

บทที่ 3

การเสริมกำลังของลาดดินด้วยวัสดุสังเคราะห์

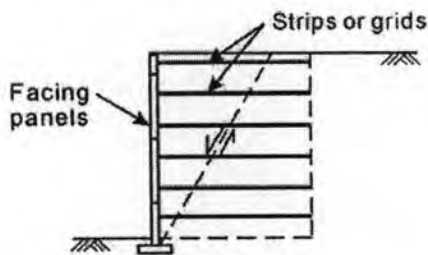
3.1 กล่าวนำ

วัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในงานก่อสร้างด้านวิศวกรรมปฐพี มีหน้าที่หลายประการได้แก่ การเสริมกำลัง (Reinforcement) ,การเป็นวัสดุชั้นกรองให้กับดินที่มีขนาดคละแตกต่างกัน (Separation) และการป้องกันการรั่วซึมของของเหลวที่กักเก็บไว้ (Containment)

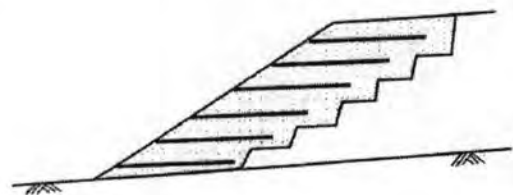
วัสดุสังเคราะห์สามารถใช้ในการเสริมกำลังเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน ทำให้สามารถทำการก่อสร้างลาดดิน ได้สูงและมีความลาดชันเพิ่มขึ้น

ลาดดินเสริมกำลังมีพฤติกรรมในการต้านทานการวิบัติ เพิ่มเติมขึ้น จากโครงสร้างดินไม่เสริมกำลัง ในเรื่องของการเพิ่มแรงต้านทานภายในมวลดินให้เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกำลัง และอนุภาคดิน

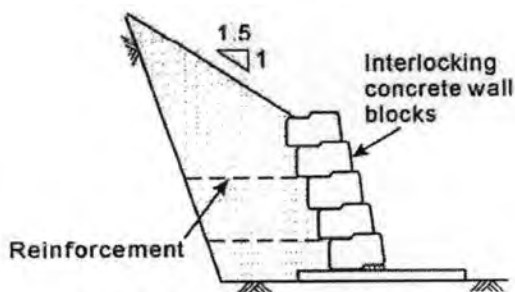
ดังนั้นหน้าที่หลักของวัสดุเสริมกำลังจึงได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาทางกลกับมวลดิน เพื่อรับการถ่ายทอดหน่วยแรง และปริมาณการเคลื่อนตัวจากมวลดิน เพื่อลดโอกาสที่มวลดินจะเกิดการวิบัติ โดยที่ผิวหน้าของโครงสร้างดินเสริมกำลัง (ก้อนคอนกรีต ,กล่องบรรจุหิน ,กระสอบบรรจุดินและเมล็ดพืช , เป็นต้น) มีหน้าที่หลักในการป้องกันการเสื่อมสภาพของวัสดุเสริมกำลัง



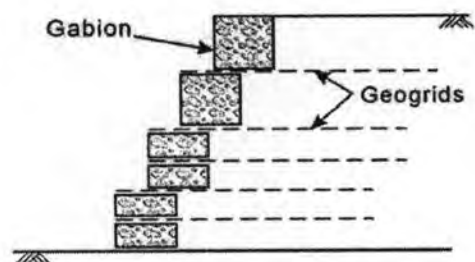
กำแพงกันดินเสริมกำลัง



ลาดดินเสริมกำลัง



โครงสร้างดินเสริมกำลัง - ผิวหน้าเป็นก้อนคอนกรีต

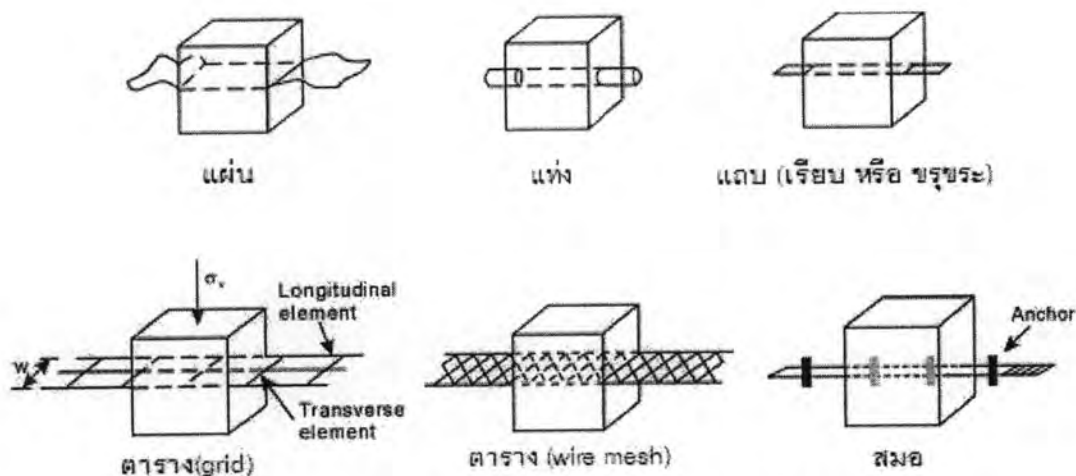


โครงสร้างดินเสริมกำลัง - ผิวหน้าเป็นกล่องบรรจุหิน

รูปที่ 3.1 ลาดดินเสริมกำลังรูปแบบต่างๆ

3.2 ชนิดของวัสดุเสริมกำลัง

วัสดุเสริมกำลังมีรูปแบบหรือรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เช่น แผ่น , แถบ , ตาราง หรือเป็นสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบต่างๆของวัสดุเสริมกำลัง

วัสดุเสริมกำลังที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มี 2 ชนิดคือ โลหะ และ วัสดุสังเคราะห์ (polymeric หรือ geosynthetics)

ก.) โลหะ มักเป็นผลิตภัณฑ์ galvanized steel หรือ high strength steel มักจะมีรูปแบบเป็นแถบ , ตาราง หรือสมอ

ข.) วัสดุสังเคราะห์ เป็นผลิตภัณฑ์ ที่ผลิตมาจากเส้นใยโพลีเมอร์ โพลีเมอร์ ที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานเสริมกำลังดินมี 3 ชนิด ได้แก่

1. Polyester (PET) ซึ่งมักจะเคลือบผิวด้วย PVC หรือ acrylic
2. High Density Polyethylene (HDPE)
3. Polypropylene

แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ

1. Geotextiles คือเส้นใยสังเคราะห์ ขึ้นรูปเป็นแผ่นได้หลายวิธี เช่น Woven และ Non-Woven มักใช้ในงานเสริมกำลังและเป็นชั้นกรองวัสดุ
2. Geogrid คือ โพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปเป็นตาราง ใช้ในงานเสริมกำลัง

3.3 คุณสมบัติของวัสดุเสริมกำลัง

คุณสมบัติ ที่จะต้องคำนึงถึงเพื่อเป็นข้อพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมสำหรับการออกแบบมีดังต่อไปนี้

1. ความคงทน (Durability) ได้แก่ความคงทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของดิน , อุณหภูมิ , แสงแดด และปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำและธาตุต่างๆในดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดเนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่ควบคุมอายุการใช้งานของโครงสร้างดิน

2. รูปแบบ (Form) ได้แก่ ลักษณะที่เป็น แผ่น , แถบ , ตาราง เป็นต้น

3. ความขรุขระของพื้นผิว (Surface Properties) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการต้านทานในการถูกดึงหลุดออกจากมวลดิน (Pullout) วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ต้านทานการดึงหลุด (Pullout Coefficient : α_p) หรือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างวัสดุเสริมกำลังและดิน (Interaction Coefficient : α_i) สูง ก็จะมีประสิทธิภาพในการเสริมกำลังสูง

เฉพาะวัสดุเสริมกำลังที่มีรูปแบบตาราง (grid หรือ wire mesh) การขัดกันของเม็ดดินที่อยู่ระหว่างช่องตารางจะเป็นตัวควบคุมแรงเสียดทานระหว่างมวลดินและวัสดุเสริมกำลัง (pullout resistance) ซึ่งอาจจะใช้ค่า $\alpha_p = 1.0$ (FHWA,2000 :สำหรับโลหะ) , $\alpha_p = 0.8$ (Voskamp,2003) หรือใช้ค่าจากการทดสอบ Pullout Test

4. กำลังรับแรงดึง (Tensile strength)

5. ความแข็ง (Stiffness) คุณสมบัตินี้จะควบคุมการเสียรูปของโครงสร้างดินเสริมกำลังมิให้เกินกว่าค่าที่ยอมให้ สำหรับวัสดุสังเคราะห์ซึ่งมีค่า secant modulus ต่ำกว่า โลหะมาก โครงสร้างดินจะเกิดหน่วยการเคลื่อนตัวมาก ก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล

6. การคืบตัว (Creep) คือการที่วัสดุเสียรูปโดยการเพิ่มความยาวขณะที่แรงกระทำมีค่าคงที่ ซึ่งจะมีค่ามากสำหรับวัสดุสังเคราะห์ การคืบตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณของแรงที่กระทำต่อวัสดุสังเคราะห์

3.4 แรงดึงปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของวัสดุเสริมกำลัง (Allowable Long Term Reinforcement Tensile Force : T_a)

กำลังต้านทานแรงดึงของวัสดุเสริมกำลังที่พัฒนาขึ้นเพื่ออยู่ในสภาวะสมดุล จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมวลดินเกิดการขยับตัว (deformation) หรือวัสดุเสริมกำลังเกิดการยืดตัวไปตามระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งจะเรียกแรงดึงนี้ว่า กำลังรับแรงดึงในช่วงระยะเวลาใช้งาน (Long Term Tensile Capacity : T_{long}) ขนาดของแรงดึง T_{long} ในวัสดุเสริมกำลังจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการดังนี้

1. กำลังรับแรงดึง (Short Term Tensile Strength : T_{ult}) ได้จากการทดสอบ Wide Width Tension Test (ASTM D 4595 ,ISO 10319)

$$T_{long} = \left(\frac{T_{ult}}{RF_{cr} \times RF_{id} \times RF_d} \right) \quad (3.1)$$

โดยที่ RF_{cr} = Reduction Factor for creep

RF_{id} = Reduction Factor for installation damage

RF_d = Reduction Factor for durability , ทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อม

คุณภาพของวัสดุตามอายุการใช้งาน

T_{long} มีหน่วยเป็น แรง/ความลึกของลาดดิน (Force/Length)

ทั้งนี้ค่า Reduction Factors ของวัสดุสังเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยที่ตารางที่ 3.2 นั้น FHWA ระบุว่าใช้ได้กับ Granular Soil ที่มีขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 19 mm. , ค่า pH ของดิน ระหว่าง 4.5 ถึง 9.0 และอุณหภูมิไม่เกิน 30° C

ชนิดของ Polymer	RF_{cr}	RF_{id}	RF_d
Polyester (PET)	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5	1.0 – 2.0
Polypropylene	3.0 – 5.0		
Polyethylene	2.5 – 5.0		
PVA	1.4 – 1.8		1.0 – 1.5

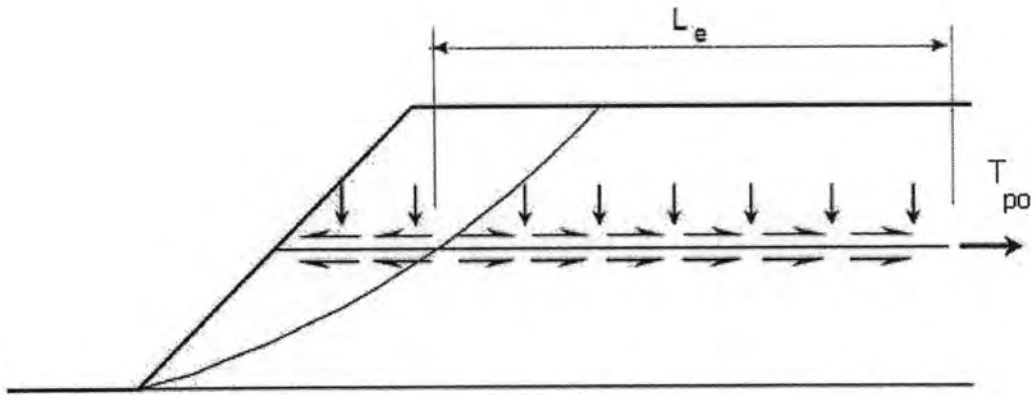
ตารางที่ 3.1 Reduction Factors โดย Leshchinsky ,2002

ชนิดของ Polymer	RF_{cr}	RF_{id}	RF_d
Polyester (PET)	1.6 – 2.5	-	-
Polypropylene	4.0 – 5.0		
Polyethylene	2.6 – 5.0		
ALL POLYMER	-	1.1 – 3.0	1.1 – 2.0

ตารางที่ 3.2 Reduction Factors โดย FHWA ,2000

2. กำลังรับแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างมวลดินและ วัสดุเสริมกำลัง (Pullout Resistance : T_{po}) T_{po} เป็นสัดส่วนกับ Effective Overburden Pressure (σ'_v) ดังแสดงในรูปที่ 3.3





รูปที่ 3.3 รูปแสดงแรงดึงเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างมวลดินและวัสดุเสริมกำลัง (Pullout Resistance)

$$dT_{po} = 2 \times \{ \alpha_p \cdot (c' + \sigma'_v \cdot \tan \phi') \} \times dL_e \quad (3.2)$$

$$T_{long} = T_{po} \quad (3.3)$$

โดยที่ L_e = ความยาวของวัสดุเสริมกำลังส่วนที่เลยไปจากพื้นผิววิบัติ (Effective or Embedment Length)

α_p = สัมประสิทธิ์ต้านทานการดึงหลุด (Pullout Coefficient) ซึ่งหาค่าได้จากการทดสอบ Pull out Test หรือ Large Scale Direct Shear (ASTM D 5321) หรือใช้ค่าที่เป็น Typical Values จาก FHWA ,2000 ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ประเภทของวัสดุเสริมกำลัง	α_p
Geotextiles	0.67
Geogrid	0.8
Steel Strips and Grids	1.0

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า α_p โดย FHWA ,2000

3. กำลังรับแรงดึงเนื่องจากค่าความแข็ง (Stiffness)

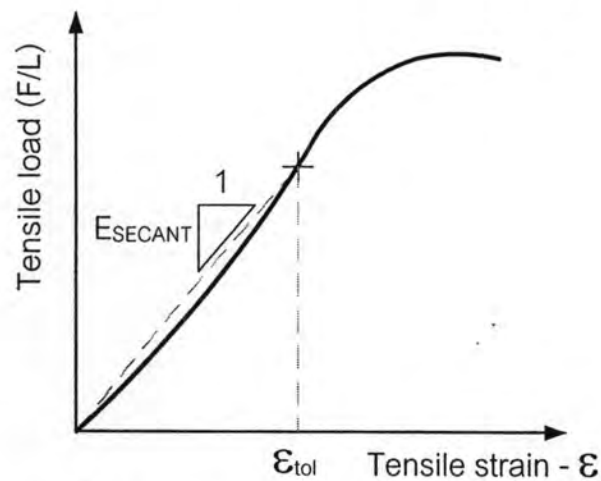
$$T_{long} = E_{secant} \times \epsilon_{tol} \quad (3.4)$$

โดยที่ ϵ_{tol} = หน่วยการเคลื่อนตัวที่ยอมให้สำหรับโครงสร้างดินประเภทต่างๆ ค่าที่แนะนำสำหรับลาดดินประเภทต่างแสดงในตารางที่ 3.4

E_{secant} = secant modulus ของวัสดุเสริมกำลัง ที่ axial strain มีค่าเท่ากับ ϵ_{tol} ซึ่งได้จาก Geosynthetics Load – strain curve

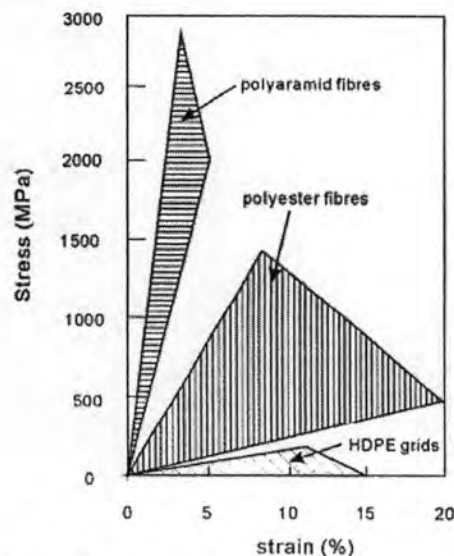
ประเภทของลาดดินเสริมกำลัง	ϵ_{tol} (%)
กำแพงกันดิน	10
ลาดดินบนดินฐานรากแข็งแรง	10
ลาดดินบน Non-Sensitive Clay ยอมให้มีการทรุดตัวปานกลาง	10
ลาดดินบน Non-Sensitive Clay ยอมให้มีการทรุดตัวน้อย	5 - 6
ลาดดินบน Highly-Sensitive Clay	2 - 3

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า ϵ_{tol} โดย Duncan & Wright ,2005



รูปที่ 3.4 Geosynthetics Load – strain curve

ทั้งนี้หากไม่มี Geosynthetics Load – strain curve ของวัสดุสังเคราะห์ชนิดที่ต้องการนำไปใช้งาน สามารถประมาณค่าเบื้องต้นของ Short Term Tensile Strength ซึ่งพิจารณาจากค่า Stiffness ได้จาก Short Term stress-strain characteristics chart เสนอโดยสำนักงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคแห่งประเทศไทย (2002) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Short Term stress-strain characteristics chart

กำลังรับแรงดึงในช่วงระยะเวลาใช้งาน (T_{long}) คือค่า T_{long} ที่น้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.1) – 3.4)

แรงดึงปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของวัสดุเสริมกำลัง (T_a) สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.5)

$$T_a = \frac{T_{long}}{FS_{RFM}} \quad (3.5)$$

โดยที่ FS_{RFM} = อัตราส่วนความปลอดภัยของ Reinforcement Force (1.5 – 2.0)

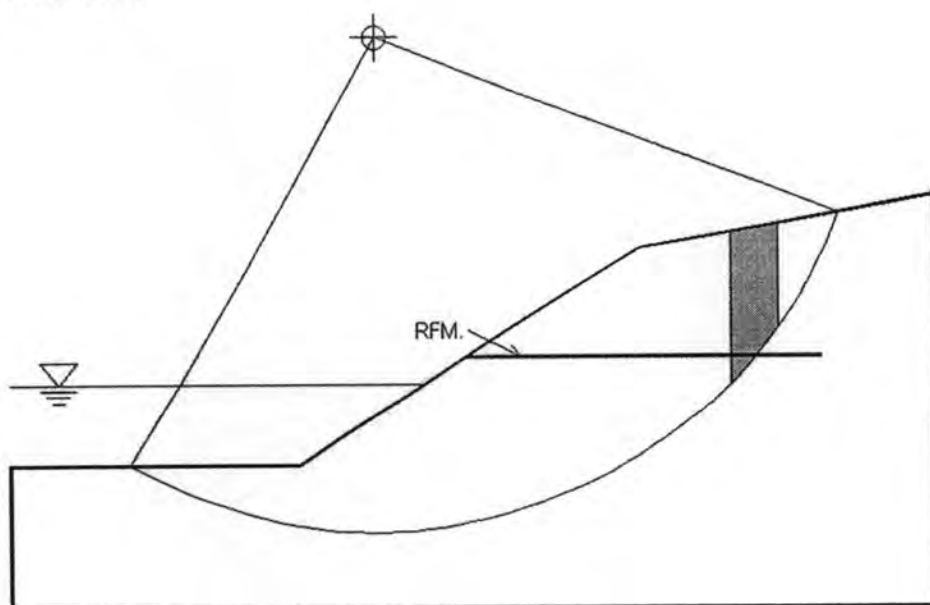
3.5 สมมติฐานของทิศทางแรงดึงของวัสดุเสริมกำลัง

วัสดุเสริมกำลังชนิดวัสดุสังเคราะห์ มีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมวลดินเกิดการเคลื่อนตัว อาจทำให้วัสดุเสริมกำลัง พับตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 slice ที่แผ่นวัสดุเสริมกำลังตัดผ่านฐาน slice จึงมีสมมติฐานของทิศทางแรงดึงของวัสดุเสริมกำลัง 2 สมมติฐานได้แก่

ก.) แรงดึงมีทิศทางขนานกับการวางวัสดุเสริมกำลัง (Parallel to RFM alignment)

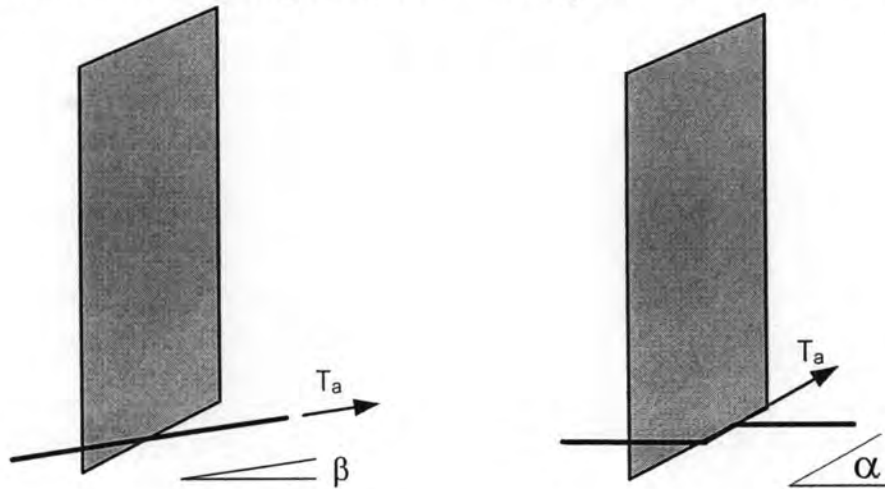
ข.) แรงดึงมีทิศทางสัมผัสกับพื้นผิววิบัติ (Tangent to failure surface)

จากผลการศึกษา-วิจัยหลายงานวิจัย เช่น Leshchinsky & Boedeker ,1989 และ Duncan & Wright ,2005 ได้ให้คำแนะนำว่าควรใช้สมมติฐาน ข้อแรกเนื่องจากเป็น Conservative Design ซึ่งจะคำนวณค่า FS. ได้ค่าน้อยกว่า การใช้สมมติฐานแรงดึงมีทิศทางสัมผัสกับพื้นผิววิบัติ



รูปที่ 3.6 slice ที่ต้องพิจารณาสมมติฐานของทิศทางแรงดึงของวัสดุเสริมกำลัง

Paralell to RFM. Alignment Tangent to failure Surface



รูปที่ 3.7 ทิศทางแรงดึง 2 รูปแบบ ของวัสดุเสริมกำลังใน slice ที่ reinforcement ผ่านฐาน slice

3.6 สมมุติฐานของการกระจายแรงดึงของวัสดุเสริมกำลังตามความยาว

การกระจายของแรงดึงตามความยาวเกิดเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างมวลดินและวัสดุเสริมกำลัง จะมีค่าเป็น ศูนย์ที่ปลายสุดของวัสดุเสริมกำลังส่วนที่อยู่ในมวลดินที่พิจารณาการวิบัติ และเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ แรงดึงปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของวัสดุเสริมกำลัง (T_u) จากตำแหน่งจุดตัดระหว่างวัสดุเสริมกำลังและ พื้นผิววิบัติจนถึงตำแหน่งปลายสุด แรงดึงจะลดลงด้วยรูปแบบการกระจาย 3 แบบ ซึ่งแนะนำโดย V.Tanjiria et al,2002 คือ

ก.) ลดลงเชิงเส้น (Linear Force Distribution along Reinforcement Sheet) ซึ่งใช้เป็นรูปแบบหนึ่งของการกระจายแรงดึง ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

ข.) สมการกำลังสาม ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของพจน์ต่างๆมาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี finite element

ค.) สีเหลี่ยมคางหมู

ดังแสดงในรูปที่ 3.8

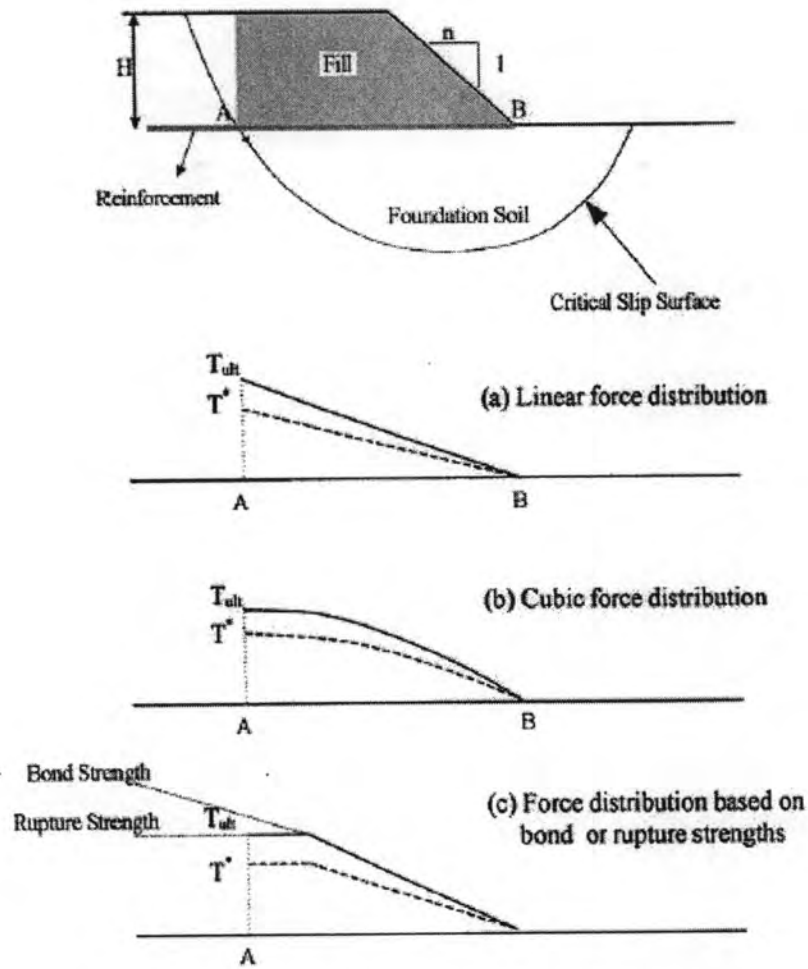
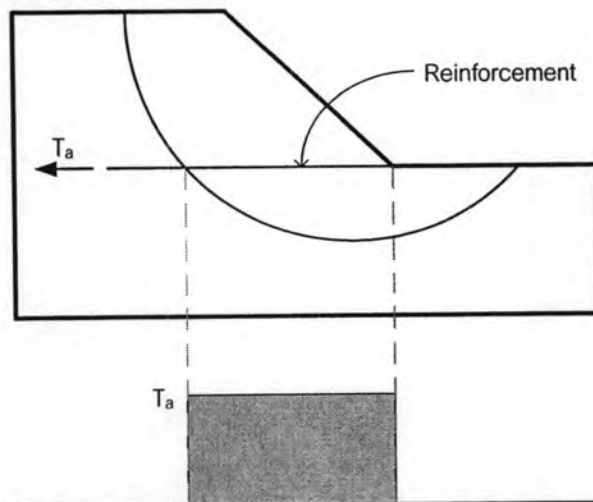


Fig. 3. Force distribution along reinforcement.

รูปที่ 3.8 รูปแสดงการกระจายแรงดึงตามความยาวของวัสดุเสริมกำลัง (V.Tanjiria et al,2002) การกระจายแรงดึงการกระจายแรงดึงตามความยาวของวัสดุเสริมกำลัง แบบคงที่ (Constant Force Distribution along Reinforcement Sheet) ซึ่งใช้เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการกระจายแรงดึง ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.9

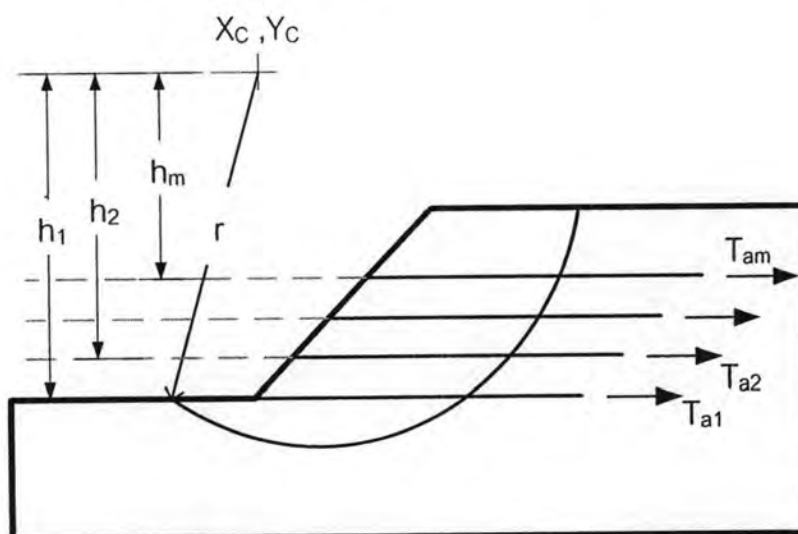


รูปที่ 3.9 รูปแสดงการกระจายแรงดึงตามความยาวแบบคงที่ของวัสดุเสริมกำลัง

3.7 การออกแบบและวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินเสริมกำลังด้วย Conventional Method

การใช้ Conventional Method ในการวิเคราะห์-ออกแบบ ลาดดินมีด้วยกัน 2 วิธี ที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางดังต่อไปนี้ได้แก่

1. การวิเคราะห์การวิบัติของลาดดินแบบเคลื่อนหมุน การวิเคราะห์รูปแบบนี้จะใช้ได้เฉพาะการจำลองการวิบัติแบบเคลื่อนหมุน (คำนวณเฉพาะสมการสมดุล Moment รอบจุดศูนย์กลาง) โดยจะนำค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงดึงปลอดภัยของวัสดุเสริมกำลัง หักออกจากส่วน Driving Moment โดยที่ การคำนวณค่า N ของแต่ละ slice จะไม่นำแรงดึงที่ตำแหน่งใดๆของวัสดุเสริมกำลังมาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับลักษณะการกระจายแรงดึงรูปสี่เหลี่ยม (Constant) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และสมการที่ 3.6)



รูปที่ 3.10 ลาดดินเสริมกำลัง กรณีคำนวณ FS_M แบบ Conventional

$$FS = \frac{\sum [c' L + (N - U) \cdot \tan \phi'] \cdot r}{\sum_n W \cdot r \cdot \sin \alpha - \sum_m T_a \cdot h} \quad (3.6)$$

โดยที่ $m =$ จำนวนเส้นของวัสดุเสริมกำลัง

2. การวิเคราะห์การวิบัติของลาดดิน Cohesionless Soil เสริมกำลัง ด้วยการ ใช้ Design Chart

การใช้ Design Charts ในการวิเคราะห์-ออกแบบ มีข้อจำกัดในการใช้งานดังนี้

ก. ลาดดินจะต้องเป็นดิน Cohesionless Soil ($c' = 0$)

ข. ลาดดินจะต้องตั้งอยู่บนดินฐานรากแข็ง การวิบัติจะเกิดในลักษณะ Toe Failure เท่านั้น

ค. ลักษณะทางเรขาคณิต(Geometry) ของลาดดินจะต้องเป็นรูปร่างอย่างง่ายคือ มีความลาดชันเดียว

ง. Design Chart บาง Chart สามารถเลือกใช้แรงดันน้ำในลาดดินได้จาก Pore Water Pressure Ratio (R_u)

ส่วนประกอบของ Design Chart มีอยู่ 3 ส่วนหลักสำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์-ออกแบบลาดดินเสริมกำลัง ได้แก่

2.1 Required Tensile Resistance หรือ Active Lateral Earth Pressure Coefficient (K_a) ได้จากการวิเคราะห์ แบบ Variational Limit Equilibrium เพื่อหา Failure Surface ที่ก่อให้เกิด Active Earth Pressure ที่มีค่ามากที่สุด ทั้งนี้รูปทรงของมวลดินที่วิบัติมักใช้มวลดินที่มีพื้นผิววิบัติแบบ Log-Spiral หรือใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Multi-Parts Wedge

Design Chart สำหรับค่า K (K_a) เสนอโดย Leshchinsky & Boederker (1989) แสดงค่าทิศทางของแรงดึงของวัสดุเสริมกำลังในทิศทางแนวราบ(Horizontal : เส้นที่บ) และในทิศทางสัมผัสกับพื้นผิววิบัติ(Tangential : เส้นประ) โดยที่ m = ความลาดชันของลาดดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12

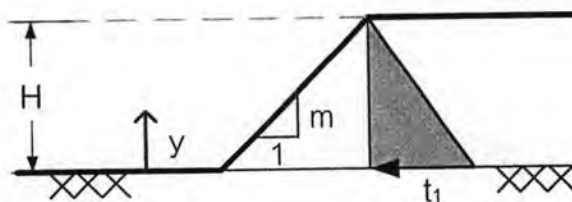
Design Chart สำหรับค่า K_{req} (K_a) เสนอโดย Jewell (1990) แสดงในรูปที่ 3.17 – 3.19 โดยแบ่งตามค่า r_u ตั้งแต่ 0.00 – 0.50

สำหรับการกระจายหน่วยแรงดึงเป็นรูปสามเหลี่ยมจะสามารถคำนวณแรงดึงที่ต้องการของวัสดุเสริมกำลังที่ระดับต่างๆได้ตามสมการที่ 3.7) – 3.8)

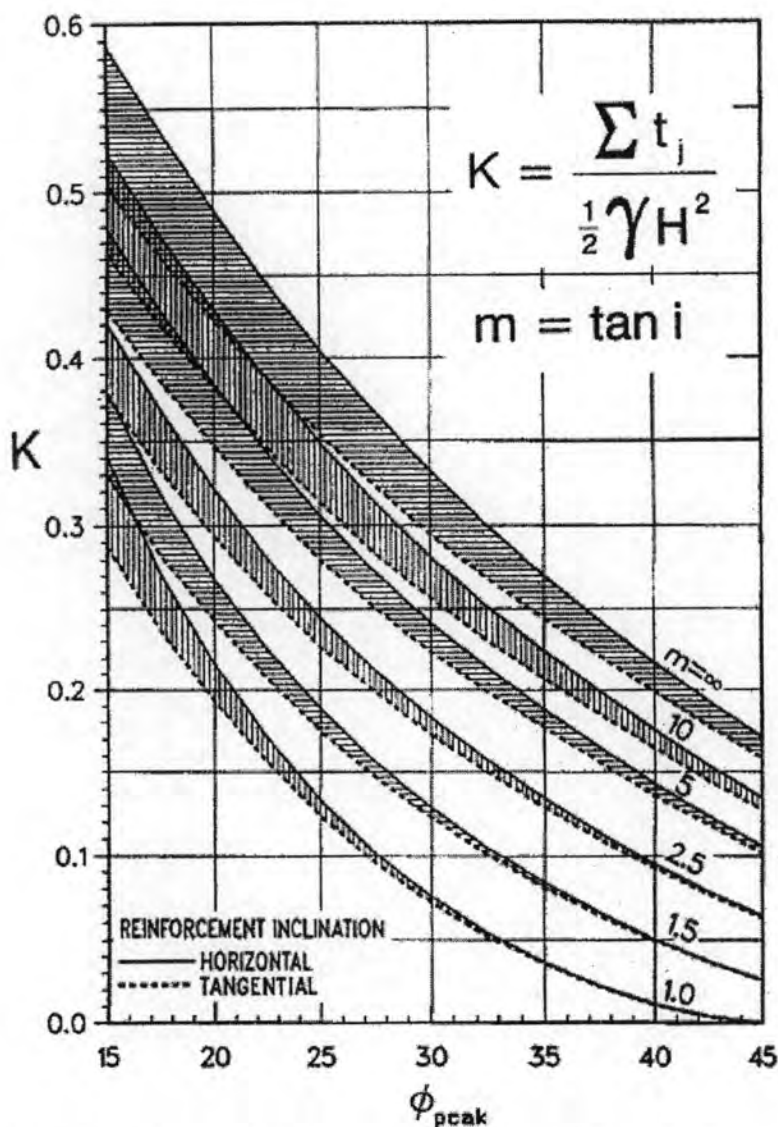
$$t_1 = \frac{K_a FS \cdot \gamma H^2}{n} \quad (3.7)$$

$$t_i = \left(1 - \frac{y_i}{H}\right) \quad (3.8)$$

n = จำนวนชั้นของวัสดุเสริมกำลัง



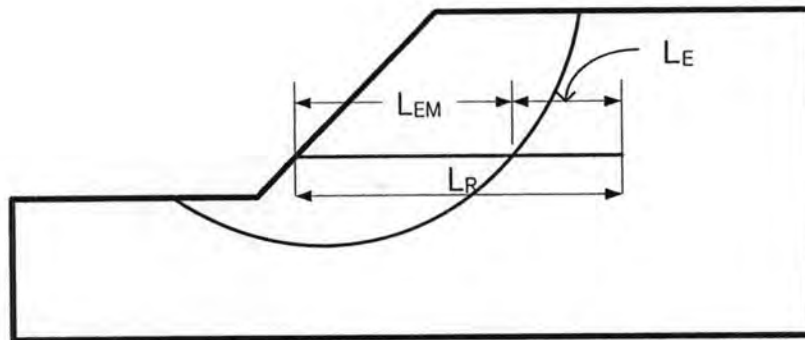
รูปที่ 3.11 การกระจายหน่วยแรงดึงที่ต้องการ (Required Tensile Resistance) ในลาดดิน



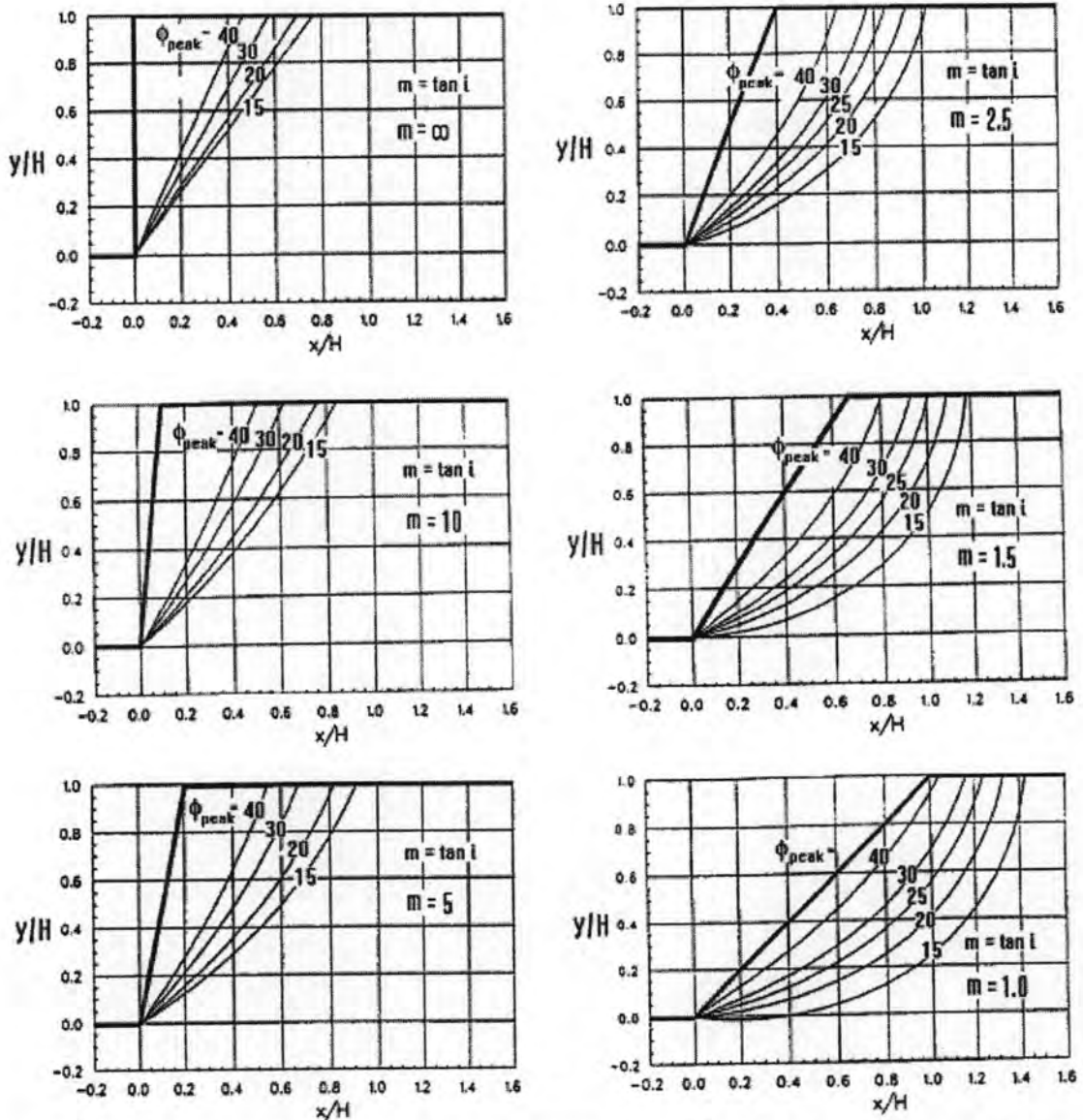
รูปที่ 3.12 Required Tensile Resistance Design Chart (K) เสนอโดย Leshchinsky & Boederker (1989)

2.2 Required Length of Reinforcement (L_R) ประกอบด้วยความยาว 2 ส่วนประกอบกัน คือ L_{EM} (Embedment Length) สามารถใช้ Required Embedment Length Design Chart ที่เสนอโดย Leshchinsky & Boederker (1989) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ L_E (Effective Length or Anchorage Length) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.9) ภายหลังจากการใช้ Design Chart Required Tensile Resistance และคำนวณค่า t_j จากสมการ 3.8)

$$L_E = \frac{t_i}{2 \cdot \alpha_p \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi'} \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.13 แสดง Embedment Length (L_{EM}) และ Effective Length (L_E)



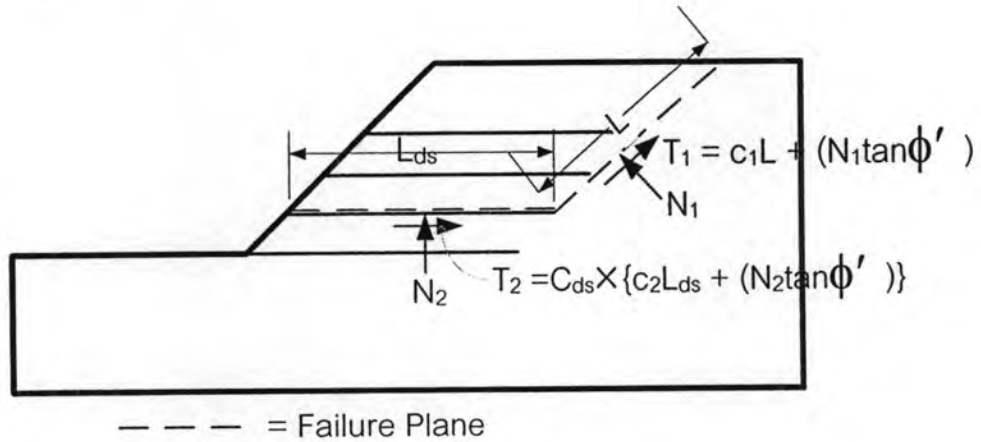
รูปที่ 3.14 Required Embedment Length Design Chart ทิศทางของแรงดึงในแนวราบ เสนอ

โดย Leshchinsky & Boederker (1989)

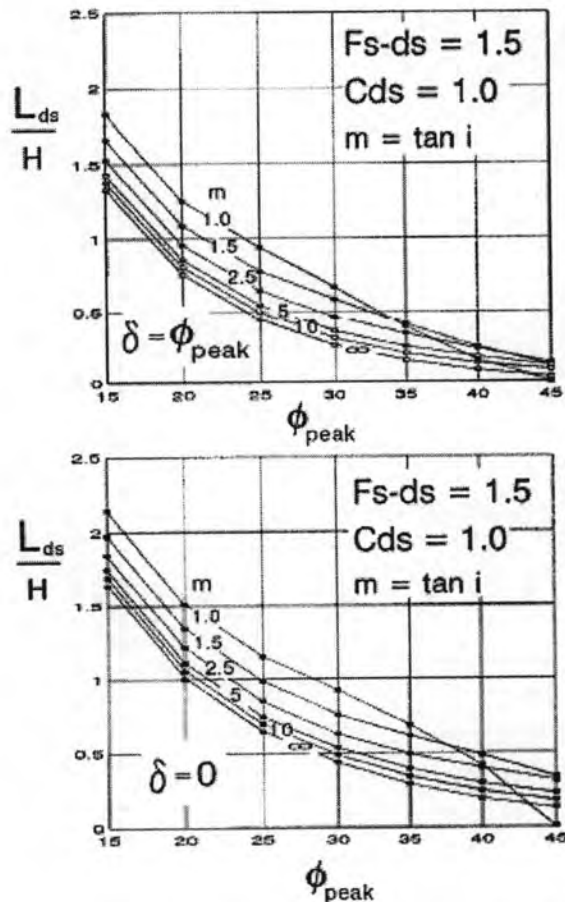
2.3 Required Length of Reinforcement from Direct Sliding Failure Mode (L_{ds}) สำหรับลักษณะของการวิบัติที่ มวลดินไถลไปบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง (Direct Sliding) ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ส่วนของพื้นผิววิบัติที่สัมผัสกับแผ่นวัสดุเสริมกำลัง จะถูกลดกำลังต้านทานแรง

เฉือน(T) ด้วย สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างดินและวัสดุเสริมกำลัง (C_{ds} : Interaction Coefficient) ซึ่งหาค่าได้จากการทดสอบ Large Scale Direct Shear

Required Length to resist Direct Sliding Design Chart แสดงในรูปที่ 3.16 โดยที่ δ (Interaction friction angle) มีค่าเท่ากับ $TAN^{-1}(C_{ds} \times \tan \phi_{peak})$ และ ϕ_{peak} คือ Peak Friction angle of soil



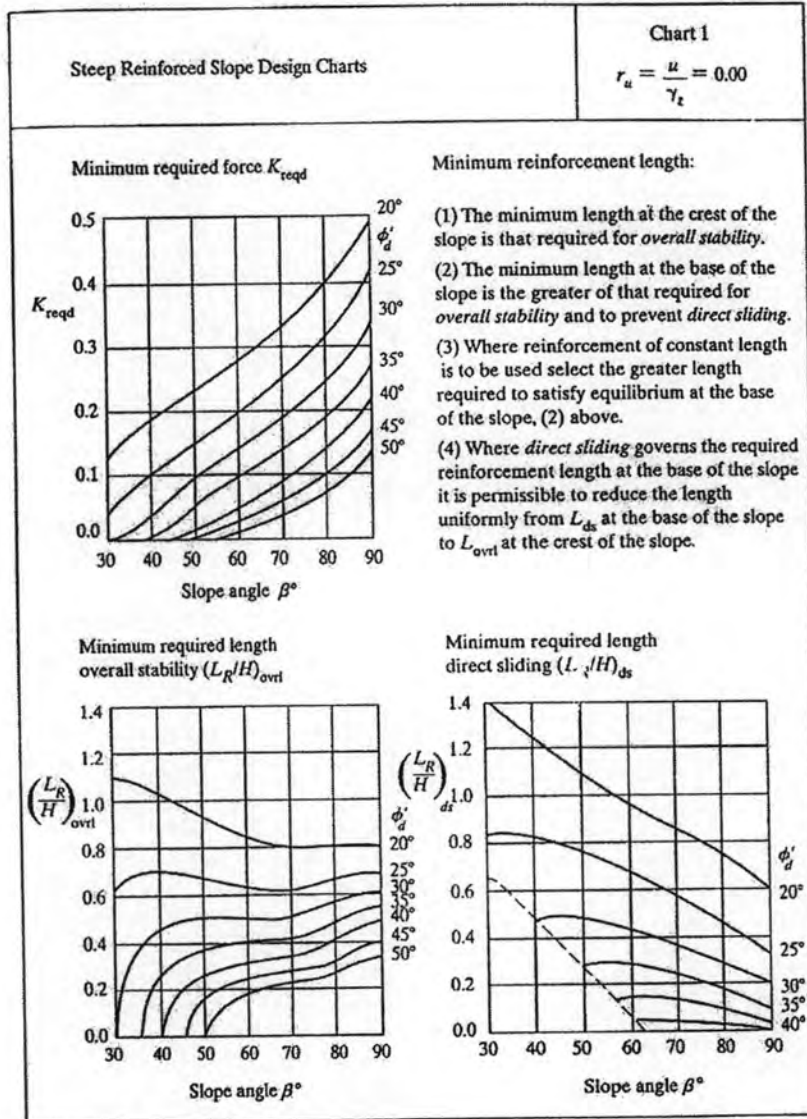
รูปที่ 3.15 แสดงการวิบัติแบบมวลดินไถลไปบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง (Direct Sliding)



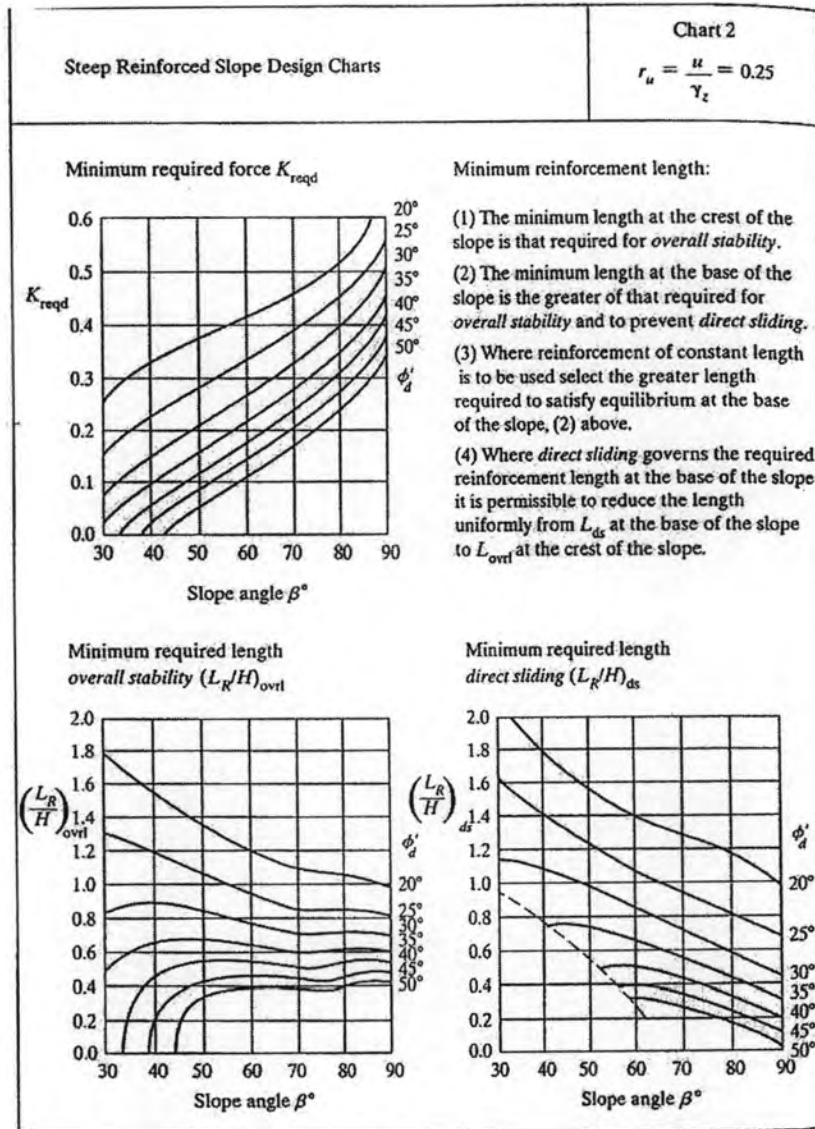
รูปที่ 3.16 Required Length to resist Direct Sliding Design Chart เสนอโดย Leshchinsky & Boederker (1989)

เมื่อได้คำนวณค่า L_R และ L_{ds} จาก Design Chart แล้วจึงทำการเปรียบเทียบ
 เลือกว่าค่าที่มีความยาวมากกว่าเป็นความยาวของวัสดุเสริมกำลังที่ระดับความสูงต่างๆ

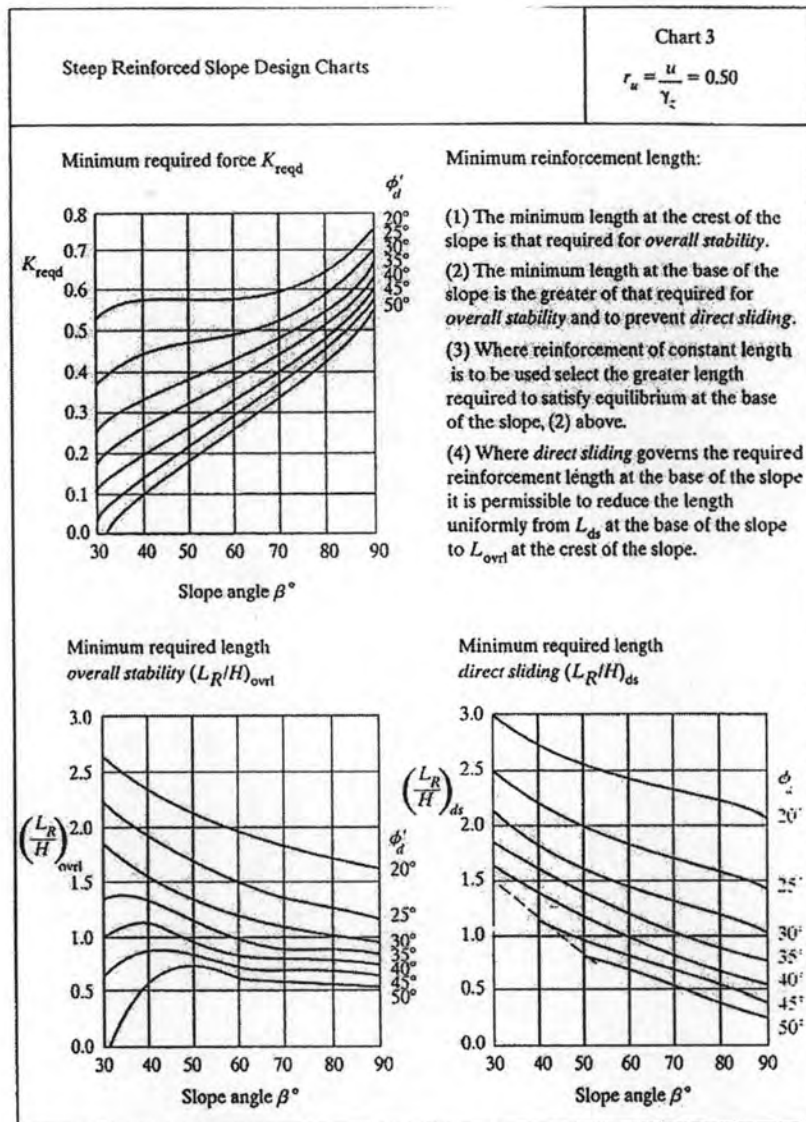
Required Length Design Chart ทั้งกรณี 2.2 และ 2.3 ที่เสนอโดย Jewell
 (1990) แสดงในรูปที่ 3.17 – 3.19



รูปที่ 3.17 Design Chart สำหรับ Steep reinforced slope กรณี $r_u = 0.00$ เสนอโดย Jewell



รูปที่ 3.18 Design Chart สำหรับ Steep reinforced slope กรณี $r_u = 0.25$ เสนอโดย Jewell



รูปที่ 3.19 Design Chart สำหรับ Steep reinforced slope กรณี $r_u = 0.50$ เสนอโดย Jewell