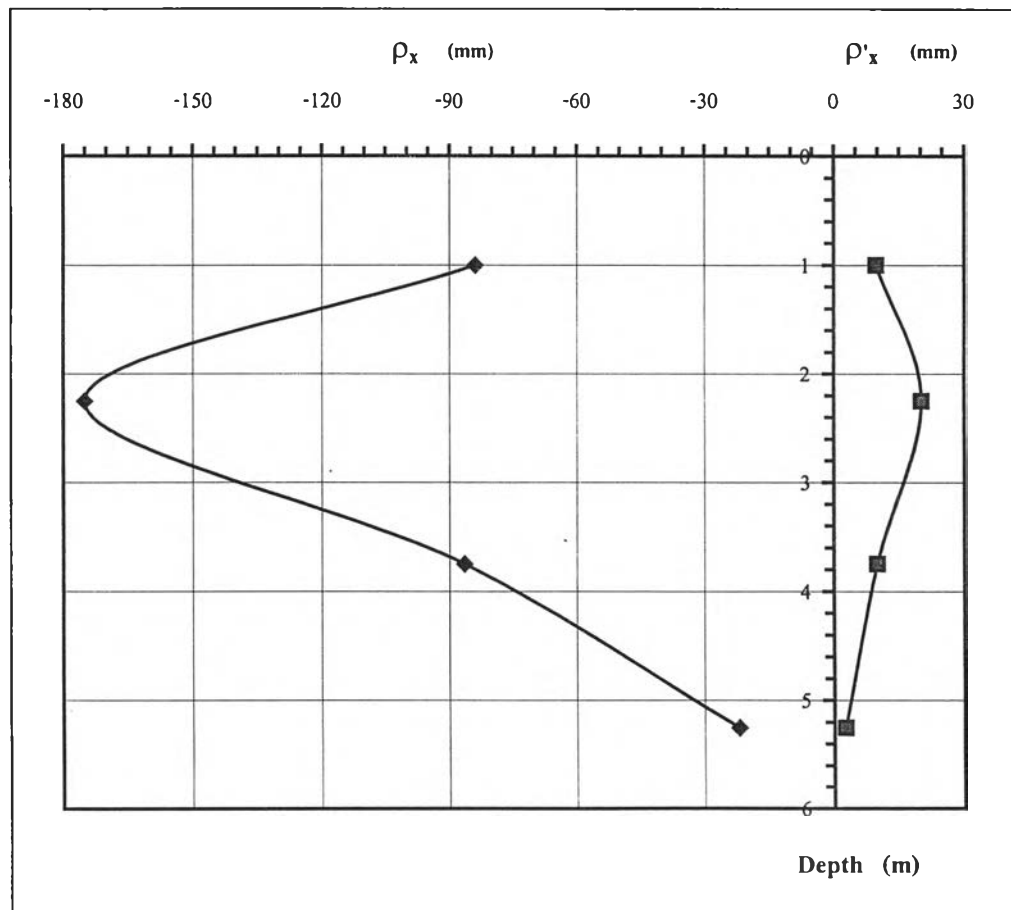
$$\nu = 0.5 \quad \nu' = 0.3$$

$$I_{st} = -1.0 \quad I'_{st} = 0.1$$

$$G = E_u/2(1+\nu) \quad G' = E'_u/2(1+\nu')$$

$$\rho_x = \text{ph}I_{st}/\pi E_u \quad \rho'_x = \text{ph}I'_{st}/\pi E'_u$$

Depth from initial ground surface	At the end of construction		At 101 days after the end of construction		
	E_u (T/m^2)	ρ_x (mm)	$G = G'$	E'_u (T/m^2)	ρ'_x (mm)
1.00	98.32	-83.92	32.77	85.21	9.68
2.25	47.14	-175.02	15.71	40.85	20.19
3.75	95.44	-86.45	31.81	82.71	9.97
5.25	374.73	-22.02	124.91	324.77	2.54



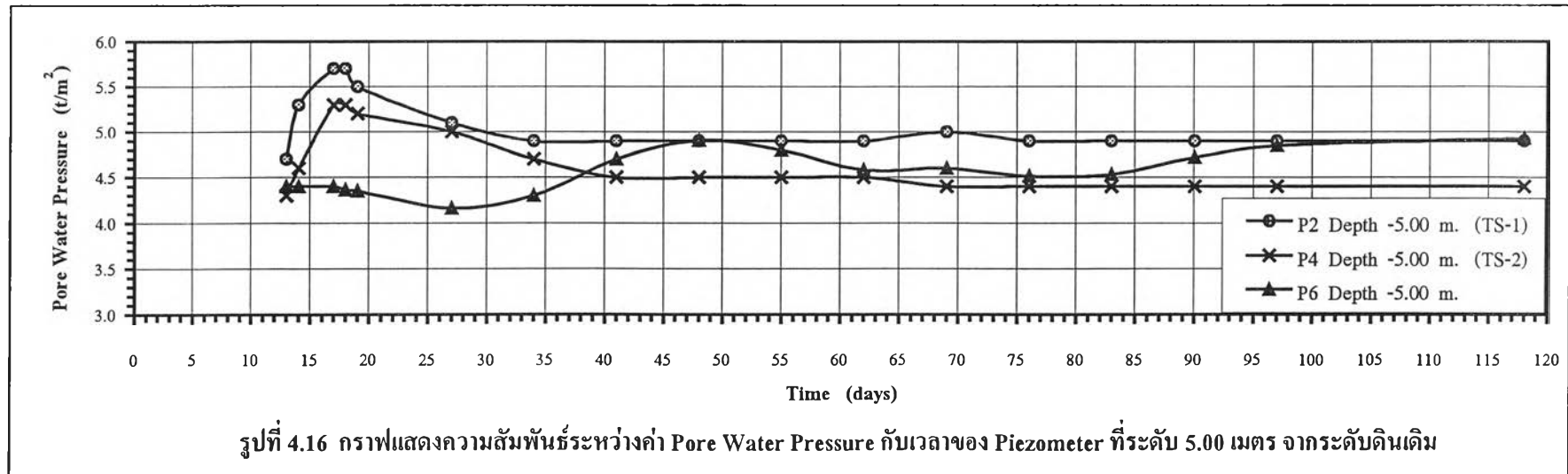
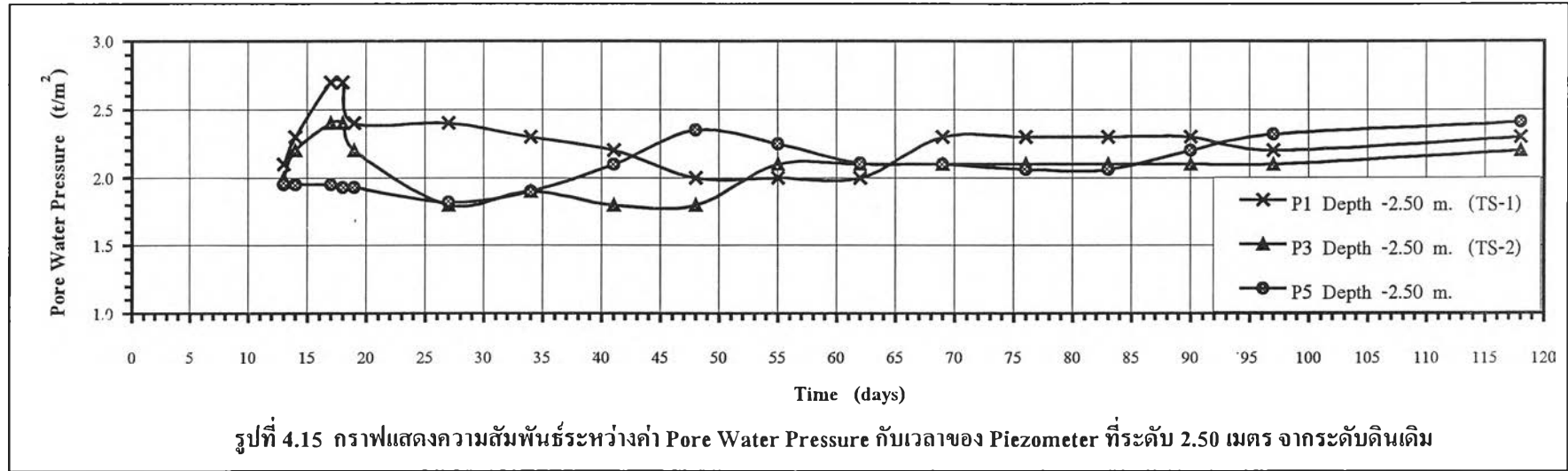
รูปที่ 4.14 แสดงค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-3
ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร Elastic Solution ของ H.G. Poulos (1967)

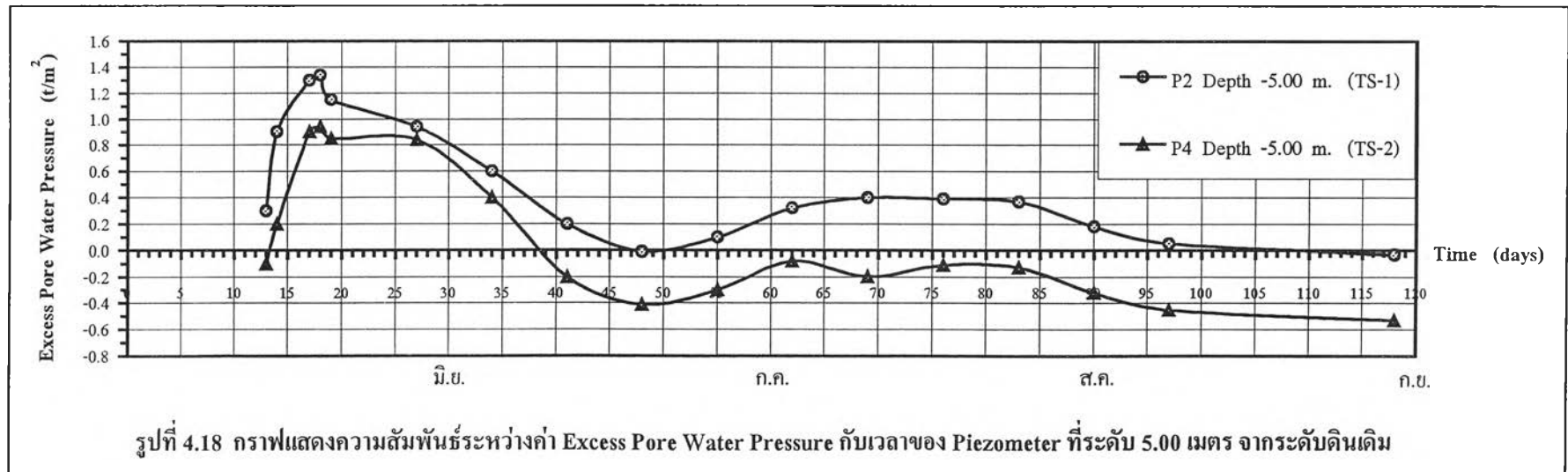
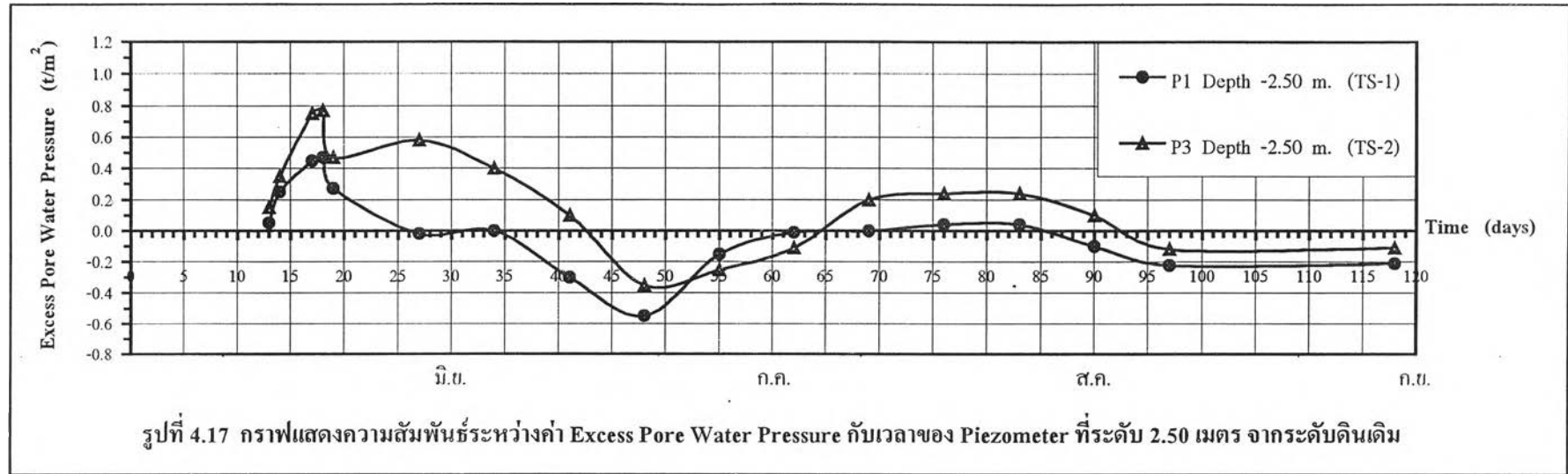
4.2.3 ผลการตรวจวัดข้อมูลจาก Piezometer

วัตถุประสงค์ของการติดตั้ง Piezometer เพื่อตรวจวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดิน (Pore Water Pressure) ในชั้นดินเหนียวอ่อน โดยได้ติดตั้งที่แปลงทดสอบ TS-1 และ TS-2 เท่านั้น จำนวนที่ติดตั้งทั้งหมด 3 จุดแต่ละจุดจะติดตั้ง Piezometer 2 ตัวคือ ที่ระดับความลึก 2.50 เมตรและ 5.00 เมตรจากระดับดินเดิม โดยจุดแรก (P1,P2) จะติดตั้งตรงบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (TS-1) จุดที่ 2 (P3,P4) จะติดตั้งตรงบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว (TS-2) และจุดที่ 3 (P5,P6) จะติดตั้งนอกพื้นที่ก่อสร้างเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (Dummy) ให้กับ P1 , P3 และ P2 , P4 ตามลำดับ รายละเอียดของการติดตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 และ 3.11

ผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินพบว่า ช่วงระหว่างการก่อสร้างค่าแรงดันน้ำใต้ดินจะมีค่าสูงสุดเนื่องจากการถมดินสูง 2.00 เมตร โดยที่ P1 วัดได้ 2.40 t/m^2 , P2 วัดได้ 5.70 t/m^2 , P3 วัดได้ 2.70 t/m^2 , และ P4 วัดได้ 5.30 t/m^2 ส่วน P5 และ P6 ซึ่งเป็น Piezometer ที่ใช้วัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินตามธรรมชาติสามารถวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินตามธรรมชาติในช่วงที่มีแรงดันน้ำใต้ดินในแปลงทดสอบสูงสุดได้เท่ากับ 1.93 และ 4.36 t/m^2 ตามลำดับ เมื่อแปลงเป็นค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) จะได้ว่าที่จุด P1 มีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินสูงสุดในช่วงระหว่างการก่อสร้าง 0.47 t/m^2 , P2 เท่ากับ 1.34 t/m^2 , P3 เท่ากับ 0.77 t/m^2 และ P4 เท่ากับ 0.94 t/m^2 ซึ่งจากผลของค่าแรงดันน้ำส่วนเกินนี้จะเห็นว่าที่ระดับ 2.50 เมตรจากระดับดินเดิมจะมีค่าแรงดันน้ำส่วนเกินน้อยกว่าที่ระดับ 5.00 เมตรจากระดับดินเดิมทั้ง 2 แปลงทดสอบ (TS-1 และ TS-2) แสดงว่าชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่า OCR ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นจากความลึกที่ระดับ 2.50 เมตรถึงความลึกที่ระดับ 5.00 เมตรจากระดับดินเดิมซึ่งตรงกับผลการทดลองหาคุณสมบัติการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

รายละเอียดของผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำใต้ดินและแรงดันน้ำใต้ดินส่วนเกินของ Piezometer ทั้งหมดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก-5 รูปที่ 4.15 และ 4.16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำใต้ดินกับระยะเวลาของ Piezometer ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร (P1,P3) และ 5.00 เมตร (P2,P4) จากระดับดินเดิมตามลำดับ รูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นกราฟ





ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินกับระยะเวลาของ Piezometer ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.50 เมตร (P1,P3) และ 5.00 เมตร (P2,P4) จากระดับดินเดิมตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบผลของค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่ได้ระหว่างบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์กับบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 4.17 และ 4.18) จะพบว่าที่ระดับความลึก 2.50 เมตร จากระดับดินเดิม ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่ามากกว่าที่บริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ และที่ระดับ 5.00 เมตร จากระดับดินเดิม ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าของบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ซึ่งจากผลที่ได้แตกต่างกันนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ไม่ช่วยให้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินในชั้นดินเหนียวอ่อนลดลงซึ่งอาจจะเป็นเพราะขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้และการวางแผ่นใยสังเคราะห์ซึ่งในที่นี้ได้วางในแนวระดับ

นอกจากนี้ในรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะสังเกตเห็นว่ากราฟช่วงท้าย ๆ ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะมีค่าเป็นลบซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถจะเป็นไปได้ สาเหตุที่ผลการตรวจวัดมีค่าเป็นลบอาจเนื่องมาจากการบันทึกข้อมูลที่ผิดพลาด และอาจจะเนื่องจาก Piezometer ที่ใช้วัดค่าแรงดันน้ำได้ดินตามธรรมชาติ (P5 และ P6) เป็นแบบ Standpipe Piezometer ซึ่งต่างจาก Piezometer ที่ใช้วัดค่าแรงดันน้ำได้ดินในดินถม (P1-P4) ที่เป็นแบบ Pneumatic Piezometer ดังนั้นค่าแรงดันน้ำได้ดินที่วัดได้จาก Piezometer ทั้ง 2 ชนิดจึงมีความแม่นยำและเที่ยงตรงต่างกัน

4.3 การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน

การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนมีหลายวิธี แต่ในที่นี้จะใช้วิธีหาค่าการทรุดตัวของ Terzaghi (1943) และการหาค่าการทรุดตัวจากแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) ซึ่งจากการคำนวณหาค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนโดยวิธีของ Terzaghi โดยการใช้น้ำหนักของดินถมที่สูง 2.00 เมตรพบว่า ที่แปลงทดสอบ TS-1 ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement, p_c) จะมีค่าประมาณ 0.063 เมตร และที่แปลงทดสอบ TS-2 จะมีค่าประมาณ 0.046 เมตร ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

และจากการคำนวณหาค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนโดยวิธีการใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่วัดได้ในสนาม โดยใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินสูงสุดที่เกิดจากการถมดิน 2.00 เมตรพบว่า ที่แปลงทดสอบ TS-1 ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำจะมีค่าประมาณ 0.018 เมตร และที่แปลงทดสอบ TS-2 จะมีค่าประมาณ 0.014 โดยรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้โดยวิธีของ Terzaghi และวิธีที่ใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะเห็นว่า ค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบ TS-1 และ แปลงทดสอบ TS-2 มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 วิธี โดยที่ค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบ TS-1 จะมากกว่าค่าการทรุดตัวของแปลงทดสอบ TS-2 เล็กน้อย ซึ่งจากผลการคำนวณนี้แสดงให้เห็นว่าแผ่นใยสังเคราะห์ที่ใช้เสริมความแข็งแรงให้กับดินถมที่ก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนไม่มีผลต่อค่าการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน นั่นคือไม่ได้ช่วยให้ชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่าการทรุดตัวน้อยลง

และจากการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้ ระหว่างค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Terzaghi ซึ่งเป็นค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงที่ได้จากการคำนวณโดยการใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะได้ว่า ค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้โดยวิธีของ Terzaghi จะมีค่ามากกว่าค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้จากการใช้ค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้าของชั้นดินเหนียว
อ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 โดยวิธีของ Terzaghi

Depth from Initial GS (m)	σ'_{voi} (t/m^2)	$\Delta\sigma_{\text{vi}}$ (t/m^2)	σ'_{vfi} (t/m^2)	RR_i (CR_i)	H_i (m)	ρ_c (m)
2.50 – 4.50	0.72	3.6	4.32	0.0344	1.00	0.027
4.50 – 6.00	1.91	3.6	5.51	0.0601	0.75	0.021
6.00 – 7.50	2.89	3.6	6.49	0.0165 (0.2103)	0.75	0.015
Total ρ_c						0.063

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้าของชั้นดินเหนียว
อ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 โดยวิธีของ Terzaghi

Depth from Initial GS (m)	σ'_{voi} (t/m^2)	$\Delta\sigma_{\text{vi}}$ (t/m^2)	σ'_{vfi} (t/m^2)	RR_i (CR_i)	H_i (m)	ρ_c (m)
2.50 – 4.50	0.66	3.6	4.26	0.0261	1.00	0.021
4.50 – 6.00	1.79	3.6	5.39	0.0308	0.75	0.011
6.00 – 7.50	2.75	3.6	6.35	0.0263	1.50	0.014
Total ρ_c						0.046

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้าของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-1 โดยวิธีการใช้ค่าแรงดันนํ้าส่วนเกินที่วัดได้ในสนาม

Depth from Initial GS (m)	σ'_{voi} (t/m ²)	$\Delta\sigma_{\text{vi}}$ (t/m ²)	σ'_{vfi} (t/m ²)	m_{vi} (m ² /t)	Δu_i (t/m ²)	H_i (m)	ρ_c (m)
2.50 – 4.50	0.72	3.6	4.32	0.0054	0.47	1.00	0.0025
4.50 – 6.00	1.91	3.6	5.51	0.0087	0.47	0.75	0.0031
6.00 – 7.50	2.89	3.6	6.49	0.0124	1.34	0.75	0.0125
Total ρ_c							0.0181

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณหาค่าการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายนํ้าของชั้นดินเหนียวอ่อนของแปลงทดสอบ TS-2 โดยวิธีการใช้ค่าแรงดันนํ้าส่วนเกินที่วัดได้ในสนาม

Depth from Initial GS (m)	σ'_{voi} (t/m ²)	$\Delta\sigma_{\text{vi}}$ (t/m ²)	σ'_{vfi} (t/m ²)	m_{vi} (m ² /t)	Δu_i (t/m ²)	H_i (m)	ρ_c (m)
2.50 – 4.50	0.66	3.6	4.26	0.0053	0.77	1.00	0.0041
4.50 – 6.00	1.79	3.6	5.39	0.0065	0.77	0.75	0.0038
6.00 – 7.50	2.75	3.6	6.35	0.0046	0.94	1.50	0.0065
Total ρ_c							0.0144

4.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของดินถม

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของดินถมได้ใช้โปรแกรม SB-SLOPE ช่วยในการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด โดยได้แยกวิเคราะห์แต่ละแปลงทดสอบดังนี้

1. บริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Unreinforced Embankment)
2. บริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว (1-Layer Reinforced Embankment)
3. บริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น (3-Layer Reinforced Embankment)

4.4.1 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์

(Slope Stability Analysis of Unreinforced Embankment)

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณนี้ได้ใช้ข้อมูลชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการของ BH-1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.16 โดยกำหนดให้มีน้ำหนักกระทำบนชั้นดินถมเท่ากับ 1.00 t/m^2 ซึ่งเป็นน้ำหนักจรรเนื่องจากกรวดที่วิ่งไปมา จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้แสดงว่าที่บริเวณนี้มีเสถียรภาพเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของดินถมและน้ำหนักจรได้จึงไม่จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้นี้ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำซึ่งดินถมอาจจะเกิดการพิบัติเมื่อไรก็ได้ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับกันทั่วไปไม่ควรที่จะต่ำกว่า 1.30 รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.4.2 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นเดียว

(Slope Stability Analysis of Single Layer Reinforced Embankment)

การวิเคราะห์หาเสถียรภาพความลาดชันของดินถมที่บริเวณนี้ได้ใช้ข้อมูลชั้นดินของหลุมเจาะสำรวจ BH-2 โดยได้ทำการวิเคราะห์ทั้งกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์และกรณีที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ว่าในกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 0.87 โดยใช้น้ำหนักจรเท่ากับ 1.00 t/m^2 เช่นเดียว

กัน และในกรณีที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์การวิเคราะห์หาเสถียรภาพความลาดชันของดิน จะใช้ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบค่า strain เฉลี่ยของ Strain Gauge SE6 ที่วัดได้ในสนามกับค่า strain ในกราฟ stress-strain ที่ได้จากการทดลองหาค่าแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของแผ่นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 4.6) ซึ่งจะได้ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยสังเคราะห์เท่ากับ 485 kN/m ผลการวิเคราะห์จะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.71 ซึ่งมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับดินถมจะช่วยให้ดินถมมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น โดยให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงขึ้น ในการวิเคราะห์จะใช้วิธีของ Jewell R.A. (1982) โดยใช้ critical circle เดิมที่วิเคราะห์ได้จากกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ รายละเอียดของการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.4.3 เสถียรภาพความลาดชันของบริเวณที่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ 3 ชั้น (Slope Stability Analysis of 3-Layer Reinforced Embankment)

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันที่บริเวณจุดนี้ได้ใช้ข้อมูลชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการของหลุมเจาะ BH-3 หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดสำหรับกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 0.62

จากรูป slip circle ที่ได้จากการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข จะเห็นว่าแนวของ slip circle จะเลยเส้นกึ่งกลางของชั้นดินถม แต่เนื่องจากการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในแปลงทดสอบนี้จะเสริมเพียงครึ่งเดียวของหน้าตัดดินถม ดังนั้นการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์นี้จึงไม่ได้ช่วยให้เสถียรภาพของดินถมเพิ่มมากขึ้นแต่อย่างใด ผลที่เกิดขึ้นคือที่บริเวณนี้ได้เกิดการพังทลายขึ้นอีกหลังจากที่ได้มีการถมและบดอัดดินชั้นสุดท้ายเสร็จแล้ว 1 วัน โดยลักษณะของการพังทลายจะเกิดรอยแยกเป็นแนวยาวที่บริเวณกึ่งกลางของดินถมหรือบริเวณแนวที่ขูด รูปลักษณะของการพังทลายได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ซึ่งจากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์แบบนี้เป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากความยาวของแผ่นใยสังเคราะห์ไม่เพียงพอสำหรับการเกิด (Developed) หน่วยแรงดึงที่จะช่วยต้านทานการพิบัติได้ ดังนั้นการใช้แผ่นใยสังเคราะห์

เสริมความแข็งแรงให้กับดินถมที่ก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอ่อนควรจะมีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ตลอดความยาวของหน้าตัดดินถม

ในกรณีที่ถ้ามีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ตลอดความยาวของหน้าตัดดินถมในแปลงทดสอบนี้จะทำให้เสถียรภาพของดินถมเพิ่มขึ้นโดยจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.82 ซึ่งใช้ค่า Allowable Tensile Strength ของแผ่นใยสังเคราะห์ จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้ยังมีค่าต่ำกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่าดินถมยังมีเสถียรภาพไม่เพียงพอ ดังนั้นควรจะมีการเพิ่มค่า Ultimate Tensile Strength ให้มากกว่านี้และจากการคำนวณโดยใช้ค่า Ultimate Tensile Strength ของแผ่นใยสังเคราะห์วิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.02 ซึ่งถือว่าดินถมยังมีเสถียรภาพไม่เพียงพอ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเสถียรภาพลาดชันที่เหมาะสมไม่ควรที่จะน้อยกว่า 1.30

รูปหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันของแปลงทดสอบนี้อาจไม่ตรงตามความเป็นจริงเนื่องจากไม่ได้มีการทำระดับที่ท้องคลองชลประทานหลังจากที่ได้มีการพิบัติในครั้งแรก ดังนั้นมวลดินที่เกิดการเลื่อนไถลลงไปในคลองชลประทานอาจทำให้ท้องคลองตื้นขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ค่า F.S. ของเสถียรภาพความลาดชันมีค่าสูงกว่าที่วิเคราะห์ได้