



土壤力學實驗手冊



撰寫：倪勝火

國立成功大學土木工程學系

中華民國一〇四(2015)年三月

土壤力學實驗手冊

撰寫：倪勝火

國立成功大學土木工程學系

中華民國九十五(2006)年六月(初版)

西元 2015 年 3 月(新修定版)

目 錄

目錄	I
土壤力學實驗課程說明	II
土壤力學實驗學生守則	III
土壤力學實驗室安全衛生守則	IV
一、土壤力學實驗導論	1
二、量測之基本知識	5
三、土壤物理性質試驗	14
實驗 1. 含水量試驗	14
實驗 2. 土壤比重試驗	18
實驗 3. 土壤液限程度試驗	23
實驗 4. 土壤塑性程度試驗	26
實驗 5. 土壤粒徑分析試驗	28
實驗 6. 相對密度試驗	37
四、土壤工程品質管控制試驗	43
實驗 7. 土壤標準夯實試驗	43
實驗 8. 工地密度試驗	47
五、土壤滲透性試驗	53
實驗 9. 定水頭滲透試驗	53
實驗 10. 變水頭滲透試驗	57
六、土壤壓密試驗	61
實驗 11. 單向度壓密試驗	61
七、土壤剪力強度試驗	77
實驗 12. 砂質土壤之直接剪力試驗	77
實驗 13. 無旁束壓縮試驗	84
實驗 14. 不壓密不排水三軸壓縮試驗	88
參考文獻	100
附錄 空壓式三軸壓力面板控制操作說明	101

土壤力學實驗課程說明

- 一. 學分數: 1。
 - 二. 課程編號: E6-079。
 - 三. 授課教師: 與當學期開授土壤力學課程老師相同。
 - 四. 課程目標: 熟悉土壤實驗基本原理與方法, 具備土壤物理性質與分類實驗、土壤透水實驗、土壤夯實實驗、土壤壓密實驗、土壤剪力性質實驗與實驗報告寫作之基本學識與實作之能力。
 - 五. 課程內容概要:
 1. 土壤力學實驗導論: 實驗前講解說明分組及試驗報告撰寫。
 2. 實驗量測之基本知識
 3. 含水量測定試驗。
 4. 土壤比重試驗。
 5. 液性限度及塑性限度試驗。
 6. 土壤顆粒分析試驗。
 7. 相對密度試驗。
 8. 標準夯實試驗。
 9. 工地密度試驗。
 10. 土壤透水試驗。
 11. 壓密試驗。
 12. 直接剪力試驗。
 13. 無旁束壓縮試驗。
 14. 三軸不壓密不排水壓縮試驗。
 - 六. 評分方式
 1. 實驗報告 60%
 2. 出席及實驗態度(直接加減於土壤力學實驗總分) 40%
 - (1). 遲到/早退扣 2 分至 5 分。
 - (2). 曠課扣 15 分, 同時, 報告不予計分。
 - (3). 請假請約時間補做; 若無法補做扣 5 分。
 - (4). 未按照學生守則第 2 至 6 項者, 該組每人扣 1 至 5 分。
 - (5). 實驗態度加減 1 至 20 分。
 - 七. 實驗報告內容:

依序為封面、原理、儀器與材料、步驟、計算、實驗結果(含圖表)與討論、總結等。
- ※注意事項:
1. 每次上課前繳交當次預習報告(內容依序為原理、儀器與材料、步驟三部分); 檢查後發還, 可列為實驗報告之一部分, 未繳者不予計分。
 2. 雖為多人同組試驗, 但每人均須繳交一份個人報告。
 3. 實驗報告繳交或遭退回者不予計分。有兩次(含)以上紀錄者, 重修。

土壤力學實驗學生守則

1. 每次試驗授課時間約需 30 分至 1 小時，請勿遲到、早退。中途離開教室，須經助教同意，否則以曠課論。
2. 各組使用之桌面及地面整潔，由各組自行負責；所有當日試驗使用之實驗設備均須清理，放回原位；抹布洗淨、平鋪置於各組桌面。
3. 天秤每次使用完畢後，皆須清理秤盤，並歸零。
4. 不再進行其他試驗之儀器或土樣，一律置於各組分配之儀器櫃，並需將烘乾器皿，清洗乾淨、放回指定位置。
5. 於第二日取出烘箱內土壤，先置於乾燥櫃 15 至 20 分鐘，待冷卻之後，方可秤乾土質量。土壤置於烘箱時間最長不可超過 48 小時，置於乾燥櫃時間最長不可超過 30 分鐘；違者遭致棄置，恕不負責。
6. 離開前(桌面、儀器、數據整理完成後)經助教檢查後，並將原始數據簽名，繳交一份給助教，方可離開。
7. 所有儀器不得逕行拆解，由於操作錯誤或不正常使用，而導致損壞者，須負賠償或修理費之責任。

土壤力學實驗室安全衛生守則

1. 借用實驗室及儀器均須向試驗室管理人員登記。
2. 實驗室內禁止喧嘩、跑步、衝撞等行為。
3. 欲插上儀器電源插頭時，需先檢查電源插頭之輸出電壓是否符合儀器電壓量。
4. 使用各項試驗儀器時，應先研讀儀器使用手冊，熟悉正確操作程序後，方可啟動儀器進行實驗。若有任何疑問請洽管理人員，以避免損壞儀器或人員受到傷害。
5. 使用加熱鈹及烘箱時，必須戴上棉手套，以防燙傷；加熱鈹使用後，須將電源插頭拔下，並注意鈹面溫度尚未下降不可觸摸，並將加熱鈹倒置。
6. 搬動鐵塊時，應注意疊加高度及放置方向，避免傾倒，壓傷手腳。
7. 使用高壓空氣壓力系統時，應注意系統之最大壓力是否超過上限，如有應立刻關閉系統電源；洽請管理人員或原代理廠商檢修後方可再使用。高壓空氣壓力系統安全防護網室，非技術人員請勿進入。
8. 以乾式處理土樣時，應配戴防塵口罩，以免吸入過多粉塵。
9. 高壓氣體鋼瓶不可橫置，並須將鋼瓶固定，使用時需注意壓力控制。
10. 處理水銀時，須戴防護口罩，並請專人協助處理。
11. 使用實驗室之人員，須瞭解各項緊急防護設備放置位置，正確使用方法。
12. 使用電動機械(含切割機、鑽心機、頂土機、夯實機等)前，須詳閱使用(操作)手冊，或請技術或管理人員講解後，方可使用。
13. 所有進入實驗室之試驗材料，均須標示註明使用人員、聯絡電話、材料名稱、放置日期，及預定移出日期。資料不全者，禁止攜入，或以廢棄物處理。
14. 使用後之機具儀器，歸還前必須即刻清潔，並將使用後之材料清理完畢。
15. 清理機具儀器前須關閉電源，以策安全。

一、土壤力學實驗導論

1.1 土壤力學實驗之目的

土壤為所有土木工程建物之承載基礎，也是一種古老又普通之建築材料。不論其作為承載基礎或建築材料，均需符合安全與經濟之要求，而決定其是否安全經濟合理，大部份取決於土壤之工程力學與物理性質，因此量測土壤之物理與力學等性質變成相當之重要。

自從德札基(Terzaghi)氏於 1925 年導出壓密理論，而建立土壤力學以來，至今不過八十餘年。土壤力學理論之發展，需有實驗之驗證。實驗之發展工作既耗時也費錢，相較於理論之發展也較緩慢。早期之土壤力學試驗，大部份襲自農業土壤試驗，著重於土壤之顆粒粒徑分析，指數性質試驗及土壤之分類等，而非真正之力學試驗。倡導土壤力學性質之研究與試驗，始自 1948 年英國地工(Geotechnique)期刊之發行以後。早年之力學試驗，大多使用較簡單之直接剪力試驗及無旁束壓縮試驗進行，在力學試驗方面之發展，貢獻卓著的是英國倫敦帝國學院土壤力學教授 Bishop 氏，其親自設計且具代表性的，即是 1962 發表之水銀式三軸壓縮試驗儀器。此儀器將土壤力學試驗研究推向顛峰。也使得土壤力學之理論與試驗方法之研究，更加嚴密與完整。

土壤力學實驗課程之目的，除了印證土壤力學之基本理論外，主要也是在教習測定土壤之各項工程性質，以供未來工程應用。

1.2 土壤力學之試驗類別

土壤力學試驗類別，大致可分為：

1. 土壤基本物理性質試驗：
如含水量試驗、比重試驗、液限試驗、塑限試驗、顆粒粒徑分析試驗及相對密度試驗等。
2. 土壤工程施工品質控管試驗：
如標準夯實試驗、工地密度試驗、加州載重比(CBR)試驗、與平鈹載重試驗等。
3. 土壤滲透性試驗：
如變水頭試驗、定水頭試驗、及現場透水試驗等。
4. 室內土壤力學性質試驗：
如壓密試驗、直接剪力試驗、單軸及三軸壓縮試驗等。
5. 野外土壤力學性質試驗：
如標準貫入試驗、荷蘭貫入錐試驗、野外十字葉片剪力試驗及孔內土

壤拓脹試驗等。

6. 鑽探與取樣。

土壤力學試驗之種類繁多，本課程將只針對實驗室之室內試驗做實習。

1.3 試驗方法與規範概論

在進行土壤力學試驗之時，所採用的試驗方法不同，所得結果也會不同。因此衍生出試驗標準規範。

目前常用之土壤試驗方法之標準規範有下列幾種：

1. 我國國家標準(CNS , China National Standard) 。
2. 美國材料試驗協會(ASTM , American Society for Testing and Materials)之土壤與岩石標準試驗規範。
3. 美國州際官員公路與運輸協會(AASHTO , American Association of State Highway and Transportation Officials) 之土壤試驗規範。
4. 美國內政部農業墾物局(USBR , United State Bureau of Reclamation) 之土壤手冊(Earth Manual) 。
5. 英國標準局(BSI , British Standard Institute)之土木工程目的之土壤標準試驗法(BS1377) 。
6. 日本標準局(JIS , Japan Institute of Standard) 之土壤試驗規範。

我國國家標準(CNS)目前尚未齊全，因此國內各試驗室，大多採用美國材料試驗協會(ASTM)的試驗標準做為暫行規範或建議方法。ASTM 標準經常修訂與增訂，故精確試驗工作自需根據其最新標準中有關土壤力學試驗之新版本，作為重要參考之依據。

其他土壤力學之先進國家，如挪威、瑞典、丹麥、意大利、荷蘭、法國及西德，亦對土壤力學試驗貢獻甚多。惟因語言與地域之隔閡等原因，使得我國仍以引用美、日、英等國之試驗標準規範之機會較多。

1.4 試驗報告之撰寫

試驗報告是試驗成果之最終呈現(end product) ，試驗報告應忠實詳細完整記錄試驗之過程及結果，以供使用者參考應用。一份完整的試驗報告除封面(如附)，報告內容應包含下列幾個項目：

1. 摘要(abstracts)：

摘要需簡要總結該試驗報告內容，含扼要試驗方法及試驗結果，通常是在全文內容寫完後，最後才寫摘要。

2. 前言(introduction)：

前言之目的是說明問題之發生背景或動機，並以此試驗解決該問題。除

此之外，前言亦需點出本試驗之目的為何。

3. 試驗儀器與材料：

需簡述本試驗所使用之相關儀器或工具，亦需描述本試驗將使用之土壤材料之取得來源，及土樣之描述如顏色、土樣、主要成分、次要成分及形狀、重量等。

4. 試驗步驟：

描述試驗引用標準(如有的話)，扼要逐項描述試驗方法與步驟。

5. 試驗結果分析與討論：

試驗結果可以圖示或表列說明，數據必須說明使用單位。圖示之座標亦需有標題及單位，必要亦需有圖示符號說明。在結果討論方面，應注意結果是否合理？是否符合現存理論？對一些空兀或異常之結果或數據是否能作合理之解釋？

6. 結論：

對整體試驗之結果，作條列式或重點式之總結。

7. 參考文獻：

僅需列報告內引述到之參考文獻。

8. 附錄：

報告內容宜精簡(通常 10 頁以內)，冗繁之數據或詳細之公式導衍等，可放在附錄內，供作參考。

報告封面：

國立成功大學工學院土木工程學系

土 壤 力 學 實 驗 報 告

試驗名稱：_____

姓名：_____學號：_____

試驗組別：_____年_____班_____第_____組

試驗日期：_____年_____月_____日 繳進日期：_____年_____月_____日

成績：_____教員：_____

二、量測之基本知識

2.1 量測之基本概念

空間中無論存在什麼物體，則其一定存在著某些數量，決定其數量之過程與結果，即是量測(measurement)。換言之，量測即是運用專門之測具(measurand)，根據物理、化學等原理，藉著實驗和計算，求出被量測體之量測數值。在量測之過程中，通常是使用特殊測具與被量測體做比較，並決定被量測體相對於此測具之倍數，而計算出量測之結果(result)。這其中包含了測具與量測體之比較。而在使用此測具之前，測具需先與公認之標準比較，以確認此測具可為公認標準之分身，在量測過程中，此測具即間接地代表公認標準與被量測體做比較，以得到正確之量測結果。亦即，測具必須可溯源於公認之標準(例如國家標準或國際標準等)，以確保測具之量測可靠性(reliable)，而將測具與公認之標準之比較過程，稱為檢定或校正(calibration)。換言之，每一測具或量測系統均需先經證明其具有量測可靠性之能力之過程，即校正之程序，始得在量測中使用。而測具校正週期之長短，需視測具之特性或穩定性或使用環境而定，短則每三個月，長則每年至數年不等。

2.2 量測儀表

量測儀表是將被測量轉換成可供直接觀察之指示值或等效訊息之測具(或器具)。包括各類指示計(如測微計)、比較儀器、記錄儀器、轉換計等。而利用電子技術對各種待測物理量進行量測之測具，可統稱為電子量測儀器，量測儀器之性能主要包括：

(1) 精度：

精度指量測儀器的讀數或量測結果與被量測體真值相一致之程度。精度一般只是籠統之概念，其含義是：精度高表示誤差小；精度低表示誤差大。因此精度可作為評定量測儀器之性能與量測結果正確性之基本指標。

(a) 精密度(precision)：

精密度可用以說明儀器(表)指示值之分散性，精密度是指在同一量測條件下，對同一被量測體進行多次量測時，得到之量測結果間之相符合程度，換言之，即是量測結果間分散之程度。它反應了隨機誤差之影響。精密度高，意謂隨機誤差小，量測結果之重復性好，再現性佳。例如某壓力表之精密度為 0.1 kpa，即表示用它對同一壓力進行量測時，得到之各次量測值之分散程度不會大於 0.1 kpa。精

密度之高低，一般以偏差衡量，單次量測值相對於平均值 X 之偏差為 d ，則 $d_i = X_i - X$ ($i = 1, 2, 3, \dots$)。

(b) 準確度:

準確度說明儀表指示值(測定值)與真值的接近程度(或相符合程度)，一般以誤差表示。誤差有絕對誤差與相對誤差兩種表示法，對單次測定而言，絕對誤差 = $x - \mu$ ，式中， x 為測定值， μ 為被測體之真值。對多次平行測定而言，絕對誤差 = $X - \mu$ ，式中， X 為多所謂真值是指待測體在特定狀況下所具有之真實值之大小。準確度反應了系統誤差的影響，準確度高度表示系統誤差小。嚴格次平行測定結果之平均值。相對誤差 = $(x - \mu) / \mu$ (%)，在實際之工作中，分析結果之準確度多用相對誤差來表示。來說，由於真值未知，誤差難以計算，準確度難以度量。

(c) 正確度(accuracy)

正確度是指精密度與準確度之綜合反應，正確度高，說明精密度和準確度均高，亦即意味隨機誤差和系統誤差小，其最終量測結果之可信賴度高。在一組量測中，精密度很高，但準確度不一定很好，(結果相互集中，但不一定與真值相近)。反之，若準確度好，一般而言，精密度也高。

(2) 穩定性(stability)

穩定度也稱為穩定誤差，是指在規定之時間或區間和其他外在條件不變之情況下，儀表顯示值變化之大小。造成顯示值變化的原因，主要取決於儀器內部各元件之特性、參數不穩定或老化等因素。穩定度值可用顯示值絕對變化量與時間一起表示。如 $(0.008\% S_F + 0.003T_m)/24h$ ，式中， S_F 為全程量度(full scale value)， T_m 為儀器顯示值， h 為小時。

(3) 靈敏度(sensitivity)

靈敏度表示量測儀表對被量測體變化之敏感程度，一般定義為量測儀表指示值增量 Δy 與被量測體增量 Δx 之比值，亦即靈敏度 = $\Delta(\text{響應}) / \Delta(\text{激值})$ 。靈敏度之另一種表述方式叫做分辨力(率)，定義為量測儀表所能區分之被量測體之最小變化量，在數位式電子儀表中經常使用，分辨力的值越小，其靈敏度越高。

(4) 線性度(linearity)

線性度是量測儀表輸入輸出之特性之一。表示儀表輸出量(顯示值 y)隨輸入量(被量測量 x)變化之規律。兩者之關係可用函數 $y = f(x)$ 表示。

(5) 動態特性(dynamic response)

量測儀表之動態特性表示儀表的輸出響應隨輸入變化之能力。

2.3 量測誤差

在實際量測中，由於測具不準確(儀器誤差)、量測方法不定善(方法誤差)、外在環境影響(環境誤差)、量測操作不熟練及作業疏忽(人為誤差)等，都會導致量測結果與被量測體真值不同。因此，使用量測測具(儀器)所得之量測值與被量測體真值之差值，稱為量測誤差。為便於說明，須先了解下列之量測術語。

1. 量測術語

真值(true value)：一個物理量在一定條件下，所呈現之客觀大小或真實數值，亦即度量之正確數值。

量測值(measure value)：由測具顯示之被量測體之量測值，亦即度量所得之值。

標稱值(nominal value)：測具上標定之數值，標準器或度量儀器上所定，用以稱呼之值。

誤差(error)：自量測值減去真值所得之值。

偏差(bias)：測試結果(量測值)與認可參考值之差值。

認可參考值(accepted reference value)：依據科學原理所導之理論或設定值，或依據國際或國家機構實驗工作結果，或依據科技單位主導實驗結果而有一致性之值，或參考方法所得量測值之平均值。

2. 誤差之分類

誤差可分為系統誤差(可測誤差)、隨機誤差(偶然誤差)和過失誤差三項。

(1) 系統誤差

在多次等精度量測同一恆定量之值時，誤差之絕對值及符號保持不變，或當條件改變時，其仍按其種規律變化之誤差，稱為系統誤差。造成系統誤差的原因有：測具(儀器)設計原理及製作上之缺陷、量測時之環境條件(如溫度等)與儀器使用要求不一致、採用近似之量測方法或計算公式、量測人員習慣性之操作誤差等。系統誤差可藉在重復性條件下，對同一被量測體進行無限多次量測所得結果之平均值與被量測值之真值之差來決定。

(2) 隨機誤差

隨機誤差是指對同一恆定量值進行多次等精度量測時，其絕對值和符號無規則變化之誤差。對單次量測而言，隨機量測沒有規律，其大小和符號(方向)完全不可預測。但當量測次數足夠多時，其量測值在多數情況下，接近常態分佈(normal distribution)；換言之，隨機誤差亦可定義為量測結果在重復條件下，對同一被量測體進行無

限多次量測的所得之平均值的差值。隨機誤差客觀存在難以察覺、控制，不能避免，也不能進行校正。

(3) 過失誤差

由於人員不慎操作不正確、或量測方法不當或錯誤而引起之錯誤結果，使得在一定條件下，量測值明顯地偏離實際值所形成之誤差者稱之。含有此誤差之量測值應剔除不用。

以上所述各誤差之關係，可以下圖 2.1 說明。

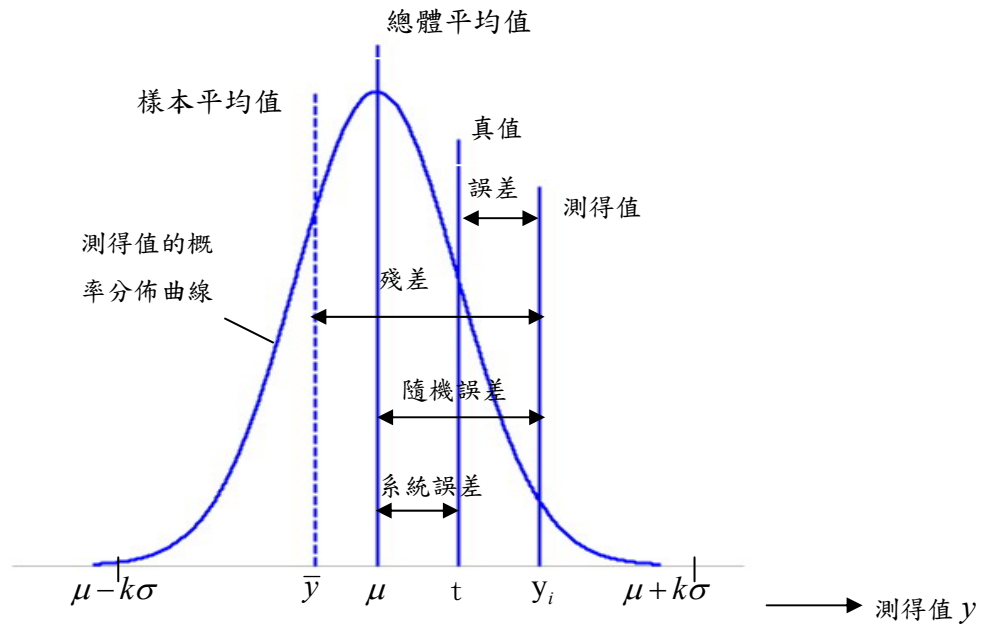


圖 2.1 量測誤差示意圖

如圖 2.1 所示，被測量值為 y ，其真值為 t ，第 i 次測量所得的量測值(或觀測值)為 y_i 。由於誤差的存在使量測值與真值不能重合，設量測值呈常態分佈 $N(\mu, \sigma)$ ，則分佈曲線在數軸上的位置(即 μ 值)決定了系統誤差的大小，曲線的形狀(按 σ 值)決定了隨機誤差的分佈範圍 $[\mu - k\sigma, \mu + k\sigma]$ ，及其在範圍內取值的機率。由圖可知，誤差和它的概率分佈密切相關，可以用機率和數理統計的方法來處理。實際上，誤差可表示為：

$$\begin{aligned} \text{誤差} &= \text{量測結果} - \text{真值} = (\text{量測結果} - \text{總體平均值}) + (\text{總體平均值} \\ &\quad - \text{真值}) = \text{隨機誤差} + \text{系統誤差} \end{aligned}$$

2.4 量測不確定度

1. 常態分佈

當重複測定次數多到無窮大之情形時，分析測定中之隨機誤差將符合統計學中之常態分佈(又稱高斯分佈)之規律。如圖 2.2 所示，常態分佈

曲線呈對稱鐘形，中間有最高點。橫座標表示測定值 x 和平均值 μ 之差，縱座標表示頻率密度，得誤差常態分佈圖。常態分佈的機率分佈之密度函數 $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty)$$

上式中， x 為個別量測值， μ 為總體平均值（又稱最佳估計值）在無系統誤差時，其為真值。 σ 為總體標準偏差，其是 μ 至曲線反曲點之水平距離，它表現了量測值的離散程度。

$$\text{常態分佈 } (n \rightarrow \infty), \sigma = \sqrt{\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

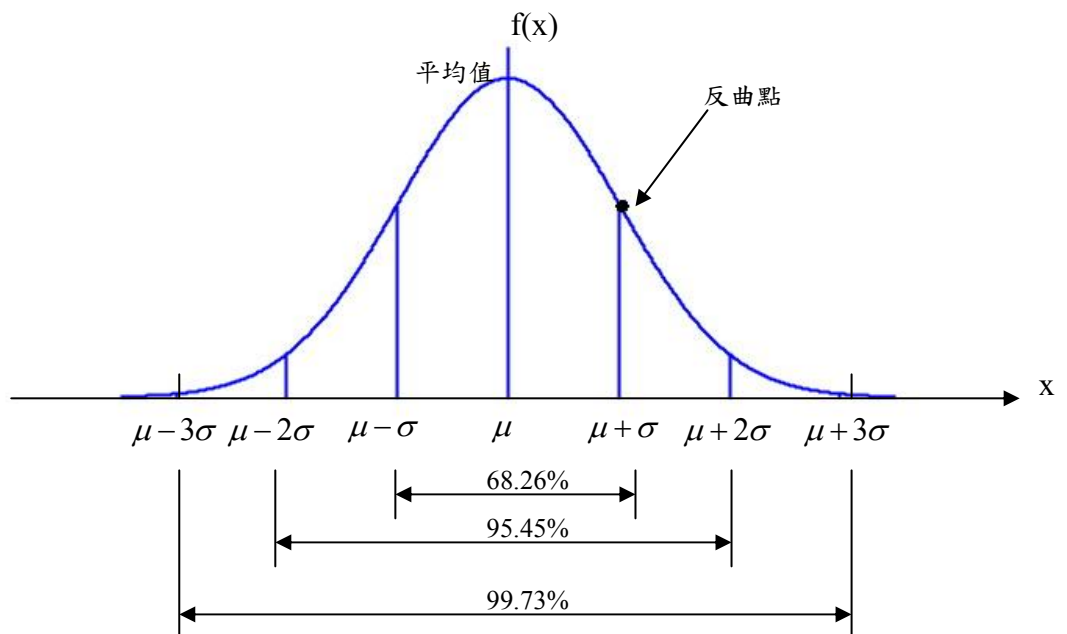


圖 2.2 常態分佈機率密度曲線及重要之機率值

μ 、 σ 不同，代表不同之常態分佈。如果 σ 值相同（等精度量測）， μ 值不同，曲線之形狀相同，只是曲線沿橫軸平移。如果 μ 值相同， σ 值不同，表示曲線形狀不同， σ 小，曲線陡峭， σ 大，表示曲線平坦。一旦 μ 和 σ 確定，常態分佈之曲線即確定了。因此常態分佈常以 $x \sim N(\mu, \sigma)$ 表示，當 $\mu = 0$ ， $\sigma = 1$ 時， $x \sim N(0, 1)$ 稱為標準常態分佈。此常態分佈曲線具有四個特性：

- (1) 單峰性：即曲線為在平均值處為極大值。
- (2) 對稱性： $x - \mu$ 為對稱軸。
- (3) 有一水平的漸近線為橫軸。
- (4) 曲線左右對稱之兩邊處各有一反對稱點，反曲點至曲線對稱軸之水平距離為標準差 σ 。

$$\sigma = \sqrt{\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

σ 定義為量測值之標準誤差或均方根差，或稱標準偏差，簡稱標準差。

2. t-分佈

被量測量 $x_i \sim N(\mu, \sigma)$ ，其 N 次測得之算數平均值 $X \sim N(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{N}})$ ；假

設 N 充分大，則 $\frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{N}} \sim N(0, 1)$ ，若以有限之 N 次量測之標準（偏）

差 S ，代替無窮 N 次量測之標準（偏）差，則 $\frac{X - \mu}{\frac{S}{\sqrt{N}}} \sim t(v)$

上式中， v 為自由度，上式即為 t-分佈之表示式，當 v 趨近 ∞ 時， S 趨於 σ ， $t(v)$ 趨近於 $N(0, 1)$ 。

3. 隨機誤差之區間機率

機率常態分佈曲線下的面積表示全部數據出現的機率之總和，如圖 2.3，它是 u 值從 $+\infty \sim -\infty$ 之積分值，其值為 1。

$$\text{令 } u = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \phi(u) du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 1$$

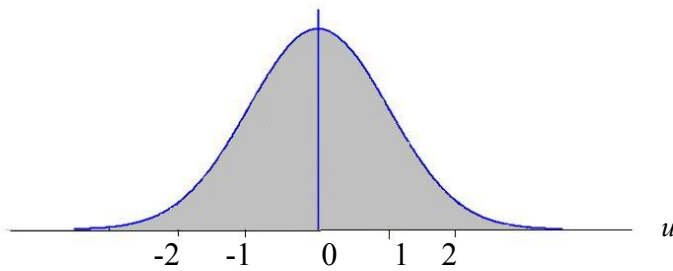


圖 2.3 隨機誤差之區間機率

隨機誤差或量測值在某一區間出現之機率，可取不同之 u 積分求得面積值，例如 $-1 \leq u \leq 1$ ，量測值出現在 $\mu \pm \sigma$ 區間之機率，積分得 68.3%。 $\mu \pm 2\sigma$ 區間之機率為 95.5%。 $\mu \pm 3\sigma$ 區間之機率為 99.7%。

統計中常見之術語如圖 2.4 中之信心水準 (confidence level) 以 p 表示，信賴度以 α 表示。 $\alpha = 1 - p$ ；信心區間以 $[-k\sigma, k\sigma]$ 表示；信賴因子以 k 表示，當分佈不同時， h 值亦不同。

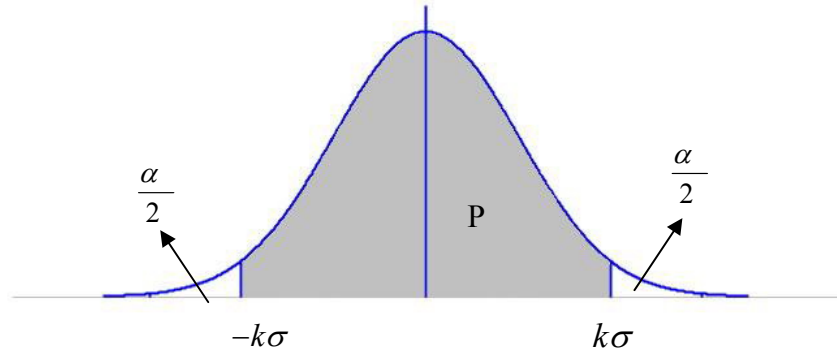


圖 2.4 信心水準

4. 數據處理之常用術語

數據集中趨勢之表示法，以算數平均值 X 或中位數 M 表示。

$$X = \frac{\sum x_i}{n}, \text{ 相對誤差} = \frac{x - \mu}{\mu} \times 100\%。$$

上式中， X 為總體平均值 μ 之最佳估計值，對有限次之測定，測定值向 X 集中，可以證明為 $x \rightarrow \infty, X \rightarrow \mu$ 。將一組測定值按大小順序排列，中位數 M 為位於正中間項之數值。中位數之優點是計算方法簡單。當測定次數較少，數據取捨難以確定時，用中位數較好，但用以表示數據之集中趨勢時則以平均值較好。數據分散程度之表示方法是以平均偏差 d 和標準偏差為主。平均偏差 d 定義為

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|, i = 1, 2, 3, \dots, n。$$

$$\text{相對平均偏差} = \frac{d}{X} \times 100\%$$

標準偏差 S 定義為

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}$$

$$\text{相對標準偏差} = \frac{S}{X} \times 100\%$$

$$\text{當 } n \rightarrow \infty, n-1 \rightarrow \infty, X \rightarrow \mu, \text{ 標準偏差 } S \rightarrow \sigma, \sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - \mu)^2}$$

由於平均偏差 d 在計算中，平均地對待每一個大小不同之偏差，所以以標準偏差 S 較能表示數據之分散性。

5. 量測結果之表達

量測之目的在於求取受測體之真值。而量測結果之量測值只能說是此受測體真值之趨近值，因此，必須賦予量測之「不確定度」，即

$$\text{受測體之量測值} = \text{量測結果 (值)} \pm \text{不確定度, 即 } Y = y \pm U$$

而此不確定度 (uncertainty) 可定義為一與量測結果相關之參數，以表徵合理歸因於受測體之量測值之離散程度。

因此，要比較完整的說明量測結果，應該在量測值外加註一個可能的數值範圍與發生在這個範圍之可能性大小，換言之，量測結果應在量測值上再加上在某個信心水準下，可能發生之數值範圍。例如：上式之 y 為量測值，而 U 為不確定度之數值，此數值可設定為 95% 之信心水準下，則取 2σ 之數值，亦即表示在 95% 之信心水準下，其真值預期會落入此區間內。不確定度與誤差不同之處，在於不確定是可計算的，而誤差，由於真值無法得知，因此，誤差 (= 量測結果 - 真值)，無法計算。

6. 量測不確定度之來源

量測不確定度定義為一個與量測結果相關之參數，以表徵合理歸因於受測量之值之離散程度。量測不確定度隨同一量測結果說明，可合理歸屬於受測量之值分散程度的參數，簡言之，量測不確定度為(1)量測值之分散程度 (2)量測結果之可能誤差 (3)量測結果可能存在之範圍。而以一個標準(偏)誤差表示的量測不確定度，稱為標準不確定度，通常以 u 表示。

量測不確定度之可能來源如下：

- (1) 對被量測之定義不定整(善)，
- (2) 實現被量測之定義之方法不理想，
- (3) 抽(取)樣之代表性不夠，
- (4) 無法掌握量測之環境條件，
- (5) 量測儀器或標準性能不穩定，
- (6) 量測追溯值不準確，
- (7) 儀器解析度，
- (8) 受量測重復觀測之變異，
- (9) 其他。

標準不確定度有兩類評估方法，分別為：

- (1) A 型評估法：為對一系列觀測值進行統計分析來計算標準不確定度之方法。

利用統計方法可根據由觀察所得之頻率分佈計算標準差。

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}$$

然後再計算平均值之標準差 $u(x) = S(X) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}}$

(2) B 型評估法：為對系列觀測值進行統計以外之其他方式來計算標準不確定度的方法，可根據假設之機率密度函數，求出近似變量數 $u^2(x_i)$ 或標準度 $u(x_i)$ 。

當量測的結果是經由一些其他量的值計算而得時，則其標準不確定度稱為組合標準不確定度 (u_c)，組合標準不確定度等於將這些量的變量數或共變數 (covariance)，乘以該量對量測結果影響之加權值後，相加所得總合之正平方根。其所用的組合方法，常稱為不確定度傳播率。而傳播係數又稱為靈敏係數，以 C_i 表示。假設 $u(x_1)$ ， $u(x_2)$ ， $u(x_3)$... 等分別表示被量測量之變異數 (如設備、環境、人為... 等)，其分別獨立，則 $u_c(y)$ 可表示為

$$u_c(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

其中， $C_i = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2$ 為靈敏係數 (或加權值)， $u(x_i)$ 為標準不確定度。

擴充不確定度是確定量測結果區間 (範圍) 之量，擴充不確定度通常被期望能包含大部份合理歸屬於受測量之數值分佈，故又稱為展伸不確定度或範圍不確定度，通常用符號 U 表示，它是將組合標準不確定度擴充 k 倍得到，即 $U = ku_c$ ，此處之 k 稱為擴充係數，一般 $k = 2$ (信賴水準 = 95%)，有時為 3 (信賴水準 = 99.7%)，取決於被量測量之重要性效益和風險。不確定度評估之八個步驟如下：

(1) 決定量測方程式： $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ，

(2) 決定量測值： $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，

(3) 估算每一個量測值之標準不確定度 (A 型或 B 型)： $u(x_i)$ ，

(4) 若量測值相關，估算其共變數，

(5) 由系統方程式計算 y 值，

(6) 決定 y 值之組合標準不確定度 $u_c(y)$ ，

(7) 計算擴充不確定度： $U = ku_c(y)$ ，

(8) 量測結果表示： $y \pm U = y \pm ku_c(y)$ 。

三、土壤物理性質試驗

3.1 實驗 1 土壤含水量測定試驗

3.1.1 試驗目的：

了解實驗室中測定含水量之方法。

3.1.2 參考規範：CNS 5091, ASTM 2216-92, USBR 5300-89, BS1377(1990)

3.1.3 儀器準備：

1. 土樣容器：附有密合蓋並能容納 200 g 試樣之不鏽鋼容器。(容器質料能抗侵蝕，且在反覆加熱，冷去後不改變質量，不脫落。)
2. 電子秤：未滿 200 g 之土樣，使用靈敏度 0.01 g 之電子秤。200 g~1000 g 者，使用靈敏度 0.1 g 之天平。大於 1000 g 者使用靈敏度 1 g 之電子秤，如圖 3.1.1 所示。



圖 3.1.1 電子秤

3. 烘箱：能維持溫度於 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 之烘箱，如圖 3.1.2 所示。



圖 3.1.2 烘箱

4. 乾燥器：透明玻璃質，直徑 25~40 cm，內置乾燥劑，如圖 3.1.3 所示。或電子式乾燥箱。



圖 3.1.3 乾燥器

5. 其他輔助工具：不鏽鋼匙，毛刷，夾皿鉗各一支。

3.1.4 土樣準備：

- a. 依試驗所需選取代表性土樣，如無特殊指定，依 ASTM 建議試樣之最少量規定如下：

最大顆粒粒徑， mm	對應 US 標準篩號	最小試樣量，g	
≤2	≤#10	20	[100~200]*
4.75	#4	100	[300~500]
9.5	3/8"	500	
19.0	3/4"	2500	[500~1000]
37.5	1.5"	1000	[1500~3000]
75	3"	50000	[5000~10000]

※ 註：括號 [] 為 CNS 之建議值。

- b. 尚未進行試驗之試樣應保存在室溫約 3°C 至 30°C 之密閉容器中，避免陽光照射，並儘快進行試驗。
- c. 進行試驗之試樣若小於 200 g，但其包含相對大之粒徑之材料如礫石等，可將此大粒徑之材料取出，再進行試驗。
- d. 若試樣包含完整岩塊，則試樣量至少需 500 g，並需將大塊體儘可能弄成細塊。

3.1.5 試驗步驟：

1. 將土樣容器擦淨，晾乾，連同蓋子秤其質量。
2. 將土樣置入容器，立即蓋上蓋子，秤其質量。
3. 除去蓋子，把容器(內含土樣)置於溫度為 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 烘箱內烘乾 24 小時。
4. 烘達 24 小時後將容器取出，並立即蓋上蓋子，放入乾燥器內冷卻至室溫如圖 3.1.4 所示。冷卻後，秤其質量。



圖 3.1.4 土樣置入乾燥器內

3.1.6 試驗計算及紀錄表格：

1. 計算：以下式計算含水量

$$\omega(\%) = \left[\frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m_c)} \right] \times 100$$

上式中，

ω = 含水量，(%)

m_1 = 容器（包括蓋子）與濕土樣之質量（g）

m_2 = 容器（包括蓋子）與乾土樣之質量（g）

m_c = 容器（包括蓋子）之質量（g）

2. 紀錄表格(參考)

試驗編號			
盛土皿+濕土質量 (g), m_1			
盛土重+乾土質量 (g), m_2			
盛土皿質量 (g), m_c			
水質量 m_w (g)			
乾土質量 m_s (g)			
含水量 $\omega = m_w/m_s$			
平均含水量, $\bar{\omega}$			

註: g = gram = 公克

三、土壤物理性質試驗

3.2 實驗 2 土壤顆粒比重試驗

3.2.1 試驗目的：

使用比重瓶求取烘乾土壤之土粒比重。

3.2.2 參考規範：CNS5090, ASTM D894-92, USBR 5320-89, AASHTO T100, BS1377 (1990)

3.2.3 儀器準備：

1. 比重瓶：容積 100 ml (cc) 以上之燒瓶；或容積 50 ml 以上之有塞瓶子，瓶塞中央穿孔以利空氣與水之排出，如圖一所示。
2. 加熱用具：酒精燈、石棉網、三腳架，如圖 3.2.1 所示。



圖 3.2.1 酒精燈、比重瓶、石棉心網及腳架

3. 電子秤：燒瓶用靈敏度 0.01 g 之天平；有塞瓶子用靈敏度 0.001 g 之天平，如圖 3.2.2 所示。
4. 其他：蒸餾水，手套，溫度計等。



圖 3.2.2 電子秤

3.2.4 土樣準備：

土樣為烘乾土，試驗前先置於溫度為 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱烘烤 12 小時以上，再放入乾燥器內冷卻後，秤其重量（若使用燒瓶，至少 25 g，若使用有塞比重瓶，則至少 10 g）。

3.2.5 試驗步驟：

1. 將重約 W_s 之土樣置入比重瓶內，加入蒸餾水至約 3/4 滿（燒瓶）或約半滿（有塞瓶子）；如果土樣之質量已秤過，注意勿使土樣漏失，如圖 3.2.3 所示將其至於蒸餾水浸泡至少 12 小時。



圖 3.2.3 裝土之比重瓶秤重

2. 去除土壤內之空氣：

將比重瓶煮沸至少 10 分鐘，如圖 3.2.4 所示，並緩慢之旋轉以助除去空氣，煮後冷卻至室溫。



圖 3.2.4 比重瓶煮沸

3. 將比重瓶添滿蒸餾水，以乾淨之乾布擦淨表面，秤其重量如圖 3.2.5 所示，記為 W_b ；量其溫度，記為 T 。



圖 3.2.5 裝水比重瓶秤重

4. 將比重瓶以清水洗淨後，改添滿蒸餾水，以乾淨之乾布擦淨表面後，秤其重量記為 W_a ，如圖 3.2.5 所示。

3.2.6 試驗計算及表格：

1. 計算：以下式計算水再溫度為 T 時之土壤比重

$$G_s(T) = \frac{m_s}{[m_s + (m_a - m_b)]}$$

式內， $G_s(T)$ = 土壤於溫度 $T^{\circ}\text{C}$ 時之比重

m_s = 烘乾土樣之質量 (g)

m_a = 比重瓶內含 $T^{\circ}\text{C}$ 水之質量 (g)

m_b = 比重瓶內含 $T^{\circ}\text{C}$ 水及土樣之質量 (g)

T = 在秤取 W_b 質量時比重瓶內之溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

2. 除非特別指定，以基於 20°C 水之土壤比重為報告值，此值可由在 $T^{\circ}\text{C}$ 求得之 G_s 來換算，換算方法如下式所示：

$$G_s(T^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}) = K \times G_s$$

式內， $K = T^{\circ}\text{C}$ 之水密度與 20°C 水密度之比值，其轉換因數見表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 不同溫度下水密度及轉換因數 K

溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	水密度 (g/cm^3)	轉換因數 (K)
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

表 3.2.2 比重測定紀錄表（烘乾土法）

土樣編號			
試驗時溫度，T °C			
比重瓶質量， m_p ，g			
比重瓶+烘乾土質量， m_3 ，g			
烘乾土質量， $m_d = m_3 - m_p$ ，g			
比重瓶+水之質量， m_a ，g			
比重瓶+水+乾土樣之質量， m_b ，g			
水在溫度 T°C 之密度， ρ_w ，g/cc			
土粒之體積， $V_s = (m_a - m_b + m_d) / \rho_w$ ，cc			
土樣顆粒密度， ρ_s ，g/cc			
土粒在 T°C 下之比重， $G_{s,T} = \rho_s / \rho_w$			
土粒在 20°C 之比重， $G_{s,20} = G_{s,T} * K_{20}$			

註：1 g/cc=1 g/ml=1 g/cm³=1 Mg/m³

三、土壤物理性質試驗

3.3 實驗3 土壤液性限度試驗

3.3.1 試驗目的：

在實驗室內測定土壤之液性限度。

3.3.2 參考規範：CNS 5087, ASTM D4318-93, USBR 5355-89

3.3.3 儀器準備：

1. 蒸發皿：直徑約 115 mm 之瓷蒸發皿或不銹鋼皿，如圖 3.3.1 所示。
2. 軟刀：刀片長約 120 mm，寬約 25 mm 之鋼製軟刀，如圖 3.3.1 所示。



圖 3.3.1 蒸發皿及軟刀

3. 液性限度測定儀：包括一黃銅杯與一硬質橡膠之底座，如圖 3.3.2 所示。
4. V 形劃刀：柄端附有一厚度 1 cm 之量器，如圖 3.3.2 所示。
5. 含水量測定儀器：參見試驗一土壤含水量試驗所規定之含水量測定用具。
6. 其他：如蒸餾水等。



圖 3.3.2 V形劃刀及液性限度儀

3.3.4 土樣準備：取通過#40號標準篩之自然乾燥之土樣約 200 g。

3.3.5 試驗步驟：

1. 調整液性限度儀銅杯落距 1 ± 0.05 cm。
2. 加入少許蒸餾水，將土壤均勻攪拌，置於液性限度試驗儀之杯盤上，土樣之中央高度為 1.3 cm，如圖 3.3.3。



圖 3.3.3 將土壤置入杯盤中

3.以規定尺寸之 V 形劃刀於杯盤中央劃分土樣，成溝槽狀，如圖 3.3.4 所示。



圖 3.3.4 以 V 形劃刀在土樣中央劃過

4. 以 2 轉/秒之速度，搖轉液性限度儀，每一轉銅杯打擊底座一次，直至溝槽兩邊土樣相接 1.3 cm 為止，記錄打擊次數為 N 。(N 值需介在 15~40 之間方為有效，否則需重作)
5. 求含水量 ω 。
6. 重複步驟 2 至 5，至少進行 3 次以上之試驗。
7. 在半對數圖表上繪出 $\omega - \log N$ 之流性曲線，求得 $N=25$ 下之含水量，即為液性限度(LL)。

3.3.6 試驗計算及表格：

1. 繪製流性曲線圖：以土樣含水量 ω 之算數值為縱座標，銅杯落下打擊次數 N 之對數值為橫座標繪圖，所得之曲線即為流性曲線，在曲線上取對應於 25 次之土壤含水量為液性限度，以最接近之整數值表示。
2. 紀錄表格(參考)

試驗編號	1	2	3	4
打擊次數				
盛土皿+濕土重(g)				
盛土皿+乾土重(g)				
水重 W_w (g)				
盛土皿重 (g)				
乾土重 W_s (g)				
含水量 ω (%)				

三、土壤物理性質試驗

3.4 實驗 4 土壤塑性限度試驗

3.4.1 試驗目的：

在實驗室內測定土壤之塑性限度並決定塑性指數。

3.4.2 參考規範: CNS 5088, ASTM D4318-93, USBR 5360-89

3.4.3 儀器準備：

1. 蒸發皿、軟刀、毛玻璃板、金屬桿(直徑約 3 mm)：如圖 3.4.1 所示。



圖 3.4.1 蒸發皿、軟刀、毛玻璃板、金屬桿

2. 含水量測定用具：參見試驗 1 土壤含水量試驗所規定之含水量測定用具。
3. 其他：如溫度計，毛刷等。

3.4.4 土樣準備：

取通過 #40 號標準篩(425 μm)之土樣約 15 g 置於蒸發皿內加蒸餾水徹底拌和，再取其一部份約 8 g 作為試驗土樣。

3.4.5 試驗步驟：

1. 取小塊土樣，搓成橢圓形，隨即放在毛玻璃上，以手掌均勻搓成細圓柱狀，直至柱條直徑為 0.32 ± 0.05 cm 時，恰有龜裂紋路出現（試驗過程不超過 2 分鐘），如圖 3.4.2。



圖 3.4.2 將小塊土樣搓成橢圓形

2. 將龜裂之土條馬上放入容器內，並迅速加蓋，求含水量。
3. 經三次以上試驗，每兩次試驗的含水量相差 2% 以內，才可平均求取其塑性限度，如下式：

$$PL = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{3}$$

3.4.6 試驗計算及表格：

1. 計算：塑性指數(PI) = 液性限度(LL) - 塑性限度(PL)
2. 紀錄表格(參考)

試驗組別	1	2	3
盛土皿+濕土重 (g)			
盛土皿+乾土重 (g)			
水重 W_w (g)			
盛土皿重 (g)			
乾土重 W_w (g)			
含水量 ω_p (%)			

三、土壤物理性質試驗

3.5 實驗 土壤粒徑分析試驗

3.5.1 試驗目的：

使用標準篩與沉降分析法，決定土壤各種顆粒粒徑之土壤重量及通過各個粒徑重量百分比。

3.5.2 參考規範: CNS 11776, ASTM D412

3.5.3 儀器準備：

1. 烘箱：能保持 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之自動示溫裝置，用以烘乾試樣，如圖 5.1 所示。
2. 電子秤：測定通過試驗篩 #10 試樣之質量時，靈敏度須達 0.01g，測定未通過試驗篩 #10 試樣之質量時，其靈敏度須達試樣質量之 0.1%，如圖 3.5.2。



圖 3.5.1 烘箱



圖 3.5.2 電子秤

3. 攪拌器：包括一具用於轉動垂直桿之電動馬達，垂直桿下附可更換之金屬塑膠或硬橡膠製之攪拌翼片，及攪散杯一具，如圖 3.5.3 所示。
4. 比重計：152H 型比重計之刻度從 -5 至 60。校正此比重計時可假設 20°C 之蒸餾水比重為 1.0 及懸浮液中土壤之比重為 2.65，如圖 3.5.4 所示。



圖 3.5.3 攪拌器及其附件



圖 3.5.4 比重計

5. 沉澱用量筒：玻璃圓柱型量筒，標示容積 1000 ml 之刻度位置，如圖 3.5.5 所示。
6. 溫度計：須能準確至 0.5°C ，如圖 3.5.5 所示。
7. 燒杯：容量為 250 ml，如圖 3.5.5 所示。
8. 擴散劑：以蒸餾水為溶劑之六磷酸鈉溶液，濃度為 40g/l ，如圖 3.5.5 所示。



圖 3.5.5 量筒、溫度計、燒杯及擴散劑

9. 試驗篩：須符合 CNS 386 試驗篩之規定。一套完整之試驗篩，包括下列各尺寸之篩號，75 mm 篩、50 mm 篩~37.5 篩、25 mm 篩、19 mm 篩、9.5 mm 篩、2.0 mm 篩，#4 號篩、#10 號篩、#20 號篩、#30 號篩、#40 號篩、#100 號篩、#200 號篩、底盤及頂蓋，如圖 3.5.6。
10. 搖篩機：如圖 3.5.7 所示。



圖 3.5.6 標準試驗篩



圖 3.5.7 搖篩機

11. 鋼刷及毛刷
12. 搗碎白及棒
13. 計時器
14. 其他：如溫度計、蒸發皿、鋼匙、手套、金屬鉗等。

3.5.4 試樣準備：

從攪拌均勻之烘乾土樣中，用分樣器或以四分法分出，以試驗篩 #10，將試樣分成未過篩及過篩兩部分。

3.5.5 試驗步驟：

1. 未通過試驗篩 2.0mm 之試樣，採用篩分析法。
 - (1) 篩分析時，可採用一套試驗篩，包括 75 mm、50 mm、37.5 mm、25 mm、

19 mm、9.5 mm 及 2.0 mm 等。

- (2) 依第(1)項之規定所採用之各種試驗篩，將試樣分成各種不同粒徑，當採用搖篩機時至少搖篩 10 分鐘，最後應測試材料是否充分過篩，如圖 3.5.8 所示。



圖 3.5.8 各種過篩之試驗篩

- (3) 將停留於各試驗篩之材料以電子秤稱其質量，其總量必須等於過篩前質量。

2. 取通過 2.0 mm 試驗篩之試樣 50 g，採用比重計及篩分析，如圖 3.5.9 所示。



圖 3.5.9 取通過 2.0 mm 試驗篩之試樣 50 g

將試樣置於 250 ml 之燒杯內，再倒入 125ml 擴散劑溶液，充份攪拌調勻之，然後靜置浸泡至少 16 小時。

3. 比重計分析

- (1) 將攪拌完畢的土漿，倒入 1000 ml 量筒內，並加蒸餾水，直到量筒內液體達 1000 ml 為止。
- (2) 用保鮮膜蓋住量筒之開口將量筒倒置立即回正，反覆擾動速度約每分鐘 60 次，共擾動一分鐘，如圖 3.5.10。



圖 3.5.10 搖動土水液

- (3) 激擾一分鐘後，迅速放置於平桌上，立刻記錄時間，同時將比重計緩慢放入量筒內，如圖 3.5.11 所示，沉澱開始後，在 0.25、0.5、1、2、5、15、30、60、250、1440 分鐘時，讀取比重計讀數。
- (4) 在每次比重計經讀數後，立即插入溫度計，量測溶液之溫度，如圖 3.5.12 所示。



圖 3.5.11 靜置 1000 ml 量筒



圖 3.5.12 讀取量筒比重計刻度

4. 篩分析

- (1) 在比重計分析後，將懸浮液倒入#200試驗篩內以水沖洗，直至沖洗水洗淨#200篩以下為止，如圖3.5.13所示，將篩中試樣置於烘箱內烘乾，以便進行篩分析。
- (2) 將烘乾之土倒入篩組中，篩組由上至下依序為#4、#10、#20、#60、#100、#140、#200號篩，上下加頂蓋及底盤。
- (3) 將篩組置於搖篩機中搖盪約10分鐘，以刷子清出各篩中之土，分別衡其停留在各篩中之質量。



圖 3.5.13 #200 試驗篩內以水沖洗

3.5.6 試驗計算及表格：

1. 計算

(1) 比重計分析：(應用表 3.5.1)

(a) 留於懸浮液中土壤所含之百分數：

$$P = (R * a / md) * 100\%$$

式中：P = 懸留百分比(%)

R = 懸浮液之修正讀數=r-r1

a = 修正因子(表 5.3)

md = 乾土質量(gm)

(b) 粒徑計算：

$$D = K\sqrt{L/T}$$

式中：

D = 粒徑(mm)

K = 溫度及比重之修正係數 (表 5.4)

L = 有效深度(cm) (表 5.5)

T = 歷時(min)

(2) 篩分析之計算：(應用表 3.5.2)

累積留篩百分率 = 所有較粗篩號的個別留篩百分率之和

累積過篩百分率 = 100% - 累積留篩百分率

表 3.5.1 比重計分析計算表

土粒比重：_____ 乾土質量：_____ (g)

時間	歷時 min	r	r ₁	溫度 °C	R = r - r ₁	L cm	D mm	P %	K
	0								
	1/4								
	1/2								
	1								
	2								
	5								
	15								
	30								
	60								
	120								
	150								
	250								
	1440								

$$P = R \cdot a / m_d \times 100\%, D = K \sqrt{L/T}, a = \underline{\hspace{2cm}}$$

表 3.5.2 篩分析計算表

篩號	篩孔徑 mm	個別留篩質 量, g	留篩百分率%		累積過篩百分率 %
			個別	累積	
4	4.76				
10	2.00				
20	0.84				
40	0.42				
60	0.25				
100	0.149				
140	0.105				
200	0.074				
底盤	--				

表 3.5.3 顆粒分析試驗修正因子 a

顆粒分析試驗：修正因子 a

比重	修正因子*
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

*使用比重計 152H 下，土壤顆粒懸浮於懸浮液之公式所用的百分數

表 3.5.4 不同比重及溫度下之 K 值

溫度 °C	土粒比重								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01272	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01258	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01244	0.01244	0.01255	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01230	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01217	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

表 3.5.5 比重實際讀數 vs 有效深度

比重實際讀數	有效深度 H(cm)	比重實際讀數	有效深度 H(cm)
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.6
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

三、土壤物理性質試驗

3.6 實驗 6 相對密度試驗

3.6.1 試驗目的：

以垂直振動台測定無凝聚性土壤之絕對最大乾密度與最小乾密度。

3.6.2 參考規範：ASTM D4253-91, ASTM D4254-91, USBR5525-89, USBR5530-89, B51377(1990)

3.6.3 儀器準備

1. 標準試模(如圖 3.6.1)
2. 套筒
3. 超載重基板
4. 超載重 (如圖 3.6.2)



圖 3.6.1 標準試模

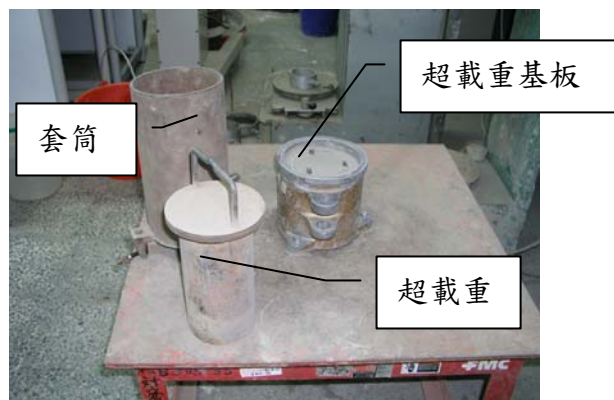


圖 3.6.2 超載重塊體

5. 測微計(如圖 3.6.3)，此裝置用於量測試模的高度變化，測微計需有 2in(50mm)或者較大的量測範圍，且以 0.001 in(0.025 mm)的變化量表示。

6. 天平 7. 烘箱 8. 篩子 9. 刻度尺

10. 其他設備：拌合盤，金屬勺子，毛刷，計時器等。

11. 振動台：規格依規範所定(如圖 3.6.4)。

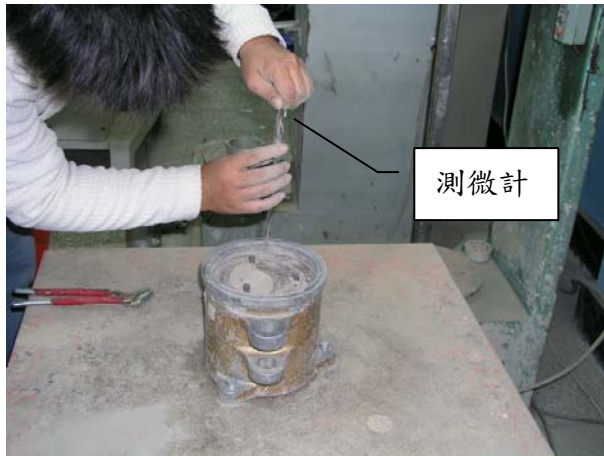


圖 3.6.3 測微計



圖 3.6.4 振動台

3.6.4 試樣準備：

若試驗之標準試模將用 0.1 ft^3 ，則需取得乾土試樣約 11 kg 。不同尺寸之試模 $V_m(\text{cm}^3)$ 時，選取之試樣不得小於 $0.0024V_m (\text{kg})$ 之質量。試驗前需以 $110^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ 之烘箱烘乾土樣。

3.6.5 試驗步驟：

A. 求取土壤最疏鬆狀態之乾土單位重(γ_{dmin})

1. 土樣烘乾、打散、過篩、扮勻、稱重 W_s (如圖 3.6.5)。
2. 選擇試模並稱重為 W_c (如圖 3.6.6)，量出體積為 V_c 。



圖 3.6.5 烘乾土樣



圖 3.6.6 試模稱重

3. 以漏斗放置試料，試料放入漏斗中至滿(漏斗容積需大於試模容積)。提起漏斗握把(使試料不落下)(如圖 3.6.7)，將漏斗口放入試模內，輕輕均勻將試樣澆置新試模內(如圖 3.6.8)。(澆置時漏口儘量貼近土樣)



圖 3.6.7 試料放入漏斗中



圖 3.6.8 試樣澆置新試模內

4. 當試料澆置試模內超出模頂時(如圖 3.6.9)，移開漏斗。以直尺刮去(>)試模頂端多於試料(如圖 3.6.10)。

5. 稱試模(含試樣)重 $W_s + W_c$ ，如圖 3.6.11，計算 $\gamma_{d \min} = \frac{W_s}{V_c}$ 。



圖 3.6.9 試料澆置試模內超出模頂



圖 3.6.10 直尺刮平



圖 3.6.11 稱試模(含試樣)重

試驗兩次以上，且 $\left| \frac{\gamma_{d1} - \gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} \right| \leq \frac{1}{100}$ ，否則重返步驟 1。

$\gamma_{d \min}$ 試驗完成，得 $\gamma_{d \min} = \frac{\gamma_{d1} + \gamma_{d2}}{2}$ 。

B. 求土壤最緊密狀態之乾土單位重 ($\gamma_{d \max}$)。

6. 將 A 部分裝滿土樣之試模放置於振動桌上並以螺絲固定。
7. 以測微尺量超載重基板厚度(如圖 3.6.12)，並放入試模土樣上(如圖 3.6.13)。
8. 裝上套筒並固定(如圖 3.6.14)，將超載重(超載重為 $2 \pm 0.2 \text{ lb/in}^2$) 放在套筒內(如圖 3.6.15)。



圖 3.6.12 量超載重基板厚度



圖 3.6.13 基板厚放入試模土樣



圖 3.6.14 裝上套筒並固定



圖 3.6.15 超載重放在套筒內

9. 設置振動桌之振幅、頻率、持續時間，並啟動振動桌振動約 8 分鐘(如圖 3.6.16)。
10. 關掉振動桌電源，移去除超載重、套筒，以測微計量試模至超載重基板上之深度(如圖 3.6.17)，換算土樣之體積 V 。



圖 3.6.16 啟動振動桌振動



圖 3.6.17 量試模至超載重基板之深度

11. 從振動桌取下試模(含土樣)稱重，求得共乾土重 W_s ，計算 $\gamma_{d\max} = \frac{W_s}{V}$ 。

試驗兩次以上，且 $\left| \frac{\gamma_{d1} - \gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} \right| \leq \frac{2}{100}$ ，否則重返步驟 6。

3.6.6 試驗計算及表格：

1. 計算：

(1) 最小乾土單位重， $\gamma_{d\min}$

$$r_{d\min} = \frac{\text{最疏鬆時之乾土重 } W_s}{\text{土壤體積 } V}$$

(2) 最大乾土單位重， $\gamma_{d\max}$

$$r_{d\max} = \frac{\text{最緊密時之乾土重 } W_s}{\text{土壤體積 } V}$$

(3) 相對密度 $D_r, \%$

$$D_r = \frac{r_{d\max}(r_d - r_{d\min})}{r_d(r_{d\max} - r_{d\min})} \times 100\% , \text{ 上式中, } r_d \text{ 為土壤之乾土單位重。}$$

2. 紀錄表格：

表 3.6.1 $\gamma_{d \min}$ 試驗紀錄表

試驗編號			
試模重, W_c , g			
試模內徑, d_i , cm			
試模內高度, H_i , cm			
試模體積 V_c , cm^3			
試模+乾鬆砂, W_s+W_c , g			
乾砂土重, W_s , g			
$\gamma_{d \min} = W_s/V_c$, g/cm^3			
$(r_{d1} - r_{d2})/r_{d1}$			

表 3.6.2 $\gamma_{d \max}$ 試驗紀錄表

試驗編號			
試模重, W_c , g			
試模體積, V_c , cm^3			
超載重基板厚, H_p , cm			
超載重基板重, W_p , g			
超載重壓力, psi			
振動時間, min			
試模頂至模內基板頂深度 H_s , cm			
試模內土樣高度 $H_0 = H_i - H_p - H_s$, cm			
試模內土樣體積 $V = \frac{1}{4}(\pi d_i^2)H_0$, cm^3			
試模+乾土樣重+基板重, $W_s + W_c + W_p$, g			
乾土重 W_s , g			
$\gamma_{d \max} = W_s/V$, g/cm^3			
$(r_{d1} - r_{d2})/r_{d1}$			

四、土壤工程品質管控試驗

4.1 實驗 1 土壤標準夯實試驗

4.1.1 試驗目的：

應用標準普羅克達(Proctor)試驗，了解乾土重與含水量之關係，並藉以求得土壤之最大乾土單位重和最佳含水量。

4.1.2 參考規範: CNS 11777(A3252), ASTM D1557-91

4.1.3 儀器準備：

1. 金屬模具：模具內徑 101.6 mm (4 英吋)，高 11.6 cm (4.58 英吋)，容量為 $944 \pm 11 \text{ cm}^3$ ，如圖 4.1.1 所示為模具及底鈹。



圖 4.1.1 模具及底鈹

2. 夯土機：可為電動(如圖 4.1.2)或手動。手動夯錘：直徑 5.1 cm (2 in)，質量 2.5 kg (5.5 lb) (如圖 4.1.3)，錘附外套管以控制 30.5 cm (12 in) 之落距。



圖 4.1.2 電動夯土機



圖 4.1.3 手動夯錘

3. 頂土器(如圖 4.1.4)



圖 4.1.4 頂土器

4. 磅秤或電子秤：至少能秤量 1.2kg，靈敏度 $\pm 5g$ 及秤量至少 10g，靈敏度 0.1g 之磅秤各一。
5. 烘箱
6. 直尺及測微尺
7. 試驗篩組：依試驗篩 75 mm，4.75 mm 及 19 mm CNS 386 之規定者。
8. 調土工具：包括攪拌鍋，大匙、抹子、刮刀等。
9. 含水量測定試驗儀
10. 其他：毛刷、手套等

4.1.4 試樣準備：

以 4 分法取過 4 號標準篩之風乾土樣至少 11kg 以上，可調成不同含水量之 4 份以上之土樣。

4.1.5 試驗步驟：

1. 將準備好之各份至少 4 個以上之試樣以噴水器噴水，使其含水量相差約 1.5%，將土樣調拌均勻，所選擇之各含水量，以能涵蓋最佳含水量為準。
2. 將金屬模(含底鈹，但不含延伸環)秤重後，在放置於地板，並裝上延伸環。
3. 將拌勻之後土樣分成高度大致相等的三層分別夯實，每層以夯錘夯打

25次，逐層修正裝土高度。所裝填之土樣數量應使得第三層土壤夯實後稍為高於模具之頂部，但不得超過6mm。

4. 夯實完成後，除去延伸環，使用直尺小心地將試樣刮平，使與模具頂部同高，並稱其質量。將夯實後試樣與模具之總質量減去模具之質量，除以模具之體積，其結果即為濕密度， γ_m ，單位為 kg/m^3 。
5. 以頂土器頂出試樣，並求取此試樣之含水量。
重複步驟2至5，直至每一個準備好之試樣均完成夯實試驗為止。

4.1.6 試驗計算及表格：

1. 含水量及乾密度之計算方法如下：

$$\omega = [(A - B) / (B - C)] \times 100$$

$$\rho_d = [\rho_m / (\omega + 100)] \times 100$$

ω = 夯實試樣之含水量 (%)

A = 濕土與夯實模具質量之和

B = 烘乾土與夯實模具質量之和

C = 夯實模具質量

ρ_d = 夯實後之乾土密度，單位為 kg/m^3

ρ_m = 夯實後之濕土密度，單位為 kg/m^3

2. 繪圖：繪製乾密度與含水量關係圖(縱軸：乾密度，橫軸：含水量)
完全飽和曲線(零空氣孔隙曲線)：表示孔隙完全被水填滿時之乾密度與含水量之關係，可利用下式算出其乾密度與對應含水量之關係：

$$\omega (\%) = [(1 - \rho_d) - (1 - G_s)] \times 100$$

ω = 完全飽和後之含水量 (%)

ρ_d = 乾密度，單位為 kg/m^3

G_s = 試樣之土壤比重

3. 最佳含水量：

ω_0 ：為圖中所得之曲線頂點對應之含水量，稱為最佳含水量。

4. 最大乾密度：

$\gamma_{d\max}$ ：在最佳含水量對應之乾密度，單位為 kg/m^3

5. 紀錄表格：

表 4.1.1 夯實試驗紀錄表格

層裝數：_____ 夯擊次數：_____

模具容積：_____ cm^3 夯擊高度：_____ cm

錘質量：_____ kg 土樣比重：_____

夯實試驗：

試驗編號	1	2	3	4	5
模具體積, cm^3					
模具質量, g					
(模具+濕土)質量, g					
濕土質量, m_m, g					
濕密度, $\rho_m, \text{g}/\text{cm}^3$					
含水量, $\omega, \%$					
乾密度, $\rho_d, \text{g}/\text{cm}^3$					
空隙比, e					
空隙率, $n, \%$					

表 4.1.2 含水量紀錄表格

含水量 ω ：

試驗編號	1	2	3	4	5
(濕土+皿)質量, g					
(乾土+皿)質量, g					
皿質量, W_c, g					
乾土質量, W_s, g					
水質量, W_w, g					
含水量, $\omega, \%$					

四、土壤工程品質管控試驗

4.2 實驗 8 工地密度試驗

4.2.1 試驗目的：

瞭解如何測定工地填土壓實後之現地土壤之乾密度。

4.2.2 參考規範: CNS 14733(A3388), ASTM D1556-90

4.2.3 試驗儀器：

1. 砂錐儀(含底盤)：包括一只約 4L 容積瓶及其他可拆裝配件，含開口直徑約為 12.7 mm 之圓筒狀閘門及大、小漏斗，如圖 4.2.1 所示。本砂錐儀充滿砂時可量測約 2830 cm^3 體積之試驗洞。
2. 標準砂：如圖 4.2.2，任何潔淨、乾燥、可自由流動而不黏結成塊之堅硬砂，通過 0.075 mm CNS 386 試驗篩或停留於 2.00 mm CNS 386 試驗篩上之含量甚少。多次容積密度試驗結果與平均值之差異不得大於 1%。



圖 4.2.1 砂錐儀



圖 4.2.2 標準砂

3. 校準容器：已知容積(V_c)之堅固圓筒狀容器，其尺度約為所挖掘之最大試驗洞。
4. 磅秤。
5. 盛土容器：工地可用塑膠袋(有封口需防水分散失)。
6. 挖土工具：鐵搥、鑿子、不鏽鋼匙及小鏟子。
7. 含水量試驗儀器一組
8. 其他：毛刷、測微尺、直尺、帆布袋或其他適用容器、紀錄簿等。

4.2.4 試驗步驟：

I. 砂錐錐頭平均含砂質量 $m_{d,avg}$ 之求法：

1. 將標準砂充填入砂錐儀，秤量並紀錄砂錐儀加標準砂之質量(m_1)。
2. 安放底盤於乾淨之平面上，倒置充滿標準砂之砂錐儀，打開閥門，使標準砂自由流下，直到標準砂停止流動。
3. 迅速關閉閥門，秤量砂錐儀加剩餘標準砂之質量 (m_2)，由步驟 1 之質量 (m_1) 扣除 (m_2) 後，即可求得充滿砂錐儀砂錐錐頭含底盤之標準砂質量 m_d ($m_d = m_1 - m_2$)。
4. 重複步驟 1 至 3 至少三次，其誤差 3~5g 以內，取平均值，得 m_d 。

II. 標準砂總體密度 ρ_c 之求法：

1. 以尺量校準容器之內徑及高度數次，求校準容器之平均體積 V_c 。
2. 重新稱取砂錐儀加標準砂之質量 (m_3)。
3. 將底盤放在校準容器上，倒置砂錐儀使砂錐斗嵌合於底盤之凹槽中。打開閥門直到標準砂停止流動。迅速關閉閥門，量測砂錐儀加剩餘標準砂之質量(m_4)，即可得標準砂統體密度 $\rho_c = \frac{(m_3 - m_4 - m_d)}{V_c}$

III. 工地密度試驗：

1. 充填標準砂入砂錐儀，測定砂錐儀加標準砂之質量(m_5)。
2. 將地面整理平整，將砂錐底盤以鐵釘固定在地表上，如圖 4.2.3 所示。



圖 4.2.3 砂錐底盤以鐵釘固定在地表

3. 挖取底盤開孔內之土樣，如圖 4.2.4，挖取時須小心避免擾動洞壁旁之土壤。將挖掘出之土樣放入容器內，如圖 4.2.5，避免任何漏失，挖掘過程中亦應避免土樣含水量之散失。秤挖出之土樣重量 m_m ，並取約 200 ~ 300g，求其含水量 ω 。



圖 4.2.4 挖取底盤開孔內之土樣



圖 4.2.5 將挖掘出之土樣放入容器內

4. 將砂錐儀置放在底盤上，打開閥門，如圖 4.2.6，並在標準砂停止流動後，關閉閥門。

5. 秤量，如圖 4.2.7，並記錄砂錐儀加剩餘標準砂之質量(m_6)。



圖 4.2.6 將砂錐儀置放在底盤上



圖 4.2.7 秤砂錐儀剩餘標準砂重

6. 回收乾淨不受土壤污染之標準砂。

4.2.5 試驗計算及表格：

1. 計算試驗孔之體積(V_H)：

$$V_H = \frac{(m_5 - m_6 - m_{d,avg})}{\rho_c}$$

式中， V_H ：試驗孔之體積， cm^3

m_5 ：砂錐儀加標準砂之最初質量，g。

m_6 ：砂錐儀加剩餘標準砂之質量，g。

m_d ：錐體修正質量(及充填砂錐漏斗含底盤之標準砂質量)，g。

ρ_c ：標準砂之容積密度，g/cm³

計算試驗孔體積準確至 1 cm³。

2. 計算土樣之乾質量：

$$m_d = \frac{m_5}{1 + \frac{w}{100}}$$

式中， m_d ：試驗孔中挖出試樣之乾土質量，g。

m_5 ：試驗孔中挖出試樣之濕土質量，g。

w ：依步驟 III-3 求得代表性試樣之含水量，%。

計算試樣乾土質量準確至 1g。

3. 計算試驗孔中挖出試樣之工地乾密度：

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_H}$$

式中， ρ_d ：試驗孔中挖出試樣之工地乾密度，g/cm³。

m_d ：試驗孔中挖出試樣之乾質量，g。

V_H ：試驗孔之體積，cm³。

計算工地乾密度準確至 1 kg/m³。

4. 紀錄表格：

表 4.2.1 砂錐試驗表

砂錐平均含砂質量 $m_{d,avg}$:

試驗次數	1	2	3	4
(滿砂+砂錐儀)質量, m_1 , g				
(滿砂+砂錐儀-砂錐含砂)質量, m_2 , g				
砂錐含砂質量, $m_d = m_1 - m_2$, g				
砂錐平均含砂質量, $m_{d,avg}$, g				

表 4.2.2 試驗砂統體密度表

試驗砂統體密度 ρ_c :

試驗次數		1	2	3	4	
校準容積	試驗法	校準容器內徑 D, cm				
		校準容器內高 H, cm				
		校準容積 $V_0 = (\pi/4)D^2H$, cm^3				
		平均校準容積 $V_{0,avg}$				
試驗砂密度	(滿砂+砂錐儀)質量 m_3 , g					
	(滿砂+砂錐儀)質量- (試模+砂錐之含砂)質量 m_4 , g					
	試模內試驗砂錐質量 $m_c = m_3 - m_4 - m_{d,avg}$, g					
	試驗砂密度 $\rho_c = m_c / V_{0,avg}$, g/cm^3					
	試驗砂平均密度 $\rho_{c,avg}$, g/cm^3					

表 4.2.3 工地密度

試驗次數		1	2	3
工 地 濕 密 度 含 水 量	孔內濕土質量 m_m, g			
	(滿砂+砂錐儀)質量, m_5, g			
	(滿砂+砂錐儀)質量- (砂錐含砂+孔)質量 m_6, g			
	孔內含砂質量 $m_7 = m_5 - m_6 - m_{d,avg}, g$			
	孔內體積 $V = m_7 / \rho_c, cm^3$			
	工地濕土密度 $\rho_m = m_m / V, g/cm^3$			
	平均工地濕土密度 $\rho_{m,avg}, g/cm^3$			
	(濕土+器皿)質量 m_8, g			
	(烘乾土+器皿)質量 m_9, g			
	器皿質量 m_{10}, g			
	水質量 $m_w = m_8 - m_9, g$			
	乾土質量 $m_s = m_9 - m_{10}, g$			
	含水量 $\omega = m_w / m_s, \%$			
	工地乾密度 $\rho_d = \rho_m / (1 + \omega), g/cm^3$			
平均工地乾密度 $\rho_{d,avg}, g/cm^3$				
工地密度百分比 $P = (\rho_{d,avg} / \rho_{d,max}) \times 100\%, \%$				

五、土壤滲透性試驗

5.1 實驗 9 定水頭滲透試驗

5.1.1 試驗目的：

應用達西定理，求取粗粒土壤之滲透性係數。

5.1.2 參考規範：ASTM D2434-68

5.1.3 儀器準備：

1. 定水頭透水試驗儀：包括 1 m 長的兩根玻璃管、定水頭水庫、控制閥組，如圖 5.1.1 所示。



圖 5.1.1 定水頭透水試驗儀

2. 定水頭透水試驗室，如圖 5.1.2 所示。
3. 真空抽氣機。
4. 烘箱。
5. 電子天秤。
6. 溫度計。
7. 游標尺。
8. 橡皮槌。
9. 乾燥器。
10. 除氣蒸餾水。

11. 其他：毛刷、凡士林油等。



圖 5.1.2 定水頭透水試驗室

5.1.4 試樣準備：

取砂性土樣約 500 克。

5.1.5 試驗準備工作：

1. 測定豎立玻璃管及定水頭透水試驗室內徑，並量測定水頭透水試驗室、橡皮蓋、彈簧、細網之總重量。
2. 將土樣分層裝入定水頭透水試驗室內，每層均需輕輕地擊實，而每層之接觸面以軟刀加以輕劃幾次，加以擾動。如土樣為原狀土樣時，以修整器或其他方法修整後，放入滲透試驗管內。
3. 定水頭透水試驗室內置放細網、彈簧及橡皮蓋後，稱其重量，與上述 1 重量之差值為濕土重。
4. 將定水頭透水試驗室接於定水頭式滲透試驗儀後，以真空抽氣機抽出土樣內之空氣，進而旋開定水頭透水試驗室下端活栓，使除氣水進入土樣內，直至土樣到達飽和情況為止。

5.1.6 試驗步驟：

1. 量測試體長度 L 。
2. 定水頭水庫加滿水，打開控制閥組，讓除氣水流入定水頭透水試驗室內，待土壤之滲流穩定時，以量筒承接土壤之滲流水，量水頭差 h ，並紀錄某段時段內之水質量；同種水頭至少量 2 次，求其平均滲流量。

3. 取 3 種不同水頭差，重覆上述試驗。

5.1.7 試驗計算及表格：

1. 計算

土壤滲透係數 k ，可以下式計算：

$$k = \frac{qL}{hA}$$

其中，

q = 某時段之滲流量 (cm^3/sec)

L = 水頭量測管間之試體長度 (cm)

h = 水頭差高度 (cm)

A = 試體之截面積 (cm^2)

2. 表格

表 5.1.1 水之粘滯係數 μ_r 表

水之粘滯係數 μ_r 表

溫度 °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.29	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

單位換算: $1 \text{ dyne-sec}/\text{cm}^2 = 1 \text{ poise}$, $1 \text{ g-sec}/\text{cm}^2 = 980.7 \text{ poises}$,

$1 \text{ pound-sec}/\text{ft}^2 = 478.69 \text{ poises}$, $1 \text{ poise} = 1000 \text{ millipoises}$

表 5.1.2 定水頭滲透試驗表

溫度：_____°C

試體直徑 = _____(cm)

試體面積 A = _____(cm²)

水壓計接頭距離 L = _____(cm)

滲透係數 $k = \frac{qL}{hA}$ (cm/sec)

滲透係數 $k_{20^{\circ}C} = k_T \left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}} \right)$

滲透係數 $k_{20^{\circ}C} = \underline{\hspace{2cm}}$ cm/sec

高水頭 H_1 cm	低水頭 H_2 cm	水壓計水位差 $h = H_1 - H_2$ cm	時間 t sec	體積 V cm ³	流量 q cm ³ /sec	滲透係數 k cm/sec	滲透係數 $k_{20^{\circ}C}$ cm/sec
						平均值	

五、土壤滲透性試驗

5.2 實驗 10 變水頭滲透試驗

5.2.1 試驗目的：

應用達西定理，求取細粒土壤之滲透性係數。

5.2.2 參考規範: CNS 5087

5.2.3 儀器準備：

1. 變水頭透水試驗儀：包括 1 m 長的兩根玻璃管、水槽、控制閥組，如圖 5.2.1 所示。



圖 5.2.1 變水頭透水試驗儀

2. 變水頭透水試驗室(圖 5.2.2)。
3. 真空抽氣機。
4. 烘箱。
5. 電子天秤。

6. 溫度計。
7. 直尺及測微尺。
8. 橡皮槌。
9. 乾燥器。
10. 除氣蒸餾水。
11. 其他：毛刷、凡士林油等。



圖 5.2.2 變水頭透水試驗室

5.2.4 土樣準備：

準備細粒土壤約 500 克。

5.2.5 試驗準備工作：

1. 測定變水頭透水試驗室內徑、高度及總重量。
2. 將土樣分層裝入變水頭透水試驗室內，每層均須輕輕地擊實，而每層之接觸面以軟刀加以輕劃幾次，加以擾動。如土樣為原狀土樣時，以修整器或其他方法修整後，放入變水頭透水試驗室內量其總重量，與上述 1 項重量之差值為濕土重。
3. 將變水頭透水試驗室接於變水頭式滲透試驗儀後，再置入定水頭水桶中，以真空抽氣機抽出土樣內之空氣，繼而旋開變水頭透水試驗室下端活栓，使除氣水進入土樣內，直至土樣到達飽和情況為止。

5.2.6 試驗步驟：

1. 以溫度計測定管中之水溫。
2. 於豎立玻璃管刻度上選定 h_0 及 h_2 兩點，中間再取 $h_1 = \sqrt{h_0 h_2}$ ，另作記號。
3. 旋開豎立玻璃管之活栓，當水頭經 h_0 處開始記讀時間，而分別記讀經 h_1 及 h_2 處所需時間。
4. 比較自 h_0 至 h_1 及 h_1 至 h_2 所需時間，其時間相差宜在 2% 或 3% 之內。紀錄所量質量及時間於紀錄紙上。
5. 選定 3 種不同起點水頭 h_0 ，重覆上述實驗。

5.2.7 試驗及表格：

1. 依下式計算溫度 $T^\circ C$ 時之滲透性係數：

$$k = \frac{al}{At} \ln\left[\frac{h_0}{h_2}\right]$$

2. 依下式計算溫度 $20^\circ C$ 時之滲透性係數：

$$k_{20^\circ C} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ C}}$$

表 5.2.1 變水頭滲透試驗表

溫度：_____°C

試體直徑=_____ (cm)

試體高度 l=_____ (cm)

試體面積 A=_____ (cm²)

細管直徑 =_____ (mm)

細管截面積 a=_____ (cm²)

起始水頭高 h_0 =_____ (cm)

最終水頭高 h_2 =_____ (cm)

時間 t _____ (sec)

$$\text{滲透係數 } k = \frac{al}{At} \ln\left[\frac{h_0}{h_2}\right] \text{ (cm/sec)}$$

起始水頭高 h_0 cm	中間水頭高 h_1 cm	最終水頭高 h_2 cm	時間 t sec	滲透係數 k cm/sec	滲透係數 $k_{20^\circ C}$ cm/sec
平均值					

六、土壤壓密試驗

6. 實驗 11 單向度壓密試驗

6.1 試驗目的：

應用飽和細粒土壤在側向束制下，承受垂直載重所產生孔隙比變化，決定土壤壓縮性指數與前期最大壓密應力等參數。

6.2 依據規範：CNS 12239，ASTM D2435-90

6.3 儀器準備：

1. 加壓設備：需能對試體做垂直加壓之適當裝置，此設備需長時間維持誤差不超過 $\pm 0.5\%$ 的指定垂直載重，如圖 6.1 所示，壓力是由靜載重經由槓桿原理作用至試體。



圖 6.1 土壤壓密試驗儀

2. 壓密盒：此設備包含：

- (1) 壓密環一個，內徑大於 5 cm，環之徑高比需大於 2.5 以上，一端鋒利，用以取試體用。
- (2) 透水石二塊，底石大於壓密環直徑，頂環約略小於壓密環直徑，試驗

前需先煮沸，排除石內氣泡。

- (3) 濾紙 2 張。
- (4) 壓密室：用以固定壓密環及試體。
- (5) 承壓頂蓋一個，用以傳遞垂直載重。



圖 6.2 壓密盒及配件

3. 修土器或柱體切割器：應能修整或切割試體，過程中應將擾動程度減至最小。
4. 電子秤：其靈敏度應至 0.1 g 或是試體質量之 0.1%，如圖 6.3 所示。



圖 6.3 電子秤

5. 烘箱：需能維持 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 之恆溫，如圖 6.4 所示。



圖 6.4 烘箱

6. 測微計：測量試體厚度之變化，靈敏度為 0.0025 mm，如圖 6.5 所示。



圖 6.5 測微計

7. 含水量測定儀：依 CNS 5091[實驗室土壤含水量測定法]之規定。
8. 碼表 1 只
9. 其他設備：如游標尺、溫度計、取土工具。包括抹刀、小刀、鋼絲鋸等工具，以修整試體。

6.4 土樣準備:

試體取得可使用之重模土樣或薄管取樣，薄管取樣之方法如下：

- (1) 將試體由薄管頂出，並將壓密環置於頂土器之薄管土樣上，如圖 6.6 所示。

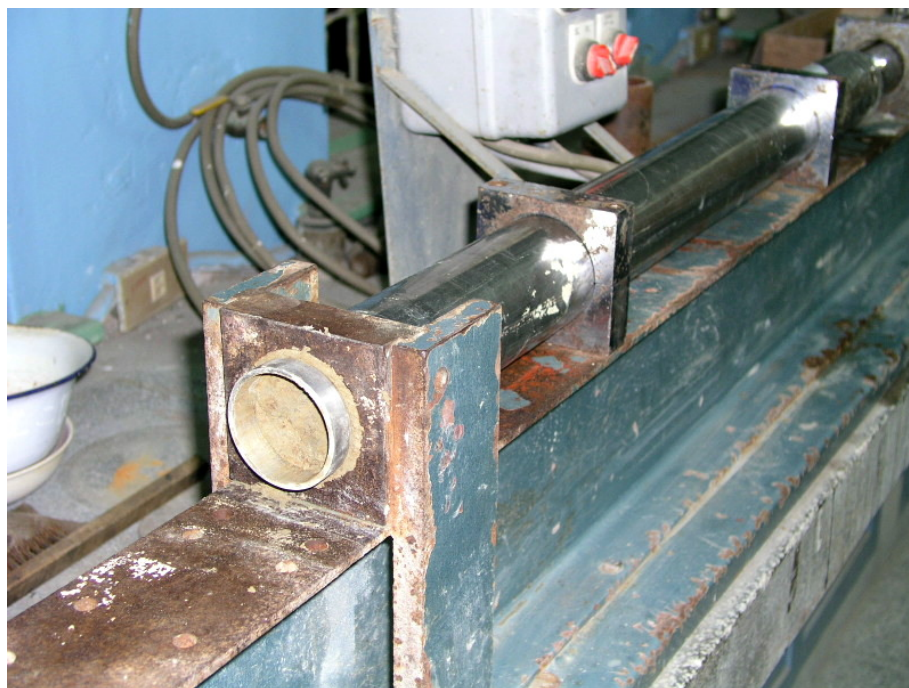


圖 6.6 頂土樣

- (2) 輕壓壓密環使土樣進入壓密環內，壓密環取得試體後，將底部及頂部修整與環面同高，如圖 6.7 所示。
- (3) 將試體及壓密環秤重，以求取試體重後，並將其置入壓密盒中，如圖 6.8 所示。
- (4) 在壓密盒中先放上底透水石及濾紙，再將裝滿土樣之壓密環放入。



圖 6.7 修整試體



圖 6.8 試體置入壓密盒

(5) 在試體頂部放上濾紙再放入頂部透水石及承壓蓋。

6.5 試驗步驟:

1. 依前節步驟將土樣放置於壓密盒中。
2. 將含土樣之壓密盒放置於加壓裝置之固定位置。
3. 將壓密盒頂蓋施加 0.05 kgf/cm^2 之接觸壓力，於 5 分鐘內調整測微表，將其歸零，如圖 6.9 所示。



圖 6.9 將測微表歸零

4. 加壓

- (1) 施加於第一級荷重之同時，啟動計時器，並隨即加除氣蒸餾水於壓密盒中，水需淹沒試體及透水石，如圖 6.10 所示。
- (2) 經由壓密盒，逐級加壓，加壓依序為 0.05 、 0.1 、 0.25 、 0.5 、 1 、 2 、 4 、 8 、 16 kg/cm^2 等。
- (3) 每一級荷重，記讀數時間及沉陷量，讀數時間為 0.01 、 0.25 、 0.5 、 1 、 2 、 4 、 8 、 15 、 30 、 60 、 120 、 240 、 \dots 、 1440 分鐘。

5. 解壓及再壓

- (1) 若不要求再壓曲線，則在最後一次加壓讀計完成後，將荷重逐級解除，每解一次荷重，至少停留 4 小時或待至無膨脹為止。

- (2) 若要求再壓曲線，則於最高荷重之完成讀計後解壓，待回至第一級荷重解脹後，開始再壓。再壓時每組荷重仍須停留 24 小時。讀計最初及最終沉陷量。再壓至最高荷重級，再度解壓回零荷重。
- (3) 最後一次解壓回零荷重後，將壓密盒中之水排除。將試體自壓密環移出，秤其質量，烘乾後再秤之，以求其乾土質量及最終含水量。



圖 6.10 啟動記讀讀數

6.6 試驗計算及表格

1. 計算與繪圖

- (1) 對數時間調整法及平方根時間調整法，求取壓密係數及壓縮比。
- (2) 繪製壓密曲線($e \sim \log$ 曲線)，求取壓密係數。

2. 壓密係數與壓縮比之計算

I. 對數時間調整法：(應用表 11.5)

- (1) 每一級荷重的紀錄，皆繪製以對數時間 $\log t$ 為橫座標之”沉陷量 S 對

對數時間 t (以 min 計算) 的曲線”。

- (2) $\log t \sim S$ 曲線中段與後段皆呈直線，二直線段延長相交之點，即為 100% 壓密沉陷點，設為 S_{100} 。
- (3) 改正零點的求法，係先在該線段上任取適當的一點，其時間假設為 t ， t 點的 S 座標與 $t/4$ 點之 S 座標之差為 $[S(t) - S(t/4)]$ ，則改正零點 $[S(t/4)] - [S(t) - S(t/4)]$ ，即 $2S(t/4) - S(t)$ 之點，設為 S_0 。
- (4) $[S_{100} + S_0]/2$ 為 50% 壓密沉陷之點，設為 S_{50} ，該點的時間 t_{50} 為 50% 壓密所需之時間。
- (5) 壓密係數 C_v ，可由下式計算：

$$C_v = \frac{0.20h^2}{t_{50}} (\text{cm}^2 / \text{sec})$$

式中， h 為試體之一半，以 cm 計， t_{50} 以 sec 計

$$(6) \text{ 初期壓縮比為： } r_i = \frac{S_0 - S_i}{S_f - S_i}$$

$$\text{主要壓密比為： } r_p = \frac{S_{100} - S_i}{S_f - S_i}$$

$$\text{次要壓縮比為： } r_s = \frac{S_f - S_{100}}{S_f - S_i}$$

上式中：

S_i = 該級荷重中的開始沉陷讀數

S_0 = 沉陷的改正零點

S_{100} = 沉陷達 100% 的點

S_f = 該級荷重中的最終沉陷讀數

II. 平方根時間調整法：(應用表 11.6)

- (1) 每一級荷重的紀錄，皆繪製以平方根時間 t 為橫座標之”沉陷量 S 對平方根時間 t (以 min 計算) 的曲線”。
- (2) 各曲線的初期部分通常為直線。延伸直線段回 $t=0$ 的座標，是為沉陷

的改正零點 s_0 。

- (3) 由 s_0 之點另繪一直線，其斜率 (S/\sqrt{t}) 為上述直線段的 1.15 倍，其與 $\sqrt{t}-S$ 曲線之交點，即為 90% 之主要壓密點位置。該點的對應橫座標值為 $\sqrt{t_{90}}$ 。

- (4) 壓密係數 C_v ，可由下式計算：

$$C_v = \frac{0.85h^2}{t_{90}} (\text{cm}^2/\text{sec})$$

式中， h 為試體的半厚，以 cm 計，可用該級荷重開始點與完成點之土厚和除以 4 得之。 t_{90} 以 sec 計。

- (5) 初期壓縮比為： $r_i = \frac{S_0 - S_i}{S_f - S_i}$
- 主要壓密比為： $r_p = \frac{10/9(S_{90} - S_0)}{S_f - S_i}$
- 次要壓縮比為： $r_s = \frac{S_f - 10/9(S_{90})}{S_f - S_i}$

上式中， S_{90} = 沉陷達 90% 的點

3. 壓縮性之計算

- (1) 孔隙比：(應用表 11.7)

- a. 土粒高度 $2h_s$ 為：

$$2h_s = \frac{m_s}{G_s \rho_w A}$$

式中：

m_s = 土粒質量，即烘乾土質量(g)

G_s = 土粒比重 = 2.65

ρ_w = 水的密度(g/cm^3)

A = 試體面積(cm^2)

- b. 空隙比為：

$$e = \frac{A(2h - 2h_s)}{2Ah_s}$$

式中， $2h$ 為每一級荷重壓密完成後的試體厚。

c. 應變為： $S/2h_0$

(2) 壓縮性係數 a_v ，體積壓縮性係數 m_v ，壓縮性指數 C_c ：(應用表 11.7)

a. 根據各級荷重的 e 值，繪製 $e \sim p$ 曲線。習慣以有效應力 p 為橫座標。

$$\text{壓縮係數為 } a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} (\text{cm}^2 / \text{g})$$

通常 Δp 取 1 kg/cm^2

b. 體積壓縮性係數為：

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_{n-1}} (\text{cm}^2 / \text{g})$$

式中， e_{n-1} 為每一級荷重開始前的空隙比，以橫座標為 $\log p$ ，繪製 $m_v \sim$

$\log p$ 曲線。

c. 繪製 $e \sim \log p$ 曲線。曲線的大部分為直線，該直線的斜率為未改正(實

驗室內)之壓縮性指數 C_c ：

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p}$$

或

$$C_c = \frac{e - e_0}{\log(p/p_0)}$$

式中：

e_0 = 接觸壓力作用完成後的孔隙比

p_0 = $e \sim \log p$ 曲線上，直線部分延長線交 e_0 水平線之有效應力

e = 上述直線上一點的孔隙比，其相對的有效應力為 p

(3) 由每一級荷重的 C_v 、 a_v 與 e_{n-1} ，可計算其滲透係數 k ：

$$k = \frac{C_v a_v \rho_w}{1 + e_{n-1}} (\text{cm/sec})$$

由各級荷重的 k 值，以橫座標為 $\log p$ ，繪製 $k \sim \log p$ 曲線。

2. 表格

表 6.1 單向度壓密試驗之試體資料表

含水量計算

蒸發皿質量	g	
蒸發皿 + 溼土質量	g	
蒸發皿 + 乾土質量	g	
水質量, m_w ,	g	
乾土質量	g	
含水量 ω	%	

試驗前 接觸壓力後 試驗終了

壓密環編號			
直徑, D	cm		
面積, A	cm ²		
高度: $2h_i ; 2h_0 ; 2h$	cm		
體積, V	cm ³		
壓密環質量	g		
(濕土+壓密環)質量	g		
濕土質量, m_m	g		
壓密環內乾土質量, $m_s = m_m / (1 + \omega)$, g			
濕密度 $\rho_m = m_m / V$	g/cm ³		
乾密度 $\rho_d = m_s / V$	g/cm ³		
比重, G_s			
土粒高度, $2h_s = m_s / G_s \rho_w A$, $2h_s = m_s / G_s \rho_w A$	cm		
空隙高度, $2h_v = (2h - 2h_s)$,	cm		
空隙比, $e = 2h_v / 2h_s$			
飽和度, $S_r = m_w / \rho_w A 2h_v$,	%		

表 6.2 單向度壓密試之加解壓紀錄表

天數	壓力 kg/cm^2	荷重 kg	日期	人員簽名
1		0 → 0.5		
2		0.5 → 1		
3		1 → 2		
4		2 → 4		
5		4 → 8		
6		8 → 16		
7		16 → 4		
		4 → 0.5		
8		0.5 → 4		
9		4 → 16		
10		16 → 32		
11		32 → 16		
		16 → 4		
		4 → 0.5		

表 6.3 單向度壓密試驗之加壓記錄表

試驗階段: _____ 荷重: _____ kg 壓力: _____ kg/cm²

日期	時間	壓時 <i>min</i>	測微計讀數	沈陷 <i>S</i> <i>mm</i>	試體高度 <i>2h, mm</i>	備註
		0				
		0.1				
		0.25				
		0.5				
		1				
		2				
		4				
		8				
		15				
		30				
		60				
		120				
		200				
		300				
		400				
		500				
		600				
		700				
		800				
		900				
		1000				
		1100				
		1200				
		1300				
		1440				

表 6.4 單向度壓密試驗之解壓/再壓紀錄表

試驗編號：

日期	時間	荷重	壓力 kg/cm^2	測微計讀數	沈陷, S, mm	試體高度 $2h, mm$

表 6.5 單向度壓密試驗： c_v ， r_i ， r_p 及 r_s 的計算(對數時間調整法) 表

試驗編號：

壓力 kg/cm^2	接觸壓力後 0_+	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
t_{50} , sec								
C_v , cm^2/sec								
S_i , cm								
S_0 , cm								
S_{100} , cm								
S_f , cm								
$S_0 - S_i$, cm								
$S_{100} - S_0$, cm								
$S_f - S_{100}$, cm								
$S_f - S_i$, cm								
$r_i = \frac{S_0 - S_i}{S_f - S_i}$								
$r_p = \frac{S_{100} - S_0}{S_f - S_i}$								
$r_s = \frac{S_f - S_{100}}{S_f - S_i}$								

表 6.6 單向度壓密試驗： c_v ， r_i ， r_p 及 r_s 的計算(平方根時間調整法) 表

試驗編號：

壓力 kg/cm^2	接觸壓力後 0_+	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
t_{90} ,	sec							
C_v ,	cm^2/sec							
S_i ,	cm							
S_0 ,	cm							
S_{90} ,	cm							
S_f ,	cm							
$S_0 - S_i$,	cm							
$S_{90} - S_0$,	cm							
$10/9(S_{90} - S_0)$,	cm							
$S_f - S_i$,	cm							
$r_i = \frac{S_0 - S_i}{S_f - S_i}$								
$r_p = \frac{10(S_{90} - S_0)}{9(S_f - S_i)}$								
$r_s = \frac{S_f - S_{100}}{S_f - S_i}$								

表 6.7 單向度壓密試驗之 a_v , m_v 及 k 之計算表

試驗編號：

壓力 P kg/cm ²	空隙比 e	Δe	Δp kg/cm ²	$a_v = \Delta e / \Delta p$ cm ² /kg	$m_v = a_v / (1 + e_{n-1})$ cm ² /kg	對數時間調整法		平方根時間調整法	
						c_v cm ² /sec	$k = c_v m_v d_w$ cm/sec	c_v cm ² /sec	$k = c_v m_v d_w$ cm/sec
試驗壓力後 0 ₊									
0.25									
0.50									
1									
2									
4									
6									
8									
16									

七、土壤剪力強度試驗

7.1 實驗 12 砂質土壤之直接剪力試驗法

7.1.1 測驗目的

應用直接剪力試驗儀，測定砂質土壤之凝聚力及摩擦角。

7.1.2 依據規範: CNS 11778 (A3253)、ASTMD 3080-90

7.1.3 儀器準備：

1. 直接剪力試驗儀

(1) 剪力盒(如圖 7.1.1)



圖 7.1.1 剪力盒

(2) 垂直載重裝置 (3) 剪力裝置 (4) 計力環(容量 200 kg) (如圖 7.1.2)

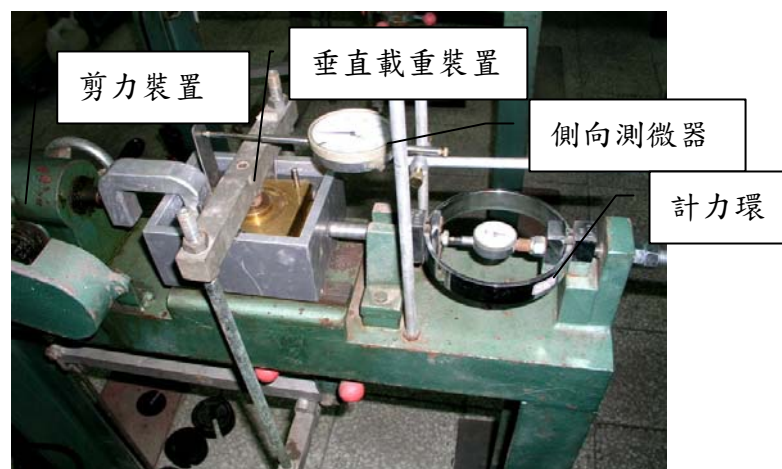


圖 7.1.2 直接剪力試驗儀

- (5) 測微計：量測試體之側向位移及垂直位移(其靈敏度為 0.02 mm)。
- (6) 呆重(如圖 7.1.3)



圖 7.1.3

- (7) 夾土板：分有孔與無孔者兩種。
- (8) 透水石。

2. 截土環：如圖 7.1.4，不銹鋼質，一端為鋒利之刀口，尺寸為方形(6×6×2^{cm})或圓形(6×2^{cm})兩種。



圖 7.1.4 截土環

- 3. 土樣修整器(含刮刀、金屬線鋸等)
- 4. 含水量測定儀
- 5. 電子秤
- 6. 其他:毛刷、手套、計時器、溫度計等。

7.1.4 試樣準備：

1. 薄管土樣

- (1) 將薄管放置於頂土器上，將土樣自薄管頂出(如圖 7.1.5)。



圖 7.1.5 薄管頂土器

- (2) 將截土環放置於土樣頂出處。
- (3) 輕推截土環，將土樣推進截土環內。
- (4) 取下截土環，以土樣修整器修整土樣(如圖 7.1.6 及圖 7.1.7)。



圖 7.1.6 修整土樣



圖 7.1.7 修整好之土樣

2. 重模土樣

估算土樣預定之含水量，單位重及孔隙比，決定所需土樣重量後，將所秤得之土樣以分層夯實方式，放入截土環內。

7.1.5 試驗步驟：

1. 將剪力盒之上下盒接觸面塗以極薄之潤滑油，以插梢螺絲將上下盒框固定成一體(如圖一)。

2. 將下盒墊板、下透水石、濾紙與下夾土板依序放入下盒框內，夾土板牙紋方向須與剪力方向垂直。
3. 將加壓頂座放在土樣上，兩手抓住截土環，以拇指推頂座，將土樣推入剪力盒中(如圖 7.1.8)。



圖 7.1.8 將土樣推入剪力盒中

4. 將平衡槓桿與加壓架調整，使加壓架與加壓頂座接觸，但無載重產生，安置水平及垂直變位測微計，並設定零點(如圖 7.1.9)。
5. 決定所欲剪動之速率，調整剪力機器之齒輪箱齒輪及檔數，並稍微推動剪力盒使與計力環接觸(如圖 7.1.10)。

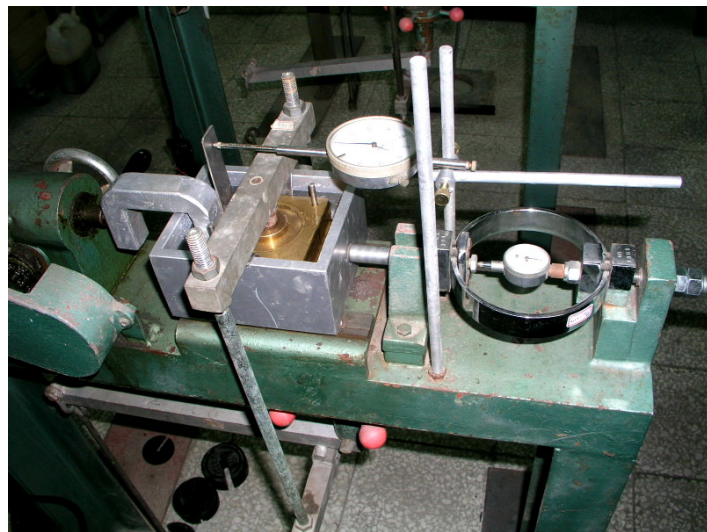


圖 7.1.9 安置水平及垂直變位測微計 圖 7.1.10 調整剪力機之齒輪及檔數

6. 開動剪力機使剪力機推進棒，與剪力盒接觸定位。
7. 將產生垂直應力之呆重，施放於加壓架之吊架上。垂直載重施加後，即可準備施加剪力(如圖 7.1.11 及圖 7.1.12)。



圖 7.1.11 施加垂直應力之呆重



圖 7.1.12 施加剪力

8. 移除原先固定上下剪力盒框之「準螺絲」；並調整上剪力盒框之「頂起螺絲」，使上下剪力盒框分開間隔約 0.25mm。
9. 開動剪力機，記錄一定間隔時間之計力環讀數(如圖 7.1.13)，直至試體破壞，或剪力不再變化，或試體達到相當於初始土樣直徑之 10%剪力變形時停止剪力馬達運作。



圖 7.1.13 開動剪力機記錄讀數

10. 重複步驟 1 至 8，至少使用 3 個不同試體以 3 個不同之正向應力，完成剪力試驗為止。

7.1.6 試驗計算與表格：

1.計算：

- (1) 試體試驗前之含水量、濕密度與乾密度。
- (2) 試驗前與試驗後之孔隙比與飽和度。
- (3) 繪製各垂直正向力作用下之剪應力與剪動變形曲線；試體厚度變化與剪動變形曲線圖。
- (4) 試驗結果以剪應力與正向力之曲線表示之，並決定土壤之凝聚力 c 與摩擦角 ϕ 值。

2.表格：

表 7.1.1 直接剪力試驗之試體資料

試體編號			
試體直徑, D , cm			
試體原始高度, h , cm			
試體體積, V , cm^3			
土樣重, g			
單位重, γ_d , g/cm^3			
土樣比重, G_s			
孔隙比, e			
含水量, ω , %			

表 7.1.2 直接剪力試驗計算表

試驗編號：_____ 鉛直荷重：_____ kg 面積：_____ cm^2

剪動速率：_____ mm/min 土樣重：_____ g 高度：_____ cm

正應力 σ ：_____ kg/cm^2 單位重：_____ kg/cm^3 計力環常數：_____ kg/div

鉛直測微 計讀數, mm	鉛直變形 量, mm	剪動變形 錶讀數, mm	剪動變形, mm	計力環讀 數	剪力 kg	剪應力, τ , kg/cm^2

七、土壤剪力強度試驗

7.2 試驗 13 無旁束壓縮試驗

7.2.1 試驗目的：

應用無旁束壓縮試驗儀，求取凝聚性土壤之無圍壓縮強度。

7.2.2 參考規範：CNS 12384(A3282)，ASTM D2166-91。

7.2.3 儀器準備：

1. 無旁束壓縮試驗儀(如圖 7.2.1)



圖 7.2.1 無旁束壓縮試驗儀

2. 薄管頂土器，如圖 7.2.2 所示，重模試體工具，如圖 7.2.3 所示。



圖 7.2.2 薄管頂土器圖



圖 7.2.3 重模試體工具

3. 變形指示計
4. 計時器
5. 電子天平
6. 其他：裁土及修土工具，量測試體尺度之工具，蒸發皿、烘箱，凡士林油，記錄表格等。

7.2.4 土樣準備：

1. 原狀試體：將工地取得之薄管置於薄管頂土器上，將土樣頂出；頂出之土樣長度約為直徑之 2.5 倍，將土樣以修土器裁切修齊後，維持高徑比大於 2.0 以上。然後將試體表面塗凡士林油避免水分喪失。
2. 重模試體：依試體所需之含水量、單位重及孔隙比計算試體所需土樣重。將所有土樣放入分裂試模模具中，以加壓器加壓至模具塑成試體後，取出試體並塗上凡士林油。

7.2.5 試驗步驟：

1. 將準備好之試體置於無旁束壓縮試驗儀之底板中心，啟動底板升起，至使頂板與試體頂端輕微接觸。
2. 裝置變形指示計，並將其歸零。
3. 啟動加壓，試驗加壓過程在 15 分鐘以內完成。
4. 選定時間間格記錄載重、變形、及時間，以繪出應力與應變曲線，通常至少需記錄 10~15 次。
5. 持續加壓讀記，直到應變值持續增加，但應力值減少；或應變到達 15% 以上為止。
6. 將試驗後之試體作含水量試驗。在實驗報告中應明確註明試體在試驗前或試驗後之含水量。

7.2.6 試驗計算與表格：

1. 計算

(1) 依下式計算加壓時之軸向應變準確至 1%：

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (1)$$

式內； ε = 軸向應變

ΔL = 自變形指示計讀得之土樣長度變化值(mm)

L_0 = 土樣最初長度(mm)

(2) 依下式計算加壓時之平均斷面積：

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon) \quad (2)$$

式內， A = 該載重下之平均斷面積(m²)

A_0 = 土樣最初之平均斷面積(m²)

ε = 該載重下之軸向應變

(3) 依下式計算所施加之壓應力至 1kPa：

$$\sigma = P / A \quad (3)$$

式內， σ = 該載重下之壓應力(kPa)

P = 所施加载重(kN)

A = 該載重下之平均斷面積(m²)

(4) 製圖：繪製壓應力與軸向應變關係曲線圖。以軸向應變為橫座標，以壓應力為縱座標。自此圖中找出最大之壓應力或軸向應變為 15% 時之壓應力。擇其先行到達者，即為其無圍壓縮強度(q_u)。本圖應為試驗報告之一部分。

3. 表格

表 7.2.1

試體編號：_____，試體直徑：_____，試體高度：_____

	試體試驗前含水量	試體試驗後含水量
蒸發皿質量，g		
(蒸發皿+溼土)質量，g		
(蒸發皿+乾土)質量，g		
水質量， m_w ，g		
乾土質量， m_s ，g		
含水量， ω ，%		

表 7.2.2

累積時間, min	計力圈讀數 (0.01mm)	載重 P, kg	測微計讀數 (0.01mm)	垂直應變 ε , %	修正面積 m ²	垂直應力 σ , kg/cm ²

七、土壤剪力強度試驗

7.3 實驗 14 不壓密不排水三軸壓縮試驗

7.3.1 試驗目的:

應用三軸壓縮試驗儀，進行土壤不飽和不壓密不排水(UUU)三軸壓縮試驗，以求取土壤之不排水剪力強度。

7.3.2 參考規範：ASTM D2850-87

7.3.3 試驗儀器:

1. 試體準備專用設備

- (1) 土樣固定直徑修整器(如圖 7.3.1)

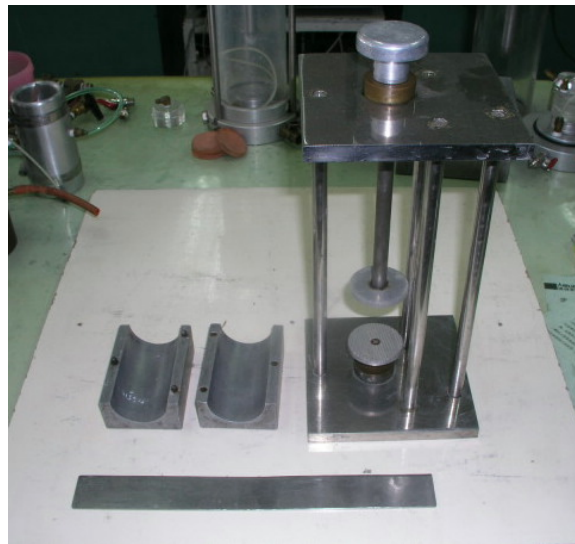


圖 7.3.1 土樣固定直徑修整器

- (2) 鋼絲鋸 (如圖 7.3.3)
- (3) 美工刀
- (4) 薄管頂土器
- (5) 分裂式試體重模製具(如圖 7.3.2)



圖 7.3.2 分裂式試體重模製具

2. 試驗專用儀器設備

- (1) 三軸壓縮試驗儀，氣壓式控制儀（面版）
- (2) 施加载重構架（含馬達、齒輪組及變速箱）
- (3) 三軸室（triaxial cell）
- (4) 上、下載重蓋板
- (5) 橡皮膜(membrane)
- (6) 橡皮油封環圈（O-ring）
- (7) 橡皮膜及橡皮油封環圈安置套管
- (8) 垂直載重計力規（load cell）或計力圈(環)
- (9) 垂直變位計或 LVDT



圖 7.3.3 試體準備工具

3. 一般儀器設備

- (1) 取土工具：不鏽鋼匙
- (2) 盛土容器：大、小蒸發皿
- (3) 烘箱

- (4) 電子秤
- (5) 溫度計
- (6) 附屬工具：大金屬鉗及較厚之棉質手套

7.3.4 試體準備：

1. 薄管原狀土壤

- (1) 將薄管放置於頂土器上，開動頂土器，將薄管內土壤頂出約 2.5 倍直徑長度之試體(如圖 7.3.4)。



圖 7.3.4 以薄管頂土器頂取土樣

- (2) 將頂出土壤試體移至修土器上，進行固定直徑之修整(如圖 7.3.5 及圖 7.3.6)。



圖 7.3.5 試體移至修土器修整



圖 7.3.6 固定直徑之修整

- (3) 將修整好之固定直徑之試體，以分裂式土樣架將試體取下，並將取下之試體兩端以刮刀修平(如圖 7.3.7)。



圖 7.3.7 修整試體兩端

(4) 將試體及分裂式土樣架秤重，以求出土樣之試體重。

2. 重模土樣之製作

(1) 依土樣所需之含水量、孔隙比、單位重，決定將固定直徑（2 in.）高度（4 in.）之試體所需之土重。

(2) 將秤得之土重，放入重模分裂式試體製模內。

(3) 將頂蓋放入試模兩端並加壓製作試體，取下分裂式模具，即得指定直徑與高度之試體。

7.3.5 試驗步驟:

1. 試體準備

(1) 取出三軸室底座，將試體底座(下加壓蓋板)固定於三軸室底座，並將試體底座及試體承壓頂蓋側面塗上凡士林油。

(2) 順序放透水石及濾紙置於試體底座(下加壓蓋板)上(如圖 7.3.8)。



圖 7.3.8 組立三軸室底座

(3) 將準備好之試體放在三軸室之試體底座之濾紙上(見圖 7.3.9)。



圖 7.3.9 試體放在三軸之底板濾紙上

- (4) 在試體頂部放上濾紙及承壓裝置(試體頂蓋) ，如圖 7.3.10。



圖 7.3.10 試體頂部放上濾紙及試體承壓頂蓋

- (5) 使用「橡皮膜安置套管」將橡皮膜套於圓柱形試體側面，之後，將橡皮膜上下端套於固定之上下加壓蓋板側面，再以「橡皮膜安置套管」，將橡皮油封環圈套於橡皮膜外側，使橡皮膜和上下加壓蓋板緊接在一起，如圖 7.3.11 至圖 7.3.14。



圖 7.3.11 橡皮膜安置套管



圖 7.3.12 橡皮膜套於圓柱試體



圖 7.3.13 移出橡皮膜套管



圖 7.3.14 完成圓柱形試體

(6) 將耐高壓之鐵弗龍(PVC)管與試體承壓頂蓋連接後，組立三軸室，如圖 7.3.15。



圖 7.3.15 組立三軸室

- (7) 將三軸室管線與加壓面板之管線連結，如圖 7.3.16。
- (a) 連接三軸室接頭與室壓（或稱側向壓力）加載系統。
 - (b) 連接試體上、下端接頭與體積改變量測系統（適用於壓密或排水試驗）。或連接試體上、下端接頭與孔隙水壓量測系統（適用於壓密或不排水試驗）。



圖 7.3.16 三軸室管線與加壓面板管線連結

- (8) 依附錄 A 之操作程序，將三軸室完全充滿水，如圖 7.3.17。

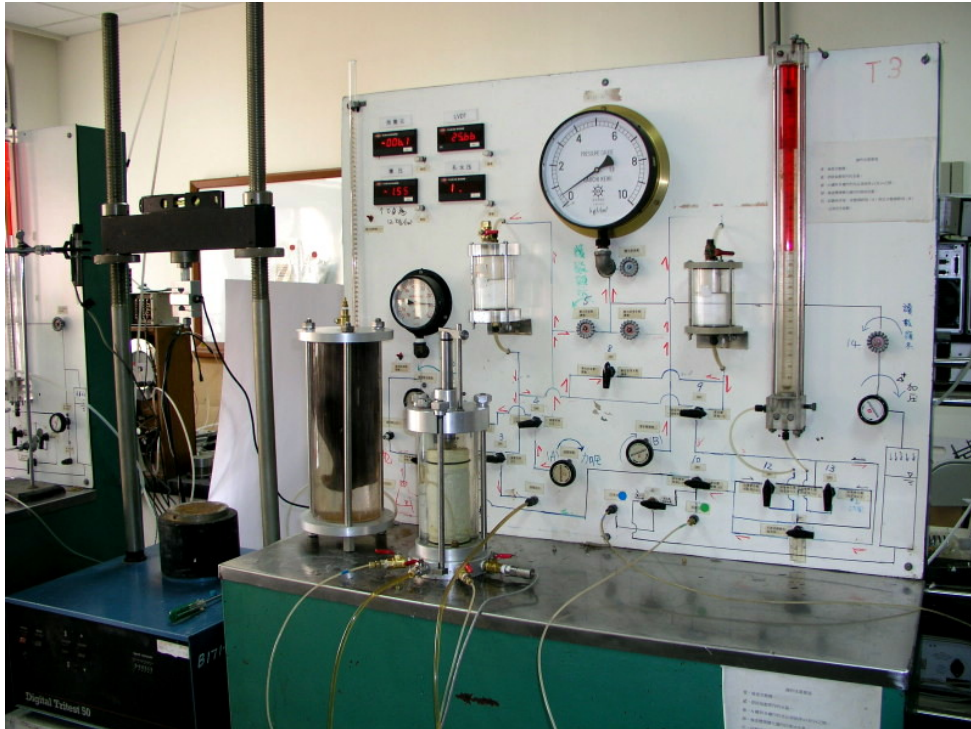


圖 7.3.17 三軸室控壓操作面板

- (9) 若試體需要在試驗前浸水飽和，則先將「連接試體上、下端之鐵弗龍管控制閥門」打開，在室壓比滲流壓力大 0.1 kg/cm^2 的情況下，讓水由下端往上端自然滲流；若試體的滲流性係數很小，則可同步增加室壓及滲流壓力（但室壓仍須比滲流壓力大 0.1 kg/cm^2 ），以增加水在黏質試體中之流速，並將孔隙空氣逐出。
- (10) 測定試體是否飽和前，需先將「連接試體上、下端之鐵弗龍管控制閥門」關閉，在打開「連接試體下端與水壓計之閥門」；隨即微幅增加室壓 $\Delta\sigma_3$ ，並觀測超量孔隙水壓增量 Δu ，若 $\Delta u/\Delta\sigma_3$ 趨近於 1.0，則意指試體之飽和度趨近於 100%。
- (11) 本試驗進行不飽和不壓密不排水試驗，因此可省略步驟(9)與(10)，直接進入剪力試驗階段。

2. 剪力試驗

- (1) 關閉所有的閥門開關。
- (2) 將試體連同三軸室置於載重構架上。
- (3) 安置垂直載重及垂直位移量測裝置，如圖 7.3.18，並讀取量測裝置顯示之初始值。

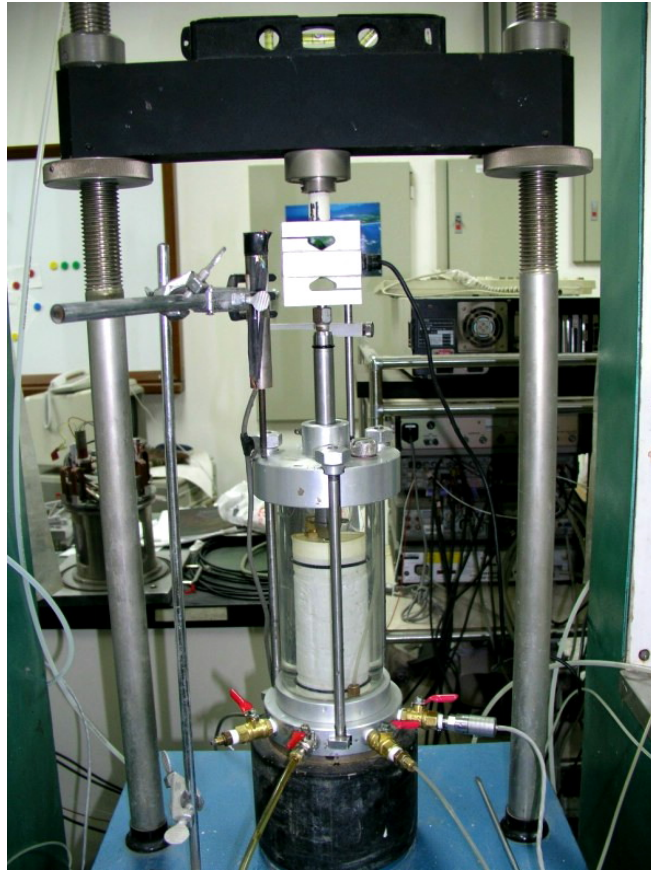


圖 7.3.18 安置垂直載重及垂直位移量測裝置

- (4) 調整垂直載重速率(通常以 1.27 mm/min)後施加垂直載重，如圖 7.3.19，之後，垂直變位每增加 0.5 mm，即紀錄垂直載重讀數各一次。



圖 7.3.19 設定垂直載重速率

- (5) 連續施加垂直載重，直至試體破壞為止，如圖 7.3.20；或連續施加垂直載重，直至垂直載重趨於定值或垂直變位達到試體長度的 15% 以上為止（為土壤試體垂直應變 ε 為 15% 為止時）。

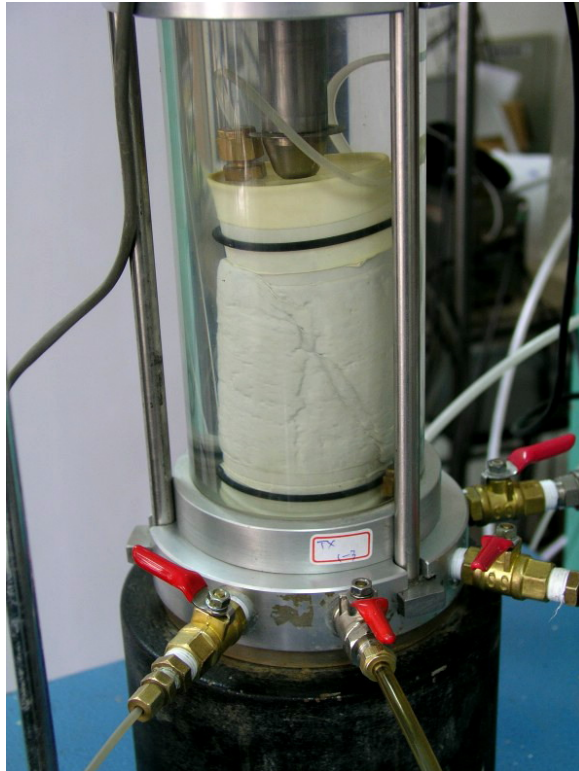


圖 7.3.20 施加垂直載重直至試體破壞為止

- (6) 試驗完後，解除載重及空壓，排出三軸室之水，取出試體，並測定破壞面上土壤之含水量 ω_f 。

7.3.6 試驗計算及表格

1. 計算

軸差應力 $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ 計算如下：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\text{計力圈讀數}) \times \text{計力圈常數} / \text{截面積 } A$$

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon), \quad \varepsilon = \Delta l / l$$

上式中， σ_1 為最大主應力

σ_3 為最小主應力（即圍壓）

A_0 為試體初始之斷面積

ε 為垂直軸應變

Δl 為垂直軸向變形

l 為試體初始高度

2. 表格

表 7.3.1 不飽和不壓密不排水三軸壓縮試驗之試體資料

試驗編號：_____，日期：_____

試體編號				
(濕土+模具) 質量, g				
模具質量, g				
濕土質量 m_m , g				
乾土質量 m_s , g				
水質量 m_w , g				
含水量 $w = m_w / m_s$, %				
直徑 D, cm				
面積 A_0 , cm ²				
高度 h, cm				
體積 V, cm ³				
濕密度 $\rho_m = m_m / V$, g/cm ³				
乾密度 $\rho_d = m_s / V$, g/cm ³				
比重 G_s				
孔隙體積 $V_v = V - V_s$, cm ³				
孔隙比 $e = V_v / V_s$				
孔隙率 $n = V_v / V$, %				
飽和度 $S_r = V_w / V_v$, %				

表 7.3.2 不飽和不壓縮不排水式三軸試驗

試驗編號：_____，日期：_____

變形速率：_____ mm/min，圍壓：_____ kg/cm²，計力環常數：_____ kg/div

變形計 (錶)讀數 mm	軸向變形 mm	應變 ϵ mm	軸向荷重 kg	面積 A cm ²	軸差應力 kg/cm ²

參考文獻

- [1] 游啟亨(1970)，土壤力學實驗法。
- [2] 洪如江(1992)，土壤力學試驗，第 12 版，科技圖書股份有限公司，台北。
- [3] 沈茂松(1989)，實用土壤力學試驗，再版，文笙書局，台北。
- [4] 經濟部中央標準局，中國國家標準 CNS。
- [5] 日本土質工學會，土質試驗法。
- [6] 台大土木系(2005)，土壤力學實驗手冊。
- [7] 方修睦、姜永成、張建利(2002)，建築環境測試技術，中國建築工業出版社。
- [8] 張斌(2004)，實驗室管理認可與運作，中國標準出版社。
- [9] AASHTO, Materials.
- [10] ASTM(2002), Annual Book of ASTM Standards, Vols.04.08&09.
- [11] Bardet, J. P.(1997), Experimental Soil Mechanics, Prentice-Hall Inc.
- [12] Bishop, A.W., and Henkel, D.J.(1962), The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test, 1st edition, Edward Arnold Ltd., London.
- [13] BS1377(1990), British Standards Methods of Test for Soils Civil Engineering Purposes, British Standards Institution, London.
- [14] Head, K.H.(1994), Manual of Soil Laboratory Testing, 2nd ed., Vol.1 & Vol. 2.
- [15] Lambe, T.W.(1951), Soil Testing for Engineers, John Wiley & Sons, New York.
- [16] Liu, C., and Evett, J.B.(2003), Soil Properties Testing, Measurement, and Evaluation, 5th edition, Prentice-Hall Inc.
- [17] US Department of the Interior, Bureau of Reclamation(1990), Earth Manual, 3rd edition, U.S. Government Print Office, Washington D.C.

附錄 空壓式三軸壓力面板控制操作說明

目 次

A-I. 概要	102
A-II. 儀器組成	103
A-III. 操作程序	105
a. 使用前之準備	105
b. 試驗操作程序	105
a) 三軸室充水	105
b) 驅趕管線及試體內之氣泡或空氣	106
c) 背水壓力加壓步驟	107
d) 三軸室壓力加壓步驟	108
e) 試驗程序	109
f) 試驗完成後之三軸室排水	110
A-IV. 線路板調整示意圖	111

A-I. 概要

本空壓控制系統是專門設計，供進行土壤三軸壓縮試驗時所須之旁束壓力及背水壓力 (back pressure) 等使用，整個壓力系統是採用氣壓水、水壓試體式。本空壓控制系統除提供準備試體及飽合試體等所需之真空壓力外，亦提供三軸室進水及排水之設計。量測試體體積變化儀，採用單管式上下循環走程之設計。另外，背水壓力之加壓系統，經特殊設計，可使用試體內外同時加壓方式，亦可使用試體內外分段加壓方式，壓力讀計可使用數位及類比式之讀數。

本壓力控制版面另設有進行三軸壓縮時所需之載重計 (LC)、孔隙水壓力計 (PWP)、和位移計 (LVDT) 之數位式讀數，這些數位式讀數計可直接連街在電腦之 A/D C 卡上，以供電腦自動讀計時使用。此三軸壓縮試驗儀之實體照片，如圖 A1 所示。

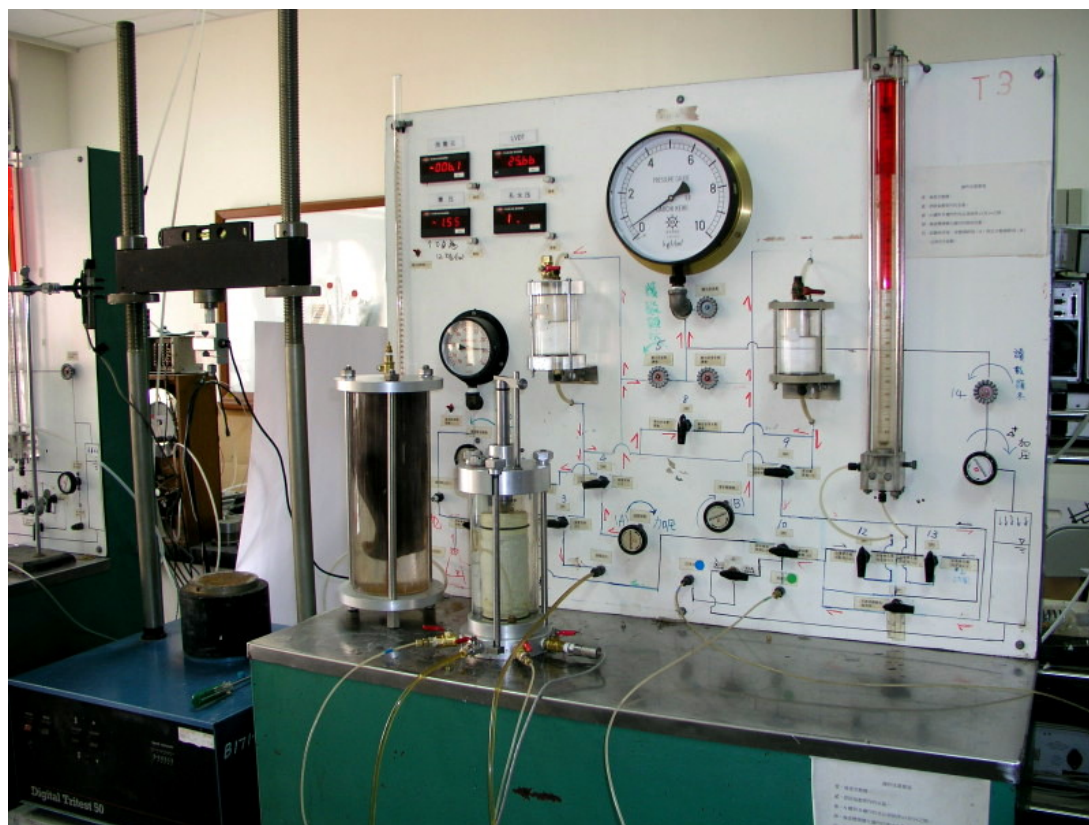


圖 A1 三軸壓縮試驗儀實體照片

A-II. 儀器組成

本空壓控制系統之主要組成線路圖，如圖 A2 所示，如圖中所示，系統之主要組成，包括下列幾個部分：

- | | |
|---|-----|
| 1 數位顯示器：含 LVDT、LC、PWP 和圍壓/背水壓力，合計 | 4 個 |
| 2 真空壓力調節閥 | 1 個 |
| 3 氣壓調節閥：調節三軸室壓力和背水壓力 | 2 個 |
| 4 三軸室供水槽：三軸室供水用（不銹鋼製） | 1 個 |
| 5 氣壓水室：三軸室及背水壓使用（壓克力製） | 2 個 |
| 6 類比式壓力計：氣壓及真空壓力讀計 | 2 個 |
| 7 單管式體積變化儀：刻度式 50 c.c. 走程 | 1 支 |
| 8 試體供水槽：供試體水用 | 1 個 |
| 9 餘水收集瓶：收集試體排出水用 | 1 個 |
| 10 壓力計：量測三軸室，背水壓力及孔隙水壓， 10 kg/cm^2 容量 | 2 個 |
| 11 載重計：500 kg 容量 | 1 個 |
| 12 位移計：5 cm 走程 | 1 支 |
| 13 真空抽氣機：1/4 馬力 | 1 台 |
| 14 移動台車 | 1 台 |

注意：為安全計，本氣壓水室 A 和 B，設計之容許壓力為 8 kg/cm^2 ，若欲增加使用壓力，須更換第 5 項組件或將第 5 項組件特別加勁，以免其爆裂。另外，在進行試驗加壓時，本氣壓水室 A 和 B 至少應保有 $2/3$ 之水容量。

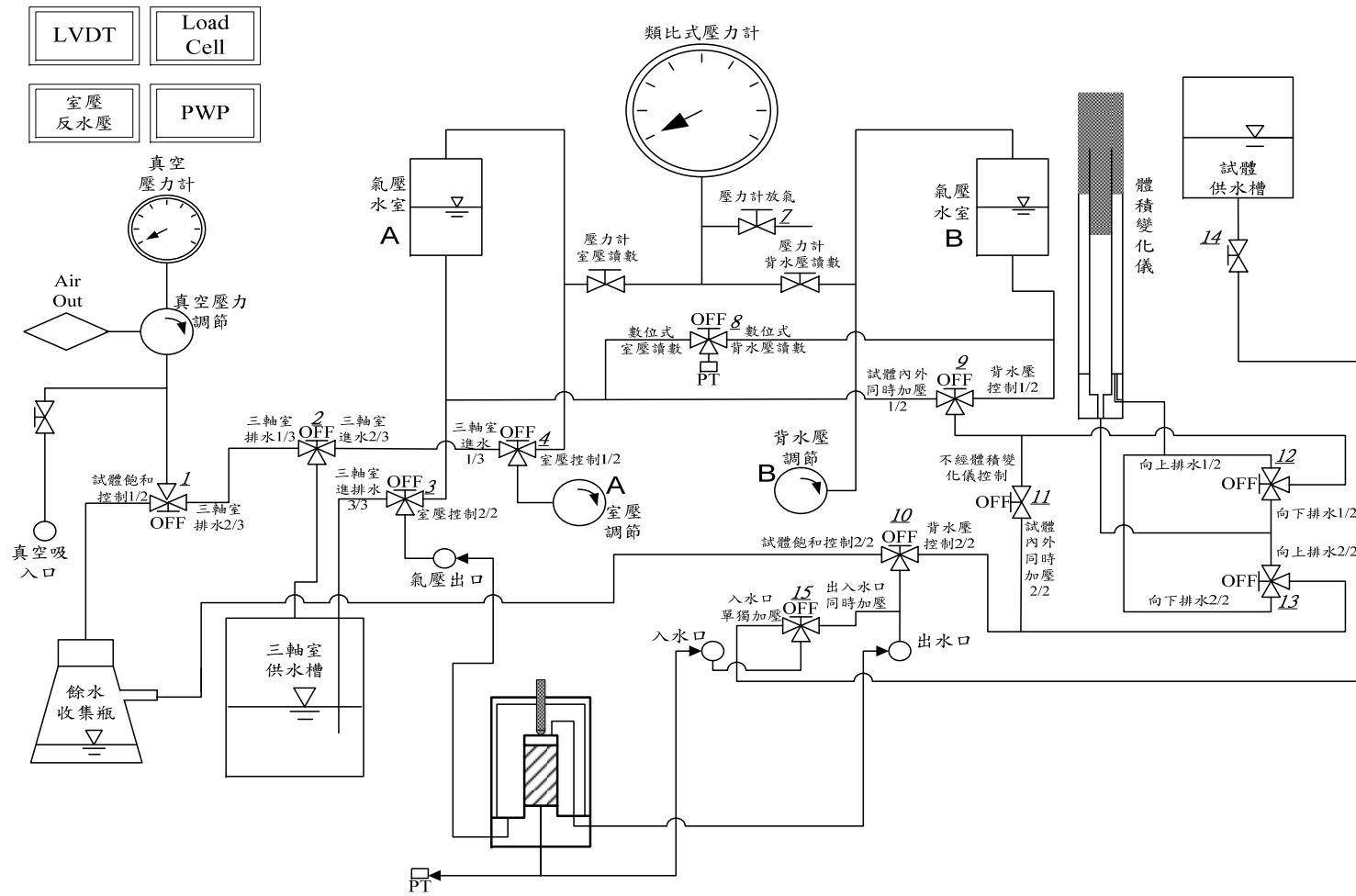


圖 A2 空壓控制系統之管線配置圖

A-III. 操作程序

A. 使用前之準備

使用此壓力控制系統，需準備下列事項：

1. 準備試驗試體，並安裝於三軸室內，為便利說明起見，以下之線路說明圖均附加三軸室。
2. 將三軸室之氣壓輸入口連接於氣壓出口。
將三軸室之入水口連接於板面之入水口。
將三軸室之出水口連接於板面之出水口。
將孔隙水壓計 (PT) 安裝於三軸室上。
3. 插上板面之電源，並打開數位式讀計之電源開關。
4. 檢查不鏽鋼瓶之三軸室供水槽之水位是否約達 9 成水位。
5. 試體供水槽是否充滿除氣水 (de-aired water)。
6. 體積變化儀式是否已加入染色煤油。
7. 所有調氣閥是否均在解壓 (零壓力) 狀態。
8. 將壓縮機之氣壓輸出口接上本空壓控制系統之供氣入口。

B. 試驗操作程序

為了方便說明起見，以下之管線配量圖均加入三軸室之連結示意圖。

a) 三軸室充水

1. 如圖 A3 說明，首先將三軸室上方之排水氣閥打開。
2. 將板面上之閥門編號 4, 2, 3 分別轉至三軸室進水 1/3, 2/3, 3/3 上，(管線開通線路以圖陰影表示)。
3. 將壓力計讀數閥門打開，使用室壓調節 A，加少許壓力 (通常小於 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 即可)，則三軸室供水槽之水將開始進入三軸室。
4. 當三軸室之水位上升至頂部時，關閉三軸室排氣閥和 3 號閥門。
5. 以室壓調節 A 調降至 0 壓力後，關閉 2 號和 4 號閥。

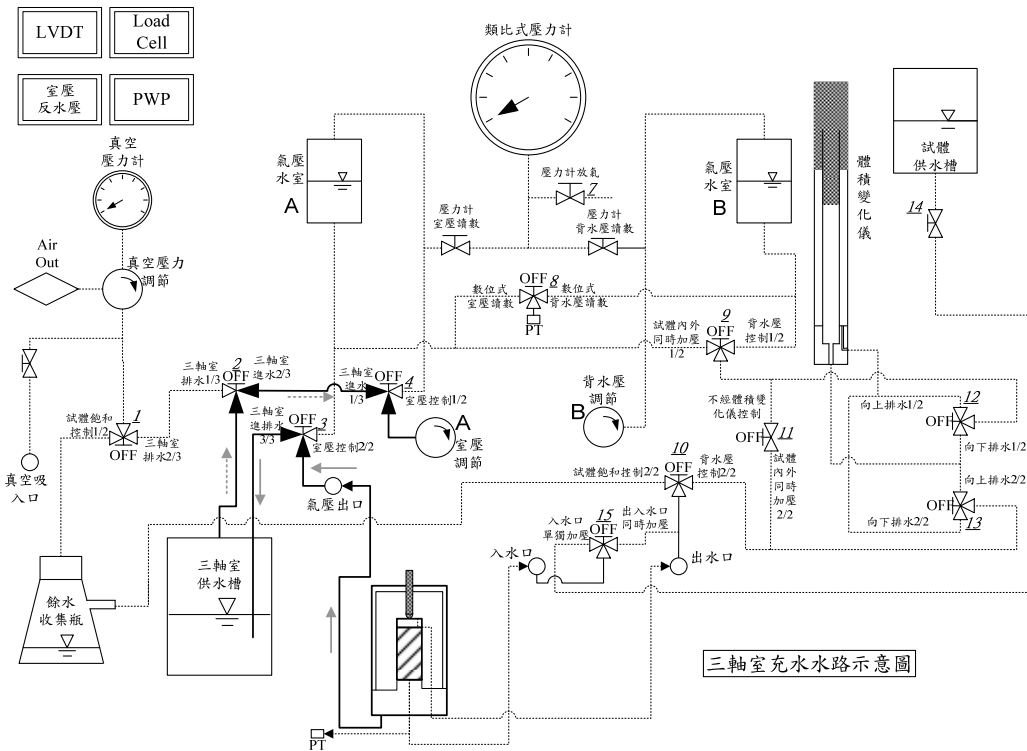


圖 A3 三軸室充水示意圖

注意：在進行試驗時，通常需經由氣壓水室罐 A 加壓，為安全計，此氣壓水罐 A 通常需得有 2/3 之水容量。但當此氣壓水罐之水位低時，除可由氣壓水罐頂上之開關直接加水外，亦可由下列方式操作之：

1. 延續上述 a) 三軸室充水至步驟 4。
2. 由於三軸室剛充滿水，是故三軸室及三軸室供水槽仍保有 $\approx 1\text{kg/cm}^2$ 之壓力。
3. 將閥號 3 旋至室壓控制 2/2 則三軸室存在之壓力，將使三軸室水部份上升至水壓室（罐）A，當停止上升後，再將閥號旋至三軸室進水 3/3。
4. 重複第 3 項步驟，直至水位上升至氣壓水室 A 之大約 2/3 水位為止。

注意：1) 氣壓水室 A 及 B 之水位不得高出水罐高度，以免水溢流至室壓調節閥 A 及背水壓調節閥 B，而肇致氣壓調節閥之損壞。

2) 背水壓使用之氣壓室（罐）B，只能以人工式由罐頂開關加水。

b) 驅趕管線及試體內之氣泡或空氣

1. 如圖 A4 說明，將閥號 1 及 10 分別轉至試體飽和控制 1/2 及 2/2，並打開閥號 14。
2. 啟動真空抽氣機，使用真空調節閥 C，調整適當之負壓力，以便

- 加速水在管線中流動，以達到驅除管線中暫存氣泡之目的。
- 在操作進行中，須注意供水槽之水量是否足夠及餘水收集瓶中之水量是否過多。

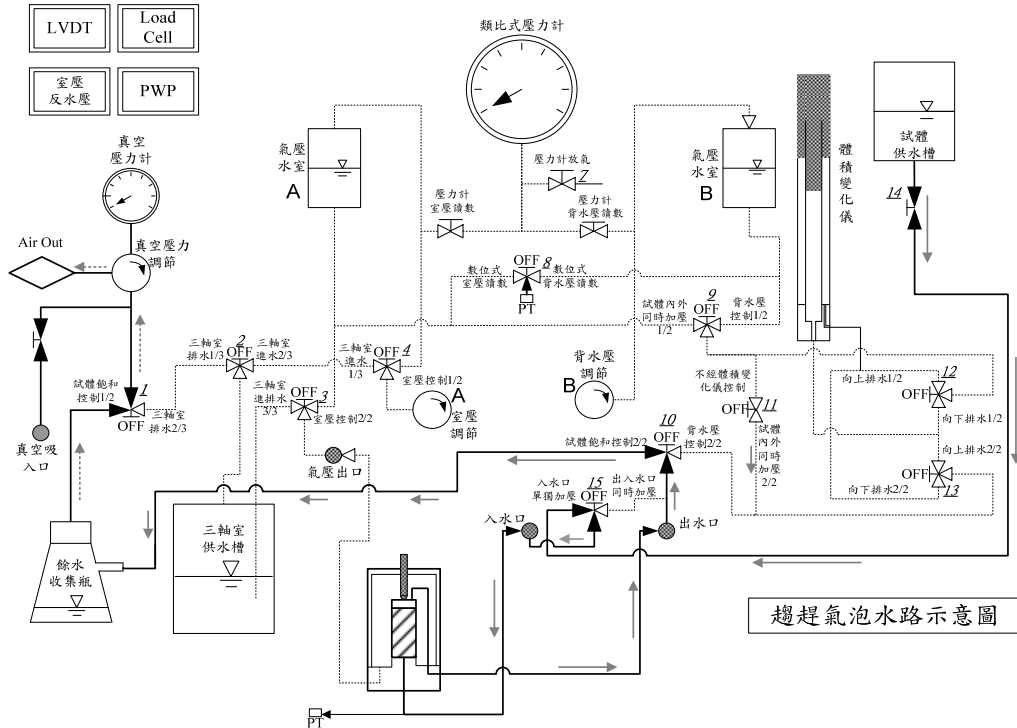


圖 A4 驅趕管線及試體內之氣泡或空氣示意圖

- 氣泡驅除後，反向程序操作使各閥門回復原狀，試體則處在準備狀態。

c) 背水壓力加壓步驟

為了使試體易於飽和或模擬現場土層之靜水壓力，調整試體內之背水壓力 (back pressure) 為必要之程序。其步驟如下 (如圖 A5 所示)：

- 將閥號 4 及 3 分別旋至室壓控制 1/2 及 2/2。
- 將閥號 5 打開，閥號 8 旋至數位室壓讀數。
- 將閥號 4 及 3 分別旋至試體內外同時加壓 1/2 和 2/2，並將閥號 10 旋至背水壓控制 2/2。
- 調整室壓調節閥 A，至所需之背水壓力為止，此時試體內外，同時承受之相等之壓力。
- 將閥號 8 旋至數位計背水壓力讀數，調整背水壓調節 B，將壓力調整至所需之背水壓力為止。
- 將閥號 9 轉至背水壓控制 2/2，則此時試體內外仍承受相等之壓力，但是試體內外壓力可個別獨立控制。為避免試體內承受之壓

力不大於試體外壓力（即三軸室壓），可調節室壓調節 A，使室壓略大於背水壓力。

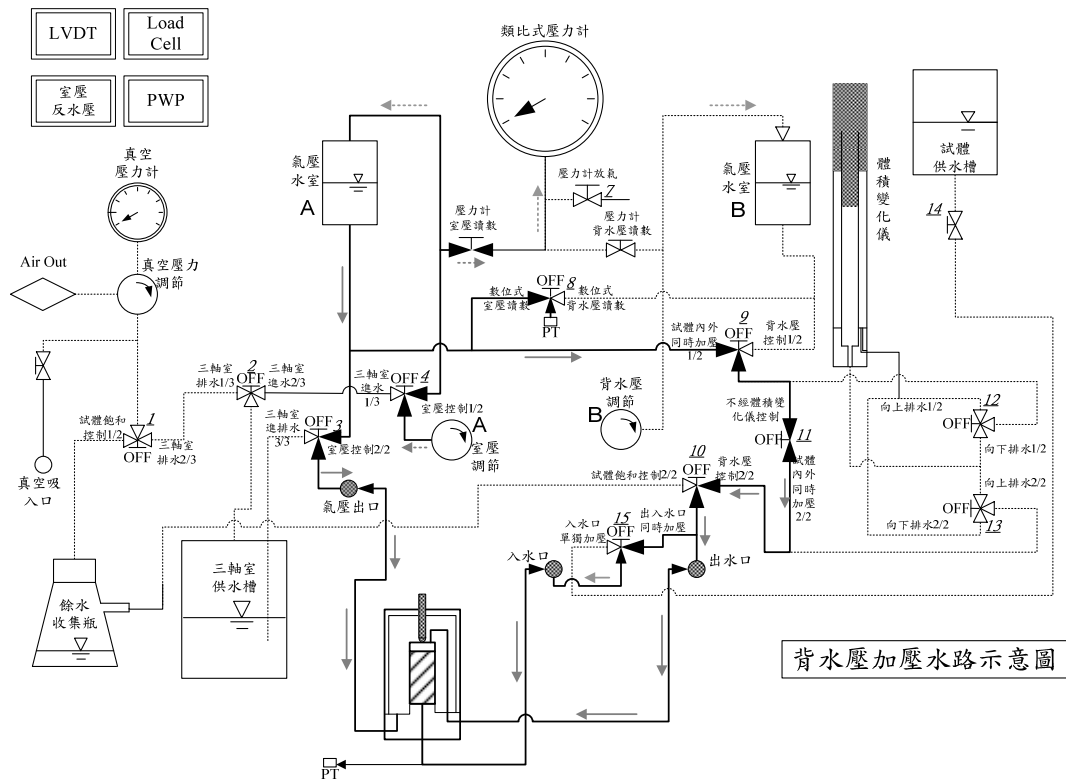


圖 A5 背水壓力加壓示意圖

d) 三軸室壓加壓步驟

三軸室壓力之加壓步驟如下：(如圖 A6 所示)

1. 將閥號 5 打開，閥號 8 旋至數位計室壓讀數，以便觀察三軸室壓力之大小。
2. 將閥號 4 及 3 分別轉至室壓控制 1/2 及 2/2。
3. 使用三軸室壓調節閥 A，可調整三軸室壓力之大小至所需之旁束壓力。

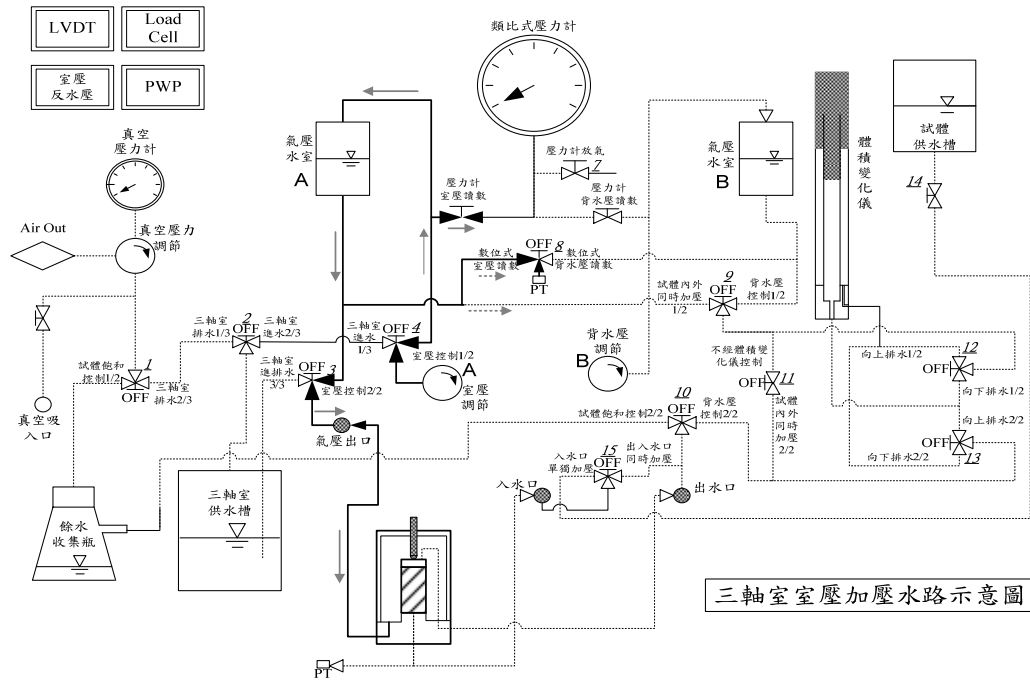


圖 A6 三軸室室壓加壓示意圖

e) 試驗程序

完成程序 d) 後，試體即已完成試體準備狀態，試驗者可依三軸試驗之型態進行 UU, CU 或 CD 試驗，現依此三種試驗型態分別說明如下：

1. UU 試驗（即不壓密不排水試驗）

將三軸室之進水口及出水口關閉，立即啟動壓縮機，開始進行剪力試驗，並記讀控制板面之載重計、位移計及孔隙水壓力之讀數直至試體剪壞或至應變達 15% 以上為止。

2. CU 試驗（即壓密不排水試驗）

(1) 壓密階段

- 1) 完成 d) 步驟後，將三軸室之試體進水口關閉，打開試體出水口。
- 2) 如圖 A7 所示，確認閥號 9 及 10 旋至背水壓控制 1/2 及 2/2，閥號 11 關閉，並將閥號 12 和閥號 13 同時旋至向下排水 1/2 及 2/2，則試體因壓密排出之水量在體積變化儀將向下移動。（當煤油標示將至滴管底時，閥號 12 及 13 則需同時轉至向上排水 1/2 及 2/2，使排出水逆向流動），壓密完成後，計算滴管移走之量，即為排水體積量。

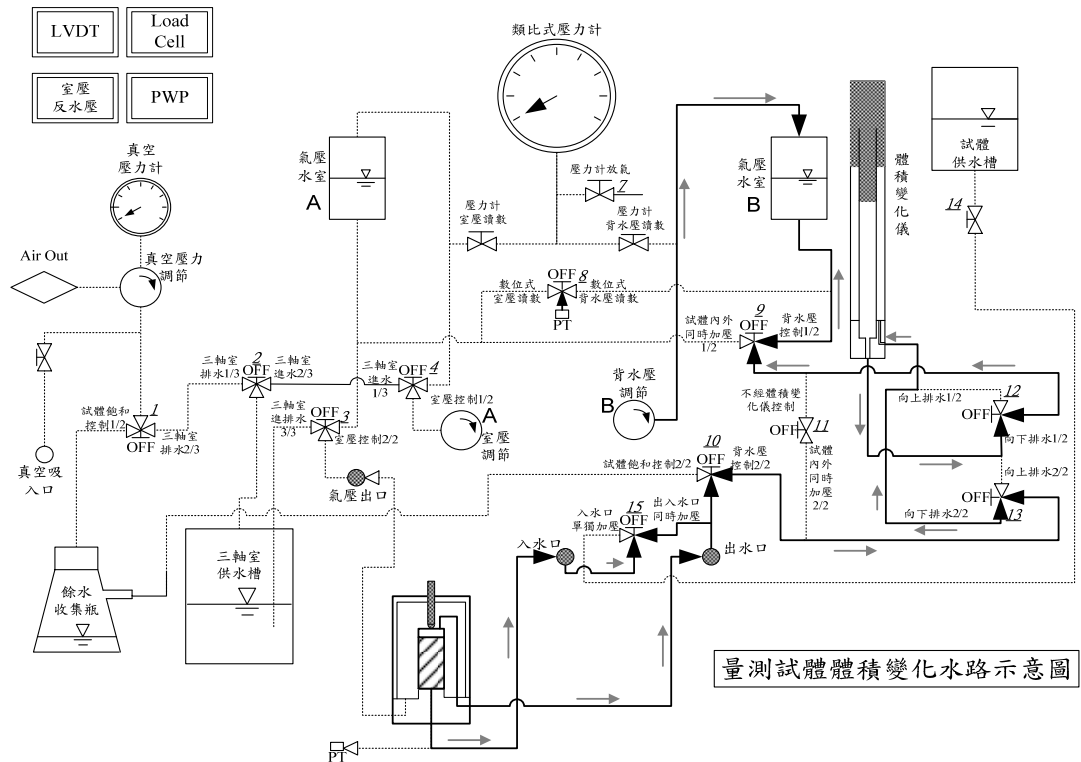


圖 A7 量測試體體積變化示意圖

(2) 快剪階段

此步驟與 1. 之 UU 試驗相同

3. CD 試驗（壓密排水試驗）

- (1) 進行試驗時，將三軸室之入水口關閉，其餘確認步驟與 2 項之壓密階段相同。當壓密完成後，進行下一步驟。
- (2) 開啟壓縮機記讀位移計，載重計及體積變化儀之改變讀數。試驗進行之時，應保持超額孔隙水壓力之讀數為零。

f) 試驗完成後之三軸室排水

1. 將背水壓力及三軸室解壓，關閉體積變化儀之閥門等。
2. 打開三軸室頂上之排水閥門。
3. 將閥號 2, 1, 3 分別轉至三軸室排水 1/3, 2/3 及 3/3 (如圖 A8 所示)。
4. 此時如不啟動真空抽氣機，則三軸室開始依重力排水。若啟動真空抽氣機，利用真空壓力調節閥 C 施加負壓力，則三軸室將加速排水。

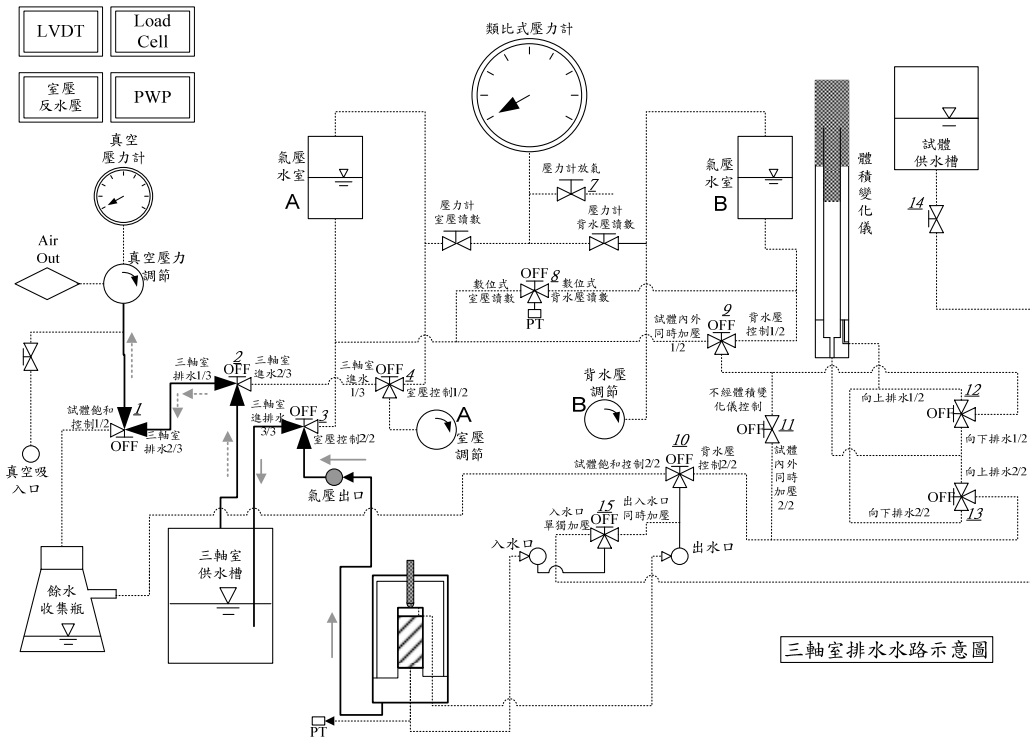
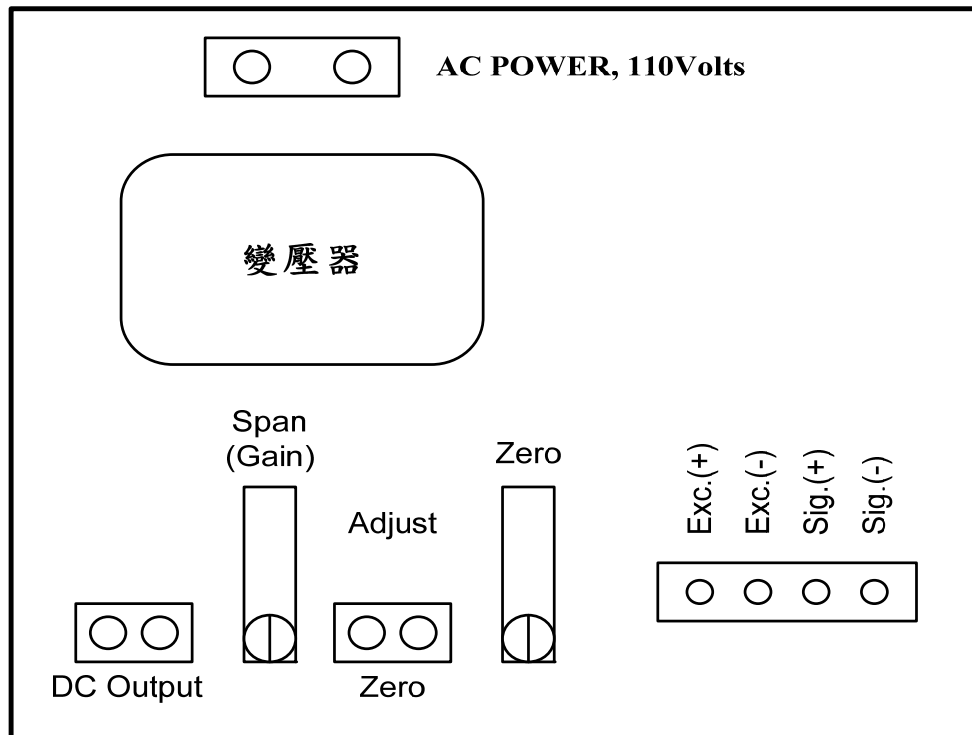
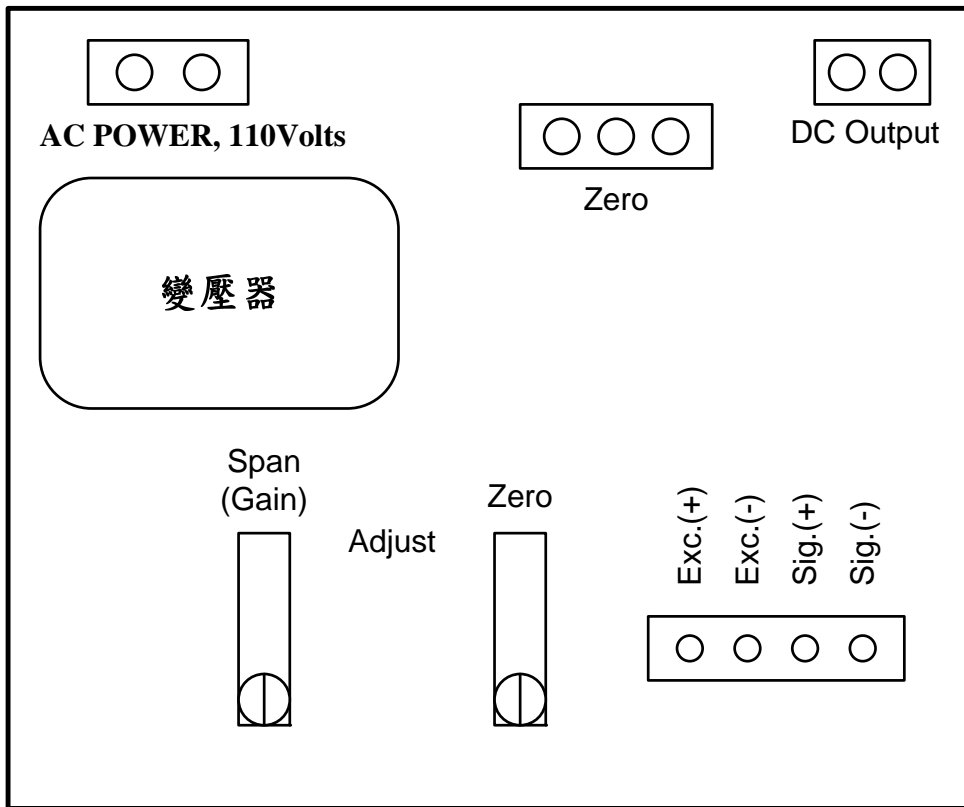


圖 A8 三軸室排水示意圖

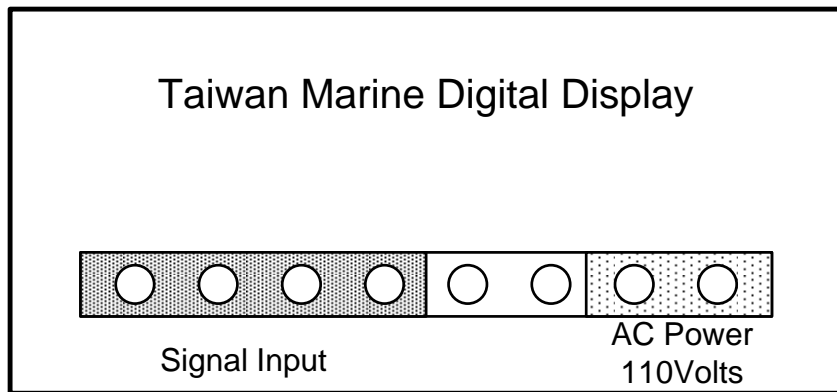
A-IV. 線路板調整示意圖



LVDT線路板調整示意圖



LoadCell、Pore water Pressure Transducer、
Chamber Pressure Transducer
線路板調整示意圖



顯示器接線圖