วิชา 203352 ปฐพีกลศาสตร์

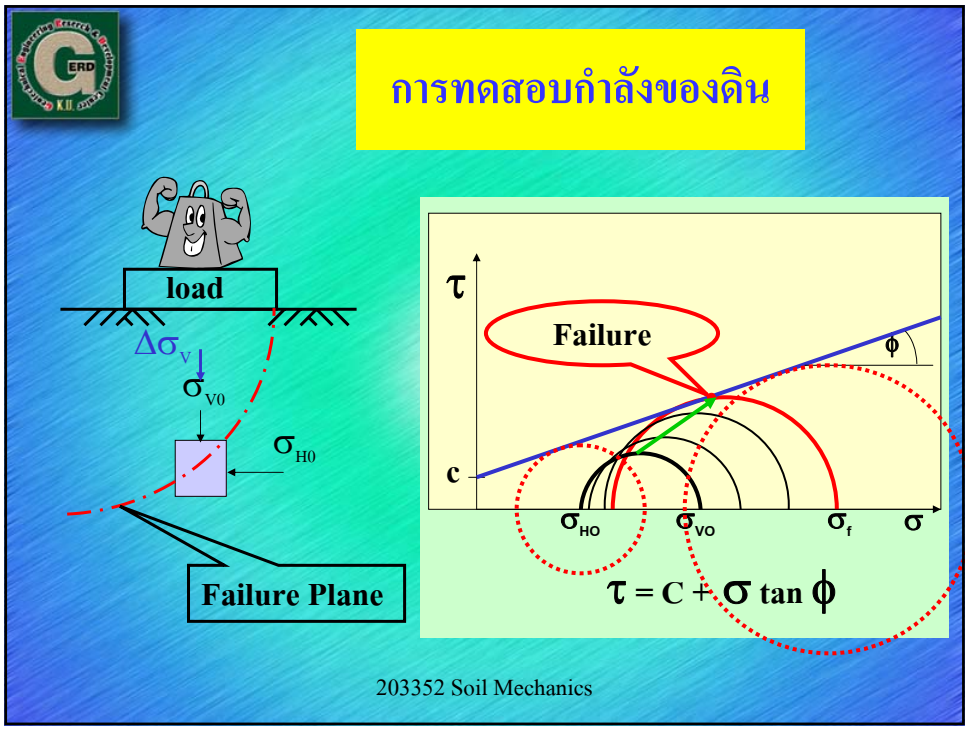
กำลังของดินทางวิศวกรรม

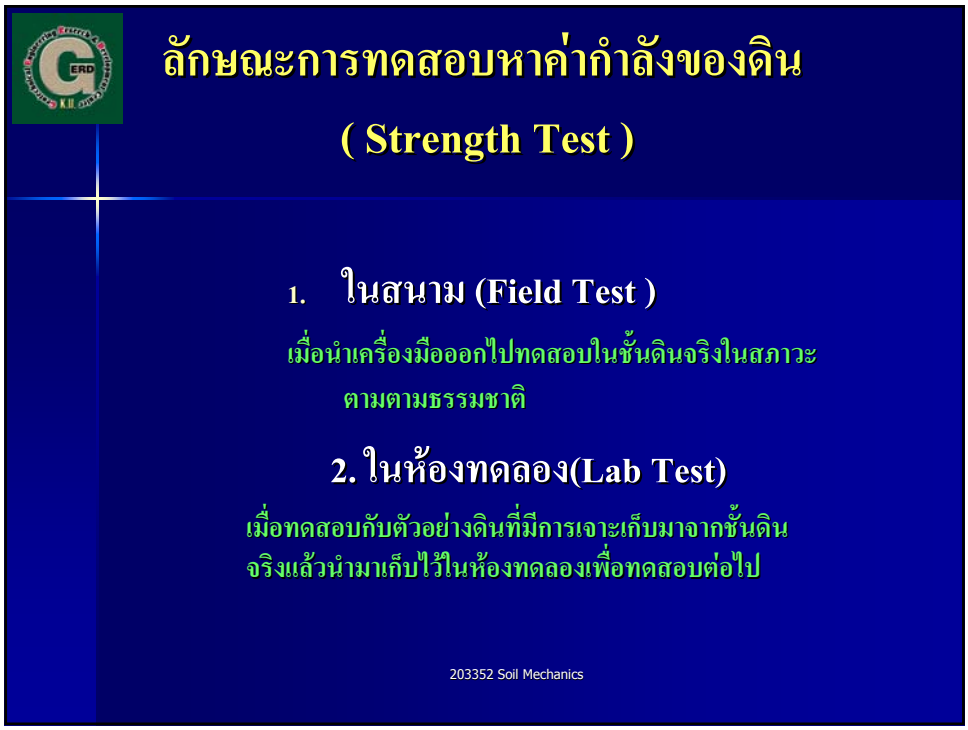
(การทดสอบหากำลังดิน)

รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กทม 10900
โทร 02-579-7565

วัตถุประสงค์การทดสอบหาค่ากำลังของดิน

1. เพื่อหาค่า Strength parameters
   - Cohesion (c) or adhesion (a)
   - Angle of Internal Friction (ϕ) or (α)
2. เพื่อหาคุณสมบัติทาง Stress- strain
   - Modulus of Elasticity, Secant Modulus, Modulus of Resilient
   - Strain at Peak Strength, Plastic strain etc.
   - Poison ·s Ratio
3. ตรวจสอบการขยายตัว หรือความดันน้ำในมวลดิน
   - Volume Change during Shearing
   - Consolidation Characteristic
   - Excess Pore Water Pressure


การทดสอบกำลังของดิน
load
$\Delta\sigma_v$
σ_{V0}
σ_{H0}
Failure Plane
τ
Failure
ϕ
c
σ_{HO}
σ_{VO}
σ_f
σ
$\tau = C + \sigma \tan \phi$
203352 Soil Mechanics


ลักษณะการทดสอบหาค่ากำลังของดิน
(Strength Test)
1. ในสนาม (Field Test)
เมื่อนำเครื่องมือออกไปทดสอบในชั้นดินจริงในสภาวะ
ตามตามธรรมชาติ
2. ในห้องทดลอง(Lab Test)
เมื่อทดสอบกับตัวอย่างดินที่มีการเจาะเก็บมาจากชั้นดิน
จริงแล้วนำมาเก็บไว้ในห้องทดลองเพื่อทดสอบต่อไป
203352 Soil Mechanics

วิธีการทดสอบหาค่ากำลังของดิน (Strength Test)

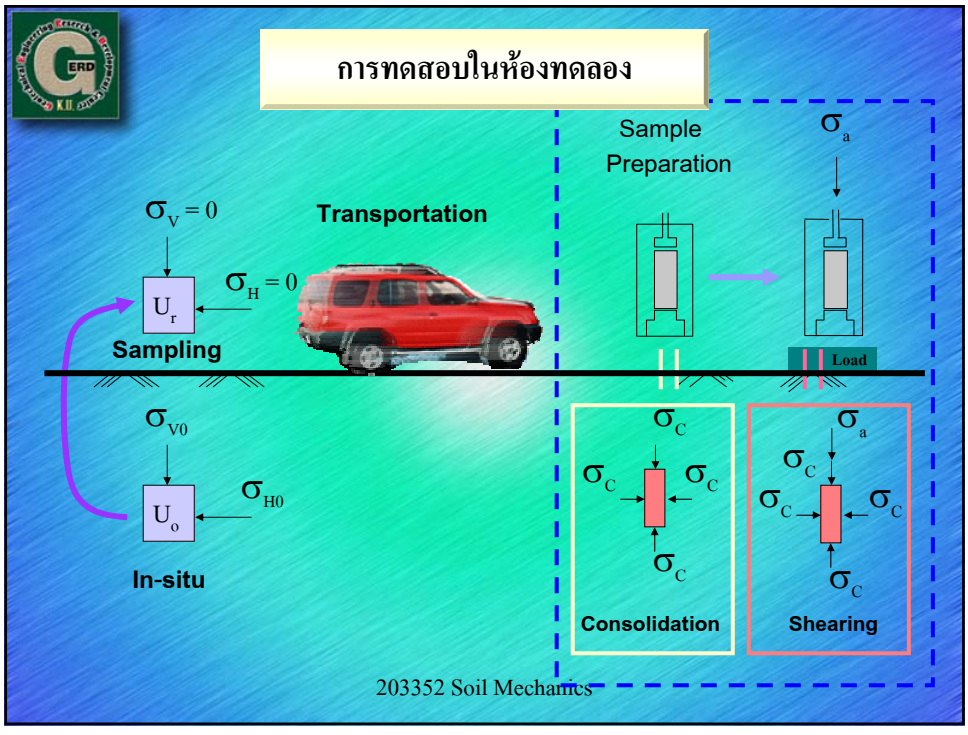
1.ในสนาม (Field Test)

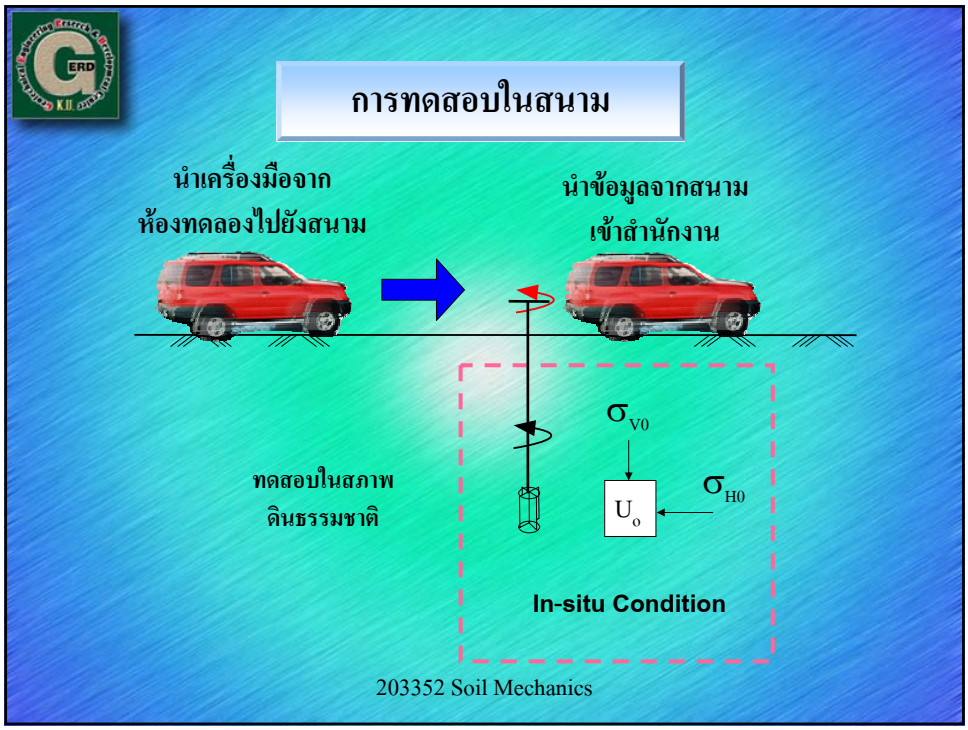
- Standard Penetration Test (SPT)
- Ducth Cone Penetration Test (CPT)
- Field Vane Shear Test (FVS)
- Field Direct Shear Test (FDS)
- Flat Plate Test (FPT)
- Lateral load Test (LLT)
- Field bore Hole Shear Test
- etc.

2.ในห้องทดลอง

- Unconfined Compressive Strength Test
- Direct Shear Test
- Triaxial Test
- Laboratory Vane Shear Test
- K-Test
- Cone Penetration Test
- California Bearing Ratio Test

203352 Soil Mechanics





AASHTO and ASTM Standards for Laboratory Strength Testing

No.	Test Methods	Test Designation	
		AASHTO	ASTM
1	Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil	T 203	D 2166
2	Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression	T 296	D2855
3	Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compressionon Cohesive Soils	T297	D4767
4	Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions	T236	D3080
5	Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant-Column Method		D4015
6	Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil		D4648
7	Test Method for Bearing Ratio of Soils in Place		D4429
8	Test Method for California Bearing Ration of Laboratory Compacted Soils		D1883

Standards for Field Strength Testing

No.	Test Methods	Test Designation	
		AASHTO	ASTM
1	Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils		D1586-99
2	Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil		D3441-05
3	Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils		D5778-95(2000)
4	Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil		D2573-01
5	In situ Direct Shear Test (RTH 321-80)		
6	Field CBR Test		
7	Iowa Bore Hole Shear Test		
8			

ข้อดีและข้อเสียของ Field vs. Lab. Test

Field Test

ข้อดี

- การกระทบกระเทือนหรือรบกวนสภาพธรรมชาติของดินมีน้อย
- การควบคุมสภาพของแรงดันดินโดยรอบเป็นไปตามธรรมชาติของชั้นดินนั้น
- สามารถตรวจสอบพบชั้นดินที่แทรกเป็นชั้นบางๆที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยได้
- ทดสอบในชั้นดินที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินได้เช่นทรายหลวม

ข้อด้อย

- ไม่สามารถใช้เครื่องมือที่ความละเอียดอ่อนหรือมีความแม่นยำสูงมาทดสอบได้
- เสียค่าใช้จ่ายและเวลาสูงกว่าการทดสอบในห้องทดลอง
- มีความจำกัดในการขนย้ายเครื่องมือเข้าในพื้นที่กันดาล

203352 Soil Mechanics

ข้อดีและข้อเสียของ Field vs. Lab. Test

Laboratory Test

ข้อดี

- สามารถจำลองสภาพแรงดันหรือการระบายน้ำในตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงกับที่จะเกิดในระหว่างก่อสร้าง
- สามารถใช้เครื่องทดสอบที่ละเอียดแม่นยำมาใช้ได้
- สามารถสังเกตพฤติกรรมการเคลื่อนตัวและการพิบัติของตัวอย่างดินได้อย่างชัดเจน

ข้อด้อย

- อาจเกิดการกระทบกระเทือนตัวอย่างดินได้เนื่องจาก การเก็บตัวอย่าง การขนส่ง และการเตรียมตัวอย่าง
- ต้องทดสอบตัวอย่างขนาดเล็กที่อาจจะไม่ได้แทนมวลดินจริงในสนาม

ความผิดพลาดที่ทำให้ผลการทดสอบไม่ถูกต้อง

- **การเก็บรักษาตัวอย่างดินอย่างไม่ระมัดระวังทำให้เกิดการกระทบกระเทือนตัวอย่าง สูญเสียความชื้น**
- **การเตรียมตัวอย่างที่ไม่ระวังก่อนการทดสอบ ทำให้เกิดการกระทบกระเทือน**
- **การทำฉลากป้ายชื่อตัวอย่างไม่ชัดเจนทำให้เกิดการสลับตัวอย่าง**
- **ไม่มีตัวอย่างดินสำรองให้เลือกได้เพียงพอจะให้เกิดความสม่ำเสมอชุดตัวอย่าง**
- **ทดสอบตัวอย่างโดยมีพิจารณาจากลักษณะชั้นดินจากการเจาะสำรวจ**
- **ไม่มีการทำให้ดินอิ่มตัวอย่างเหมาะสมก่อนการทดสอบ CU หรือ CD Test**
- **ใช้อัตราการกดตัวอย่างไม่เหมาะสม หรือ เร็วเกินไปที่จะเป็น Drained Test**
- **จัดทำตัวอย่างขึ้นมาใหม่แทนตัวอย่างเดิมที่เสียคุณภาพไปแล้ว โดยไม่คำนึงถึงสภาพธรรมชาติของตัวอย่างในชั้นดิน**

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบในห้องทดลอง

วิธีการ	ประเภทดินที่เหมาะสม	ค่าที่ได้	ลักษณะจำเพาะ
Unconfined Compressive Strength Test (UCS)	ดินเหนียว ทรายแป้ง โดยเฉพาะดินเหนียวอิ่มตัว	S_u, c_u , Sensitivity	- ได้ค่าประมาณของ Cohesion โดยไม่สามารถทราบมุมของความเสียดทาน
Direct Shear Test (DS)	ดินบดอัด, ดินทราย, ทรายแป้ง และดินเหนียว	ประมาณ Cohesion (c) ประมาณ Friction Angle (ϕ)	- ไม่ทราบสภาพการเกิดแรงดันน้ำในมวลดิน - ระนาบพิบัติถูกบังคับ
Unconsolidated Undrained Triaxial Test (UU-Test)	ดินเหนียว ทรายแป้ง และดินเหนียวบดอัดที่ไม่อิ่มตัว	- c_u สำหรับดินเหนียวอิ่มตัว (ϕ=0) - c_u, ϕ_u ในดินบดอัดไม่อิ่มตัว	-ไม่สามารถแทนสภาพการอัดตัวคายน้ำของชั้นดินที่อิ่มตัวได้
Consolidated Undrained Triaxial Test (CU-Test)	ดินบดอัด, ดินทราย, ทรายแป้ง และดินเหนียว	- c_u, ϕ_u ในดินอิ่มตัว และถ้าวัดความดันน้ำในตัวอย่างดินจะได้ c', ϕ', Δu, E, ν	- เป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานของ Triaxial Test
Consolidated Drained Triaxial Test (UU-Test)	ดินทราย, ทรายแป้ง และดินเหนียว	- c', ϕ', E, Δv	- ใช้เวลานานในการทดสอบ จึงมักใช้กับดินทรายหรือดินที่ระบายน้ำดี

(Lab Test)

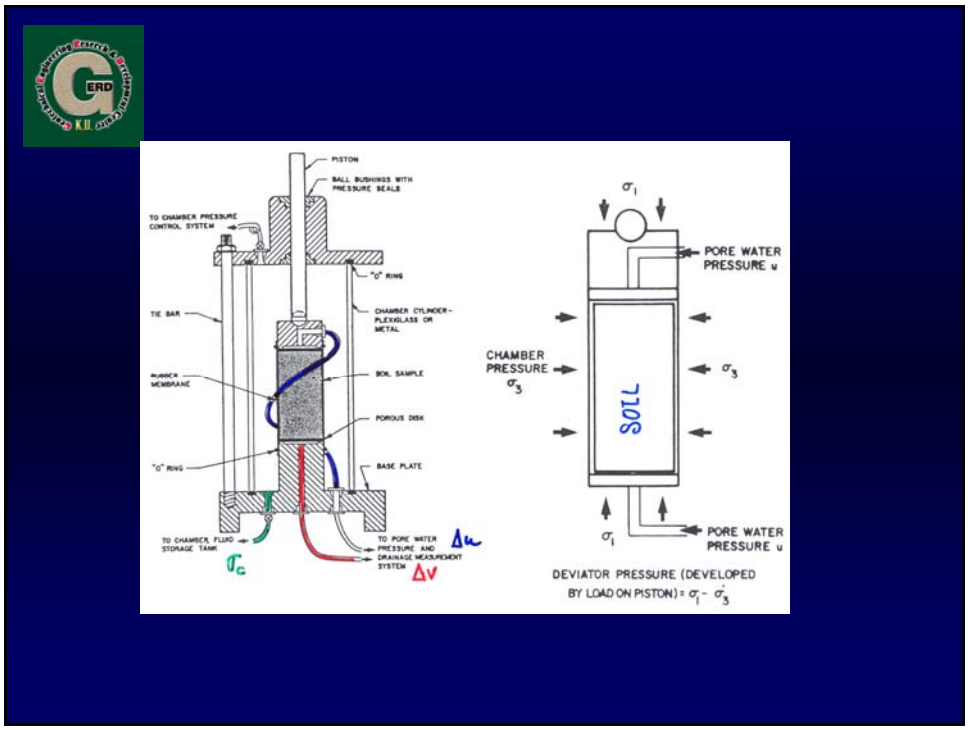
Unconfined Compressive Strength Test

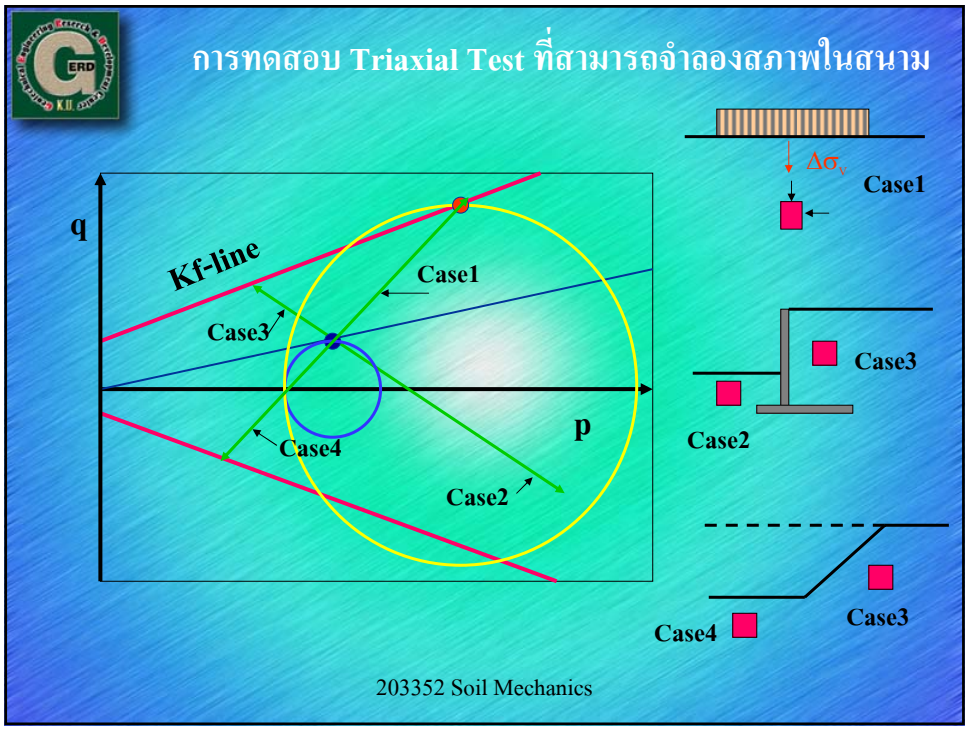
Direct Shear Test

(Lab Test)

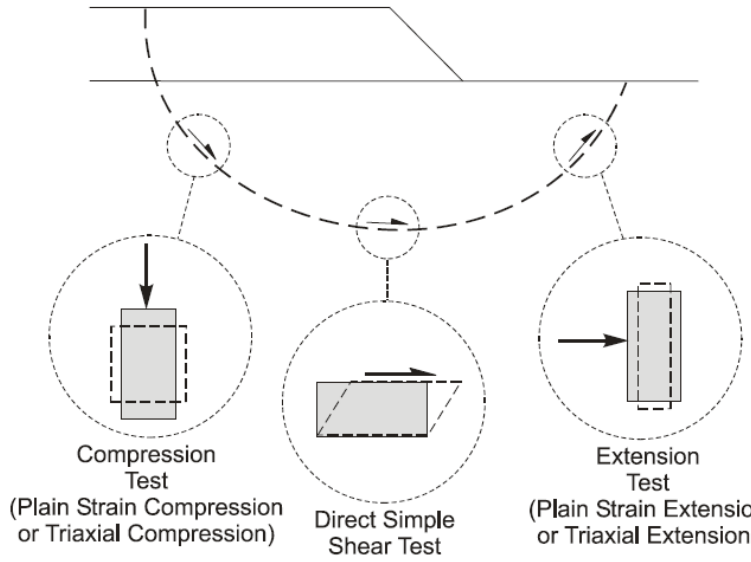
Triaxial Test

ตัวอย่างการพิบัติด้านความแข็งแรงของดิน


PISTON
BALL BUSHINGS WITH PRESSURE SEALS
TO CHAMBER PRESSURE CONTROL SYSTEM
"O" RING
TIE BAR
CHAMBER CYLINDER - PLEXIGLASS OR METAL
RUBBER MEMBRANE
SOIL SAMPLE
POROUS DISK
"O" RING
BASE PLATE
TO CHAMBER FLUID STORAGE TANK
TO PORE WATER PRESSURE AND DRAINAGE MEASUREMENT SYSTEM
σ_c
Δu
Δv
σ_1
PORE WATER PRESSURE u
CHAMBER PRESSURE σ_3
SOIL
σ_3
σ_1
PORE WATER PRESSURE u
DEVIATOR PRESSURE (DEVELOPED BY LOAD ON PISTON) = $\sigma_1 - \sigma_3$


การทดสอบ Triaxial Test ที่สามารถจำลองสภาพในสนาม
q
Kf-line
Case1
Case3
Case4
Case2
p
$\Delta\sigma_v$
Case1
Case3
Case2
Case3
Case4
203352 Soil Mechanics

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงใต้คันดิน



Drained and Undrained Strength

สภาพความดันน้ำในมวลดินหรือตัวอย่างดินขณะที่มีการรับน้ำหนักจากภายนอกทำให้เกิดผลกับกำลังของดิน

จาก ทฤษฎี Effective Strength ของ Mohr – Coulomb Equation

$$\bar{\tau} = \bar{c} + (\sigma - u_s - \Delta u) \tan \bar{\phi}$$

- $\bar{\tau}$ = Effective Shear Strength
- $\bar{c}$ = Effective Cohesion
- σ = Total Normal Stress
- u_s = Static Pore Pressure (Constant)
- Δu = Excess Pore Pressure (Varied)
- $\bar{\phi}$ = Effective Angle of Friction

สภาพของ Drained Condition ($\bar{c}$,$\bar{\phi}$)

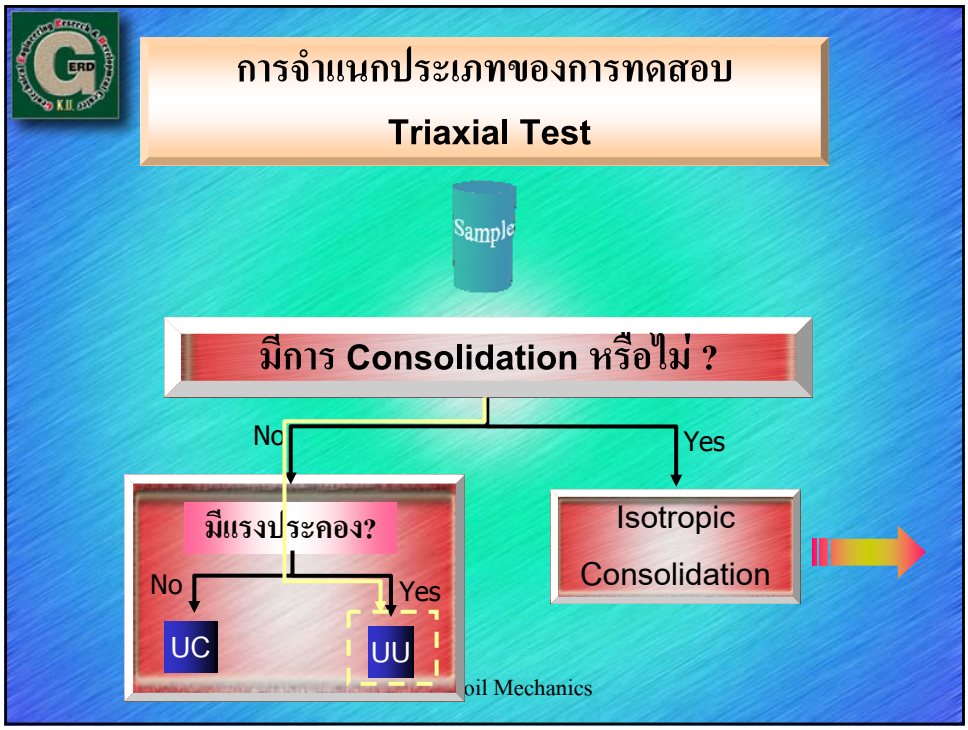
จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ Excess Pore Pressure (Δu) = 0
ตลอดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำซึ่งมักจะเกิดได้ 2 กรณีคือ

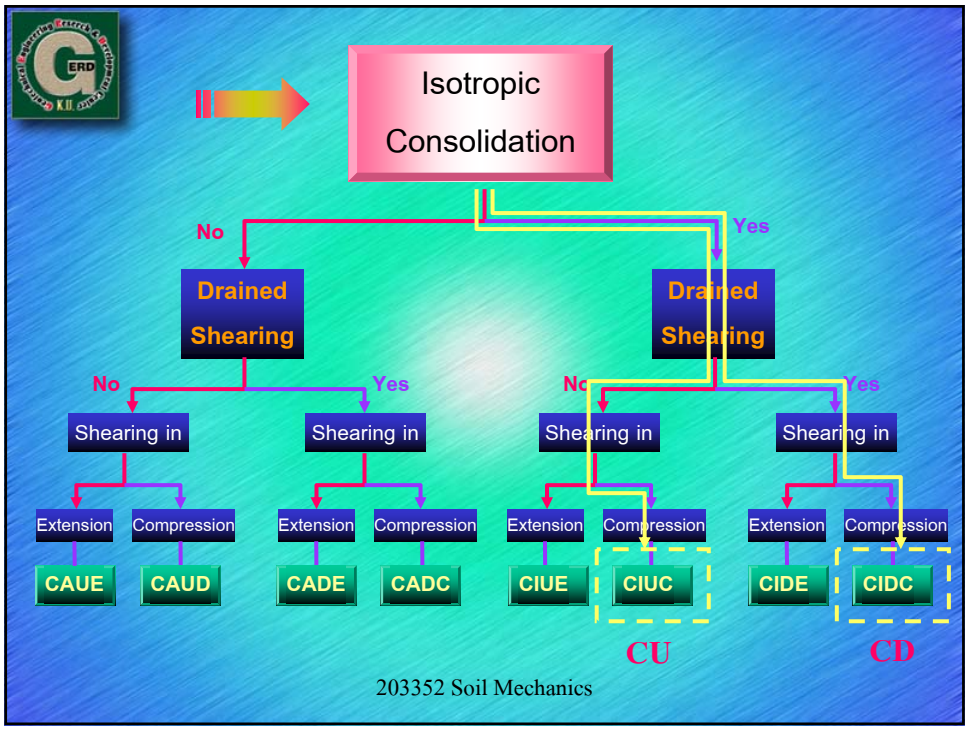
1. ดินทรายหรือกรวด เมื่อ k มีค่าสูงทำให้ Excess Pore Pressure ที่เกิดจากแรงกระทำภายนอกระบายออกได้ตลอดเวลาอย่างรวดเร็ว
2. ดินเหนียว ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำอย่างช้าๆ จน Excess Pore Pressure ระบายออกได้จนหมดในขณะที่มีแรงกระทำ

สภาพของ Undrained Condition (c_u,ϕ_u)

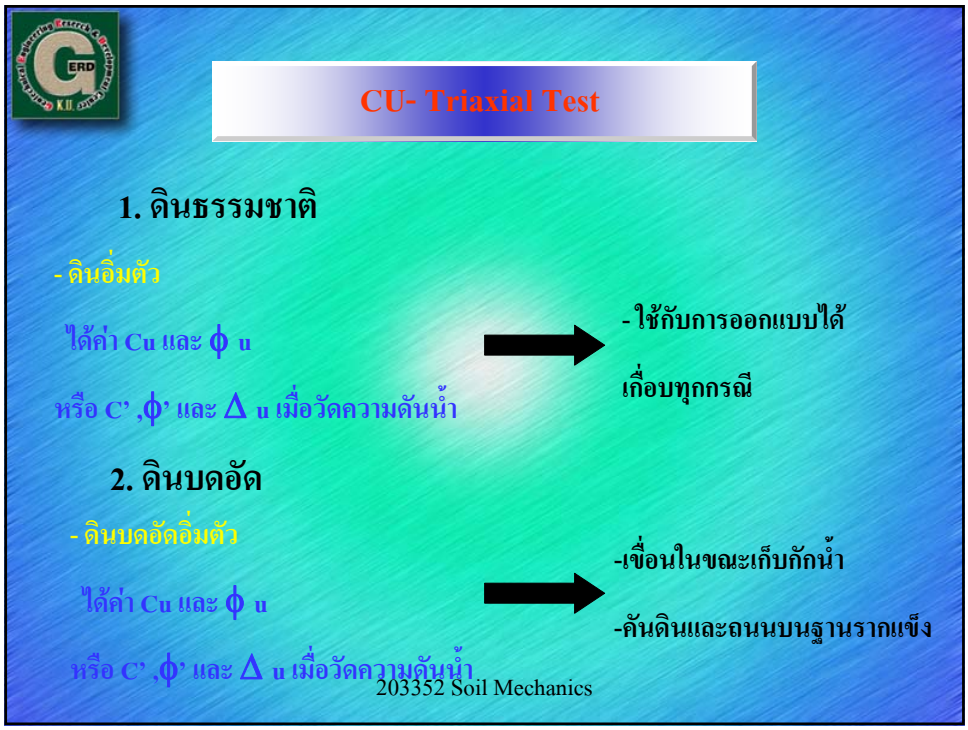
จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ Excess Pore Pressure (Δu) > 0
ตลอดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำซึ่งมักจะเกิดได้ 2 กรณีคือ

1. ดินทรายแป้ง เมื่อมีการสั่นสะเทือนอันเกิดจากแรงกระทำโดยเร็วซ้ำๆกัน หรือเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งมีการสะสมของ Excess Pore Pressure เช่นการเกิดBoiling หรือ Liquefaction
2. ดินเหนียว ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงกระทำโดยเร็ว จน Excess Pore Pressure ระบายออกได้ไม่ทัน เช่น ถมคันถนนบนดินอ่อน


การจำแนกประเภทของการทดสอบ
Triaxial Test
Sample
มีการ Consolidation หรือไม่ ?
No
Yes
มีแรงประคอง?
No
Yes
UC
UU
Isotropic
Consolidation
oil Mechanics


Isotropic
Consolidation
No
Yes
Drained
Shearing
Drained
Shearing
No
Yes
No
Yes
Shearing in
Shearing in
Shearing in
Shearing in
Extension
Compression
Extension
Compression
Extension
Compression
Extension
Compression
CAUE
CAUD
CADE
CADC
CIUE
CIUC
CIDE
CIDC
CU
CD
203352 Soil Mechanics

UU- Triaxial Test
1. ดินธรรมชาติ
- ดินเหนียวอิ่มตัว
ได้ค่า Cu และ ϕ = 0
ความมั่นคงของลาดดิน
กำลังแบกทานในดินเหนียว
เข็มสั้นในชั้นดินเหนียว
2. ดินบดอัด
- ดินบดอัดไม่อิ่มตัว
ได้ค่า Cu และ ϕ u
เขื่อนในขณะก่อสร้าง
คันดินและถนนบนฐานรากแข็ง
203352 Soil Mechanics


CU- Triaxial Test
1. ดินธรรมชาติ
- ดินอิ่มตัว
ได้ค่า Cu และ ϕ u
หรือ C' ,ϕ' และ Δ u เมื่อวัดความดันน้ำ
- ใช้กับการออกแบบได้
เกือบทุกกรณี
2. ดินบดอัด
- ดินบดอัดอิ่มตัว
ได้ค่า Cu และ ϕ u
หรือ C' ,ϕ' และ Δ u เมื่อวัดความดันน้ำ
-เขื่อนในขณะเก็บกักน้ำ
-คันดินและถนนบนฐานรากแข็ง
203352 Soil Mechanics

CD - Triaxial Test

ได้ค่า C' และ ϕ '

ขณะที่ $\Delta u = 0$

- เหมาะสำหรับดินกรวดทราย
- ดินเหนียวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงช้ามาก

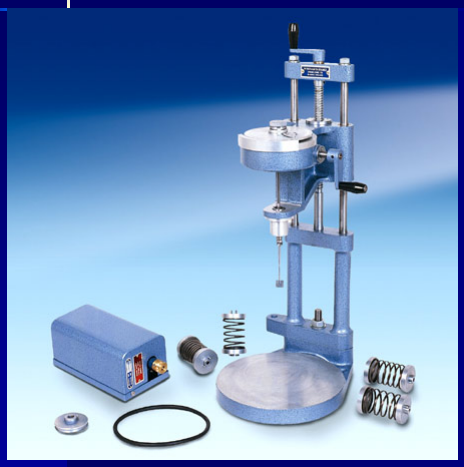
(Lab Test)

Cone Penetration Test

California Bearing Ratio Test

Laboratory Vane Shear Test

(Lab Test)



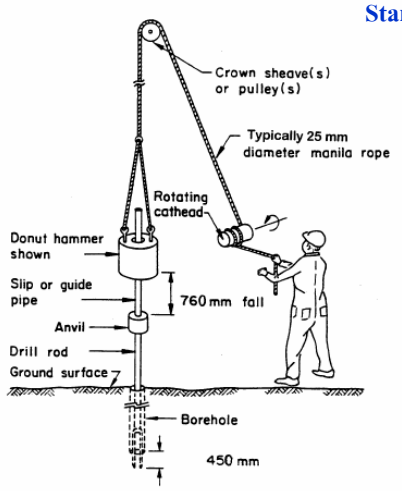
T-Bar

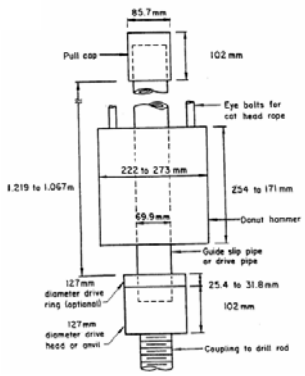
Penetrometer

การทดสอบ Soil strength ในสนาม

ตัวอย่างการพิบัติด้านความแข็งแรงของดิน

Standard Penetration Test (SPT)





$$N_{SPT} \text{ or } \left(\frac{W_1 H_1}{6.2\, D_1^2 L_1}\right) N_{NON\text{-}STANDARD}$$

where, W_1 = the weight of the hammer in kilograms
H_1 = the height of free fall of the hammer in centimeters
D_1 = the outside diameter of the sampler in centimeters
L_1 = the depth of penetration in centimeters

203352 Soil Mechanics

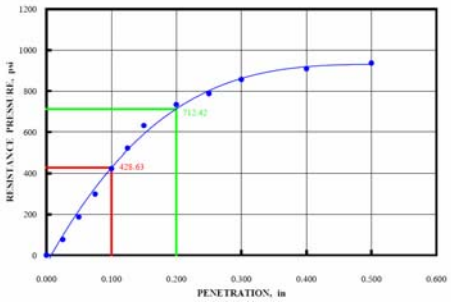
Standard Penetration Test

SPT performed at the back of a drill rig.

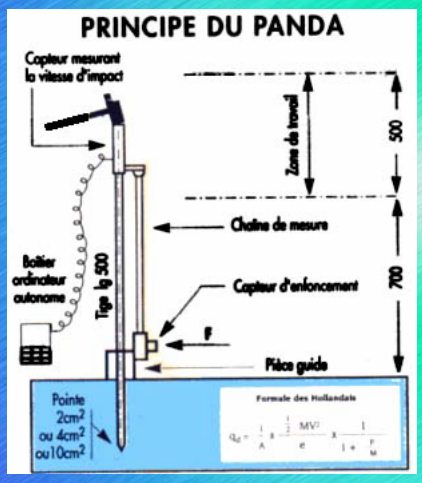
mics

FIELD CBR TEST

CBR %	Relative Quality	Usage
0 – 3	Very low	Subgrade
3 – 7	Low	Subgrade
7 – 20	Moderate	Subbase
20 – 50	Moderate to High	Subbase or Base course
50 – 80	High	Base course
Over 80	Very high	Base course



Panda Dynamic Cone Penetration

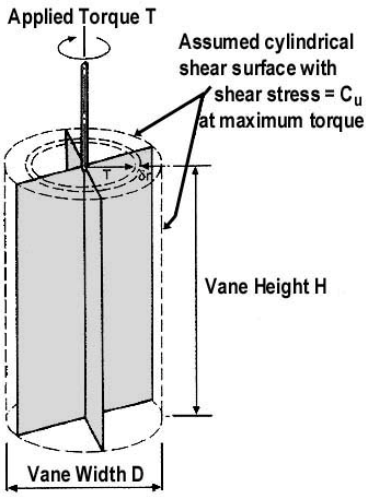


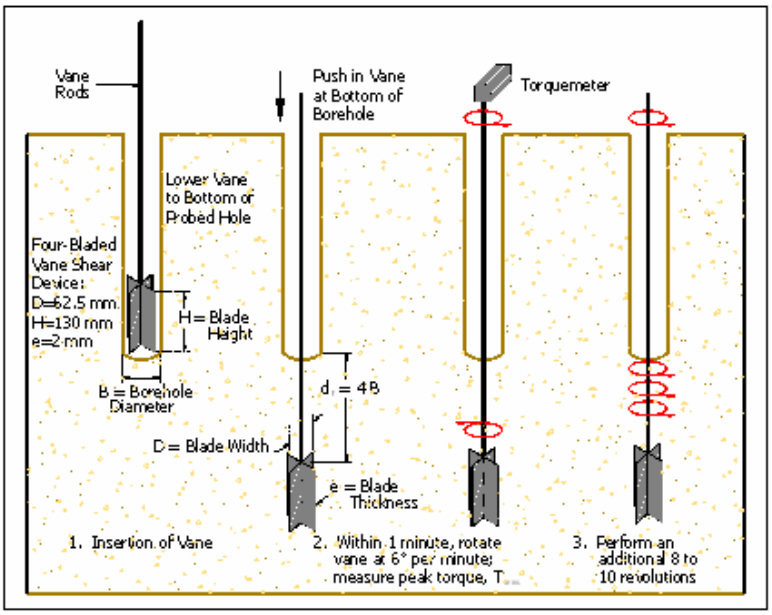
203352 Soil Mechanics

Iowa Bore Hole Shear Test

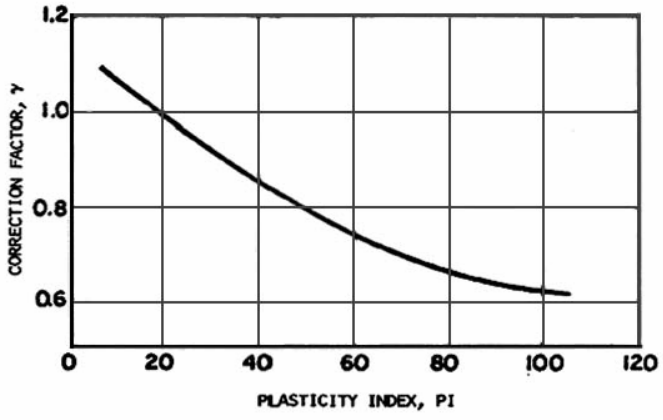
203352 Soil Mechanics

Vane Shear Test





Bjerrum's Correction for Field Vane Shear Test

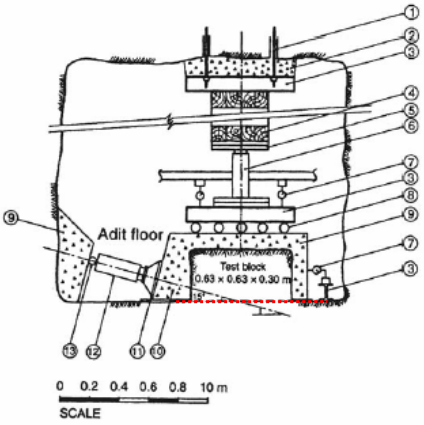


(Courtesy of L Bjerrum, "Embankment on Soft Ground," Proceedings, Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Purdue University. Lafayette, Ind., Vol2, 1975. Reprinted by permission of the American Society of Civil Engineers, New York.)

FIELD DIRECT SHEAR TEST

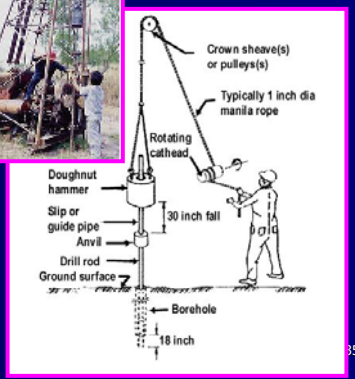
Legend:

1. Rock anchor
2. Hand-placed concrete
3. Wide flange steel beam
4. Hardwood
5. Steel plates
6. 30 ton jack
7. Dial gauge
8. Steel rollers
9. Reinforced concrete pad
10. Bearing plate
11. Styrofoam
12. 50 ton jack
13. Steel ball

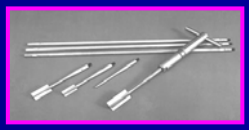


(Field Test)

Standard Penetration Test



Field Vane Shear Test



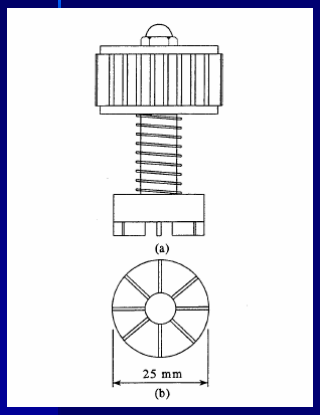
(Field Test)

Lateral load Test

203352 Soil Mechanics

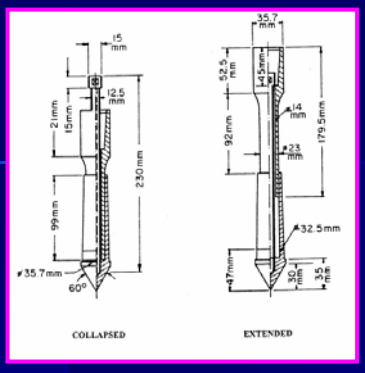
Plate Bearing Test

การทดสอบอื่น ๆ



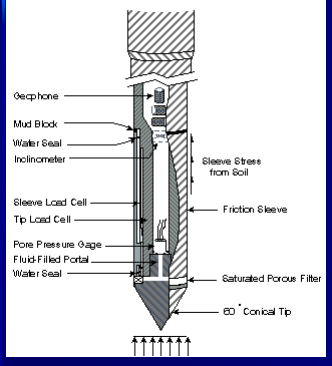
203352 Soil Mechanics

Dutch Cone Penetration Test

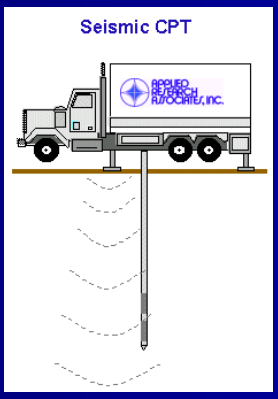


203352 Soil Mechanics

Schematic of Piezo Seismic Probe



Seismic CPT



203352 Soil Mechanics

INTERPRETATION OF DUTCH CONE TEST

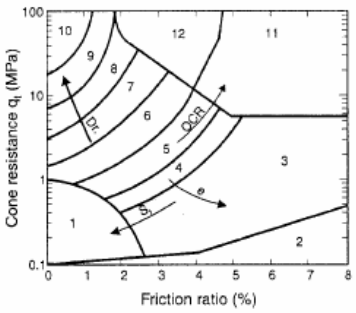


Figure 38. Soil classification based on q_t and FR (Robertson et al., 1986).

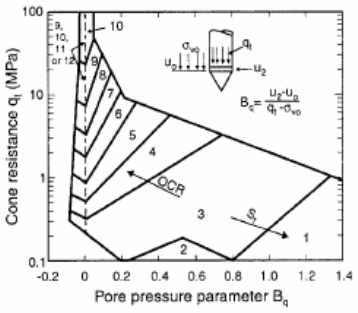
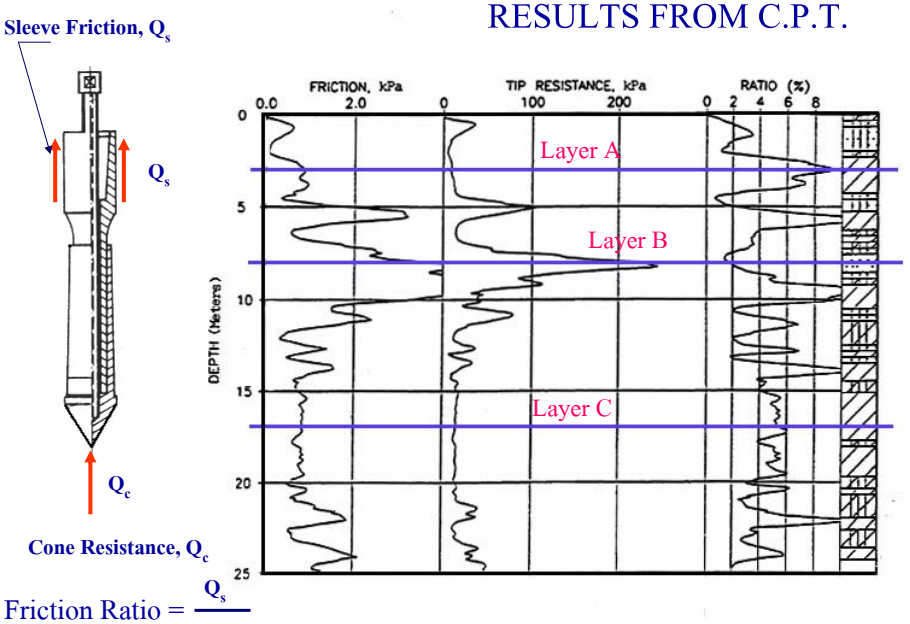


Figure 39. Soil classification based on q_t and B_q (Robertson et al., 1986).

Soil Behavior Type (Robertson et al.,1986; Robertson & Campanella, 1988)

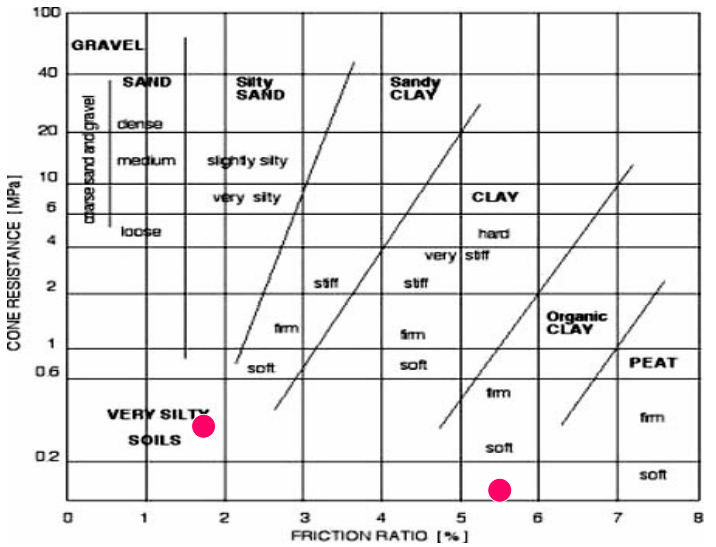
1 – Sensitive fine grained	5 – Clayey silt to silty clay	9 – sand
2 – Organic material	6 – Sandy silt to silty sand	10 – Gravelly sand to sand
3 – Clay	7 – Silty sand to sandy silt	11 – Very stiff fine grained*
4 – Silty clay to clay	8 – Sand to silty sand	12 – Sand to clayey sand*
	** Overconsolidated or cemented*	

RESULTS FROM C.P.T.



$$\text{Friction Ratio} = \frac{Q_s}{Q_c}$$

SOIL CLASSIFICATION BY DUTCH CONE TEST



INTERPRETATION OF DUTCH CONE TEST

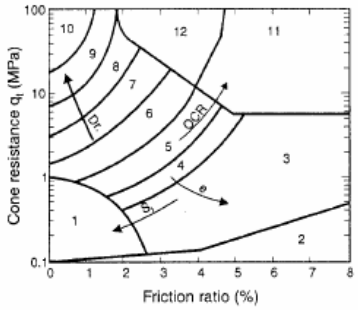


Figure 38. Soil classification based on q_t and FR (Robertson et al., 1986).

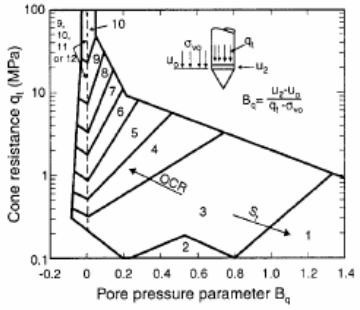
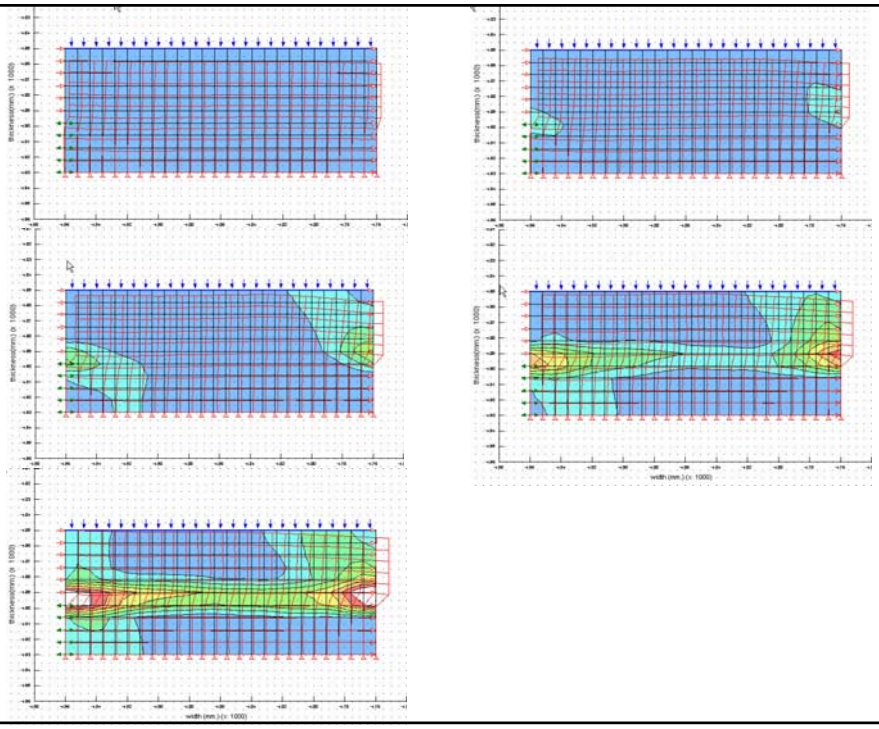


Figure 39. Soil classification based on q_t and B_q (Robertson et al., 1986).

Soil Behavior Type (Robertson et al.,1986; Robertson & Campanella, 1988)

1 – Sensitive fine grained	5 – Clayey silt to silty clay	9 – sand
2 – Organic material	6 – Sandy silt to silty sand	10 – Gravelly sand to sand
3 – Clay	7 – Silty sand to sandy silt	11 – Very stiff fine grained*
4 – Silty clay to clay	8 – Sand to silty sand	12 – Sand to clayey sand*
	** Overconsolidated or cemented*	

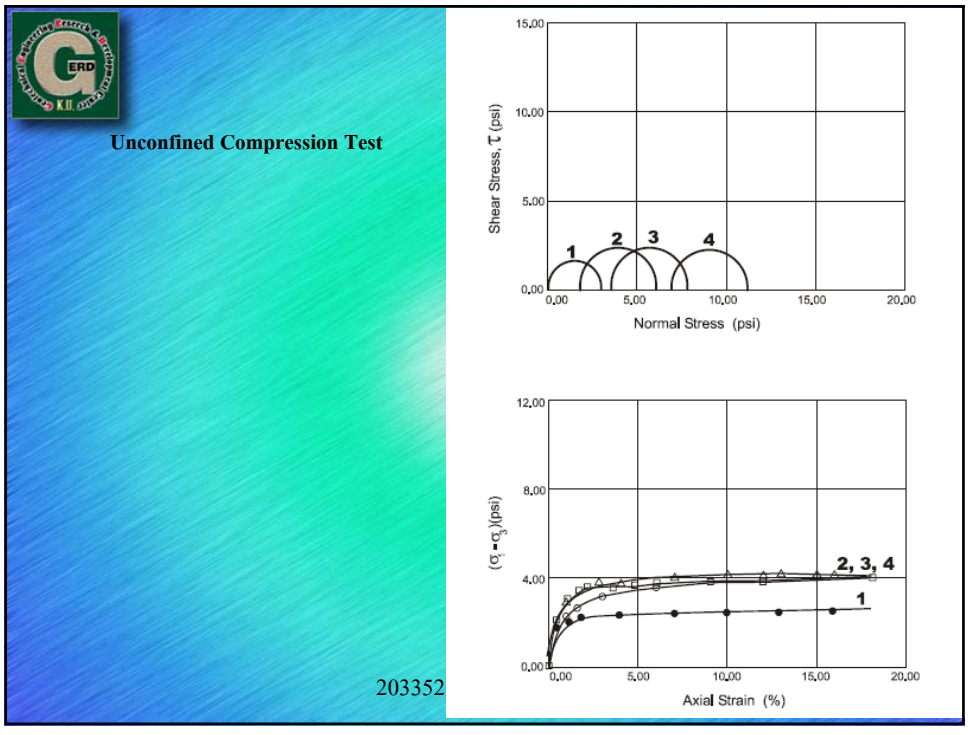


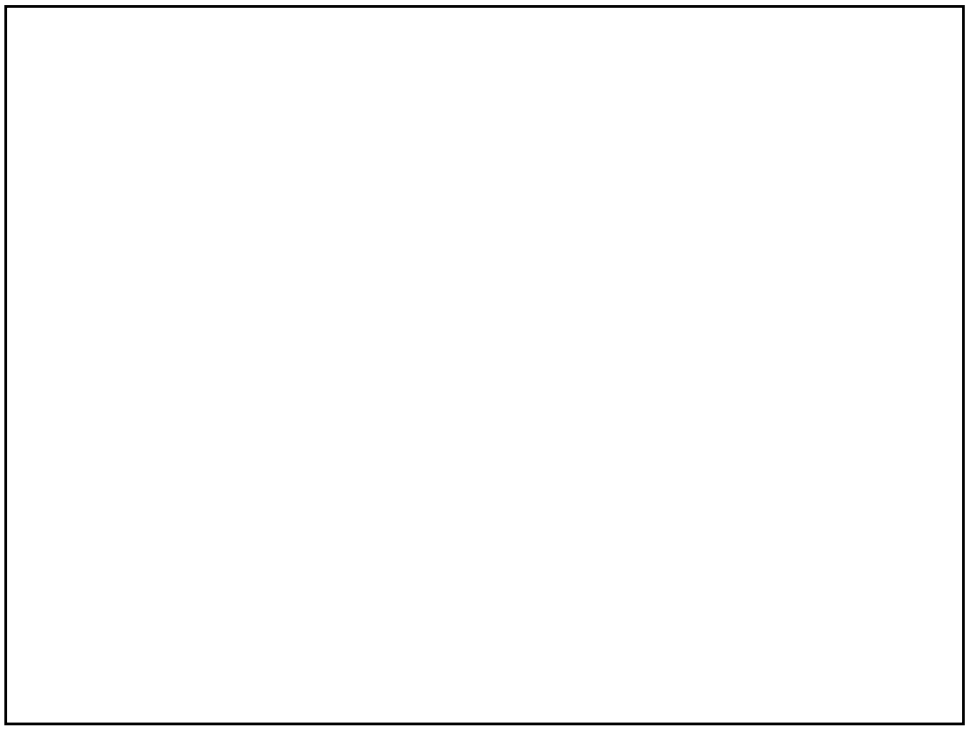
ตัวอย่างการพิบัติด้านความแข็งแรงของดิน

SOIL CONSISTENCY

SOIL TYPE	CONSISTENCY	BLOWS/305mm (18")
SAND & SILT	*Very Loose*	*0–4*
	Loose	5–10
	Medium	*11–30*
	Dense	31–50
	Very Dense	*Over 51*
CLAY	Very Soft	0–1
	Soft	*2–4*
	Medium	5–8
	Stiff	*9–16*
	Very Stiff	17–32
	Hard	*Over 33*
MOISTURE CONTENT	Dry	
	Below OPT.	*Well below OMC*
	Optimum Minus	Near plastic Limit
	Optimium	*M.C. @ Max. Dry Den.*
	Optimium Plus	Slightly above OMC.
	Above Opt	*Above 4% OMC*
	Wet or Saturated	Free water visible
FIELD IDENTIFICATION OF COHESIVE SOILS	*Very Soft*	*Easily penetrated several centimeters by the fist*
	Soft	Easily penetrated several centimeters by the thumb
	Firm	*Can be penetrated several centimeters by the thumb with moderate effort*
	Stiff	Readily indented by the thumb, but penetrated by only with great difficulty
	Very Stiff	*Readily indented by the thumb nail*
	Hard	Indented with difficulty with by the thumb nail

Source : Canadian Foundation Engineering Manual, 3 rd Edition





ตัวอย่างการพิบัติด้านความแข็งแรงของดิน