



ความจุทานิคมกรรมปฏิพีร่าหรับกาณิณคธาสน

โดย รค.ดร.วรากร ไม้เรียง  
ภาคอิหวิคอิกรรณโยธา มหาอิษาลัยเกษตรควิสุตร

SLOPE STABILITY ANALYSIS

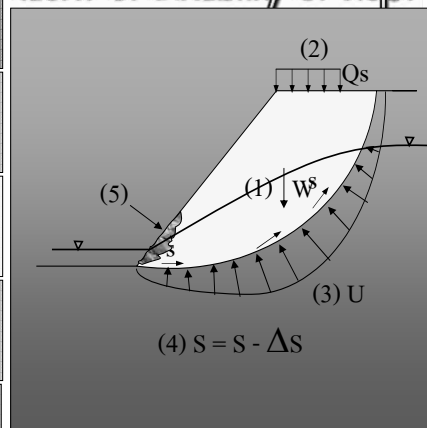
## ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับลาดดิน



## สาเหตุของการพังทลายของลาดดิน

### Causes of Instability of Slope

1. น้ำหนักดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  
Gravity Force of Soil Mass
2. แรงกระทำภายนอก  
External Loads
3. แรงดันน้ำในมวลดิน  
Pore Water Pressure in Soil Mass
4. การสูญเสียกำลังของดิน  
Loss of Soil Strength
5. การผุพังและการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำและลม  
Weathering and Erosion from Water of Wind



## ประวัติการพิบัติที่มีการสูญเสียชีวิต

YEAR	LOCATION	TYPE	DEATHS
1556	Hsian, China	Quake-triggered landslides	1,000,000
1920	Kansu Province, China	Quake-triggered landslides, caves collapes	200,000
1962	Mt. Huascarán, Peru	Ice avalanche, debris flow	4,000
1963	Vaiont Dam, Italy	Landslide into reservoir	2,000
1970	Mt. Huascarán, Peru	Avalanche, debris flow after quake	25,000

## ตัวอย่าง Debris Flow จ.ฉะเชิงเทรา



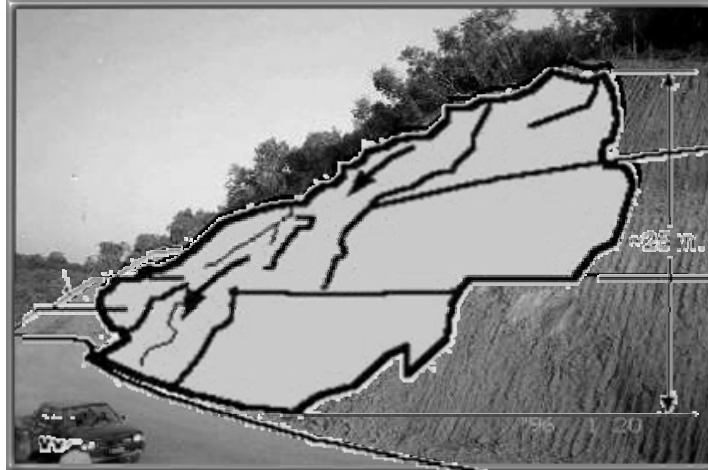
### ตัวอย่างการพังทลายของขุด



### ตัวอย่างการพังทลายของเขาดิน อ.พิจิตร



## ตัวอย่างการพิบัติของไหล่เขา



## การจำแนกประเภทการพิบัติ



1. การร่วงหล่น  
(Fall)

2. การเคลื่อนหมุน  
(Rotational Slides)

3. การเคลื่อนแนวระนาบ  
(Translational Slides)

4. การเลื่อนไหล  
(Flows)

## การจำแนกประเภทการพิบัติ

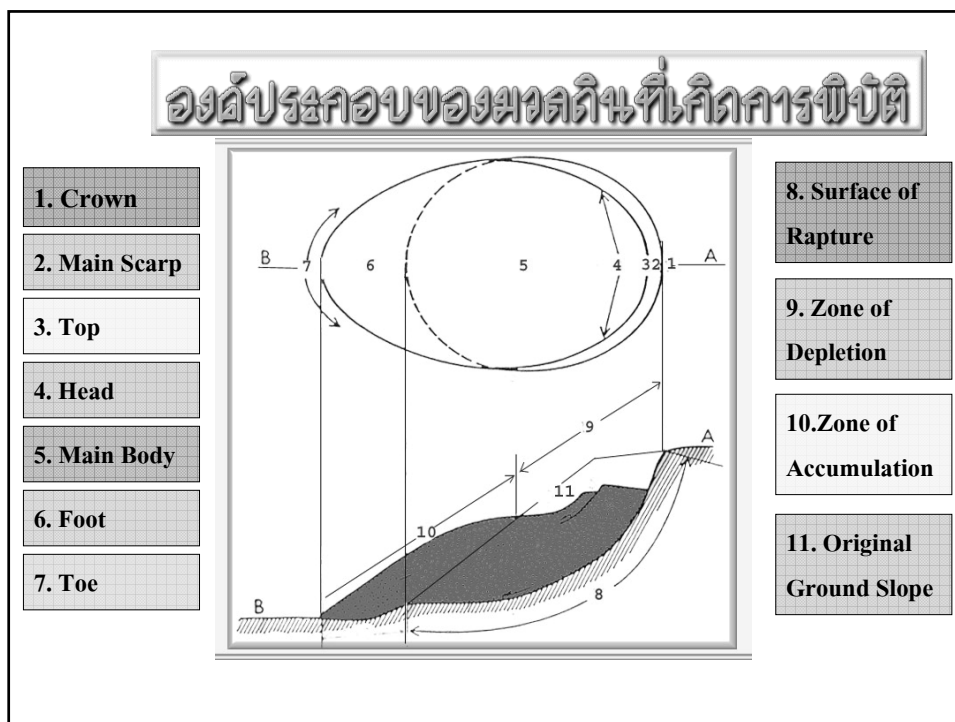
ในขณะที่ยุคต่อมา Varnes (1978) ได้รวบรวมการพิบัติจากงานทาง และจำแนกอย่างละเอียดโดยมีภาพสเกตเป็นสามมิติประกอบ ตามปกติการจำแนกการพิบัติจะพิจารณาจากลักษณะดังนี้

1. ลักษณะชั้นดินหรือชั้นหินที่เกี่ยวข้อง
2. ลักษณะรูปร่างการพิบัติ
3. อัตราการเคลื่อนตัวของการพิบัติ
4. ขนาดและปริมาณของมวลดินที่เกิด
5. อายุของการเกิดพิบัติ

## การจำแนกประเภทการพิบัติ

VERNES' LANDSLIDE CLASSIFICATION

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		ROCK	DEBRIS (coarse soil and rocks)	EARTH (fine soil)
I	FALLS	rock fall	debris fall	earth fall
II	TOPPLES	rock topple	debris topple	earth topple
III	ROTATIONAL	rock slump	debris slump	earth slump
	TRANSLATIONAL	a. rock block slide b. rock slide	debris slide	earth slide
IV	SPREADS	rock spread		earth lateral spread
V	FLOWS	bedrock flow	a. debris flow	a. wet sand flow
			b. debris avalanche	b. rapid earth flow
			c. block stream	c. earth flow
			d. solifluction	d. loess flow
			e. soil creep	e. dry sand flow
VI	COMPLEX	combination of above movements		



**ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์**

**INFORMATION NEEDED FOR STABILITY ANALYSIS**

1. ลักษณะภูมิประเทศของลาดชัน (Geometry of slope surface)
2. ลักษณะของชั้นดิน / หิน (Soil and/or Rock Profiles)
3. คุณสมบัติของดิน/หิน (Soil and/or Rock Properties)
  - ภายใต้เงื่อนไขของงานในสนาม
    - ดินบดอัดแน่น สำหรับงานคันทาง
    - ดินธรรมชาติ สำหรับงานฐานราก/ลาดดินธรรมชาติ

**ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์**  
**INFORMATION NEEDED FOR STABILITY ANALYSIS**

**4. ระดับน้ำใต้ดิน หรือ แรงดันน้ำในมวลดิน**

**(Ground Water Level or Pore Pressure)**

- จากข้อมูลชั้นดิน (Soil Boring)
- จากเครื่องมือตรวจวัด เช่น Piezometers
- จากการคำนวณหรือการแปรผลข้อมูล
- จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

**ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์**  
**INFORMATION NEEDED FOR STABILITY ANALYSIS**

**5. แรงกระทำจากภายนอก (External Loads)**

- น้ำหนักของเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง
- บริเวณกองวัสดุจากงานขุด
- สิ่งปลูกสร้างบริเวณข้างเคียง

**6. ข้อมูลของแรงสั่นสะเทือน (Seismicity Data)**

- Seismic Response curve
- Seismic Coefficient ( $K_s$ )



## ค่ากำลังของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ Soil Strength for Stability Analysis

ค่าพารามิเตอร์กำลังของดิน:

$c, \phi$  หาได้จากการทดสอบในสนามหรือในห้องปฏิบัติการ  
เพื่อนำไปจำลองสถานะที่เป็นจริงของดิน

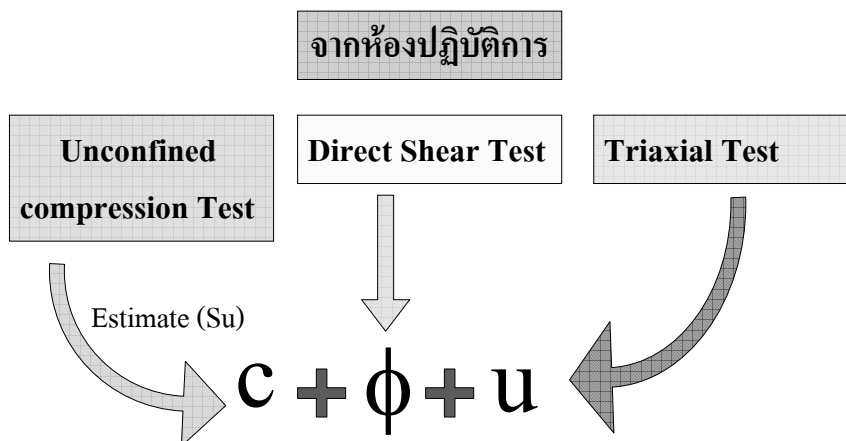
ตัวอย่างเช่น

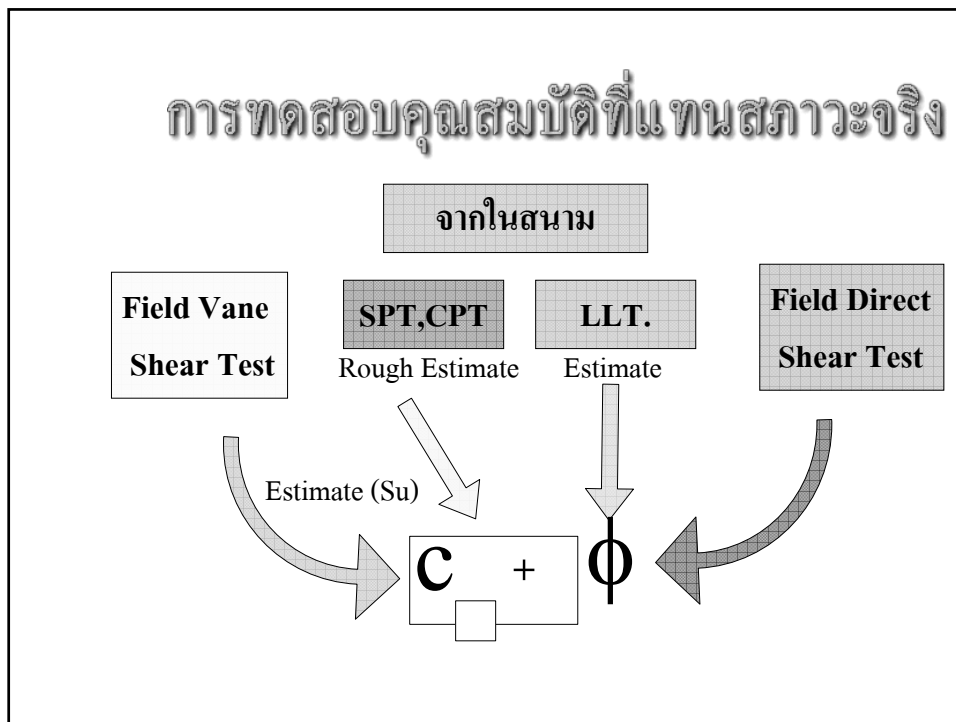
คันดินถม : ดินบดอัดตามข้อกำหนดในงานก่อสร้าง

ดินฐานราก : ดินคงสภาพตามธรรมชาติโดยการปรับปรุงน้อยมาก

ลาดดินธรรมชาติ : ดินหรือหินผุที่มีความแปรปรวนสูง

## การทดสอบคุณสมบัติที่แทนสถานะจริง





## สมการของดินที่ใช้ในกรณีวิเคราะห์

### 1. Total Strength ( $S_u, c, \phi$ )

กำลังรับแรงเฉือนของดินรวมความดันน้ำที่เกิดขึ้นภายใต้อัตราการบรรทุกทุกน้ำหนัก ความแน่นและความชื้นใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งการวัดหรือประมาณค่าแรงดันน้ำในมวลดินได้อย่างถูกต้องและแม่นยำทำได้ยาก ดังนั้นค่าแรงดันน้ำจะถูกพิจารณา รวมไปถึงค่ากำลังของดินในขณะทดสอบ

TWO STRENGTH CONCEPTS

## ผลของแรงดันที่ใช้ในกรณีวิเคราะห์

### 2. Effective Strength ( $\bar{c}$ , $\bar{\phi}$ , $u$ )

กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดินแยกจากความดันน้ำ เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าการณหรือควบคุมค่าแรงดันน้ำในมวลดินทำได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

## การเลือกใช้ความแข็งแรงของดินในการวิเคราะห์

สภาพการก่อสร้าง	วิธีที่ควรเลือกใช้	ข้อแนะนำ
1. ขณะสิ้นสุดงานก่อสร้างบนชั้นดินเหนียวอิ่มตัวระยะเวลาก่อสร้างสั้นเทียบกับการอัดตัวคายน้ำ	-ใช้ $S_u$ -analysis โดยให้ $\phi = 0$ และ $c = S_u$	-ใช้ $\bar{c}$ , $\bar{\phi}$ -analysis ในการตรวจสอบระหว่างการก่อสร้างเมื่อทราบค่าความดันน้ำจริงในสนาม
2. ความมั่นคงในระยะยาว เมื่อมีการไหลของน้ำผ่านคงที่ หรือระดับน้ำใต้ดินปกติ	-ใช้ $\bar{c}$ , $\bar{\phi}$ -analysis โดยใช้ความดันน้ำจาก Flownet หรือ F.E.M	

## การเลือกใช้ความแข็งแรงของดินในการวิเคราะห์

สภาพการก่อสร้าง	วิธีที่ควรเลือกใช้	ข้อแนะนำ
3. ขณะสิ้นสุดงานก่อสร้าง ของคันดินเป็นดินไม่อิ่มตัว (บดอัด) โดยระยะเวลาการก่อสร้างสั้น เทียบกับอัตราการระบายน้ำ	- ใช้ $C_u, \phi_u$ -analysis จาก UU Test หรือ $\bar{c}, \bar{\phi}$ โดยการประมาณค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้น	- ใช้ $\bar{c}, \bar{\phi}$ - analysis ในการตรวจสอบระหว่างการก่อสร้าง เมื่อทราบค่าความดันน้ำจริงในสนาม
4. ความมั่นคงในระยะกลาง (Intermediate time)	- ใช้ $\bar{c}, \bar{\phi}$ - analysis โดยการประมาณค่าความดันน้ำ	- ต้องมีการตรวจสอบความดันน้ำจริงในสนาม
4. ลาดดินธรรมชาติที่มีหลักฐานการเคลื่อนตัวในอดีต	- ใช้ $\bar{c}_r, \bar{\phi}_r$ จากการทดสอบ Residual strength	- ต้องมีการวินิจฉัยการเคลื่อนตัวในอดีตและตรวจสอบความดันน้ำในสนาม

## การทดสอบหาค่ารั้งของดิน

### TRIAxIAL TEST

#### 1. Unconsolidated Undrained (UU-Test)

กรณี ดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ รับแรงกระทำอย่างรวดเร็ว  
 กรณี ดินเหนียวบดอัดไม่อิ่มตัว รับแรงกระทำอย่างรวดเร็ว

## การทดสอบหาค่าแรงของดิน

**TRIAxIAL TEST**

1. Unconsolidated Undrained (UU-Test)
2. Consolidated Undrained (CU-Test)

กรณี ดินภายใต้แรงกดโดยรอบ(confining pressure) เช่น ดินตะกอนตามธรรมชาติ หรือ เชื้อนก่อสร้างเสร็จแล้ว ได้รับแรงกระทำอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน

## การทดสอบหาค่าแรงของดิน

**TRIAxIAL TEST**

1. Unconsolidated Undrained (UU-Test)
2. Consolidated Undrained (CU-Test)
3. Consolidated Drained (CD-Test)

กรณี วัสดุกรวดทราย , ดินเหนียวที่ถูกกดทับ รับแรงกระทำอย่างช้าๆ ไม่มีแรงดันน้ำส่วนเกินเกิดขึ้น

## วิธีวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน

1. วิธีวิเคราะห์ลาดอนันต์ (Infinite Slope)

2. Taylor Method

3. วิธีโมเมนต์

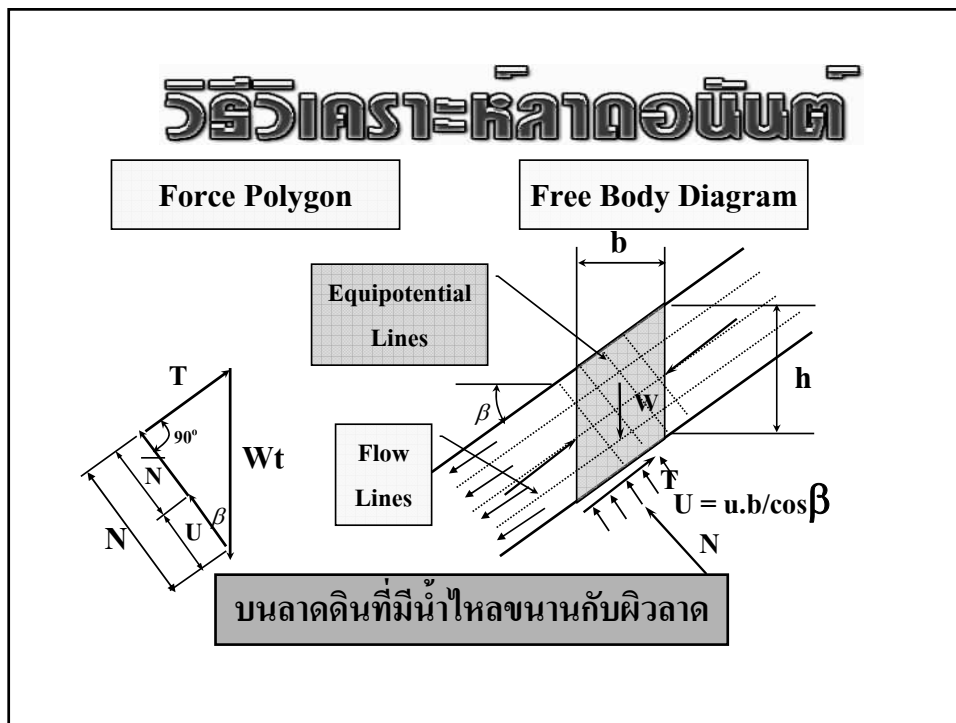
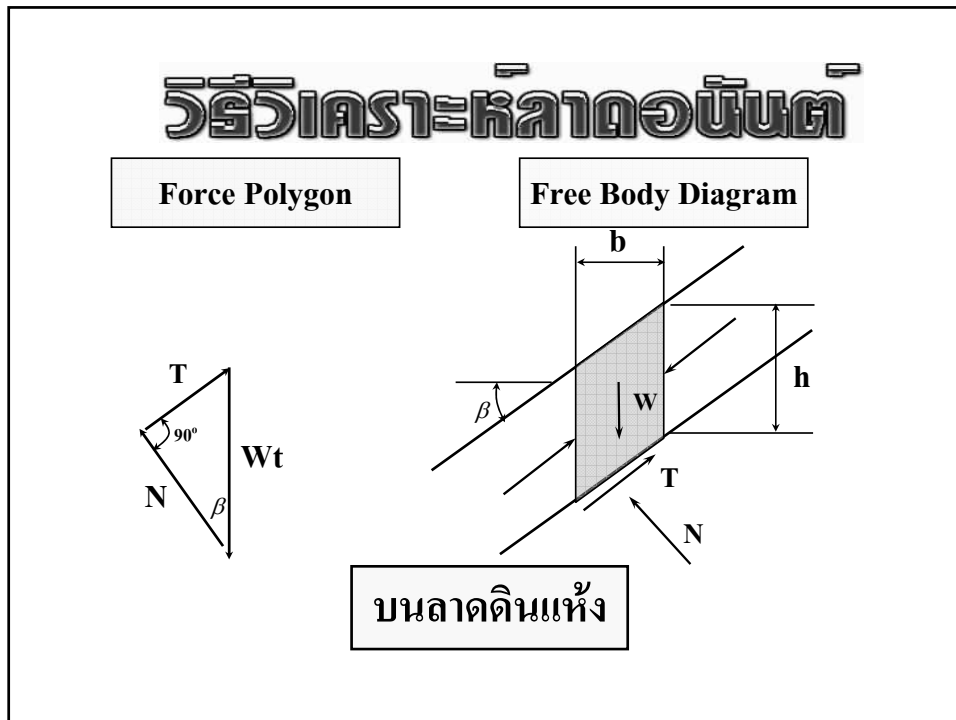
4. วิธี Ordinary Method of Slices

5. วิธี Simplified Bishop

6. Wedge Method

## วิธีวิเคราะห์ลาดอนันต์





## วิธีวิเคราะห์หาคัดอนันต์

สำหรับดินทราย เมื่อ

$$\tau = \sigma \tan \phi \quad \text{และ} \quad \bar{\tau} = (\sigma - u) \tan \bar{\phi}$$

บนลาดดินแห้ง

$$\text{F.S.} = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

บนลาดดินจมน้ำ

$$\text{F.S.} = \frac{\tan \bar{\phi}}{\tan \beta}$$

บนลาดดินที่มีน้ำไหลขนานกับผิวลาด

$$\text{F.S.} = \frac{\gamma_b}{\gamma_{\text{sat}}} \cdot \frac{\tan \bar{\phi}}{\tan \beta}$$

## วิธีวิเคราะห์หาคัดอนันต์

สำหรับดินเหนียว เมื่อ

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad \text{และ} \quad \bar{\tau} = \bar{c} + (\sigma - u) \tan \bar{\phi}$$

บนลาดดินแห้ง

$$\text{F.S.} = \frac{\bar{c}}{\gamma h \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{\tan \bar{\phi}}{\tan \beta}$$

บนลาดดินจมน้ำ

$$\text{F.S.} = \frac{\bar{c}}{\gamma_b h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{\tan \bar{\phi}}{\tan \beta}$$

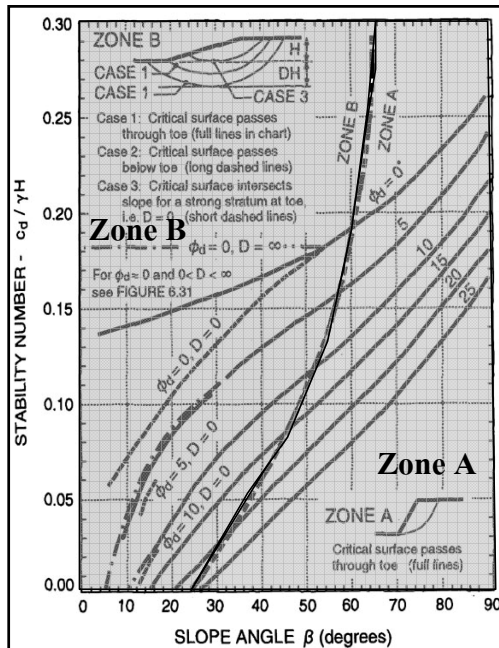
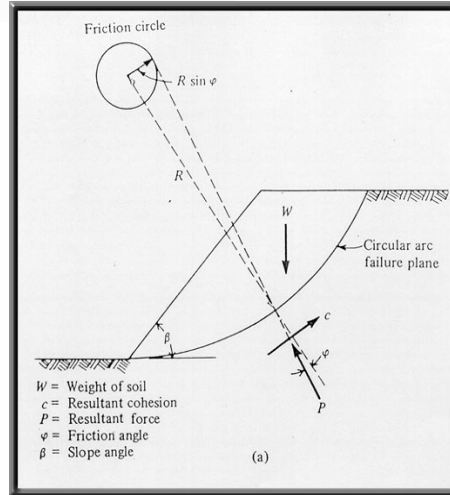
บนลาดดินที่มีน้ำไหลขนานกับผิวลาด

$$\text{F.S.} = \frac{\bar{c}}{\gamma_b h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} + \frac{\gamma_b \tan \bar{\phi}}{\gamma_{\text{sat}} \tan \beta}$$



# Taylor Method

วิธีนี้ใช้ในกรณีของผิวเคลื่อน  
 พังเป็นส่วนโค้งของวงกลม  
 ซึ่งเสนอโดย Prof. Taylor  
 (1943) มีข้อจำกัดที่จะใช้ได้  
 เฉพาะลาดดินที่มีเนื้อดินชนิด  
 เดียวและหน้าตัดไม่ยุ่งยาก  
 (Homogeneous simple  
 slope)



Stability Chart สำหรับดินเนื้อเดียว

Zone A = กรณีผิวของการ  
 พังไม่ตัดผ่านฐานราก

Zone B = กรณีผิวของการ  
 พังเคลื่อนตัดผ่านฐานราก

ตัวอย่างการคำนวณ

ให้หาอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินดังรูป

12 m.

$c = 15$  ตัน/ตร.ม.

$\phi = 25^\circ$

$45^\circ$   $\gamma = 1.8$  ตัน/ลบ.ม.

สมมุติ อัตราส่วนปลอดภัยของความฝืด (F.S. of Friction) ,  $F = 1.50$

จาก  $F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r}$

$$\phi_r = \tan^{-1} \left( \frac{\tan 25^\circ}{F_\phi} \right) = 17.27^\circ$$
  

$\beta = 45^\circ$  อ่านค่าจากรูปที่ 10 จะได้ Stability Number(Ns)

$$N_s = 0.072 = \frac{C_r}{\gamma H}$$

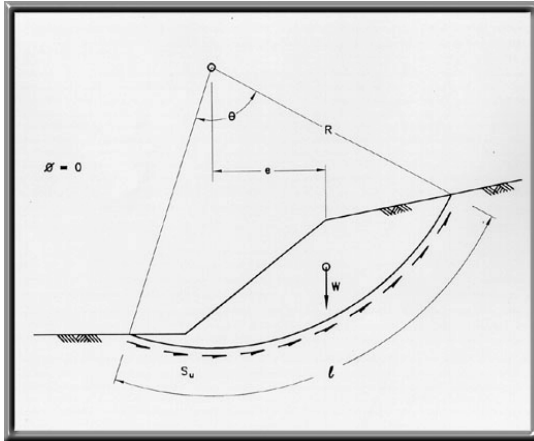
$$C_r = 0.072 \times 1.8 \times 12 = 1.555 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

$$F_C = \frac{C}{C_r} = \frac{1.5}{1.555} = 0.965 < F_\phi = 1.50$$

ดังนั้น ค่าที่สมมุติยังไม่ถูกต้อง

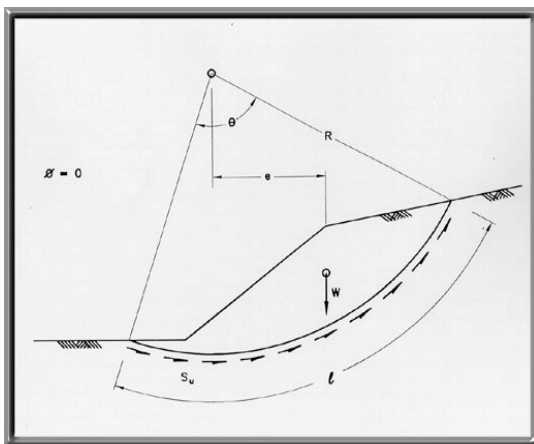
สมมุติ F ใหม่แล้วทำตามขั้นตอนเดิม

## วิธีไมเมานต์



กรณีที่ผิวเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลมในชั้นดินเหนียวที่มีการก่อสร้างโดยรวดเร็ว  
(Undrained Strength Analysis,  $S_u$ )

## วิธีไมเมานต์



$$F.S. = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Driving Moment}} = \frac{M_r}{M_D}$$

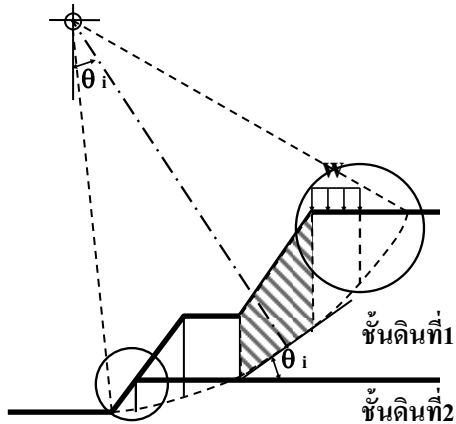
$$M_r = S_u \cdot \lambda R$$

$$M_D = W \cdot e$$

$$\lambda = \frac{\theta}{360} (2 \pi R)$$

$$F.S. = \frac{S_u \cdot \lambda R}{W \cdot e}$$

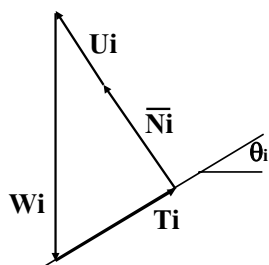
## Ordinary Method of Slices



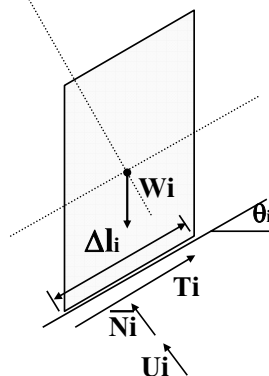
ใช้ได้กับลักษณะผิวเคลื่อนได้  
หลายลักษณะ ทำได้โดยการแบ่ง  
มวลดินในผิวเคลื่อนพัง (Sliding  
mass) ออกเป็นชั้นๆ ตามแนวตั้ง  
จากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อน  
ด้านล่าง โดยการนำเอาแรงที่  
กระทำต่อดินในแต่ละชั้นซึ่งอยู่ใน  
สภาพสมดุลมาพิจารณา

## Ordinary Method of Slices

Force Polygon



Free Body Diagram



# Ordinary Method of Slices

**Normal Force**

$$\bar{N}_i = W_i \cdot \cos \theta_i - U_i$$

**Sliding Force**

$$T_i = W_i \cdot \sin \theta_i$$

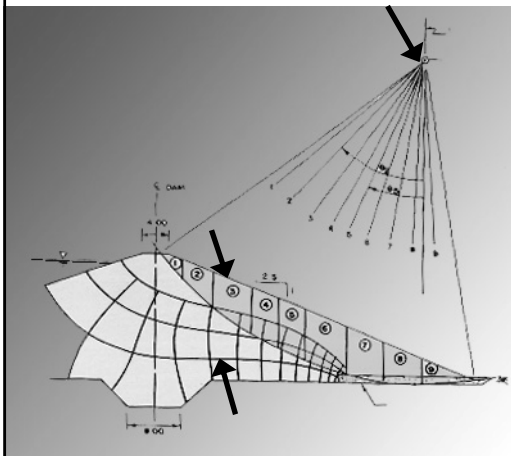
**Resisting Force**

$$R_i = \bar{c} \cdot \Delta l_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \cdot \tan \bar{\phi}$$

$$F.S. = \frac{\text{Resisting force}}{\text{Sliding force}} = \frac{\bar{c} \cdot \Delta l_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \bar{\phi}}{W_i \cdot \sin \theta_i}$$

# Ordinary Method of Slices

ตัวอย่างการคำนวณ



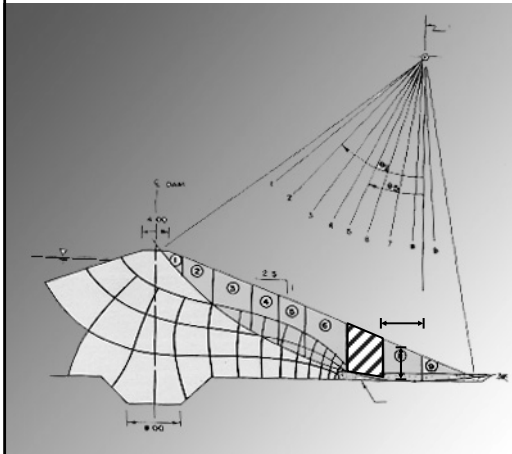
1.เขียน Flownet ของน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อน

2.เลือกจุดศูนย์กลางและรัศมีของวงกลม

3.แบ่งมวลดินเหนือผิวเคลื่อนพังเป็นชิ้นๆ

# Ordinary Method of Slices

ตัวอย่างการคำนวณ



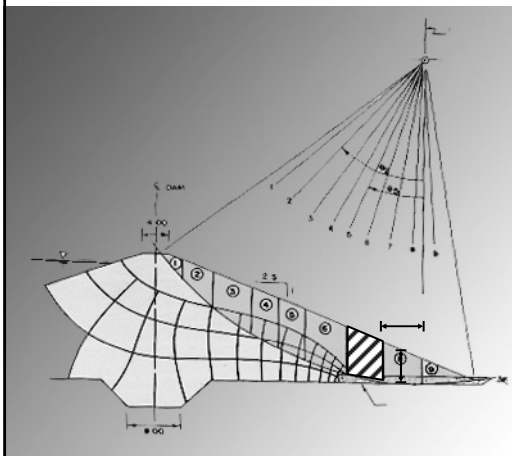
4. วัดความกว้าง ความสูงเฉลี่ย  
ของแท่งดิน

5. คำนวณน้ำหนักของแท่งดิน

6. คำนวณแรงต้านที่เกิดจาก  
cohesion

# Ordinary Method of Slices

ตัวอย่างการคำนวณ



7. คำนวณแรงดันดิน และ  
แรงดันน้ำตั้งฉากผิวเคลื่อน

8. คำนวณแรงต้านที่เกิดจาก  
friction

9. คำนวณแรงจุดลงตาม  
แนวขนานผิวเคลื่อน

10. คำนวณอัตราส่วนปลอดภัย

Ordinary Method of slices													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Slice No.	c (T/m2)	$\phi$ (deg.)	b (m.)	$\theta$ (deg.)	h (m.)	$h_w$ (m.)	$\Delta l$ (m.)	W (T)	$c\Delta l$ (T)	$\cos\theta$ (T)	U (T)	$(W \cos\theta - U) \tan\phi$	$W \cdot \sin\theta$
1	1.5	25	2.2	49	2.24	0	5.55	8.63	8.32	5.66	0	2.64	6.51
2	1.5	25	4.44	43	4.29	0	6.01						
3	1.5	25	5.55	34	6.44	1.77	6.76						
4	1.5	25	4.07	27	7.54	3.19	4.61						
5	1.5	25	3.89	23	7.7	3.34	4.21						
6	1.5	25	5.92	16	7.42	1.73	6.12						
7	0	30	5.55	10	6.27	0	5.68						
8	0	30	5.92	2	4.67	0	5.93						
9	0	30	5.56	-5	2.08	0	6.75						

Calculation Steps

$(W \cos\theta - U) \tan\phi + c\Delta l - W \sin\theta = 2.64 + 8.32 - 6.51 = 4.45$

Ordinary Method of slices													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Slice No.	c (T/m2)	$\phi$ (deg.)	b (m.)	$\theta$ (deg.)	h (m.)	$h_w$ (m.)	$\Delta l$ (m.)	W (T)	$c\Delta l$ (T)	$\cos\theta$ (T)	U (T)	$(W \cos\theta - U) \tan\phi$	$W \cdot \sin\theta$
1	1.5	25	2.2	49	2.24	0	5.55	8.63	8.32	5.66	0	2.64	6.51
2	1.5	25	4.44	43	4.29	0	6.01	33.38	9.02	24.42	0	11.38	22.76
3	1.5	25	5.55	34	6.44	1.77	6.76	65.1	10.14	53.98	11.98	19.57	36.39
4	1.5	25	4.07	27	7.54	3.19	4.61	56.99	6.91	50.78	14.71	16.81	25.86
5	1.5	25	3.89	23	7.7	3.34	4.21	55.6	6.32	51.19	14.06	17.3	21.72
6	1.5	25	5.92	16	7.42	1.73	6.12	79.49	9.19	76.42	10.6	30.67	21.9
7	0	30	5.55	10	6.27	0	5.68	60.93	0	60	0	34.62	10.57
8	0	30	5.92	2	4.67	0	5.93	48.38	0	48.36	0	27.9	1.69
9	0	30	5.56	-5	2.08	0	6.75	20.25	0	20.18	0	11.64	-1.76
									49.9			172.54	145.63

F.S. = sum of col.(10+13)/sum of col. 14

= (49.9+172.54)/145.63 = 1.528

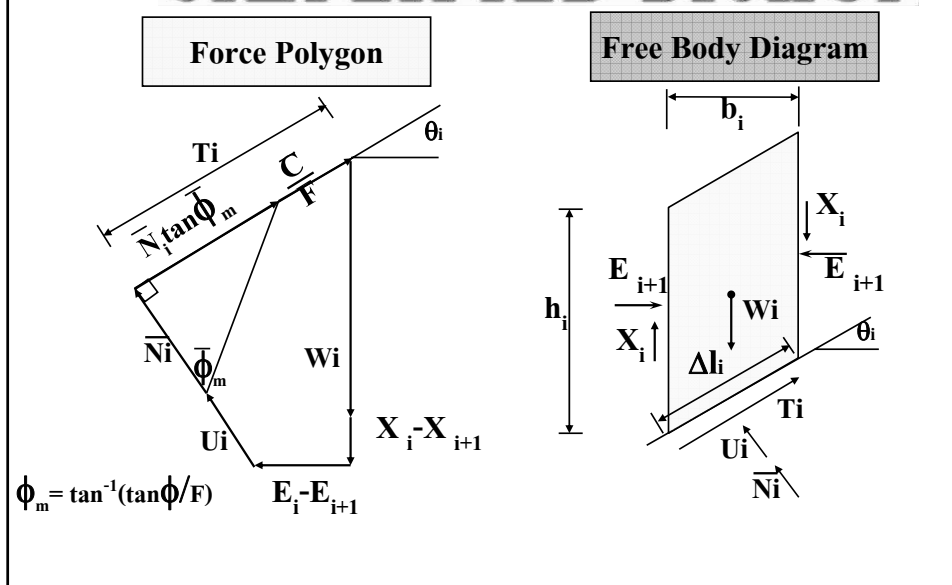
Calculation Steps

$\frac{49.9 + 172.54}{145.63} = 1.528$

# SIMPLIFIED BISHOP

มีการแบ่งมวลดินออกเป็นชั้น หรือแท่งเช่นเดียวกับ Slices Method แต่ได้พิจารณาแรงและสมดุของแรงละเอียดขึ้น คือ คัดสมดุของ Moment ของแท่งดินแต่ละแท่งด้วยแทนที่จะคิดเฉพาะแรงของมวลดินทั้งหมดแต่เพียงอย่างเดียว แล้วยังนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดินมาพิจารณาด้วย

# SIMPLIFIED BISHOP





# SIMPLIFIED BISHOP

จากองค์ประกอบของแรง จะได้สมการสุดท้ายดังนี้

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\overline{c}_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \tan \phi_i}{M \theta} \right]}{\sum_{i=1}^n \gamma b_i \cdot h_i \cdot \sin \theta_i}$$

เมื่อ  $M_\theta = \cos \theta + (\sin \theta \cdot \tan \phi) / F$

# SIMPLIFIED BISHOP

$$T_i = \frac{W_i - N_i + U_i}{\sin \theta_i} \quad N_i = \frac{b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) - (\overline{c}_i h_i \tan \theta_i) / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \cdot \tan \phi_i / F}$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\overline{c}_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \tan \phi_i}{M \theta} \right]}{\sum_{i=1}^n \gamma b_i \cdot h_i \cdot \sin \theta_i}$$

$M_\theta = \cos \theta + (\sin \theta \cdot \tan \phi) / F$





Simplified Bishop Calculation																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			14			15
								(2)x(4)		(4)x(7)	(9)+[(10)-(11)](6)	M <sub>θ</sub>			(12)/M <sub>θ</sub>			
Slice No.	c (T/m2)	φ (deg.)	bi (m.)	θi (deg.)	h (m.)	h <sub>w</sub> (m.)	tanφ (T)	c.b (T)	W <sub>s</sub> (T)	U (T)	c.b+(W <sub>s</sub> -U)tanφ (T)	T1	T2	T3	T1	T2	T3	W <sub>total</sub> /Slice
1	1.5	25	3.4	49.5	2	0	0.466	5.1	11.56	0	10.49	0.9	0.88	0.88	11.6	11.9	12	8.79
2	1.5	25	4.5	43	4.1	0	0.466	6.75	32.29	0	21.8	0.96	0.94	0.94	22.7	23.3	23.3	22.02
3	1.5	25	5.5	35.5	6	2	0.466	8.25	61.05	11	31.57	0.1	0.99	0.99	31.3	31.9	32	35.45
4	1.5	25	4	29	7	3	0.466	6	52.5	12	24.87	1.04	1.02	1.02	24	24.4	24.4	25.45
5	1.5	25	4	24	7.6	3.8	0.466	6	57.15	15.2	25.55	1.05	1.04	1.04	24.4	24.7	24.7	23.24
6	1.5	25	6.3	18	7.5	2.8	0.466	9.45	87.41	17.64	41.96	1.05	1.05	1.04	39.8	40.2	40.2	27.01
7	0	30	5.7	10.5	6.5	0	0.577	0	64.84	0	37.41	1.06	1.05	1.05	35.4	35.6	35.6	11.82
8	0	30	6	3.5	5	0	0.577	0	52.5	0	30.29	1.02	1.02	1.02	29.6	29.7	29.7	3.21
9	0	30	7.7	-3.5	2.5	0	0.577	0	33.69	0	19.44	0.97	0.98	0.98	20	19.9	19.9	-2.06
												Σ			239	241	242	154.94

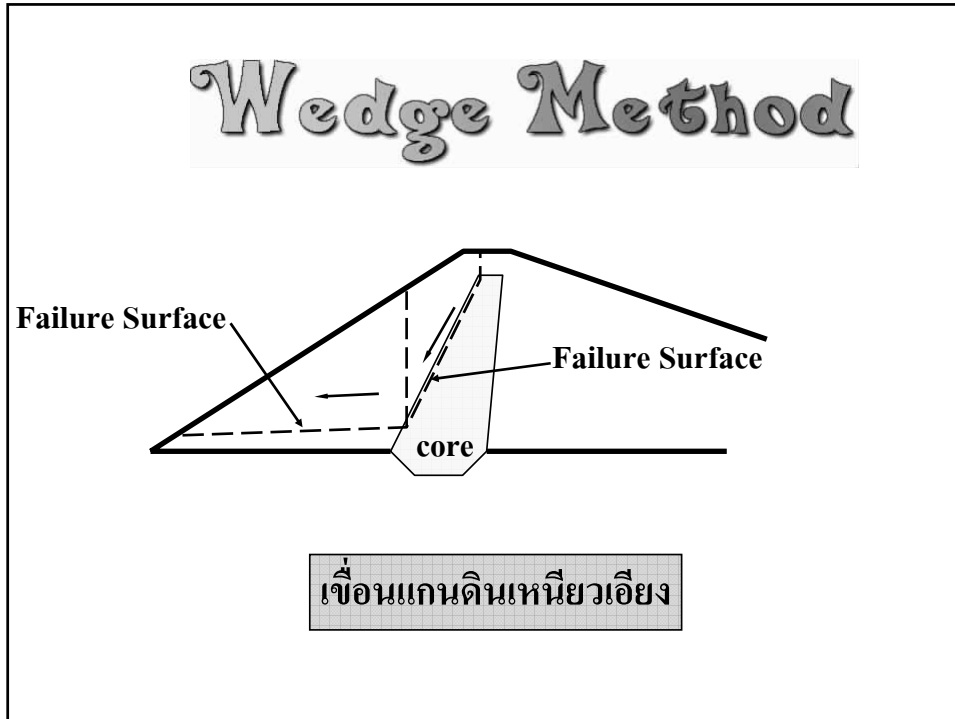
  

Trial no.	T2	T1	T3
Assume F	1.4	1.54	1.56
Calculate F	1.54	1.56	1.56
Difference of F	-0.1	-0.017	-0.002

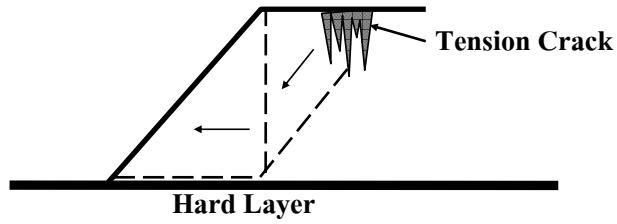
F.S.= sum of col.14/sum of col. 15

# Wedge Method

ในบางกรณีผิวการเคลื่อนพังอาจเกิดในลักษณะของเส้นตรงเส้นเดียวหรือหลายเส้นประกอบกัน โดยมีมวลดินที่เคลื่อนตัว มีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมประกอบกัน มากกว่าหนึ่งชิ้นขึ้นไป

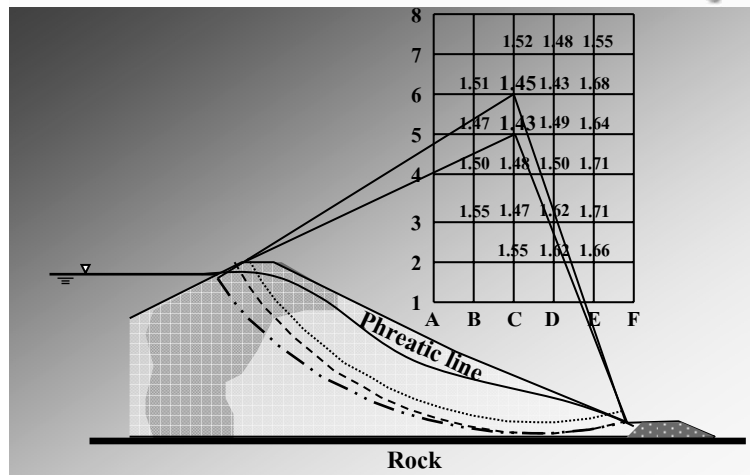


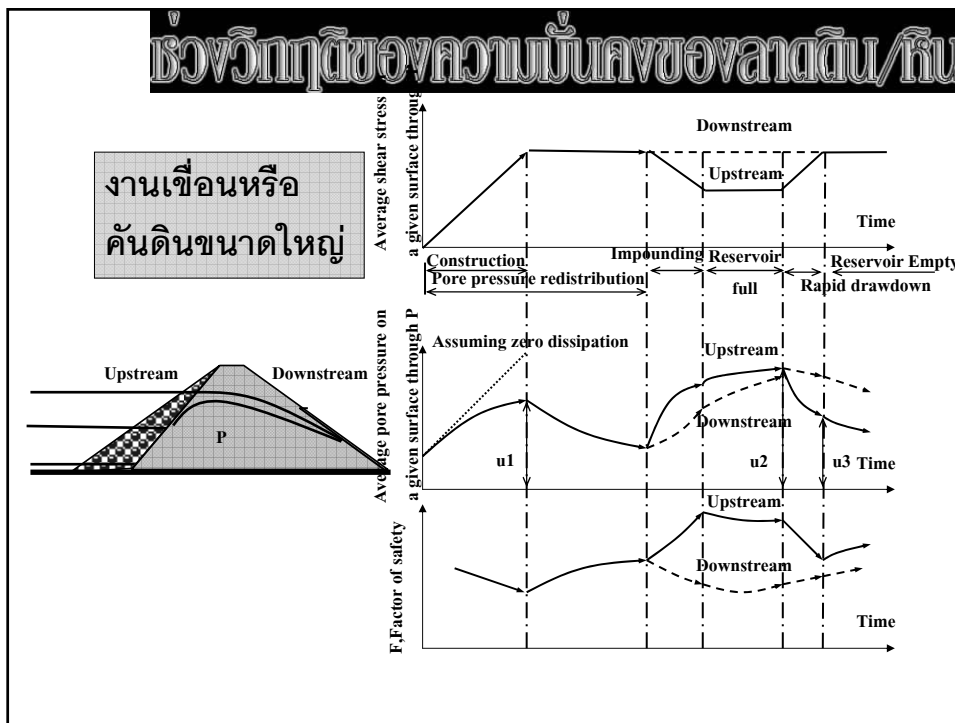
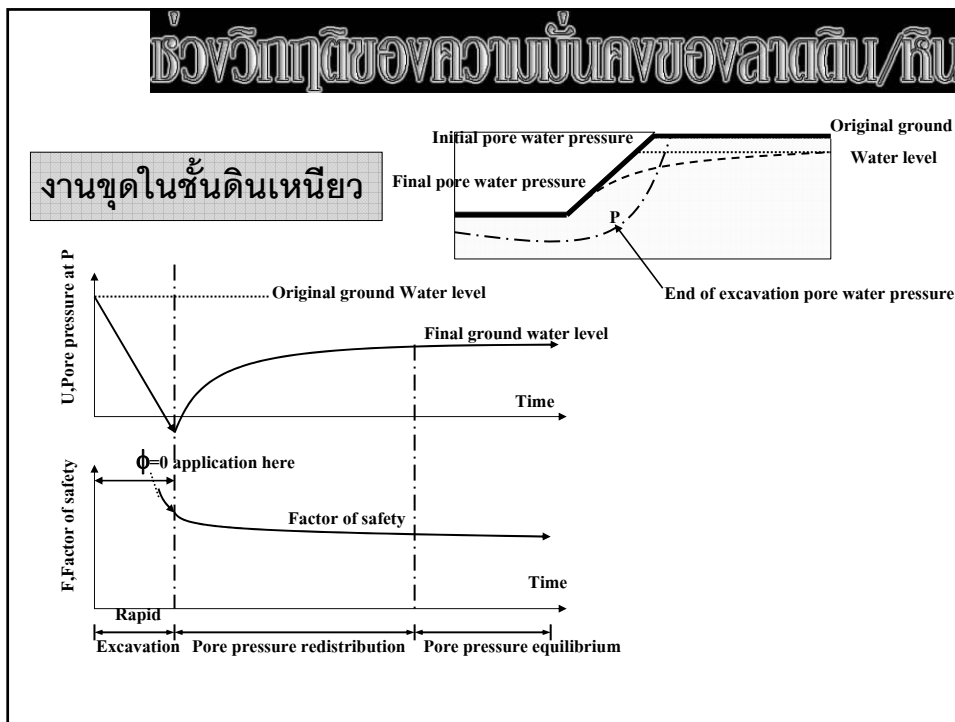
# Wedge Method

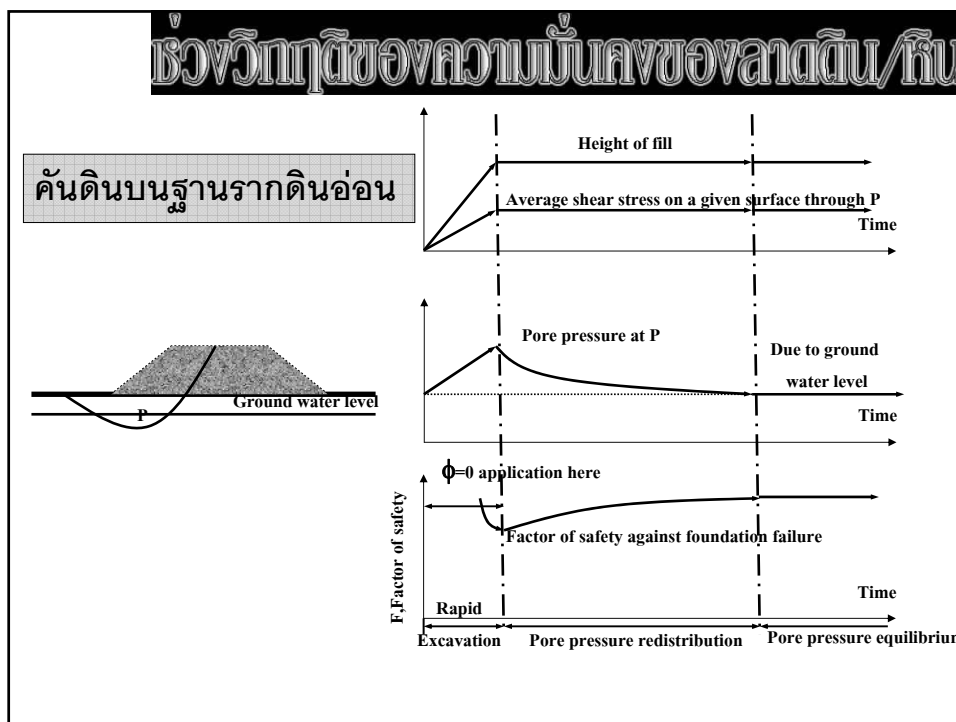


ลาดดินที่มีชั้นดินหรือหินแข็งบังคับด้านล่าง

# การหาอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด







## เกณฑ์การกำหนดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด

1. ความมั่นใจในข้อมูลที่ได้มาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ
2. ช่วงเวลาการใช้งานหรือช่วงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกรณีวิกฤตต่างๆ
3. ผลเสียหายที่อาจเกิดขึ้นภายหลังถ้ามีการพิบัติ
4. ฝีมือหรือคุณภาพการทำงานและการควบคุมในระหว่างการก่อสร้าง

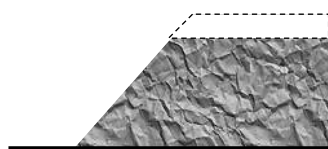


## ๕ เกณฑ์การกำหนดอัตราส่วนปอดกับด้าร์ด

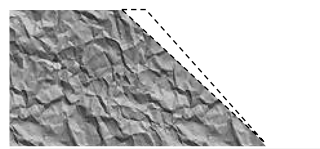
CASE	DESIGN	CONDITION	เงื่อนไขใหญ่	เงื่อนไขเล็ก
1	เพื่งก่อสร้างเสร็จ (End of Construction)	Static	1.3	1.5
		Earthquake	1.1	-
2	ระดับน้ำสูงสุด (Maximum water level)	Static	1.5	1.5
		Earthquake	1.1	-
3	ระดับเก็บกักปกติ (Normal water level)	Static	1.5	1.5
		Earthquake	1.2	-
4	ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	Static	1.3	1.3
		Earthquake	1.1	-
5	ระดับน้ำปานกลาง (Intermediate water level)	Static	1.5	-
		Earthquake	1.2	-

## การแก้ไขข้อมแนชมาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเตรียมถมฝั่งแดง

### 1. วิธีการการตัดเปลี่ยนลาด (Geometrical Methods)



ลดความสูง



ลดลาดชัน

## การแก้ไขข้อบกพร่องลาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเสริมความมั่นคง

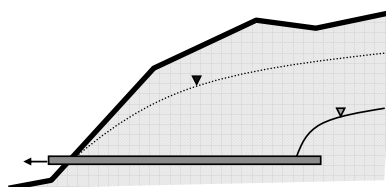
### 1. วิธีการการตัดเปลี่ยนลาด (Geometrical Methods)



การตัดส่วนบนแล้วถมส่วนล่าง

## การแก้ไขข้อบกพร่องลาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเสริมความมั่นคง

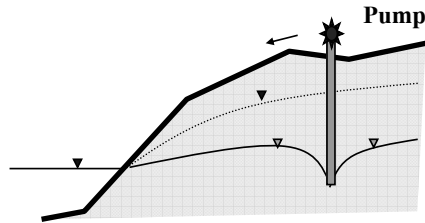
### 2. วิธีการระบายน้ำ (Hydrological Methods)



Horizontal Drain

# การแก้ไขข้อบกพร่องดินเหนียว/ลาดดิน เพื่อเตรียมความพร้อมดิน

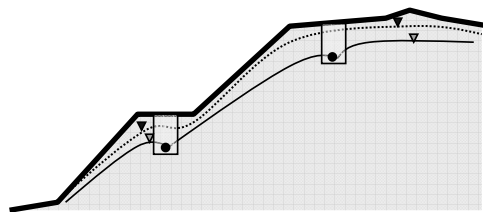
## 2. วิธีการระบายน้ำ (Hydrological Methods)



Pump Drain

# การแก้ไขข้อบกพร่องดินเหนียว/ลาดดิน เพื่อเตรียมความพร้อมดิน

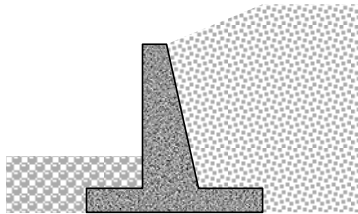
## 2. วิธีการระบายน้ำ (Hydrological Methods)



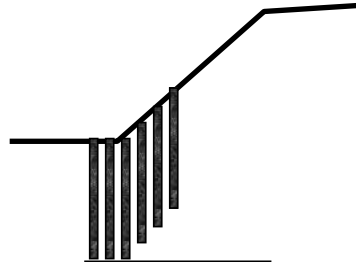
Surface Drain

### การแก้ไขข้อผิดพลาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเสริมความมั่นคง

#### 3. วิธีเพิ่มความแข็งแรง (Strength Improvement Method)



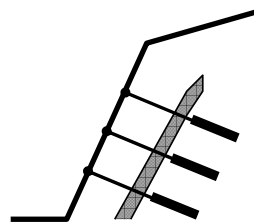
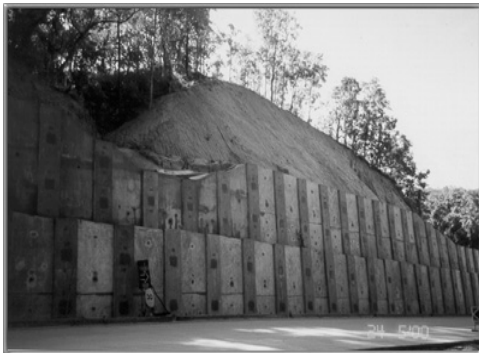
กำแพงกันดิน



เข็มเสริมแรง

### การแก้ไขข้อผิดพลาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเสริมความมั่นคง

#### 3. วิธีเพิ่มความแข็งแรง (Strength Improvement Method)



Rock Boiling

การแก้ไขซ่อมแซมลาดเขื่อน/ลาดดิน  
เพื่อเสริมความมั่นคง

3. วิธีเพิ่มความแข็งแรง (Strength Improvement Method)



Rock Berm

การแก้ไขซ่อมแซมลาดเขื่อน/ลาดดิน  
เพื่อเสริมความมั่นคง

3. วิธีเพิ่มความแข็งแรง (Strength Improvement Method)



Shotcrete

## การแก้ไขซ่อมแซมลาดเขื่อน/ลาดดิน เพื่อเสริมความมั่นคง

### 3. วิธีเพิ่มความแข็งแรง (Strength Improvement Method)



Gabion

## บทสรุป

• การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินมีความจำเป็นในการศึกษา ออกแบบ และควบคุมงานทางวิศวกรรมโยธา ทรัพยากรน้ำ ชลประทาน และสิ่งแวดล้อม ในหลายลักษณะงาน

• การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินมีความจำเป็นในการศึกษา ออกแบบ และควบคุมงานทางวิศวกรรม

## Conclusion

## บทสรุป

• การวิเคราะห์ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปลักษณะการพิบัติ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสมมติให้เกิดการพิบัติขึ้นก่อน แล้วจึงหาอัตราส่วนปลอดภัย(F.S.)ที่เกิดขึ้น

• การวิเคราะห์ด้วยการคำนวณจากตารางของวิธี Fellenius และ Modified Bishop จะเป็นพื้นฐานของความเข้าใจในการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

## Conclusion

## บทสรุป

• ปัจจัยที่สำคัญต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ความมั่นคงคือ การเลือกใช้รูปแบบการพิบัติ ความแข็งแรงของวัสดุ ความดันน้ำที่เกี่ยวข้อง และกรณีวิกฤติที่ครอบคลุมให้ครบถ้วน

• KU Slope เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยวิศวกรไทย จากหลักการของวิธี Modified Bishop จึงมีศักยภาพที่จะพัฒนาต่อเนื่องให้สอดคล้องกับปัญหาของประเทศไทย

## Conclusion

ว๊ว! จบพุงๆ....

Geotechnical Engineering Research & Development Center  
K.U. ERD

THE END

www.gerd.eng.ku.ac.th

CREATED BY PIRAT

Earth Slump



