

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

080508

「透」得快又多，真正「補」得「注」

學校名稱：屏東縣內埔鄉豐田國民小學

作者： 小六 楊芩甄 小六 余逸羚 小六 馮瑋家 小六 呂芷彤 小六 鍾沛玟	指導老師： 黃俊偉 謝幸清
---	-----------------------------

關鍵詞：人工湖、土壤透水、地下水補注

摘要

我們以「大潮州人工湖」為起點，探討地層透水性的相關問題。實驗的地層分為「分層堆疊」和「混合堆疊」，地層組成物質泥、沙、石的比例有「1：1：1」、「1：1：2」、「1：2：3」、「2：1：1」、「3：2：1」5種，實驗結果顯示「分層堆疊」是以泥、沙、石比例為「1：2：3」的透水速率最快、透水量最多；「混合堆疊」則是比例為「1：1：2」和「1：2：3」的透水速率最快，透水量也非常多，這和「大潮州人工湖」的選址想法相符合。泥、沙、石比例是「3：2：1」以及「2：1：1」的地層透水速率相當慢，說明地表泥層很厚的地區遭逢暴雨時，水來不及滲透和宣洩會造成水患，超抽地下水引起地層下陷又讓問題雪上加霜。

壹、研究動機

某一個雨後的下課時間，我們到操場玩耍，發現操場有幾處積水的現象，形成水窪。不過我們發現操場上大部分的草地只有濕濕的，也沒形成水窪，心裡納悶著：這到底為什麼？恰巧我們六年級「**自然與生活科技**」課程剛上完「地表的變化」，包含河水的沖刷、搬運和堆積作用，以及土壤的形成，我們把心中的疑問向老師請教，老師告訴我們，地表的組成物質會讓水透過，因為堆積和風化作用不太平均，造成有些地方透水快，有些地方透水慢，就形成了操場上的情形。另外最近屏東的地方新聞剛好提到「大潮州人工湖地下水補注計畫」第一階段完成，老師把這樣的訊息告訴我們，說是為了解決林邊、佳冬一帶長年水患的問題。因為不清楚其中的關聯，就開始著手了解大潮州人工湖的相關訊息。在查詢資料的時候，發現屏東科技大學丁澈土教授提到一句話：「適合作為地下水補注人工湖的萬隆農場，在日治時期曾經進行土壤改良，地表1公尺都是細顆粒的泥土，如果要做為透水性高的人工湖，要先把這些泥土除去，底下就是透水性好的大礫石。」這句話讓我們產生了一些想法：為什麼泥土要先挖掉才能讓透水性變好？泥土是不是決定透水性高不高的因素呢？地層中泥土、沙子和石頭是哪種比例的時候可以讓透水性比較高呢？一連串的想法，開啟我們這次研究的門扉。

貳、研究目的

- 一、模擬大自然河流的堆積和風化作用，用五種不同比例的泥、沙、石進行「分層堆疊」，觀察透水的速率和 5 分鐘透水量，並做不同比例組別間的比較。
- 二、模擬大自然河流發生洪水沖刷後的堆積作用，用五種不同比例的泥、沙、石進行「混合堆疊」，觀察透水的速率和 5 分鐘透水量，並做不同比例組別間的比較。
- 三、比較不同比例的泥、沙、石在「分層堆疊」和「混合堆疊」的條件下，它們的透水速率和透水量。
- 四、找出透水速率最快、透水量最大的泥、沙、石比例，和它的堆疊方式。

參、研究設備及器材

- 一、地層組成物質：校園中的沙、石、泥土。
- 二、分離泥、沙、土的工具：4mm 沙篩、2mm 鐵紗網、1mm 果汁濾網、0.35mm 棉布料理袋。
- 三、透水裝置：有孔的籃子，透明水族箱，盛水的籃子，膠帶，墊板，椅子，木板，園藝鏟。
- 四、測量工具：量杯(1200ml、1000ml)，250ml 燒杯，50ml 量筒，滴管，碼表。



圖 1 實驗的各項器材

肆、研究過程

- 一、搜尋屏東平原地層的相關資料

我們以「**大潮州人工湖**」作為研究的主軸，進行地層透水的相關研究，首先要了解大潮州人工湖所在的屏東平原萬隆農場一帶的地質和地層分布。因此我們透過電腦網際網路，以「大潮州人工湖」以及「屏東平原剖面圖」為關鍵字進行查詢，獲得多篇新聞報導以及簡報，還有屏東平原萬隆農場一帶的地質和地層分布的圖案，對於接下來的研

究有很大的幫助。

二、決定研究的方向與目的

閱讀完相關的新聞報導和簡報檔，發現大潮州人工湖雖然以結合休閒觀光做為其中一項功能，但還是把「地下水補注」一項作為最主要的目標。要補注地下水，最關鍵的就是地層的透水性，想要在比較短的時間中使地表水滲透到地下水層，優先考慮的就是透水的速率，還有單位時間內透水的體積。所以我們就把研究的方向定位在「地層透水的速率」還有「單位時間內的透水量」。

三、設定研究的變因

(一)操縱變因

從網際網路搜尋到的林口臺地地層圖（圖2）來看，地層是一層一層堆疊的結構。



圖2 林口臺地地層圖（取自國立台灣大學地質科學系暨研究所）

不過，當我們實際挖土，或是觀察蓋房子進行填土的時候，又會發現地表的物質不會只有泥土，通常都有混合沙和石頭，因此我們在設定操縱變因的時候，先設定地層是「分層堆疊」（圖2）和「混合堆疊」。在地層組成物質的比例上，「分層堆疊」和「混合堆疊」的泥、沙、石的比例都是「1:1:1」、「1:1:2」、「1:2:3」、「2:1:1」、「3:2:1」等5項。

(二)控制變因

1. 泥、沙、石的體積：依照有孔籃子的容積，設定泥、沙、石的總量是 6000cm^3 ，依照比

例來分配泥、沙、石的體積，就像表一所顯示的。

表一 實驗各組的泥、沙、石總體積以及按比例的分體積

泥、沙、石總量	泥、沙、石比例	體積(cm ³)		
		泥	砂	石
6000 cm ³	1 : 1 : 1	2000	2000	2000
	1 : 1 : 2	1500	1500	3000
	1 : 2 : 3	1000	2000	3000
	2 : 1 : 1	3000	1500	1500
	3 : 2 : 1	3000	2000	1000

2. 倒入水的體積：設定為泥、沙、石體積的一半，是 3000ml。
3. 盛裝的器皿，是每個都一樣大小、周圍和底部都有孔洞的容器，在裝置泥、沙、石之前要先用膠帶貼住四周，只讓底部的孔洞可以漏水。
4. 計時：這次實驗的計時有兩個：第一個是計算從把水倒入裝好實驗土石的容器中，到開始滴水下來的這一段時間；第二個是開始滴水後再計時 5 分鐘就把盛裝水的容器移開，計算盛水容器內的水量。

四、依據所設定的變因進行實驗，將資料記錄下來

(一)挖取校園中可取得的泥、沙、石，並且運用不同孔洞大小的沙篩進行篩選

先各自找到泥土、沙子和石頭，用金屬製的紗網（孔徑是 2mm）先篩過變成兩部份，再分別用 1 分（孔徑是 4mm）的大沙篩和果汁濾網（孔徑是 1mm）做第二次篩選，確定沙子和石頭的粒徑大小。因為泥土和小沙都能通過最小網眼的紗網篩選，所以我們先確定泥土的來源不含沙子，沙子的來源也沒有泥土，確保實驗的準確性。篩過這些土石，就把泥、沙、石分類裝在水桶中。使用過這些泥、沙、石後還要再度使用，就要分離粒徑小於 1 毫米的沙子和泥土，這時候用 0.35mm 的棉布料理袋進行分離。最後確認這次的泥、沙、石的粒徑大小如表二。

表二 本次實驗泥、沙、石的粒徑大小範圍

顆粒名稱	泥	沙	石
粒徑範圍	粒徑 $\leq 0.35\text{mm}$	$0.35\text{mm} < \text{粒徑} \leq 4\text{mm}$	粒徑 $> 4\text{mm}$



圖 3 進行泥沙石篩選流程圖

(二)製作底部可漏水的容器

我們把有孔洞的籃子，在四周圍內側貼上膠帶，用來防止水外漏。



圖 4 在有孔的籃子四周邊緣貼上膠帶

(三)依照比例和順序，在容器上鋪上泥、沙、石

依照比例，在「分層堆疊」條件下，先鋪上石頭而且用墊板刮平，再鋪上沙子刮平，最後鋪上泥土刮平；在「混合堆疊」的條件下，將各比例的泥、沙、石倒入大盆子中，再用園藝鏟加以攪拌混合，最後倒入實驗的容器中，用墊板刮平。



圖 5 「分層堆疊」的方式依序鋪上石頭、沙子、泥土

(四)將水倒入實驗容器中，並計時

將 3000ml 的水倒入鋪好各比例泥、沙、石的實驗容器中，並開始計算從容器底部滴水的时间，又以開始滴水的时间為基準，再度計時 5 分鐘，計算滴出來的水量。把這些數據記錄下來，做之後的分析和討論。



圖 6 倒水計算出水時間以及測量 5 分鐘透水量流程圖

五、分析記錄的數據，並做比較

把記錄下來的各組出水時間和 5 分鐘出水量做比較，找到出水時間的快慢順序，還有單位時間內出水量的大小順序，來比較各比例的泥、沙、石的透水速率和透水量。

六、進行討論、完成研究報告

伍、研究結果

一、「大潮州人工湖地下水補注」計畫緣起，目前已完成第一期工程

(一)丁澈士教授的人工湖地下水補注概念

從網路上查詢到，在臺灣首先提出地下水補注概念的是屏東科技大學丁澈士教授，主要的想法就是：「當天然的降水沒有辦法把地下水補充飽滿的時候，可以利用人工的力量，補充地下水。」屏東縣的佳冬、林邊一帶經常在颱風季節淹大水，一部分的原因是高屏溪和東港溪的水被抽去高雄市發展工業和民生用水，變成沒有足夠的地表水來補充被人們抽取的地下水，造成地層下陷。所以丁教授提出，以屏東平原來說，巨礫砂石較多（圖7），很適合以荷蘭運用人工湖補注地下水的方式，把洪汛期多的地表水先引到人工湖，慢慢滲透到地下補充地下水層，地層可以淨化這些混濁的洪水，到了比較下游的地區就可以抽到很乾淨的水來使用，這是比較良性的循環，減緩地層下陷，如圖8。

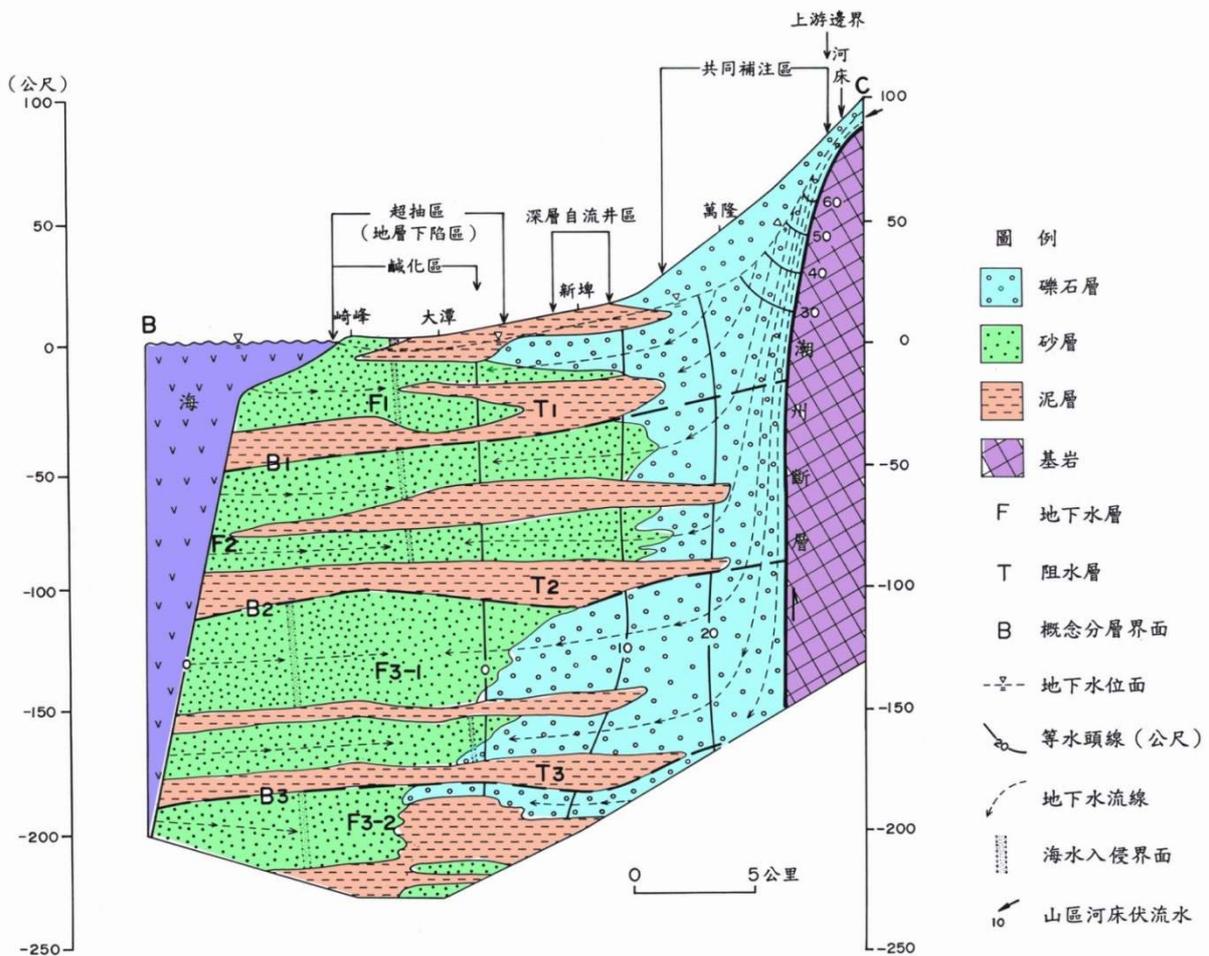


圖7 屏東平原的概念模型圖(取自中央地質調查所網頁)

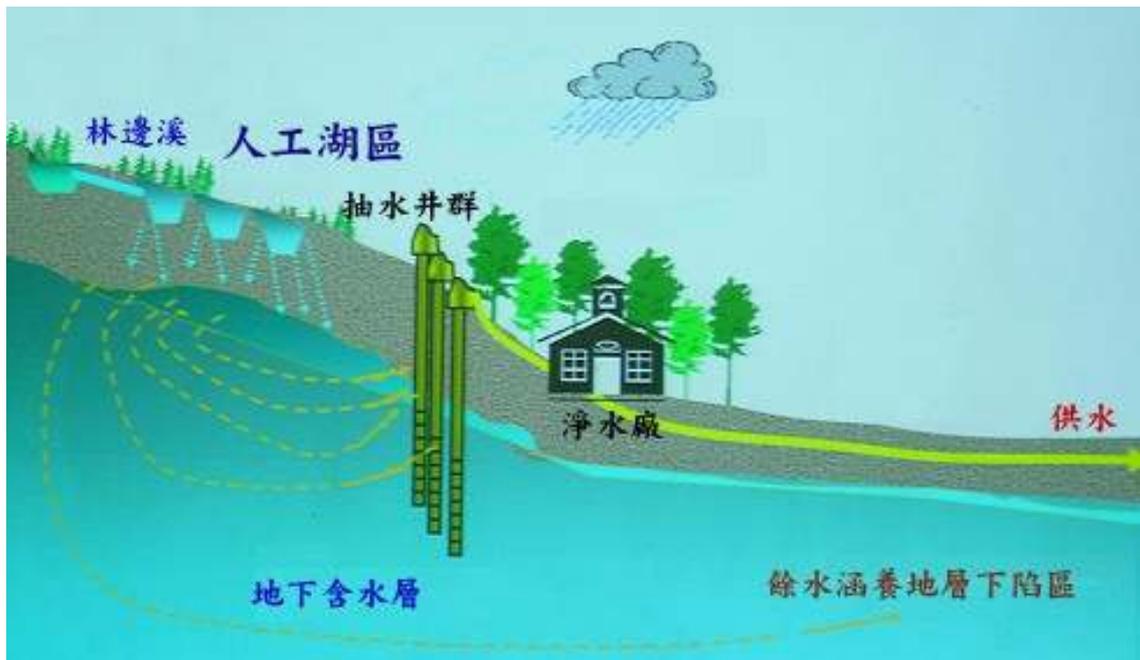


圖 8 林邊溪人工湖地下水人工補注概念示意圖（圖片提供：丁澈士博士）

丁教授也提到一點，適合做為人工湖位址的萬隆農場，在日治時期進行土壤改良後，地表 1 公尺都是細顆粒的泥土，要做為透水性高的人工湖，就要先把這些泥土除去，底下就是透水性好的大礫石(圖 9)。即使是這樣，河水會帶來小顆粒的泥沙，慢慢地仍然會在湖底沉積，形成一層淤泥，因此一段時間後也是要清出湖底的淤泥，才會保持良好的透水性，使人工湖有確實的補助效果。除了人工湖以外，周圍也要進行造林的工作，形成生態公園，發展觀光增加效益。

我們在這裡得到兩個重點：第一，目前萬隆農場地表有 1 公尺的泥土，必須挖除，才適合開挖成為具有地下水補注功能的人工湖；第二，人工湖的湖底會有淤泥沉積，每隔一段時間要清除淤泥，保持透水良好才能達到補助地下水的目標。



圖 8 大潮州人工湖位址遠眺，地層含有許多巨大礫石

(二)大潮州人工湖第一期工程完工

由屏東縣政府發布的「大潮州人工湖」相關簡報說明，第一期的工程進行 50 公頃的計畫先驅試驗，挖深大約 15 公尺，完成後預估每年大約可以補注 1.5 億立方公尺的地下水。而地層下陷是沒有辦法恢復的，所以補注地下水可以提供的幫助是讓地層下陷不再惡化。根據新聞報導(聯合新聞網，2014.12.15)，歷經 15 年的大潮州人工湖第一期工程已經完工，可望有助緩和屏東 林邊的地層下陷問題。根據原來的規劃是要引進林邊溪在暴雨時期的洪水和平常的水流，在沉澱後可以補注地下水層，預定會在 10 年後每年可以提供 6000 萬公噸的湧泉，地下水位可以上升 5 公尺。

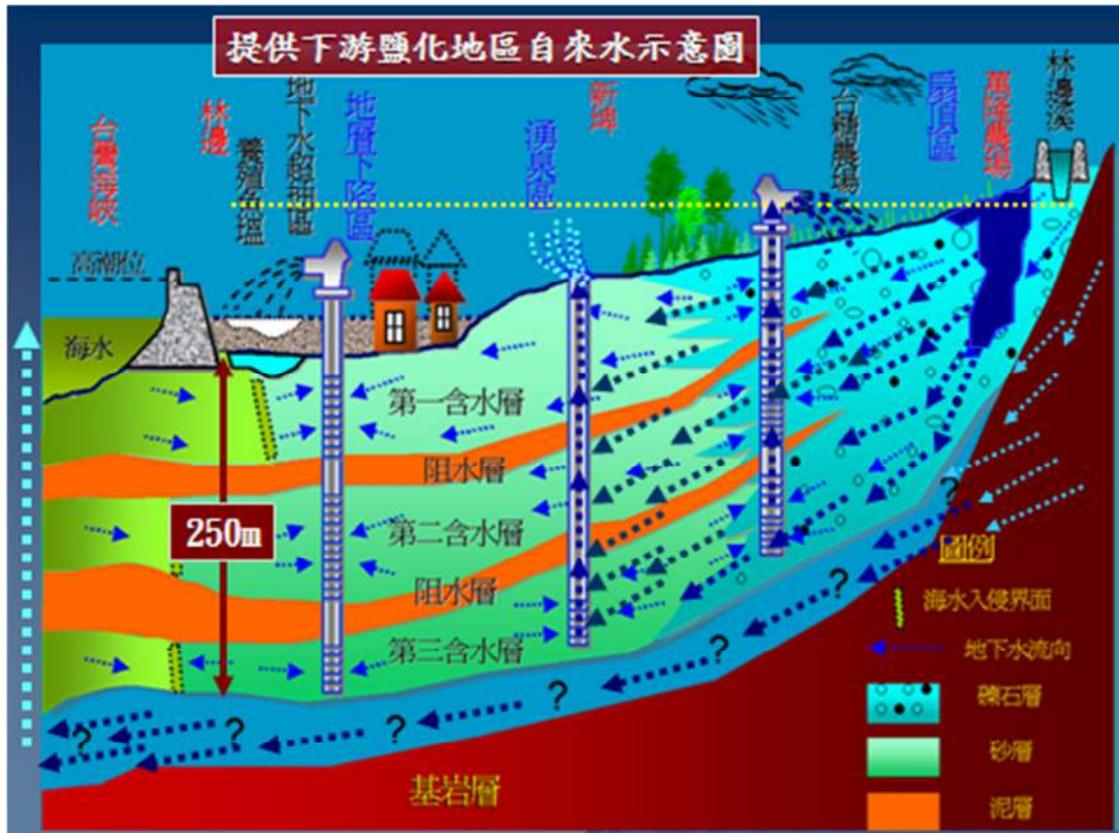


圖 10 大潮州人工湖地下水補注示意圖 (取自屏東縣政府新聞簡報)

二、「分層堆疊」各比例泥、沙、石模擬地層的透水速率和透水量

在完成「分層堆疊」各種泥、沙、石比例的透水實驗後，得到以下透水速率和單位時間的透水量兩筆資料。

(一)「分層堆疊」方式模擬地層倒水後的出水時間

表三 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層倒水後的出水時間

倒水後的出水時間 泥、沙、石比例	第一次	第二次	第三次	平均時間
1 : 1 : 1	7 分 44 秒	7 分 35 秒	6 分 48 秒	7 分 22 秒 (7.35 分)
1 : 1 : 2	4 分 04 秒	5 分 44 秒	4 分 39 秒	4 分 49 秒 (4.81 分)
1 : 2 : 3	3 分 58 秒	1 分 26 秒	1 分 02 秒	2 分 8 秒 (2.13 分)
2 : 1 : 1	11 分 30 秒	9 分 28 秒	8 分 33 秒	9 分 52 秒 (9.86 分)
3 : 2 : 1	11 分 12 秒	9 分 32 秒	10 分 48 秒	10 分 31 秒 (10.51 分)

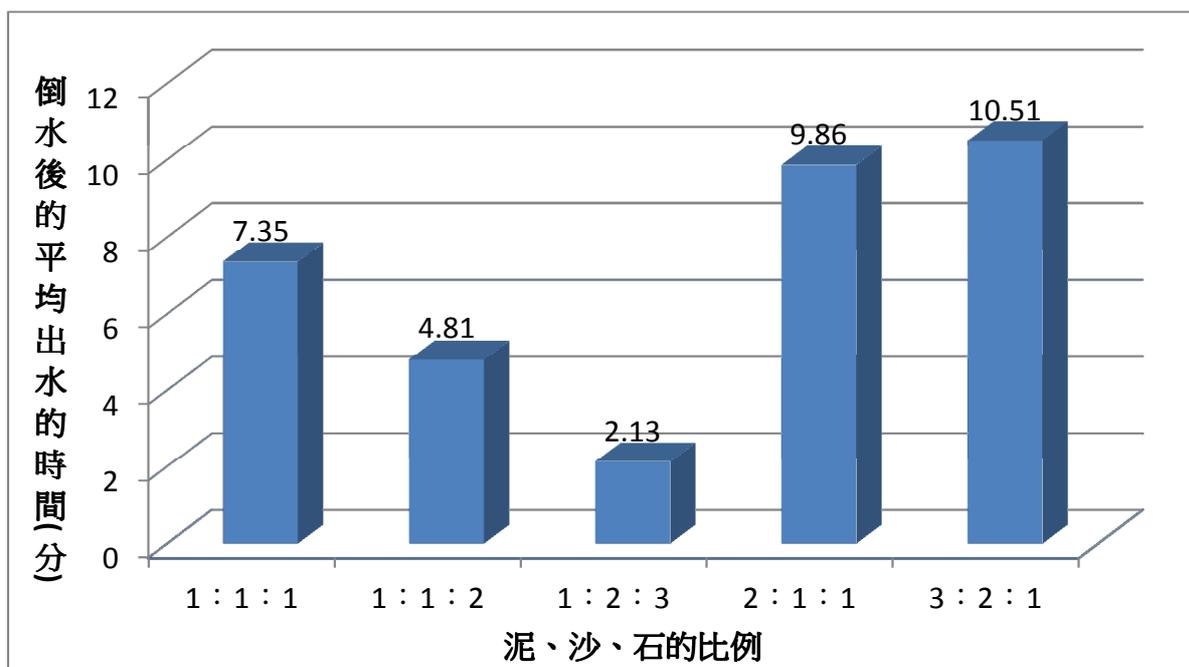


圖 11 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層倒水後的出水時間

出水時間愈短的就代表透水的速率愈快，所以透水的快慢組別依序如下表：

表四 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層透水速率排序

透水速率順序	1	2	3	4	5
泥、沙、石比例	1 : 2 : 3	1 : 1 : 2	1 : 1 : 1	2 : 1 : 1	3 : 2 : 1

以上的資料顯示，在分層堆疊的條件下，有比例愈高的石頭，比例愈低的泥土，出水的時間就愈短，透水速率愈快，代表的就是地層中的水滲透比較快；而泥土比例愈高，石頭的比例愈低，透水速率就比較慢，地層中的水滲透比較慢。

(二) 「分層堆疊」方式模擬地層 5 分鐘透水量

表五 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層的 5 分鐘透水量

透水量(ml) 泥沙石比例	第一次	第二次	第三次	平均 5 分鐘透水量
	1 : 1 : 1	350	653	
1 : 2 : 3	978	* 1719(4' 26)	1506	1475
3 : 2 : 1	307	311	824	481
1 : 1 : 2	806	428	512	582
2 : 1 : 1	334	180	425	313

* 代表 4 分 26 秒的時候水不再流出

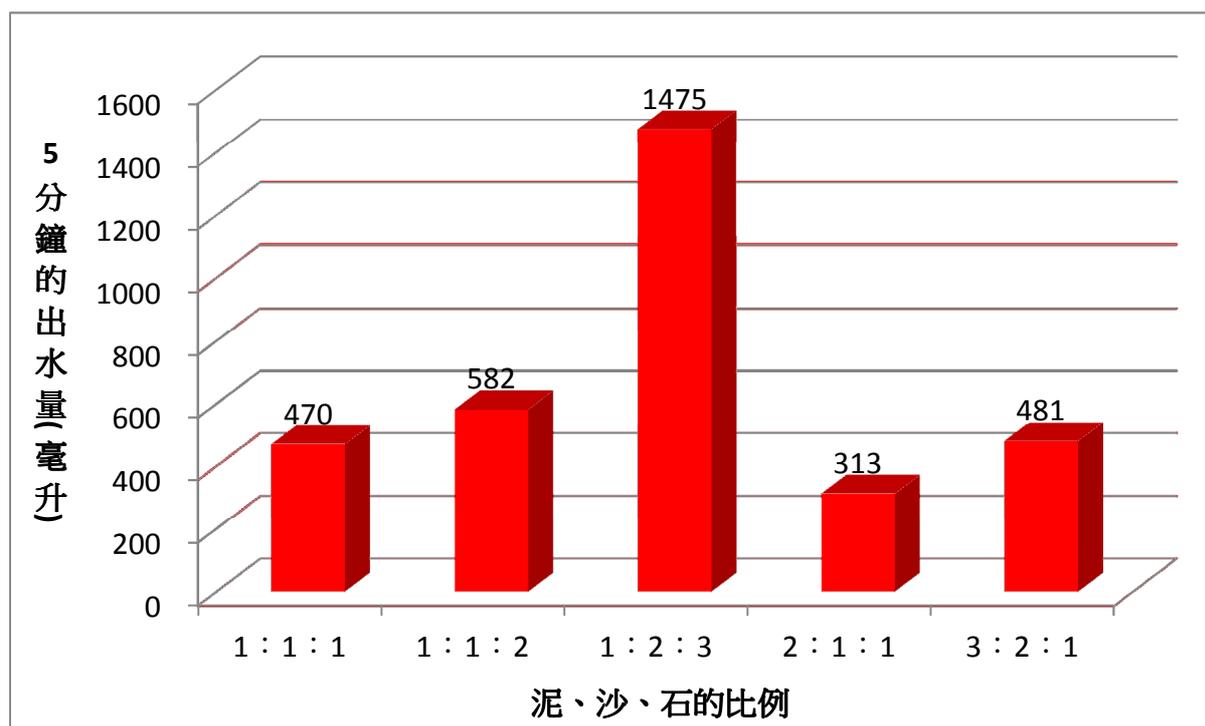


圖 12 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層透水量比較圖

表六 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」模擬地層透水量排序

透水量順序	1	2	3	4	5
泥沙石比例	1 : 2 : 3	1 : 1 : 2	3 : 2 : 1	1 : 1 : 1	2 : 1 : 1

以上的資料顯示，在分層堆疊的條件下，有比例愈高的石頭，比例愈低的泥土，透水量愈多，代表的就是地層中可以補注到地下水層的水就愈多；而泥土比例愈高，石頭的比例愈低，透水量愈少，代表的就是地層中可以補注到地下水層的水就愈少。雖然排序是這樣，不過我們看到「1 : 1 : 2」這一組雖然排在第 2，但是透水的量沒有比其他 3 個組多了多少，其中的原因值得探討。

小結：在「分層堆疊」的條件下，有比例愈高的石頭，比例愈低的泥土，透水速率較快，透水量較多，對於補注地下水源的效果應該是比較好的。

三、「混合堆疊」各比例泥、沙、石模擬地層的透水速率和透水量

在完成「混合堆疊」各種泥、沙、石比例的透水實驗後，得到以下透水速率和單位時間內的透水量兩筆資料。

(一)「混合堆疊」方式模擬地層倒水後的出水時間

表七 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層倒水後的出水時間

倒水後的出水時間 泥沙石比例	第一次	第二次	第三次	平均時間
1 : 1 : 1	8 分 49 秒	6 分 52 秒	8 分 43 秒	7 分 55 秒 (7.92 分)
1 : 1 : 2	4 秒	4 秒	5 秒	4.33 秒 (0.07 分)
1 : 2 : 3	3 秒	5 秒	5 秒	4.33 秒 (0.07 分)
2 : 1 : 1	8 分 30 秒	8 分 33 秒	4 分 52 秒	7 分 21 秒 (7.34 分)
3 : 2 : 1	9 分 41 秒	7 分 24 秒	11 分 22 秒	9 分 29 秒 (9.48 分)

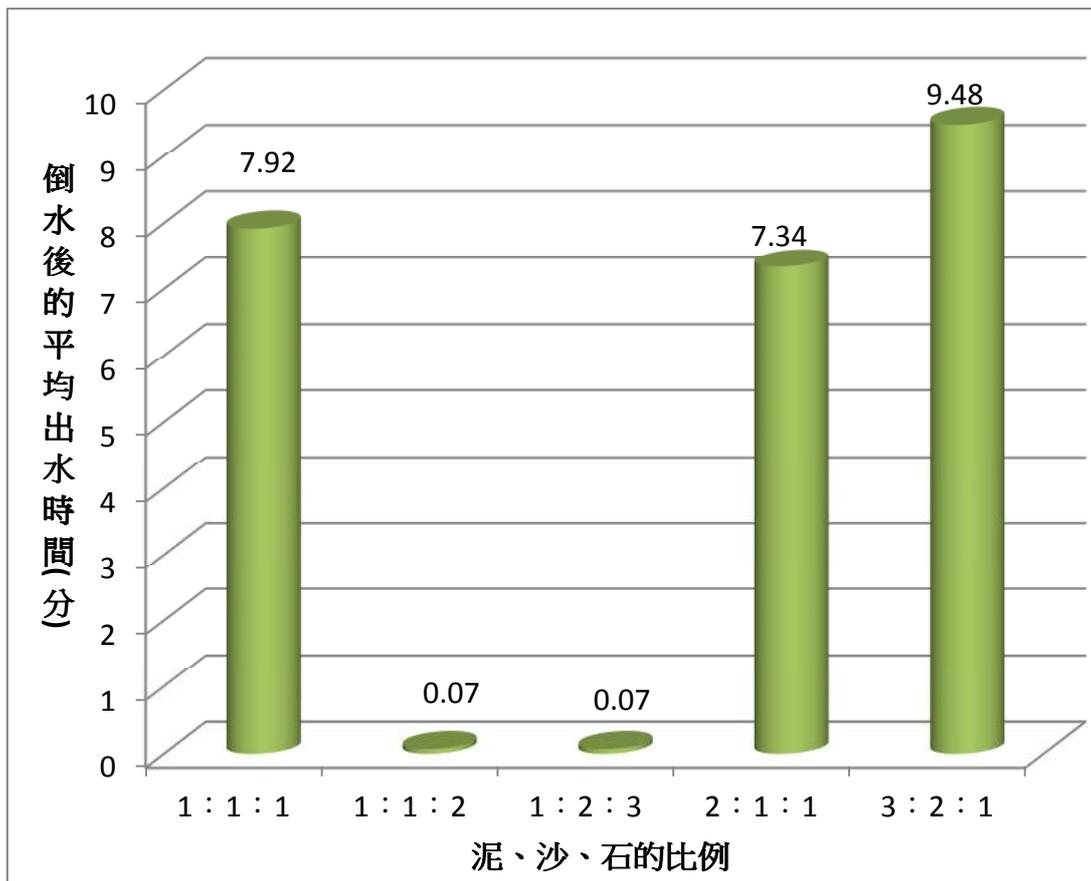


圖 13 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層倒水後的出水時間

表八 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層透水速率排序

透水速率順序	1	1	3	4	5
泥沙石比例	1 : 1 : 2	1 : 2 : 3	2 : 1 : 1	1 : 1 : 1	3 : 2 : 1

以上的資料顯示，在混合堆疊的條件下，還是「有比例愈高的石頭，比例愈低的泥土」，出水的時間就愈短，透水速率愈快，代表的就是地層中的水滲透比較快；相對地泥土比例愈高，石頭的比例愈低，透水速率就比較慢，地層的水滲透比較慢。要注意的是泥沙石比例是「1：1：2」以及「1：2：3」這兩組，只有 3~5 秒鐘就出水了，三次實驗都是這樣，顯示這樣的比例和堆疊方式，水能夠非常快速的通過地層，到達地下水層。

(二)「混合堆疊」方式模擬地層的 5 分鐘透水量

表九 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層的 5 分鐘透水量

透水量(ml) 泥沙石比例	第一次	第二次	第三次	平均 5 分鐘透水量
1：1：1	171	400	250	274
1：1：2	* 1850(2' 20)	1950	1741	2550
1：2：3	1950	1360	* 1779(3' 39)	1938
2：1：1	56	147	515	239
3：2：1	69	162	34	88

* 代表 2 分 20 秒以及 3 分 39 秒的時候水不再流出

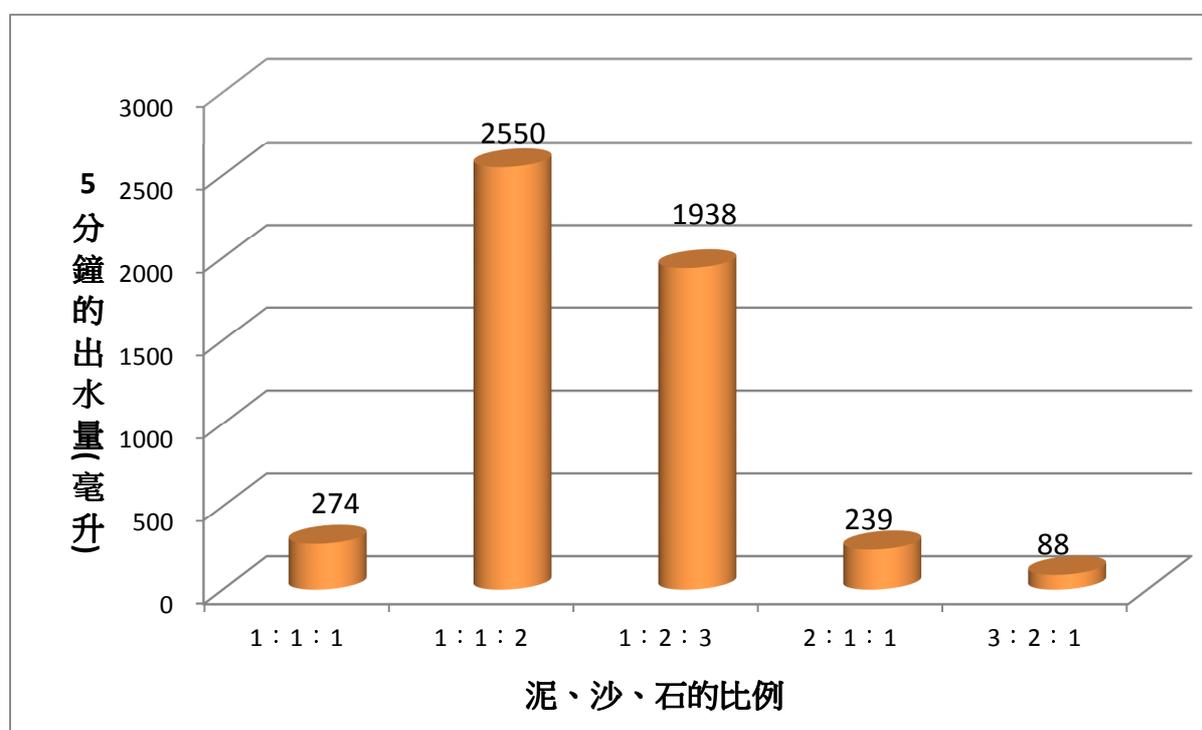


圖 14 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層透水量比較圖

表十 各種泥、沙、石比例的「混合堆疊」模擬地層透水量排序

透水量順序	1	2	3	4	5
泥沙石比例	1 : 1 : 2	1 : 2 : 3	1 : 1 : 1	2 : 1 : 1	3 : 2 : 1

以上的資料顯示，在混合堆疊的條件下，還是一樣有「比例愈高的石頭，比例愈低的泥土，透水量愈多」，代表的就是地層中可以補注到地下水層的水就愈多；而泥土比例愈高，石頭的比例愈低，透水量愈少，代表的就是地層中可以補注到地下水層的水就愈少。但是泥土體積比較大的「1 : 1 : 2」這組的單位時間透水量，比石頭體積相同、泥土體積較小的「1 : 2 : 3」這組的單位時間透水量還要大，這點需要進一步探究。

小結：在「混合堆疊」的條件下，含有比例愈高的石頭，比例愈低泥土的地層，透水速率較快，透水量較多，對於補注地下水源的效果也是比較好的。

四、「分層堆疊」和「混合堆疊」不同比例泥沙石模擬地層的透水速率和透水量比較

從以上的實驗結果，我們再把「分層堆疊」和「混合堆疊」模擬地層的透水速率和透水量做比較，得到以下的結果。

(一) 「分層堆疊」和「混合堆疊」方式模擬地層倒水後的出水時間比較

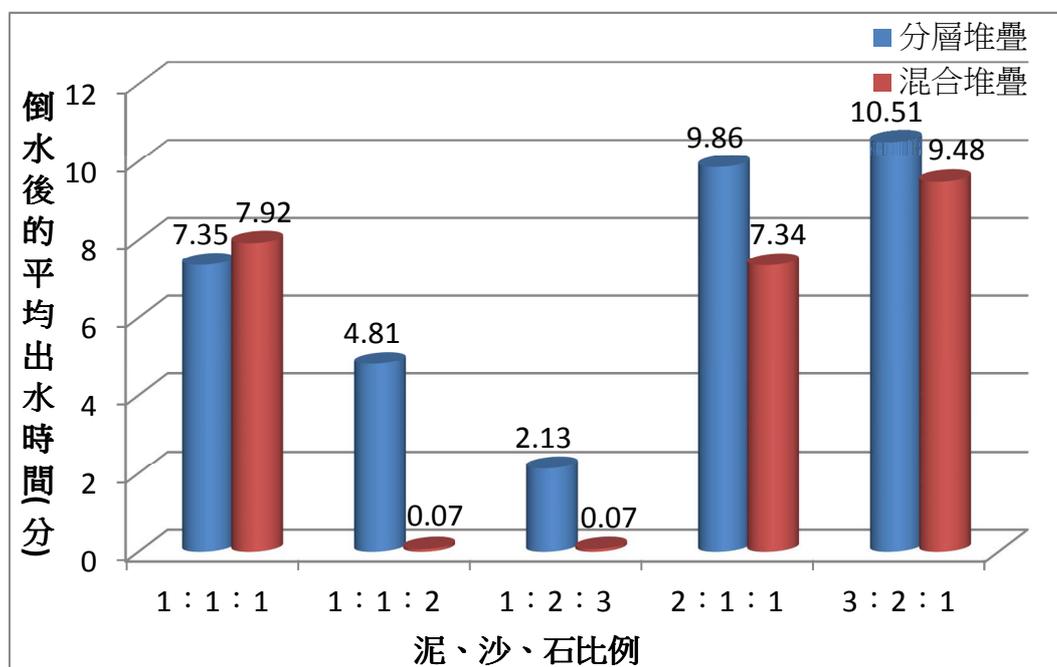


圖 15 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」和「混合堆疊」模擬地層倒水後的出水時間比較

從上圖可以知道，「混合堆疊」的方式在泥沙石比例為的「1 : 1 : 2」、「1 : 2 : 3」、「2 : 1 : 1」、「3 : 2 : 1」四種模擬地層中的出水時間都比「分層堆疊」的方式短，尤其是泥沙

石比例是「1:1:2」和「1:2:3」的模擬地層，混合堆疊只要5秒內就能夠出水，透水速率相當快。

(二)「分層堆疊」和「混合堆疊」方式模擬地層的5分鐘透水量比較

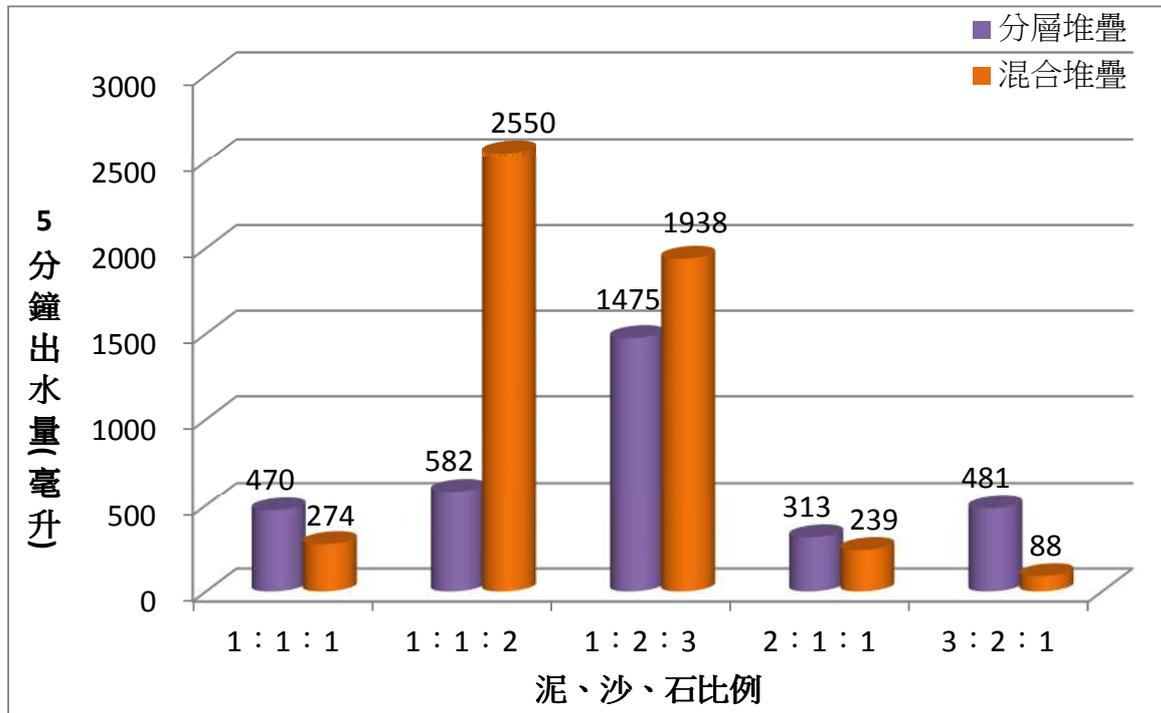


圖 16 各種泥、沙、石比例的「分層堆疊」和「混合堆疊」模擬地層的透水量比較圖

從上圖知道，就透水量來說，「1:1:2」、「1:2:3」兩種泥沙石比例的模擬地層，以「混合堆疊」的方式透水量比較大，尤其是「1:1:2」這比例的「混合堆疊」模擬地層透水量遠遠高過「分層堆疊」的模擬地層，差異較大。「1:1:1」、「2:1:1」、「3:2:1」的泥沙石比例則是「分層堆疊」的方式透水量比較大，其中差異較大的是「3:2:1」這個比例。

從圖 15 和圖 16 來看，發現一個現象，泥沙石的比例是「2:1:1」、「3:2:1」的時候，「分層堆疊」的出水時間比「混合堆疊」還要長，透水速率較慢一些，但是透水量卻是「分層堆疊」比「混合堆疊」還要多，和其他三種泥沙石的比例結果不一樣。

陸、討論

一、「分層堆疊」模擬地層的透水狀態結果討論

由「分層堆疊」模擬地層的透水狀態結果來看，不管是透水速率或是透水量，都顯

示石頭在地層中佔的比例愈高，透水的時間就會縮短，透水速率較快，同時透水的量也比較多，這在泥沙石比例為「1：2：3」的這組特別明顯。

研究結果第二點顯示「1：1：2」這組的石頭體積和「1：2：3」這組的石頭體積相同，都是 3000cm^3 ，不過透水的量卻差了很多，主要的原因就是泥土的比例雖然都是 1，不過「1：1：2」這組的泥土有 1500cm^3 ，比起「1：2：3」這組的 1000cm^3 多了 500cm^3 。因為水雖然無孔不入，遇到顆粒比較小、顆粒之間縫隙也比較小的泥土顆粒，很容易讓泥土結成一大塊，而且質地緊密，就變得很難讓水自由穿透，降低了透水的速率以及單位時間內的透水量，尤其「分層堆疊」的最上層就是泥土，體積愈大的泥土層就成了水往下滲透的第一關卡，成為影響透水速率和透水量的關鍵因素。

二、「混合堆疊」模擬地層的透水狀態結果討論

在「混合堆疊」模擬地層的透水狀態結果來看，和「分層堆疊」的結果相似，都是石頭佔的比例愈高，透水時間愈短，透水速率愈快，透水量比較大。不過泥沙石比例是「1：1：2」和「1：2：3」這兩組，只有 3~5 秒鐘就出水了，而且透水量也非常大，出來的水也非常混濁，推想它的原因應該是泥土的體積在這兩組比較小，而且在實驗前把這兩種比例的泥、沙、石用園藝鏟攪拌均勻，平鋪之後倒入水，泥土的顆粒沒有大量聚在一起，而是和其他比較大顆粒的沙和石混合，降低泥土顆粒聚合成為大泥塊的可能性，所以水不會經過比較緊密的泥塊，就大大提升了透水的速率，而且沒有泥塊的產生，水不太會被保存在泥塊中，所以單位時間的透水量也會比較多，水中的泥土顆粒含量也多，造成水比較混濁。不過「1：1：2」的單位時間透水量比「1：2：3」的還多，討論的結果可能是因為「1：1：2」這組的石頭在攪拌之後有部分排列得比較整齊，在石頭縫隙中的小顆粒泥土又被水沖下，把地層沖出一條或數條裂縫，水就很快地往下流；泥土較少的「1：2：3」這組沒有沖出裂縫，或裂縫比較少，單位時間透水量就沒有那麼多。



圖 17 左方「分層堆疊」透水較清澈，右方「混合堆疊」透水較混濁

而泥沙石比例是「3：2：1」的這組要將近十分鐘才會開始出水，還有透水量也是最少的，原因很有可能是因為泥土佔的比例很高，雖然已經和沙、石混合了，泥土的總量還是很大，容易有泥塊或者小泥塊和沙石緊密結合，空隙變小或者沒有了，水就不容易往下滲透。

三、「分層堆疊」和「混合堆疊」模擬地層的透水狀態結果比較討論

(一) 透水速率的比較

在「分層堆疊」和「混合堆疊」模擬地層的透水狀態結果比較圖（圖 15、16）中可以發現，泥沙石的比例是「1：1：2」、「1：2：3」、「2：1：1」的三種模擬地層，「混合堆疊」的透水速率比起「分層堆疊」還要快，差異比較大，這可能是因為「分層堆疊」的第一層是泥土層，遇到水結成塊狀，透水速率會比「混合堆疊」的還要慢，同時這也呼應了丁教授所說的：「萬隆農場，地表 1 公尺都是細顆粒的泥土，要做為透水性高的人工湖，就要先把這些泥土除去。」、「人工湖湖底的淤泥要定期清理，保持良好的透水性，達到補注地下水的效果。」

另外泥、沙、石比例是「1：1：1」和「3：2：1」這兩組的出水時間比較起來差異較小，推想應該是泥土的比例比較高，在「混合堆疊」的情形下，泥土和沙石黏在一起，降低沙石的透水性，造成出水時間和「分層堆疊」的條件差不多。

(二) 透水量的比較

兩種堆疊方式的模擬地層在各種比例的泥、沙、石條件下，透水量都呈現有差異的狀態。「混合堆疊」的模擬地層，泥、沙、石比例是「1：1：2」和「1：2：3」時的 5 分鐘透水量比「分層堆疊」的多，「1：1：2」這個比例的透水量相差大約 2000ml，透水量

的「比」大約是 5：1 (2550ml 和 582ml)，差異性達到 80%；「1：2：3」這個比例的透水量相差大約 500ml (1938ml 和 1475ml)，透水量的「比」大約是 4：3，差異性是 25%。而泥、沙、石比例是「1：1：1」和「3：2：1」的時候，5 分鐘透水量是「分層堆疊」比「混合堆疊」來的多，相差各是大約 200ml(470ml 和 274ml)以及 400ml(481ml 和 88ml)，透水量的比大約各是 5：3 和 5：1，差異性達到 40%以及 80%。

由這樣的比較資料來看，一般平地地區的地層經過長久的地殼變動和大自然的堆積和風化作用，是分層堆疊的方式，「混合堆疊」可能會出現在山腳下如萬隆農場一帶 (圖 8) 或突然的天氣劇變中，像是颱風帶來的土石流，如果泥土佔的比例比較高，就影響水往地下滲透的水量，可能會造成二次災害如淹水不退，所以救災的時候可能要考慮這方面的可能性。不論是那種堆疊方式，只要地表泥土較多，水量一大，水就無法快速滲入地下，單位時間的透水量也少，洪患時間就會拉長，這也說明佳冬鄉 塹豐村一帶水患的原因，如屏東縣 佳冬鄉 塹豐村地層結構 (圖 18) 所顯示的，粉沙、泥、黏土層厚達 20~30 公尺，當遇到大豪雨的時候，水不容易從地表往地下滲透，就容易積水不退，造成水災。

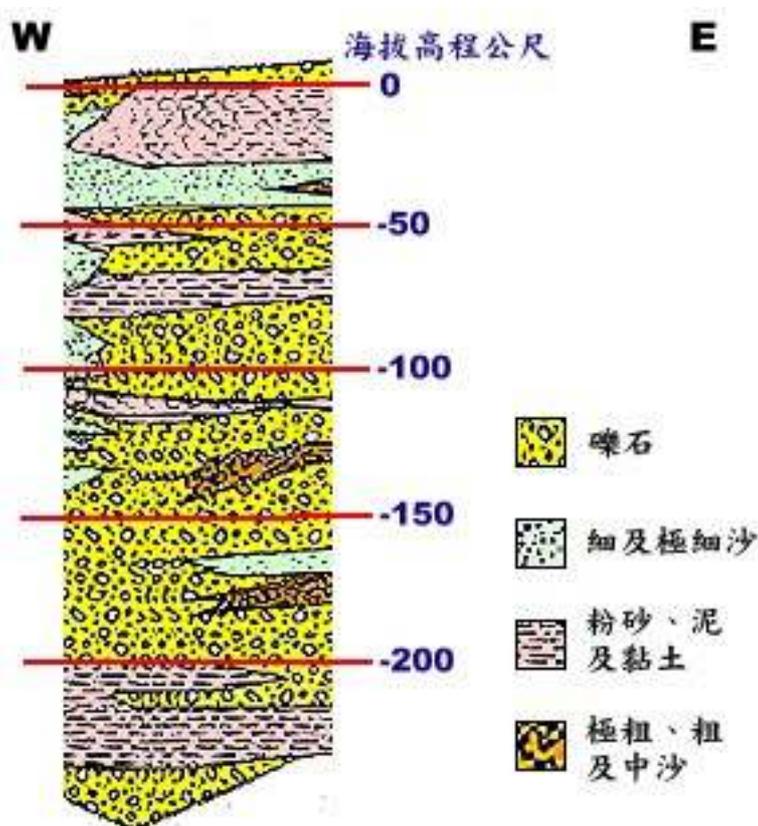


圖 18 塹豐地區地層結構分布圖 (圖片提供：丁澈士教授)

柒、結論

一、「分層堆疊」和「混合堆疊」的模擬地層，石頭佔的比例愈高、泥土佔的比例愈低，透水速率較快，透水量較大

這次研究所有的實驗結果都顯示，泥土的含量愈少，石頭含量愈高，透水速率就快，單位時間透水量也就愈大。因為泥土顆粒很小，比較會涵養水量，在泥土層中水達到飽和後，透水速率會比較慢；石頭沒有這樣的特性，透水速率就比較快。所以就屏東平原的概念模型圖（圖9）來看，萬隆農場的礫石層非常適合透水；而林邊和佳冬一帶的地表就是泥層和沙層，透水速率會很慢，當水來不及往地下滲透，也沒有辦法藉由河流排出的時候，容易在地面造成淹水。

二、「分層堆疊」和「混合堆疊」的模擬地層相比較，石頭佔的比例愈高、泥土佔的比例愈低，「混合堆疊」的透水速率最快，透水量最多；泥土佔的比例愈高、石頭佔的比例愈低，「分層堆疊」的透水速率稍快，透水量稍大

雖然林口臺地地層圖（圖2）和屏東平原概念模型圖都顯示地層是分層堆疊的方式，不過實際走訪大潮州人工湖的位址，從拍攝出的照片顯示，泥、沙、石的堆疊似乎沒有那麼明顯，石中有沙、沙中有泥，因為屬於礫石層，所以石頭特別多也比較大，泥土的比例就比較小，就目前所見，至少地表所能挖出人工湖的範圍是屬於「混合堆疊」的模式，透水速率以及透水量相當快。但是當是泥土佔的比例很高，「混合堆疊」方式的泥土和沙、石混合，泥土的總量很大，泥土容易結成一大塊，泥土也容易和沙或石緊密結合，沙子間或石頭間空隙變小了，水就很不容易往下滲透，造成透水速率和透水量都比「分層堆疊」的方式還要差，因為從「分層堆疊」的地層來看，水只要通過泥層，下方的沙石層就容易透水了。

三、透水速率最快、透水量最多的是高比例的石頭，低比例的泥土之「混合堆疊」模擬地層，同樣比例的「分層堆疊」居次，幫助我們了解人工湖選址的參考

從我們研究的結果來看，「大潮州人工湖」的目的在洪汛期先容納突然增加的洪水，再運用這些水往地下滲透而補注地下水層的水，因為容納洪水的量和整個大自然的大量降水沒有辦法相抗衡，所以滲透的效果一定要優先考量，才能發揮地下水補注的效果。

我們實驗的結果和選擇萬隆農場這樣的位址作為地下水補注的人工湖的理念是一致的。

不過我們也推想，如果發生土石流，這樣的土石會覆蓋地表一定的厚度，是屬於「混合堆疊」的方式，哪怕只有幾公尺，另外一場暴雨有可能會因為泥土比例比較高而滲透速率較低，水來不及滲透就造成第二次的災害，所以在洪汛期的防災工作一定要很注意。

捌、參考資料及其他

1. 丁澈士 (2003) · 從地層下陷看地下水人工補注 · 看守台灣協會 · 取自 <http://www.taiwanwatch.org.tw/magazine/v5n3/v5n3-003.pdf>
2. 專訪丁澈士教授(2004年12月11日) · 取自 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2005/inmjh/04-files/0401.htm>
3. 李友平、李昭順 · 以力力溪集水廊道伏流水補注地下水紓緩林邊地區地層下陷及地下水鹹化之芻議 · 經濟部水利署永續發展簡訊第九期 · 2015年2月3日取自 http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/deveinfo/簡訊/9期/簡訊9專論2.htm
4. 林燕初 · 地下水補注(2015年2月3日) · 台灣地質知識服務網 · 取自 <http://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=146480&ctNode=1233&mp=105>
5. 林口臺地地層圖(2015年2月3日) · 國立台灣大學地質科學系暨研究所 · 取自 <http://www.gl.ntu.edu.tw/tectonic/images/TaipeiBasin/plate1f-090701.jpg>
6. 屏東剖面圖(2015年2月3日) · 水文地質資料庫 · 取自 <http://hydro.moeacgs.gov.tw/show070-2.htm>
7. 屏東平原概念模型(2015年2月3日) · 水文地質資料庫 · 取自 <http://hydro.moeacgs.gov.tw/show070.htm>
8. 大潮州人工湖第一期工程完工(2014年12月15日) · 聯合新聞網 · 取自 <http://udn.com/NEWS/DOMESTIC/DOM6/9142709.shtml>
9. 塭豐村地層結構(2015年2月3日) · 細說塭豐村 · 取自 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2005/inmjh/01-files/0103.htm>

10.大潮州人工湖簡報(2015年2月3日)·行政院公共工程委員會·取自

https://www.pcc.gov.tw/epaper/9811/download/water_1.ppt

【評語】 080508

科學問題與實際生活經驗相關。不過，整體實驗設計、討論等較缺創新感，實驗規劃可更精緻，如何決定泥砂石比例。建議可就降雨排水、蓄水池功能等進一步討論透水議題。