บทที่ 3
การทดลองและการวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการวิจัยและเหตุผล

การศึกษาแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญต่อการวิจัยอยู่ 5 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ขั้นตอนที่ 1

เป็นขั้นตอนของการกำหนด และเตรียมข้อมูลของตัวแปรที่จะมีผลต่อการวิจัย ได้แก่ ชนิดของวัสดุเสริม,จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม,ความยาวของวัสดุเสริม และผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า รวมไปถึงการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และทำการออกแบบของ model (ลักษณะของแบบจำลอง)เพื่อใช้ในการทดลองและเครื่องมือต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย แผ่นเหล็กถ่ายน้ำหนัก แม่แรงสำหรับapplied load โดยมีโครง(Frame)เหล็กเป็น reaction และ Dial Gauge สำหรับวัดการเคลื่อนตัวในทิศทางทั้งในแนวดิ่งและในแนวนอน ซึ่งข้อมูลของตัวแปรทั้งหมด,วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆนี้จะถูกเตรียมไว้เพื่อนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ทรายเป็นวัสดุในการทดลอง ส่วนชนิดของ Earth Reinforcement จะประกอบด้วย Geotextile และ Geogrid

ขั้นตอนที่ 2

เป็นขั้นตอนของการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานต่างๆ ได้แก่ การทดลองหาขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในการวิจัย,การทดสอบหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย,การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของทราย และ การหาความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริมที่ใช้ โดยที่ผลการทดลองทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และคำนวนผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3

เป็นขั้นตอนของการทดลองกับแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมที่มีต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างวัสดุเสริมดินโดยในการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน ดังนี้คือ ชนิดของวัสดุเสริม,จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม, ความยาวของวัสดุเสริม และผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า ซึ่งในการทดลองจะทำการสังเกตุพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งจดบันทึกค่าไว้โดยละเอียดเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ และคำนวนผลการทดลองต่อไป

ขั้นตอนที่ 4

เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้มาจากขั้นตอนของการทดลองในขั้นตอนที่ 2 และ 3 เพื่อที่จะนำข้อมูลต่างๆที่วิเคราะห์ได้นี้ไปสรุปผลในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5

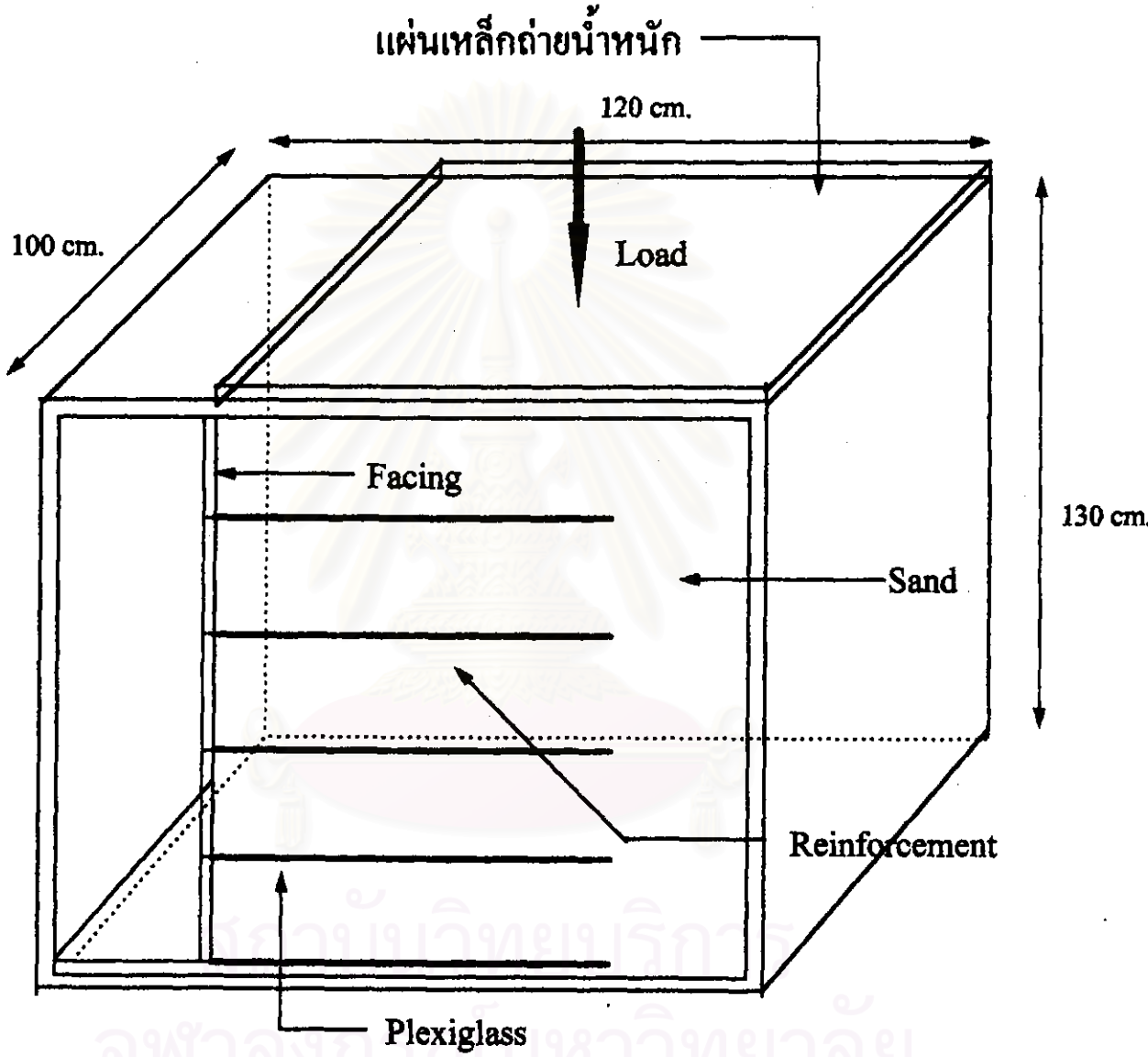
เป็นขั้นตอนของการสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4 เพื่อที่จะนำผลที่ได้ดังกล่าวนี้ไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อไป

3.2 ขนาดของแบบจำลอง (Model) และวิธีการทดสอบ

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

1. แบบจำลอง (Model) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100 * 120 * 130 cm. (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) โดยผนังด้านยาวด้านหนึ่งจะใช้เป็นแผ่นพลาสติกใส เพื่อให้มองเห็นลักษณะและพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3.1 ลักษณะของแบบจำลอง (model)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อมีน้ำหนักจากภายนอกมากระทำได้อย่างชัดเจน ส่วน 3 ด้านที่เหลือจะใช้แผ่นเหล็กขนาดหนา 5 mm.กั้นโดยรอบ เพื่อกันทรายที่ใช้ทดลองไม่ให้ไหลออกทางด้านข้าง ซึ่งแบบจำลองนี้จะวางไว้อยู่ในโครงเหล็กอีกทีหนึ่ง จากขนาดของแบบจำลองจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนตัวของทรายจะเคลื่อนตัวในลักษณะ 3 มิติและแผ่นเหล็กขนาดหนา 5 ม.ม.ที่กั้นไว้โดยรอบจะเป็นตัว constraint การเคลื่อนตัวทางด้านข้างเป็นผลให้หน่วยแรงที่ได้เป็นค่าที่สูงผิดปกติ

2. แม่แรงไฮโดรลิก (Hydraulic Jack) จะเป็นตัวให้น้ำหนักแก่แบบจำลองที่ขนาดต่างๆกัน ซึ่งตัวแม่แรงมีขนาด 25 ตัน ยี่ห้อ Enerpac ค่าที่อ่านได้จากปัทม์จะเป็นค่าความดันของน้ำหนักภายในกระบอกสูบ ซึ่งจะต้องนำไปเปรียบเทียบเป็นค่าน้ำหนักจริงจากกราฟที่ได้ทำการ Calibration ไว้แล้วอีกครั้งหนึ่ง

3. โครงเหล็ก (Steel Frame) เป็นโครงสร้างเหล็กที่ประกอบขึ้นเพื่อใช้ถ่ายแรงจากแม่แรงไฮโดรลิกลงสู่ตัวแบบจำลอง

4. ตัวเททราย (Taper Steel Platen) ใช้เมื่อเวลาเททรายลงสู่แบบจำลองเพื่อให้ได้ความหนาแน่นของทรายในแบบจำลองมีค่าคงที่ และมีลักษณะการแผ่กระจายของเม็ดทรายที่ดี

5. แผ่นเหล็ก (Steel Plate) เพื่อใช้กระจายน้ำหนักจากแม่แรงไฮโดรลิกลงสู่ทรายในแบบจำลอง

6. วัสดุเสริม (Reinforcement) ได้แก่ Geotextile (Nonwoven type U-26P) และ Geogrid (Tensar SR 55)

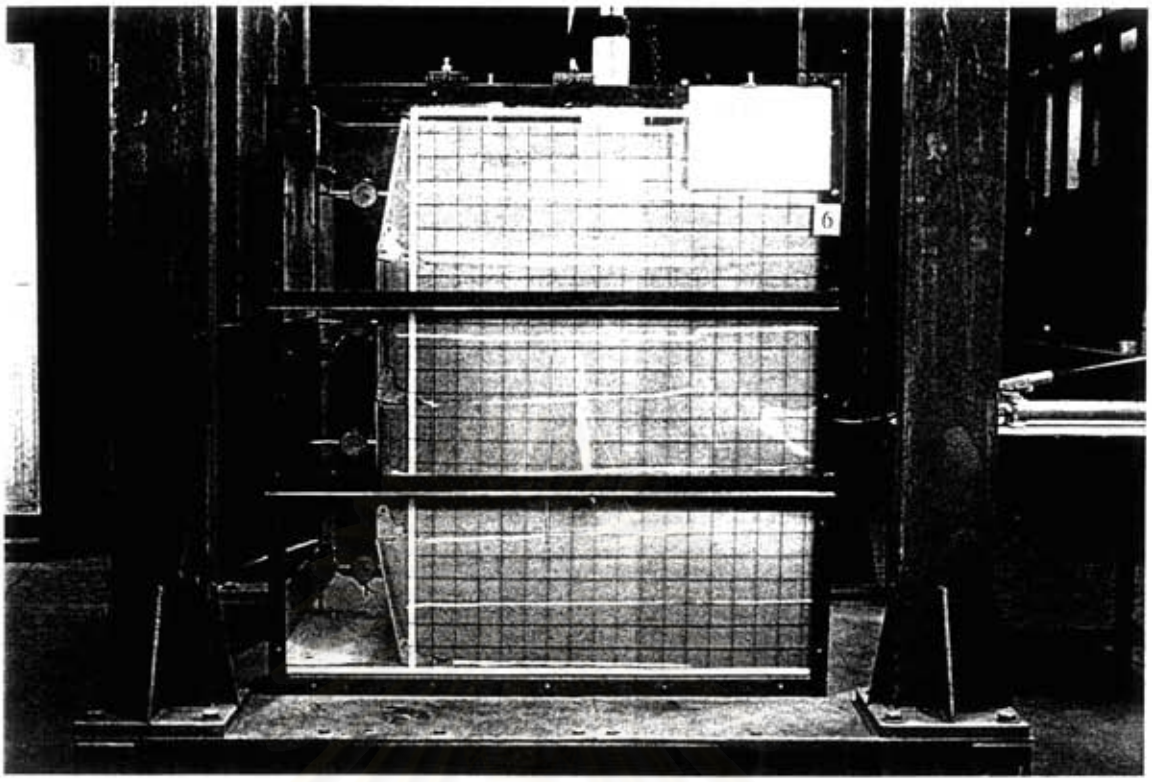
7. ทราย (Sand) ซึ่งทรายที่จะนำมาใช้จะนำมาจากนครปฐม และในการทดลองจะต้องผ่านการอบแห้งภายในตู้อบมาแล้วเสียก่อน

8. แผงกันดินด้านหน้า (Facing Element) ประกอบด้วยไม้อัดมายึดกันเป็นรูปตัว L (L-Shape) ด้วยตะปู และเจาะรูที่ด้านสั้นด้านหนึ่ง เพื่อใช้ขันน็อตยึดติดกับแผ่นวัสดุเสริม

9. ปูนขาว (Lime) ใช้โรยเป็นเส้นบางๆ เพื่อให้เห็นลักษณะการเคลื่อนตัวของทรายในแบบจำลองได้อย่างชัดเจน

10. Dial Gauge ใช้วัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และการทรุดตัวทางด้านบนของแบบจำลองโครงสร้างกำแพงกันดิน เมื่อมีการให้น้ำหนักแก่โครงสร้างโดยแม่แรงไฮโดรลิก

สำหรับรายละเอียด รูปร่างลักษณะของเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของแบบจำลองที่ถ่ายไว้ในขณะทำการทดลองและSpacing ของ Dial Gauge กับตำแหน่งของแม่แรง พร้อมทั้งลักษณะการโรยปูนขาว

3.2.2 การ Load น้ำหนัก และวัดการเคลื่อนตัว

1. นำทรายที่จะใช้ในการทดลองเข้าไปอบแห้งในตู้อบทั้งหมด

2. ประกอบแผ่นวัสดุเสริมกับแผงกันดินด้านหน้าด้วยการขันน็อตยึดติดให้แน่น (ในกรณีของการทดลองที่ต้องการให้ยึดติดกัน) ส่วนกรณีที่ไม่ต้องการให้ยึดติดกันก็ไม่ต้องทำการขันน็อตยึดระหว่างวัสดุเสริมกับแผงกันดินด้านหน้า

3. เททรายที่ผ่านการอบแห้งมาแล้วลงในแบบจำลองที่เตรียมไว้ โดยให้ความสูงของชั้นทรายชั้นล่างสูงจากพื้นประมาณ 1 - 2 นิ้ว ให้ทั่วบริเวณเพื่อใช้เป็นฐานสำหรับวางวัสดุเสริมชั้นล่างสุด และให้มีสภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติมากที่สุด

4. วางแผ่นวัสดุเสริมที่ประกอบกับแผงกันดินด้านหน้าที่เตรียมไว้ ลงบนทรายทีละชั้น พร้อมกับเททรายจากตัวเททราย(Taper Steel Platen) ลงบนแบบจำลอง โดยการเททรายจะทำการเทที่ระยะยกสูง 1 m. (จากการ Calibration) เพื่อให้ได้ความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดลองมีค่าคงที่ และมีลักษณะการแผ่กระจายของเม็ดทรายที่ดี ในการวางแผงกันดินด้านหน้า

นั้น ที่ด้านริมทั้งสองข้างของ facing นั้นจะไม่สัมผัสกับ model เพื่อป้องกันแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของ facing กับ model โดยจะใช้แผ่น Geotextile ปิดไว้เพื่อป้องกันการล่วงหล่นตามขอบของเม็ดทรายเท่านั้น

5. ก่อนที่จะเริ่มวางวัสดุเสริมชั้นถัดไป ต้องปรับระดับพื้นทรายให้เรียบทุกครั้ง และโรยเส้นปูนขาวเป็นแนวบาง ๆ เพื่อช่วยในการสังเกตุการเคลื่อนที่ของทรายได้ง่ายขึ้น

6. ในการโรยปูนขาวจะทำการโรยเมื่อเททรายได้ประมาณครึ่งหนึ่งของชั้น และเมื่อเททรายเสร็จชั้นหนึ่งๆแล้ว โดยปูนขาวที่ทำการโรยเมื่อเททรายได้ประมาณครึ่งหนึ่งของชั้นนั้นจะทำการโรยตลอดความยาวของโครงสร้าง แต่ปูนขาวที่ทำการโรยเมื่อเททรายเสร็จชั้นหนึ่งๆแล้วนั้น จะทำการโรยหลังจากวางวัสดุเสริมชั้นถัดไปแล้ว และจะทำการโรยปูนขาวตามความยาวของวัสดุเสริมที่ใช้เท่านั้น

7. หลังจากวางวัสดุเสริมตามจำนวนที่ต้องการแล้ว ก็ทำการติดตั้ง Dial Gauge 4 ตัวที่จะใช้อ่านค่าระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง

8. จากนั้นนำแผ่นเหล็กถ่ายน้ำหนักวางทับบนโครงสร้างแบบจำลอง แล้วนำแม่แรงไฮโดรลิกวางไว้บนแผ่นเหล็ก โดยพยายามให้แม่แรงอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแผ่นเหล็กที่ทำเครื่องหมายเอาไว้

9. ทำการติดตั้ง Dial Gauge 3 ตัว เพื่อวัดการทรุดตัวทางด้านบนของโครงสร้างแบบจำลอง จากนั้นทำการเซ็ตศูนย์ที่ Dial Gauge ทุกตัว

10. เริ่มให้น้ำหนักกับแบบจำลองโดยการเพิ่มน้ำหนักให้กับโครงสร้างแบบจำลองโดยจะเพิ่มน้ำหนักครั้งละประมาณ 7 ksc.(100 psi) จนโครงสร้างแบบจำลองถึงสภาวะวิบัติ และในแต่ละครั้งต้องวัดค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และค่าการทรุดตัว พร้อมทั้งบันทึกค่าน้ำหนักที่ให้กับโครงสร้างแบบจำลองด้วยทุกครั้ง

11. สังเกตุลักษณะการวิบัติของโครงสร้างแบบจำลอง พร้อมทั้งบันทึกสภาพการวิบัติที่เกิดขึ้น

12. นำค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และค่าการทรุดตัว กับน้ำหนักที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าการรับน้ำหนักได้มากที่สุด โดยสังเกตุได้จากจุดที่เส้นกราฟเริ่มเปลี่ยนจากเส้นตรงเป็นเส้นโค้ง ซึ่งก็คือจุดที่กราฟเริ่มเปลี่ยนความลาดชันนั้นเอง (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข.)

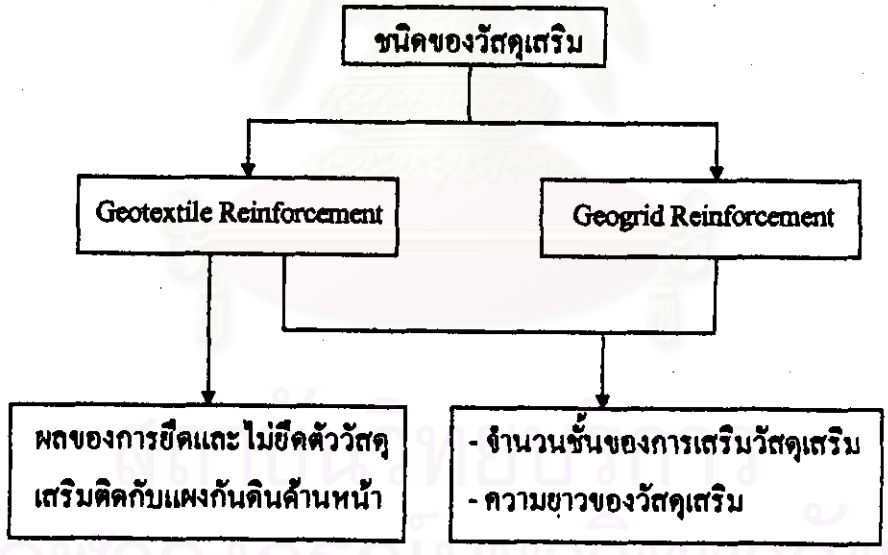
13. นำค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และค่าการทรุดตัว ไปเขียนกราฟลักษณะของการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และการทรุดตัว ตามตำแหน่งต่างๆที่มีการติดตั้ง Dial Gauge

สำหรับรูปรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆในการทดลองดังกล่าวดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

3.2.3 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลของการทดลองกับแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เพื่อศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่คาดว่าจะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างวัสดุเสริมดิน จะแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดของวัสดุเสริม
2. จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม
3. ความยาวของวัสดุเสริม
4. ผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า



รูปที่ 3.3 ลักษณะของการจัดเก็บข้อมูล

โดยในการทดลองจะประกอบไปด้วยการทดลองทั้งสิ้น9 การทดลอง โดยแบ่งออกเป็นการทดลองที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม จำนวน 5 การทดลอง และ การทดลองที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม จำนวน 4 การทดลอง ซึ่งการทดลองทั้งหมดข้างต้นยังได้แบ่งแยกออกไปตาม

จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริม, ความยาวของวัสดุเสริม และผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า ซึ่งรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของการทดลองดังกล่าวจะสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดของวัสดุเสริม ได้แก่ Nonwoven Geotextile แบบ U-26P และ Tensar Geogrid แบบ Tensar SR 55
2. จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริมซึ่งแบ่งออกเป็นการเสริมแบบ 4 ชั้น และแบบ 6 ชั้น โดยวัสดุเสริมจะมี Spacing เท่ากับ 30cm. และ 20cm. ตามลำดับ
3. ความยาวของวัสดุเสริม ซึ่งแบ่งออกเป็นความยาว 60 เซนติเมตร และ 80 เซนติเมตร
4. ผลต่อการยึดและไม่ยึดตัววัสดุเสริมติดกับแผงกันดินด้านหน้า โดยในกรณีนี้จะทำการทดลองกับตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม จำนวนชั้นของการเสริมวัสดุเสริมเท่ากับ 4 ชั้น ชั้นละ 30 cm. และใช้ Geotextile ยาวเท่ากับ 60 cm. โดยการทดลองหนึ่งจะทำการยึด Geotextile กับแผงกันดินด้านหน้าด้วยน็อต ส่วนอีกการทดลองหนึ่งจะไม่ทำการยึด Geotextile กับแผงกันดินด้านหน้า

3.3 การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน

3.3.1 การทดลองหาขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการทดลองเพื่อหาขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในการวิจัยนั้น จะทำการทดสอบโดยวิธี Grain Size Analysis เพื่อให้ทราบถึงการกระจายขนาดของเม็ดทรายว่ามีลักษณะเช่นไรเหมาะที่จะนำมาใช้ในโครงสร้างวัสดุเสริมดินหรือไม่ โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM)

3.3.2 การทดสอบหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทรายที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการทดสอบเพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทรายนั้น เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงสภาพความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการวิจัย โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM)

3.3.3 การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของทราย

สำหรับการทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของทราย จะทำการทดสอบโดยวิธีการทดสอบแบบ Direct Shear Test เพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายในของตัวอย่างทรายที่ใช้ในการวิจัย โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4

3.3.4 การหาความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริม

สำหรับการหาค่าความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริม โดยใช้การทดสอบ Shear Box Test แบบ Free Shear Test นั้น จะทำการทดสอบได้ในลักษณะเดียวกับการทดสอบแบบ Direct Shear Test เพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของทราย แต่จะต่างกันตรงที่ในการทดสอบแบบ Shear Box Test เพื่อหาค่าความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริมนั้น จะทำการวางแผ่นวัสดุเสริมเอาไว้ภายในตัวอย่างทรายด้วย โดยกำหนดให้ ϕ_s เป็นมุมเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทราย จะได้ว่า $\phi_s = \tan^{-1}(\tau / \sigma)$ เมื่อ

ϕ_s คือมุมเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทราย

τ คือหน่วยแรงเฉือน (Shear Stress)

σ คือหน่วยแรงดั้งฉาก (Normal Stress)

ค่าอัตราส่วน τ / σ คืออัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงดั้งฉากที่กระทำบนพื้นที่ผิวเดียวกัน ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการนำแรงเฉือนหารด้วยแรงกดที่กระทำบนพื้นที่ผิวเดียวกันนั่นเอง

ดังนั้นจึงสามารถหาค่ามุมเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทรายได้โดยใช้อัตราส่วนของแรงเฉือนต่อแรงกด (τ / σ) หรือสามารถหาค่ามุมเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทรายได้อีกวิธีหนึ่งคือ การเขียนกราฟระหว่างแรงเฉือนและแรงดั้งฉาก ค่าของมุมเสียดทานจะสามารถหาได้จากค่าความลาดเอียง (Slope) ของกราฟที่เขียนขึ้น

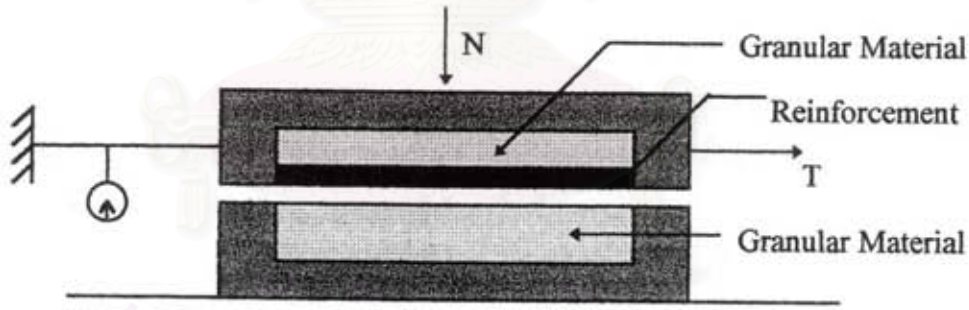
(ก) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือทดสอบแบบ Direct Shear Test (ดูรูปในภาคผนวก ก.)
2. แผ่นวัสดุเสริม โดยแบ่งวัสดุเสริมที่ใช้ออกเป็น 2 ชนิดคือ
   - Geotextile Type U-26P
   - Geogrid TypeTensar SR 55
3. ทราย

(ข) วิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองหาค่าความเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทรายนี้จะใช้การทดสอบ Shear Box Test แบบ Free Shear Test ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1. จัด Shear Box ให้พร้อมโดยให้ส่วน Sliding Ring ยึดติดกับ Stationary Base หรืออาจยก Shear Box ออกจาก Direct Shear Machine มาเตรียมตัวอย่างข้างนอกเพื่อความสะดวกก็ได้

2. เตรียมทรายที่ต้องการให้มากพอ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปเตรียมลงใน Shear Box ให้ได้ความสูงตามรูปประมาณครึ่งหนึ่งของ Shear Box (ตามรูปที่ 3.4) โดยใช้วิธีโรยแล้วบดอัดหรือเขย่าให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการ

3. วัดความสูงของตัวอย่างทรายแล้วชั่งน้ำหนักทรายที่เหลือก็จะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้

4. ปาดผิวหน้าของทรายให้ได้ระดับ พร้อมกับวางแผ่นวัสดุเสริมที่จัดเตรียมไว้บนทรายอีกทีหนึ่ง

5. จากนั้นโรยทรายทับข้างบนอีกชั้นหนึ่ง การทดสอบครั้งนี้ความหนาแน่นของทรายมีค่าเท่ากับ 1.6 - 1.7 t/m^3

6. เมื่อจัดตัวอย่างเข้าที่แล้วจัด Loading Bar ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่ Normal Load จัด Vertical Dial Gage , Horizontal Dial Gage และ Horizontal Shearing Device ให้เข้าที่ (การตั้ง Dial Gage ทุกตัวให้อยู่ที่ 0 จะสะดวกที่สุด)

(2) <u>การเฉือนตัวอย่าง</u>

1. กดตัวอย่างทรายโดยใช้น้ำหนัก (Normal Load) ขนาด 10 kg. แล้วรอให้การทรุดตัวทางแนวดิ่งหยุด

2. เริ่มแรงเฉือนให้ตัวอย่างโดยให้อัตราการเคลื่อนที่ตามแนวราบประมาณ 1มิลลิเมตรต่อนาที โดยสม่ำเสมอ

3. อ่านค่าแรงเฉือนจาก Proving Ring Dial , ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวดิ่งจาก Vertical Dial Gage ทุก ๆ การเคลื่อนที่ตามแนวราบ 0.1 มิลลิเมตร จนกระทั่งตัวอย่างไม่สามารถรับแรงเฉือนได้อีก โดยค่า Proving Ring Dial จะมีค่าคงที่หรือลดลง

4. เตรียมตัวอย่างเหมือนกันอีก 2 ตัวอย่าง โดยใช้น้ำหนักกดที่แตกต่างกัน ได้แก่ 15 และ 20 kg. ตามลำดับ แล้วทำการทดลองเหมือนข้างต้น

5. จากนั้นทำการทดลองเหมือนข้างต้นทั้งหมดอีก 1 ชุดตัวอย่าง

(3) <u>การคำนวณผลการทดลอง</u>

1. จากการทดลองทั้ง 2 ชุดตัวอย่างเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือน (τ) และการเคลื่อนตัวตามแนวราบ (ΔH) ของทุกตัวอย่างในการทดลองชุดเดียวกัน พร้อมกับหาค่าสูงสุดของหน่วยแรงเฉือน (τ_{max}) จากกราฟ

2. นำค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดจำนวน 6 ค่าจาก 2 ชุดตัวอย่างที่ได้มาไป Plot กราฟระหว่าง σ และ $\tau_{max.}$ ของทุกตัวอย่างแล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

3. จากกราฟระหว่าง σ และ $\tau_{max.}$ ที่ได้จะสามารถหาค่ามุมเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกับทราย (ϕ_s) ซึ่งจะนำไปหาค่าความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริมต่อไป ได้จาก Slope ของกราฟคือ $\tan \phi_s$

$$\text{โดยที่ } \phi_s = \tan^{-1}(\tau/\sigma) = \tan^{-1}(\Delta\tau/\Delta\sigma)$$

ซึ่งรายละเอียดและผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างวัสดุเสริมดินของการวิจัยครั้งนี้ จะใช้วิธีการของการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุเสริมดินแบบ Overall Stability Analysis (ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.9.2) เป็นหลักในการวิเคราะห์ โดยในกรณีที่ Failure Plane ที่ได้จากการทดลองแบบจำลองโครงสร้างวัสดุเสริมดินมีลักษณะเป็นเส้น Arc การวิเคราะห์จะทำในลักษณะเดียวกับกรณีของ Rankine Failure Plane ส่วนในกรณีที่ Failure Plane เป็นแบบ Wedge การวิเคราะห์จะทำในลักษณะเดียวกับกรณีของ Bilinear Failure Plane (รายละเอียดดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.9.2)

โดยจากการทดลองพบว่าโครงสร้างวัสดุเสริมดินจะมีแนวโน้มของสภาพการวิบัติในลักษณะของ Pull Out Failure กล่าวคือแรงยึดเกาะระหว่างวัสดุเสริมกับทรายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันทางด้านข้างอันเนื่องมาจากน้ำหนักของทรายรวมกับน้ำหนักที่เกิดจากการเพิ่ม load ด้วย Hydraulic Jack ในแนวดิ่ง ถ้าไม่ต้องการให้โครงสร้างวัสดุเสริมดินถึงสภาวะวิบัติ แรงต้านทานซึ่งเกิดจากแรงยึดเกาะระหว่างวัสดุเสริมกับทรายจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านข้างอันเนื่องมาจากน้ำหนักของทรายรวมกับน้ำหนักที่เกิดจากการเพิ่ม load ด้วย Hydraulic Jack ในแนวดิ่ง และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

- ในกรณีที่ใช้ Geotextile เป็นวัสดุเสริม

แรงดึงทั้งหมด (T_R) ที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างวัสดุเสริมดินมีค่าเท่ากับ

จากสมการ 2.23 (ในกรณีที่ Failure Plane เป็นแบบ Arc)

$$T_R = \frac{W}{\tan(\phi+\beta)}$$

จากสมการ 2.31 (ในกรณีที่ Failure Plane เป็นแบบ Wedge)

$$T_R = \frac{W}{\tan(\phi+\beta)} + P$$

ส่วนแรงต้านทาน($T_{resistance}$)ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกรณี Pull Out Failure โดยคิดจากจำนวนวัสดุเสริมทั้งหมดที่ Failure Plane ตัดผ่านจะมีค่าดังนี้

จากสมการ 2.34 (Geotextile Reinforcement)

$$T_{resistance} = \sum_{i=1}^{n} P_{resistance}$$

$$= \sum_{i=1}^{n} 2\sigma'_{vi} L_{bi} \tan\phi_s$$

ซึ่งในการวิเคราะห์ที่ Equilibium (F.S.=1.0) จะได้ว่า

$$T_R = T_{resistance}$$

- ในกรณีที่ใช้ Geogrid เป็นวัสดุเสริม

แรงต้านทาน($T_{resistance}$)ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกรณี Pull Out Failure โดยคิดจากจำนวนวัสดุเสริมทั้งหมดที่ Failure Plane ตัดผ่านจะมีค่าดังนี้

จากสมการ 2.35 (Geogrid Reinforcement)

$$T_{resistance} = \sum_{i=1}^{n} P_{resistance}$$

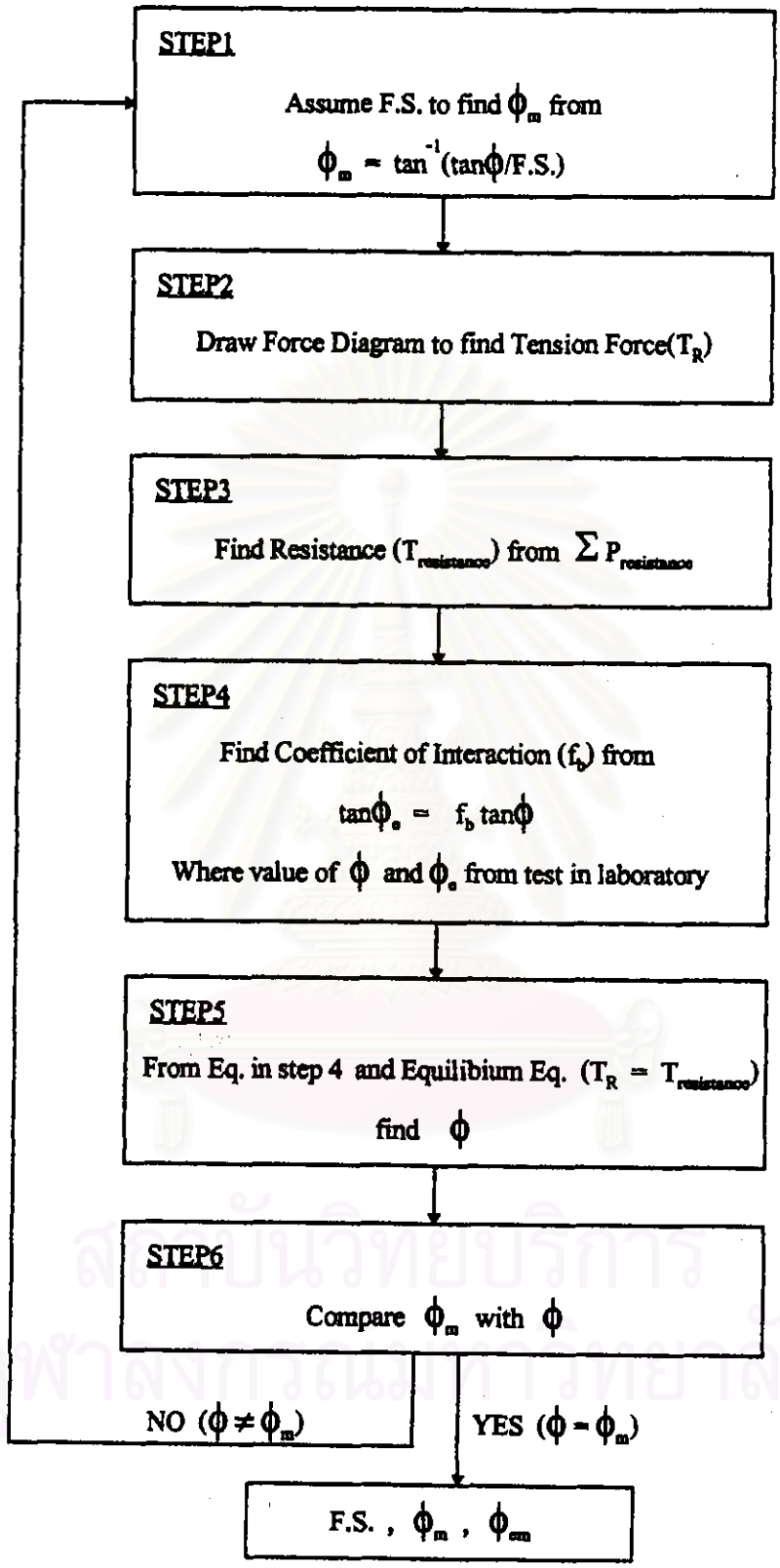
$$= \sum_{i=1}^{n} (\alpha_b t \sigma'_{bi} n + 2L_{bi}\alpha_s \sigma'_{vi} \tan\phi_s)$$

ซึ่งในการวิเคราะห์ที่ Equilibium (F.S.=1.0) จะได้ว่า

$$T_R = T_{resistance}$$

แต่จากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบค่าน้ำหนัก (Q) ที่โครงสร้างวัสดุเสริมดินจะรับได้โดยทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนัก (Q) ที่ได้จากการทดลอง และค่าน้ำหนัก (Q) ที่ได้จากการคำนวนทางทฤษฎีจาก Equilibium Equation ข้างต้น จะได้ว่าค่าQ ที่ได้จากการทดลองจะมีค่าน้อยกว่า ค่าQ ที่ได้จากการคำนวนทางทฤษฎี ซึ่งแสดงว่า ค่า Q จากการทดสอบที่ได้มาโดยการพล็อตกราฟระหว่างค่า การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง หรือการทรุดตัวกับน้ำหนัก(Q) แล้วสังเกตุจุดที่เส้นกราฟเริ่มเปลี่ยนจากเส้นตรงเป็นเส้นโค้งหรือเปลี่ยนความลาดชันนั้น ไม่ใช่จุดที่โครงสร้างวัสดุเสริมดินเกิดการวิบัติ เป็นเพียงแค่จุดที่โครงสร้างเริ่มเกิดการยืดตัวออกเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์ในบทที่ 4 จะใช้ค่า Q ที่ได้มาจากค่าน้ำหนักสุดท้ายที่ทำการ load ให้กับโครงสร้างวัสดุเสริมดินในแต่ละการทดลอง มาเป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ซึ่งจากปัญหาข้างต้น จะเห็นได้ว่าในกรณีที่โครงสร้างวัสดุเสริมดินรับแรงถึงค่า Q ที่เราพิจารณานั้น การ develope ของค่ามุมเสียดทานภายในระหว่าง ทรายกับทราย และ ทรายกับวัสดุเสริม ยังมีค่าไม่เต็มที่ ดังนั้นในการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุเสริมดินจึงต้องทำการ Trial and Error เพื่อหาค่า Factor of Safety ของการ develope มุมเสียดทานภายใน และของค่ามุมเสียดทานภายในระหว่าง ทรายกับทราย (ϕ_m) และ ทรายกับวัสดุเสริม(ϕ_{sm}) ที่เกิดขึ้นจริงในจุดที่เราพิจารณาด้วย โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ทำการสมมุติค่า Factor of Safety เพื่อหาค่ามุมเสียดทานภายในของทรายที่เกิดขึ้นจริง (ϕ_m) จาก $\phi_m = \tan^{-1}(\tan\phi/F.S.)$ เมื่อ ϕ เป็นมุมเสียดทานภายในของทรายที่ได้จากการทดสอบ Direct Shear Test

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์จาก Force Diagram เพื่อหาค่าแรงดึงทั้งหมดที่ทำให้โครงสร้างวัสดุเสริมดินเกิดการเคลื่อนตัว (T_R) (รายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.9.2) โดยในกรณีที่ Failure Plane ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแบบ Wedge Failure นั้น ค่า K ที่ใช้ในการคำนวนเพื่อหาค่าของแรง P นั้นจะไม่ใช้ค่า K_a ซึ่งเกิดจากการ develope มุมเสียดทานภายในของทราย (ϕ) อย่างเต็มที่ แต่จะใช้ค่า K ซึ่งเกิดจากค่ามุมเสียดทานภายในที่เกิดขึ้นจริง (ϕ_m) ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 1 แทน คือ $K = \tan^2(45-\phi_m/2)$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> เป็นขั้นตอนของการหาค่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้น ($T_{resistance}$) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมแต่ละเส้น ($\sum P_{resistance}$) นั่นเอง

โดยที่ $T_{resistance} = \sum P_{resistance} = f(\phi_e)$

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> เป็นขั้นตอนการหาค่า Coefficient of Interaction (f_b) จากสมการ $\tan\phi_e = f_b \tan\phi$ โดยที่ค่า ϕ และ ϕ_e เป็นค่ามุมเสียดทานที่ได้มาจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> เป็นขั้นตอนในการคำนวนหาค่ามุมเสียดทานภายในของทราย (ϕ) จากสมการในขั้นตอนที่ 4 ($\tan\phi_e = f_b \tan\phi$) และสมการสมดุลย์ระหว่างค่าของแรง T_R กับ $T_{resistance}$ ($T_R = T_{resistance}$)

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> เป็นขั้นตอนของการเปรียบเทียบค่า ϕ ที่หาได้ในขั้นตอนที่ 5 กับค่า ϕ_m ที่หาได้ในขั้นตอนที่ 1 โดยถ้าค่าที่ได้มีค่าเท่ากัน แสดงว่า ค่ามุมเสียดทานภายในที่ได้นี้เป็นค่าที่เกิดขึ้นจริง แต่ถ้าค่าที่ได้มีค่าไม่เท่ากันจะต้องทำการ Trial and Error เพื่อหาค่า Factor of Safety ใหม่ แล้วจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งได้ค่า $\phi = \phi_m$