

CE2302 土壤力學試驗

地下探勘

地下探勘之方式

- 鑽探取樣
- 地下開挖
- 地球物理探勘

一般鑽機



車載型鑽機



劈管取樣



內徑：35 mm

外徑：50 mm，

長度：61 cm

配合SPT以打擊方式
將取樣器貫入土中

薄管取樣



外徑：76.2 mm

壁厚：1.65 mm，

管長：91 cm

以靜壓方式將取樣器
壓入土中

岩心取樣



標準貫入試驗(SPT)



利用**63.5kg**重夯錘，以**76 cm**之落距將劈管取樣器打入土層，記錄每貫入**15cm**所需之打擊數共三次，取最後兩次打擊數之總和，稱為標準貫入**N**值。

圓錐貫入試驗(CPT)



圓錐貫入試驗(CPT)



921斷層槽溝開挖



地球物理探勘

- 地電阻法
- 地磁場法
- 雷達波法(透地雷達GPR)
- 電磁波法(時域反射儀TDR)
- 應力波法
 - 折射震測法
 - 波速井測法
 - 表面波法

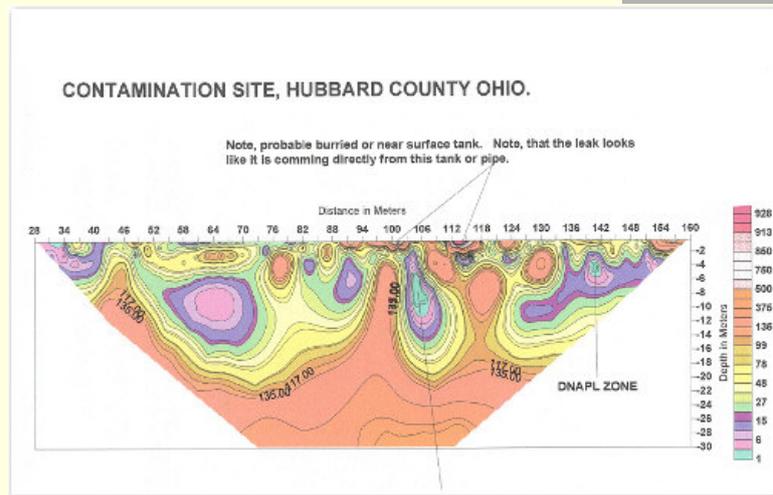
地電阻法之應用範圍

- Characterize subsurface hydrogeology
- Determine depth to bedrock/overburden thickness
- Determine depth to groundwater
- Map stratigraphy
- Map clay aquitards
- Map salt-water intrusion
- Map vertical extent of certain types of soil and groundwater contamination
- Estimate landfill thickness

地電阻法之應用範例



地電阻法之應用範例



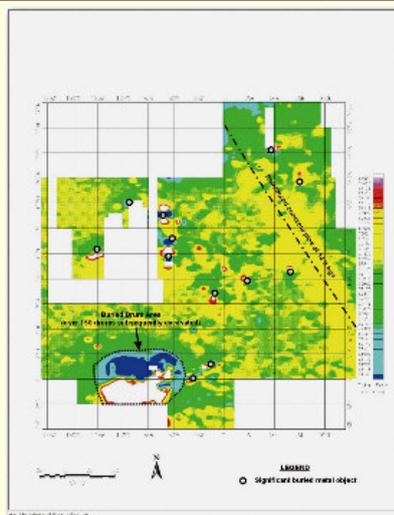
地磁法之應用範圍

- Locate abandoned steel well casings
- Locate buried tanks and pipes
- Locate pits and trenches containing buried metallic debris
- Detect buried ordnance
- Map old waste sites and landfill boundaries
- Clear drilling locations
- Map basement faults and geology
- Investigate archaeological sites

地磁場法之應用範例



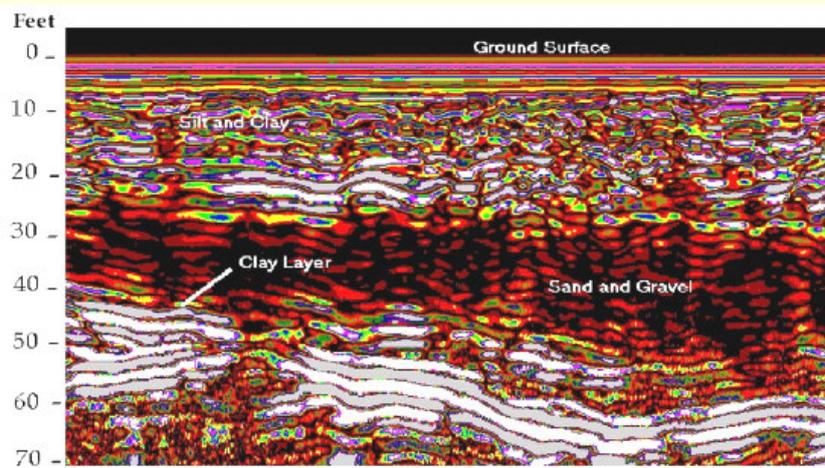
地磁場法之應用範例



透地雷達GPR之應用範圍

- Locate and delineate underground storage tanks (metallic and nonmetallic)
- Locate metallic and nonmetallic pipes and utility cables
- Map rebar in concrete structure
- Map landfill boundaries
- Delineate pits and trenches containing metallic and nonmetallic debris
- Delineate leach fields and industrial cribs
- Delineate previously excavated and backfilled areas
- Map shallow groundwater tables
- Map shallow soil stratigraphy
- Map shallow bedrock topography
- Map subsurface voids and cavities
- Characterize archaeological sites

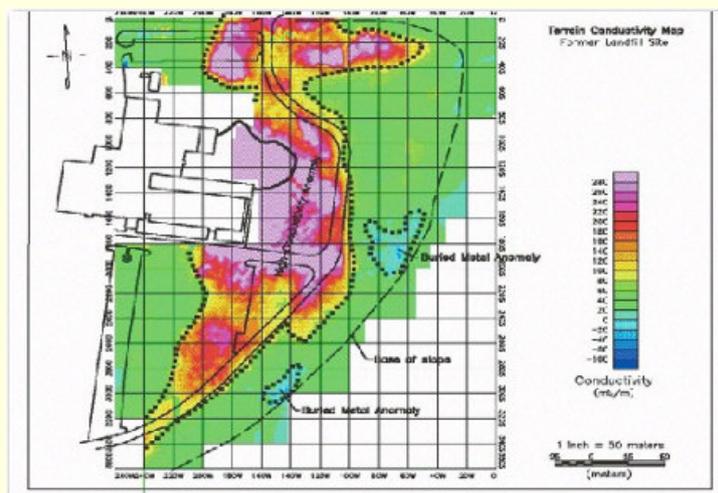
透地雷達GPR之應用範例



電磁波法之應用範圍

- Locate buried tanks and pipes
- Locate pits and trenches containing metallic and/or nonmetallic debris
- Delineate landfill boundaries
- Delineate oil production sumps and mud pits
- Map conductive soil and groundwater contamination
- Characterize subsurface hydrogeology
- Map buried channel deposits
- Map geologic structure
- Conduct groundwater exploration
- Locate conductive fault and fracture zones

電磁波法之應用範例



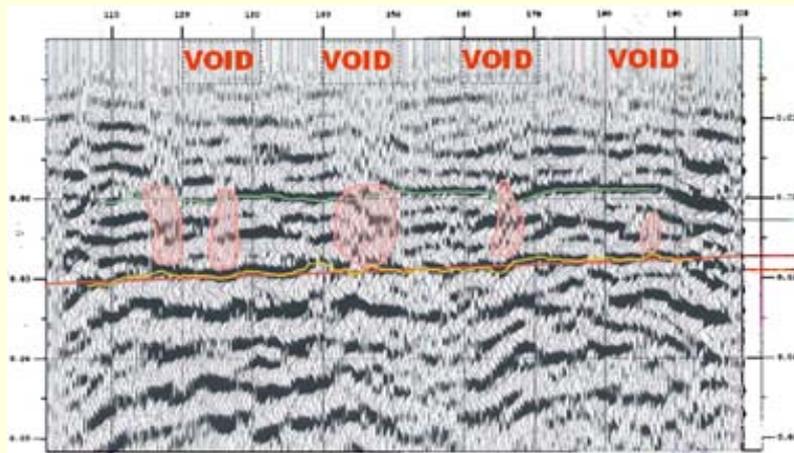
應力波法之應用範圍

- Earthquake site response
- Liquefaction analysis
- Soil compaction control
- Pavement evaluation
- Mapping subsurface stratigraphy

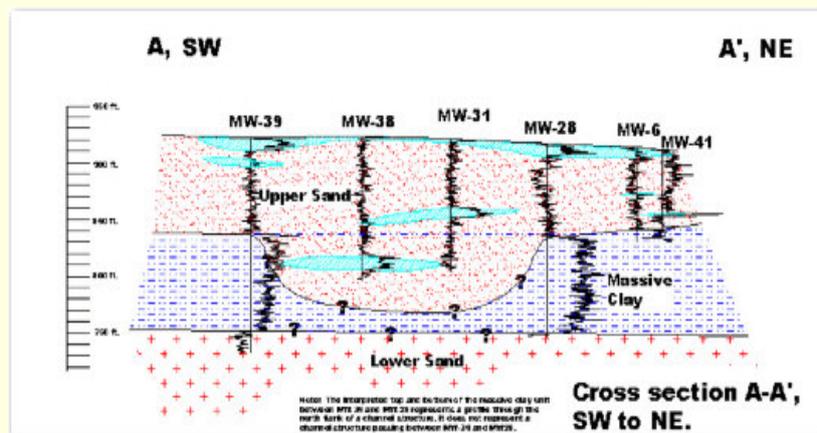
折射震測法之應用範例



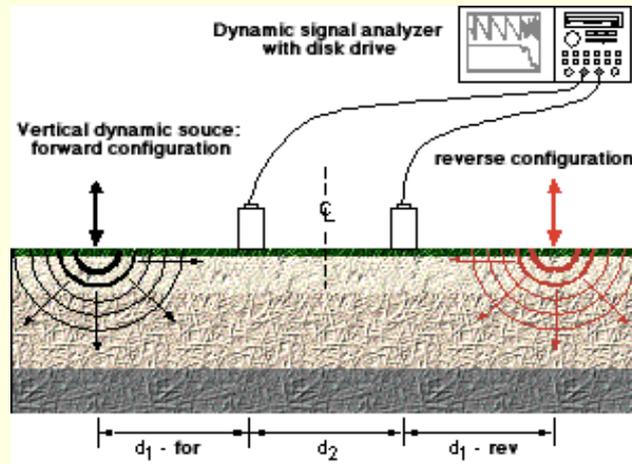
折射震測法之應用範例



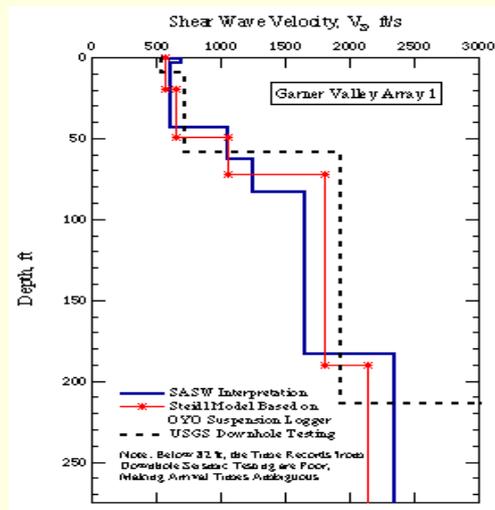
波速井測法之應用範例



SASW法之原理



SASW法之應用範例



CE2302 土壤力學試驗

實驗一 含水量試驗

實驗目的

- 學習使用天秤量測物體重量
- 學習使用遊標卡尺量測圓柱體直徑、高度
- 學習如何量測土壤之含水量
- 學習如何量測土壤之單位重

定義

- 含水量
 - 重量含水量 $\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$
 - 體積含水量 $\theta = \frac{V_w}{V}$
- 單位重
 - 溼單位重 $\gamma_t = \frac{W}{V}$
 - 乾單位重 $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

實驗步驟

- 取乾淨之蒸發皿秤其重量
- 將銅圈內土樣取出放入蒸發皿，秤皿+溼土重
- 將土樣置入烘箱，烘乾後秤皿+乾土重
- 以遊標卡尺量測銅圈直徑、高度
- 計算含水量
- 計算單位重

CE2302 土壤力學試驗

實驗二 篩分析試驗

實驗目的

- 學習如何測量粗粒土壤的顆粒大小及其所佔百分比，並繪製粒徑分佈曲線，計算其均勻係數與曲率係數，以做為土壤分類之參考。

定義

- 礫石
 - 顆粒大於4.76mm(#4篩)
- 砂土
 - 顆粒介於4.76mm(#4篩)與0.075mm (#200篩)間
- 沉泥(粉土)
 - 顆粒介於0.075mm與0.002mm間
- 粘土
 - 顆粒小於0.002mm

定義

- 有效粒徑 D_{10}
 - 通過百分比為10%之對應顆粒直徑
- 均勻係數
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
- 曲率係數
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$
- 優良級配
 - 礫石 $C_u \geq 4$; $1 < C_c < 3$
 - 砂土 $C_u \geq 6$; $1 < C_c < 3$

標準篩篩號及其相對應尺寸

篩號	篩孔徑 (mm)
4	4.76
10 (16)	2.00 (1.18)
20 (30)	0.84 (0.60)
40 (50)	0.42 (0.30)
60	0.25
100	0.149
140	0.105
200	0.047

實驗步驟

- 將乾淨之標準篩組依篩號由小至大排列
- 將烘乾之土樣倒入最上方之篩中
- 蓋上蓋子，將篩組置於搖篩機上搖動15分鐘
- 將篩組取出稱停留於各篩上之累積質量
- 計算各篩之累積停留百分比
- 計算各篩之累積通過百分比
- 繪製粒徑分佈曲線
- 求此土樣之 D_{10} , D_{30} , D_{60}
- 計算 C_u 及 C_c

CE2302 土壤力學試驗

實驗三 比重計分析試驗

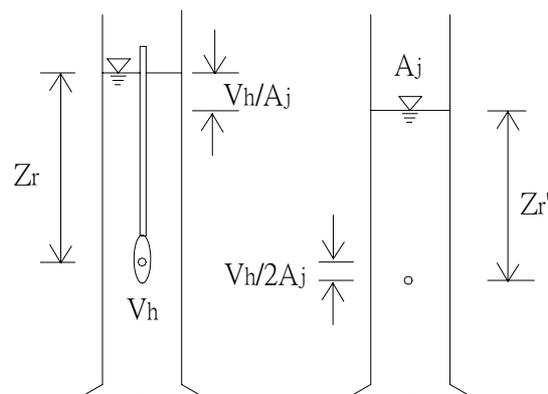
實驗目的

- 學習如何比重計測量細粒土壤的顆粒大小及其所佔百分比。

原理--Stokes(史托克)定律

- 土壤試體懸浮在水中，其中之土粒根據其不同之形狀、尺寸、重量和水的粘滯性而以不同的速度下沉
- 相同形狀、比重之土粒其粒徑愈大，下沉速度愈快。
- 土粒下沉後，土、水混合液之濃度降低，比重亦隨之下降。
- 利用比重計量測不同時間土、水混合液之比重即可求得細粒土壤的顆粒大小及其所佔百分比。

比重計試驗



計算公式

- 顆粒直徑

$$D(mm) = k \cdot \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$$

- 通過百分比(151H)

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100\%}{W_s} \times V \times \gamma_c \times (\gamma - \gamma_w)$$

- 通過百分比(152H)

$$N = \frac{(\gamma - b) \cdot a}{W_s} \times 100\%$$

γ_c : 律定時比重計讀數

γ : 比重計在混合液中讀數

γ_w : 比重計在純水中讀數

以圖解法求顆粒直徑

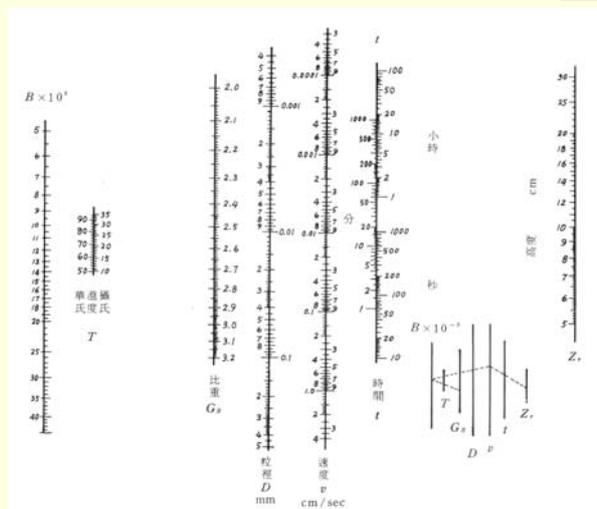


圖 2-6 史陶克定律之圖解

k值與溫度及G_s之關係

T/G _s	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
18	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
20	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
22	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
24	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
26	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
28	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
30	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

比重計151H - L值與讀數之關係

比重計讀數	L	比重計讀數	L
0.995	17.6	1.025	9.7
1.000	16.3	1.030	8.4
1.005	15.0	1.035	7.0
1.010	13.7	1.040	5.7
1.015	12.3	1.045	4.4
1.020	11.0	1.050	3.1

比重計152H - L值與讀數之關係

比重計讀數	L	比重計讀數	L
0	16.3	35	10.6
5	15.5	40	9.8
10	14.7	45	9.0
15	13.9	50	8.1
20	13.0	55	7.3
25	12.2	60	6.5
30	11.4		

比重計152H - a值與 G_s 之關係

G_s	a	G_s	a
2.85	0.96	2.65	1.00
2.80	0.97	2.60	1.01
2.75	0.98	2.55	1.02
2.70	0.99	2.50	1.04

比重計152H - b值與溫度之關係

T(°C)	b	T(°C)	b
16	6.2	23	4.1
17	5.9	24	3.8
18	5.6	25	3.5
19	5.3	26	3.2
20	5.0	27	2.9
21	4.7	28	2.6
22	4.4	29	2.3

實驗步驟

- 秤50公克之乾土並將其倒入攪拌杯中
- 秤4公克之抗凝劑並將其倒入攪拌杯中
- 以蒸餾水加入攪拌杯至7~8分滿
- 將攪拌杯放上攪拌機，打開開關攪拌5分鐘
- 取出攪拌杯並以洗滌瓶將土樣洗入量筒中
- 加蒸餾水至1000cc之刻度
- 以手掌蓋緊量筒，上下翻倒搖動1分鐘
- 將量筒平放於工作桌上並開使計時

實驗步驟

- 記錄第1、2、4、8、15、30、60、120、240、480、及1440分鐘時比重計之讀數
- 計算顆粒直徑及其相對應之通過百分比
- 如有必要，計算修正通過百分比
- 繪製粒徑分佈曲線

CE2302 土壤力學試驗

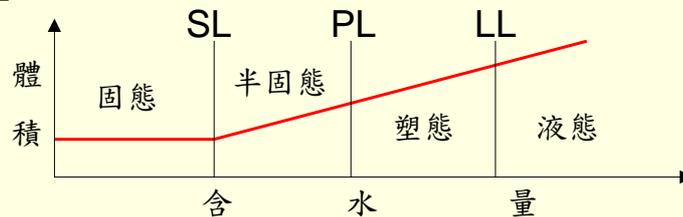
實驗四 阿太堡限度試驗

實驗目的

- 利用科學的方法分析細粒土壤之液性限度LL、塑性限度PL及縮性限度SL。計算出塑性指數PI，以作為細粒土壤分類之依據，提供工程應用之參考。

阿太堡限度之定義

- 液限(LL)：土壤由液性狀態至塑性狀態間之含水量
- 塑限(PL)：土壤由塑性狀態間至半固體狀態間之含水量
- 縮限(SL)：土壤由半固體狀態至固態間之含水量



液性限度試驗實驗步驟

- 1) 校正液性限度儀黃銅杯距底座10mm。
- 2) 取通過#40篩土樣約120g，加水用藥刀充分拌合至均勻為止。
- 3) 將試樣以適當量放入黃銅杯內整平使最厚處為10mm。
- 4) 用V形劃刀沿中心線將土樣平穩地刮成兩半。
- 5) 以2轉/sec速度轉動曲柄，當兩半土樣相閉合13mm時，記錄黃銅杯打擊底座之次數N。
- 6) 將試樣取出稱重後，再送入烘箱烘乾，求得含水量 ω 。

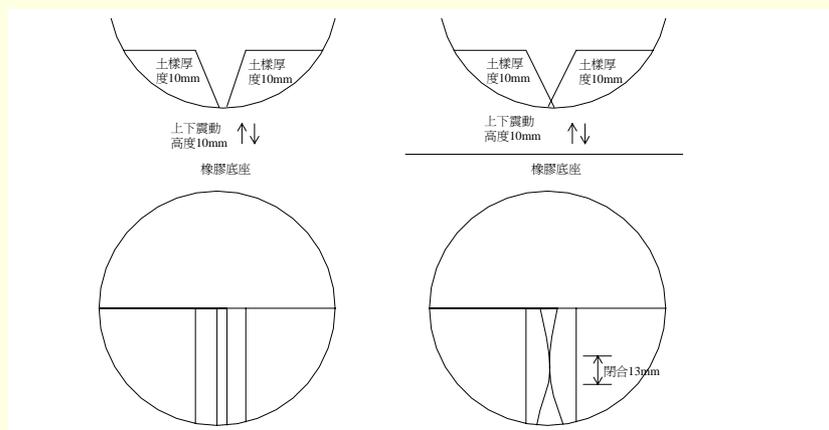
液性限度試驗實驗步驟(續)

- 7) 清洗儀器土樣加水，重覆(3)-(6)步驟3~4次，試驗所得之打擊次數須>15，<35且至少應有一次介於25至35，20至30，15至25之間。
- 8) 以打擊次數N為橫座標(對數分度)，含水量w為縱座標，繪製流性曲線，以打擊次數25下所相對之含水量即為液性限度LL。
- 9) ASTM D4318規定亦可以用單點法藉由以下經驗公式求出該土樣之液性限度：

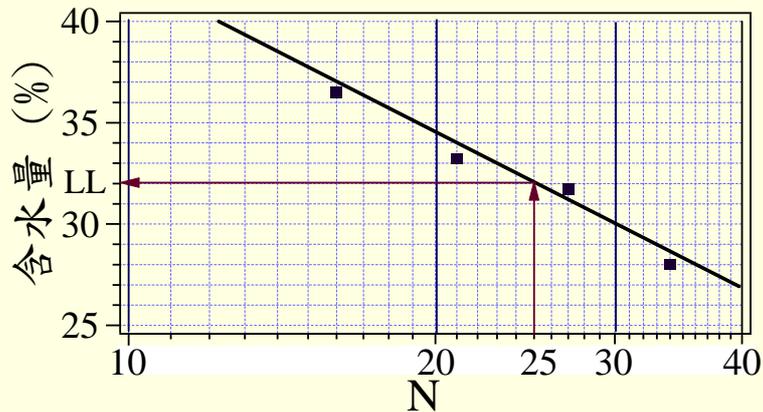
$$LL = w \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

需連續做兩次，且求得之LL差距小於1%

液性限度試驗示意圖



液性限度試驗流性曲線圖



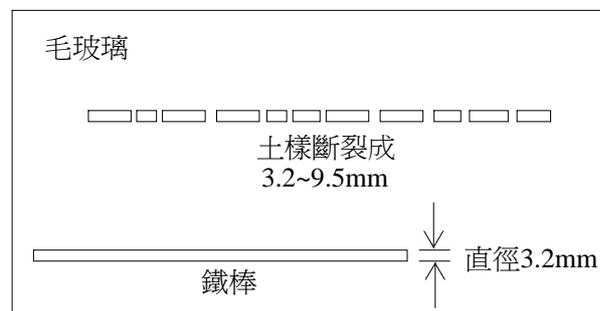
塑性限度試驗實驗步驟

- 1) 將通過#40篩土樣100g加水，用藥刀充分拌和以至試樣均勻為止。
- 2) 加水拌合直到易於捏成球狀，且不過度黏手為止。
- 3) 取少許土樣土在毛玻璃上，來回搓成直徑3.2mm之土條，若沒有斷裂，則加少許乾土拌合均勻，再重新在毛玻璃上揉搓，若搓成大於直徑3.2mm之土條就已經斷裂，則加少許水量拌合均勻，再重新在毛玻璃上揉搓。

塑性限度試驗實驗步驟(續)

- 4) 當在搓成直徑3.2mm時，剛好斷裂成3.2至9.5mm之碎塊，則將此一土條收集稱重之，並放入烘箱烘乾，於隔天取出稱重，該含水量即為塑性限度PL。

塑性限度試驗土條斷裂示意圖



CE2302 土壤力學試驗

實驗五 比重試驗

實驗目的

- 求土壤之土粒比重 G_s ，並配合試驗一土壤之濕單位重 γ_m 、含水量 ω 及乾單位重 γ_d 三個參數，以計算孔隙比 e 、孔隙率 n 及飽和度 S 。提供土壤之一般參數，作為工程應用參考之依據。

定義

- 土粒單位重：

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

- 比重(G_s)：

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w(4^\circ C)}}$$

- 孔隙比；

$$e = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

飽和度：

$$S = \frac{\omega \cdot G_s}{e}$$

實驗步驟

- 1) 自乾燥器中取出比重瓶，稱其重量 W_b 。
- 2) 每瓶中加入約15g之乾土，稱(瓶+乾土)重 W_{bs} 。則乾土重 $W_s = W_{bs} - W_b$ 。
- 3) 加蒸餾水入瓶，使其充分淹末土樣。
- 4) 將比重瓶移至鍋中隔水加熱，經常搖動幫助氣泡逸出，沸騰後15分鐘即可。
- 5) 將其置入恆溫水槽內使其冷卻至室溫後，加蒸餾水至瓶頸之刻劃線處。
- 6) 拭乾瓶外之水並稱(瓶+乾土+水)重 W_2 。

實驗步驟(續)

7) 將瓶中之土清出，洗淨後注入蒸餾水，再將其放入恆溫水槽內讓溫度平衡後再加蒸餾水至瓶頸之刻劃線處。

8) 拭乾瓶外之水並稱(瓶+水)重 W_1 。

9) 計算 $G_{s(T^{\circ}C)} = \frac{W_s}{W_1 - W_2 + W_s}$

10) 記錄恆溫水槽溫度 T ，求 k 。

11) 計算 $G_{s(20^{\circ}C)} = \frac{W_s}{W_1 - W_2 + W_s} \times k$

水溫與校正係數K

水溫	k	水溫	k
18	1.0004	25	0.9989
19	1.0002	26	0.9986
20	1.0000	27	0.9983
21	0.9998	28	0.9980
22	0.9996	29	0.9977
23	0.9993	30	0.9974
24	0.9991	31	0.9971

CE2302 土壤力學試驗

實驗六 透水試驗

實驗目的

- 利用定水頭與變水頭滲透性試驗求土壤之滲透係數 k ，作為工程估計滲流量應用參考之依據。

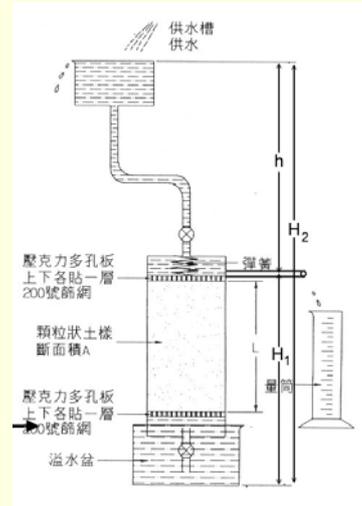
試驗原理(定水頭試驗)

依據達西定律：

$$q = \frac{Q}{t} = k \cdot i \cdot A$$

$$\frac{Q}{t} = k \cdot \frac{h}{L} \cdot A$$

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$



試驗原理(變水頭試驗)

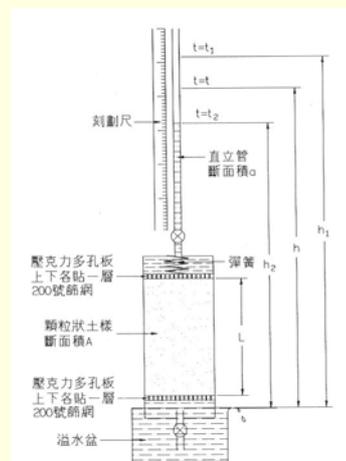
依據達西定律：

$$q = k \cdot \frac{h}{L} \cdot A = -a \frac{dh}{dt}$$

$$dt = \frac{a \cdot L}{A \cdot k} \left(-\frac{dh}{h} \right)$$

$$t = \frac{a \cdot L}{A \cdot k} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$$k = 2.303 \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_1}{h_2}$$



定水頭試驗實驗步驟

- 1) 打開滲透儀以游標卡尺量測其內徑與高度，計算其面積及體積。
- 2) 取一燒杯裝滿乾淨之細砂稱其重量 W_1 ，利用漏斗將細砂倒滿滲透儀後稱剩下之土重 W_2 ，計算乾土重 $W_s = W_1 - W_2$ 。
- 3) 假設土壤比重，計算其乾單位重及孔隙比。
- 4) 將滲透儀擺設如圖5-1，由試體下方慢慢注入清水，將試體中所有氣泡趕出為止。

定水頭試驗實驗步驟(續)

- 5) 以鋼尺量測出水孔與桌面高度 H_1 ，調整 H_2 高度使其高差 $h=10\text{cm}$ 。
- 6) 打開扣環使清水由試體下方注入，以量統量測 t 時間內試體上方流出之水量 Q 。
- 7) 計算 q 、 i 、 v 、 k 。
- 8) 重覆步驟5~7，改變 H_2 高度其高差 h 分別20、30cm。
- 9) 繪制不同 h 下之 i 、 v ，判斷達西定率是否適用。

變水頭試驗實驗步驟

- 1) 將豎管充滿水，以圖5-2之配置擺設滲透儀。
- 2) 記錄豎管水位高度 H_1 ，打開扣環使清水由試體下方注入，經一段時間 t 後計錄 H_2 。
- 3) 計算 k 。
- 4) 重覆以上步驟2~3次。

CE2302 土壤力學試驗

實驗七 夯實試驗

實驗目的

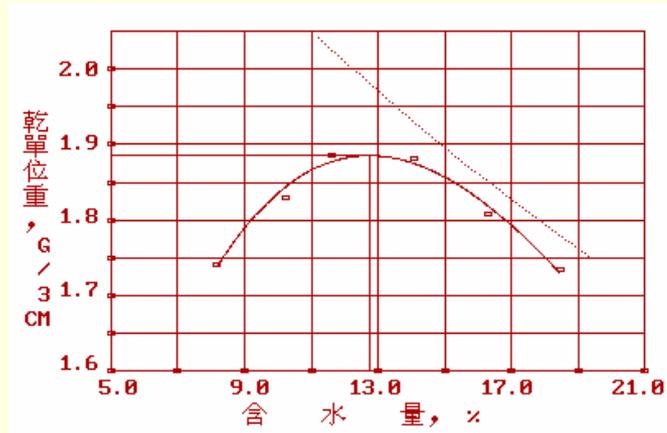
■ 實驗目的

測定土壤含水量與乾土單位重間之關係，進而決定最大乾單位重及最佳含水量作為填土工程之壓實控制之依據。

■ 夯實的效用

- 增加土壤密度，進而加強土壤的承載力及抗剪強度。
- 使土壤的膨脹性、壓縮性及滲透性減少至最低程度

夯實理論



定義

- 夯實曲線
同一夯實能量下，乾密度與含水量之關係曲線
- 最大乾密度($\rho_{d,max}$)
夯實曲線之頂點所對應之乾密度
- 最佳含水量(ω_{opt})
夯實曲線之頂點所對應之含水量
- 最佳線(Line of Optimum)
不同夯實能量下之最大乾密度與最佳含水量線
- 飽和曲線
飽和狀況下，乾密度與含水量之關係曲線

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\omega + \frac{1}{G_s}}$$

標準夯實與修正夯實試驗之比較

類別	標準夯實	修正夯實
鎚重 (lb)	5.5	10
落距 (inch)	12	18
夯實層數	3	5
每層打擊數	25	25

實驗步驟

- 1) 取通過#4篩之氣乾土約2.5 kg。
- 2) 以游標卡尺量測夯實模之內徑、高度(不含延伸環)，計算其體積。
- 3) 以天秤稱夯實模重後將其組裝。
- 4) 以噴霧器將75c.c.之自來水均勻噴灑在乾土上。
- 5) 以規定之夯實能量將土樣分層夯實。
- 6) 取下延伸環，將土樣沿夯實模上緣刮平。
- 7) 稱模+土重。

實驗步驟(續)

- 8) 以頂土器將夯實模內土樣頂出。
- 9) 取上、中、下部分土樣量測其含水量。
- 10) 將剩餘之土樣擊碎。
- 11) 重復步驟(4) ~ (10)四至五次。
- 12) 計算各試體之含水量及乾密度，繪製夯實曲線與飽和曲線，求此土壤之最大乾密度與最佳含水量。

CE2302 土壤力學試驗

實驗八 工地密度試驗

實驗目的

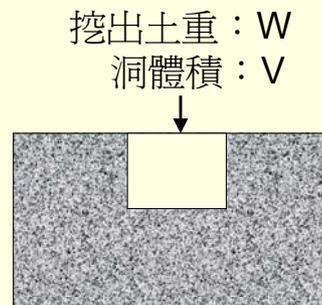
- 實驗目的
測定工地填土工程滾壓夯實後之乾密度，計算夯實度以作為施工品質控制之依據。
- 相對夯實度(Relative Compaction)

$$R = \frac{\gamma_{d,field}}{\gamma_{d,max}} \times 100\%$$

測量方試

- 直接量測
 - 砂錐法
 - 橡皮膜法

$$\gamma_{d,field} = \frac{W_s}{V}$$



- 核子密度儀

實驗步驟 - 標準砂檢定

- 1) 以游標卡尺量測檢驗筒之內徑及高度，計算其體積。
- 2) 將砂錐儀之塑膠瓶裝滿標準砂後稱((瓶 + 滿砂)質量 m_1 。
- 3) 組裝砂錐儀後將其置於玻璃版上，打開控制閥讓標準砂自然流入銅錐中，直到標準砂不再流動。
- 4) 關閉控制閥，取下塑膠瓶，稱((瓶 + 滿砂--錐充砂)質量 m_2 。
- 5) 將玻璃版上之標準砂倒回塑膠瓶內，重新組裝砂錐儀後將其放在檢驗筒上。
- 6) 打開控制閥讓標準砂自然流入銅錐及檢驗筒中，直到標準砂不再流動。

實驗步驟 - 標準砂檢定(續)

- 7) 關閉控制閥，取下塑膠瓶，稱((瓶 + 滿砂--錐充砂-檢驗筒充砂)質量 m_3 。
- 8) 計算檢驗筒充砂質量 = $m_2 - m_3$ 。
- 9) 計算標準砂密度： $\gamma_c = \frac{m_2 - m_3}{V_c}$
- 10) 計算錐充砂質量 = $m_1 - m_2$ 。
- 11) 重覆步驟(2) ~ (10)兩次。
- 12) 計算平均錐充砂質量與標準砂密度。

實驗步驟 - 工地密度測定

- 1) 將砂錐儀之塑膠瓶裝滿標準砂後稱((瓶 + 滿砂)質量 m_1' 。
- 2) 取一鐵盆(含水皿)記錄其編號及質量。
- 3) 尋找一適當地點，整平地面，將鐵版置於地面上，以圓錐沿鐵版中之圓圈挖一深約10公分之洞，將挖出之土壤全部收集於鐵盆中。
- 4) 以毛刷及湯匙將洞內之鬆土收集於鐵盆後稱(洞中濕土)質量 m_4 。
- 5) 組裝砂錐儀後將其置於鐵版上，打開控制閥讓標準砂自然流入洞中，直到不再流動。

實驗步驟 - 工地密度測定(續)

- 6) 關閉控制閥，取下塑膠瓶，稱((瓶+滿砂-錐充砂-洞充砂)質量 m_5 。
- 7) 計算洞中充砂質量, $m_6=(m_1'-m_5)-(m_1 - m_2)$ 。
- 8) 計算洞體積：
$$V = \frac{m_6}{\gamma_c}$$
- 9) 計算野外濕密度：
$$\gamma_m = \frac{W}{V}$$
- 10) 將鐵盆帶回實驗室將土壤烘乾後計算其含水量 ω
- 11) 計算工地密度：
$$\gamma_{d,field} = \frac{\gamma_m}{1 + \omega}$$

CE2302 土壤力學試驗

實驗九 單向度壓密試驗

實驗目的

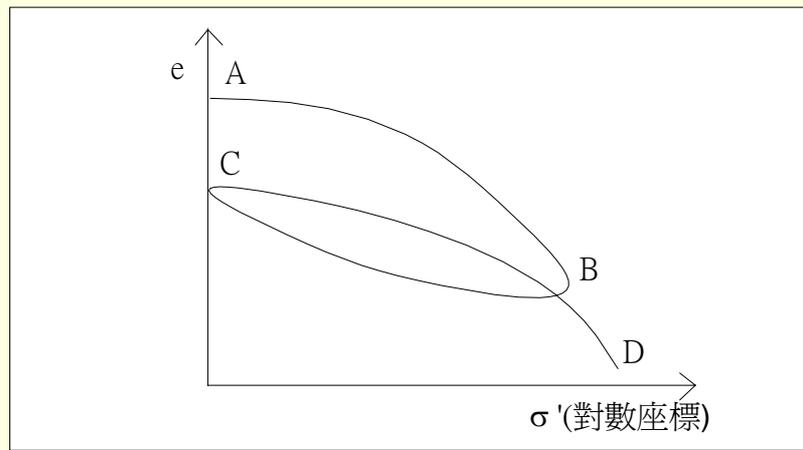
■ 實驗目的

求取有關土壤壓縮性的諸常數，如壓密係數 C_v 、體積壓縮係數 m_v 、壓縮指數 C_c 、再壓縮指數 C_r 、以及滲透係數 k 等參數，以供基礎設計時估算結構物在粘土層上所引起之沉陷量及沉陷速度之依據。

定義

- 壓密沉陷量 S_c
$$S_c = \frac{C \cdot H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\bar{\sigma}_0 + \Delta\sigma}{\bar{\sigma}_0}\right)$$
- 壓縮指數 C_c
$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \Rightarrow NC$$
- 再壓縮指數 C_r
$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \Rightarrow OC$$
- 體積壓縮係數 m_v
$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma}$$

壓密曲線



定義(續)

■ 壓密係數 C_v

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v}$$

■ 時間因素 T

$$T = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$$

■ 平均壓密百分比 U

$$U = \frac{S}{S_c}$$

■ 滲透係數 k

$$k = C_v \gamma_w m_v = \frac{C_v \gamma_w a_v}{1 + e_0}$$

壓密係數 C_v 求法

■ 平方根調整法

■ 對數調整法

實驗步驟

- 1) 將砂錐儀之塑膠瓶裝滿標準砂後稱((瓶 + 滿砂)質量 m_1' 。
- 2) 取一鐵盆(含水皿)記錄其編號及質量。
- 3) 尋找一適當地點，整平地面，將鐵版置於地面上，以圓錐沿鐵版中之圓圈挖一深約10公分之洞，將挖出之土壤全部收集於鐵盆中。
- 4) 以毛刷及湯匙將洞內之鬆土收集於鐵盆後稱(洞中濕土)質量 m_4 。
- 5) 組裝砂錐儀後將其置於鐵版上，打開控制閥讓標準砂自然流入洞中，直到不再流動。

實驗步驟

- 6) 關閉控制閥，取下塑膠瓶，稱((瓶+滿砂-錐充砂-洞充砂)質量 m_5 。
- 7) 計算洞中充砂質量, $m_6=(m_1'-m_5)-(m_1 - m_2)$ 。
- 8) 計算洞體積：
$$V = \frac{m_6}{\gamma_c}$$
- 9) 計算野外濕密度：
$$\gamma_m = \frac{W}{V}$$
- 10) 將鐵盆帶回實驗室將土壤烘乾後計算其含水量 ω
- 11) 計算工地密度：
$$\gamma_{d,field} = \frac{\gamma_m}{1 + \omega}$$

CE2302 土壤力學試驗

實驗十 加州承載比(CBR)試驗

實驗目的

土壤之加州載重比(California Bearing Ratio)簡稱C.B.R.試驗，係路基土壤之貫入試驗，C.B.R.值可用以設計柔性路面及機場跑道鋪面厚度，C.B.R.試驗亦可用於土壤材料施工品質之控制依據。

試驗原理

加州載重比試驗係使用直徑5cm之壓桿，以1 mm/min之速率，求貫入土壤所壓力。貫入標準夯實碎石所需壓力，如下表所示。加州載重比規定以2.5mm貫入深之載重比表示之，若5.0mm貫入深之載重比大於2.5mm者，則採用5.00mm貫入深之載重比為C.B.R.值。

$$\text{加州載重比} = \frac{\text{貫入土壤所需應力}}{\text{貫入標準夯實碎石應力}} \times 100\%$$

標準夯實碎石貫入深及壓力

貫入度 in (mm)	貫入阻力 lb/ft ² (kN/m ²)
0.1 (2.54)	1000 (6895)
0.2 (5.08)	1500 (10343)
0.3 (7.62)	1900 (13101)
0.4 (10.16)	2300 (15895)
0.5 (12.7)	2600 (17927)

實驗步驟(試體夯實)

- 1) 取通過#4篩之氣乾土約2.5 kg。
- 2) 以游標卡尺量測夯實模之內徑、高度(不含延伸環)，計算其體積。
- 3) 以天秤稱夯實模重後將其組裝。
- 4) 以掛噴霧器將最佳含水量所需之自來水均勻噴灑在乾土上。
- 5) 以規定之夯實能量將土樣分層夯實。
- 6) 取下延伸環，將土樣沿夯實模上緣刮平。
- 7) 稱模+土重。

實驗步驟(浸水回脹)

- 8) 將土樣連同金屬模置於有濾紙之底版並固定之。
- 9) 灌水入水槽或水桶。
- 10) 記錄膨脹值每日一次，歷時四天或至膨脹已完全停止。

實驗步驟(貫入試驗)

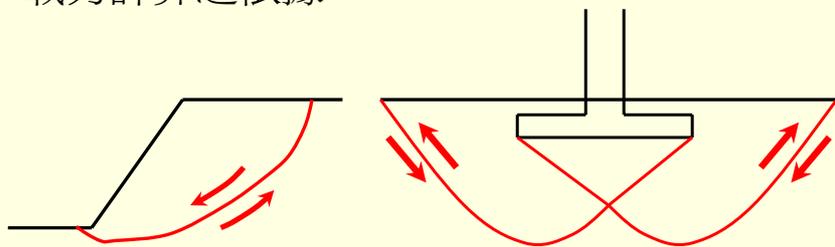
- 11) 將土樣連同金屬模自水槽取出。
- 12) 調節壓力機使其貫入速度為1 mm/min 。
- 13) 於貫入度為0.025、0.05、0.075；
0.1...時記錄壓力衡圈讀數。
- 14) 計算貫入阻力。
- 15) 求CBR值。

CE2302 土壤力學試驗

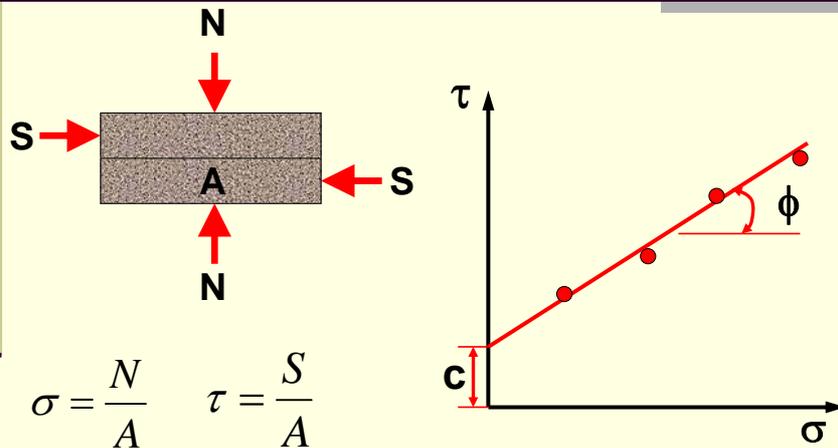
實驗十一 直接剪力試驗

實驗目的

求土壤之凝聚力 (c) 及內摩擦角 (ϕ)，作為擋土牆分析、邊坡穩定分析及基礎承载力計算之依據。



試驗原理



直接剪力試驗種類

- 不壓密快剪試驗(Q Test)
適合工程剛完成之土層，做為短期穩定分析之用，可得 c 及 ϕ 值分析。
- 壓密快剪試驗(Q_c Test)
適合工程已完成一段時間之土層，於水位急速洩降時，穩定分析之用。可得 c_{cu} 及 ϕ_{cu} 。
- 壓密慢剪試驗(S Test)
適合工程已完成一段時間之土層，長期性之穩定分析，得 c' 及 ϕ' 值而加以分析。

實驗步驟(試體準備)

- 1) 將剪力盒分解、洗淨與拭乾。然後將上下盒用螺絲釘固定在一起，安置剪力儀上。
- 2) 將墊板、下透水石與下夾土鈹放入剪力盒中，夾土鈹牙紋需與剪力方向垂直。
- 3) 以土匙將砂土移入盒中，並隨時用夯鈹將土面壓平，至土壤在剪破面的上、下等厚為止。並以測微尺度試體厚度。放入上夾土鈹，牙紋與剪力方向垂直。
- 4) 放入上透水石與加壓鈹。掛上加壓架並調節其平衡槓桿使加壓架與加壓板接觸但無荷重。裝上沉陷錶於試驗位置並設定適當零點。

實驗步驟(剪動試體)

- 5) 調節齒輪箱齒輪與擋數，設定剪動速率，使用1.2mm/min的剪動速率。
- 6) 用手推動剪力盒與衡圈接觸後停止。
- 7) 將呆重掛上加壓架，並記錄沉陷錶讀數，一如壓密試驗。若是純粹砂土沉陷應在數分鐘內停止。
- 8) 拔出固定上、下盒的螺絲釘，調整上下盒間距。
- 9) 再度開動剪力機，在一定間隔的水平變形記錄衡圈讀數及垂直變形。至衡圈讀數達最大值後再記錄5點，若無尖峰強度時記錄至20%變形時停車。
- 10) 倒車解除呆重退出剪力盒，清出盒內的土。
- 11) 重複1.至10.的步驟3~4次，但呆重加倍。

實驗步驟(數據整理)

- 12) 將剪應力係由衡圈讀數乘衡圈常數，再被試體斷面積相除即得。
- 13) 正應力係由呆重與試體斷面積相除即得。
- 14) 每一試體受剪，皆需繪製：
"剪動變形~垂直變形"曲線
"剪動變形~剪應力"曲線
- 15) 將受剪各試體的剪力強度(剪應力之最大值)與正應力值，在"正應力~剪應力"座標上標出。
- 16) 連接"正應力~剪應力"座標上各點成一直線，其斜率為抗剪角(**angle of shear resistance**)，其在剪應力軸上的截距為凝聚力(**cohesion intercept**)。非黏性土的凝聚力為零或近於零。

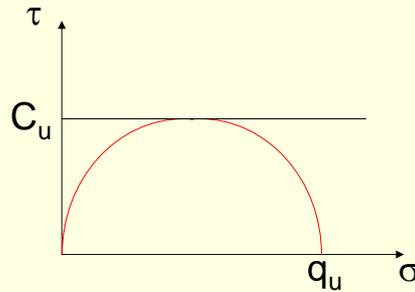
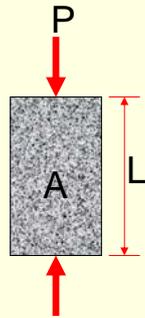
CE2302 土壤力學試驗

實驗十二 無圍壓縮試驗

實驗目的

求凝聚性土壤(粘土)之不排水剪力強度 C_u

試驗原理



$$\sigma = \frac{P}{A} \quad A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad C_u = \frac{1}{2} q_u$$

實驗步驟

- 1) 將夯實模之內側均勻塗抹一薄層之凡士林。
- 2) 取約200g之濕土，分三層每層打擊16次夯實試體。
- 3) 把夯實模底部取下，將試體頂出後以游標卡尺測其直徑及高度並秤其重量。
- 4) 將試體放置在試驗機器上，升高加壓台使試體與壓力衡圈輕微接觸後將軸向變位計歸零。
- 5) 以0.76 mm/分 之速度加壓試體，軸向變位計每旋轉50小格記錄壓力衡圈讀數直至其破壞或應變達15%。
- 6) 計算軸向應變、軸向力、及軸向應力。
- 7) 繪製應力-應變關係曲線，求 q_u 及 C_u 。

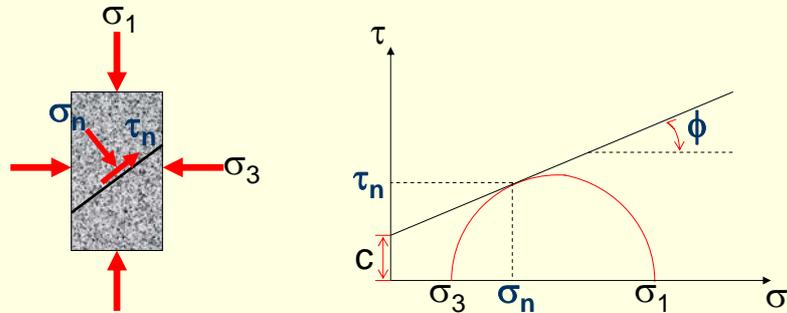
CE2302 土壤力學試驗

實驗十三 不壓密不排水(UU)三軸試驗

實驗目的

求凝聚性土壤(粘土)之不排水剪力強度 C_u

三軸試驗原理

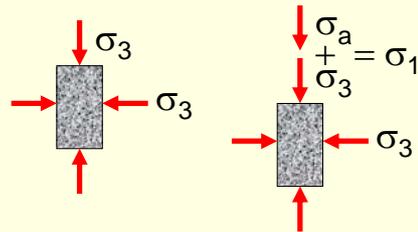


$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\phi \quad \tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\phi$$

三軸試驗分類

■ 三軸試驗步驟

- 施加圍壓 (σ_3)
- 施加軸差應力 (σ_a)



■ 三軸試驗分類

- 不壓密不排水(UU)三軸試驗
- 壓密不排水(CU)三軸試驗
- 壓密排水(CD)三軸試驗

UU三軸試驗破壞包絡線

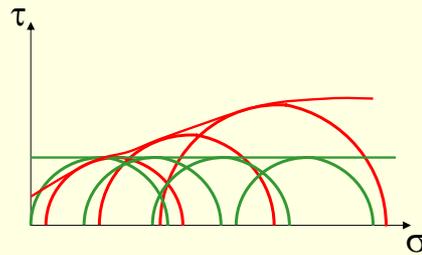
$$\bar{\sigma} = \sigma - u \quad \Delta u = B\Delta\sigma_3 + A\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)$$

- 飽和試體(B=1)

$$\Delta u = \Delta\sigma_3 \quad \Delta\bar{\sigma} = 0$$

- 不飽和試體(B<1)

$$\Delta u < \Delta\sigma_3 \quad \Delta\bar{\sigma} > 0$$



實驗步驟

- 1) 將夯實模之內側均勻塗抹一薄層之凡士林。
- 2) 取約200g之濕土，分三層每層打擊16次夯實試體。
- 3) 把夯實模底部取下，將試體頂出後以游標卡尺測其直徑及高度並秤其重量。
- 4) 將試體放在三軸室底座後，加上頂蓋、將橡皮膜套上試體，並以O形環套在底座及頂蓋上。
- 5) 組裝三軸室，將其灌滿水後，施加預定之圍壓。
- 6) 將三軸室放置在載重機器上，升高加壓台使試體與荷重計輕微接觸後將軸向變位計歸零。

實驗步驟(續)

- 7) 以0.76 mm/分 之速度加壓試體，軸向變位計每旋轉50小格記錄壓力衡圈讀數直至其破壞或應變達15%。
- 8) 計算軸向應變、軸向力、及軸向應力。
- 9) 繪製應力-應變關係曲線，找出破壞時之軸差應力 σ_a ，計算最大主軸應力 σ_1 。
- 10) 改變圍壓 σ_3 ，重覆步驟(1)~(9)二至三次。
- 11) 由各試驗結果之 σ_3 、 σ_1 繪製莫爾圓、破壞包絡線求 C_u 。