



## วิชา 203352 ปรุพีกลศาสตร์ กำลังของดินทางวิศวกรรม

รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กทม 10900  
โทร 02-579-7565  
[www.gerd.eng.ku.ac.th](http://www.gerd.eng.ku.ac.th)

### หัวข้อบรรยาย

1. กำลังของมวลดินตามทฤษฎีของ Mohr-Coulomb
2. ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกำลังของดินในงานวิศวกรรมปรุพี
3. การวิเคราะห์หน่วยแรงด้วยวิธี Mohr's Circle และ Stress Path
4. พฤติกรรมระหว่างความเค้นและความเครียดของดิน
5. การทดสอบกำลังของดินในห้องทดลองและในสนาม
6. ค่ากำลังของดิน โดยประมาณ
7. ตัวอย่างการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับกำลังของดิน

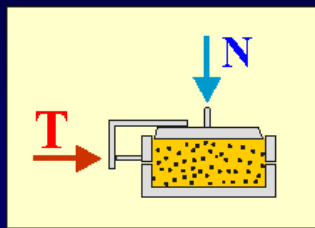
## 1. กำลังของมวลดิน หรือความแข็งแรงของมวลดิน

คือ ความสามารถสูงสุดของมวลดินในการรับแรงเฉือน ( Shear Strength) ของมวลดินนั้น (Soil Mass) ก่อนเกิดการพังทลาย

เนื่องจากการพังทลายของมวลดินเกิดขึ้นในลักษณะของแรงเฉือนเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่วัสดุทางวิศวกรรมอื่นๆ อาจเกิดการพังทลายหลักเป็นลักษณะอื่น เช่น

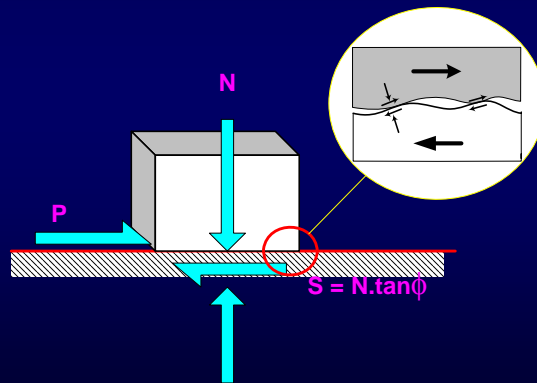
- เหล็กเสริมคอนกรีต      รับแรงดึง ( Tension)
- คอนกรีต โครงสร้าง      รับแรงอัด ( Compression)
- ไม้ โครงสร้าง              รับแรงดึง แรงดัด หรือแรงกด

## พังทลายเปรียบเทียบการทดสอบการพังทลายของวัสดุวิศวกรรม



## ทฤษฎีพื้นฐานของความฝืดระหว่างผิวสัมผัส

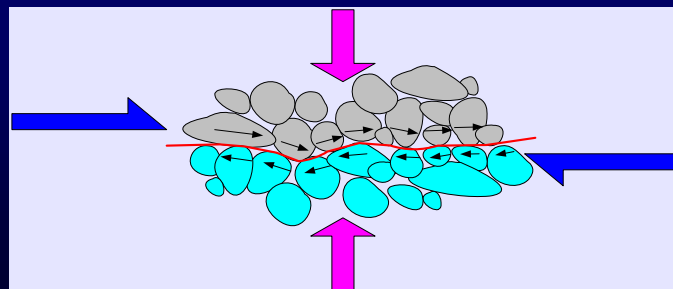
ถ้ามีแท่งวัตถุที่มีน้ำหนักกดทับใต้วางอยู่บนผิวฝืดข้อมจะต้องใช้แรง  
ผลักดันแนวราบที่เอาชนะความฝืดนั้นเพื่อให้แท่งวัตถุนั้นเคลื่อนที่ไปได้



## มวลดินที่เป็นเม็ดหยาบ (Granular Soils)

การรับแรงเฉือนภายในมวลดินที่เกิดจากความฝืดที่เกิดขึ้นบนระนาบ  
การพังทลาย(Failure Plane) ที่มีการเคลื่อนตัวสัมผัสกันระหว่างมวลดินที่  
เคลื่อนตัวจากการพังทลายและส่วนที่ไม่เคลื่อนนอกพื้นที่การพังทลาย มี 2 ส่วน

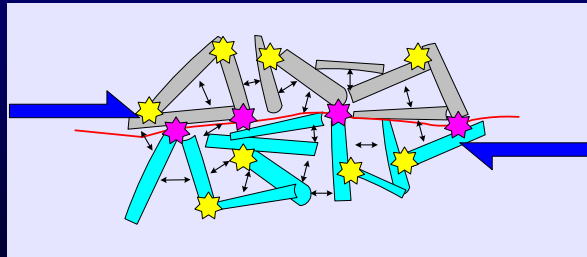
- ความฝืดที่ผิวหน้าสัมผัสระหว่างเม็ดดินเอง(Particle surface friction)
- การเกี่ยวยึดระหว่างเม็ดดิน(Particle interlocking)



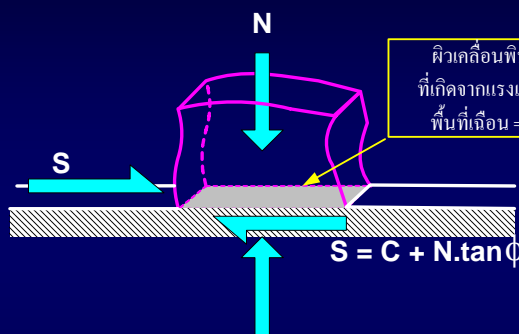
## มวลดินที่เป็นเม็ดละเอียด (Cohesive Soils)

กำลังรับแรงเฉือนภายในมวลดินที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากพันธะ (Bonds) ระหว่างเม็ดดินอาจมาจากสองส่วนคือ

- แรงดึงดูดระหว่างเม็ดดิน (Particle attractive force)
- ความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน (Cementation)



## กำลังของมวลดินโดยทฤษฎี “Mohr-Coulomb”



$$\tau = \text{Shearing strength} = S/A$$

$$\sigma = \text{Normal stress} = N/A$$

$$C = \text{Cohesion} = C/A$$

แรงต้านทานการเฉือนในขณะพิบัติ:  $S = N \cdot \tan \phi + C$

คิดเป็นหน่วยแรงต่อพื้นที่ โดยการหารด้วยพื้นที่รับแรงเฉือนทั้งหมด (A)

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi + c$$

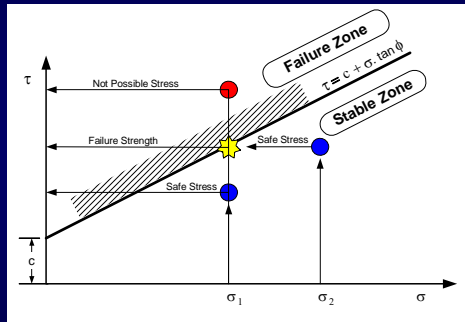
➔ Mohr-Coulomb's Equation

### Mohr-Coulomb Strength Envelope

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi + c$$

$$\rightarrow Y = a.X + b$$

Linear's Equation



$\tau$  = Shearing strength  
เทียบกับ Y - coordinate

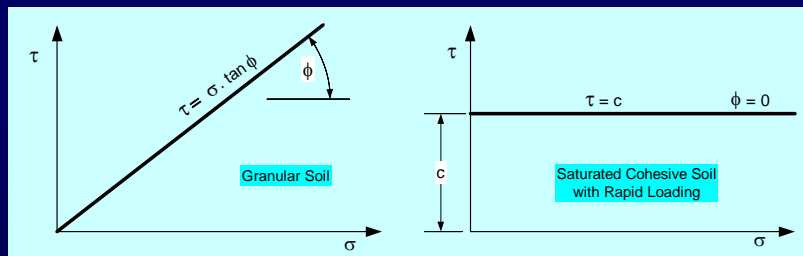
$\sigma$  = Normal stress  
เทียบกับ X - coordinate

$C$  = Cohesion  
เทียบกับ Y - intercept

สมการ **Mohr-Coulomb** เปรียบเสมือนเส้นตรงที่เป็นขีดจำกัดของกำลังของดิน สภาพหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดินหากยังต่ำกว่าเส้นนี้ มวลดินก็ยังมั่นคง หากสูงกว่าเส้นนี้มวลดินก็จะเกิดการพังทลาย

### Soil Strength Parameters (c, $\phi$ )

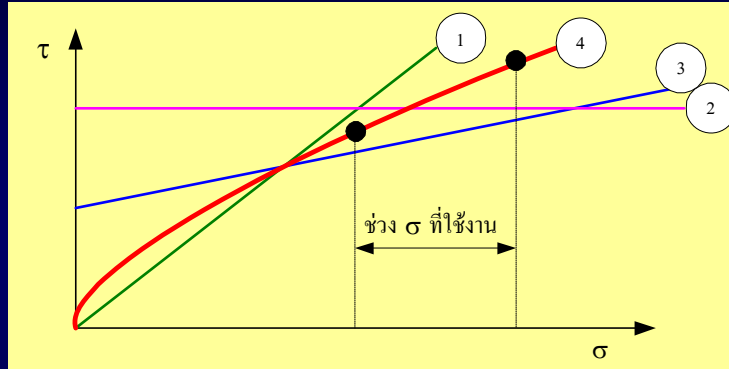
จากสมการเส้นตรง **Mohr-Coulomb** ซึ่งแทนคุณสมบัติเฉพาะของความแข็งแรงของดินนั้นๆ ค่าคงที่ซึ่งได้แก่ Y-intersect ( $c$ ) และ มุมของความชันของเส้นตรงนั้น ( $\phi$ ) จึงถือเป็นคุณสมบัติความแข็งแรงของดินที่เรียกว่า “**Soil Parameters**”



ดินทราย (Granular Soil) ปกติจะไม่มีค่าความเหนียวหรือความเชื่อมแน่น ( $c = 0$ ) แต่จะมุมของความเสียดทานภายในสูง ( $\phi = 35-45$ )

ดินเหนียว (Cohesive Soil) ถ้าอยู่ในสภาพอิ่มตัวและมีแรงกระทำโดยเร็ว ( $\phi = 0$ ) จะมีแต่ค่าความเหนียวเท่านั้น

## Soil Strength Parameters ( $c, \phi$ ) ของดินโดยทั่วไป



- ดินโดยปกติจะเป็นเส้นตรง Mohr-Coulomb Envelopes ที่แตกต่างกันไป ดังตัวอย่างของดินหมายเลข 1 ถึง 3 เป็นต้น แต่ดินบางประเภทเส้น Mohr-Coulomb Envelope ไม่ได้เป็นเส้นตรงเสมอไปดังเช่น หมายเลข 4 ดังนั้นจึงต้องทดสอบหาค่า  $c$  และ  $\phi$  เฉพาะช่วง  $\sigma$  ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยแรงที่ออกแบบและใช้งานจริงในสนามจึงจะให้ค่าที่ถูกต้อง

## ตัวอย่างที่ 1

ถ้าดินเหนียวปนทราย มีค่า  $c = 2.5$  ตัน/ตร.ม. และ  $\phi = 27^\circ$  ให้หาว่าในชั้นดินที่ระดับ A, B, และ C จะมีกำลังต้านทานต่อแรงเฉือนในแนวราบเท่าใด โดยให้คิดเป็น 2 กรณีคือระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำมาก และระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน

+ 0.00		
-4.00	● A	$\gamma_t = 1.7$ T/cu.m. $\gamma_{sat} = 1.9$ T/cu.m.
-6.00		
-8.00	● B	$\gamma_t = 1.8$ T/cu.m. $\gamma_{sat} = 2.0$ T/cu.m.
-10.00		
-12.00	● C	$\gamma_t = 1.85$ T/cu.m. $\gamma_{sat} = 2.10$ T/cu.m.

ตัวอย่างที่ 1

หาหน่วยแรงกดดินแนวตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ( $\bar{\sigma}_v$ ) แล้วหาค่า  $\bar{\tau} = \bar{c} + \bar{\sigma}_v \tan \bar{\phi}$

กรณีที่ 1 ระดับน้ำอยู่ต่ำมาก (ความดันน้ำไม่เกี่ยวข้อง)

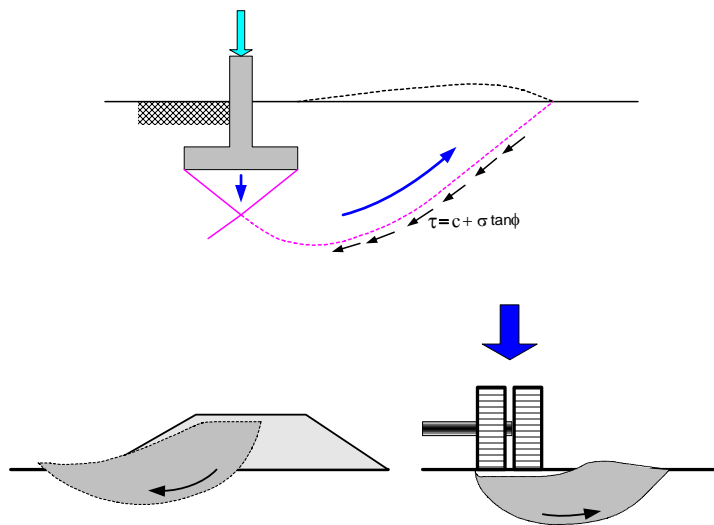
จุด	$\bar{\sigma}_v$ , (t/sq.m.)	$\bar{\tau} = (2.5) + \bar{\sigma}_v \tan 27^\circ$ (t/sq.m.)
A	$1.7 \times 4.0 = 6.8$	$2.5 + 6.8 \times \tan 27 = 5.96$
B	$6 \times 1.7 + 2 \times 1.8 = 13.8$	$2.5 + 13.8 \times \tan 27 = 9.53$
C	$6 \times 1.7 + 4 \times 1.8 + 2 \times 1.85 = 21.1$	$2.5 + 21.1 \times \tan 27 = 13.25$

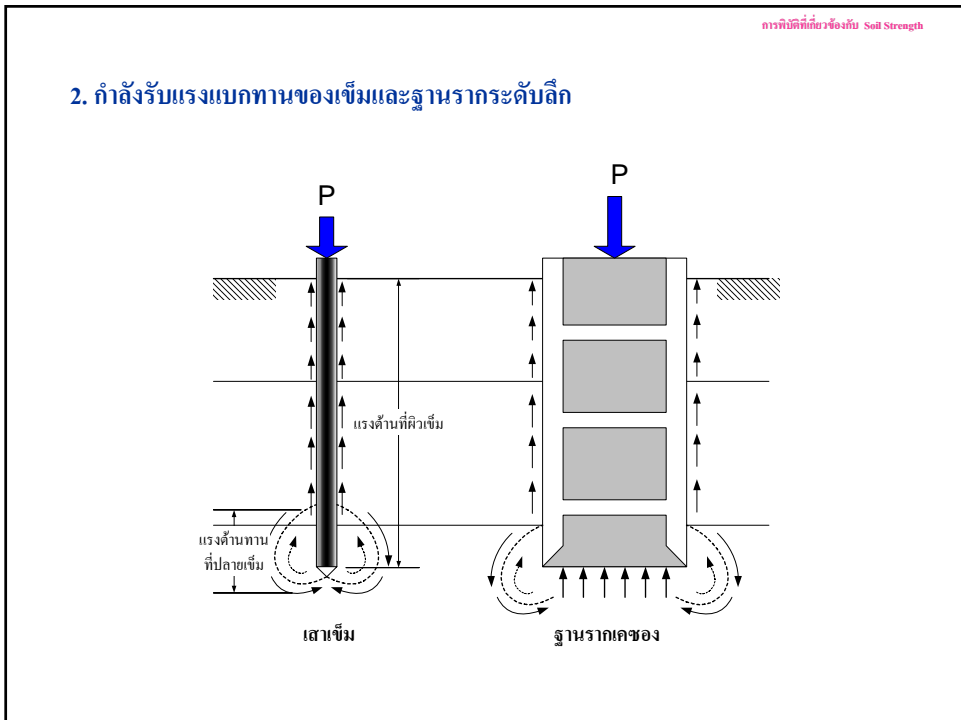
กรณีที่ 2 ระดับน้ำอยู่ที่ผิวดิน

จุด	$\bar{\sigma}_v$ , (t/sq.m.)	$\bar{\tau} = (2.5) + \bar{\sigma}_v \tan 27^\circ$ (t/sq.m.)
A	$0.9 \times 4.0 = 3.6$	$2.5 + 3.6 \times \tan 27 = 4.33$
B	$6 \times 0.9 + 2 \times 1.0 = 7.4$	$2.5 + 7.4 \times \tan 27 = 6.27$
C	$6 \times 0.9 + 4 \times 1.0 + 2 \times 1.1 = 11.6$	$2.5 + 11.6 \times \tan 27 = 8.41$

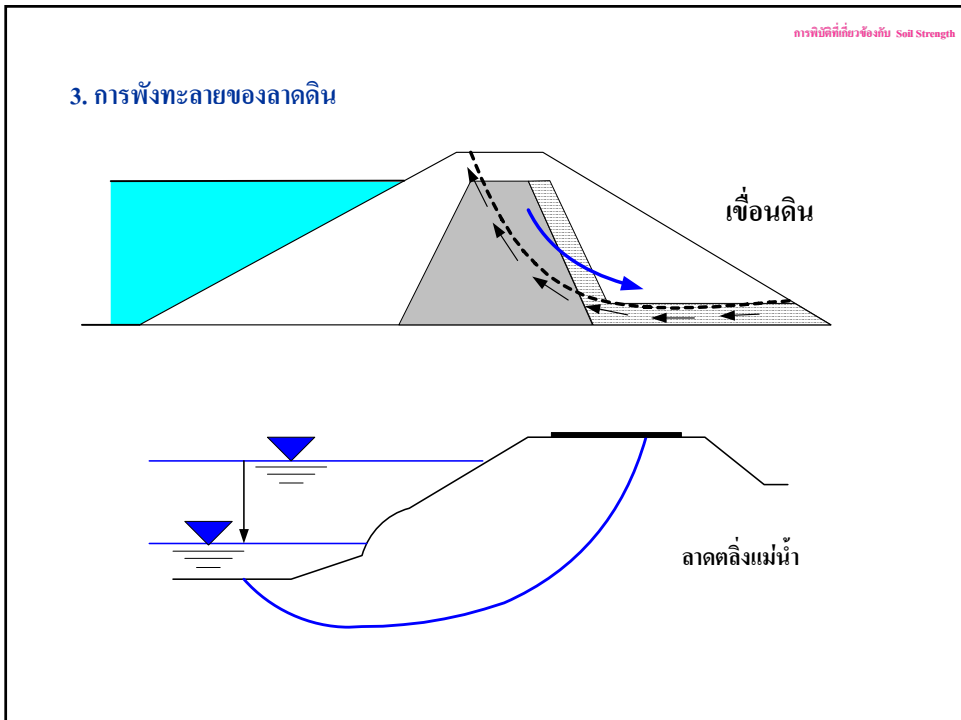
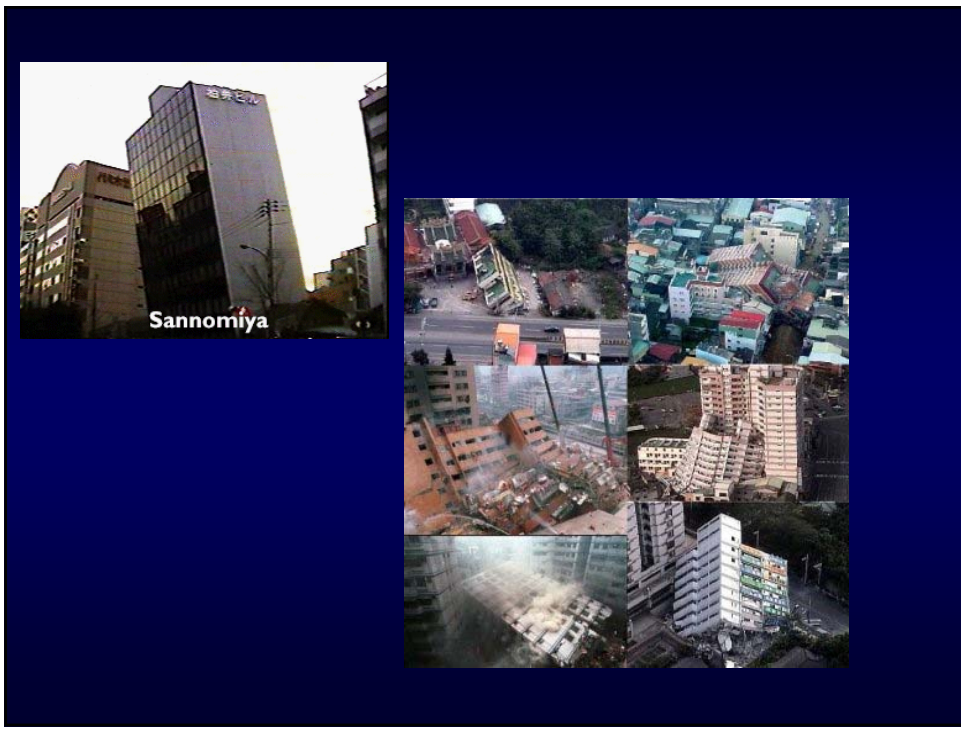
### การพิบัติที่เกี่ยวข้องกับ Soil Strength

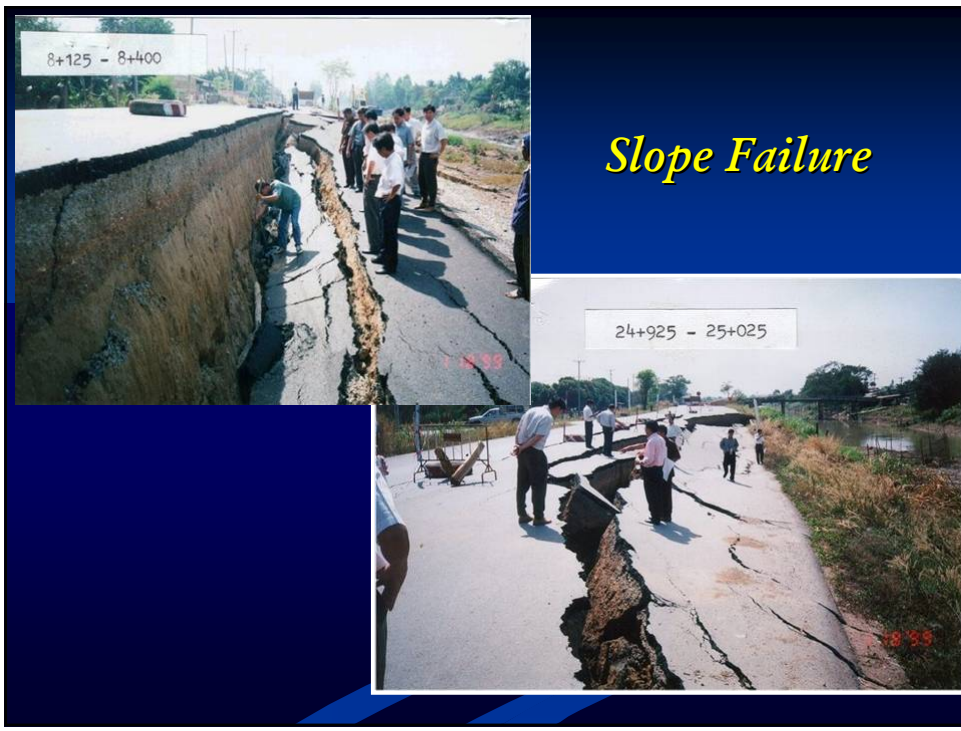
1. กำลังรับแรงแบกทานของดินฐานราก

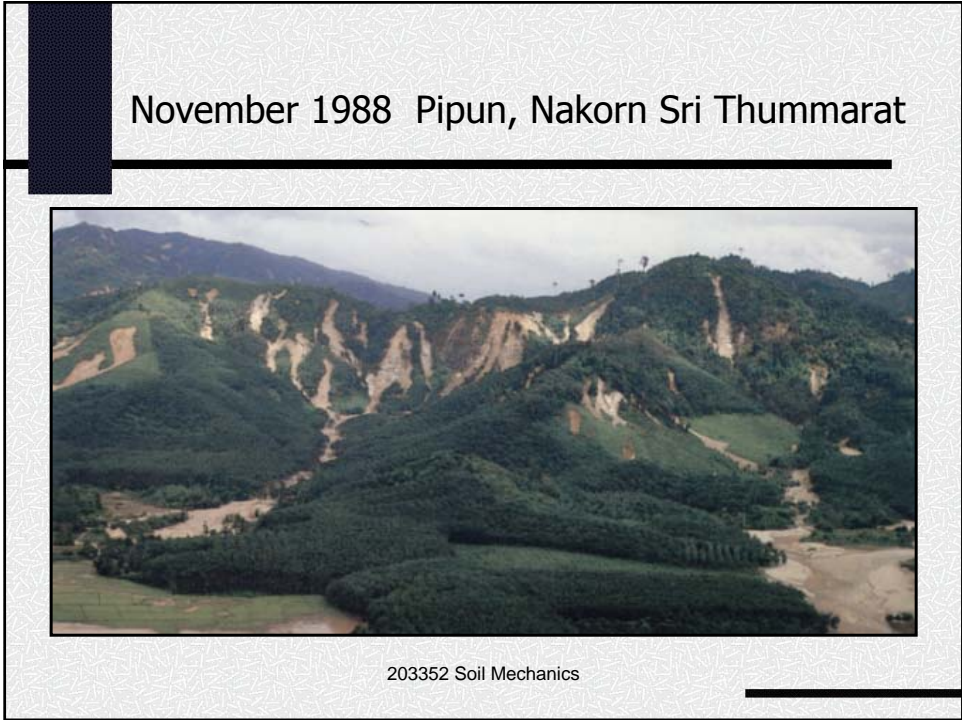
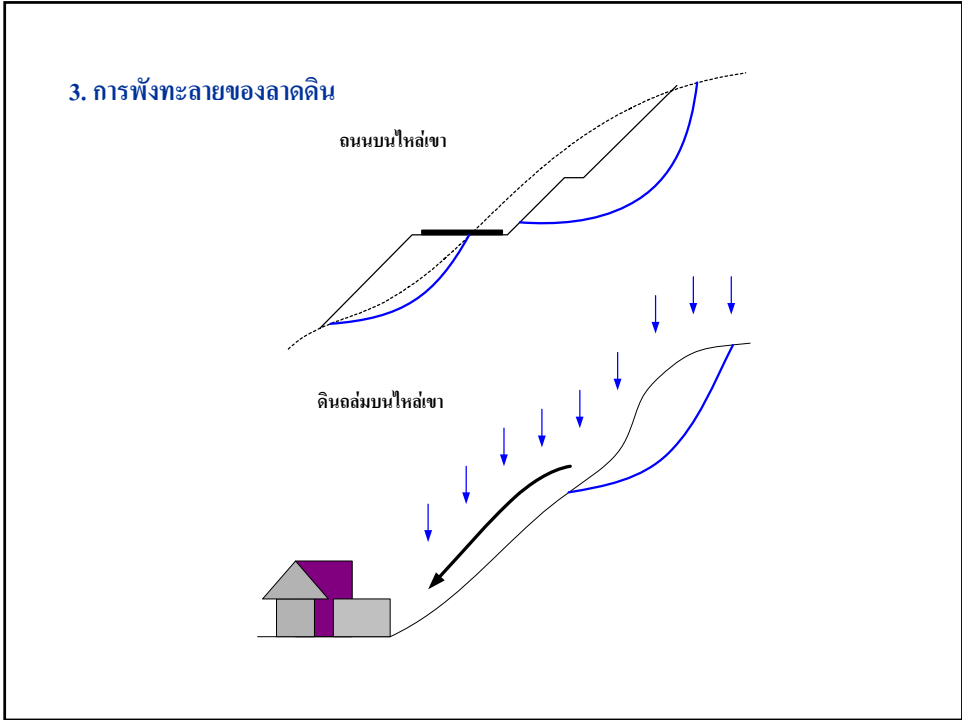




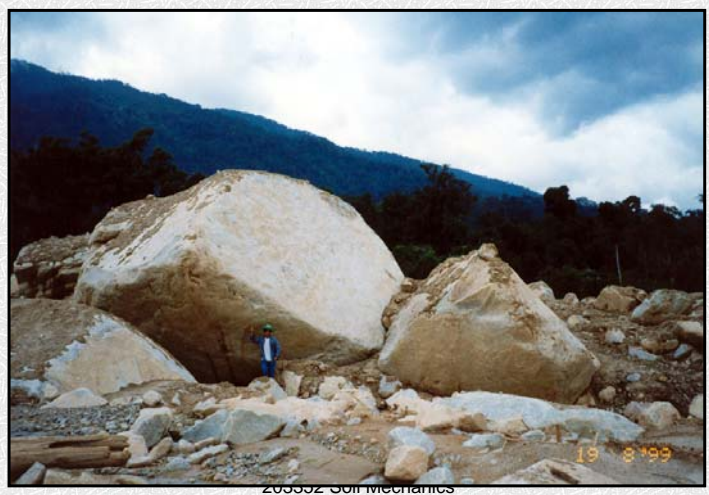








August 1999 Kao-Kichakud, Chantaburi

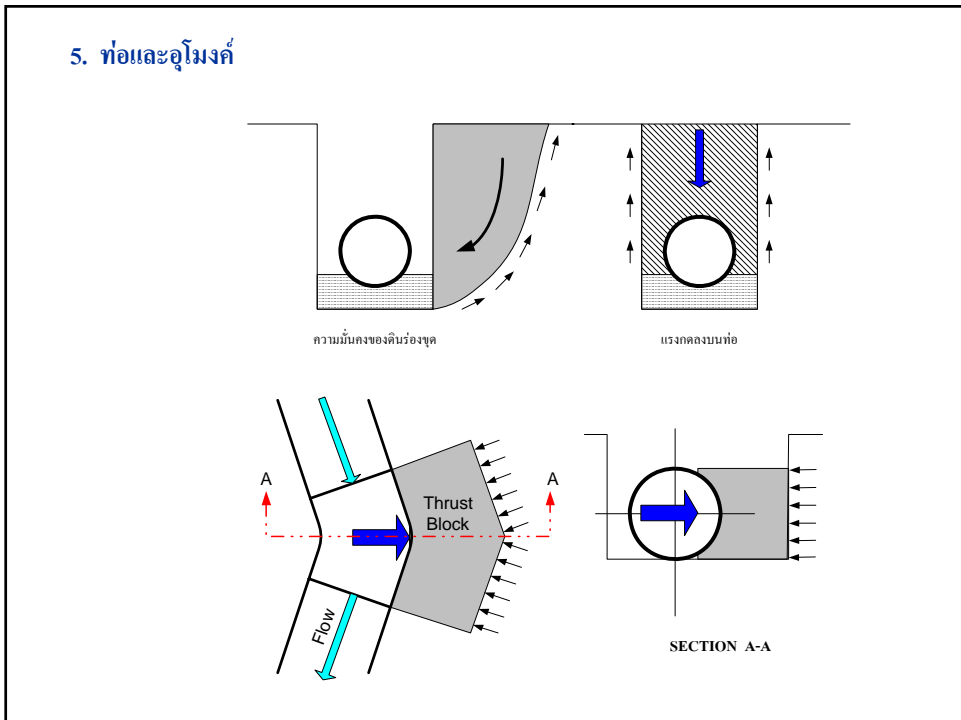
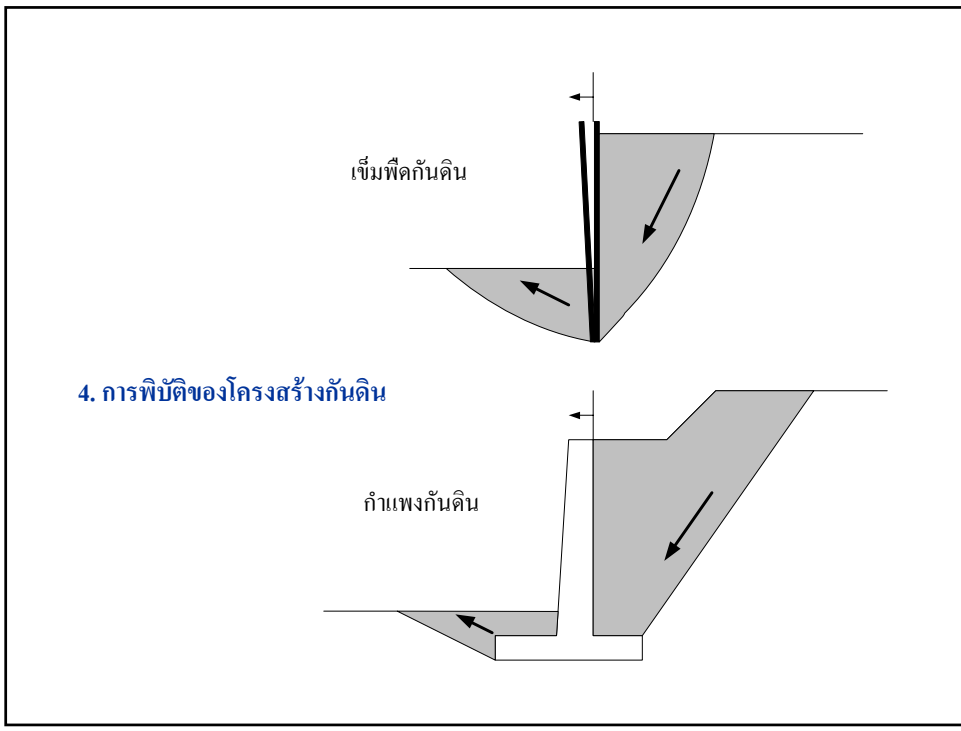


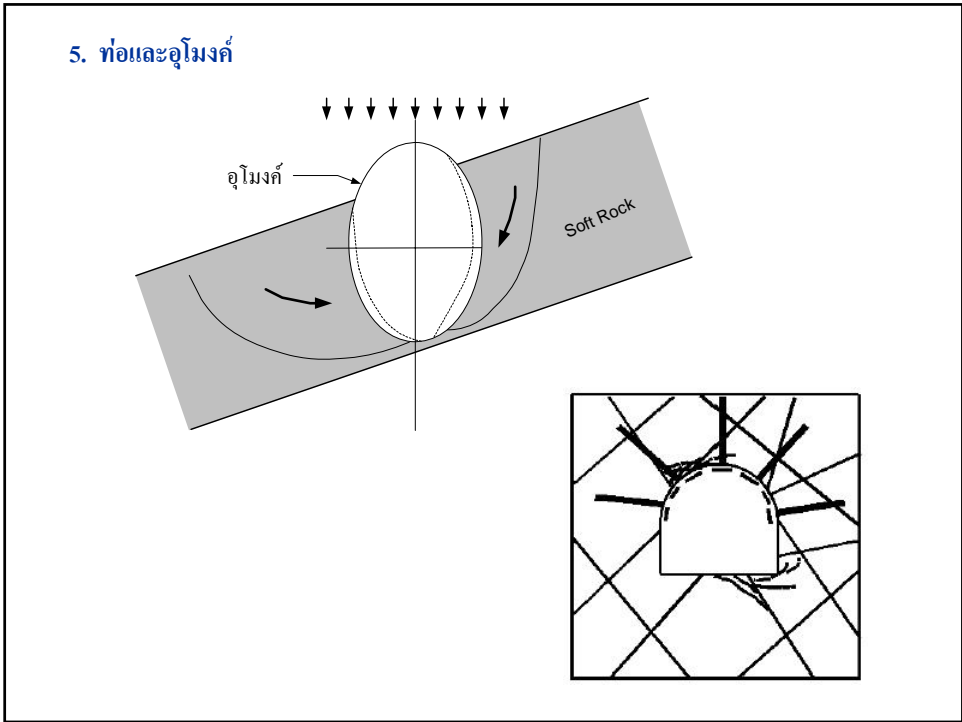
203352 Soil Mechanics

การสำรวจบริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่ม



Soil Mechanics



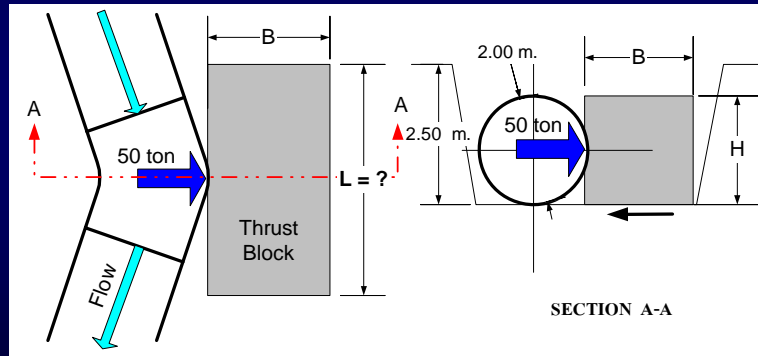


# Tunneling Machines

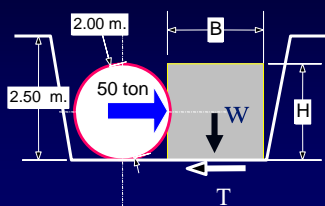
Transportation  
Utilities

## ตัวอย่างที่ 2

ในการออกแบบแท่งคอนกรีตต้านการเคลื่อนตัวของจุดหักงอของท่อประปาขนาดใหญ่ จะมีแรงผลักรอก 50 ตัน หากใช้เฉพะแรงที่เกิดจากความฝืดที่ฐานของแท่งคอนกรีตเป็นแรงต้านหลัก จงหาขนาดของแท่งคอนกรีต ถ้าดินมีค่า  $c = 1.0$  ตัน/ตร.ม. และ  $\phi = 30^\circ$



## ตัวอย่างที่ 2



หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต = 2.4 ตัน/ลบ.ม.

กำหนดขนาดหน้าตัดของแท่งคอนกรีตเบื้องต้น

$B = H = 2.0$  ม. หาความยาวที่ต้องการ (L)

น้ำหนักแท่งคอนกรีต (W) =  $2 \times 2 \times L \times 2.4$  ตัน

- แรงต้านทานที่เกิดจากกำลังเฉือนที่ฐาน  $T = C + W \cdot \tan 30^\circ$  ตัน .....(1)

- เพื่ออัตราส่วนความปลอดภัย 1.5 เท่า ดังนั้นแท่งคอนกรีตจะต้องต้านทานแรงเฉือนได้  $= 1.5 \times 50 = 75$  ตัน

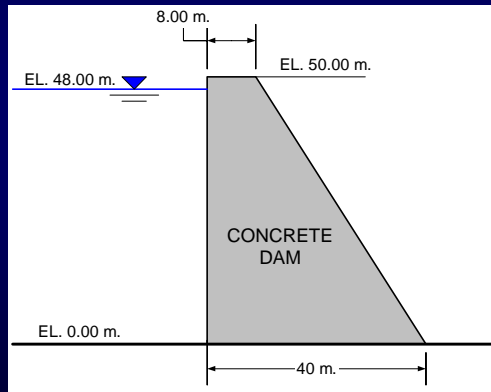
- จากสมการ (1)  $75 = 1.0 \times 2 \times L + 9.6 \times L \cdot \tan 30^\circ$   $L = 9.94$  ม.

- ต้องการลดความยาวลงอีก โดยให้  $B = 3.0, H = 2.0$  ม.

- จากสมการ (1)  $75 = 1.0 \times 3 \times L + 14.4 \times L \cdot \tan 30^\circ$   $L = 4.31$  ม. เหมาะสมแล้ว

### ตัวอย่างที่ 3

เขื่อนคอนกรีต สร้างอยู่บนผิวหน้าหินที่มีค่า  $c = 1.0$  ตัน/ตร.ม. และ  $\phi = 45^\circ$  จงตรวจสอบว่าจะเกิดการเลื่อนไถลจากแรงดันน้ำในอ่างเก็บน้ำหรือไม่ และมีอัตราส่วนปลอดภัยต่อการเลื่อนไถลเท่าใด



### การวิเคราะห์หน่วยแรงด้วยวิธี Mohr Diagram และ Stress Path

**Mohr Diagram** คือวิธีการวิเคราะห์หน่วยแรงของดินด้วยวิธีกราฟิก โดยการแทนค่าหน่วยแรงที่กระทำต่อมวลดินที่อยู่ในสถานะสมดุลย์ ลงบนแกน Normal Stress (x) และ Shearing Stress (Y) แล้วสามารถจะแทนสภาพหน่วยแรงด้วยวงกลม Mohr

#### ประโยชน์ของ Mohr Diagram

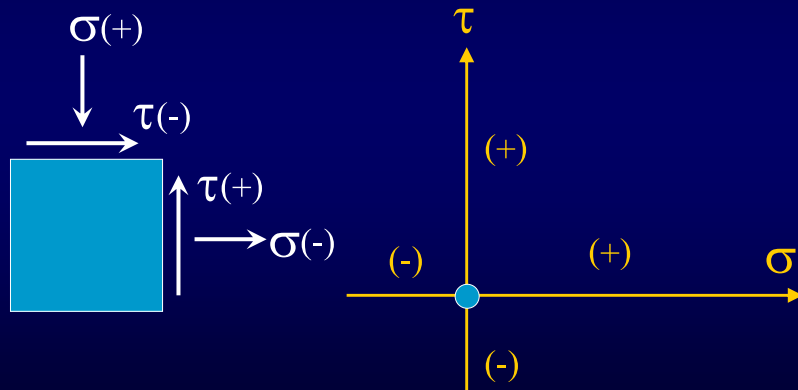
1. สามารถหาค่าหน่วยแรงกระทำในแนวอื่น ๆ ที่กระทำต่อมวลดินนี้ได้ทุกทิศทาง
2. หาค่าและทิศทางของหน่วยแรงหลัก (Principal Stresses) ในมวลดินนั้นได้
3. สามารถเปรียบเทียบสถานะความมั่นคงของมวลดิน จากกำลังของมวลดินจาก Mohr-Coulomb Envelope กับหน่วยแรงที่กำลังเกิดขึ้นในมวลดินนั้น
4. นำไปประยุกต์หาทางเดินของหน่วยแรง (Stress path) เพื่อจะติดตามการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงในมวลดินนั้นๆ



## เครื่องหมายของหน่วยแรงที่ใช้ในระบบ Mohr Diagram

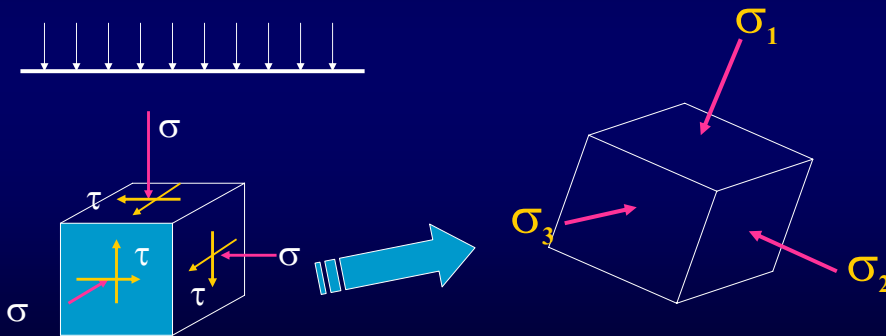
**Normal Stress ( $\sigma$ )** ให้หน่วยแรงแกนที่เป็นแรงกด (Compression) มีค่าเป็นบวก (+)

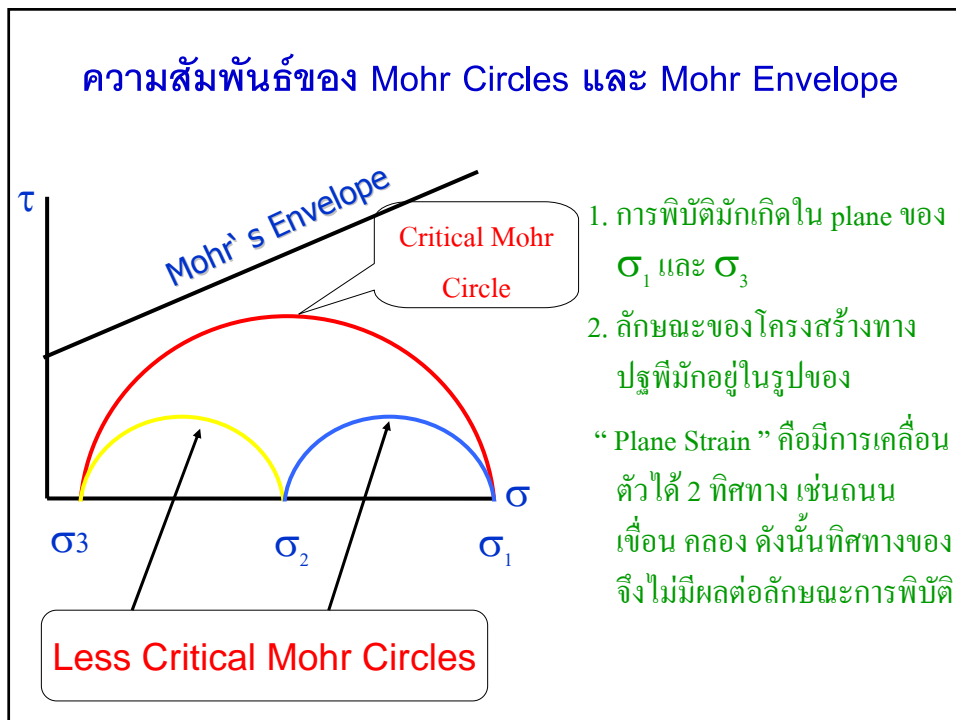
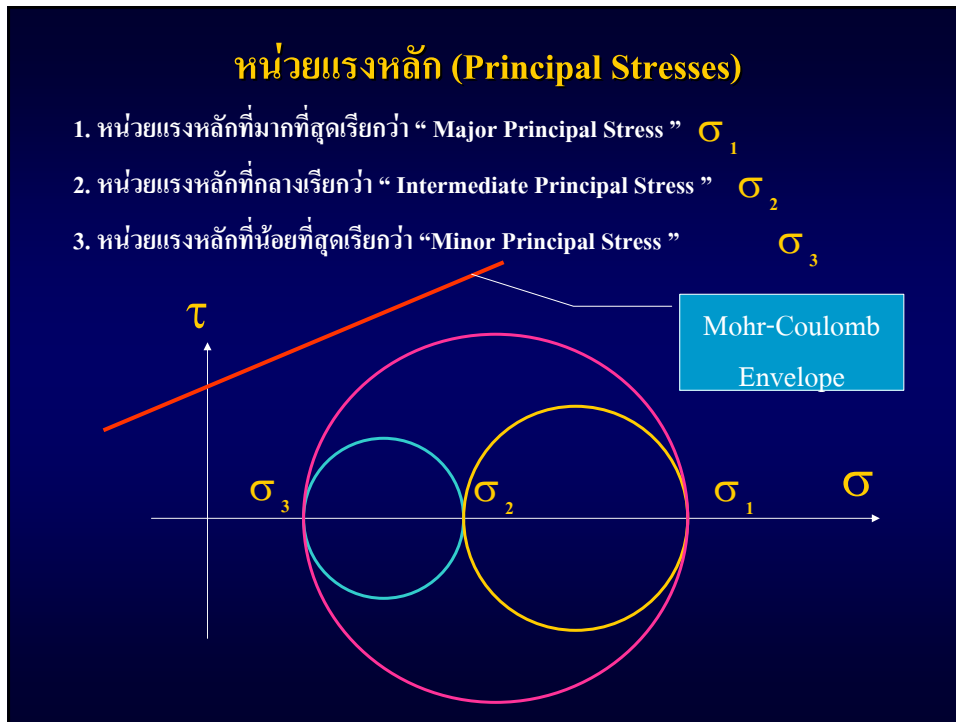
**Shearing Stress ( $\tau$ )** ให้หน่วยแรงเฉือนที่ทำให้เกิดโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise Moment) มีค่าเป็น บวก(+)



## หน่วยแรงหลัก (Principal Stresses)

ในมวลดินรูปลูกบาศก์ 3 - มิติ ที่อยู่ในสมดุลภายใต้แรงกระทำใดๆ จะปรากฏว่ามีระนาบที่พอเหมาะที่ทำให้เกิดหน่วยแรงตั้งฉาก 3 แนว (Normal stresses) กระทำบนระนาบนั้นโดยไม่มีหน่วยแรงเฉือน (Shear stresses = 0) เกิดขึ้นเลย หน่วยแรงตั้งฉากดังกล่าวจะเรียกว่า “หน่วยแรงหลัก” (Principal Stresses)



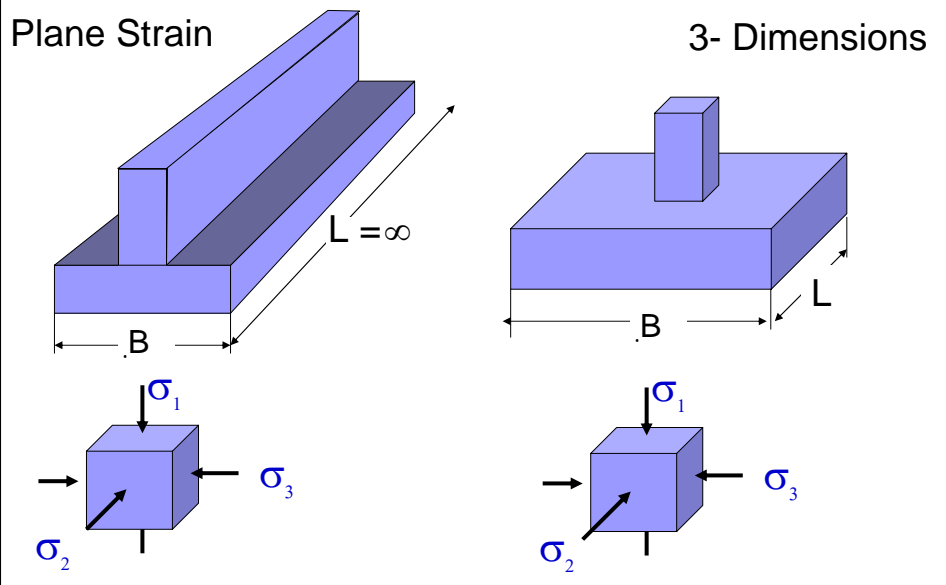


## การปรับลดหน่วยแรงหลักให้เหลือเพียง 2 มิติ

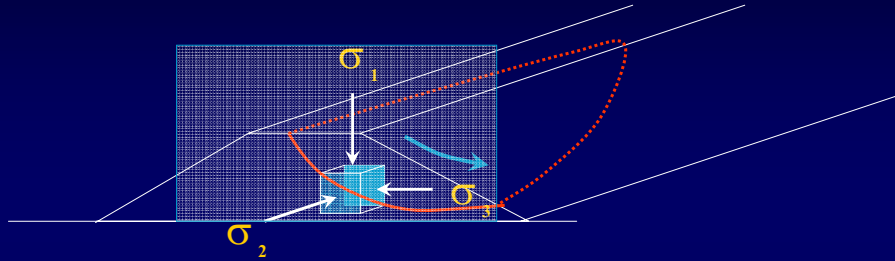
ในทางปฏิบัติวิศวกรจะปรับลดการพิจารณาหน่วยแรงหลักให้เหลือเพียง 2 มิติ คือ “Major Principal Stress”  $\sigma_1$  และ “Minor Principal Stress”  $\sigma_3$  ด้วยเหตุผลดังนี้

1. การบีบอัดมักจะเกิดใน plane ของ  $\sigma_1$  และ  $\sigma_3$  เป็นส่วนมาก
2. ลักษณะของโครงสร้างทางปฐพีมักอยู่ในรูปของ “Plane strain” คือมีการเคลื่อนตัวได้ 2 ทิศทาง เช่น เขื่อน ถนน คลอง ดังนั้นทิศทาง ของ  $\sigma_2$  จึงไม่มีผลต่อลักษณะการบีบอัด
3. ได้มีการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างความแข็งแรงของมวลดินที่รับแรงในลักษณะ 3 แกน ที่มีหน่วยแรงที่ต่างกันอย่างจริง (True Triaxial Test:  $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ ) แล้วปรากฏว่าความแข็งแรงที่วัดได้จาก  $\sigma_1$  ที่สูงสุดใกล้เคียงกับการทดสอบโดยควบคุมให้  $\sigma_2$  เท่ากับ  $\sigma_3$  ดังนั้นจึงถือได้ว่า  $\sigma_2$  มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของดินโดยรวมน้อย

## Stress Conditions



### การปรับลดหน่วยแรงหลักให้เหลือเพียง 2 มิติ



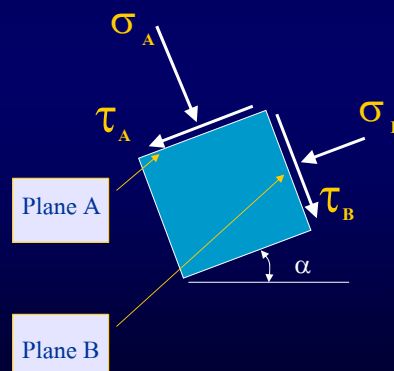
ตัวอย่างการพิบัติของคันถนนบนดินอ่อน (ข้อมูลจากกรมทางหลวงฯ)

### การคำนวณหน่วยแรงโดยวิธี Mohr's Circle

ในมวลดินที่อยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าเราทราบหน่วยแรงที่กระทำบน Plane ที่ตั้งฉากกันใดๆก็ตาม ด้วยวิธีการของการเขียน Mohr's Circle จะสามารถหาหน่วยแรงในที่ทำมุมอื่นๆได้ทุก Plane

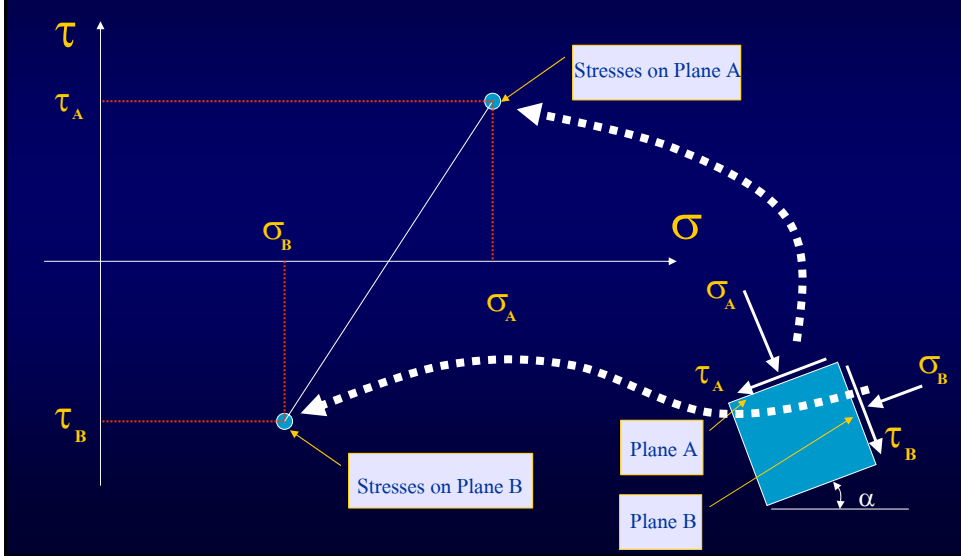
#### วิธีการ

1. เขียน Free Body Diagram ของมวลดินนั้นพร้อมกับทิศทางและค่าที่หน่วยแรงนั้นกระทำ



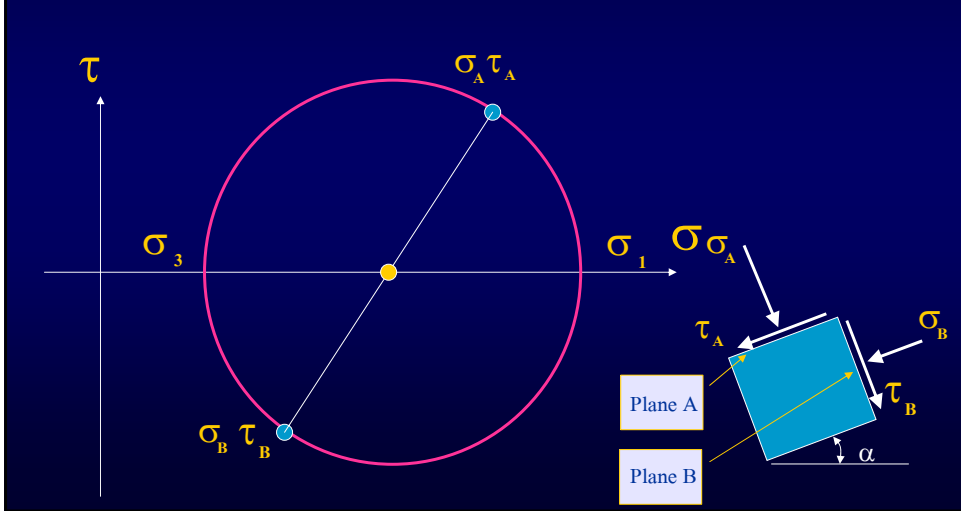
### Mohr's Circle (cont.)

2. เขียน Coordinates ของหน่วยแรง ( $\sigma$ ,  $\tau$ ) ในแต่ละทิศทางลงบน Mohr Diagram



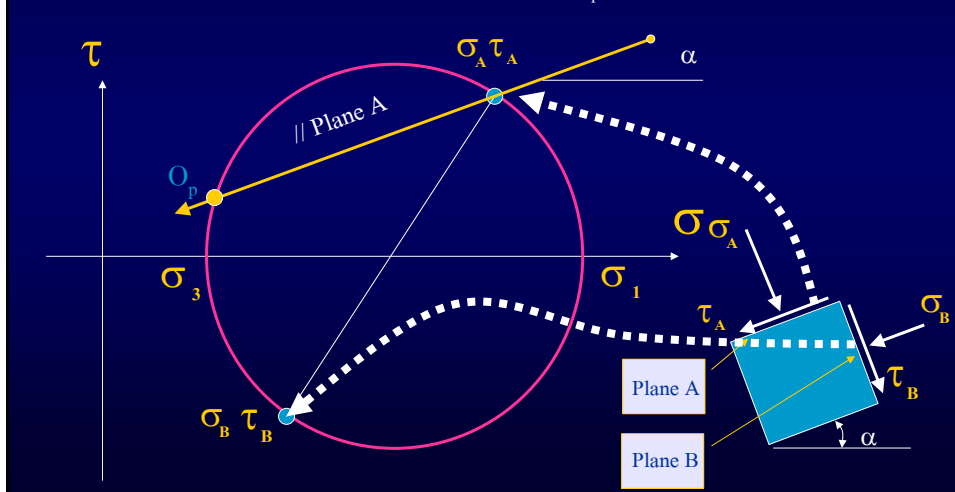
### Mohr's Circle (cont.)

3. เขียน วงกลม Mohr's Circle โดยที่มีเส้นทแยงมุมที่ลากจาก Coordinates ของ Stresses บน Plane A และ B เป็นเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลม



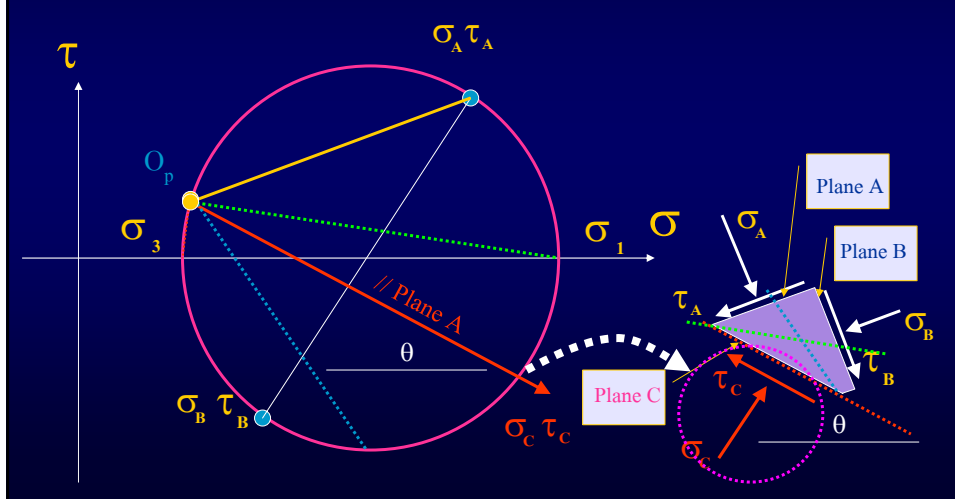
### Mohr's Circle (cont.)

4. หาจุดกำเนิดของ Plane เรียกว่า "Original of Plane" ( $O_p$ ) โดยลากเส้นจากจุดของ Coordinates ของหน่วยแรงที่ทราบค่า เช่น ขนานกับ Plane ที่หน่วยแรงนั้นกระทำจนไปตัดส่วนโค้งของวงกลมที่ใด จุดตัดนั้นก็จะเป็จุด " $O_p$ "



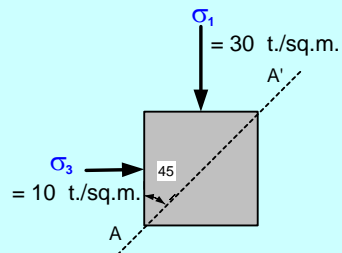
### Mohr's Circle (cont.)

5. จากจุด  $O_p$  จะสามารถหาหน่วยแรง  $\sigma_c \tau_c$  บน Plane C ได้ขานมวดคินดังกล่าวได้โดยการลากเส้นจาก  $O_p$  ขนานกับ Plane ที่ต้องการทราบค่าหน่วย ไปตัดส่วนโค้งของวงกลมที่ใด Coordinates นั้นก็จะเป็ค่าหน่วยแรงที่กระทำบน Plane C นั้น

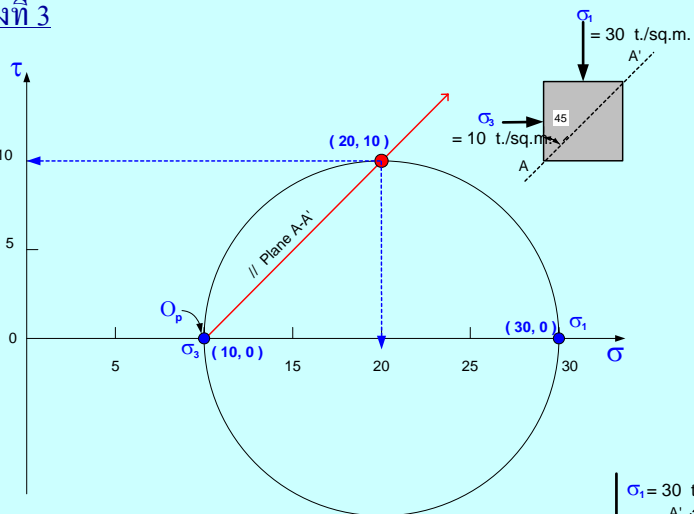


**ตัวอย่างที่ 3**

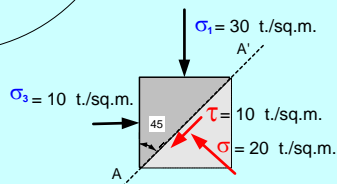
กำหนดให้มวลดินมีแรงกระทำเป็นหน่วยแรงหลักดังแสดงในภาพ ให้หาหน่วยแรงบนระนาบ A-A' ที่ทำมุม 45 องศา กับแนวตั้ง โดยวิธีเขียน Mohr's Diagram



**ตัวอย่างที่ 3**



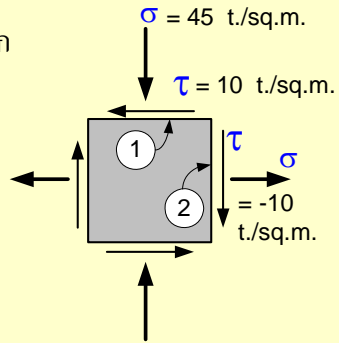
ดังนั้นหน่วยแรงบนระนาบ A-A'  $\sigma_A = 20 \text{ t./sq.m.}$   
 $\tau_A = 10 \text{ t./sq.m.}$



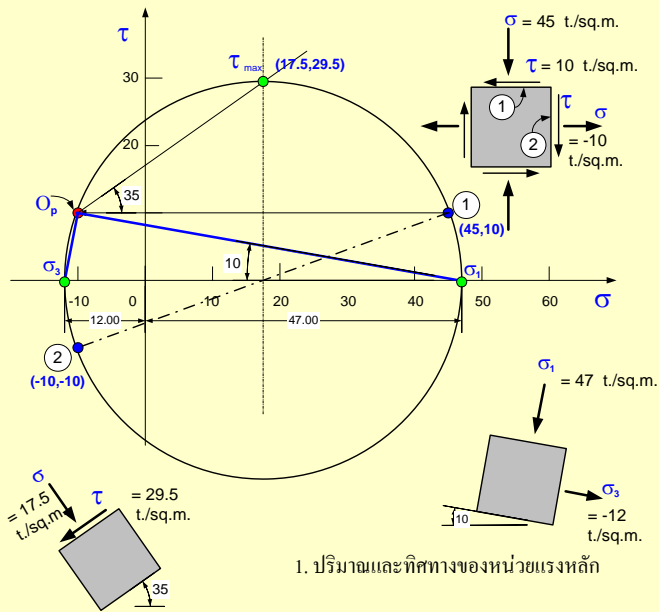
**ตัวอย่างที่ 4**

กำหนดให้มวลดินมีแรงกระทำที่หน่วยแรงตั้งฉาก และหน่วยแรงเฉือนบนระนาบ (1) และ (2) ดังแสดงในภาพ ให้หา

1. ปริมาณและทิศทางของหน่วยแรงหลัก
2. ปริมาณและทิศทางของหน่วยแรงเฉือนสูงสุด



**ตัวอย่างที่ 4**



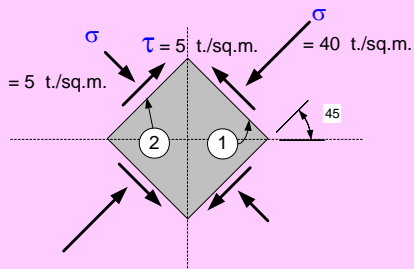
1. ปริมาณและทิศทางของหน่วยแรงหลัก

2. ปริมาณและทิศทางของหน่วยแรงเฉือนสูงสุด

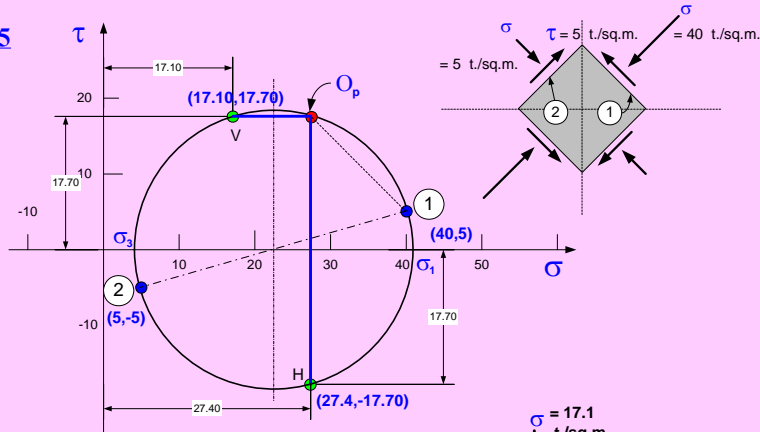


**ตัวอย่างที่ 5**

มวลดินวางตัวในทิศทางทำมุม 45 องศา กับแนวราบมีหน่วยแรงกระทำ ดังแสดงในภาพ ให้หาค่าหน่วยแรงที่กระทำในแนวตั้งและแนวราบ



**ตัวอย่างที่ 5**

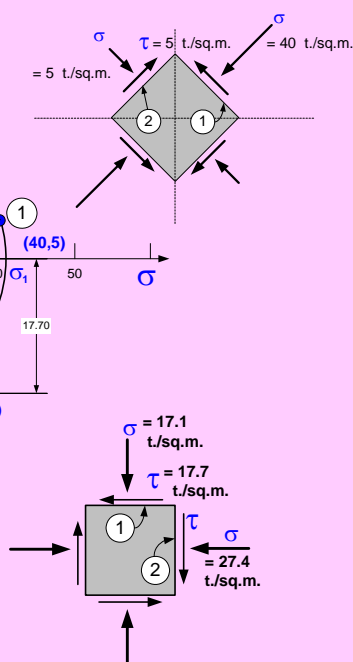


1. หน่วยแรงที่กระทำต่อระนาบในแนวราบ

$\sigma = 17.1 \text{ t./sq.m.}$      $\tau = 17.7 \text{ t./sq.m.}$

2. หน่วยแรงที่กระทำต่อระนาบในแนวตั้ง

$\sigma = 27.4 \text{ t./sq.m.}$      $\tau = -17.7 \text{ t./sq.m.}$

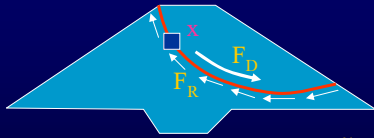


## อัตราส่วนปลอดภัยของมวลดินเฉพาะจุด (Local Factor of Safety)

ตามปกติอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) คือ สัดส่วนระหว่างกำลังของดิน ต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในมวลดินในขณะนั้น 1) อาจเป็นอัตราส่วนปลอดภัยโดยรวม (Overall F.S.) โดยการเฉลี่ยรวมทั้งพื้นระนาบที่อาจเกิดการพิบัติ หรือ 2) อัตราส่วนปลอดภัยเฉพาะจุด (Local F.S.)

อัตราส่วนปลอดภัยโดยรวม (Overall F.S.)

$$F.S. = \frac{F_R}{F_D}$$



อัตราส่วนปลอดภัยเฉพาะจุด (Local F.S.) ที่  $x$

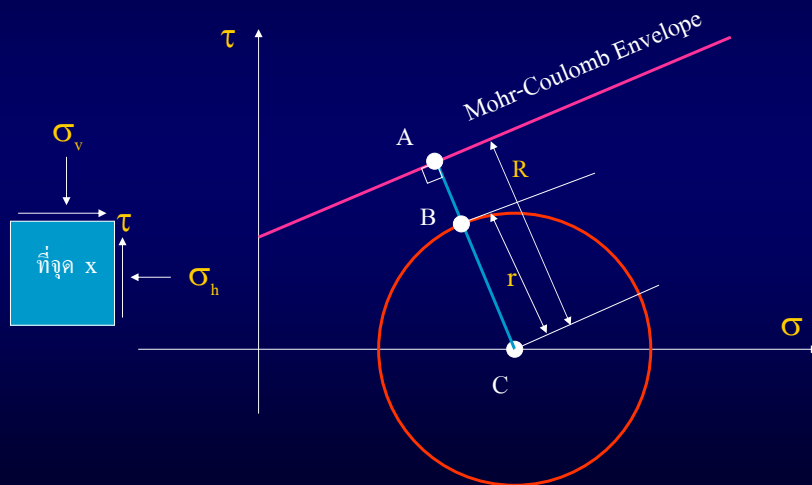
$$F.S. @ x = \frac{\text{Strength @ } x}{\text{Stress @ } x}$$

อัตราส่วนปลอดภัยเฉพาะจุด (Local F.S.) ที่  $x$

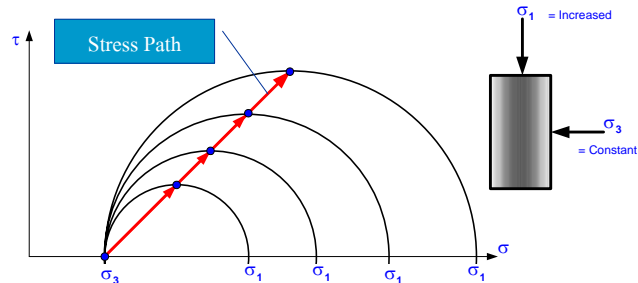
$$F.S. @ x = \frac{\text{Strength @ } x}{\text{Stress @ } x}$$

ดังนั้นจาก Mohr Diagram ของสภาพหน่วยแรงที่  $x$

$$F.S. @ x = \frac{AC}{BC} = \frac{R}{r}$$



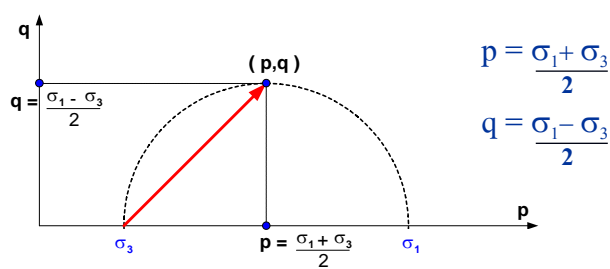
## ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path)



Stress Path คือเส้นทางที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในมวลดินแสดงได้ด้วยเส้นและลูกศรที่ลากผ่านจุดยอดของวงกลมมอร์

Stress path ยังคงให้ข้อมูลที่เทียบเท่าการเขียนวงกลมมอร์แต่จะแสดงได้ง่ายกว่าเพราะไม่ต้องเขียนวงกลมหลายวงต่อเนื่องกันและยังคงเปลี่ยนกลับมาเขียนวงกลมมอร์ได้ง่าย พัฒนาขึ้นโดย Lambe and Whitman (1969)

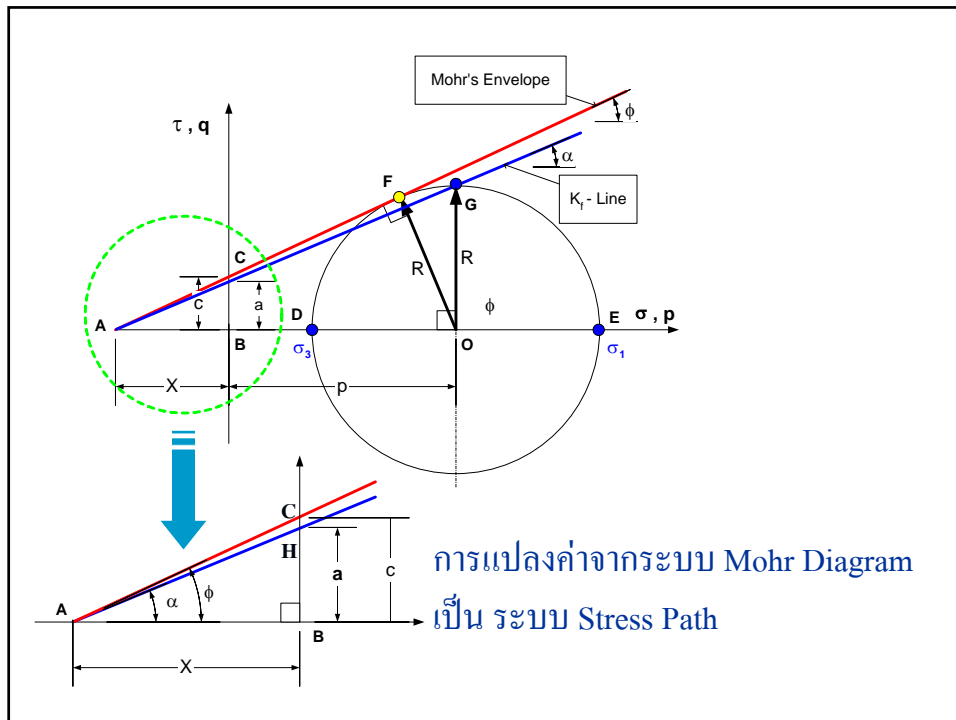
## ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) หรือ p-q Diagram



ความสัมพันธ์ของ  $p$ ,  $q$  (จุดยอดของวงกลมมอร์) และ  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$

### ข้อดีของ Stress-path

1. ง่ายต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในมวลดิน จากสาเหตุต่างๆ
2. สามารถทราบพฤติกรรมและประวัติของดินจากรูปร่างของ Stress-path
3. สามารถจำลองสถานการณ์ของอาจเกิดขึ้นในมวลดินและนำมาทดสอบเพื่อคาดการณ์ในห้องทดลองได้



สิ่งที่ต้องการทราบระหว่างตัวแปรของทั้งสองระบบ

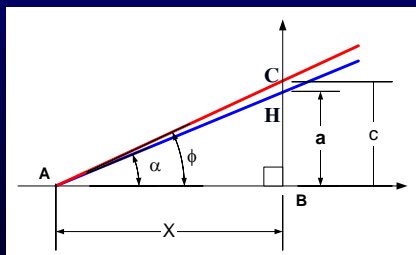
$a = f(c, \phi)$  และ  $\alpha = f(c, \phi)$  หรือ

$c = f(a, \alpha)$  และ  $\phi = f(a, \alpha)$

$\Delta AFO \longrightarrow R/(x+p) = \sin \phi \dots\dots\dots(1)$

$\Delta AGO \longrightarrow R/(x+p) = \tan \alpha \dots\dots\dots(2)$

Then from (1) = (2);  $\sin \phi = \tan \alpha \longrightarrow \alpha = \tan^{-1}(\sin \phi) \dots\dots(3)$



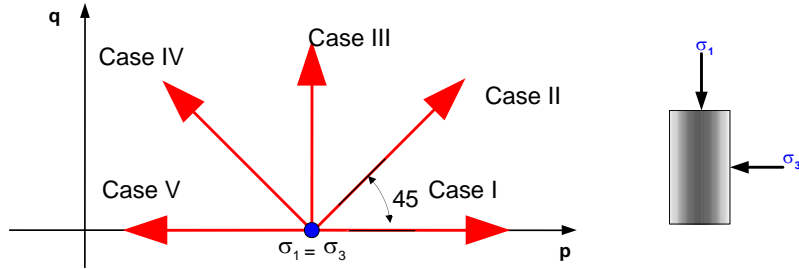
From  $\Delta ACB$  and  $\Delta AHB$  obtained

$\tan \phi = c/x$  and  $\tan \alpha = a/x \dots\dots(4)$

Then  $c / \tan \phi = a / \tan \alpha$

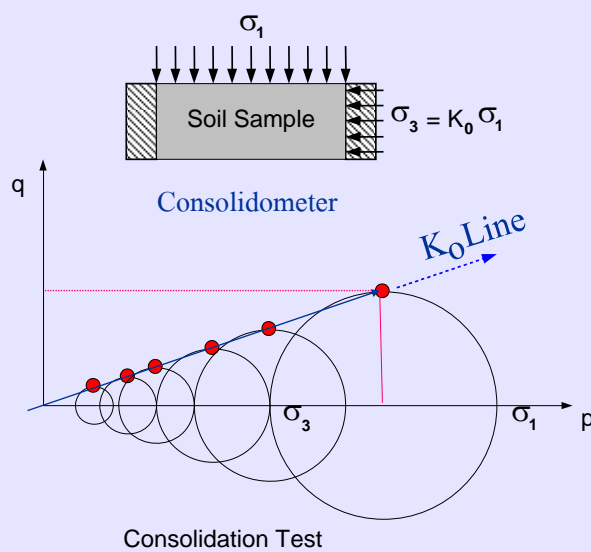
$a = c \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} = c \cdot \cos \phi \dots\dots(5)$

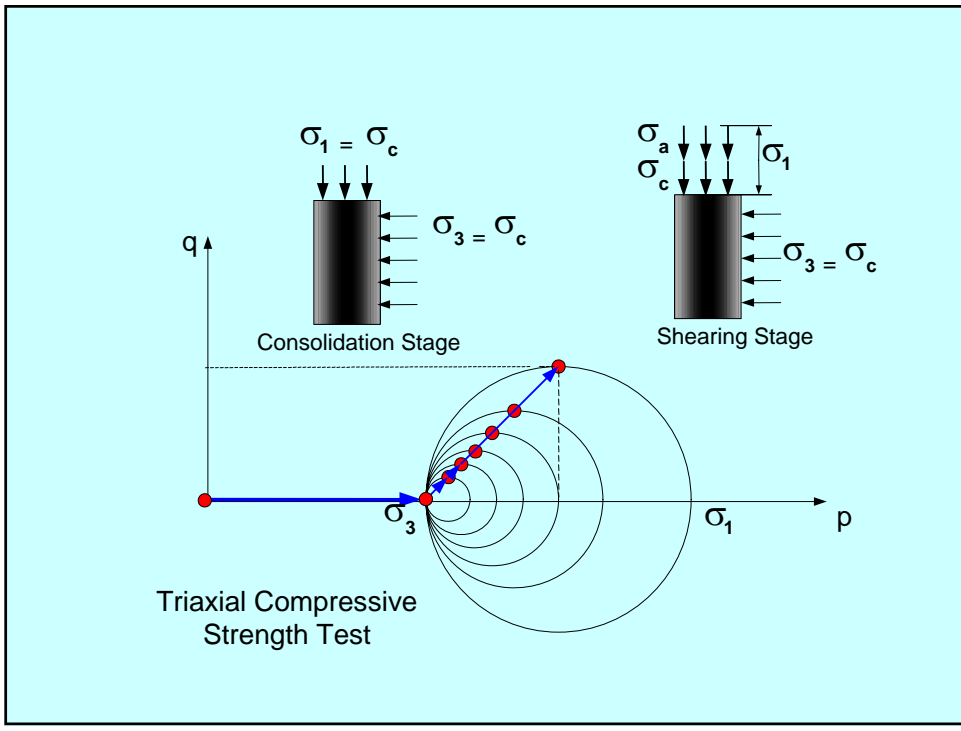
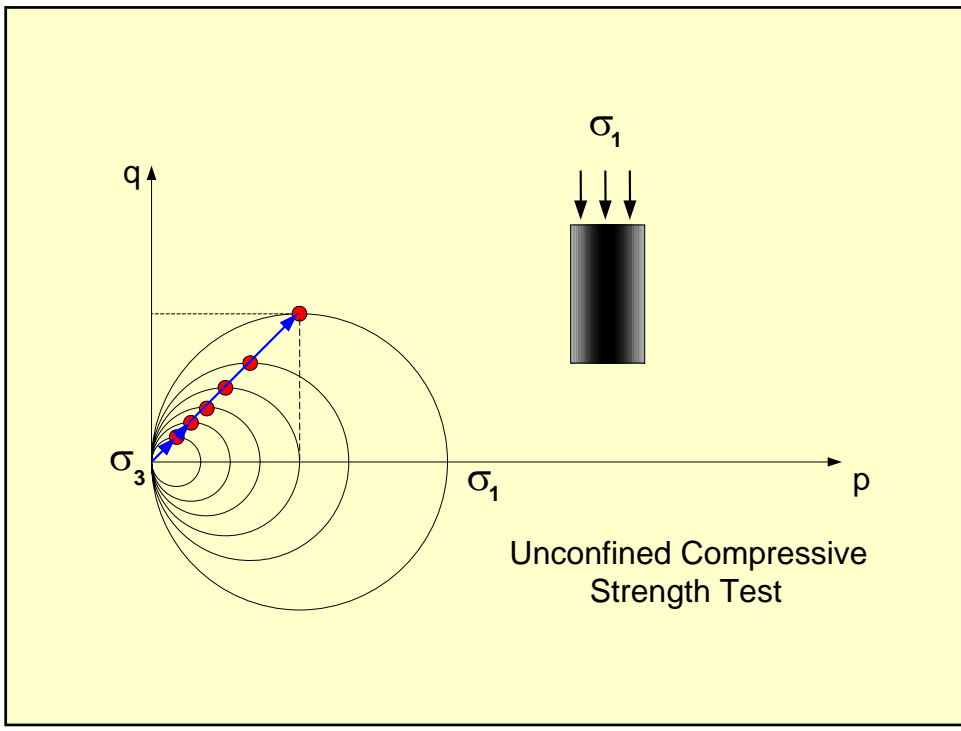
I. การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงภายใต้สภาวะหน่วยแรงที่ควบคุม



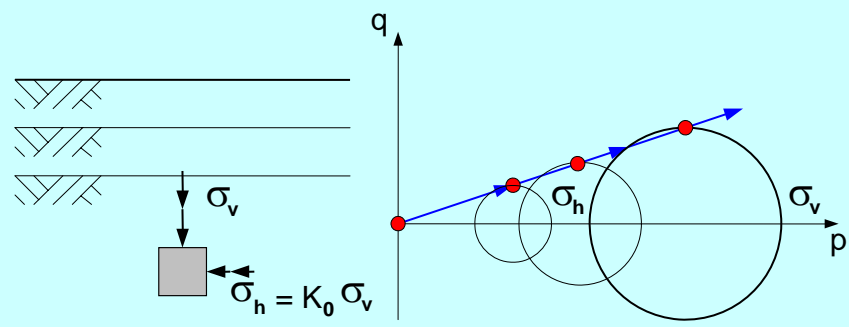
Case I	เมื่อ $\sigma_1$ เพิ่มขึ้น	=	$\sigma_3$ เพิ่มขึ้น
Case II	เมื่อ $\sigma_1$ เพิ่มขึ้น	แต่ $\sigma_3$ คงที่	
Case III	เมื่อ $\sigma_1$ เพิ่มขึ้น	=	$\sigma_3$ ลดลง
Case IV	เมื่อ $\sigma_1$ คงที่	แต่ $\sigma_3$ ลดลง	
Case V	เมื่อ $\sigma_1$ ลดลง	=	$\sigma_3$ ลดลง

II. การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงภายใต้การทดสอบในห้องทดลอง



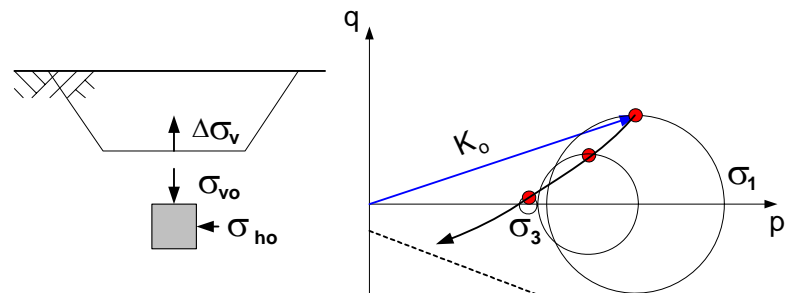


### III. การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงภายใต้สภาวะจริงในสนาม

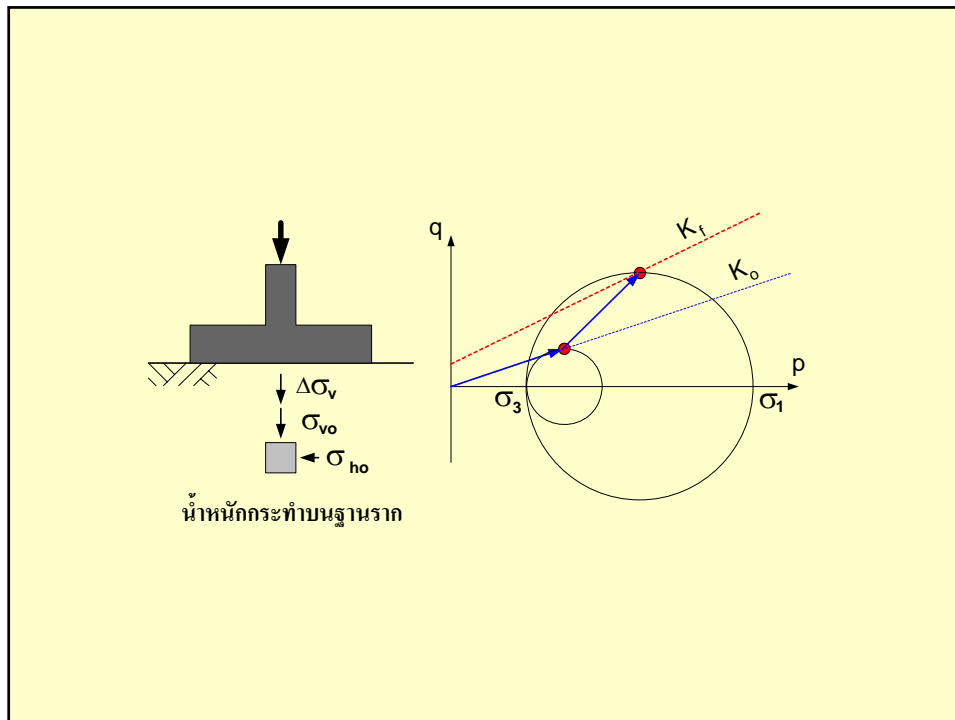


$K_0$  = สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างในที่

การตกตะกอนตามธรรมชาติ



การซูดบ่อหรือคลอง



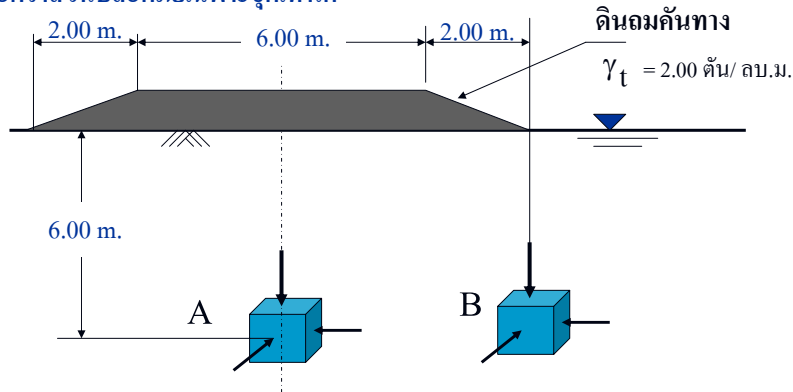
### ตัวอย่าง การทดสอบกำลังของดินโดย Triaxial Test ปรากฏผลดังนี้

ตัวอย่างดินที่	Confining Pressure(ksc.)	Max. Deviator Stress(ksc.)
1	0.7	1.41
2	1.4	2.04
3	2.8	2.56

- ให้เขียน Stress path ของทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยเริ่มตั้งแต่ Consolidation จนกระทั่ง Shearing
- เขียน Mohr's Circles ที่จุด Failure ของทั้ง 3 ตัวอย่าง พร้อมทั้งหา Mohr-Coulomb Envelope
- หาค่า Strength parameters ทั้งในระบบ Mohr Diagram และ Stress Path

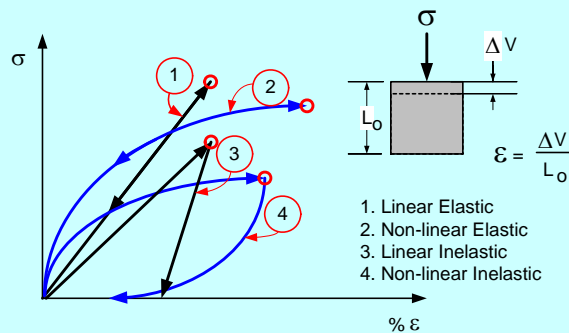


**ตัวอย่าง** ดินตะกอนตามธรรมชาติที่มีบริเวณบางพืด อยู่ที่ระดับลึก 6 ม. จากผิวดิน ถ้ำระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน และความหนาแน่นอิ่มตัวของดิน = 1.6 ตัน/ลบ.ม. และสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง ( $K_0 = 0.6$ ) และเมื่อมีการถมคันถนนสูง 1.50 ม. ดังรูป จงหาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่จุด A และ B แล้วเขียนทางเดินของหน่วยแรงทั้งของทั้งสองจุดและถ้าดินมีกำลัง  $c = 1.2$  ตัน/ตร.ม.  $\phi = 22^\circ$  ให้หาว่าแต่ละจุดจะมีอัตราส่วนปลอดภัยเฉพาะจุดเท่าใด

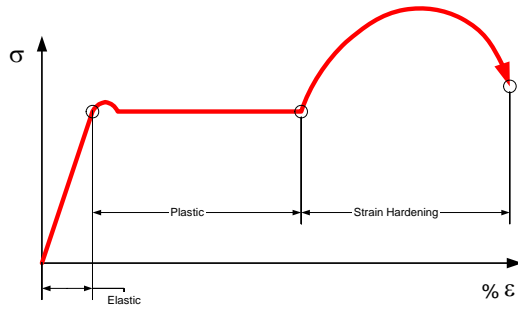
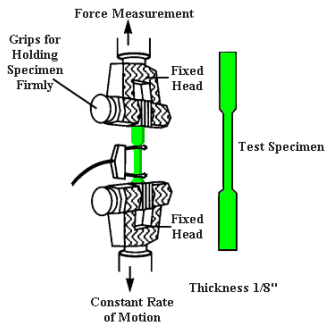


### ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นของมวลดิน

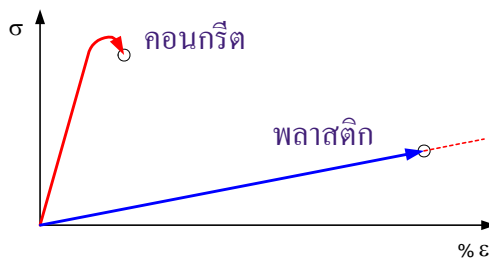
ลักษณะ ของความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-strain ของวัสดุทางวิศวกรรม

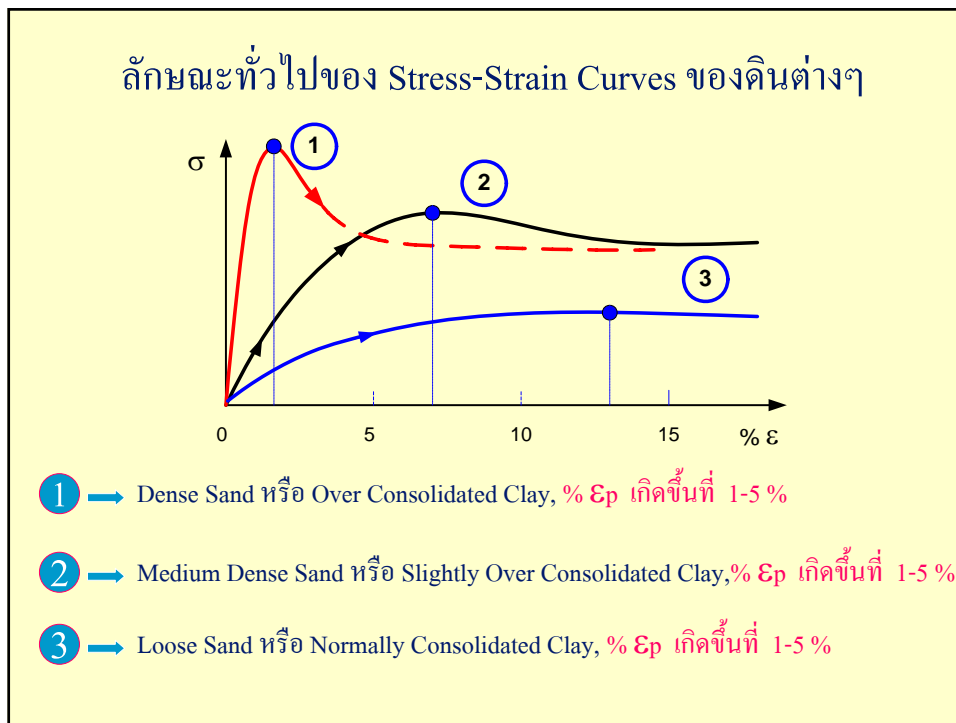
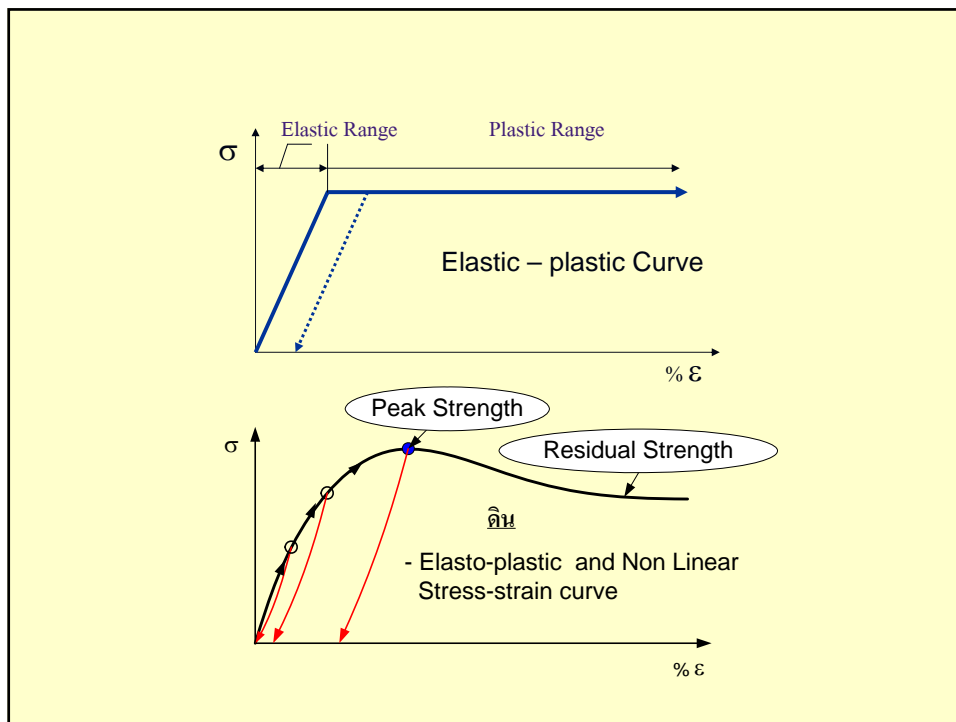


### เหล็กเสริมคอนกรีตรับแรงดึง

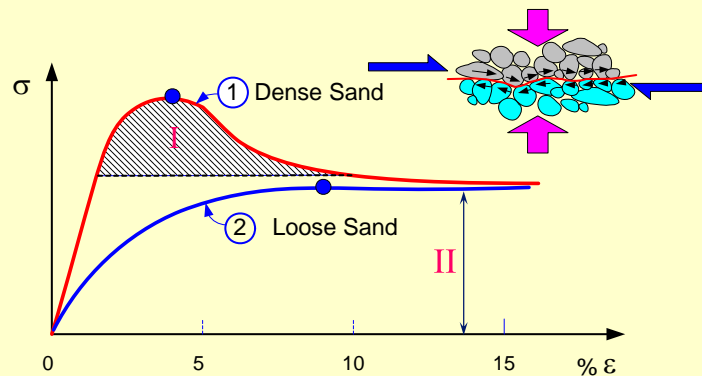


### คอนกรีต และ พลาสติก





### งานที่เกิดจากการต้านทานแรงเฉือนในดิน

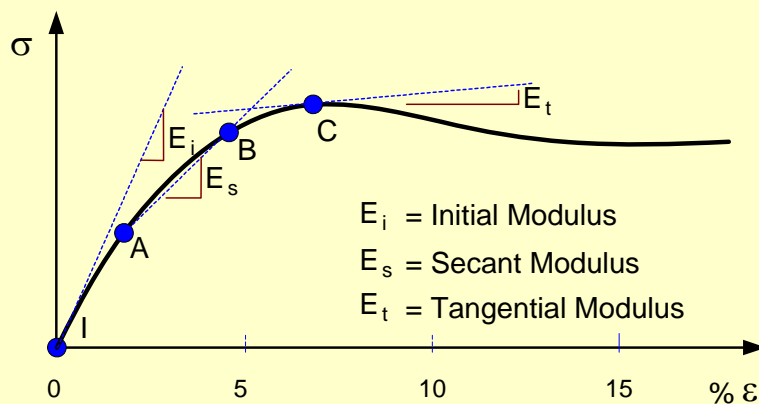


I - เกิดจากการขัดยัดกันระหว่างเม็ดดิน (Particle Interlocking)

II - เกิดจากความฝืดที่ผิวสัมผัสของเม็ดดิน (Surface Friction)

### โมดูลัสของมวลดิน (Soil Moduli)

Soil Modulus คืออัตราส่วนระหว่าง Stress/Strain =  $\frac{\sigma}{\epsilon}$   
หรือความชันของ Stress-Strain Curve

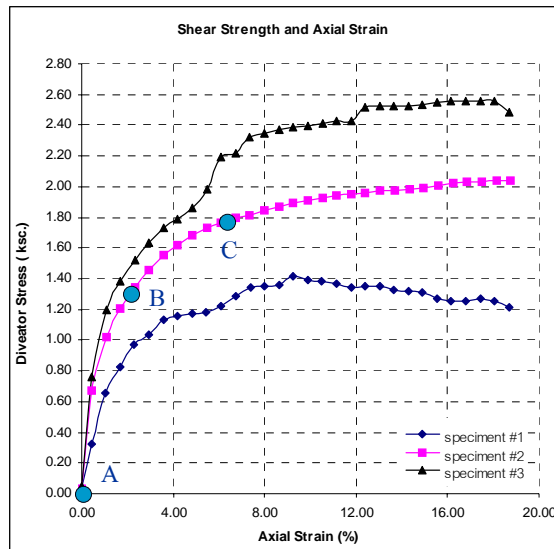


$E_i$  = Initial Modulus

$E_s$  = Secant Modulus

$E_t$  = Tangential Modulus

ตัวอย่าง การทดสอบ Triaxial Test แบบ CU ของดินบดอัด ปรากฏผล Stress – strain curve ดังแสดง สำหรับตัวอย่างที่ 2 ให้หาค่า Modulus ของดินดังต่อไปนี้



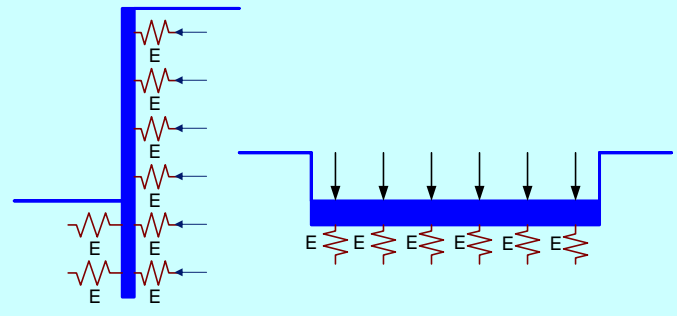
- ก. Initial Modulus ที่จุด A
- ข. Tangential Modulus ที่จุด B
- ค. Secant Modulus ที่ระหว่างจุด B และ C
- ง. ให้หาสมการแทน Stress-strain curve ที่ดีที่สุด

## การใช้งานของโมดูลัสของมวลดิน

เมื่อใดก็ตามที่วิศวกรต้องการทราบทั้งระดับของความเค้นและความเครียดในมวลดินไปพร้อมกัน หากใช้คุณสมบัติเฉพาะความแข็งแรงเท่านั้น ( $c$ ,  $\phi$ ) จะไม่เพียงพอ ต้องคำนวณจากค่าโมดูลัสของดินด้วยดังกรณีต่อไปนี้

1. เมื่อโครงสร้างสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนตัวมากจนไม่สามารถใช้งานได้แต่ยังไม่พิบัติ เช่น ดินหลังเข็มพืดกั้นดินจนทำให้สิ่งก่อสร้างข้างเคียงเสียหาย
2. ชั้นดินฐานรากที่เมื่อรับน้ำหนักแล้วมีการทรุดตัวพื้นใดสูงอาจทำให้เกิดความเสียหายได้โดยที่ยังไม่เกิดการพิบัติ เช่น ดินใต้ถังน้ำมัน
3. การศึกษาการเคลื่อนตัวของฐานรากหรือโครงสร้างที่ส่งผ่านแรงให้ดิน ทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน
4. การวิเคราะห์พฤติกรรมโดยละเอียดของมวลดินเมื่อรับแรงกระทำต่าง โดยวิธี Finite Element Method (FEM)

### การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้วยวิธี Stiffness Methods



Sheet Pile Retaining Wall

Mat Foundation

### วิเคราะห์การเคลื่อนตัวของคันถนนบนดินอ่อน โดยวิธี Finite Element Analysis (FEM)

