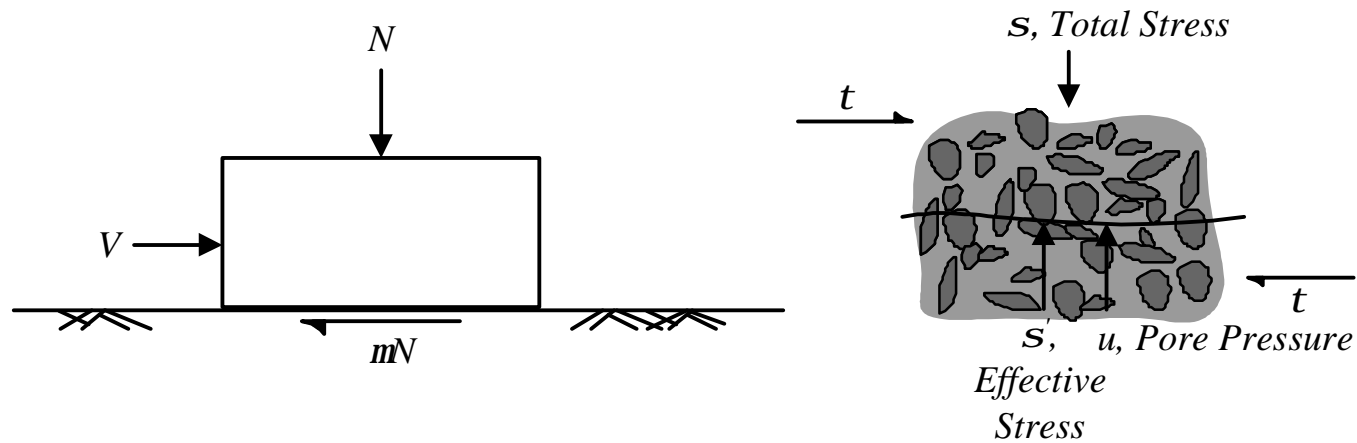


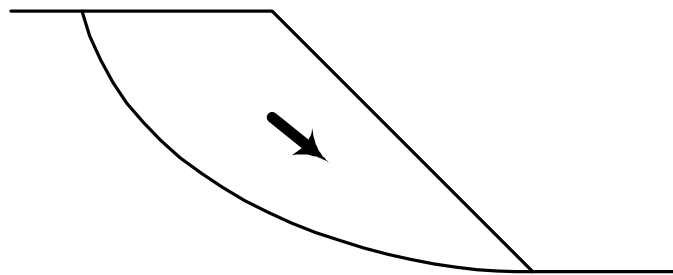


กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength of Soils)

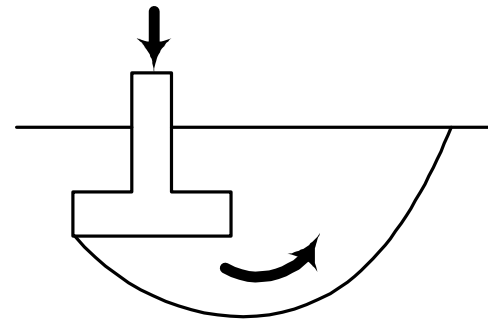


บรรยายโดย: อ.พลช ตั้งฐานทรัพย์

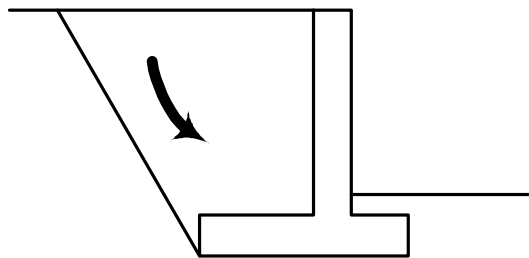
ประเภทงานที่เกี่ยวข้อง



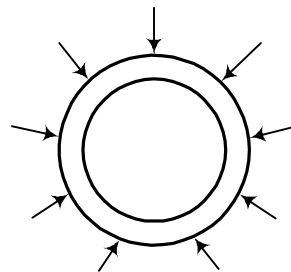
เสถียรภาพของลาด



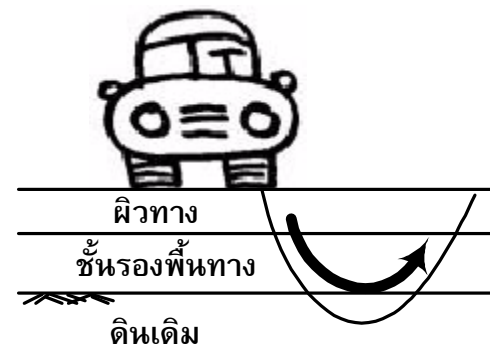
งานฐานราก



โครงสร้างรับแรงด้านข้าง

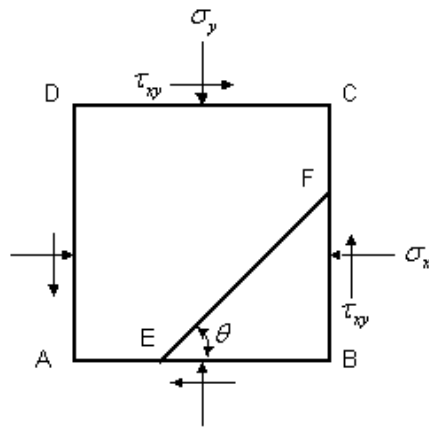


งานอุโมงค์

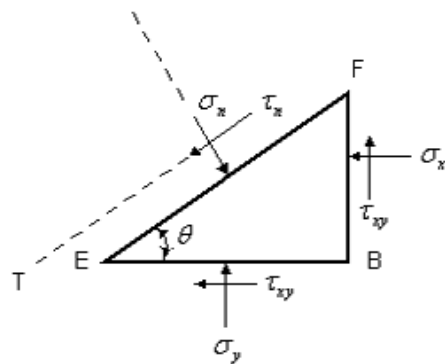


งานทาง

การวิเคราะห์หน่วยแรงบนระนาบใดๆ



(a)



(b)

จากรูปได้

$$s_n = \frac{s_y + s_x}{2} + \frac{s_y - s_x}{2} \cos 2q + t_{xy} \sin 2q$$

$$t_n = \frac{s_y - s_x}{2} \sin 2q - t_{xy} \cos 2q$$

แทนด้วย $t_n = 0$ ได้

$$\tan 2q = \frac{2t_{xy}}{s_y - s_x}$$

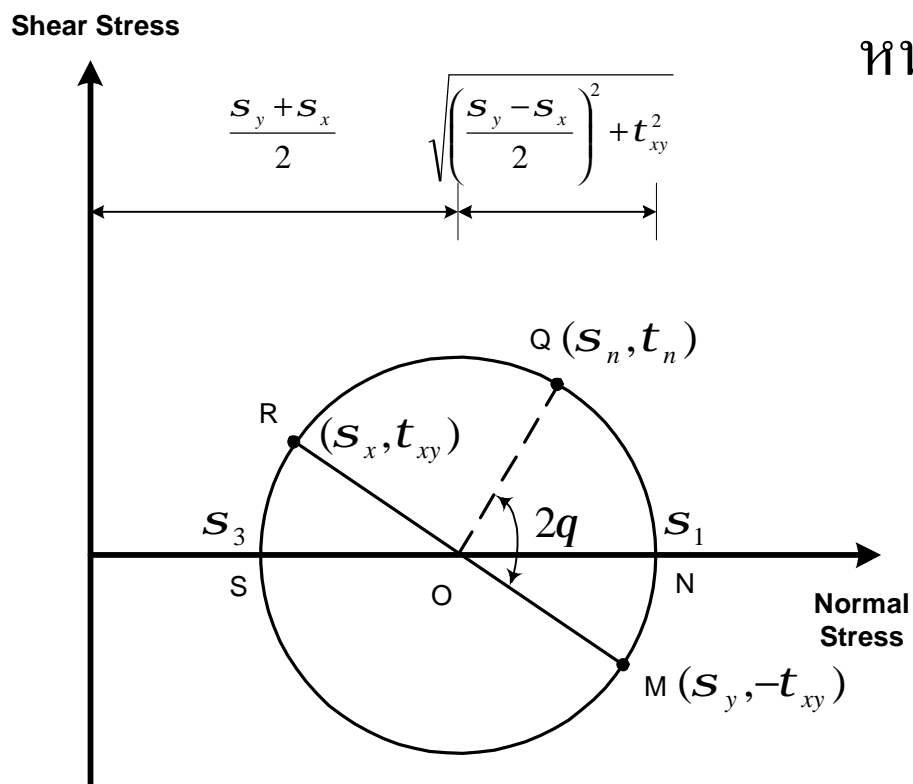
หน่วยแรงหลัก

$$s_1 = \frac{s_y + s_x}{2} + \sqrt{\left[\frac{(s_y - s_x)}{2}\right]^2 + t_{xy}^2}$$

หน่วยแรงรอง

$$s_3 = \frac{s_y + s_x}{2} - \sqrt{\left[\frac{(s_y - s_x)}{2}\right]^2 + t_{xy}^2}$$

หน่วยแรงบนระนาบที่ $t_{xy} = 0$



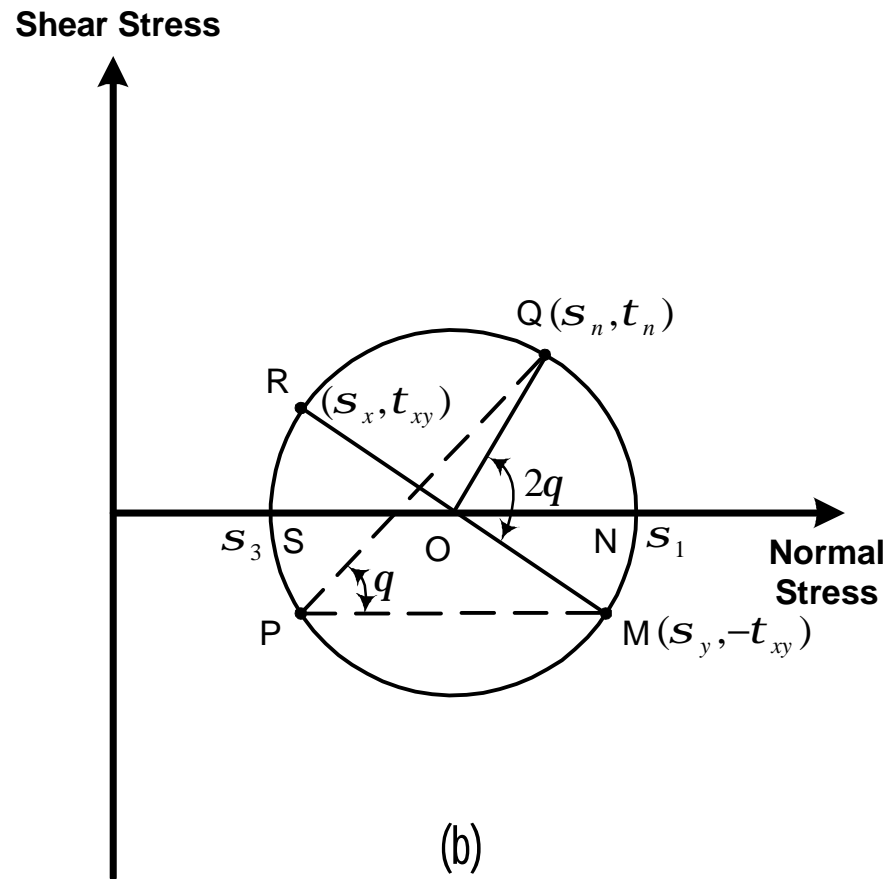
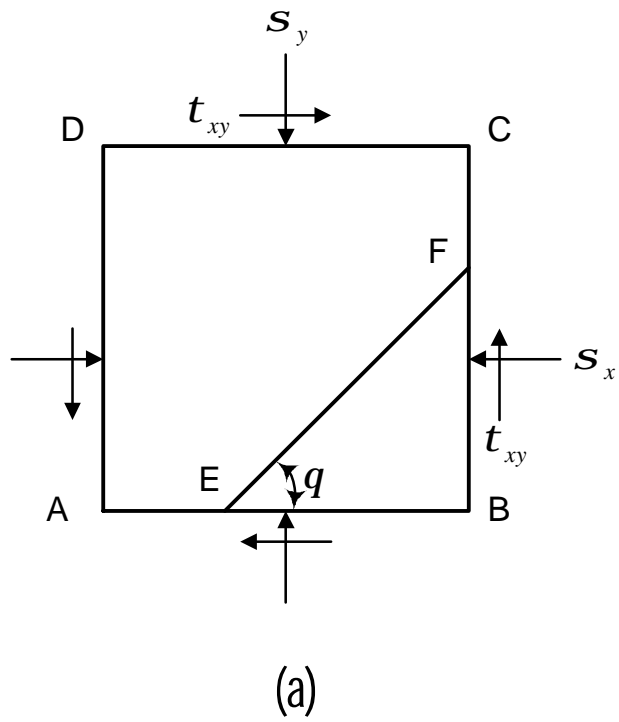
หน่วยแรงที่กระทำบนระนาบที่ $t_{xy} = 0$

$$s_n = \frac{s_1 + s_3}{2} + \frac{s_1 - s_3}{2} \cos 2q$$

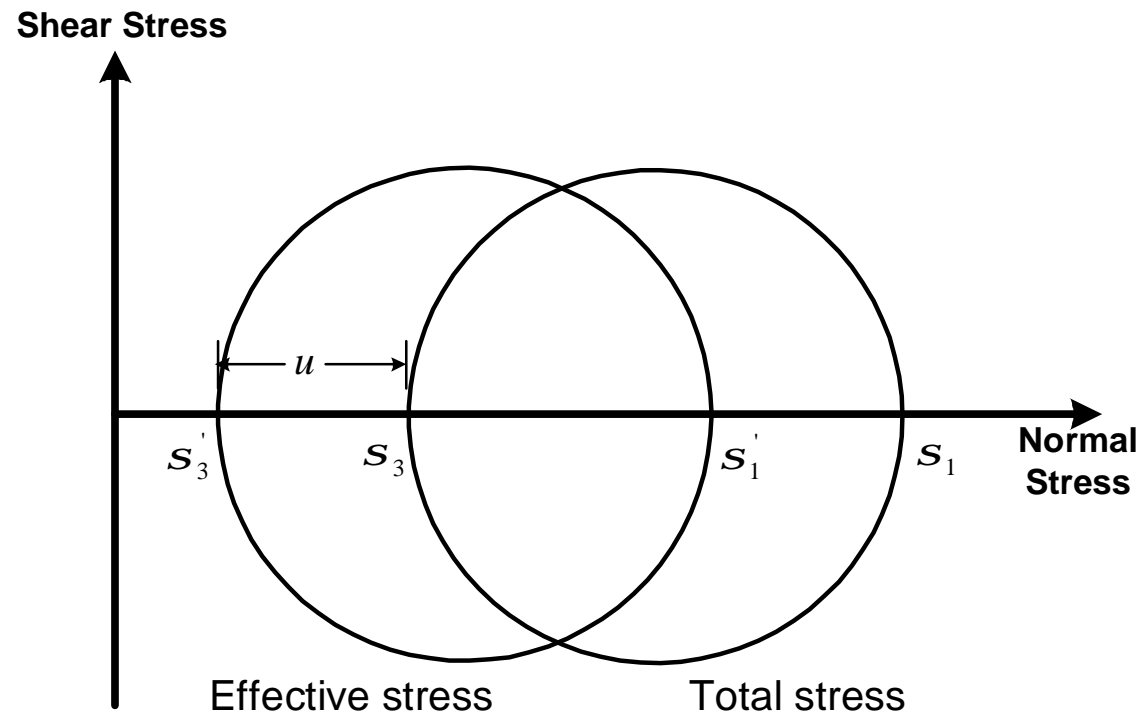
$$t_n = \frac{s_1 - s_3}{2} \sin 2q$$



Pole Method



วงกลมมอร์ในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล



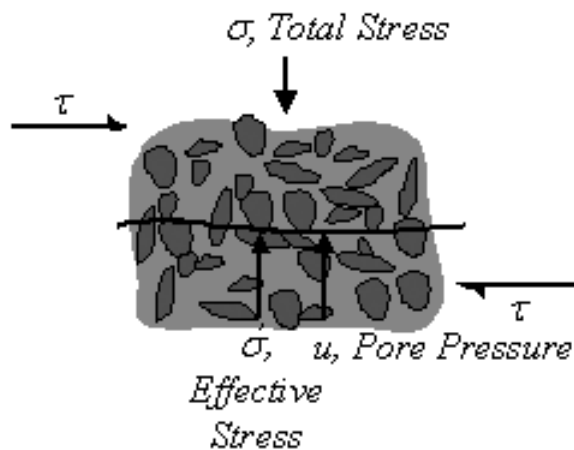
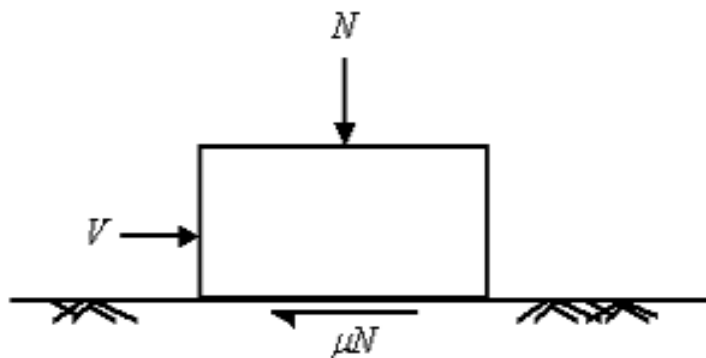


ลักษณะพื้นฐานของกำลังรับแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินเกิดจาก **2** ส่วนหลัก

- a) กำลังเสียดทานระหว่างเม็ดดิน (**Frictional Strength**) และการ
ขัดกันระหว่างเม็ดดิน (**Interlocking of Particles**)
- b) กำลังเชื่อมแน่นระหว่างพื้นผิวเม็ดดิน (**Cohesive Strength**)
เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดิน



a) กำลังที่เกิดจากการเสียดทาน

Effective friction angle, $f' = \tan^{-1} m$

Shear Stress,

$$t = s' \tan f'$$

b) กำลังเชื่อมแน่นระหว่างพื้นผิวเม็ดดิน

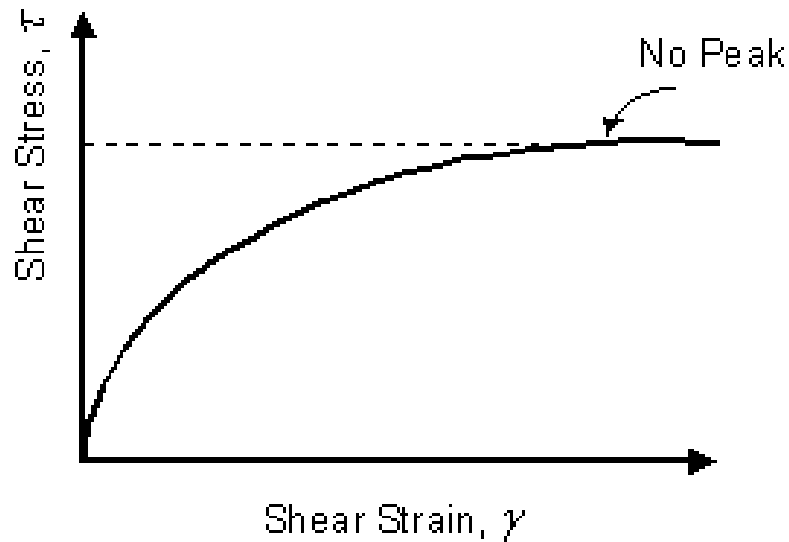
Shear Stress,

$$t = c'$$

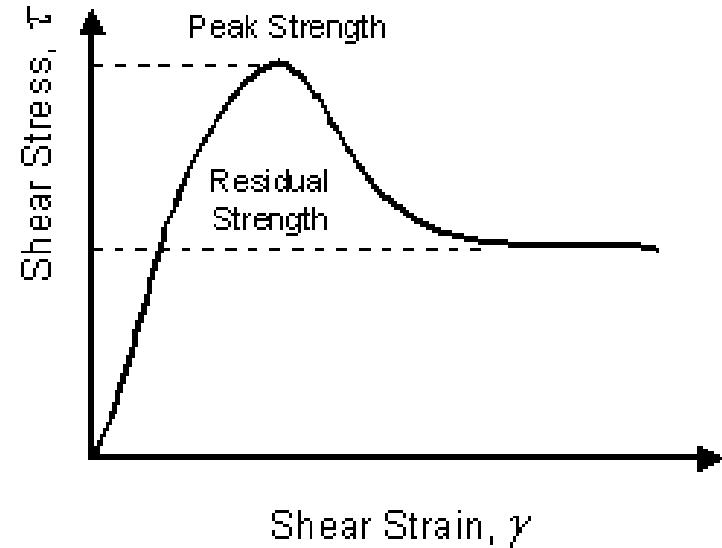
สมการกำลังรับแรงเฉือน (Modified Coulomb's Law)

$$t = c' + s' \tan f'$$

นิยามของการวิบัติ (Failure)



a) Ductile Soil



b) Brittle Soil



ทฤษฎีการวิบัติของ Mohr-Coulomb

สามารถวิเคราะห์ได้ 2 สถานะ ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในสนาม

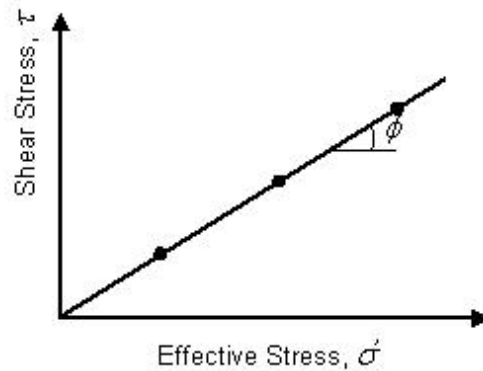
a) วิเคราะห์ภายใต้สถานะหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress)

$$t = c' + s' \tan f'$$

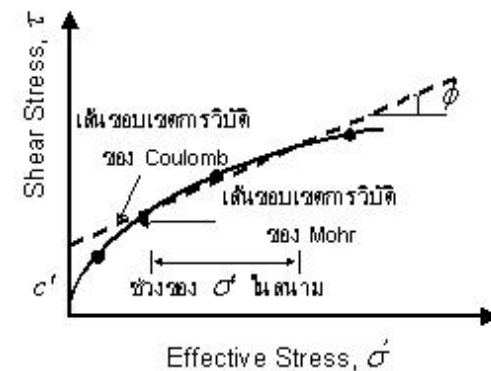
b) วิเคราะห์ภายใต้สถานะหน่วยแรงรวม (Total Stress)

$$t = c + s \tan f$$

ทฤษฎีการวิบัติของ Mohr-Coulomb



a) Sand and Gravels

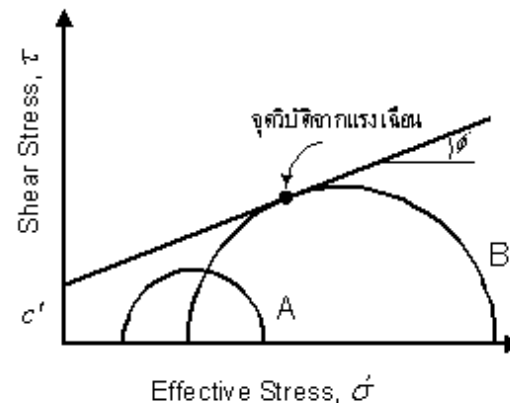


b) Clay

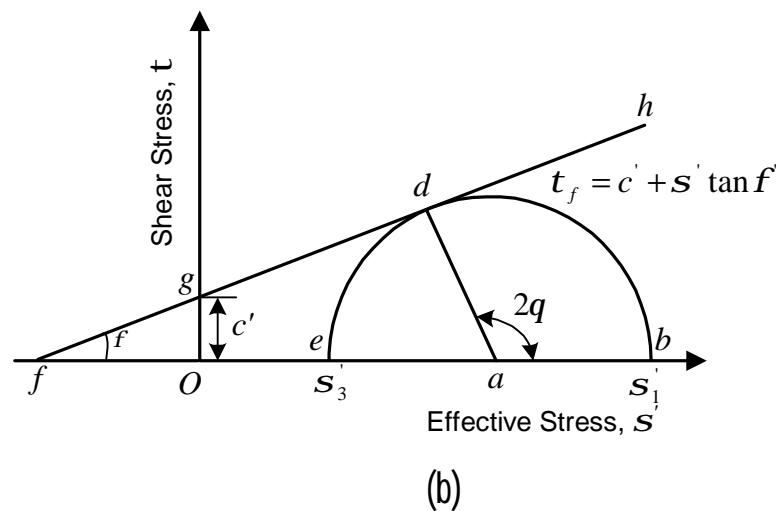
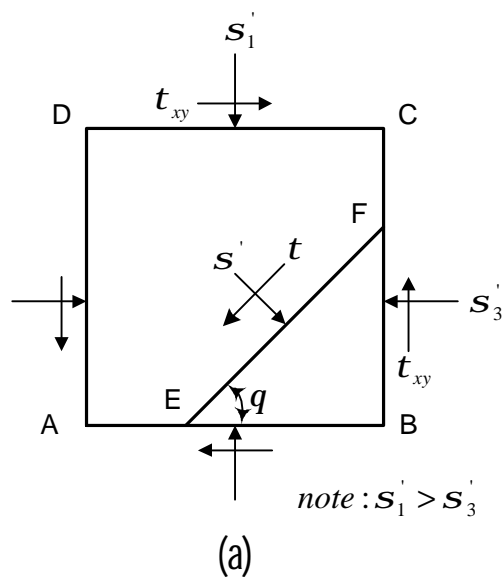
สมการบนเส้นขอบเขตวิบัติ

$$t_f = c' + s' \tan f'$$

โดยที่ $t_f = \text{Shear Strength}$



หน่วยแรงหลักที่จุดวิบัติ และระนาบวิบัติ



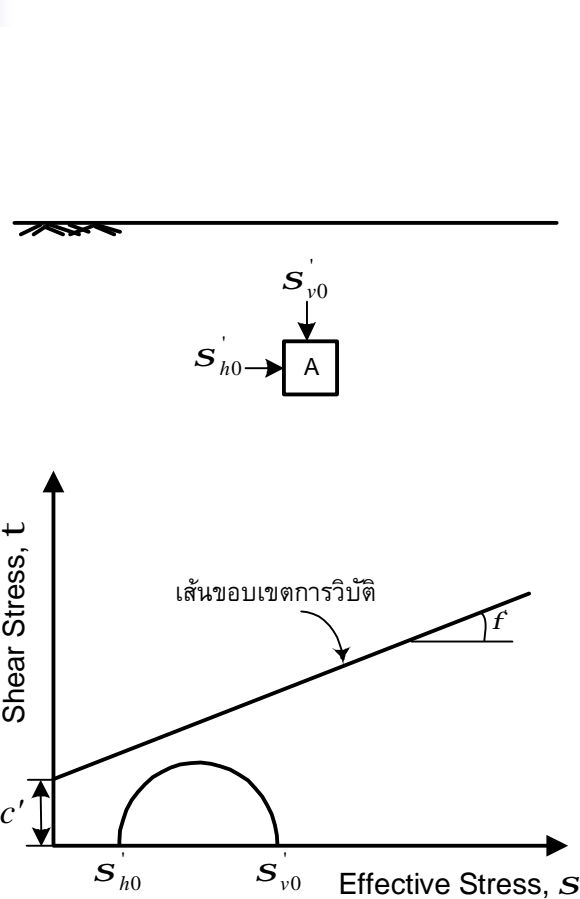
จากรูปเรขาคณิต มุมวิบัติ

$$q = 45 + \frac{f'}{2}$$

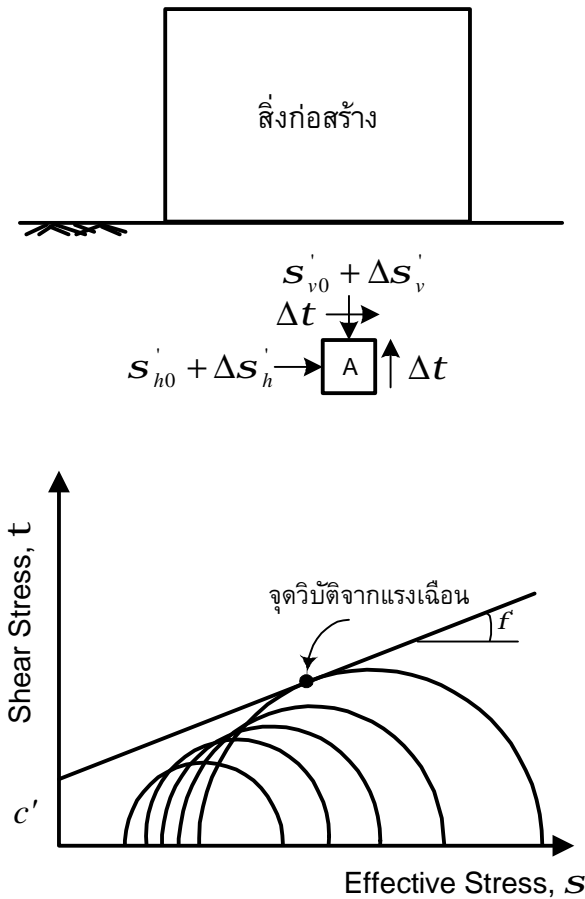
หน่วยแรงหลักประสิทธิผล

$$s_1' = s_3' \tan^2 \left(45 + \frac{f'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{f'}{2} \right)$$

Mohr Coulomb Diagram

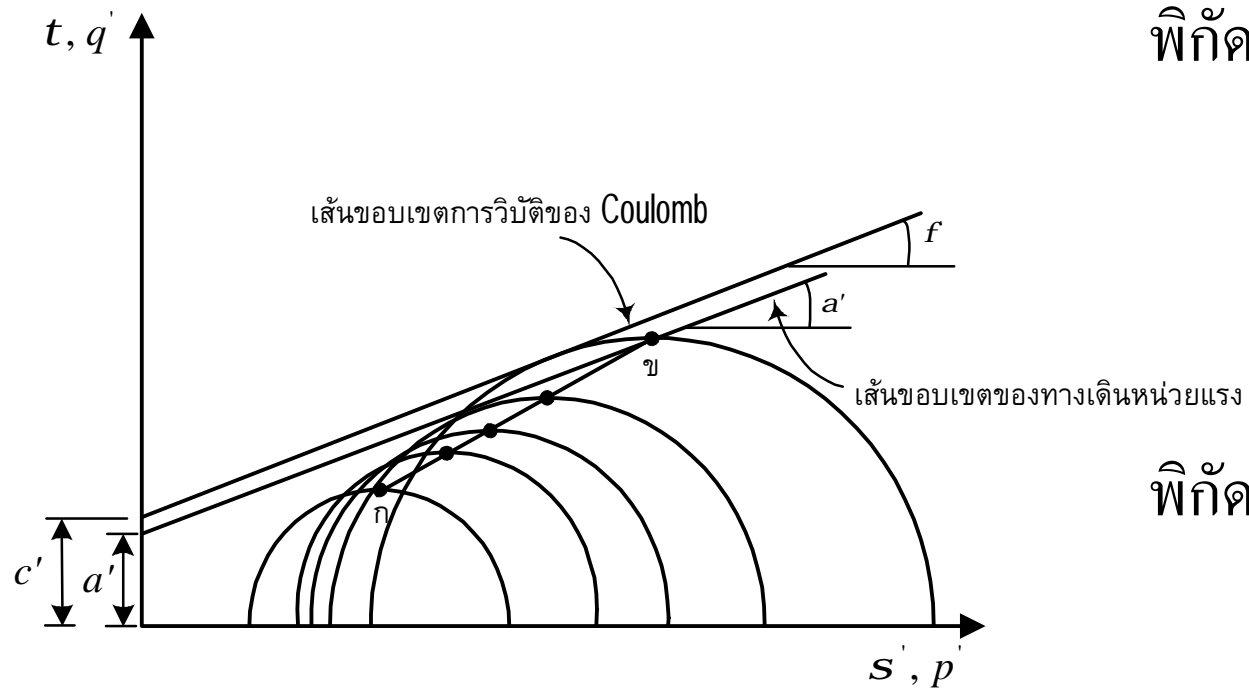


(ก) ก่อนการก่อสร้าง



(ข) หลังการก่อสร้าง

ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path)



พิกัดจุดศูนย์กลางวงกลม

$$p' = \frac{s_1' + s_3'}{2}$$

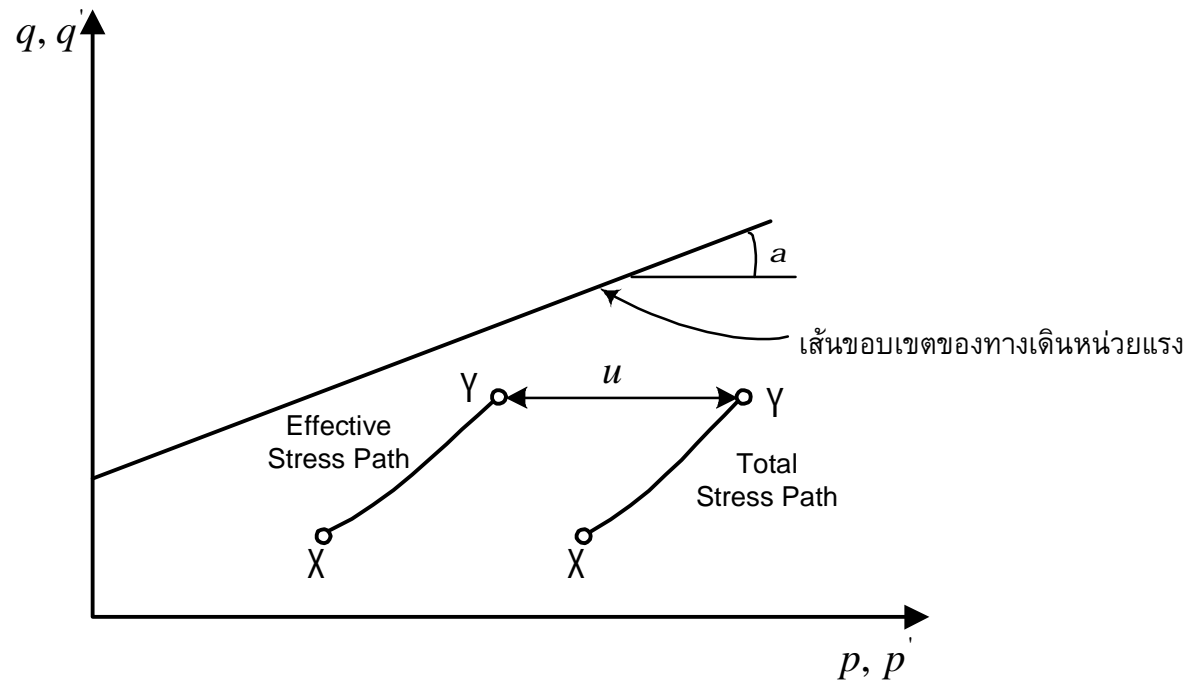
พิกัดแกนตั้ง

$$q' = \frac{s_1' - s_3'}{2}$$

เส้นขอบเขตทางเดินหน่วยแรง

$$q' = a' + p' \tan a'$$

Stress Path ในรูป Effective และ Total Stress

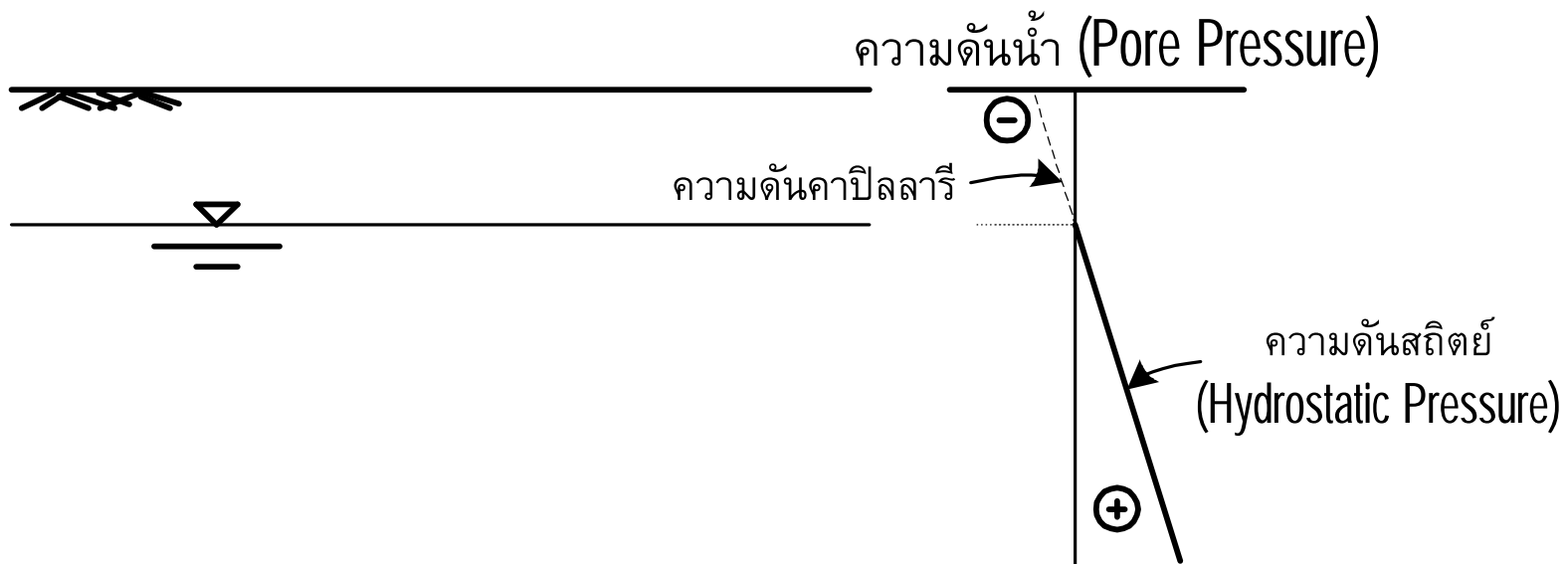


$$p = p' + u$$

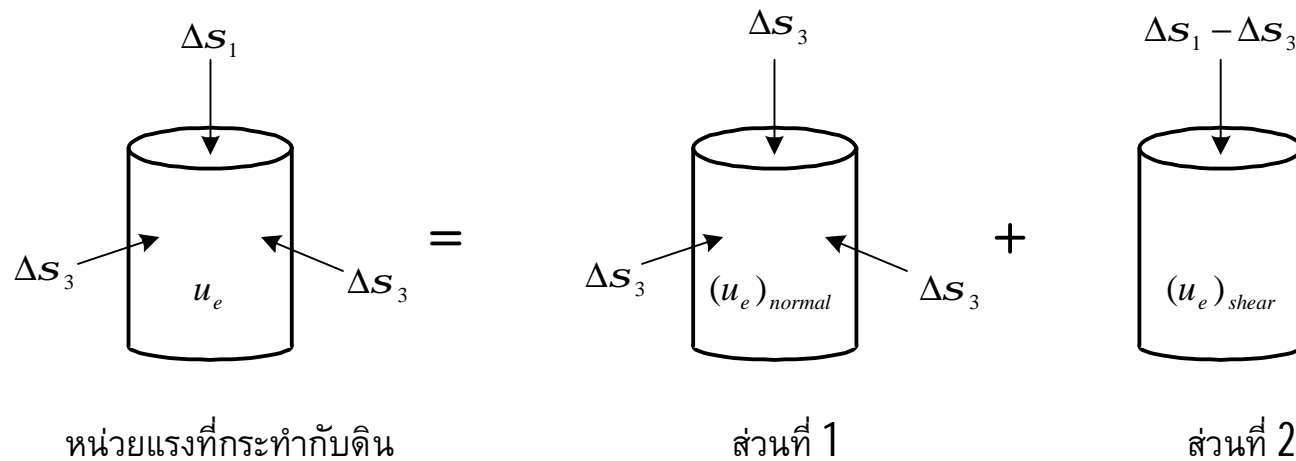
$$q = q'$$

- พิกัดในแกนตั้งของ **Effective** และ **Total Stress** เท่ากัน
- พิกัดแกนราบห่างเท่ากับความดันน้ำ (Pore Pressure, u)

ความดันของน้ำในโพรงดิน



ความดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore pressure, u_e)



เมื่อ

$$(u_e)_{normal} = B\Delta s_3 \quad \text{และ} \quad (u_e)_{shear} = \bar{A}(\Delta s_1 - \Delta s_3)$$

จากรูป

$$u_e = (u_e)_{normal} + (u_e)_{shear}$$

แทนค่า

$$u_e = B\Delta s_3 + \bar{A}(\Delta s_1 - \Delta s_3)$$

เมื่อ $B = \frac{(u_e)_{normal}}{\Delta s_3}$

Skempton, 1954

$$u_e = B[\Delta s_3 + A(\Delta s_1 - \Delta s_3)]$$

เมื่อ $A = \frac{\bar{A}}{B}$

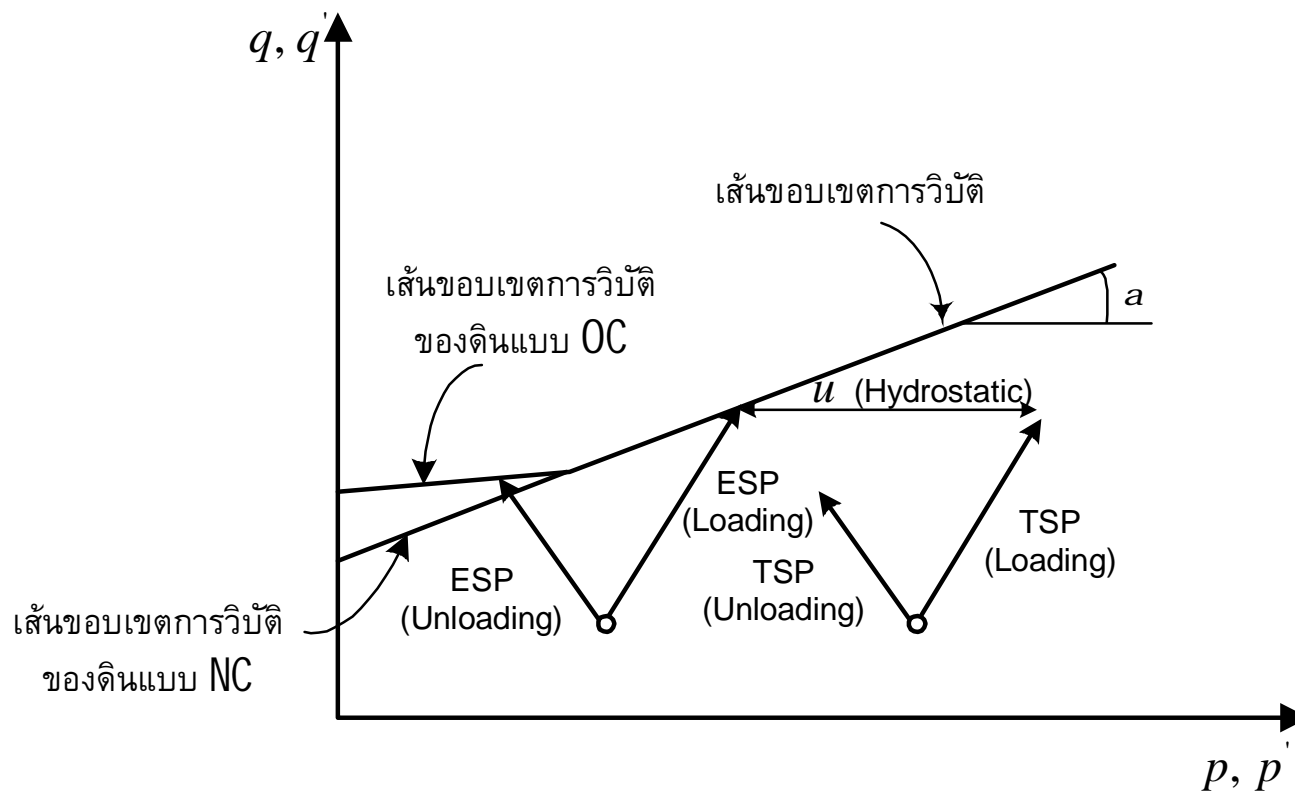


Drained Strength และ Undrained Strength

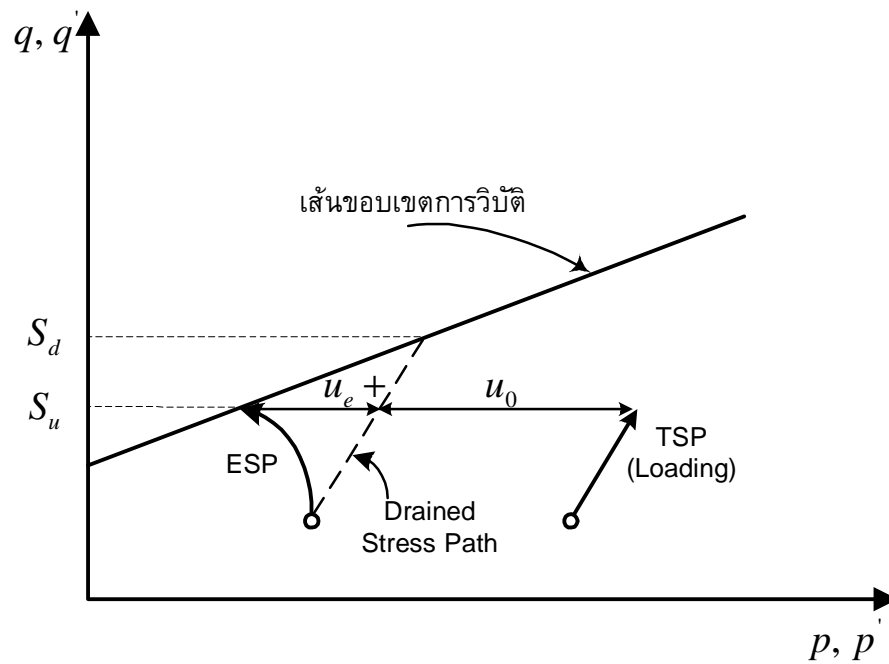
กำลังรับแรงเฉือนของดินจะอยู่ในสภาพใดนั้น ขึ้นอยู่กับ

- อัตราเร็วในการกระทำเฉือน (**Rate of Shear**)
- ความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของดิน (**Permeability**)

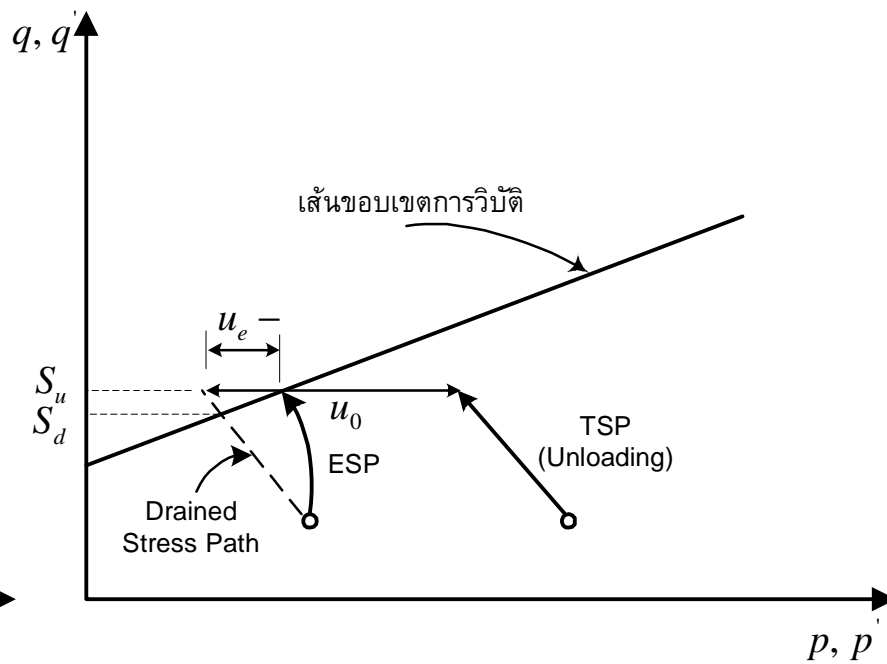
กำลังแบบระบายน้ำ (Drained Strength)



กำลังแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Strength)

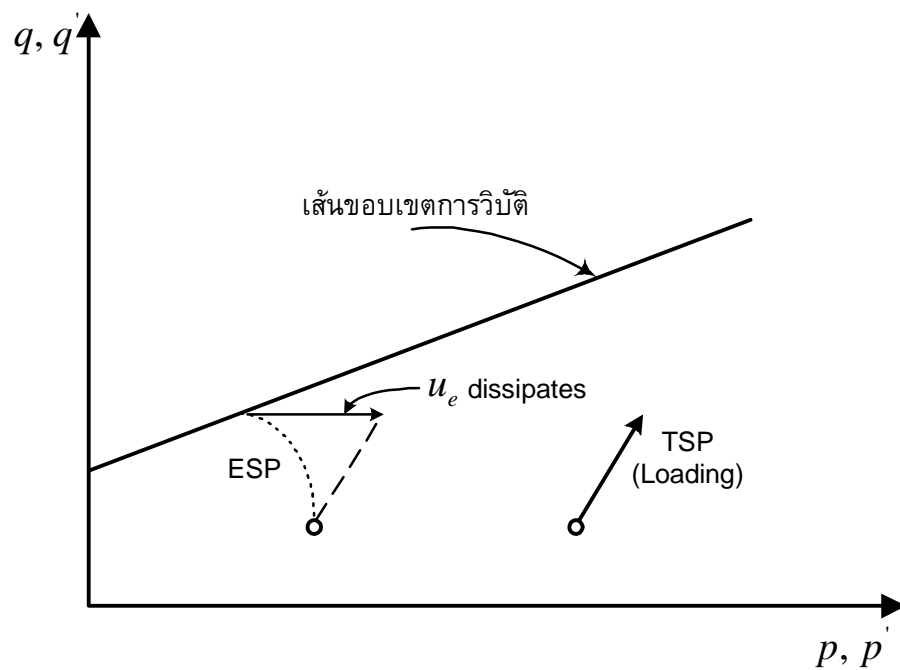


กรณี Loading (u_e เป็น +)

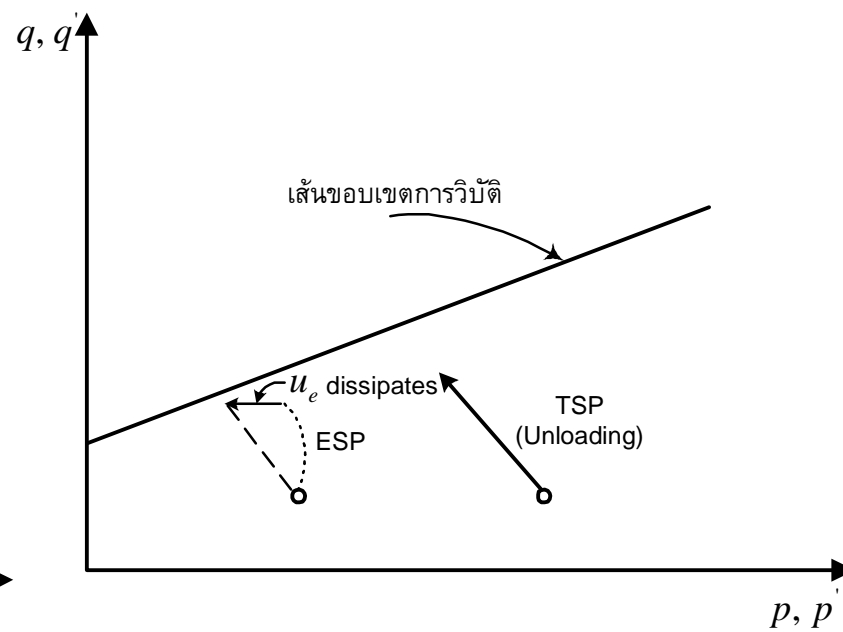


กรณี Unloading (u_e เป็น -)

Stress Path ขณะที่ u_e ระบายออกจากดิน

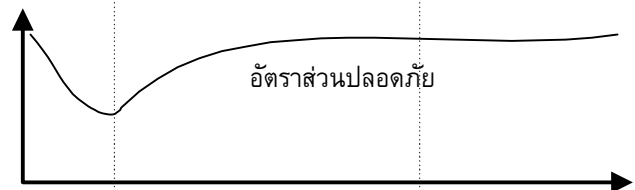
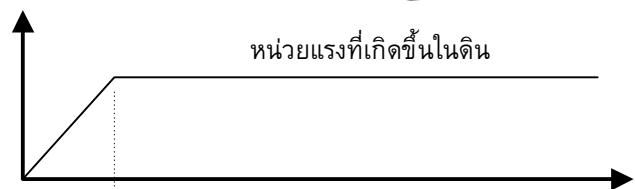
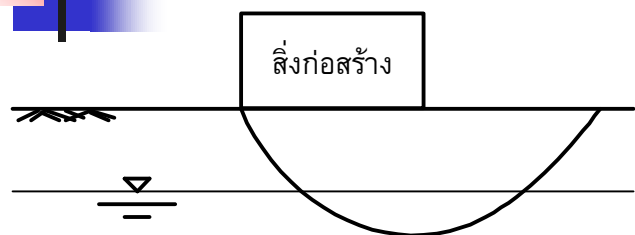


ขณะที่ $u_e +$ ระบายออกจากดิน



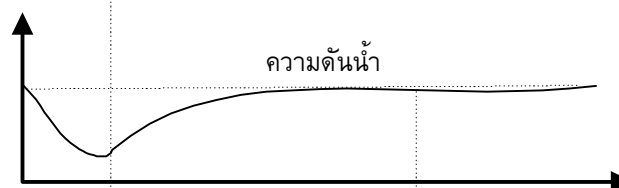
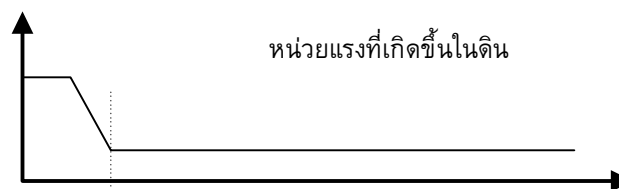
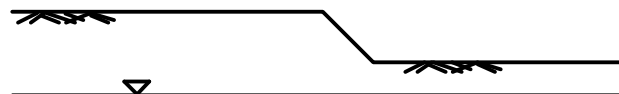
ขณะที่ $u_e -$ ระบายออกจากดิน

อัตราส่วนปลอดภัยในช่วงที่มีการก่อสร้าง



ช่วงก่อสร้าง ความดันน้ำระบายออก ความดันน้ำคงที่

(a) งานเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (ภาวะ Loading)



ช่วงก่อสร้าง ความดันน้ำระบายออก ความดันน้ำคงที่

(b) งานขุดดิน (ภาวะ Unloading)

$$FS = \frac{t_f}{t}$$



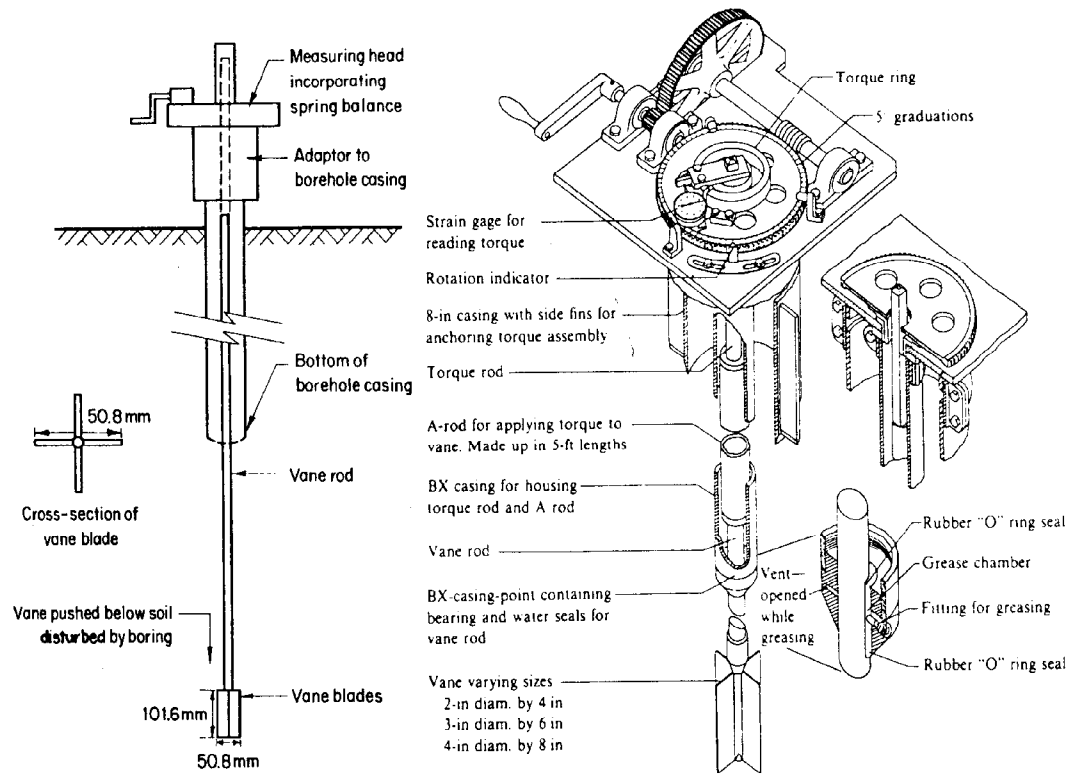
วิธีการทดสอบกำลังรับเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และยังเป็นฟังก์ชันของหน่วยแรงที่กระทำ $t = f(s')$ การทดสอบอาจทำได้ 2 ทาง คือ

- การทดสอบในสนาม หรือการทดสอบในที่ (**Field Test or In-situ Test**) ได้แก่ การทดสอบ **Field Vane Shear Test** และ การทดสอบ **Standard Penetration Test**

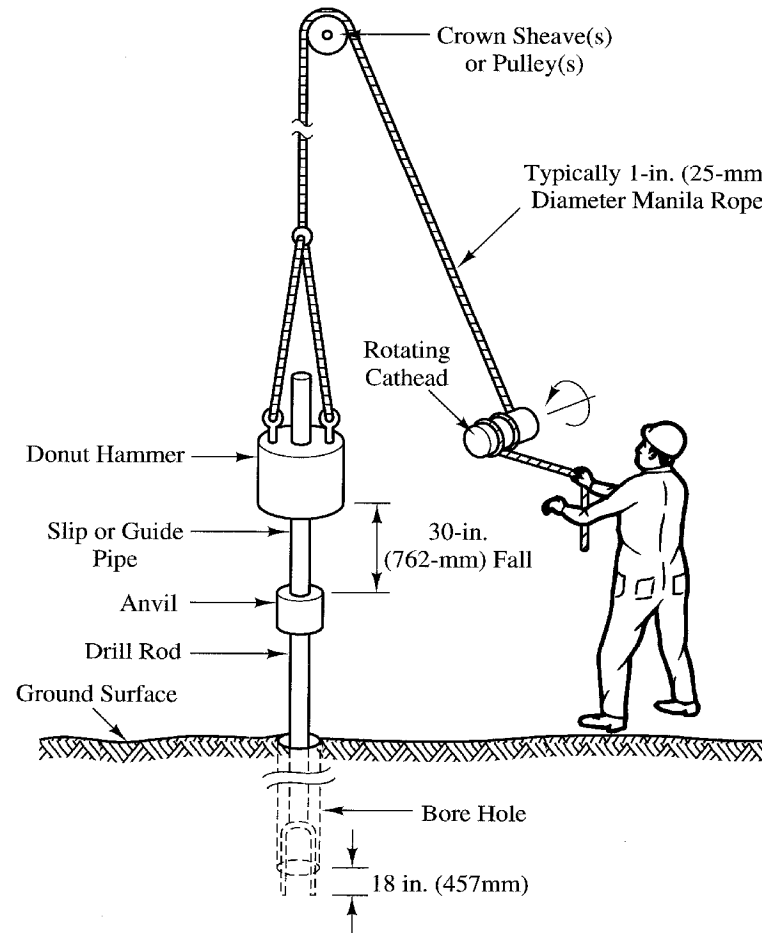
- การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (**Laboratory Test**) ได้แก่ การทดสอบ **Direct Shear** การทดสอบ **Unconfined Compression** และการทดสอบ **Triaxial**

Field Vane Shear Test, FVT

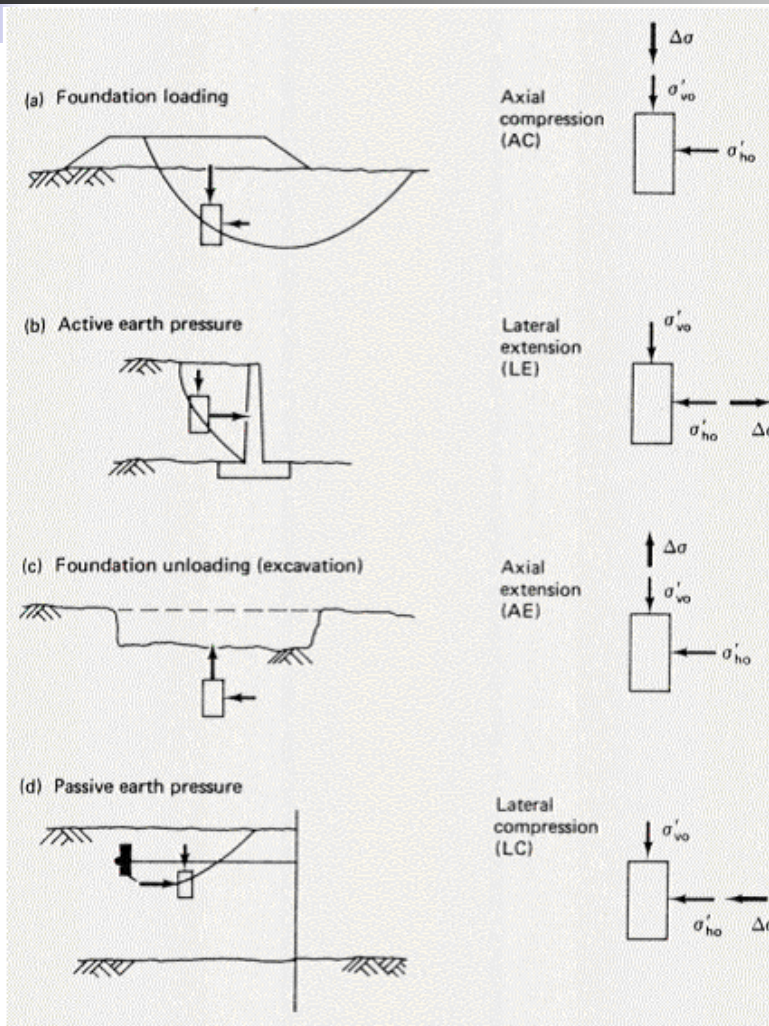


$$S_{u(FV)} = \frac{2T}{pD^2 (H + D/3)}$$

Standard Penetration Test, SPT



การทดสอบในห้องปฏิบัติการ



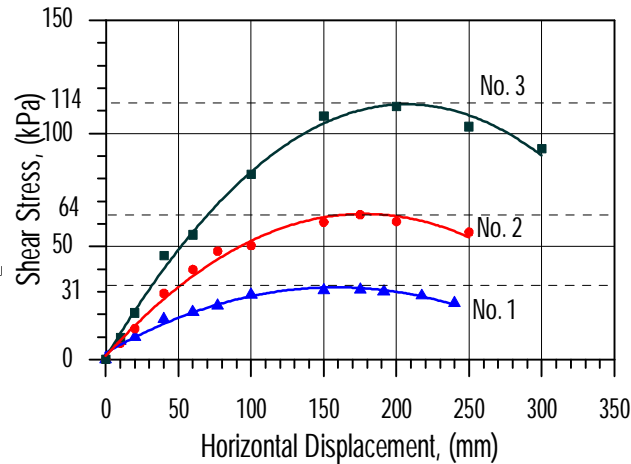
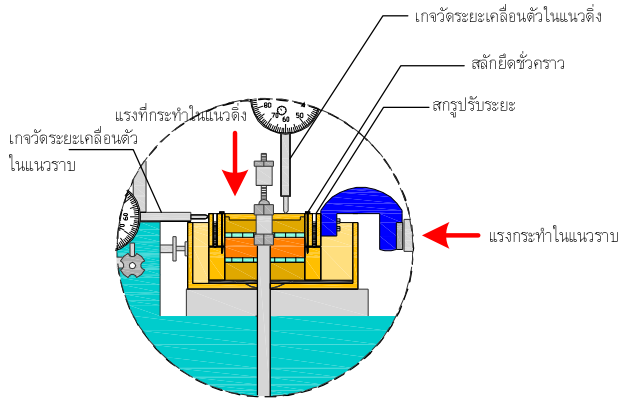
§ ค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการทดสอบในสนาม

§ ใช้ตัวอย่างดินคงสภาพเท่านั้น

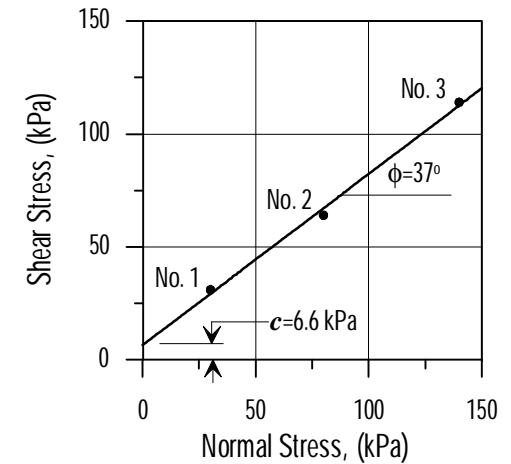
วิธีการทดสอบ ได้แก่

- Direct Shear Test
- Unconfined Compression Test
- Triaxial Test

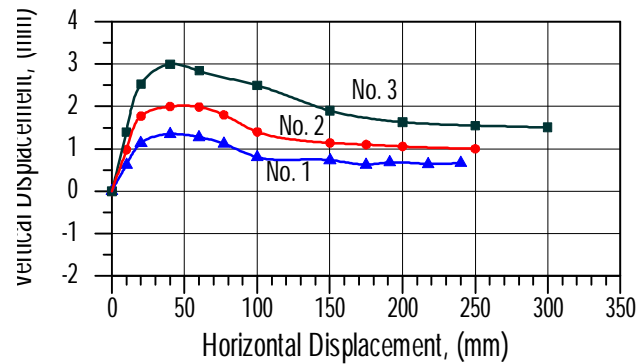
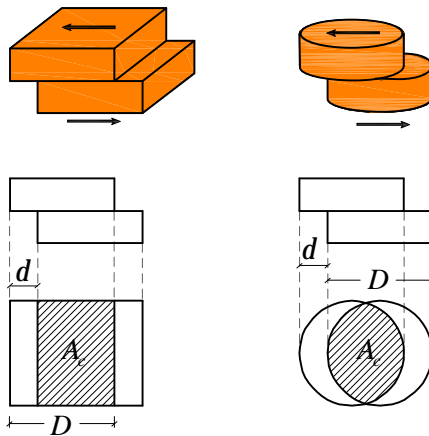
การทดสอบแบบเฉือนตรง (Direct Shear Test)



Relationship between shear stress and horizontal displacement

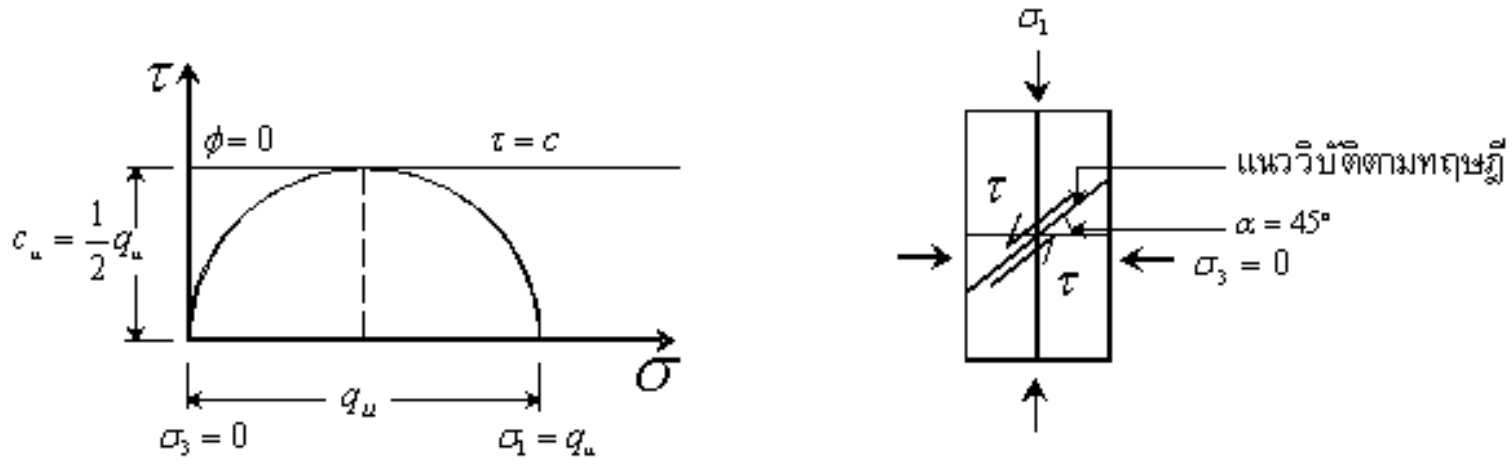


Relationship between shear stress and normal stress



Relationship between vertical and horizontal displacement

Unconfined Compression Test (UC Test)



$$c_u = q_u / 2$$

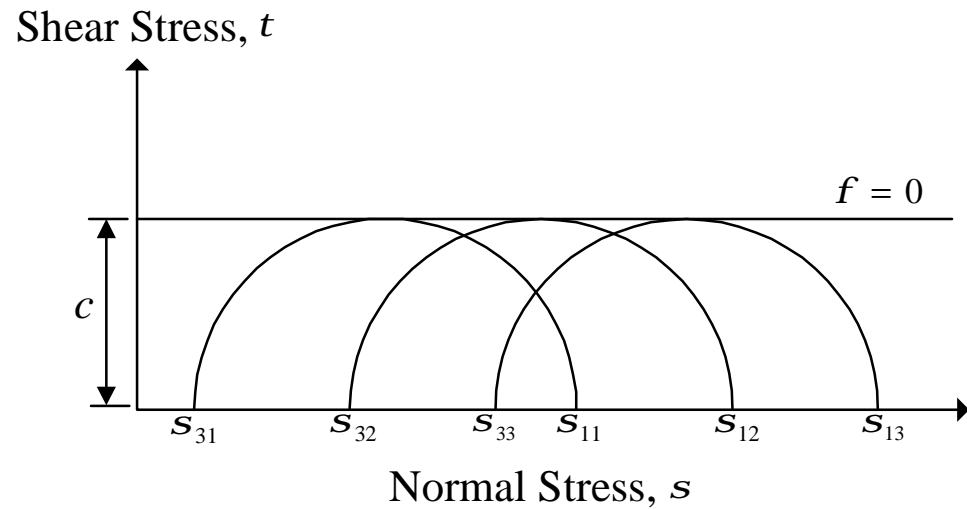
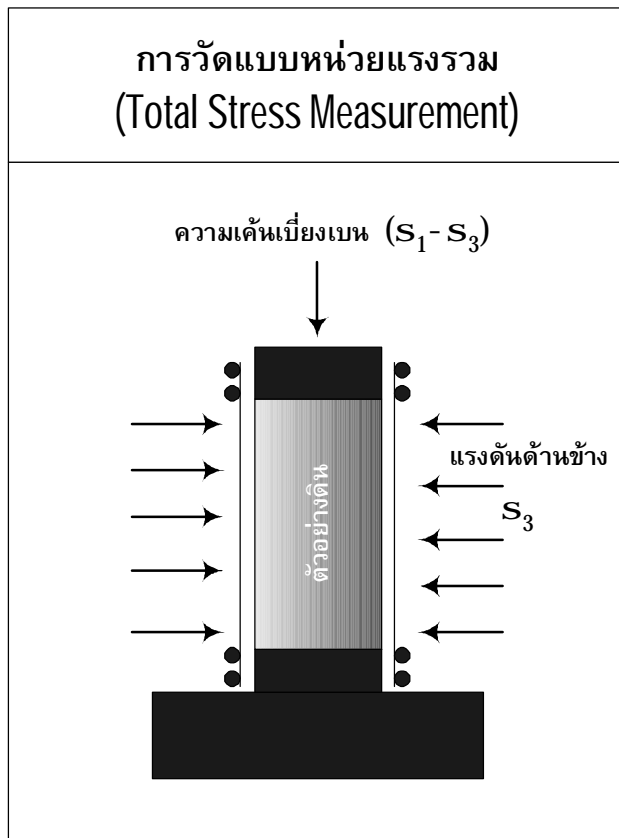


การทดสอบแรงอัดแบบสามแกน (Triaxial Test)

ทำได้ 3 ลักษณะ

- Unconsolidated Undrained Test (UU-Test)
- Consolidated Undrained Test (CU-Test)
- Consolidated Drained Test (CD-Test)

Unconsolidated Undrained Triaxial Test, UU-Test

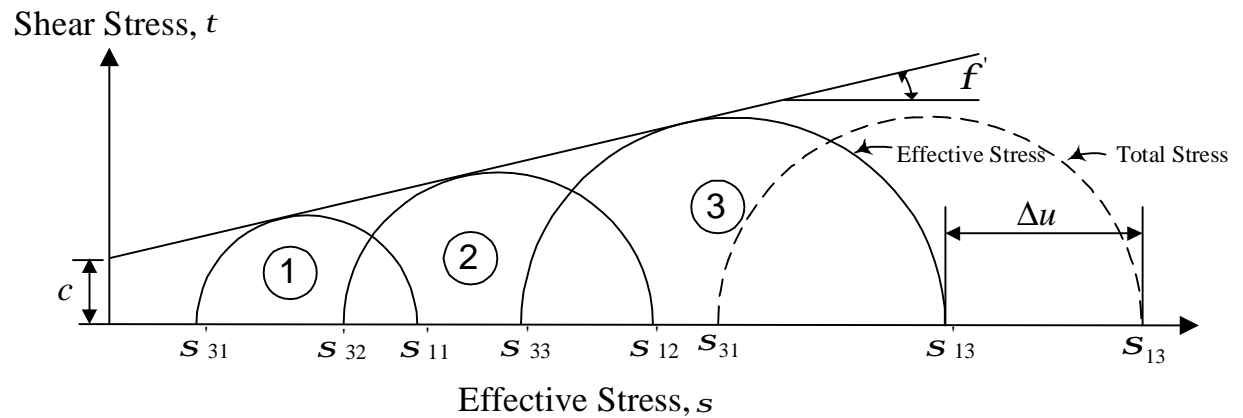
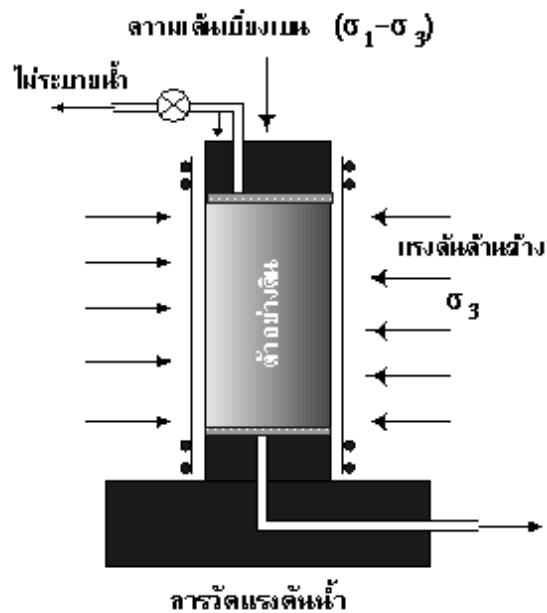


- ทดสอบได้ค่าคงตัวในรูปแบบ **Total Stress**

ได้แก่ c_u ส่วนค่า $f = 0$

Consolidated Undrained Test, CU-Test

Consolidated Undrained Test (CU-Test)

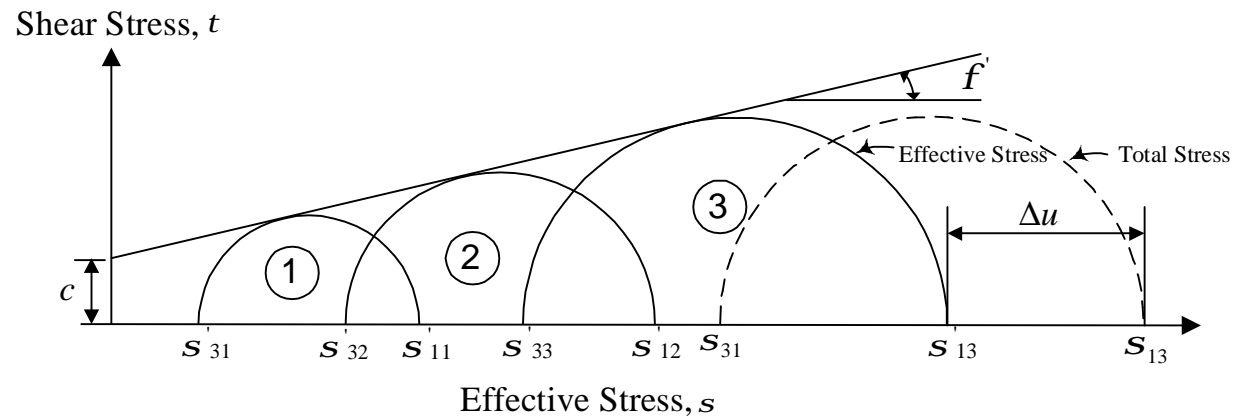
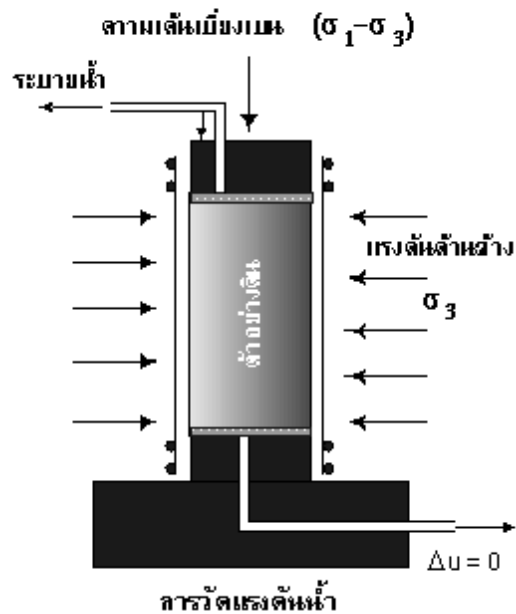


มีการวัดความดันน้ำ, u

- ทดสอบได้ค่าคงตัวในรูป **Total Stress**
- รู้ u จึงสามารถคำนวณ **Effective Stress** ได้
- พารามิเตอร์ที่ทดสอบได้ ได้แก่ c , f และ c' , f'

Consolidated Drained Test, CD-Test

Consolidated Drained Test (CD-Test)



Rate of Shear ช้ามาก!!

ไม่วัดความดันน้ำ, u

- ทดสอบได้ค่าคงตัวในรูป **Effective Stress**

- พารามิเตอร์ที่ทดสอบได้ ได้แก่ c' , f' เท่านั้น