

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

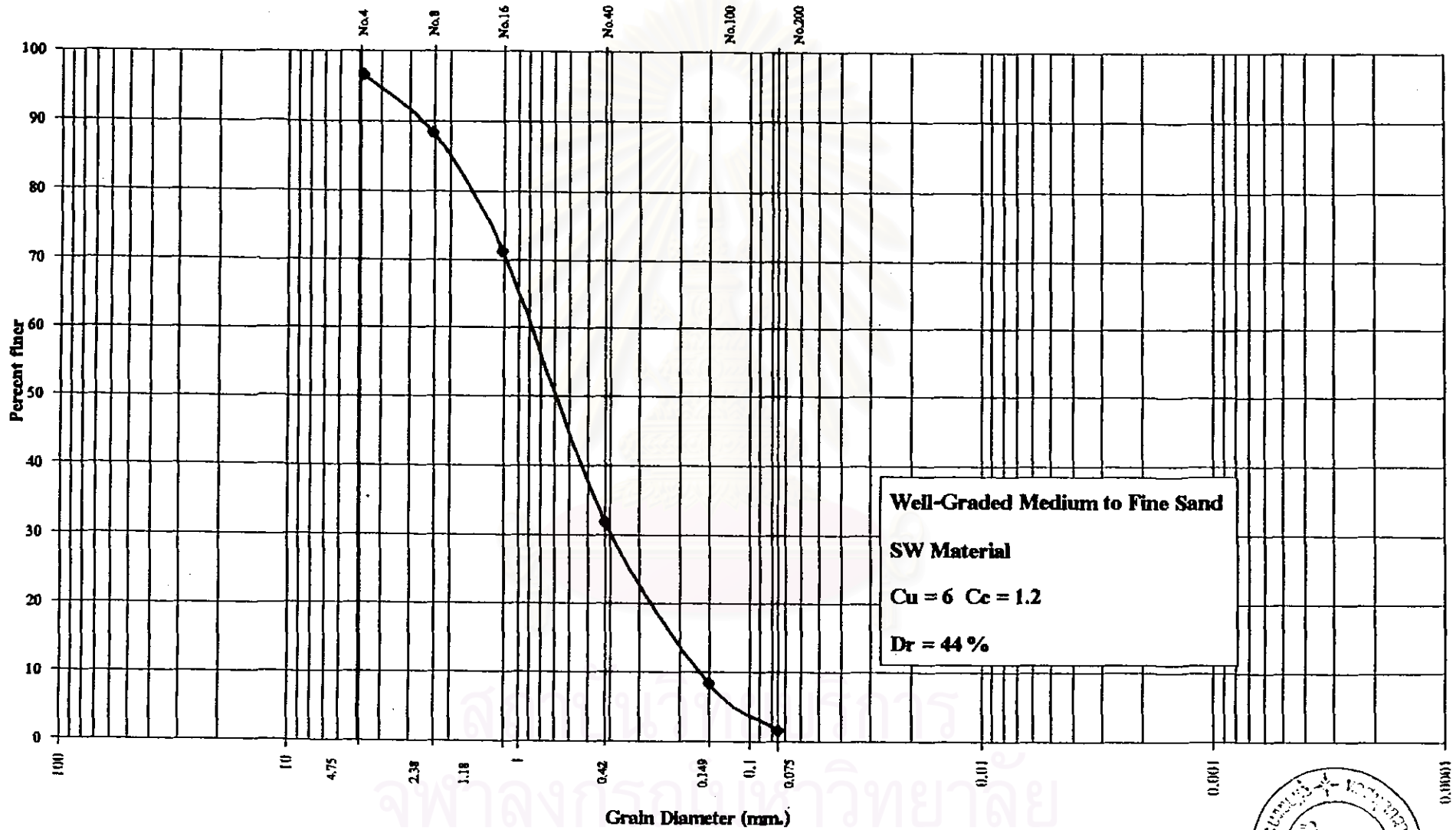
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้นี้ จะเป็นแนวทางในการสรุปผลเพื่อนำไปใช้งานได้ต่อไป โดยผลของการทดลองนี้มีค่ากำลังรับน้ำหนักที่สูงเกินไป เนื่องจากขนาดของ model ที่ใช้ไม่ใหญ่พอ โดยในการเตรียมตัวอย่างจะทำการเททรายที่พื้นล่างสุดของ model ให้มีความหนาประมาณ 5cm. เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติมากที่สุด จากนั้นจึงทำการวางแผงกันดินด้านหน้า (Facing) ชั้นแรกลงไป ความสูงของ facing ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 120 cm. และการเททรายจะทำการเทจนกระทั่งได้ระดับเดียวกับความสูงของ facing วัสดุที่เป็น facing เป็นไม้อัดที่นำมาประกอบกันเป็นรูปตัว L และวางซ้อนต่อกันเป็นชั้นๆ สลับกับการเททรายลงสู่ model โดยที่ด้านริมทั้งสองข้างของ facing นั้นจะไม่สัมผัสกับ model เพื่อป้องกันแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของ facing กับ model

4.1 ผลการทดลองและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ทรายที่ใช้ทำการทดลองมาจากนครปฐม ลักษณะเม็ดเป็นทรายเม็ดเล็กและมีขนาดเม็ดใหญ่ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ขนาดของ grain มีลักษณะคละกันดี (Well-Graded) มีค่า C_u เท่ากับ 6 C_c เท่ากับ 1.2 การทดสอบนี้พยายามทำให้ทรายมีความหนาแน่นแห้งที่ประมาณเท่ากันทุกครั้ง ($\gamma_D = 1.67$ ตัน/ม.³) ในการทดสอบค่า Relative Density พบว่าค่า D_r มีค่าประมาณ 44 % โดยได้ค่า $\gamma_{D \max}$ และ $\gamma_{D \min}$ ประมาณ 1.99 ตัน/ม.³ และ 1.48 ตัน/ม.³ จากการทำ Sieve Analysis พบว่าทรายที่ใช้เป็น Medium to Fine Sand การกระจายของเม็ดดินแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1

4.1.1 ค่าของมุมเสียดทานที่ได้จากการทดลอง

ในการทดสอบหาค่ามุมเสียดทานนั้นจะแบ่งออกได้เป็น การทดสอบเพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทราย (ϕ) ซึ่งหาได้จากวิธีการทดลองเพื่อหาลำดับรับแรงเฉือนของทรายที่ γ_D ก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1.67 ตัน/ม.³ และการทดสอบเพื่อหาค่ามุมเสียดทาน



รูปที่ 4.1 ลักษณะของ Grain Size Distribution Curve ของทรายจากนครปฐมที่ใช้ในการทดลอง



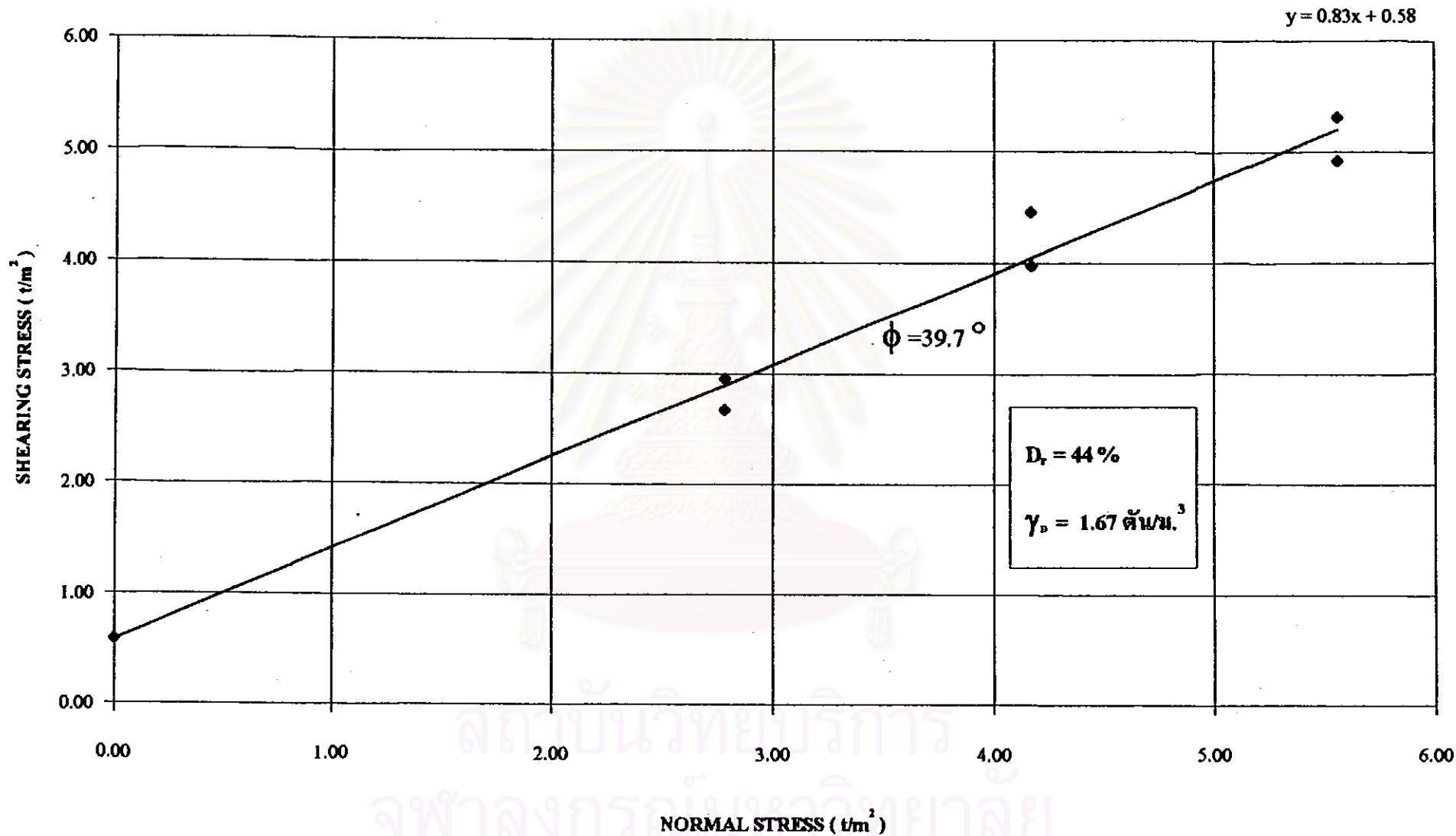
ระหว่างทรายกับวัสดุเสริม (ϕ) ซึ่งแบ่งออกตามวัสดุเสริมที่ใช้ได้แก่ ทราย กับ Geotextile และ ทราย กับ Geogrid

โดยจากการวิเคราะห์หาค่ามุมเสียดทานนั้น พบว่าค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทราย (ϕ) ที่ได้จากการทดลองหาค่าถึงรับแรงเฉือนของทรายจะมีค่าเท่ากับ 39.7° ส่วนค่ามุมเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริม โดยใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม จะได้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ) มีค่าเท่ากับ 37.9° และในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม จะได้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ) มีค่าเท่ากับ 39°

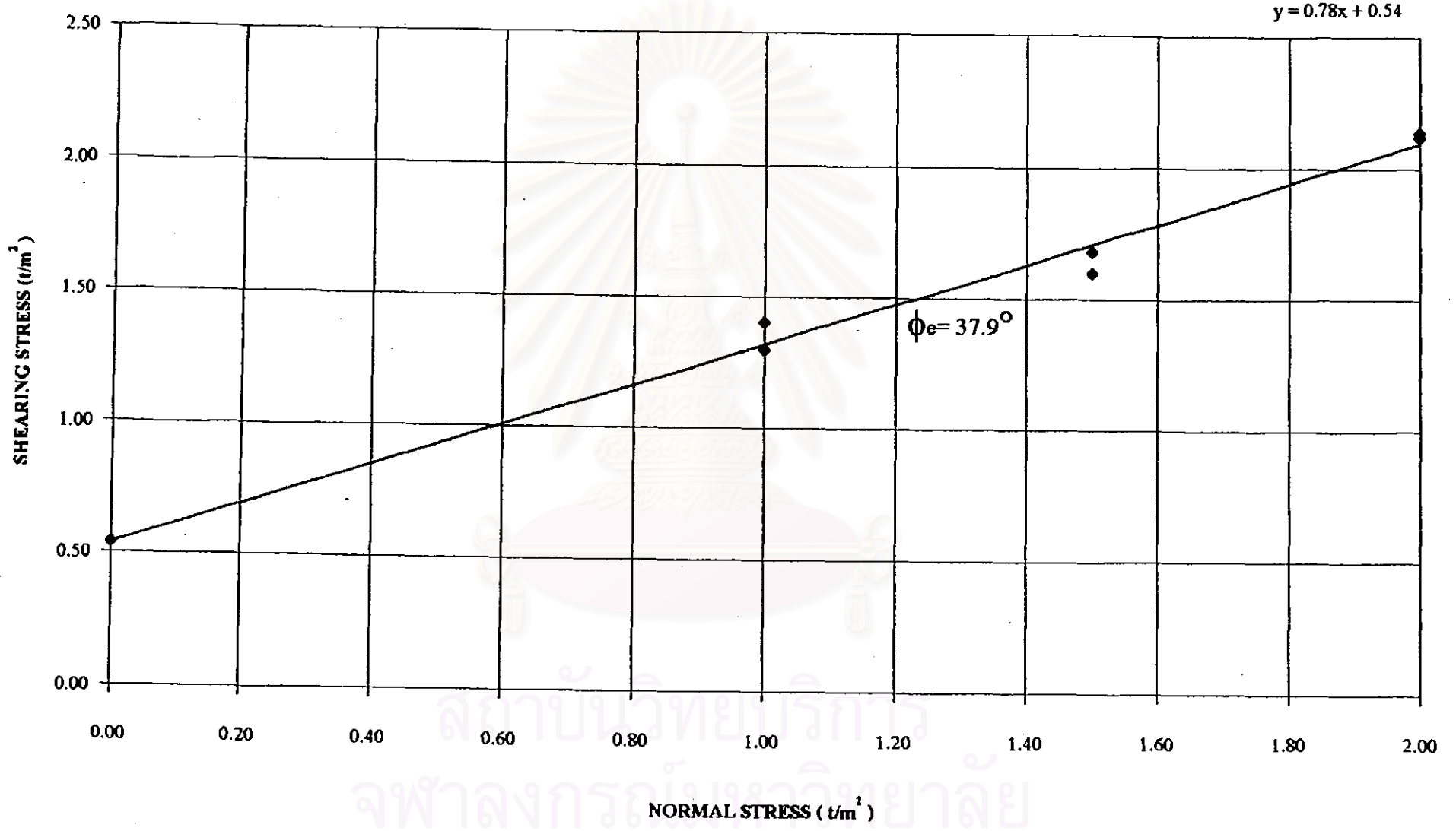
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่ามุมเสียดทานที่วิเคราะห์ได้จากข้างต้นนี้ ค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทราย (ϕ) ที่ เกิดจากผิวสัมผัสระหว่าง ทราย กับ ทราย นั้นจะให้ค่ามุมเสียดทานที่มีค่าสูงกว่าค่ามุมเสียดทานที่เกิดจากผิวสัมผัสระหว่าง ทราย กับ วัสดุเสริม ได้แก่ ทราย กับ Geotextile และ ทราย กับ Geogrid โดยค่ามุมเสียดทานที่เกิดจากผิวสัมผัสระหว่าง ทราย กับ Geotextile นั้นจะให้ค่ามุมเสียดทานที่มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งค่ามุมเสียดทานที่ได้ดังกล่าว ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 - 4.4

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผลการทดสอบค่ามุมเสียดทานที่ได้จากการทดลอง

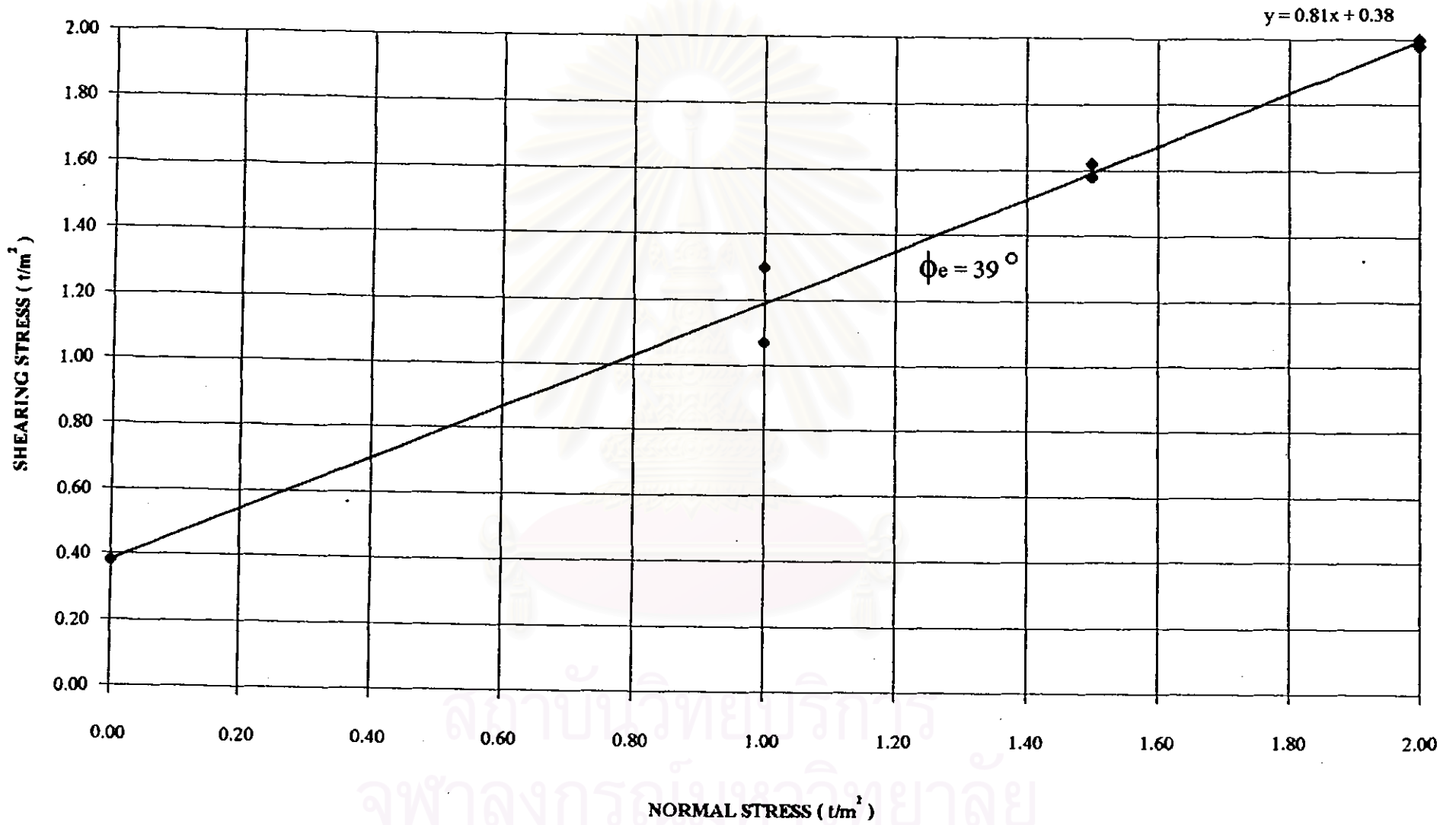
การทดลองที่	ลักษณะผิวสัมผัส	ค่ามุมเสียดทาน
1	ทราย กับ ทราย	39.7°
2	ทราย กับ Geotextile	37.9°
3	ทราย กับ Geogrid	39.0°



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบการหาค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทราย (ϕ)



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบการหาค่ามุมเสียดทาน (ϕ_e) ระหว่าง ทราย กับ GEOTEXTILE



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการหาค่ามุมเสียดทาน (ϕ_e) ระหว่าง ทราบ กับ GEOGRID

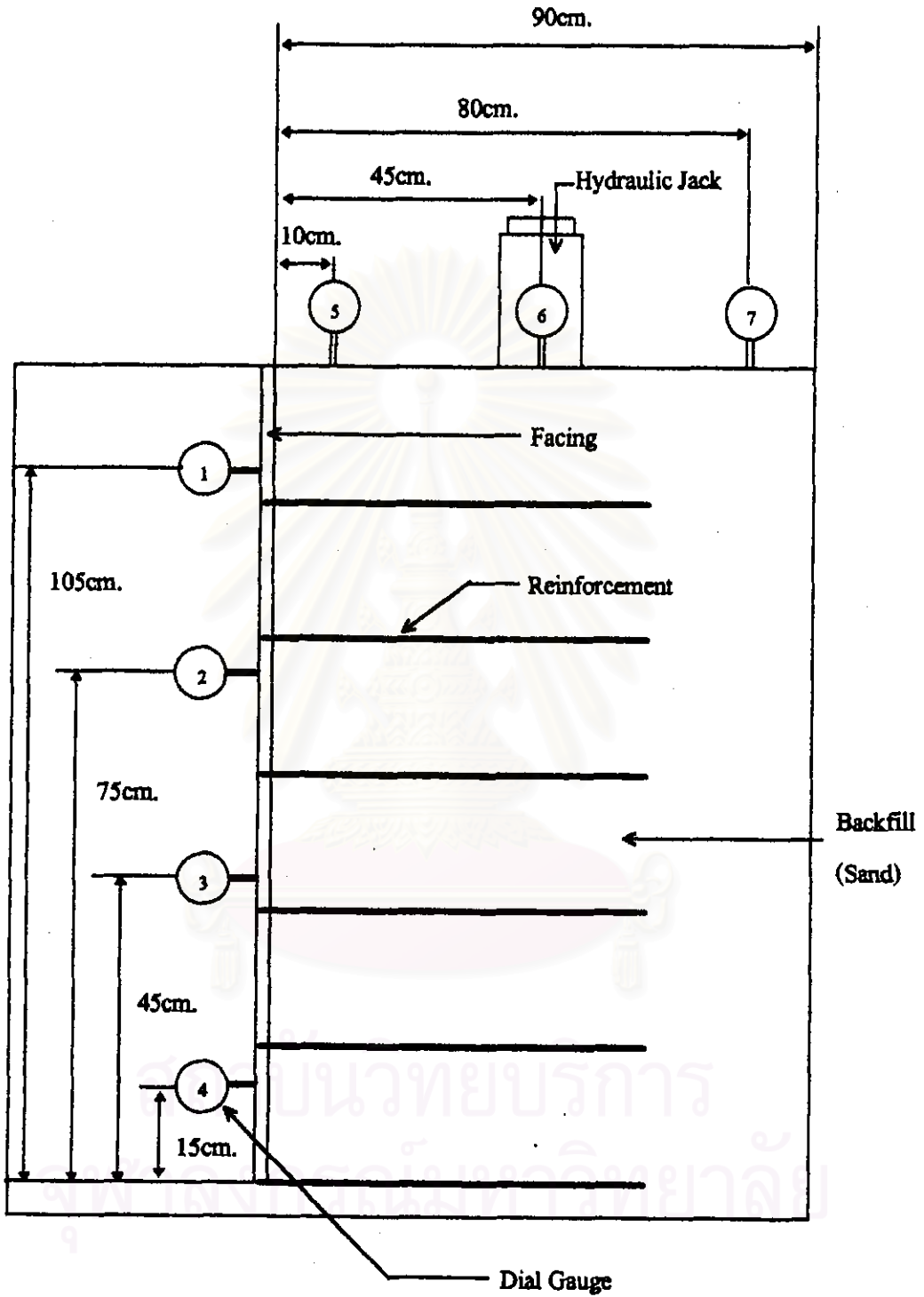
4.1.2 ค่า Maximum Load (Q) ที่ได้จาก การทดลอง

จากการทดลองกับแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดิน เพื่อหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่

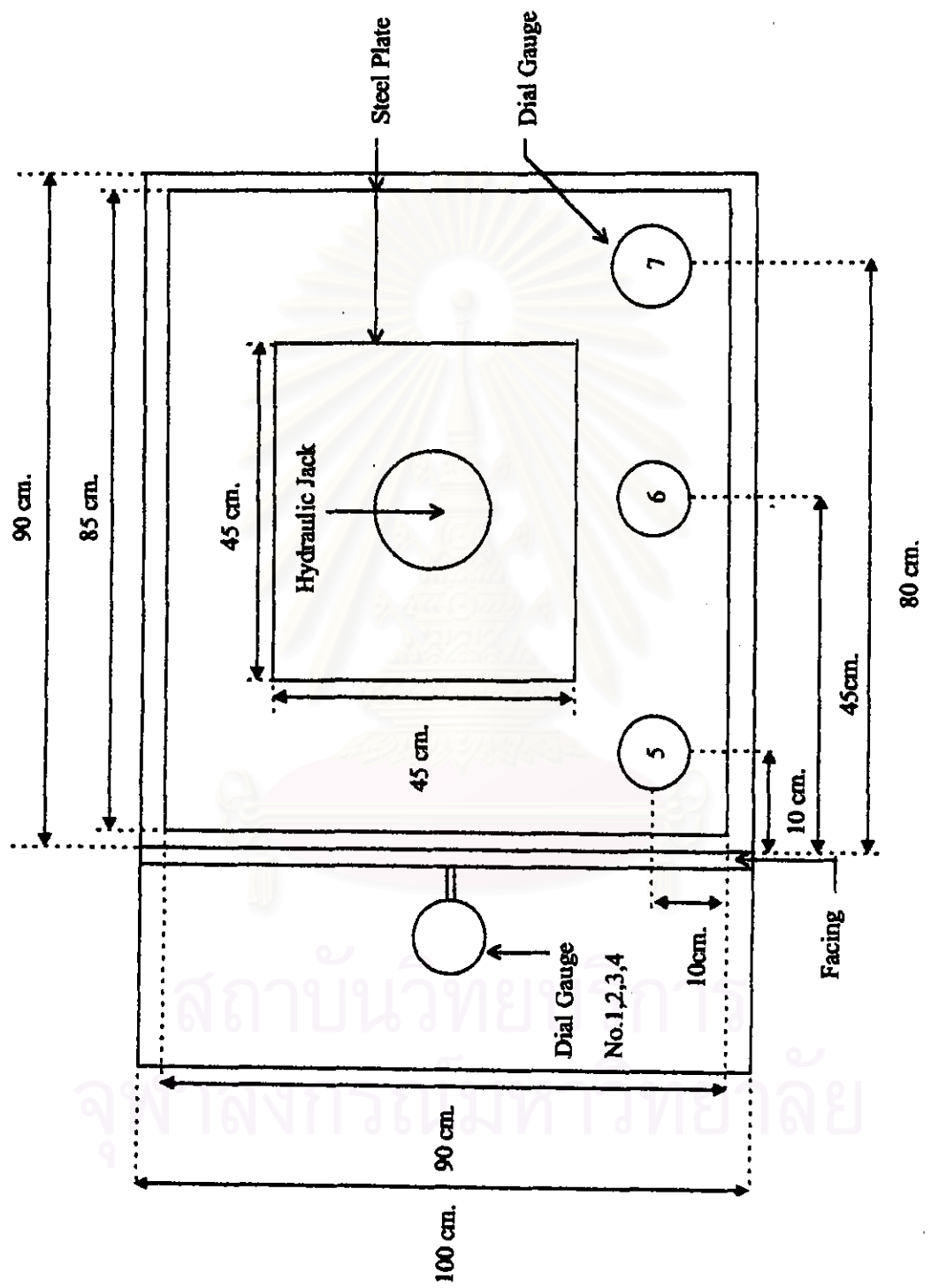
- ชนิดของวัสดุเสริม (Geotextile , Geogrid)
- จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม (4 ชั้น ชั้นละ 30 cm. , 6 ชั้น ชั้นละ 20 cm.)
- ความยาวของวัสดุเสริม (60 cm. , 80 cm.)
- ผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า

และมีการวัดค่า การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และการทรุดตัว จาก Dial Gauge ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ (ดังรูปที่ 4.5) โดยจะอ่านค่าการเคลื่อนตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุกที่เข้ามากระทำ จากการทดลองพบว่า ค่าน้ำหนักสูงสุดที่โครงสร้างวัสดุเสริมดินจะรับได้ จะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งในการหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่โครงสร้างวัสดุเสริมดินจะรับได้นั้นจะได้อัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดท้ายในการทดสอบที่ load ให้กับ โครงสร้างวัสดุเสริมดินของแต่ละการทดลอง เนื่องจากการทดลองไม่มีการทดลองใดถึงจุดพังทลาย (F.S. = 1.0) ตามหลักการของการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Limiting Equilibrium แต่อย่างไรก็ตามการทดลองได้ทำถึงสภาพที่อัตราการเปลี่ยนแปลงทางการเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอยู่ในสภาพที่จุด yield และใกล้ถึงจุดพังทลาย และร่องรอยของ failure plane ได้แสดงออกอย่างชัดเจน

ในบางกรณี (เช่นในกรณีที่ความยาวของวัสดุเสริมยาวถึง 80 cm.) อัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ได้จากการทดลองยังไม่ได้เปลี่ยนแปลงจนเห็นว่าที่ load สูงสุดท้ายสภาพของทรายที่มีวัสดุเสริมอยู่จะใกล้กับสภาพที่ใกล้กับจุดพังทลาย แต่รอยจากเส้นปูนขาวได้แสดง potential ของรูปร่างของระนาบที่เกิดการวิบัติแล้ว



รูปที่ 4.5ก แสดงตำแหน่งของการติดตั้ง Dial Gauge ทั้งหมดที่ใช้
ในการทดลองแบบจำลอง โครงสร้างวัสดุเสริมดิน
(Front View)



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งของการติดตั้ง Dial Gauge ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดิน(Plane View)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน (การพล็อตระหว่าง Load กับ Settlement อยู่ในภาคผนวก)

Test No.	Description					Sand Density (γ) (g / cm ³)	Maximum Load (Q) (ton)
	Reinforcement	No. of Layer	Vertical Spacing (S) (cm.)	Length of Reinforcement (L) (cm.)	Symbol		
1	GEOTEXTILE	4	30	60	GT 4-30-60	1.67	2.53
2	GEOTEXTILE	4	30	60	GT 4-30-60	1.67	*
3	GEOTEXTILE	4	30	80	GT 4-30-80	1.67	4.73
4	GEOTEXTILE	6	20	60	GT 6-20-60	1.67	3.53
5	GEOTEXTILE	6	20	80	GT 6-20-80	1.67	6.71
6	GEOGRID	4	30	60	GG 4-30-60	1.67	1.09
7	GEOGRID	4	30	80	GG 4-30-80	1.67	6.71
8	GEOGRID	6	20	60	GG 6-20-60	1.67	4.26
9	GEOGRID	6	20	80	GG 6-20-80	1.67	11.35

หมายเหตุ * ในการทดลองที่ 2 จะไม่ได้ทำการยึดติดตัววัสดุเสริมกับแผงกันดินด้านหน้าทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างในระหว่างการก่อสร้าง

ที่ Load = 1.13 ตัน (หน่วยแรงในแนวตั้ง = 1.26 ตัน/ม.²)

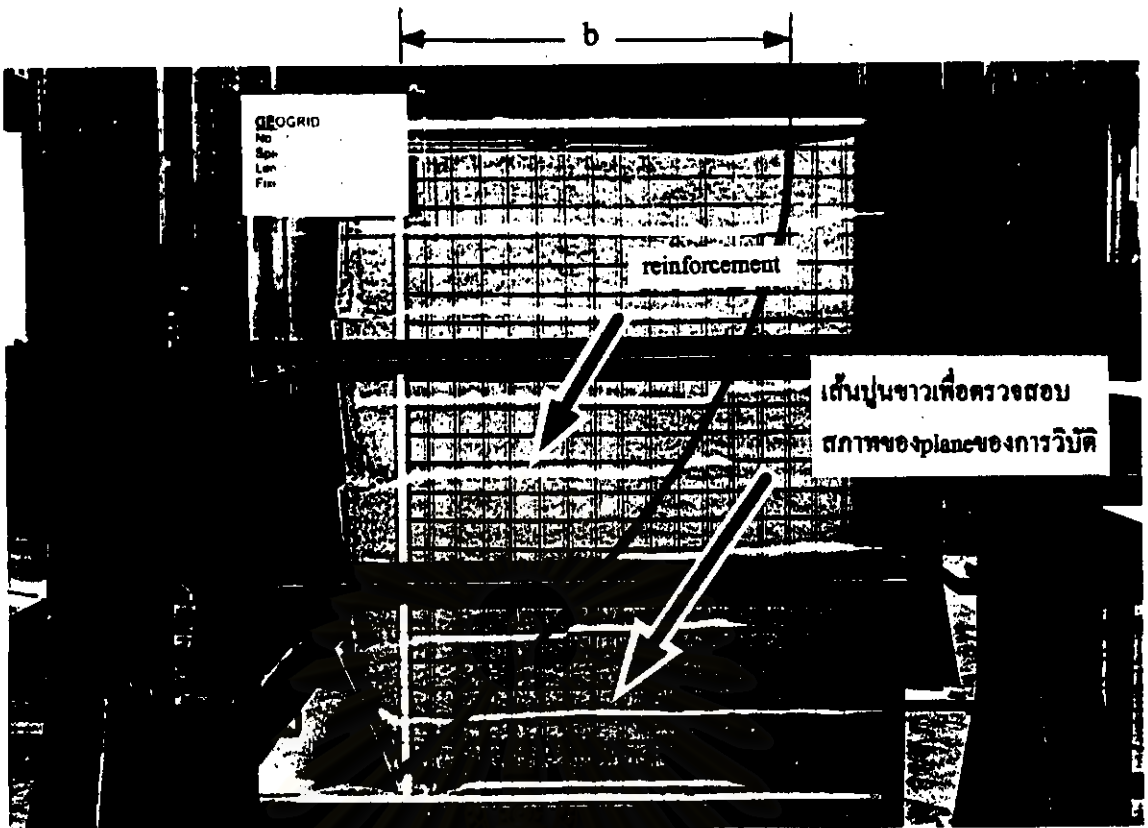
4.2 การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวและค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง

4.2.1 วิเคราะห์ค่าการทรุดตัว (Settlement, ρ) ที่ได้จากการทดลอง

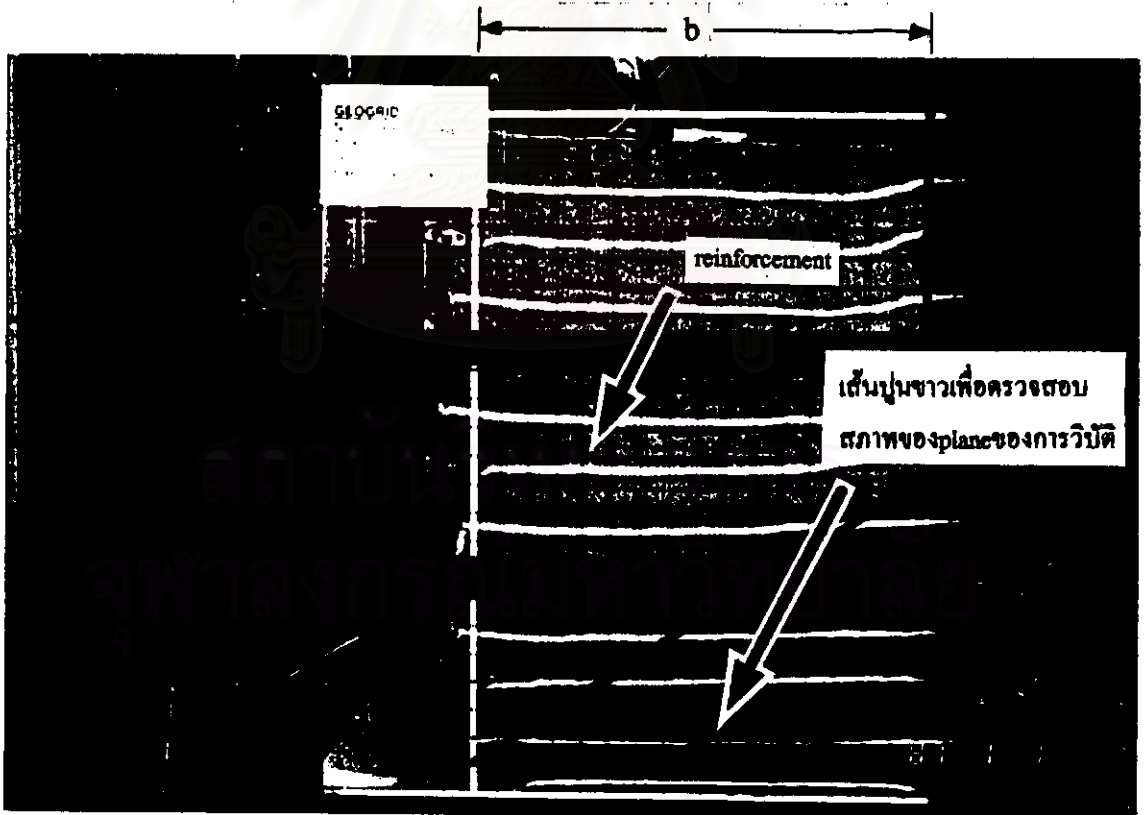
จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าการทรุดตัวกับตำแหน่งของ Dial Gauge ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.5) โดยคิดจากระยะจากแผงกันดินด้านหน้าเข้ามาได้แก่ที่ระยะ 10,45 และ 80 cm. (ดังรูปที่ 4.5) ที่แต่ละน้ำหนักบรรทุกที่เข้ามากระทำ และจากข้อมูลของค่า Maximum Load (Q) ในหัวข้อที่ 4.1.2 จะสามารถหาค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างวัสดุเสริมดินรับน้ำหนักถึงค่า Maximum Load (Q) ที่พิจารณา ในแต่ละการทดลองได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 การหาค่า Settlement สำหรับการวิเคราะห์นั้นจะหาได้โดยการกำหนดจุดที่เห็นว่าเป็นจุดที่แสดงระนาบของการวิบัติซึ่งหาได้โดยการวัดระยะสูงสุดในแนวนอนจากจุดแสดงระนาบที่จะเกิดการพังทลายมายังด้านหน้า (Facing) ของ model ระยะนี้เรียกว่า b (ดูรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงระยะ b) การหาค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ระยะจาก face หน้าของ model นี้จึงได้จากการ Interpolate ค่าการเคลื่อนตัวจาก Dial Gauge No. 5 , 6 , 7 ซึ่งได้จากการ plot ระหว่าง Distance กับค่าการทรุดตัว (รูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.15)

จากข้อมูลในภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Settlement ไม่มีความชัดเจนในกรณีที่มี spacing ของ reinforcement มี 4 ชั้น และยาว 80 cm. และไม่เกิดการวิบัติ นอกจากนั้นบางการทดสอบ เมื่อแรงที่มากระทำถึง 200 กก. (0.26 ตัน/ม.²) แล้ว การทรุดตัวจะมีน้อยมาก แสดงให้เห็นว่า Modulus ของทราย และ reinforcement จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำการเพิ่ม load ขึ้นมาเรื่อยๆ ดังนั้นการพล็อตระหว่าง load กับ settlement จึงหาจุดวิบัติได้ยาก (โดยจุดวิบัติกำหนดให้ที่ yield) ข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ข. (รูปที่ ข-9 ถึง ข-16)

จากการเปรียบเทียบข้อมูลจาก Dial Gauge No. 5 , 6 , และ 7 แล้วพบว่า Plate ที่วางอยู่ข้างบนมีพฤติกรรมของ Rigid Plate ในช่วงแรก (แสดงโดยการทรุดตัวที่เท่ากันทั้งตาม gauge) จากนั้นการทรุดตัวจาก gauge ต่างๆจะเริ่มไม่เท่ากัน รูปที่ 4.8 ถึง 4.15 แสดงการ plot ระหว่างข้อมูลการทรุดตัวกับความยาวที่ load ต่างๆกันของการทดสอบทั้งหมด ในรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการทดสอบที่ GT 4-30-80 , GT 6-20-80 , GG 4-30-80 และ GG 6-20-80 เมื่อถึง load สุดท้าย



รูปที่ 4.6 แสดงระยะ Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) ในการทดสอบที่เกิด yield Sample No. 6 (GG 4-30-60)



รูปที่ 4.7 แสดงระยะ Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) ในการทดสอบที่ไม่เกิด yield Sample No. 9 (GG 6-20-80)

ของการทดลอง (Maximum Load) ยังไม่ถึงจุด yield point ซึ่งแสดงโดยการเปลี่ยนแปลงของ อัตราการทรุดตัวต่อ load ที่เข้ามากระทำ

ตารางที่ 4.3 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ Maximum Load ที่ทำการทดสอบ (defined ที่จุดสุดท้ายของการ load นำหนักให้กับโครงสร้างวัสดุเสริมดิน) ในแต่ละการทดลอง

Test No.	Symbol	b (cm.)	จากกราฟรูปที่	Maximum Load (Q) (ton)	Settlement (P) at max. load ที่ระยะ b (cm.)
1	GT 4-30-60	73	4.8	2.53	5.07
2	GT 4-30-60	*	*	*	*
3	GT 4-30-80	75	4.9	4.73	7.70
4	GT 6-20-60	71	4.10	3.53	7.60
5	GT 6-20-80	80	4.11	6.71	8.00
6	GG 4-30-60	71	4.12	1.09	3.25
7	GG 4-30-80	80	4.13	6.71	6.50
8	GG 6-20-60	67	4.14	4.26	6.67
9	GG 6-20-80	80	4.15	11.35	8.35

* การทดสอบเพื่อหาผลของการยึดเหนี่ยว

Maximum Load เป็นจุดสุดท้ายที่มีการให้นำหนักกับโครงสร้างวัสดุเสริมดินในแต่ละการทดลอง

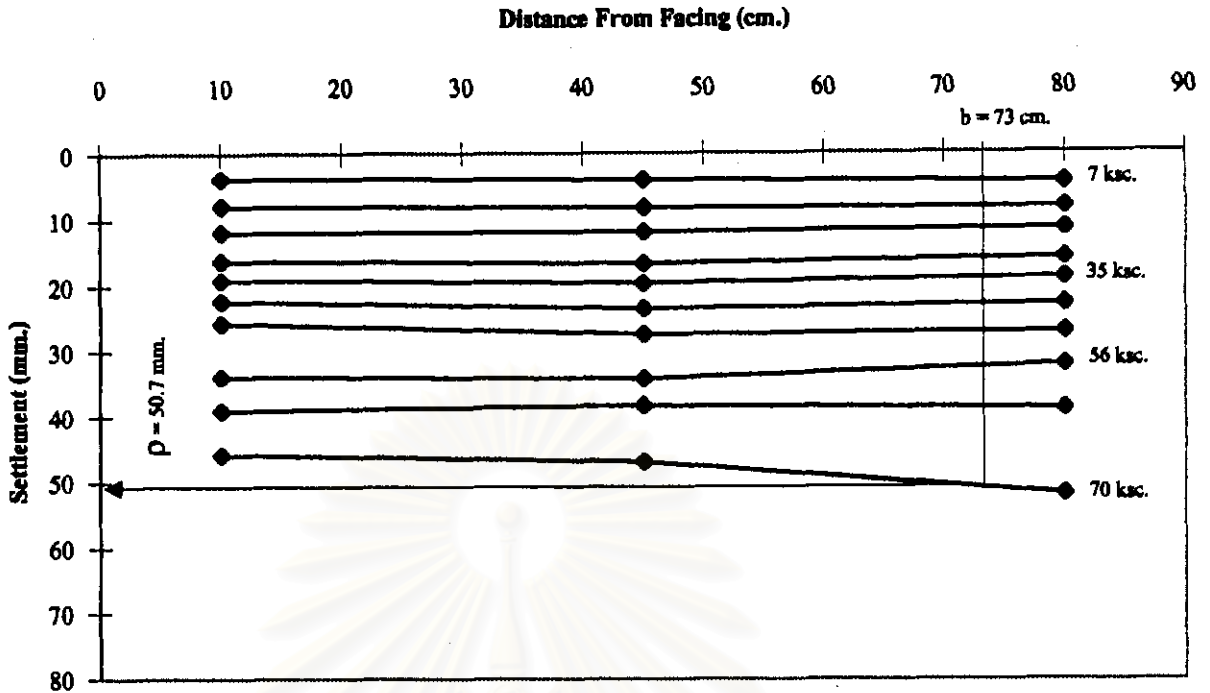
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งเป็นรูปแสดงความหมายของค่า b และ รูปของ Failure Surface ที่อาจเกิดขึ้น จากการเปรียบเทียบในรูปทั้งสองจะเห็นว่าขนาดความยาวของวัสดุเสริมดินขนาด 60 cm. จะเห็นรอยที่แสดง Surface ของการวิบัติชัดเจนกว่าการใช้วัสดุเสริมดินยาว 80 cm. โดยรูปที่แสดง Failure ทั้งหมดจะรวบรวมอยู่ในภาคผนวก ค. เมื่อใช้ความยาวเท่ากับ 80 cm. ผลของแผ่นเหล็กด้านล่างนั้น มีผลกระทบต่อตำแหน่งของระนาบของการวิบัติ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้

ให้ทรายและวัสดุเสริมมีการรับน้ำหนักที่สูงผิดปกติ สาเหตุที่ก้ำกักรับน้ำหนักได้ค่าค่อนข้างผิดปกตินี้ จะแสดงให้เห็นในหัวข้อที่ 4.2.2

ถ้าดูจากรูปที่ 4.6 และ 4.7 และดูค่า b จากตารางที่ 4.3 ตลอดจนรูปของการ failure ในภาคผนวก ก. จะเห็นได้ว่า

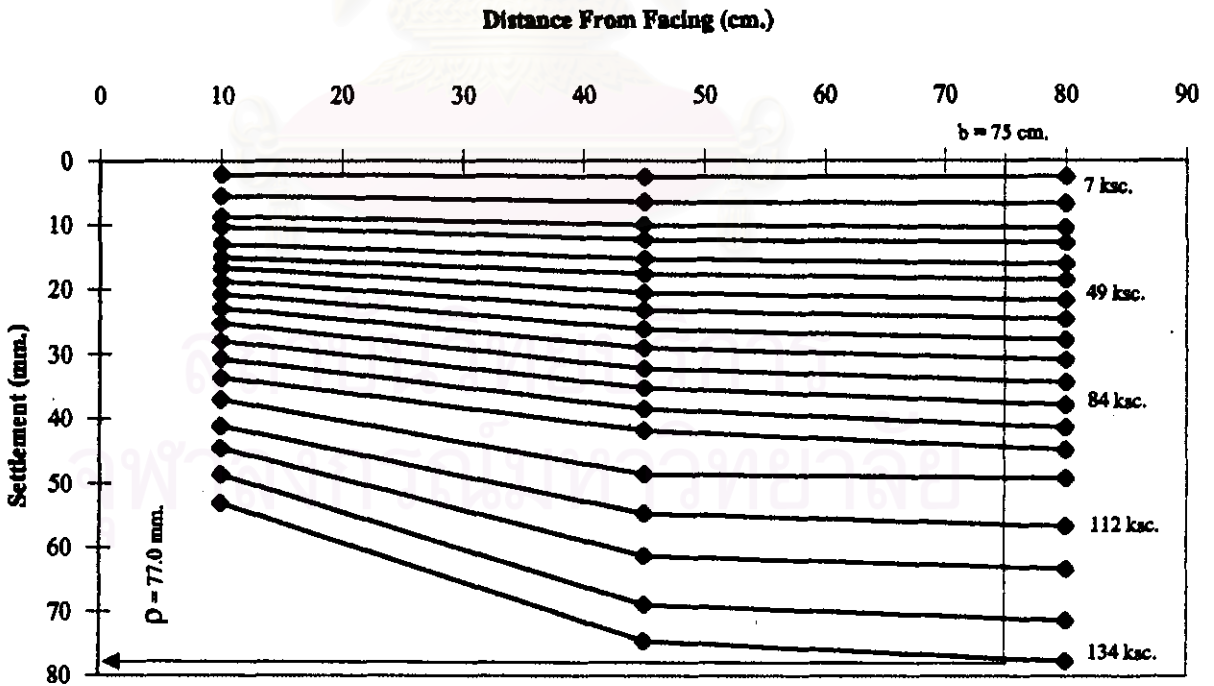
- 1) ระบายที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติอาจเป็นได้ทั้งเป็นรูป wedge และ เส้น arc (ส่วนมากเป็น wedge failure)
- 2) เมื่อความยาวของวัสดุเสริมยาวขึ้นจะรับน้ำหนักได้มากขึ้น และ b มีค่ามากขึ้น
- 3) มุมที่ระบายของการวิบัติทำมุมกับระบายของหน่วยแรงหลัก มีค่าน้อยกว่าที่คาดคะเนโดย Mohr - Coulomb Failure Criteria ดังนั้นการวิบัติไม่ได้เกิดจากสภาพ Active Failure แต่เป็นในรูปของ Overall Stability

ถ้าดูความยาวของ b จะเห็นว่า ค่า b ของ Geogrid และ Geotextile ที่ spacing อันเดียวกัน มีค่าเกือบเท่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของความยาวของวัสดุเสริมจะเห็นได้ว่า b มากขึ้น เมื่อความยาวมากขึ้นของทั้ง Geogrid และ Geotextile ข้อมูลไม่ได้แสดงความเด่นชัดว่าชนิดของวัสดุเสริมก้ำกักรับน้ำหนักได้ค่า b



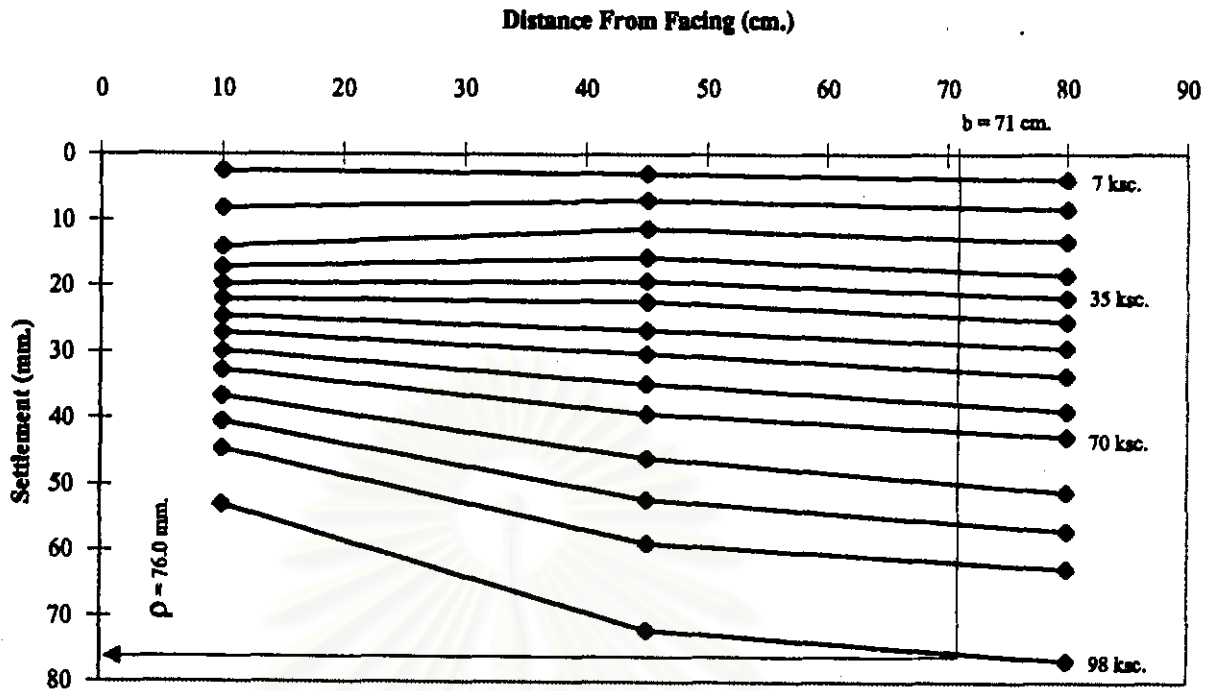
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.8 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT4-30-60



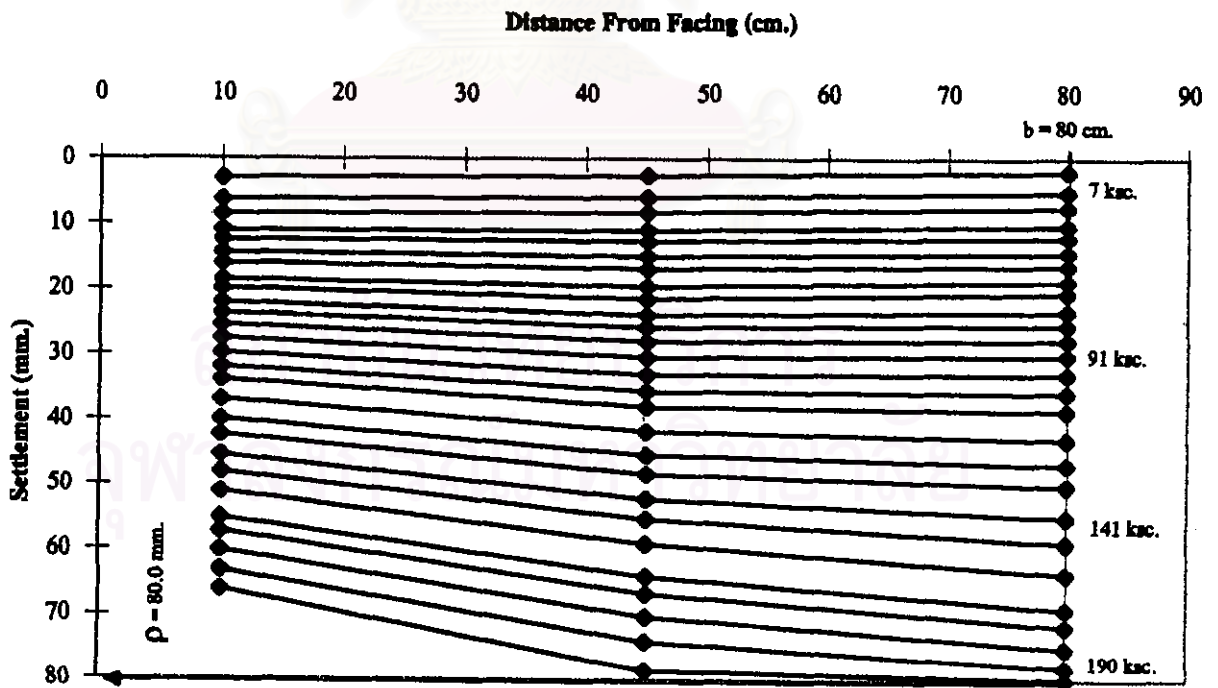
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.9 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT4-30-80



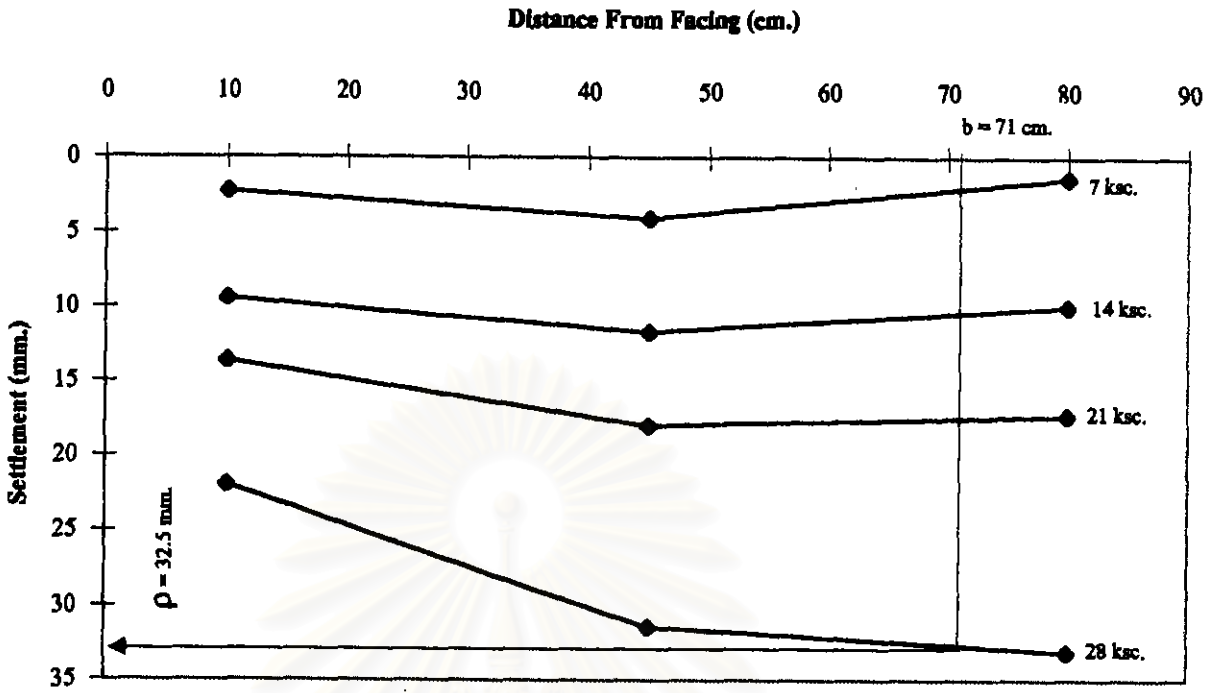
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.10 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT6-20-60



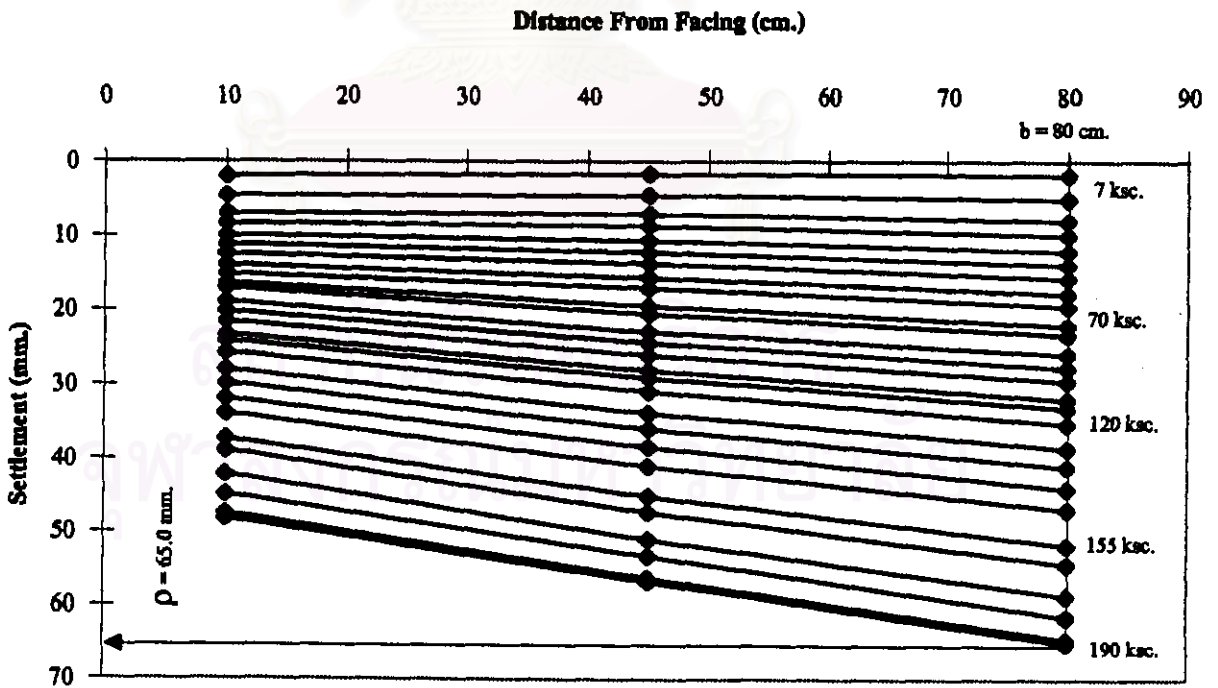
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.11 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT6-20-80



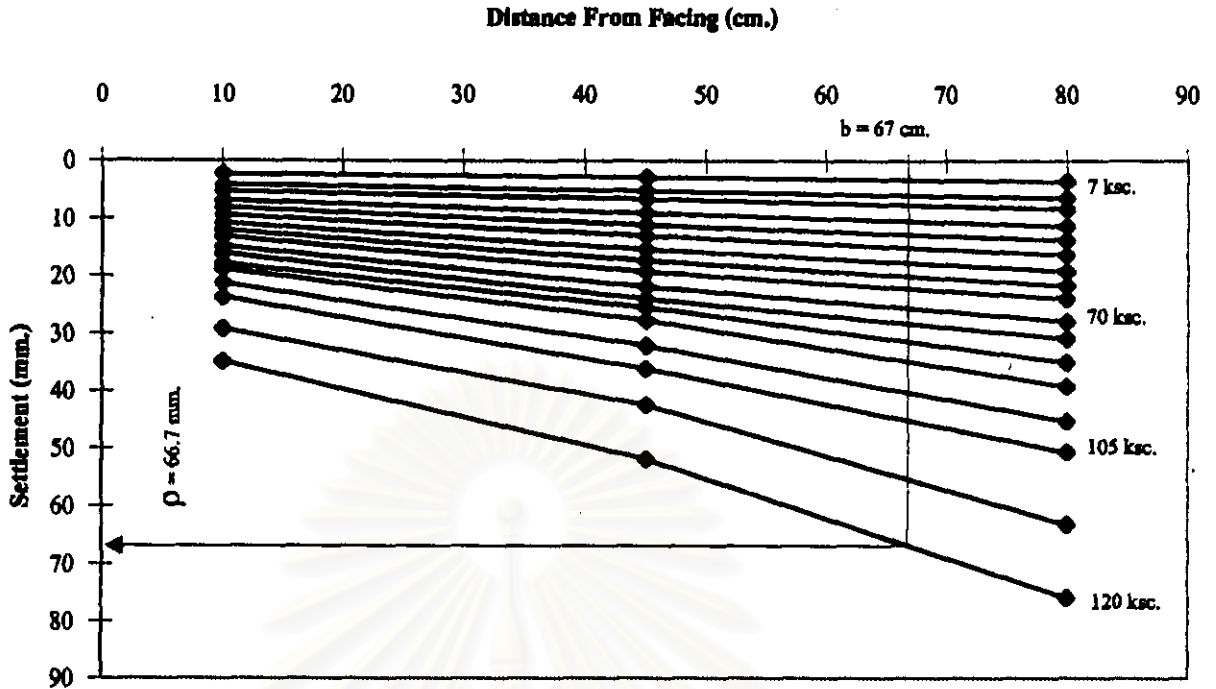
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.12 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG4-30-60



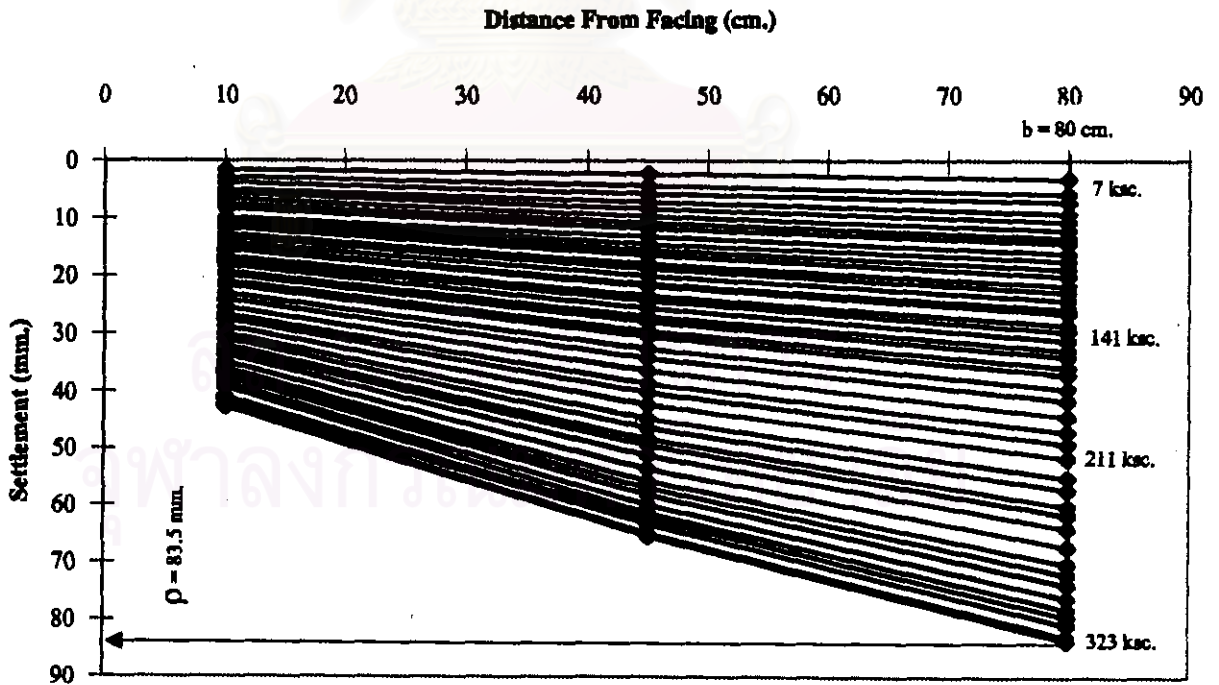
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.13 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG4-30-80



หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.14 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG6-20-60



หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.15 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG6-20-80

4.2.2 วิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Movement, λ) ที่ได้จากผลการทดลอง

จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างกับตำแหน่งของ Dial Gauge ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ถึงรูปที่ 4.23) โดยคิดระยะจากฐานของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ได้แก่ที่ระยะ 15,45,75 และ 105 cm. (ดังรูปที่ 4.5) ที่แต่ละน้ำหนักบรรทุกที่เข้ามากระทำ และจากข้อมูลของค่า Maximum Load (Q) ซึ่งเป็น load สูงสุดที่ทำการทดสอบจะสามารถหาค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างวัสดุเสริมดินรับน้ำหนักถึงค่า Maximum Load (Q) ที่พิจารณา ในแต่ละการทดลองได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ในตารางที่ 4.4 นี้จากค่า Maximum Load ซึ่งเป็น load สุดท้ายของการทดลอง และค่า λ หาได้จากที่ระยะความสูง 60 cm. จากปลาย model ซึ่งอยู่ที่กึ่งกลางของ model ซึ่งควรเป็นค่า maximum ตามทฤษฎี แต่เนื่องจากผลของ boundary condition ของ model ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างจึงอาจไม่ใช่ค่าสูงสุด

ในภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่าเมื่อพล็อตข้อมูลของการเคลื่อนตัวทางด้านข้างกับน้ำหนักบรรทุกของแต่ละ gauge แล้ว (รวมทั้งหมด 4 gauge) จะเห็นได้ว่า ข้อมูลจะแยกเป็นสองกลุ่ม (รูปที่ ข-1 ถึง ข-8) คือ กลุ่มข้อมูลที่อยู่ด้านบนและด้านล่างของ model และกลุ่มของข้อมูลที่ติด gauge ไว้บริเวณกึ่งกลางของ model

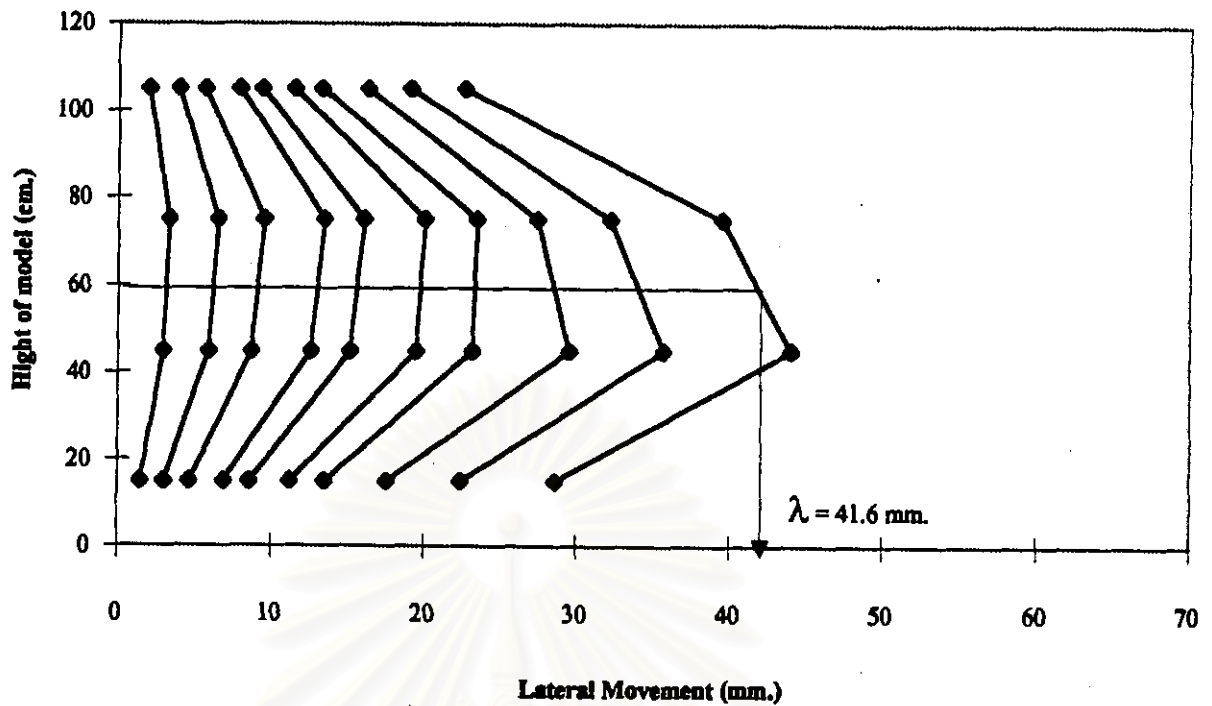
ตารางที่ 4.4 ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง

Test No.	Symbol	จากกราฟรูปที่	Maximum Load (Q) (ton)	Lateral Movement (λ) ที่ face ของ model (cm.)
1	GT 4-30-60	4.16	2.53	4.16
2	GT 4-30-60	*	*	*
3	GT 4-30-80	4.17	4.73	5.90
4	GT 6-20-60	4.18	3.53	5.90
5	GT 6-20-80	4.19	6.71	6.20
6	GG 4-30-60	4.20	1.09	2.33
7	GG 4-30-80	4.21	6.71	3.76
8	GG 6-20-60	4.22	4.26	4.33
9	GG 6-20-80	4.23	11.35	4.10

* การทดลองโดยไม่ใช่วัสดุเสริมกำลังรับน้ำหนักของดิน

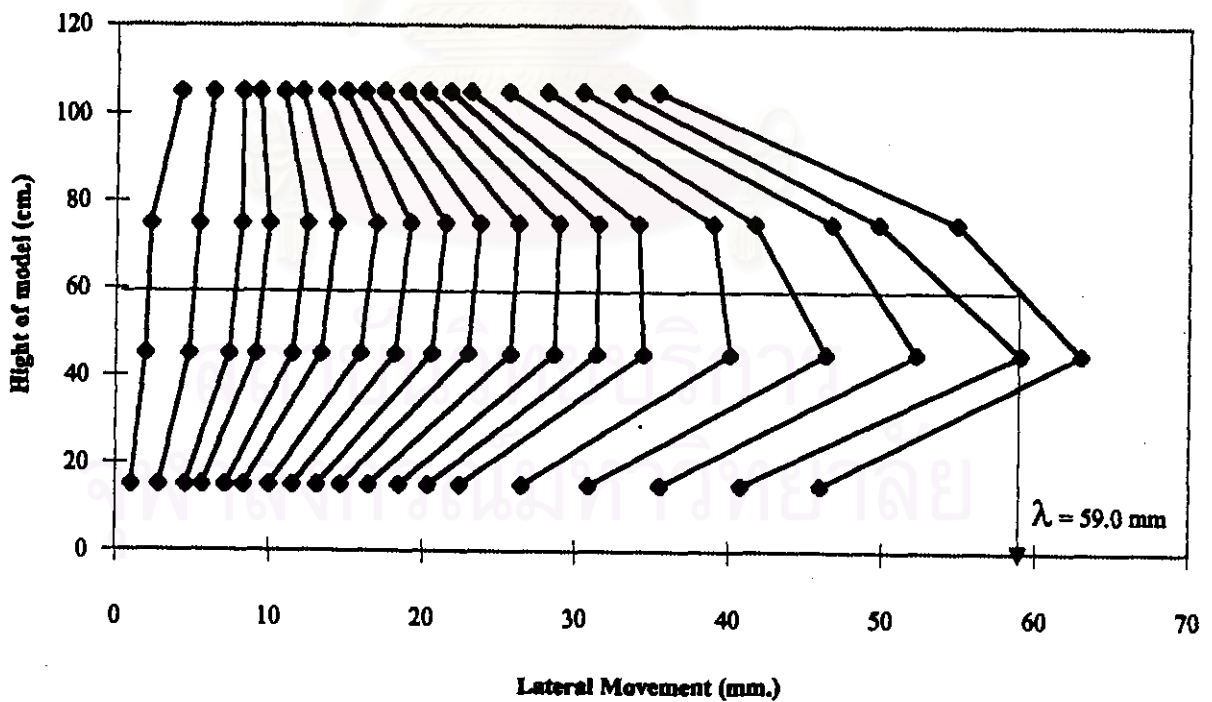
จากข้อมูลอัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (รูปที่ 4.16 ถึง รูปที่ 4.23) จะเห็นได้ว่า ที่น้ำหนักบรรทุกสุดท้ายในการทดลอง (Maximum Load) อัตราการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวทางด้านข้างจะมีมากใน load ครั้งสุดท้าย ยกเว้นในกรณีที่มีความยาวของวัสดุเสริมดินมีความยาวเท่ากับ 80 cm. เพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลของชนิดของ Geotextile และ Geogrid และ Spacing จะ ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.25

จากรูปที่ 4.24-4.25 จะเห็นพฤติกรรมของชนิดของวัสดุเสริม และพฤติกรรมทางด้าน การเคลื่อนตัวทางด้านข้างดังนี้



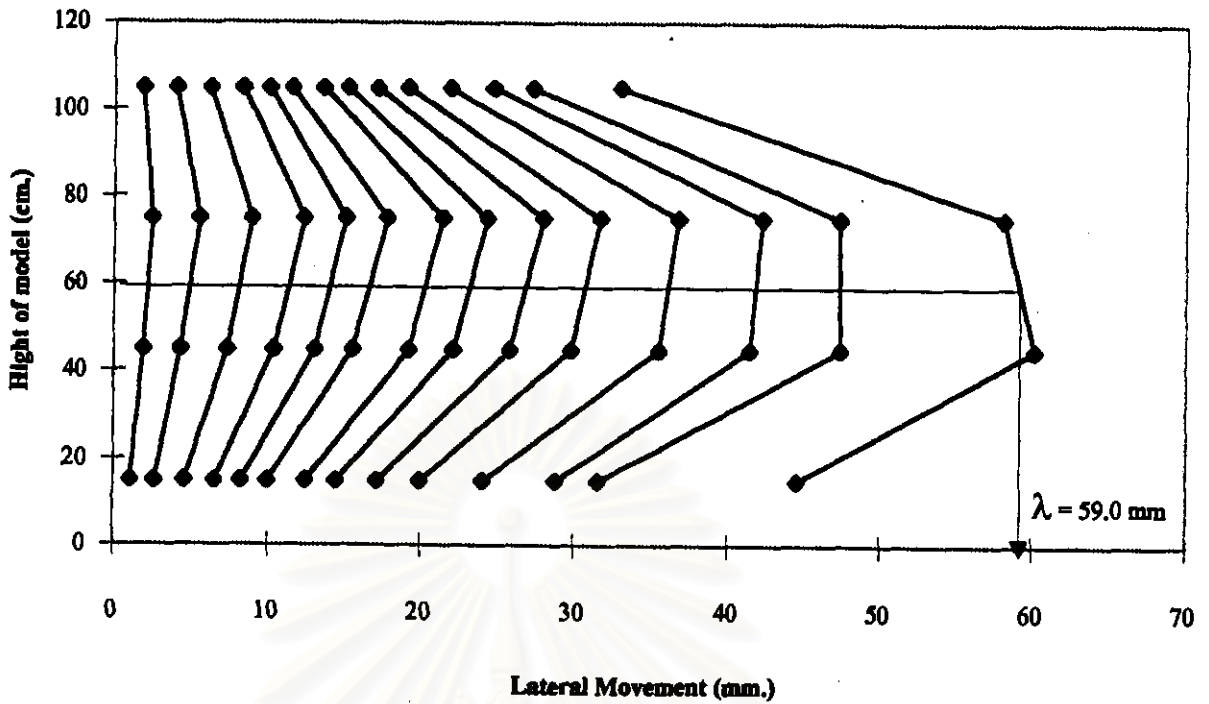
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.16 ตักขณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT4-30-60



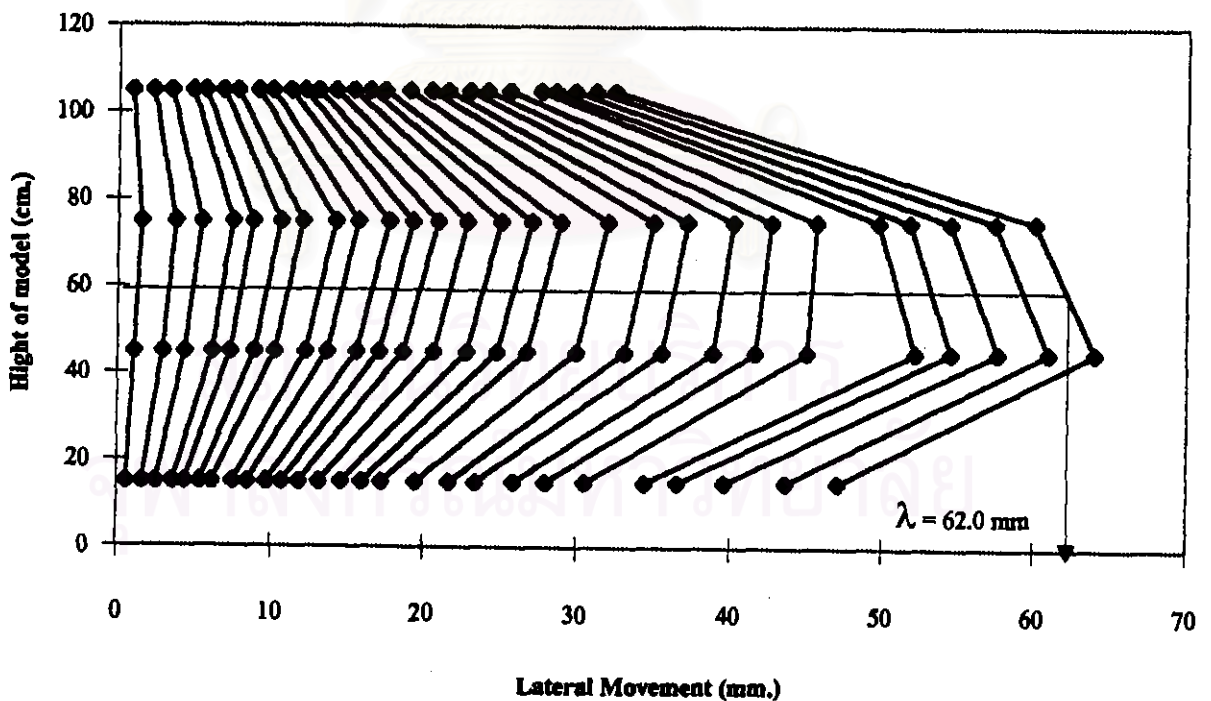
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 ksc. (100 psi)

รูปที่ 4.17 ตักขณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT4-30-80



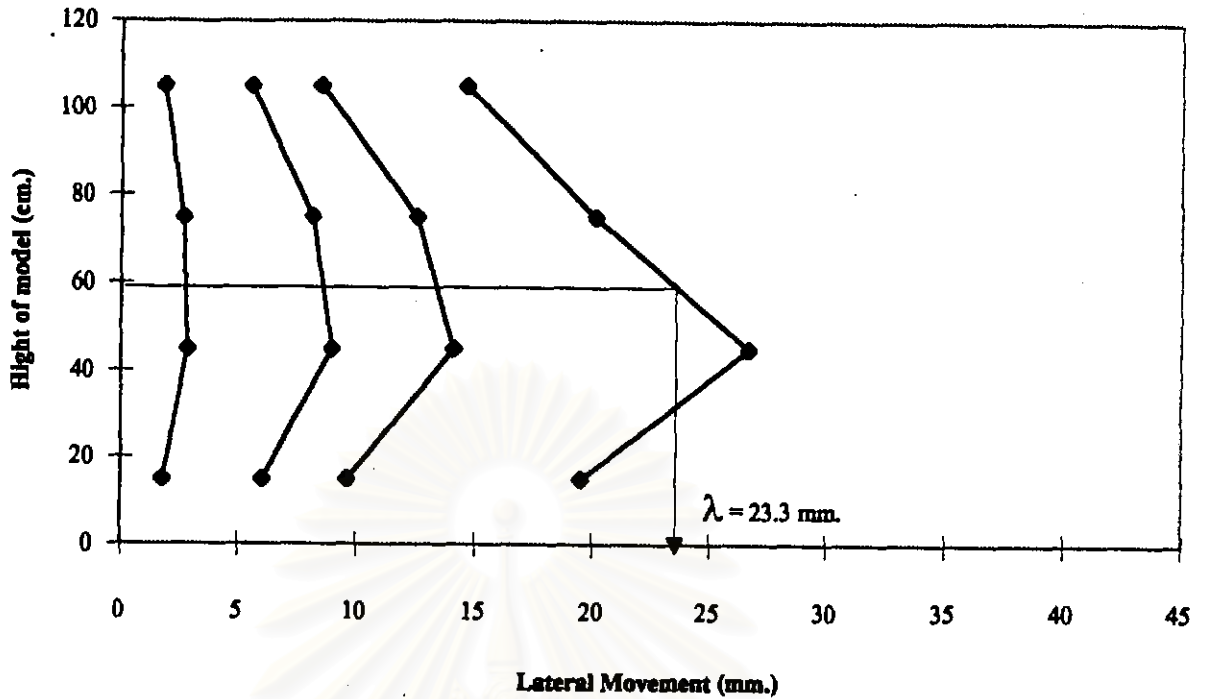
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮโดรลิกครั้งละประมาณ 7 knc. (100 psi)

รูปที่ 4.18 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT6-20-60



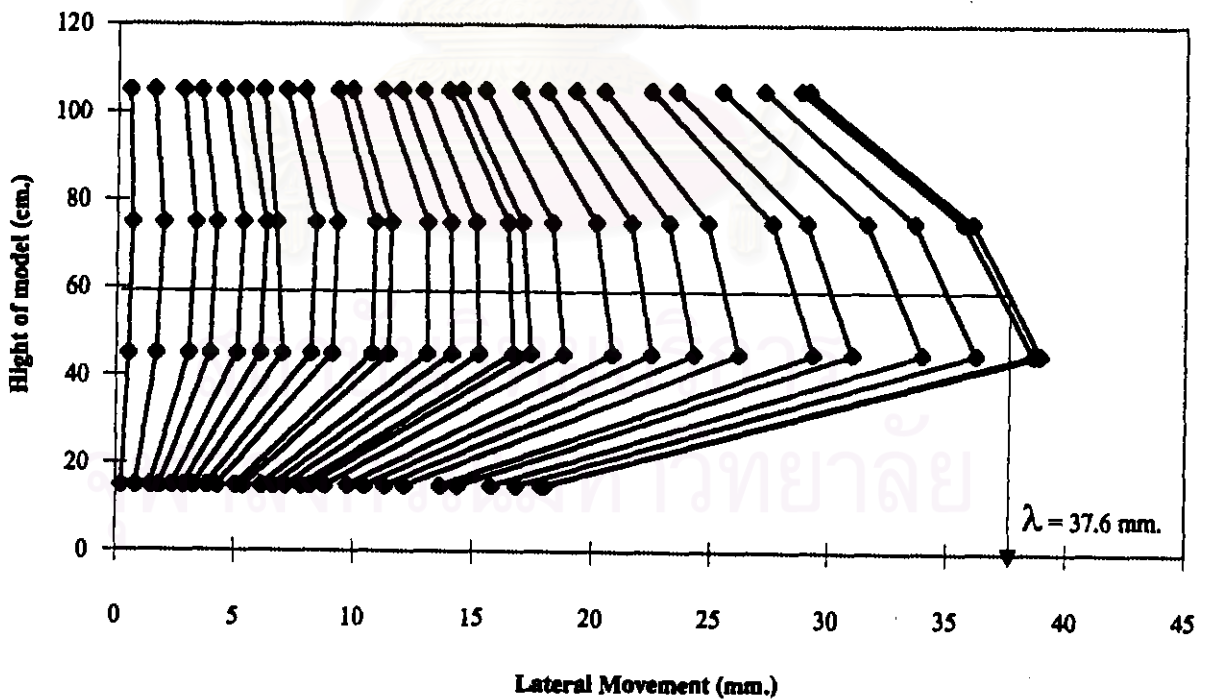
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮโดรลิกครั้งละประมาณ 7 knc. (100 psi)

รูปที่ 4.19 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GT6-20-80



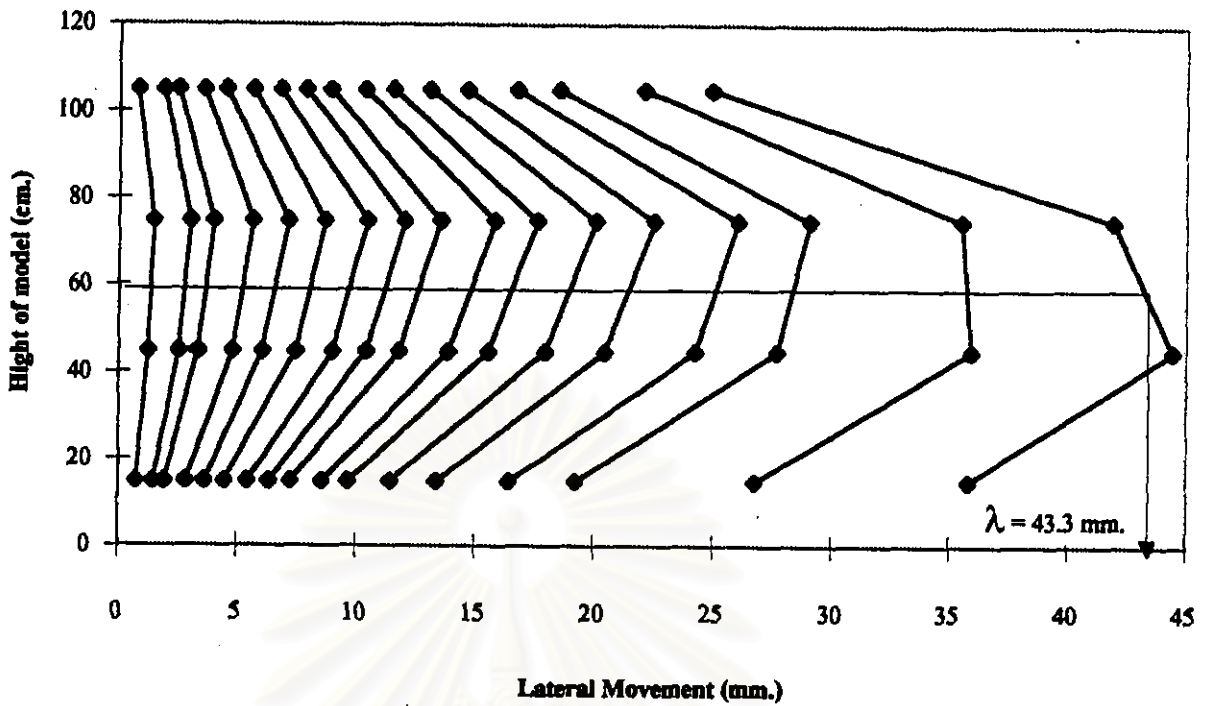
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 kac. (100 psi)

รูปที่ 4.20 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของ โครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG4-30-60



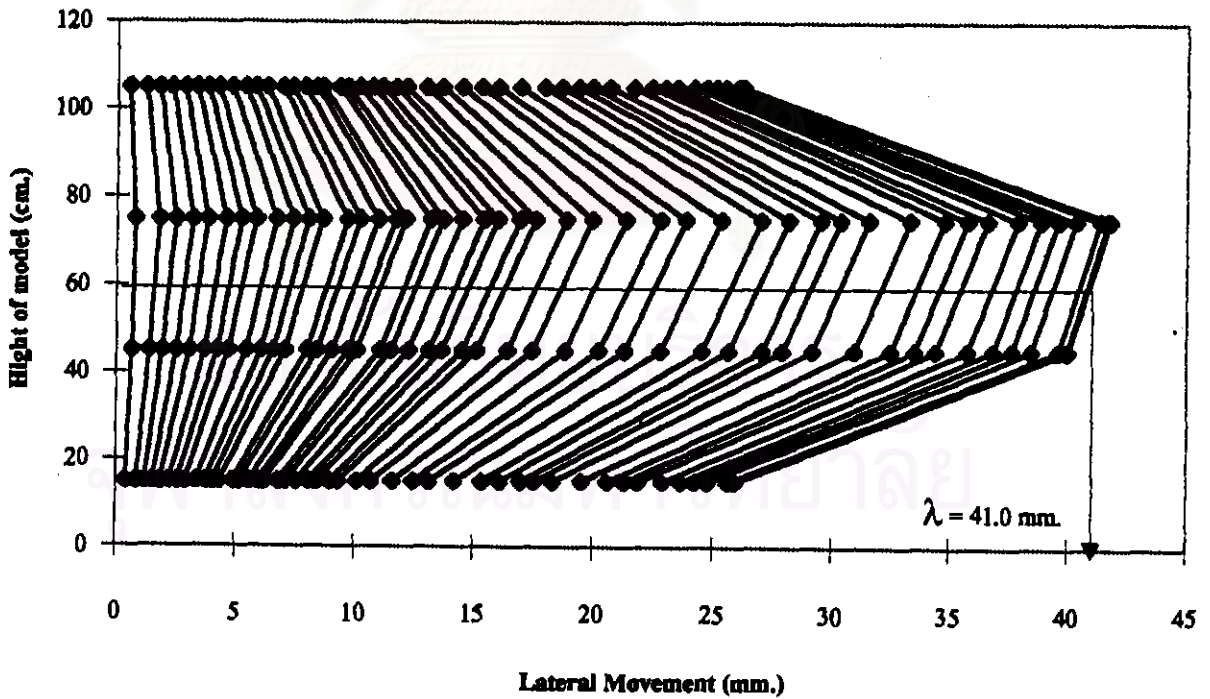
หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 kac. (100 psi)

รูปที่ 4.21 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของ โครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG4-30-80



หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 kac. (100 psi)

รูปที่ 4.22 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG6-20-60



หมายเหตุ เส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงถึงการเพิ่ม Load จากแม่แรงไฮดรอลิกครั้งละประมาณ 7 kac. (100 psi)

รูปที่ 4.23 ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ในกรณีของการทดลองที่ GG6-20-80

1) เมื่อพิจารณาผลของความยาวของวัสดุเสริมจะเห็นได้ว่า อัตราการเคลื่อนตัวของด้านข้าง (cm./ton) ที่ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Load) จะลดลงเมื่อความยาวของวัสดุเสริมคืบเพิ่มขึ้น

2) เมื่อพิจารณาผลของวัสดุ จะเห็นได้ว่า อัตราการเคลื่อนตัวของด้านข้างของ Geogrid จะน้อยกว่าเมื่อพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุกค่าหนึ่ง และผลของชนิดของวัสดุดังกล่าวนี้จะเห็นมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น (พิจารณาที่ Spacing คงที่)

3) ผลของ Spacing จะเห็นได้ว่า เมื่อ Spacing ของวัสดุเสริมคืบมากขึ้น อัตราการเคลื่อนตัวของด้านข้างจะเพิ่มขึ้น โดย Geogrid จะแสดงผลที่น้อยกว่า Geotextile

นอกจากนี้ในรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงผลของ boundary condition เมื่อวัสดุเสริมมีความยาว 80 cm. ไม่ว่าจะ เป็น Geotextile หรือ Geogrid ผลที่เห็นคืออัตราการเคลื่อนตัวของด้านข้างจะมีค่าน้อยลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกใกล้เคียงถึงค่าสุดท้าย และผลกระทบนี้จะมีผลมากในกรณีของ Geogrid และ spacing มีค่าน้อย (spacing มีค่าเท่ากับ 20 cm.)

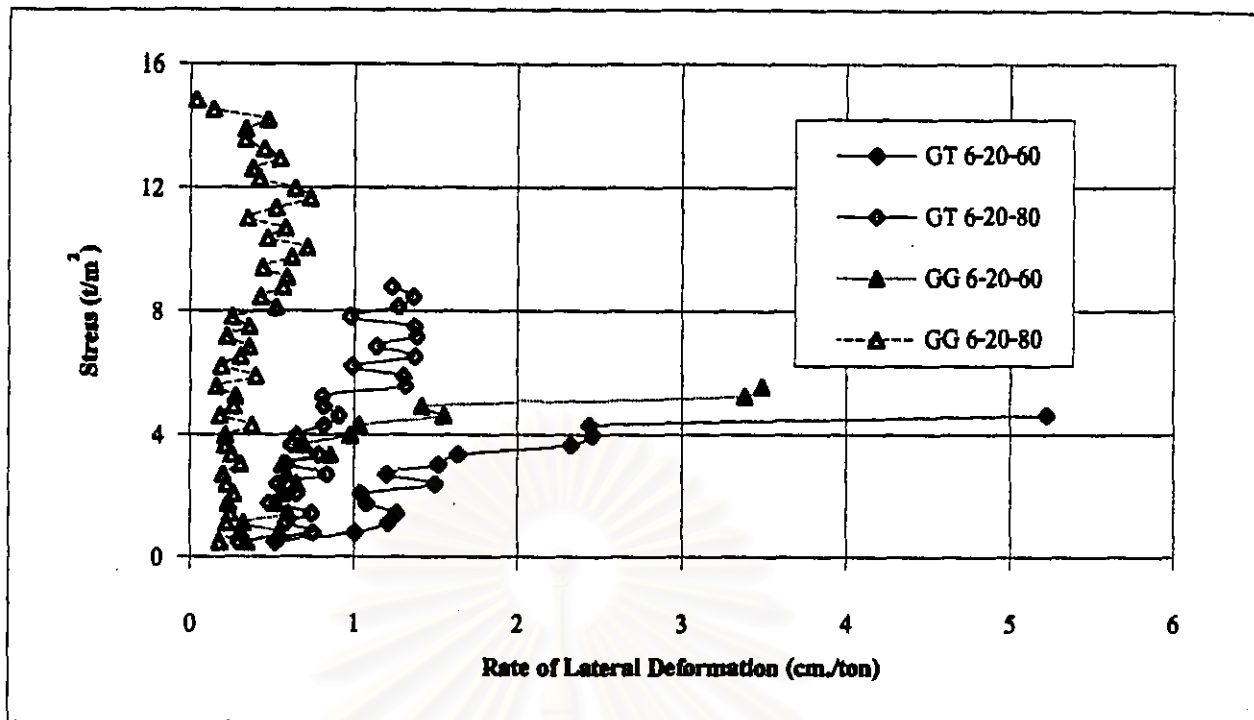
รูปที่ 4.24 และ 4.25 ยังแสดงอีกว่าไม่ว่าวัสดุเสริมจะเป็นชนิดใด และ spacing เท่าใด จุด yield จะไม่เกิดขึ้น สาเหตุอันนี้อาจมาจากผลของ boundary condition อันเนื่องมาจาก model มีขนาดเล็กเกินไปสำหรับความยาวของวัสดุเสริมที่เท่ากับ 80 cm.

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 ว่าการพลัดของน้ำหนักบรรทุกหรือหน่วยแรงกับการเคลื่อนตัวในแนวตั้งจะไม่แสดงถึงการวิบัติอย่างชัดเจน รูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงข้อมูลดังกล่าว นอกจากนั้นในรูปที่ 4.26, 4.27, 4.28 และ 4.29 จะเห็นได้ว่า

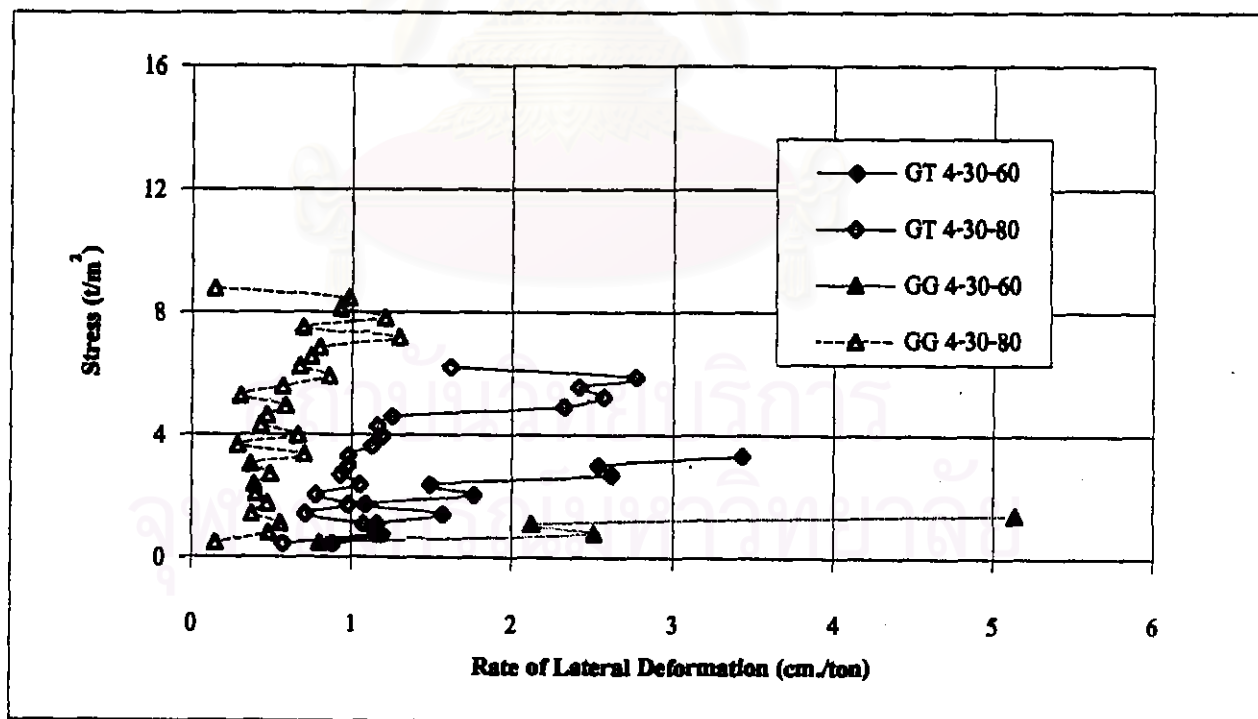
1) ที่ stress ค่าหนึ่งจะเห็นว่าค่าการทรุดตัวและการเคลื่อนตัวของด้านข้างของ Geogrid จะน้อยกว่าของ Geotextile เทียบที่ spacing และความยาวอันเดียวกัน และ Geogrid จะรับ stress ได้มากกว่า Geotextile

2) ที่ spacing เท่ากัน ความยาวของวัสดุเสริมมากขึ้นจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของทรายมีค่ามากขึ้น

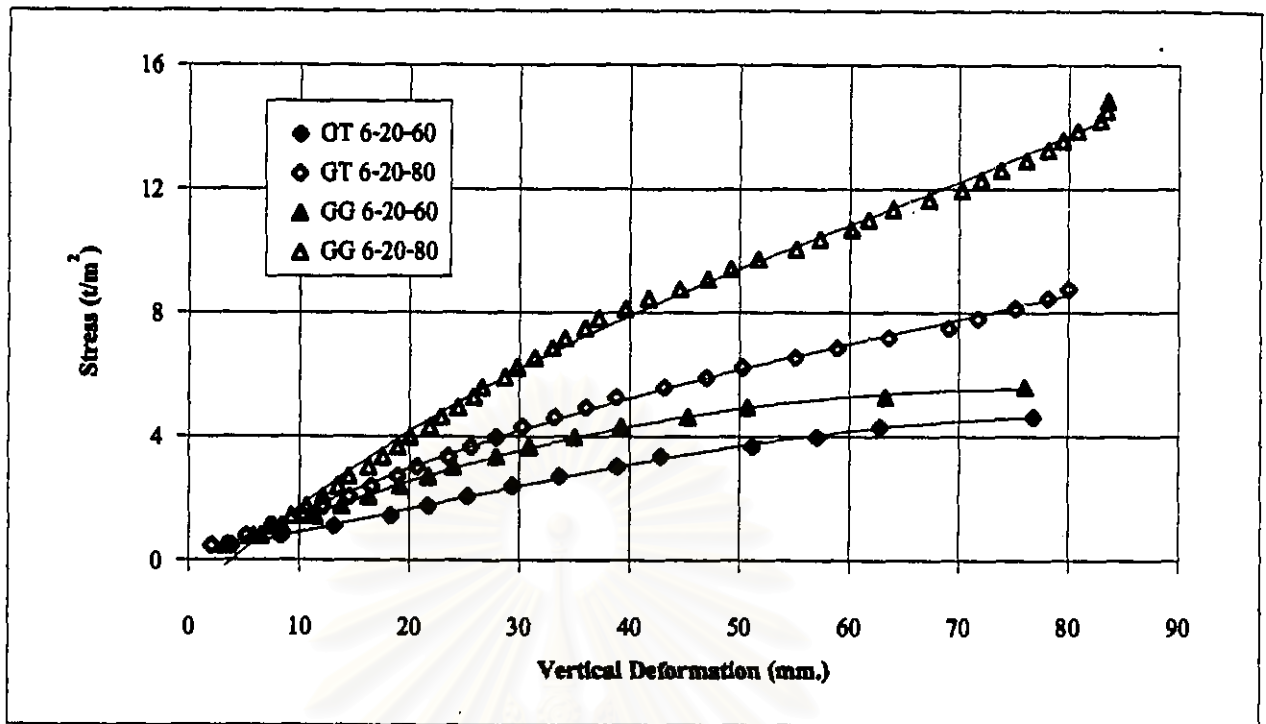
3) เมื่อ spacing ถดถอยจะทำให้การเคลื่อนตัวทั้งทางด้านข้างและในแนวตั้งมีแนวโน้มที่จะถดถอยด้วย



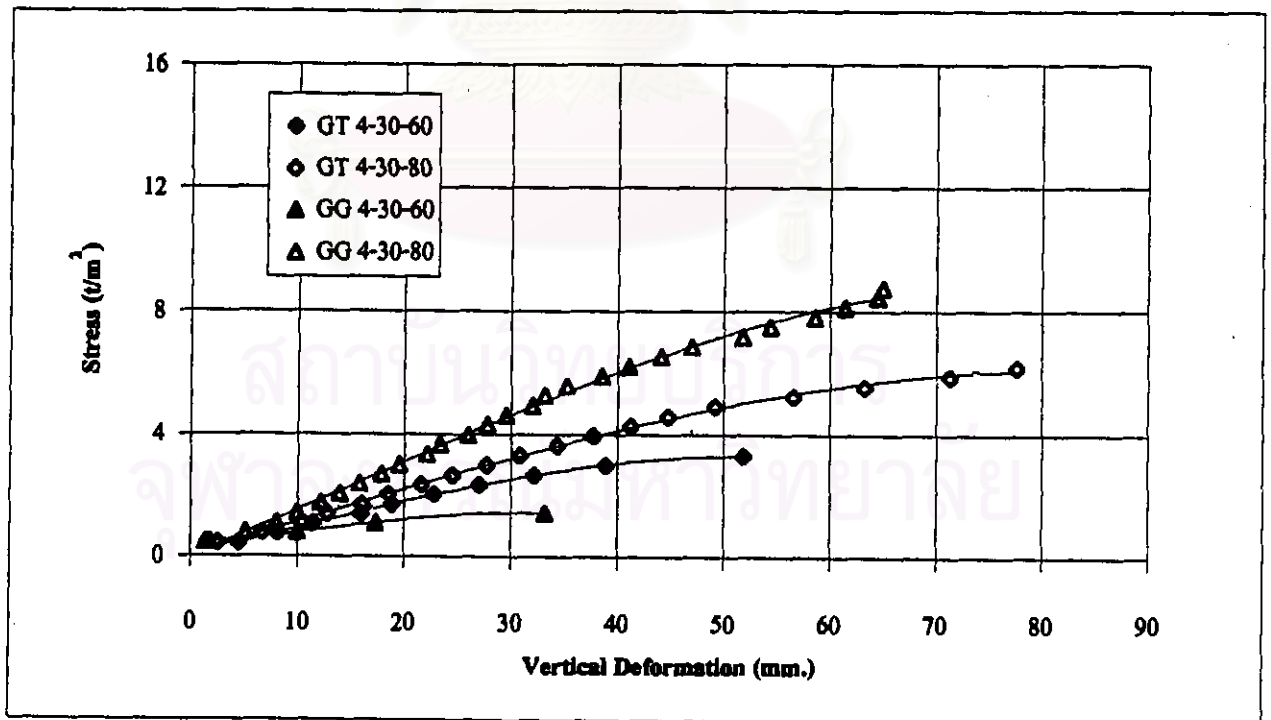
รูปที่ 4.24 แสดงอัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดินเมื่อมีการให้น้ำหนักกับโครงสร้าง
ในกรณีที่มี Spacing มีค่าเท่ากับ 20 cm.



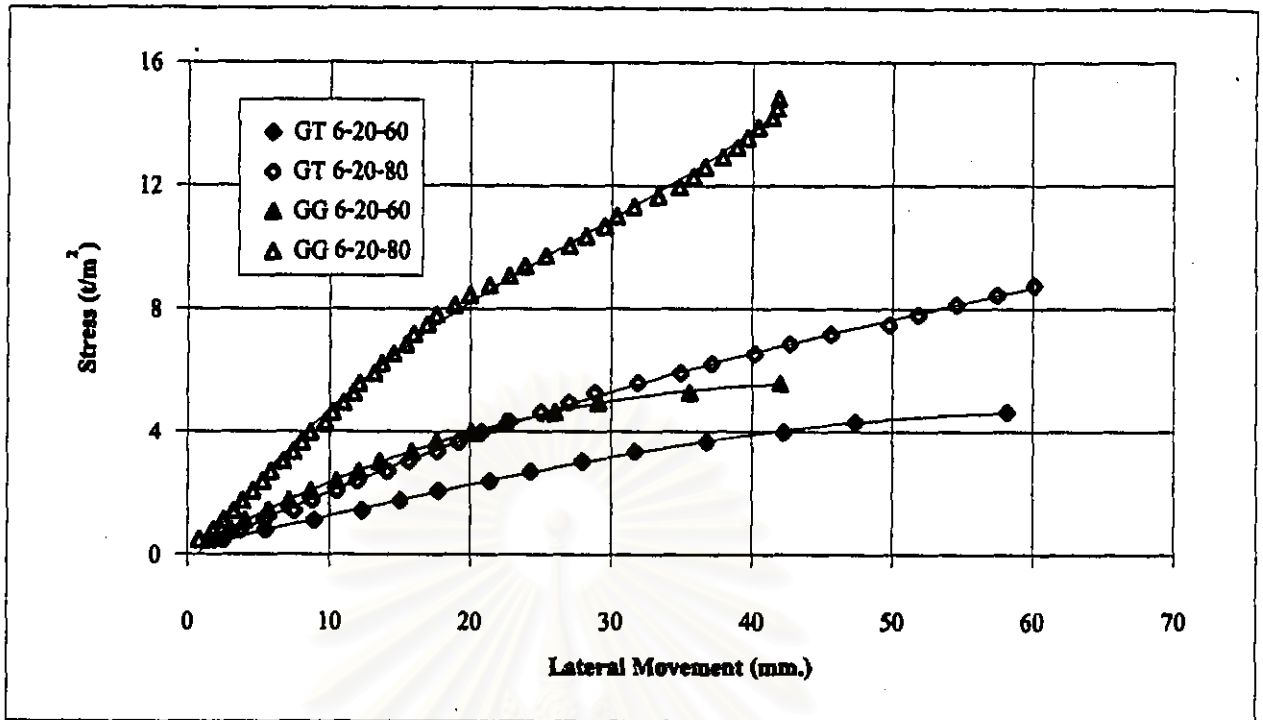
รูปที่ 4.25 แสดงอัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของโครงสร้างวัสดุเสริมดินเมื่อมีการให้น้ำหนักกับโครงสร้าง
ในกรณีที่มี Spacing มีค่าเท่ากับ 30 cm.



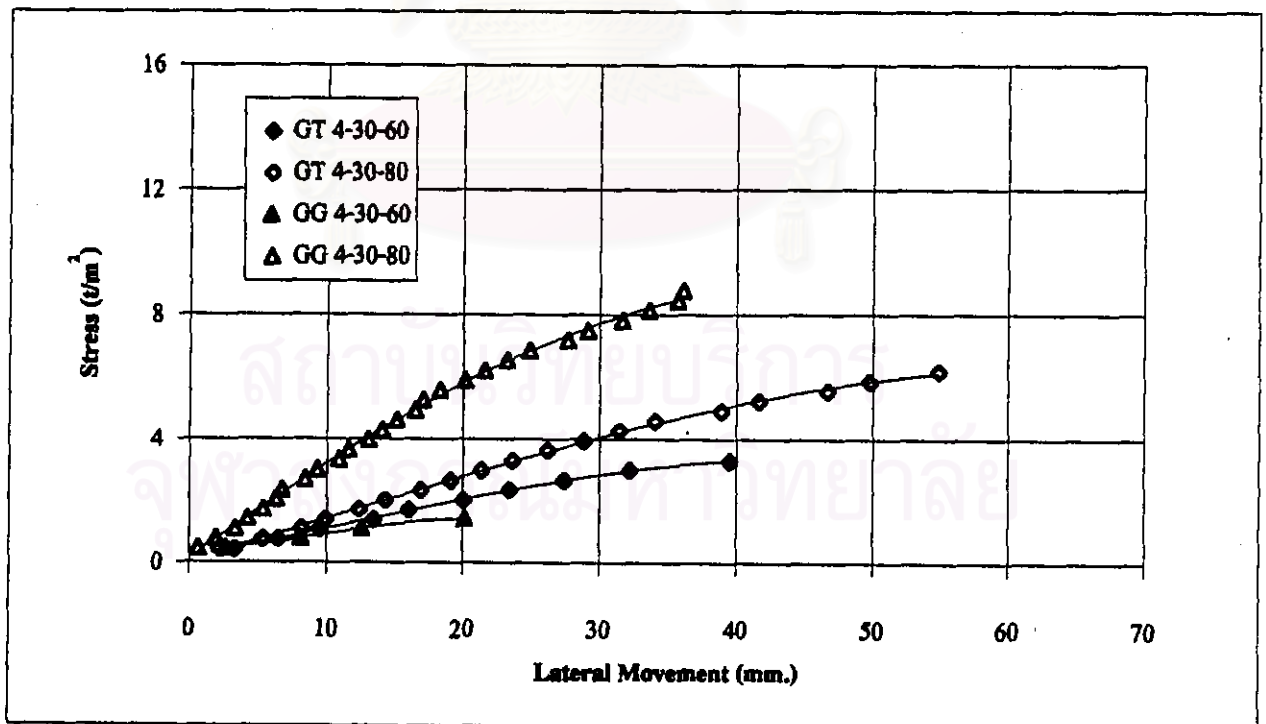
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Vertical Deformation กับค่า Stress ณ ตำแหน่งของ Dial Gauge No. 7 ในกรณีของการทดลองที่มีค่า Spacing เท่ากับ 20 cm.



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Vertical Deformation กับค่า Stress ณ ตำแหน่งของ Dial Gauge No. 7 ในกรณีของการทดลองที่มีค่า Spacing เท่ากับ 30 cm.



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Lateral Movement กับค่า Stress ณ ตำแหน่งของ Dial Gauge No. 2 ในกรณีของการทดลองที่มีค่า Spacing เท่ากับ 20 cm.



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Lateral Movement กับค่า Stress ณ ตำแหน่งของ Dial Gauge No. 2 ในกรณีของการทดลองที่มีค่า Spacing เท่ากับ 30 cm.

4.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมในการต้านทานต่อหน่วยแรงเฉือนที่เข้ามากระทำระหว่าง โครงสร้างที่ไม่ได้ทำการเสริมวัสดุเสริม กับโครงสร้างที่ทำการเสริมวัสดุเสริม

ในการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างที่ไม่ได้ทำการเสริมวัสดุเสริม กับโครงสร้างที่ทำการเสริมวัสดุเสริมนั้น ต้องพิจารณาว่าวัสดุที่ทำเป็น facing กันดินคัน มีความยืดหยุ่นเพียงใด จากการทดลองพบว่า เมื่อถมทรายลงไป โดยไม่มีวัสดุเสริมดินอย่างใดปรากฏว่าทรายเป็นอยู่ไม่ได้ เนื่องจากไม่มีความเชื่อมแน่น พฤติกรรมเช่นนี้แสดงว่าวัสดุที่เป็น facing (ไม้อัด) ไม่มีความแข็งแรงแต่อย่างใด การทดสอบจึงไม่อาจเรียกว่ามีกำแพงกันดินอยู่ หากแต่เป็นการถมทรายให้ตั้งขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น

จากการทดสอบยังพบว่าเมื่อใส่วัสดุเสริมกำลังดินแต่ไม่มีเนื้อยึดกับ facing แล้ว ทรายสามารถตั้งอยู่ได้เพียง 75 cm. โดยไม่มีอะไรยึดเพื่อทดแทนส่วนที่เป็น Overlap Length ตามหลักการของการใช้วัสดุเสริมกำลังอีกด้วย ดังนั้นวัสดุเสริมดินจึงไม่ช่วยทำให้ทรายเป็นอยู่ได้ (หรือไม่ช่วยให้เกิดแรงมากนักในการยันทรายเป็นอยู่ได้) ถ้าไม่มีเนื้อยึดเหนี่ยว แต่เมื่อเอาเนื้อมายึดติดวัสดุเสริมกำลังกับfacing การทดสอบสามารถทรายเป็นอยู่ถึงความสูงที่ต้องการและโครงสร้างนั้นกลับมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น คือสามารถก่อสร้าง และ รับน้ำหนักบรรทุกได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การนำวัสดุเสริมเข้ามาเสริมภายในดินจึงเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้มีค่าความต้านทานต่อหน่วยแรงเฉือนที่เข้ามากระทำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลถึงการมีเสถียรภาพที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างดินนั่นเอง

4.4 ผลของการยึด (Attachment) ตัววัสดุเสริม กับแผงกันดินด้านหน้า (Facing)

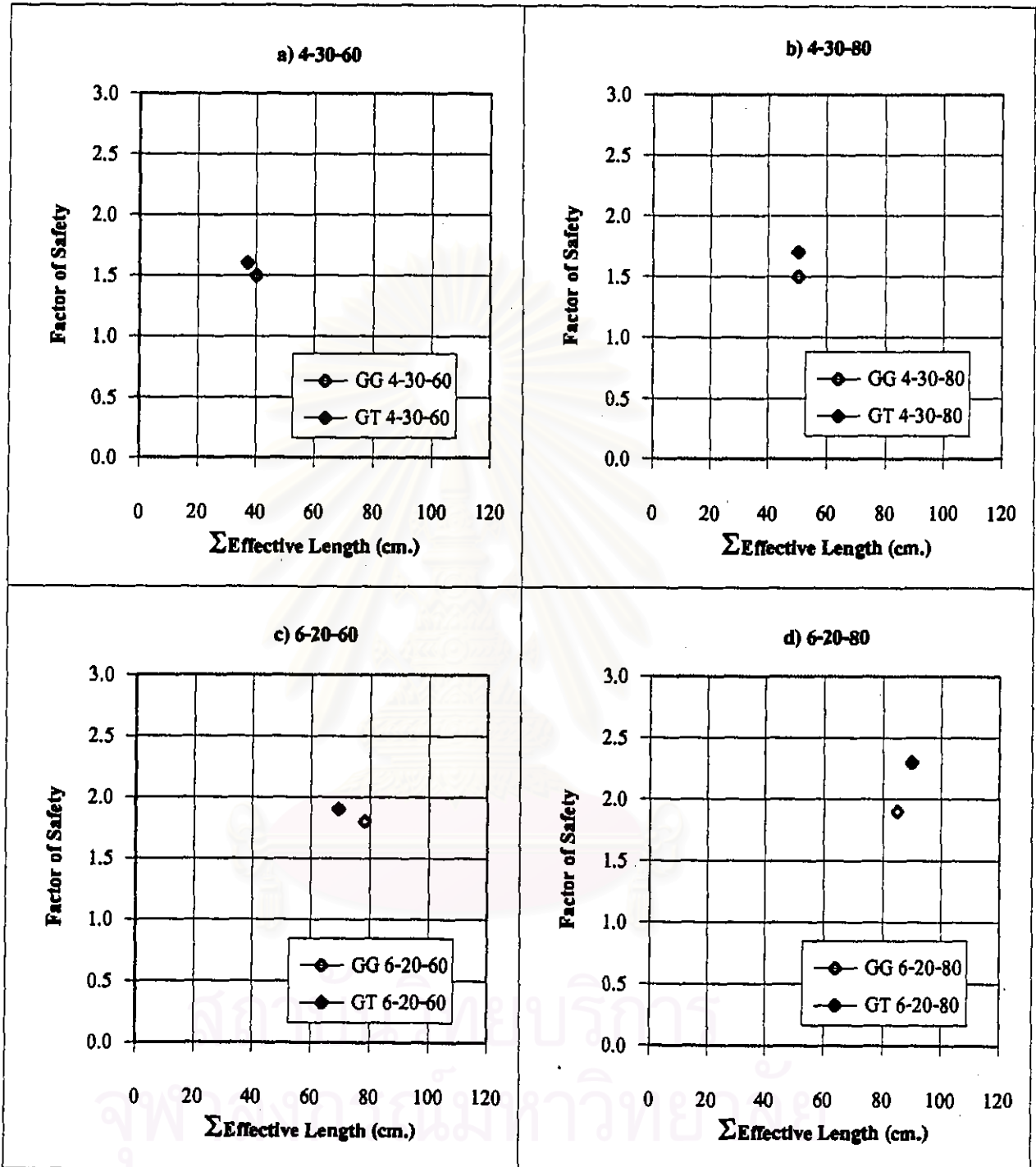
จากตารางที่ 4.6 สำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 (ดูตารางในหัวข้อที่ 4.6) ซึ่งมีค่า condition ต่างๆเหมือนกันทั้งสองการทดลอง แต่ต่างกันตรงที่ในการทดลองที่ 1 นั้น จะทำการยึดติดแผ่นวัสดุเสริม ได้แก่ Geotextile กับแผงกันดินด้านหน้า (Facing) ด้วยการขันน็อตยึดติดให้แน่น ส่วนในการทดลองที่ 2 นั้นจะเป็นเพียงแค่การวางแผ่น Geotextile ไว้เฉยๆ โดยไม่มีการยึดติดกับ facing

จากการทดลองที่ 1 จะได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 แต่ในการทดลองที่ 2 นั้นเราจะไม่สามารถทำการก่อสร้างให้เสร็จสิ้นได้เนื่องจากเมื่อทำการเททรายจนได้ความสูงของโครงสร้างวัสดุเสริมดินเท่ากับ 75 cm. โครงสร้างจะเกิดการพังทลายลงมา ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การยึดติดตัววัสดุเสริมกับ facing นั้นจะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน กล่าวคือในกรณีที่ทำกรยึดติดวัสดุเสริมกับ facing นั้น ตัว facing จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็น Reaction Frame หรือ Overlap Length ในการก่อสร้างจริง ที่จะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นภายในตัววัสดุเสริมเมื่อมีการเคลื่อนตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน เพื่อต้านทานการพังทลายนั่นเอง ส่วนในกรณีที่ไม่ได้ทำการยึดติดวัสดุเสริมกับ facing นั้นจะเกิดแรงดึงขึ้นเพียงเล็กน้อยภายในตัววัสดุเสริมเมื่อมีการเคลื่อนตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ดังนั้นในกรณีนี้ตัววัสดุเสริมที่ใส่เข้าไปในโครงสร้างจึงไม่มีส่วนช่วยมากนักในการเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงสร้างวัสดุเสริมดิน

4.5 ลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างวัสดุเสริมดิน

ลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น จะถูกกำหนดไว้ด้วยค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) และค่า Effective Length (L_e) โดยจากรูปที่ 4.54 - 4.57 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length จะได้ว่าชนิดของวัสดุเสริมไม่มีผลต่อลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้นมากนัก เนื่องจากในกรณีของการทดลองที่มีค่า Vertical Spacing และความยาวของวัสดุเสริมเหมือนกัน แต่ต่างกันที่ชนิดของวัสดุเสริมที่ใช้ โดยดูได้จากค่า Effective Length และ ค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันมากนั่นเอง และจากรูปที่ 4.30 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลรวมของค่า Effective Length ($\sum L_e$) กับค่า Factor of Safety จะเห็นได้ว่าชนิดของวัสดุเสริมจะไม่มีผลต่อค่าผลรวมของค่า Effective Length ($\sum L_e$) ด้วย เนื่องจากในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน แต่ค่า Vertical Spacing และความยาวของวัสดุเสริมเท่ากันนั้น ค่า $\sum L_e$ ที่ได้ก็จะมีค่าใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ค่า Effective Length ในแต่ละชั้นมีค่าเท่าๆกันนั่นเอง

ในกรณีของค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) นั้นจากรูปที่ 4.34 - 4.37 และ 4.44 - 4.47 จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของค่า Maximum Horizontal Width of



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Σ Effective Length กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ที่ Vertical Spacing และ ความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน

Failure Surface ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกควบคุมด้วยค่าความยาวของวัสดุเสริม โดยเมื่อความยาวของวัสดุเสริมเพิ่มขึ้น ค่า b ก็จะสูงขึ้นด้วย โดยผลกระทบของ Spacing และชนิดของวัสดุเสริมมีผลน้อยมาก (ตารางที่ 4.6)

จากรูปของ model ที่แสดงในภาคผนวก ค. จะสามารถสรุปลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้นของแต่ละการทดลองได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง

Test No.	Symbol	ลักษณะของ Failure Surface ที่เกิดขึ้น
1	GT 4-30-60	Arc Failure
2*	GT 4-30-60	*
3	GT 4-30-80	Wedge Failure
4	GT 6-20-60	Wedge Failure
5	GT 6-20-80	Wedge Failure
6	GG 4-30-60	Arc Failure
7	GG 4-30-80	Wedge Failure
8	GG 6-20-60	Wedge Failure
9	GG 6-20-80	Wedge Failure

* การทดสอบเพื่อหามลของการยึดเหนี่ยว

4.6 การตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุเสริมคอนกรีตโดยการวิบัติเกิดขึ้นใน Mode Overall Stability

ในขณะที่ทำการทดสอบ model ก่อนสิ้นสุดการทดสอบ พฤติกรรมของ model ได้แสดงให้เห็นว่า ระบายของการวิบัติจะเกิดเป็นชนิดใด (wedge หรือ arc) และมีตำแหน่งอยู่ที่ใด ดังแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. ในหัวข้อนี้จะเสนอผลการวิเคราะห์ ค่าที่กักความปลอดภัยของการทดสอบต่างๆ ซึ่งทำเพื่อแสดงผลของ Spacing, ชนิด และความยาวของวัสดุเสริม

การวิเคราะห์ทำตามหลักการของ Colin Jones ในกรณีที่ Failure Surface เป็น wedge การวิเคราะห์ต้องตั้งสมมุติฐานว่า ค่าที่กักความปลอดภัยบนระนาบของการวิบัติต้องเท่ากันตลอด นั่นคือแรงกระทำบน Vertical Surface ของ wedge (ดังรูปที่ 2.43 ในหัวข้อที่ 2.9.2) อยู่ในสภาพไปในลักษณะ active การคำนวณจึงเหมือนกับ Rankine Active Pressure แต่คำนวณด้านทานแรงเฉือนเป็นมุม ϕ_m โดยใช้หลักการที่ว่า

$$F.S. = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_m}$$

โดยใช้วิธี Trial and Error โดยกำหนดค่า F.S. แล้ว iterate จนกระทั่ง F.S. เท่ากับค่า assume ค่า F.S. คำนี้อถือว่าเป็นค่า F.S. ที่ถูกต้อง (ดูรายการคำนวณในภาคผนวก ง.)

ตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงค่า F.S. ที่ได้ ตลอดจนค่า ϕ_m และ ϕ_m โดย ratio ของค่า ϕ_m / ϕ_m assume เท่ากับ ϕ_c / ϕ ในการวิเคราะห์ ตารางที่ 4.6 นี้ยังแสดงค่าต่างๆที่ทำเพื่อทำการวิเคราะห์หรือแสดงความหมายทางด้าน practical ว่าการทดสอบ model ที่ทำแสดงอะไรบ้าง

ค่าต่างๆที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 มีคำจำกัดความดังนี้

1. ค่า Coefficient of Interaction (ξ) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของผิวสัมผัสที่ได้มาจากสมการที่ 2.16 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.5.1

2. ค่า β ซึ่งเป็นค่ามุมที่เกิดจาก Line of Failure ทำมุมกับแนวตั้งฉากของแผงกันดิน ด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.40 และ 2.42 ในหัวข้อ 2.9.2

3. ค่า h ซึ่งเป็นระยะความสูงของ wedge ที่ได้จาก Failure Surface ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.40 และ 2.42 ในหัวข้อ 2.9.2

4. ค่า Maximum Load (Q) คำนำน้หนักสูงสุดที่โครงสร้างวัตถุเสริมดินจะรับได้นั้นจะ ได้มาจากค่าน้หนักสุดท้ายในการทดสอบที่ load ให้กับโครงสร้างวัตถุเสริมดินของแต่ละการ ทดลอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.2

5. ค่า Equivalent Height (H) เป็นค่าที่ได้จากการแปลงค่า Maximum Load (Q) ให้ เป็นระยะความสูง แล้วนำค่าที่ได้ไปรวมกับค่า h (ในข้อ 3) ที่หาได้ ซึ่งในการหาค่า Equivalent Height จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ให้ } q = Q / Bl$$

เมื่อ B = ความกว้างของแผ่นเหล็กถ้ำน้ำหนักรที่ใช้ในการทดลอง

l = ความยาวของแผ่นเหล็กถ้ำน้ำหนักรที่ใช้ในการทดลอง

$$\therefore \text{จะได้ว่า } H = h + (q/\gamma)$$

6. ค่าการทรุดตัว (ρ) เป็นค่าการทรุดตัวที่หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าการ ทรุดตัวกับตำแหน่งของ Dial Gauge ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่แต่ละน้ำหนักรบรรทุก ที่เข้ามากระทำ ในจุดของ Maximum Load (Q) ที่พิจารณา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1

7. ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง (λ) เป็นค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างกับตำแหน่งของ Dial Gauge ที่ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่แต่ละน้ำหนักรบรรทุกที่เข้ามากระทำ ในจุดของ Maximum Load (Q) ที่พิจารณา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2.2

ตารางที่ 4.6 SUMMARY OF TEST RESULT

NO.	CASE	γ (g/cm ³)	ϕ	ϕ_e	f_b	β	h (cm.)	Q (ton.)	H (m.)	ρ (cm.)	λ (cm.)	b (cm.)	Effective Length (cm.)						F.S.	ϕ_m	ϕ_{em}		
													Lb1	Lb2	Lb3	Lb4	Lb5	Lb6					
1	GT 4-30-60	1.67	39.7	37.9	0.94	40	115.0	2.53	3.13	5.07	4.16	73.0	0	7	30	0	-	-	1.6	27.52	26.09		
2	GT 4-30-60	1.67	39.7	37.9	0.94	-	75.0	-	FAILURE DURING CONSTRUCTED UP TO THE HEIGHT OF 75 CM.												-	-	-
3	GT 4-30-80	1.67	39.7	37.9	0.94	45	115.0	4.73	4.85	7.70	5.90	75.0	0	5	45	0	-	-	1.7	26.15	24.77		
4	GT 6-20-60	1.67	39.7	37.9	0.94	38	120.0	3.53	3.96	7.60	5.90	71.0	0	0	0	5	24	40	1.9	23.81	22.53		
5	GT 6-20-80	1.67	39.7	37.9	0.94	47	112.5	6.71	6.38	8.00	6.20	80.0	0	0	0	30	60	0	2.3	19.75	18.65		
6	GG 4-30-60	1.67	39.7	39.0	0.98	40	115.0	1.09	2.00	3.25	2.33	71.0	0	10	30	0	-	-	1.5	29.23	28.73		
7	GG 4-30-80	1.67	39.7	39.0	0.98	46	115.0	6.71	6.40	6.50	3.76	80.0	0	5	45	0	-	-	1.5	29.49	29.00		
8	GG 6-20-60	1.67	39.7	39.0	0.98	37	120.0	4.26	4.53	6.67	4.33	67.0	0	0	0	10	26	42	1.8	25.30	24.86		
9	GG 6-20-80	1.67	39.7	39.0	0.98	46	117.5	11.35	10.06	8.35	4.10	80.0	0	0	0	30	55	0	1.9	24.02	23.59		

หมายเหตุ * ในการทดลองที่ 2 จะไม่ได้ทำการยึดติดตัวตุ้มน้ำหนักกับคานด้านบน

8. ค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) ซึ่งเป็นระยะที่ Line of Failure ตัดผ่านผิวด้านบนของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ในหัวข้อที่ 4.2.1

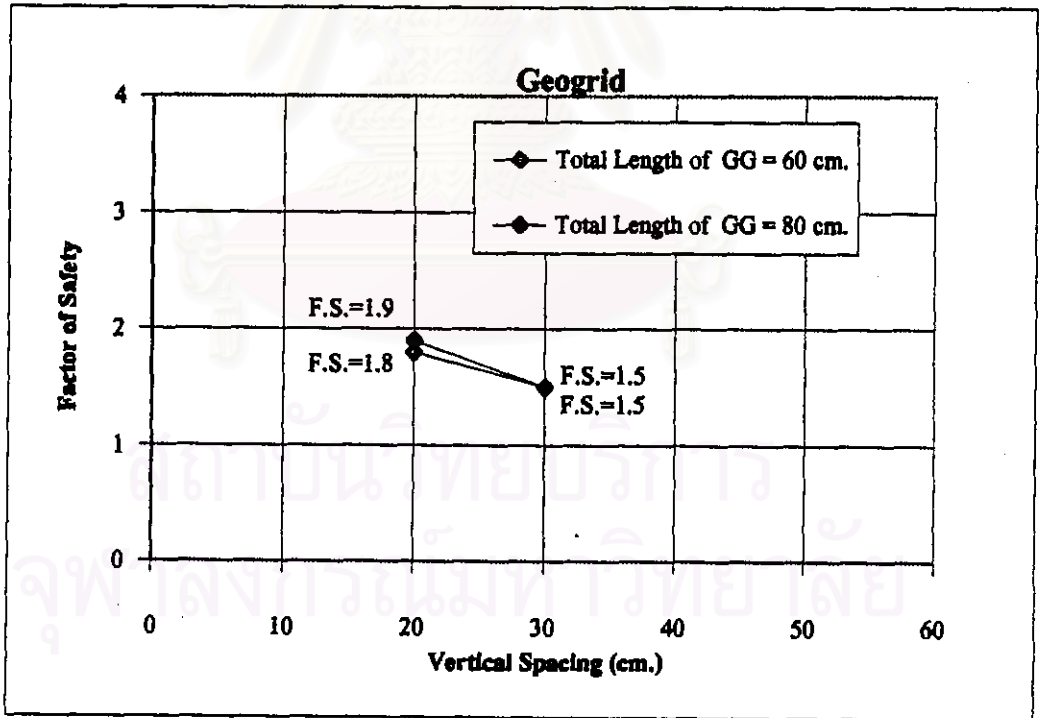
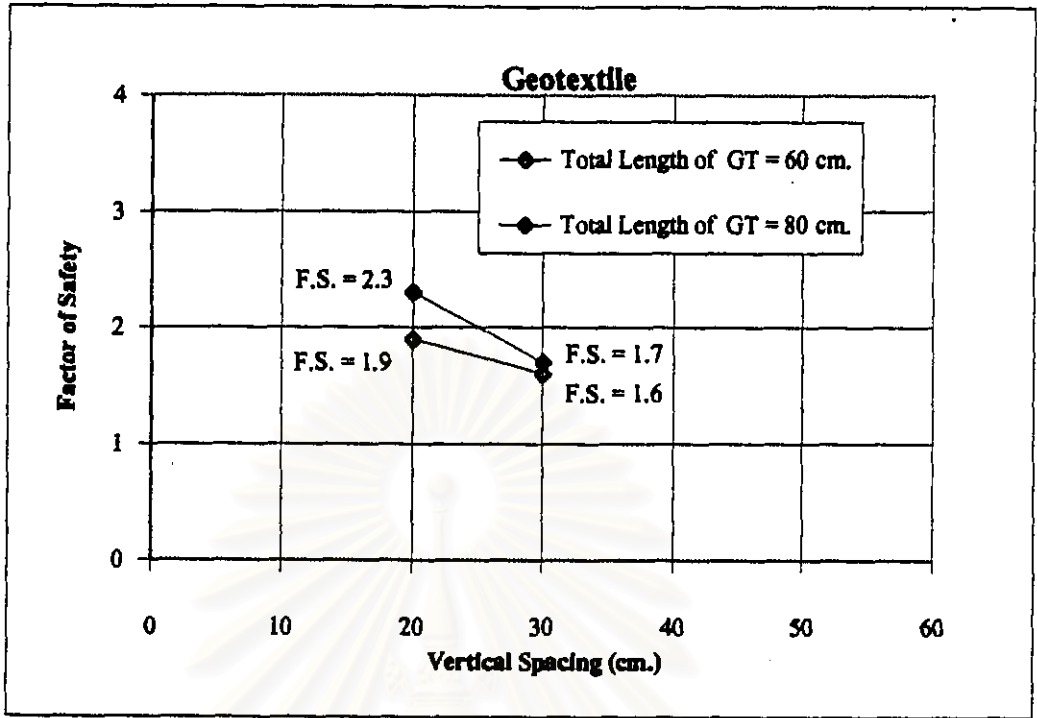
9. ค่า Effective Length (L_e) เป็นค่าของความยาวของวัสดุเสริมที่ใช้ในการ develop แรงยึดเกาะให้กับแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดิน โดยพิจารณาความยาวในส่วนหลังของ Failure Surface ที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 2.40 และ 2.42 ในหัวข้อ 2.9.2) โดยในกรณีที่ใช้ Spacing เท่ากับ 30 cm. ค่า L_{e1} , L_{e2} , L_{e3} และ L_{e4} เป็นค่าความยาวของวัสดุเสริมที่วัดได้ที่ระดับความสูงที่ 30, 60, 90 และ 120 cm. จากด้านบนของ model ลงไปสู่ฐาน ตามลำดับ และในกรณีที่ใช้ Spacing เท่ากับ 20 cm. ค่า L_{e1} , L_{e2} , L_{e3} , L_{e4} , L_{e5} และ L_{e6} เป็นค่าความยาวของวัสดุเสริมที่วัดได้ที่ระดับความสูงที่ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 cm. จากด้านบนของ model ลงไปสู่ฐาน ตามลำดับ

10. ค่า ϕ_m เป็นค่ามุมเสียดทานภายในของเม็ดทรายที่เกิดขึ้นจริง จากค่า Maximum Load (Q) ที่พิจารณา ซึ่งค่าของมุม ϕ_m นี้จะหาได้จากวิธีการวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.4 โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในรายการคำนวณในภาคผนวก ง.

11. ค่า n เป็นจำนวนของ Transverse Bearing Member ซึ่งเป็น node ที่ใช้ในการ develop แรงยึดเกาะแบบ Passive Soil Resistance ในกรณีของการใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ดินที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.5.2

ตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีวัสดุเสริมกำลังรับ น้ำหนักดังนี้

1) F.S. ของ wedge ที่แสดงว่าการพังทลายใกล้จะเกิดขึ้น จะมีค่าประมาณ 1.5 ส่วน การทดสอบในกรณีที่ยึดราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างไม่ได้แสดงออกว่าจะวิบัติ พิกัดความปลอดภัยจะอยู่ประมาณ 2.0



รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Vertical Spacing กับค่า Factor of Safety โดยแยกชนิดของวัสดุเสริมดิน (Geotextile และ Geogrid)

2) ที่ Spacing อันเดียวกัน และอัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างแสดงว่าดินโกตัวบีบตี (นั่นคือที่ความยาว 60 cm.) Geogrid จะรับ load ได้มากกว่า Geotextile ที่ Spacing เท่ากับ 20 cm. และที่ Spacing เท่ากับ 30 cm. Geotextile จะรับ load ได้มากกว่า Geogrid

3) เมื่อ Spacing ลดลงจาก 30 cm. ไปยัง 20 cm. และความยาวของวัสดุเสริมกำลังเท่ากัน จะเห็นได้ว่า F.S. สูงขึ้น ทั้งในวัสดุเสริมกำลังเป็น Geotextile และ Geogrid

4) ค่า β ในตารางที่ 4.6 แสดงว่า เมื่อมีวัสดุเสริมกำลังอยู่ด้วย มุม β สูงกว่ามุมที่ใช้ในการคาดคะเนจาก Rankine Pressure Concept ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างไม่เป็นไปตามทฤษฎีของ Rankine นอกจากนั้น ค่า β จะมีค่าประมาณ $37^\circ - 40^\circ$ ในกรณีที่อัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างแสดงถึงการโกตัวบีบตี ในกรณีที่ไม่แสดงว่าการบีบตีจะเกิดขึ้น ค่า β จะมีค่าประมาณ $45^\circ - 47^\circ$ ทั้งนี้เนื่องจากผลของ boundary condition ของ model ที่ใช้มีขนาดเล็กไปสำหรับในกรณีที่วัสดุเสริมกำลังมีความยาว 80 cm. (สังเกตจากค่า b ซึ่งมีค่าประมาณ 75 ถึง 80 cm. ในขณะที่ความกว้างมีขนาดเพียง 90 cm.) ในกรณีตัวอย่างที่ใช้วัสดุเสริมยาว 60 cm. แสดงแนวโน้มที่จะเกิดการพังทลาย ค่า b จะอยู่ประมาณ 67 ถึง 73 cm. สำหรับวัสดุเสริมกำลังทั้งสองชนิด โดยมีแนวโน้มว่า Geotextile จะมีความยาวมากกว่า Geogrid

5) ในกรณีที่ดินและวัสดุเสริมดินมีแนวโน้มว่า จะเกิดการพังทลาย (นั่นคือความยาวของวัสดุเสริมเท่ากับ 60 cm.) ข้อมูลในตารางที่ 4.6 ให้ข้อสังเกตว่า

i) ค่า Equivalent Height (H) แสดงว่า ผลกระทบของ Spacing มีผลต่อการใช้ Geogrid มากกว่า Geotextile และผลกระทบของความยาวก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

ii) จากค่า H ในกรณีที่ผลของ boundary condition มีน้อย คือที่วัสดุเสริมดินยาว 60 cm. จะเห็นได้ว่า

(ก) ผลของ Spacing มีผลกระทบค่อนข้างน้อยใน Geotextile ส่วนใน Geogrid มีผลกระทบมากกว่ามาก (ทั้งนี้อาจเกิดจากผลของ boundary condition รวมอยู่ด้วย)

(ข) ค่า H ของ Geotextile อยู่ระหว่าง 3.13 - 3.96 m. และของ Geogrid อยู่ระหว่าง 2.0 - 4.53 m. (เมื่อความยาวของวัสดุเสริมดินเท่ากับ 60 cm. ซึ่งเป็นสภาพที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดการพังทลายขึ้น)

จากตารางที่ 4.6 และแนวโน้มของข้อมูลที่ได้อีกต่างมาแล้ว แสดงว่า Geogrid ดีกว่า Geotextile ในแง่ที่ว่า ผลของ Spacing มีผลมากกว่า แนวโน้มก็อยู่ในลักษณะเดียวกันในเรื่องของความยาวของวัสดุเสริมกำลัง ถ้าคิดที่ Spacing เท่ากับ 30 cm. และความยาวของวัสดุเสริมดินเท่ากับ 60 cm. จะเห็นได้ว่า Geotextile เป็นสารที่ดีกว่า ถ้าคิดที่ Spacing เท่ากับ 20 cm. Geogrid จะให้ผลดีกว่า Geotextile ถ้าคิดที่ความยาวของวัสดุเสริมดินเท่ากับ 80 cm. จะเห็นได้ว่า Geogrid ดีกว่า Geotextile ไม่ว่า Spacing ใด

สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งไม่ว่าจะเป็น Geotextile หรือ Geogrid ถ้าอัตราการเคลื่อนตัวทางด้านข้างใกล้จุดวิกฤติ F.S. จะได้ประมาณ 1.5 ไม่ว่า Spacing เท่าใด ในขณะที่เดียวกัน ถ้าการทดสอบแสดงว่าการวิกฤติจะไม่เกิดขึ้น F.S. จะประมาณ 2.0 (ที่ความยาว = 80 cm.) ไม่ว่าจะเป็นวัสดุใด และ Spacing เท่าใด ด้วยพฤติกรรมดังกล่าวจึงทำให้สามารถสรุปผลของ Spacing, ความยาว และชนิดของวัสดุเสริมที่มีต่อกำลังรับน้ำหนัก ซึ่งจะเสนอใน section ต่อไป

4.7 ผลกระทบของค่า Vertical Spacing (S_v)

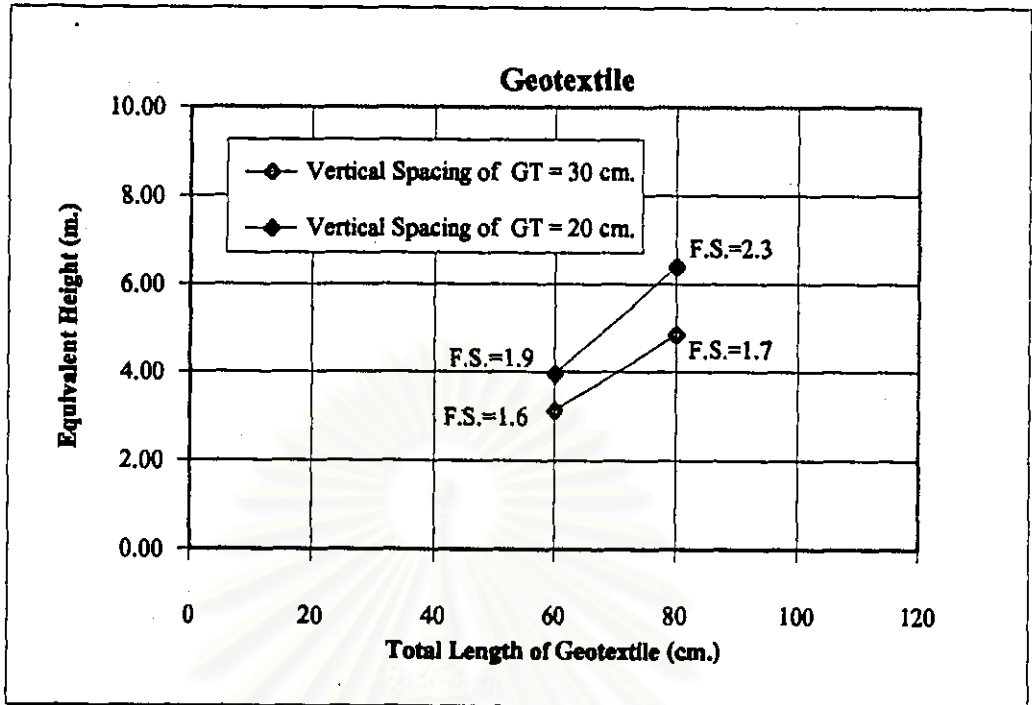
เพื่อให้มีความชัดเจนมากขึ้นใน section นี้จะแสดงผลกระทบของ Spacing ในขณะที่ความยาวของวัสดุเสริมเท่ากัน และชนิดของวัสดุเสริมเหมือนกัน

จากการทดลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินกับแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Vertical Spacing (S_v) ที่ 20 และ 30 cm. จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า Vertical Spacing นี้ จะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน กล่าวคือ ในกรณีที่ค่า Vertical Spacing มีค่าน้อยนั้น เราจะได้จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริมมากกว่าในกรณีที่ค่า Vertical Spacing มีค่ามากกว่า ซึ่งเป็นผลให้ตามหลักการแล้ว ยิ่งค่า Vertical Spacing มีค่าน้อยเท่าไร ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดินย่อมมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากผลการทดลองที่ GT4-30-60 และ GT6-20-60

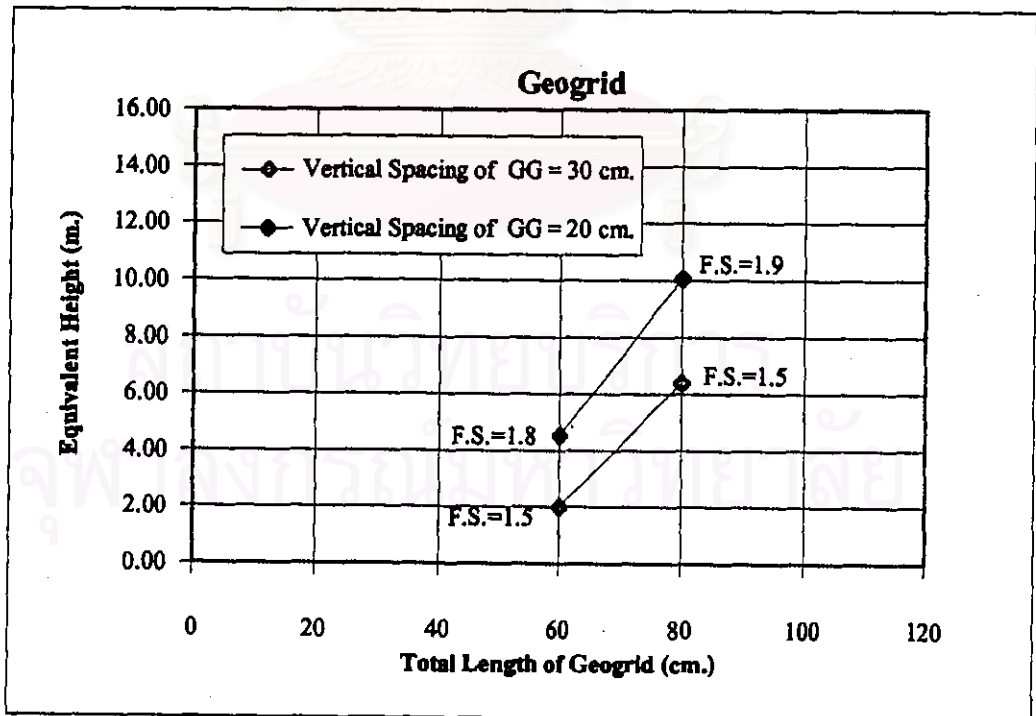
โดยการทดลองทั้งสองจะมีค่าตัวแปรอื่นๆคงที่ คือ ชนิดของวัสดุเสริม ได้แก่ Geotextile , ความยาวของวัสดุเสริม มีค่าเท่ากับ 60 cm. และแตกต่างกันเพียงค่า Vertical Spacing เท่านั้น โดยจากการทดลองที่ GT4-30-60 ซึ่งมีค่า $S_v = 30$ cm. นั้นจะได้จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม เท่ากับ 4 ชั้น ซึ่งน้อยกว่าการทดลองที่ GT6-20-60 ที่มีค่า $S_v = 20$ cm. ซึ่งจะได้จำนวนชั้นเท่ากับ 6 ชั้น และจากผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 จะได้ว่า การทดลองที่ GT6-20-60 มีแนวโน้มที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่า การทดลองที่ GT4-30-60 ซึ่งสังเกตได้จาก การมากกว่าของค่า Equivalent Height (H) และค่า Factor of Safety (F.S.) นั้นเอง

จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 จะเห็นได้ว่าสำหรับทุกการทดลองที่ให้ค่าตัวแปรได้แก่ ชนิดและความยาวของวัสดุเสริม มีค่าคงที่ การทดลองที่มีค่า $S_v = 20$ cm. จะมีค่า Equivalent Height (H) และ F.S. สูงกว่าในการทดลองที่มีค่า $S_v = 30$ cm. ซึ่งแสดงว่า ที่ $S_v = 20$ cm. โครงสร้างวัสดุเสริมดินมีแนวโน้มที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีกว่ากรณีที่ใช้ $S_v = 30$ cm. จากการที่ค่า Equivalent Height ในกรณีที่มี $S_v = 20$ cm. มีค่ามากกว่า ในกรณีที่มี $S_v = 30$ cm. นั้น สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) กับค่า Effective Length (L_e) ในรูปที่ 4.34-4.37 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของค่า Effective Length ($\sum L_e$) กับค่า Factor of Safety (F.S.) ในรูปที่ 4.38 และ 4.39 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ชนิดและความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน กรณีที่มีค่า $S_v = 20$ cm. จะได้ค่า $\sum L_e$ โดยรวมมีค่ามากกว่ากรณีที่มีค่า $S_v = 30$ cm. ซึ่งจากการมากกว่าของค่า $\sum L_e$ นี้ ทำให้พื้นที่ที่ใช้ในการ develop แรงเสียดทาน (Friction Force) ซึ่งเป็นแรงที่คอยต้านทานการพังทลายของโครงสร้างวัสดุเสริมดินมีค่ามากขึ้น จึงทำให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อแรงเสียดทานมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้โครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height (H) กับ ผลรวมของค่า Effective Length ($\sum L_e$) จะเห็นได้ว่า ที่ชนิดและความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน กรณีที่มีค่า $S_v = 20$ cm. จะมีค่า ผลรวมของค่า Effective Length และค่า Equivalent Height มากกว่า กรณีที่มีค่า $S_v = 30$ cm.

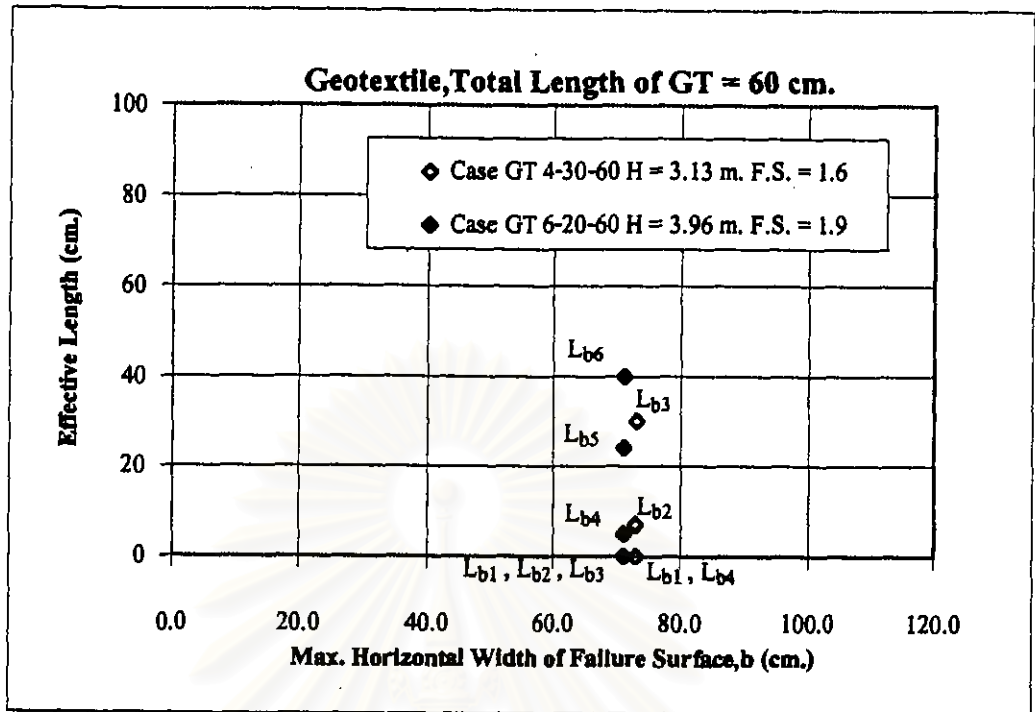
ถ้าหากในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ที่ความยาวเดียวกัน แต่ค่า Vertical Spacing ต่างกัน นอกจากแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นจะอาศัยแรงเสียดทานแล้ว ยังอาศัยแรงที่เรียกว่า Passive Soil Resistance ด้วย และจากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ที่การทดลองที่มีค่า $S_v = 20$ cm. นั้น



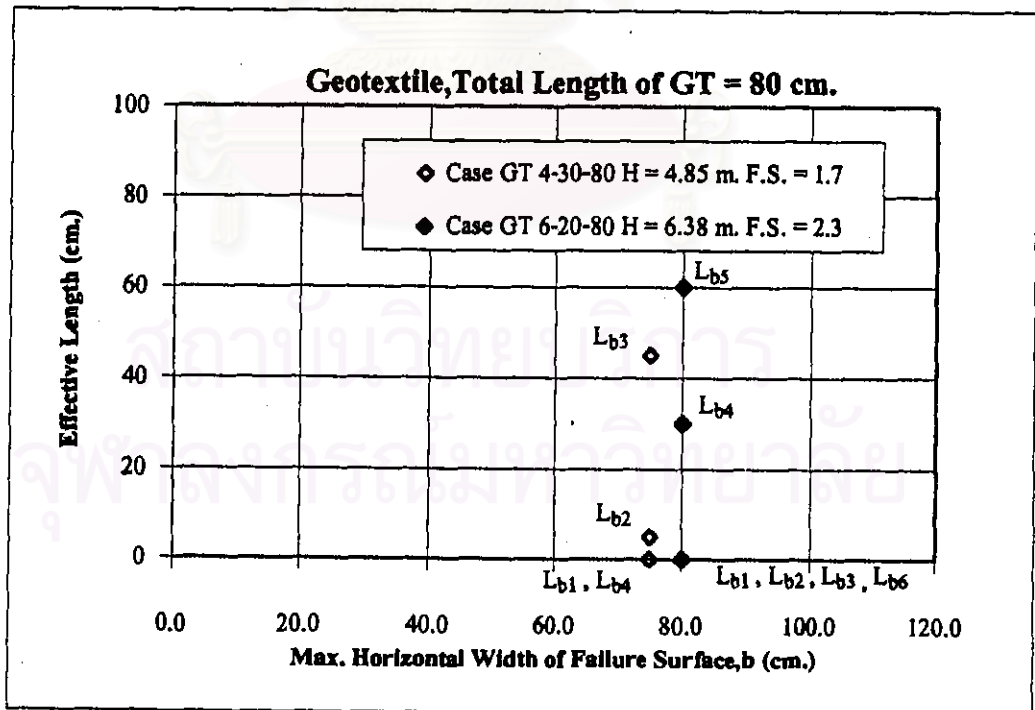
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความยาวของวัสดุเสริม กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม



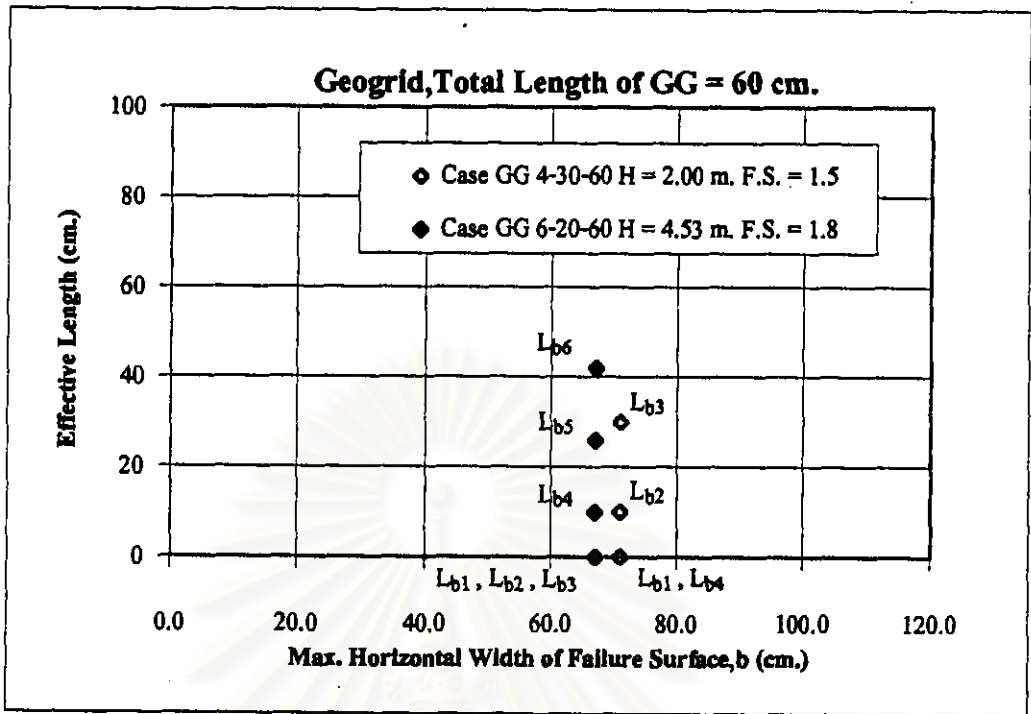
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความยาวของวัสดุเสริม กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม



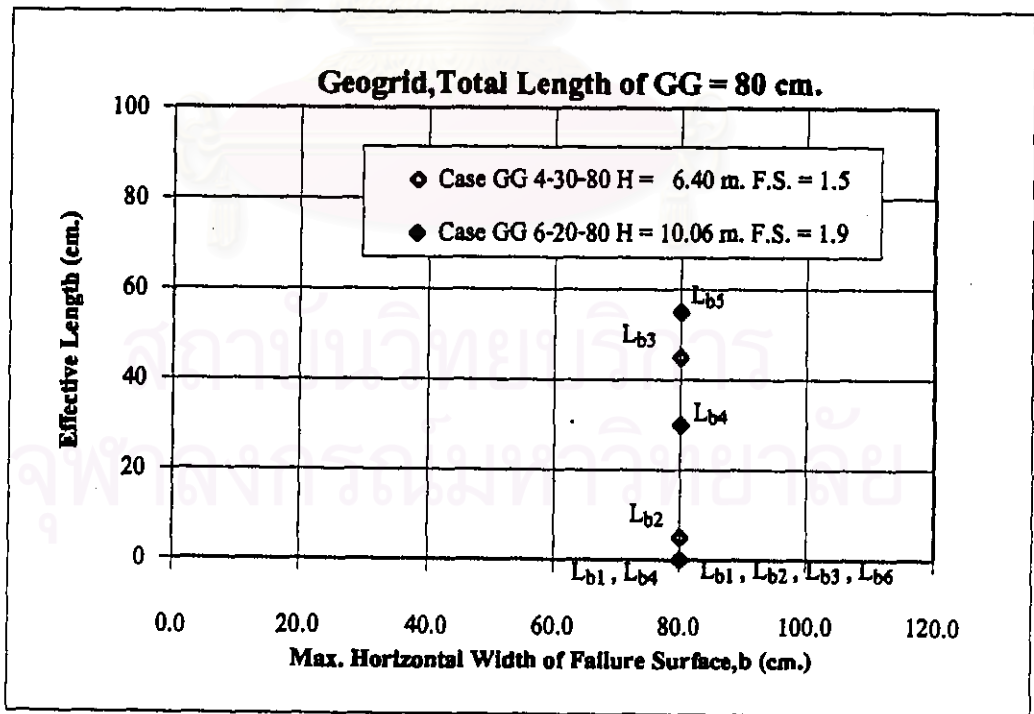
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geotextile ความยาวเท่ากับ 60 cm.



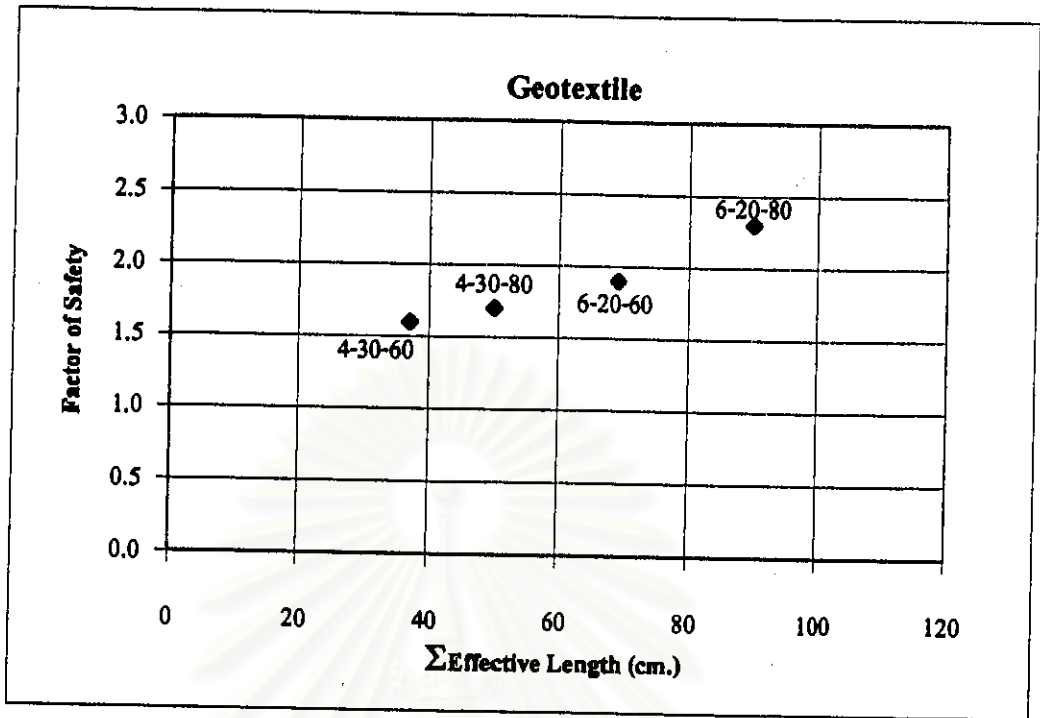
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geotextile ความยาวเท่ากับ 80 cm.



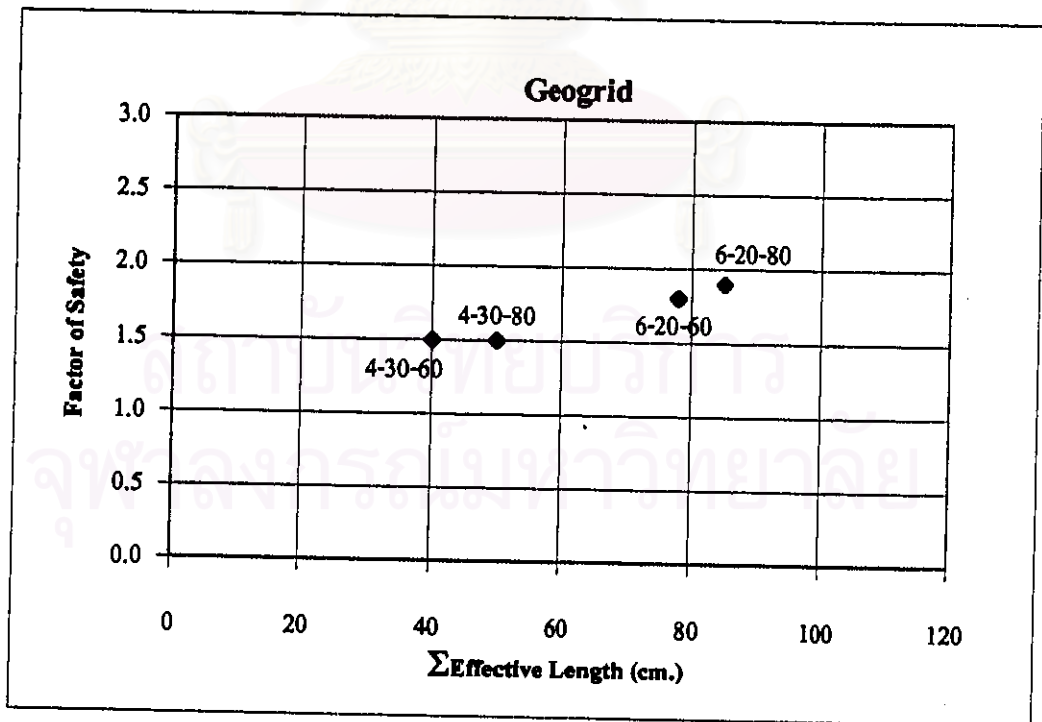
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geogrid ความยาวเท่ากับ 60 cm.



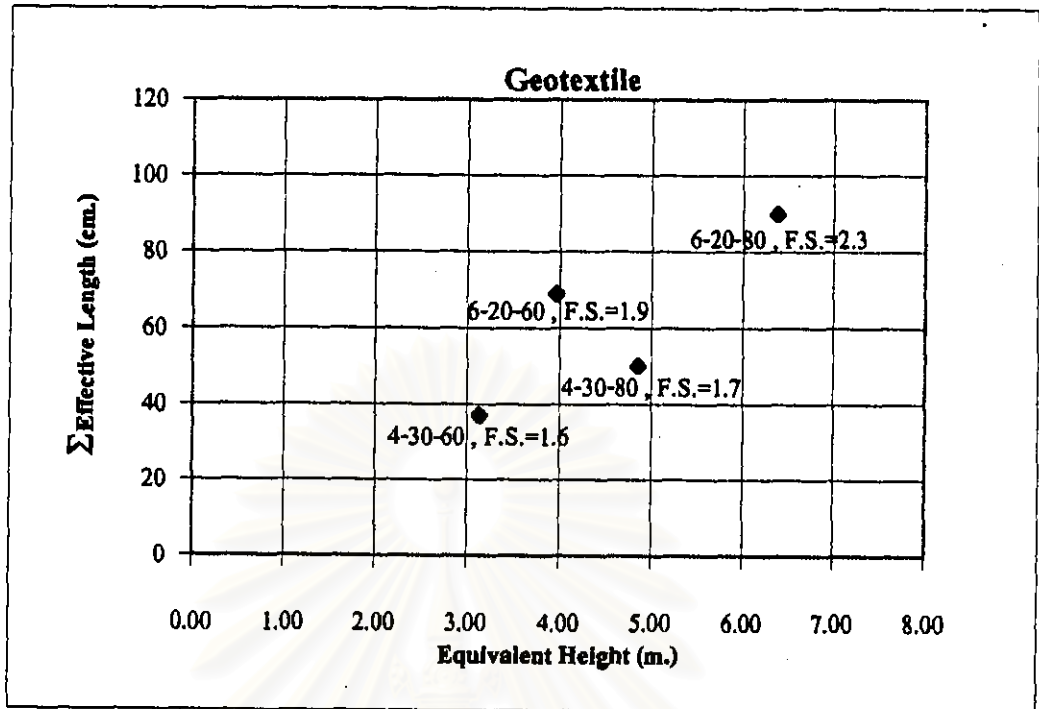
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geogrid ความยาวเท่ากับ 80 cm.



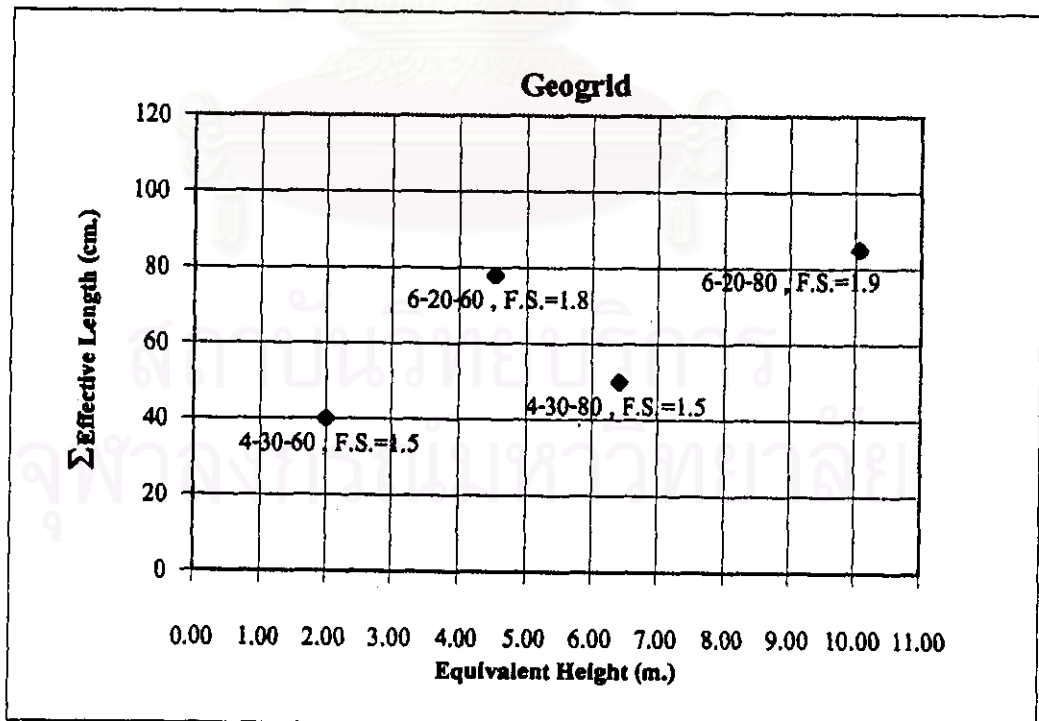
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Σ Effective Length กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Σ Effective Length กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height กับค่า Σ Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height กับค่า Σ Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม

จำนวน node (n) ที่ใช้ในการ develop แรง Passive Soil Resistance นั้นจะมีค่ามากกว่าการทดลองที่มีค่า $S_v = 30$ cm. ทำให้แรง Passive Soil Resistance ในกรณีที่มีค่า $S_v = 20$ cm. มีค่ามากกว่า ในกรณีที่มีค่า $S_v = 30$ cm. ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการรวมกันของแรงเสียดทานและแรง Passive Soil Resistance ในกรณีที่มีค่า $S_v = 20$ cm. มีค่ามากกว่าในกรณีที่มีค่า $S_v = 30$ cm.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะห่างในแนวตั้งของการเสริมวัสดุเสริม (Vertical Spacing) เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างวัสดุเสริมดิน กล่าวคือ เมื่อค่า Vertical Spacing มีค่าน้อยลง โครงสร้างวัสดุเสริมดินจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มมากขึ้น

4.8 ผลกระทบของค่าความยาววัสดุเสริม (L)

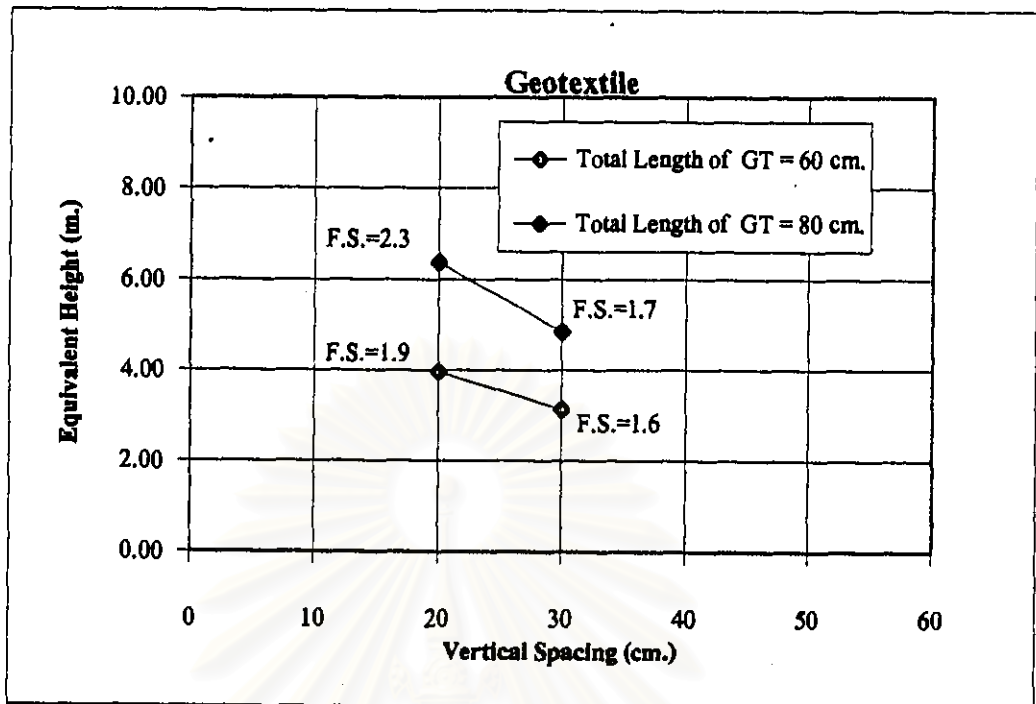
ในการเปรียบเทียบผลกระทบของค่าความยาววัสดุเสริมที่มีต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น จะทำการเปรียบเทียบกับการทดลองที่มีค่าความยาวของวัสดุเสริม (L) ต่างกัน วัสดุเสริมชนิดเดียวกัน และค่า Vertical Spacing (S_v) ที่มีค่าเท่ากัน การเปรียบเทียบนี้อาจจะไม่ชัดเจนนัก เพราะผลของขนาดของ model ซึ่งทำให้การทดสอบไม่ถึงจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงทางด้านข้างที่มากขึ้น

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุเสริมที่ใช้ในการทดลอง ที่ 60 และ 80 cm. จะทำให้โครงสร้างวัสดุเสริมดินมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกัน ดังนั้นความยาวของวัสดุเสริมจึงเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน กล่าวคือถ้าความยาวของวัสดุเสริมที่ใช้มีค่ามากขึ้น ความสามารถในการรับแรงดึงของโครงสร้างวัสดุเสริมดินย่อมมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ทำให้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะสังเกตได้จากผลการทดลองที่ GT4-30-60 และ GT4-30-80 โดยการทดลองทั้งสองจะมีค่าตัวแปรอื่นๆคงที่ แต่ความยาวของวัสดุเสริมมีค่าไม่เท่ากัน โดยการทดลองที่ GT4-30-60 ค่า $L = 60$ cm. ส่วนการทดลองที่ GT4-30-80 ค่า $L = 80$ cm. จากตารางที่ 4.6 จะได้ว่า การทดลองที่ GT4-30-80 มีแนวโน้มที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่า การทดลองที่ GT4-30-60 ซึ่งสังเกตได้จากการมากกว่าของค่า Equivalent Height (H) และค่า Factor of Safety (F.S.) นั่นเอง

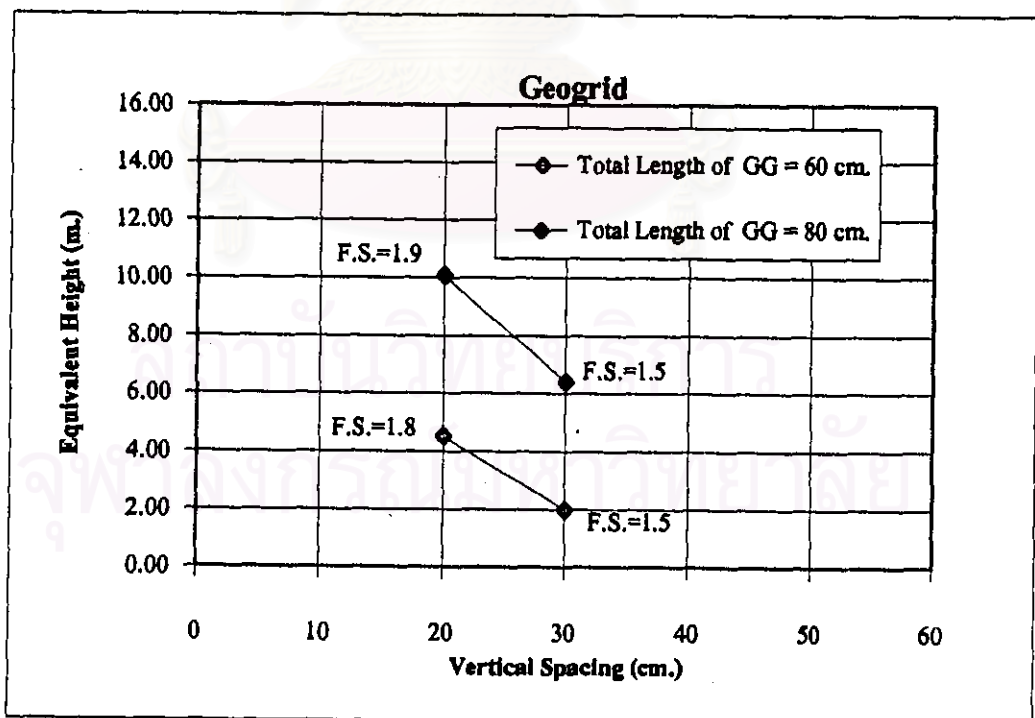
จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 จะเห็นได้ว่าสำหรับทุกการทดลองที่ให้ค่าตัวแปรได้แก่ ชนิดของวัสดุเสริมและค่า Vertical Spacing มีค่าคงที่ การทดลองที่มีค่า $L = 80$ cm. จะมีค่า Equivalent Height (H) สูงกว่าในการทดลองที่มีค่า $L = 60$ cm. ส่วนค่า F.S. ที่ Spacing เดียวกันนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่า ที่ $L = 80$ cm. โครงสร้างวัสดุเสริมดินมีแนวโน้มที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีกว่ากรณีที่ใช้ $L = 60$ cm. จากการที่ค่า Equivalent Height ในกรณีที่มี $L = 80$ cm. มีค่ามากกว่าในกรณีที่มี $L = 60$ cm. นั้นสามารถอธิบายได้ในหลักการเดียวกับการเปรียบเทียบค่า Vertical Spacing โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) กับค่า Effective Length (L_e) ในรูปที่ 4.44 - 4.47 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ผลรวมของค่า Effective Length (ΣL_e) กับค่า Factor of Safety (F.S.) ในรูปที่ 4.38 และ 4.39 จะได้ว่า ที่ชนิดของวัสดุเสริม และ Vertical Spacing เดียวกัน กรณีที่มีค่า $L = 80$ cm. จะได้ว่า ΣL_e โดยรวมมีค่ามากกว่ากรณีที่มีค่า $L = 60$ cm. ซึ่งทำให้พื้นที่ที่ใช้ในการ develop แรงเสียดทาน (Friction Force) มีค่ามากขึ้น ทำให้ได้แรงเสียดทานที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยและเมื่อแรงเสียดทานมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้โครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height (H) กับ ผลรวมของ Effective Length (ΣL_e) จะได้ว่า ที่ชนิดและ Vertical Spacing เดียวกัน กรณีที่มีค่า $L = 80$ cm. จะมีค่าผลรวมของค่า Effective Length และค่า Equivalent Height มากกว่า กรณีที่มีค่า $L = 60$ cm.

สำหรับกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ที่ Vertical Spacing เดียวกัน แต่ความยาวของวัสดุเสริมแตกต่างกัน จากรายการคำนวณในภาคผนวก ง. จะได้ว่า แรงรวมของแรงยึดเกาะในแบบ Passive Soil Resistance ในกรณีที่มี $L = 80$ cm. จะมีค่ามากกว่ากรณีที่มี $L = 60$ cm. ซึ่งเมื่อนำผลรวมของแรง Passive Soil Resistance ที่มีค่ามากกว่าไปรวมกับค่าผลรวมของแรงยึดเกาะแบบแรงเสียดทานซึ่งมีค่ามากกว่าอยู่แล้วนั้นจะ ได้ว่าแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกรณีที่มี $L = 80$ cm. จะมีค่ามากกว่าในกรณีที่มี $L = 60$ cm.

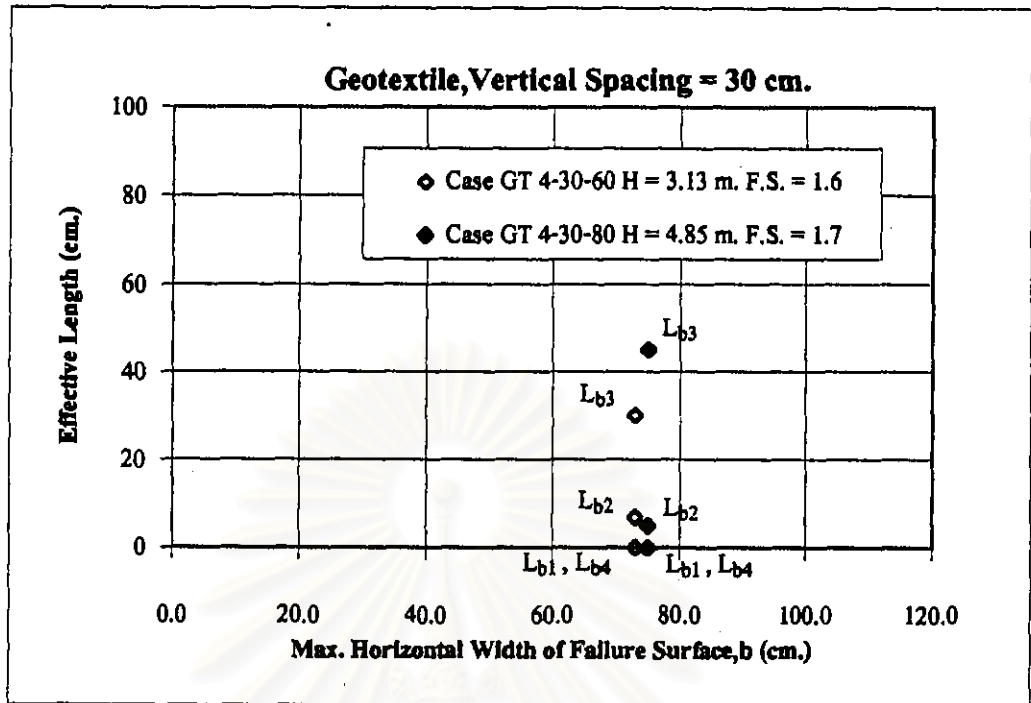
จึงสรุปได้ว่า ความยาวของวัสดุเสริมเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างวัสดุเสริมดิน กล่าวคือ เมื่อใช้ความยาวของวัสดุเสริมเพิ่มมากขึ้นโครงสร้างวัสดุเสริมดินก็จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นด้วย



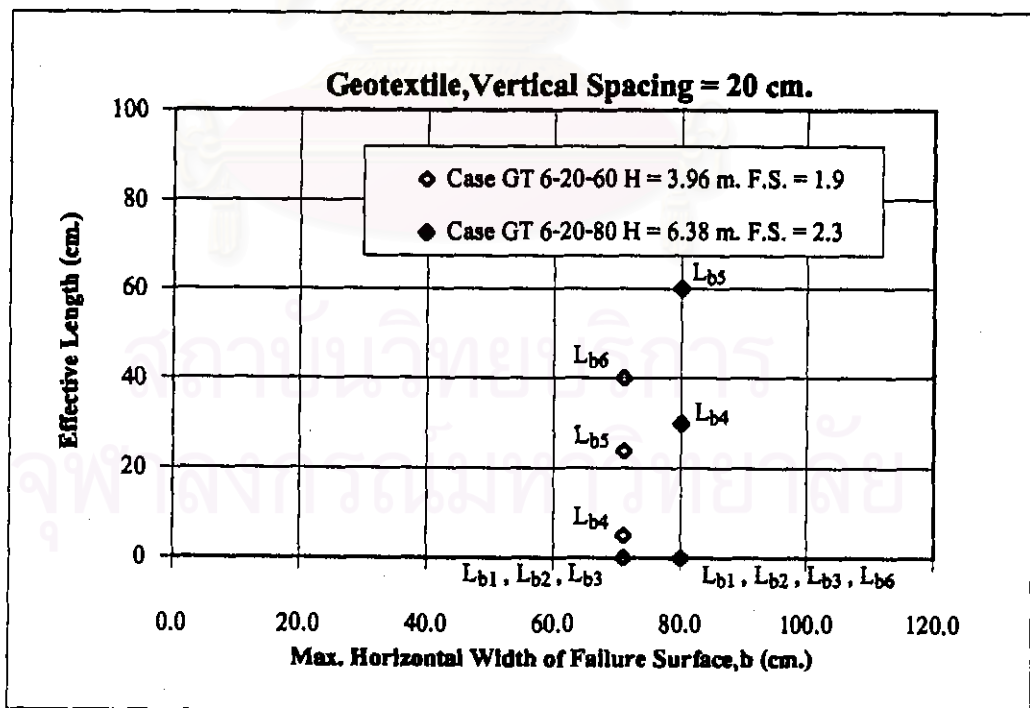
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vertical Spacing กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม



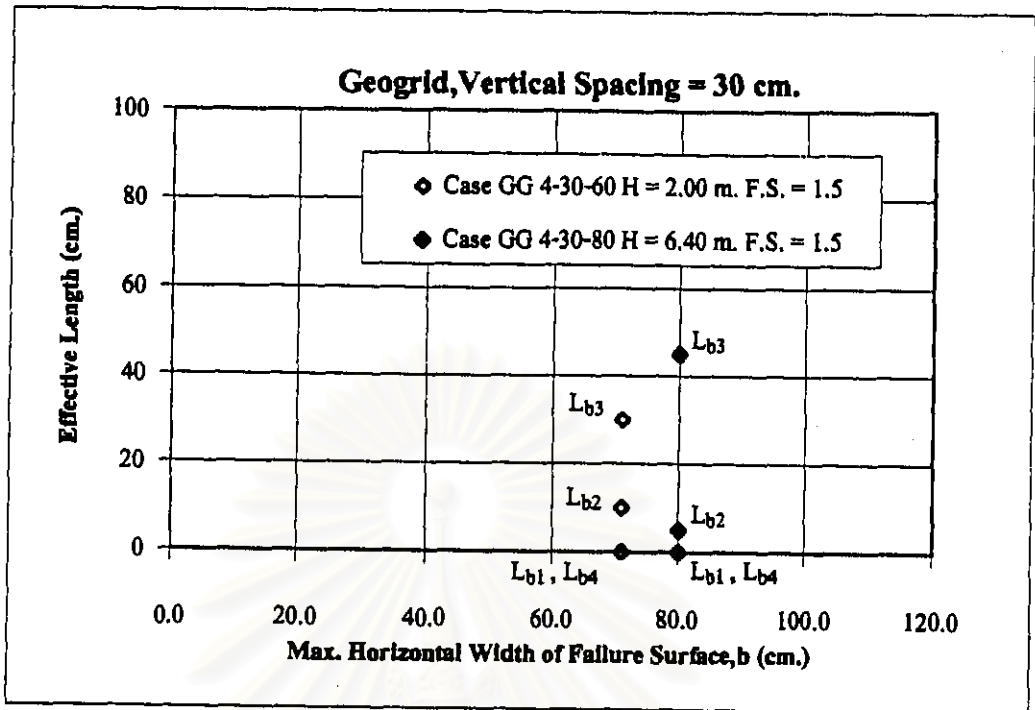
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vertical Spacing กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม



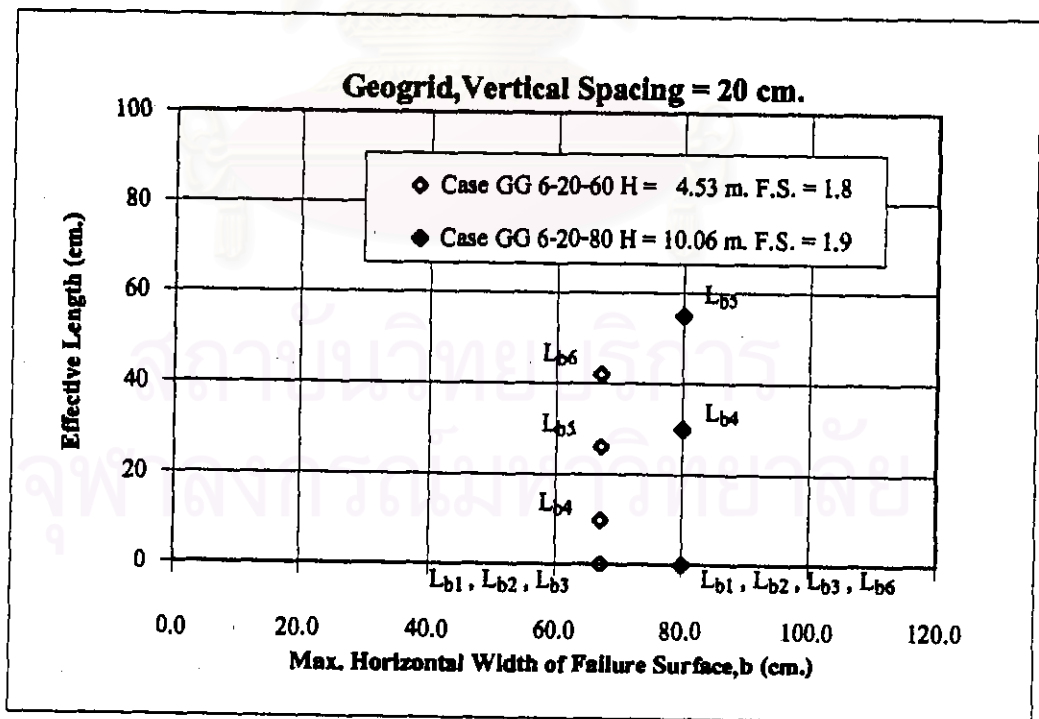
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geotextile ที่มีค่า Vertical Spacing เท่ากับ 30 cm.



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geotextile ที่มีค่า Vertical Spacing เท่ากับ 20 cm.



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geogrid ที่มีค่า Vertical Spacing เท่ากับ 30 cm.



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้ Geogrid ที่มีค่า Vertical Spacing เท่ากับ 20 cm.

4.9 การเปรียบเทียบผลของการเพิ่มความยาวกับการลดค่า Vertical Spacing เมื่อใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม

ในการเปรียบเทียบผลของการเพิ่มความยาวกับการลดค่า Vertical Spacing เมื่อใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริมนั้นจะพิจารณาได้จากรูปที่ 4.48 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Equivalent Height (H) กับค่า Factor of Safety (F.S.) ซึ่งให้ผลที่แสดงแนวโน้มว่าการเปลี่ยนความยาวของ Geotextile ให้ผลดีกว่าการเปลี่ยน Spacing การแสดงผลของข้อสรุปนี้ดูได้จากผลต่างของค่า Equivalent Height ที่ F.S. ใกล้เคียงกัน (ดูรูปที่ 4.48) ข้อมูลในรูปที่ 4.48 ให้ผลดังนี้

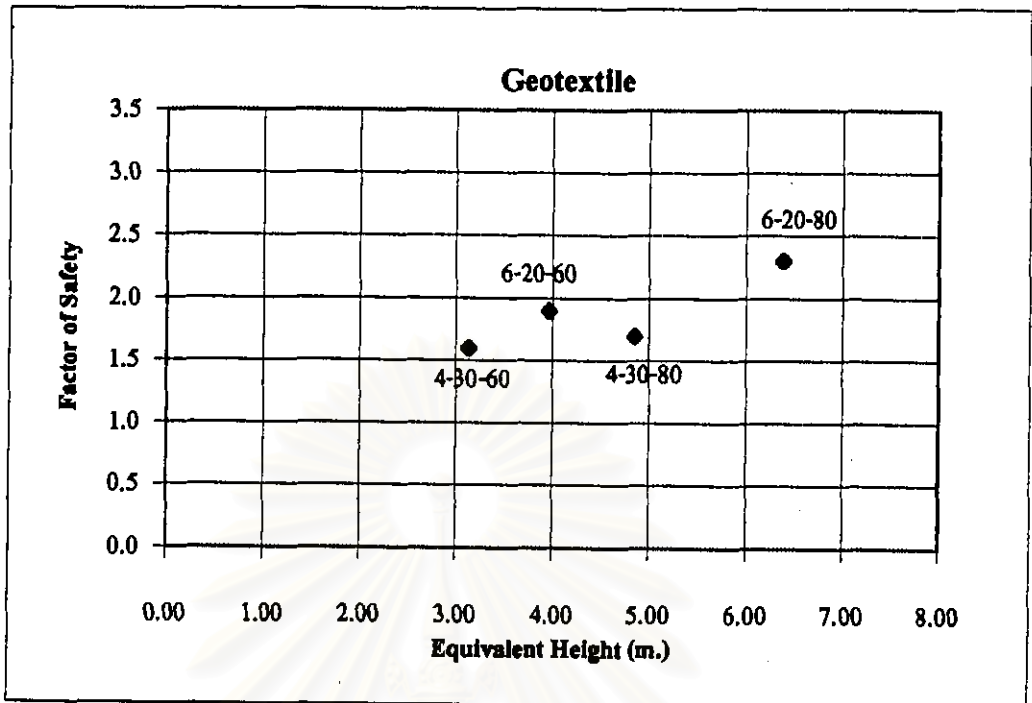
1) ที่ Spacing เท่ากัน ผลต่างของความยาวจาก 60 cm. ไปเป็น 80 cm. ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่า Equivalent Height เปลี่ยนจาก 3.13 m. ไปยัง 4.85 m. ที่ Spacing 30 cm. (F.S. ~ 1.5)

2) ในการเปลี่ยนแปลงของ Spacing ขณะที่ความยาวเท่ากัน ในการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบของ boundary condition (นั่นคือที่ความยาว 60 cm.) ค่า Spacing เปลี่ยนจาก 30 cm. ไปยัง 20 cm. ทำให้ค่า Equivalent Height เปลี่ยนจาก 3.13 m. ไปยัง 3.96 m.

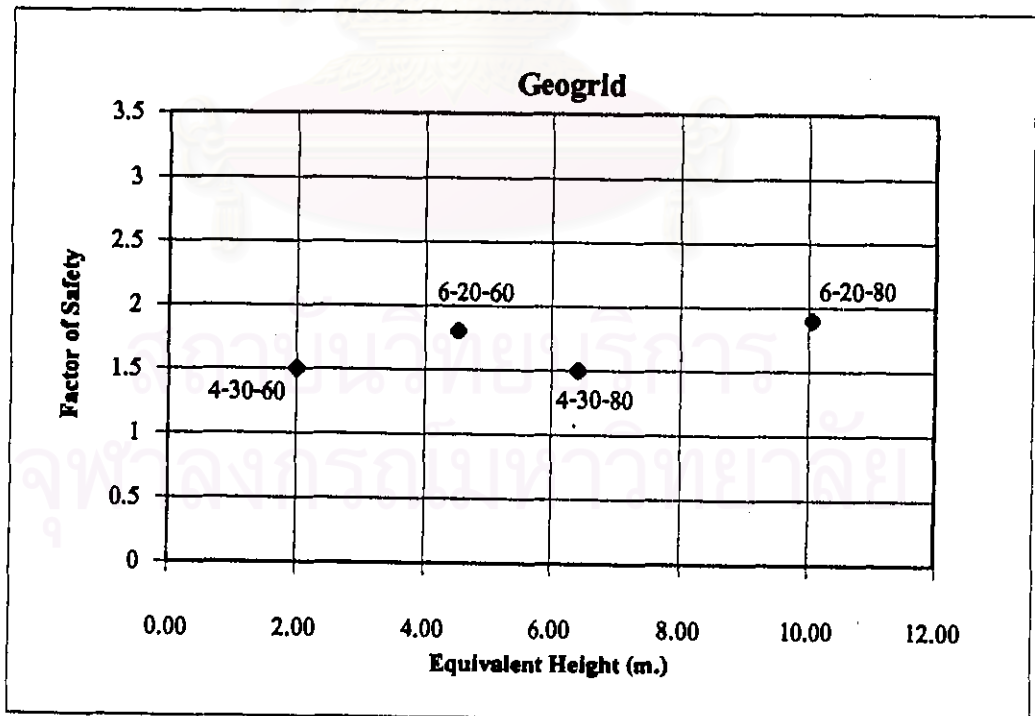
การเปลี่ยนแปลงของค่า Equivalent Height ในข้อ 1 และ 2 มีแนวโน้มจะแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของความยาวของวัสดุเสริมมีความสำคัญกว่าการเปลี่ยนแปลงของ Spacing

4.10 การเปรียบเทียบผลของการเพิ่มความยาวกับการลดค่า Vertical Spacing เมื่อใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม

ในการเปรียบเทียบผลของการเพิ่มความยาวกับการลดค่า Vertical Spacing เมื่อใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้นจะพิจารณาได้จากรูปที่ 4.49 ในลักษณะเดียวกับหัวข้อที่ 4.9 ซึ่งให้ผลที่แสดงแนวโน้มว่า การเปลี่ยนความยาวของ Geogrid ให้ผลดีกว่าการเปลี่ยน Spacing การแสดงผลของข้อสรุปนี้ดูได้จากผลต่างของค่า Equivalent Height ที่ F.S. ใกล้เคียงกัน (ดูรูปที่ 4.49) ข้อมูลในรูปที่ 4.49 ให้ผลดังนี้



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Equivalent Height กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม

1) ที่ Spacing เท่ากัน ผลต่างของความยาวจาก 60 cm. ไปเป็น 80 cm. ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่า Equivalent Height เปลี่ยนจาก 2.00 m. ไปยัง 6.40 m. ที่ Spacing 30 cm. (F.S.~ 1.5)

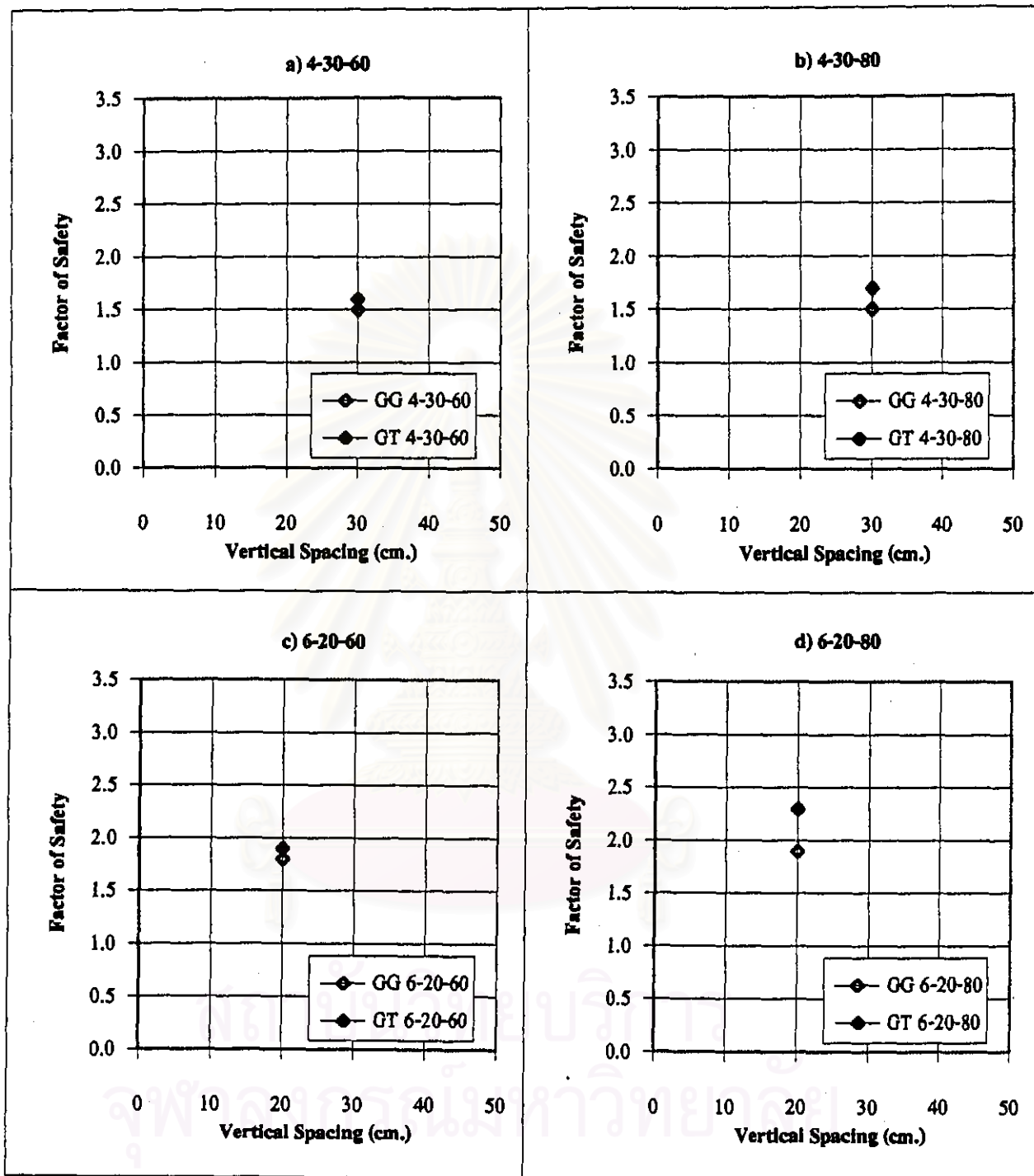
2) ในการเปลี่ยนแปลงของ Spacing ขณะที่ความยาวเท่ากัน ในการทดสอบที่ไม่มีผลกระทบของ boundary condition (นั่นคือที่ความยาว 60 cm.) ค่า Spacing เปลี่ยนจาก 30 cm. ไปยัง 20 cm. ทำให้ค่า Equivalent Height เปลี่ยนจาก 2.00 m. ไปยัง 4.53 m.

การเปลี่ยนแปลงของค่า Equivalent Height ในข้อ 1 และ 2 มีแนวโน้มจะแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของความยาวของวัสดุเสริมมีความสำคัญกว่าการเปลี่ยนแปลงของ Spacing

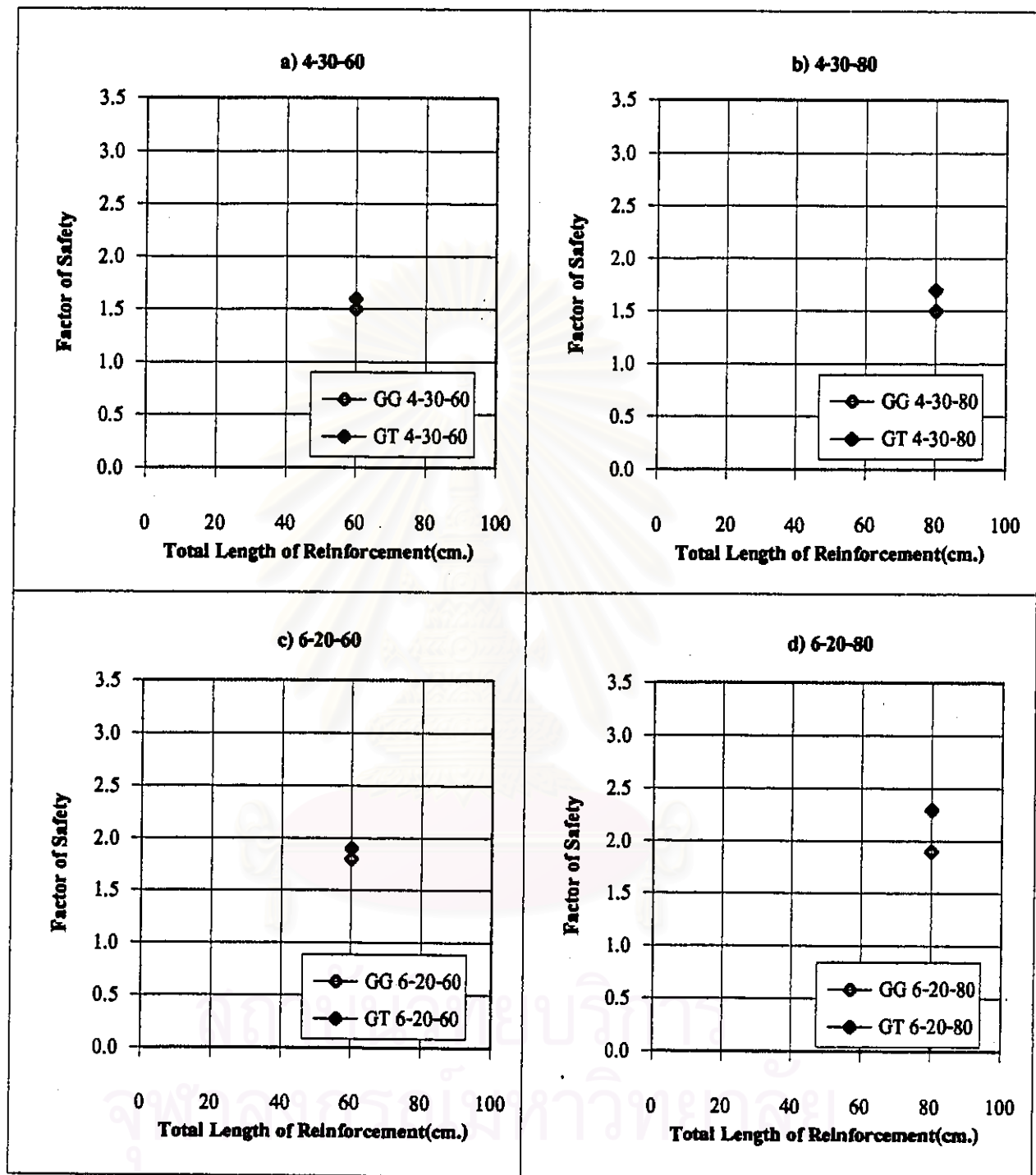
4.11 ผลกระทบของชนิดของวัสดุเสริม

ในการเปรียบเทียบผลกระทบของชนิดของวัสดุเสริมที่มีต่อค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมคิมนั้น จะทำการเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ใช้ชนิดของวัสดุเสริมต่างกัน, ค่า Vertical Spacing (S_v) และค่าความยาวของวัสดุเสริม (L) มีค่าเท่ากัน โดยจะทำการเปรียบเทียบกับ การทดลองที่มีค่า F.S. เท่ากัน ซึ่งจากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.50 และ 4.51 ได้แก่ การทดลองที่ GT4-30-60 กับ GG4-30-60, การทดลองที่ GT4-30-80 กับ GG4-30-80 และ การทดลองที่ GT6-20-60 กับ GG6-20-60 (ไม่พิจารณาสำหรับ Spacing 20 cm. และความยาว 80 cm. เนื่องจากการทดสอบไม่เกิด failure และ F.S. มีค่าไม่ใกล้เคียงกัน)

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ GT4-30-60 และ GG4-30-60 ซึ่งใช้ Geotextile และ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ตามลำดับนั้น จากรูปที่ 4.52a และ 4.53a จะสังเกตเห็นได้ว่าการทดลองทั้งสองนี้มีค่า F.S. เท่ากัน แต่การทดลองที่ GT4-30-60 ซึ่งใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม นั้นมีค่า Equivalent Height สูงกว่า การทดลองที่ GG4-30-60 ซึ่งใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม เนื่องจากสาเหตุที่ว่า (จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.54) ที่การทดลองที่ GT4-30-60 และ GG4-30-60 นั้นตำแหน่งของ Line of Failure จะมีค่าใกล้เคียงกัน ตั้งเกิดได้จากค่า Maximum Horizontal Width of Failure Surface (b) กับค่า Effective Length (L_e) ที่มีค่าใกล้เคียง



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vertical Spacing กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ที่ Vertical Spacing และ ความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน

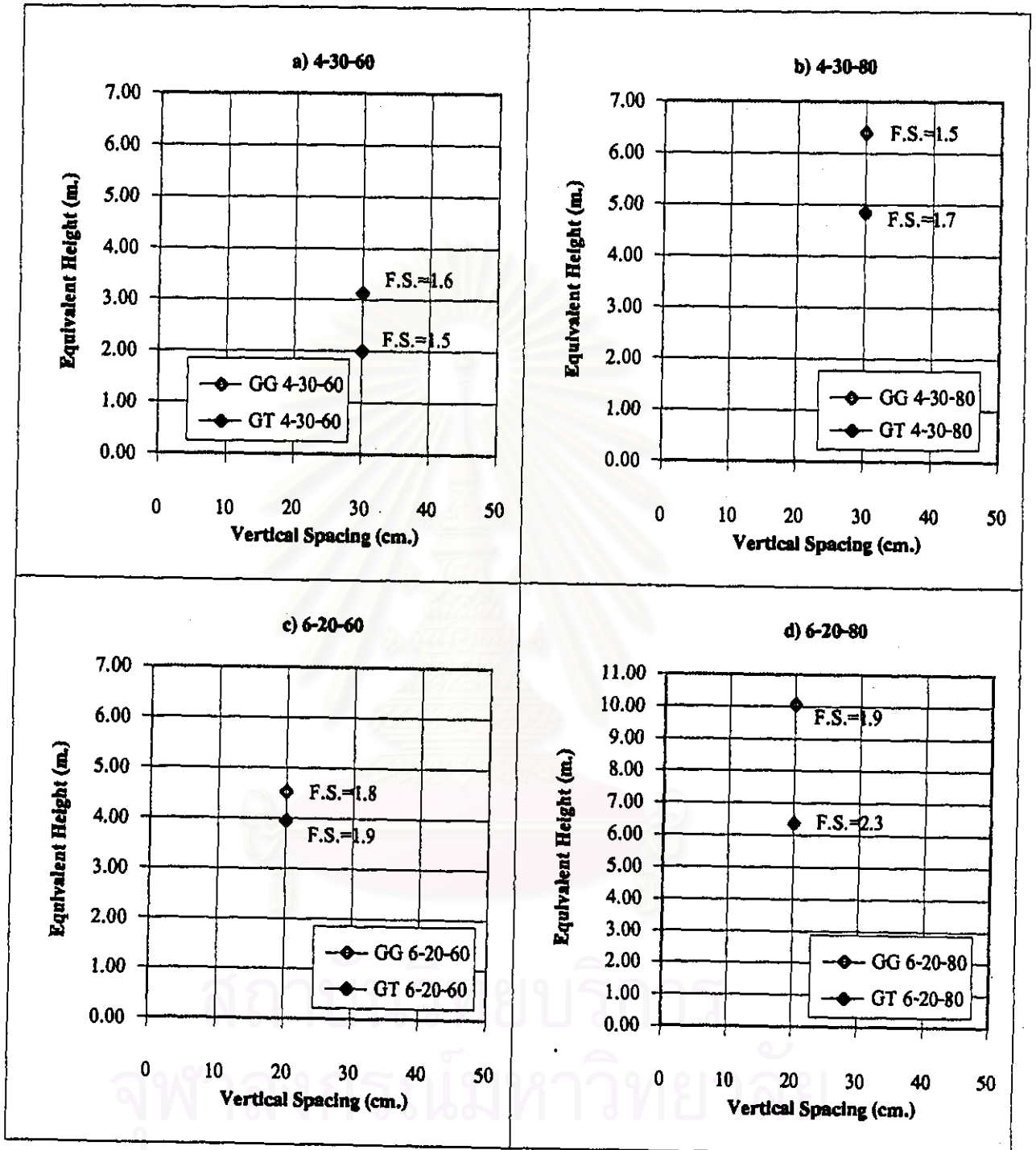


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความยาวของวัสดุเสริม กับค่า Factor of Safety ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ที่ Vertical Spacing และ ความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน

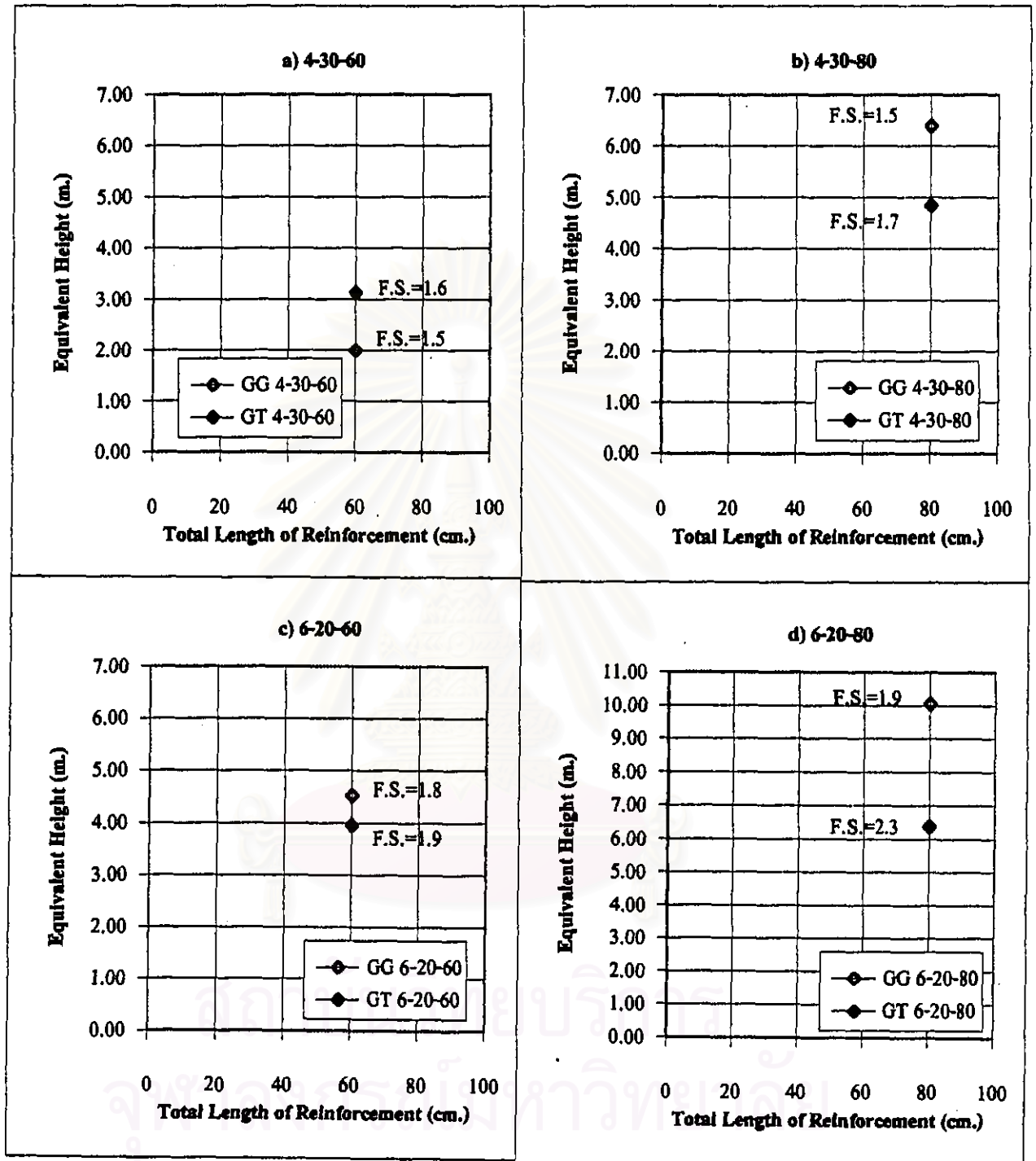
กันมาก แต่เนื่องจากในกรณีของ Geogrid นั้น ตามรูปร่างลักษณะทาง geometry จะมีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการ develop แรงเสียดทานน้อยกว่า Geotextile โดยที่ในพื้นที่ที่เท่าๆกัน พื้นที่ที่ใช้ในการ develop แรงเสียดทานของ Geogrid จะมีค่าเท่ากับ 0.54 เท่าของพื้นที่ที่ใช้ในการ develop แรงเสียดทานของ Geotextile ทำให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า อีกทั้งผลจาก $node(n)$ ที่ใช้ develop แรง Passive Soil Resistance ก็ยังมีค่าไม่มากพออีกด้วย ดังนั้นในกรณีนี้จะสรุปได้ว่าการใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริมจะให้ผลทางด้านความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่าการใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ GT4-30-80 และ GG4-30-80 ซึ่งใช้ Geotextile และ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ตามลำดับนั้น จากรูปที่ 4.52b และ 4.53b จะสังเกตเห็นว่าการทดลองทั้งสองนี้ ค่า F.S. จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่ GG4-30-80 ซึ่งใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้นจะมีค่า Equivalent Height สูงกว่าการทดลองที่ GT4-30-80 ทั้งนี้เนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ผิวของ Geogrid มีค่าน้อยกว่า Geotextile (เพราะขนาดเล็กกว่า) (ดูข้อมูลสำหรับความยาว 60 cm.) แต่จากรายการคำนวณในภาคผนวก ง. จะเห็นได้ว่า สำหรับการทดลองที่ GG4-30-80 ซึ่งใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้น ผลจาก $node(n)$ ที่ใช้ develop แรง Passive Soil Resistance นั้นมีค่ามากพอที่จะทำให้โครงสร้างวัสดุเสริมชนิดนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าการทดลองที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม จึงทำให้ในกรณีนี้การใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้นสามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าการทดลองที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม

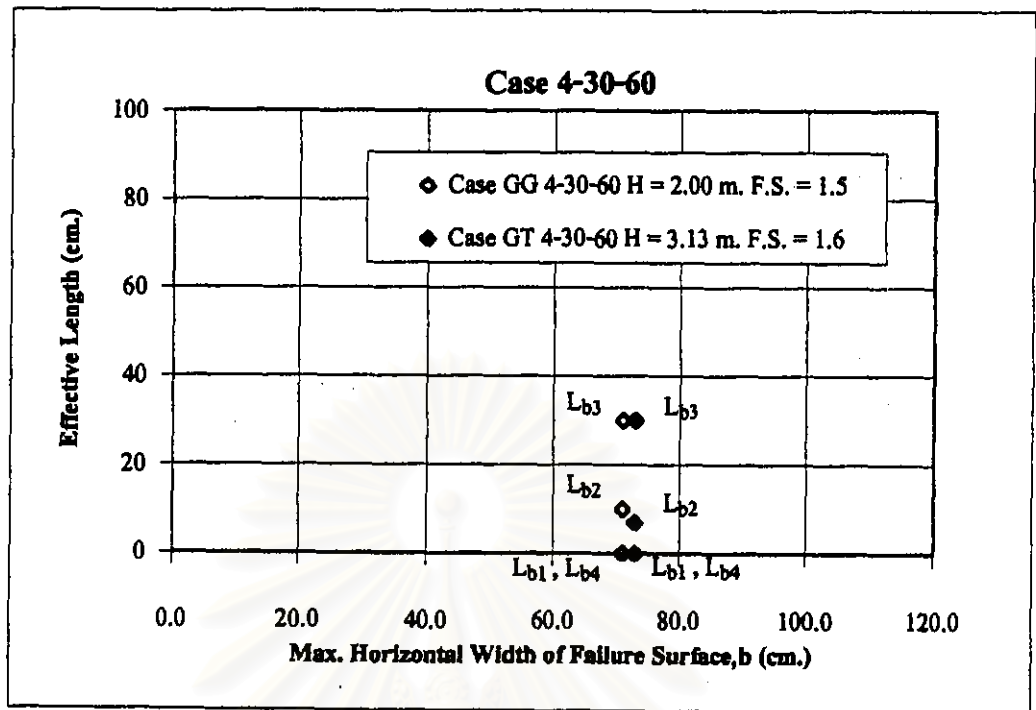
สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ GT6-20-60 และ GG6-20-60 ซึ่งใช้ Geotextile และ Geogrid เป็นวัสดุเสริม ตามลำดับนั้น จากรูปที่ 4.52c และ 4.53c จะสังเกตเห็นว่าการทดลองทั้งสองนี้มีค่า F.S. เท่า ๆ กันและได้ค่า Equivalent Height มีค่าใกล้เคียงกันด้วย แสดงว่า ในกรณีนี้การใช้ Geotextile หรือ Geogrid เป็นวัสดุเสริมจะมีผลไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากว่าในการทดลองที่ GT6-20-60 และ GG6-20-60 นี้เมื่อเทียบกับการทดลองที่ GT4-30-60 และ GG4-30-60 จะเห็นได้ว่าเป็นการเพิ่มจำนวนชั้นในการเสริมวัสดุเสริมจากการทดลองของค่า Vertical Spacing เป็น 20 cm. ซึ่งในกรณีนี้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ผิวของ Geogrid ก็ยังมีค่าน้อยกว่า Geotextile แต่จากรายการคำนวณในภาคผนวก ง. จะเห็นได้ว่า สำหรับการทดลองที่ GG6-20-60 ซึ่งใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้น ผลจาก $node(n)$



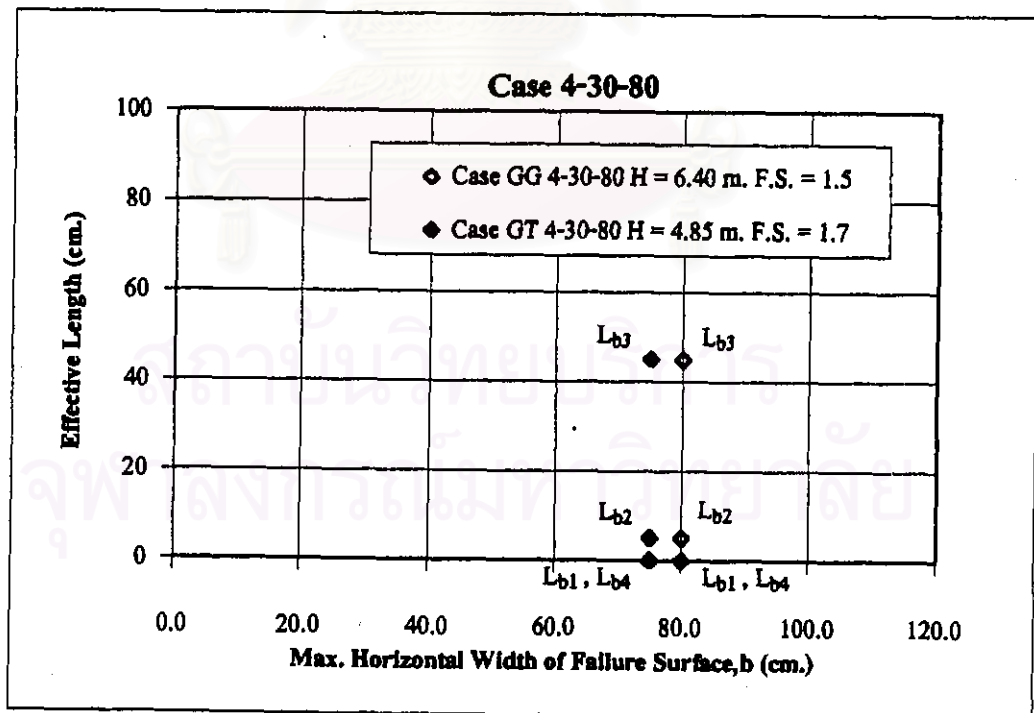
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vertical Spacing กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ที่ Vertical Spacing และ ความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน



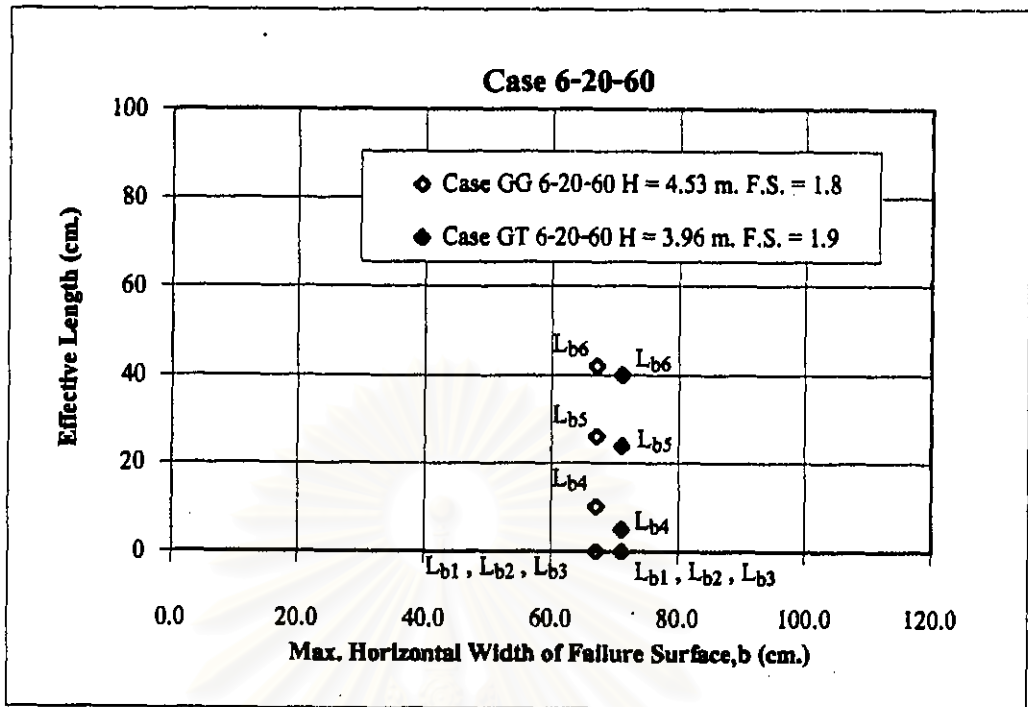
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความยาวของวัสดุเสริม กับค่า Equivalent Height ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ที่ Vertical Spacing และ ความยาวของวัสดุเสริมเดียวกัน



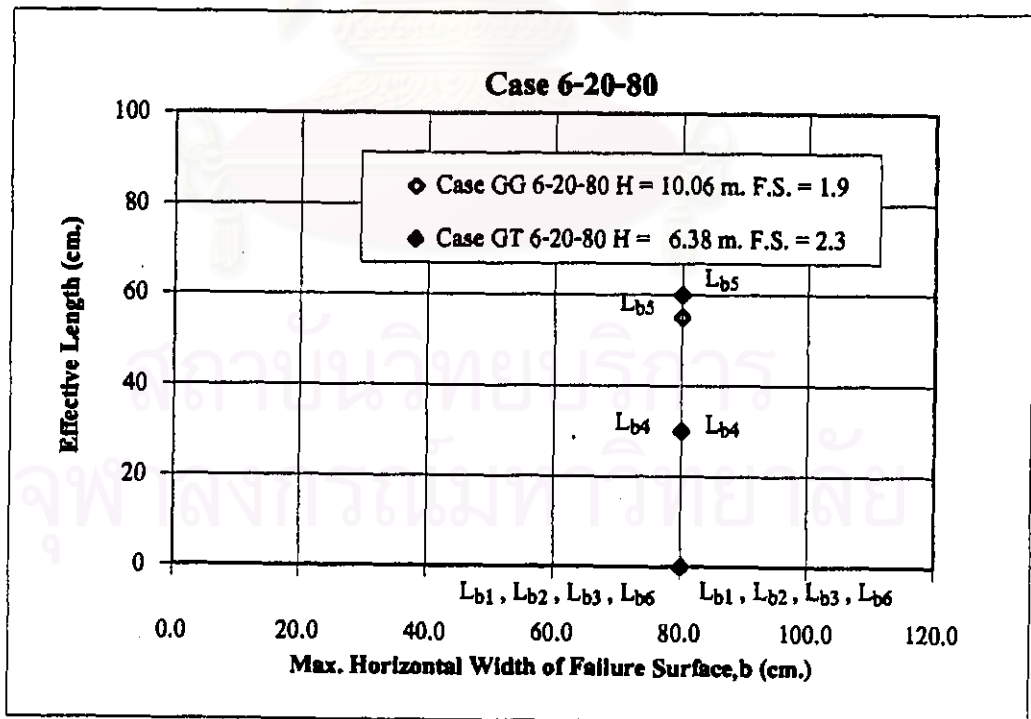
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ของการทดลองแบบ 4-30-60



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ของการทดลองแบบ 4-30-80



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ของการทดลองแบบ 6-20-60



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Horizontal Width of Failure Surface กับค่า Effective Length ในกรณีที่ใช้วัสดุเสริมต่างชนิดกัน ของการทดลองแบบ 6-20-80

ที่ใช้ develope แรง Passive Soil Resistance นั้นมีค่ามากพอ จึงทำให้การใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริมนั้นสามารถรับน้ำหนักได้เท่าๆกับการทดลองที่ใช้ Geotextileเป็นวัสดุเสริม

ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าวัสดุเสริมชนิดไหนมีผลต่อค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างวัสดุเสริมดินได้ดีกว่ากัน เนื่องจากค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเมื่อใช้วัสดุเสริมค่าชนิดกันนั้นยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วยคือ ค่า Vertical Spacing และ ค่าความยาวของวัสดุเสริม นั่นคือในการใช้วัสดุเสริมชนิดหนึ่งในโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการใช้วัสดุเสริมอีกชนิดหนึ่งก็ได้ เมื่อค่า Vertical Spacing และความยาววัสดุเสริมเปลี่ยนไป นอกจากนั้น พื้นที่ที่เกิด friction ก็จะมีค่าแตกต่างกันด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย