

中華民國第四十二屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國小組

作品名稱：坑坑洞洞—探討不同地質與超抽地下水造成天坑之關係

關 鍵 詞：地層下陷、天坑、地下水

編 號：113PB-E002

## 摘要：

造成地層下陷有種種原因，其中一個原因就是超抽地下水。超抽地下水會使土壤流失，進而引發海水倒灌、淹水或房屋下陷等問題。在我們設計的實驗當中，發現地下水位高低會因水壓的差異，而影響水流速度及水位下降速度。我們也發現若降雨量充足，當補水大於流失的情況下，水位會持續上升，而低水位上升速度又比高水位快。反之，若降雨量不足，水位會持續下降，此時低水位下降水位會比高水位慢。最後，我們製作了土層的模型，並且改變土層的沙、土、石的比例。我們發現，當土壤的比例較高時流失較多，進而使下降高度也比較多；反之，石頭比例較高時，越不容易發生地層下陷。

## 壹、研究動機

前陣子我們在新聞上看見竹北某一建築物，因為要蓋房子把裡面的水抽出來和挖得太深，有一塊馬路不堅固，剛好上面停了一台特斯拉，結果掉進去了，這讓我們很好奇為什麼會特斯拉會掉下去，是不是因為土壤的濕度，還是因為馬路脆化了。所以我們想改變表面承載重量、抽取的水量、土壤厚度、地質組成所造成的變化，藉由這個實驗來證明發生天坑的原因。

## 貳、研究目的

目的一：探討水位高低與水流失之關係。

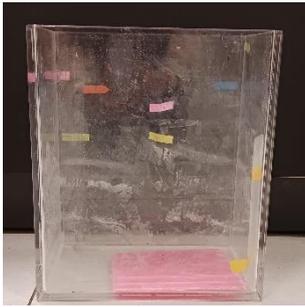
目的二：探討地表承載物之重量與水流失之關係。

目的三：探討降雨量多寡與水流失之關係。

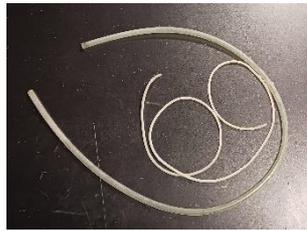
目的四：分析地下之土層結構，並製作地下土層模型。

目的五：探討抽取地下水在不同地質比例的變因下，對於地表的影響。

### 參、研究設備及器材



透明壓克力箱子



粗細軟管



網袋



一公升水盒



大石頭



小石頭

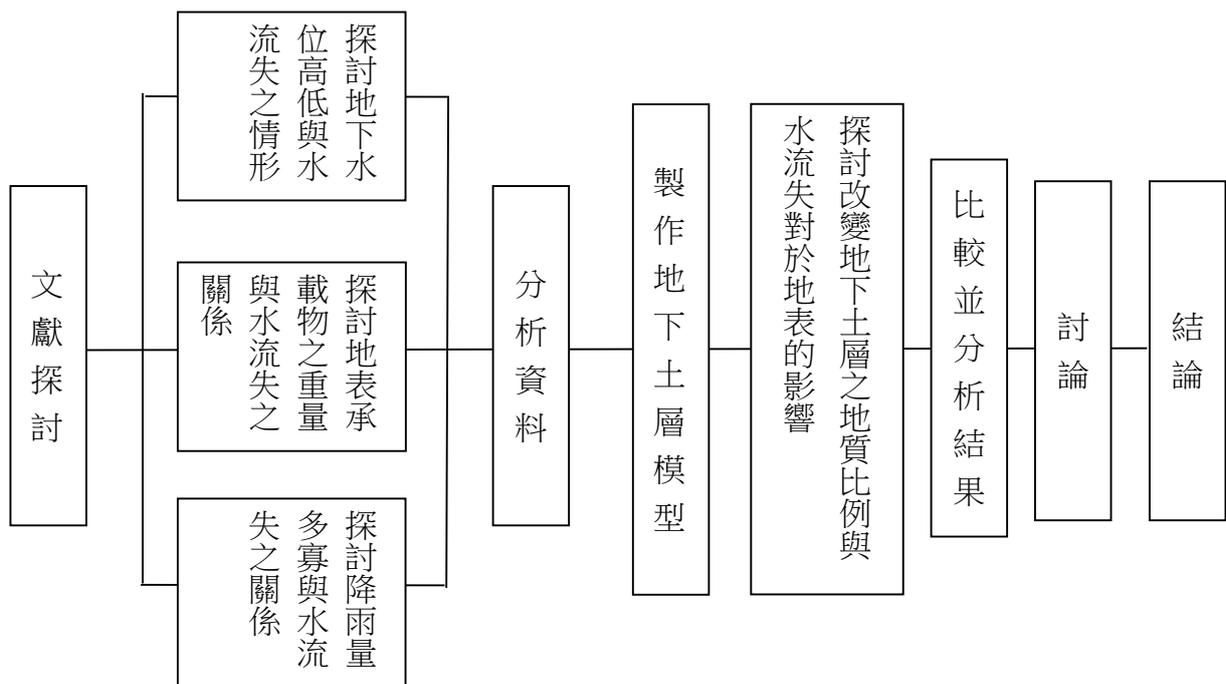


沙子



土壤

### 肆、研究過程或方法



## 文獻探討

### (一) 地下水的定義

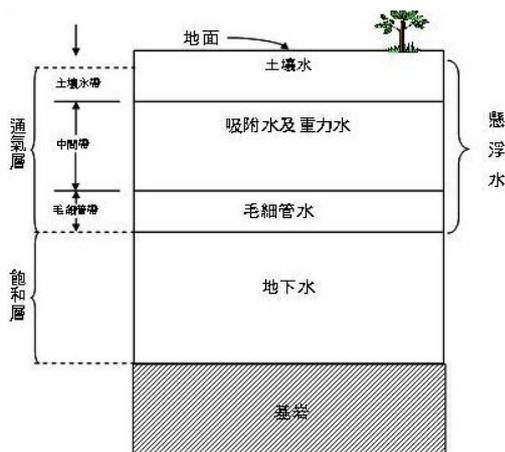
地下水在學術及資源應用上均採取狹義定義為地層水達於飽和之水分。

土壤中依據孔隙飽和與否，可區分為通氣層及飽和層(如圖 1)，通氣層可分為三帶：

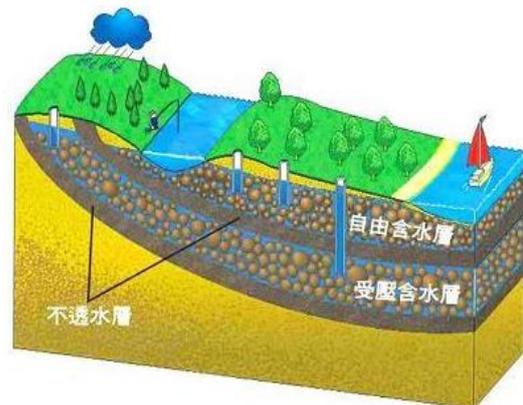
- 1.土壤水帶：水分不穩定，易蒸發，為植物根部吸收，再由葉面蒸散。
- 2.中間帶：包括(1)吸附水或稱薄膜水，分子間吸力而附著於土壤顆粒表面，不因重力作用而下移，但仍可因蒸發而緩慢散失。(2)重力水：水分能受重力作用而下移。
- 3.毛細管水：因毛細管作用而自飽和水面上昇之水。

飽和層依存在土層之特性可分為自由含水層及受壓含水層（或稱拘限水層，如圖 2）。

- (1) 受壓含水層：是一含水層之上下皆有不透水層，受壓含水層在上游地區露出地表是水源補注區，此含水層因受不透水層覆蓋，形成受壓現象，其地下水壓力大於大氣壓力，水井若鑿穿到這層含水層，水面可能高於含水層位置，或甚至高於地面，形成自流現象。
- (2) 自由含水層：是飽和層底部接不透水層，其空隙間含水之水面直接受大氣壓力之作用，此水面即為地下水面，自由地下水流動受地下水面之坡降所控制與在明渠中之水流相似。



圖一 地下水的分布圖



圖二 地下含水層的示意圖

<取自成大水工試驗所團隊（2018）地層下陷防治資訊平台>

## （二）地層下陷

一般而言，台灣的地層下陷主要係由人為因素所造成，大多為超量抽取地下水。抽取地下水會使石頭中間產生空隙，在上下層的壓力下，使儲水層岩石擠壓，這就形成了地層下陷。

## （三）天坑之定義與形成原因

自然生成的天坑，通常發生在可溶岩包括鹽層、石膏、石灰岩和其他碳酸鹽岩，當雨水流經土壤時，這些類型的岩石開始溶解，創造出地下空間和洞穴。

然而，都市內的天坑常是因人為疏失而造成的，當柏油路面下方的泥沙被水帶走，而逐漸產生空洞，最後路面承受不住上方車輛的重量，就形成天坑。其過程包含：

- （1）地下管線、箱涵破損，導致水不斷在地下沖刷既有的泥沙，最後路基被掏空。
- （2）工地擋土設施如：連續壁，壁體表面破損，導致基地外的地下水挾帶沙土，經由破洞的地方沖入基地內，導致路基被掏空（永和文化路案）。
- （3）工地在開挖地下室時，為確保基地內乾燥方便施工，可能會有抽地下水的情形，而此時基地外的沙土就有可能跟著地下水一併被抽走，導致路基被掏空。

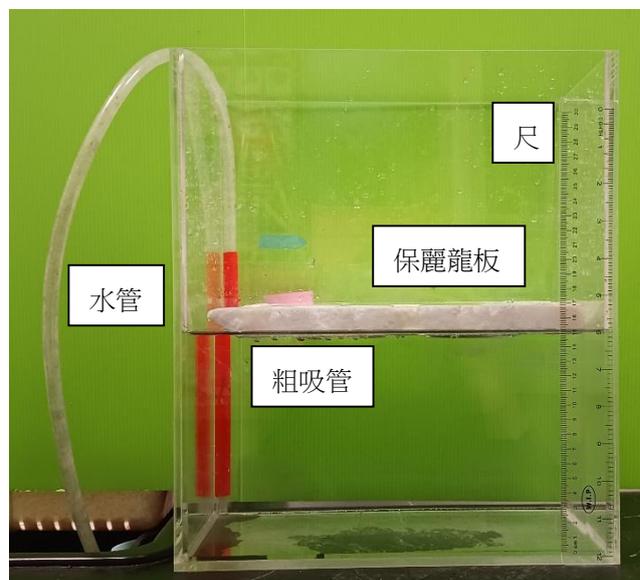
實驗目的一：探討水位高低與水流失之關係。

實驗假設：根據以前學水鐘的概念，水的流速有規律性，但是當滿水位時，水壓大，流速快；快要沒水時，因水壓小，流速減慢。

實驗步驟：

- 1.我們將尺貼上水箱上，以確認水箱分兩段（高、低水位）。
- 2.用粗吸管來固定水管的位置。
- 3.用同一根水管利用虹吸現象，將水箱內的水引流出來並計時。

圖 4.1 實驗一器材裝置圖



實驗結果：

我們將在不同水位抽取地下水使水面下降所需時間記錄如下表 4.1、表 4.2，並繪製成折線圖如圖 4.2，從圖 4.2 可知在不同水位時抽取地下水，因水壓大小的差異使得同樣利用虹吸現象取水，將水位下降 1 公分時，低水位組因流速慢，所需要的時間會比高水位組所需要的時間長。

表 4.1 在高水位抽取地下水使水面下降所需時間數據表

高水位（25 公分至 20 公分）						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	19.95	19.92	20.39	20.72	20.51	20.30
重測實驗 所需秒數(sec)	19.83	19.19	19.49	20.11	20.09	19.74

表 4.2 在低水位抽取地下水使水面下降所需時間數據表

低水位（15 公分至 10 公分）						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	22.81	22.64	23.64	24.34	25.69	23.82
重測實驗 所需秒數(sec)	23.35	24.40	23.32	25.67	26.55	24.65

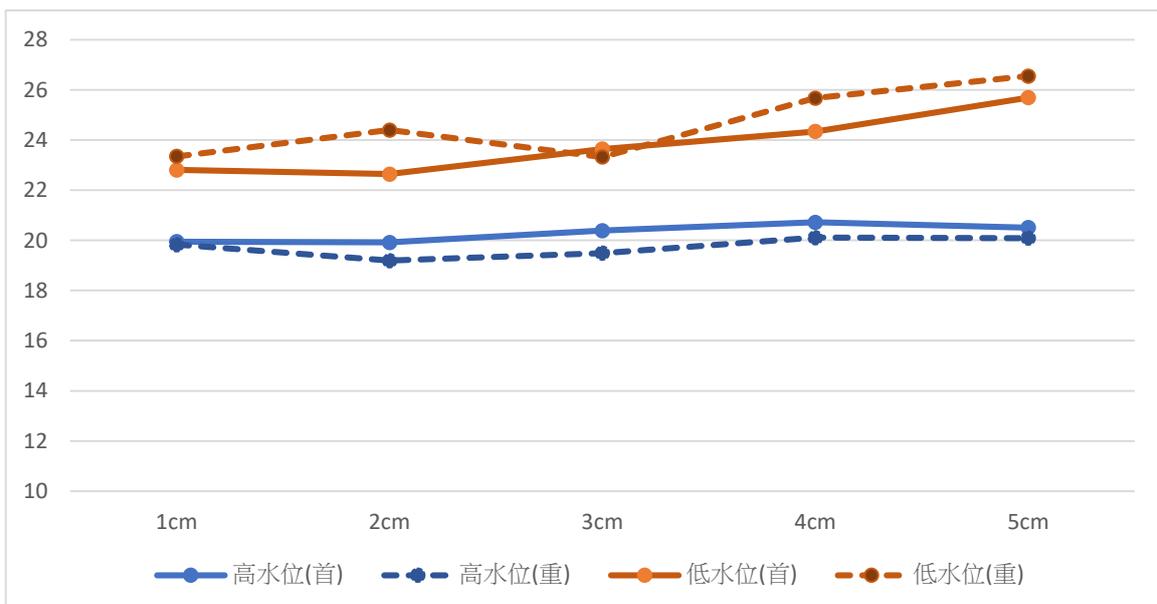


圖 4.2 在不同水位抽取地下水使水面下降所需時間折線圖

實驗目的二：探討地表承載物之重量與水流失之關係。

實驗假設：在實驗目的一的基礎上，保麗龍板上加重物後，會使水位下降速度變快。

實驗步驟：我們將水箱分兩段（高、低水位）

，並在水面上放片保麗龍板，然後

在上面放一個裝 500 公克重的水如

圖 4.3，用同一根水管利用虹吸現象

，將水箱內的水引流出來並計時。

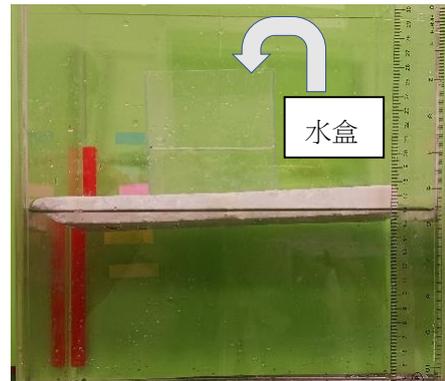


圖 4.3 實驗二器材裝置圖

實驗結果：

表 4.3 在高水位上放 500 克重水盒再抽取地下水使水面下降所需時間數據表

500 克重高水位（25 公分至 20 公分）						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	22.18	22.49	22.58	22.02	21.78	22.21
重測實驗 所需秒數(sec)	21.09	20.69	21.73	21.83	22.00	21.47

表 4.4 在低水位上放 500 克重水盒再抽取地下水使水面下降所需時間數據表

500 克重低水位（15 公分至 10 公分）						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	24.66	26.18	26.48	26.67	27.66	26.33
重測實驗 所需秒數(sec)	24.19	24.97	25.58	26.12	26.89	25.55

我們持續加重 200 克重的水在上方，再重測一次，其結果如表 4.5。

表 4.5 在不同水位上放 700 克重水盒再抽取地下水使水面下降所需時間數據表

水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	平均
高水位實驗 所需秒數(sec)	20.42	20.64	20.90	21.16	21.12	20.85
低水位實驗 所需秒數(sec)	23.37	23.80	24.62	24.28	25.15	24.24

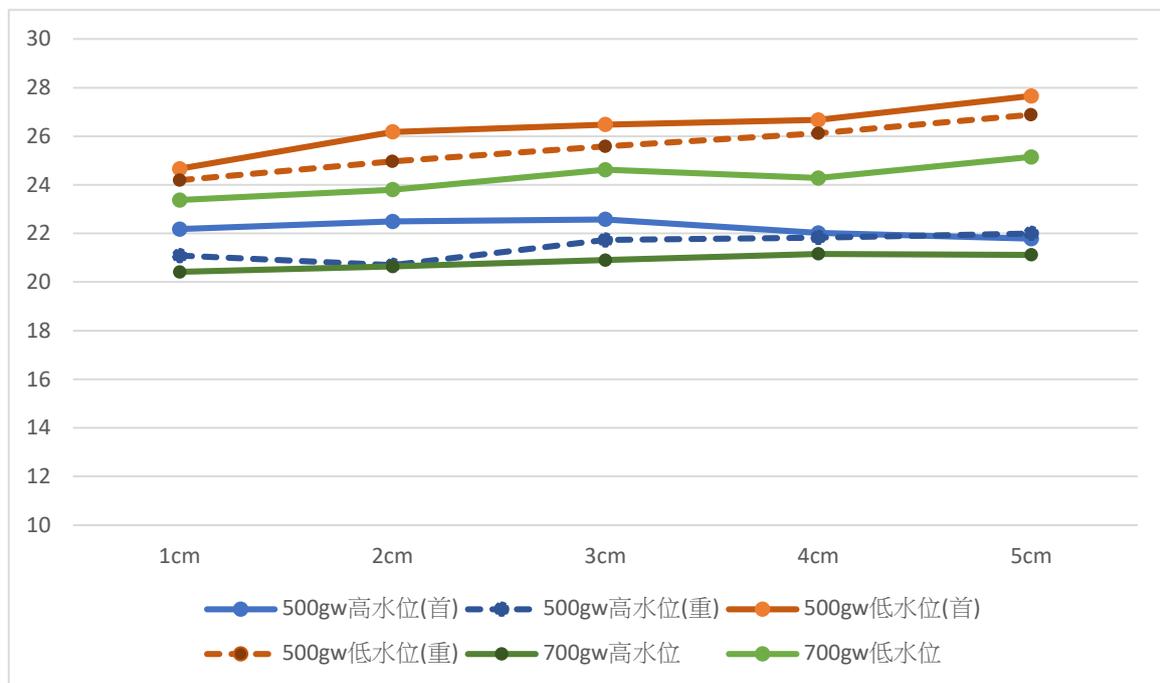


圖 4.4 在不同水位上放重物再抽取地下水使水面下降所需時間折線圖

從圖 4.4 可發現放上重物後，高水位組的水流失速度仍比低水位組快，重測結果也可得相近的數據，代表本實驗有一定的穩定性。

為了更加確認重物是否會加快水流失速度，我們追加了 700 克重的實驗數據，從圖 4.4 可發現放上 700 克重時的水流失速度比放上 500 克重時略快，但兩者相差範圍極小，也有可能是受人為誤差影響。此外，本次實驗數據與實驗目的一的實驗結果（表 4.1、表 4.2）相比，並未得到比較小的數值，反而數值比原先多一些，我們認為這是因為加重物後，沒入水中的體積使得水面上升，同樣在 25 公分進行測試，本次實驗實際水量比實驗目的一的水量少，因此水壓略減的情況下，數值反而比實驗一多了 1~2 秒。因此增加重物後是否會加速水的流失，我們尚未從本次實驗中得到明確的結果。

實驗目的三：探討降雨量多寡與水流失之關係。

實驗假設：依據中央氣象局新竹氣象站之氣候資料顯示，竹北地區近五年平均累計降水量約為 1,952 mm，其中以 6 月降水量 333 mm 最多，1 月降水量 48.0 mm 最少，雨季則集中於 3~9 月間，年平均總降水日數為 119.2 天。因此我們推測當降雨量小於抽水量地層就不會下陷；當抽水量大於降雨量地層就會下陷。

實驗步驟：1.用粗水管將水導出，同時用細水管把水引入，計時每下降 1 公分所需時間。

2.改用粗水管將水導入，同時用細水管把水引出，計時每上升 1 公分所需時間。



圖 4.5 實驗三不同粗細水管注水及取水裝置圖

實驗結果：

利用虹吸原理讓粗水管注水，細水管取水，因進水量 $>$ 出水量，會使水面不降反升，我們將每上升一公分紀錄在表 4.6 和表 4.7。從圖 4.6 可發現，高低水位兩組實驗之間的時間差雖然不大，但大致仍能看出低水位的細水管因水壓小造成出水量較少，加上粗水管注入的水位差較大，使得入水量較多，因此上升速度較快；反之，在高水位時，由於細水管因水壓較大造成出水量較多，加上粗水管注入的水位差較小，使得入水量較少，因此水位上升速度比低水位時稍慢約 1–2 秒。

表 4.6 在高水位用粗水管注水細水管取水使水面升降所需時間數據表

高水位（25 公分至 20 公分）、粗水管注水細水管取水						平均
水位上升(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	19.27	20.35	19.78	19.20	20.96	19.5
重測實驗 所需秒數(sec)	20.32	21.65	19.12	20.69	21.83	20.8

表 4.7 在低水位用粗水管注水細水管取水使水面升降所需時間數據表

低水位（15 公分至 10 公分）、粗水管注水細水管取水						平均
水位上升(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	17.74	18.82	16.71	18.56	18.44	18.05
重測實驗 所需秒數(sec)	18.34	18.11	17.26	17.47	19.13	18.06

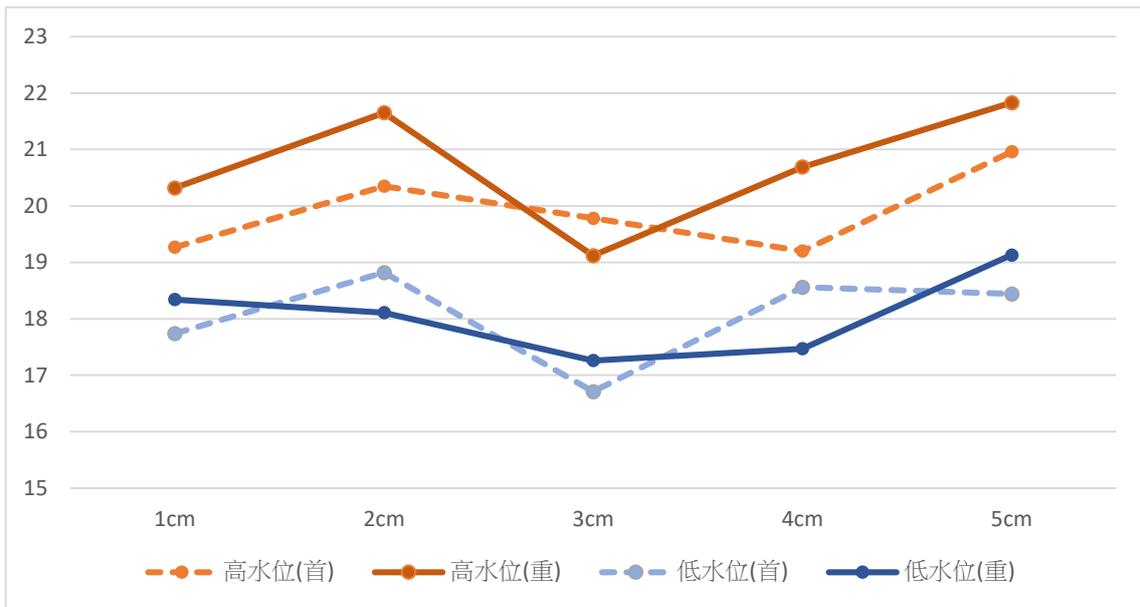


圖 4.6 在不同水位用粗水管注水細水管取水使水面上升 1 公分所需時間折線圖

另一組實驗設計是將粗細水管的位置對調，利用虹吸原理讓細水管入水，粗水管出水，因進水量<出水量，會使水面持續下降，我們將每下降一公分紀錄在表 4.8 和表 4.9。從圖 4.7 可發現，高水位組水位下降的速度比低水位組稍快約 3 秒。我們推測是因高水位組的粗水管取出的水壓較大，使得出水量較多，細水管則因水位差較小，造成補水較慢，因此整體水位下降速度較快；反之，在低水位時，粗水管因水壓較小造成出水量較少，加上細水管注入的水位差較大，使得入水量較多，因此水位下降速度比高水位時稍慢。

表 4.8 在高水位用細水管注水粗水管取水使水面升降所需時間數據表

高水位（25 公分至 20 公分）、細水管注水粗水管取水						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	16.28	16.87	17.38	16.91	17.67	17.02
重測實驗 所需秒數(sec)	16.96	16.78	16.86	17.31	17.45	17.07

表 4.9 在低水位用細水管注水粗水管取水使水面升降所需時間數據表

低水位（15 公分至 10 公分）、細水管注水粗水管取水						平均
水位下降(cm)	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	
首次實驗 所需秒數(sec)	20.05	20.71	21.10	21.87	21.52	21.05
重測實驗 所需秒數(sec)	19.58	19.53	20.64	21.27	21.88	20.58

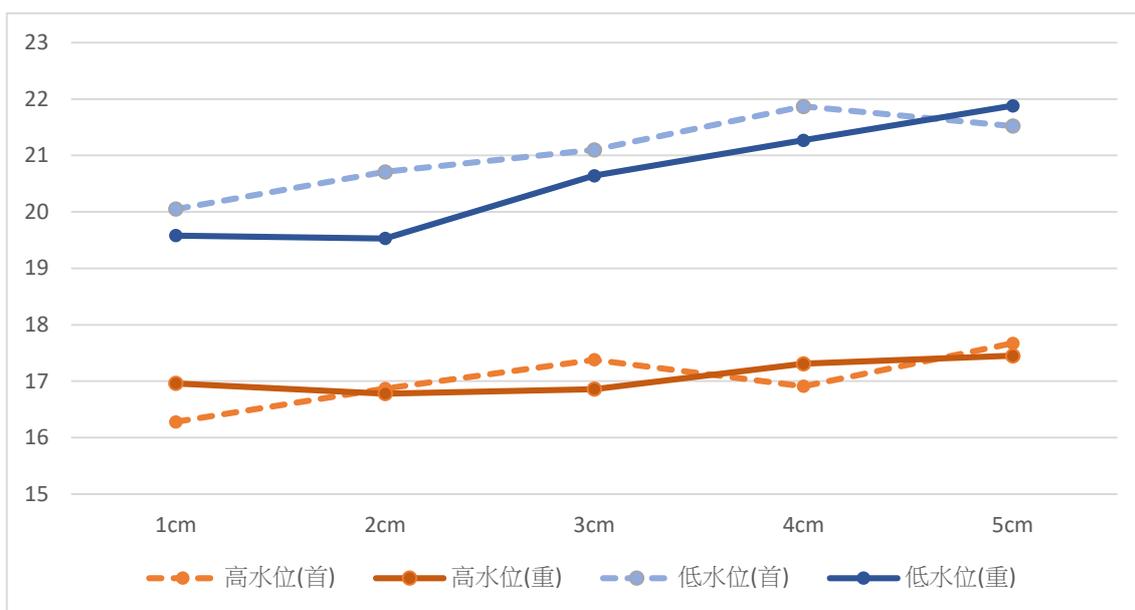


圖 4.7 在不同水位用細水管注水粗水管取水使水面下降 1 公分所需時間折線圖

實驗目的四：分析地下之土層結構，並製作地下土層模型。

依據新竹縣政府地區發展狀況之調查報告，竹北地區土壤以新竹平原之沖積土為主，由河川運積而成，主要成分為黏土、粉砂、砂及礫石，土壤呈酸性至中性，其地層上方土層為細砂及泥質黏土，厚度在 0.2 至 2.7 公尺不等，地層之下則多為卵礫石層。

實驗步驟：我們根據上述調查報告，找尋生活種容易取得的細沙、培養土和大、小石頭製作模型。

- 1.利用網袋將細沙、培養土和大、小石頭分別裝袋備用。
- 2.在透明水盒中，依序放入大石頭、小石頭、沙子和土壤。
- 3.再用 pvc 板當成地表的路面。

實驗結果：

為了日後進行實驗操作與整理的方便性，我們將各地質材料裝入細網袋，因各材料的體積與密度不同，一個網袋大約可裝大石頭 1 公斤重，小石頭和沙為 500 克重，培養土為 200 克重。

地下土層模型如右圖 4.8，圖片右側為對照組，各地質厚度均為兩袋，大石頭：小石頭：沙子：土壤=2：2：2：2。



圖 4.8 自製地下土層模型

實驗目的五：探討抽取地下水在不同地質比例的變因下，對於地表的影響。

實驗假設：根據文獻探討之結果，我們推測地下土層若以礫石為主，僅抽取地下水，不大會造成地層下陷，但若是細砂或土壤，則會隨著水流失而造成空隙，使得地表的柏油路，會承受不住上層重物而坍塌。

實驗步驟：1 承接實驗目的四的自製地下土層模型，在左側放上不同比例的地質材料。  
(如圖 4.9)

2.第一次實驗數據是利用虹吸現象將水引入水盒內，當作地下水，再利用虹吸現象引出水。

3.第二次實驗數據是將水直接從上方倒入，當作雨水沖刷後，再利用虹吸現象引出水。



圖 4.9 不同地質比例的實驗裝置圖(從左起：土 2+沙 4、土 2+石 4、土 4+石 2)

實驗結果：實驗組我們將土壤、沙子與小石的比例重新排列可得出六種結果。

	實驗組一 土:沙:石=2:0:4	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0 公分	下降 0.4 公分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 0.4 公分	下降 0.8 公分

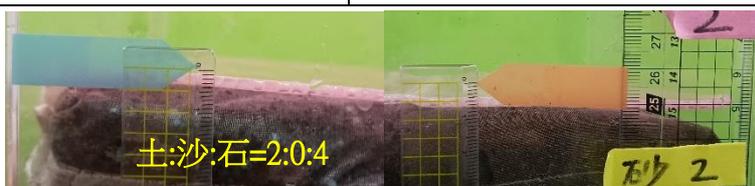


圖 4.10 抽取地下水後，右側對照組(橘)pvc 板下降程度會大於左側實驗組(藍)。

實驗組一可得抽水後，地表下降高度會明顯少於對照組，我們推估實驗組缺少了易流失的沙，多了小石頭支撐，因此比對照組更能抵抗地層下陷。

	實驗組二 土:沙:石=4:0:2	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0.4 公分	下降 0.2 公分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 1 公分	下降 0.4 公分



圖 4.11 抽取地下水後，左側實驗組(藍)pvc 板下降程度反而會大於右側實驗組(橘)。

實驗組二可得抽水後，地表下降高度會明顯多於對照組，我們推估因土的粒徑較小，實驗組土的比例較高，因此比對照組流失的量更多。

	實驗組三 土:沙:石=2:4:0	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0.5 公分	下降 0 公分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 1 公分	下降 0.4 公分



圖 4.12 抽取地下水後，左側實驗組(藍)pvc 板明顯會低於原始位置。

實驗組三可得抽水後，地表下降高度會明顯多於對照組，我們推估對照組的小石頭能有效撐住土層。

	實驗組四 土:沙:石=4:2:0	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0.8 公分	下降 0.7 公分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 1.5 公分	下降 0.9 公分



圖 4.13 抽取地下水後，左側實驗組(藍)pvc 板明顯會低於原始位置。

實驗組四可得抽水後，地表下降高度會明顯多於對照組，我們同實驗組三推估，實驗組缺乏小石頭的支撐，使得流失較多。

	實驗組五 土:沙:石=0:4:2	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0.5 公分	下降 0.3 公分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 0.7 公分	下降 0.5 公分

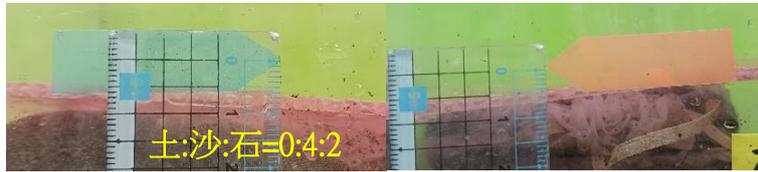


圖 4.14 抽取地下水後，左側實驗組(藍)pvc 板明顯會低於原始位置。

實驗組五可得抽水後，地表下降高度略多於對照組，我們推估沙子的粒徑也是偏小容易流失，但與對照組沒有太大的差距，也有可能受人為誤差影響。

	實驗組六 土:沙:石=0:2:4	對照組 土:沙:石=2:2:2
第一次實驗 無雨水沖刷時抽水	下降 0.2 公分	下降 0.5 分
第二次實驗 雨水沖刷後抽水	下降 0.3 公分	下降 1.2 公分



圖 4.15 抽取地下水後，右側對照組(橘)pvc板，小石支撐力較小，明顯會低於原始位置。

實驗組六可得抽水後，地表下降高度會明顯少於對照組，我們推估實驗組缺少了易流失的土，多了小石頭支撐，因此比對照組更能抵抗地層下陷。

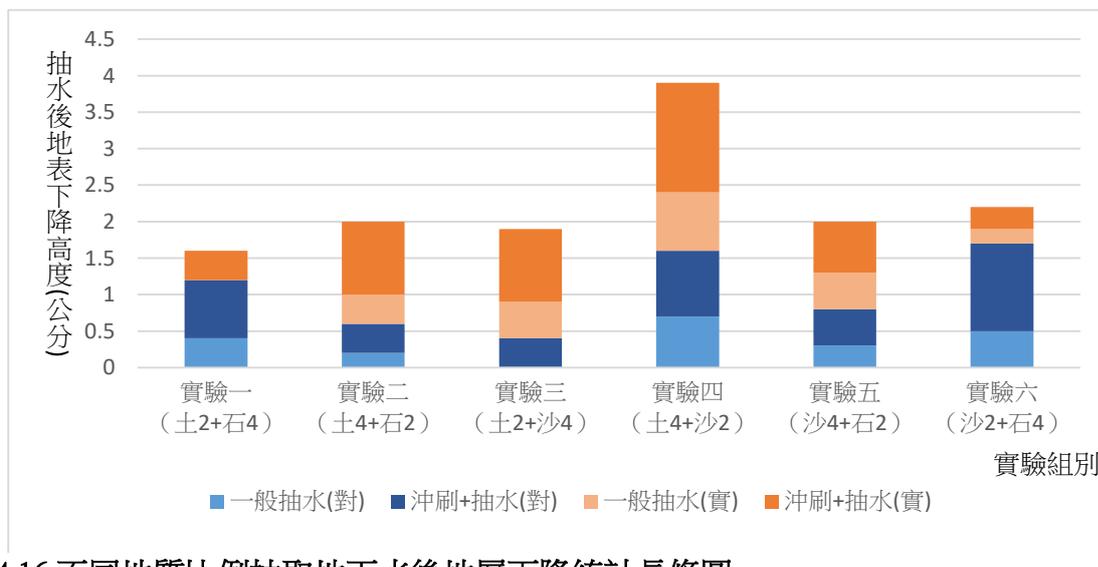


圖 4.16 不同地質比例抽取地下水後地層下降統計長條圖

從實驗中我們可以發現有兩刷沖刷時，會加劇土壤、沙子的流失。統整以上六組實驗結果，可得圖 4.16，我們可從圖 4.16 知道，當土層以石頭比例為多時（實驗一、實驗六），實驗組的地表較不受超抽地下水影響而塌陷。其餘四組（實驗二至實驗四）可發現，缺少石頭支撐或是小石頭支撐力不足時，實驗組的地表容易受超抽地下水影響而塌陷。

為了確認沙子與土壤兩者之間流失情況何者較為嚴重，我們再次將土:沙:石=0:4:2 與土:沙:石=4:0:2 放入水箱（如圖 4.17）進行比對，實驗可得土:沙:石=4:0:2 其地層下陷的程度較為嚴重。

本實驗證實了當地層比例石頭較多時，較不受超抽地下水的影響造成地層下陷；然而，當地層比例為土壤較多時，地層則會因水的流失而造成較為嚴重的地層崩塌。



圖 4.17 再次比較實驗二與實驗五裝置圖

## 伍、討論

1.在實驗目的二，原本預期地表的重物會影響水位下降的速度，但實驗結果卻發現與實驗目的一(無重物)時之數據沒有明顯差距。我們推測是因為保麗龍板無法承受太重的物體，超過 700 克重會沉入，而且保麗龍板也沒有完全密合水箱的周邊，在實驗設計不良的影響下，得不到預期的結果，期望未來能有更好的技術克服上述問題，應可測到地表重物會影響水位下降速度的結果。

2.在實驗目的五，起初我們只有一組水箱，在有限的時間操作下，一次只能完成一組實驗，實驗後的沙土會因為流失而影響下一次的實驗，雖然我們有補足每包等重的沙、土，但也會因為含水量不同，而跟第一次乾燥的沙、土相比，分量還是會有些差異。因此，縱使將實驗結果統整成圖 4.16，卻無法直接比較六組哪一種比例流失的最多，只能從每一次實驗進行分析，整個研究過程比較耗時。雖然最終能完成驗證小石較多的土層較不容易塌陷，其次是砂層多，最後是土層多的最容易塌陷。但未來在實驗設計上應可以再次改良，讓實驗過程能夠更加有效率。

## 陸、結論

- 1.從實驗目的二可以發現，因水壓大小的差異使得同樣利用虹吸現象取水，將水位下降 1 公分時，低水位組因流速慢，所需要的時間會比高水位組所需要的時間長。
- 2.從實驗目的二可以發現，在板子上放重物再取水，對水位下降速度沒有太大的影響。
- 3.從實驗目的三可以發現，粗水管注水、細水管出水，水位會不降反升。此外，低水位組因粗水管水位差大、注水量多，水位上升速度比高水位組快。
- 4.從實驗目的三可以發現，粗水管出水、細水管注水，水位會持續下降。此外，高水位組因粗水管水壓較大、流量多，使得水位下降比低水位快。
- 5.從實驗目的四可以知道地表土層結構，最底層是岩層或是大石頭，接著是小石頭，再來是沙子，最後是土壤。
- 6.從實驗目的五可以知道當地若是小石較多的土層，則超抽地下水時或是雨水沖刷後較不容易塌陷，若是沙子、土壤層為多的地區，則最容易塌陷，其中土壤流失程度比沙子流失更為嚴重。

## 柒、參考資料

- 1.甘庭嘉（2023）。全朝天坑懶人包整理 帶你一次看。今日新聞。
- 2.Yuee（2023）。馬路上突然出現的天坑是怎麼來的。新聞時事評論與延伸知識分享
- 3.邱苡瑄（2023）。「天坑」為何會頻繁出現？風傳媒。
- 4.新竹縣政府（2023）。發展現況分析。新竹縣政府全球資訊網，page3。
- 5.成大水工試驗所團隊（2018）地下水的定義？地層下陷防治資訊網。