

屏東縣第63屆國中小學科學展覽會 作品說明書

組 別: 國中組

科 別: 地球科學科

作品名稱: 謝謝您~二峰圳

關 鍵 詞: 鳥居信平、二峰圳、伏流水 (最多三個)

編號: B5006

摘要

近年來氣候變遷越趨顯著，不是缺少降雨就是颱風或短期強降雨事件易造成土石崩落及泥沙沖蝕，使河川原水濁度飆高，當超出淨水場處理能力時就會影響正常供水，故提昇區域供水系統之備援能力有其必要性。然而存在於河床下透水層之伏流水，因經過砂礫層過濾可取得較潔淨之原水，可作為因應水濁問題之有效對策。日據時代台灣製糖株式會社工程師鳥居信平策劃興建二峰圳地下集水廊道工程，是一項以生態工法完成之水利工程結構物，運用地勢高低落差，不靠電力來導水，維修費少，造福當地百姓至今達百年。本研究旨在探討該地區之水文資料、地理環境及特殊工程技術，彰顯此偉大建設對於我們的助益，作為未來保存維護、永續利用及推廣價值之工法參考。

目錄

壹、前言	P. 1
貳、研究設備及器材	P. 4
參、研究過程、方法及結果與分析	P. 5
肆、討論	P.21
伍、結論	P.23
研究限制與未來展望	P.24
陸、參考資料及其他	P.25

壹、前言

一、研究動機

西元2021年台灣西部地區發生大規模乾旱事件，這也是台灣56年來遇到最嚴重的乾旱，又被稱作「百年大旱」，當時為了救急，水利署緊急在30天內開鑿88口備援水井，帶來緊急挹注，只是抽取地下水畢竟不是上上之策，這幾年台灣面對半世紀以來最大的旱象，許多縣市已實施分區民生限水或降壓。台灣往往過度仰賴水庫供水，但全球暖化及極端氣候帶來的瞬間暴雨，不僅導致旱澇不均的現象更明顯，也是水庫蓄水力下降的關鍵之一。而屏東更成為全台唯一不缺水的地區，為何我們的故鄉可以做到不缺水的狀態?引起我們這組的高度關注及研究興趣。今年暑假屏東縣政府舉行一連串的二峰圳活動，才讓我們更貼近這個擁有百年歷史的偉大水利設施，我們頓時明白為何去年及今年沒有缺水疑慮，讚嘆當年先人的珍貴智慧遺產、難能可貴得以保存。

二、研究目的

- (一)二峰圳伏流水水利工程之古往今來概述
- (二)二峰圳及地層模型製作與確實了解河流水、伏流水的關係
- (三)二峰圳區域環境概況分析與林邊溪全流域降雨量與流量之關係探討

三、文獻回顧

(一)伏流水的介紹

伏流水為流動或儲存於河道下方砂礫石層中的水源。也有學者指出伏流水為河川及沼澤之底部或側部之沙礫層中所含之地下水。與一般地下水不同的是，伏流水具有流動的特性，一般於傍河流底部及河岸兩側之處會有豐富的伏流水。根據「**經濟部水利署**」指出對於伏流水的解釋：「養育我們的大地底下，並非只有土壤，它像是一塊海綿蛋糕，有不同層次。其中有粗顆粒土壤組成的含水層，在土壤顆粒之間飽含水份。也有細顆粒黏土組成的阻水層，隔絕著上下兩個含水層。所謂伏流水：為流動或儲存於河道下方砂礫石層中的水源。也有學者出伏流水為河川及沼澤之底部或側部之沙礫層中所含之地下水。」(如圖1)。

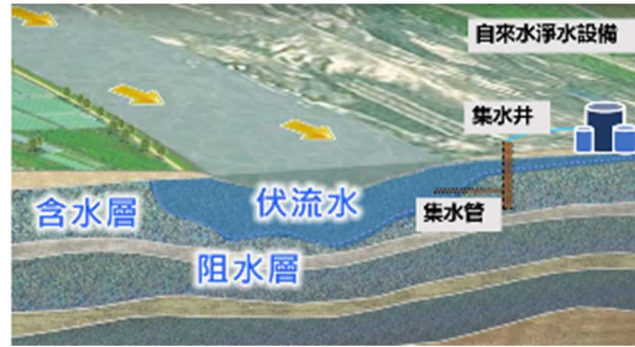


圖1: 河川伏流水3D模型（引自經濟部水利署南區水資源局高屏溪伏流水3D模型說明）

(二)根據水利署歸納河川伏流水之優點:

包括：1.構築方式對環境生態衝擊較小；2.水質透過自然地層介質過濾較為潔淨；3.豐枯水期皆能取得水源量；4.施工期間短；5.具永續性等。若對照水庫而言，綜合各專家與文獻資料可知，河川伏流水與傳統水庫的水資源取得方式具有互補的特性，可補充水庫之不足。例如，伏流水的開發與水庫興建相較之下，伏流水工程具有選址較易的優點；以工程規模而言相對簡單，工期較短，經費較少且無水庫潰壩的風險；在水質方面，由於伏流水經過粗細粒徑不一的石粒，因此具有逆滲透般的淨水功能，在暴雨後河水濁度大增時可發揮提供緊急備援用水的功能。此外，水庫的致命傷在於淤積，伏流水則無此疑慮。在生態環境的維護方面，大型水庫具有截斷幹流，破壞既有生態的負面性，因此也容易衍生各種爭議，伏流水在這方面爭議則相對較低；在可取水期間方面，由於伏流水的水位深且流速慢，因此可取水期較長，對於台灣的降雨特性而言具有補強的效果，如表1.河川伏流水與傳統水庫比較。

表1.河川伏流水與傳統水庫比較		
項目	伏流水	傳統水庫
取水規模	較小	較大
選址	簡單	困難
工程規模	較小	較大
淨水	直接	淨水廠
淤積	無	有
潰壩風險	無	有

(三)地質模型：




為地理學中的一種重要工具，它可以幫助我們理解地質結構，提供豐富的地質信息，提高礦產勘查和開發的效率，改善地質解釋。建立地質模型的過程非常複雜，需要有關專業

人員綜合運用地質學知識，結合地質調查和測量結果，綜合分析和綜合估算，把地質結構及其特徵可視化，才能建立一個準確實用的地質模型。

(四)建立地質模型的步驟如下：

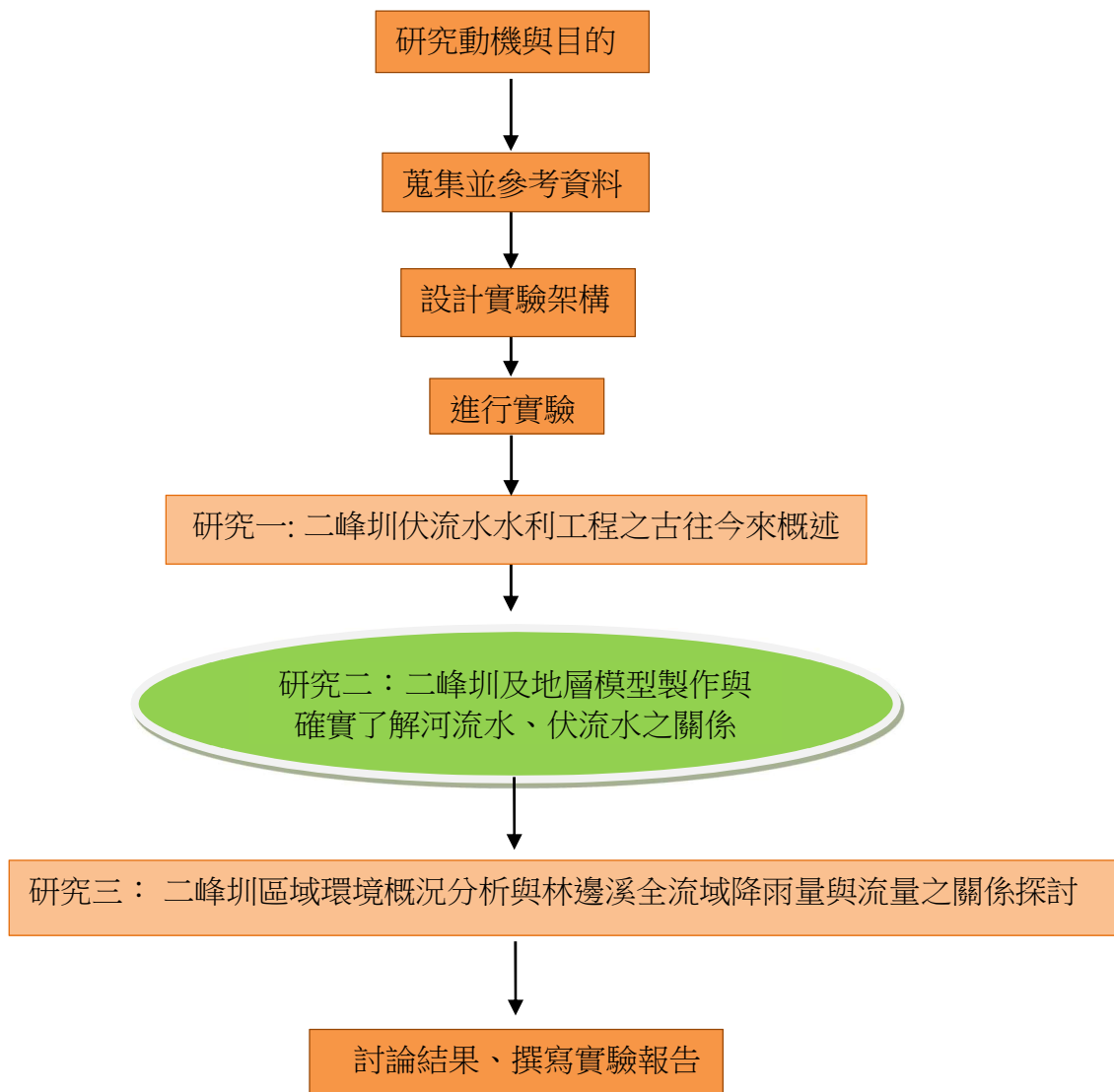
- 1.地質調查和測量：通過對地質現象的調查和測量，確定研究區域內地質結構的基本特徵，及其與空間分佈的關係，以便建立模型。
- 2.資料整理和分析：整理各種地質資料，分析地質結構的特徵，分析地質構造的類型及其發展過程，歸納總結地質模式。
- 3.模型設計：根據地質調查和測量的結果，地質資料的分析結果，地質構造的類型及其發展過程，把地質結構及其特徵可視化，用計算機軟件繪製出地質模型圖。
- 4.模型實施：在有關軟件環境下，利用經過調整和校核的模型，根據實際情況進行模擬和分析，利用模型結果作出相應的結論和決策。
- 5.模型評價：模型評價是指採用統計學方法，對建立的模型進行檢驗，以評價模型的準確性和有效性。

貳、研究設備及器材

<p>電鑽機</p> 	<p>透明壓克力</p> 	<p>地下梯形堰堤</p> 	<p>熱熔膠</p> 
<p>礫石</p> 	<p>頁岩</p> 	<p>燒杯、水槽、導管</p> 	<p>碼表</p> 
<p>灑花設備</p> 	<p>噴頭</p> 		

參、研究過程、方法及結果與分析

一、實驗流程圖



二、實驗方法與步驟

(一)研究一：二峰圳伏流水水利工程之古往今來概述

日治時期，位於屏東林邊溪出山口的台糖萬隆農場，每遇洪水期即氾濫成災，枯水期則水源枯竭，為此，大正10~12年（1921~1923），當時在屏東的台灣製糖株式會社任職的日籍工程師鳥居信平（1883年1月6日~1946年2月11日）經過四、五年的調查，為汲水灌溉萬隆農場甘蔗田，從林邊溪上游（現今來義大橋上游約100公尺處）興建地下堤堰取水工程或稱集水廊道，並在來社溪和瓦魯斯溪合流處的河床下引水，建造長

達3436公尺長的地下堰堤大圳，並以當時株式會社社長山本慎二郎的雅號「山本二峰」命名為二峰圳(如圖2)，是日治時期最早在河床攔取地下水灌溉的水利工程。



圖2.二峰圳地理位置空拍圖(引自:<https://www.cet-taiwan.org/node/4007>)

這項工程從1921年11月開始至1923年5月完工，其取水結構分為梯形堰體、半圓形集水暗渠、拱形隧道、進水塔(或稱修復人孔)等四部分，橫亙、深埋於河床下2.7~9.1公尺，當時，由於工程技術等原因受限，堰體未能深埋到鳥居信平理想中的25公尺以下。然而，利用此一地下堰體，收集地下伏流水，仍有極高的效能，剛完成的十幾年間，旱季出水量約7萬噸，雨季達25萬噸，從1923完工至2015年止，每年供水約為3,000萬噸。雖然當年鳥居信平建造二峰圳，是為了日本殖民政府開拓糖業灌溉之用，然而此後，也成為來義鄉古樓部落居民的生活用水，以及沿線的農業用水。二峰圳主體橫亙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。

1.取水工~堰體結構又由地下堰堤、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(圖3)：埋在林邊溪河床下，堤高2.87公尺，頂寬0.91公尺，底寬3.94公尺。進水面以混凝土斜柱排列成25%開縫的滲水面，為三塊水泥組合之三角形(底中空 1.82 公尺×1.82 公尺直角三角形渠道)。在滲水面外層鋪設一層由當地的枯枝樹葉編織成的埤工當過濾層。堤頂開設直徑0.42公尺的進水孔多處，總長328公尺(河床寬約180公尺)，由左岸至右岸(由東向西)以1/100坡度配置，底部埋設在河床下2.7公尺至9.1公尺不等。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，並在柵欄上鋪設黃莉(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。

(2)拱型隧道(圖4)：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。



圖3.地下梯形堰堤



圖4. 拱型隧道

(3)方形進水塔(圖5)：於林邊溪右岸，塔內寬約1.8公尺，深度約10公尺，為堰堤之終點，伏流水由這進入導水系統。

(4)半圓形集水廊道（1927年增建）(圖6)：寬 1.9m、長 455m，縱坡1/100 的半圓形進水暗渠，應是梯形堰工程完工不久後發現出水量不足，再補設的集水構造物，以攔截取用經層層過濾的伏流水。



圖5.方形進水塔



圖6. 圓形集水廊道

(5)伏流水進入地下梯形堰堤示意圖(圖7)：地下集水堰堤在河床底下約9公尺深的地方，一般人不易理解其構造。因此在屏東的林後四林平地森林園區設計了實體模型，讓原先在河床底下的地下堰堤浮出地面。梯形形狀與地下伏流水接觸的那一面，由一根根傾斜的混凝土柱排列而成，混凝土柱間的空隙是滲水面，在混凝土柱的外層鋪上黃荊的枝條，用意在於避免小石子進入堤體造成阻塞。伏流水從混凝土柱的空隙進入裡頭的三角形空間，便是集水廊道，順著坡度1%的渠道往下游走。

2. 引水工：林邊溪地下堰堤及導水路(如圖8、9)，引水工程包括引水隧道528公尺、壓力暗渠450公尺、砌石明渠2,582公尺，合計開鑿自堰體到萬隆農場分水工引水管線總長3,436公尺的人工渠道，讓下游兩千甲的臺糖農場得以享有灌溉用水，為水利設施的文化景觀。



圖7.伏流水進入地下梯形堰堤示意圖(源自屏東縣政府及屏東林管處)



圖8. 林邊溪地下堰堤及導水路示意圖(源自屏東縣政府)



圖9. 林邊溪地下堰堤及導水路示意圖(源自屏東縣政府)

- 分水工：位於屏東縣來義鄉的台糖萬隆機庫旁，有一座圓形水池和水閘，這就是二峰圳的分水工(如圖10)。二峰圳是日治時期最早在河床攔取地下水灌溉的水利工程。大正10~12年（1921~1923），當時在屏東的台灣製糖株式會社任職的日籍工程師鳥居信平，為汲水灌溉萬隆農場甘蔗田，從林邊溪上游來社溪和瓦魯斯溪合流處的河床下引水，建造長達3436公尺長的地下堰堤大圳，並以當時株式會社社長山本慎二郎的雅號「山本二峰」命名為二峰圳。鳥居信平還與當時排灣族來義社多名頭目接觸，獲答應出動部落族人，以建造水圳。二峰圳興建完成之後，所經之處的丹林村和古樓村居民也因此受惠，居民沿著水道兩旁興建住屋，並從二峰圳接水作為民生用水。二峰圳以地下水庫的方式收集河床下之伏流泉，完工以來取水未曾中斷，2017年曾出現停水的狀況，屏東縣府立即提撥1800萬元來修復此珍貴水利文化資產，在2017年汛期前完成修復。二峰圳至今每年仍提供3000萬噸地下水灌溉2500公頃農地，平均每天出水量8萬多噸。

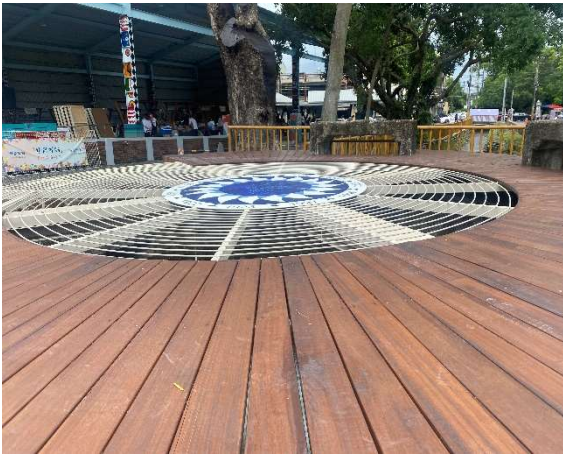


圖10. 二峰圳之分水工

4.灌溉渠道：二峰圳第一段明渠，從古義路九號一直到村裡的消防隊，經過砂土過濾濁水，無動力導水，圖12為側向溢流堰堤，至今百年不但可以使用，水質更是清澈豐沛。二道明渠，透過打開水閘門(圖13)，讓水流至下游，可讓飲用水、清洗衣物水源不互相汙染，並且還有乾淨的水源流至下游。



圖11.水量穩定充沛的二峰圳明渠



圖12: 二峰圳導水路側向溢流堰



圖13.打開水閘門，讓水流至下游為當地乾淨清澈水資源

(二)研究二：二峰圳及地層模型製作與確實了解河流水、伏流水之關係

1.製作地層模型，確實了解河流水、伏流水的關係：

(1)設計模型：

- ①參考經濟部中央地質所、水利署、屏東縣政府等相關於二峰圳地質架構資料(圖14)，設計模型。
- ②為了方便觀察及測量，商討所需使用的材料和工具。
- ③我們考量模型需要承受頁岩、礫石、砂石等的重量，且要能夠防水，所以想到用壓克力來製作模型。模型長100公分、寬30公分、上游高30公分，下游高15公分。二峰圳模型完成並依序鋪上頁岩、礫岩、砂層(圖15)。

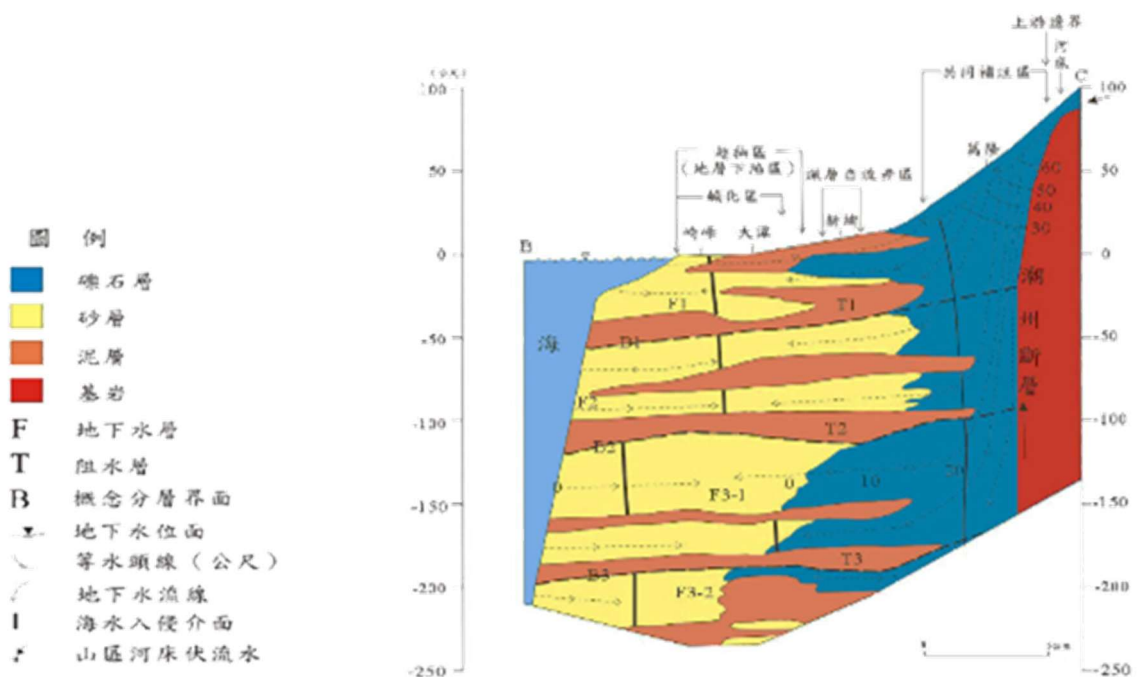


圖14. 二峰圳地質架構



圖15. 二峰圳模型

2. 林邊溪剖面圖及製作二峰圳梯形堰堤模型：如圖16所示。

- (1)製作壓克力梯形堰堤模型主要架構。
- (2)梯形堰堤提高6公分，頂寬2公分，底寬8公分，等比例縮小50倍。
- (3)在滲水面外層鋪設一層由枯枝當過濾層。由左岸至右岸（由東向西）以1/100坡度配置，迎向河床下地下伏流水的斜面為滲水面，由間距2公分的柵欄構成，伏流水會從2公分的空隙滲入。

坡度算法：以坡面兩點之垂直高差除以其水平距離再乘上百分率，表示為百分比坡度。

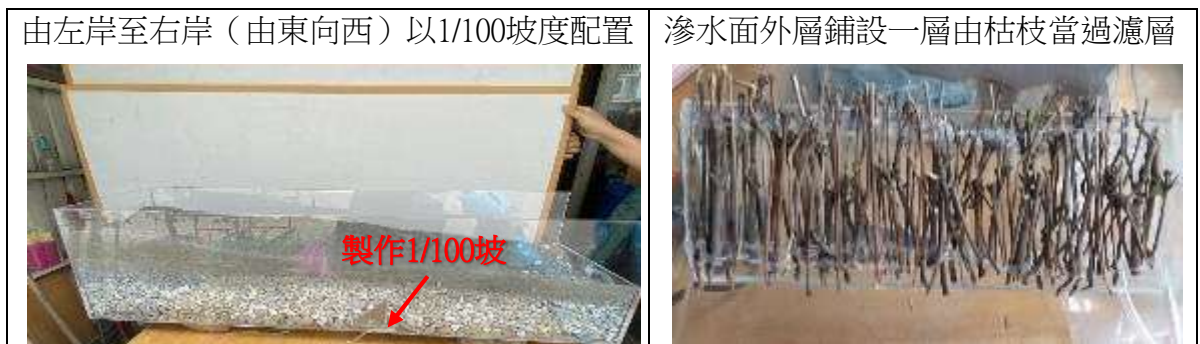
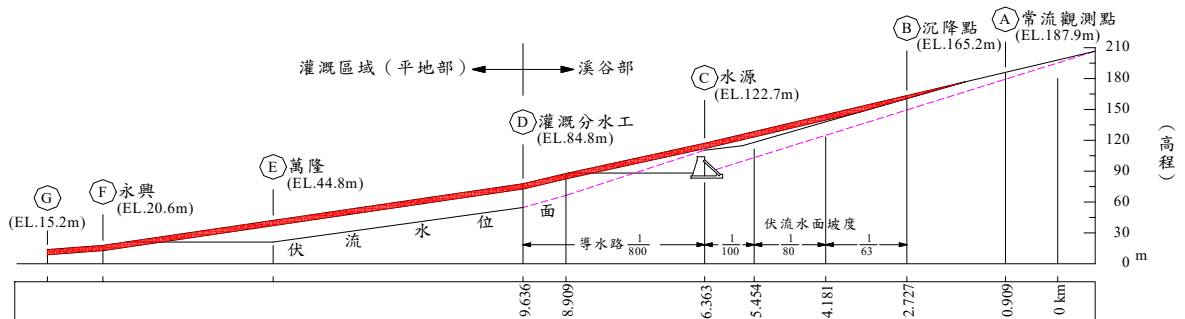


圖16.林邊溪剖面圖及二峰圳梯形堰堤模型

3. 模擬河流流量及伏流水水量記錄結果：如圖17所示。

觀察地下水位變化情形:伏流水的開發與第一含水層水位息息相關，為比較豐枯水期之水位線變化，使用模型測量伏流水水量和河流水水量的相關實驗數據。

(1)首先測量水龍頭的流量，分別記錄流量5分鐘、10分鐘、15分鐘，各取三次(三重複)平均並記錄。我們要確保模型內的岩層都含有水量，所以我們將水持續注入模型內，讓模型內的頁岩、礫石、砂石都含有水分，重複做3次，並確定模型內多餘的水皆排出。

模擬枯水期、豐水期時的伏流水、河流水

枯水期：將水龍頭打開5、10、15分鐘，持續測量伏流水及河流水流量，並作分析比較。

豐水期：將下游河流水出口用塞子塞住，將水龍頭打開持續注水，將模型內的水平面達到河流水出口一樣高時，開始分別計時5、10、15分鐘並將塞子拔掉，持續測量伏流水及河流水流量，並進行分析比較。

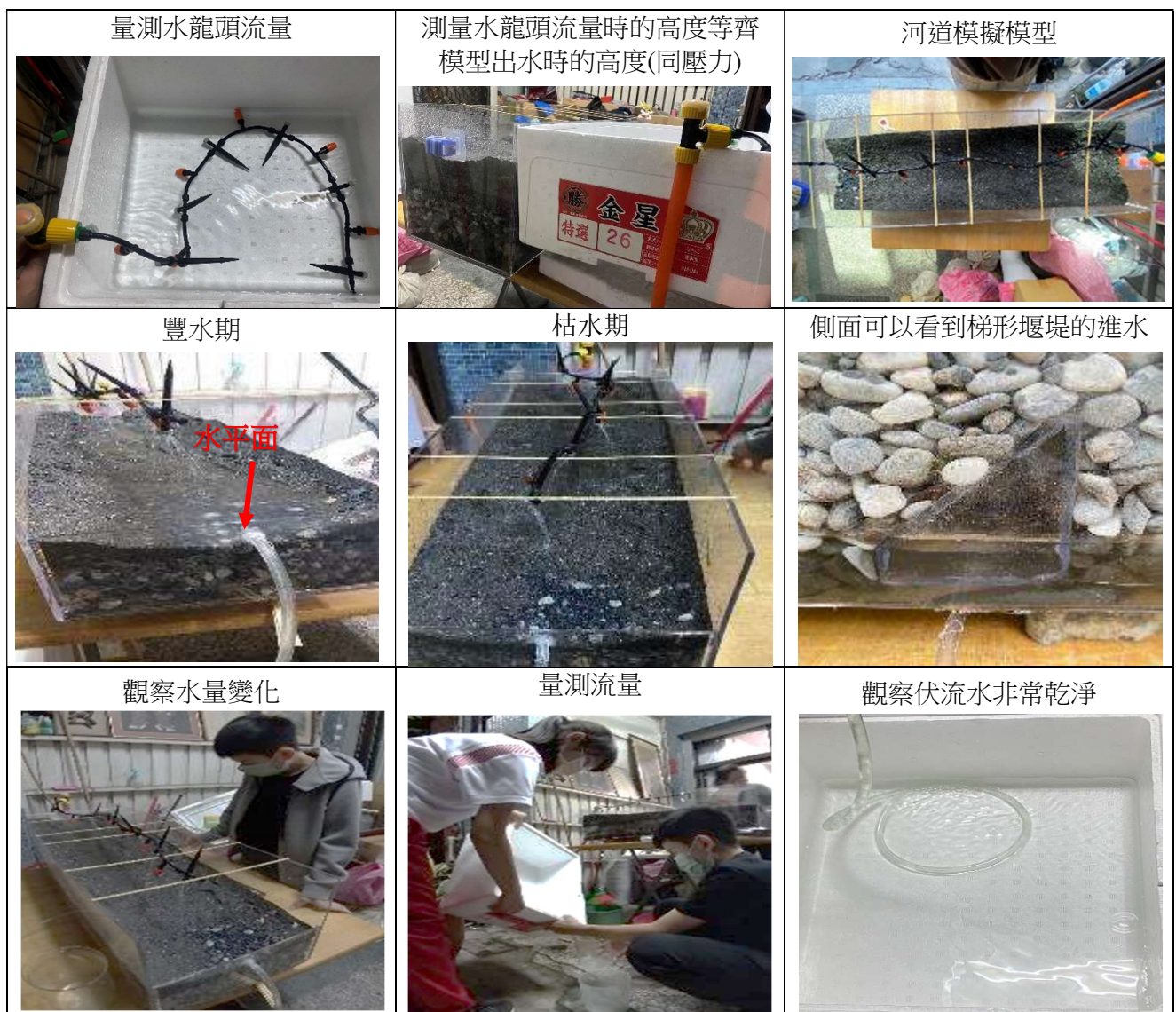


圖17. 使用模型測量 伏流水和河流水

表2：測量水龍頭出水量

流量各取三次平均				
水龍頭	流量Q1(ml)	流量Q2(ml)	流量Q3(ml)	平均流量Q(ml)
量測5分鐘	9020	9020	9020	9020
量測10分鐘	18040	18040	18040	18040
量測15分鐘	27060	27060	27060	27060
由以上流量得知，此處水壓穩定，出水量也相同				

表3：模擬河流流水量及伏流水水量記錄

項目	水龍頭流量(ml)	伏流水流量(ml)	河流水流量(ml)
枯水期量測時間 5分鐘	9020	2550	0
枯水期量測時間10分鐘	18040	5845	0
枯水期量測時間15分鐘	27060	9250	4060
豐水期量測時間 5分鐘	9020	3410	5300
豐水期量測時間10分鐘	18040	6890	10610
豐水期量測時間15分鐘	27060	10370	16980

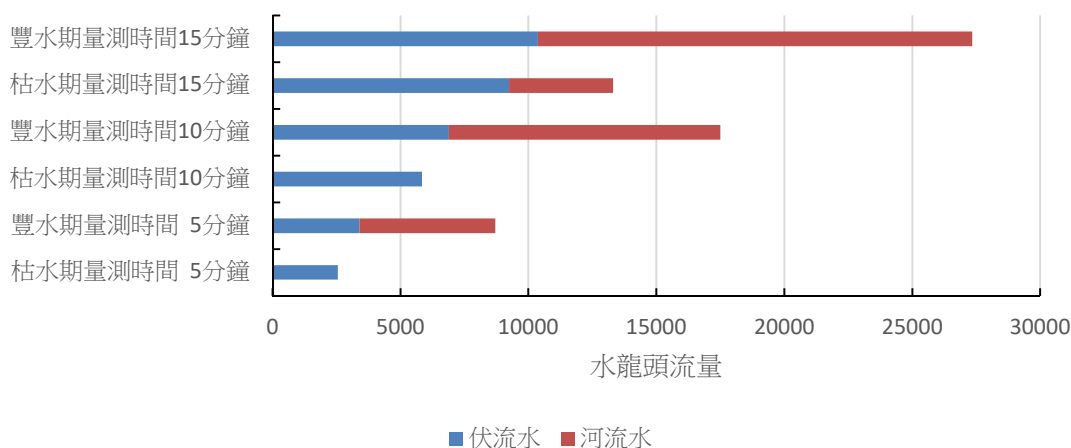


圖18.模擬河流河流水及伏流水水量比較

結果分析	
1.	由表2得知:此處水龍頭壓力固定、出水量也相同。
2.	由表3、圖18得知:藉由自製模型在模擬河流流水量及伏流水水量實際情形，與事實相符。在枯水期時，在地底下還是有豐沛的伏流水，但河流流道上看不到有河流水。而在 豐水期時 ，伏流水相較於河流水略少。

(四)研究三：二峰圳區域環境概況分析與林邊溪全流域降雨量與流量之關係探討

1.氣象資料

氣象資料的蒐集，在水資源與水利工程規劃上佔有相當重要的角色，本研究以林邊溪流流域氣象測站資料加以初步分析，如表4及圖19。再將1942年到2022年來義站逐年季雨量比較圖(圖20)。

表4:來義雨量站雨量一覽表(中央氣象局-來義站:1942年至2022年)

單位:毫米(mm)

月 年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年雨量
1942	3.9	0.3	3.3	45.7	31.4	329.2	666	417.1	548.8	158.7	68.8	20.2	2,293
1943	5.4	14.1	20.3	20	63.2	1,107.4	771.1	614.9	217.9	60.5	17.3	6.1	2,918
1944	4.8	9.2	108.4	43.7	252.1	563	222.3	560.9	412.1	158.3	17.8	18.3	2,371
1945	6.9	65.6	10.4	42.4	268.1	474.5	815.4	948.5	501.5	166.6	19	0	3,319
1946	6.7	8.6	18.9	2.5	220	617.9	647.8	386	467.5	141.7	9.6	8.4	2,536
1947	26.5	1.6	96.8	51.7	278.3	1,537	567.3	546.2	241.9	291.3	203.8	200.1	4,043
1948	0	0.3	2.5	214	54.5	421.2	616.6	479.3	799.6	36.3	50.5	5	2,680
1949	23.9	60.7	5	2.5	40.6	662.4	898	705.1	332.7	300.2	8.1	8.8	3,048
1950	6.7	8.6	18.2	157	252.1	283.8	1,049.9	789.8	364.2	238.3	49.4	7.3	3,225
1951	0.5	2.8	4.8	184.5	315.3	587	553.9	524.8	170.4	46.9	1.8	33.1	2,426
1952	0.9	1.5	32.9	90.4	95.9	236.9	1,619.3	293.6	303.2	2.3	338.4	62	3,077
1953	4.4	14.3	55.7	20.9	365.9	238.4	625.8	434.2	385.8	221	149.3	20.1	2,536
1954	31.2	9.3	51.7	81.6	5.5	432.5	179.8	506.1	286.4	151.4	304.9	7.1	2,048
1955	38	0	12.7	162.9	95	416.2	504.9	1,435.7	384.9	80.1	1.3	18.5	3,150
1956	77.1	31.2	27	48.5	138.2	318.4	210.7	541.2	911.7	341.1	1.5	20.3	2,667
1957	25.9	58.5	5.7	6.9	393	1,269.2	58.5	322.5	600.5	8.9	0	7	2,757
1958	15	9.3	30.2	0	187.7	169.5	964.7	381.5	419.6	305.9	0	10.6	2,494
1959	99.7	15.7	9.8	287	147.1	291.5	520.2	1,101	390.3	13.3	57	0	2,933
1960	0	0	63	7.5	67.3	244	251	1,117	181	126.5	0	2	2,059
1961	5.1	8.4	58.5	46.5	200.9	224.4	498.6	1,315.2	397.9	29.1	15.5	0	2,800
1962	5.5	0	3	20.8	0	218.6	906.1	36.6	239.1	164.7	9.5	0	1,604
1963	0	7.3	19.7	1.5	10.7	342.3	446.7	176.9	567.9	148.8	10.4	0.4	1,733
1964	18.9	0	2.4	14.8	20.1	193	164.5	455.3	171	129.5	0	0	1,170
1965	0	0	2.1	41.3	112.4	787.6	368.3	381.9	155.9	314.7	44.4	0	2,209
1966	0	21.1	46.9	36.5	313.4	547.5	317	570	169.4	93	28	2	2,145
1967	4.4	7.5	15.2	123.5	309.4	488.4	379.5	267.7	191.6	79.2	18	5.3	1,890
1968	0	68.3	72.5	31.1	155.4	464.9	503.1	361.8	595.3	203.6	8.3	0	2,464
1969	4.4	19.7	45.6	38.7	205.2	416.7	385.7	323.6	495.3	31.4	6.4	0	1,973
1970	16	3.2	5.5	0	400.8	72.7	487.4	491.8	601.4	356.7	16.2	9.1	2,461
1971	18.5	7.7	1.4	3.3	279.4	252.6	563.1	326.5	600	44.3	19.5	46.2	2,163
1972	71	21.5	6.9	26.5	397	765.8	1,664.6	951	192.3	67.6	22.1	12.2	4,199
1973	27.7	6.9	2.1	145	16	551.5	547.2	662.6	290.3	299.5	0	1.7	2,551
1974	0.9	23.3	9.4	41.7	522.9	673.5	503.1	714.4	696.6	345	69	0.6	3,600
1975	46.1	43.3	20.4	90.1	49.8	595.4	496.7	1,110.3	215	311.6	20.7	34	3,033
1976	36.2	6	1.7	31.3	377.4	292	669.8	455.7	225.8	36.5	0	0	2,132
1977	20.8	0	12.1	0.8	545	1,049.1	696.9	573.6	396.7	182.8	51	0	3,529
1978	17.1	17.2	61.8	86.7	151.6	258.2	501.2	641.2	287.5	106.1	5.1	23.6	2,157

1979	4.7	32.4	48.1	49.7	223.6	335.6	261.1	1,186.20	134.4	7	21.2	1.5	2,306
1980	30.2	26.1	2	61.3	33.7	0.1	190.6	291.5	289.9	47.3	20.4	1.4	995
1981	2.2	0	120.2	14.6	151.6	362.9	594.5	392.3	1,007.1	79.6	38	2.8	2,766
1982	6	25.5	0	66	155.3	474.4	1,021.5	863.4	300.1	51.6	58	13.3	3,035
1983	47.4	120.7	166.4	29	622.1	420	161.7	811.3	252.4	27.3	9.2	17.2	2,685
1984	7	0	0	118	319.3	302.6	276.9	546.6	146.9	101	3.1	0	1,821
1985	3.6	56.9	4.9	21.3	341.9	837	172.8	958.2	225.6	36.3	3.1	26.8	2,688
1986	12.4	27.1	103.9	7.8	539.9	738.5	313.2	292.5	183.4	11.5	10.7	8.9	2,250
1987	0	5.8	28.2	0	61.6	528.5	848.9	268.6	566.1	501.4	0	20	2,829
1988	49.7	8.4	3	114.9	189.7	294.3	268.6	853.6	416.5	68.1	14.6	14.8	2,296
1989	13.5	0	16.9	77.7	166.8	110.3	619.1	341	713.7	102.5	0	11.9	2,173
1990	0	25.7	4.5	146.1	60	787.1	290.9	1,184.7	726.9	40.8	0	0	3,267
1991	15.9	29.7	6.4	80.5	75.1	806.1	491.4	92	381.5	122.5	4	29.8	2,135
1992	20.5	37.5	71	192	93	110.5	518	356	693.5	11.5	0	2	2,106
1993	15	0	51	2.5	191	146	52.5	123.6	97.3	11	10	16.5	716
1994	11.2	15	8	18	185.5	218.6	443	1,423	254	12	0	18	2,606
1995	32	14	13	10	191	687	288	346	173	13	0	0	1,767
1996	0	0	0	138	287	141.5	844	450.5	333.5	210	43	0	2,448
1997	24	46	76	13	178	1,320	429.5	966.5	493	67	0	14	3,627
1998	32.5	98	110.5	169	282	1,113	236	450.5	114	391.5	9.5	31	3,038
1999	8	0	0	73	276.5	640	697	1,009	365	166	28	28	3,291
2000	8	46	20	41	244	303	735	917	150	293	10	18	2,785
2001	49.5	2.5	25	37.5	1026	547	871.5	252	1183.5	91	7.5	6.5	4,100
2002	66	2.5	43	1.5	400.5	158.5	539	344.5	253.5	153.5	0	79.5	2,042
2003	19.5	4.5	19.5	44.5	59	859.5	86	660	247.5	112.5	78	0	2,191
2004	11	14	3	83.5	209	62.5	641	362.5	634	5.5	0	155	2,181
2005	2.5	29.5	32.5	53	294	1498.5	885	475	314	76.5	56	25.5	3,742
2006	7	0	7	62	353	883	1778	156	260	64	26	5	3,601
2007	11	2	15	31	231	266	310	2571	788	547	213	0	4,985
2008	21	13	33	57	184	1192	1709	270	1097	124	65	1	4,766
2009	0	1	46	123	41	372	416	2570	363	166	4	6	4,108
2010	0	13	2	78	503	414	501	374	1476	390	11	19	3,781
2011	20	0	10	65	131	481	630	1329	232	224	134	34	3,290
2012	0	53	16	139	456	2329	181	1312	110	31	53	23	4,703
2013	7	0	19	115	529	175	109	1622	793	89	67	46	3,571
2014	0	37	57	82	128	407	569	801	529	84	5	19	2,718
2015	7	12	8	25	713	107	536	885	253	148	18	22	2,734
2016	220	15	82	313	162	703	1159	547	1567	431	73	7	5,279
2017	0	0	36	131	247	558	939	452	72	455	11	2	2,903
2018	50	18	72	41	175	1109	759	1553	572	188	2	0	4,539
2019	11	3	105	48	506	298	873	1346	191	33	4	20	3,438
2020	18	6	55	33	861	168	234	787	219	39	73	6	2,499
2021	1	30	0	38	48	1038	716	2003	226	595	5	7	4,707
2022	91	33	48	19	328	146	214	187	82	227	4	17	1,396
平均	20	18	32	66	244	529	571	703	418	154	35	17	2,806

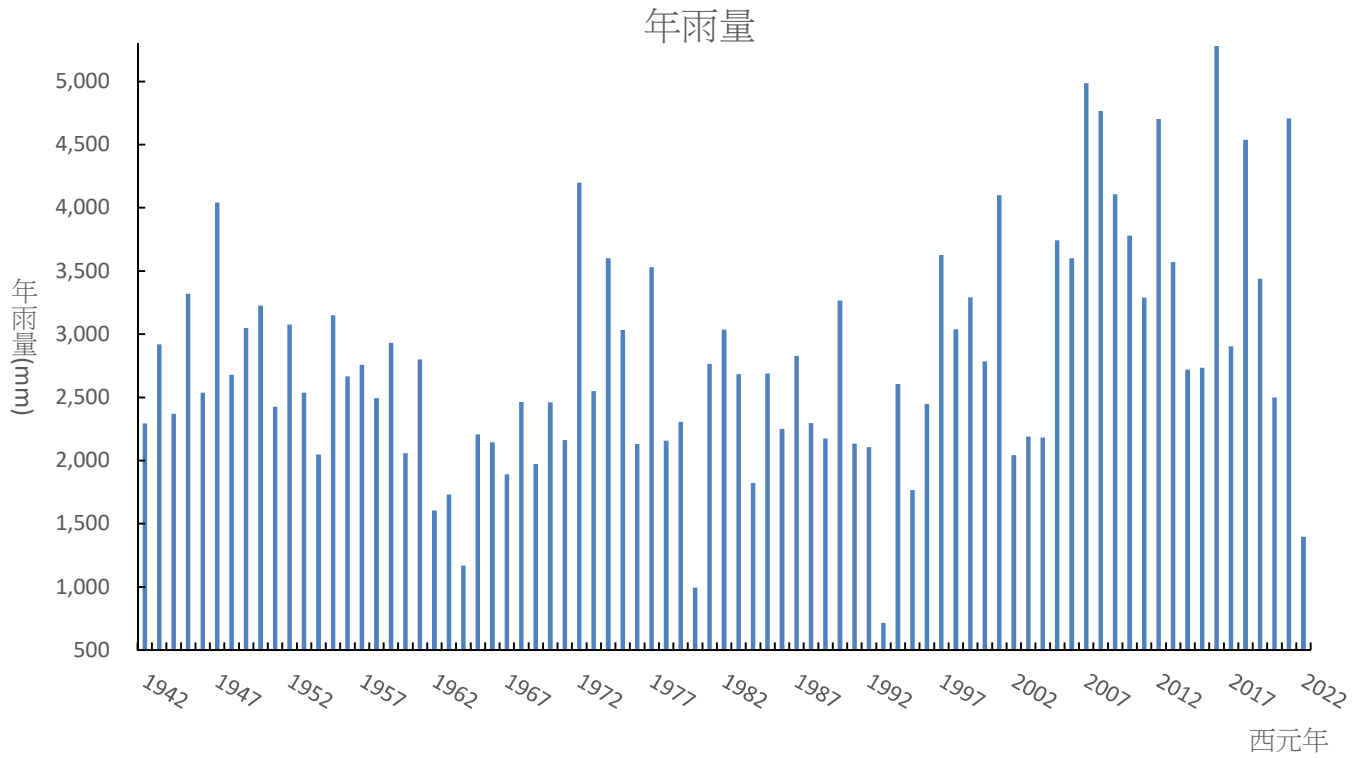


圖19. 來義雨量站 年雨量比較圖(中央氣象局-來義站:1942年至2022年)

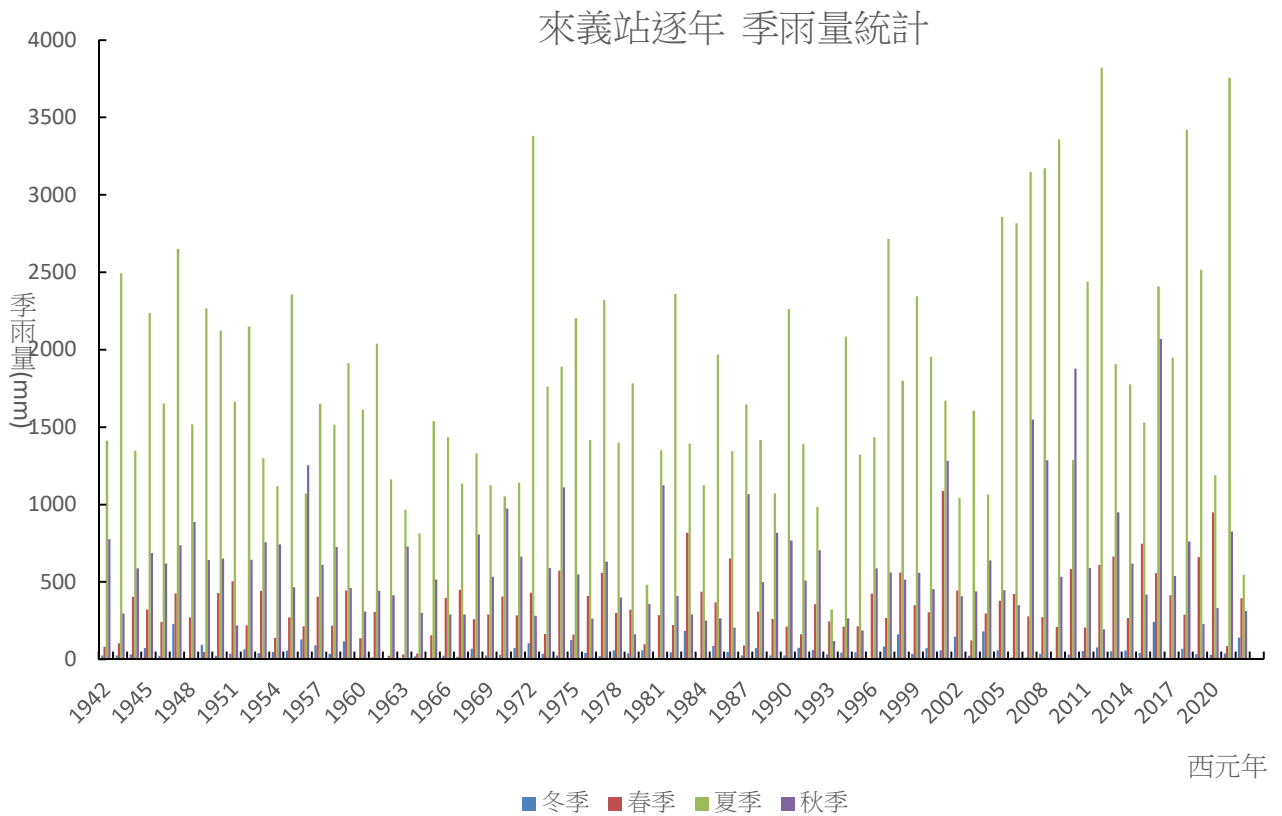


圖20. 來義雨量站 逐年 季雨量比較圖(中央氣象局-來義站:1942年至2022年)

3. 根據經濟部水利署資料顯示，林邊溪流域位於屏東縣中部，屬縣管河川，北以大武山與隘寮溪及東港溪為界，東以中央山脈與太麻里溪為界，南以大樹林山與率芒溪為界，西至林邊鄉、新埤鄉、佳冬鄉、來義鄉及春日鄉。林邊溪發源於南大武山西南麓，至來義鄉出谷流入屏東平原在溪南側行至新埤鄉匯集成林邊溪上游段，經佳冬鄉於林邊鄉水村入海，主流全長42公里，平均坡度約 1:15，流域面積為 343.97 平方公里。主要支流為力力溪，**林邊溪流域內測站僅有新埤大橋旁之新埤流量站**，推算林邊溪全流域年逕流量(表5、圖21)。因2013年後水利署將新埤流量站廢除，所以我們就現有資料來研究。

表5.林邊溪全流域歷年(1942-2013)月平均逕流量與平均降雨量比較

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1942-2013 (平均流量 cms)	1.6	0.99	0.73	0.63	7.27	53.54	53.95	80.67	58.42	22.7	6.36	3.74
逕流量 (m ³ /day)	138240	85536	63072	54432	628128	4625856	4661280	6969888	5047488	1961280	549504	323136
平均降雨量 (mm)	20	18	32	66	244	529	571	703	418	154	35	17

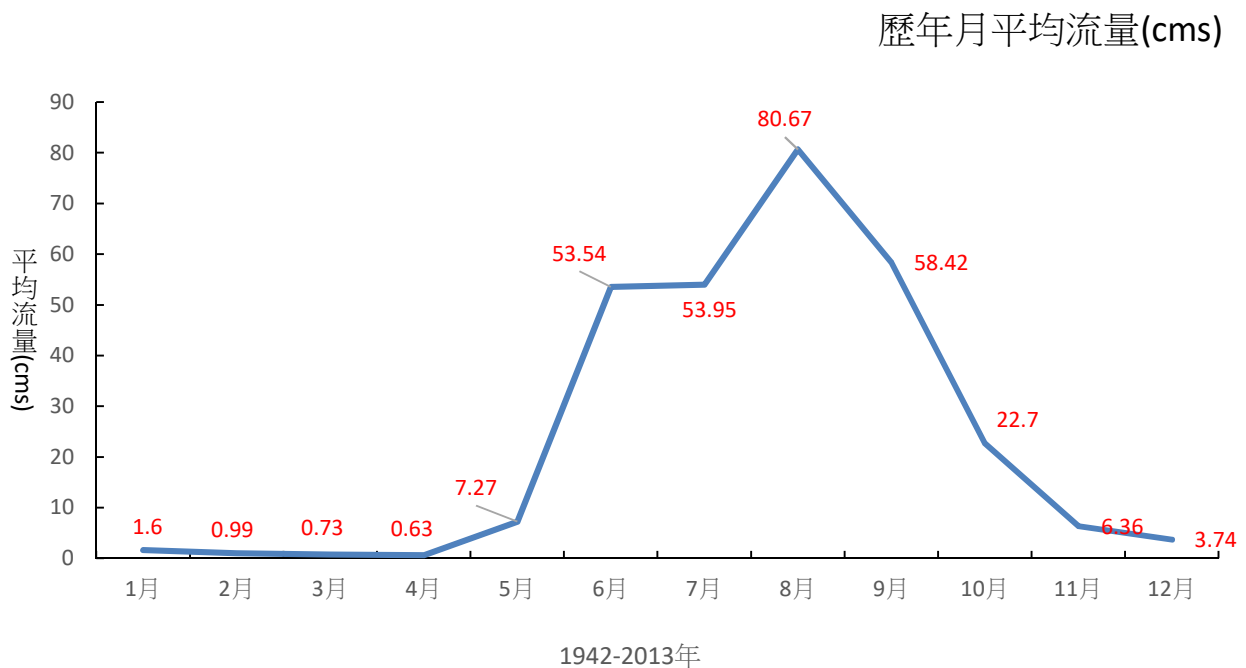


圖21.林邊溪全流域歷年(1942-2013)月平均流量(cms)

4.根據表5. 林邊溪全流域歷年(1942-2013)月平均逕流量與降雨量比較，繪製關係圖如圖22。

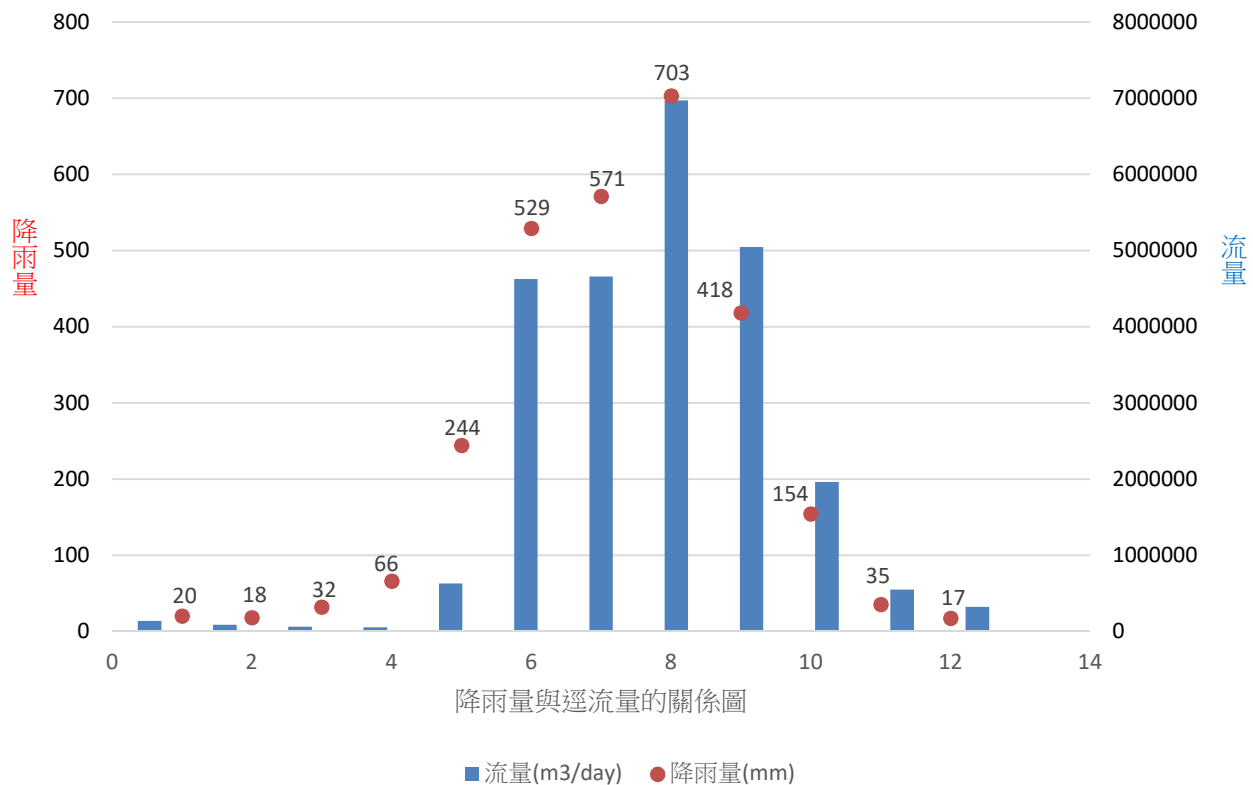


圖22. 林邊溪全流域降雨量與流量之關係

結果分析

1. 降雨量統計比較：

本研究蒐集距離二峰圳最近之中央氣象局-來義站(1942年-2022年)之降雨資料加以分析，如表4。由表4中可知，本區年降雨量為2806mm，豐水期(5月~10月)平均雨量為2619mm，枯水期(1月~4月及11、12月)平均雨量為188mm，豐枯水期相差約14倍之多。

與二峰圳有息息相關的屏東縣 來義鄉歷年年雨量狀況，詳見表4、圖19可知，過去81年間，以1964年、1980年、1993年、2022年為枯水年，年雨量僅為1170mm、995mm、716mm、1396mm，最枯水年與最豐水年(2016年5279mm)相差約7.4倍。

並由圖19. 來義雨量站逐年季雨量比較圖分析，可知各季降雨量以夏季為最大，為1803mm，推論因夏季為颱風盛行季節，颱風會帶來豐沛雨量，影響甚鉅，且降水對於地下水補注影響頗大，故每年夏季時地下水會高於其他季節。

2. 林邊溪水逕流量統計分析：

臺灣南部屏東縣境內，屬熱帶季風氣候，夏季受到赤道潮流影響，氣候炎熱，但全年溫差不大，夏季多雨，冬季乾旱，豐枯水期降雨相差懸殊，取二峰圳鄰近之新埤大橋所設置之河川流量監測站，推算林邊溪全流域年逕流量，如表5。由表5、圖22林邊溪全流域歷年降雨

量與流量圖表統計可知，月降雨量最大為8月份，月平均降雨量為703mm，而12月份則為降雨量最少僅為17mm。由1942年至 2013年，共計51年間之記錄可知：林邊溪平均年逕流量為290.6cms，每年豐水期約於 6 月至 10月間，枯水期則為 11 月至翌年5 月，豐水期流量約佔整年之93%，亦即為期半年之枯水期僅佔全年逕流量之7%左右(圖22)。

肆、討論

- 一、一開始預備實驗時，我們是使用1000ml 燒杯的燒杯裝水，由模型的上游端將水緩緩倒入，然後測量時間。並收集模型的下游端管線流出的水量。但是因手倒水的速度並不一致，再加上土壤一開始是乾燥的，所以前幾次的水量收集不到，實驗並不如預期理想。後來我們只收集後幾次的水量來統計，但是每次燒杯倒水的時間差，又無法無縫銜接，再加上人為倒水的因素，使誤差更大。所以實驗二週之後，我們捨棄了這種方式來模擬收集各種數據。
- 二、後來我們改用2 公升的寶特瓶來倒水，並在寶特瓶的側邊挖洞，使其流速穩定。如此蒐集的數據趨於穩定，但還是發現有一些缺陷如下：
- (一) 寶特瓶的流速會隨著水量的減少而流速變慢。
 - (二) 因為是挖開測孔，所以還是會殘留一些水在瓶內。
 - (三) 我們挖了很多寶特瓶，盡可能找側洞大小一致，流速時間相同的。但是無論如何製作，還是無法找出一模一樣的兩個寶特瓶。還是會有幾秒的誤差。綜合以上缺點，最後我們還是放棄了此種方法。



- 三、在控制流量方面：經過前幾次預備實驗測試檢討缺失後，最後我們改良採用的方法是水龍頭接上灑水設施，模擬下雨狀況，持續注入水並達到模型實驗前岩層、土壤中皆含飽和水，反覆做3次。
- (一) 容易穩定操作測量水的注入量以模擬降水量：我們先轉開水龍頭接上灑水設施，讓水流入水槽中。分別為2分鐘、10 分鐘之後測量水槽的水量(每組分別做3次)，就知道水龍頭的每分鐘出水量，確保水壓及水量都一致。
 - (二) 測量水量和注入水，可以無縫接軌，降低誤差：我們水龍頭都是同一個，上面接上灑水設施，量測水量或實驗施作時，皆不調整水量或是改變出水閥。
 - (三) 可以容易模擬枯水期、豐水期之樣態。
- 四、在時間的測量方面：為了減少誤差，我們採用土壤內皆含有水分後才開始施作實驗。

- 五、在模型的製作過程中，因為漏水、管線砂石阻塞、接縫不實模型變形(土壤的壓力太大)..等等因素，前前後後製作了4次模型才更臻完美成功。
- 六、林邊溪流域內測站僅有新埤大橋旁之新埤流量站，新埤大橋所設置的流量站，很可惜在2013年後就廢除，所以我們只能查到的2013年前資料，為美中不足之處。而二峰圳周邊的流量也缺乏監控設施，若二峰圳有災損無法即時得知，且若結構內有淤積或內部破壞，在發覺後，通常都是災情擴大時，會造成維修費用的增加(二峰圳在六〇、七〇年代中期都曾進行大修，由於二峰圳已被列為文化資產，必須保持原貌)。

伍、結論

- 一、因為臺灣山高、河川坡陡流急，颱風豪雨期間輸砂量大，豐枯雨量差距極大，**豐水期水質過於混濁、枯水期水量不夠**，常常影響傳統攔河堰正常取水量，而水質較為潔淨的「伏流水」日益受到重視，在逐漸提升的**環保意識**，且**水資源開發不易**之時，尋求多元水資源供應策略為當前重要工作，其中「伏流水」為重要水源之一。但是，「伏流水」與**地面水及地下水**關係密切，它的供水能力與河川流量成正相關，且取水後可能影響鄰近地下水位或鄰近水利設施可取水量，所以目前水利署將伏流水定位為豐水期的備援供水主力，以因應高濁度情況。政府已將**伏流水**開發納入「**前瞻基礎建設計畫—水環境建設**」中，因此伏流水的開發為政府重要的水源政策之一，亦為屏東縣政府積極尋求水源的重要選項。
- 二、二峰圳伏流水工程，雖然歷經百年，水源經過土石層的層層過濾，因此水源清澈，無需再經過太多的淨化處理，而結構體埋設於河床下方，對於附近工程環境及生態上並無造成太多的破壞，也無需人員的管理及太多經費的維護、且沒有水庫容易淤積而降低有效容量的疑慮，是非常符合**聯合國永續發展目標(SDGs)**。在現今環保運動的倡議，以及極端氣候的影響下，水利單位在取水方式做出的部分改變，為顛覆了過去半世紀以來，運用水庫和攔河堰取用地面水的主流工程作法，值得讓社會了解、討論與推廣之優異水利工法。
- 三、由實驗二：二峰圳模型之製作結果發現，在枯水期時，在地底下還是有豐沛的伏流水，但河流流道上看不到有河流水。而在**豐水期時**，伏流水相較於河流水略少。
- 四、由實驗三表4.來義雨量站降雨量統計比較得知：本區年降雨量為2806mm，豐水期(5月~10月)平均雨量為2619mm，枯水期(1月~4月及11、12月)平均雨量為188mm，豐、枯水期兩者相差約**14倍之多**。而過去81年來，最枯水年(1993年716mm)與最豐水年(2016年5279mm)**相差約7.4倍**。平均月降雨量最大為8月份，月平均為703mm，而12月份則為降雨量最少僅為17mm。各季降雨量以夏季為最大是1803mm，夏季是颱風盛行季節，颱風帶來豐沛雨量，影響甚鉅，降水對於地下水補注影響頗大，故每年夏季時地下水會高於其他季節。
- 五、由實驗三得知新埤流量站，於1942年至2013年，共計51年間之記錄可知：林邊溪平均年逕流量為290.6cms，每年豐水期約於6月至10月間，枯水期則為11月至翌年5月，豐水期流量約佔整年之93%，亦即為期半年之枯水期僅佔全年逕流量之7%左右。

研究限制與未來展望

一、研究限制

二峰圳是伏流水的重要水利工程，我們很感謝屏東科技大學丁教授詳細給予我們國中生的詳細解說，還帶我們到現地(場)去導覽探查，我們所提的疑問都能詳細回答並做實驗給我們印象深刻，對於我們國中生想做科展給予莫大的支持與幫助。

二、研究概念及方法限制

我們做科展的歷程中，多多少少都會遭遇到很多相關水利、氣候知識不足之處，雖然會請教專家學者(水利局、環保局)，但是對於地球科學尚未學習到的知識，還稍嫌不足。本研究礙於時間限制，無法學習到較專業的水利資料統計和分析，建議未來可進行更廣泛的探究。

三、未來展望

研究過程中，因為製作模型耗費我們過多的時間，且二峰圳沒有詳細的流量資料，未來我們考慮每周去二峰圳現場實際測量流速及水量，將取水時間拉長，觀察枯水期及豐水期的之各種比較，再探討二者之間的差異，為我們近程研究目標。

陸、參考資料及其他

1. 丁澈士博士 二峰圳集水廊道。取自<https://wwwacc.ntl.edu.tw/public/Attachment/332111134452.PDF>
2. 丁澈士、王國祥(2008 / 12 / 01)林邊溪上游二峰圳集水廊道工程技術與應用之研究。屏東文獻。取自
file:///C:/Users/user/Downloads/%E6%9E%97%E9%82%8A%E6%BA%AA%E4%B8%8A%E6%B8%B8%E4%BA%8C%E5%B3%B0%E5%9C%B3%E9%9B%86%E6%B0%B4%E5%BB%8A%E9%81%93%E5%B7%A5%E7%A8%8B%E6%8A%80%E8%A1%93%E8%88%87%E6%87%89%E7%94%A8%E4%B9%8B%E7%A0%94%E7%A9%B6%20(1).pdf
3. 水文資訊網整合服務系統。取自<https://gweb.wra.gov.tw/HydroInfo/>
4. 水文年報歷年電子書。取自<https://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/>
5. 中華民國第51屆中小學科學展覽會。從林邊溪地下伏流看二峰圳的神奇。取自
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080501.pdf>
6. 李慧宜(2017年05月05日)水的秘密基地二峰圳重見天日全紀錄。環境資訊中心。取自<https://e-info.org.tw/node/204669>
7. 李根政(2021年09月01日)。百年大旱救高雄的伏流水，二峰圳顛覆的取水思維。地球公民基金會。取自<https://www.cet-taiwan.org/node/4007>
8. 地下集水廊道328公尺長的二峰圳。(2019年09月23日)。台灣農業故事館。取自
https://theme.coa.gov.tw/theme_list.php?theme=storyboard&id=230
9. 模型中不同結構地形的製作。取自<https://read01.com/zh-tw/BdgxeL.html#.Y9dL1XZBzmY>
10. 屏東二峰圳慶百年鳥居信平孫將來台見證水圳風華。(2022/5/25)。中央社。取自
<https://www.cna.com.tw/news/aloc/202205250275.aspx>
11. 屏東二峰圳百年慶 見證永續的水圳文化。(2022/5/25)。今傳媒。取自
<https://www.owlting.com/news/articles/100866>
12. 屏東縣二峰圳紀錄片。取自屏東縣政府二峰圳展覽室
13. 擷取伏流水的地下集水庫。取自
<https://themefile.culture.tw/file/2019-03-06/af92582d-bc27-4198-98e6-83f3ea59bcce/18.%E4%BE%86%E7%BE%A9%E9%84%89%E4%BA%8C%E5%B3%B0%E5%9C%B3.pdf>