



CE2302 土壤力學試驗講義

Fall, 2010

賴俊仁、蔡佩勳 編

Department of Construction Engineering, CYUT

朝陽科技大學 營建工程系

CE 2302 土壤力學試驗課程大綱

九十九學年度第一學期

1. 修習別 (學分數/授課時數)

必修 (1/3)

2. 課程簡介

土壤為工程材料的一種，針對工程分析設計之需要，學生需熟悉土壤之物理、滲透、以及力學等各種性質。故本課程之主要目的乃在使學生熟悉「土壤力學」課程中所提到的各項實驗方法、以及如何正確求得各種土壤參數，以作為各種大地工程分析設計之參考。

3. 先修課程

無

4. 教科書及其他參考資料

- “CE2302土壤力學試驗講義”；賴俊仁、蔡佩勳編，朝陽科技大學營建工程系。
- “實用土壤力學試驗”，沈茂松著，文笙書局。

5. 課程目標

- 使學生瞭解各項實驗室與工地安全之重要性。
- 使學生熟悉各種土壤物理性質參數之正確測試方式。
- 使學生熟悉各種土壤力學性質參數之正確測試方式。
- 使學生熟悉各種土壤工程品質控制參數之正確測試方式。
- 分組進行試驗培養同學團隊合作之精神。
- 藉由實驗報告訓練同學撰寫書面報告之能力。

6. 每週授課主題

1 課程簡介、實驗室安全守則、分組	10 透水試驗
2 鑽探取樣方法、含水量試驗	11 加州承載比試驗 (CBR Test)
3 比重試驗	12 單向度壓密試驗 (試體準備)
4 篩分析試驗	13 單向度壓密試驗 (加壓)
5 比重計分析試驗	14 單向度壓密試驗 (數據整理)
6 液、塑性限度試驗	15 無圍壓縮試驗
7 夯實試驗	16 直接剪力試驗
8 野外 (工地) 密度試驗--砂錐法	17 UU 三軸試驗
9 期中考	18 期末考

7. 課堂教學/實習安排

課堂教學：16@50 分鐘； 實驗操作：16@100 分鐘； 期中、末考：2@90 分鐘

8. 本課程對專業之貢獻

本課程屬營建系四技分流課程規畫中模組 C 內之一門必修課程。藉由本課程之訓練，學生便能實地學習「土壤力學」課程中所提到的各項實驗方式、熟悉正確求得各種土壤參數之方法。將來不論學生是在修習「基礎工程」或「邊坡工程」等課程，或從事大地工程相關之設計時，均需要應用到本課程所教導之知識。

9. 課程目標與系所教育核心能力之關聯

本課程與營建工程系教育目標之關聯矩陣如下表：

系所教育目標	課程目標					
	a	b	c	d	e	f
培養學生兼顧理論與實務具有營建工程技術與管理知能		●	●	●		●
培養學生具備團隊合作與專業倫理認知					●	
培養學生具備國際視野與終生學習能力	●					

本課程與營建工程系教育核心能力之關聯矩陣如下表：

系所教育核心能力	課程目標					
	a	b	c	d	e	f
1. 工程知識、科學或數學運用能力。						
2. 實驗設計、執行、分析及解釋數據能力。		●	●	●		
3. 營建工程實務操作及工具應用能力。		●	●	●		
4. 營建工程構件設計或流程規劃能力。						
5. 溝通協調與團隊合作能力。					●	●
6. 問題之發掘、分析及處理能力。						
7. 營建工程技術或時事議題之終生學習能力。	●					
8. 專業倫理及社會責任認知。						

10. 建議評分方式

平時 20%；實驗報告 25%；期中考 25%；期末考 30%

11. 修訂者及修訂日期

賴俊仁 副教授，民國九十九年九月七日。

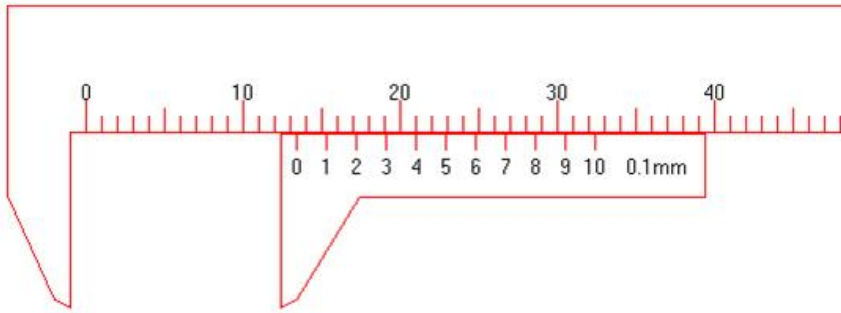
目 錄	頁次
● 試驗前之準備工作	iv
● 試驗一：含水量試驗	1
● 試驗二：土壤比重試驗	3
● 試驗三：篩分析試驗	6
● 試驗四：比重計試驗	11
● 試驗五：液限試驗	17
● 試驗六：塑限試驗	20
● 土壤分類	22
● 試驗七：定水頭滲透試驗	26
● 試驗八：變水頭滲透試驗	30
● 試驗九：夯實試驗	33
● 試驗十：加州承載比 CBR 試驗	37
● 試驗十一：工地密度試驗	40
● 試驗十二：單向度壓密試驗	42
● 試驗十三：直接剪力試驗	50
● 試驗十四：無圍壓縮試驗	55
● 試驗十五：不壓密不排水三軸試驗	58
● 附錄 A：土壤力學試驗之相關 ASTM 規範編號	61

試驗前之準備工作

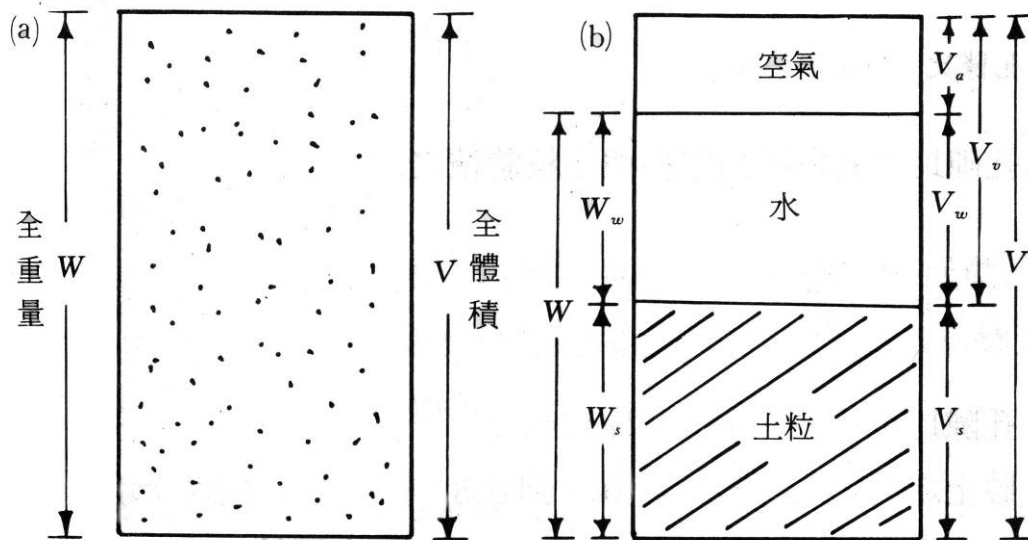
- 土壤分類試驗
 - 土壤含水量試驗。
 - 土粒比重試驗。
 - 土粒大小分析試驗。
 - 阿太堡限度試驗。
 - 土壤分類。
- 土壤工程品質控制試驗
 - 標準夯實試驗。
 - 工地密度試驗。
 - 加州載重比試驗。
- 室內力學試驗
 - 定水頭滲透試驗。
 - 變水頭滲透試驗。
 - 單向度壓密試驗。
 - 直接剪力試驗。
 - 無圍壓縮試驗
- 試驗前
 - 各組派人領取試驗儀器材
 - 檢查器具
 - 是否與講義相符合
 - 是否可正常使用
- 上課時禁止
 - 在試驗室吃東西
 - 睡覺
 - 寫作業或上週試驗報告
- 試驗結束
 - 繳回試驗器具
 - 清潔桌上與四周之環境
 - 請助教檢查後始可離開
 - 各組輪值最後之清掃與關閉門窗
- 試驗報告於下次開始上課時繳交
 - 遲交一周以內該報告成績乘以 80%計算
 - 遲交者自行繳交給課程助教
 - 遲交一周以上該報告成績以零分計算
- 放入烘箱之器皿應註明組別，隔日各組派一同學取出，放到乾燥櫃十分鐘後秤其乾土重。

讀游標尺讀數的方法：以下圖為例

- 先讀主尺的刻度值，精密度為 1 mm
- 附尺位於 13 與 14 之間，所以主尺刻度為 **13 mm**
- 再看 附尺與主尺 重疊的刻度，精密度為 0.1 mm
- 附尺 4 與 主尺 重疊，所以附尺刻度為 **0.4 mm**
- 將主尺與附尺數值相加 上面刻度代表 **13.4 mm**



土壤基本性質：



$$\text{含水量 } \omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$$\text{空隙率 } n = \frac{V_v}{V}$$

$$\text{土壤單位重 } \gamma = \frac{W}{V}$$

$$\text{土粒比重 } G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$\text{孔隙比 } e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$\text{飽和度 } S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

$$\text{乾土單位重 } \gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

$$\text{含水量} = \frac{\text{土體中水重}}{\text{乾土重}}$$

- 一般砂性土壤天然含水量約 15~20%
- 細粒土壤天然含水量約 50~80%
- 高度有機土壤天然含水量有的更高達 500%

量測土壤含水量之步驟：

1. 量測空的蒸發皿重量 W_1 。
2. 將濕土置入蒸發皿內，稱重 W_2 。
3. 將蒸發皿與土壤置入烘箱(105°C~115°C)內 24 小時，稱重 W_3 。

Minimum Size of Moist Soil Samples to Determine Water Content

Maximum Particle Size in the Soil (mm)	U.S. Sieve No.	Minimum Mass of Soil Sample (g)
0.425	40	20
2.0	10	50
4.75	4	100
9.5	3/8 in.	500
19.0	3/4 in.	2500

計算：

$$\text{土體中水重} = W_2 - W_3$$

$$\text{乾土重} = W_3 - W_1$$

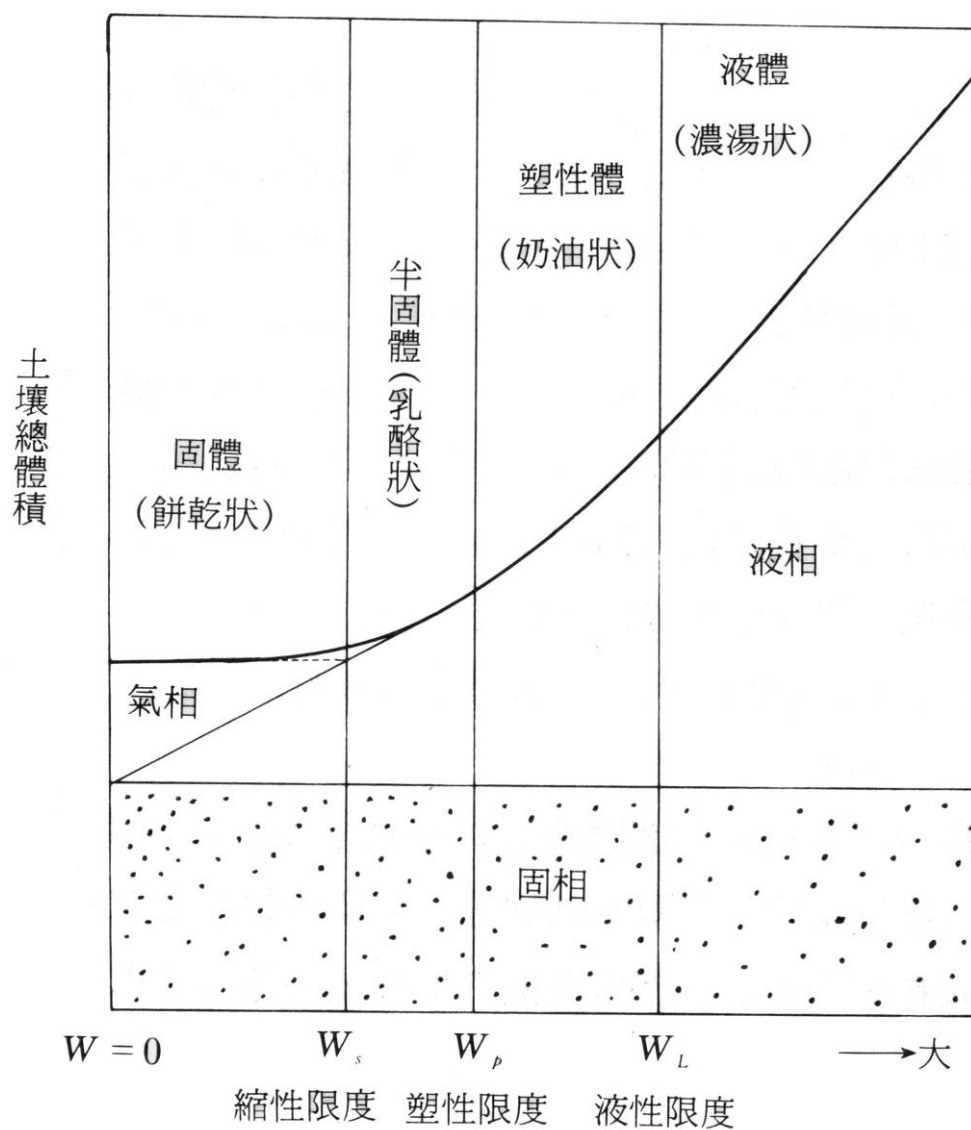
$$\text{含水量}(\%) = \frac{\text{土體中水重}}{\text{乾土重}} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

Typical Values of Water Content in a Saturated State

Soil	Natural Water Content in a Saturated State (%)
Loose uniform sand	25–30
Dense uniform sand	12–16
Loose angular-grained silty sand	25
Dense angular-grained silty sand	15
Stiff clay	20
Soft clay	30–50
Soft organic clay	80–130
Glacial till	10

阿太堡指數

- 塑性指數 $PI=LL-PL$
 - 不易透水
 - 乾燥時強度高
- 活性 $A_c=PI/<2mm\%$
 - 判別粘土礦物
 - 吸水後體積膨脹程度
- 稠性指數 $CI=(LL-w)/PI$
 - 土壤軟硬程度
 - 預壓密程度



試驗一：含水量試驗

試驗目的：本試驗之最主要目的乃是讓同學熟悉如何使用天秤來量測物體之重量及如何量測土壤之含水量。土壤之含水量可能是在工程用途中最常被量測的土壤特性之一。含水量常被用來表示土壤之重量與體積之關係，作為控制夯實土壤品質之依據，以及評估現地天然沉積土壤之含水狀況。

試驗原理：含水量(ω)之定義為土壤中所含水份之重量(W_w)除以固體顆粒之重量(W_s)，通常用百分比來表示：

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$$\gamma_t = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

使用儀器：

- 銅圈(裝滿土樣)二個。
- 刮刀一個。
- 游標卡尺一個。
- 蒸發皿二個，盛土用。
- 電子秤(天秤)。



試驗步驟：

1. 取乾淨之蒸發皿秤其重量並將其記錄在試驗表格上。
2. 將銅圈內土樣取出放入蒸發皿，並記錄皿+溼土重。
3. 將土樣置入烘箱，將烘箱溫度設定在 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ，烘乾(隔夜)後秤皿+乾土重。
4. 以游標卡尺量測銅圈直徑、高度。
5. 計算含水量、銅圈體積及總單位重。

含水量/單位重試驗記錄表

計畫名稱：_____

鑽孔編號：_____

試樣 編號	含水 皿號	皿重 (gm)	(皿+濕土) 重 (gm)	(皿+乾土) 重 (gm)	含水量 (%)	銅圈直徑 (cm)	銅圈高度 (cm)	銅圈體積 (cm ³)	總單位重 (t/m ³)

試驗二：土壤比重試驗

試驗目的：求土壤的比重 G_s 。

原理

- 土壤顆粒的比重定義為土壤顆粒的單位重(γ_s)與 4°C 水的單位重(γ_w)之比值。
 - 為土壤顆粒的重量 W_s 與同體積水的重量 W_w 之比。
 - 土壤經烘乾後之重量即為 W_s 。
 - 為獲得同體積水的重量 W_w ，將物體沒入滿水之容器中，溢出的水重即為 W_w 。
 - 由於土壤孔隙內含空氣，因此需應用煮沸法將土壤中的空氣趕出，以確認溢出的水的體積等於土壤顆粒的體積。

儀器

- 比重瓶兩個。
- 電磁爐。
- 小漏斗一個，方便將土樣置入比重瓶內。
- 燒杯一個。
- 蒸發皿一個，盛土用。
- 電子秤。



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_1 。
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_2 。
9. 計算：

$$\text{乾土重} = W_s$$

$$\text{同體積水重} = (W_2 + W_s) - W_1$$

$$G_s = \frac{W_s}{(W_2 + W_s) - W_1} \times G_w$$

10. 兩次試驗所得的 G_s 相差不得超過 0.03，否則重新試驗。

T (°C)	20	22	24	26	28	30
G_w	0.9982	0.9978	0.9973	0.9968	0.9963	0.9957

比重試驗記錄表

試驗者：_____

試驗日期：_____

試驗編號：	1	2	3
鑽孔編號：			
試樣編號：			
深度：			
比重瓶號：			
瓶重 (gm)：			
瓶+乾土重, (gm)：			
乾土重, W_s (gm)：			
(瓶+土+水)重, W_1 (gm)：			
(瓶 + 水)重, W_2 (gm)：			
$G_{s(T0C)} = W_s / (W_2 + W_s - W_1)$			
溫度, T (°C)：			
K：			
$G_{s(200C)} = K * G_{s(T0C)}$			

試驗三：篩分析試驗

試驗目的：由試驗結果繪製粒徑分佈曲線，求其均勻係數，曲率係數。

原理

粒徑分析的方法—(1).篩分析(粒徑大於#200)

(2).比重計分析(粒徑小於#200)

粒徑分佈曲線

- 判斷該土壤級配情形，作為土壤分類之依據。Cu 很大，土壤為優良級配；Cu 約為 1，土壤顆粒約呈同一尺寸。
- 以 D_{10} 估計土壤透水性
- 以 D_{10} 估計土壤有效孔隙直徑
- 在濾層設計時常用 D_{15} 與 D_{85} 。
- 以 D_{50} 估計飽和土壤之液化潛能。

儀器

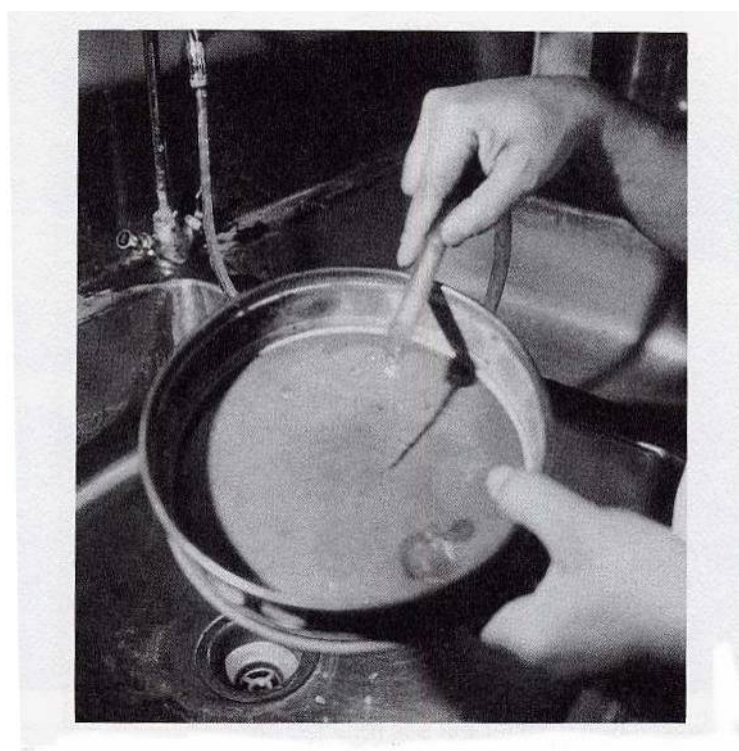
- ASTM 標準篩一組，含 4、10、20、40、60、100 與 200 號，頂蓋與底盤。
- 搖篩機一組。
- 毛刷一支。
- 磅秤

Sieve No.	Opening (mm)	Sieve No.	Opening (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	45	0.355
7	2.80	50	0.300
8	2.36	60	0.250
10	2.00	70	0.212
12	1.70	80	0.180
14	1.40	100	0.150
16	1.18	120	0.125
18	1.00	140	0.106
20	0.85	200	0.075
25	0.71	270	0.053
30	0.60	400	0.038

步驟

- 以四分法取烘乾之土樣，以橡膠杵搗碎並稱重。
- 準備一套篩組，以刷子刷乾淨，自上而下順序為 4、10、20、40、100、200 號篩，上下加蓋與底盤，分別量測各篩之重量。
- 將土樣倒入篩組，並將篩組置於搖篩機震盪約 10 分鐘，分別量測留置於各篩之土重。

- 假如細粒含量較多時，應以洗篩方式，將留置在 200 號篩，以清水洗掉，將留置仍在 200 號篩的土壤蒐集於容器內，烘乾稱重。





計算：

1. 計算留置在第 n 個篩 (n 是從上面算下來) 之百分比

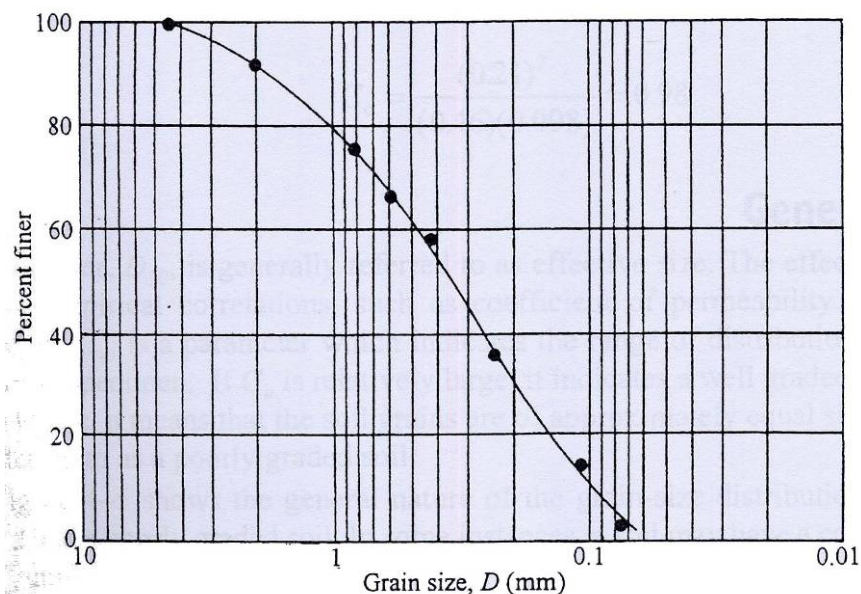
$$R_n = \frac{\text{留置在第 } n \text{ 個篩之土重}}{\text{總乾土重}}$$

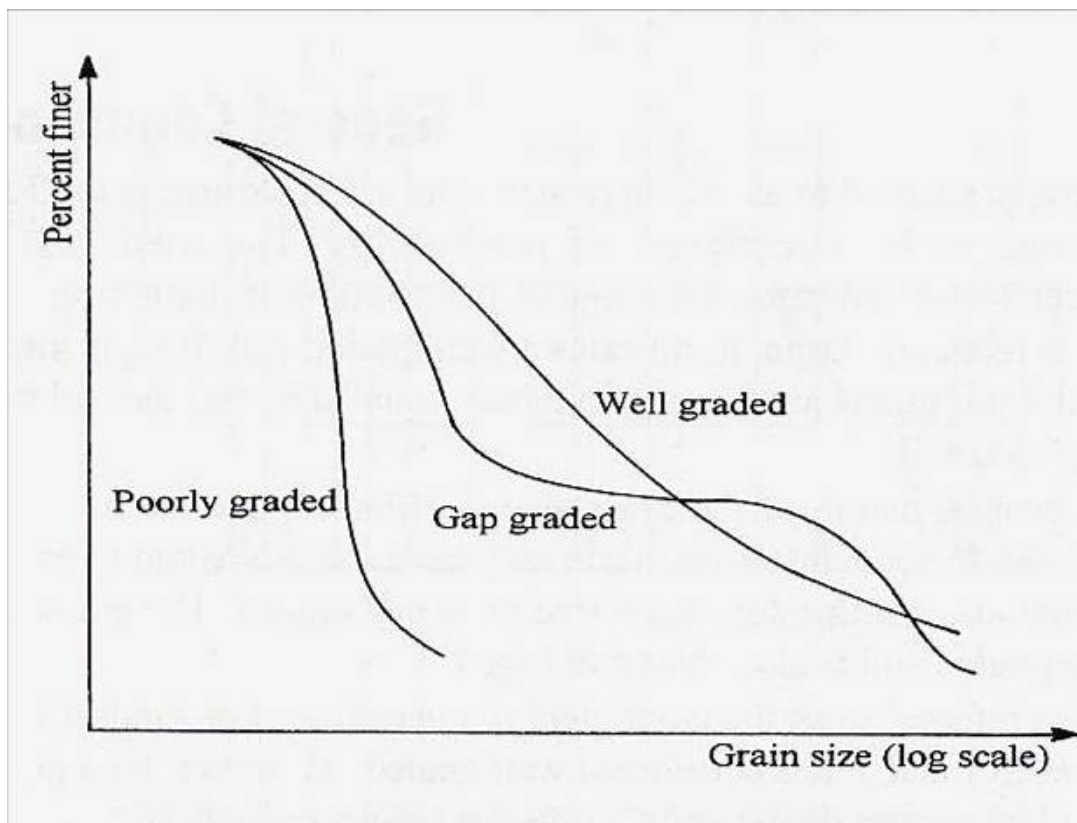
2. 計算留置在 n 個篩之累積百分比

$$= \sum_1^n R_n$$

3. 計算通過 n 個篩之累積百分比

$$= 100 - \sum_1^n R_n$$





D_{10} ：累積通過百分比等於 10% 所對應之土壤粒徑

D_{30} ：累積通過百分比等於 30% 所對應之土壤粒徑

D_{60} ：累積通過百分比等於 60% 所對應之土壤粒徑

有效粒徑 — D_{10}

$$\text{均勻係數 } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{曲率係數 } C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

篩分析試驗

計劃名稱: _____ 深度: _____

孔號: _____ 皿重(g): _____

土樣編號: _____ 皿+乾土重(g): _____

篩組: _____ 總乾土重(g): _____

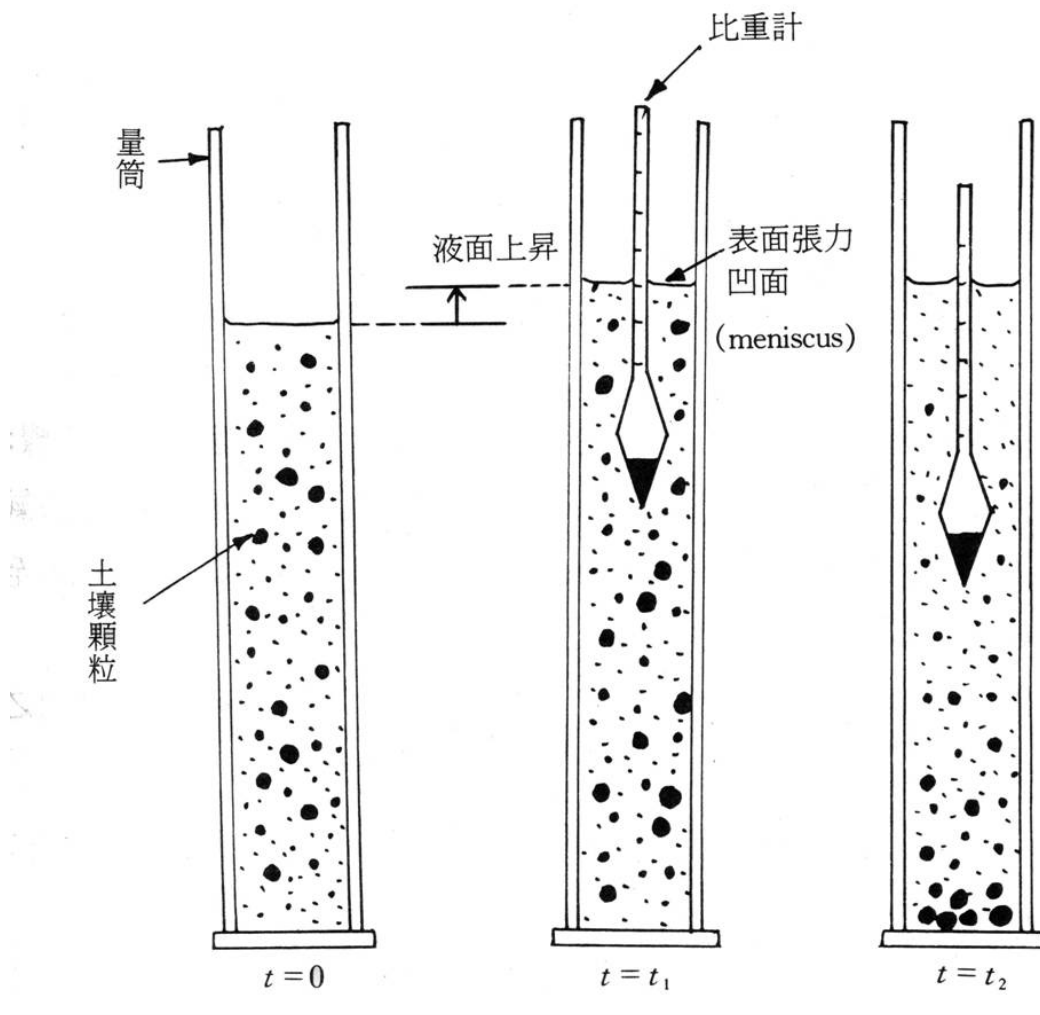
篩號	孔徑 (mm)	累積停留土重 (g)	累積停留百分比 (%)	累積通過百分比 (%)
4	4.76			
10	2			
20	0.85			
40	0.425			
80	0.25			
100	0.15			
200	0.075			
底盤				

試驗四：比重計試驗

試驗目的：利用 Stoke 顆粒沉降原理來決定粉土及黏土等細粒土壤(粒徑小於 0.074mm)之顆粒大小分佈。

原理

- 應用不同粒徑大小的顆粒在水中沉澱速率不同的原理，量測較小顆粒間的大小分佈狀況。
- Stoke 顆粒沉降原理：圓球形土壤顆粒，自無側限之水面下降，最初由於地心引力作用速度漸增，一段時間後轉為等速下降。此時土壤顆粒在水中之重量=土壤顆粒沉降中與水接觸之阻力。



半徑 r 之圓球重量為 $\frac{4}{3}\pi\gamma_s r^3$

半徑 r 之圓球浮力為 $\frac{4}{3}\pi\gamma_w r^3$

圓球在粘滯流體之摩擦阻力為 $6\pi\mu\nu r$

此圓球在水中達力平衡時， $\frac{4}{3}\pi\gamma_s r^3 = \frac{4}{3}\pi\gamma_w r^3 + 6\pi\mu\nu r$

$$\text{所以, } 2r = D = \sqrt{\frac{18\mu v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w} \frac{L}{t}}$$

$$D(\text{mm}) = \frac{10}{\sqrt{60}} \sqrt{\frac{18\eta}{(\gamma_s - \gamma_w)}} \sqrt{\frac{L}{t}} = \sqrt{\frac{30\eta}{(\gamma_s - \gamma_w)}} \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{min})}}$$

在 25°C 水溫下，水粘滯度 $\eta = 9.11 \times 10^{-6} (\text{g}\cdot\text{s}/\text{cm}^2)$

試驗開始時，混濁液之單位重 γ_0

$$\gamma_0 = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s}{V} + \frac{1}{V} (\gamma_w V_w) = \frac{W_s}{V} + \frac{1}{V} [\gamma_w (V - V_s)]$$

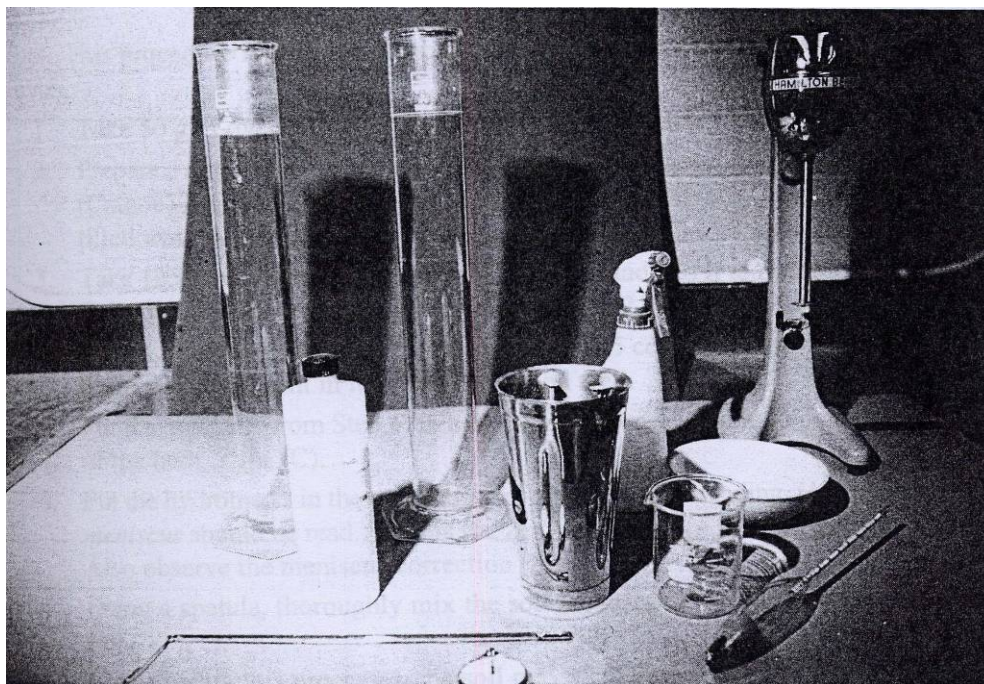
$$= \frac{W_s}{V} + \frac{1}{V} \left[\gamma_w \left(V - \frac{W_s}{G_s \gamma_w} \right) \right] = \frac{W_s}{V} + \gamma_w \left(1 - \frac{W_s}{G_s \gamma_w V} \right) = \gamma_w + \frac{W_s}{V} \left(1 - \frac{1}{G_s} \right)$$

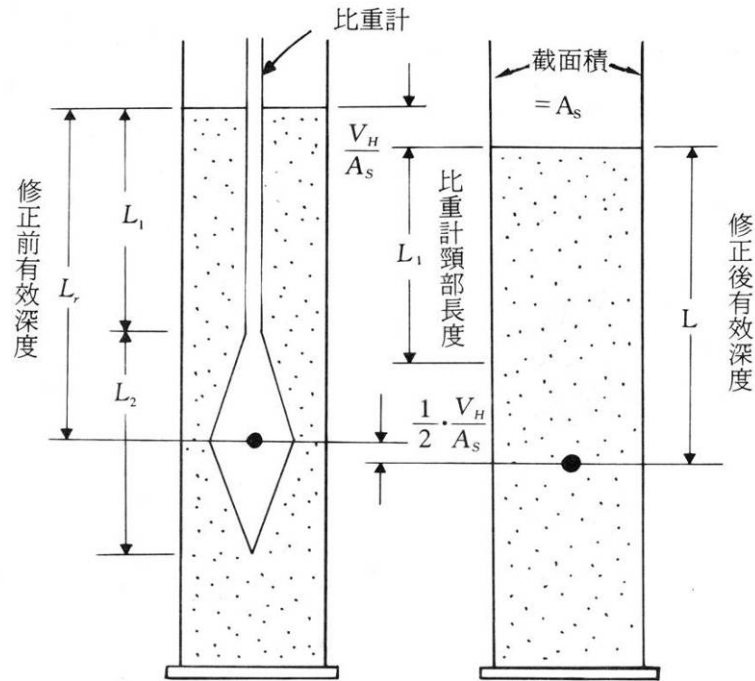
經過時間 t 後，將有 $100 - N\%$ 土粒落於 L 下方，即 $N\%$ 土粒位於 L 上方，故此時混濁液之單位重 γ

$$\gamma = \gamma_w + \frac{NW_s}{V} \left(1 - \frac{1}{G_s} \right) \quad \text{即 } N = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{V}{W_s} (\gamma - \gamma_w)$$

儀器

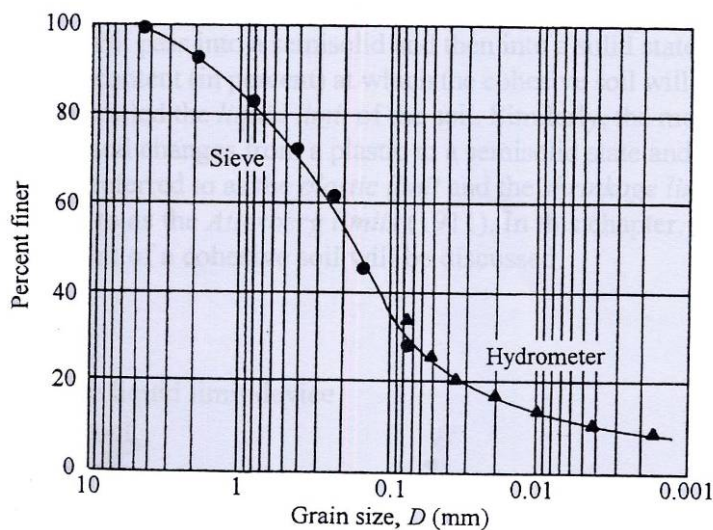
- 比重計一支。
- 溫度計一支。
- 攪拌機。
- 分散劑。
- 1000c.c 量筒二個。
- 燒杯一個。





步驟

- 量比重計泡體長度、體積與量筒斷面積。
- 記錄比重計頸部長度與讀數之關係。
- 取土壤放入燒杯中，加入約 100cc 抗凝劑(4%)以玻璃棒調勻。置入攪拌杯加蒸餾水至八分滿，以攪拌機攪拌。
- 將攪拌液洗入 1000cc 量筒，加蒸餾水至 1000cc 刻度。
- 以手掌壓緊瓶口，小心地上下翻動。置於桌面，分別於 0.25、0.5、1、2、5、15、30、60、250、1440 分放入比重計，並記測比重計讀數。(兩分鐘讀數後，取出比重計放入另一裝有蒸餾水之量筒內，以旋轉方式洗淨，在下一讀數前 30 秒，才將比重計置入懸浮液中。)



比重計分析試驗紀錄表

試驗者：_____

試驗日期：_____

土粒比重：_____

乾土重：_____

比重計泡體長度=_____

比重計泡體體積=_____

量筒斷面積=_____

水溫：_____

歷時(分)	γ	γ_w	$\gamma - \gamma_w$	L (cm)	D(cm)	N(%)
0.25						
0.5						
1						
2						
5						
15						
30						
60						
250						
1440						

$$N(\%) = \frac{G_s}{G_s - 1} \cdot \frac{1000}{W_s} \cdot d_c (\gamma - \gamma_w) \times 100\%$$

$$D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{30\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} = k \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{min})}}$$

V：懸浮液體積(1000cm³)d_c：當時溫度下水之密度(g/cm³)(= 0.9982 g/cm³ 在 20°C) γ ：懸浮液比重計讀數 γ_w ：清水中比重計讀數

k 值與溫度及 Gs 之關係

T \ Gs	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

L 值與比重計讀數之關係

TABLE 2 Values of Effective Depth Based on Hydrometer and Sedimentation Cylinder of Specified Sizes⁴

Hydrometer 151H		Hydrometer 152H			
Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, cm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, cm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, cm
1.000	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5		
1.006	14.7	6	15.3	36	10.4
1.007	14.4	7	15.2	37	10.2
1.008	14.2	8	15.0	38	10.1
1.009	13.9	9	14.8	39	9.9
1.010	13.7	10	14.7	40	9.7
1.011	13.4	11	14.5	41	9.6
1.012	13.1	12	14.3	42	9.4
1.013	12.9	13	14.2	43	9.2
1.014	12.6	14	14.0	44	9.1
1.015	12.3	15	13.8	45	8.9
1.016	12.1	16	13.7	46	8.8
1.017	11.8	17	13.5	47	8.6
1.018	11.5	18	13.3	48	8.4
1.019	11.3	19	13.2	49	8.3
1.020	11.0	20	13.0	50	8.1
1.021	10.7	21	12.9	51	7.9
1.022	10.5	22	12.7	52	7.8
1.023	10.2	23	12.5	53	7.6
1.024	10.0	24	12.4	54	7.4
1.025	9.7	25	12.2	55	7.3
1.026	9.4	26	12.0	56	7.1
1.027	9.2	27	11.9	57	7.0
1.028	8.9	28	11.7	58	6.8
1.029	8.6	29	11.5	59	6.6
1.030	8.4	30	11.4	60	6.5
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				

試驗五：液限試驗

目的：求細粒土壤的液性限度 LL。

- 液性限度
 - 土壤能發生流動之最小含水量
 - 為土壤呈流體與塑性體之分界

原理：土壤的液限為土壤介於液態與塑性態的臨界含水量

- 液限為以液限試驗儀敲打 25 次土壤凹槽恰好密合 12.5mm 時之含水量。

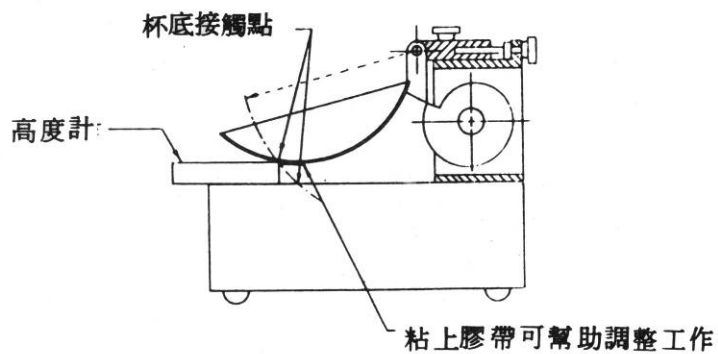
儀器

- 液限儀一部、刮刀一支。
- 藥刀兩支，拌合土樣用。
- 大匙或小鏟。
- 平光玻璃板一塊。
- 燒杯一個。
- 蒸發皿一個，盛土用。
- 電子秤。

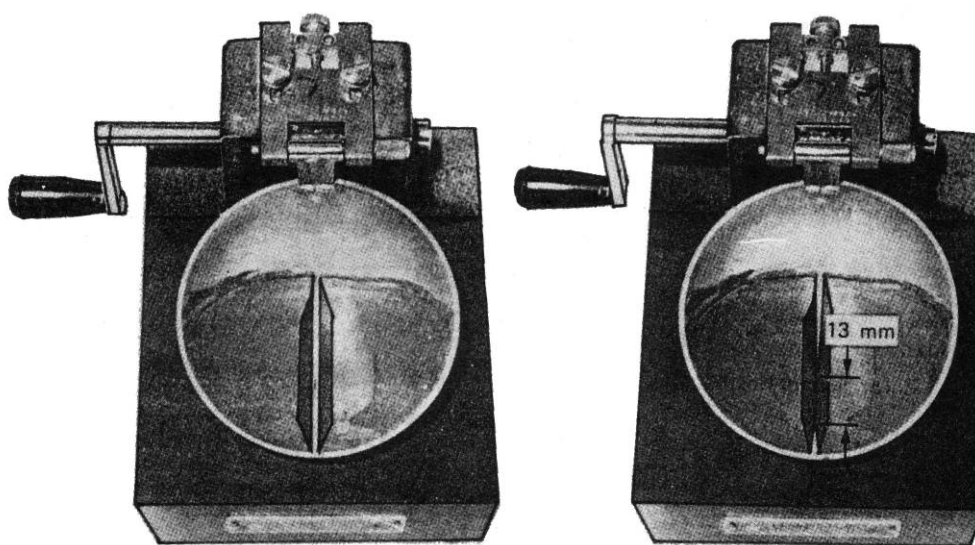


步驟(ASTM D4318)

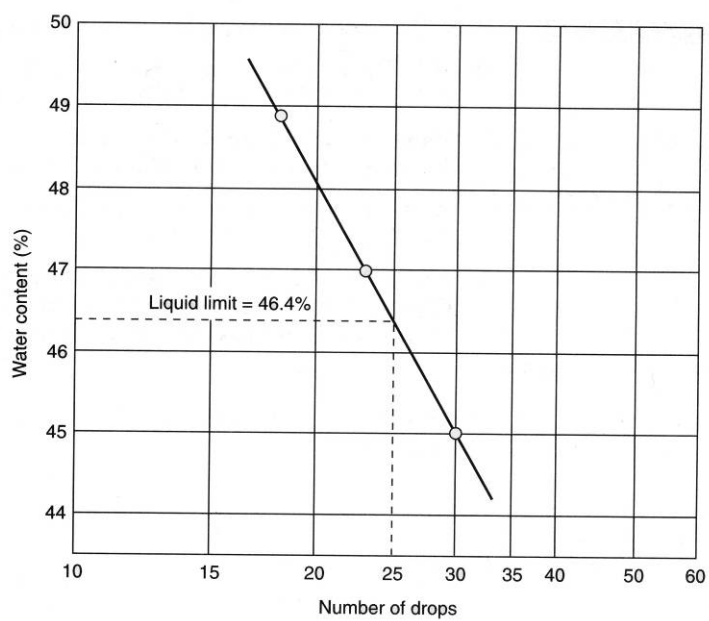
- 取通過 40 號篩之土壤。
- 將土壤加入適當水量並攪拌至少十分鐘。取部分的土置於液限皿中，以藥刀抹平。土壤在液限皿最大深度約 8mm，再以刮刀於土片中央劃開一槽。
- 搖動液限儀之橫柄，使液限皿作上下一公分落距之敲擊，每秒二次，俟槽底兩邊土閉合 1.3 公分時為止，記錄敲擊數。
- 改變含水量，重複上述步驟至少三次，繪出流曲線(flow curve)。
- 流曲線上，25 擊數之含水量為液限 LL。



試驗前以刮刀尾部調整落距 1 cm。(ASTM, 1988)



液限試驗打擊前後之土樣狀況 (ASTM 1988)



Flow Curve

液限試驗紀錄表

試驗者：_____

試驗日期：_____

試驗次數	1	2	3	4	5
擊數(N)					
(濕土+皿)質量 g					
(乾土+皿)質量 g					
皿質量 g					
乾土質量 g					
水質量 g					
含水量					
液限 LL					

ASTM 單點法液限計算公式：

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

常見粘土之液限範圍

Clay mineral	LL
Kaolinite	35-100
Illite	55-120
Montmorillonite	100-800

試驗六：塑限試驗

目的：求土壤的塑性限度 PL。

原理

- 塑性限度 PL 為土壤介於塑性與半固體狀態之臨界含水量。一般以土壤能被搓成 3.2mm 直徑之土條而能均勻龜裂時的含水量。而塑性指數 $PI = \text{液限 } LL - \text{塑限 } PL$ 。

儀器

- 平光玻璃板，50cm*50cm 一塊。
- 藥刀兩支。
- 鉛線一條，直徑為 3mm(1/8 吋)，長 5cm，比對用。
- 蒸發皿一個。
- 電子秤。



步驟

- 取通過 40 號篩之土壤。
- 將土壤加入適當水量並調混至少十分鐘。
- 取出土樣，置於玻璃板上，用手掌輾成 3mm 直徑之土條，若未裂斷，則將土條折合再輾，直至土條直徑 3mm，正好斷裂成數段。
- 測此土條之含水量。
- 再作一次，求平均值，是為塑限 PL。

塑限試驗紀錄表

試驗者：_____

試驗日期：_____

試驗編號	1	2	3
蒸發皿編號			
(濕土+皿)重 (g)			
(乾土+皿)重(g)			
蒸發皿重 (g)			
乾土質量(g)			
水質量(g)			
塑限 PL			

計算：

塑性指數 $PI = LL - PL$

常見粘土之塑性指數範圍

Clay minerals	PI
Kaolinite	20-40
Illite	35-50
Montmorillonite	50-100

活性 $A_c = \frac{PI}{\text{顆粒尺寸小於}2\mu\text{m重量百分比}}$

土壤分類

兩大系統：

AASHTO 分類 (American Association of State Highway and Transportation Officials)

UCS 分類(Unified Classification System)

大分類	粗粒土(No.200 篩通過量 35% 以下)							粉質土, 粘質土 (No.200 篩通過量 35% 以上)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
篩分析 (通過量%)											
No.10 (2.00mm)	50 以下	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.40 (425 μ m)	30 以下	50 以下	51 以上	-	-	-	-	-	-	-	-
No.200 (75 μ m)	15 以下	25 以下	10 以下	35 以下	35 以下	35 以下	35 以下	36 以上	36 以上	36 以上	36 以上
通過 40 號篩部分土料之											
液性界限	-	-	-	40 以下	41 以上	40 以下	41 以上	40 以下	41 以上	40 以下	41 以上
塑性指數	6 以下	N. P.	N. P.	10 以下	10 以下	11 以上	11 以上	10 以下	10 以下	11 以上	11 以上
一般主要構成物	石片, 礫, 砂		細砂	粉土質或黏土質之礫石及砂				粉質土		黏質土	
當做路基填土材料之優劣	優~良							可~不良			

* (A-7-5 之 PI) \leq LL - 30, (A-7-6 之 PI) $>$ LL - 30

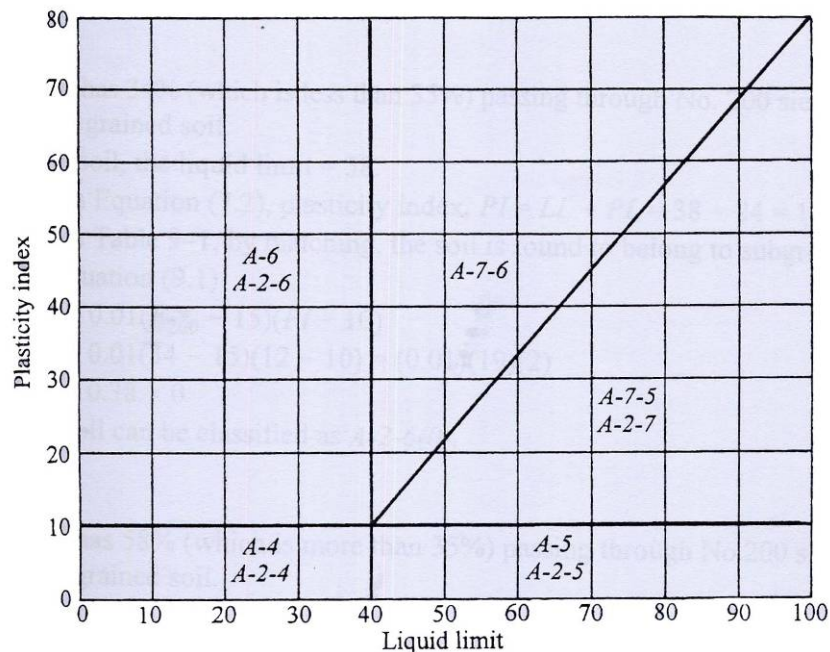
AASHTO 分類

1. 決定 200 號篩累積通過百分比 F_{200}

小於 35%，為粗粒土

大於 35%，為細粒土

2. 決定 10, 40, 200 號篩累積通過百分比與液塑限，然後按上表分類。



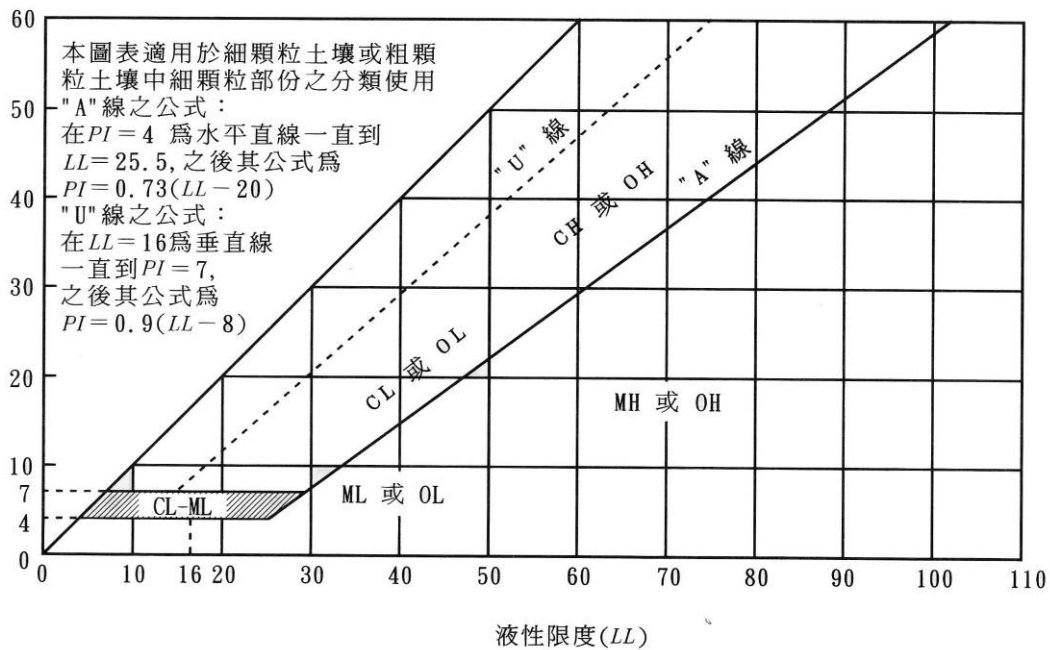
3. 決定群組指數 GI(group index)

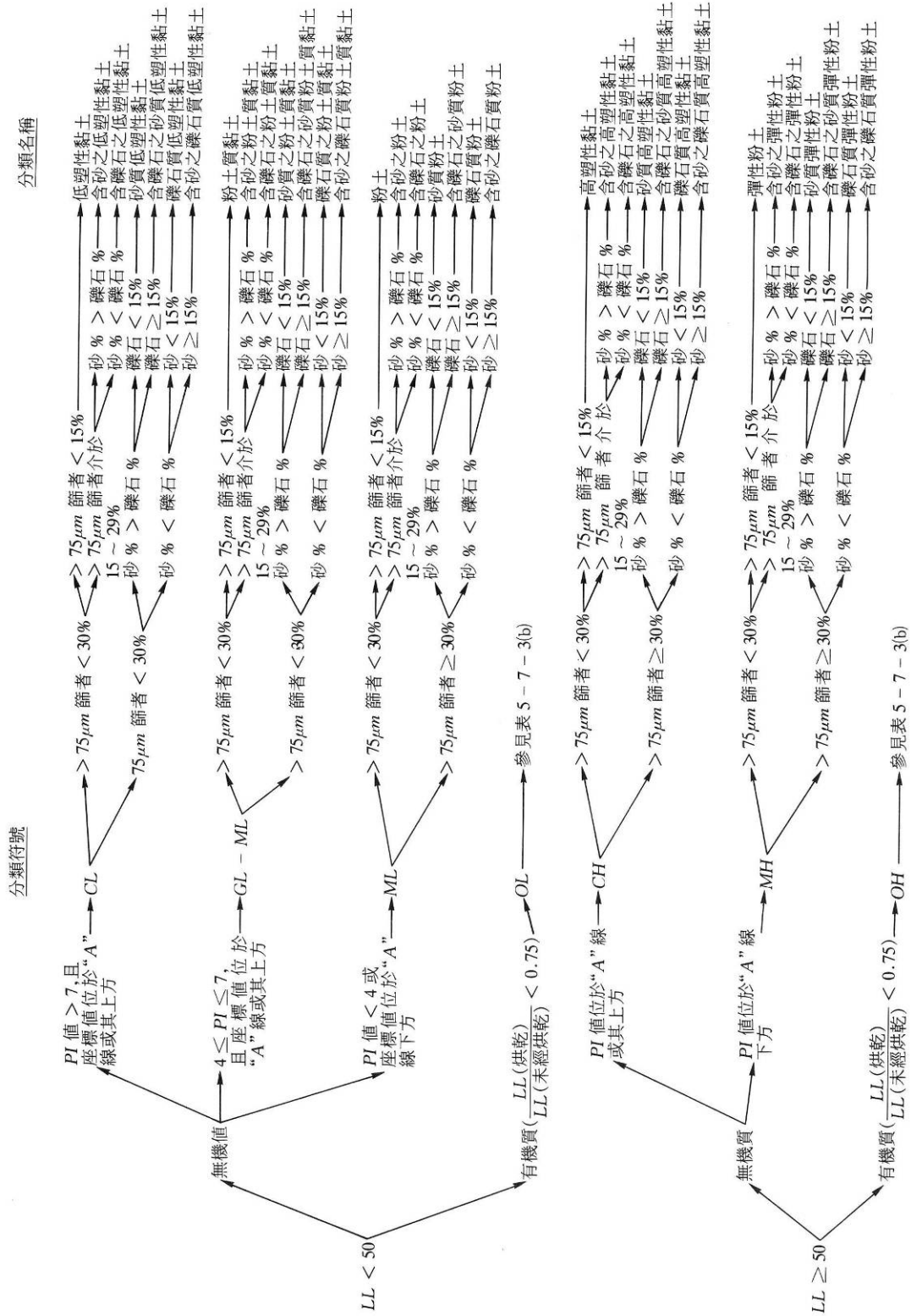
4. 分類表示為群(group)與群組指數 GI

UCS 分類

Symbol	Soil type	Symbol	Index property
<i>G</i>	Gravel	<i>W</i>	Well-graded (for grain-size distribution)
<i>S</i>	Sand	<i>P</i>	Poorly-graded (for grain-size distribution)
<i>M</i>	Silt	<i>L</i>	Low to medium plasticity
<i>C</i>	Clay	<i>H</i>	High plasticity
<i>O</i>	Organic silts and clays		
<i>Pt</i>	Highly organic soil and peat		

1. 決定 4、200 號篩累積通過百分比 F_4 、 F_{200}
2. F_{200} 小於 50%，為粗粒土，進行步驟 4。 F_{200} 大於 50%，為細粒土，進行步驟 3。
3. F_{200} 大於 50%，查塑性圖。





- F₂₀₀ 小於 50%, F₄ 大於 50% 為砂 S, F₄ 大於 50% 為礫 G。
 - F₂₀₀ 小於 5% 用 Cu 與 Cc 判斷 W (優良級配的)、P (不良級配的)
 - F₂₀₀ 大於 12% 用塑性圖判斷 M (沉泥質的)、C (粘土質的)

試驗七：定水頭滲透試驗

試驗目的：求土壤的滲透係數 k 值

- 有關滲透係數或滲流量的分析或試驗，皆以達西定理為基準，達西定理說明如下：

$$q = Av = Aki = Ak \frac{h}{L}$$

q : 為單位時間的滲流量

A : 為與水流方向成垂直的土壤斷面積

V : 為水流速度

k : 為滲透係數

i : 為水力坡降

L : 為水流流經土體的長度

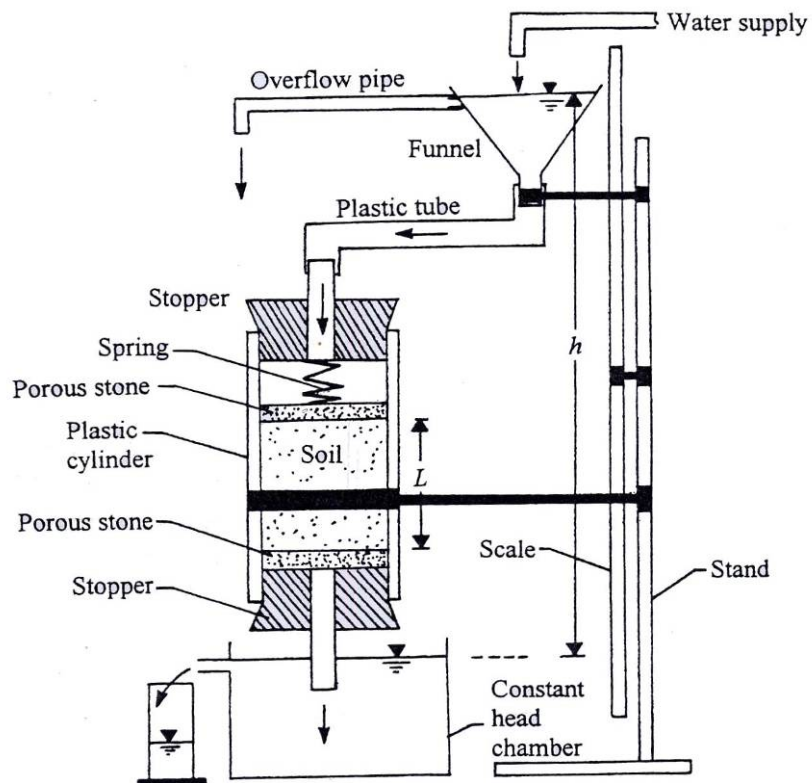
h : 為水頭差

儀器

- 定水頭試驗儀
 - (a) 上游供水盆
 - (b) 下游供水盆(含溢流口)
 - (c) 量筒(可量得水量 Q)
 - (d) 持續供水設施
- 游標尺。
- 凡士林。
- 電子秤。

步驟

- 量試驗管斷面積與(試驗管+透水石+橡皮管+彈簧)淨重。將土壤分三層填入試驗管，量試體長度與重量。
- 打開滲透管下端閘門，使與供水槽相通，打開上端閘門，使水充滿整個試驗管，關閉閘門。
- 連結滲透管上端與供水槽相通，下端與溢水槽相連，打開上、下端閘門，使水滲流十五分鐘。量水頭高。
- 以量筒接溢水槽溢出之水，待量筒約八分滿時，計讀時間與溢出之水體積。
- 再作一次步驟 5，求平均值。



計算：

$$1. \gamma_d = \frac{W_2 - W_1}{\frac{\pi}{4} D^2 L}, \quad e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$2. k = \frac{QL}{Aht}$$

$$3. k_{20^{\circ}\text{C}} = k_{T^{\circ}\text{C}} \times \frac{\eta_{T^{\circ}\text{C}}}{\eta_{20^{\circ}\text{C}}}$$

Temperature, T (°C)	$\eta_{T^{\circ}\text{C}}/\eta_{20^{\circ}\text{C}}$	Temperature, T (°C)	$\eta_{T^{\circ}\text{C}}/\eta_{20^{\circ}\text{C}}$
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

定水頭透水試驗

試驗者: _____

試驗日期: _____

試體直徑: _____ (cm)

試體面積: _____ (cm²)

試體高度: _____ (cm)

試體體積: _____ (cm³)

乾土重: _____ (g)

乾單位重: _____ (g/cm³)

顆粒比重: _____ (g/cm³)

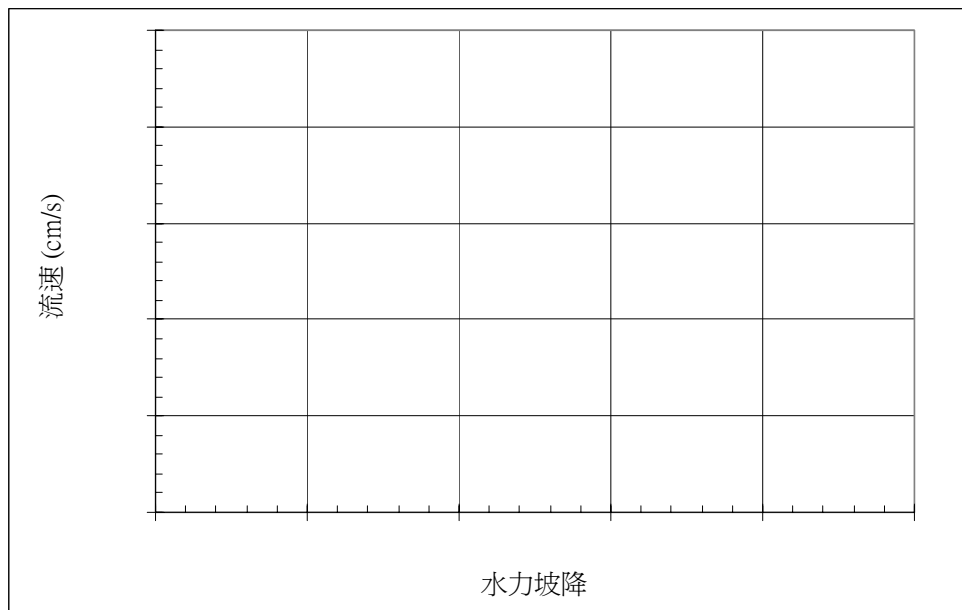
孔隙比: _____

H1	H2	t (s)	Q (cm ³)	q (cm ³ /s)	i	v (cm/s)	k (cm/s)

室溫= _____ (°C)

k_{20°C}= _____ (cm/s)

平均值: _____



試驗八：變水頭滲透試驗

目的：求土壤的滲透係數 k 值

原理

- 有關滲透係數或滲流量的分析或試驗，皆以達西定理為基準，達西定理說明如下：

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

$$-\frac{dh}{h} = \frac{kA}{La} dt$$

$$-[\ln h_2 - \ln h_1] = \frac{kA}{La} (t_2 - t_1)$$

$$k = \frac{La}{A(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

儀器

- 水頭試驗儀
 - (a) 豎管
 - (b) 下游供水盆(含溢流口)
 - (c) 持續供水設施
- 游標尺。
- 凡士林。
- 電子秤。

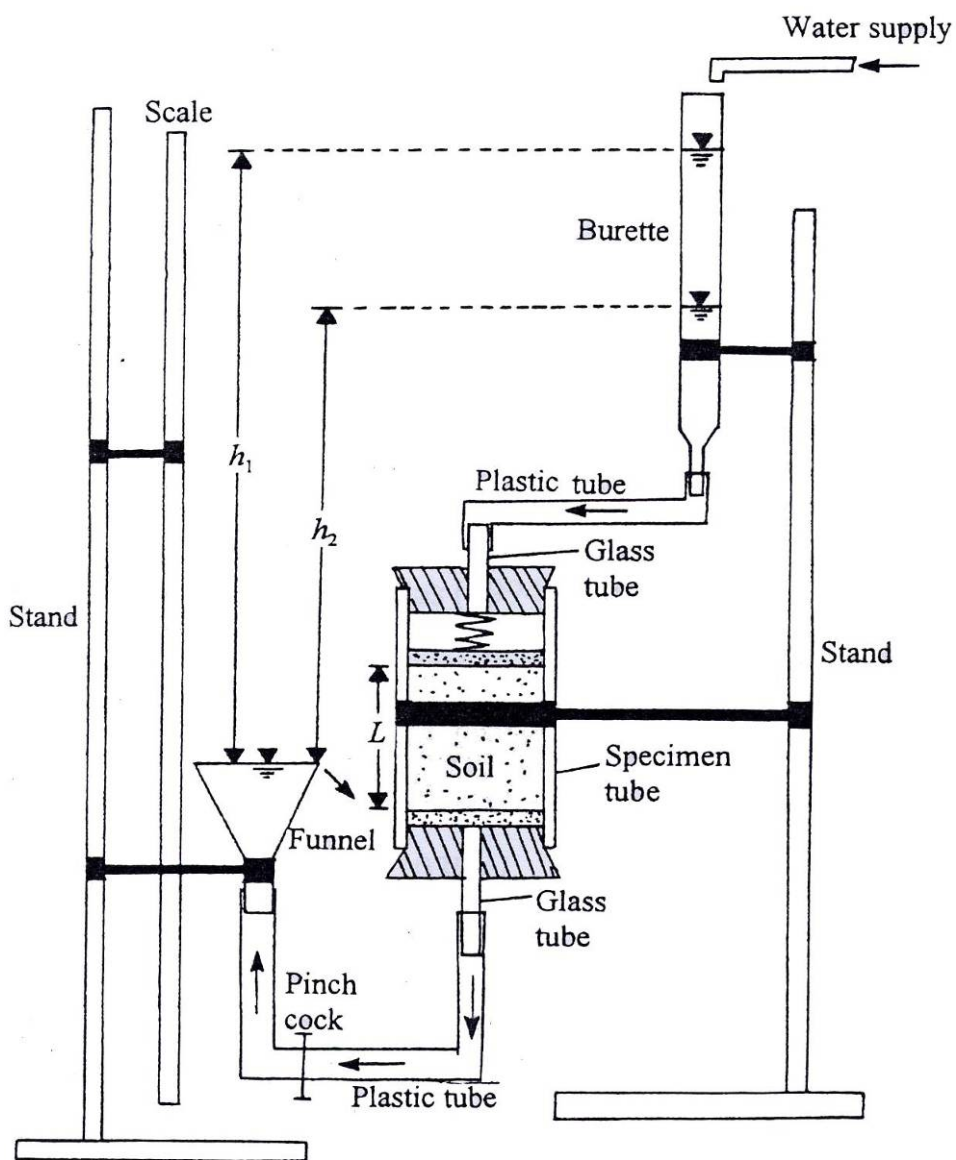
步驟

- 量試驗管斷面積與（試驗管＋透水石＋橡皮管＋彈簧）淨重。將土壤分三層填入試驗管，量試體長度，直徑與重量，豎管直徑，豎管刻度至桌面高度，溢水槽高度。
- 打開滲透管下端閥門，使與供水槽相通，打開上端閥門，使水充滿整個試驗管，關閉閥門。
- 連結滲透管上端與供水槽相通，下端與溢水槽相連，打開上、下端閥門，使水滲流十五分鐘。
- 連結滲透管上端與豎管相通，量測水位由 h_1 變為 h_2 之時間。
- 再作一次，求平均值。

計算：

$$a = \frac{V_w}{h_1 - h_2}$$

$$k = \frac{La}{tA} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = \frac{V_w L}{(h_1 - h_2)tA} \ln \frac{h_1}{h_2}$$



變水頭透水試驗

試驗者: _____

試驗日期: _____

試體直徑(cm): _____

試體面積(cm²): _____

試體高度(cm): _____

試體體積(cm³): _____

乾土重(g): _____

乾單位重(cm³/g): _____

顆粒比重: _____

孔隙比: _____

豎管直徑(cm): _____

豎管面積(cm²): _____

時間	豎管讀數	h1 (cm)	h2 (cm)	經歷時間(秒)	k (cm/s)

試驗九：夯實試驗

目的：建立土樣乾土單位重與含水量之關係，從而決定最大乾土單位重(γ_{max})與最佳含水量(O.M.C.)。

原理

- 填方工程為增加土壤的承载力、減少沉陷量，大都於填土時分層夯實，而夯實結果深受含水量多寡的影響，通常在一特定夯實能量下，乾土單位重會隨著含水量變化。當含水量自小漸增，其乾土單位重有漸增的趨勢，達到某一含水量時，可得到最大的乾土單位重，此時之含水量稱為最佳含水量(O.M.C.)。

儀器

- 金屬夯錘(直徑 5.1cm，質量 2.5kg)，錘附外套管以控制 30.5cm 的自由落距。
- 金屬模(內徑 10.2cm，高 11.6cm，體積 45cm³)，附底板與延伸環。
- 金屬盤(直徑約 30cm，深約 3cm)。
- 電子秤。
- 藥刀。
- 10 號篩。
- 直尺(長約 30cm)，抹平用。
- 頂土器或以螺旋起子及鐵鎚代替之。
- 拌合土壤與水之工具:抹刀、大盤與量筒。
-

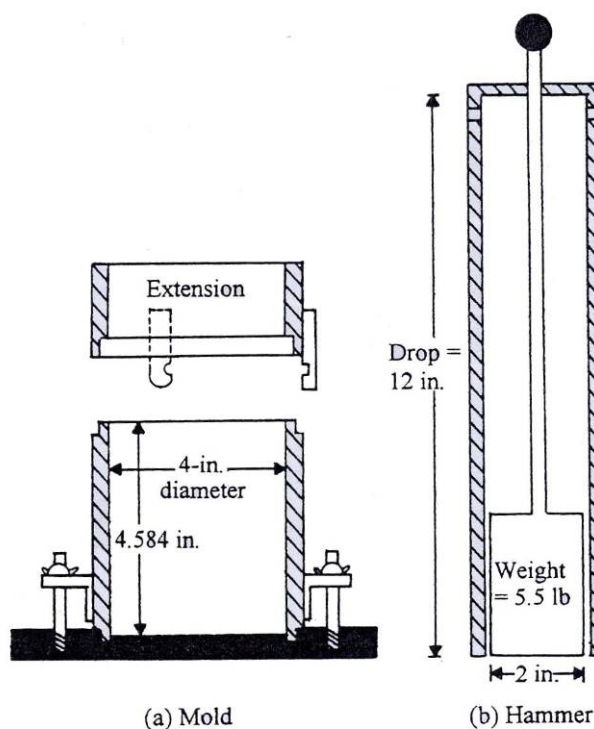


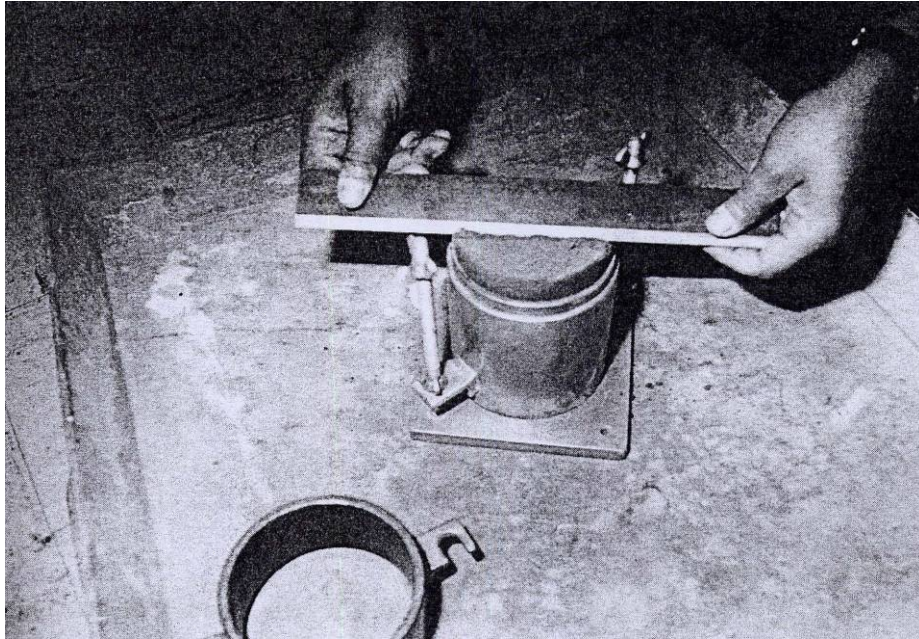
(ASTM D-698, AASHTO T-99)

Description	Method A	Method B	Method C	Method D
Mold:				
Volume (ft ³)	1/30	1/13.33	1/30	1/13.33
Height (in.)	4.58	4.58	4.58	4.58
Diameter (in.)	4	6	4	6
Weight of hammer (lb)	5.5	5.5	5.5	5.5
Height of drop of hammer (in.)	12	12	12	12
Number of layers of soil	3	3	3	3
Number of blows per layer	25	56	25	56
Test on soil fraction passing sieve	No. 4	No. 4	¾ in.	¾ in.

步驟

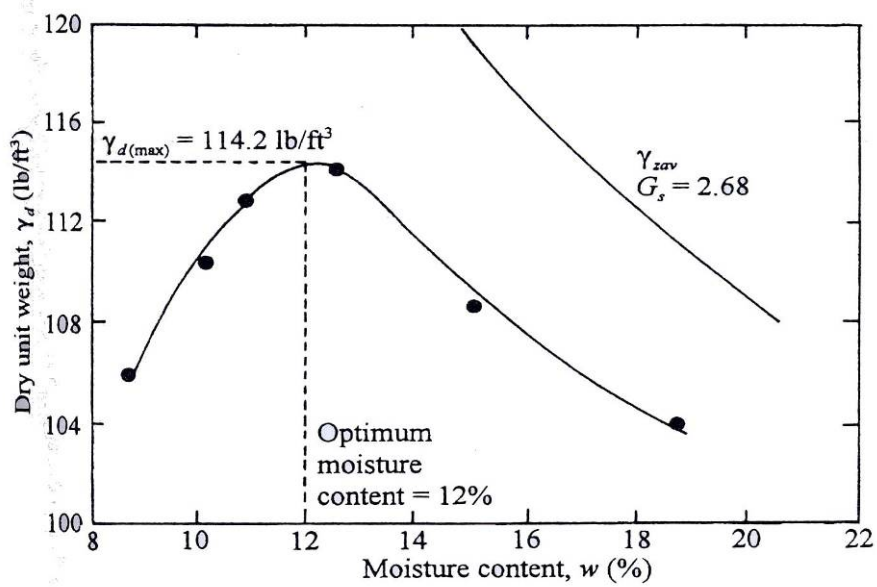
- 取通過 4 號篩之土壤約 3 公斤重，加入適當水量並調拌均勻。
- 稱模與底版重，置於堅硬之地板上，套上延伸環。
- 將拌合之濕土分三層裝入模內，每層以刮刀於夯實土壤表面打毛，再填入次一層。每層夯擊 25 下，第三層略伸出模頂 5mm。
- 小心除去延伸環，以直尺刮平土面，稱號(濕土+模+底版)重。
- 取部份土樣做含水量試驗。
- 將土取出後搓散，再加入適量之水攪拌均勻，重複進行步驟 3~5，直到土壤太濕，模內土重呈降低之現象為止。





計算：

零空氣孔隙曲線：
$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\frac{w}{100} + \frac{1}{G_s}}$$



土壤夯實試驗

試驗者: _____ 試驗日期: _____
 夯實層數: _____ (層) 夯擊次數: _____ (次)
 模型容積: _____ (cm³) 夯擊高度: _____ (cm)
 夯錘質量: _____ (kg)

試驗次數:	1	2	3	4	5
(模 + 濕土)重 (gm):					
模重 (gm):					
濕土重 (gm):					
濕密度, γ_t (gm/cm ³):					
乾密度, γ_d (gm/cm ³):					
含水量					
皿號:					
(濕土 + 皿)重 (gm):					
(乾土 + 皿)重 (gm):					
皿重 (gm):					
水重 W_w (gm):					
乾土重 W_s (gm):					
含水量 $W = W_w/W_s$ (%):					

試驗十：加州承載比 CBR 試驗

目的：測定直徑 4.963 公分之貫入桿「貫入夯實土壤所需壓力」與「貫入標準夯實碎石所需壓力」之百分比值。

原理

- 加州承載比(CBR)為機場跑道及道路路面下方底層土壤及基層土壤承載力之表徵，因此加州承載比可用來設計柔性路面之厚度。通常現地夯實土壤之相對夯實度無規定時一般值為 95%，而在相對夯實度下之乾土單位重其對應之承載比為加州承載比。

儀器

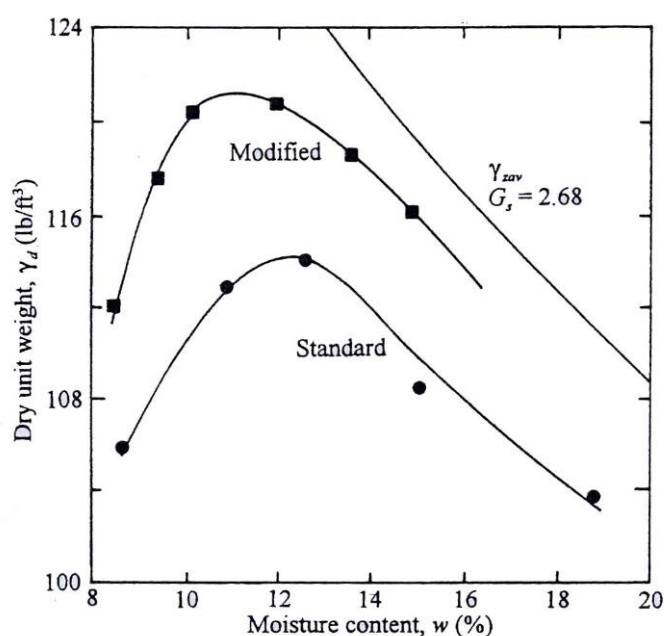
- 篩 #4。
- 頂土器。
- 電子秤。
- 金屬模(內徑 15.25cm、高 17.68cm)。
- 金屬夯錘。



步驟

- 取通過 4 號篩之土樣約 4.5 公斤，加入上一試驗之最佳含水量，並拌合均勻。
- 稱筒模(不含套模、底版、墊塊)重，將套模套於筒模上，固定於底版上，並於模內放入墊塊。
- 分五層填入土，每層並夯實 25 次，取下套模，刮平土樣，卸去底版與墊塊稱重。

- 將筒模倒置於底版上，套模套於筒模上，固定於底版上。並放上加重環。
- 筒模安置於壓力機上，調整其位置使壓力桿位於正中央，並加上 4.5kg 壓力使桿與土樣接觸，壓力測微計歸零。安裝變位測微計，並歸零。
- 開動壓力機使貫入速度維持 1.2mm/min。記錄 0、0.6、1.3、1.9、2.5、3.2、3.8、4.5、5.0、7.6、10.2、12.7mm 貫入值之壓力測微計讀數。並取樣求含水量。
- 將壓力測微計之讀數轉換成載重，除以桿斷面積得土壤承载力。
- 繪出貫入值與貫入壓力之曲線(如有反曲點應修正原點位置)。
- 將土壤承载力除以加州碎石承载力，比值最大者為 CBR 值。(一般較大之比值常發生於 2.5mm 時)



Description	Method A	Method B	Method C	Method D
Mold:				
Volume (ft ³)	1/30	1/13.33	1/30	1/13.33
Height (in.)	4.58	4.58	4.58	4.58
Diameter (in.)	4	6	4	6
Weight of hammer (lb)	10	10	10	10
Height of drop of hammer (in.)	18	18	18	18
Number of layers of soil	5	5	5	5
Number of blows per layer	25	56	25	56
Test on soil fraction passing sieve	No. 4	No. 4	¾ in.	¾ in.

加州承載比(CBR)試驗

試樣編號: _____

OMC: _____ (%)

 $\gamma_{d,max}$: _____ g/cm^3

模重: _____ (gm)

體積: _____ cm^3

夯實

試樣編號	試樣 1	試樣 2	試樣 3
夯實層數			
夯擊次數			
(模 + 濕土)重 (gm)			
濕土重 (gm)			
濕密度, γ_t (gm/cm^3)			
乾密度, γ_d (gm/cm^3)			

含水量

皿號			
(濕土 + 皿)重 (gm)			
(乾土 + 皿)重 (gm)			
皿重 (gm)			
含水量 $W = W_w/W_s$ (%)			

膨脹值

日期/時間	經過天數	試樣 1			試樣 2			試樣 3		
		測微錶 讀數	膨脹值		測微錶 讀數	膨脹值		測微錶 讀數	膨脹值	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)

CBR值

衡圈常數: _____ (kN/格)

貫入桿直徑: _____ (cm)

貫入度 (mm)	標準荷重 (kN/m^2)	試樣 1			試樣 2			試樣 3		
		衡圈 讀數	壓力 (kN/m^2)	比值 (%)	衡圈 讀數	壓力 (kN/m^2)	比值 (%)	衡圈 讀數	壓力 (kN/m^2)	比值 (%)
0.000										
0.635										
1.270										
1.905										
2.540	6895									
3.810										
5.080	10343									
6.350										
7.620	13101									
8.890										
10.16	15895									
11.43										
12.70	17927									

試驗十一：工地密度試驗

目的

- 求得現地土壤的乾土單位重及含水量，作為現地夯實品質之控制。

原理

- 於現地挖一孔洞，將所挖掘的土壤加以秤重，並取一部分土壤進行含水量量測，量測孔洞的體積有許多不同的方法，現今以砂錐方較常用，將填滿現地孔洞中的標準砂重除以標準砂自由落下的單位重即可換算出孔洞的體積，再由挖掘出的土壤除以該孔洞的體積即可知道濕土單位重 γ_m ，取部分挖掘出來的土壤作含水量試驗求 w ，則現地土壤的乾土單重 $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$ 。

儀器

- 含控制閥門的砂錐充砂筒。
- 30.48cm*30.48cm的金屬底板。
- 檢驗筒。
- 鑿子。
- 鐵鎚。
- 小鏟子。
- 刷子。
- 電子秤。
- 玻璃版。
- 均勻標準砂。



步驟

- 將充砂筒閥門關閉，將標準砂放入充砂筒稱重 m_1 。
- 將底盤放在玻璃板上，充砂筒置於底盤上，打開閥門至砂不再流動，關閉閥門，稱重 m_2 。將充砂筒置於檢驗筒上，打開閥門至砂不再流動，關閉閥門，稱重 m_3 。
- 將地面整平，安放底盤，並挖一圓洞，圓洞直徑與底盤圓孔同大，深約孔徑。
- 將挖出的土稱重 m_4 ，並取部分土樣求含水量。
- 將充砂筒置於底盤上，打開閥門至砂不再流動，關閉閥門，稱重 m_5 。

野外密度試驗-充砂法

試驗者： _____ 試驗日期： _____
 試驗地點： _____ 試驗編號： _____

標準砂密度檢定

檢驗筒內徑： _____ (cm) 檢驗筒高度： _____ (cm)
 檢驗筒面積： _____ (cm²) 檢驗筒體積V_c： _____ (cm³)

檢驗次數	1	2	3	平均
(筒 + 滿砂)質量, m ₁ (g)				
(筒 + 滿砂-錐充砂)質量, m ₂ (g)				
(筒 + 滿砂-錐充砂-檢驗筒充砂)質量, m ₃ (g)				
檢驗筒充砂質量, m ₂ -m ₃ (g)				
標準砂密度, $\gamma_c = [(m_2 - m_3)] / V_c$ (g/cm ³)				
錐充砂質量, m ₁ -m ₂ (g)				

野外密度試驗

試驗次數	1	2	3	4
(筒 + 滿砂)質量, m ₁ ' (g)				
洞中濕土質量, m ₄ (g)				
(筒 + 滿砂-錐充砂-洞中充砂)質量, m ₅ (g)				
洞中充砂質量, m ₆ = (m ₁ ' - m ₅) - (m ₁ - m ₂) (g)				
洞體積, V = m ₆ / γ_c cm ³				
野外濕密度, $\gamma_m = m_4 / V$ (g/cm ³)				
含水皿號				
含水皿質量 gm				
(含水皿 + 濕土)質量 gm				
(含水皿 + 乾土)質量 gm				
含水量, ω (%)				
野外乾密度, $\gamma_d = \gamma_m / (1 + \omega)$ (g/cm ³)				

試驗十二：單向度壓密試驗

目的

- 壓密是飽和土壤受載後隨時間沉陷的過程。
- 提供有關土壤壓密沉陷量及壓密速率分析所需參數：
如 m_v (體積壓縮係數)、 a_v (壓縮係數)、 C_c (壓縮指數)、 C_s (回脹指數)、 C_v (壓密係數)、 σ_c (最大預壓密壓力)、OCR(過壓密比)等。
- 本試驗要得到 $e-\log\sigma_v$ 、 σ_c 、 C_v 。

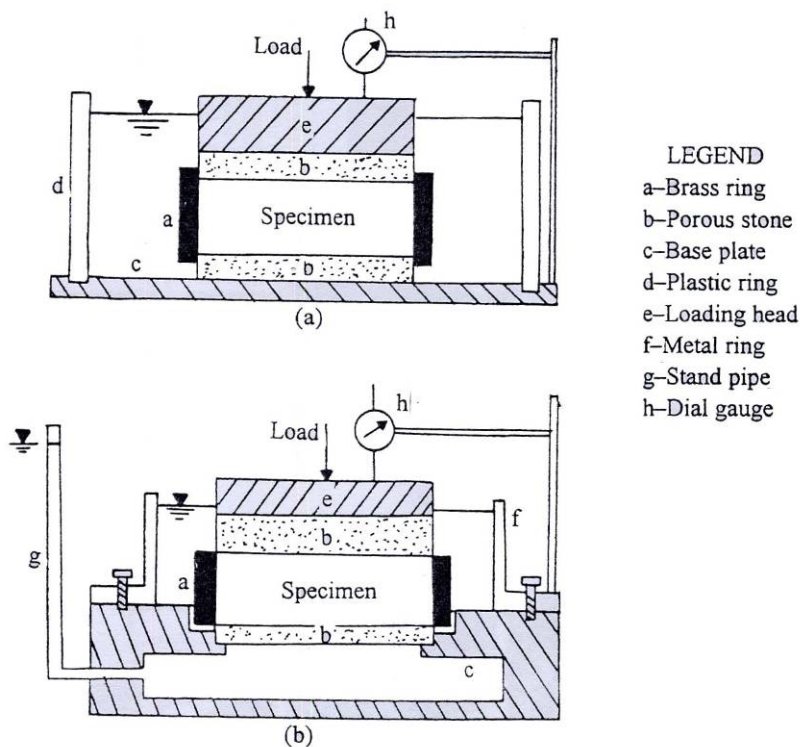
原理

- 土壤承受壓力會產生相對的沉陷量，而且正向壓應力越大沉陷量越大，而正向應力減小(解壓)則一部分的沉陷量會回復。

儀器

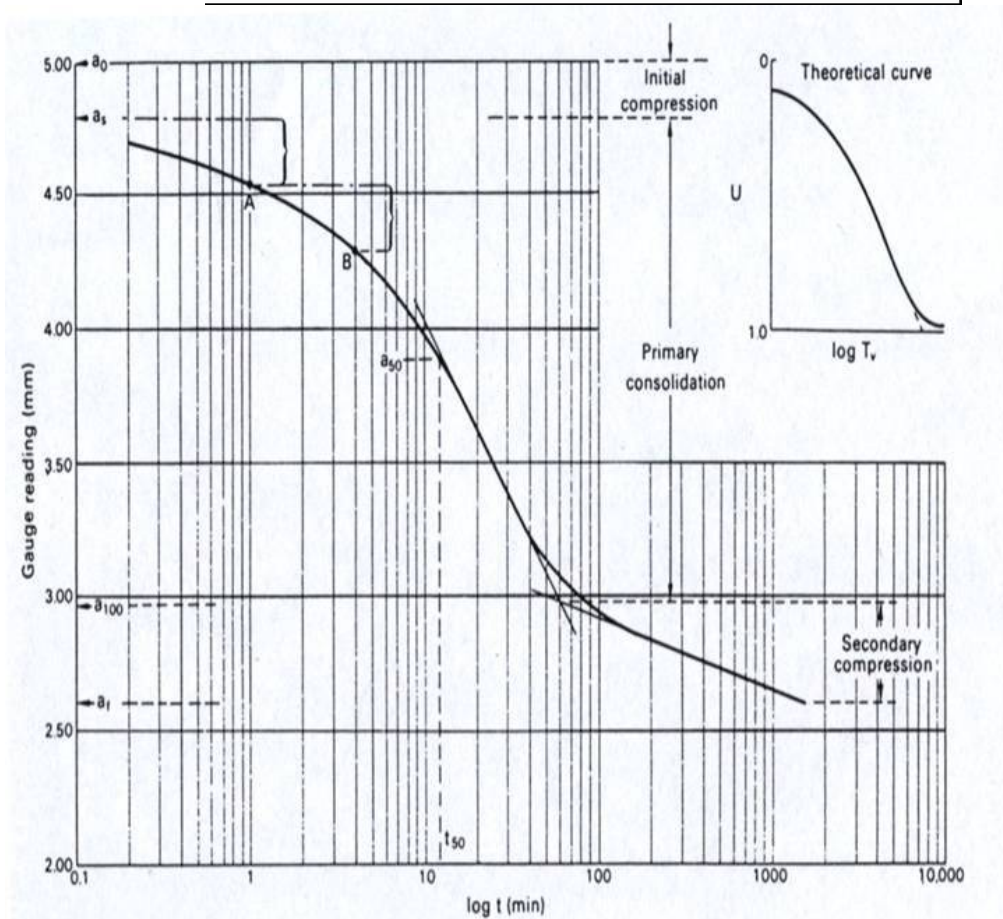
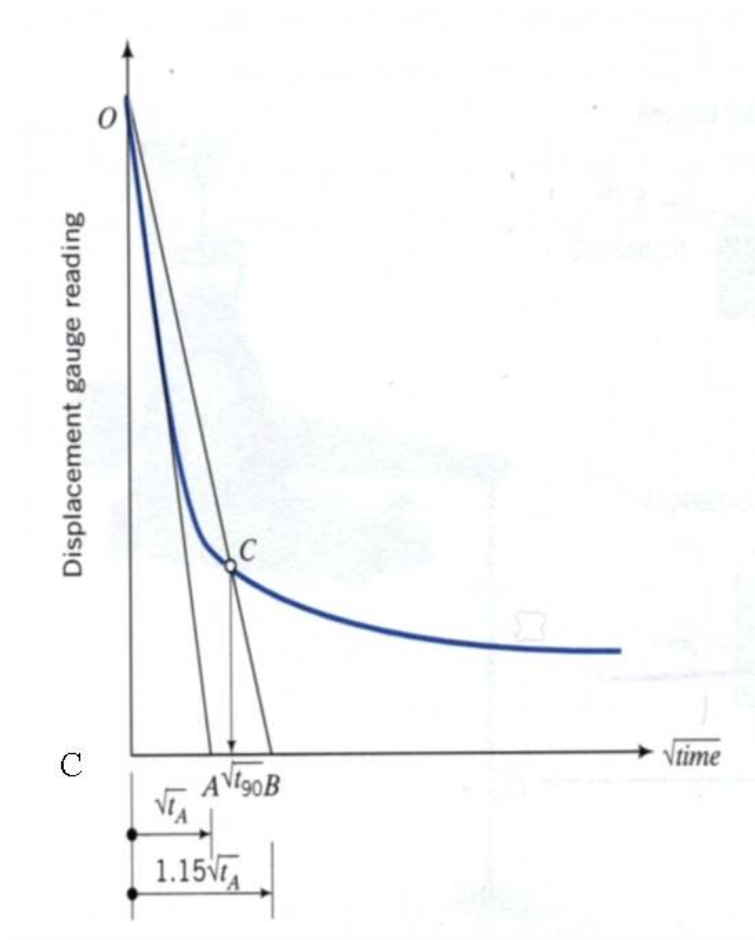
- 壓密試驗儀
- 不銹鋼壓密環一個。
- 透水石兩塊。
- 濾紙二張。
- 電子秤。
- 馬錶一個。
- 游標尺一把。
- 美工刀。
- 蒸發皿數個。





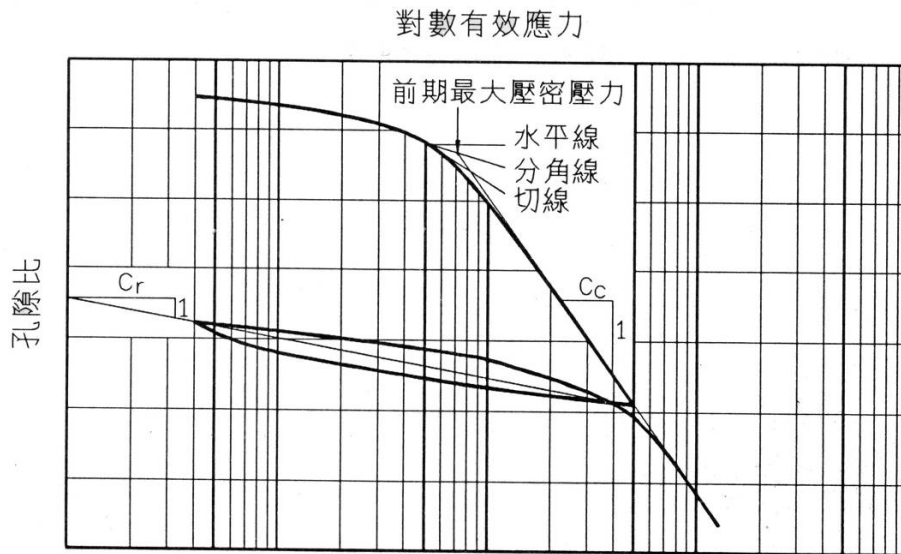
步驟

1. 量壓密環之重量、直徑與高度。
2. 將土壤套入環內，以美工刀修整，量環與濕土重。
3. 將壓密盒內壓密環上下置入多孔石(先前已浸濕)、濾紙，再加上頂蓋板，以螺絲鎖定，加水浸沒試體。
4. 將組立好之壓密盒置於壓密儀上，調整載重桿與頂蓋板微微接觸。
5. 安裝垂直測微計，施加垂直應力 0.5kg/cm^2 ，於載重後 15、30、60 秒、2.25、4、6.25、9、12.25、20.25、25、36、60 分、2 小時、4 小時、24 小時，量垂直測微計讀數。
6. 改變垂直應力，重覆步驟 5。
7. 取壓密環之土壤，求烘乾重量。



Correlation	Region of applicability
$C_c = 0.007(LL - 7)$	Remolded clay
$C_c = 0.009(LL - 10)$	Undisturbed clays
$C_c = 1.15(e_0 - 0.27)$	All clays
$C_c = 0.0046(LL - 9)$	Brazilian clays
$C_c = 0.208e_0 + 0.0083$	Chicago clays

Note: LL = liquid limit
 e_0 = *in situ* void ratio



孔隙比與對數有效應力關係曲線

計算：

試體初始孔隙比 $\frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_0}$ $e_0 = \frac{VG_s \gamma_w}{W_s} - 1$

第 i 次載重後試體高度變化量 $\Delta H_i = \Delta D_1 + \Delta D_2 + \dots + \Delta D_i$

ΔD_i 為第 i 次載重時測微計讀數變化

第 i 次載重後試體孔隙比 $\frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} = \frac{\Delta H_i}{H_0}$

$c_v = \frac{0.848H^2}{4t_{90}}$ $c_v = \frac{0.197H^2}{4t_{50}}$ $c_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$

壓密試驗—孔隙比變化計算

試驗編號:	_____	壓密儀編號:	_____
孔號:	_____	深度:	_____ (m)
壓密環號:	_____	壓密環重:	_____ (g)
環直徑:	_____ (cm)	環面積:	_____ (cm ²)
環高度:	_____ (cm)	環體積:	_____ (cm ³)
環+濕土重:	_____ (g) (試驗前)	含水量:	_____ (%)
皿+環+濕土重:	_____ (g) (試驗後)	含水量:	_____ (%)
皿+環+乾土重:	_____ (g) (試驗後)	蒸發皿重:	_____
乾土重:	_____ (g)	Gs:	_____
土粒高度; H _s :	_____ (mm)	初始孔隙比:	_____

垂直應力 (kg/cm ²)	變位計 最終讀數	機器變形 (mm)	垂直變位 (mm)	土樣高度 H (mm)	孔隙高度 H _v (mm)	孔隙比 H _v /H _s

壓密試驗 — 沉限量記錄

試驗編號: _____

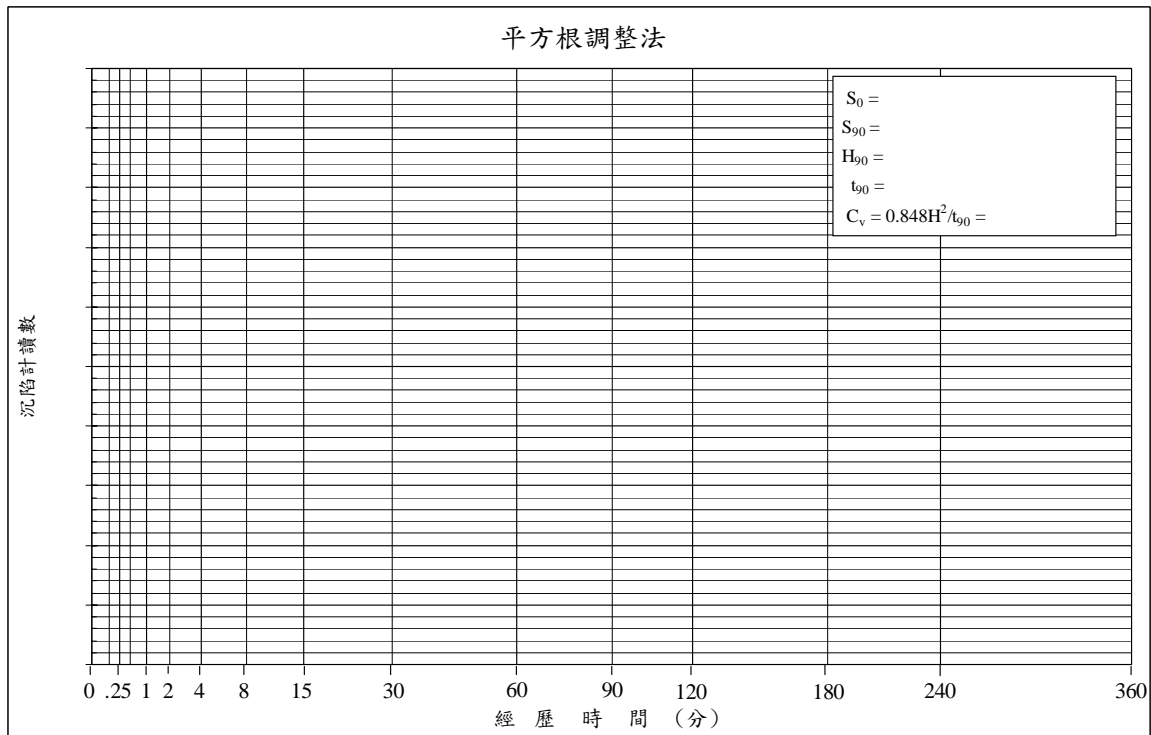
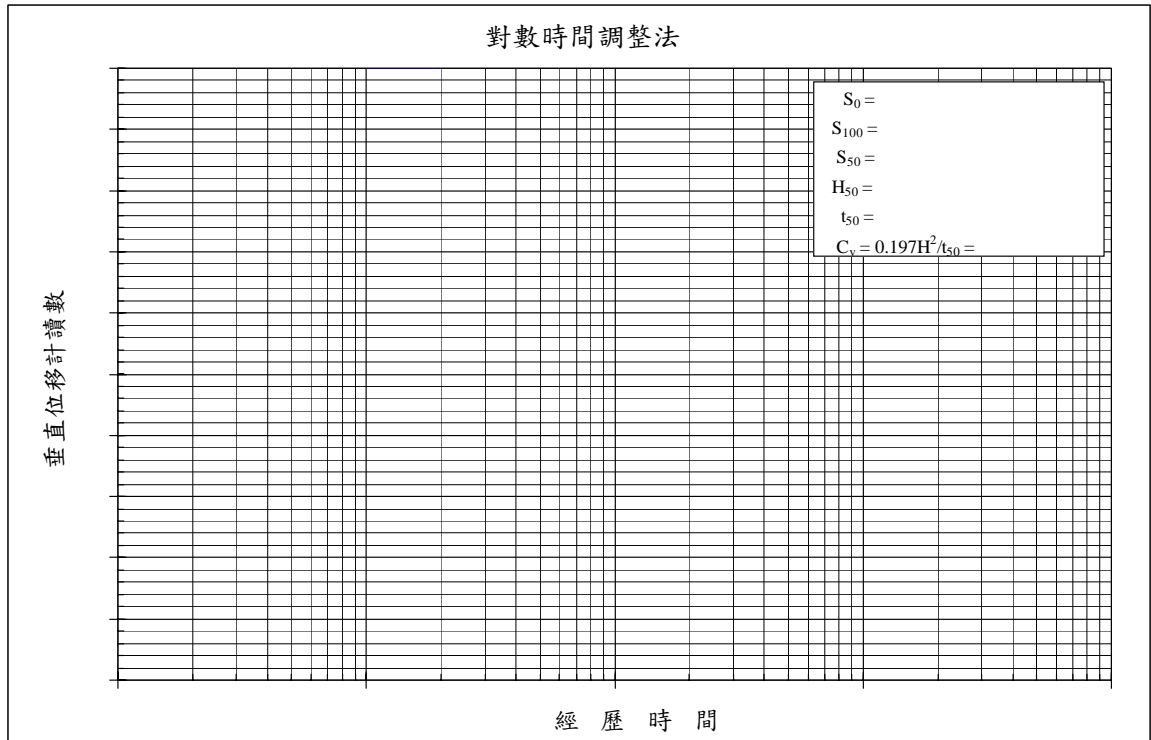
壓密儀編號: _____

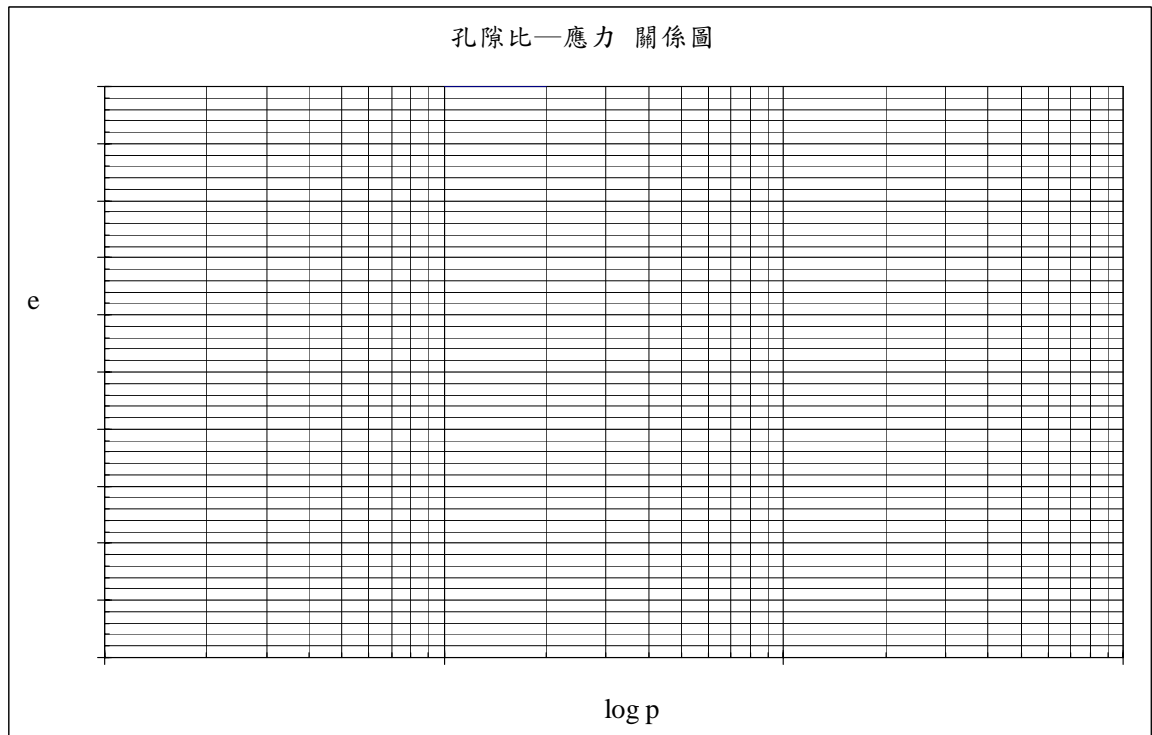
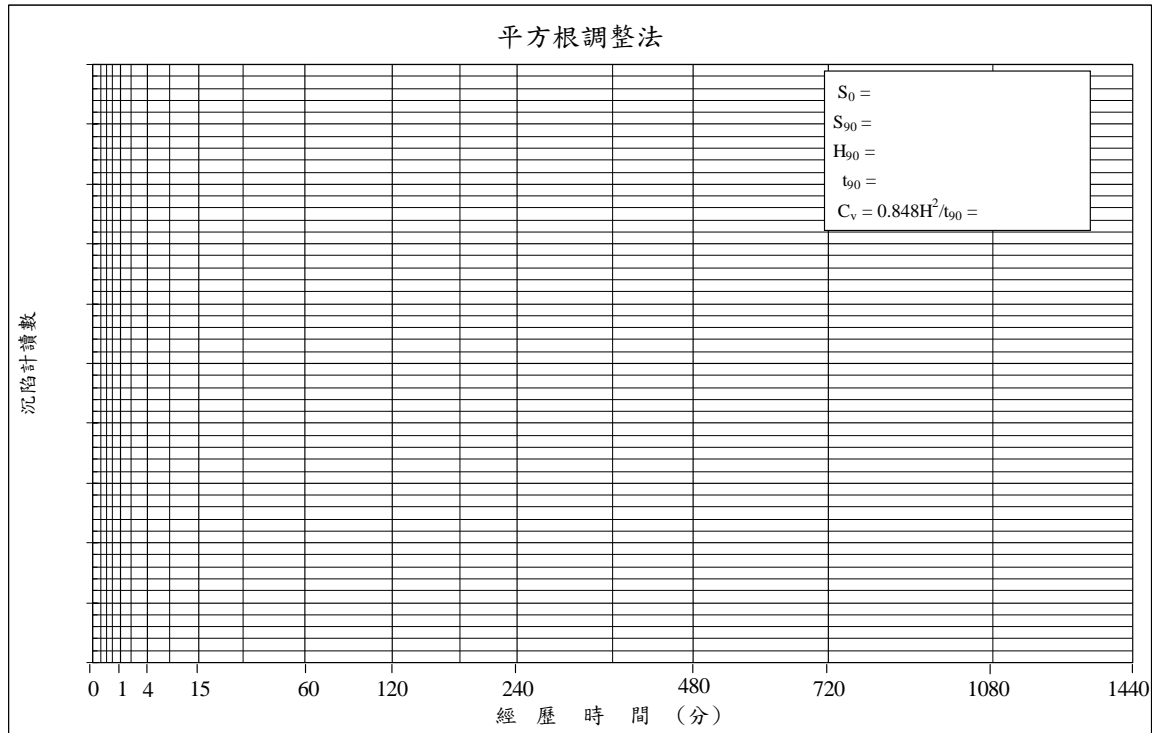
上次應力: _____ (kg/cm²)本次應力: _____ (kg/cm²)

加壓者: _____

加壓日期: _____

日期	時間	經過時間 (min.)	平方根時間	變位計讀數 (div.)	垂直變位 (mm)





試驗十三：直接剪力試驗(砂土)

目的

- 求砂土的剪力強度參數內摩擦角(ϕ)。

原理

- 同一土壤在相同緊密程度狀況下，於不同的正向應力加載下予以剪動，土壤顆粒間的摩擦力將隨著正向應力的增加而增加，一般取三個不同大小的正向應力分別施以直剪試驗，可以得到相對的最大剪應力，將這些正向應力與最大剪應力點繪成 σ - τ 關係圖，再以直線迴歸上述的試驗點，則該迴歸直線與最大剪應力軸的截距即為凝聚力，而該迴歸直線與水平線的夾角即為土壤的內摩擦角。

$$\tau = \sigma \tan \phi$$

儀器

- 直剪試驗儀

步驟

1. 將剪力盒組裝好，稱重 W_1 。
2. 決定試體高度 H 、直徑 d 。
3. 將乾砂分層填入剪力盒，直到低於剪力盒頂端 6.4mm，蓋上頂蓋，稱重 W_2 。
4. 將剪力盒至入直剪試驗儀。
5. 將垂直向載重架加在試體頂蓋上，在將砝碼至於載重架上。所加正向力 N 包含載重架、砝碼重、頂蓋重與上盒土重。
6. 移除剪力盒之支撐栓，旋緊三支螺絲，以撐開上下盒。
7. 打開電源，以施加剪位移於上盒，紀錄在不同時間下之剪位移量、垂直位移量、壓力環之讀數。直到壓力環之讀數達到最大值並開始降低、或達到最大值然後保持定值。

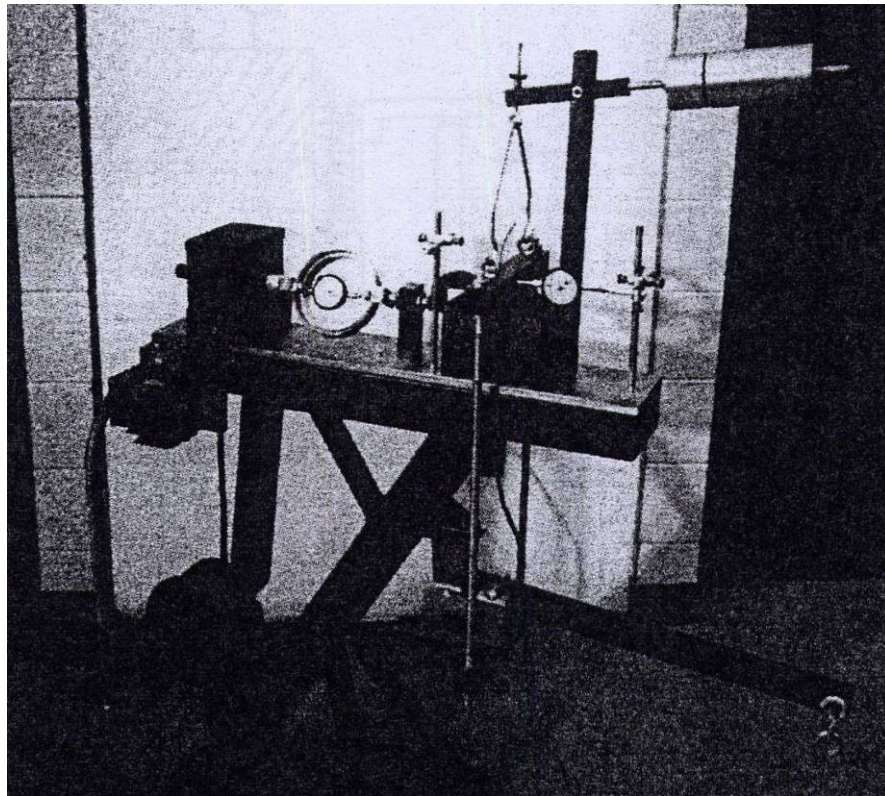
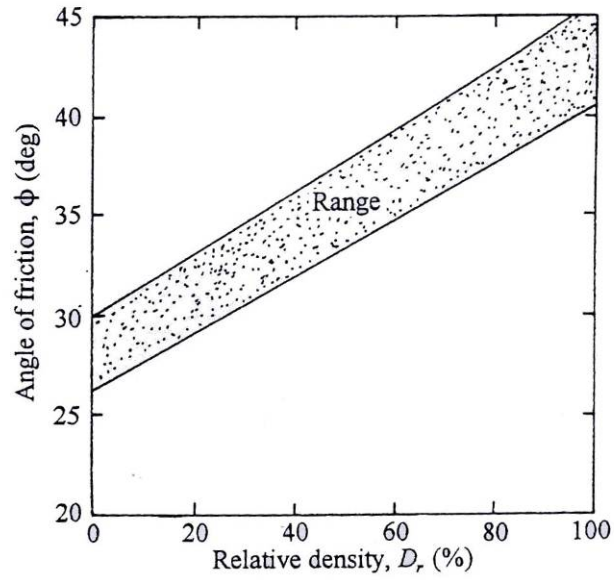
計算：

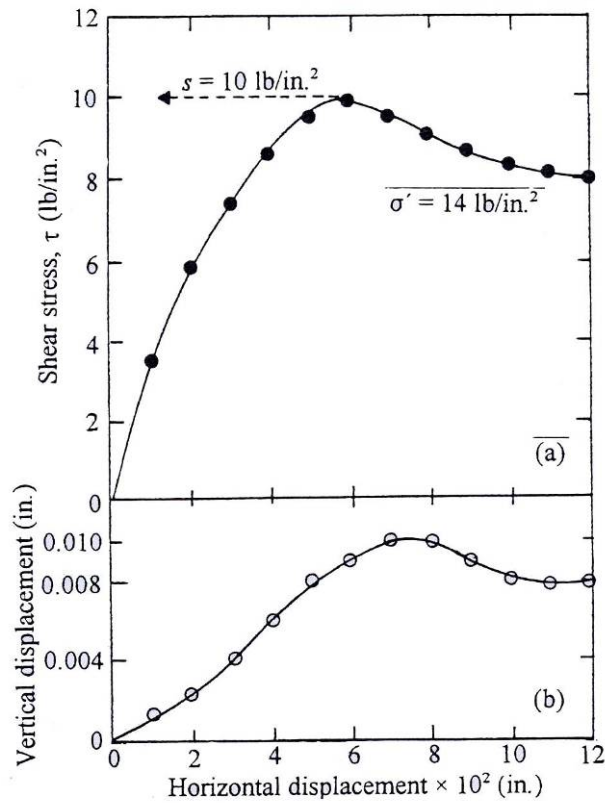
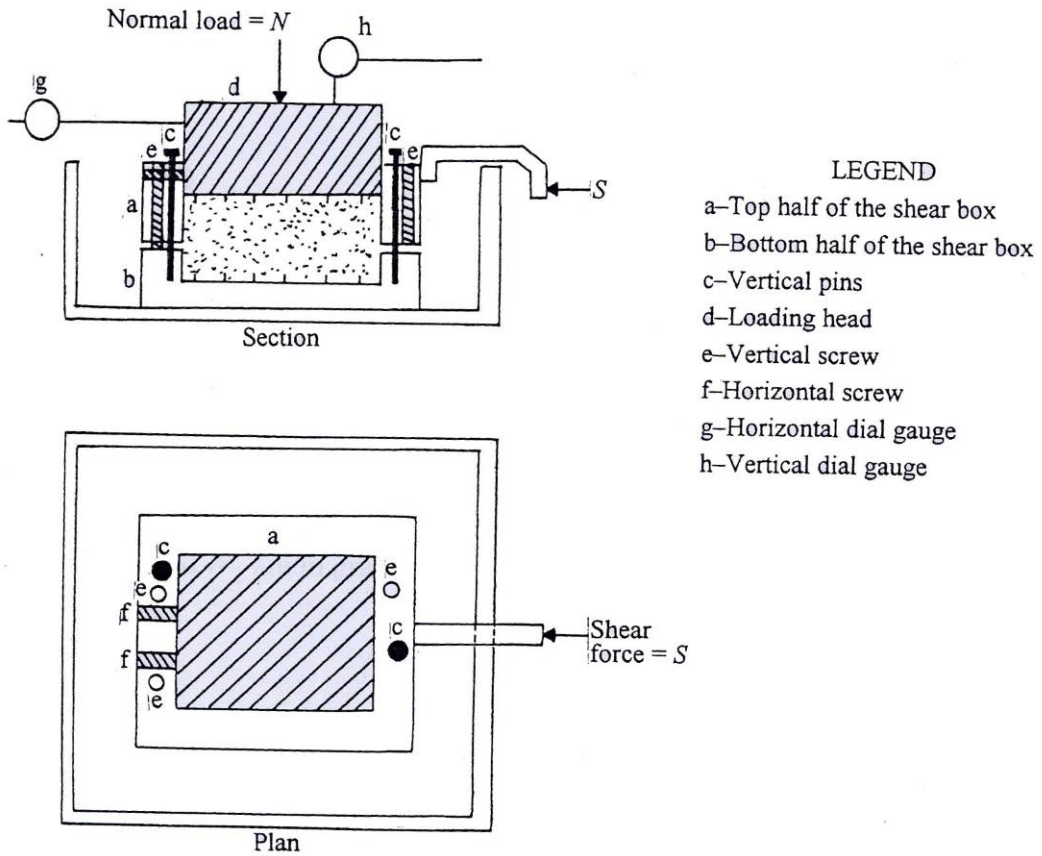
- 土壤試體乾土單位重 $\gamma_d = \frac{W_2 - W_1}{\frac{\pi}{4}d^2H}$

- 土壤試體孔隙比 $e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$

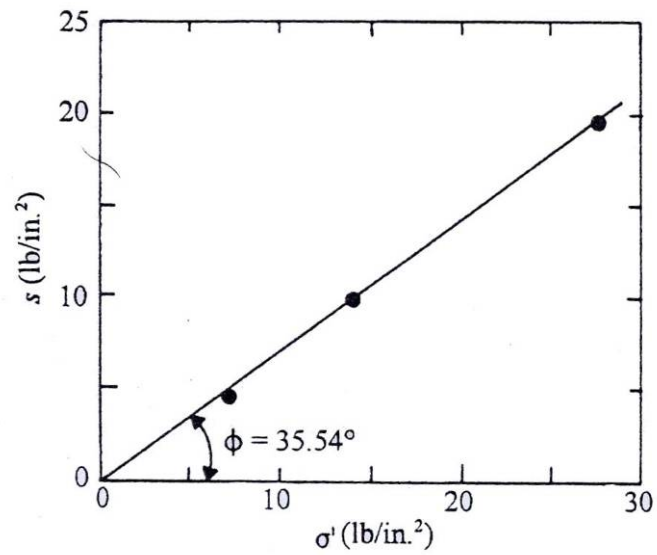
- 土壤試體正向應力 $\sigma = \frac{N}{\frac{\pi}{4}d^2}$

● 土壤試體剪應力 $\tau = \frac{S}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{\text{壓力環讀數} \times \text{壓力環率定係數}}{\frac{\pi}{4}d^2}$





Round-grained sand	ϕ (deg)	Angular-grained sand	ϕ (deg)
Loose	28–32	Loose	30–36
Medium	30–35	Medium	34–40
Dense	34–38	Dense	40–45



直接剪力試驗

孔號:	_____	深度:	_____
土樣編號:	_____	Gs:	_____
剪力盒直徑:	_____ (cm)	剪力盒面積:	_____ (cm ²)
試體高度:	_____ (cm)	試體體積:	_____ (cm ³)
乾土重:	_____ (g)	乾單位重:	_____ (g/cm ³)
垂直荷重:	_____ (kg)	正向應力:	_____ (kN/m ²)
壓力環編號:	_____	壓力環常數:	_____ (kN/格)
孔隙比:	_____	孔隙率:	_____

經過時間 (分)	水平位移計 讀數 (格)	垂直位移計 讀數 (格)	壓力環 讀數 (格)	水平位移 (mm)	垂直位移 (mm)	剪力 (kN)	剪應力 (kN/m ²)

試驗十四：無圍壓縮試驗

目的

- 求粘土的不排水強度 c_u 。

原理

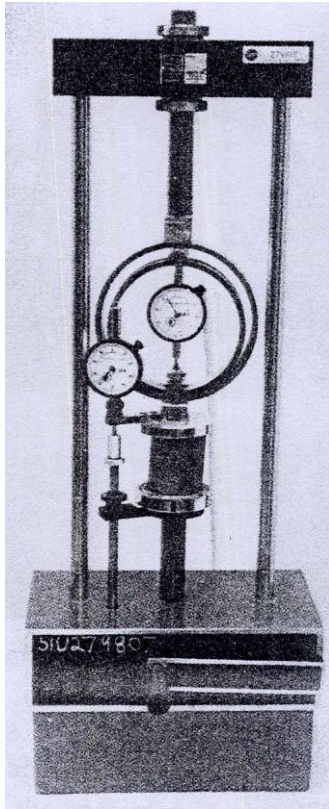
- 飽和粘土之不排水強度($\phi=0$) $\tau=c_u$ ，而無圍壓縮試驗是一種快速得到土壤不排水強度之方法。無圍壓縮強度等於不排水強度之兩倍。 $q_u=2c_u$
- 無圍壓縮強度是在沒有圍壓之情形下，施加軸向應力於試體上，當試體破壞時之強度為無圍壓縮強度。
- 對於飽和粘土而言，含水量越高，無圍壓縮強度越低。對於不飽和粘土而言，乾土單位重保持不變下，飽和度越高，無圍壓縮強度越低。

儀器

- 無圍壓縮試驗儀

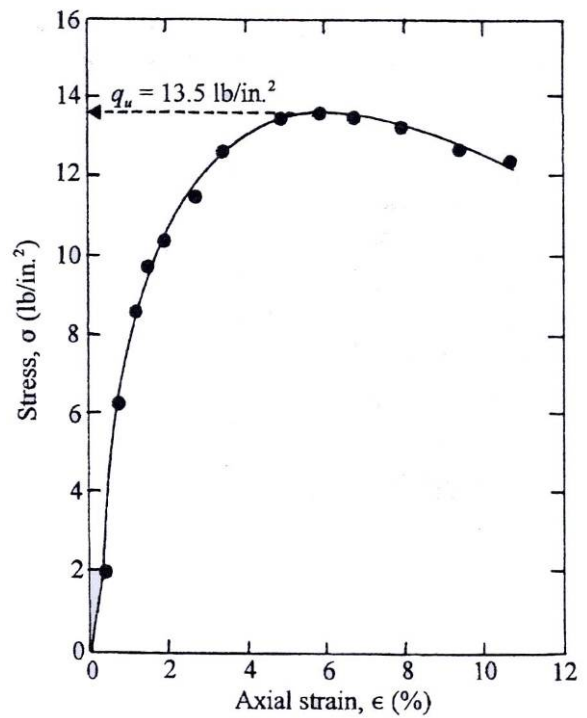
步驟

1. 為製作試驗用重模試體，先量測試模直徑 d 、高度 L 及淨重。
2. 計算試模體積，並於設計之單位重與含水量下，計算高嶺土重與水重。
3. 取高嶺土加入設計水量，並拌合均勻。每次加入三分之一重之土壤（稱重檢核），並以夯槌夯擊至設計高度，直到完成重模試體製作，然後再拆模稱重，再量試體高度與直徑。
4. 將試體置於單軸試驗儀之底版上，使頂版與土樣微接觸，將壓力衡圈測微計歸零。安裝變位測微計，並歸零。開動壓力機使貫入速度維持 $1\text{mm}/\text{min}$ 。每 30sec 記錄一次壓力衡圈測微計與變位測微計讀數，直到試體破壞。
5. 將壓力測微計之讀數轉換成載重，除以試體斷面積得土壤應力，變位除以試體高度得其應變。繪出應力與應變曲線。由應力與應變曲線尖峰值決定其單壓強度 q_u ，繪製摩爾圓並決定其不排水剪力強度。(如果應變先達 20% 然後才尖峰值，則取應變 20% 所對應之應力為單壓強度)



Consistency	q_u (lb/ft ²)
Very soft	0–500
Soft	500–1000
Medium	1000–2000
Stiff	2000–4000
Very stiff	4000–8000

Sensitivity, S_t	Description
1–2	Slightly sensitive
2–4	Medium sensitivity
4–8	Very sensitive
8–16	Slightly quick
16–32	Medium quick
32–64	Very quick
> 64	Extra quick



計算：

$$\text{軸向應變 } \epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\text{面積修正 } A = \frac{\frac{\pi}{4}d^2}{1 - \epsilon}$$

單軸壓縮試驗

孔號: _____	深度: _____
土樣編號: _____	含水比: _____ (%)
試體直徑: _____ (cm)	試體面積: _____ (cm ²)
試體高度: _____ (cm)	試體體積: _____ (cm ³)
含水皿號: _____	含水皿重: _____ (g)
(皿+濕土)重: _____ (g)	濕單位重: _____ (g/cm ³)
(皿+乾土)重: _____ (g)	乾單位重: _____ (g/cm ³)
壓力環編號: _____	壓力環常數: _____ (kN/div)

經過時間 (分)	變位計讀數 (div)	壓力環讀數 (div)	軸向變位 (mm)	軸向應變 (%)	軸向力 (kN)	軸向應力 (kN/m ²)

試驗十五：三軸壓縮試驗

目的

- 求粘土在各種情況下的剪力強度 c 、 ϕ 。

說明

- 可分成不壓密不排水試驗(UU)、壓密不排水試驗(CU)、壓密排水試驗(CD)等。
- 不壓密不排水試驗是加圍壓時，不允許試體排水；施加軸差應力時也不允許試體排水，可得總應力之剪力強度參數。
- 壓密不排水試驗是加圍壓時，允許試體排水至超額孔隙水壓為零；施加軸差應力時不允許試體排水，可得總應力與有效應力之剪力強度參數。
- 壓密排水試驗是加圍壓時，允許試體排水至超額孔隙水壓為零；施加軸差應力時也允許試體排水至超額孔隙水壓為零，可得有效應力(=總應力)之剪力強度參數。
- 沉泥與黏土依施工其土壤受力情形決定是採 UU、CU、CD 試驗，而砂土一般進行 CD 試驗。

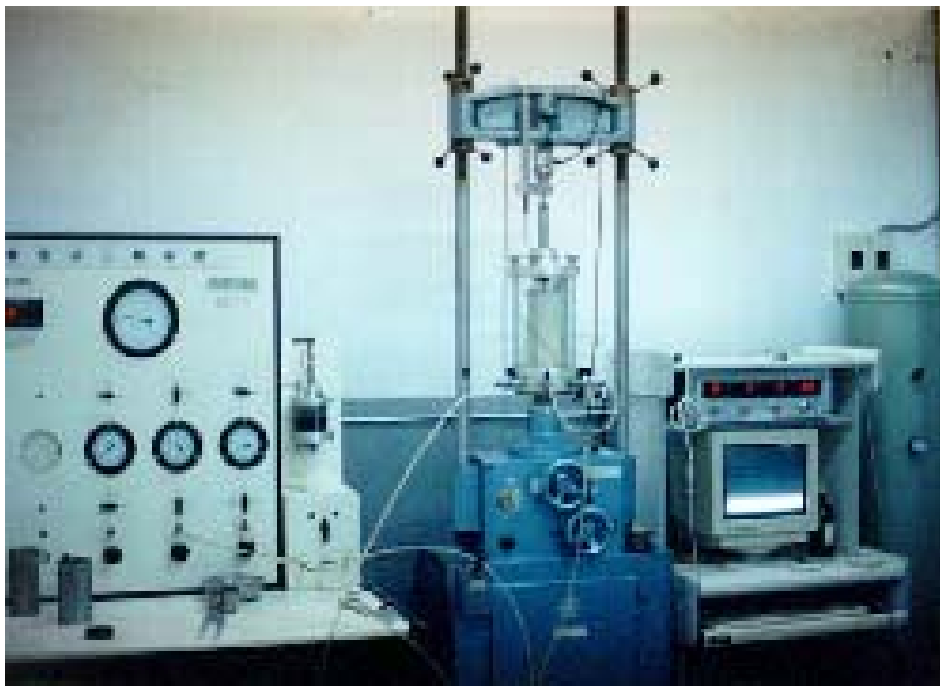
儀器

- 三軸壓縮試驗儀

步驟：(以 UU 試驗為例)

1. 利用頂土機將土樣頂入已知內徑、高度之截土環中，並修整試體上下平面。
2. 將試體由截土環中頂出裝設於三軸室中央底座(下承座)上後加上頂蓋(上承座)，並於外部套以不透水橡皮膜後，並使用 O 形橡膠環將橡皮膜與上下封閉於上下承座。
3. 將清水由圍壓閥門注入三軸室中，同時將空氣由上方排氣閥排出至清水完全充滿三軸室止。
4. 將準備好之三軸室裝設於三軸抗壓主機上，並把上下排水閥及圍壓閥門聯接至三軸壓力系統上。
5. 提升圍壓至設計壓力後啟動三軸抗壓機使試體承受軸向應力。
6. 記錄試體軸向變形量、軸向荷重值，至軸向應力下降或軸向應變達 15% 為止。

- 7.解除圍壓，將三軸室內之水排出，取出試體並量測其含水量。
- 8.使用另一試體，改變圍壓，重複 1~7 步驟 3-5 次。
- 9.計算各試體所承受之主軸應力，繪製莫爾-庫倫破壞包絡線。



不壓密不排水三軸壓縮試驗

孔號: _____	深度: _____
土樣編號: _____	試體重量: _____ (g)
試體直徑: _____ (cm)	試體面積: _____ (cm ²)
試體高度: _____ (cm)	試體體積: _____ (cm ³)
含水皿號: _____	G _s : _____
含水皿重: _____ (g)	乾單位重: _____ (g/cm ³)
(皿+濕土)重: _____ (g)	含水量: _____ (%)
(皿+乾土)重: _____ (g)	飽和度: _____ (%)

經過時間 (分)	變位計讀數 (mm)	荷重計讀數 (kg)	軸向應變 (%)	軸向力 (kN)	修正後面積 (cm ²)	軸向應力 (kN/m ²)

附錄 A：土壤力學試驗之相關 ASTM 規範編號

Some Important AASHTO and ASTM Soil Test Designations

Name of Test	AASHTO Test Designation	ASTM Test Designation
Water content	T-265	D-2216
Specific gravity	T-100	D-854
Sieve analysis	T-87, T-88	D-421
Hydrometer analysis	T-87, T-88	D-422
Liquid limit	T-89	D-4318
Plastic limit	T-90	D-4318
Shrinkage limit	T-92	D-427
Standard Proctor compaction	T-99	D-698
Modified Proctor compaction	T-180	D-1557
Field density by sand cone	T-191	D-1556
Permeability of granular soil	T-215	D-2434
Consolidation	T-216	D-2435
Direct shear (granular soil)	T-236	D-3080
Unconfined compression	T-208	D-2166
Triaxial	T-234	D-2850
AASHTO Soil Classification System	M-145	D-3282
Unified Soil Classification System	—	D-2487