

# 屏東縣第 62 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國小組

作品名稱：獨一無「二」，百年「峰」華~伏流水堰堤模擬研究

關 鍵 詞：二峰圳、伏流水、堰堤

編號：A5010

# 獨一無「二」，百年「峰」華~伏流水堰堤模擬研究

## 摘 要

二峰圳是座百年水利設施，當年日本技師鳥居信平利用林邊溪上游砂礫層中所含的淺層清澈潔淨「伏流水」，將水引入社區提供民眾飲水及灌溉農田。我們想模擬二峰圳堰堤設計，找出最佳收集伏流水的堰堤設計，實驗結果：

- 一、流出水量最多的是堰堤**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**，水質濁度最低和水中含沙量最少的是堰堤**模型四-1(底角 30°，長固定)**，堰堤模型四-1 的流出水量是所有模型中第二名。
- 二、隨著**實驗次數增加**，流出水量幾乎是倒入多少水就流出多少水量，且**水質濁度越來越低**，**水中含沙量也越來越少**，但堰堤斜面角度不同，最後影響較大的是集水廊道大小，也許是因為如此，鳥居信平才以 45°作為二峰圳堰堤的斜面角度。

## 壹、研究動機

四年級的社會課本，在認識我們的家鄉單元中，提到屏東縣來義鄉二峰圳的歷史，再加上六年級上學期自然課本介紹大地的變化，我們了解河流的上游、中游及下游不同石頭的特性，剛好也介紹到林邊溪上游二峰圳的集水方式，我們才知道二峰圳至今年剛好建造滿百年，因此我們想透過研究，了解二峰圳為什麼能持續不斷清澈地流出水來，造福當地民眾的飲用水及灌溉用水。如果改變二峰圳的堰堤斜面的縫隙大小和角度，是否會對伏流水的取用有所影響呢？

## 貳、研究目的及問題

### 一、研究目的

- (一)了解二峰圳建造的**歷史故事**。
- (二)探討二峰圳的**功能與周邊環境**的特性。
- (三)研究堰堤**縫隙大小與斜面角度**對伏流水取用的影響。

### 二、研究問題

- (一)二峰圳的**建造歷史**與近年來**整修的原因**？
- (二)二峰圳堰堤**設計與功能**，如何幫助當地環境？
- (三)調整二峰圳堰堤模型**縫隙大小**，對伏流水的取用有何影響？
- (四)調整二峰圳堰堤模型**斜面角度大小**，對伏流水的取用有何影響？
- (五)**固定**二峰圳堰堤**模型高度**時，調整**斜面角度大小**，對伏流水的取用有何影響？

## 參、研究架構圖

本研究的研究架構、研究問題及實驗設計如下。

	研究目的	研究問題	實驗設計說明
獨一無「二」，百年「峰」華，伏流水堰堤模擬研究	一、 了解二峰圳建造的歷史故事	(一) 二峰圳的建造歷史與近年來整修的原因？	1. 上網蒐尋二峰圳建造歷史的文獻資料 2. 了解什麼是伏流水 3. 二峰圳整修原因
	二、 探討二峰圳的功能與周邊環境的特性	(二) 二峰圳堰堤設計與功能，如何幫助當地環境？	1. 上網蒐尋二峰圳堰堤設計的文獻等資料 2. 上網蒐尋二峰圳堰堤功能的文獻等資料 3. 二峰圳的設計與功能，對當地居民的幫助是什麼
	三、 研究堰堤縫隙大小與斜面角度對伏流水取水的影響	(三) 調整二峰圳堰堤模型縫隙大小，對伏流水的取用有何影響？	固定堰堤高度 9cm 1. 模型三-1 斜面 12cm、45 度角、縫隙 0.4cm 2. 模型三-2 斜面 12cm、45 度角、縫隙 0.6cm 3. 模型三-3 斜面 12cm、45 度角、縫隙 0.8cm
		(四) 調整二峰圳堰堤模型斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響？	不固定堰堤高度 1. 模型四-1 斜面 12cm、30 度角、縫隙 0.4 cm 2. 模型四-2 斜面 12cm、60 度角、縫隙 0.4 cm
		(五) 固定二峰圳堰堤模型高度時，調整斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響？	固定堰堤高度 9cm 1. 模型五-1 斜面 19cm、30 度角、縫隙 0.4 cm 2. 模型五-2 斜面 10.5cm、60 度角、縫隙 0.4 cm

## 肆、研究設備及器材

### 一、研究器材(如圖 a~圖 1)













(一)採砂工具：水桶、30cm 鐵尺、鏟子。

(二)實驗用具：電子秤、PP#100 目過濾網。

(三)其他：量杯(100ml、500ml、1000ml)、碼表、計算機、塑膠大盆、相機。

### 二、實驗材料：林邊溪上游的來義大橋下方的二峰圳集水堰堤旁約 100 公尺內的溪床採拾砂土石礫。

在研究期間，我們團隊使用的研究設備及器材，整理如下表所列的品項。

品項	a. 水桶和鏟子	b. 30cm 鐵尺、竹筷	c. 塑膠大盆	d. PP#100 目 過濾網
照片				
功用	採集土壤工具	量測開挖位置	裝實驗土壤用	網狀透水材質
品項	e. 燒杯、量杯	f. 電子秤	g. 碼表、計算機	h. 自製實驗器材
照片				
功用	裝水容器	測量土壤重量	測量時間與統計	自製觀察堰堤實驗器材
品項	I. 林邊溪上游沙礫		J. 不鏽鋼網	K. 沙奇盤
照片				
功用	實驗沙礫		模擬堰堤濾水層	自製實驗器材

## 伍、研究過程與結果討論

### 【研究問題一：二峰圳的建造歷史與近年來整修的原因？】

#### 一、研究想法

去年(民國 110 年)3~6 月份是台灣新冠肺炎最嚴重的時刻，藉由電視新聞報導也得知，當時是梅雨季節竟然沒下多少雨，造成很多地方有缺水的危機。那時因為全國防疫政策學校停課，藉著停課不停學的線上課程，自然老師要我們搜尋有關缺水時的處理方法，剛好找到「伏流水」相關網路資料，發現原來屏東縣來義鄉就有伏流水應用實例——二峰圳，這樣的百年建築堰堤專門收集伏流水，引起我們的注意，於是開始蒐集二峰圳建造歷史與伏流水的關聯性。

#### 二、研究內容

- (一)上網蒐尋二峰圳建造歷史的文獻資料。
- (二)了解什麼是伏流水？
- (三)二峰圳整修原因。

#### 三、研究結果

(一)根據上網收集二峰圳的建造歷史資料，我們整理如下：

##### 1. 為什麼要建造二峰圳？

臺灣日治時期，林邊溪雨季時氾濫成災；枯水期非常乾旱，連人畜的飲水都沒有；地層是無數大小的礫石，且土層緊密，無法開墾。當時臺灣製糖株式會社為了解決屏東縣蔗田農番地用水不足的問題，社長山本悌二郎（此人雅號山本二峰，即二峰圳命名緣由）命令日本技師鳥居信平(圖 1-1)調查林邊溪的周遭環境。經過 5 年的調查後，他召集了 14 萬人次的排灣族人和漢人，自西元 1921 年動工至西元 1923 年完工，花費約兩年時間，完全採用人力和簡陋機械完成建造二峰圳。截至今日已經有一百年的水利工程歷史建物。



圖 1-1 鳥居信平銅像

## 2. 二峰圳建造地點

二峰圳位於屏東縣來義鄉，在林邊溪上游，朋地溪與來社溪交接處，北邊是泰武鄉，南邊是春日鄉，往西行可達屏東縣潮州鎮。也就是來義鄉古樓部落，再繼續往東行到來義大橋前，距離來義大橋約向上游約 100 公尺，往溪旁就可看到橫互在溪流兩側的二峰圳集水廊道（圖 1-2）。從林邊溪沖積扇的衛星影像圖中可以明顯辨識出二峰圳堰體所在區位靠近沖積扇的扇端，為大量地表水下滲處（圖 1-3）

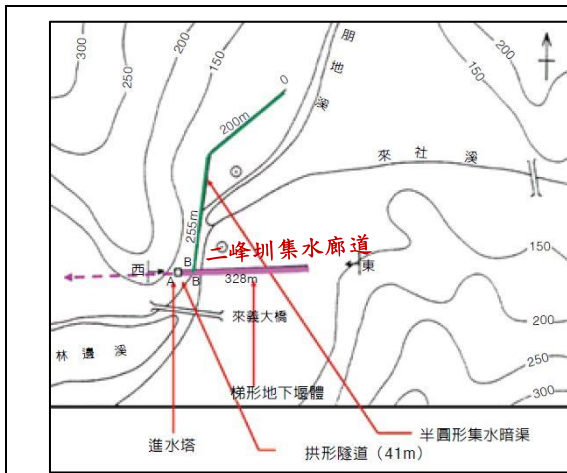


圖 1-2 二峰圳集水廊道位置

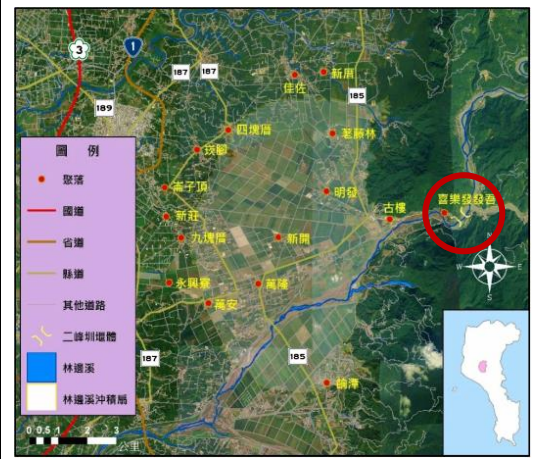


圖 1-3 二峰圳的位置

## 3. 二峰圳收集地下伏流水

烏居信平先生調查林邊溪地下堰堤位址，在 1 月以後水源會枯竭。經過 5 年的調查後發現，朋地溪上游深山處溪谷（今大後村附近）和來社溪上游（今來義國小分校附近），四季不缺水，在旱季的時候全部滲入河床下成為伏流水。這常流量若以一般導水路引水，水量會呈不穩定狀態。另外，朋地溪和來社溪二溪的常流地點是林邊溪上游溪谷地，屬於巨岩轉礫石處，一旦颱風來臨，洪水大雨會使得溪水以萬馬奔騰之勢往下游流竄，就長期的安全性考量，地面水的取水方法相當不利。因此，以這個常流量為目標，引進伏流水來利用（丁澈士，2012）。

### (二) 什麼是伏流水呢？

用簡單的比喻來說，河床有如一塊海綿，第一層是粗顆粒組成的含水層，飽含水分，再下面是黏土組成的阻水層，伏流水就是阻水層以上，和河水相通的這層含水層。簡單說明，河水是地表水，可是到了旱季，依然在河床下流動的水，即是「伏流水」（圖 1-4）。也

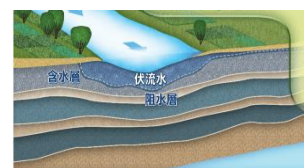


圖 1-4 伏流水示意圖

就是說所謂「伏流水」：指河川及湖泊底部或側部砂礫層中所含的淺層地下水(報導者電子報-李根政，2021)。

### (三)二峰圳整修原因

多年來，二峰圳堰堤受到林邊溪下游採砂的影響，已露出河床，2016年更因下游過度疏浚，加上豪雨不斷，使得堰堤嚴重毀損，大量土石填滿集水廊道及渠道導水路，使得出水量大幅減少約9成，經過屏東縣政府水利處在2017年3月至6月首次大規模整頓二峰圳完成修復工程(更新堰堤斜邊柱、清除渠道內沙礫、鋪設蛇籠阻擋堰堤柱間縫隙)，才恢復原有的出水功能(報導者電子報-李根政，2021)。

## 四、研究討論

- (一)二峰圳的建造歷史從西元1923年完成至今年(西元2022年)已剛好滿一百年，二峰圳的堰體是深埋於地下，河床上沒有任何建築結構體，不會改變河道地形地貌，對河川生態的衝擊很小。
- (二)台灣的河川大多河身短、坡度大、水流急，河水一下子就流入大海了，在河川的河床下屬砂礫地層，其伏流水的水流較為緩慢，截取伏流水不但可以得到可觀的水源量，更因地面水下滲後，經砂礫石的過濾，而大大降低了混濁程度，變得非常清澈潔淨。
- (三)鳥居信平利用100公尺左右的高低落差來輸送伏流水，完全不用任何人工機械力量，是很節能的施工工法。而且他也透過實地調查，運用台灣環境的特性，而設計出這樣的工程，可以說是深具智慧的水利設施。



## 【研究問題二：二峰圳堰堤設計與功能，如何能幫助當地環境？】

### 一、研究想法

我們從研究一了解二峰圳的建造歷史與重新整修的雙重重要性，對於二峰圳的堰堤設計與其功能性，我們想要更進一步了解這座百年的設計，能讓當地居民延續生命水源的需求，而且歷經百年風華與歲月不曾改變，實在令我們覺得好特別與佩服。因此，我們開始蒐集和探討相關的二峰圳設計與其功能的相關文獻資料，並且利用寒假期間到二峰圳堰堤及其相關設施做實地踏查與觀察紀錄。

### 二、研究內容

- (一)上網蒐尋二峰圳堰堤設計的文獻資料。
- (二)上網蒐尋二峰圳堰堤功能的文獻資料。
- (三)二峰圳的設計與功能，對當地居民的幫助是什麼？

### 三、研究結果

- (一)根據上網收集二峰圳的地下堰堤設計的文獻資料，我們整理如下：

二峰圳主體橫互在林邊溪上游來義段，朋地溪(目前已更名為瓦魯斯溪)與來社溪，兩支流之匯流處。二峰圳共含四大部分，包含取水工、引水工、分水工和灌溉渠道。其中「取水工」又由地下堰堤、拱型隧道、進水塔和半圓形集水岸渠等四部分組成：

1. 地下梯形堰堤：埋在林邊溪河床下，為三塊水泥組合之三角形（底中空 1.82 公尺 $\times$ 1.82 公尺直角三角形渠道，見圖 2-1）；迎向河床下地下伏流水的斜面為滲水面，由數百根間距 6 公分的水泥柵欄構成，並在柵欄上鋪設黃荊（埔姜仔）枝條編織而成的過濾層，伏流水會從 6 公分的空隙和上方進水孔滲入。

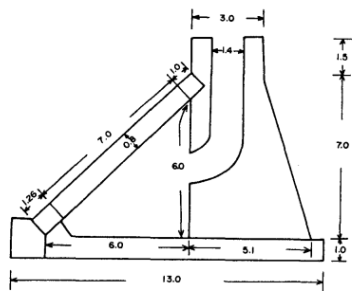


圖 2-1 地下堰堤設計圖(單位=尺)



2017 年施工整修圖(屏東高中，2017)

2. 拱型隧道(圖 2-2)：地下梯形堰堤相接，主要用來接通堰堤，把伏流水導入經進水塔，送往下游。
3. 方形進水塔(圖 2-3)：於林邊溪右岸(站立面向下游方位)的山腳下，塔內寬約 1.8 公尺，深度約 10 公尺，為堰堤之終點。
4. 半圓形集水岸渠(圖 2-4)：寬 1.9m、長 455m 的半圓形進水暗渠，攔截取用經層層過濾的伏流水，只是拱型隧道暗渠現已崩塌，不再使用。



(二)根據上網收集二峰圳的功能文獻等資訊，我們整理如下：

有關取水工、引水工、分水工和灌溉渠道等，我們與指導老師利用寒假期間一起到來義鄉的喜樂發發吾社區、來義國小後門、古樓社區及來義鄉公所的相關二峰圳水流經的區域做觀察記錄。我們發現二峰圳收集伏流水進入進水塔後，再借助地勢落差，利用重力把水輸送到排灣族部落和下游農場(圖 2-5)。



圖 2-5 二峰圳取水工、引水工、分水工、灌溉渠道及林後四林平地森林區分佈與地勢

以下將我們踏查的相關照片做整理，並加以文字說明：

踏 查 照 片	文 字 說 明
	<p>①取水工有四部分，以方形進水塔旁二峰圳工程歷年記事告示牌為踏查起點。我們走到二峰圳堰堤上，發現與進水塔的距離真的有點遠。</p>
	<p>②喜樂發發吾社區是二峰圳水流經的第一個社區，而且在該區中的公園還有鳥居信平的銅像及紀念碑文。</p>
	<p>③引水工位置在來義國小後門的左側旁，有座水閘門，也有可以走下去摸水和玩水的階梯。</p>
	<p>④引水工位置在來義國小後門的左側旁，沿著國小後門的溝渠繼續往古樓社區和來義鄉公所前進。</p>

		<p>⑤分水工在古樓社區外的台糖萬隆機庫旁，分成兩灌溉渠道到萬隆農場區域，屏東縣政府也即將整修這個地方的告示說明。</p>
		<p>⑥灌溉渠道分成兩路線，往下游的民眾農地和萬隆農場等兩個地點。</p>
		<p>⑦林後四林平地森林園區設有二峰圳地下堰堤 1:1 模型解說牌。</p>

(三)二峰圳地下堰堤的設計與功能，幫助在地的居民：

1. 經由截取伏流水，大雨過後極度混濁的河水經歷天然河床下的砂礫過濾和長距離流水的輸送淨化，有如經過 RO 濾水器過濾效果一般，水質呈現純淨無塵又保留豐富的礦物質，再由地下集水廊道取得的水源堪稱優級泉水。足以見證這種地下集水廊道的取水方式，對每日幾乎都受汙染的河水具有過濾淨化水質的功效。
2. 截取的伏流水經引水工的隧道涵洞後，採圳溝輸送方式送到台糖萬隆機庫辦公室前的圓形分水工池（直徑約 6 公尺）。分水工池設置水閘門以控制分水流量，並把水分送各支線圳溝灌溉農田。這項水利工程運作已經近一百年了，出水量至今仍然非常的大，供應當地居民日常所需的農業、休閒和民生用水，水資源的效益很大。

#### 四、結果討論

藉由實地到林邊溪上游的二峰圳地下堰堤踏查，我們發現：

- (一)我們踩踏的堰堤上方蛇籠都已經被溪流的砂石沖走，僅剩下蛇籠的生鏽鐵絲網(圖 2-6)。溪水清澈而且冰冰涼涼的。溪邊和堰堤旁的沙礫都屬於粗細大小不同的樣子，果然是林邊溪上游的石頭區域。
- (二)方形進水塔旁邊有二峰圳工程歷年記事看板，從進水塔位置目視溪面高度，位置有點高，而且在進水塔這邊的堤岸(堤防)也加裝蛇籠固定(圖 2-7)。其中有兩位同學靠近進水塔的小洞(圖 2-8)，聞聞看裡面的味道，聞起來濕濕的，而且聽得到裡面有水在流動的聲音，進水塔內有可往下走的鐵製樓梯(圖 2-9)。
- (三)在台糖萬隆機庫旁的分水工池，有豎立一個小石碑(圖 2-10)，上面寫著鳥居信平親手種植的桃花心木樹就在旁邊，而且在喜樂發發吾公園的鳥居信平銅像，上面寫出其生平事蹟及生存記事，我們才知道其壽命為 63 歲。

		
圖 2-6 生鏽的蛇籠鐵絲網	圖 2-7 上游堤岸蛇籠堤防	圖 2-8 方形進水塔
		
圖 2-9 進水塔內鐵梯	圖 2-10 分水工池旁的桃花心木樹下	

## 【研究問題三：調整二峰圳堰堤模型縫隙大小，對伏流水的取用有何影響？】

### 一、研究想法和試作

#### (一)製作實驗器材

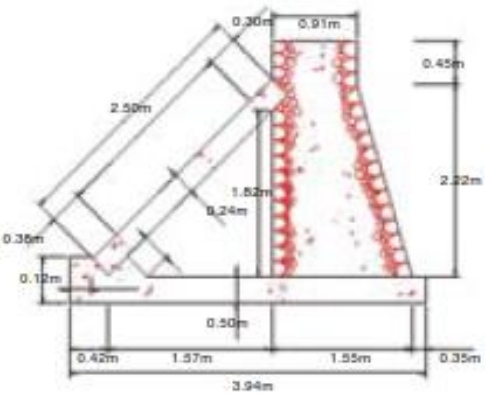
##### 1. 文獻參考

為了瞭解二峰圳堰堤的功能，我們參閱全國科展第 51 屆國小組作品「從林邊溪地下伏流看二峰圳的神奇」，他們是利用 2 個自製保麗龍(長 53cm×寬 32cm×高 31cm)，組成一個長方形水槽，槽內架上一個梯形進水口，蓋上一層濾網，再鋪上砂石，我們覺得這樣無法觀察水流情形，決定另外自製堰堤模型來做實驗。

##### 2. 自製實驗器材

##### (1)堰堤模型比例計算

為了觀察水流情形，我們找到透明的整理盒來模擬河道，依據文獻資料、實地訪查林後四林平地森林園區二峰圳 1:1 模型及整理盒的大小，最後設定實驗堰堤模型依比例縮小 20 倍，再分別計算實驗堰堤模型的各項尺寸，說明如下。

二峰圳堰堤構造圖	等比例縮小 20 倍
	<p>堰堤底邊長 <math>1.82\text{m} \div 20 \text{ 倍} \doteq 9\text{cm}</math></p> <p>堰堤高長度 <math>1.82\text{m} \div 20 \text{ 倍} \doteq 9\text{cm}</math></p> <p>堰堤斜邊長 <math>2.5\text{m} \div 20 \text{ 倍} \doteq 12.5\text{cm}</math></p> <p>堰堤每根柱寬度 <math>17\text{cm} \div 20 \text{ 倍} \doteq 0.9\text{cm}</math></p> <p>堰堤兩根柱的縫隙 <math>6.5\text{cm} \div 20 \text{ 倍} \doteq 0.3\text{cm}</math></p>

##### (2)堰堤模型材質

堰堤模型需承受砂土的重量，且要能夠防水，才能使實驗順利進行。我們先從平時藝文課常用到的材料進行討論，黏土(易塑型但不防水)、油土(易塑型且防水但定型需烘烤)、保麗龍(防水易塑型但不堅固)，以上材料都有些限制，不夠合適用來製作實驗所需模型。

堰堤是由一根根柱狀體組裝而成，想起老師上數學課所使用的積木條，是塑膠材質能防水且堅硬，但此款積木長度固定，也不方便裁切，製作模型時會受到限制。

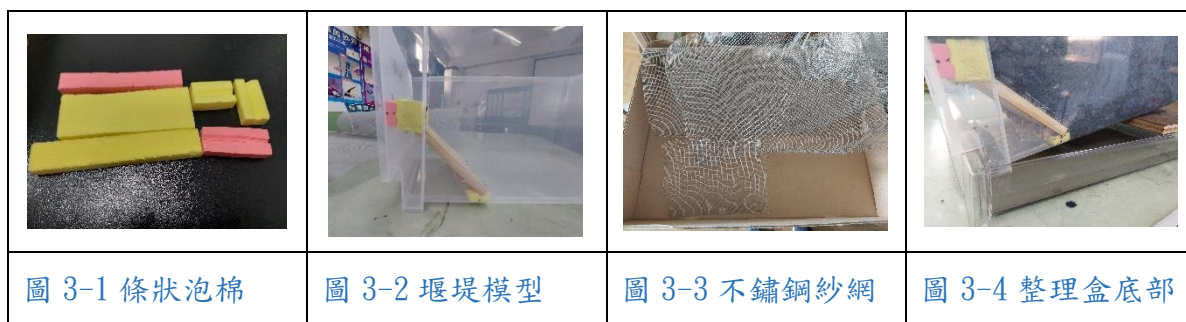
想到以前老師教我們用冰棒棍製作木屋，若將屋頂冰棒棍間的距離加大就和堰堤相似，於是我們到美術用品社找尋冰棒棍，但冰棒棍的長度尺寸只有 4 種，無法提供我們各項實驗的設計需求。不過我們在美術用品社發現另一種材料—飛機木，它有各種粗細大小，每根長 90cm，可以配合實驗需求的長度裁切，我們決定選擇飛機木來當作實驗模型製作的主要材料。依據比例計算，我們使用切面為 0.9cm×0.9cm 的飛機木當作堰堤斜邊木柱，木柱間的縫隙則使用冰棒棍協助固定。

### (3) 堰堤模型製作

我們直接用整理盒的側面及底面，當作堰堤模型的底與高，以方便觀察水流情形。但也因此產生另一個問題：堰堤模型的斜邊木柱要如何固定在整理盒內。一開始我們想將飛機木以對角方式切開，利用斜面來黏貼斜邊木柱，但是飛機木不大，對角切開對我們來說難度太高，於是再尋找其他的方式，我們從學校地下室教具室發現條狀泡棉(圖 3-1)，此款泡棉按壓後不易變形，用小刀即可從中間切開斜角，斜邊木柱也可以很穩定的固定在斜角上(圖 3-2)。

我們從二峰圳的相關影片得知，為了保護堰堤的使用壽命，堰堤柱上鋪設由藤條編成之掃工，形成濾水層，也阻擋砂礫進入水道，而修繕後的二峰圳堰堤則以蛇籠當作阻擋材質。因為要測量滲透水量，濾網材質不能吸水，才能量測較精準的數據，我們找到水族箱專用過濾網(濾網網目為#100)是塑膠尼龍 PP 材質，測試後發現滲水速度慢，且透水效果不太好。我們再到五金行找到塑膠紗網來試作，因塑膠紗網遇到熱熔膠會融化而無法使用，改以不鏽鋼紗網(圖 3-3)來當作堰堤模型的滲水面濾水層。

堰堤模型完成後，我們思考如何收集伏流水，我們在堰堤模型底部鑽了幾個洞，將整理盒放在壓克力的文具盒上方(圖 3-4)，結果水流出的效果不佳，模型底部還有殘餘水未流出，會影響水量測量，經過討論及實際改良，我們請老師協助將整理盒底部切割出一個細長的長方形，方便滲出的水流出。



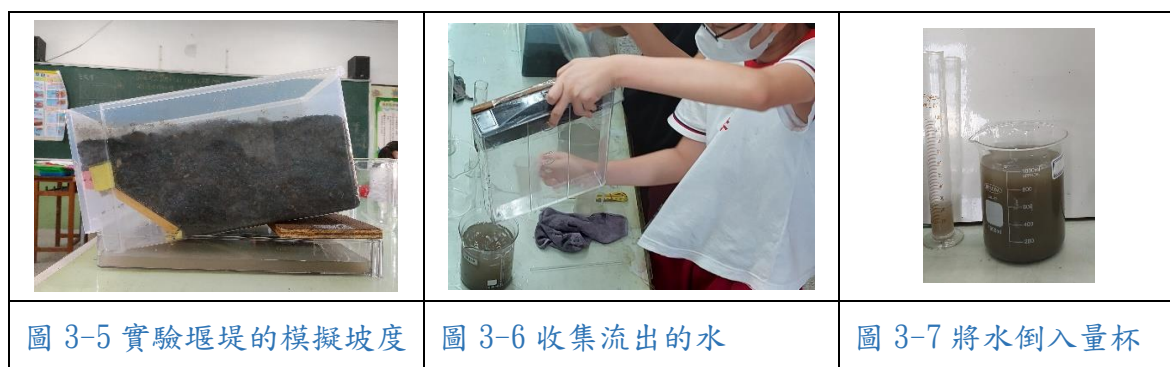
## (二)研究想法與試作

### 1. 研究想法

藉由二峰圳建造歷史相關介紹，了解二峰圳構造和其功能讓當地區民皆無用水匱乏的危機，而且水質乾淨清澈。在這個實驗設計中，我們想了解堰堤柱體間的縫隙大小，是否會影響伏流水的取用情形。我們從堰堤流出的水量、水質濁度及水中含沙的多寡，來了解堰堤模型對伏流水的影響。

### 2. 流出水量測量

我們將裝設堰堤模型的整理盒，傾斜放置於另一個抽屜整理盒上方，模擬了河道坡度，也讓堰堤流出的水，流至抽屜整理盒(圖 3-5)，我們再將流出的水倒至量杯測量水量(圖 3-6、圖 3-7)。



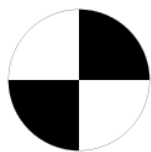



### 3. 水質濁度測量

我們想將收集到的水作混濁或清澈程度的差異性比較，於是上網搜尋有關水質濁度測量方式，發現可用濁度計來測量，但是器材的費用太昂貴，我們無法負擔。在網路上我們搜尋到可以用「沙奇盤」(圖 3-8)來量測，沙奇盤是一個有黑色和白色的圓盤，測量時將沙奇盤放在水面以下，一直增加深度，直到看不到沙奇盤，此深度(沙



奇深度) 是表示水體清澈程度的量測, 和濁度成反比。這個方法簡單快速, 而且不貴。

所以我們將沙奇盤列印後以護貝機護貝, 利用竹筷子穿入沙奇盤中心點, 並將皮尺黏在筷子上作為觀察水質濁度測量的工具(圖 3-9)。測量時, 將實驗滲出的水裝入 1 公升燒杯中, 觀測前先拿攪拌棒攪拌 10 秒鐘, 使水中物質均勻混合後, 一人將沙奇盤垂直放入水中直至看不見沙奇盤停止(圖 3-10), 另一人觀察水面所指的刻度並記錄(圖 3-11)。

			
<p>圖 3-8 沙奇盤</p>	<p>圖 3-9 量測工具</p>	<p>圖 3-10 觀測沙奇盤</p>	<p>圖 3-11 觀測刻度</p>

#### 4. 水中含沙量測量




將量杯內的水利用 PP#100 目的過濾網過濾(圖 3-12), 再使用電子秤測量過濾網上的泥沙重量(圖 3-13), 並將結果記錄起來(圖 3-14)。

		
<p>圖 3-12 PP#100 過濾網</p>	<p>圖 3-13 收集量杯內泥沙</p>	<p>圖 3-14 電子秤紀錄泥沙重</p>

## 二、研究步驟

### (一) 製作堰堤模型

1 枝冰棒棍的厚度大約接近 0.2cm, 依據堰堤模型比例計算, 堰堤木柱縫隙我們採用 2 枝冰棒棍黏貼約 0.4cm, 再製作另外 2 組堰堤模型為縫隙是 3 枝冰棒棍黏貼約 0.6cm、4 枝冰棒棍黏貼約 0.8cm。

模型條件 模型編號	堰堤木柱長度 (cm)	堰堤斜面角度 (°)	堰堤木柱間縫隙 (cm)	堰堤模型
堰堤模型三-1 (縫隙 0.4 公分)	12	45	0.4	
堰堤模型三-2 (縫隙 0.6 公分)	12	45	0.6	
堰堤模型三-3 (縫隙 0.8 公分)	12	45	0.8	

- (二) 將林邊溪上游砂礫平鋪壓實在整理盒中，每個整理盒內的砂礫高度相同。先倒入 2 公升水量，靜置 10 分鐘使砂礫完全浸溼，用來模擬河床底下的環境。
- (三) 從整理盒上端倒入 1 公升的水量，靜置 10 分鐘後，將收集到的水倒入量杯中，紀錄流出的水量。
- (四) 將流出的水裝入 1 公升燒杯中，攪拌 10 秒鐘使水均勻混和，以自製的沙奇盤工具，測量並記錄水質濁度。
- (五) 燒杯中的水利用 PP#100 目的過濾網過濾，測量並記錄濾網上泥沙重量。
- (六) 步驟三~步驟五共作 3 次，分別紀錄實驗結果。

### 三、研究結果

堰堤模型不同的縫隙大小，對伏流水的取用實驗結果紀錄整理成表 3-1。並繪製成長條圖 (圖 3-15、圖 3-16)

表 3-1 堰堤模型不同縫隙，流出水量、沙奇深度和水中沙量實驗紀錄表

加水 2000ml，使堰堤模型中的砂礫完全浸濕	第一次加水 1000ml			第二次加水 1000ml			第三次加水 1000ml		
	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)
堰堤模型三-1 (縫隙 0.4cm)	1023	0.9	1.92	995	1	1.58	1000	1.5	1.46
堰堤模型三-2 (縫隙 0.6cm)	995	1	1.4	950	1.5	1.22	1000	1.7	1.1
堰堤模型三-3 (縫隙 0.8cm)	1053	1.5	1.24	1014	1.8	1.11	1000	2	1.01

圖3-15 堰堤模型不同縫隙流出水量長條圖

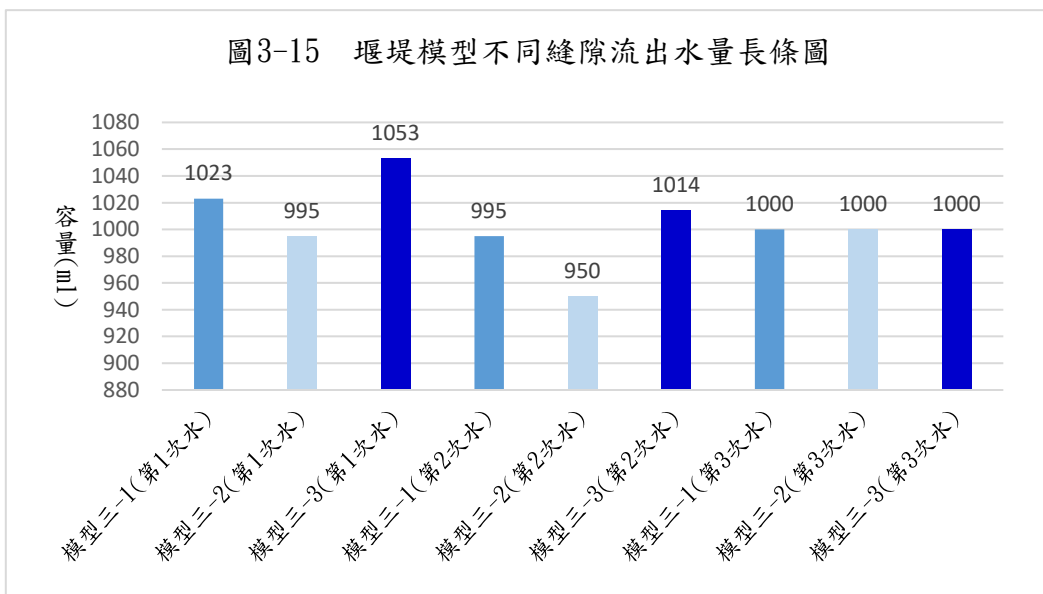
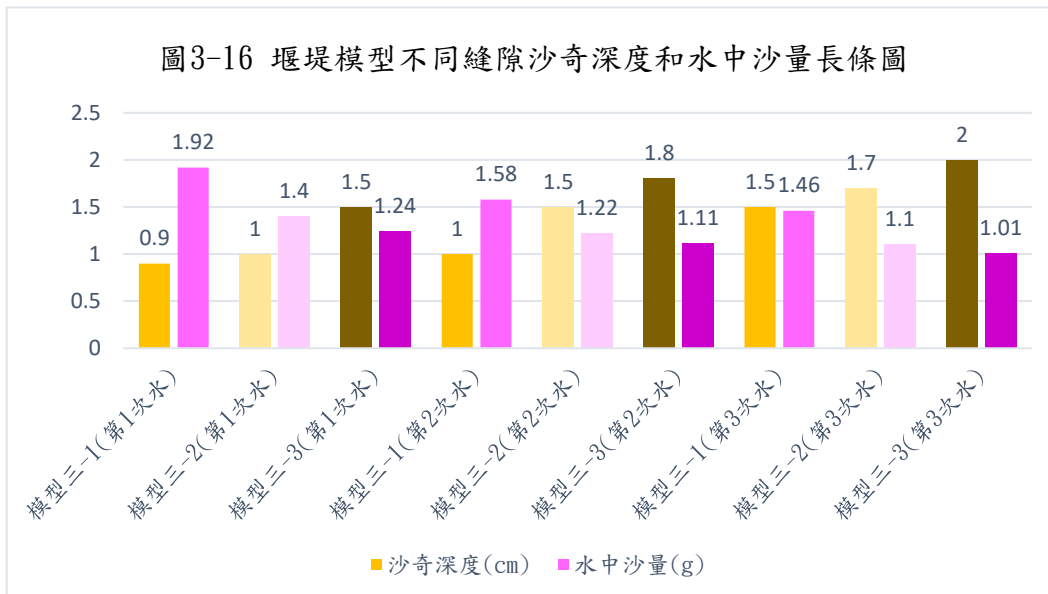


圖3-16 堰堤模型不同縫隙沙奇深度和水中沙量長條圖



#### 四、研究討論

- (一)在第一次和第二次加水 1000ml 後，堰堤流出的水量都是**模型三-3(縫隙 0.8cm)**，水量最多，且超出實驗所加入的水量 1000ml，那是因為前一次所倒入的水量並未完全留出，再次加水時受到水流流動因此流出，所以水量超過當次實驗所加入的水量。
- (二)第三次的實驗結果，不論是哪一種縫隙大小的堰堤模型，流出的水量相同。
- (三)三次實驗中，沙奇深度最深均是**模型三-3(縫隙 0.8cm)**所流出的水，縫隙越大的堰堤模型所流出的水質濁度越低。
- (四)在我們的實驗中，隨著**實驗次數增加**，三種不同縫隙大小堰堤模型所流出的水，**沙奇深度**均跟著**加深**，**水質濁度**越來越**低**。這樣的實驗結果，與我們至二峰圳踏查時，看見圳溝內的水流清澈見底，伏流水不停地透過堰體流出，水質是如此潔淨清澈。
- (五)從三次的實驗結果得知，水中含沙量均是**模型三-3(縫隙 0.8cm)**最低。隨著實驗次數增加，三種不同縫隙大小堰堤模型所流出的水，水中含沙量均是越來越少。
- (六)根據實驗結果，堰堤模型三-3(縫隙 0.8cm)，流出的水量最大，水質濁度最低，水中含沙量最少。

## 【研究問題四：調整二峰圳堰堤模型斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響？】

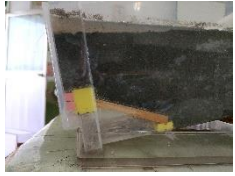

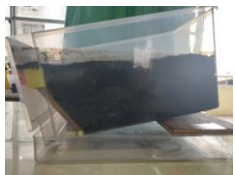
### 一、研究想法

二峰圳堰堤是以斜面角度  $45^\circ$  設計，我們想了解如果以其他角度製作堰堤模型，在流出水量、水質濁度及水中含沙重量方面，會有不同的結果嗎？於是我們將實驗堰堤模型的斜面角度變更為  $30^\circ$  和  $60^\circ$ ，但是當角度改變時，若堰堤木柱長度不變，堰堤的高度就必須改變，才能使角度不同。我們製作斜面長度與研究問題三相同的堰堤木柱，藉此了解堰堤斜面相同，但是角度不同時，對伏流水影響為何？

### 二、研究步驟

#### (一)製作堰堤模型

製作研究四堰堤模型時，我們決定固定堰堤木柱長度，所以改變堰堤的高度，使堰堤的斜面角度可調整為  $30^\circ$  及  $60^\circ$ 。堰堤木柱間的縫隙，則以二峰圳等比例縮小 20 倍的尺寸為主，即與堰堤模型三-1 的縫隙相同。

模型條件 模型編號	堰堤木柱長度 (cm)	堰堤斜面角度 ( $^\circ$ )	堰堤木柱間縫隙 (cm)	堰堤模型
堰堤模型四-1 (底角 $30^\circ$ ，斜長固定)	12	30	0.4	
堰堤模型三-1 (底角 $45^\circ$ ，斜長固定)	12	45	0.4	
堰堤模型四-2 (底角 $60^\circ$ ，斜長固定)	12	60	0.4	

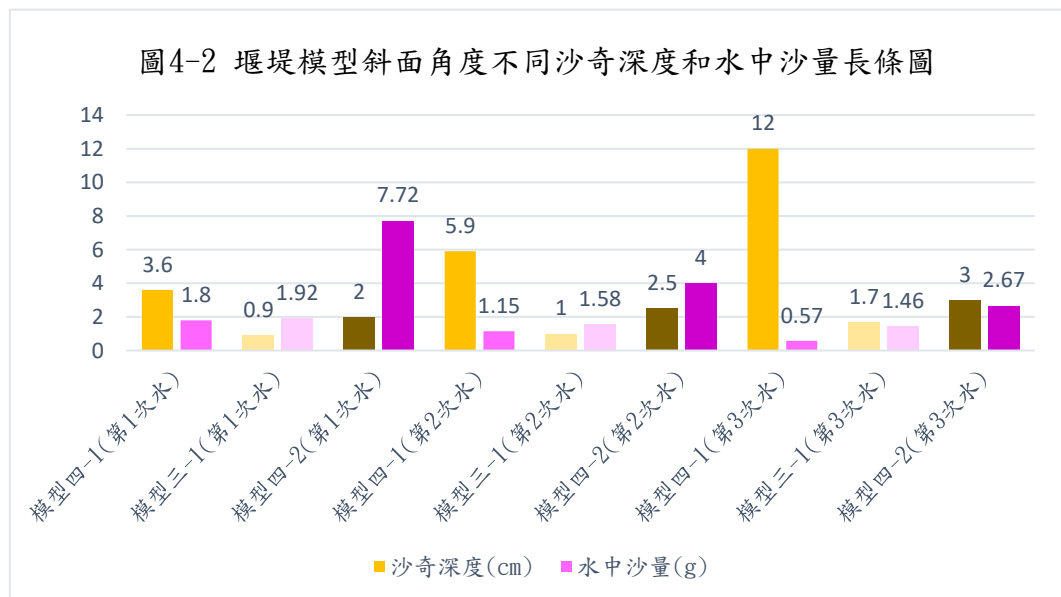
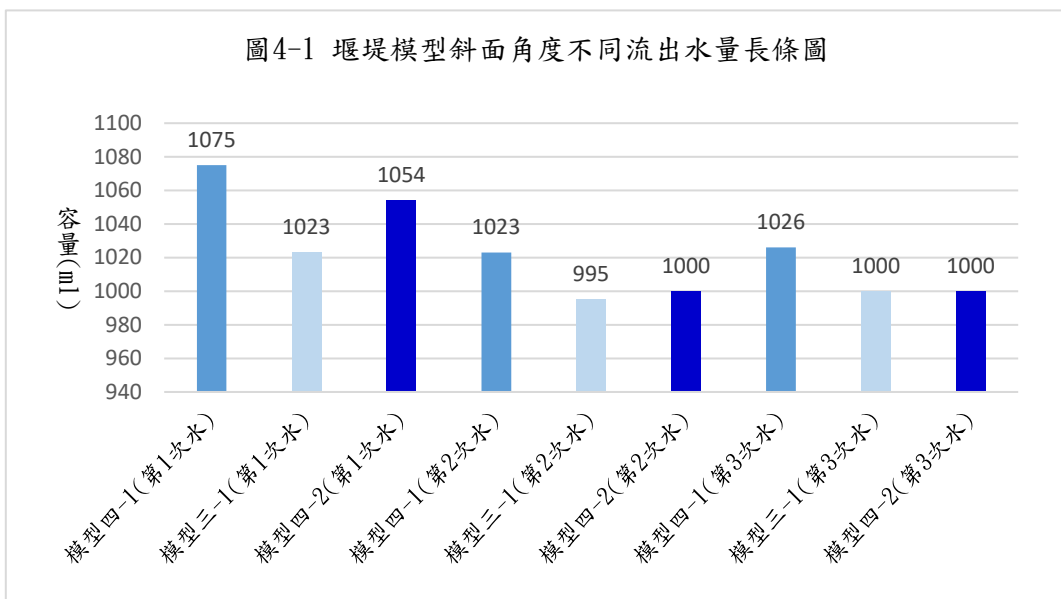
(二)接下來的研究步驟，與研究問題三步驟二~六相同。

### 三、研究結果

堰堤模型斜面角度大小不同，對伏流水的取用實驗結果紀錄整理成表 4-1。並繪製成長條圖(圖 4-1、圖 4-2)。為了方便與研究問題三的結果共同討論，也將研究問題三：堰堤模型三-1 的實驗結果一起加入。

表 4-1 堰堤模型斜面角度不同，流出水量、沙奇深度和水中沙量實驗紀錄表

加水 2000ml，使堰堤模型中的砂礫完全浸濕	第一次加水 1000ml			第二次加水 1000ml			第三次加水 1000ml		
	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)
堰堤模型四-1 (底角 30°，斜長固定)	1075	3.6	1.8	1023	5.9	1.15	1026	12	0.57
堰堤模型三-1 (底角 45°，斜長固定)	1023	0.9	1.92	995	1	1.58	1000	1.7	1.46
堰堤模型四-2 (底角 60°，斜長固定)	1054	2	7.72	1000	2.5	4	1000	3	2.67



#### 四、結果討論

- (一)在三次的實驗中，堰堤流出的水量均是堰堤**模型四-1(底角 30°，斜長固定)**最多。隨著實驗的次數增加，流出的水量幾乎與倒入的水量一致，由於實驗開始前已先用 2000ml 水量將砂礫完全浸溼，在砂礫含水量達飽和的狀態下，再倒入多少的水量應該就會流出多少的水量。
- (二)三次實驗中，沙奇深度最深均是堰堤**模型四-1(底角 30°，斜長固定)**所流出的水。隨著實驗次數增加，不論斜面角度大小，沙奇深度均是越來越深，流出水的水質濁度越來越低。
- (三)在水中含沙量的實驗結果中，重量最少的均是堰堤**模型四-1(底角 30°，斜長固定)**。隨著實驗次數的增加，不論斜面角度大小，含沙量均是越來越少。
- (四)從研究問題三與研究問題四的實驗結果發現：
1. 流出水量較多的堰堤模型，他的沙奇深度較深，水中含沙重量較少，這樣的結果與原本預想的結果不同。我們原本以為流出的水量多，水流速度會較快，那麼因水流而帶動的泥沙應該會較多，但實驗結果並不是如此。我們重新思考原因，水的流量較多表示水流通道受阻較少，因此較少泥沙跟著水流被流出。
  2. 隨著實驗次數增加，每一種堰堤模型所流出的水，水質濁度均逐漸降低，水中含沙量也越來越少。

**【研究問題五：固定二峰圳堰堤模型高度時，調整斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響？】**




**一、研究想法**

研究問題四的堰堤模型是在固定堰堤斜面長度條件下，透過調整堰堤高度來使斜面角度有所改變，如果斜面長度增加或減少，是否會影響流出水量、水質濁度和水中含沙重量的結果呢？因此我們固定堰堤高度，設定堰堤斜面角度為 30°及 60°，再計算堰堤木柱長度，藉此製作堰堤模型進行研究問題五的實驗。

**二、研究步驟**

**(一)製作堰堤模型**

堰堤模型高度我們設定為 9cm，與堰堤模型三-1 相同，當斜面角度 30°時，堰堤木柱長度則須 19cm；斜面角度 60°時，堰堤木柱長度則為 10.5cm。堰堤木柱間的縫隙及堰堤高度，以二峰圳等比例縮小 20 倍的尺寸為主，即與堰堤模型三-1 相同(縫隙 0.4cm，高度 9cm)。

模型條件 模型編號	堰堤木柱長度 (cm)	堰堤斜面角度 (°)	堰堤木柱間縫隙 (cm)	堰堤模型
堰堤模型 <b>五-1</b> (底角 30°，木柱 19cm)	19	30	0.4	
堰堤模型 <b>三-1</b> (底角 45°，木柱 12cm)	12	45	0.4	
堰堤模型 <b>五-2</b> (底角 60°，木柱 10.5cm)	10.5	60	0.4	

(二)接下來的研究步驟，與研究問題三步驟二~六相同。

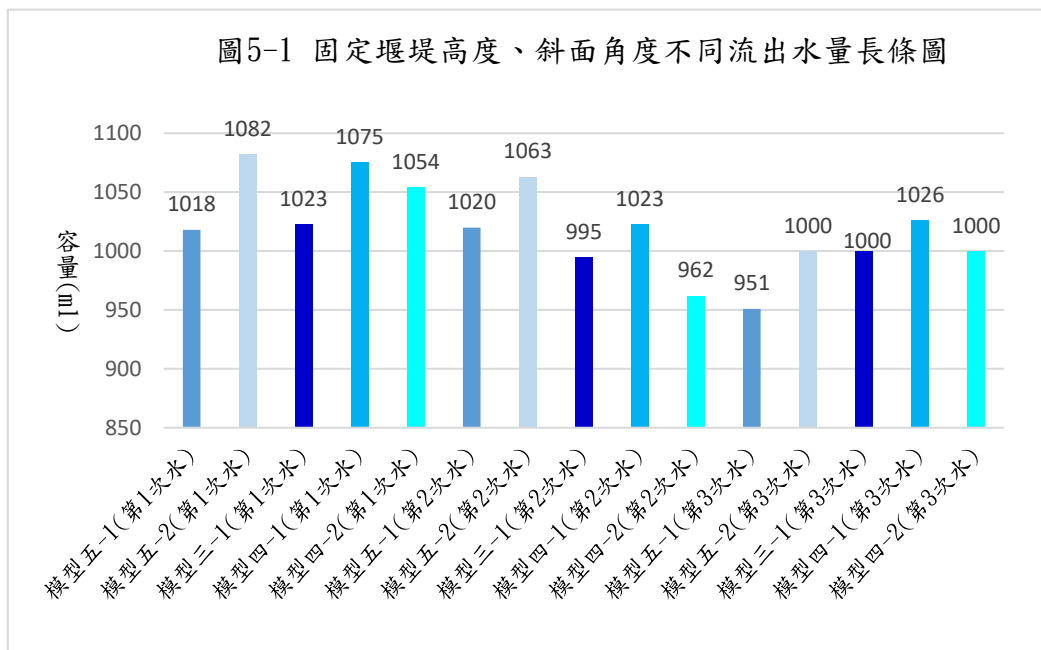


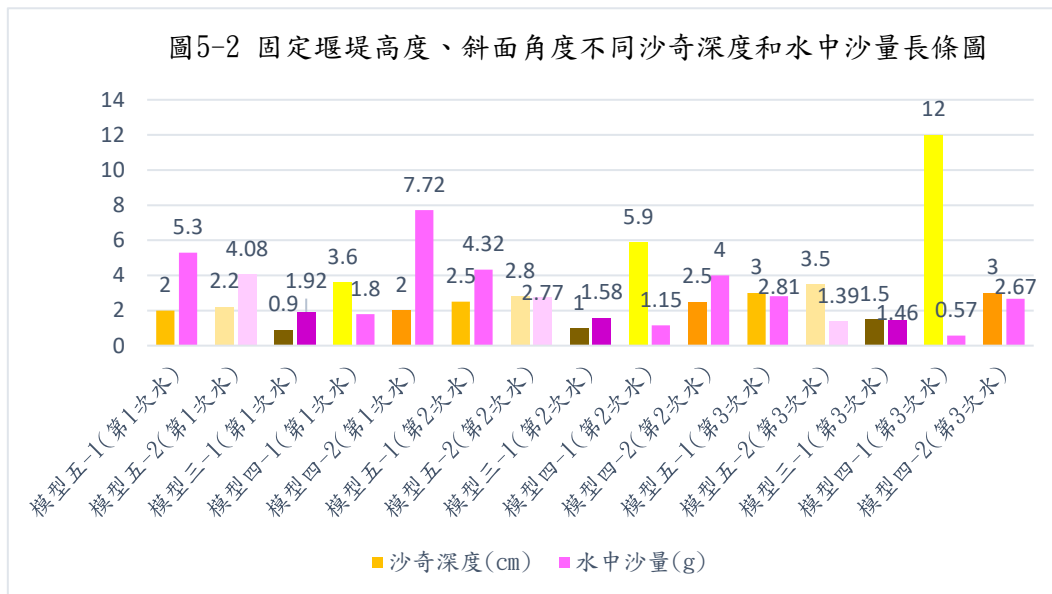
### 三、研究結果

將固定堰堤高度，斜面角度大小不同，對伏流水的取用實驗結果紀錄整理成表 5-1。並繪製成長條圖(圖 5-1、圖 5-2)。為了方便與研究問題三及研究問題四的結果共同討論，也將研究問題三：堰堤模型三-1 及研究問題四的實驗結果一起加入。

表 5-1 固定堰堤高度、斜面角度不同，流出水量、沙奇深度和水中沙量實驗紀錄表

加水 2000ml，使堰堤模型中的砂礫完全浸濕	第一次加水 1000ml			第二次加水 1000ml			第三次加水 1000ml		
	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)	流出水量 (ml)	沙奇深度 (cm)	水中沙量 (g)
堰堤模型五-1 (底角 30°，木柱 19cm)	1018	2	5.3	1020	2.5	4.32	951	3	2.81
堰堤模型五-2 (底角 60°，木柱 10.5cm)	1082	2.2	4.08	1063	2.8	2.77	1000	3.5	1.39
堰堤模型三-1 (縫隙 0.4 公分)	1023	0.9	1.92	995	1	1.58	1000	1.5	1.46
堰堤模型四-1 (底角 30°，長固定)	1075	3.6	1.8	1023	5.9	1.15	1026	12	0.57
堰堤模型四-2 (底角 60°，長固定)	1054	2	7.72	962	2.5	4	1000	3	2.67





#### 四、結果討論

- (一)在三次的實驗中，堰堤流出的水量均是堰堤**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**最多。這個實驗結果與我們原本預想不同，以為堰堤斜面增加，水能通過的範圍增加，水量也會因此而增加。但在實驗的過程中，我們觀察到堰堤的斜面雖然很長，但因為水會向下流動，大多數的水是從堰堤的下半部流出，所以堰堤模型五-1(底角 30°，木柱 19cm)流出的水量無法較多。
- (二)三次實驗中，沙奇深度最深均是**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**所流出的水。隨著實驗次數增加，不論斜面角度大小，沙奇深度均越來越深，流出水的水質濁度越來越低。
- (三)在水中含沙量的結果中，重量最少的均是**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**。隨著實驗次數的增加，不論斜面角度大小，含沙量均是越來越少。
- (四)從研究問題四與研究問題五的實驗結果發現：
1. 堰堤模型斜面角度 30°或 60°，斜面較短的模型，流出的水量較多，且水質濁度較低，水中含沙重量較低。
  2. 水質濁度及水中含沙重量，會隨著實驗的次數增加，而使數據越來越低。
- (五)綜合研究三、四和五的實驗結果，流出水量最多的是堰堤**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**，水質濁度最低和水中含沙量最少的是堰堤**模型四-1(底角 30°，長固定)**，堰堤**模型四-1**的流出水量是所有模型中第二名。在實驗過程中，隨著實驗次數增加，流出水量也幾乎是倒入多少水就流出多少水量，且水質濁度越來越低，水中含沙量也越來越少，但堰堤斜面角度不同，最後影響較大的是集水廊道大小，也許是因為如此，日本技師鳥居信平，才以 45°作為二峰圳堰堤的斜面角度。

## 陸、研究結論

### 一、二峰圳的建造歷史與近年來整修的原因

- (一)二峰圳的建造歷史從西元 1923 年完成至今年(西元 2022 年)已剛好滿一百年，其堰體深埋於地下，河床上沒有任何建築結構體，不會改變河道地形地貌，對河川生態的衝擊很小。
- (二)所謂「伏流水」：指河川及湖泊底部或側部砂礫層中所含的淺層地下水，而且經砂礫石的過濾，而大大降低混濁程度，變得非常清澈潔淨。
- (三) 2016 年因下游過度疏浚，加上豪雨不斷，使得堰堤嚴重毀損，大量土石填滿集水廊道及渠道導水路，經過屏東縣政府水利處在 2017 年 3 月至 6 月首次大規模整頓二峰圳完成修復工程。

### 二、二峰圳堰堤設計與功能，如何幫助當地環境

- (一)藉由實地踏查了解二峰圳共包括四大成分，包含取水工、引水工、分水工和灌溉渠道。其中「取水工」又由地下堰堤、拱型隧道、進水塔和半圓形集水岸渠等四部分組成。
- (二)利用二峰圳截取伏流水，經歷天然河床下的砂礫過濾，採圳溝輸送方式送到台糖萬隆機庫辦公室前的圓形分水工池，並把水分送各支線圳溝灌溉農田。這項水利工程運作已經近一百年了，出水量至今仍然非常的大，對當地居民日常所需的各種用水，效益很大。

### 三、二峰圳堰堤模型縫隙大小，對伏流水的取用有何影響

- (一)三次的實驗中，堰堤**模型三-3(縫隙 0.8cm)**流出的水量最多、沙奇深度最深和在水中含沙量的重量最低。
- (二)隨著實驗次數增加，三種不同縫隙大小堰堤模型所流出的水，沙奇深度跟著加深，水質濁度越來越低。這樣的實驗結果，與我們至二峰圳踏查時，看見圳溝內的水流清澈見底，伏流水不停地透過堰體流出，水質是如此清澈。

#### 四、二峰圳堰堤模型斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響

- (一)三次的實驗中，堰堤**模型四-1(底角 30°，斜長固定)**流出的水量最多、沙奇深度最深和在水中含沙量的重量最少。
- (二)我們原本以為流出的水量多，水流速度會較快，那麼因水流而帶動的泥沙應該會較多，但實驗結果並不是如此。我們重新思考原因，水的流量較多表示水流通道受阻較少，因此較少泥沙跟著水流流出。
- (三)隨著實驗次數增加，每一種堰堤模型所流出的水，水質濁度逐漸降低，水中含沙量也越來越少。

#### 五、固定二峰圳堰堤模型高度時，斜面角度大小，對伏流水的取用有何影響

- (一)三次的實驗中，堰堤**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**流出的水量最多、沙奇深度最深和在水中含沙量的重量最少。
- (二)從研究問題四與研究問題五的實驗結果發現：堰堤模型斜面角度 30°或 60°，斜面較短的模型，流出的水量較多，且水質濁度較低，水中含沙重量較低。
- (三)綜合研究三、四和五的實驗結果，流出水量最多的是堰堤**模型五-2(底角 60°，木柱 10.5cm)**，水質濁度最低和水中含沙量最少的是堰堤**模型四-1(底角 30°，長固定)**，堰堤**模型四-1**的流出水量是所有模型中第二名。
- (四)隨著實驗次數增加，流出水量也幾乎是倒入多少水就流出多少水量，且水質濁度越來越低，水中含沙量也越來越少，正如同日本技師鳥居信平收集伏流水的乾淨水源，但堰堤斜面角度不同，最後影響較大的是集水廊道大小，也許是因為如此，才以 45°作為二峰圳堰堤的斜面角度。

## 柒、參考文獻

丁澈士、王國祥(2008)。林邊溪上游二峰圳集水廊道工程技術與應用之研究。

丁澈士(2012)。山中傳奇與水的牽絆—二峰圳。科學發展，476。

江崇榮、黃智昭、賴典章(1998)。以集水廊道開發水資源之可行性研究。經濟部中央地質調查所年報，68-69。

自然與生活科技第11冊第3單元。南一出版社。

李暄立、唐柏恆、陳彥濤(2017)。「二」水奔匯·百年「峰」流—林邊溪伏流水資源開發之時空要件與地景流變。取自：<https://easytolearn.tw/GISMAP/Download/2018/4.pdf>

李慧宜(2017)。水的秘密基地-二峰圳重見天日全紀錄。取自：

<https://ourisland.pts.org.tw/content/2627>

李根政(2021)。百年大旱的省思：以伏流水取代興建大水庫。取自：

<https://www.twreporter.org/a/opinion-to-solve-taiwan-drought-crisis-underflow-water>

社會第7冊補充教材。翰林出版社。

濁度(2022年1月10日)。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/濁度>。

從林邊溪地下伏流看二峰圳的神奇。中華民國第51屆中小學科學展覽會。國小組-地球科學科。

異言堂(2021)。「台灣救命水」伏流水！一窺屏東「二峰圳」取水奧秘。取自：

<https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2021503W0256>