รายการคำนวณเสถียรภาพความลาดของดินถม
(Stability of soil slope)

แปลงที่ 1 ตามโฉนด เลขที่ xxxxxx
ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

แปลงที่ 2 ตามโฉนด เลขที่ xxxxxx
ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

วิศวกร
นาย xxxxxxx
สามัญวิศวกรโยธา สย.xxxxx

ผลการคำนวณออกแบบเสถียรภาพความลาดของดิน

(Stability of soil slope)

1. การวิเคราะห์โดยโปรแกรม DRMK_GTECH_V128 ใช้วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพโดยหลักการสมดุลจำกัด (Limited Equilibrium) โดยวิธี Grid search ของ Bishop Simplified Method วิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis)

2. วิเคราะห์โดยการพิจารณาถมดิน 2.40 เมตร โดยมีความยาวลาดดินที่ 3.00 เมตร ค่า **r** หน่วยน้ำหนักดินลูกรังเท่ากับ 1.40 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และค่า Su กำลังเฉือนดินแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวเท่ากับ 2.00 ตันต่อตารางเมตร (โดยคิดจาก Su = qu/2 โดยกำหนดค่า qu ไม่เกิน 4 ตันต่อตารางเมตร ทำให้ค่า qa เท่ากับ 2 ตันต่อตารางเมตร มีค่า F.S.เท่ากับ 2 และอยู่ในตารางแสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ดังตารางด้านล่าง

ตารางสำหรับพิจารณาค่า qu (Unconfined compressive strength)

- สำหรับ ***ดินเหนียว*** พารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ***ความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน (cohesion, c)*** ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ ***หน่วยแรงอัดไม่โอบรัด (Unconfined compressive strength, q_u)*** ค่า q_u โดยทั่วไปเท่ากับ

สภาพของดินเหนียว	q_u (Ton/m.^{2})
อ่อนมาก (very soft)	< 2.50
อ่อน (Soft)	2.50 – 5.00
ปานกลาง (Medium)	5.00 – 10.00
แข็ง (Stiff)	10.00 – 20.00
แข็งมาก (Very stiff)	20.00 – 40.00
แข็งที่สุด (Hard)	> 40.00

ตารางสำหรับพิจารณาค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (Unit weight)

หน่วยน้ำหนัก

- **หน่วยน้ำหนักของดิน (Unit weight)** คือ น้ำหนักของดินต่อหน่วยปริมาตร ดินแต่ละประเภทมีหน่วยน้ำหนักไม่เท่ากัน หน่วยน้ำหนักของดินในสภาพแห้ง (Dry unit weight) ประมาณตามตารางที่ 1.1

ประเภทของดิน	หน่วยน้ำหนัก (ตัน/ม.^{3})
Loose uniform sand	1.45
Dense uniform sand	1.80
Loose angular-grained silty sand	1.60
Dense angular-grained silty sand	1.90
Stiff clay	1.70
Soft clay	1.15 - 1.45
Loess	1.35
Soft organic clay	0.60 – 0.80
Glacial till	2.10

-2-

ตารางสำหรับพิจารณาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Su)

ตารางที่ 9.4 แสดงค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ เพื่อบอกถึงความแข็งของดินเหนียว (Peck และ คณะ,ค.ศ.1974)

ความแข็งของดิน	แรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ S_U ตัน ต่อ ตร.ม.	SPT จำนวนครั้งตอก ต่อ ระยะจมตัว 30 ซม. (N-Value)
อ่อนมาก (Very Soft)	0.00-1.25	มากกว่า 2
อ่อน (Soft)	1.25-2.50	2-4
แข็งปานกลาง (Medium)	2.50-5.00	4-8
แข็ง (Stiff)	5.00-10.00	8-15
แข็งมาก (Very Stiff)	10.00-20.00	15-30
ดินดาน (Hard)	มากกว่า 20.00	มากกว่า 30

และสามารถระบุค่า Su จากตารางด้านล่างนี้ สำหรับความสัมพันธ์ ที่สามารถหาค่า SPT ได้

ตารางที่ ๒.๒ ความสัมพันธ์ของ N และความแข็งแรงของดิน

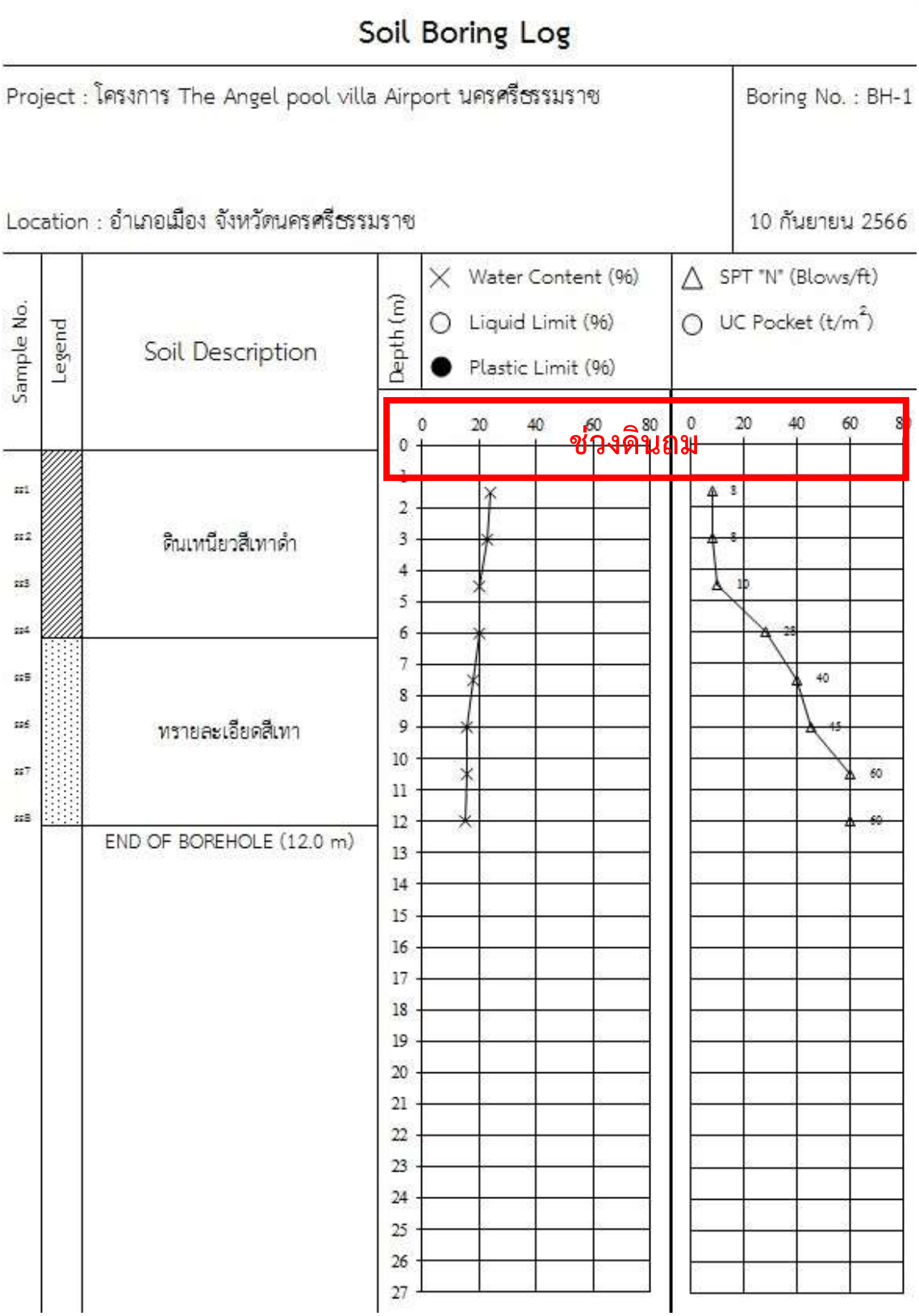
ดินเหนียว

Penetration resistance,N (blows/ft)	Unconfined compressive strength (ton/ft^2)	Consistancy
<2	0.25	Very soft
2 - 4	0.25 - 0.50	Soft
4 - 8	0.50 - 1.00	Medium
8 - 15	1.00 - 2.00	Stiff
15 - 30	2.00 --4.00	Very stiff
>30	4.00	Hard

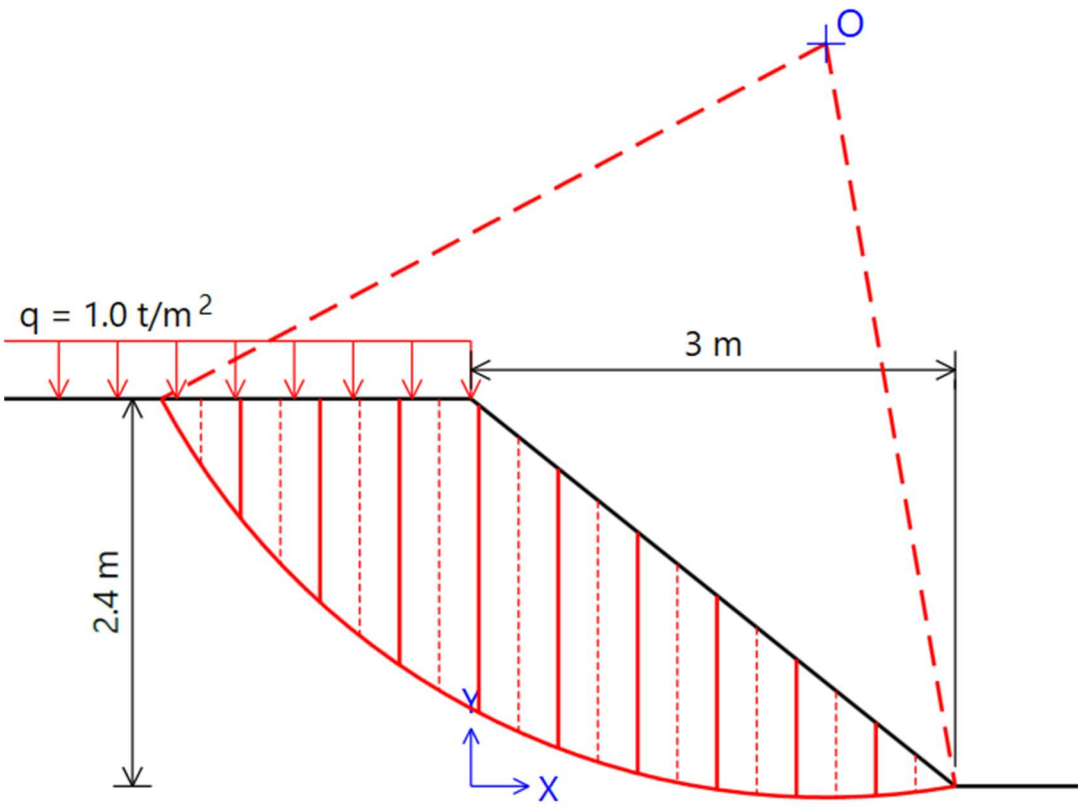
ดินทราย

Penetration resistance,N (blows/ft)	Angle of internal friction,Ø (degree)	Relative Density
0 - 4	25 - 30	Very loose
4 - 10	27 - 32	Loose
10 - 30	30 - 35	Medium
30 - 50	35 - 40	Dense
> 50	38 - 45	Very dense

และสามารถพิจารณาค่า SPT โดยการประมาณค่า 2 ครั้งต่อฟุต จากรายการสำรวจดินได้ ตามตาราง ด้านล่างนี้ โดยกำหนดดินถม 2.40 เมตร ชั้นดินด้านล่างดินถมเป็นดินเหนียวสีเทาดำหนา 6.00 เมตร



3. Search Condition มีข้อมูลดังต่อไปนี้



4. FACTOR OF SAFETY = $\frac{\text{โมเมนต์ของแรงต้าน}}{\text{โมเมนต์ของแรงกระทำ}}$

F.S. = 1.56 > 1.50 (OK)

5. เลือกวิเคราะห์ที่ความลาด 1 : 1 พิกัด X,Y พิกัดแนวราบ 2.40 เมตร ขุดดิน 3.00 เมตร

รายการคำนวณเสถียรภาพลาดดินถม (Slope stability)

	โครงการ : Angel Pool villa	ลาดดิน : SL-01 หน้าที่ 1/2
	เจ้าของ : Angel Pool villa	ผู้ออกแบบ : นายเดชชาติ สุวรรณมณี สย.1284
	สถานที่ : จ.นครศรีฯ	

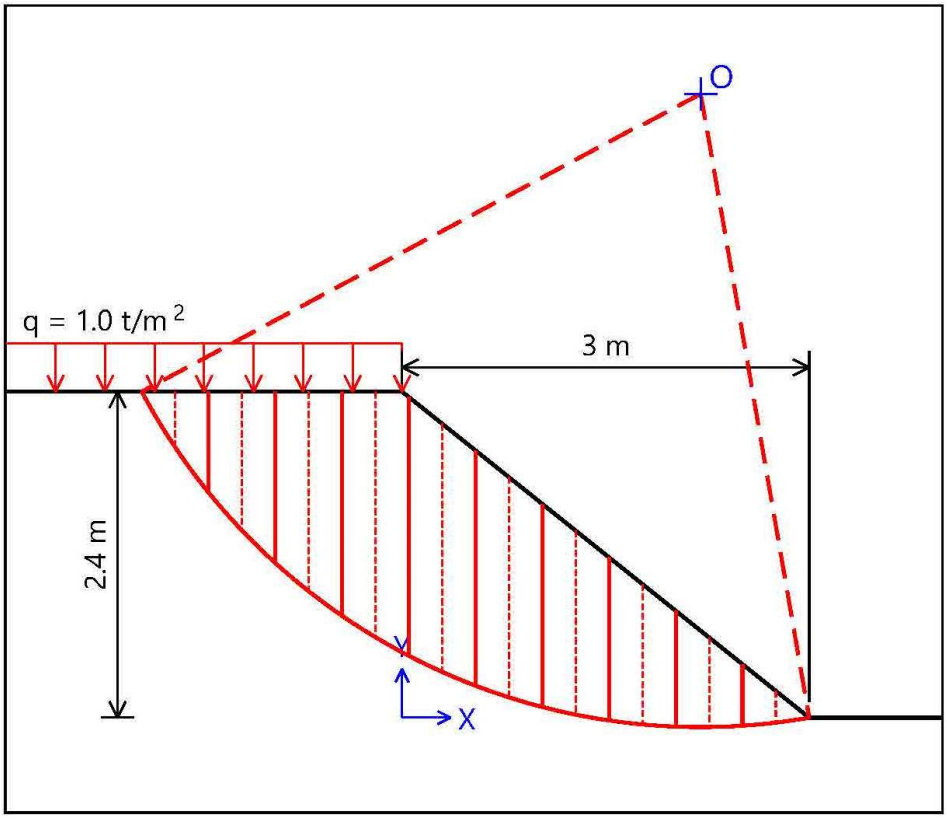
รายการคำนวณเสถียรภาพลาดดิน

1. ข้อมูลลาดชันและคุณสมบัติดิน

ความลึกดินขุด	H	=	2.4	m	หน่วยน้ำหนักดิน	γ	=	1.4 t/m^3
ความยาวลาดดิน	L	=	3.0	m	กำลังเฉือนดิน	s_u	=	2.0 t/m^2
น้ำหนักกดทับ	q	=	1.0	t/m^2				

2. ระนาบวิบัติ

จุดศูนย์กลาง	X	=	2.2	m	รัศมีความโค้ง	R	=	4.7 m
	Y	=	4.6	m	จำนวนแถบย่อย	N	=	10



	โครงการ : Angel Pool villa	ลาดดิน : SL-01 หน้าที่ 2/2
	เจ้าของ : Angel Pool villa	ผู้ออกแบบ : นายเดชชาติ สุวรรณมณี สย.1284
	สถานที่ : จ.นครศรีฯ	

รายการคำนวณเสถียรภาพลาดดิน

3. คำนวณอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety)

วิเคราะห์เสถียรภาพโดยหลักการสมดุลจำกัด (Limited Equilibrium)

วิธี Bishop Simplified Method วิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis)

Strip No.	b (m)	z (m)	w (t/m)	θ (rad)	w sin θ	s_u b / cos θ
1	0.49	0.41	0.39	1.49	0.385	0.084
2	0.49	1.02	1.19	1.05	1.039	0.485
3	0.49	1.47	1.50	0.84	1.117	0.658
4	0.49	1.81	1.74	0.66	1.071	0.774
5	0.49	1.83	1.26	0.51	0.617	0.857
6	0.49	1.62	1.12	0.37	0.406	0.916
7	0.49	1.35	0.93	0.24	0.221	0.956
8	0.49	1.03	0.71	0.11	0.079	0.978
9	0.49	0.66	0.45	-0.02	-0.007	0.984
10	0.49	0.23	0.08	-0.14	-0.011	0.974
				Σ =	**4.915**	**7.666**

อัตราส่วนปลอดภัย F.S. = 7.666 / 4.915 = 1.56 > 1.5 OK

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ผลทดสอบดินและการวิเคราะห์วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

การเจาะสำรวจดิน

การเจาะสำรวจด้วยหลุมเจาะ (Soil Boring)

การทดสอบตอกทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) และเพื่อเก็บตัวอย่าง ใช้ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 63.5 กก (140 ปอนด์) ตอกกระบอกผ่ามาตรฐานระยะตก 76 ซม (30 นิ้ว) นับจำนวนครั้งที่ตอกกระบอกผ่าลงไปเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 15 ซม รวมจำนวนครั้งที่ตอก ลูกตุ้ม 2 ช่วงสุดท้าย (30 ซม) เป็นค่า SPT-N ตัวอย่างที่เก็บได้ รวบรวมใส่ถุงพลาสติก เขียนสลาก ชื่อ รัดปากถุง เพื่อนำไปเข้าห้องทดลองต่อไป

ลักษณะชั้นดิน

การเจาะสำรวจดินในผังบริเวณโครงการ เพื่อหาลักษณะชั้นดิน ทำการเจาะสำรวจด้วยหลุมเจาะ (Soil Boring) จำนวน 2 หลุม ความลึก 10.50-12.00 เมตร ซึ่งจะสามารถสรุปชั้นดินได้ดังนี้

ความลึกในรายงานนี้เป็นความลึกจากผิวดินถมประมาณ 2.00-2.50 เมตร ชั้นดินจากผิวดินเดิมเป็นดินเหนียวสีเทาดำ ชั้นดินหนาประมาณ 6.00 เมตร ลึกลงไปอีกชั้นเป็นชั้นทรายละเอียดสีเทา มีค่า SPT-N = 8-66 ครั้ง/30 ซม จนถึงสิ้นสุดหลุมเจาะที่ 10.50-12.00 เมตร ดูรายละเอียดชั้นดินในรูปตัดชั้นดิน (Soil Boring Log) ในรูปแสดง BH1 และ 2

3. ผลการสำรวจชั้นดิน

ผลการเจาะสำรวจสามารถสรุปลักษณะของชั้นดิน 2 หลุมเจาะได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบและลักษณะตัวอย่างดิน

ลำดับที่	ชื่อ	ความลึกของหลุมเจาะ (m)	รายละเอียด
1	BH-1	12.0	ดูภาคผนวก หน้า 15
2	BH-2	10.5	ดูภาคผนวก หน้า 16

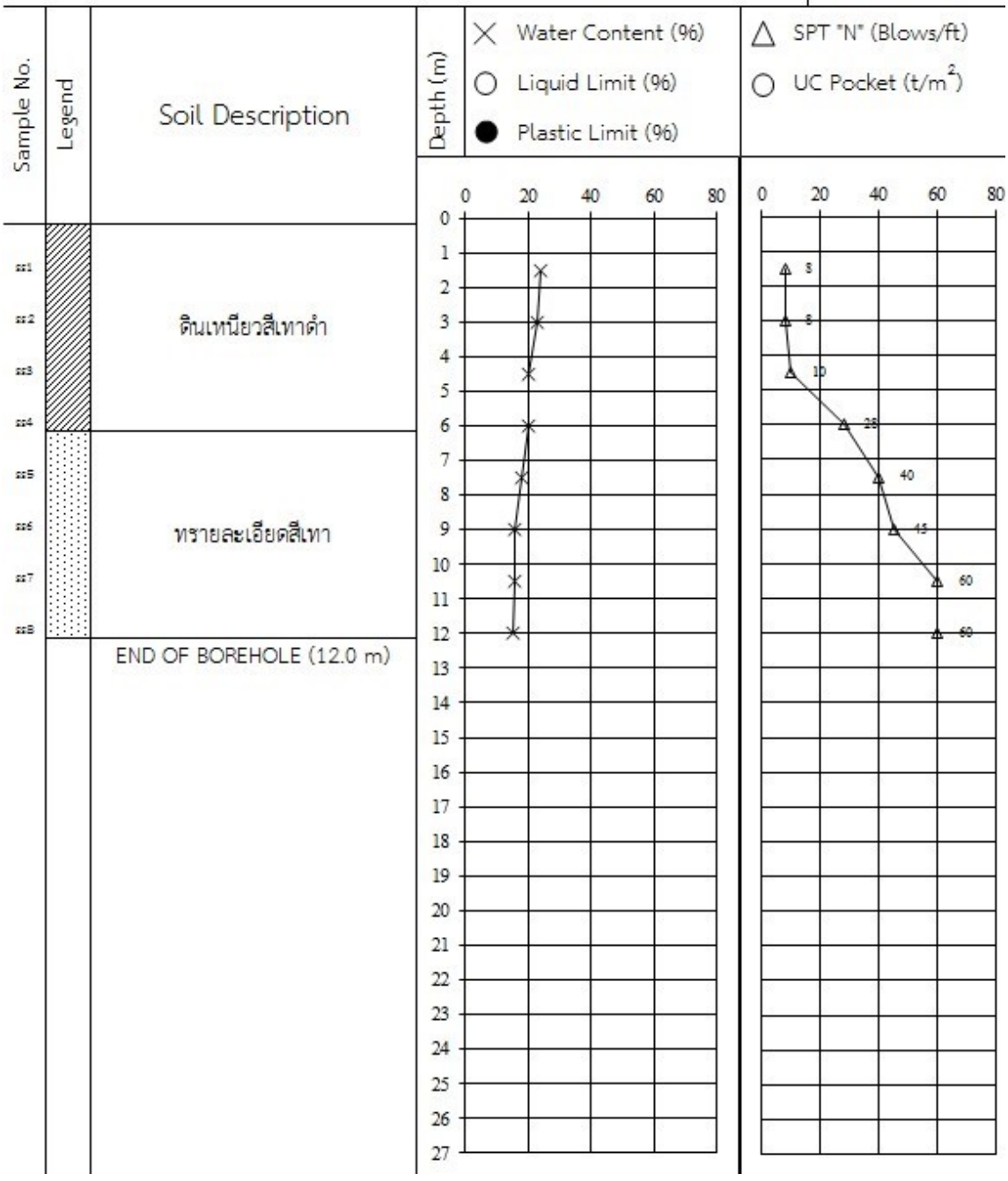
Soil Boring Log

Project : โครงการ The Angel pool villa Airport นครศรีธรรมราช

Boring No. : BH-1

Location : อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

10 กันยายน 2566



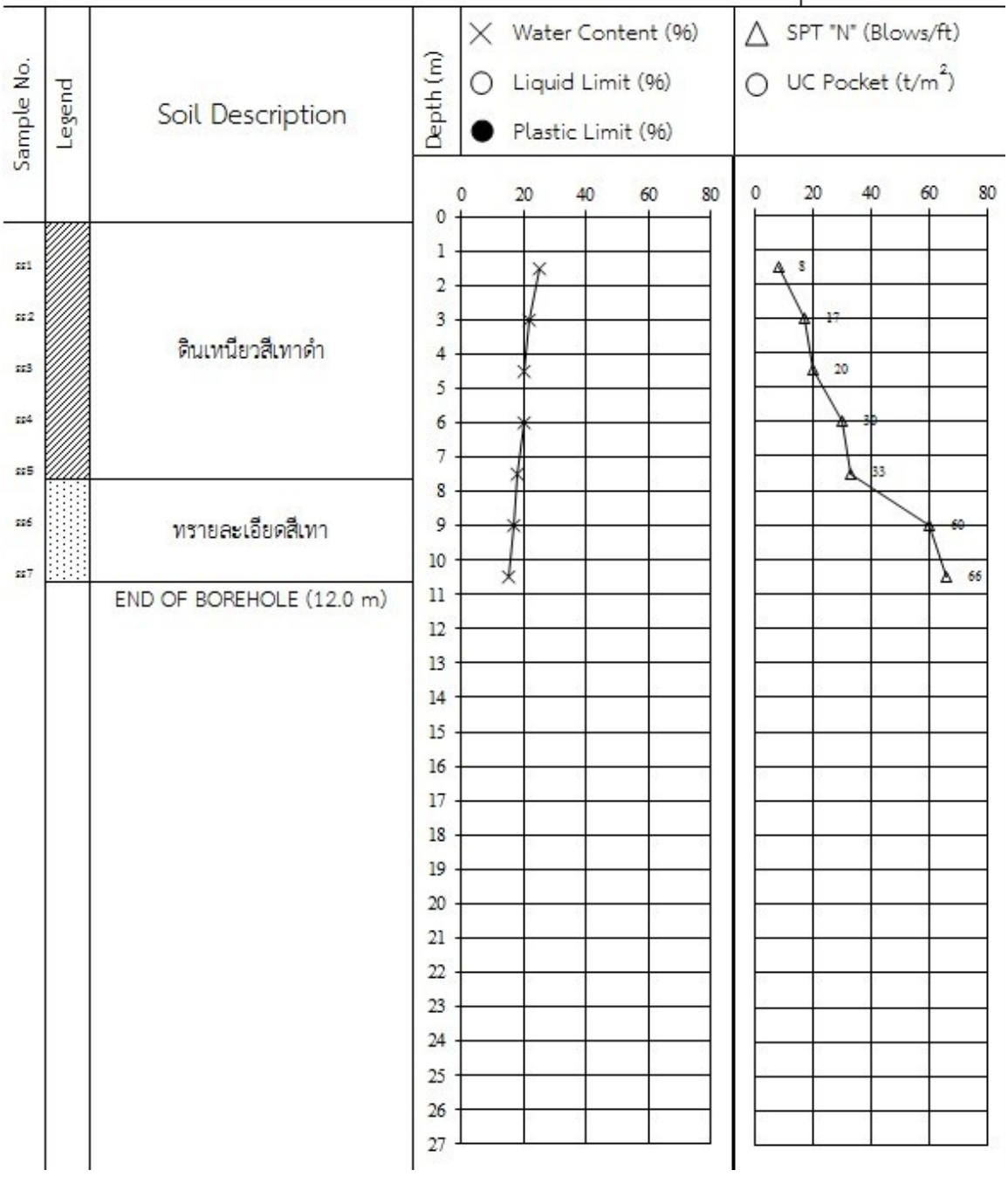
Soil Boring Log

Project : โครงการ The Angel pool villa Airport นครศรีธรรมราช

Boring No. : BH-2

Location : อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

10 กันยายน 2566



การวิเคราะห์วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน
(Slope Stability)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

τ_f	=	กำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของมวลดินหรือหินบนผิวเคลื่อนซึ่งตามทฤษฎี ของ Mohr - Coulomb แล้วจะมีค่าเท่ากับ $c + \sigma \tan \phi$
τ	=	หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงซึ่งเพียงพอทำให้มวลนั้นสมดุล
A_L, A_R	=	แรงภายนอกเนื่องจากน้ำอิสระ ด้านซ้ายและด้านขวา
a_L, a_R	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง A_L และ A_R กับจุดหมุน (Axis) ตามลำดับ
b	=	ความกว้างของมวลดิน ตามแนวแกนราบ
D	=	แรงภายนอกแบบเส้น (Line Load)
d	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง Line Load กับจุดหมุน
d_f	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง F_{RS} กับจุดหมุน
E_L, E_R	=	แรงตั้งฉากด้านข้างมวลดิน ด้านซ้ายและด้านขวา
e	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง $k_h.W$ กับจุดหมุน
$F.S_f$	=	อัตราส่วนปลอดภัยเมื่อพิจารณาถึงสมดุลของแรง
$F.S_m$	=	อัตราส่วนปลอดภัยเมื่อพิจารณาถึงสมดุลของโมเมนต์
F_{RS}	=	แรงจาก Reinforcement Material
f	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง Normal force กับจุดหมุน
k_h, k_v	=	สัมประสิทธิ์ของแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวตามแนวราบและแนวดิ่ง
N	=	แรงตั้งฉากกับผิวพิบัติ (Normal force)
n	=	จำนวน Slices
Q	=	แรงกระทำเนื่องจาก Strip Load คูณความกว้างของมวลดิน
R	=	ระยะตั้งฉากระหว่าง S_m กับจุดหมุน
X_i, X_{i+1}	=	แรงเฉือนด้านข้างมวลดิน ด้านขวาและด้านซ้าย ตามลำดับ
U	=	แรงดันน้ำ
W	=	น้ำหนักมวลดินในแนวดิ่ง
α	=	มุมระหว่าง S_m กับแนวระดับ
β	=	มุมระหว่างผิวของลาดดินในแต่ละชิ้นส่วนกับแนวระดับ
ω	=	มุมระหว่าง Line Load กับแนวระดับ
θ	=	มุมระหว่าง F_{RS} กับแนวระดับ

λ = อัตราส่วนระหว่าง Inter-Slice Force แนวดิ่งกับแนวระดับ

$\sum$ = ผลรวมปัจจัยต่างๆ ทุก Slices ซึ่งมีความหมายเท่ากับ $\sum_{i=1}^{n}$

S_f = แรงเฉือนต้านทานที่มีอยู่ (Available Resisting Shear Forces)

S_m = แรงเฉือนที่เกิดขึ้น(Mobilized Shear Force)

s = Effective Shear Strength ของมวลดินที่กึ่งกลางของฐานของชิ้นส่วนที่พิจารณา

β = ความยาวของฐานของชิ้นส่วน

σ_n = ความเค้นในแนวตั้งฉาก (Normal Stress) ที่กึ่งกลางฐานของชิ้นส่วน

f = ความเค้นบริเวณจุดต่อในอิลิเม็นต์ (Stress at The Element Nodes)

$\langle N \rangle$ = เมตริกซ์ของฟังก์ชั่นในการอินเทอร์โปเล็ต (Matrix of The Interpolating Functions)

$\{F\}$ = ค่าความเค้นบริเวณ Gauss points (Stress Values at the Gauss Points)

σ_x = ความเค้นทั้งหมดในแนวแกน x ที่กึ่งกลางฐาน

σ_y = ความเค้นทั้งหมดในแนวแกน y ที่กึ่งกลางฐาน

τ_{xy} = ความเค้นเฉือนในแนวแกน x และ y ที่กึ่งกลางฐาน

θ = มุมที่วัดจากแกน x ทิศทางบวกถึงเส้นแนวแรงกระทำในความเค้นตั้งฉาก (σ_y)

E_t = ค่าโมดูลัสสัมผัส (Tangent Modulus)

E_{sec} = ค่าโมดูลัสซีแคนต์ (Secant Modulus)

สำหรับการศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติดินที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่

1. ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)

ค่าหน่วยน้ำหนัก คือ ค่าที่ใช้แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของดิน (Unit weight = W/V)

2. กำลังของดิน (Shear Strength)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Elastic Modulus)

จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุ (Solid Mechanics) เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำจากภายนอกจะทำให้เกิดการกระจายหน่วยแรงในวัสดุ มีผลทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนตัวและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะและขนาดการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (สันติ, 2539) ได้มีผู้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า Elastic Modulus เป็นจำนวนมาก

4. ค่า Poisson’s Ratio

ค่า Poisson’s Ratio คือค่าที่บอกอัตราส่วนการเคลื่อนตัวในแนวราบต่อการเคลื่อนแนวในแนวดิ่งในขณะที่มีแรงกระทำในแนวดิ่ง

ทฤษฎีวิเคราะห์เสถียรภาพ

วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดสามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ 3 วิธี ดังนี้

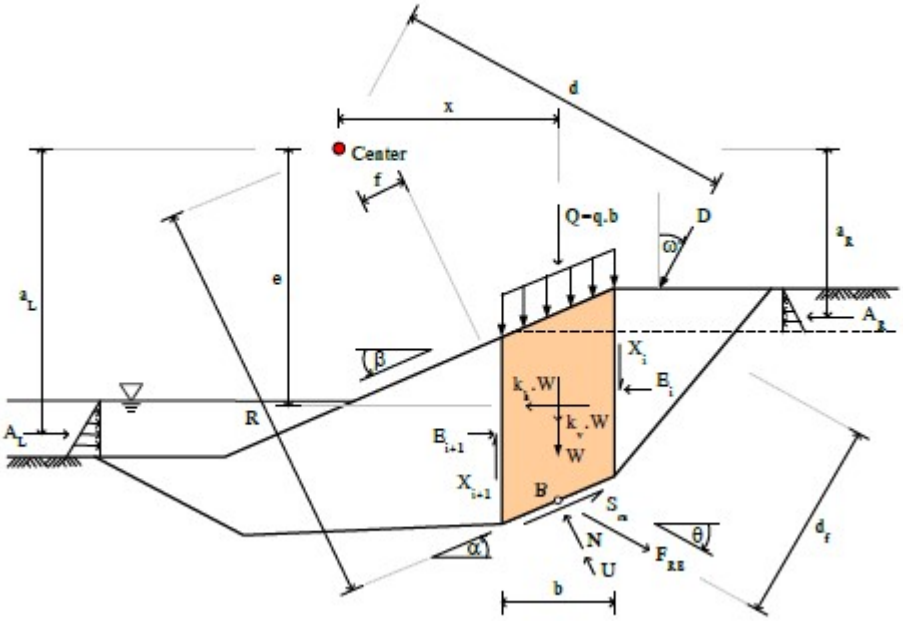
1. วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method)
2. วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method)
3. วิธีสมดุลจำกัดร่วมกับการพิจารณาหน่วยแรงในมวลดิน (Stress Based Method)

วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method)

วรากร (2542) กล่าวว่าหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินนั้น โดยปกติใช้วิธีการพิจารณาสมดุลจำกัด(Limit Equilibrium Method, LEM)ของมวลดิน โดยสมมติให้มวลดินที่สนใจเกิดการเคลื่อนพังและ ณ. ช่วงเวลาที่เกิดการเคลื่อนพังพอดี ในขณะนั้นมวลดินอยู่ในสภาวะสมดุล การวิเคราะห์เริ่มจากการสมมติรูปแบบลักษณะของผิวการเคลื่อนพังว่าเป็นแบบใด เช่น เส้นตรง วงกลม โค้งก้นหอย รูปหลายเหลี่ยม ฯลฯ แล้วทำการคำนวณแรงต้านทานที่เพียงพอทำให้เกิดความสมดุลของมวลดินที่พิบัติ โดยค่าความแข็งแรงของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากจุดที่มีความแข็งแรงสูงสุดที่มวลดินสามารถรับได้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดินต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุล ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) แล้วทดลองสุ่มหาค่าของอัตราส่วนความปลอดภัย โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือตำแหน่งของผิวการเคลื่อนพังที่น่าจะหรือมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนพบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด โดยอาจทราบลักษณะการพังได้แน่นอนโดยการสำรวจในสนามเพื่อหาตำแหน่งที่แท้จริงได้นิยามของอัตราส่วนปลอดภัย หรือตัวประกอบความปลอดภัย คือ อัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของดินบนผิวเคลื่อนต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในพื้นผิวเดียวกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ง่ายๆ ดังนี้

F.S.= Shear Strength / Shear Stress

ได้มีผู้นำได้เสนอวิธี Generalized Limit Equilibrium (GLE) ซึ่งเป็นวิธีหาค่าอัตราส่วนปลอดภัย โดยการแบ่งมวลดินในผิวเคลื่อนพัง (Sliding Mass) ออกเป็นชิ้นๆ ตามแนวดิ่ง จากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อนด้านล่าง และนำเอาแรงที่กระทำต่อดินในแต่ละชั้นซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลมาพิจารณา แล้วจัดสมการให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันเป็นสมการมาตรฐาน (General Equations) จะสามารถจัดให้มีสมการหลักเพียง 2 สมการ คือ สมการสมดุลของแรง สมการสมดุลของโมเมนต์ และสมการรอง คือ สมการสำหรับหาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานของมวลดิน (Normal Force) ซึ่งแสดงเป็นความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ดังสมการข้างล่าง



แรงและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน

ที่มา: วรากร และรัฐธรรม (2547)

$$F.S._f = \frac{\sum (c'.l + (N - u.l).\tan\phi').\cos\alpha}{\sum k_h.W + \sum D.\sin\omega + \sum N.\sin\alpha + A_R - A_L - \sum F_{RE}.\cos\theta - \sum (E_{i+1} - E_i)}$$

$$F.S._m = \frac{\sum (c'.l + N.\tan\phi' - u.l.\tan\phi').R}{\sum W.x + \sum k_h.W.e + \sum k_v.W.x + \sum D.d + A_R.a_R + \sum Q.x - \sum N.f - \sum F_{RE}.d_f - A_L.a_L}$$

$$N = \frac{W + Q + D.\cos\omega + k_v.W + F_{RE}.\sin\theta + (X_i - X_{i+1}) - (c'.l.\sin\alpha - u.l.\tan\phi'.\sin\alpha)}{(\cos\alpha + \frac{\tan\phi'.\sin\alpha}{F.S.})}$$

ผลของการเลือกใช้สมการหลักที่แตกต่างกันประกอบกับการใช้สมการรองที่ได้จากการคำนึงถึงผลของแรงระหว่างมวลดินที่ต่างกันจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากวิธีต่างๆ เช่น Ordinary Method, Simplified Bishop Method, Simplified Janbu Method, Janbu Generalized Method, Spencer Method และ Morgenstern-Price Method เป็นต้น

ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีหลักๆที่ใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เพียง 2 ทฤษฎีคือ Fellenius Method และSimplified Bishop Method ดังแสดงต่อไปนี้

1. Ordinary Method of Slices (Fellenius Method)

เป็นวิธีวิเคราะห์แบบ Simple Method of Slice โดยอาศัยพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบ Swedish Method การคำนวณโดยวิธีนี้มีความถูกต้องพอสมควรและการคำนวณไม่ยุ่งยากใช้ได้กับ ลักษณะผิวเคลื่อนได้หลายลักษณะ ทำได้โดยการแบ่งมวลดินในผิวเคลื่อนพัง (Sliding Mass) ออกเป็นชิ้นๆตามแนวดิ่ง จากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อนด้านล่าง โดยการนำเอาแรง ที่กระทำต่อดินในแต่ละชั้นซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลตามแนวขนานและตั้งฉากกับผิวเคลื่อนมาพิจารณา

จากการเขียน Free Body Diagram และ Force Polygon ของมวลดินดังแสดงในภาพที่ 13 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของแรงต่างๆ ได้ดังนี้

Normal force; $N_i = W_i.\cos\theta_i - U_i$

Sliding force; $T_i = W_i.\sin\theta_i$

Resisting force; $R_i = \triangle c_i.l_i + (W_i.\cos\theta_i - U_i).\tan\phi_i$

ดังนั้นอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ของแต่ละชิ้นส่วนของมวลดินจะเท่ากับ

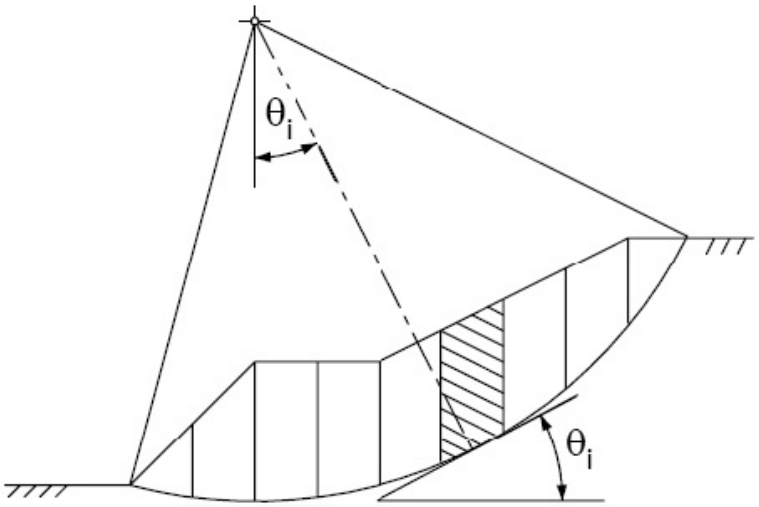
F.S. = Shear Strength / Shear Stress

= Resisting Force / Sliding Force

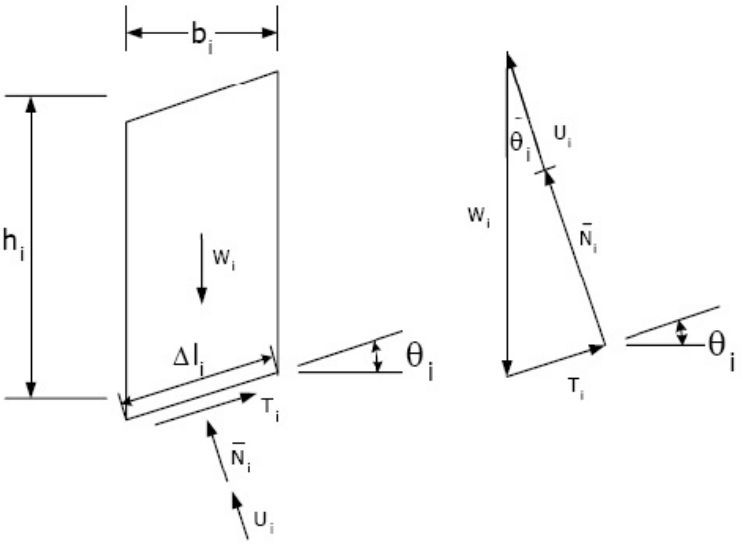
$= \triangle c_i.l_i + (W_i.\cos\theta_i - U_i).\tan\phi_i \;/\; W_i.\sin\theta_i \;/\; W_i.\sin\theta_i$

เมื่อรวมแรงต้านทานการพังและแรงฉุดของทุกๆชิ้น ของมวลดินที่จะเกิดการเคลื่อนพัง จะได้อัตราส่วนปลอดภัยรวมเป็น

$$F.S. = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\bar{c}_i.\Delta l_i.\left(W_i.\cos\theta_i - U_i\right)\tan\bar{\varphi}_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i.\sin\theta_i}\right]$$



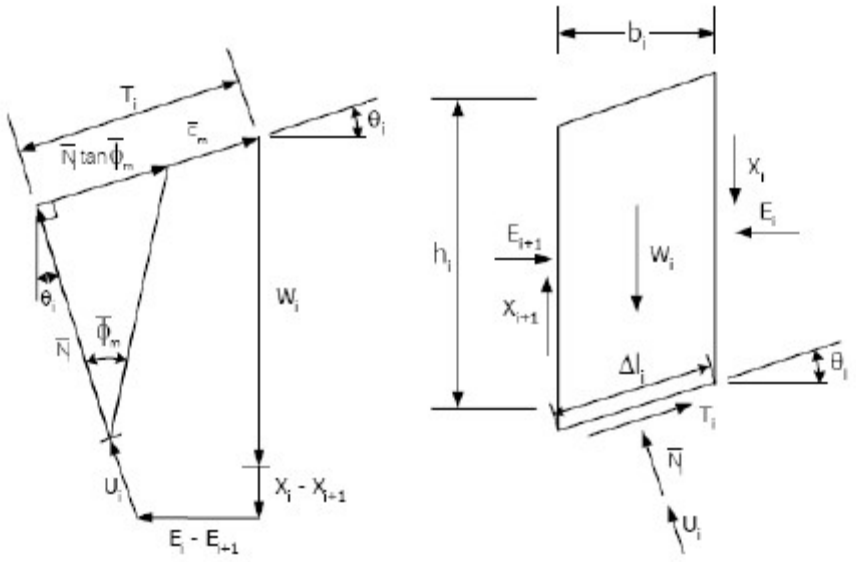
แสดงรูปตัดการเคลื่อนพังของลาดดินและการดัดแปลงมวลดิน
ที่มา: ชูเลิศ (2544)



แรงที่เกี่ยวข้องในมวลดินและรูปหลายเหลี่ยมของแรงสำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงโดยวิธี Ordinary Method of Slices (Fellenius)
ที่มา: ชูเลิศ (2544)

2. Simplified Bishop Method

เป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงที่มีการแบ่งมวลดินออกเป็นชิ้น หรือแท่งเช่นเดียวกับ Slices Method แต่ได้พิจารณาแรงและสมดุลของแรงละเอียดขึ้น คือ คิดสมดุลของ Moment ของแท่งดินแต่ละแท่งด้วย แทนที่จะคิดเฉพาะแรงของมวลดินทั้งหมดแต่เพียงอย่างเดียว แล้วยังนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดินมาพิจารณาด้วย ทำให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้น่าเชื่อถือและถูกต้องมากขึ้น วิธีนี้ภายหลังมีการปรับให้ง่ายขึ้นโดย Janbu (1954) จากการเขียน Free Body Diagram และ Force Polygon ของมวลดินดังแสดงในภาพที่ 14 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของแรงต่างๆ ได้ดังนี้



หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี Simplified Bishop Method

ที่มา: ชูเลิศ (2544)

จากภาพ แสดงถึงแรงที่กระทำบนแท่งดินที่ตัดแบ่งแท่งหนึ่ง โดยแรงกระทำด้านข้างของแท่งดินประกอบด้วย

แรงดันในแนวราบ E_i-E_{i+1} = $\triangle E$

แรงเฉือนในแนวดิ่ง X_i-X_{i+1} = $\triangle X$

น้ำหนักรวมของแท่งดิน = W_i

แรงดันน้ำที่ตั้งฉากกับผิวเคลื่อน = U_i

แรงประสิทธิผลที่กระทำตั้งฉากกับผิวเคลื่อน = N_i

แรงต้านทานการเคลื่อนที่ฐานของแท่งดินเพียงพอที่จะให้เกิดการสมดุล = T_i

ความเหนียว และมุมเสียดทานภายในของมวลดินที่ผิวเคลื่อน = c_i และ ϕ_i

มุมเอียงของเส้นสัมผัสผิวเคลื่อน ณ. จุดที่น้ำหนักดินตัดผ่าน = θ_i

อัตราส่วนปลอดภัย = F.S.

ดังนั้น

$$T_i = \frac{\bar{c}_i . \Delta l_i}{FS} + \frac{\bar{N}_i}{FS} . \tan\varphi_i$$

จาก Force Polygon ในภาพที่ 14 เมื่อแท่งดินอยู่ในสมดุล แรงรวมในแนวดิ่งจะต้องเท่ากับศูนย์ (SUM Fv =0)

$$\sum F_v = (\bar{N}_i + U_i)\cos\theta_i + T_i \sin\theta_i - W_i - (X - X_{i+1}) = 0$$

สำหรับวิธี Simplified Bishop Method จะถือว่าผลรวมของแรงเฉือนในแนวดิ่งด้านข้างของแท่งดิน SUM X = (X_i-X_{i+1}) = 0 ดังนั้น จะเขียนในเทอมของ T_i ได้ดังนี้

$$T_i = \frac{W_i - (\bar{N}_i + U_i)\cos\theta_i}{\sin\theta_i}$$

เมื่อแทนค่า

$W_i = \gamma . b_i . h_i$ และ $U_i = \frac{\gamma_w b_i h_{wi}}{\cos\theta_i}$ ลงไปจะได้

$$\bar{N}_i = \frac{b_i(\gamma . h_i - \gamma_w h_{wi}) - (\bar{c}_i h_i \tan\theta_i)/FS}{\cos\theta_i + \sin\theta_i . \tan\bar{\varphi}_i / FS}$$

เมื่อพิจารณาสมดุลของโมเมนต์ รอบจุดศูนย์กลาง Sliding circle (M=0) ของแท่งดิน

ทั้งหมดในมวลดินที่เคลื่อนพังจะได้

$$\sum_{i=1}^{n} W_i.R.\sin\theta_i = \sum_{i=1}^{n} T_i.R$$

เมื่อแปรค่า Ti ดังนั้น

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n}[\bar{c}_i.\Delta l_i + \bar{N}_i \tan\varphi_i]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin\theta_i}$$

และแทนค่า Ni

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\bar{c}_i b_i + b_i(\gamma.h_i - \gamma_w.h_{wi}).\tan\varphi_i}{M_\theta}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\gamma b_i.h_i.\sin\theta_i}$$

เมื่อ M_θ เป็นเทอมย่อของ $M_\theta = \cos\theta_i + (\sin\theta_i.\tan\phi_i)/FS$

ในสมการดังกล่าว จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยปรากฏขึ้นทั้งสองข้างของสมการจึงต้องแก้สมการโดยวิธี Iterative โดยการสมมุติค่า F.S. แล้วแทนค่าซ้ำจนได้ค่า F.S. ที่ไม่เปลี่ยนแปลงซึ่ง ถ้าเป็นการคำนวณด้วยมือแล้ว จะยุ่งยากและเสียเวลามาก

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมประยุกต์ KUslope 2.0 (วรากรและรัฐธรรม, 2547) ใช้ในการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับวิธีสมดุลจำกัด ดังแสดงตัวอย่างของโปรแกรมใน ภาพที่ 15 ซึ่งโปรแกรม KUslope 2.0 พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ความลาดตลิ่งโดยใช้โปรแกรม KU Slope 2.0

โดยที่ KUSlope เป็นโปรแกรมที่ใช้วิธี Simplified Bishop ในการคำนวณ โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานของลักษณะผิวการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลม
- สามารถกำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้หลายชั้น (Multi Layer)
- สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของความดันน้ำ ได้โดยกำหนด Piezometric Surface หรือ Pore Water Pressure Ratio
- มีความยืดหยุ่นในการควบคุมรัศมี และจำนวนวงกลมที่คาดว่าจะพัง
- มีความสามารถในการคำนวณหาจุดที่มี ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์จากการใช้โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ออกแบบได้อย่างเหมาะสม สะดวก รวดเร็ว และถูกต้อง เพื่อลดความเสี่ยงในการพิบัติของลาดดิน

ความสามารถของโปรแกรมKUslope 2.0

KUslope2.0 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบ 2 มิติ ที่ใช้หลักการ Limit Equilibrium ในการวิเคราะห์ มีความสามารถในการนำเข้า แก้ไขข้อมูล และการแสดงผลได้ดีสามารถวิเคราะห์โดยคำนึงถึงอิทธิพลของรากพืชได้(Vegetation) มีรายละเอียดของโปรแกรมดังต่อไปนี้

1.วิเคราะห์ลักษณะผิวการเคลื่อนพังได้ 2 แบบ คือส่วนโค้งของวงกลม และไม่ส่วนโค้งวงกลม
2.เลือกคุณสมบัติของดินได้ 2 แบบ คือMohr-Coulomb Material หรือ Anisotropic Strength
3.กำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้ (Boundary Line) ไม่เกิน 100 ชั้น
4.กำหนดจำนวนจุดต่อ (Node) ในแต่ละBoundary Line ได้ไม่เกิน 50 จุด
5.แบ่งจำนวนชิ้นส่วนมวลดิน (Slice) ได้ไม่เกิน50 ชิ้น
6.กำหนดชั้นดินล่างสุด ในแบบ Specific Bottom Line ได้ไม่เกิน 20 เส้น
7.วิเคราะห์เสถียรภาพโดยใช้ 4 ทฤษฎี คือOrdinary, Simplified Janbu, Simplified Bishop และ Spencer
8.ค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบเป็นส่วนโค้งวงกลมได้ 3 แบบ คือ
    8.1 Grid Search
    8.2 Specific Search
    8.3 Automatic Search
9.ค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมได้ 2 แบบ คือ
    9.1 Random Search
    9.2 Specific Search
10.มี Fine Search Routine เพื่อเพิ่มความละเอียดในการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ต่ำที่สุดสำหรับผิวการพิบัติแบบเป็นส่วนโค้งวงกลม
11.จุดศูนย์กลางแต่ละจุดสำหรับผิวการพิบัติแบบเป็นส่วนโค้งวงกลมมีTrial Radius ได้ไม่เกิน 100วง
12.ค่าความละเอียดในการคำนวณ (Pass Criteria) สูงสุดคือ 0.00001
13.วิเคราะห์ผลกระทบของความดันน้ำได้ 3 แบบ คือNo Seepage, Water Line และ Pore Water PressureRatio
14.Water Line มีจำนวน Node ได้ไม่เกิน 20Node
15.วิเคราะห์ผลจากปัจจัยภายนอกได้ 5 ปัจจัย คือ
    15.1 Seismic Load
    15.2 Tension Crack
    15.3 External Load ประกอบด้วย Line Load และStrip Load

15.4 Anchor or Geofabric

15.5 Vegetation

16.สามารถวิเคราะห์เสถียรภาพแบบต่อเนื่องหลายกรณี โดยการ Run เพียงครั้งเดียว (Batched Files)

17.แสดง Contour ของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์แบบGrid Search ได้

18.การแสดงผลทำได้ 4 วิธี คือ

18.1พิมพ์ข้อมูลเริ่มต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์

18.2 พิมพ์รูปร่างชั้นดินก่อน และหลังการพิบัติ

18.3 พิมพ์ข้อมูลผิวการพิบัติและค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ได้

18.4 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสำหรับการพิบัติแบบเป็นส่วนโค้งวงกลม เป็น Text File(*.ksr)

19. เลือกทำงานในรูปแบบKUslope 1.18 ได้โดยใช้ Step by Step และสามารถอ่านหรือบันทึกข้อมูลในรูปแบบ KUslope 1.18 ได้

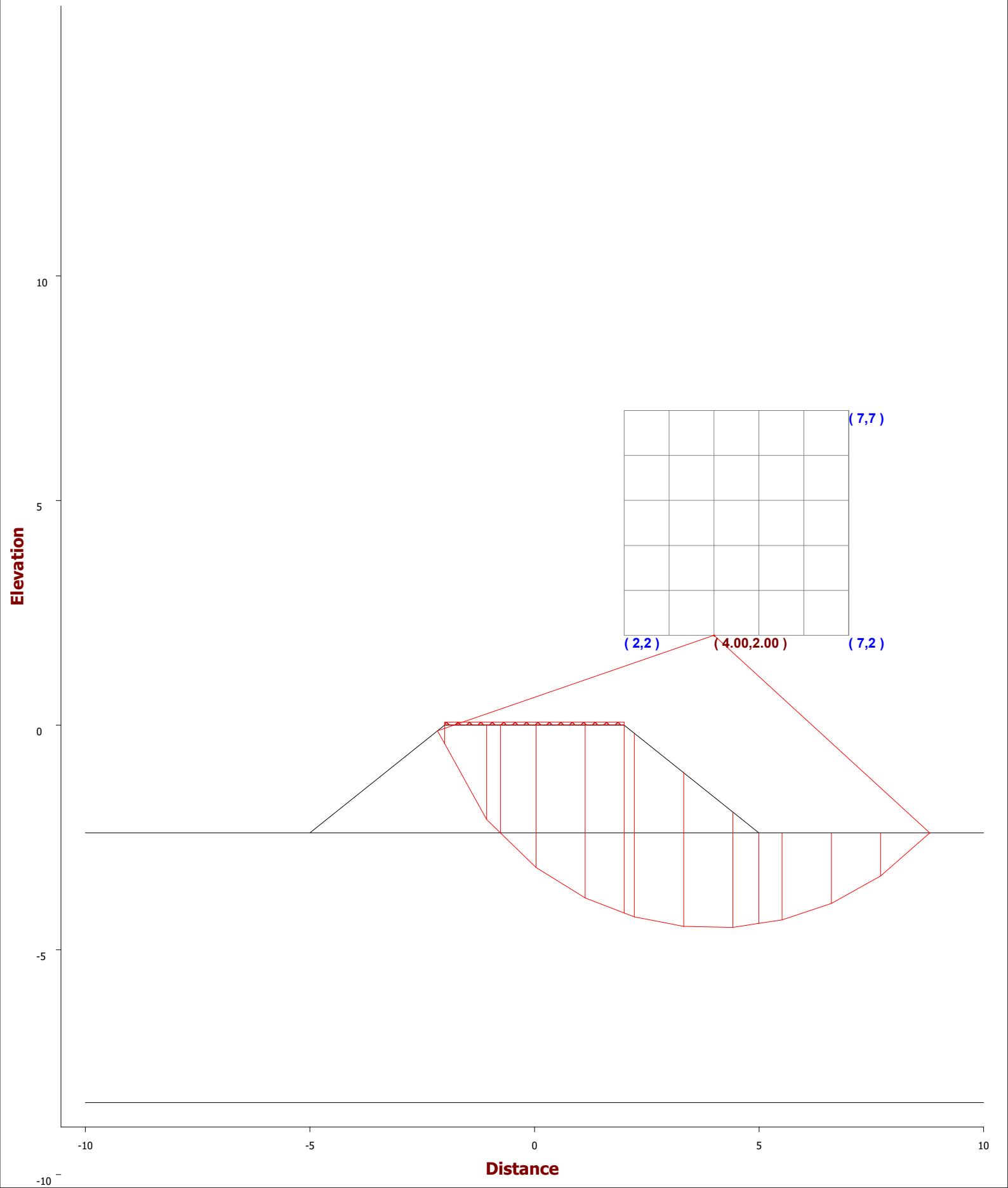
20. เลือกภาษาในการใช้งานได้2 ภาษา คือ ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ

21. ใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการWindows 98, Windows NT ,Windows 2000, Window ME และ Windows XP

โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน KUslope 2.0

โครงการสำรวจและออกแบบ
โครงการ The Angel Pool villa Airport นครศรีธรรมราช

The Angel
NST
Detchat Suwanmanee
FS. by Ord / Jan / Bis / Spe
2.251/2.134/2.334/2.330



GERD

KUslope Version 2.0

File Name : angel NST no seepage.ksd Time : 13:00:42 Date : 17/9/2023

****

PROJECT : The Angel
LOCATION : NST
ENGINEER : Detchat Suwanmanee

****

SOIL PROPERTIES

No of Boundary Line = 3

Soil No.	Cohesion	Fric. Angle	Unit Weight
1	2.000	0.000	1.650
2	1.500	15.000	1.600
3	0.000	0.000	0.000

GEOMETRY

Line No.	Points No.	X Coord.	Y Coord.
1	1	-10.000	-8.400
1	2	10.000	-8.400
2	1	-5.000	-2.400
2	2	5.000	-2.400
3	1	-10.000	-2.400
3	2	-5.000	-2.400
3	3	-2.000	0.000
3	4	2.000	0.000
3	5	5.000	-2.400
3	6	10.000	-2.400

BOTTOM LINE

Bottom Line No. = 1

SEEPAGE CONDITION : No Seepage

LOAD EFFECT

External Load

-Strip Load

Load No.	Magnitude	Begin X	End X
1	1.000	-2.000	2.000

SEARCH CONDITION

Passing Criteria = 0.01000

Circular Search : by Grid

No of Circle = 10
No of Slice = 10
Min Depth of Tallest Slice = 0.000
No of Add Radii = 0
Point 1 Coord.X = 2.000 Point 1 Coord.Y = 2.000
Point 2 Coord.X = 7.000 Point 2 Coord.Y = 2.000
Point 3 Coord.X = 7.000 Point 3 Coord.Y = 7.000
No of Divisions Between Point 1 and 2 = 5
No of Divisions Between Point 2 and 3 = 5

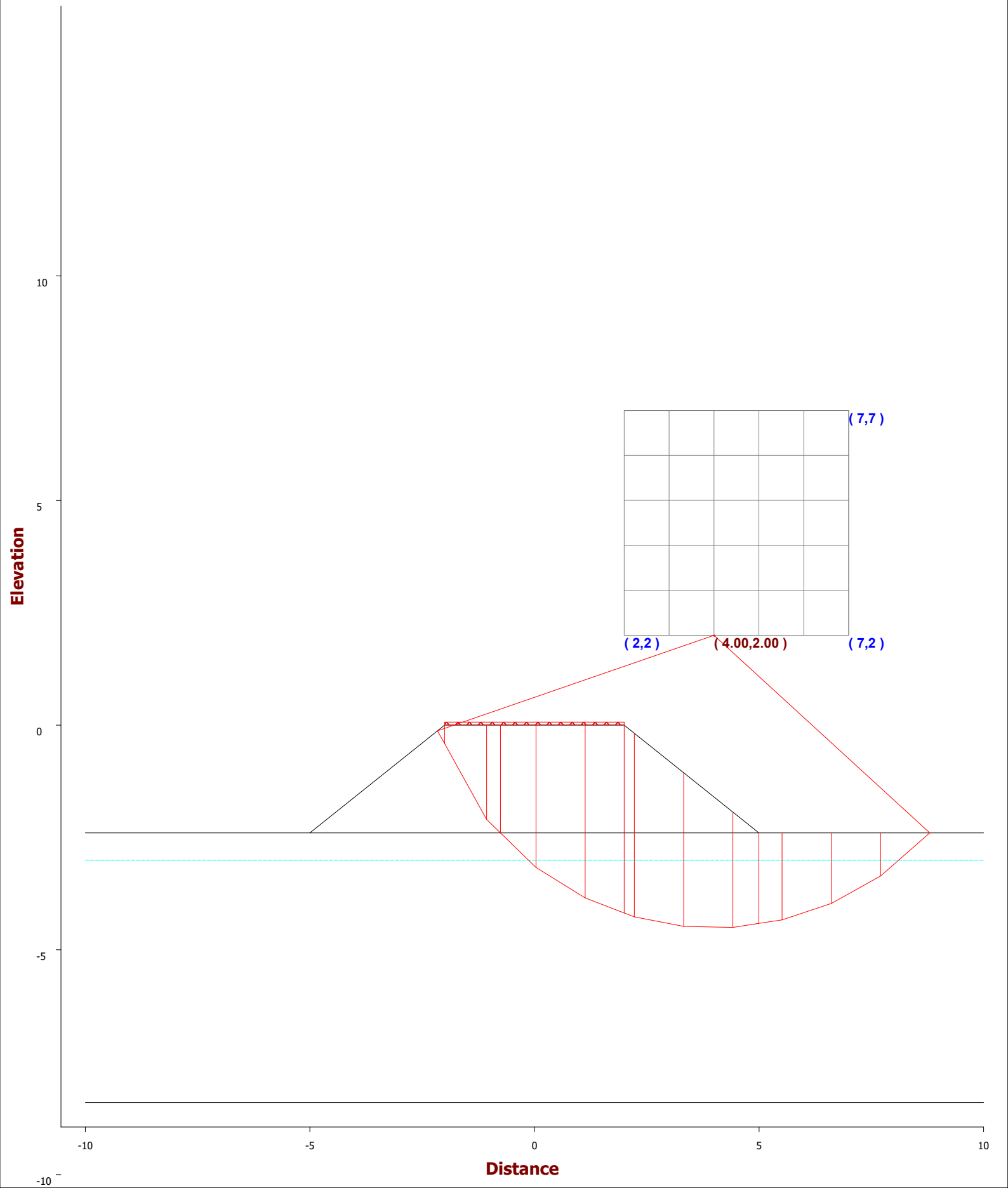
Non-Circular Search : by Random

No of Slice = 10

Min Depth of Tallest Slice = 0.000
No. of Direction = 8
Moving Length = 0.000
Divide Step = 3
X Axis = 0.000 Y Axis = 0.000

Point No.	X Coord.	Y Coord.

The Angel
NST
Detchat Suwanmanee
FS. by Ord / Jan / Bis / Spe
2.251/2.134/2.334/2.330



GERD

KUslope Version 2.0

File Name : angel NST.ksd Time : 12:58:41 Date : 17/9/2023

****

PROJECT : The Angel
LOCATION : NST
ENGINEER : Detchat Suwanmanee

****

SOIL PROPERTIES

No of Boundary Line = 3

Soil No.	Cohesion	Fric. Angle	Unit Weight
1	2.000	0.000	1.650
2	1.500	15.000	1.600
3	0.000	0.000	0.000

GEOMETRY

Line No.	Points No.	X Coord.	Y Coord.
1	1	-10.000	-8.400
1	2	10.000	-8.400
2	1	-5.000	-2.400
2	2	5.000	-2.400
3	1	-10.000	-2.400
3	2	-5.000	-2.400
3	3	-2.000	0.000
3	4	2.000	0.000
3	5	5.000	-2.400
3	6	10.000	-2.400

BOTTOM LINE

Bottom Line No. = 1

SEEPAGE CONDITION : Use Phreatic Surface

Unit Weight of Water = 1.000

No Point of Water Table = 2

Point No.	X Coord.	Y Coord.
1	-10.000	-3.000
2	10.000	-3.000

LOAD EFFECT

External Load

-Strip Load

Load No.	Magnitude	Begin X	End X
1	1.000	-2.000	2.000

SEARCH CONDITION

Passing Criteria = 0.01000

Circular Search : by Grid

No of Circle = 10

No of Slice = 10

Min Depth of Tallest Slice = 0.000

No of Add Radii = 0

Point 1 Coord.X = 2.000 Point 1 Coord.Y = 2.000

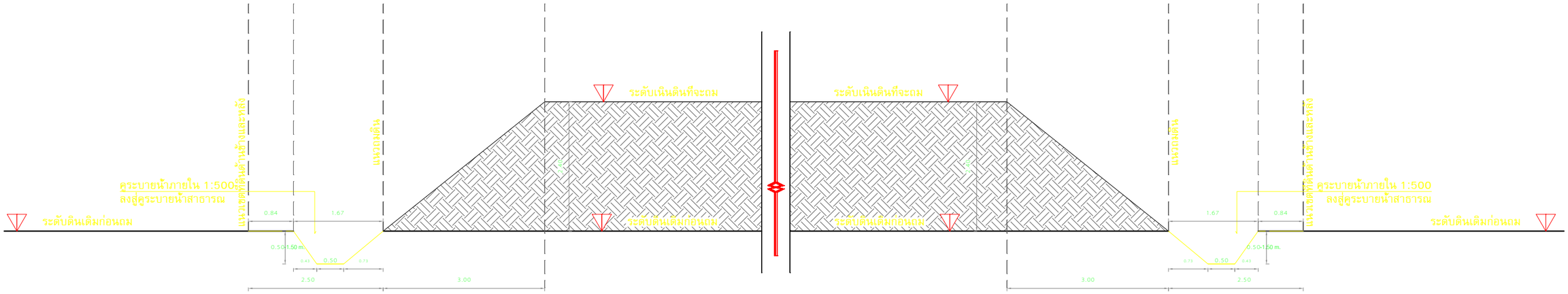
Point 2 Coord.X = 7.000 Point 2 Coord.Y = 2.000

Point 3 Coord.X = 7.000 Point 3 Coord.Y = 7.000

No of Divisions Between Point 1 and 2 = 5
No of Divisions Between Point 2 and 3 = 5

Non-Circular Search : by Random
No of Slice = 10
Min Depth of Tallest Slice = 0.000
No. of Direction = 8
Moving Length = 0.000
Divide Step = 3
X Axis = 0.000 Y Axis = 0.000

| Point No. | X Coord. | Y Coord. |



แปลนรูปตัด A - A

,k9iklj;o 1 : 75

Project name	ขออนุญาตถมดิน	Architect		Drawing title	Drawing no. 4
Location	หมู่ที่ 10 ต.ปากพูน อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช	Structure eng.			
Owner	บ.ดิน เอ็นเตอร์ไพรส์ 14 จำกัด	Drawing by		Date 26/03/64	Drawing total 4
Checked by	Approved by	Electrical eng.			
		Mechanical eng.		แบบแผ่นนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้หรือแพร่โดยมิได้รับอนุญาต	