คุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรม

บรรยายโดย

นายวรวัชร์ ตอวิวัฒน์

ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมดินถล่ม

หน่วยวิจัยดินถล่ม

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

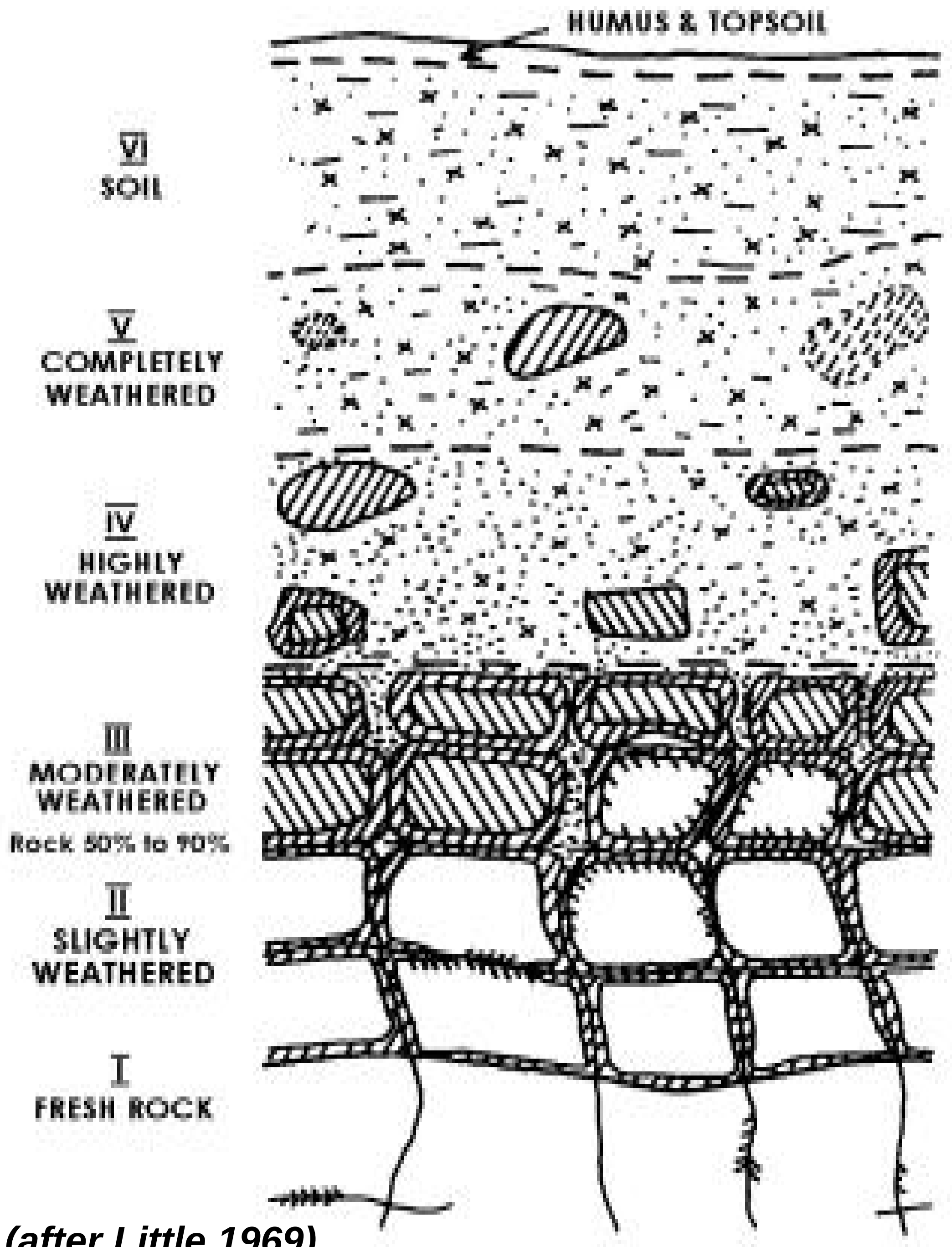
15 พฤษภาคม 2557

หัวข้อบรรยาย

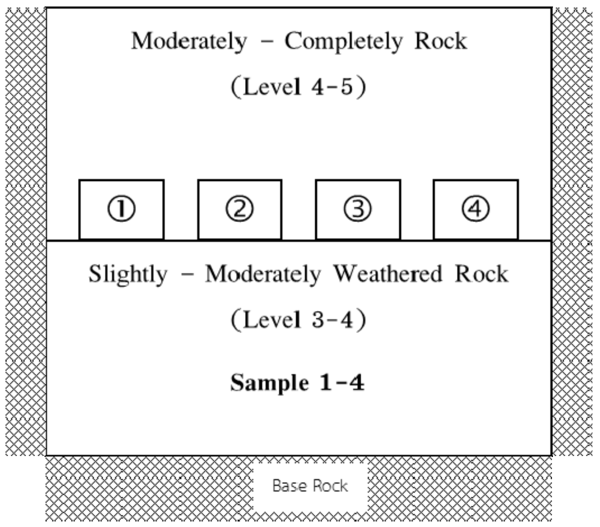
- การเก็บตัวอย่างดินในสนาม
- การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมปฐพี
  - การจำแนกประเภทของดิน (Unified Soil Classification System)
  - การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)
  - การทดสอบขีดแอตเตอร์เบอร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)
  - ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil)

- การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงของดิน
  - การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบตรง (Direct shear Test)
  - แบบ Conventional Test
  - แบบ Strength Reduction Index SRI
  - แบบ Multi Stage Direct Shear Test (KU-MDS Shear Test)

Typical classification of weathering profile



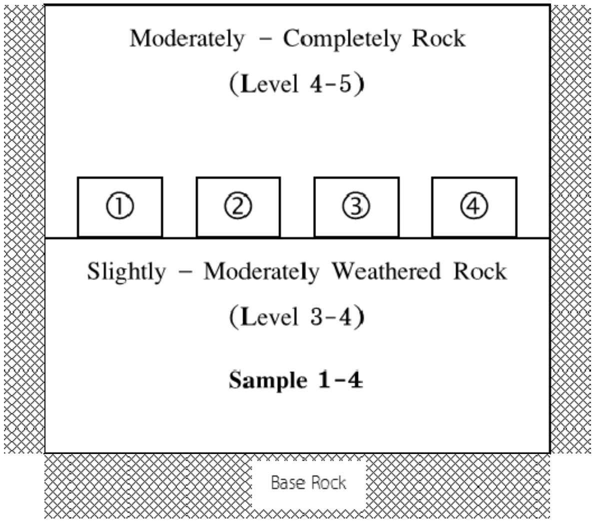
(after Little 1969)

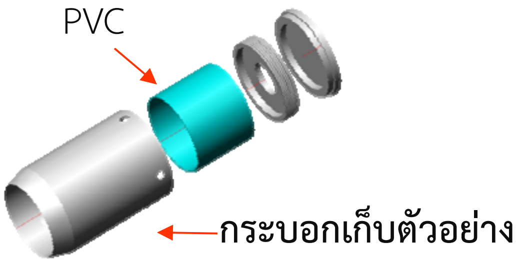


ระดับชั้นดินในการเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินในสนามเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรม

Test Pit





KU-Miniature Sampler

Undisturbed Sample

วรากรและคณะ(2546,2548)

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมปฐพี

การจำแนกประเภทของดิน
(Unified Soil Classification System)

ใช้อักษรย่อ 2 ตัว ทำให้จดจำง่าย และมีความหมายในตัวเอง
โดยอักษรตัวแรกจะบอกชนิดของดิน เช่น
G = Gravel (กรวด)
S = Sand (ทราย)
M = Silt (ดินทราย)
C = Clay (ดินเหนียว)

อักษรตัวที่สองจะบอกถึงการคละขนาดหรือความเหนียวของดิน เช่น
W = Well Graded (เม็ดคละ)
P = Poorly Grade (เม็ดไม่คละ),
H = High Liquid Limit (L.L. มีค่าสูง)
L = Low Liquid Limit (L.L. มีค่าต่ำ)

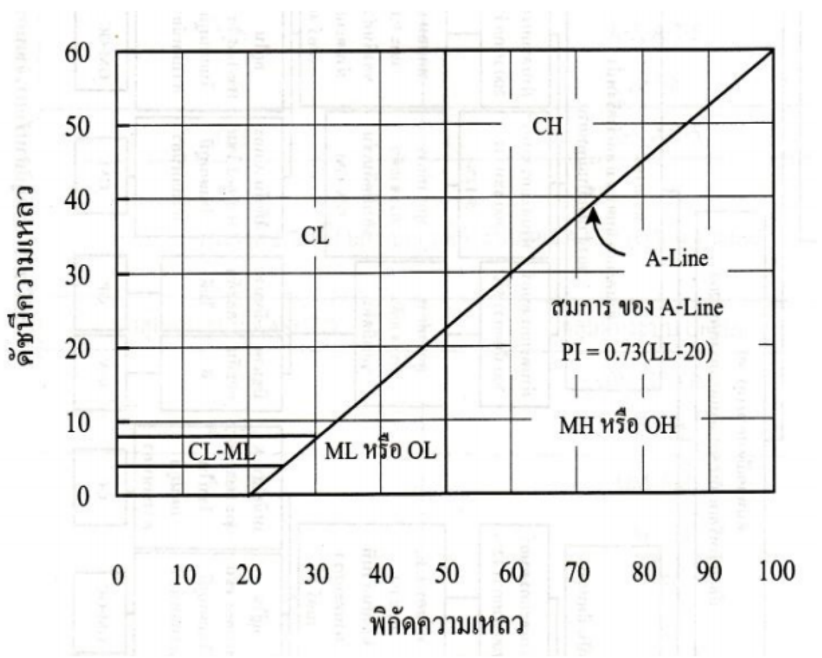
หรือ
O = Organic (ดินมีอินทรียสารปนมาก)

ระบบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
	3" 3/4" #4 #10 #40 #200 ขนาดรูตะแกรงมาตรฐาน
Unified และ USBR	หิน / กรวด (หยาบ, ละเอียด) / ทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	75 19 4.75 2 0.425 0.075
ASTM D422-63	หิน / กรวด / ทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ตะกอนทราย / ดินเหนียว / แขวนลอย
	75 19 4.75 2 0.425 0.075 0.005 0.001
JIS	หิน / กรวด (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ทราย (หยาบ, ละเอียด) / ตะกอนทราย / ดินเหนียว / แขวนลอย
	75 20 5 2 0.425 0.075 0.005 0.001
CAA	กรวด / ทราย (หยาบ, ละเอียด) / ตะกอนทราย / ดินเหนียว
	2 0.25 0.05 0.005
ASSHTO M146-70	หิน / กรวด (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ทราย (หยาบ, ละเอียด) / ตะกอนทราย / ดินเหนียว / แขวนลอย
	75 25 9.5 2 0.425 0.075 0.002 0.001
BSI 1377-75	หิน / กรวด (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ตะกอนทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ดินเหนียว
	60 20 5 2 0.6 0.2 0.06 0.02 0.006 0.002
DIN 4D22-55	หิน / กรวด (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ตะกอนทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ดินเหนียว
	60 20 5 2 0.6 0.2 0.06 0.02 0.006 0.002
MIT	หิน / กรวด / ทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ตะกอนทราย (หยาบ, ปานกลาง, ละเอียด) / ดินเหนียว
	60 2 0.6 0.2 0.06 0.02 0.006 0.002
USDA	หิน / กรวด (หยาบ, ละเอียด) / ทราย* (1, 2, 3, 4, 5) / ตะกอนทราย / ดินเหนียว
	75 12.5 2 1 0.5 0.25 0.1 0.05

ตารางการจำแนกประเภทของดิน Unified Soil Classification System

การจำแนกประเภททั่วไป			สัญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มดิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท		
ดินพวกเม็ดหยาบ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50%	**กรวด** ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ	กรวดสะอาดมีเม็ดละเอียด ปนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย	GW	กรวดมีขนาดคละกันดี กรวดผสมทรายมีเม็ดละเอียดปนบ้าง หรือไม่มีเลย	การจำแนกประเภทของดินโดยอาศัยเปอร์เซ็นต์ของดินพวกเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 5% : GW GP SW SP ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 12% : GM GC SM SC ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่าง 5%-12% : คาบเกี่ยวกันใช้สัญลักษณ์ 4 ตัว	C_u มากกว่า 4 C_c อยู่ระหว่าง 1-3	
			GP	กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี กรวดผสมทรายมีเม็ดละเอียดปนบ้าง หรือไม่มี		ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท GW	
		กรวดมีเม็ด ละเอียดปน	GM	กรวดมีตะกอนทรายปน กรวด-ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน		Atterberg limits อยู่ใต้ เส้น A หรือ P.I. < 4	Atterberg limits อยู่ใน Hatched โซนถือว่า คาบเกี่ยวกันใช้ สัญลักษณ์ 4 ตัว
			GC	กรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียวผสมกัน		Atterberg limits อยู่เหนือ เส้น A หรือ P.I. > 7	
	ทราย ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ	ทรายสะอาดมีเม็ดละเอียด ปนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย	SW	ทรายมีขนาดคละกันดี ทรายปนกรวดมีเม็ดละเอียดปนบ้าง หรือไม่มี		C_u มากกว่า 6 C_c อยู่ระหว่าง 1-3	
			SP	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี ทรายปนกรวดมีเม็ดละเอียดปนบ้าง หรือไม่มี		ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท SW	
		ทรายมีเม็ด ละเอียดปน	SM	ทรายมีตะกอนทรายปน ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน		Atterberg limits อยู่ใต้ เส้น A หรือ P.I. < 4	Atterberg limits อยู่ใน Hatched โซนถือว่า คาบเกี่ยวกันใช้ สัญลักษณ์ 4 ตัว

ตารางการจำแนกประเภทของดิน Unified Soil Classification System

การจำแนกประเภททั่วไป		สัญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มดิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท
ดินพวกเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50%	ตะกอนทรายและดินเหนียว L.L. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50	ML	ตะกอนทรายอนินทรีย์และทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทราย หรือดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย	
		CL	ตะกอนทรายอนินทรีย์มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนตะกอนทราย ดินเหนียวล้วน	
		OL	ตะกอนทรายอนินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีมีความเหนียวต่ำ	
	ตะกอนทรายและดินเหนียว L.L. มากกว่า 50	MH	ตะกอนทรายอนินทรีย์และทรายละเอียดหรือตะกอนทรายปนไมก้าหรือดินเบาตะกอนทรายที่ยืดหยุ่น	
		CH	ดินเหนียวอนินทรีย์มีความเหนียวสูง ดินเหนียวมีความหนืดสูง	
		OH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง ตะกอนทรายอินทรีย์	
		PT	พีด โคลนสีดำ และดินอินทรีย์สูงอื่นๆ	แยกได้โดย สี กลิ่น การสัมผัสและลักษณะเนื้อ

COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)		
	Clean Gravels (Less than 5% fines)	
GRAVELS More than 50% of coarse fraction larger than No. 4 sieve size	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
	GP	Poorly-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
	Gravels with fines (More than 12% fines)	
	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Clean Sands (Less than 5% fines)	
SANDS 50% or more of coarse fraction smaller than No. 4 sieve size	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines
	Sands with fines (More than 12% fines)	
	SM	Silty sands, sand-silt mixtures
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures

FINE-GRAINED SOILS (50% or more of material is smaller than No. 200 sieve size.)		
SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50%	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty of clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays
	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity
SILTS AND CLAYS Liquid limit 50% or greater	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts
	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
	OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts
HIGHLY ORGANIC SOILS	PT	Peat and other highly organic soils

USCS ??

การจำแนกประเภทของดิน (Unified Soil Classification System)

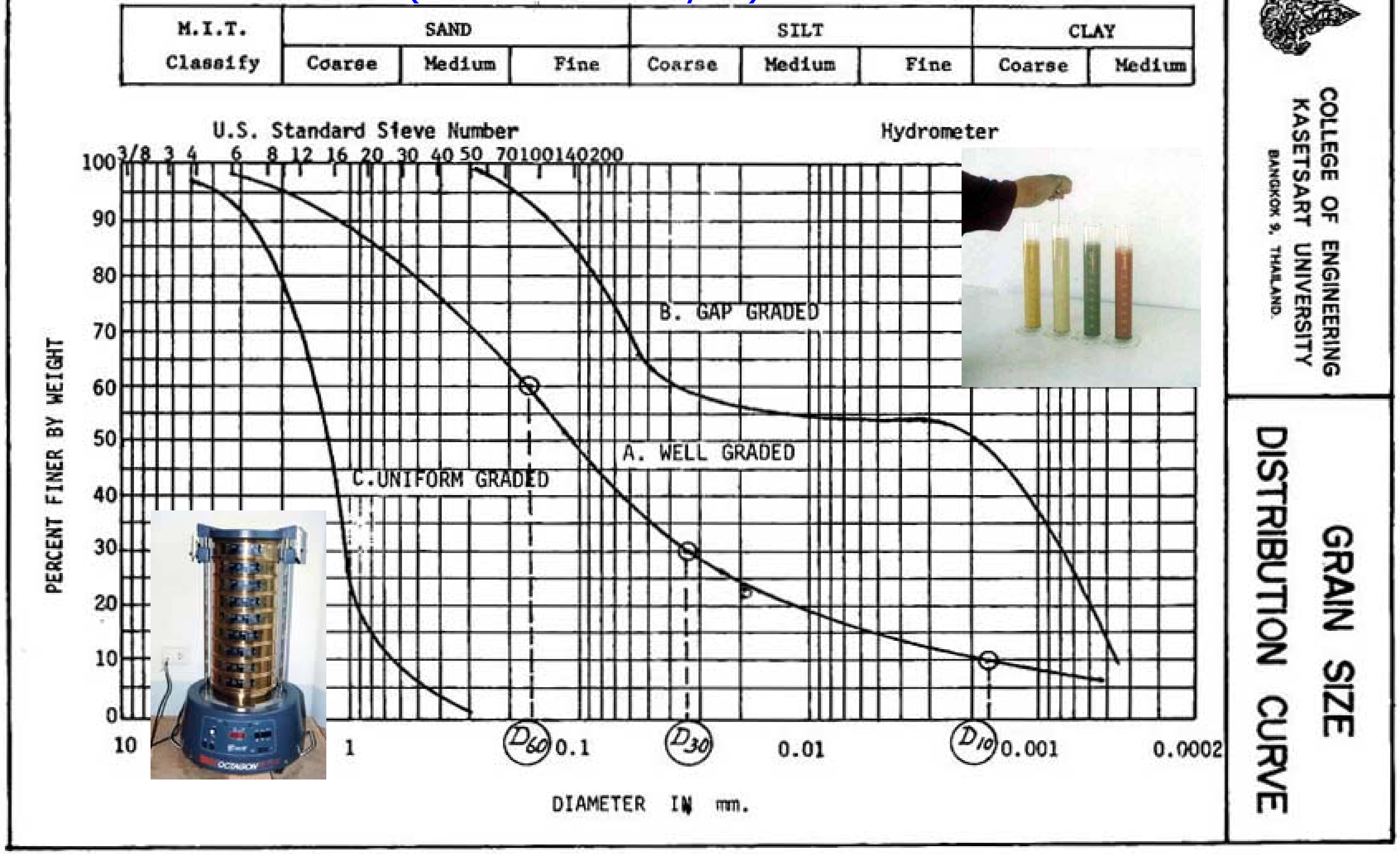
1. การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

Sieve Analysis

Hydrometer Analysis

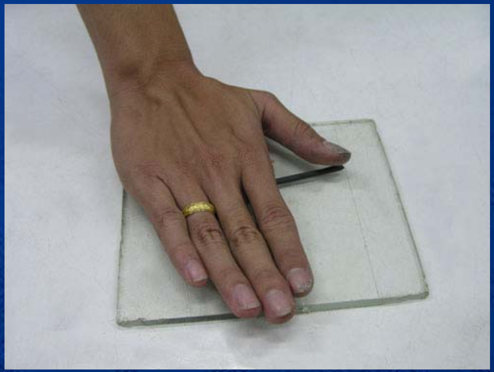
การจำแนกประเภทของดิน (Unified Soil Classification System)

1. การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)



การจำแนกประเภทของดิน (Unified Soil Classification System)

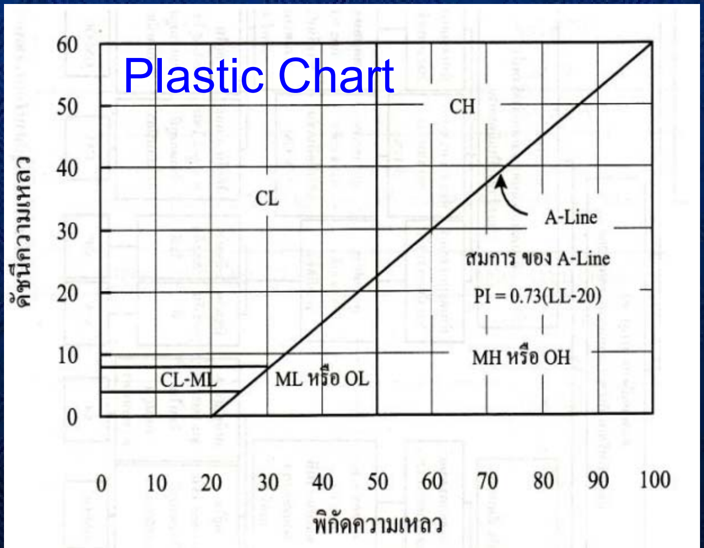
2. การทดสอบขีดแอตเตอร์เบอร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)



Plastic Limit (PL)

Liquid Limit (LL)

Plasticity Index PI = LL - PL



Liquid Limit (LL)

การจำแนกประเภทของดิน (Unified Soil Classification System)

3. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil)

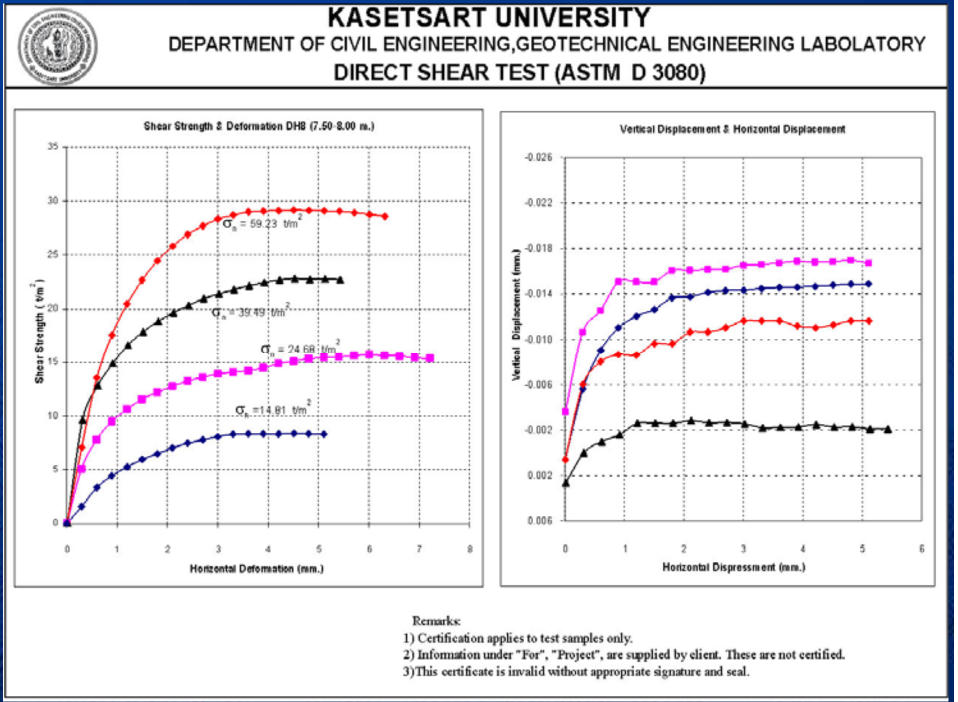
*มีความสำคัญต่อการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงของดินในการคำนวนหาระดับความอิ่มตัวของตัวอย่างในการทดสอบ KU-MDS Shear Test

การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงของดิน

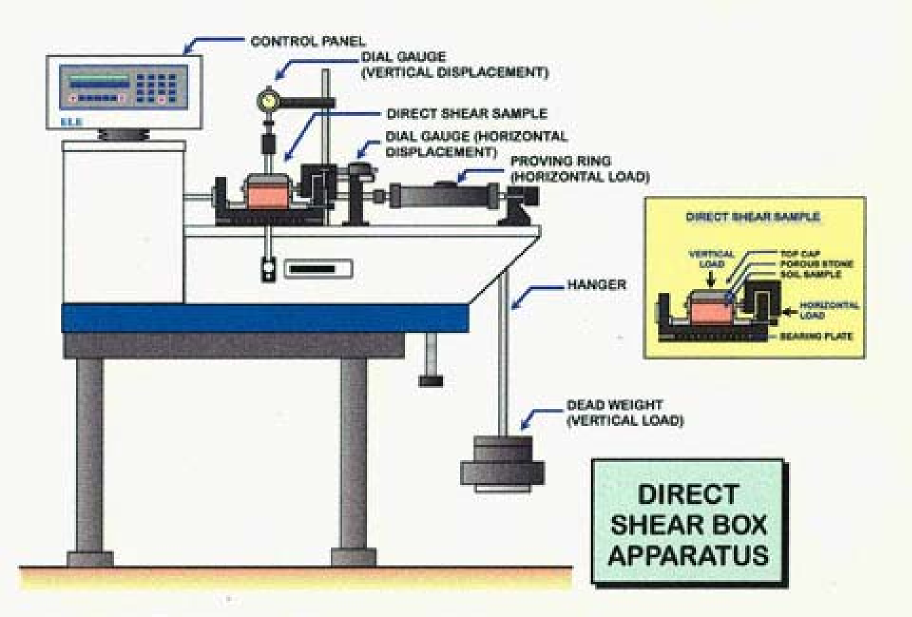
- การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบตรง (Direct shear Test)
    - แบบ Conventional Test
    - แบบ Strength Reduction Index SRI
    - แบบ Multi Stage Direct Shear Test (KU-MDS Shear Test)

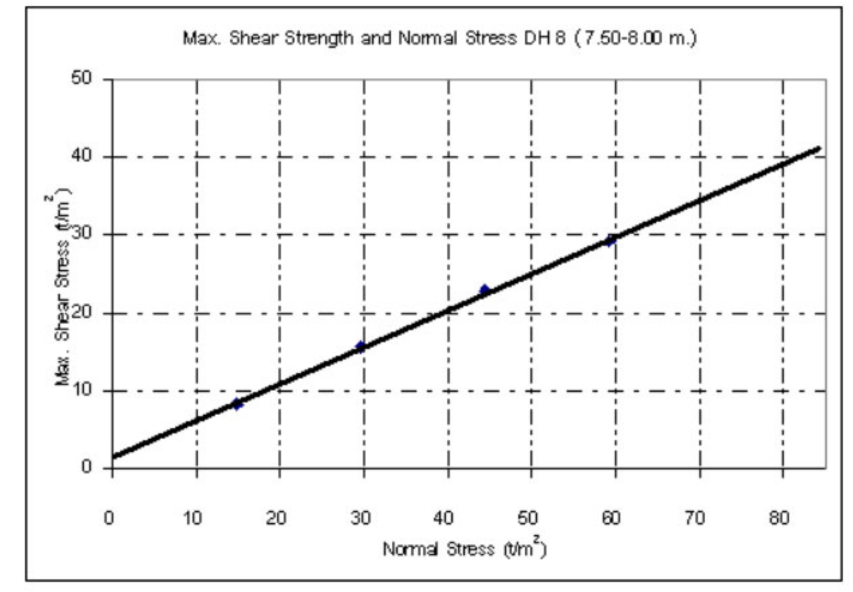
เครื่องทดสอบ Direct Shear Test

- การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบตรง (Direct shear Test)
  - แบบ Conventional Test



- ใช้ตัวอย่างดินทดสอบ 3 ถึง 4 ตัวอย่าง โดยเปลี่ยนขนาดของน้ำหนักกดทับตัวอย่าง
- นิยมทดสอบในกรณี conservative หรือกรณีแย่ที่สุดโดยการแช่ตัวอย่างให้อิ่มตัวด้วยน้ำก่อนการทดสอบ

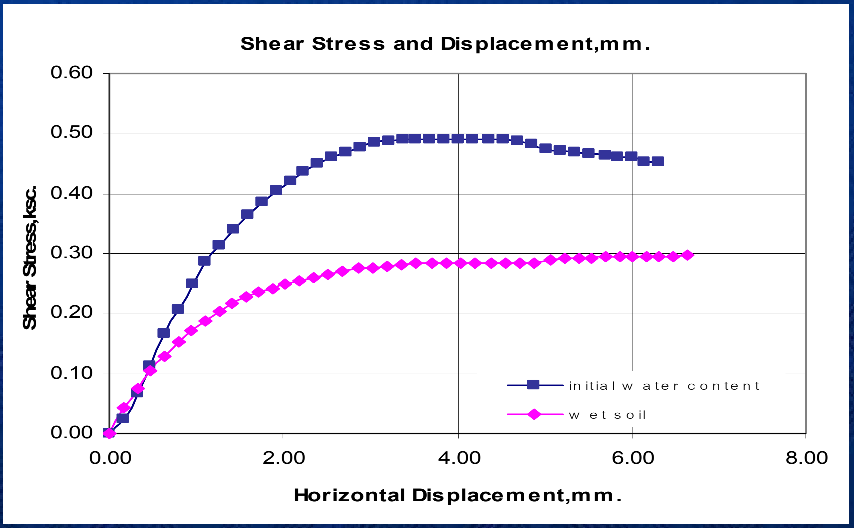




Test No.	Normal Stress t/m.²	Max Shear Stress t/m.²
1	14.81	8.38
2	24.68	15.72
3	39.49	22.82
4	59.23	29.18
	ϕ =25 Degree	c =1.63 t/m.²

- การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบตรง (Direct shear Test)
  - แบบ Strength Reduction Index ; SRI

- ใช้ตัวอย่างดินทดสอบ 2 ตัวอย่าง โดยกำหนดขนาดของน้ำหนักกดทับตัวอย่างตามความลึกที่เท่ากัน
- ทดสอบตัวอย่างดินที่สภาวะความชื้นตามธรรมชาติหรือความชื้นในสนามขณะทำการเก็บตัวอย่าง
- ทดสอบตัวอย่างดินในกรณี conservative หรือกรณีแย่ที่สุดโดยการแช่ตัวอย่างให้อิ่มตัวด้วยน้ำก่อนการทดสอบ
- เปรียบเทียบการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนใน 2 สภาวะความชื้น เพื่อคำนวณหาค่า Strength Reduction Index ; SRI

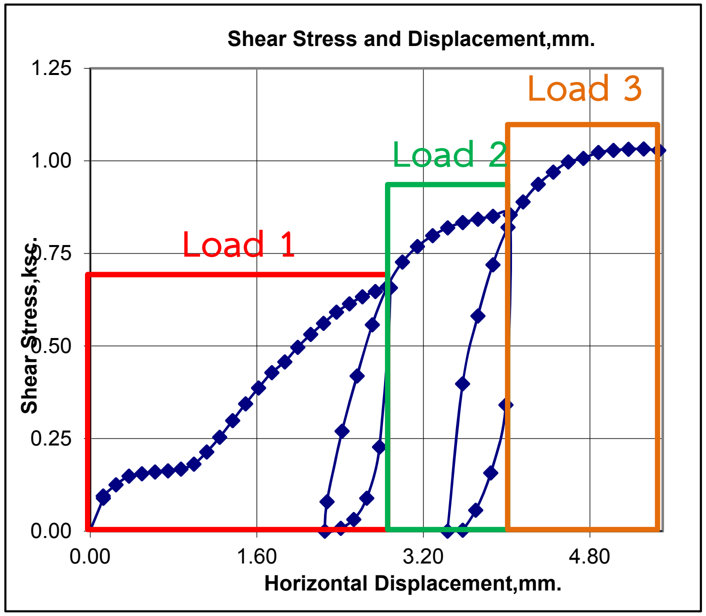


$$\%SRI = \frac{\text{Shear Stress (initial)} - \text{Shear Stress (Soaked)}}{\text{Shear Stress (initial)}} \times 100$$

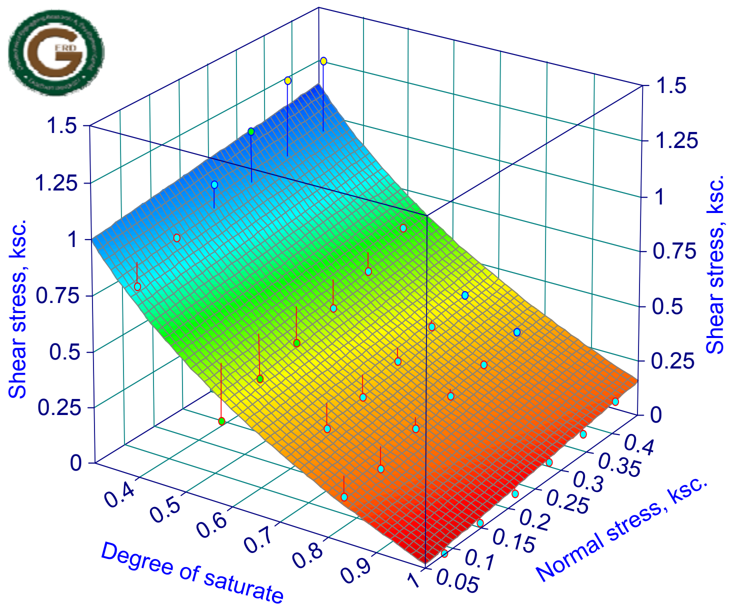
Multi Stage Direct Shear Test (KU-MDS Shear Test)

เครื่องมือทดสอบ Direct Shear Test

การทดสอบ KU-MDS โดยการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างที่มีระดับความอิ่มตัวร้อยละ 60 ,80 และ100 จำนวน 3 ตัวอย่าง แต่ละระดับความอิ่มตัวจะใช้ Normal Load ที่แตกต่างกัน 3 Load ดังนั้น 1 ชุดการทดสอบ จะเทียบเท่ากับการทดสอบแบบทั่วไปเท่ากับ 9 ตัวอย่าง

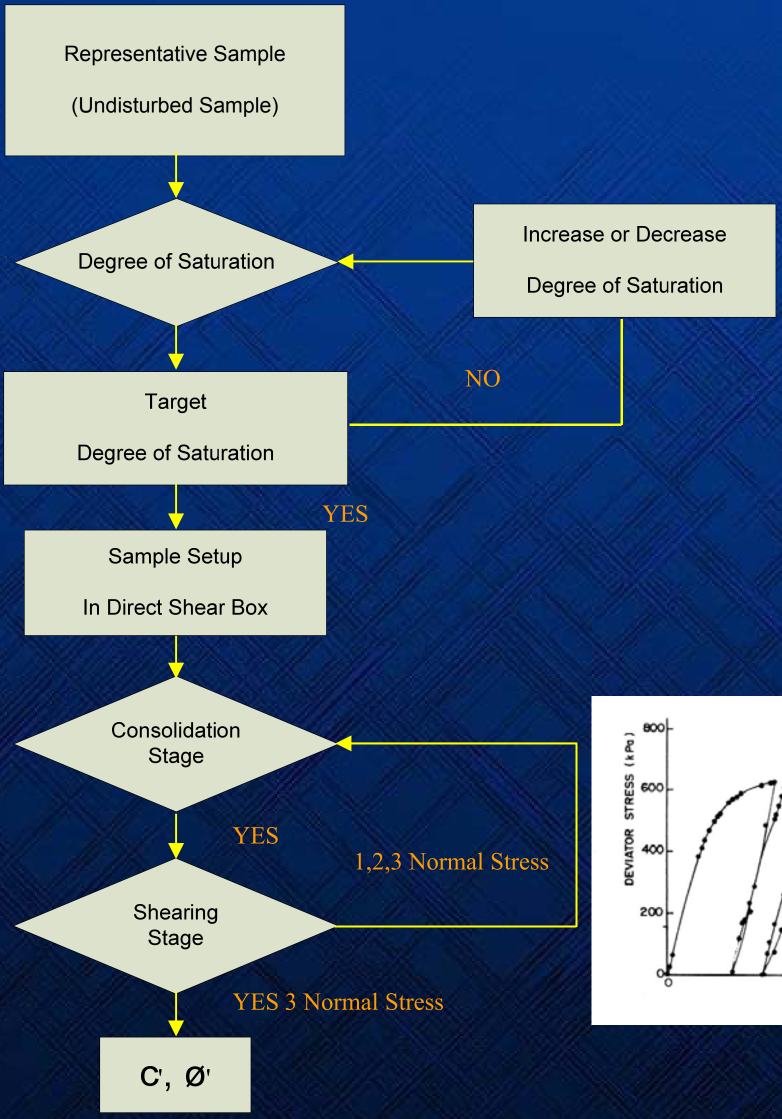


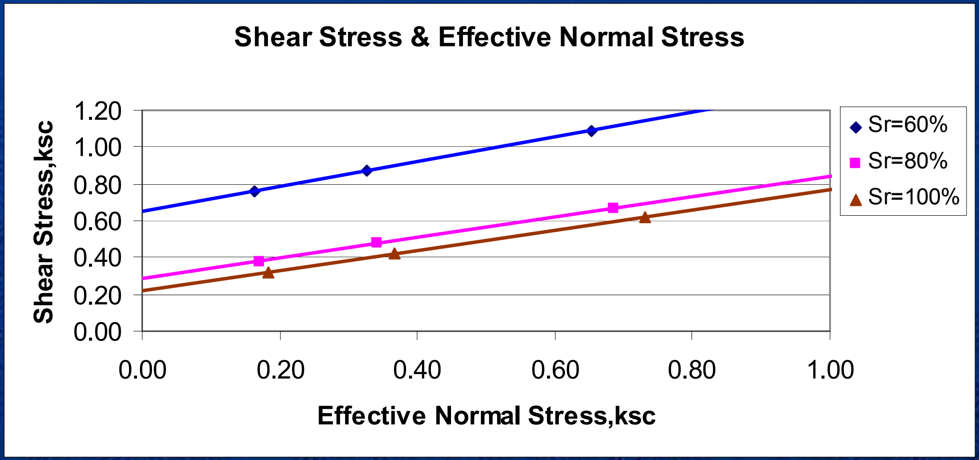
ที่มา : สุทธิศักดิ์และวรวัชร์ (2553)

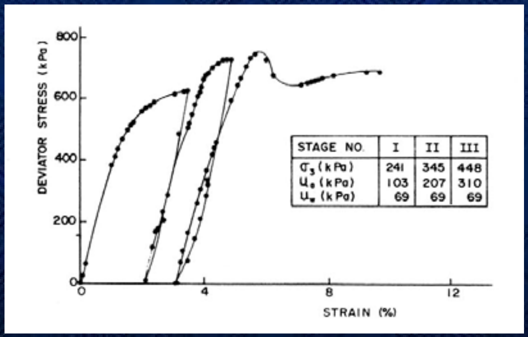


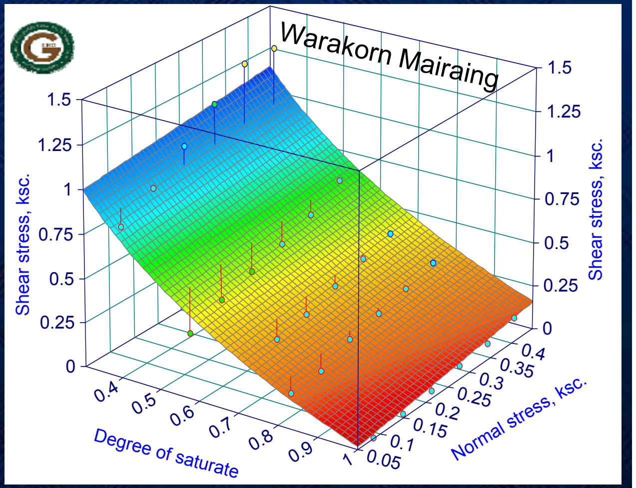
Warakorn Mairaing

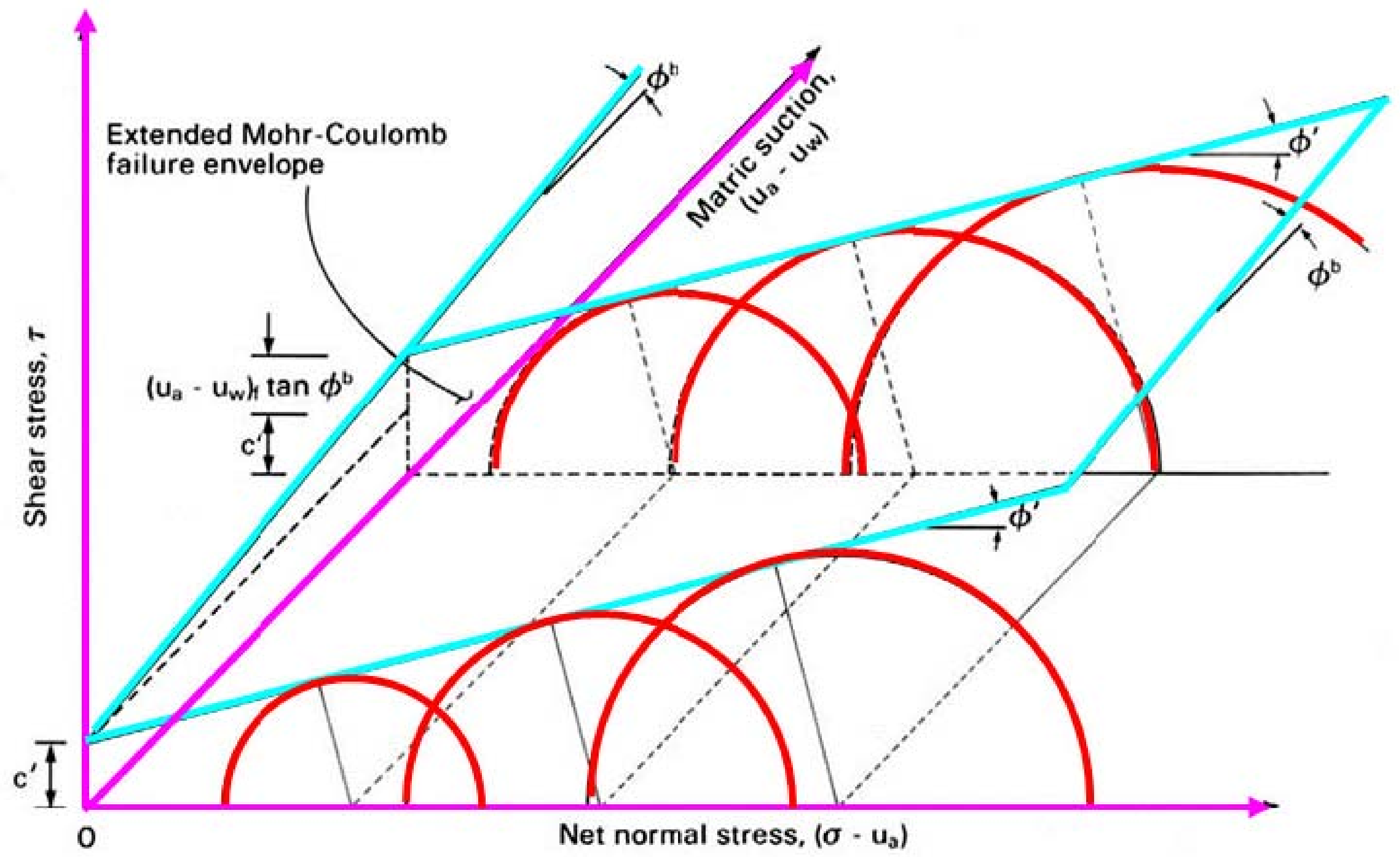
Multi Stage Direct Shear Test (KU-MDS Shear Test)











τ' = กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลของดิน

$(\sigma - \mu_a)$ = หน่วยแรงตั้งฉากสุทธิบนระนาบแรงเฉือน

$(\mu_a - \mu_w)$ = แรงดึงน้ำในมวลดิน

c' = แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผลในมวลดิน

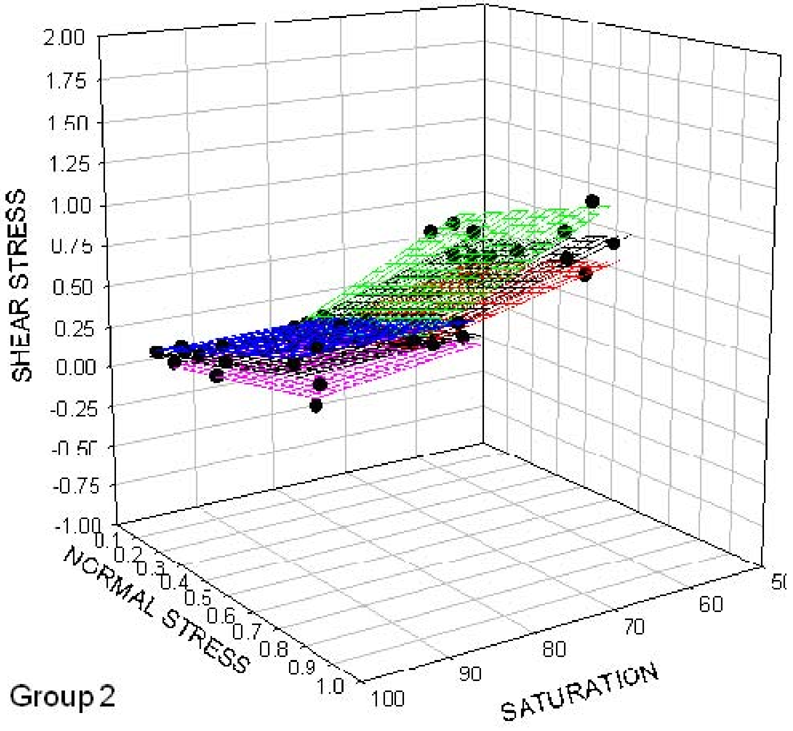
ϕ' = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล

$\tan\phi_b$ = ความชันของเส้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำในมวลดินและหน่วยแรงตั้งฉากสุทธิบนระนาบแรงเฉือน

D. G. Fredlund,Harianto Rahardjo (1978)

ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนเมื่อเปลี่ยนแปลงความชื้น

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบ 3 แกน ของกำลังรับแรงเฉือน,หน่วยน้ำหนักกดทับและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป สร้างความสัมพันธ์ออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนของดินที่อยู่ในลาดดินเมื่อมีน้ำไหลซึมลงสู่ลาดดิน เนื่องมาจากฝนตกจนเป็นสาเหตุที่ทำให้ลาดดินเกิดการพิบัติ



ที่มา : สุทธิศักดิ์และวรวัชร์ (2553)

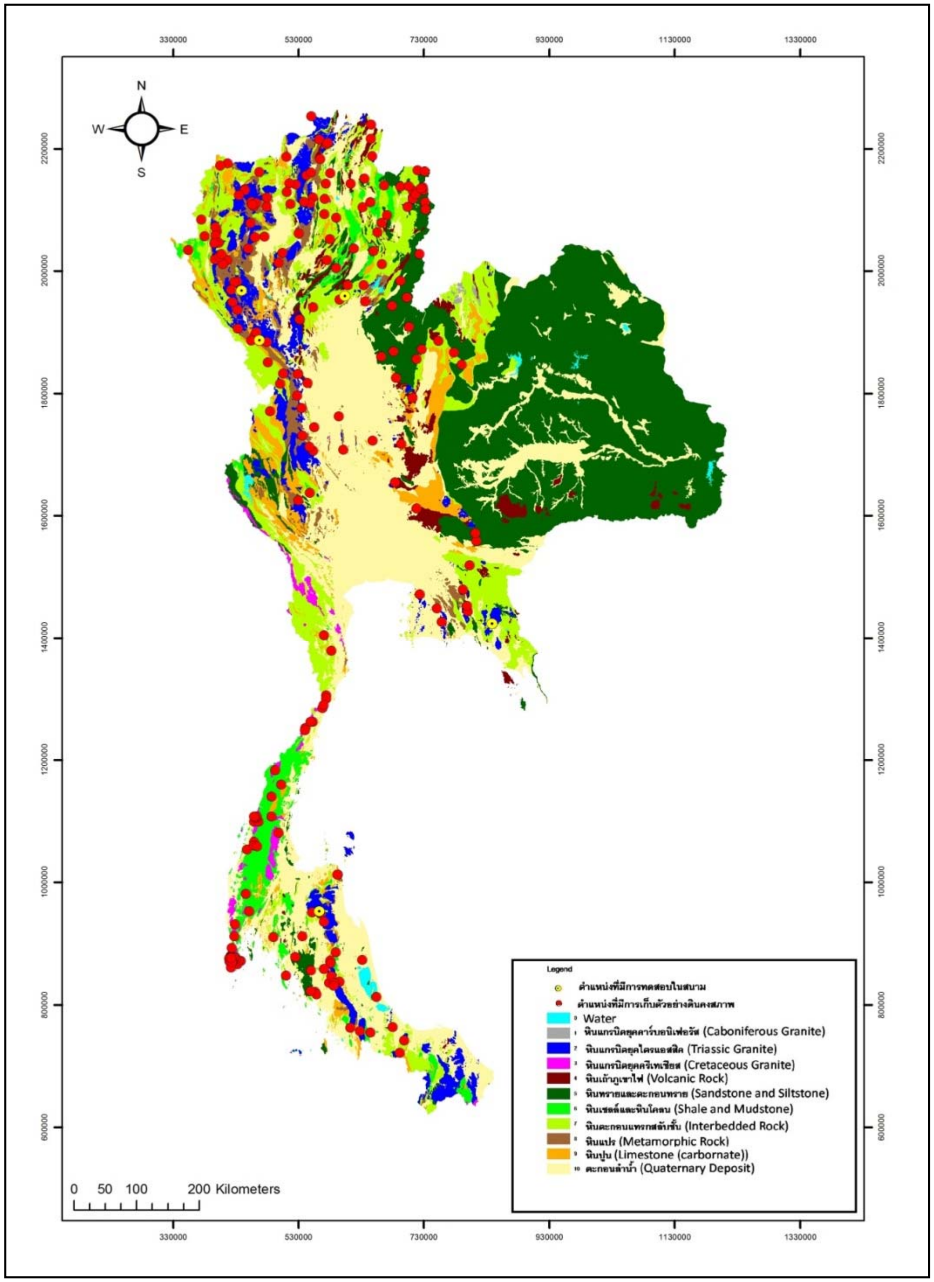
รูปแบบความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกนของฟังก์ชัน

$f = y_0 + a(x) + b(y)$

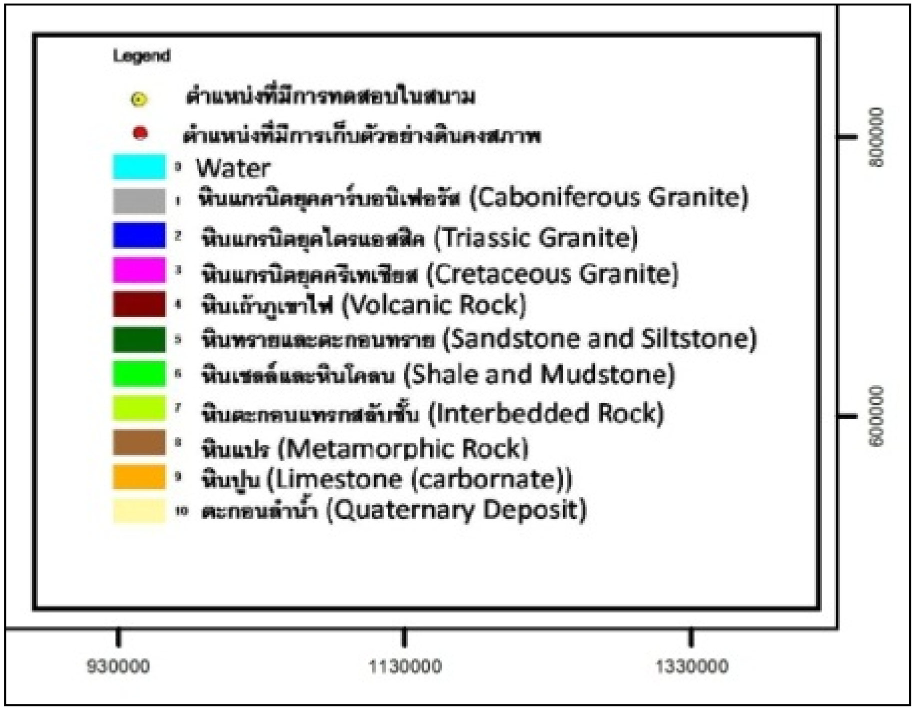
ได้ว่า $\tau = y_0 - a\,(Sr) + b\,(\sigma)$ โดยที่

τ	=	กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)
y_0	=	ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ของแต่ละชุดดินที่ผุพังมาจากหิน
a	=	ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ
Sr	=	ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)
b	=	ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและแรงกดทับของดิน
σ	=	แรงกดทับของดิน (Normal Stress)

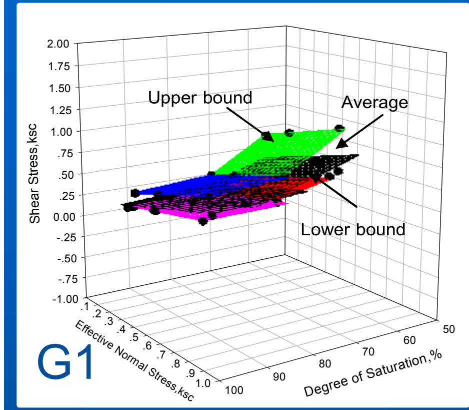
Location of sample base on Geological Map

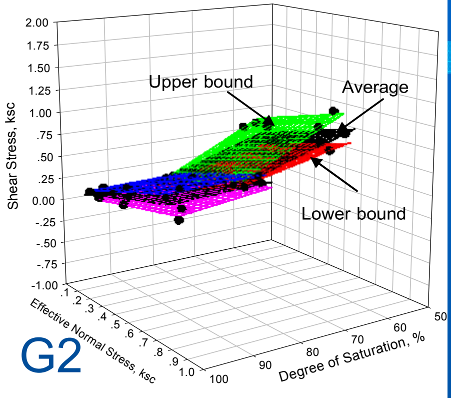


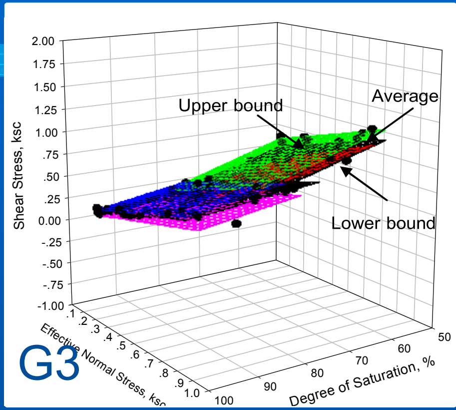
ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินถล่มเทียบกับแผนที่ทางธรณีวิทยา 1:250,000 ของประเทศไทย มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 374 ตัวอย่างที่มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในสนาม 6 ตำแหน่ง

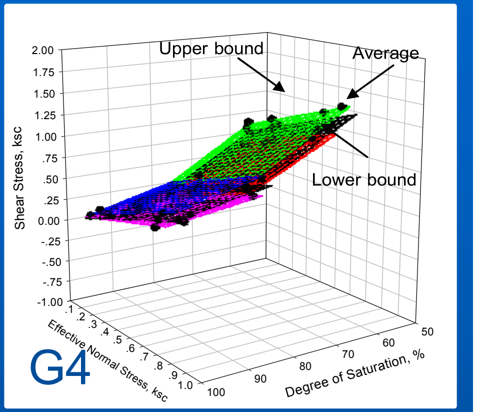


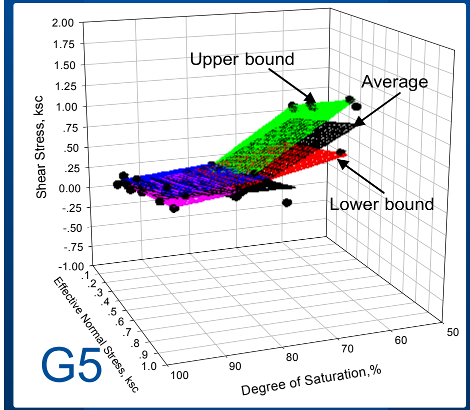
KU-MDS Shear Test

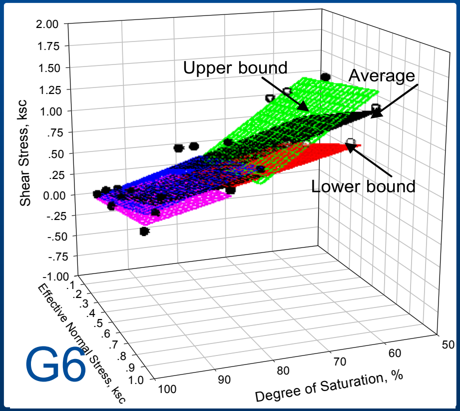


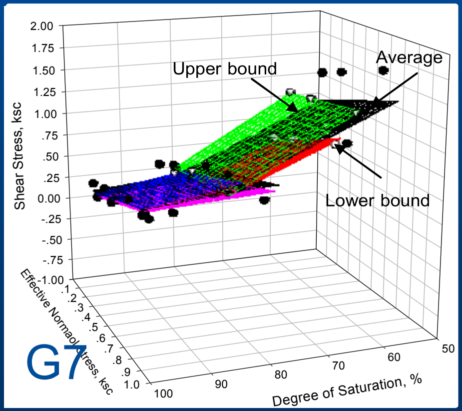


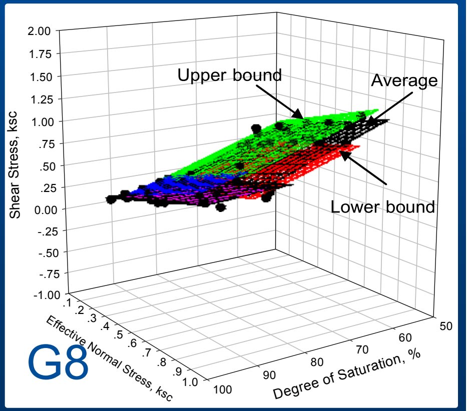






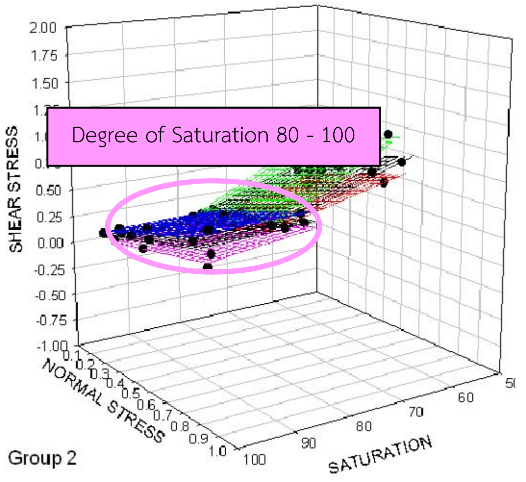






แบบจำลองความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้น

	สมการกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนไปตามความชื้นในรูปแบบ 3 แกน		
Group	τ	=	$y0 - a\ (Sr)+b\ (\sigma)$
1	τ	=	$0.189 - 0.104\ (Sr)+0.372\ (\sigma)$
2	τ	=	$0.642 - 0.634\ (Sr)+0.387\ (\sigma)$
3	τ	=	$0.774 - 0.762\ (Sr)+0.457\ (\sigma)$
4	τ	=	$0.743 - 0.690\ (Sr)+0.507\ (\sigma)$
5	τ	=	$0.794 - 0.769\ (Sr)+0.461\ (\sigma)$
6	τ	=	$1.393 - 1.392\ (Sr)+0.426\ (\sigma)$
7	τ	=	$0.341 - 0.318\ (Sr)+0.596\ (\sigma)$
8	τ	=	$0.247 - 0.189\ (Sr)+0.534\ (\sigma)$



τ = กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)

y_0 = ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ของแต่ละชุดดินที่ผุพังมาจากหิน

a = ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ

Sr = ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)

b = ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและแรงกดทับของดิน

σ = แรงกดทับของดิน (Normal Stress)

ความสัมพันธ์ของค่า Cohesion ที่เปลี่ยนไปตามความชื้น

สมการความสัมพันธ์ของค่า Cohesion ที่เปลี่ยนไปตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจากความสัมพันธ์ของค่าCohesionที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้น

$$F.S. = \frac{m(\theta) + c_{initial}}{h \sin\beta \cos\beta(\gamma_m)} + \frac{\tan\phi'}{\tan\beta}$$

โดยที่

- c' = effective cohesion of soil (t/m^2)
- ϕ' = effective internal friction angle (degree)
- γ_m = wet unit weight (t/m^3)
- β = slope degree (degree)
- h = soil depth of slope (m)
- m = slope of linear equation (constant value)
- θ = volumetric water content
- $c_{initial}$ = cohesion at initial value

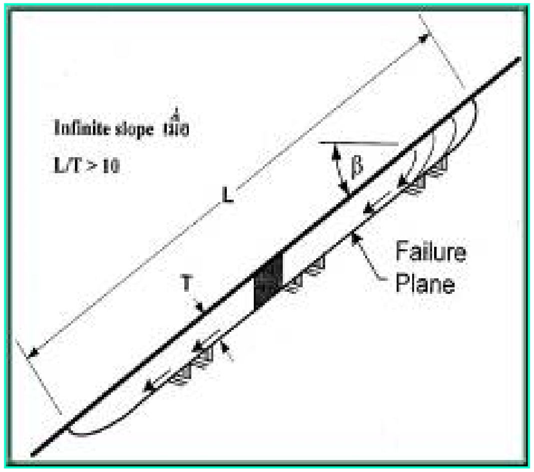
Group	Strength Equation y = m(Vol. water content)+c
1	C = -2.62(Vol. water content)+1.89
2	C = -18.54(Vol. water content)+7.74
3	C = -14.22(Vol. water content)+6.42
4	C = -15.40(Vol. water content)+7.43
5	C = -19.73(Vol. water content)+7.94
6	C = -35.24(Vol. water content)+13.93
7	C = -7.87(Vol. water content)+3.41
8	C = -4.29(Vol. water content)+2.47

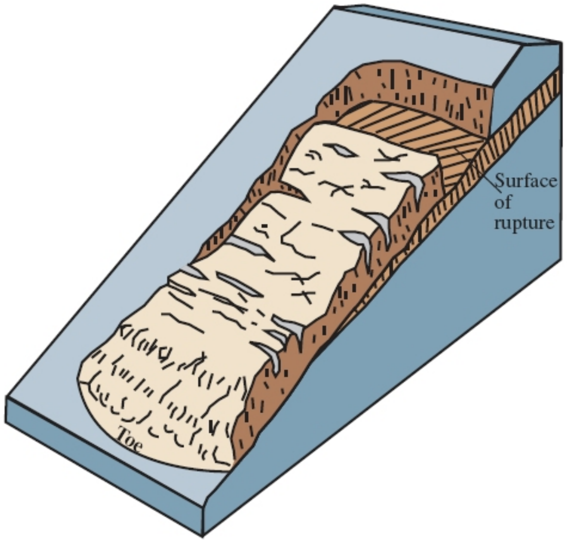
แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดิน (Slope Stability Model)

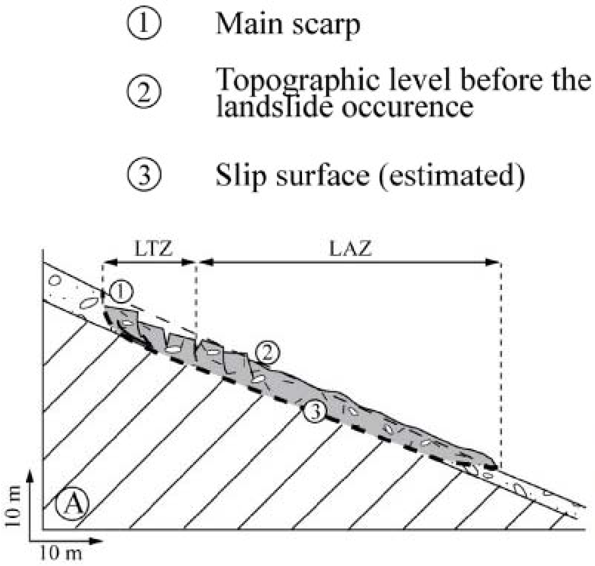
สาเหตุของดินถล่มเกิดจากการสูญเสียเสถียรภาพของลาดดิน จนเป็นสาเหตุให้ลาดดินเกิดการพิบัติ

ภาพเหตุการณ์ดินถล่ม อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์

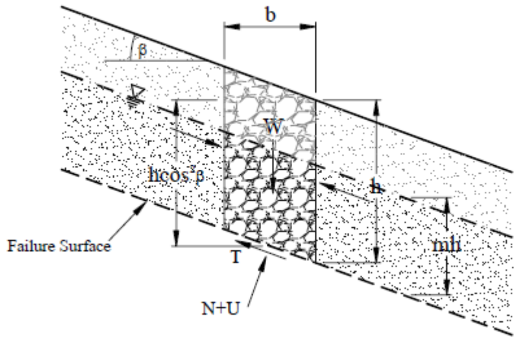
ลักษณะการเกิดดินถล่มบนลาดเอียงธรรมชาติ มีลักษณะเป็นการพิบัติในระดับตื้น ความลึกของการพิบัติเทียบกับความยาวของระนาบพิบัติน้อยมาก เรียกว่าการพิบัติแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope)





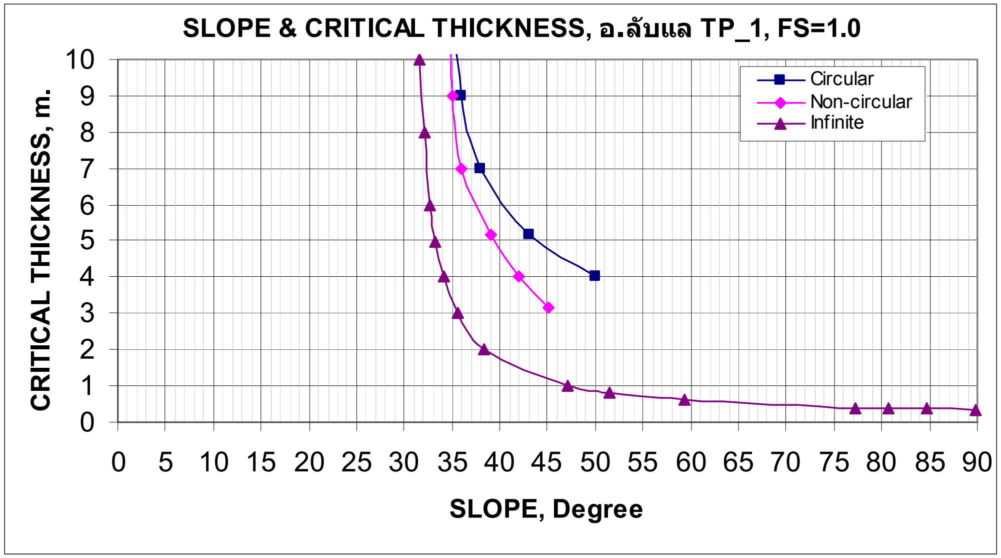


ลักษณะการพิบัติแบบลาดอนันต์ในพื้นที่



ตำบลพลวง กิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ
จังหวัดจันทบุรี

ตำบลห้วยเขย่ง อำเภอทองผาภูมิ
จังหวัดกาญจนบุรี



$$F.S. = \frac{m(\theta) + c_{initial}}{h \sin\beta \cos\beta(\gamma_m)} + \frac{\tan\phi'}{\tan\beta}$$

- c' = effective cohesion of soil (t/m^2)
- ϕ' = effective internal friction angle (degree)
- γ_m = wet unit weight (t/m^3)
- β = slope degree (degree)
- h = soil depth of slope (m)
- m = slope of linear equation (constant value)
- θ = volumetric water content
- $c_{initial}$ = cohesion at initial value

จบการนำเสนอ...

คำถาม ????

ขอขอบคุณ...ครับ