

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

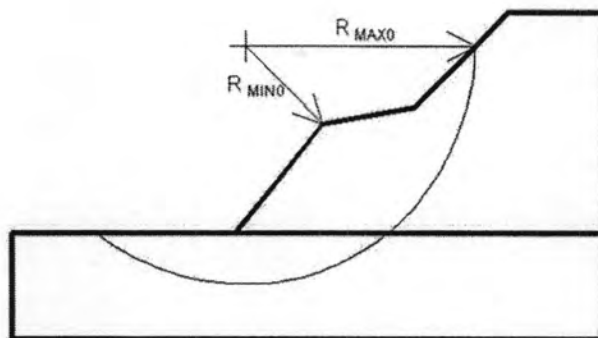
- บุญชัย อุกฤษฏาชน. 2548. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Advanced Soil Mechanics. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- บุญชัย อุกฤษฏาชน. 2549. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Geomechanics. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปราโมทย์ ชินเอา.2544. การวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยกลไกการวิบัติแบบเลื่อนโดยการวิเคราะห์แบบขอบเขตบนในสภาวะสัจคณิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- T.William Lambe, Robert V. Whitman, 1979. Soil mechanics SI version. New York : John Wiley & Sons
- Saul Stahl, 2003. Geometry from Euclid to Knots. New Jersey : Pearson Education
- Stephen J. Chapman, 2004. Fortran 90/95 for scientists and engineers. second edition. Boston : McGraw-Hill
- H.M. Deitel, P.J. Deitel, 2006. Visual basic 2005 how to program. third edition. New Jersey : Pearson Education
- Lee W. Abramson, Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce, 2002. Slope stability and stabilization methods. second edition. New York : John Wiley & Sons
- M.G. Anderson, K.S. Richards, David Nash, 1987. Slope stability. New York : John Wiley & Sons
- J.M. Duncan, S.G. Wright, 2005. Soil strength and slope stability. New York : John Wiley & Sons
- Civil Engineering Department The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2002. Guide to reinforced fill structure and slope design. (geoguide6) Hong Kong : Geotechnical Engineering Office
- D.G. Fredlund, J. Krahn, 1977. Comparison of slope stability methods of analysis. Canadian Geotechnical Journal 14 :429 – 439.

- Dov Leshchinsky, R.H. Boedeker, 1989. Geosynthetic reinforced soil structures. ASCE Journal of Geotechnical Engineering 115 :1459 – 1478.
- Dov Leshchinsky, Jie Han, 2004. Geosynthetic reinforced multitiered walls. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 130 :1225 – 1235.
- V. Tandjiria et al, 2002. Effect of reinforcement force distribution on stability of embankments. Geotextiles and Geomembranes 20 :423 – 443.
- D.Y. Zhu, C.F. Lee, Q.H. Qian, G.R. Chen, 2005. A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method. Canadian Geotechnical Journal 42 :272 – 278.
- R.I. Woods, R.A. Jewell, 1990. A computer design method for reinforced soil structures. Geotextiles and Geomembranes 9 :223 – 259.
- James Michael Duncan, 1996. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. ASCE Journal of Geotechnical Engineering 122 :577 – 596.
- Jorge G. Zornberg, Nicholas Sitar, James K. Mitchell, 1998. Limit equilibrium as basis for design of geosynthetic reinforced slopes. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 124 :684 – 698
- R.A. Jewell, 1990. Revised design charts for steep reinforced slopes. Reinforced embankments: theory and practice in British isles London : Thomas Telford
- Dov Leshchinsky, 2002. Stability of geosynthetic reinforced soil structures [Online]. Available from: <http://www.GeoPrograms.com>

ภาคผนวก



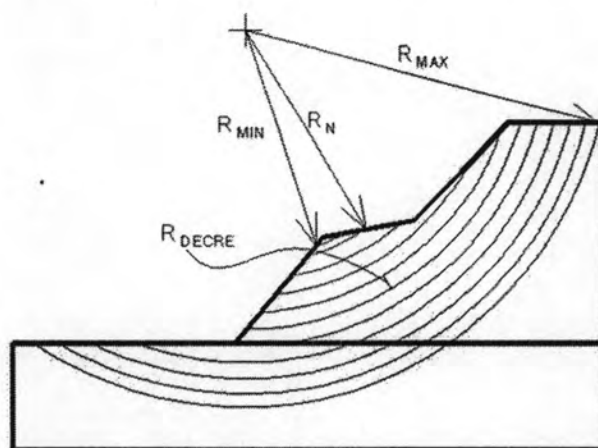
รูปที่ ๘.2 R_{MAX0} และ R_{MIN0} กรณีจุดศูนย์กลาง มีค่าระดับต่ำกว่า TopLine

ข. การคำนวณ FS_{MIN} ของจุดศูนย์กลาง 1 จุด

1 เมื่อได้ค่า R_{MAX} และ R_{MIN} แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณระยะลดลงของรัศมี (R_{DECRE}) โดยที่ ถ้าหน่วยการคำนวณเป็น เมตร ; $R_{DECRE} = 0.50$ m. แต่ถ้าหน่วยการคำนวณเป็น ฟุต ; $R_{DECRE} = 1.6404$ ft. และจำนวนของพื้นผิววิบัติ (PlaneNum) ต่อ 1 จุดศูนย์กลางจะต้องไม่เกิน 25 พื้นผิว

$$PlaneNum = (R_{MAX} - R_{MIN}) / R_{DECRE}$$

ถ้า $PlaneNum > 25$ จะปรับค่า R_{DECRE} ด้วยสมการ $R_{DECRE} = (R_{MAX} - R_{MIN}) / 25$



รูปที่ ๘.3 การคำนวณ FS_{MIN1} รอบที่ 1

2. รอบที่ 1 คำนวณ FS_{MIN1} โดยเริ่มจาก R_{MAX} จนถึง R_N : $R_N \geq R_{MIN}$

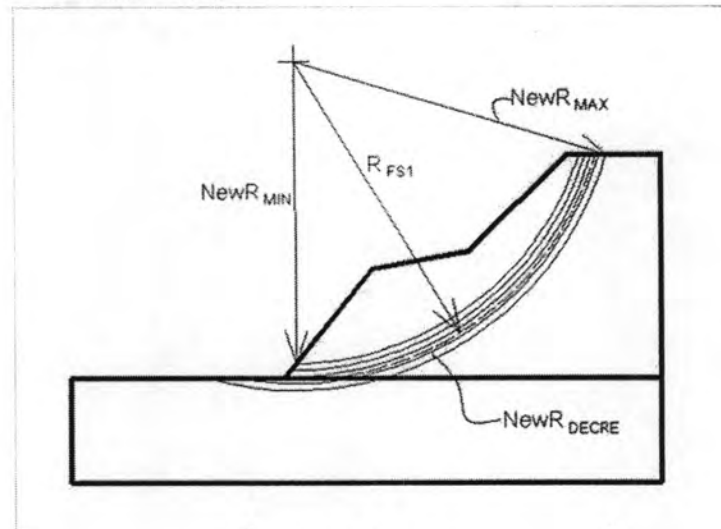
3. เมื่อได้ค่า FS_{MIN1} ที่ตำแหน่ง R_{FS1} แล้วจะทำการคำนวณซ้ำ (รอบที่ 2) โดย

กำหนดค่า $NewR_{MAX}$ และ $NewR_{MIN}$

$$\text{NewR}_{\text{MAX}} = R_{\text{FS1}} + (1.5 \times R_{\text{DECRE}})$$

$$\text{NewR}_{\text{MIN}} = R_{\text{FS1}} - (2.0 \times R_{\text{DECRE}})$$

$$\text{NewR}_{\text{DECRE}} = R_{\text{DECRE}} / 5$$



รูปที่ ๔.4 การคำนวณ $\text{FS}_{\text{MIN}2}$ รอบที่ 2

4. รอบที่ 2 คำนวณ $\text{FS}_{\text{MIN}2}$ โดยเริ่มจาก NewR_{MAX} จนถึง $R_N : R_N \geq \text{NewR}_{\text{MIN}}$

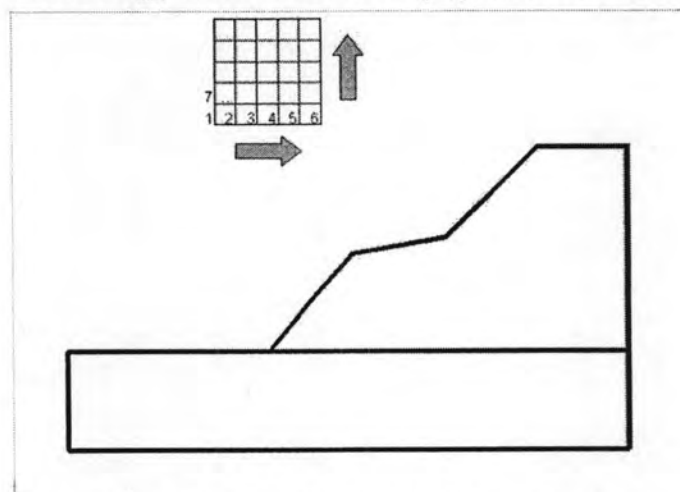
5. เมื่อทำการคำนวณรอบที่ 2 เสร็จแล้วจะได้ค่า $\text{FS}_{\text{MIN}2}$

6. ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $\text{FS}_{\text{MIN}1}$ และ $\text{FS}_{\text{MIN}2}$ คือค่า FS_{MIN} ของจุดศูนย์กลางนั้น

$$\text{FS}_{\text{MIN}} = \text{MIN}(\text{FS}_{\text{MIN}1}, \text{FS}_{\text{MIN}2})$$

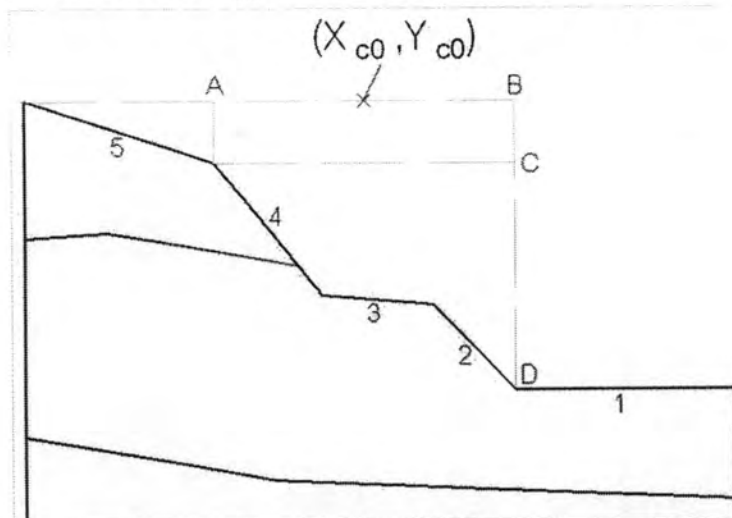
ค. การคำนวณ FS_{MIN} ด้วยวิธีการค้นหาด้วยตารางสี่เหลี่ยม (GridSearch)

แต่ละจุดตัดของ Grid จะเป็นจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งวงกลม และทำการคำนวณ $\text{FS}_{\text{MIN}i}$ ตามขั้นตอน 1 – 2 ตำแหน่งของ Grid ที่คำนวณจะเรียงจากซ้ายไปขวา จากแถวล่างสุดก่อน ตามรูปที่ 5 และเก็บค่า $\text{FS}_{\text{MIN}i}$ ของทุกจุดศูนย์กลางไว้ เมื่อทำการคำนวณครบทุกจุดศูนย์กลาง จะทำการเลือก FS_{MIN} พร้อมทั้งค่าพิกัดของจุดศูนย์กลาง และ รัศมี (X_C, Y_C, R)



รูปที่ ๕.5 ลำดับการคำนวณการค้นหาแบบ Grid

ง. การคำนวณ FS_{MIN} ด้วยวิธีการค้นหาแบบอัตโนมัติ (Automatic Search)



รูปที่ ๘.6 การคำนวณค่าเริ่มต้นก่อนการคำนวณแบบ Automatic Search
ค่าเริ่มต้นที่ต้องการทราบได้แก่

1 จุดศูนย์กลางตั้งต้นของลาดดิน (X_{c0}, Y_{c0})

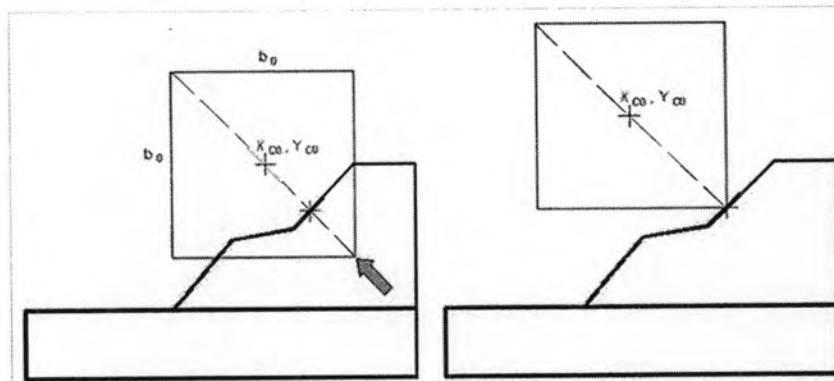
2 ความกว้างของ Grid ทรงจตุรัสตั้งต้น (b)

จากตัวอย่างลาดดินรูปที่ 6 โปรแกรมจะคำนวณ TopLine ที่มีความลาดเอียง $> 10^\circ$ เส้นแรก และ เส้นที่มีความสูงมากที่สุด ในกรณีนี้คือเส้นที่ 2 และ 5

จะได้ค่าความยาวทางราบ คือ AB และความสูงทางตั้งคือ CD เลือกค่าที่มากกว่า
จะเป็นค่า b

X_{c0} คือ จุดกึ่งกลางของ A และ B

Y_{c0} คือ ค่าระดับที่สูงที่สุดของลาดดินที่พิจารณา



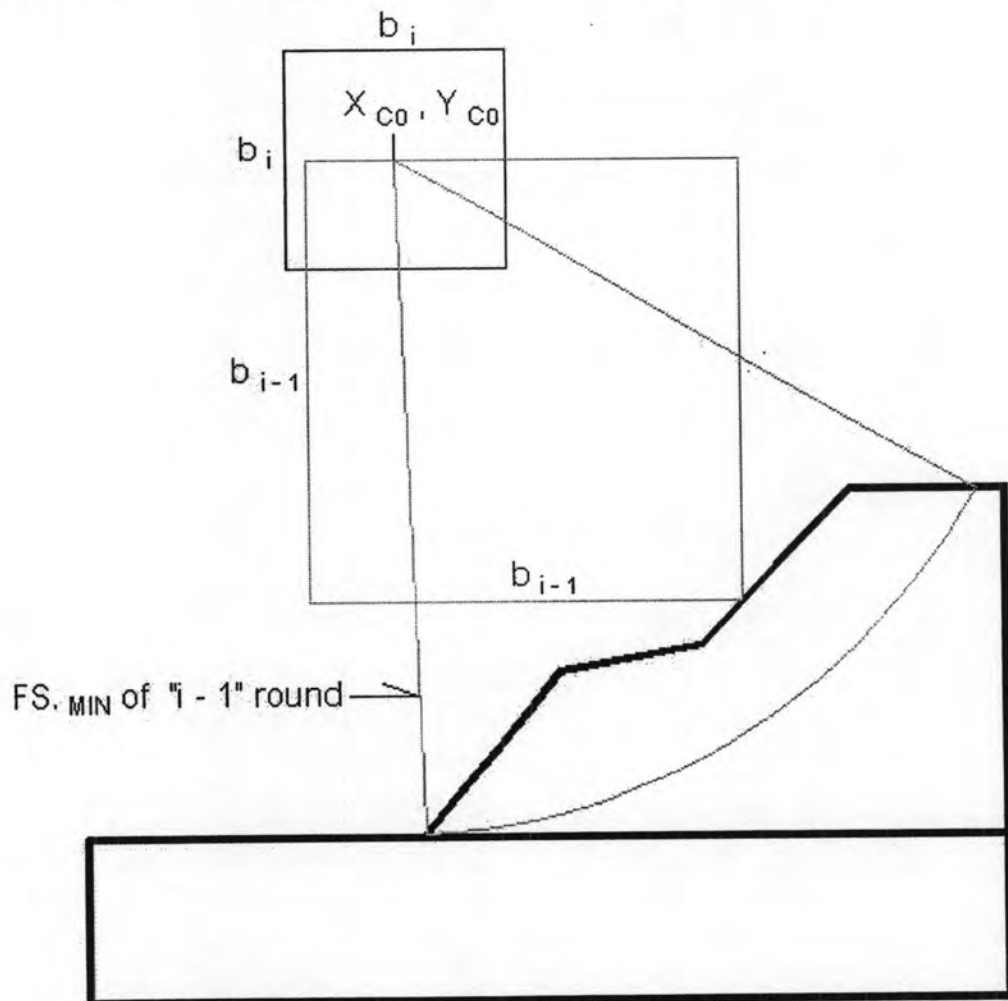
รูปที่ ๘.๗ การสร้าง Grid ที่ 1 สำหรับ Automatic Search

จากนั้น Program จะสร้าง Grid จตุรัส ที่ 1 ที่มีความกว้างของด้าน = b_0 และมีจุด
ศูนย์กลางที่ X_{c0}, Y_{c0}

ถ้า ตาราง Grid ที่ 1 มีบางส่วนอยู่ใต้ TopLine โปรแกรมจะทำการปรับค่าพิกัดให้มุมของ Grid ส่วนที่อยู่ใต้ TopLine เคลื่อนที่มาอยู่ที่จุดตัดของเส้นทแยงมุมของ Grid และ TopLine ดังแสดงในรูปที่ ผ.7

หลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่า FS_{MIN} ด้วยวิธี GridSearch (ข้อ ค.)

เมื่อเสร็จสิ้น การคำนวณ GridSearch แต่ละครั้ง จะได้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ Grid X_c, Y_c ที่มีค่า FS_{MIN} จะทำการปรับขนาด Grid ให้ $b_i = 0.5 \times b_{i-1}$ และ จุดศูนย์กลางของ Grid (X_{c0}, Y_{c0}) จะย้ายมาอยู่ที่ X_c, Y_c ที่มีค่า FS_{MIN} แทน ดังแสดงในรูปที่ ผ.8



รูปที่ ผ.8 การสร้าง Grid ครั้งที่ n ของ Automatic Search

และจะดำเนินการซ้ำจนกระทั่ง FS_{MIN} มีค่าลดลงน้อยกว่า 0.001 หรือ ได้ทำการลดขนาด Grid ลงแล้ว 4 ครั้ง หรือ b_i มีขนาดน้อยกว่า 0.25 m.(0.82 ft.) จะทำการคำนวณ GridSearch ครั้งสุดท้าย โดยการขยาย b_i ให้มีค่า $b_0 / 2$ โดยมีจุดศูนย์กลางของ Grid อยู่ที่ X_c, Y_c ที่มีค่า FS_{MIN} และทำการคำนวณเป็นรอบสุดท้าย และเลือกค่า FS_{MIN} ที่ได้จากรอบการคำนวณ

จ. การคำนวณ อัตราส่วนความปลอดภัยกรณีเกิด Tension Crack (FS_{TCRACK})

หลังจากคำนวณได้ค่า FS_{MIN} จากแบบการค้นหาแบบต่างๆ และจากวิธีต่างๆ พื้นผิววิบัติที่ได้ (หลาย พื้นผิววิบัติ) จะถูกนำมาคำนวณหาค่า FS_{TCRACK} อีกครั้ง โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เลือก ขอบเขตของดิน (Boundary) และชนิดของดิน ณ.ตำแหน่งที่พื้นผิววิบัติตัดผ่านในส่วนที่สูงกว่า ซึ่งดินจะต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้

$$1.1 C_0 > 0.1 \text{ T/m}^2 \text{ (20.48 lb / ft}^2\text{)}$$

$$1.2 C_0 < 10 \text{ T/m}^2 \text{ (2048 lb / ft}^2\text{)}$$

: C_0 = ค่า Soil Cohesion ที่ตำแหน่งสูงสุด ของ boundary ณ.พิกัด x ที่คำนวณความลึก Tension Crack (Z_c)

$$1.3 p > 0$$

เส้นขอบของ boundary ที่พื้นผิววิบัติตัด จะเรียกว่า Upper Intersect Line (UI_L) จะต้องมีความลาดไม่เกิน 15°

2. สร้างเส้นขนานกับ UI_L โดยจุดเริ่มต้นของเส้นและจุดสิ้นสุดคำนวณ Z_c ซึ่งต่ำลงมาจาก UI_L ด้วยสมการที่ ผ.1

$$z_c = \left(\frac{2 \cdot C_0}{\sqrt{K_a}} - q \right) \div \left(\gamma' - \frac{2 \cdot p}{\sqrt{K_a}} \right) \quad (\text{ผ.1})$$

$$: \sqrt{K_a} = \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

: q = Vertical Pressure

: γ' = soil effective unit weight

เส้นขนานที่เป็นไปได้ (Par_Line) มีดังต่อไปนี้

2.1 เส้นที่เกิดจากคุณสมบัติดินเพียงอย่างเดียว , $q = 0$

2.2 เส้นที่เกิดจากคุณสมบัติดินและรวมน้ำหนักเนื่องจาก น้ำหรือ Surchage (ถ้ามี) , $q \neq 0$

3. นอกจากนี้ยังมีเส้นอื่นๆได้แก่

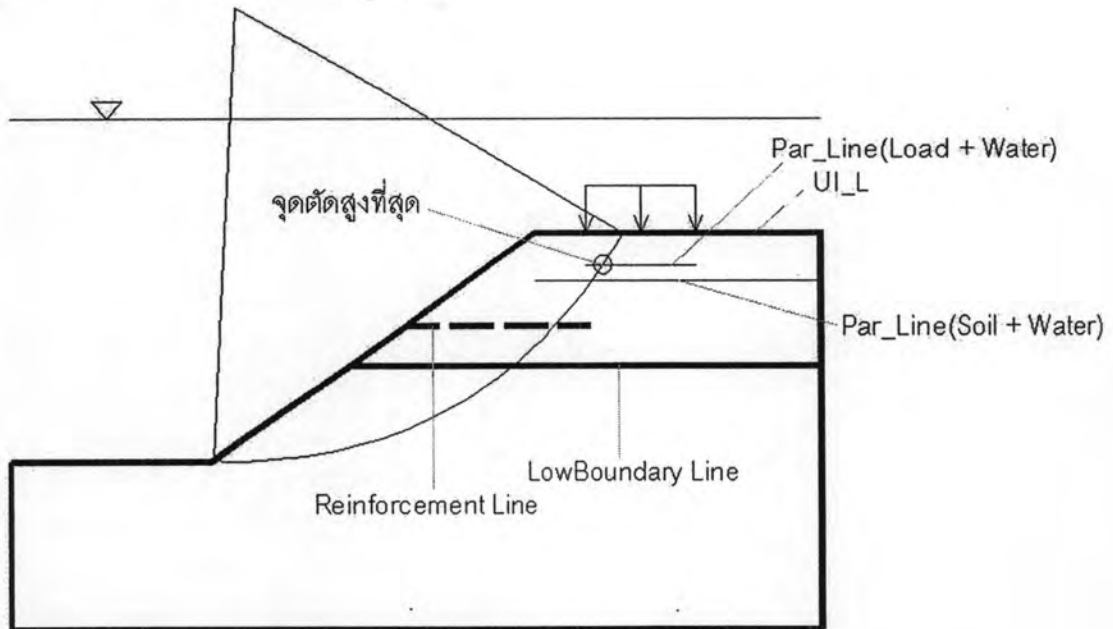
3.1 เส้นขอบ boundary เส้นที่ต่ำที่สุด

3.2 เส้น Reinforcement (ถ้ามี)

4. คำนวณจุดตัดระหว่าง พื้นผิววิบัติและเส้นทุกเส้นในข้อ 2. และ 3. ตำแหน่งการตัดที่อยู่สูงที่สุดคือตำแหน่งการเกิด Tension Crack (แต่มีข้อยกเว้นในกรณีที่ ตำแหน่งการตัด

เนื่องจากคุณสมบัติดินเพียงอย่างเดียว อยู่นอกขอบของ Surcharge ตำแหน่งการตัดที่เกิดจาก Surcharge นั้นจะถูกยกเลิกไป)

5. คำนวณค่า FS_{TCRACK}



รูปที่ ๘.๙ การคำนวณจุดตัดที่สูงที่สุดสำหรับคำนวณ FS_{TCRACK}

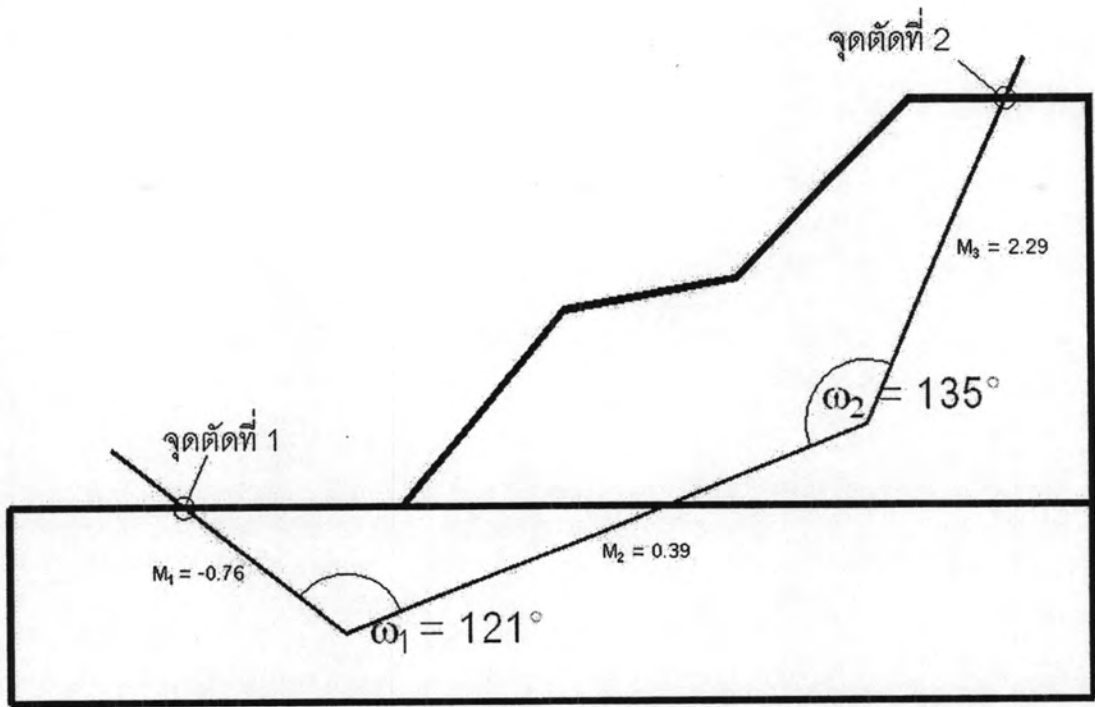
๘.๒ พื้นผิววิบัติแบบทั่วไป (General Failure Surface)

ก. วิธีการค้นหาแบบอัตโนมัติ (Automatic Search)

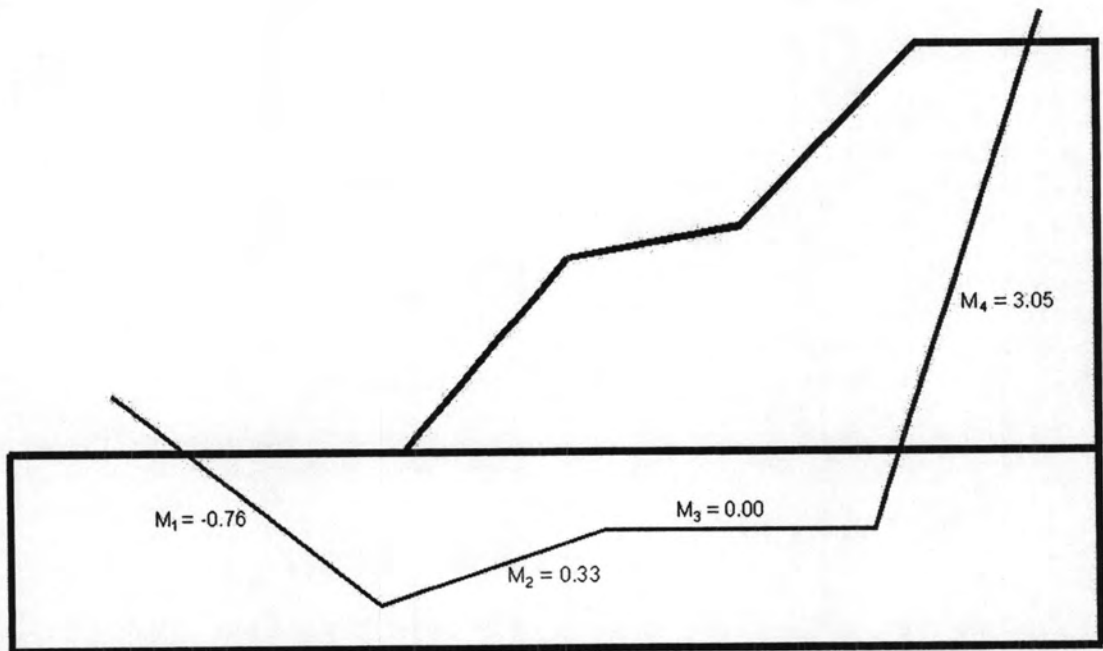
ข้อมูลที่ต้องการเริ่มต้นก่อนการคำนวณคือ ข้อมูลของจุด (SegmentPoint : smpt) และเส้น (Segment) ที่ประกอบเป็น Planar Failure Plane โดยจะต้องมีอย่างน้อย 1 Segment และไม่เกิน 4 Segment หรือ 2 – 5 smpt

ขั้นตอนในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

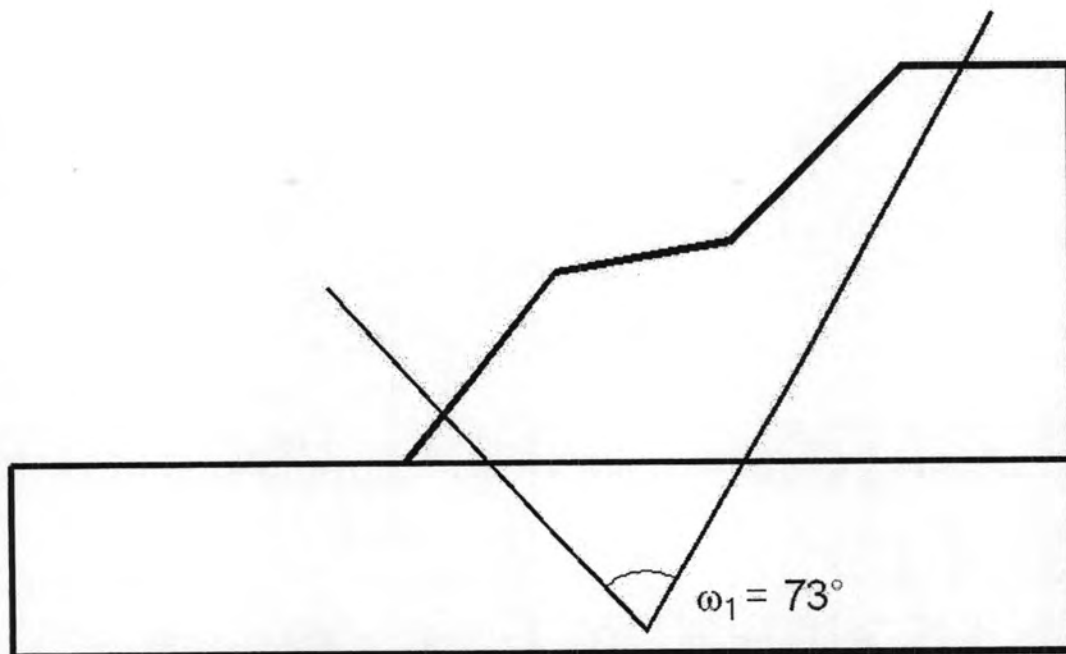
1. การตรวจสอบมุมระหว่าง Segment และรูปร่างของ Failure Plane ก่อนจะทำ การคำนวณ FS. ในครั้งแรกและในแต่ละครั้งที่ Plane มีการเปลี่ยนรูปร่าง โปรแกรมจะตรวจสอบ มุมระหว่าง Segment (ω) ไม่ให้มามีค่าน้อยกว่า 100° และตรวจสอบความต่อเนื่องของ slope (M_i) ของ Segment ที่ต่อเนื่องกัน โดยที่ $M_{i+1} > M_i$ และ Segment ที่ 1 และ Segment สุดท้ายจะต้อง ตัดกับเส้น TopLine 2 จุด ดังแสดงในรูปที่ ๘.๑๐ – ๘.๑๒



รูปที่ ผ.10 Planar Plane ที่สามารถคำนวณค่า FS. ได้



รูปที่ ผ.11 Planar Plane ที่ไม่สามารถคำนวณค่า FS. ได้ เนื่องจาก $M_{i+1} < M_i$



รูปที่ ผ.12 Planar Plane ที่ไม่สามารถคำนวณค่า FS. ได้ เนื่องจาก $\omega_1 < 100^\circ$

2. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Failure Plane โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของจุด (smpt) โดยมีระยะควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่ง 5 ค่า ดังแสดงในรูปที่ ผ.13 ต่อ 1 จุดได้แก่

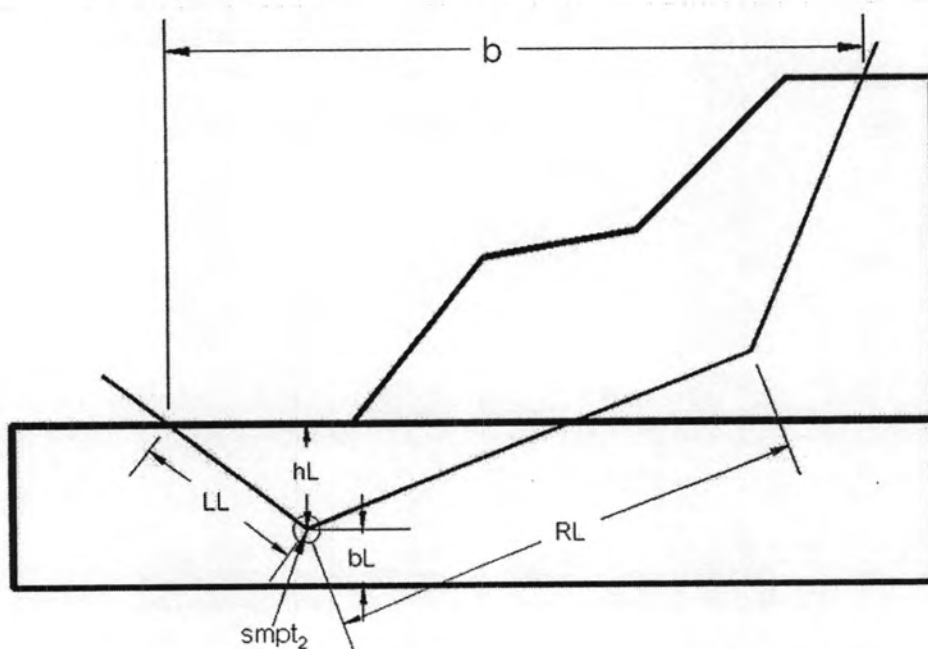
$$2.1 \text{ tol1} = 0.025 \times b$$

$$2.2 \text{ tol2} = 0.5 \times hL$$

$$2.3 \text{ tol3} = 0.5 \times bL$$

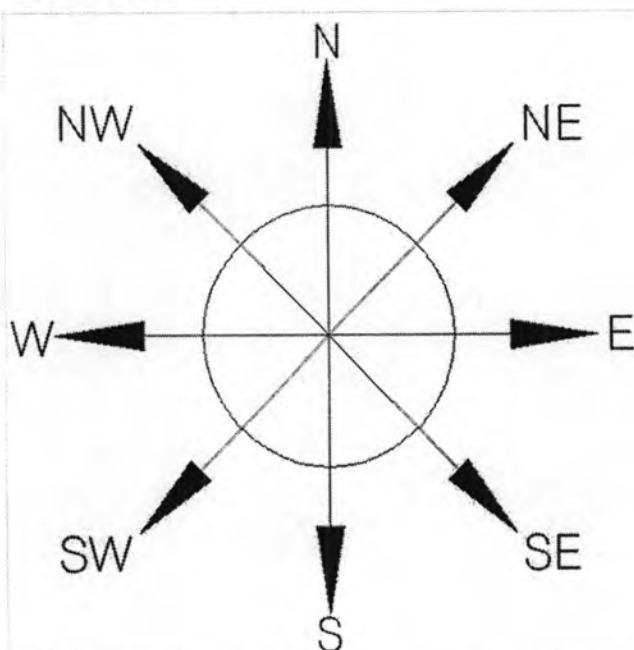
$$2.4 \text{ tol4} = 0.15 \times LL$$

$$2.5 \text{ tol5} = 0.15 \times RL$$



รูปที่ ผ.13 จุด SegmentPoint ที่ 2 และระยะควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่ง

การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดแต่ละจุด มีได้ 8 ทิศทาง ยกเว้น 2 จุดหัวท้ายซึ่งอยู่เหนือเส้น TopLine มีได้ 4 ทิศทาง (N - E - S - W) แสดงในรูปที่ ผ.14 และระยะทางในการเปลี่ยนตำแหน่งแสดงในตารางที่ ผ.1



รูปที่ ผ.14 ทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่งของ SegmentPoint

ทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่ง	ระยะทางน้อยที่สุดของ
N ,NE ,NW	tol1 ,tol2 ,tol4 ,tol5
S ,SE ,SW	tol1 ,tol3 ,tol4 ,tol5
E ,W	tol1 ,tol4 ,tol5

ตารางที่ ผ.1 ระยะการเปลี่ยนตำแหน่งของ SegmentPoint

3. วงรอบของการเปลี่ยนตำแหน่ง (MainLoop) คือการเปลี่ยนตำแหน่งของ smpt ทุกจุดในแต่ละทิศทาง และคำนวณค่า FS. ในแต่ละครั้ง

โดยมีข้อกำหนดดังนี้

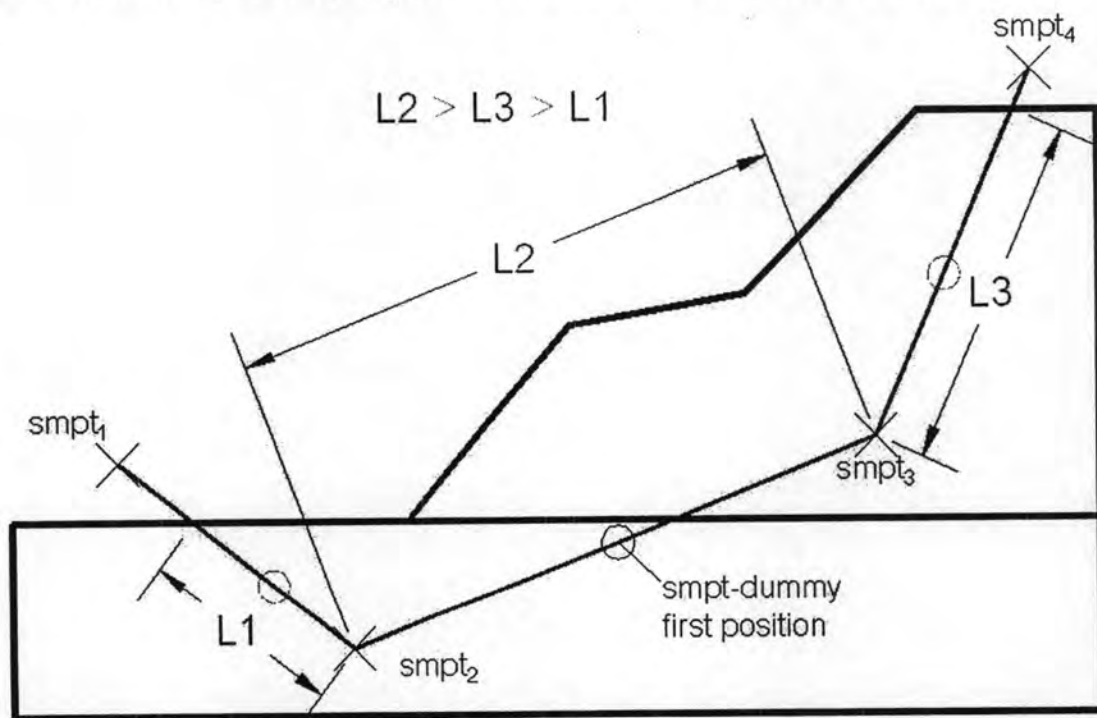
3.1 การเปลี่ยนตำแหน่งรอบแรก ($i = 1$) หรือ MainLoop ครั้งก่อนหน้า 1 ครั้ง (รอบที่ $i - 1$) FS. ลดลง ($FS_{\min} - FS_{i-1} > 0.001$) การเปลี่ยนตำแหน่งจะเริ่มจาก smpt ซ้ายสุด ถึงขวาสุดเรียงไปตามลำดับที่ละจุด

3.2 ถ้า MainLoop ครั้งก่อนหน้า 1 ครั้ง (รอบที่ $i - 1$) FS. ไม่ลดลง ($FS_{\min} - FS_{i-1} < 0.001$) จะมีการเพิ่มจุด smpt-dummy การเปลี่ยนตำแหน่งจะเริ่มจาก smpt-

dummy แล้วจึงจะกลับไปเริ่มเปลี่ยนตำแหน่งจาก smpt ซ้ายสุด ถึงขวาสุด โดยข้าม smpt-dummy(เนื่องจากได้ทำการเปลี่ยนตำแหน่ง 8 ครั้ง และคำนวณ FS. เสร็จไปก่อนแล้ว)

4. การเพิ่มจุด (smpt-dummy) ก่อนหน้าการคำนวณ MainLoop รอบที่ i จะกระทำก็ต่อเมื่อ MainLoop ครั้งก่อนหน้า 1 ครั้ง (รอบที่ $i - 1$) FS. ไม่ลดลง ($FS_{\text{MIN}} - FS_{i-1} < 0.001$) โดยจะทำการ แทรกจุด smpt-dummy เข้าไปที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Segment ที่ยาวที่สุด ดังแสดงในรูปที่ ผ.15 และดำเนินการตามข้อ 3. ถ้า FS. ไม่ลดลงก็จะย้าย smpt-dummy ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Segment ที่มีความยาวเป็นลำดับรองลงไป ถ้าทำการย้าย smpt-dummy ไปจนครบทุก Segment แล้ว FS. ไม่ลดลง ก็จะได้ค่า FS_{MIN} และสิ้นสุดการคำนวณ

แต่ถ้าระหว่าง การย้ายตำแหน่ง smpt-dummy เกิดการลดลงของ FS_{MIN} มากกว่า 0.001 smpt-dummy จะถูกเปลี่ยนเป็น smpt และดำเนินการตามข้อ 3. ใหม่



รูปที่ ผ.15 การแทรกจุด smpt-dummy ก่อนการคำนวณ MainLoop รอบที่ i กรณี $FS_{\text{MIN}} - FS_{i-1} < 0.001$

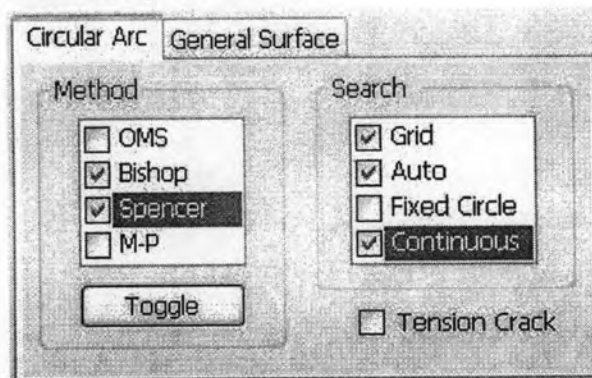
ข. วิธีการค้นหาแบบต่อเนื่อง (Continuous Calculation)

เป็นการคำนวณค่า FS. ของ General Surface ต่อจากการคำนวณด้วย Circular Arc ซึ่งได้ค่า FS_{MIN} จากวิธีการค้นหา 1 วิธี และ method of slice 1 วิธี ตามลำดับความสำคัญ ดังนี้

Grid → Automatic → Specified(Fixed) Circle และ

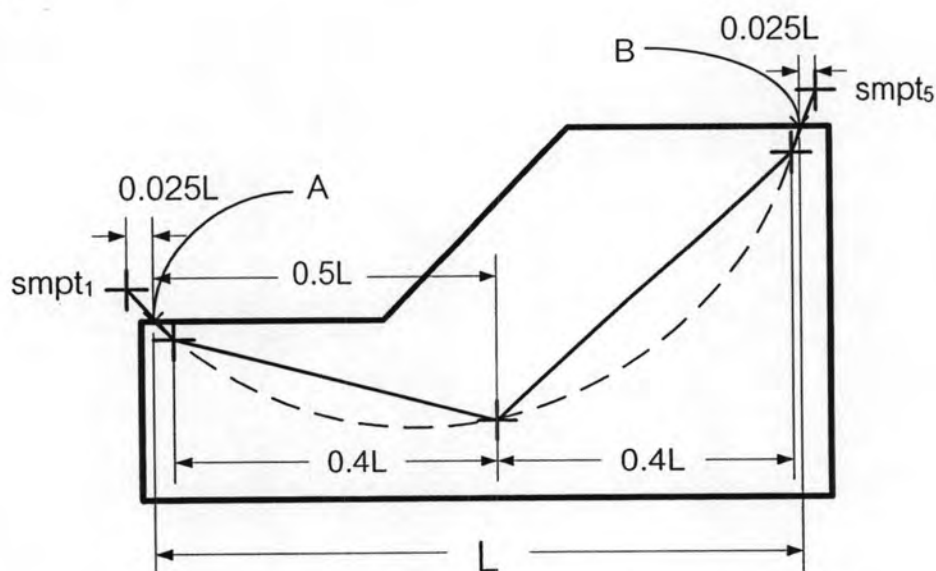
Morgenstern-Price → Spencer → Bishop → OMS.

ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้เลือกการค้นหาแบบ Grid และ Automatic และเลือกวิธี Bishop และ Spencer ดังแสดงในรูปที่ ผ.16



รูปที่ ผ.16 Continuous Calculation Selection

โปรแกรมจะเลือกใช้พื้นผิววิบัติวิกฤต (FS_{MIN} – Circular Arc Surface) ที่คำนวณได้จากการค้นหาแบบ Grid ด้วยวิธี Spencer มาทำการสร้างจุดเริ่มต้น (smpt) จำนวน 5 จุด ดังแสดงในรูปที่ ผ.17



รูปที่ ผ.17 จุดเริ่มต้นของการคำนวณแบบ Continuous Calculation โดยที่

A, B จุดตัดของ Circular Arc และเส้น Topline และใช้เป็นจุดนำของเส้นปลายทั้ง 2 ด้านเพื่อคำนวณพิกัดของจุด smpt₁ และ smpt₅

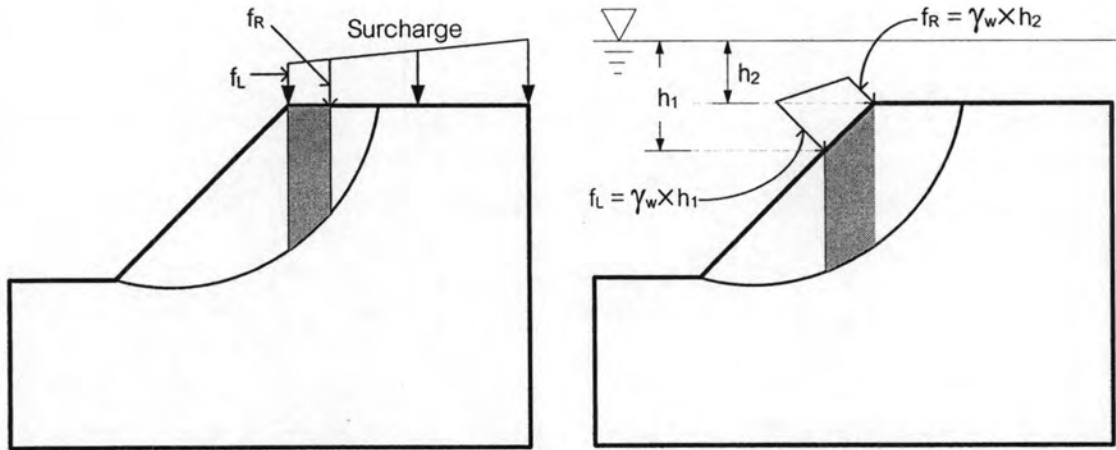
L = ระยะทางทางราบจาก A ถึง B

และทำการคำนวณค่า FS. ด้วยพื้นผิววิบัติแบบ General surface ตามปรกติด้วย

Automatic Search (ผ.2 ก)

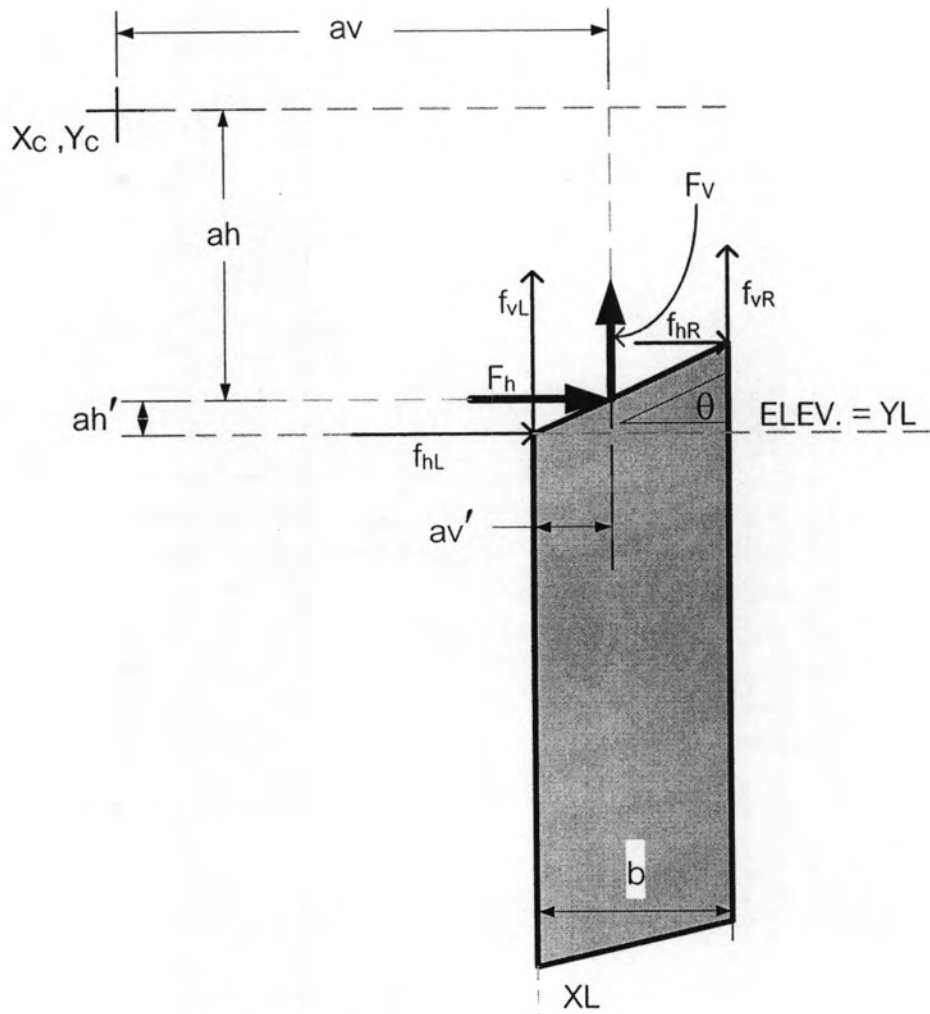
ผ.3 การคำนวณแรงลัพธ์ภายนอกที่กระทำต่อผิวบนของ slice

แรงภายนอก (External Force) ที่กระทำต่อผิวบนของ slice มี 2 ประเภทได้แก่ แรงจาก น้ำหนักบรรทุก (Surcharge) และน้ำหนักของน้ำที่ท่วมลาดดิน ดังแสดงในรูปที่ ผ.18



รูปที่ ผ.18 แรงภายนอกที่กระทำต่อผิวบนของ slice

การคำนวณแรงลัพธ์สามารถกระทำได้โดยการ แยกหน่วยแรงด้านซ้ายและขวาของ slice (f_L, f_R) ให้เป็นหน่วยแรงในแกนราบ (f_{hL}, f_{hR}) และหน่วยแรงในแกนตั้ง (f_{vL}, f_{vR}) และทำการคำนวณหาแรงลัพธ์ในแกนราบ (F_h) และแกนตั้ง (F_v) และคำนวณระยะแขนของโมเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ ผ.19 และสมการที่ ผ.2) – ผ.7)



รูปที่ ผ.19 แรงลัพธ์ที่กระทำต่อผิวบนของ slice

$$F_h = \frac{f_{hL} + f_{hR}}{2} \times \frac{b}{\cos\theta} \quad (\text{ผ.2})$$

$$F_v = \frac{f_{vL} + f_{vR}}{2} \times \frac{b}{\cos\theta} \quad (\text{ผ.3})$$

$$ah' = b \cdot \tan\theta \times \left(\frac{f_{hL} + 2 \cdot f_{hR}}{3 \cdot (f_{hL} + f_{hR})} \right) \quad (\text{ผ.4})$$

$$av' = b \times \left(\frac{f_{vL} + 2 \cdot f_{vR}}{3 \cdot (f_{vL} + f_{vR})} \right) \quad (\text{ผ.5})$$

$$ah = Y_c - (YL + ah') \quad (\text{ผ.6})$$

$$av = XL + av' - X_c \quad (\text{ผ.7})$$

ผ.4 การคำนวณเกี่ยวกับวัสดุเสริมกำลัง

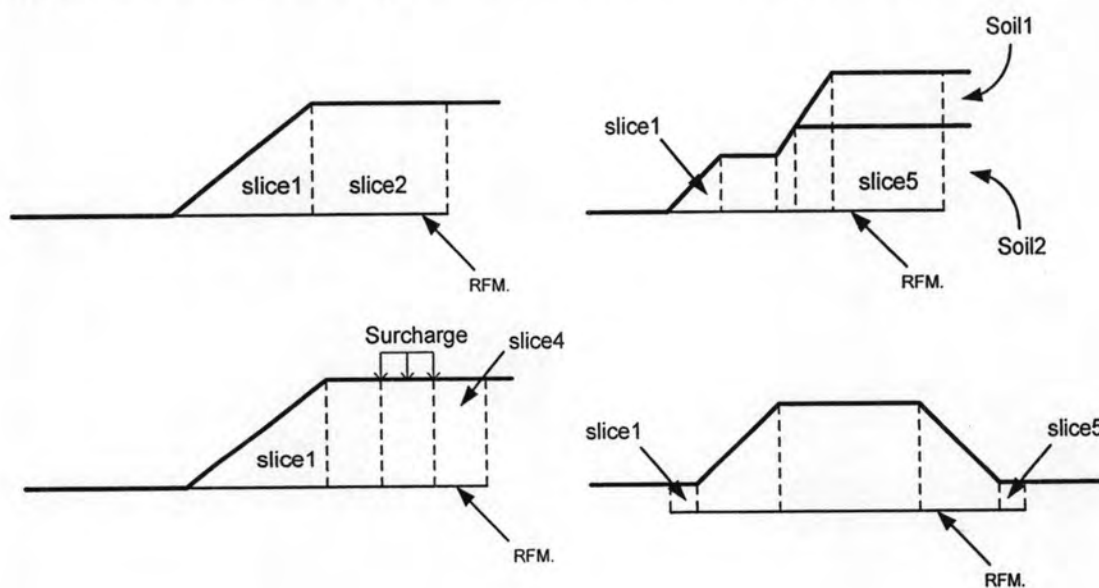
ก. การคำนวณ แรงดึงปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของวัสดุเสริมกำลัง (T_a)

T_a คือแรงดึงที่จะนำเข้าไปแทนในสมการสมการสมดุลโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลาง (F_M – สมการที่ 2.5) และ สมการสมดุลแรงในแนวราบ (F_F – สมการที่ 2.6ก หรือ 2.6ข) จะเกิดจากการคำนวณ กำลังรับแรงดึงปลอดภัยเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างมวลดินและวัสดุเสริมกำลัง (T_{POa} : Allowable Pullout Force) เปรียบเทียบกับ T_a จากกำลังวัสดุ และ stiffness ซึ่งเป็นค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมป้อนเข้ามา โดยจะเลือกใช้ค่าที่น้อยกว่า

สำหรับการคำนวณ T_{POa} มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

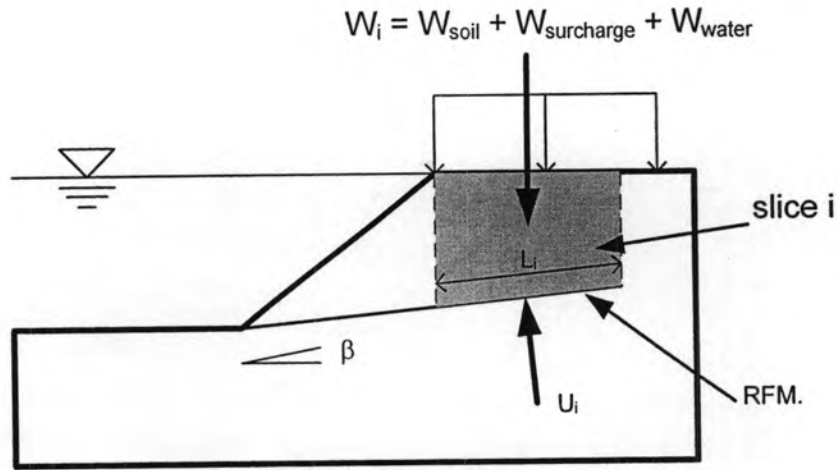
1. การคำนวณ T_{POa} (กำลังรับแรงดึงปลอดภัยเนื่องจากแรงเสียดทาน ของวัสดุเสริมกำลังแต่ละเส้น)

ทำการแบ่งชั้นดิน (slice) บนเส้น RFM. โดยยึดตามลักษณะรูปร่างของลาดดิน , ชั้นดิน และแรงภายนอกที่กระทำ (Surcharge และ น้ำหนักของน้ำ) ดังแสดงในรูปที่ ผ.20



รูปที่ ผ.20 การแบ่ง slice บน RFM. 1 เส้น

ทำการคำนวณหาแรงประสิทธิผล (N') ที่กระทำแต่ละ slice โดยประมาณ (ไม่คำนึงถึงแรงระหว่าง slice : Interslice force)



รูปที่ ผ.21 แสดงแรงที่กระทำต่อ slice i

จากรูปที่ ผ.21 สามารถคำนวณค่า N' ได้ดังสมการที่ ผ.8

$$N' = W \cdot \cos\beta - U \tag{ผ.8}$$

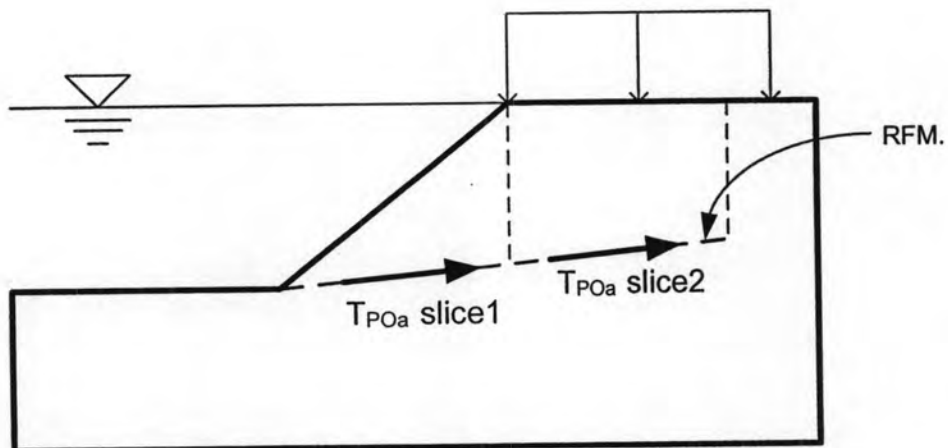
และคำนวณ T_{POAi} กำลังรับแรงดึงปลอดภัยเนื่องจากแรงเสียดทาน ในแต่ละ slice

ได้ดังสมการ ผ.9

$$T_{POAi} = \{N' \cdot (\tan\phi'_{UP} + \tan\phi'_{BL}) + L \cdot (c'_{UP} + c'_{BL})\} \times (\alpha_p / FS_{RFM}) \tag{ผ.9}$$

โดยที่ UP = ดินส่วนที่อยู่ด้านบนของ RFM.

BL = ดินส่วนที่อยู่ด้านล่างของ RFM.

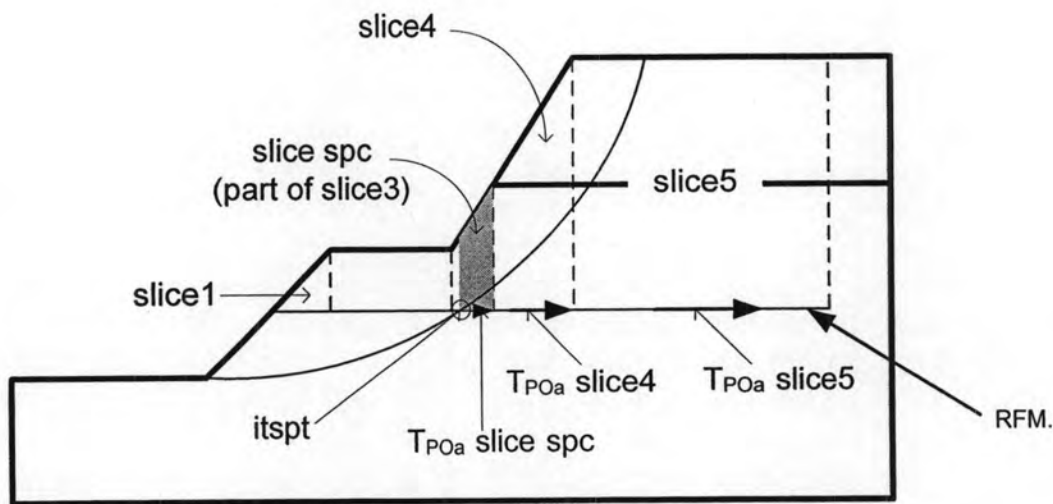


รูปที่ ผ.22 แสดง T_{POa} ของแต่ละ slice

2. การคำนวณ T_{POa} ในแต่ละ Failure Surface เป็นการคำนวณ T_{POa} ที่เกิดขึ้นจริงที่ Failure Surface รูปทรงต่างๆที่กำหนดขึ้น โดยมีหลักการ รวมแรง T_{POa} ของ slice ที่อยู่เลยจุดตัด (intersect point : itspt) ออกไปเต็ม slice (เป็นค่าที่มีอยู่แล้ว ซึ่งได้จากการคำนวณใน

ขั้นตอนที่ 1) กับ $T_{POa\ spc}$ (T_{POa} ของ slice spc : slice พิเศษ 1 slice หรือ slice ย่อย จะต้องทำการคำนวณ) ดังแสดงในรูปที่ ผ.23 และจะได้ค่า T_{POa} ดังนี้

$$T_{POa} = T_{POa\ spc} + T_{POa\ slice4} + T_{POa\ slice5}$$



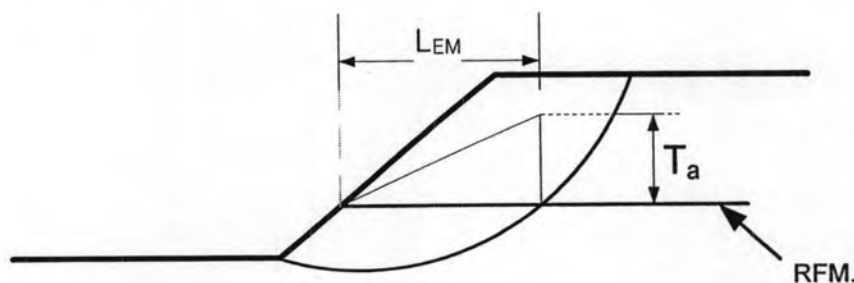
รูปที่ ผ.23 แสดงส่วนประกอบของ T_{POa}

3. การคำนวณแรงจากวัสดุเสริมกำลังที่กระทำในแต่ละ slice ของมวลดินวิบัติ สำหรับการกระจายหน่วยแรงแบบสามเหลี่ยม (Linear)

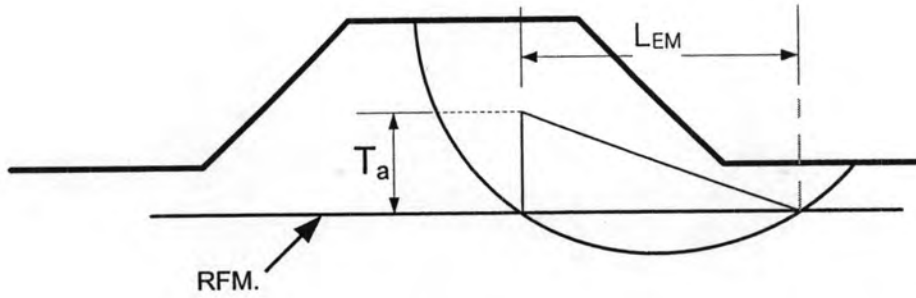
เมื่อได้ค่า T_a จากการเลือก ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $T_a\ strength$, $T_a\ stiffness$, T_{POa} ตำแหน่งที่ $T_a = 0$ มีการพิจารณา 2 ลักษณะซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งการตัดของ Failure Surface กับ RFM. ดังนี้

3.1 Failure Surface ตัดกับ RFM. 1 จุด ค่า $T_a = 0$ จะอยู่ที่ส่วนปลายของ RFM.

3.2 Failure Surface ตัดกับ RFM. 2 จุด ค่า $T_a = 0$ จะอยู่ที่ตำแหน่งการตัดของ Failure Surface กับ RFM. อีกด้านหนึ่ง



รูปที่ ผ.24 แสดงการกระจาย T_a กรณี Failure Surface ตัดกับ RFM. 1 จุด



รูปที่ ๘.25 แสดงการกระจาย T_a กรณี Failure Surface ตัดกับ RFM. 2 จุด

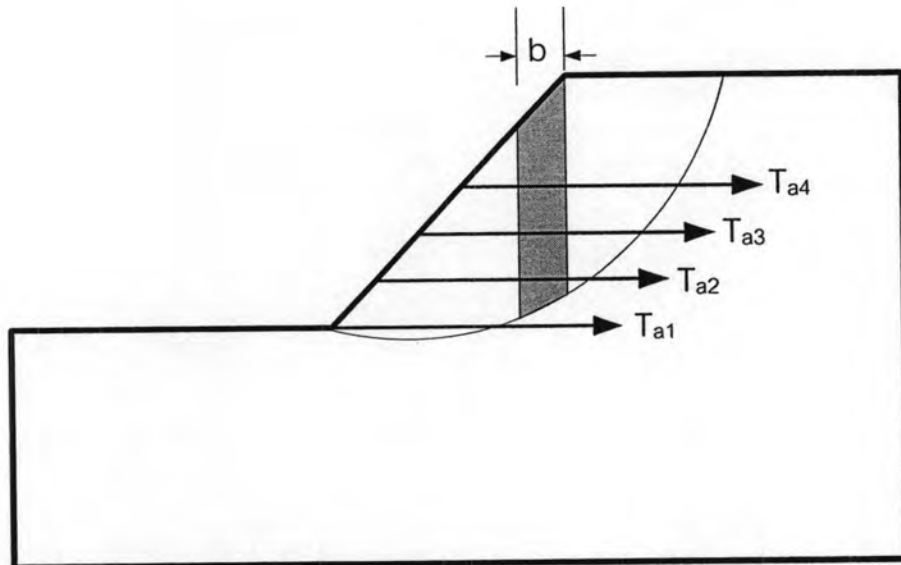
ข. การคำนวณ Reinforcement Force ที่กระทำใน slice

เราสามารถคำนวณแรง ΔT_i ที่กระทำในแต่ละ slice ของมวลดิน ด้วยสมการ

๘.10)

$$\Delta T_i = (b/L_{EM}) \times T_{ai} \tag{๘.10}$$

โดยที่ L_{EM} = ความยาวของ RFM. ส่วนที่อยู่ในมวลดินวิบัติ (Embedment Length)



รูปที่ ๘.26 แสดง T_{ai} ใน RFM. แต่ละเส้น

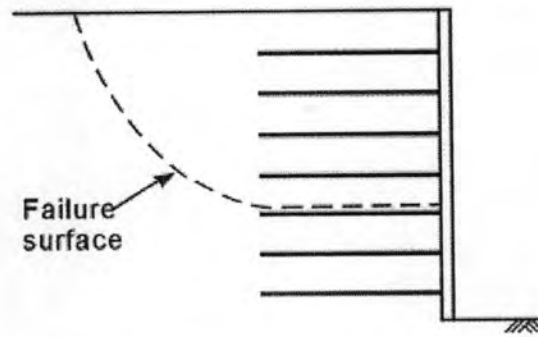
จากนั้นรวมแรง ΔT ในแนวแกนราบ และแกนนตั้ง

$$\Delta T_n = \Delta T_1 \cos \beta_1 + \Delta T_2 \cos \beta_2 + \dots + \Delta T_n \cos \beta_n$$

$$\Delta T_v = \Delta T_1 \sin \beta_1 + \Delta T_2 \sin \beta_2 + \dots + \Delta T_n \sin \beta_n$$

โดยที่ β_i = มุมเอียงของวัสดุเสริมกำลัง ในกรณีกำหนดให้กำหนดให้ T_a มีทิศทางเดียวกับการวางตัวของวัสดุเสริม และ $\beta_i = \alpha$ ในกรณีกำหนดให้ T_a มีทิศทางขนานกับพื้นผิววิบัติ และ วัสดุเสริมกำลังเส้นที่ i ตัดผ่านฐาน slice ของมวลดินวิบัติ

ข. การคำนวณลักษณะการวิบัติแบบไถลบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง (Direct Sliding)



รูปที่ ๘.๒๗ แสดง ลักษณะการวิบัติแบบไถลบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง

การคำนวณ FS_{MIN} ของลักษณะการวิบัติแบบ Direct Sliding มีขั้นตอนและการปรับค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่ฐาน slice ดังต่อไปนี้

1. คำนวณพื้นผิววิบัติเริ่มต้นสำหรับวัสดุเสริมกำลังทุกชั้นดังแสดงในรูปที่ ๘.๒๘ โดยค่ามุมและระยะทางต่างๆ เป็นดังนี้

$$Z = \text{Top ELEV. of Geometry} + 5\% \text{ of Geometry width}$$

$$L = \text{ระยะทางตามแนวราบของวัสดุเสริมกำลัง}$$

$$\text{remain } L = \text{ระยะทางตามแนวราบของวัสดุเสริมกำลังส่วนที่เหลือ}$$

$$\text{off}_1 = \text{ระยะ offset ครั้งที่ 1 มีค่า } 0.05 \cdot L$$

สำหรับลาดดินที่วิบัติจากขวาไปซ้าย

$$\beta_L = 45^\circ - \{(\phi'_{MAX} + 1) / 2\}$$

$$\beta_R = 40^\circ$$

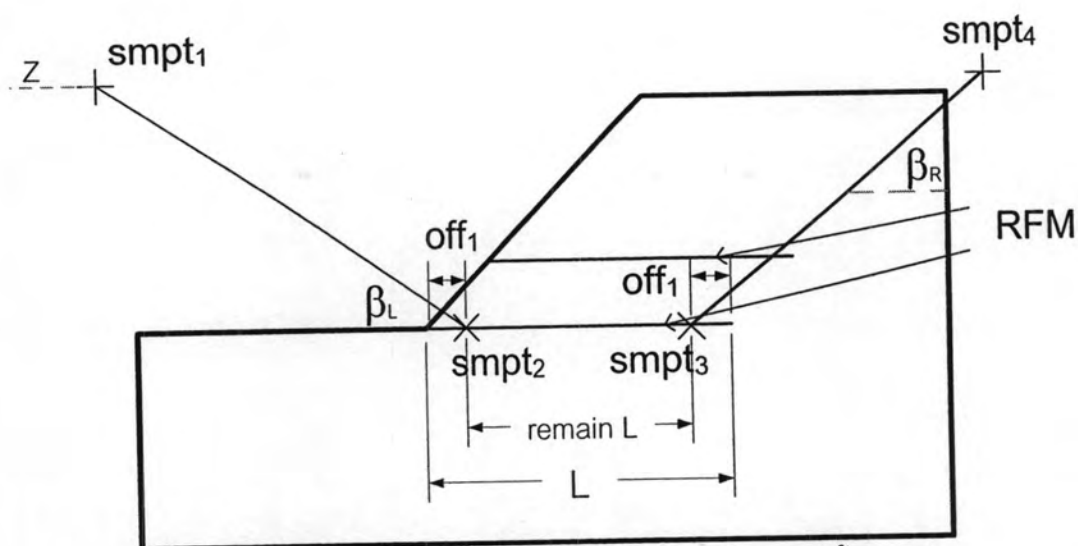
สำหรับลาดดินที่วิบัติจากซ้ายไปขวา

$$\beta_L = 40^\circ$$

$$\beta_R = 45^\circ - \{(\phi'_{MAX} + 1) / 2\}$$

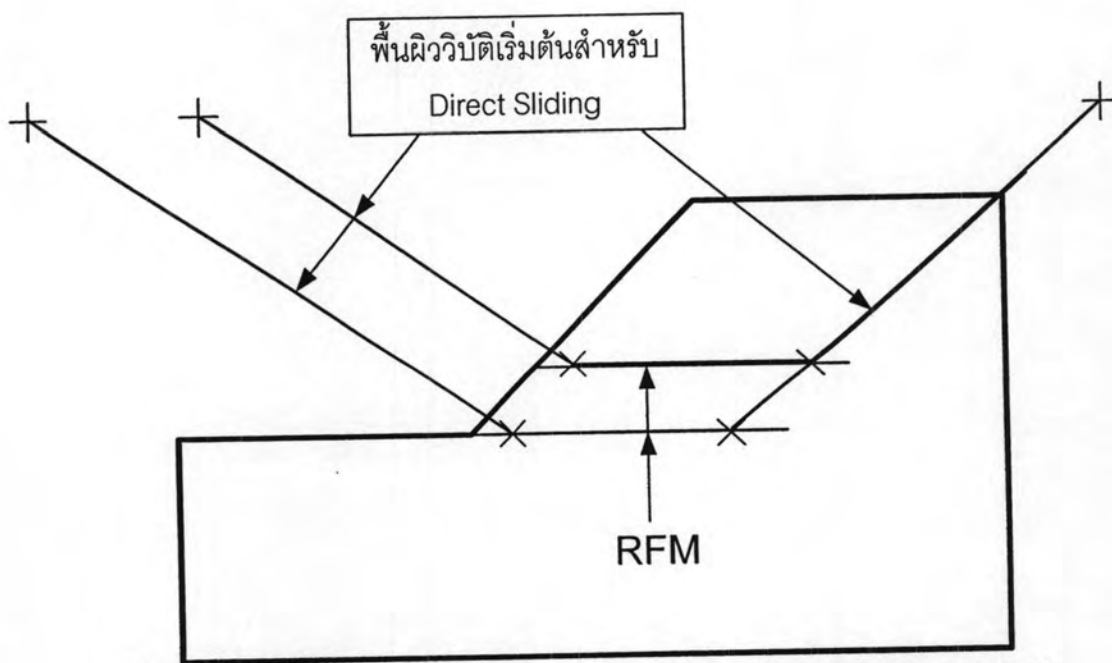
$$\phi'_{MAX} = \text{ค่ามุมเสียดทานประสิทธิผลของดินที่มีค่าสูงสุด}$$

2. เมื่อได้พื้นผิววิบัติเริ่มต้นแล้ว หากเส้น $\text{smpt}_1\text{-smpt}_2$ หรือเส้น $\text{smpt}_3\text{-smpt}_4$ หรือทั้งสองเส้นไม่ตัดกับเส้น Topline จะทำการขยับเส้นด้านที่ไม่ตัดเข้าหาจุดกึ่งกลางของวัสดุเสริมกำลังเป็นระยะทางครึ่งละ $0.05 \cdot L$ จนกว่าจะตัดกับ Topline แต่ถ้า $\text{remain } L < 0.2 \cdot L$ แล้ว เส้นทั้ง 2 ยังไม่ตัดกับเส้น Topline จะยกเลิกการคำนวณ FS. ของลักษณะการวิบัติแบบ Direct Sliding บนวัสดุเสริมกำลังเส้นนั้น



รูปที่ ๘.๒๘ ตัวอย่างพื้นผิววิบัติเริ่มต้นสำหรับวัสดุเสริมกำลังชั้นล่างสุด

3. ทำการคำนวณพื้นผิววิบัติเริ่มต้นของวัสดุเสริมกำลังเส้นอื่นๆ ที่เหลือ จะได้พื้นผิววิบัติเริ่มต้นสำหรับลักษณะการวิบัติแบบไถลบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ ๘.๒๙



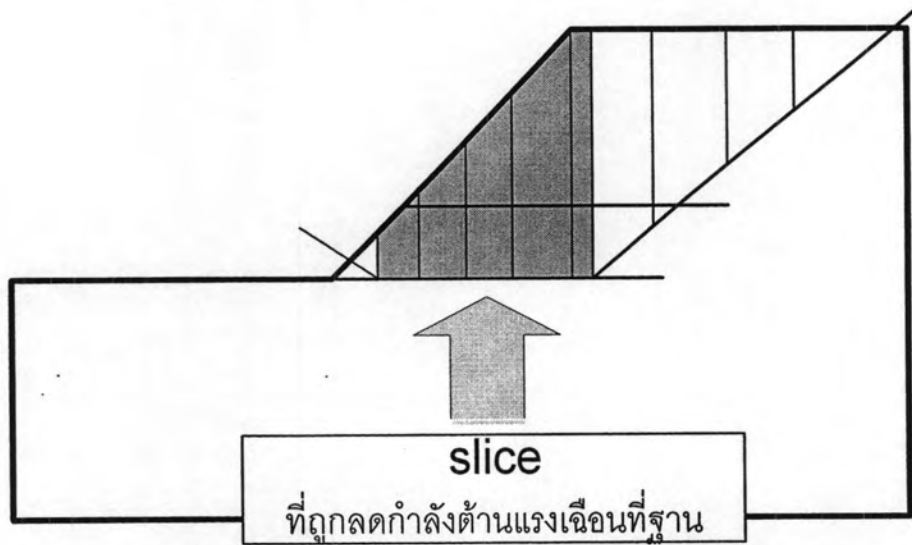
รูปที่ ๘.๒๙ พื้นผิววิบัติเริ่มต้นสำหรับลักษณะการวิบัติแบบไถลบนแผ่นวัสดุเสริมกำลัง

4. ทำการคำนวณค่า FS. ด้วยพื้นผิววิถีแบบ General surface ตามปกติด้วย Automatic Search (ผ.2 ก) แต่จะมีการลดกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ฐาน slice ด้วยการคูณด้วย Interaction Coefficient : α_i ซึ่งในโปรแกรมใช้ค่า α_p (Pullout Coefficient)

$$c'_s = \alpha_p \times c'$$

$$\tan \phi'_s = \alpha_p \times \tan \phi'$$

Subscript "s" = direct sliding parameter



รูปที่ ผ.30 slice ที่ถูกลดกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ฐาน

5. ทำการคำนวณตามข้อ 4. สำหรับวัสดุเสริมกำลังทุกเส้นที่เหลือ เพื่อหาค่า

FS_{MIN}

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาวาอากาศตรี ปกรณ์ มหารักษ์ เกิดวันที่ 17 พฤษภาคม 2514 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศ ในปีการศึกษา 2536 รับราชการที่ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง กรุงเทพฯ และขออนุญาตลาศึกษาต่อโดยใช้เวลาราชการเต็มเวลา เพื่อศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2548

