

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

第二名

080503

「晰」「析」「攘」「壤」！

--土壤物理性質及簡單分類之研究

學校名稱：臺北市大同區日新國民小學

作者： 小五 蘇靖恩 小六 陳彥廷 小四 周渝庭 小四 林峻亨	指導老師： 曾綺瑜 林杏華
---	---------------------

關鍵詞：粒徑分析、土壤摩擦力、土壤分類

摘要

研究本校足球門積水原因，並到台灣各地蒐集土樣，透過土樣加水實驗、篩分析實驗、土樣崩落實驗及土樣排水實驗，獲得以下的結果：

- 一、土壤是包含固體顆粒、水與空氣的複雜物質，而且各蒐集地點的差異性大。
- 二、土壤滲透性受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，滲透性愈好，排水性愈佳。
- 三、土壤因水滲透產生的沉陷量受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，沉陷量愈小，支承能力愈佳。
- 四、土壤崩落的斜坡角度(摩擦係數)受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，斜坡角度(摩擦係數)愈大。
- 五、建築物建於砂土層或石子土層上，比建於黏土層上安全並且比較經濟。
- 六、石子比砂子更適合做擋土牆後側的回填(填充)料。

壹、研究動機

小時候我很喜歡玩沙堆城堡的遊戲，我發現沙子加了水會比較堅固，但是水也可以輕鬆的把城堡給沖垮了，之後我總會加入一些小石頭和一些水，就可以讓沙堡變得更安全也可以支撐更長的時間。六年級自然有一個單元－「**地表的變化**」，教我們認識了許多不同的岩石和地表變化，我覺得很有趣，**因此開始注意生活周遭一些不同的土壤、石頭和水間的相互作用。**

每當下雨過後(圖 1)，我們常發現學校操場的足球門(圖 2)附近會積水，走過學校操場積水的地方，腿部會噴染爛泥巴，有時候還會滑一大跤。我心想：為什麼同一個學校操場，有些地方會積水，但有些地方卻不會呢？為什麼有些地方又特別容易讓人滑倒呢？五年級自然在「**力與運動**」單元中提到，物體在移動時會有摩擦力，**這讓我對土壤(圖 3)的排水能力和土壤的摩擦力這些問題發生興趣。**

從自然課本的附圖中，我也觀察到：河流的上游石頭都被畫的比較大，坡度也比較陡；下游出海口則是很小的沙子，坡度也比較平緩，這是為什麼呢？另外，**每當颱風期間，電視新聞總會有一些擋土牆倒塌的報導，為什麼擋土牆平常不會壞？颱風下雨就容易壞呢？**

我們問老師這幾個問題時，老師建議我們：為什麼不試著以探討相關文獻及設計簡單實驗來解答這個問題呢？於是，我們組成了研究小組，開始展開了以下的相關探討，除了研究學校不同地點的三種土樣外，還想知道台灣其他地方的土壤形貌，於是研究期間利用返鄉探



圖 1 下雨過後的操場



圖 2 積水的足球門



圖 3 不同種類的土壤

親和與家人外出旅遊的機會，蒐集回台灣各地的多種土樣，讓我們除了有更多的研究土樣外，也更進一步粗淺的瞭解到台灣各地區的土壤分布情況。

我們團隊為了想深入瞭解土壤的物理性質，研讀了相關文獻，包括：黏土、砂土及礫石的區別與定義、側向土壓力、加權平均數、對數座標表及重量百分比累積曲線圖等，基本的數學與物理學相關知識，我們將研讀的重點節錄如下：

一、風化作用

(一)岩石長期受到風吹、日晒、雨淋和生物活動等影響，產生風化作用，碎裂成小顆粒，最後變成土壤的一部分。

(二)風化作用可以分為兩種。機械性或物理性的風化作用包括因為大氣情況如熱力、水、冰、壓力及衝擊力導致岩石碎裂及土壤的分解。化學性的風化作用包括與大氣化學物的直接反應，或與生物產生的化學物反應（生物性的風化作用），最終使得岩石、土壤及礦物分解。

二、黏土、砂土及礫石的區別與定義

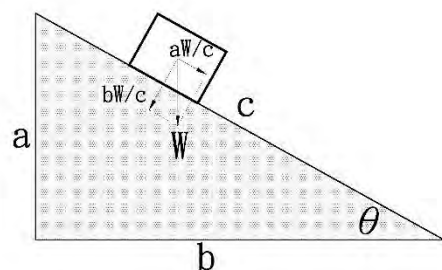
當 1/2 以上土壤重量留存於#200 篩以上時稱為粗粒土壤；當 1/2 以上土壤重量通過#200 篩以上時稱為細粒土壤。

粗粒土壤部分：當 1/2 以上土壤重量留存於#4 篩以上時稱為礫石土；當 1/2 以上土壤重量通過#4 篩時稱為砂質土。

細粒土壤部分：可再細分為高塑性土壤(黏土)與低塑性土壤(沉泥)。

三、摩擦力與摩擦係數

一個物體在另一個物體表面上滑動或將要滑動時，兩物體在接觸面上會產生阻止相對運動的作用力，這種作用力稱為摩擦力。摩擦力的大小可以用：「摩擦係數×正向力」求得。當一個物體置於一個斜面上時，物體沿斜面產生的水平分力等於重量 $W \times (\text{邊長 } a / \text{邊長 } c)$ ，垂直斜面產生的分力等於重量 $W \times (\text{邊長 } b / \text{邊長 } c)$ ，假設斜面表面的摩擦係數 = μ ，則當

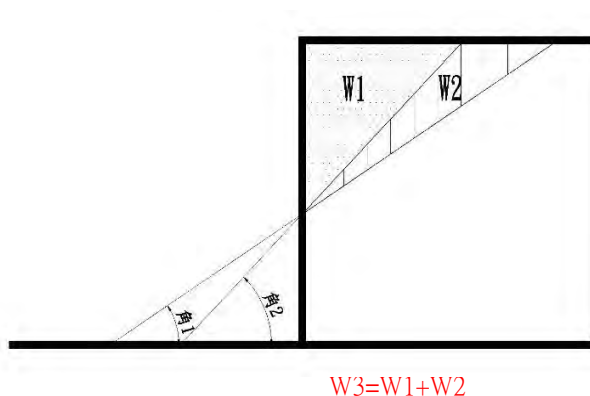


物體於斜面開始產生運動瞬間，摩擦係數 \times 正向力 = $\mu \times W \times (b/c) = W \times (a/c)$ ，求得斜面的最大靜摩擦係數等於邊長 a /邊長 b ，也等於底角 (θ) 的正切函數值($\tan \theta$)。

四、側向土壓力

土體側面如果沒有擋土設施支撐，很容易受自身的重量作用而往側面產生位移量，因而導致土體自動發生破壞狀況，這是土壤的重量引起的側向解壓破壞，**假設用擋土設施阻擋土體自動發生的解壓破壞，此時擋土設施所受的土壤壓力就是側向土壓力；當土壤崩落的體積愈大，擋土設施承受的側向土壓力也愈大，也需要有更強(更大)的擋土設施來阻擋土壤崩**

落。以右圖為例：因為角 $2 >$ 角 1 ，崩落土壤重量 $W1 <$ 重量 $W3(W1+W2)$ ，所以形成斜坡角角 2 的土壤造成的側向土壓力 $<$ 形成斜坡角角 1 的土壤造成的側向土壓力。



五、加權平均數

一組數據中的每個數據對於平均數的貢獻並不是相等，有些點要比其他的點更加重要。考慮單一數據對一組數據的比例或重要性後，計算所得的平均數稱為加權平均數。

六、對數座標表

因為座標圖的自變數範圍過大，很難用實際比例刻度呈現，所以為了縮小圖表的尺寸，將座標圖的橫向自變數改以對數的方式表示，此種座標表稱為對數座標表。

七、重量百分比累積曲線圖

土樣經過篩分析實驗後，將各種篩號存留的土樣重量換算為百分率，再逐層累加百分率後，並標示於座標表的縱軸自變數上，連結各座標點，此時所得圖表即為重量百分比累積曲線圖。

貳、研究目的

一、研究影響水體滲入土壤快慢的原因

利用壓克力容器裝入等體積土樣再加入等量的自來水，測量自來水倒入土樣表面至接觸底部的最短時間，配合土樣的篩分析實驗，探討土樣滲透能力是否與土壤的顆粒大小有關。

二、研究水體滲入土壤時對土壤產生的影響

利用壓克力容器裝入等體積土樣再加入等量的自來水，測量自來水完全滲入土樣後，測量土樣的體積變化與留存於土樣表面上的自來水高度，配合土樣的篩分析實驗，探討土樣支承能力好壞與土壤顆粒大小的關係。

三、研究土壤摩擦力及側向土壓力與土壤顆粒大小的關係

利用設有活動隔板的壓克力觀察容器裝入等體積乾燥土樣，再將活動隔板抽出，觀察與測量土樣的崩落角度，探討土壤摩擦力及側向土壓力與土壤顆粒大小的關係。

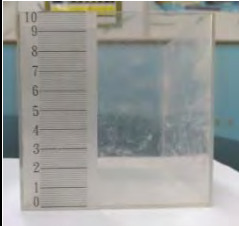



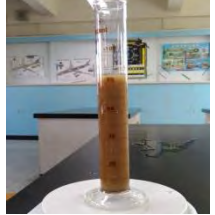






四、研究結論對日常應用的探討

探討實驗結果如何應用於日常公共結構物及建築物？例如:如何設計安全的擋土結構物及如何選擇良好建築基地等。

參、研究設備及器材

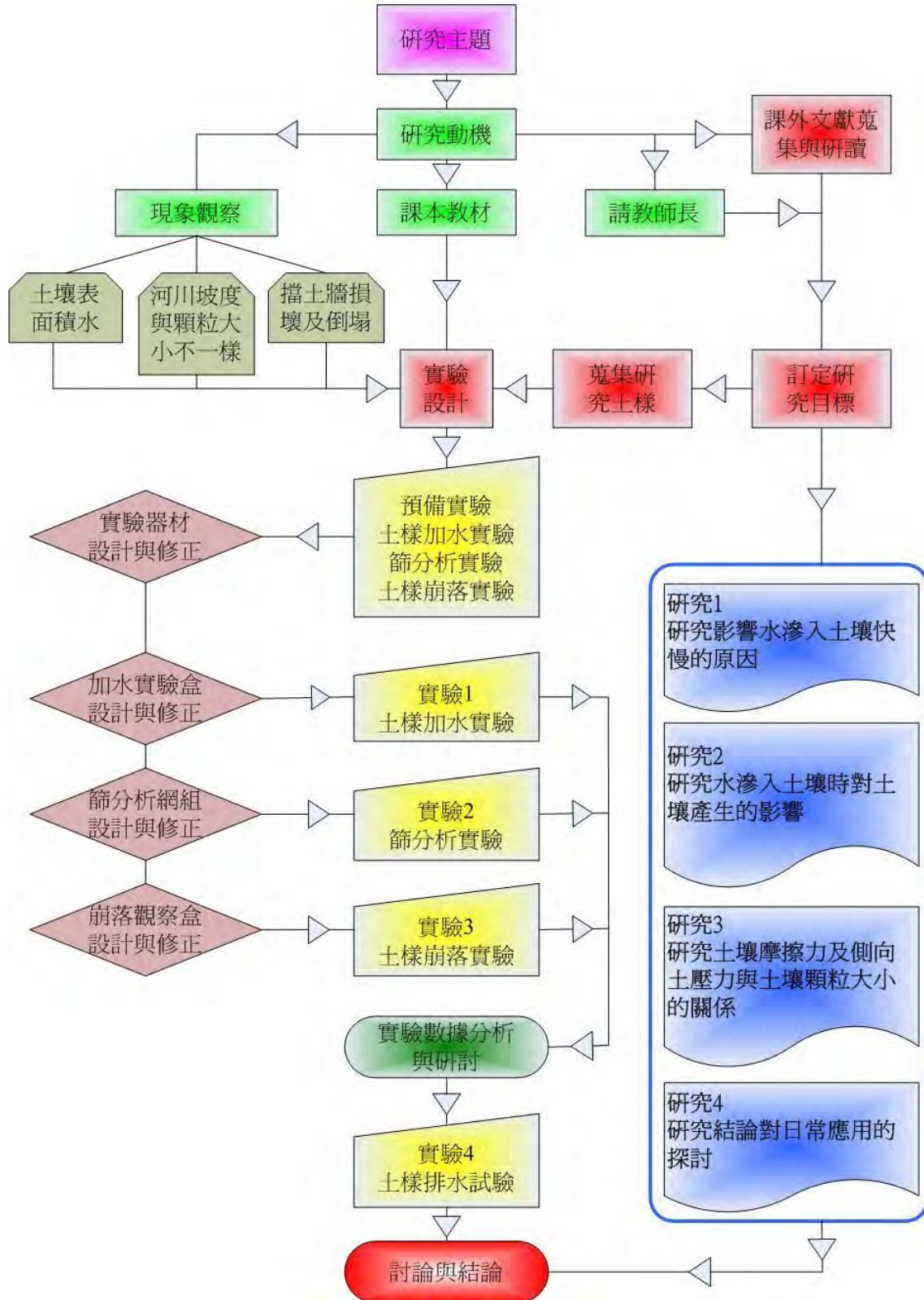
研究期間，我們研究團隊使用的器材、設備與功能整理如表 1。

表 1 研究器材、設備與功能表

品項	10*10*10cm 壓克力盒(公升量杯)	簡易式篩網	30*10*10cm 壓克力盒		烤箱
圖片					
功用	裝置土樣、觀測水的滲流	篩選土樣、測量土壤粒徑、篩除土樣雜質	裝置土樣、觀測土壤崩落角度		去除土樣水分
品項	量筒	計時碼表	量角器	土樣	簡易水平儀
圖片					
功用	測量水的體積	測量時間	測量斜坡角度	研究樣本	測量物件放置是否水平
品項	研鉢	杵	電子磅秤	篩分析網組	
圖片					
功用	將土樣搗碎細化、研磨土樣	研磨土樣	測量土樣及儀器重量	功能：篩選土樣、測量土壤粒徑、計算粒徑分布比例	

肆、研究方法及過程

一、研究架構與流程



二、初期：土樣加水試驗

(一)方法與過程

1.為了瞭解我們學校操場為什麼有一部分的區域會有積水的現象，我們在**操場中央、足球門前方及跳遠沙坑**各挖取約 5gw 的土壤，做為研究的樣本。研究最初，我們觀察到三種土壤樣本所含的水分，顆粒大小及外觀顏色都有不同，為了明瞭土壤顆粒對於自來水滲入土樣的影響，將土樣試驗的控制變因一致化，我們決定**將土樣用烤箱烤乾並研磨成顆粒狀後再進行實驗。**

2.將學校教具室內的壓克力盒(無刻度，公升量杯)，利用轉印紙貼上量尺刻度(精度 1mm，圖 4)，裝入在學校取得的三種土樣**(1)操場中央(2)足球門前方(3)跳遠沙坑**各 5cm 高，加入 100ml 的自來水，觀察並記錄**水接觸壓克力盒底部的最短時間。**



圖 4 公升量杯

3.利用學校教具室內的三種網目簡易篩網，量測三種土樣的顆粒大小(圖 5)。



圖 5 簡易篩網

(二)結果與修正

1.將三種土樣加入 100ml 的自來水後，我們除了量得水滲入土樣 5cm 深度的時間以外，也觀察到以下的幾種現象：**(1)水滲入時土樣表面會有氣泡冒出，(2)100ml 自來水都滲入了土體表面，(3)土體體積有些許變化。**

2.我們將三種土樣重新烘乾研磨後，用學校教具室的三種簡易篩網篩選土樣，結果只有很少量草根可以留在簡易篩網上，幾乎所有土樣都會通過最小網目的簡易篩網，無法測得留在簡易篩網上的土樣重量；另外，我們也觀察到：學校教具室的三種簡易篩網網目不是正方形，無法判讀土壤粒徑。

- 3.我們決定將加入三種土樣的 100ml 自來水改為 300ml，藉著記錄滲透時間判斷土壤排水能力的優劣；藉著記錄土樣高度與水位高度，比較土樣加水後體積的變化量，來計算出三種土樣裡的孔隙體積。
- 4.因為學校的三種篩網無法量得土樣的粒徑大小，因此我們放棄學校的三種簡易篩網，另外設計篩網來量測微小的土樣粒徑。

三、中期：篩分析網組的設計與實驗

(一)方法與過程

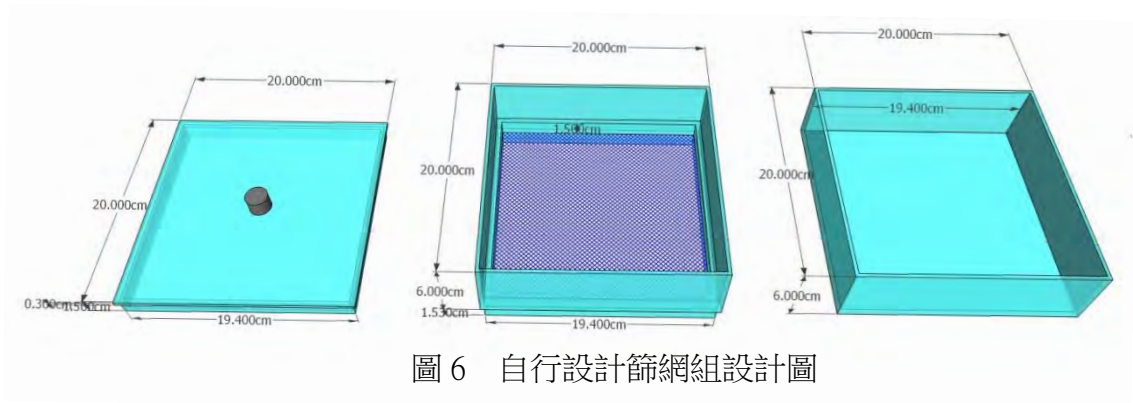
- 1.研究期間，我們觀察到學校附近有很多賣網具的商店，在好奇心的驅使下，我們向商店老闆打聽，店裡有怎樣的網目的網？商店老闆告訴我們；現在的科技很發達，可以將網目做的很小，做到 300 目以下(300 目：每 25.4mm 長度分割為 300 等份)都沒問題。使我們聯想到：或許可以自行設計篩網來量測粒徑大小，來測量微小顆粒。
- 2.我們最初以為#50 網目已經很小了，所以我們一開始只設計了頂蓋、#4、#12、#20、#40、#50 篩網及底層，並且委託壓克力器材製造商店幫忙製作，後來實際實驗發現，有幾組土樣幾乎可以全部通過#50 篩，無法求得較細土樣的分布比例，於是我們參考簡單土壤分類增加了#200 篩網來確認黏土的比例，另外在#50 篩網與#200 篩網增加了#100 篩網，#200 篩網與底層間加設#300 篩網。最終我們設計篩分析網組包括：頂蓋、#4、#12、#20、#40、#50、#100、#200、#300 篩網及底層。

(二)篩分析網組裝置說明

- 1.我們設計的篩網裝置如圖 6，說明如下：
 - (1)頂蓋:使用 3mm 厚壓克力板製成 20*20*1.5cm 密閉式蓋頂，功能為防止土壤顆粒在篩網組搖動時逸散，控制土壤重量維持實驗前後的一致性。
 - (2)篩網:使用 3mm 厚壓克力板製成 20*20*6cm 的側框，側框底部裝設八種不同網目的篩網(#4、#12、#20、#40、#50、#100、#200、#300)，各層篩網

依序相疊後形成篩網組(網目大者在上方)。篩網組功能為:篩取不同粒徑的土樣重量，計算不同粒徑土樣重量的比例，可得知土壤組成的差異性及簡易判讀土壤的類別。

(3)底層:使用 3mm 厚壓克力板製成 20*20*6cm 的側框，側框底部裝設封閉底板；底層功能為:防止土壤顆粒在篩網組搖動時逸散，並控制土壤重量，維持實驗前後的一致性，並且量得小於#300 篩的土樣重量。



(三)篩分析實驗結果與討論

1.篩分析實驗:取出約等體積土樣，記錄土樣重量後(因為是計算土壤顆粒比例關係，所以沒有要求固定土樣重量為控制變因)，置入篩分析網組並做適當的搖動，搖動後靜置約 5 分鐘讓細微顆粒掉落，拆解篩分析網組並量秤、記錄各個篩網及底層的重量(土樣重+篩網重)。

2.前述各個篩網及底層重扣除篩網重後，可計算該次實驗留存於該篩網的土樣重量，將每層篩網的土樣重量除以實驗土樣重，可以計算得到該次土樣的土壤粒徑

比例(重量百分比)。將土樣的土壤粒徑比例(重量百分比)繪製成重量百分比累積曲線圖，比對滲透時間及重量百分比累積曲線圖的相互關係，即可知道粒徑大小與滲透快慢的關係。



四、後期：土壤崩落與土壤排水實驗盒的設計與實驗

(一)方法與過程

- 1.從課本的附圖我們觀察到河流的上、中、下游都被繪製成不同的坡度與顆粒大小，為了瞭解課本附圖繪製的原因，並且印證自然河流裡坡度與土壤粒徑的關係，我們團隊設計了一個土壤崩落實驗，我們設計的觀察裝置如圖 7，說明如下：土壤崩落實驗盒為一個 30cm 長*10cm 寬*10cm 高的長方體壓克力盒，在長邊距離測框 10cm 處設計一片可以抽取的隔板，實驗時將隔板抽出，可觀察並測量土樣崩落的角度，長邊的另一側側框設計成開口，方便實驗後土樣的傾倒與清理。
- 2.土樣崩落實驗：在短邊側框與隔板間裝填實驗土樣，刮平土樣表面，使各種土樣實驗體積保持相同(控制變因)，抽出隔板後，土樣會因為自身重量產生局部崩落現象，利用量角器計直接測量壓克力盒底板與崩落土體斜坡之間的夾角，配合前節節分析實驗，可得知崩落角度與粒徑大小間的關係。

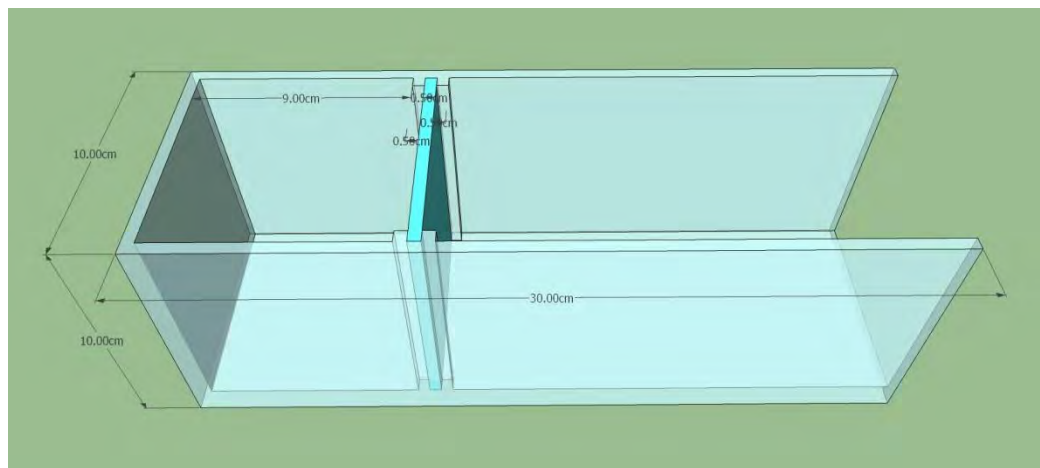


圖 7 自行設計的土壤崩落觀察盒與土壤排水實驗盒設計圖

- 3.土樣排水實驗：在短邊側框與隔板間裝填實驗土樣 500ml(已判讀為石子、砂及黏土的土樣各選取兩種為實驗對象)，刮平土樣表面，置入模擬建築物的小壓克力盒(小壓克力盒需以水平儀量測，確定小壓克力盒置入為水平狀態)，再以小灑水器於擬建築物上方加入 300ml 自來水(模擬下雨)，自來水流入土

樣後，最後會從隔板下方流出，實驗土樣內較微小的顆粒，會因水流影響自隔板下方流出，靜置試驗土樣至自來水不再流出，觀察微小的顆粒被水帶出後，對實驗土樣與模擬建築物的影響。進而可以得知建築物構築於不同土壤的優劣。

五、實驗步驟

(一)土樣加水實驗

- 1.將實驗土樣置於烤箱烘烤至含水量為零(重量不再變化)，並將結成塊狀的土樣研磨成顆粒狀。
- 2.在公升杯壓克力容器(10*10*10cm)中，放入 5cm 高，烘烤後且體積相同的土樣(500ml)做為測試土樣。
- 3.用量筒量取 300ml 水倒入測試土樣，記錄水接觸公升杯底部的最短時間。
- 4.靜置加水後的土樣至自來水完全滲入土壤孔隙(土樣不再冒出氣泡)，記錄土樣高度及水位高度。5cm 測試土樣高度－水完全滲透後土樣高度=沉陷高度
- 5.用體積=底面積 x 高的公式，算出沉陷量、土樣體積與留存於土樣表面上方自來水的體積。300ml－留存於土樣表面上方自來水的體積=滲入土樣的水體積
- 6.更換土樣，重覆(一)-2~(一)-5 步驟 5 次，記錄並求出平均值。
- 7.計算滲入土樣的水體積，可以算出土樣的孔隙率(孔隙率=滲入土樣的水體積)/(水完全滲透後不再變化的土樣體積)。

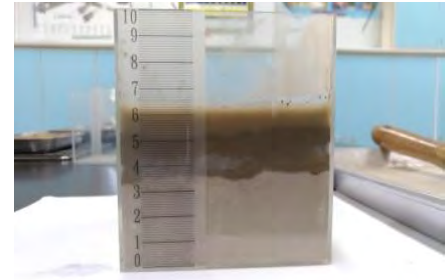


圖 8 土樣加水實驗

(二)篩分析實驗

- 1.將實驗土樣置於烤箱烘烤至含水量為零(重量不再變化)，並將結成塊狀的土樣研磨成顆粒狀。
- 2.量秤篩分析網組中，八種篩網及底層，在未加入土樣前的重量並記錄。

	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001
篩重(g)	325.00	312.00	304.00	309.00	413.00	305.00	339.00	299.00	311.00

- 3.將乾淨之篩網依篩號由小至大排列，上面的篩號較小，下面的篩號較大，最下方連接一個底層。
- 4.取適量的土樣(秤量並記錄該次土樣重量)置入篩分析網組最上層的#4 篩網內，適當搖動後，靜置篩分析網組各層間至不再存有微粒為止，拆解各層篩網，重新秤量各層篩網重量並記錄(圖 9)。
- 5.將留存土樣的篩網重減去篩網自重後，可求得介於上一號篩網與篩網自身號數間顆粒的重量。
- 6.檢核各層篩網上存留土樣重量總和是否與該次土樣重量相等，再計算各層篩網上存留土樣重量與該次土樣重量的比例關係，化成百分比並記錄。
- 7.更換土樣，重覆(二)-2~(二)-6 步驟 5 次，並記錄。
- 8.計算土樣在各號篩網停留重量的平均百分比，再將(各號篩網停留重量的平均百分比 x 各號篩網的篩孔徑大小)，可算得加權平均粒徑。



圖 9 篩分析實驗

(三)土樣崩落實驗

- 1.將實驗土樣置於烤箱烘烤至含水量為零(重量不再變化)，並將結成塊狀的土樣研磨成顆粒狀。
- 2.在土壤崩落觀察盒(30*10*10cm)與隔板間置入烘烤後土樣，刮平土樣使測試土樣體積為 1000ml。
- 3.抽出土壤崩落觀察盒的隔板，拍照並測量土壤崩落觀察盒底板與土樣崩落後形成斜坡間的角度(圖 10)。
- 4.更換土樣，重覆(三)-1~(三)-3 步驟 5 次，並記錄。



圖 10 土壤崩落實驗

(四)土壤排水實驗

- 1.將實驗土樣置於烤箱烘烤至含水量為零，並將結成塊狀的土樣研磨成顆粒狀。
- 2.在土壤崩落觀察盒放入烘烤後且體積相同的土樣(500ml)做為測試土樣。
- 3.製作模擬建築物：將 100gw 的砝碼裝進透明小壓克力盒 (5*5*10cm)，再用雙面膠固定在底部中央，四周並放入紙團避免砝碼滾動，頂部再用塑膠片封住。
- 4.刮平土樣表面，置入模擬建築物的小壓克力盒。
- 5.以水平儀量測小壓克力盒，需確定小壓克力盒置入為水平狀態。
- 6.以小灑水器於模擬建築物上方加入 300ml 自來水。
- 7.靜置試驗土樣至自來水不再流出，觀察微小的顆粒被水帶出後，對試驗土樣與模擬建築物的影響，並照相紀錄。
- 8.更換土樣，重覆(四)-1~(四)-7 步驟，並記錄及照相。

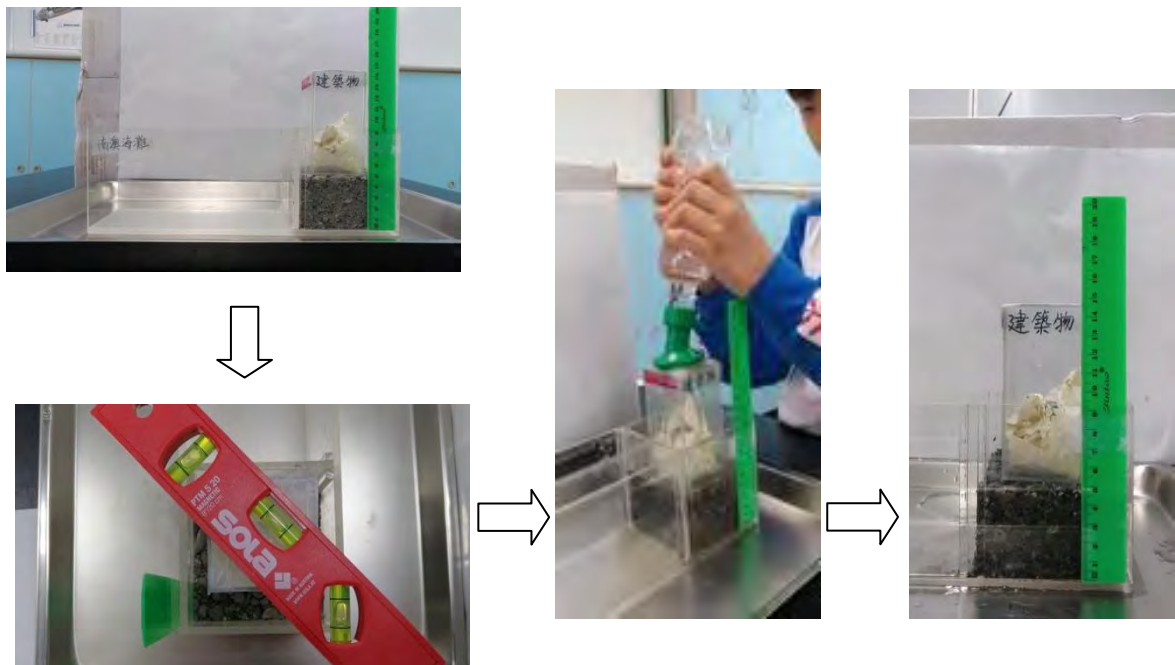


圖 11 土壤排水實驗

伍、研究結果

一、實驗一、土樣加水實驗

將十一種試驗土樣的實驗結果，整理如表 3~表 13。我們得到以下的結果：

(一)楊梅半山腰、台北工地和台南北門這三種土樣，水滲透到底部所需的時間**最長**；

而公園石子坑、南澳海灘及苗栗三義這三種土樣，水滲透到底部所需的時間**最短**，其他幾種土樣所需時間的長短，介於這六種土樣之間。

(二)楊梅半山腰、台北工地和台南北門這三種土樣，水完全滲透後土樣**沉陷量最大**。

苗栗三義、南澳海灘和公園石子坑土樣，**沉陷量最小**。

足球門	試驗土樣體積500立方公分					
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1400.00	1520.00	1525.00	1392.00	1698.00	1507.00
加水後總高度(公分)	6.20	5.60	5.30	5.40	5.00	5.50
水完全滲透後土高度(公分)	4.90	4.80	4.60	4.70	4.70	4.74
土沉陷高度(公分)	0.10	0.20	0.40	0.30	0.30	0.26
水留存於土上方的高度(公分)	1.30	0.80	0.70	0.70	0.30	0.76
水留存於土上方的體積(立方公分)	130.00	80.00	70.00	70.00	30.00	76.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	620.00	560.00	530.00	540.00	500.00	550.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	490.00	480.00	460.00	470.00	470.00	474.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	170.00	220.00	230.00	230.00	270.00	224.00
平均孔隙率						47%

跳遠沙坑	試驗土樣體積500立方公分					
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	16.00	14.00	8.00	6.00	13.00	11.40
加水後總高度(公分)	5.80	5.70	5.80	5.90	6.00	5.84
水完全滲透後土高度(公分)	4.90	4.80	4.70	4.90	4.80	4.82
土沉陷高度(公分)	0.10	0.20	0.30	0.10	0.20	0.18
水留存於土上方的高度(公分)	0.90	0.90	1.10	1.00	1.20	1.02
水留存於土上方的體積(立方公分)	90.00	90.00	110.00	100.00	120.00	102.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	580.00	570.00	580.00	590.00	600.00	584.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	490.00	480.00	470.00	490.00	480.00	482.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	210.00	210.00	190.00	200.00	180.00	198.00
平均孔隙率						41%

操場中央	試驗土樣體積500立方公分					
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	153.00	224.00	406.00	510.00	304.00	319.40
加水後總高度(公分)	6.00	6.20	6.50	5.30	5.00	5.80
水完全滲透後土高度(公分)	4.80	4.80	4.70	4.80	4.90	4.80
土沉陷高度(公分)	0.20	0.20	0.30	0.20	0.10	0.20
水留存於土上方的高度(公分)	1.20	1.40	1.80	0.50	0.10	1.00
水留存於土上方的體積(立方公分)	120.00	140.00	180.00	50.00	10.00	100.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	600.00	620.00	650.00	530.00	500.00	580.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	480.00	480.00	470.00	480.00	490.00	480.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	180.00	160.00	120.00	250.00	290.00	200.00
平均孔隙率						42%

公園石子坑						
						試驗土樣體積500立方公分
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
加水後總高度(公分)	6.00	5.90	5.90	5.80	6.00	5.92
水完全滲透後土高度(公分)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
土沉陷高度(公分)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水留存於土上方的高度(公分)	1.00	0.90	0.90	0.80	1.00	0.92
水留存於土上方的體積(立方公分)	100.00	90.00	90.00	80.00	100.00	92.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	600.00	590.00	590.00	580.00	600.00	592.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	200.00	210.00	210.00	220.00	200.00	208.00
平均孔隙率						42%

台北工地						
						試驗土樣體積500立方公分
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1416.00	2120.00	1870.00	1963.00	1456.00	1765.00
加水後總高度(公分)	5.50	5.70	5.20	5.30	5.50	5.44
水完全滲透後土高度(公分)	4.60	4.50	4.90	4.80	4.50	4.66
土沉陷高度(公分)	0.40	0.50	0.10	0.20	0.50	0.34
水留存於土上方的高度(公分)	0.90	1.20	0.30	0.50	1.00	0.78
水留存於土上方的體積(立方公分)	90.00	120.00	30.00	50.00	100.00	78.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	550.00	570.00	520.00	530.00	550.00	544.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	460.00	450.00	490.00	480.00	450.00	466.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	210.00	180.00	270.00	250.00	200.00	222.00
平均孔隙率						48%

楊梅半山腰						
						試驗土樣體積500立方公分
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1704.00	1640.00	1454.00	3055.00	1109.00	1792.40
加水後總高度(公分)	4.80	5.10	5.50	5.80	5.00	5.24
水完全滲透後土高度(公分)	4.40	4.60	4.70	4.80	4.60	4.62
土沉陷高度(公分)	0.60	0.40	0.30	0.20	0.40	0.38
水留存於土上方的高度(公分)	0.40	0.50	0.80	1.00	0.40	0.62
水留存於土上方的體積(立方公分)	40.00	50.00	80.00	100.00	40.00	62.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	480.00	510.00	550.00	580.00	500.00	524.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	440.00	460.00	470.00	480.00	460.00	462.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	260.00	250.00	220.00	200.00	260.00	238.00
平均孔隙率						52%

苗栗三義						
						試驗土樣體積500立方公分
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	5.00	5.00	2.00	3.00	4.00	3.80
加水後總高度(公分)	6.00	6.00	6.10	5.70	6.10	5.98
水完全滲透後土高度(公分)	5.00	5.00	4.90	4.80	5.00	4.94
土沉陷高度(公分)	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	0.06
水留存於土上方的高度(公分)	1.00	1.00	1.20	0.90	1.10	1.04
水留存於土上方的體積(立方公分)	100.00	100.00	120.00	90.00	110.00	104.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	600.00	600.00	610.00	570.00	610.00	598.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	500.00	500.00	490.00	480.00	500.00	494.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	200.00	200.00	180.00	210.00	190.00	196.00
平均孔隙率						40%

台南北門						
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1770.00	918.00	2129.00	1177.00	2789.00	1756.60
加水後總高度(公分)	5.20	5.10	5.20	5.00	5.20	5.14
水完全滲透後土高度(公分)	4.60	4.70	4.50	4.60	4.50	4.58
土沉陷高度(公分)	0.40	0.30	0.50	0.40	0.50	0.42
水留存於土上方的高度(公分)	0.60	0.40	0.70	0.40	0.70	0.56
水留存於土上方的體積(立方公分)	60.00	40.00	70.00	40.00	70.00	56.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	520.00	510.00	520.00	500.00	520.00	514.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	460.00	470.00	450.00	460.00	450.00	458.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	240.00	260.00	230.00	260.00	230.00	244.00
平均孔隙率						53%

東澳海灘						
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	9.00	6.00	2.00	5.00	4.00	5.20
加水後總高度(公分)	5.50	5.40	5.40	5.20	5.50	5.40
水完全滲透後土高度(公分)	4.90	4.70	4.80	4.80	4.80	4.80
土沉陷高度(公分)	0.10	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20
水留存於土上方的高度(公分)	0.60	0.70	0.60	0.40	0.70	0.60
水留存於土上方的體積(立方公分)	60.00	70.00	60.00	40.00	70.00	60.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	550.00	540.00	540.00	520.00	550.00	540.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	490.00	470.00	480.00	480.00	480.00	480.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	240.00	230.00	240.00	260.00	230.00	240.00
平均孔隙率						50%

南澳海灘						
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
加水後總高度(公分)	6.00	5.90	6.00	6.00	5.90	5.96
水完全滲透後土高度(公分)	4.90	5.00	5.00	5.00	5.00	4.98
土沉陷高度(公分)	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
水留存於土上方的高度(公分)	1.10	0.90	1.00	1.00	0.90	0.98
水留存於土上方的體積(立方公分)	110.00	90.00	100.00	100.00	90.00	98.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	600.00	590.00	600.00	600.00	590.00	596.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	490.00	500.00	500.00	500.00	500.00	498.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	190.00	210.00	200.00	200.00	210.00	202.00
平均孔隙率						41%

苗栗苑港						
次數	1	2	3	4	5	平均
其中一角落水觸底時間(秒)	22.00	14.00	32.00	28.00	30.00	25.20
加水後總高度(公分)	5.60	5.20	5.50	5.60	5.40	5.46
水完全滲透後土高度(公分)	4.90	4.70	4.80	4.70	4.60	4.74
土沉陷高度(公分)	0.10	0.30	0.20	0.30	0.40	0.26
水留存於土上方的高度(公分)	0.70	0.50	0.70	0.90	0.80	0.72
水留存於土上方的體積(立方公分)	70.00	50.00	70.00	90.00	80.00	72.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	560.00	520.00	550.00	560.00	540.00	546.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	490.00	470.00	480.00	470.00	460.00	474.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	230.00	250.00	230.00	210.00	220.00	228.00
平均孔隙率						48%

二、實驗二、篩分析實驗

整理十一種實驗土樣篩分析實驗記錄如表 14~表 24。我們得到以下的結果：**楊梅半山腰、台北工地和台南北門**這三種土樣，**平均粒徑最小**，分別是 0.18, 0.26 和

0.28mm；而公園石子坑、南澳海灘及苗栗三義這三種土樣，平均粒徑最大，分別是 4.14, 4.03, 和 3.53mm。其他幾種土樣的平均粒徑，介於這六種土樣之間。

各種試驗土樣之顆粒粒徑分析曲線如圖 12。

足球門	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.085	0.001	
第一次停留重量(g)	0.00	2.00	0.00	6.00	6.00	17.00	8.00	0.00	9.00	48.00
百分比%	0.00	4.17	0.00	12.50	12.50	35.42	16.67	0.00	18.75	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	7.00	7.00	20.00	9.00	0.00	6.00	51.00
百分比%	1.96	1.96	0.00	13.73	13.73	39.22	17.65	0.00	11.76	100.00
第三次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	6.00	2.00	18.00	8.00	0.00	9.00	44.00
百分比%	0.00	2.27	0.00	13.64	4.55	40.91	18.18	0.00	20.45	100.00
第四次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	5.00	7.00	18.00	9.00	0.00	7.00	47.00
百分比%	0.00	2.13	0.00	10.64	14.89	38.30	19.15	0.00	14.89	100.00
第五次停留重量(g)	0.00	0.00	0.00	5.00	20.00	20.00	9.00	1.00	8.00	63.00
百分比%	0.00	0.00	0.00	7.94	31.75	31.75	14.29	1.59	12.70	100.00
平均(%)	0.39	2.11	0.00	11.69	15.48	37.12	17.19	0.32	15.71	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.34									

跳遠沙坑	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	13.00	12.00	16.00	0.00	0.00	0.00	42.00
百分比%	2.38	0.00	0.00	30.95	28.57	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
第二次停留重量(g)	0.00	0.00	0.00	28.00	30.00	33.00	1.00	0.00	0.00	92.00
百分比%	0.00	0.00	0.00	30.43	32.61	35.87	1.09	0.00	0.00	100.00
第三次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	40.00	23.00	29.00	0.00	0.00	0.00	93.00
百分比%	0.00	1.08	0.00	43.01	24.73	31.18	0.00	0.00	0.00	100.00
第四次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	41.00	24.00	30.00	0.00	0.00	1.00	97.00
百分比%	0.00	1.03	0.00	42.27	24.74	30.93	0.00	0.00	1.03	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	30.00	29.00	32.00	1.00	1.00	1.00	95.00
百分比%	1.05	0.00	0.00	31.58	30.53	33.68	1.05	1.05	1.05	100.00
平均(%)	0.69	0.42	0.00	35.65	28.24	33.95	0.43	0.21	0.42	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.51									

操場中央	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	0.00	3.00	2.00	4.00	4.00	19.00	7.00	0.00	6.00	45.00
百分比%	0.00	6.67	4.44	8.89	8.89	42.22	15.56	0.00	13.33	100.00
第二次停留重量(g)	0.00	0.00	3.00	4.00	2.00	20.00	8.00	1.00	6.00	44.00
百分比%	0.00	0.00	6.82	9.09	4.55	45.45	18.18	2.27	13.64	100.00
第三次停留重量(g)	0.00	0.00	0.00	64.00	35.00	176.00	16.00	1.00	2.00	294.00
百分比%	0.00	0.00	0.00	21.77	11.90	59.86	5.44	0.34	0.68	100.00
第四次停留重量(g)	0.00	1.00	2.00	5.00	2.00	22.00	7.00	1.00	5.00	45.00
百分比%	0.00	2.22	4.44	11.11	4.44	48.89	15.56	2.22	11.11	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	0.00	1.00	3.00	1.00	12.00	0.00	0.00	7.00	25.00
百分比%	4.00	0.00	4.00	12.00	4.00	48.00	0.00	0.00	28.00	100.00
平均(%)	0.80	1.78	3.94	12.57	6.76	48.89	10.95	0.97	13.35	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.39									

公園石子坑	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	60.00	52.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	0.00	0.00	145.00
百分比%	41.38	35.86	4.14	4.83	4.83	4.14	4.83	0.00	0.00	100.00
第二次停留重量(g)	55.00	41.00	5.00	7.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	115.00
百分比%	47.83	35.65	4.35	6.09	0.00	0.00	6.09	0.00	0.00	100.00
第三次停留重量(g)	53.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.00
百分比%	56.99	43.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
第四次停留重量(g)	58.00	52.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	111.00
百分比%	52.25	46.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	100.00
第五次停留重量(g)	57.00	47.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.00
百分比%	54.81	45.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
平均(%)	50.65	41.31	1.70	2.18	0.97	0.83	2.18	0.18	0.00	100.00
加權平均粒徑(mm)	4.14									

台北工地	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	6.00	1.00	9.00	0.00	0.00	41.00	59.00
百分比%	1.69	1.69	0.00	10.17	1.69	15.25	0.00	0.00	69.49	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	5.00	0.00	3.00	1.00	0.00	42.00	53.00
百分比%	1.89	1.89	0.00	9.43	0.00	5.66	1.89	0.00	79.25	100.00
第三次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.00	39.00
百分比%	2.56	2.56	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	0.00	87.18	100.00
第四次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	9.00	2.00	1.00	0.00	1.00	37.00	52.00
百分比%	1.92	1.92	0.00	17.31	3.85	1.92	0.00	1.92	71.15	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	5.00	0.00	0.00	1.00	0.00	38.00	46.00
百分比%	2.17	2.17	0.00	10.87	0.00	0.00	2.17	0.00	82.61	100.00
平均(%)	2.05	2.05	0.00	11.09	1.11	4.57	0.81	0.38	77.94	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.26									

楊梅半山腰	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	10.00	0.00	0.00	4.00	0.00	28.00	43.00
百分比%	0.00	2.33	0.00	23.26	0.00	0.00	9.30	0.00	65.12	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	2.00	0.00	6.00	2.00	9.00	9.00	0.00	58.00	87.00
百分比%	1.15	2.30	0.00	6.90	2.30	10.34	10.34	0.00	66.67	100.00
第三次停留重量(g)	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	5.00	0.00	32.00	40.00
百分比%	0.00	5.00	0.00	2.50	0.00	0.00	12.50	0.00	80.00	100.00
第四次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	3.00	0.00	36.00	42.00
百分比%	2.38	0.00	0.00	2.38	0.00	2.38	7.14	0.00	85.71	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	1.00	42.00	49.00
百分比%	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.20	2.04	85.71	100.00
平均(%)	1.11	1.92	0.00	7.01	0.46	2.55	9.90	0.41	76.64	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.18									

苗栗三義	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	56.00	8.00	3.00	4.00	1.00	12.00	8.00	1.00	4.00	97.00
百分比%	57.73	8.25	3.09	4.12	1.03	12.37	8.25	1.03	4.12	100.00
第二次停留重量(g)	48.00	9.00	3.00	4.00	2.00	12.00	13.00	0.00	6.00	97.00
百分比%	49.48	9.28	3.09	4.12	2.06	12.37	13.40	0.00	6.19	100.00
第三次停留重量(g)	48.00	9.00	2.00	5.00	2.00	14.00	12.00	1.00	5.00	98.00
百分比%	48.98	9.18	2.04	5.10	2.04	14.29	12.24	1.02	5.10	100.00
第四次停留重量(g)	47.00	8.00	2.00	4.00	1.00	14.00	12.00	1.00	7.00	96.00
百分比%	48.96	8.33	2.08	4.17	1.04	14.58	12.50	1.04	7.29	100.00
第五次停留重量(g)	47.00	8.00	3.00	4.00	1.00	14.00	13.00	0.00	6.00	96.00
百分比%	48.96	8.33	3.13	4.17	1.04	14.58	13.54	0.00	6.25	100.00
平均(%)	50.82	8.68	2.69	4.34	1.44	13.64	11.99	0.62	5.79	100.00
加權平均粒徑(mm)	3.53									

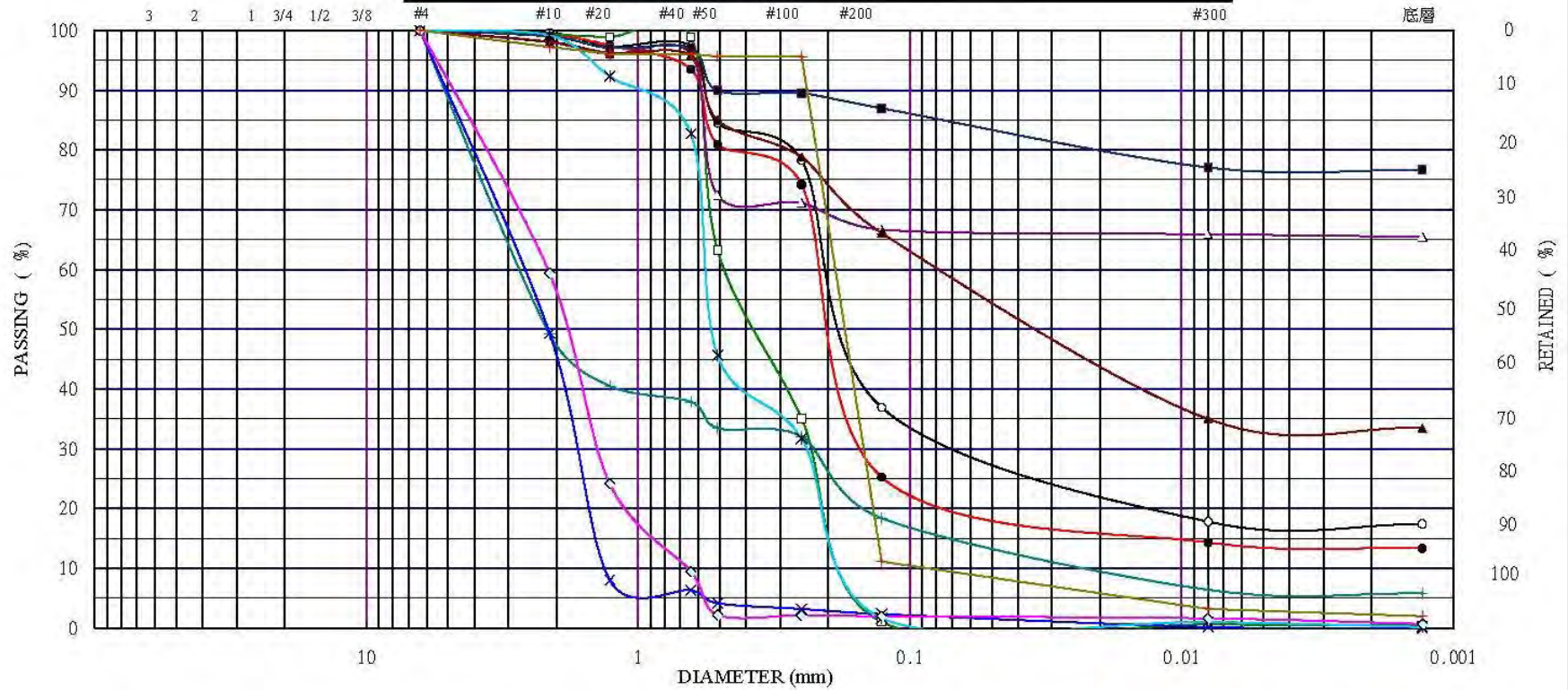
台南北門	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	17.00	1.00	17.00	8.00	0.00	27.00	72.00
百分比%	1.39	1.39	0.00	23.61	1.39	23.61	11.11	0.00	37.50	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	1.00	9.00	9.00	7.00	1.00	35.00	64.00
百分比%	1.56	1.56	0.00	1.56	14.06	14.06	10.94	1.56	54.69	100.00
第三次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	2.00	8.00	3.00	10.00	0.00	33.00	58.00
百分比%	1.72	1.72	0.00	3.45	13.79	5.17	17.24	0.00	56.90	100.00
第四次停留重量(g)	1.00	1.00	1.00	5.00	0.00	2.00	17.00	2.00	22.00	51.00
百分比%	1.96	1.96	1.96	9.80	0.00	3.92	33.33	3.92	43.14	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	2.00	0.00	2.00	37.00	1.00	24.00	68.00
百分比%	1.47	1.47	0.00	2.94	0.00	2.94	54.41	1.47	35.29	100.00
平均(%)	1.62	1.62	0.39	8.27	5.85	9.94	25.41	1.39	45.50	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.28									

東澳海灘	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	0.00	6.00	9.00	34.00	13.00	29.00	1.00	0.00	0.00	92.00
百分比%	0.00	6.52	9.78	36.96	14.13	31.52	1.09	0.00	0.00	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	7.00	10.00	36.00	11.00	27.00	2.00	1.00	0.00	95.00
百分比%	1.05	7.37	10.53	37.89	11.58	28.42	2.11	1.05	0.00	100.00
第三次停留重量(g)	1.00	7.00	10.00	36.00	14.00	29.00	0.00	0.00	0.00	97.00
百分比%	1.03	7.22	10.31	37.11	14.43	29.90	0.00	0.00	0.00	100.00
第四次停留重量(g)	1.00	6.00	8.00	36.00	15.00	30.00	0.00	1.00	0.00	97.00
百分比%	1.03	6.19	8.25	37.11	15.46	30.93	0.00	1.03	0.00	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	7.00	9.00	36.00	14.00	29.00	0.00	2.00	1.00	99.00
百分比%	1.01	7.07	9.09	36.36	14.14	29.29	0.00	2.02	1.01	100.00
平均(%)	0.82	6.87	9.59	37.09	13.95	30.01	0.64	0.82	0.20	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.70									

南澳海灘	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	147.00	93.00	30.00	13.00	1.00	0.00	3.00	5.00	2.00	294.00
百分比%	50.00	31.63	10.20	4.42	0.34	0.00	1.02	1.70	0.68	100.00
第二次停留重量(g)	148.00	94.00	33.00	14.00	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	294.00
百分比%	50.34	31.97	11.22	4.76	0.00	0.34	0.00	0.68	0.68	100.00
第三次停留重量(g)	145.00	96.00	34.00	16.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	296.00
百分比%	48.99	32.43	11.49	5.41	0.00	0.00	0.00	0.68	1.01	100.00
第四次停留重量(g)	150.00	94.00	32.00	16.00	0.00	0.00	0.00	3.00	2.00	297.00
百分比%	50.51	31.65	10.77	5.39	0.00	0.00	0.00	1.01	0.67	100.00
第五次停留重量(g)	152.00	90.00	18.00	26.00	0.00	1.00	3.00	2.00	2.00	294.00
百分比%	51.70	30.61	6.12	8.84	0.00	0.34	1.02	0.68	0.68	100.00
平均(%)	50.31	31.66	9.96	5.76	0.07	0.14	0.41	0.95	0.75	100.00
加權平均粒徑(mm)	4.03									

苗栗苑港	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.08	0.001	
第一次停留重量(g)	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	44.00	3.00	0.00	1.00	51.00
百分比%	3.92	1.96	0.00	0.00	0.00	86.27	5.88	0.00	1.96	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	41.00	6.00	1.00	1.00	51.00
百分比%	1.96	1.96	0.00	0.00	0.00	80.39	11.76	1.96	1.96	100.00
第三次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.00	4.00	1.00	1.00	51.00
百分比%	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	86.27	7.84	1.96	1.96	100.00
第四次停留重量(g)	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	43.00	4.00	0.00	1.00	51.00
百分比%	3.92	1.96	0.00	0.00	0.00	84.31	7.84	0.00	1.96	100.00
第五次停留重量(g)	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	41.00	3.00	1.00	1.00	48.00
百分比%	2.08	0.00	0.00	2.08	0.00	85.42	6.25	2.08	2.08	100.00
平均(%)	2.77	1.18	0.00	0.42	0.00	84.53	7.92	1.20	1.99	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.43									

圖12 實驗土樣顆粒粒徑分析曲線









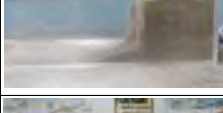




土樣編號	圖例	土壤分類
足球門	-○-	砂
操場	-●-	砂
砂坑	-□-	砂
楊梅	-■-	黏土
台北工地	-△-	黏土
台南北門	-▲-	黏土

土樣編號	圖例	土壤分類
苗栗三義	-+-	石子
公園石子坑	-x-	石子
東澳海灘	-*-	砂
苗栗苑港	-◇-	砂
南澳海灘	-+-	石子

三、土樣崩落實驗

(一)整理十一種實驗土樣的土壤崩落實驗記錄如表 25。

(二)我們可以看出：**楊梅半山腰、台北工地和台南北門**這三種土樣，土樣崩落的角
度，平均在 10 度到 13.8 度之間，在未崩落的部分都有一個幾乎垂直於地面的
現象，而崩落的部分形成的夾角非常小，是很特殊的。其他土樣的崩落情形，
呈現的斜坡像小朋友玩的溜滑梯，崩落的角度平均從 20 度慢慢增加到 32 度。

實驗次數 角度值 地點						平均值	相片	備註
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次			
足球門	20	18	19	25	18	20		紀錄表相片經過拉伸處理，所以呈現角度與紀錄值略有不同
操場中央	20	23	21	20	28	22.4		同上
跳遠沙坑	27	25	28	25	26	26.2		同上
公園石子坑	33	30	32	35	30	32		同上
台北工地	15	5	10	18	7	11		紀錄值為左下方土樣局部崩落形成的斜坡角度
楊梅半山	20	17	15	12	5	13.8		同上
台南北門	5	3	20	12	10	10		同上
東澳海灘	28	28	30	28	20	26.8		紀錄表相片經過拉伸處理，所以呈現角度與紀錄值略有不同
南澳海灘	30	30	35	31	32	31.6		同上
苗栗苑港	23	24	22	22	24	23		同上
苗栗三義	28	27	23	28	34	28		同上

四、實驗一~實驗三的數據整理，並依照平均粒徑大小排序如表 26。

	楊梅半山腰	台北工地	台南北門	足球門	操場中央	苗栗苑港	跳遠沙坑	東澳海灘	苗栗三義	南澳海灘	公園石子坑
加權平均粒徑(mm)	0.18	0.26	0.28	0.34	0.39	0.43	0.51	0.70	3.53	4.03	4.14
滲透時間(秒)	1792.4	1765	1756	1507	319	22	11.4	5.2	3.5	2	1
沉陷量(公分)	0.38	0.34	0.42	0.26	0.22	0.26	0.22	0.2	0.06	0.02	0
斜坡角度(度)	13.7	11	10	20	22.4	23	26.8	26.8	28	31.6	32
孔隙率(%)	52	48	53	47	42	48	41	50	40	41	42

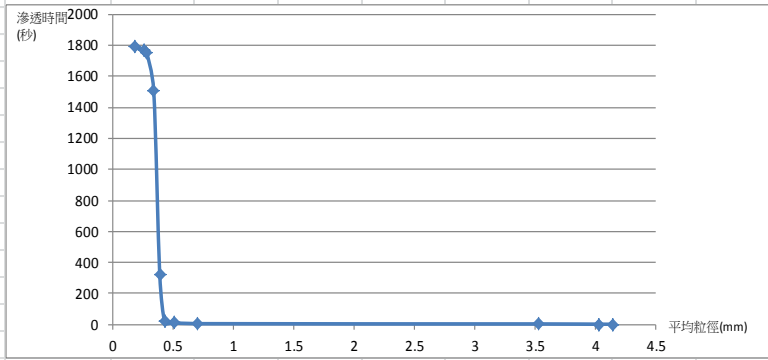


圖13 滲透時間與平均粒徑關係圖

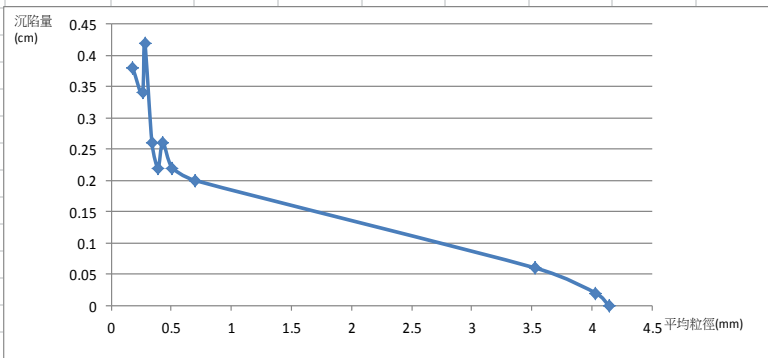


圖14 沉陷量與平均粒徑關係圖

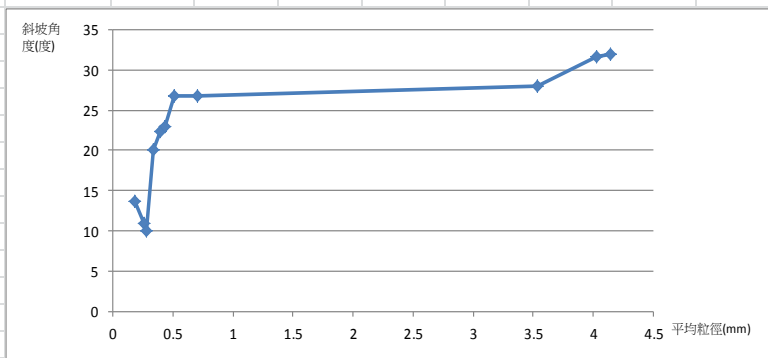


圖15 斜坡角度與平均粒徑關係圖



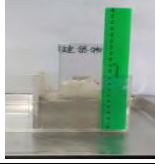
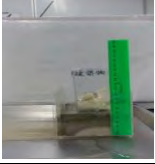
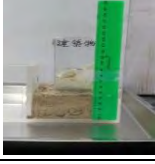
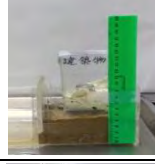


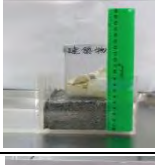
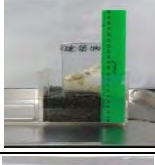
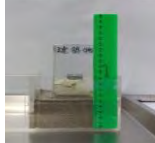

由三個實驗的交叉分析，可以得知：

1. 滲透時間和平均粒徑之間的關係如圖 13，土樣的平均粒徑愈大，水滲透下去的時間愈短，而土樣的平均粒徑愈小，水滲透下去的時間愈長。

2. 土壤沉陷量和平均粒徑之間的關係如圖 14，土壤顆粒平均粒徑愈大，沉陷量愈小，而土壤顆粒平均粒徑愈小，沉陷量愈大。
3. 土樣崩落斜坡角度和平均粒徑之間的關係如圖 15，土壤顆粒平均粒徑愈大，土樣崩落角度愈大，而土壤顆粒平均粒徑愈小，土樣崩落角度愈小。
4. 土壤孔隙率和平均粒徑之間並無特別顯著的關係，都在 40%-50%左右，平均粒徑較小的土樣，孔隙率較大一些。

五、實驗四、土樣排水實驗

整理六種實驗土樣(黏土、石子、砂子各兩種)的排水實驗前後照片及小壓克力盒傾斜情況，如表 27。

表27 六種土樣(黏土、石子、砂子各兩種)排水實驗記錄表				
	實驗前 (乾土)		實驗後 (濕土，水流出後)	偏斜角度
台南北門 (黏土)		300ml水流完 ➡		明顯傾斜 (約3度)
台北工地 (黏土)		300ml水流完 ➡		明顯傾斜 (約3度)
苗栗三義 (石子)		300ml水流完 ➡		無傾斜
南澳海灘 (石子)		300ml水流完 ➡		無傾斜
東澳海灘 (砂子)		300ml水流完 ➡		無傾斜
苗栗苑港 (砂子)		300ml水流完 ➡		無傾斜

陸、討論

討論一

在我們實驗的過程中，為了將控制變因統一，所以將各地取得的原樣土樣都先行烤乾及研磨細化後，再進行後續的各種實驗，而土壤中還有很多膠結物，所以我們實驗求的數據與原樣土樣的基本性質應該會有差距，無法完全呈現原有土樣的性質。因此未來我們將思考如何保護原樣土樣(例如：保持原來土樣的含水量等)，讓我們的實驗數據更接近原樣土樣，實驗結果更有實用價值。

討論二

我們設計的篩網組，因受到網具店販售有限的限制，無法取得更細小網目的篩網，所以區別細砂和黏土的#200 篩以下的篩網，只有一個#300 篩，而留在底層上的土樣，如果能再有更細小的篩網繼續做分析，黏土部分的粒徑分析將更完整。

討論三

在實驗三，我們觀察到台北工地、台南北門及楊梅半山腰三種土樣，自然崩落的情況明顯與其他土樣不同，這三種土樣未崩落部分幾乎接近垂直，然而崩落部分形成的斜坡角又是最小；另外這三種土樣經過篩分析實驗後，可被歸類為黏土，所以我們懷疑：黏土的崩落情況，與對結構物形成的側向壓力，是不是與有明顯斜坡的砂子或石子不同？值得再做進一步探討。

討論四

我們經常聽說台灣西南部地區地層下陷嚴重，主要是因超抽地下水，研究中的台南北門土樣顆粒細小，沉陷量大，是否也是造成地層下陷的原因之一？以後如果有機會再參與土壤研究，我們將再增加收集西南部地區土樣，確認造成地層下陷是否也與土壤種類有關。

柒、結論

一、土壤是包含固體顆粒、水與空氣的複雜物質，從台灣各地蒐集的土樣，經過篩分析實驗得知：平均粒徑差異性大；經加水實驗後得知：土壤看似固體，但中間卻含有許多孔隙，孔隙約占總體積的 40%~50%左右。

二、土壤顆粒大小對滲流時間的影響

在相同土樣體積、相同高度、相同含水量（0 含水量）及加入相同體積自來水的控制變因條件下，量測各地取得土樣的滲流時間，得知：公園石子坑、南澳海灘及苗栗三義土樣，底部接觸自來水的時間最短，這三種土樣經過篩分析實驗後，平均粒徑最大；台南北門、楊梅半山及台北工地土樣，底部接觸自來水的時間最長，這三種土樣經過篩分析實驗後，平均粒徑最小，證明水對土壤的滲透能力受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，滲透性愈好，排水性愈佳。

學校足球門會發生積水主要原因是：足球門土樣比操場中土樣含有較多且較小的微小顆粒，增加了雨水滲透的時間，才會發生積水現象。

三、受水作用後，土壤顆粒大小對土壤沉陷量(向下變形量)的影響

在相同土樣體積、相同高度、相同含水量（0 含水量）及加入相同體積自來水的控制變因條件下，量測各地取得土樣被水分完全滲透後的體積變化，得知：公園石子坑及苗栗三義火炎山下的土樣沉陷量最小，這兩種土樣經過篩分析實驗後，平均粒徑最大；台南北門渠道及台北大安工地的土樣沉陷量最大，這兩種土樣經過篩分析實驗後，平均粒徑最小，證明土壤因水滲透產生的變形量受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，沉陷量愈小。

四、土壤顆粒大小對土壤側向壓力的影響

在相同土樣體積、相同高度及相同含水量（0 含水量）的控制變因條件下，量測各地取得土樣崩落的角度，得知：公園石子坑、南澳海灘及苗栗三義土樣斜坡角度最大，崩落土壤體積最少，另外這三種土樣經過篩分析實驗後，平均粒徑最大。

東澳海灘、跳遠沙坑、苗栗苑港、操場中央及足球門土樣，土樣斜坡角度依序

遞減，崩落土壤體積也依序增加，所以得知：土樣平均粒徑愈大，自然崩落形成的斜坡角度也愈大，崩落時形成的側向土壓力也比較小。

至於台南北門、楊梅半山腰及台北工地土樣，因顆粒以小於#200 篩的數量占多數，依照土壤分類規定可歸類為黏土，這三種土樣崩落形成的情況，與歸類為砂或石子的土樣明顯不同，而且，水在這三種土樣的加水實驗中，是最不容易滲透的，那麼滯留在土樣上的水，是否也會影響黏土的側向壓力呢？所以，這三種土樣崩落體積最少，是否就表示側向土壓力也會比較小？我們在此次研究實驗中無法完全確認，未來我們將設法研究，繼續求證。

五、依簡單土壤分類原則，我們本次探討的十一種土樣大概可以描述為：

	石子	砂子						黏土		土壤分類
土樣來源	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	簡單分類與描述
足球門	0.39	2.11	0.00	11.69	15.48	37.12	17.19	0.32	15.71	含黏土的砂
跳遠沙坑	0.69	0.42	0.00	35.65	28.24	33.95	0.43	0.21	0.42	含有少量黏土的均勻砂
操場中央	0.80	1.78	3.94	12.57	6.76	48.89	10.95	0.97	13.35	含黏土的砂
公園石子坑	50.65	41.31	1.70	2.18	0.97	0.83	2.18	0.18	0.00	含粗砂的石子
台北工地	2.05	2.05	0.00	11.09	1.11	4.57	0.81	0.38	77.94	含砂的均勻黏土
楊梅半山腰	1.11	1.92	0.00	7.01	0.46	2.55	9.90	0.41	76.64	含砂的均勻黏土
苗栗三義	50.82	8.68	2.69	4.34	1.44	13.64	11.99	0.62	5.79	含粗砂的石子
台南北門	1.37	1.37	0.34	6.99	4.83	8.29	21.78	16.71	38.32	含細砂的黏土
東澳海灘	0.82	6.87	9.59	37.09	13.95	30.01	0.64	0.82	0.20	含少量黏土的不均勻的砂子
南澳海灘	50.31	31.66	9.96	5.76	0.07	0.14	0.41	0.95	0.75	含粗砂的石子
苗栗苑港	2.77	1.18	0.00	0.42	0.00	84.53	7.92	1.20	1.99	含少量石子及黏土的均勻砂

(數值單位:%)

六、研究結論對日常應用的探討

(一)由實驗四可知：結構物建於石子或是砂子上面，要比結構物建於黏土上更安全，如果結構物選定的位置恰好是位在黏土層上，那麼建設的結構物就要有適當的基礎設計，以免結構物因土壤流失造成傾斜或倒塌，所以以金錢的角度比較，結構物建於黏土上會比相同結構物建於石子或是砂子上更花錢。

(二)由實驗三崩落實
 驗可以知道：因為石子的
 斜坡角都大於砂子，所以
 石子重量形成的側向土
 壓力比砂子重量形成的
 側向土壓力小，由實驗一
 加水實驗可以知道：石子
 的滲透速度比砂子快，所
 以如果有一座擋土牆，後

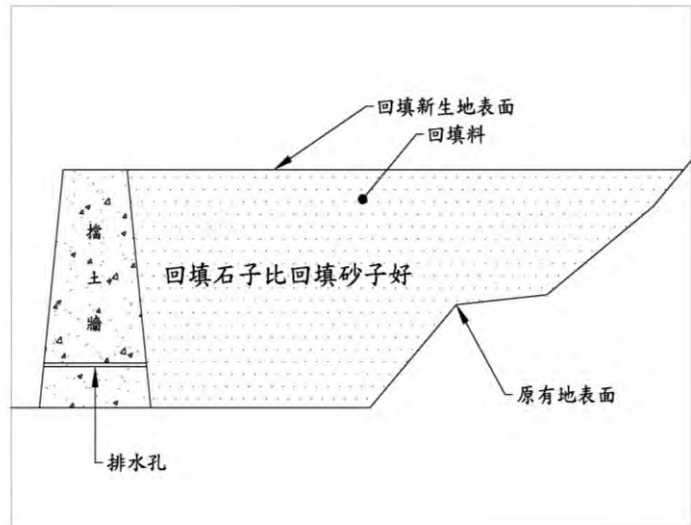


圖 16 擋土牆回填料說明示意圖

側需要回填土壤，使用石子回填會比

使用砂子回填安全(圖 16);或是有兩處相同厚度的土層，個別為石子層與砂子層，
 如果各要建一座相同型式的擋土牆來擋土，那麼建於砂子土層的擋土牆一定會比
 建於石子土層的擋土牆強壯，也會比較花錢(圖 17)。

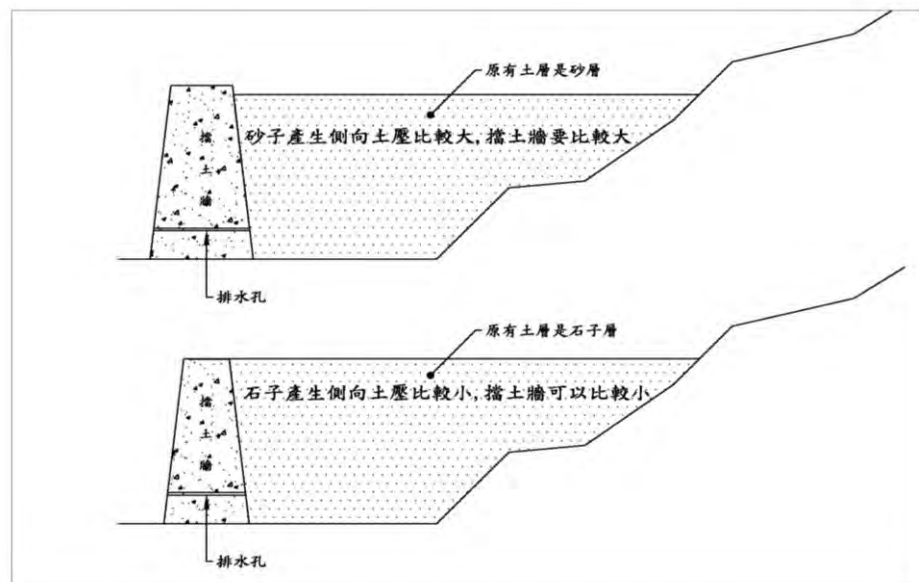


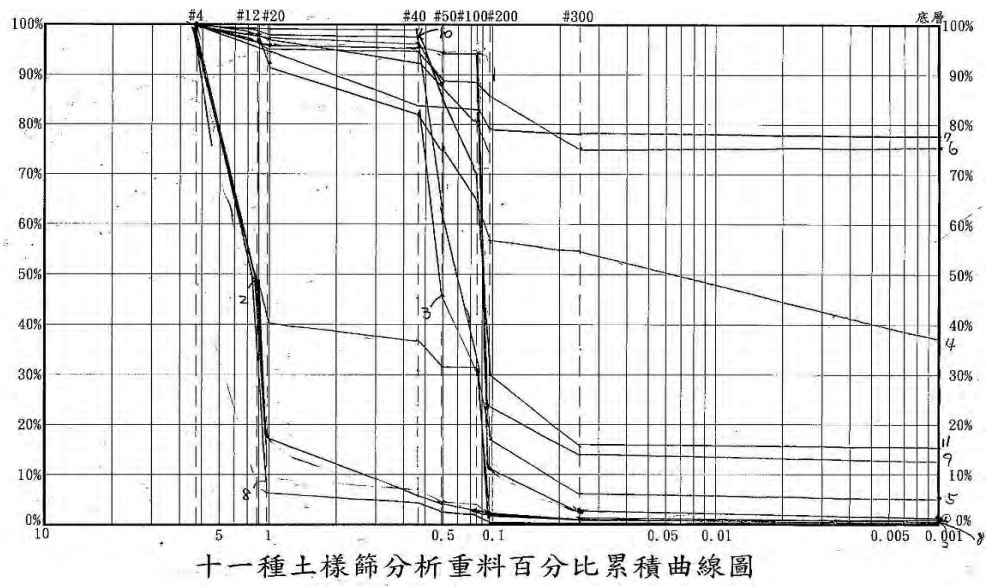
圖 17 不同土層興建擋土牆大小說明示意圖

(三)至於黏土是否會比砂子或石子更適合做擋土牆的回填土壤，以我們的實
 驗三數據無法明確判斷，將來可以進一步設計適當的實驗來探討。

捌、參考資料及其他

- 一、國民小學自然與生活科技六上（民 105）。台南市：翰林。
- 二、單信瑜（民 87）。土壤材料與土壤取樣。交通大學土木工程學系。檢索日期：2016.11.9
<http://www.cv.nctu.edu.tw/chinese/teacher/Ppt-pdf/soil-smp.pdf>
- 三、風化作用。維基百科。檢索日期：2016.11.16
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8C%96%E4%BD%9C%E7%94%A8>。
- 四、護土牆。維基百科。檢索日期：2017.1.23
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%AD%B7%E5%9C%9F%E7%89%86>
- 五、側向土壓力。檢索日期：2017.1.23
<http://w3.cpami.gov.tw/br/ref/chap7.htm>
- 六、摩擦力和摩擦係數。維基百科。檢索日期：2016.12.23
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%91%A9%E6%93%A6%E7%B3%BB%E6%95%B0>
- 七、對數尺度。維基百科。檢索日期：2017.2.3
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8D%E6%95%B8%E5%B0%BA%E5%BA%A6>
- 八、地層下陷災害與防災。檢索日期：2017.6.4 台大氣候天氣災害研究中心。取自
<http://www.wcdr.ntu.edu.tw/223202365219979385192879723475332873845028797.html>

附錄



手繪篩分析百分比累積曲線圖

【評語】 080503

1. 本研究主題清楚；具鄉土性；
2. 本研究採用文獻蒐集、簡易式實驗器材與實驗，並在室內進行模擬實驗，由實驗結果進行修正，方法說明的很清楚，具科學之適切性與可行性，並有程序的按部就班進行實驗；
3. 結果顯示土壤因水滲透產生的沉陷量 受土壤顆粒大小影響，平均粒徑愈大，沈陷量越小，支撐力越佳、斜坡角度（摩擦係數）愈大，然模擬實驗紮實。
4. 作者對研究問題與實驗過程都很清楚，在表達上也很清楚同時表現積極且願意爭取說明機會。

作品海報

摘要

研究本校足球門積水原因，並到台灣各地蒐集土樣，透過四項實驗，獲得以下的結果：

- 一、土壤是包含固體顆粒、水與空氣的複雜物質，而且各蒐集地點的差異性大。
- 二、土壤滲透性受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，滲透性愈好，排水性愈佳。
- 三、土壤因水滲透產生的沉陷量受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，沉陷量愈小，支撐能力愈佳。
- 四、土壤崩落的斜坡角度受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，斜坡角度愈大。
- 五、建築物建於砂土層或石子層上，比建於黏土層上安全且較經濟。
- 六、石子比砂子更適合做擋土牆後側的回填料。



圖 1 下雨過後的操場



圖 2 積水的足球門



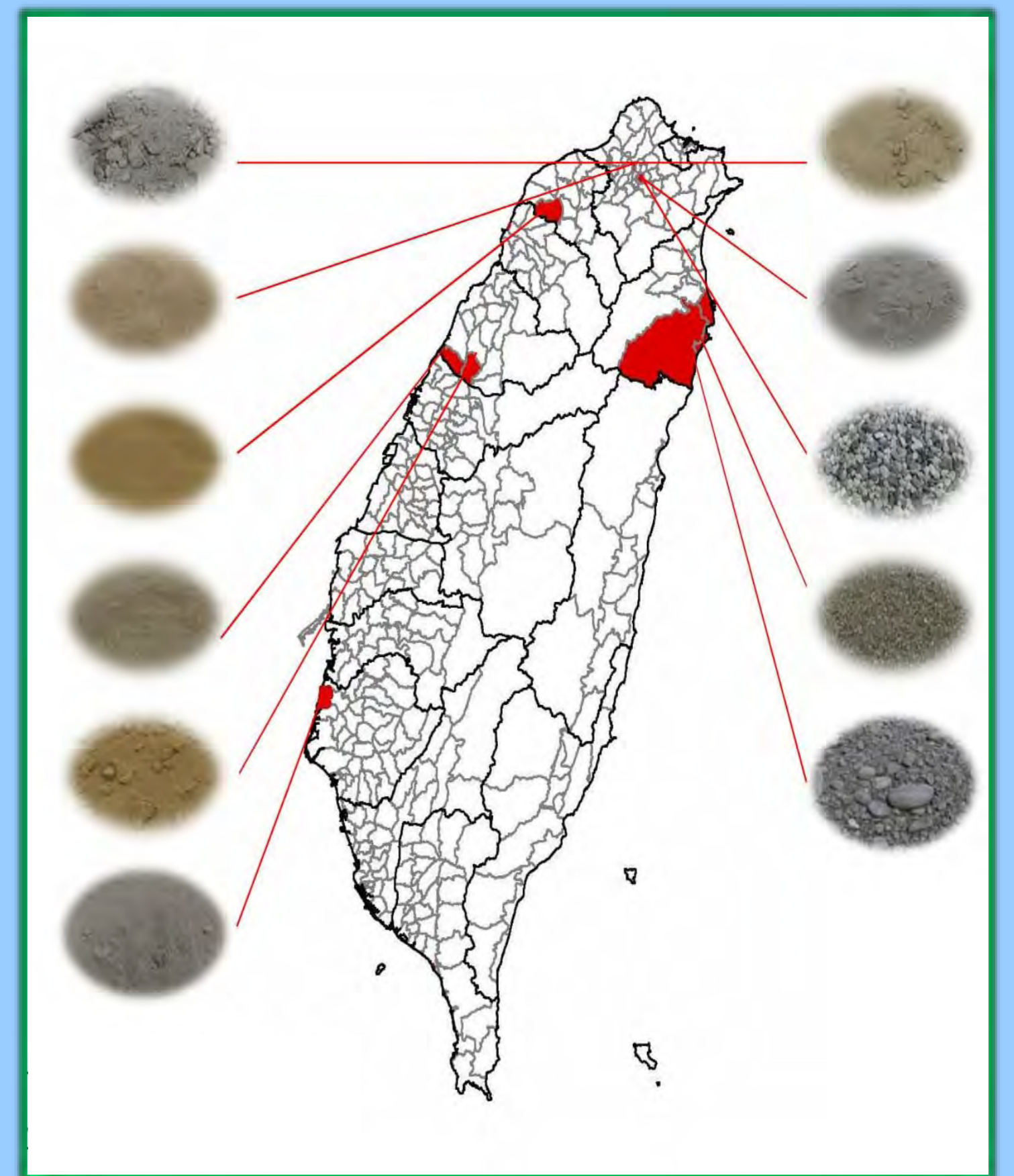
圖 3 不同種類的土壤

壹、研究動機

小時候我很喜歡玩沙、堆城堡，還喜歡加入小石頭和一些水。每當下雨過後(圖 1)，我們發現學校操場的足球門(圖 2)附近會積水，我心想：為什麼同一個學校操場，有些地方會積水，但有些地方卻不會呢？為什麼有些地方又特別容易讓人滑倒呢？為什麼河流上游的石頭較大，坡度也比較陡；下游出海口則是很小的沙子，坡度也比較平緩？另外，每當颱風期間，電視新聞總會有一些擋土牆倒塌的報導，為什麼擋土牆平常不會壞？颱風下雨就容易壞呢？

貳、研究目的

- 一、研究影響水體滲入土壤快慢的原因
- 二、研究水體滲入土壤時對土壤產生的影響
- 三、研究土壤摩擦力及側向土壓力與土壤顆粒大小的關係
- 四、研究結論對日常應用的探討



取自台灣11處不同種類的土壤及位置分布圖

參、研究設備及器材

品項	10*10*10cm 壓克力盒(公升量杯)	簡易式篩網	30*10*10cm 壓克力盒	烤箱	
圖片					
功用	裝置土樣、觀測水的滲流	篩選土樣、測量土壤粒徑、篩除土樣雜質	裝置土樣、觀測土壤崩落角度	去除土樣水分	
品項	量筒	計時碼表	量角器	土樣	簡易水平儀
圖片					
功用	測量水的體積	測量時間	測量斜坡角度	研究樣本	測量物件放置是否水平
品項	研鉢	杵	電子磅秤	篩分析網組	
圖片					
功用	將土樣搗碎細化、研磨土樣	研磨土樣	測量土樣及儀器重量	功能：篩選土樣、測量土壤粒徑、計算粒徑分佈比例	

肆、研究方法及過程

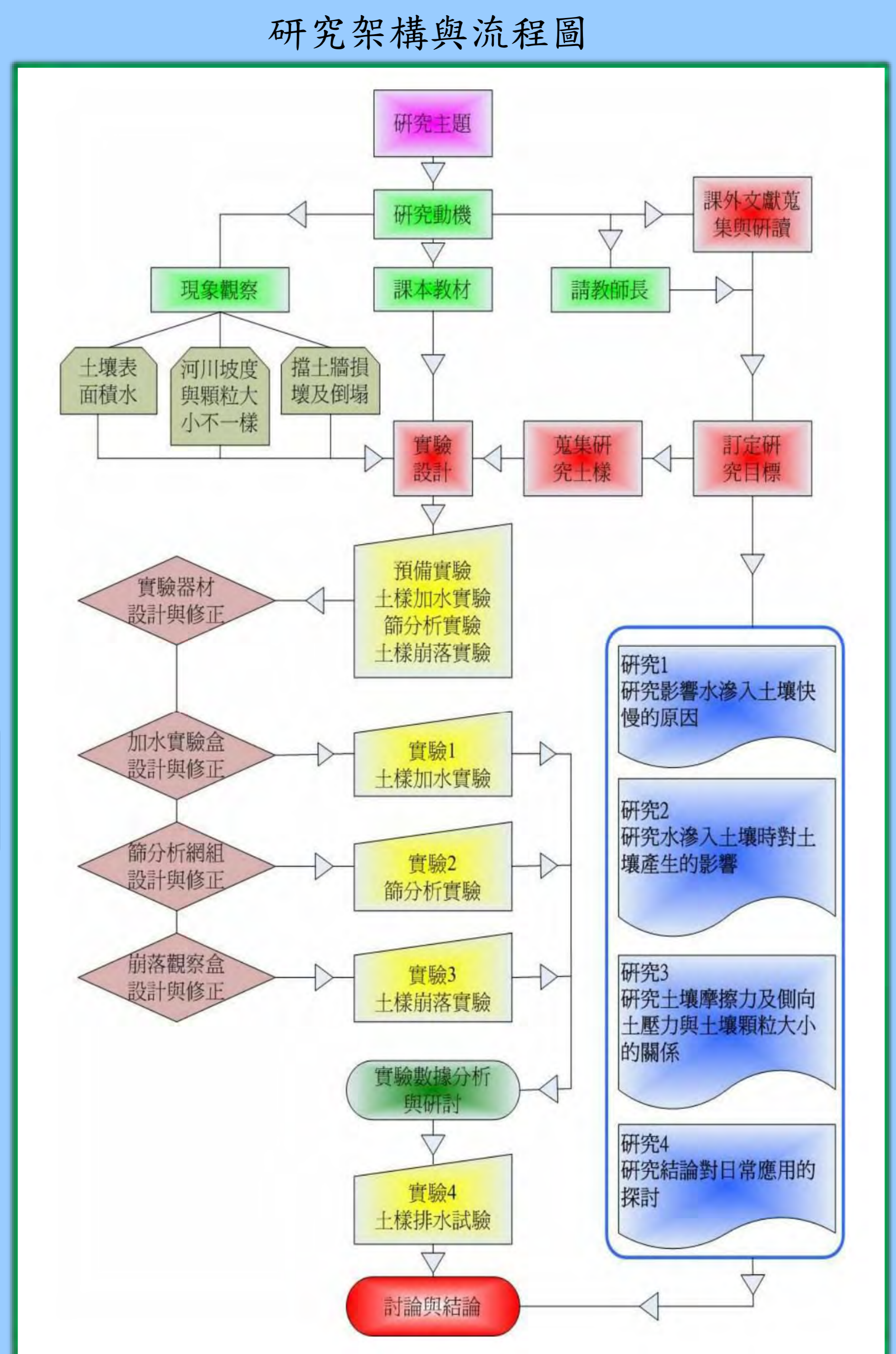
挖取學校操場三種土樣

↓

收集台灣各地八種土樣

↓

將土樣烤乾並研磨成顆粒狀



伍、研究結果

一、實驗一、土樣加水實驗

- (一)將300ml自來水倒入500ml試驗土樣，記錄自來水接觸一公升壓克力容器底部的最短時間。
- (二)靜置試驗土樣約一日後，觀察自來水完全滲入土樣後，記錄11種土樣留存於土樣上方的自來水體積及土樣體積的變化量。

摘錄其中兩種土樣的實驗數據如下

楊梅半山腰	試驗土樣體積500立方公分					平均
	次數	1	2	3	4	
其中一角落水觸底時間(秒)	1704.00	1640.00	1454.00	3055.00	1109.00	1792.40
加水後總高度(公分)	4.80	5.10	5.50	5.80	5.00	5.24
水完全滲透後土高度(公分)	4.40	4.60	4.70	4.80	4.60	4.62
土沉陷高度(公分)	0.60	0.40	0.30	0.20	0.40	0.38
水留存於土上方的高度(公分)	0.40	0.50	0.80	1.00	0.40	0.62
水留存於土上方的體積(立方公分)	40.00	50.00	80.00	100.00	40.00	62.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	480.00	510.00	550.00	580.00	500.00	524.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	440.00	460.00	470.00	480.00	460.00	462.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	260.00	250.00	220.00	200.00	260.00	238.00
平均孔隙率						52%

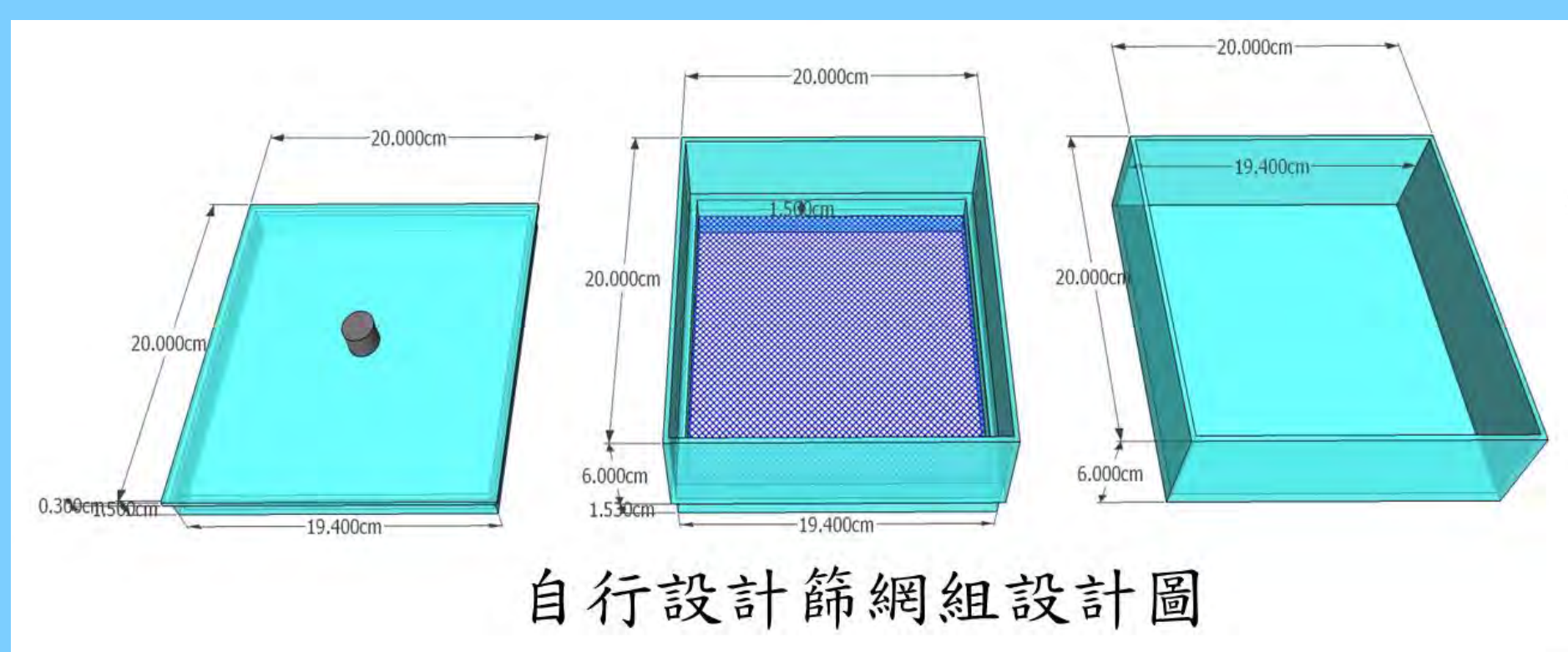
公園石子坑	試驗土樣體積500立方公分					平均
	次數	1	2	3	4	
其中一角落水觸底時間(秒)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
加水後總高度(公分)	6.00	5.90	5.90	5.80	6.00	5.92
水完全滲透後土高度(公分)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
土沉陷高度(公分)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
水留存於土上方的高度(公分)	1.00	0.90	0.90	0.80	1.00	0.92
水留存於土上方的體積(立方公分)	100.00	90.00	90.00	80.00	100.00	92.00
加入水的體積(立方公分)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
水完全滲透後水加土的體積(立方公分)	600.00	590.00	590.00	580.00	600.00	592.00
水完全滲透後土樣體積(立方公分)	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
滲入土樣的水體積(立方公分)	200.00	210.00	210.00	220.00	200.00	208.00
平均孔隙率						42%



將土樣烤乾並研磨成顆粒狀 計時水接觸公升量杯底部的最短時間 記錄留存於土樣上方的自來水體積及土樣體積的變化量

二、實驗二、篩分析實驗

- (一) 秤取適量的測試土樣，置入篩分析網組內，並適當的搖動；靜置篩分析網組約10分鐘。
- (二) 拆卸各層篩網，秤取各號數篩網上留存的土壤重量並計算比例。
- (三) 整理十一種實驗土樣的篩分析實驗記錄。

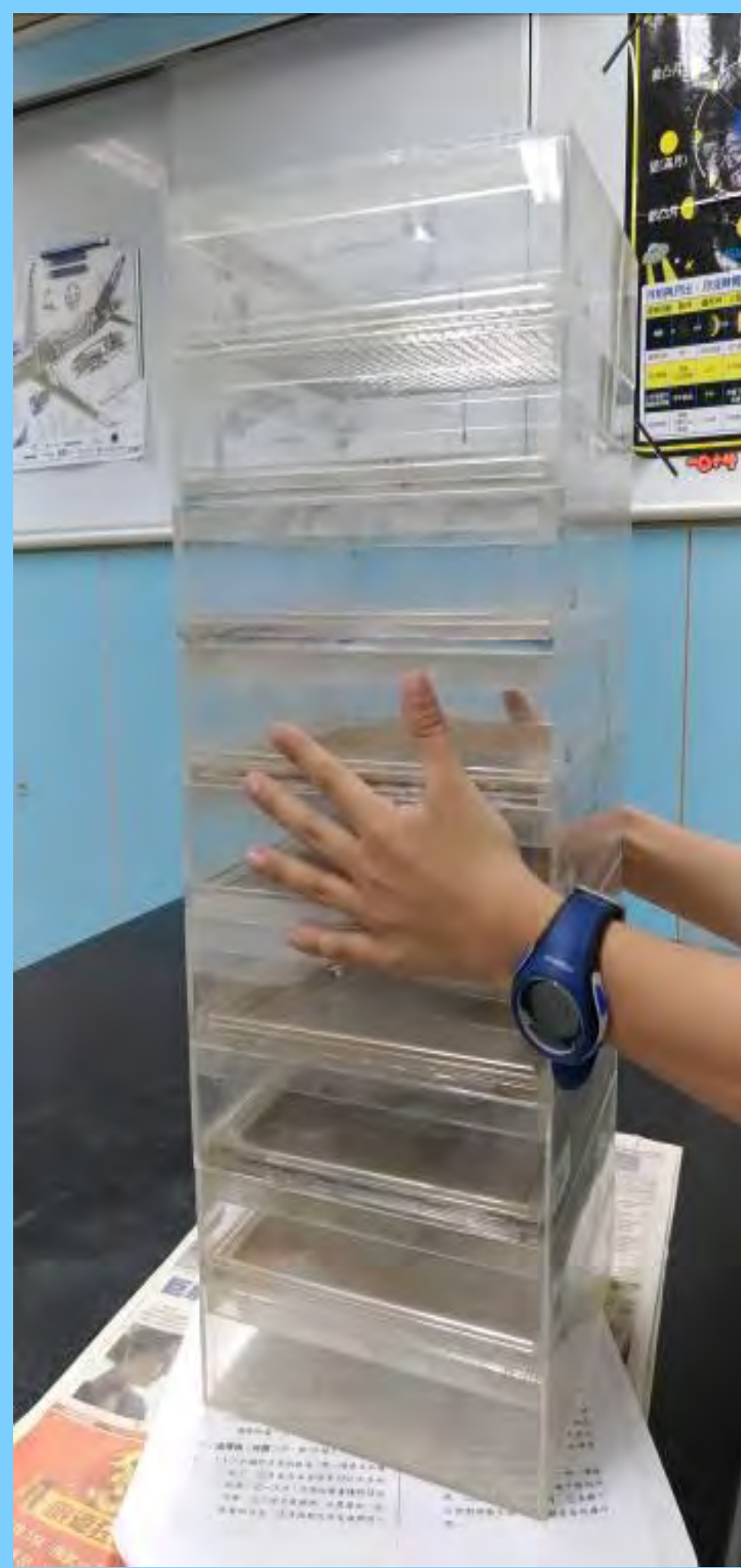


自行設計篩網組設計圖

計算停留重量的百分比和加權平均粒徑

畫出11種土樣顆粒粒徑分析曲線圖

將實驗一土樣加水實驗和實驗二篩分析實驗做交叉分析

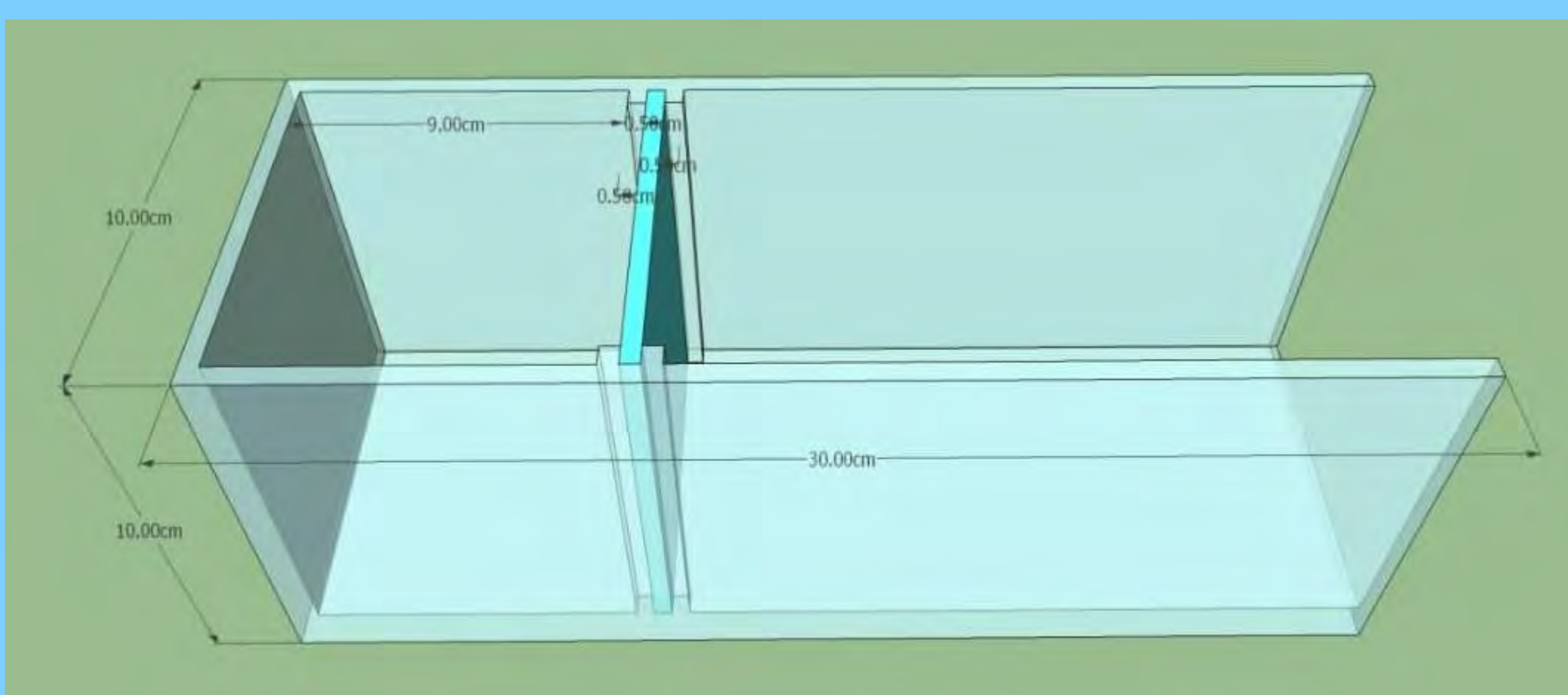
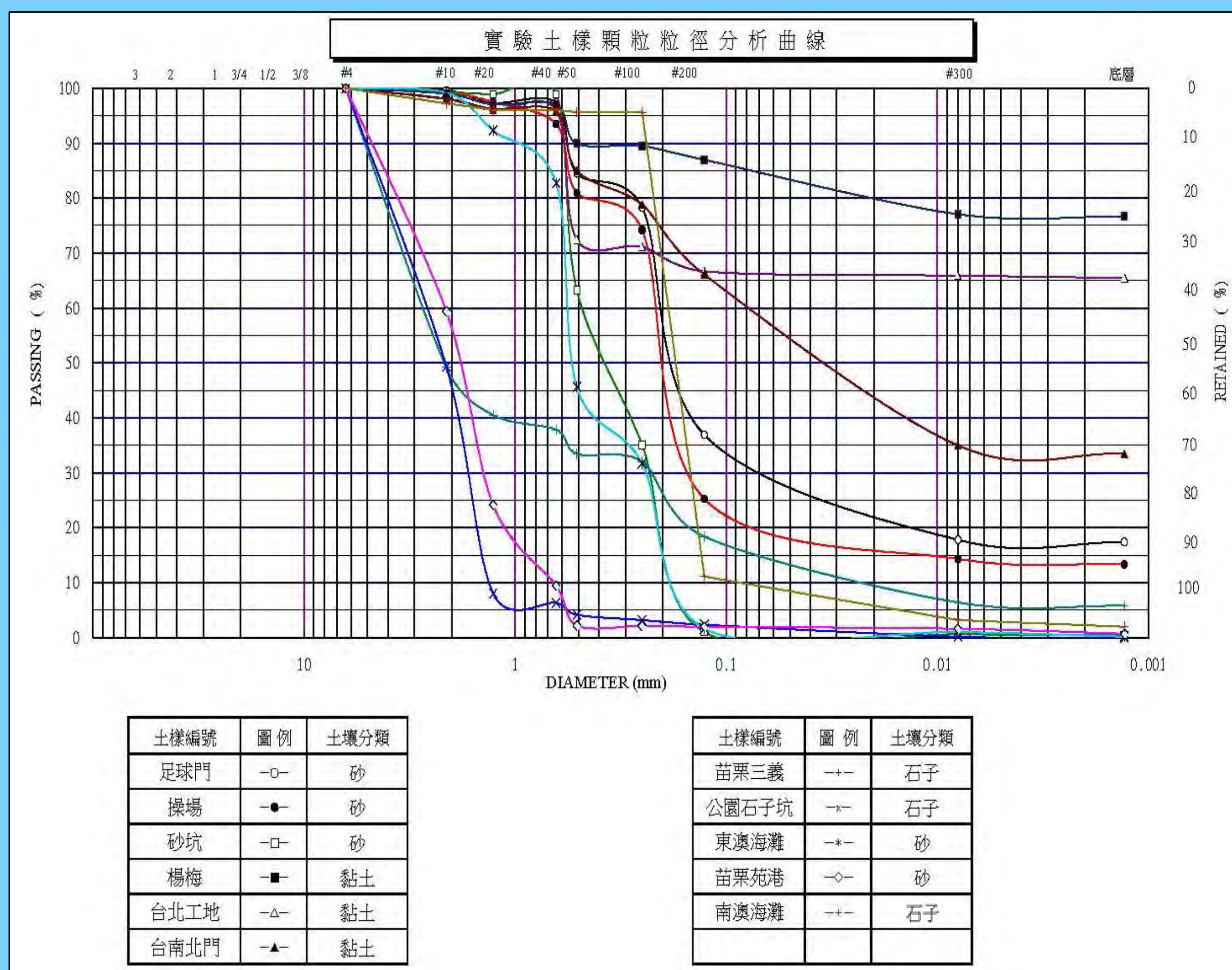


空篩網的重量紀錄表

篩孔徑(mm)	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層
篩重(g)	325.00	312.00	304.00	309.00	413.00	305.00	339.00	299.00	311.00

摘取一種土樣的篩分析實驗記錄

足球門	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	總和
篩孔徑(mm)	6.35	2.12	1.27	0.64	0.51	0.25	0.13	0.085	0.001	
第一次停留重量(g)	0.00	2.00	0.00	6.00	6.00	17.00	8.00	0.00	9.00	48.00
百分比%	0.00	4.17	0.00	12.50	12.50	35.42	16.67	0.00	18.75	100.00
第二次停留重量(g)	1.00	1.00	0.00	7.00	7.00	20.00	9.00	0.00	6.00	51.00
百分比%	1.96	1.96	0.00	13.73	13.73	39.22	17.65	0.00	11.76	100.00
第三次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	6.00	2.00	18.00	8.00	0.00	9.00	44.00
百分比%	0.00	2.27	0.00	13.64	4.55	40.91	18.18	0.00	20.45	100.00
第四次停留重量(g)	0.00	1.00	0.00	5.00	7.00	18.00	9.00	0.00	7.00	47.00
百分比%	0.00	2.13	0.00	10.64	14.89	38.30	19.15	0.00	14.89	100.00
第五次停留重量(g)	0.00	0.00	0.00	5.00	20.00	20.00	9.00	1.00	8.00	63.00
百分比%	0.00	0.00	0.00	7.94	31.75	31.75	14.29	1.59	12.70	100.00
平均(%)	0.39	2.11	0.00	11.69	15.48	37.12	17.19	0.32	15.71	100.00
加權平均粒徑(mm)	0.34									



自行設計的土壤崩落觀察盒與土壤排水實驗盒設計圖

三、實驗三、土樣崩落實驗

- (一) 置入烘烤後土樣，刮平土樣使測試土樣體積為1000ml。
- (二) 抽出隔板，拍照並測量底板與土樣崩落後形成斜坡間的角度。
- (三) 整理十一種實驗土樣的土壤崩落實驗記錄如表25。



土壤崩落實驗

實驗次數 地點	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	相片	備註
足球門	20	18	19	25	18	20		紀錄相片經過拉伸角度與紀錄值略有不同
操場中央	20	23	21	20	28	22.4		同上
跳遠沙坑	27	25	28	25	26	26.2		同上
公園石子坑	33	30	32	35	30	32		同上
台北工地	15	5	10	18	7	11		紀錄值為左下方形成的斜坡角度
楊梅半山	20	17	15	12	5	13.8		同上
台南北門	5	3	20	12	10	10		同上
東澳海灘	28	28	30	28	20	26.8		紀錄相片經過拉伸角度與紀錄值略有不同
南澳海灘	30	30	35	31	32	31.6		同上
苗栗苑港	23	24	22	22	24	23		同上
苗栗三義	28	27	23	28	34	28		同上

四、實驗一到實驗三的數據整理，並依照平均粒徑大小排序如表26。

	楊梅半山	台北工地	台南北門	足球門	操場中央	苗栗苑港	跳遠沙坑	東澳海灘	苗栗三義	南澳海灘	公園石子坑
加權平均粒徑(mm)	0.18	0.26	0.28	0.34	0.39	0.43	0.51	0.70	3.53	4.03	4.14
滲透時間(秒)	1792.4	1765	1756	1507	319	22	11.4	5.2	3.5	2	1
沉陷量(公分)	0.38	0.34	0.42	0.26	0.22	0.26	0.22	0.2	0.06	0.02	0
斜坡角度(度)	13.7	11	10	20	22.4	23	26.8	26.8	28	31.6	32
孔隙率(%)	52	48	53	47	42	48	41	50	40	41	42

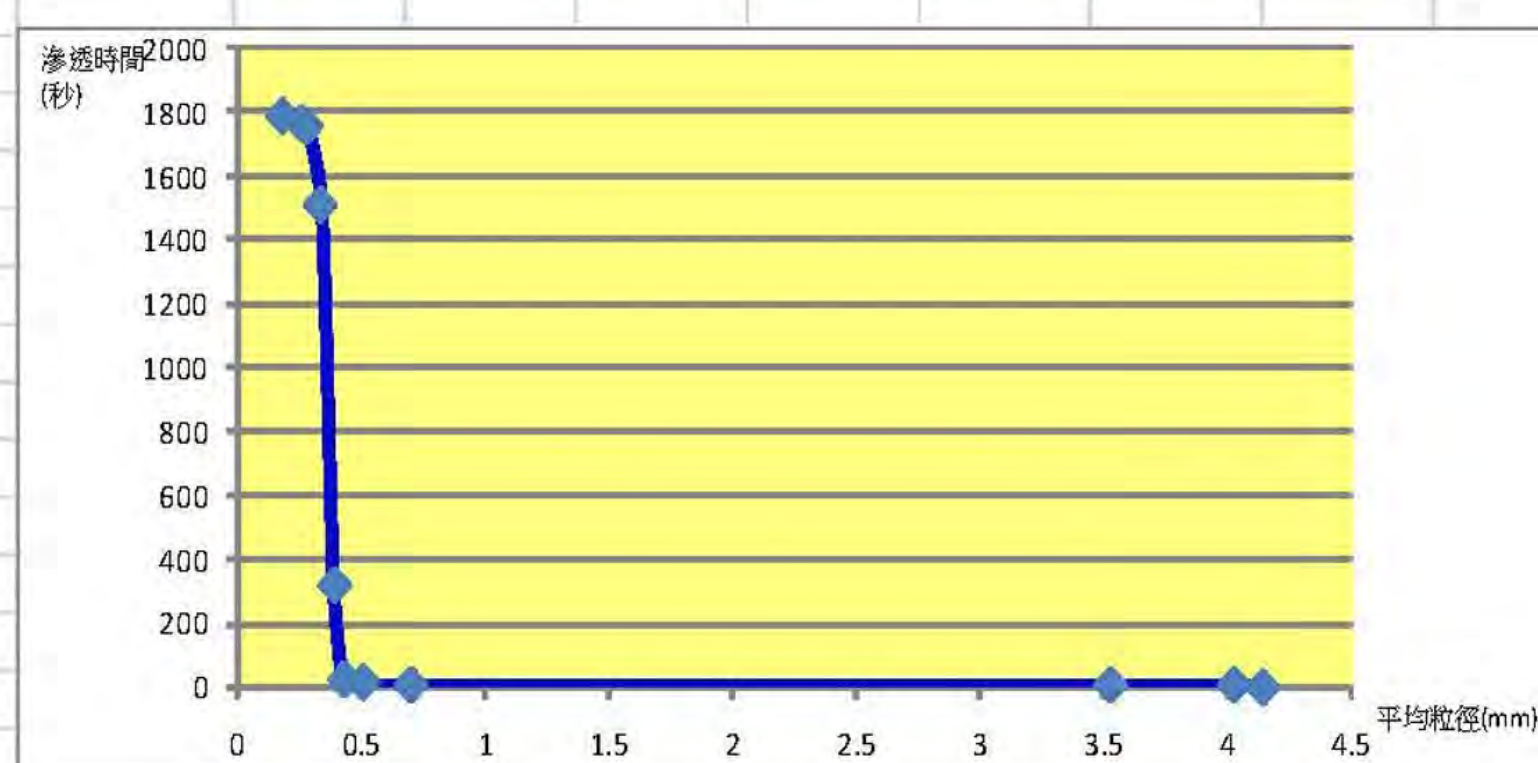


圖13 滲透時間與平均粒徑關係圖

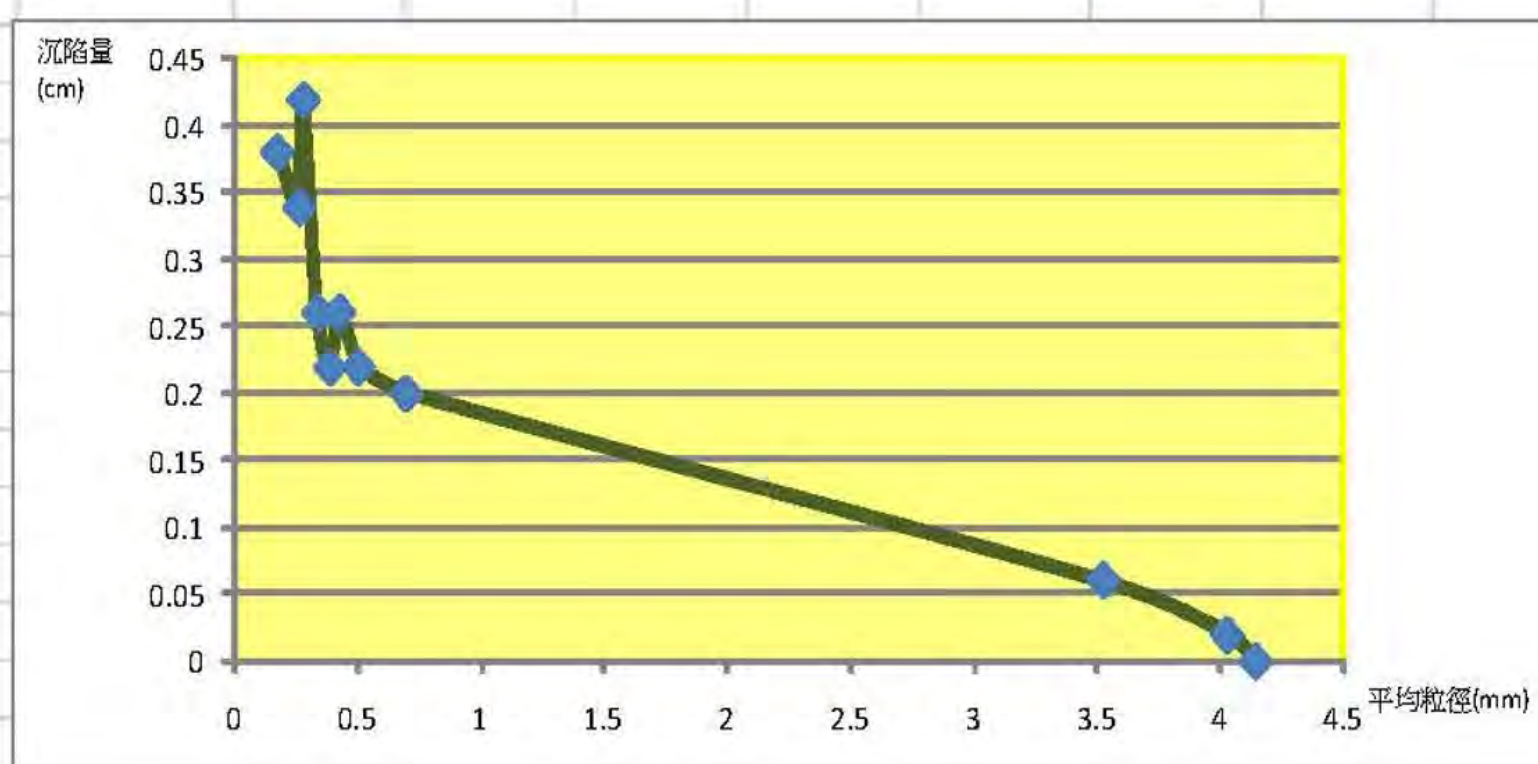


圖14 沉陷量與平均粒徑關係圖

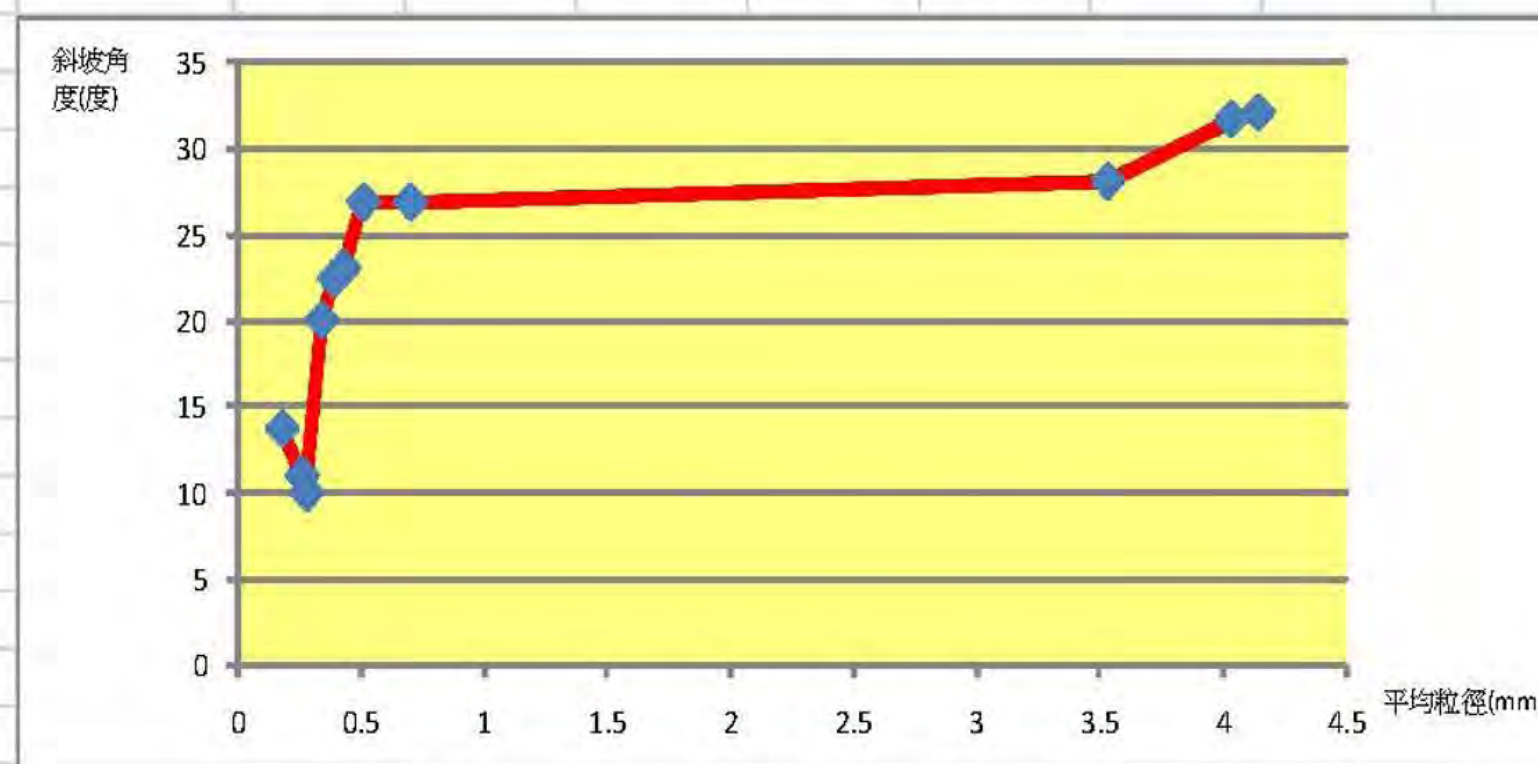


圖15 斜坡角度與平均粒徑關係圖

五、實驗四、土樣排水實驗

- (一)在觀察盒側板與隔板間置入烘烤後的土樣500ml，並刮平。
- (二)土樣上方放置裝有100克砝碼的小壓克力盒(模擬建築物)，在小壓克力盒上方灑下300ml自來水(模擬下雨)，等待300ml自來水從觀察盒隔板下方流完後，觀察小壓克力盒的變化，拍照並測量小壓克力盒傾斜的角度。
- (三)整理六種實驗土樣(黏土、石子、砂子各兩種)的排水實驗前後照片及小壓克力盒傾斜情況如表27。

	實驗前 (乾土)		實驗後 (濕土，水流出後)	傾斜角度
台南北門 (黏土)		300ml 水流完		明顯傾斜 (約3度)
台北工地 (黏土)		300ml 水流完		明顯傾斜 (約3度)
苗栗三義 (石子)		300ml 水流完		無傾斜
南澳海灘 (石子)		300ml 水流完		無傾斜
東澳海灘 (砂子)		300ml 水流完		無傾斜
苗栗苑港 (砂子)		300ml 水流完		無傾斜

陸、結論

- 一、土壤是包含固體顆粒、水與空氣的複雜物質，從台灣各地蒐集的土樣，平均粒徑差異性大；而土壤看似固體，但中間卻含有許多孔隙，孔隙約占總體積的40%~50%左右。
- 二、依簡單土壤分類原則，我們本次探討的十一種土樣大概可以分類為三種：石子、砂和黏土。各土樣分類如右表。

	石子	砂子						黏土	土壤分類	
土樣來源	4號	12號	20號	40號	50號	100號	200號	300號	底層	簡單分類與描述
足球門	0.39	2.11	0.00	11.69	15.48	37.12	17.19	0.32	15.71	含黏土的砂
跳遠沙坑	0.69	0.42	0.00	35.65	28.24	33.95	0.43	0.21	0.42	含有少量黏土的均與砂
操場中央	0.80	1.78	3.94	12.57	6.76	48.89	10.95	0.97	13.35	含黏土的砂
公園石子坑	50.65	41.31	1.70	2.18	0.97	0.83	2.18	0.18	0.00	含粗砂的石子
台北工地	2.05	2.05	0.00	11.09	1.11	4.57	0.81	0.38	77.94	含砂的均與黏土
楊梅半山腰	1.11	1.92	0.00	7.01	0.46	2.55	9.90	0.41	76.64	含砂的均與黏土
苗栗三義	50.82	8.68	2.69	4.34	1.44	13.64	11.99	0.62	5.79	含細砂的石子
台南北門	1.37	1.37	0.34	6.99	4.83	8.29	21.78	16.71	38.32	含細砂的黏土
東澳海灘	0.82	6.87	9.59	37.09	13.95	30.01	0.64	0.82	0.20	含少量黏土的不均勻的砂子
南澳海灘	50.31	31.66	9.96	5.76	0.07	0.14	0.41	0.95	0.75	含粗砂的石子
苗栗苑港	2.77	1.18	0.00	0.42	0.00	84.53	7.92	1.20	1.99	含少量石子及黏土的均與砂

(數值單位:%)

三、土壤顆粒大小對滲流時間的影響

水對土壤的滲透能力受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，滲透性愈好，排水性愈佳。學校足球門會發生積水主要原因是：足球門土樣比操場中土樣含有較多且較小的微小顆粒，增加了雨水滲透的時間，才會發生積水現象。

四、受水作用後，土壤顆粒大小對土壤沉陷量(向下變形量)的影響

因水滲透產生的變形量受土壤顆粒大小影響，土壤顆粒平均粒徑愈大，沉陷量愈小。

五、土壤顆粒大小對土壤側向壓力的影響

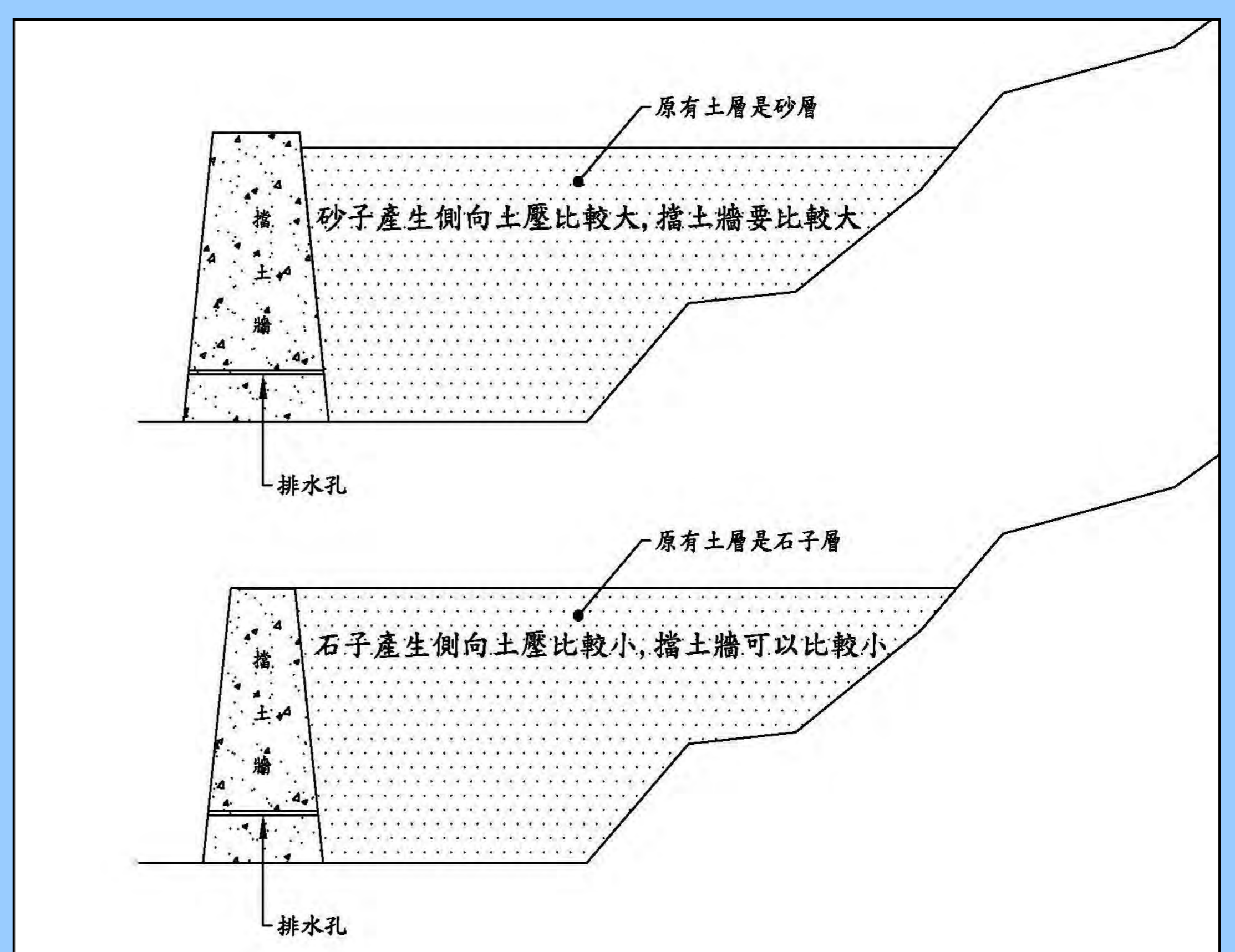
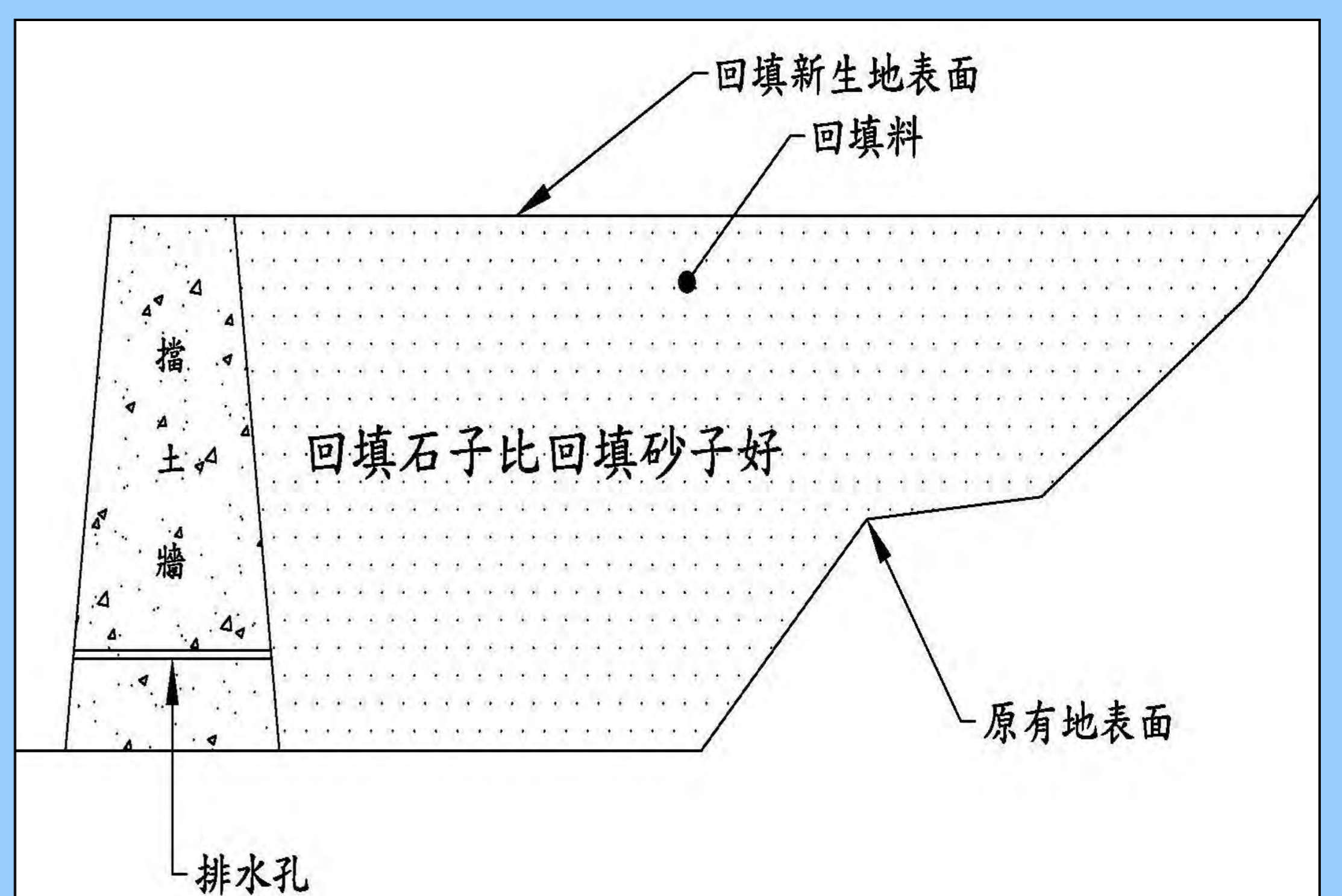
土樣平均粒徑愈大，自然崩落形成的斜坡角度也愈大，崩落時形成的側向土壓力也比較小。

六、研究結論對日常應用的探討

由實驗四可知：結構物建於石子或是砂子上面，要比結構物建於黏土上更安全；結構物建於黏土上會比相同結構物建於石子或是砂子上更花錢。

另外，由實驗三崩落實驗得知：因為石子的斜坡角都大於砂子，所以石子重量形成的側向土壓力比砂子重量形成的側向土壓力小，由實驗一加水實驗得知：石子的滲透速度比砂子快，如果擋土牆後側需要回填土壤，使用石子回填會比使用砂子回填來的安全；另外建於砂子土層的擋土牆一定會比建於石子土層的擋土牆來的強壯，也會比較花錢。

至於黏土是否會比砂子或石子更適合做擋土牆的回填土壤，以我們的實驗三數據無法明確判斷，將來可以進一步設計適當的實驗來探討。



柒、參考資料

- 一. 國民小學自然與生活科技六上(民105)。台南市：翰林。
- 二. 單信瑜(民87)。土壤材料與土壤取樣。交通大學土木工程學系。檢索日期：2016.11.9 <http://www.cv.nctu.edu.tw/chinese/teacher/Ppt-pdf/soil-smp.pdf>
- 三. 風化作用。維基百科。檢索日期：2016.11.16 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8C%96%E4%BD%9C%E7%94%A8>。
- 四. 護土牆。維基百科。檢索日期：2017.1.23 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%AD%B7%E5%9C%9F%E7%89%86>
- 五. 側向土壓力。檢索日期：2017.1.23 <http://w3.cpami.gov.tw/br/ref/chap7.htm>
- 六. 摩擦力和摩擦係數。維基百科。檢索日期：2016.12.23 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%91%A9%E6%93%A6%E7%B3%BB%E6%95%B0>
- 七. 對數尺度。維基百科。檢索日期：2017.2.3 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8D%E6%95%B8%E5%B0%BA%E5%BA%A6>
- 八. 地層下陷災害與防災。檢索日期：2017.6.4 台大氣候天氣災害研究中心。取自 <http://www.wcdr.ntu.edu.tw/223202365219979385192879723475332873845028797.html>