
智慧化土石流預警系統建置(2)
Setup of Intelligent Pre-warning System of
Debris-flow (2)
成果報告書

執行 單位：國立臺灣大學

執行 期間：106 年 2 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：臺灣大學 生物環境系統工程學系 黃宏斌 教授

研究 人員：黃胤瑄、黃胤禎、黃胤銓

行政院農業委員會水土保持局委託研究

中華民國 106 年 12 月

(本報告內容及建議純屬執行單位意見，不代表本局意見)

目次

目次.....	I
圖次.....	III
表次.....	VI
中文摘要.....	VII
英文摘要.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
第一節 研究背景.....	1-1
第二節 計畫目標.....	1-3
第二章 智慧化雨量計和水位計.....	2-1
第三章 結果與討論.....	3-1
第一節 功能設定.....	3-1
第二節 水位與時雨量分析.....	3-3
第三節 集水區逕流係數初探.....	3-6
第四節 水位計資料擷取形式與雜訊處理.....	3-13
第五節 電源供應系統.....	3-14
第六節 撰寫程式傳送警戒值訊號至 Android 系統手機.....	3-14
第七節 除九芎湖試驗站外，增加尖石試驗站.....	3-15
第八節 比較傾斗式和其他型式雨量計之適用性.....	3-15
第四章 結論.....	4-1
附錄	
附錄一、期初簡報委員建議回覆.....	附一-1
附錄二、期中簡報委員建議回覆.....	附二-1

附錄三、期末簡報委員建議回覆	附三-1
參考書目	1

圖 次

圖 2-1 受力關係圖	2-2
圖 2-2 第一代原型基座.....	2-3
圖 2-3 第一代原型傾斗.....	2-3
圖 2-4 第二代原型基座	2-4
圖 2-5 第二代原型傾斗.....	2-4
圖 2-6 第三代原型基座.....	2-5
圖 2-7 第三代傾斗.....	2-5
圖 2-8 第三代原型擺錘.....	2-6
圖 2-9 智慧化雨量計成品圖.....	2-6
圖 2-10 智慧化雨量計電路圖.....	2-7
圖 2-11 智慧化雨量計流程圖.....	2-8
圖 2-12 使用者介面圖	2-9
圖 2-13 各子系統運作流程圖.....	2-10
圖 2-14 電源供應系統電路示意圖	2-11
圖 2-15 微水力發電系統實驗架設圖	2-11
圖 2-16(A) 傾斜量測	2-12
圖 2-16(B) 垂直量測	2-13
圖 2-17 發電機馬達完成圖	2-14
圖 2-18 發電機馬達測試圖	2-14
圖 2-19 智慧化水位計電路圖	2-15
圖 2-20 實體外觀構造圖	2-16
圖 2-21 安裝過程圖	2-17
圖 2-22 雨量計安裝完成圖	2-18
圖 2-23 現場安裝水位計	2-18

圖 2-24 崩山湖上游水位計安裝完成圖	2-19
圖 2-25 崩山湖上游量測總高圖	2-19
圖 2-26 崩山湖上游改良式水位計安裝完成圖	2-20
圖 2-27 崩山湖下游水位計安裝完成圖	2-20
圖 2-28 崩山湖下游量測總高圖	2-21
圖 2-29 崩山湖下游安裝微水力發電系統圖	2-21
圖 2-30 崩山湖下游改良式水位計安裝完成圖.....	2-22
圖 2-31 五峰旗水位計安裝完成圖	2-22
圖 2-32 五峰旗總高量測圖.....	2-23
圖 2-33 五峰旗改良式水位計安裝完成圖	2-23
圖 2-34 寒溪改良式水位計偵測器安裝完成圖	2-24
圖 2-35 寒溪改良式水位計處理器安裝完成圖.....	2-24
圖 2-36 碼崙 3 號壩改良式水位計安裝完成圖.....	2-25
圖 3-1 LABVIEW 程式撰寫之流程圖.....	3-1
圖 3-2 土石流預警系統面板	3-2
圖 3-3 土石流預警系統面板(降雨事件發生且累積雨量小於警戒值).....	3-2
圖 3-4 土石流預警系統面板(降雨事件發生且累積雨量大於警戒值).....	3-3
圖 3-5 五峰水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/1)	3-4
圖 3-6 崩山湖上游水位與時雨量關係圖(2017/8/28~8/31).....	3-4
圖 3-7 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/7/21~7/28).....	3-4
圖 3-8 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/8/16~8/23)	3-5
圖 3-9 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/6)	3-5
圖 3-10 寒溪水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/4)	3-5
圖 3-11 碼崙 2 號壩水位與時雨量關係圖(2017/8/21~8/23)	3-6
圖 3-12 碼崙 3 號壩水位與時雨量關係圖(2017/8/21~9/3)	3-6
圖 3-13 五峰和寒溪防砂壩尺寸及其集水面積	3-7

圖 3-14 崩山湖上下游整流工程尺寸及其集水面積	3-8
圖 3-15 碼崙 2 號、3 號防砂壩尺寸及其集水面積.....	3-8
圖 3-16 五峰流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/1)	3-10
圖 3-17 崩山湖上游流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~8/31)	3-10
圖 3-18 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/7/12~7/14)	3-11
圖 3-19 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/8/16~8/23)	3-11
圖 3-20 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/3)	3-12
圖 3-21 寒溪流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/4)	3-12
圖 3-22 碼崙 2 號壩流量和逕流係數關係圖(2017/8/21~8/23)	3-13
圖 3-23 碼崙 3 號壩流量和逕流係數關係圖(2017/8/21~9/3)	3-13

表 次

表 2-1 三代雨量計間之差異	2-7
表 3-1 逕流係數 C 值之選擇參考表	3-7
表 3-2 WMO 蒐集之雨量計	3-15

摘要

為了提高防災專員觀測資料之準確度，以及加速雨量和水位資訊處理速度，發展經費低廉之智慧化土石流預警系統是刻不容緩的。

經過儀器研發，以及現場安裝後之檢討、改進和分析，本研究獲致以下幾點主要結論：

1. 本研究初步發展出精準度足夠，且價錢便宜之雨量計和水位計，可提供臨時或短期觀測使用。觀測資料可做為長期設站之參考。
2. 除了市電供應外，太陽能與微水力發電並聯系統有利於臨時或短期觀測站之建置。
3. 藉由五峰、崩山湖、寒溪和碼崙等 4 個試驗區，6 個試驗點之資料分析結果，水位與時雨量之關係十分吻合。

今年係研發智慧化雨量計和水位計，以及太陽能與微水力發電系統並聯運作模式。明年將探討如何避免湍流或石塊破壞微水力發電系統機構。同時建議未來能夠多安裝雨量計和水位計測站，藉由現場資料持續回饋、改良儀器在現場之適用性。

關鍵字：全球氣候變遷、極端降雨事件、土石流，預警，物聯網

Abstract

In order to enhance the data accuracy observed by disaster-prevention commissioner and accelerate the treatment speed of rainfall and water level information, developing cheap intelligent pre-warning system of debris-flow is of great urgency.

After the research and development of instruments, and review, improvement as well as analyzation of field information, this study got the following principal conclusions:

1. This study have preliminary developed accuracy enough and cheap rainfall and water level gauges providing temporary or short-term usages. The observation data could be as a reference for setup of long-term station.
2. The power unit supplied by the parallel mode of solar energy and micro-hydroelectric power besides commercial electricity is beneficial to setup of temporary or short-term station.
3. Based on the data analysis of four test fields of Wu-feng, Peng-shan-hu, Han-his and Ma-lun, including six investigation stations, the relationship of water level and rainfall matches very well.

The purpose of this study is to develop the intelligent rainfall and water level gauges and parallel mode of solar energy and micro-hydroelectric power this year. The main work of next year is how to avoid torrent or rock damaging micro-hydroelectric power. Moreover, suggestion of setup more stations of rainfall and water level gauges in the future provides field information continuously to feedback and improve the field feasibility of instruments.

Keywords: global climate change, extremely rainfall event, debris flow, pre-warning, internet of things

第一章 前言

第一節 研究背景

為保育水土資源，涵養水源，因應全球氣候變遷，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，除積極推動農村再生以促進農村永續發展及農村活化再生，改善基礎生產條件，維護農村生態及文化，提升農民生活品質外，也藉由前瞻構想和新興技術，配合行政院生產力 4.0 之「建構完善的智慧防救災聯網平台及災時援救設備」，積極建立坡地災害防災應變機制之監測儀器研發和預警模式，以提高警戒發布之準確性，降低災害衝擊，並達到水土保持法與農村再生賦予之立法目的。

目前農業委員會水土保持局(以下簡稱水保局)係依據中央氣象局(以下簡稱氣象局)提供之實際和預測雨量，配合土石流警戒基準值，與協力機構之專家學者共同分析研判，適時發布土石流警戒。當氣象局發布某地區之預測雨量大於土石流警戒基準值時，水保局將會發布該地區為黃色土石流警戒區，地方政府應進行疏散避難勸告；如果某地區實際降雨量已經達到土石流警戒基準值時，則水保局會發布該地區為紅色土石流警戒區，地方政府應勸告或強制其撤離，並作適當之安置。

此一發布程序實施以來，已經創下連續好多年風災、土石流等災害無傷亡紀錄。雖然如此，為提高警戒發布之準確性，降低災害衝擊，下列事項仍然有必要加以重視和檢討：

- 壹、當降雨量突然超過預期並急速增加時，黃色警戒和紅色警戒發布時間不僅比預期時間提前，且降雨期間縮短時，水保局或地方政府如何在最短時間內分析研判，同時以最快時間通知當地所有民眾完成撤離。
- 貳、當居住於附近沒有政府單位設置雨量站的地區，其設有土石流防災專員(以下簡稱防災專員)會進行雨量觀測，當防災專員觀測到實際降雨量已經達

到警戒值，且高於氣象局之實際觀測值時，水保局對於這些回傳訊息如何分析研判，並告知地方政府或防災專員該如何做明確之後續處置。

參、除了降雨量觀測外，野溪水位變化、地下水位變化、擋土牆龜裂、地層滑動等變化，如何在暴風雨中自動監測，並即時傳送資訊給防災專員，研判是否立即做疏散、撤離等應變措施，保障生命財產安全。

另外，目前之作法係防災專員於海上陸上颱風警報發布，且接獲水保局簡訊通知後才開始架設簡易雨量筒，因此他們不知道海上陸上颱風警報發布前之累積雨量，所通報之雨量並非當地實際累積雨量，既然沒有架設前之雨量累積速度資訊，自然也無從得知降雨強度增加或減弱之訊息，無法提高自我警覺意識。

再者，由於防災專員待命觀測期間，仍然持續降雨，因此，以其簡訊回傳起始值為零，每大於 50mm 回傳一次，作為防災專員所在位置的參考雨量，縱使不考慮在倒掉雨量筒內水量再繼續觀測時所沒紀錄到的雨量，也無法與實際降雨時間和雨量紀錄值吻合，所以，不僅紀錄之累積雨量小於氣象局之累積雨量外，也不容易作為建置永久雨量站之參考依據。

由於防災專員紀錄之時間起自海上陸上颱風警報發布之後，因此，所紀錄之累積雨量會小於氣象局所紀錄者。如果氣象局雨量站之紀錄雨量可以代表防災專員所在位置之雨量時，則其觀測雨量大於警戒雨量之發生時間會在氣象局發布之後，會產生沒有預先預警之效果。如果氣象局雨量站之紀錄雨量小於防災專員所在位置之雨量時，當防災專員觀測雨量大於警戒雨量時，有可能已經遠超過紅色警戒時間，嚴重壓縮疏散撤離時間。

因此，防災專員所觀測之雨量和降雨強度(速度)必須準確，也隨時可以獲知紅色警戒預期到達時間和可利用之疏散避難時間，如此不僅可以提高防災專員之自我警覺意識，達到自我保護和維護社區民眾生命財產安全之目標，同時可以分析檢視降雨資料，作為當地是否需要設置永久雨量站之依據。簡易雨量筒價錢確實較標準式雨量計便宜，然而低準確度之雨量資料卻是很難提供分析使用或作為

設置永久雨量站之參考，充其量僅能做為防災避難之宣導工具。

另外，野溪即時水位傳送也是疏散避難之重要資訊之一，當野溪水位逐漸上漲資訊能夠即時獲得時，搭配即時雨量資料，即可判斷疏散避難動作是否要提前進行。由於目前做法有兩類，一類是到現場取出雨量或水位資料擷取器，回到處理中心繼續分析，再提送結果報告；另一類則是即時傳送回處理中心分析，再提送結果報告。如果能夠在雨量計或水位計加裝處理器即時分析資料，再將結果傳回處理中心或應變中心，則可以大量縮短分析處理時間，增加疏散避難整備或前置時間。為了提高防災專員觀測資料之準確度，以及加速雨量和水位資訊處理速度，發展經費低廉之智慧化土石流預警系統是刻不容緩的。

第二節 計畫目標

壹、全程目標

第一階段之智慧防災係不再要求防災專員在風雨中去觀測綠、黃、紅線累積雨量；而是利用累積雨量、警戒水位等感測器和無線傳輸設備將試驗站警戒之降雨量值或護岸水位值短距離自動傳輸至防災專員或村里長，再由防災專員傳回水保局災害應變中心，進一步亦可自動通知一定範圍內之居民或遊客，或是長距離自動傳輸到水保局應變中心。其中，因為長距離傳輸需要使用 GPRS，維管費用較高，因此，本研究建議短期內以短距離之 XBee 傳輸，當決定設置永久觀測站時，再採用長距離傳輸通訊系統；

第二階段則運用網路，結合各地區試驗站雨量資訊和中央氣象局即時雨量資料並即時分析，經水保局應變中心審視後提供該地區和附近地區之疏散撤離時機是否該提早或是依據原有之警戒值，以強化災害情資雙向溝通；

第三階段則應用物聯網監測和巨量資料分析，當試驗雨量站之累積雨量值經常大於附近既有雨量站在同場颱風豪雨之累積雨量值時，即會發出訊號建議是否調整該地區之土石流警戒值，另外，當試驗雨量計即時分析降雨強度變大時會每隔固定時間自動發出立即疏散避難訊號。試驗雨量計建議之土石流警戒調整值和

疏散避難訊號發布時間，都會經過水保局應變中心審視後，再應用物聯網回饋作為疏散、撤離預警使用，以發揮及時疏散避難之功能。

貳、本年度目標

由於第一年工作項目係建立雨量和水位之自動觀測、處理和通訊系統。因此，已經組合感測器、處理器和通訊系統三大單元，達成運作自動化。

一、雨量觀測：

將水保局設定之各鄉鎮市土石流雨量警戒值，鍵入雨量計內之處理器，當觀測降雨量值等於該雨量警戒值時，立刻藉由通訊系統短距離傳至防災專員或村里長，再由防災專員傳送資訊至水保局或水保局指定之機關單位。護岸水位感測器之設計與雨量計類似，不過，水位計是以警戒值和行動值警示；而非黃、紅色警戒。

二、微處理控制器：

為雨量、水位感測器和通訊系統連結之微處理平台，可以將雨量、水位感測器之訊號處理後經由通訊系統傳至防災專員或村里長。

三、通訊系統：

一般短距離(約 100 公尺或 3 公里)通訊技術採用 ZigBee 無線通訊技術，能夠布建大量的網路節點；長距離則使用 GPRS。由於 XBee 之維管費用較 GPRS 便宜，因此，本研究試驗站依距離長短分別採用 100 公尺或 3 公里之短距離、低延遲、高通量，容易使用之 XBee 無線模組作為通訊系統使用；當水保局考慮設置永久觀測站時，再使用長距離傳輸通訊系統。另外，撰寫程式傳送雨量紅色警戒和水位警戒、行動值訊號至 Android 系統手機。

本年度原先計畫檢視九芎湖試驗站之雨量計和水位計之運作情形外，也要在尖石野溪整治工程地點設置雨量計和水位計，做廣泛之儀器操作、軟體運作和通訊檢視等工作。在台北分局媒合下，本研究配合中興工程顧問公司「宜蘭地區治山防災構造物洪峰量測」計畫，擴大在五峰旗、崩山湖、寒溪和碼崙等四個地區

裝置雨量計和水位計從事現場觀測，並改進資料擷取、自動分析、雜訊消除等問題。另外，本研究以 3D 列印機製作之雨量計係沿用 1889 年，德國人 Sprung 和 Fuess 設計傾斗式雨量計之原理，除比較該雨量計在台灣地區之適用性外，並思考如何降低製作價格。

參、研究方法與步驟

本研究擬以三年期間分別執行此三階段工作項目。本年度工作內容主要在資訊蒐集和即時資訊傳遞。除了組裝設定後之雨量計，以及微處理控制器和通訊系統作為發布土石流紅色警戒和疏散避難參考外，也同時組裝警戒護岸水位感測器和微處理控制器和通訊系統，即時提供護岸溢淹之警示。

由於目前廣泛使用之傳統式傾斗雨量計價格仍不便宜；光學、聲學和壓力式雨量計價格則更為昂貴，這也是防災專員使用簡易雨量筒之主要原因之一。因此，本研究建議在預設地點先設置試驗雨量站從事觀測一段期間後，分析出觀測資料和附近既有雨量站有顯著差異後，再做永久雨量站設置之考慮。同時，本研究在適用性比較同時，也會考慮材料價格，以研發價格低廉之臨時性、試驗性之智慧化雨量計和水位計，組合成試驗雨量水位站，解決現階段因為經費龐大導致關鍵雨量站設置不足之問題為計畫目標。

第三年之工作內容除繼續試驗站之檢測外，將廣設試驗雨量和水位站，比對實測雨量、水位和附近觀測站資料之差異，提供是否設置永久觀測站之參考。在完整之觀測網建置後，未來傳輸到水保局之即時雨量和水位資料，即可結合地理資訊系統之網路加值運用，以及災害大數據分析與應用，即時更新並預測，提供決策者確實掌握災情，以協助防救災工作進行。未來如果水土保持局能夠建置雲端平台，整合雨量、水位和視訊等感測設施回傳之資訊，則可以提供決策者分析使用，以做為防救災應變決策管理之參考。

第二章 智慧化雨量計和水位計

雨量計和水位計等電子設備之資料擷取、儲存和傳送都需要電力供應，目前市面上蓄電池之容量非常有限，一般為 5,000mAh。以耗電量最低之資料儲存為例，大都為 7 天容量；如果包含資料擷取、儲存和傳送等工作，一般為 27 小時。本研究設計目的在於可以在荒野沒有市電供應下使用，能夠透過太陽能和水力發電系統提供電源，以達到永續電源供應。本案有兩套設備，分別為智慧化雨量計和智慧化水位計，說明如下：

壹、智慧化雨量計

本系統主要是藉由漏斗，將雨水聚集至傾斗，再透過重量使傾斗旋轉以便控制核心計數。本章節將區分為硬體設計、軟體設計和安裝紀錄等部分

一、硬體設計

雨量筒傾斗容量計算如下：

(一) 當雨量筒承雨口徑為 200mm 時，0.5mm 降雨之一次傾倒雨量為 15.7cc。

量得三角形傾斗尺寸為 55mm 長，18mm 高，28mm 寬。因此，傾斗之容量為：

$$V = 55 \times 18 \times 28 \div 2 = 13860 \text{mm}^3 = 13.86 \text{cm}^3 = 0.01386 \text{m}^3$$

而承雨口之面積為：

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.1416}{4} 20^2 = 314.16 \text{cm}^2 = 0.031416 \text{m}^2$$

1. 因此，1mm 傾斗之容量為：

$$V = 0.1 \times 314.16 = 31.416 \text{cm}^3 = 31.4 \text{cc}$$

2. 0.5mm 傾斗之容量則為：

$$V = 0.05 \times 314.16 = 15.708 \text{cm}^3 = 15.7 \text{cc}$$

(二) 如果雨量筒承雨口徑 100mm 時，0.5mm 降雨之一次傾倒雨量為 10cc。

其中，承雨口之面積為：

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.1416}{4} 10^2 = 78.54 \text{ cm}^2 = 0.007854 \text{ m}^2$$

1. 因此，1mm 傾斗之容量為：

$$V = 0.1 \times 78.54 = 7.854 \text{ cm}^3 = 7.85 \text{ cc}$$

2. 0.5mm 傾斗之容量則為：

$$V = 0.05 \times 78.54 = 3.927 \text{ cm}^3 = 3.93 \text{ cc}$$

如此傾斗容量已知，即設計完成。接著，再透過圖 2-1 的受力關係圖進行擺錘大小設計。

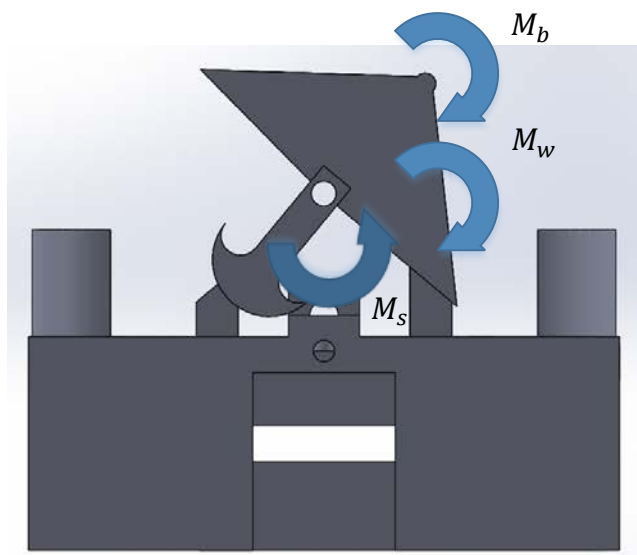


圖 2-1 受力關係圖

圖 2-1 中 M_s 為擺錘所造成的力矩、 M_w 為 5 ml 雨水量所造成的力矩和 M_b 為傾斗重心所造成的力矩。其力平衡式如下式所示。

$$M_s = M_w + M_b$$

假使我們希望其呈現 45 度傾角，則 θ 為 45 度，代入後得到擺錘重量須為 1g 並且力臂須距離軸心約為 3cm。

本設計經過許多討論與改進，透過 3D 印表機進行打印原型的方式，得以加快原型製造開發與討論。以下將闡述其更改重點與緣由。

- 第一代原型

在第一代原型的基座中，主要以輕薄進行設計，本設計中，電路和傳輸線，另外配置於他處。而在安裝過程中，中間的支架需另外搭配蓋子來限定中間傾斗的自由度。進行打印後，發現其蓋子在和支架結合時，作業需十分精密，否則傾斗的軸承將會產生多餘的摩擦力，造成運作不順暢，如圖 2-2 所示。而第一代原型的傾斗，則是將擺錘加在傾斗正下方。但是在打印完後，發現擺錘十分脆弱，在進行拿取時，常會斷裂，如圖 2-3 所示。

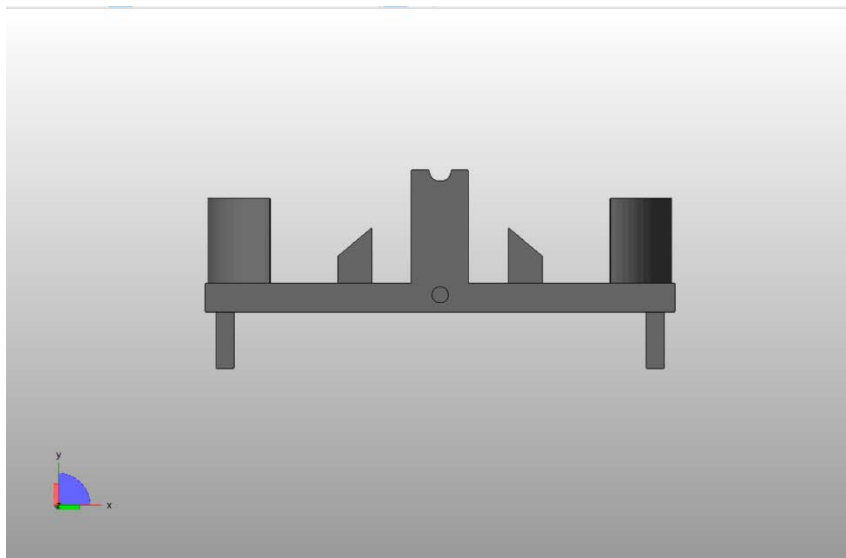


圖 2-2 第一代原型基座

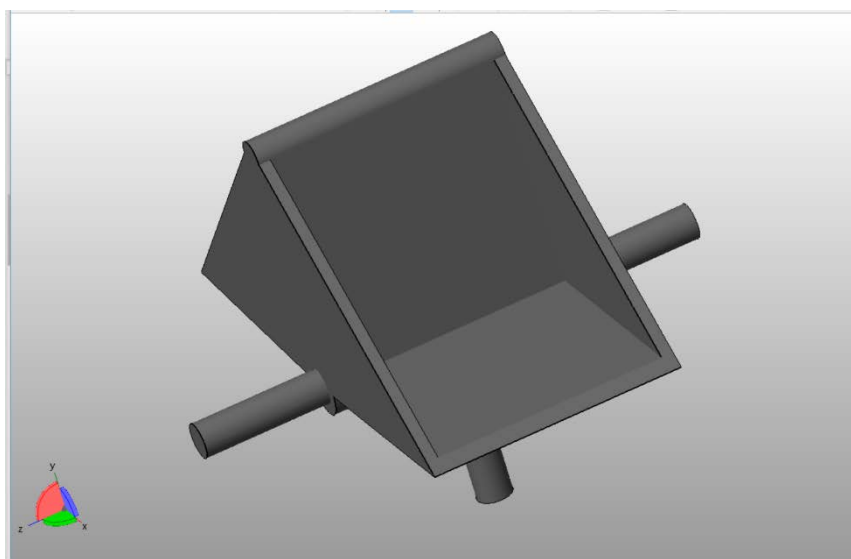


圖 2-3 第一代原型傾斗

● 第二代原型

其基座將電路等可放置在下方，並將雨水可由側面向外排出，其垂直面放置電路傳輸線口，未來也可以做為電池連結處。但是其開孔太大，容易滲進雨水，故第二代選擇封死方式，只留傳輸線口。第二代原型傾斗則是將擺錘柱加粗，且在兩旁設置限制圓盤，試圖透過不加蓋子進行限制。在 3D 列印技術上如果要精密列印則會花費過多時間，但使用粗略列印則會導致公差配合問題，故在最後決定還是以一般圓柱棒來當作軸承。

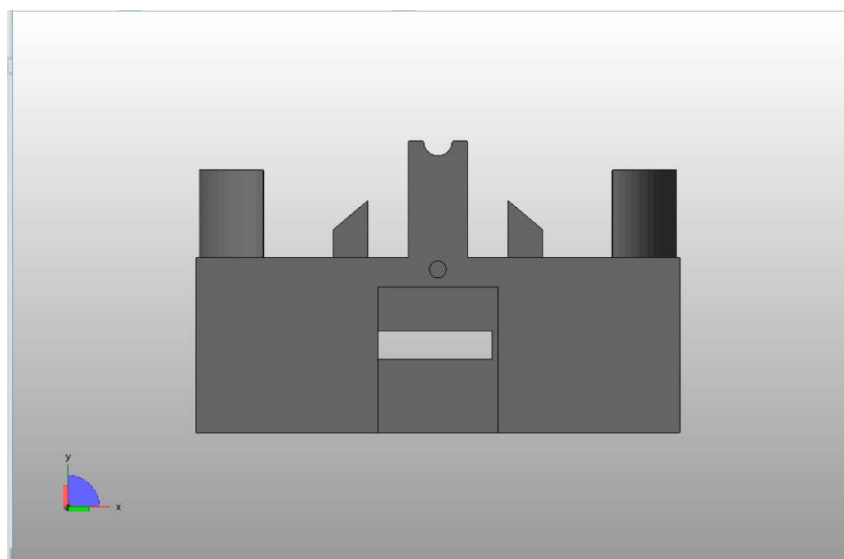


圖 2-4 第二代原型基座

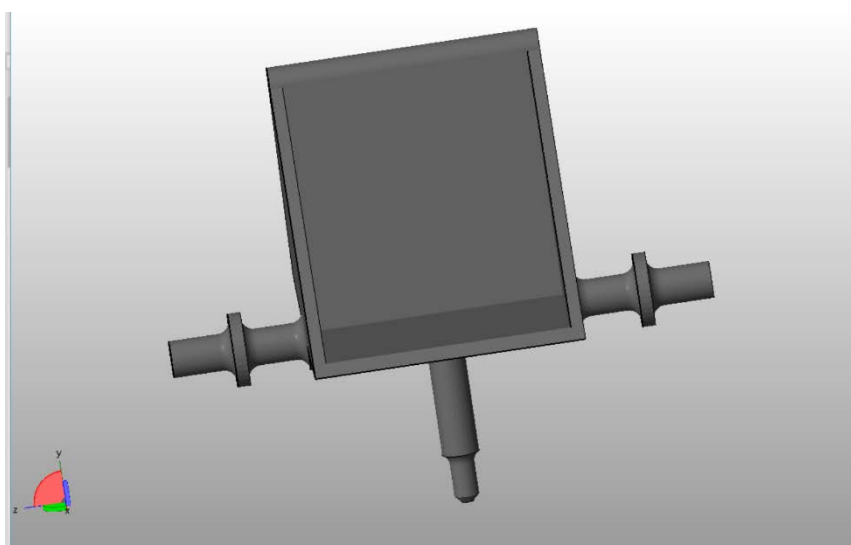


圖 2-5 第二代原型傾斗

● 第三代原型

透過上述改進，第三代原型基座，內部可以放置電路，並只留有傳輸線的洞口。而傾斗則是將軸承和擺錘去除，軸承以現成圓柱棒來代替，而擺錘則如圖 2-8 所示，另外印製。

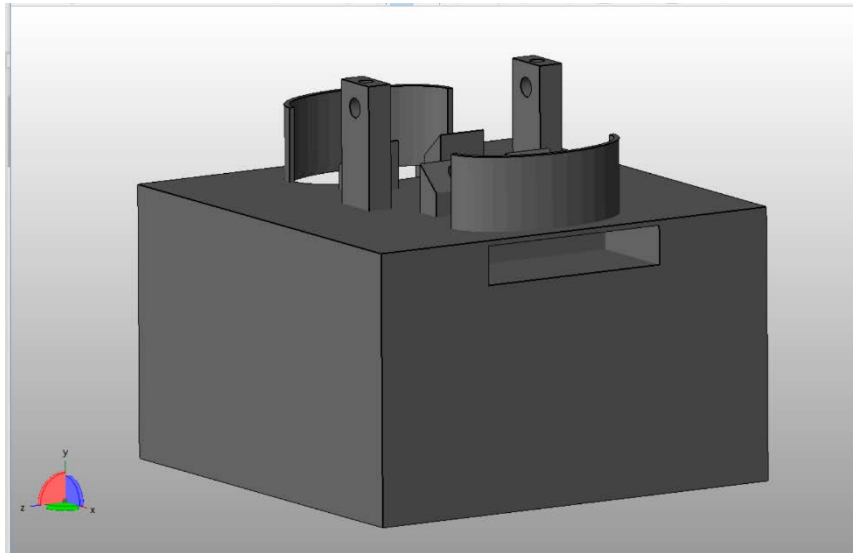


圖 2-6 第三代原型基座

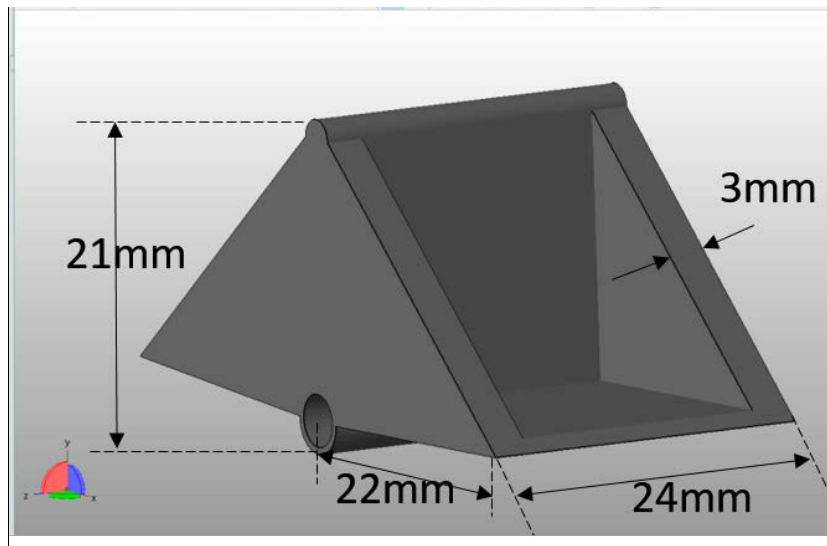


圖 2-7 第三代傾斗

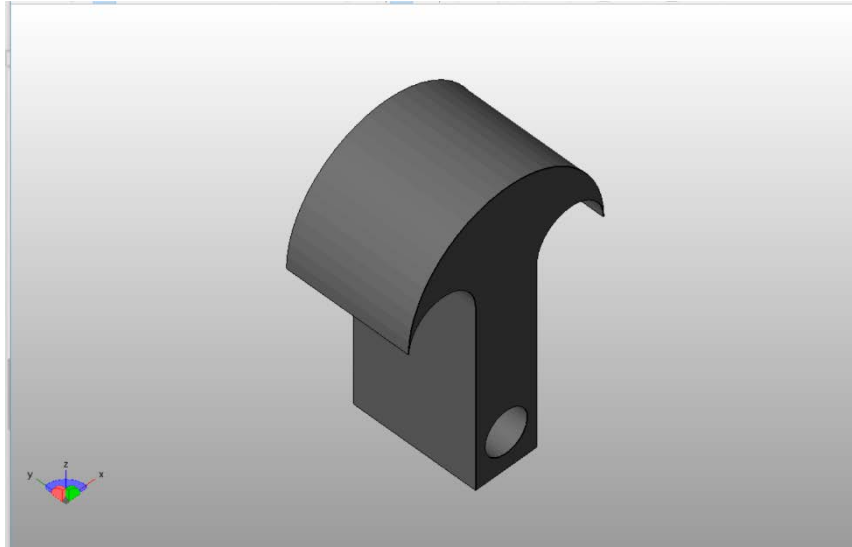


圖 2-8 第三代原型擺錘

其透過 3D 印表機所打印出的成品，如圖 2-9 所示。其中為了配合現場可得的螺栓，故另外印製了四面 L 型的底座，其上各開一個孔，以進行固定。

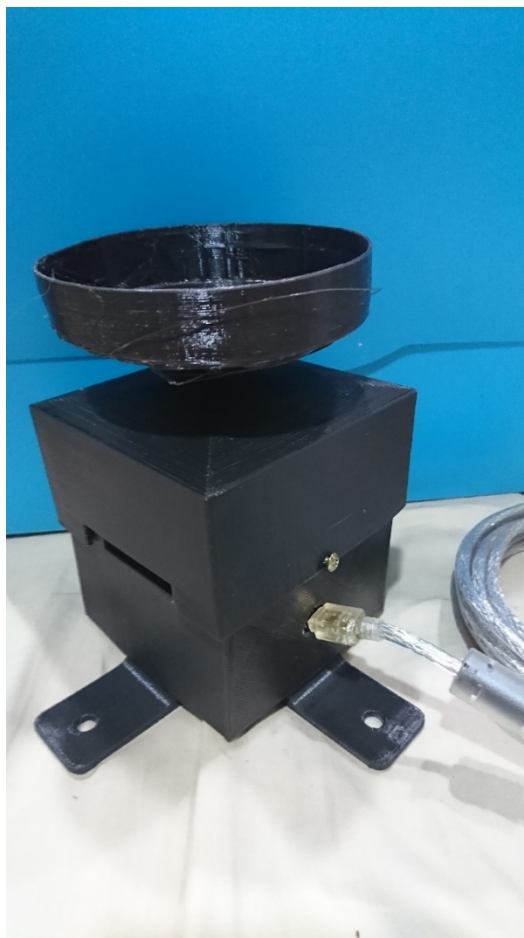


圖 2-9 智慧化雨量計成品圖

三代智慧化雨量計間之差異如表 2-1：

表 2-1 三代雨量計間之差異

	基座	擺錘	處理器	排水
第一代	輕薄	置於傾斗正下方	與傾斗機構分開	往下排
第二代	加高	加粗	置於基座內，整合成一體	側排
第三代	增加 L 型固定座	圓弧形擺錘	置於基座內，整合成一體	側排

由於智慧化雨量計係利用 3D 印表機打印，耗費之材料不多，比傳統式雨量計便宜許多，可以大幅降低雨量計購置成本。

其電路部分如下圖 2-10 所示，其主要透過 arduino nano 進行運算，再由電腦的 labview 程式進行紀錄，並輸出至 excel 檔案。

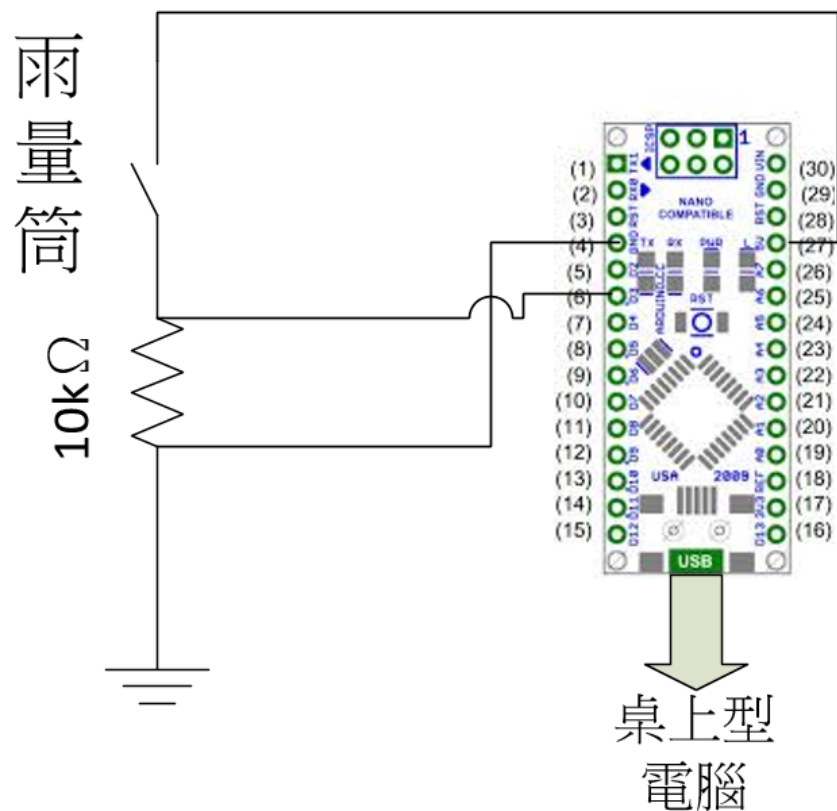


圖 2-10 智慧化雨量計電路圖

二、軟體設計

雨量計要進行雨量量測，需要微控制晶片進行傾斗傾倒次數計數後，再乘上單位，就能得到其累積雨量資訊。本系統採用 arduino nano 開發板作為其微控制晶片，並透過外部觸發的方式進行傾斗傾倒次數測定，其計算流程圖如圖 2-11 所示。

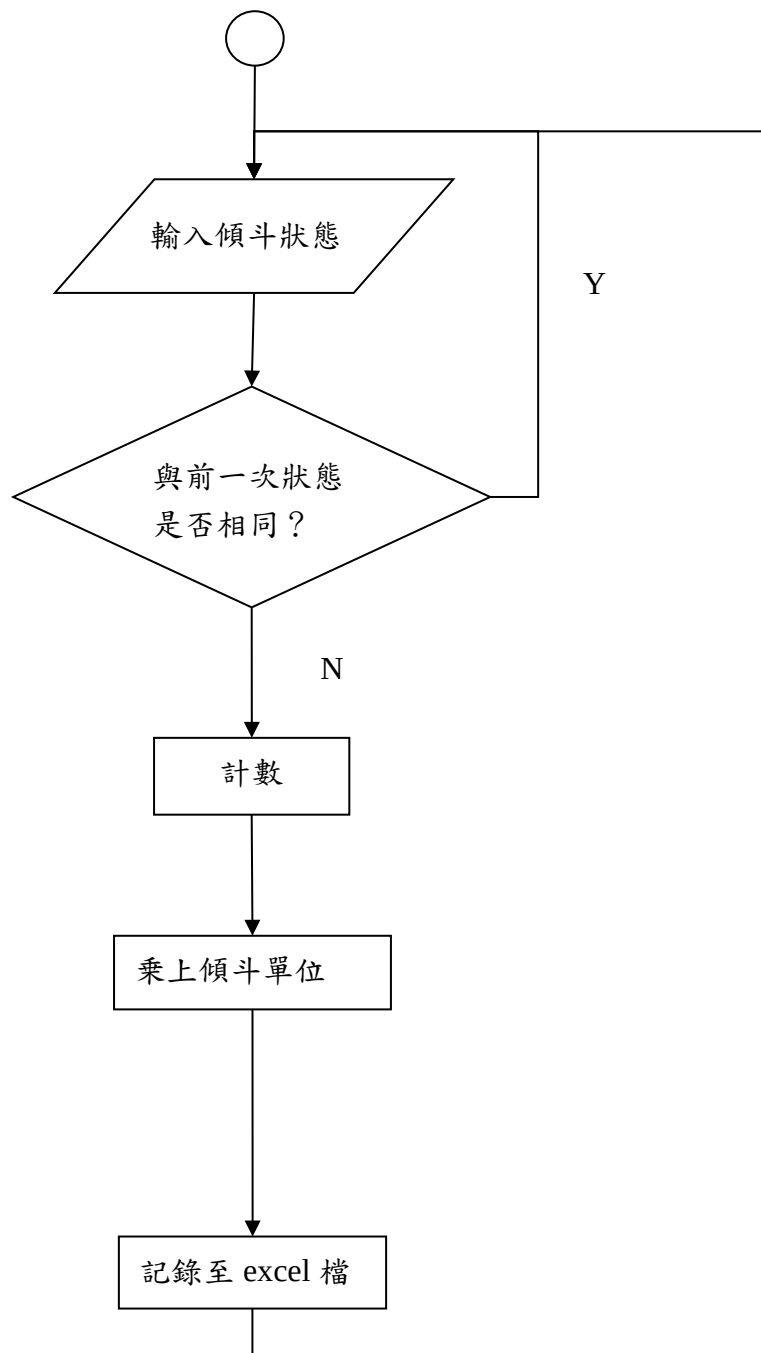


圖 2-11 智慧化雨量計流程圖

由上述流程圖可以看到，從程式開始運行後，只有當讀取傾斗狀態的腳位接收到不同訊號時，整個運算程式才會進行啟動。

在使用者界面的部分，主要使用 Labview 程式語言進行開發，其目前介面如圖 2-12 所示。左上角的紅色警戒雨量欄位是提供使用者輸入當地紅色警戒雨量數值。VISA resource name 欄位是選擇傳輸線的串口。Read buffer 欄位是顯示收到的資料內容。為了未來能有多個串口連結，所以有不同的 label 來進行區分。而右上角的欄位是提供線性的逃離時間預測，而燈號則是監控是否超過輸入的紅色警戒雨量。右下角的 stop 鈕是停止程式。

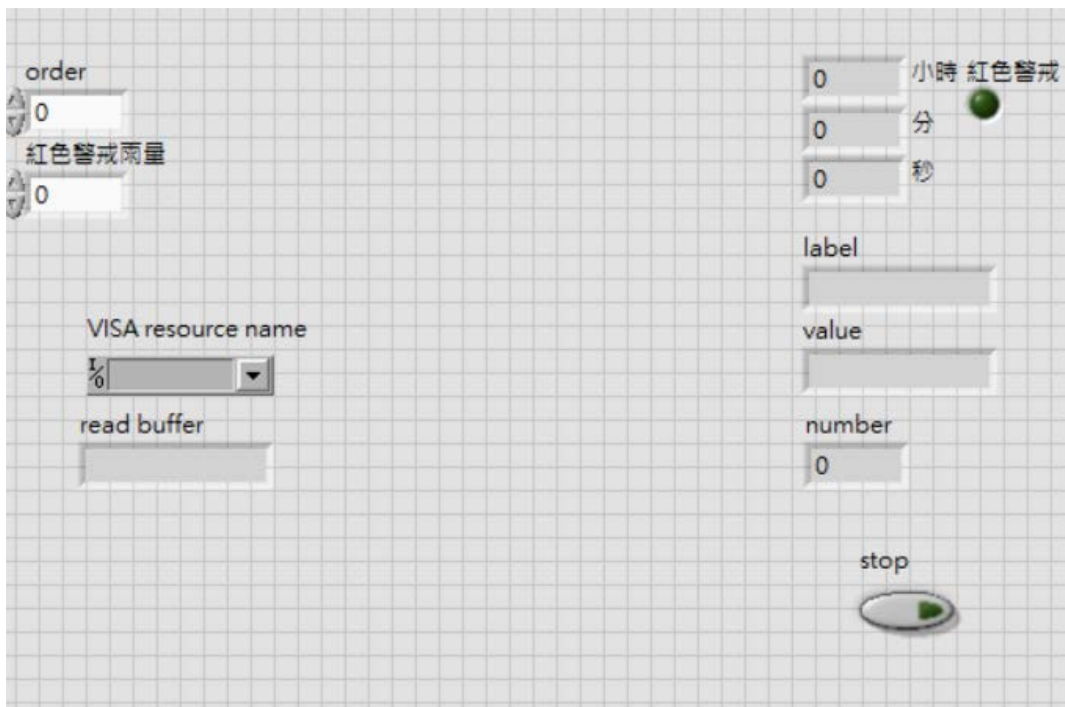


圖 2-12 使用者介面圖

貳、智慧化水位計

一個臨時性的監測系統的設置，常會遇到其構造組裝耗時和需要連結市電等問題。本系統主要目的便以簡單移動和綠能充電作為其核心價值進行開發。本系統主要由三個子系統組成，分別為電源供應系統、量測系統和運算暨儲存系統。電源供應系統主要提供電能給運算暨儲存系統，使其可以發布命令給量測系統進行量測，量測後的資料將回傳給運算暨儲存系統中進行儲存，如圖所示，以下將

分別細數各系統的內容及功用。

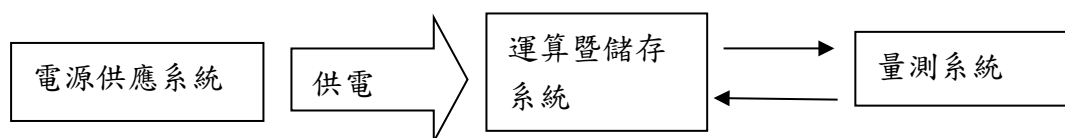


圖 2-13 各子系統運作流程圖

一、電源供應系統

電源供應系統共有電源管理板、電池組、太陽能板和微水力發電系統等組成。晴天時以太陽能板發電，並將多餘電量儲存在可充電電池組內；由於陰、雨天無法藉由太陽能板發電，因此以微水力發電系統發電代替。由於兩者之輸出電壓不同，也同時和微處理器之輸入電壓不同，因此，在電源供應系統之輸出、入端必須藉由電源管理板先做電壓調整處理。以下將對上述物件進行介紹。

二、電源管理板

本系統採用的電源管理板為 li-po rider pro 電源管理板，這是一個專為 MCU 專案所設計的鋰電池充電管理和升壓電路的電源模組，並具備標準的 USB 輸出介面。其主要特性是不管電力來源為何都提供穩定的 5V 輸出給控制核心，且晶片中已撰寫充放電和保護演算法，能避免電池組或晶片燒毀。本系統利用這塊電源管理板，透過不同輸出電壓之太陽能板和微型水力發電機並聯來提供綠能充電的效果，如圖 2-14 所示。

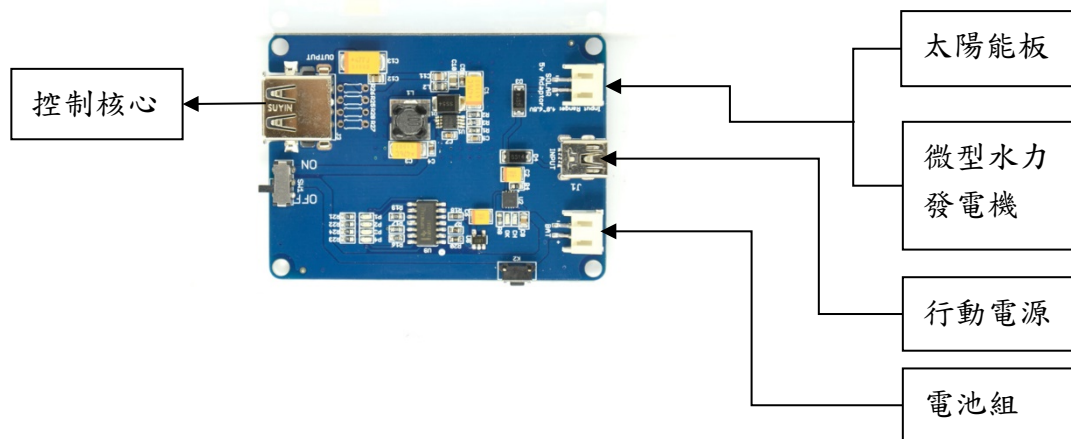


圖 2-14 電源供應系統電路示意圖

三、太陽能板

太陽能板是透過光電效應產生電壓，本系統採用的太陽能板電壓為 3.3 V，為電源管理板的容許值內。

四、微水力發電系統

為因應其便利性，此處使用一般常見的電腦風扇進行設計，便透過水槽試驗進行驗證，其實驗架設圖，如圖 2-15 所示。



圖 2-15 微水力發電系統實驗架設圖

此處先比較傾斜和垂直的差異性，如圖 2-16(a)(b)所示，在同樣為 0.22 m/s 的流速下，風扇在傾斜的時候所測得的電壓為 0.18 V，而當風扇在垂直時，則會有 0.25 V，其傾斜角度會影響其電量，推估其原因大概是進入扇葉的水量和風扇的角度皆有關連。

另外，也有用市售的發電機馬達進行測試，測試樣品如圖 2-17 所示，其馬達防水只用熱熔膠，測試記錄如圖 2-18 所示。測試結果發現，發電機馬達的電壓在 0.22 m/s 時，與一般電腦風扇相同為 0.25 V，而加速至 0.3 m/s 時，可以有 0.39 V 的電壓產生。但是發電機馬達的防水性能必須自行製作。



圖 2-16(A) 傾斜量測



圖 2-16(B) 垂直量測

兩者比較起來，雖然一般電腦風扇的上升幅度不大，但是其有 IP68 的防水防塵認證，而發電機馬達需額外處理防水問題，故目前先採用一般電腦風扇進行設計。

目前之試驗以清水流為主，理論上，低泥沙濃度水流不會影響葉片旋轉。擬在第三年探討不同泥沙濃度情況下之運作情形。

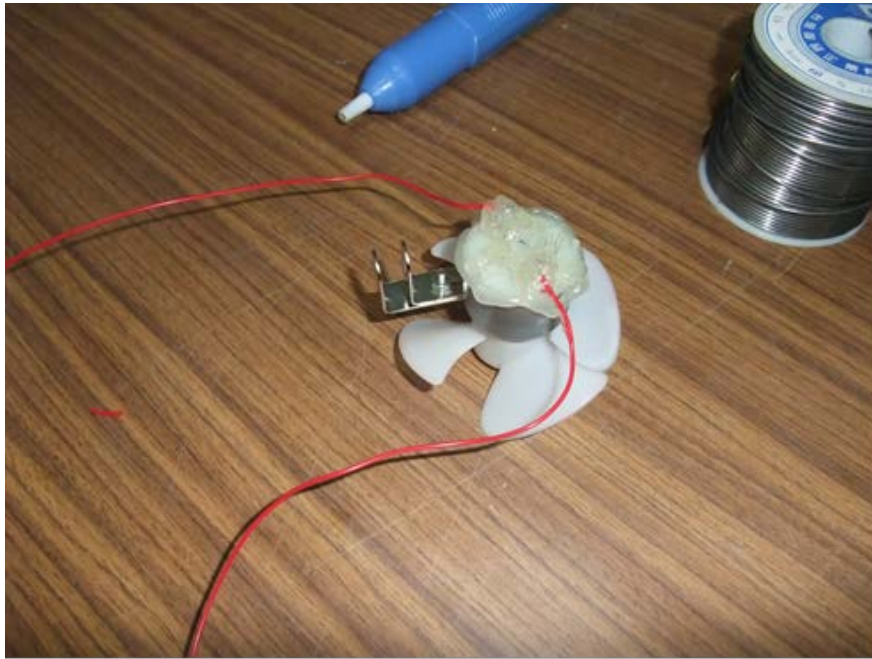


圖 2-17 發電機馬達完成圖



圖 2-18 發電機馬達測試圖

五、量測系統

量測主要用市面上的超音波感測器進行量測，其量測範圍和靈敏度，對於本系統已十分足夠，其原理是藉由超音波對水面進行反射的方式進行距離量測，之後數據處理時，會再減掉總高度後取絕對值，才為真正的水位。因本次安裝地點

都為溢流口斜面，在進行裝設的時候都需要用箱尺進行斜面長度量測，再透過三角函數換算出總高度以進行計算。

六、運算暨儲存系統

本系統與智慧雨量計都使用 arduino nano 當作運算核心，當時間到的時候會透過超音波感測器進行距離資料擷取，擷取後的資料將會存進 SD 卡中，目前設定為 1 小時擷取一次資料，未來會改成 10 分鐘擷取一次，其詳細電路圖，如圖所示。

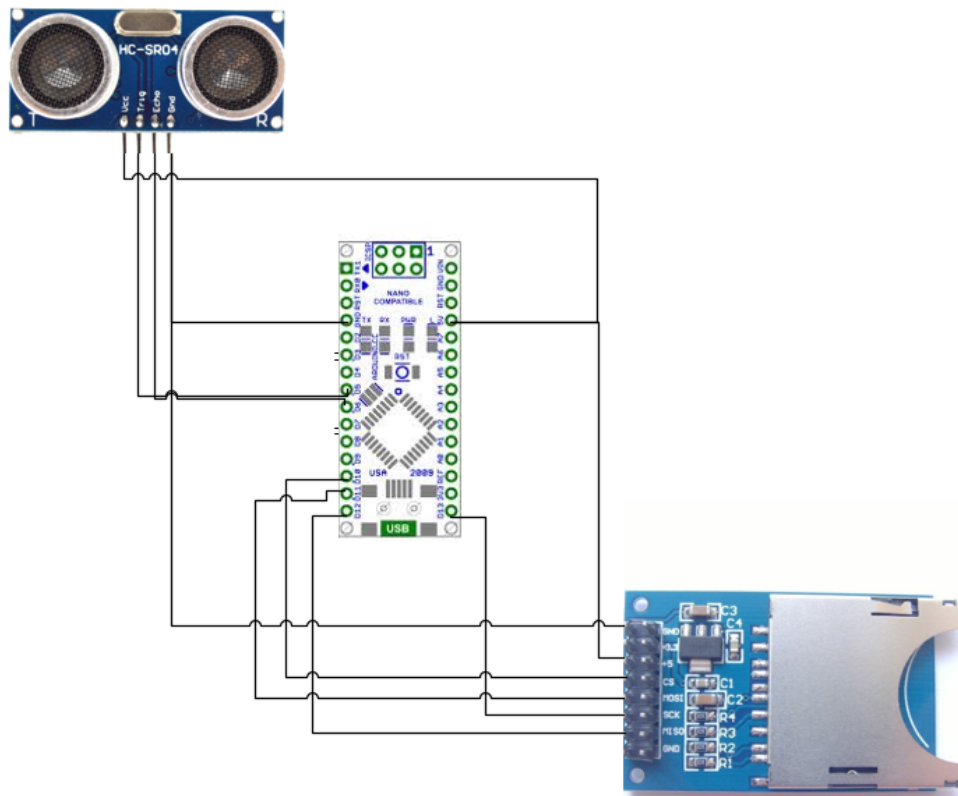


圖 2-19 智慧化水位計電路圖

就量測時間而言，因為其電池組為 4 顆 18650 電池並聯而成，共可提供 13600 mAh 的電量。而 arduino nano 平常使用會消耗 70mA 的電量，計算後共可以持續 194 小時，相當於八天。透過電力管理系統，行動電源將會再提供 6000mAh 的電量，而太陽能板和水力發電也會持續提供些許電量，估計也只能撐到十二天。為因應此狀況便使用 low power library 的函式庫，透過此函式庫可以將 arduino nano

在不擷取資料的時間中呈現待機模式，當擷取時間到後再進行喚醒。此方法的好處為晶片處於待機狀態時，消耗為 μA 等級，而其缺點是在待機時間中的所有功能將會無法使用。對於本系統而言，待機時間中，並不需要特別的運算，故可採用此函式庫將更加省電，以延長量測時間。

七、實體外觀構造說明

實際製造出來如圖 2-20 所示，上方為太陽能板、右側金屬接頭會接上水力發電系統、而右的線是電源供應線和中間為超音波感測器。



圖 2-20 實體外觀構造圖

本套裝置係結合電源供應系統、感測器和微處理器在一方型塑膠盒表面和內部。在安裝到現場從事觀測後，中興工程顧問公司基於部分較偏遠地區，無法找到信號傳輸中繼站之合適地點，建議部分水位計採用人工每周到現場讀取資料方式進行，因此，本研究將第一代水位計改裝為感測器和微處理器各自獨立成為一個物件之兩件式改良式水位計。

八、安裝紀錄

為了能夠瞭解所製造設計之雨量計和水位計在野外實際操作之表現，本研究和中興工程顧問公司合作，首先將雨量計和水位計裝置在宜蘭縣員山鄉崩山湖和礁溪鄉五峰旗兩處做測試研究。接著，再增加宜蘭縣大同鄉之寒溪和碼崙兩處試驗地。其中，圖 2-22 之雨量計是測試傾斗靈敏度，待所有功能測試完成後，會接續設計基座支架安裝。水位計安裝在潛壩或防砂壩溢洪口，配合斷面尺寸，可以求得通過該構造物之流量。



圖 2-21 安裝過程圖



圖 2-22 雨量計安裝完成圖

九、實際架設



圖 2-23 現場安裝水位計



圖 2-24 崩山湖上游水位計安裝完成圖



圖 2-25 崩山湖上游量測總高圖



圖 2-26 崩山湖上游改良式水位計安裝完成圖



圖 2-27 崩山湖下游水位計安裝完成圖



圖 2-28 崩山湖下游量測總高圖



圖 2-29 崩山湖下游安裝微水力發電系統圖



圖 2-30 崩山湖下游改良式水位計安裝完成圖



圖 2-31 五峰旗水位計安裝完成圖



圖 2-32 五峰旗總高量測圖



圖 2-33 五峰旗改良式水位計安裝完成圖



圖 2-34 寒溪改良式水位計偵測器安裝完成圖



圖 2-35 寒溪改良式水位計處理器安裝完成圖



圖 2-36 碼崙 3 號壩改良式水位計安裝完成圖

十、第三方驗證

目前本研究自行研發、製作之雨量計和水位計僅有室內初步驗證作業，其成果主要作為回饋改善功能使用，相關參數尚能滿足法定標準，待大部分功能在現地測試完成後，擬通過第三方驗證，完成儀器製作。接著，將循正常法定程序申請智慧財產保護，再提供產業製作使用。

第三章 結果與討論

本年度計畫目標如下：

1. 雨量計、水位計運作自動化。
2. 撰寫程式傳送警戒值訊號至 Android 系統手機。
3. 除九芎湖試驗站外，增加尖石試驗站。
4. 比較傾斗式和其他型式雨量計之適用性。

在雨量計、水位計運作自動化之探討方面，再細分雨量計和水位計之功能設定、水位與時雨量分析、集水區逕流係數初探和水位計資料擷取形式與雜訊處理。

第一節 功能設定

本研究設定土石流預警功能有下列兩項：

- 壹、當累積雨量大於警戒值時，會發出警戒訊號。如實際降雨量大於附近雨量站紀錄時，會傳回訊號建議水土保持局調整警戒值。
- 貳、隨著降雨延時增加，即時計算分析剩餘之疏散避難時間。

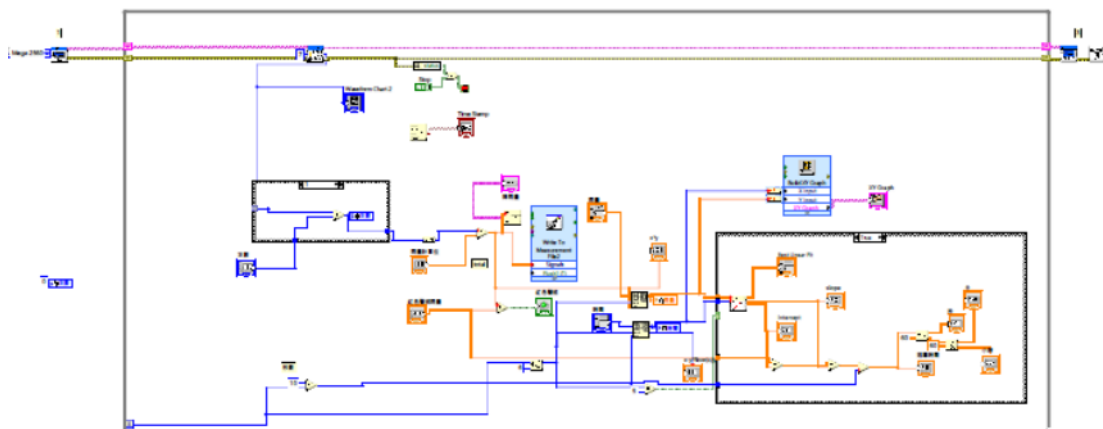


圖 3-1 LABVIEW 程式撰寫之流程圖

圖 3-1 係 LabVIEW 程式撰寫之流程圖。設計面板上提供下列資訊：

- 一、傾斗傾倒次數及其訊號圖(圖 3-2 左側)
- 二、雨量計傾斗單位(左上從左邊數來第三個)

三、累積雨量及其累積曲線(中上右與右下)

四、紅色警戒信號燈(右上)

五、剩餘之疏散避難時間(燈右下)

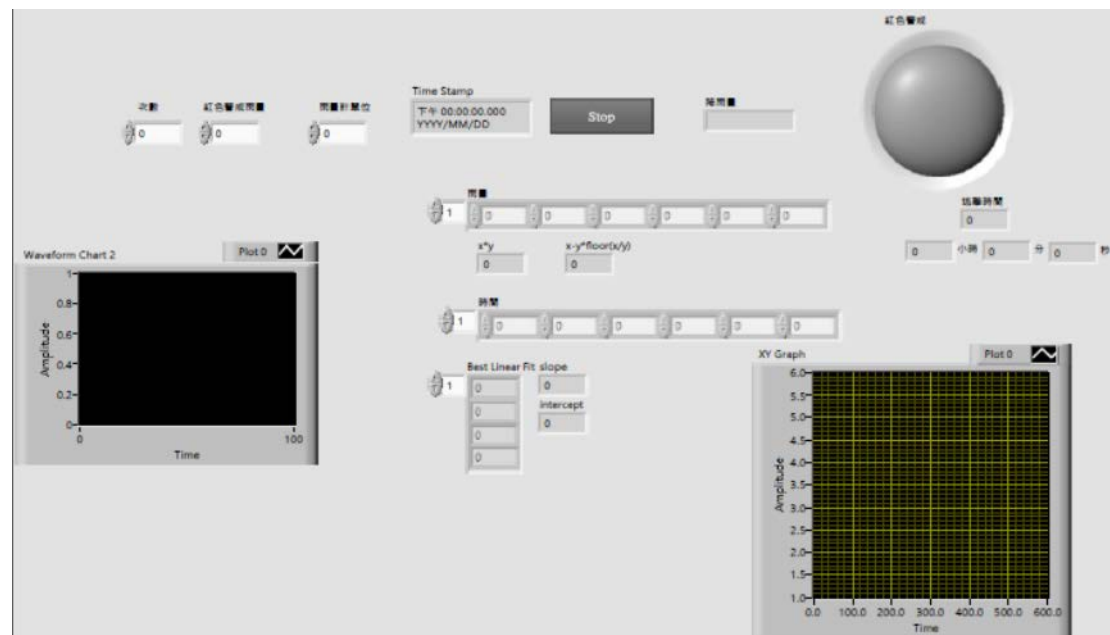


圖 3-2 土石流預警系統面板

當降雨事件發生且累積雨量小於警戒值時，面板呈現如圖 3-3 所示。

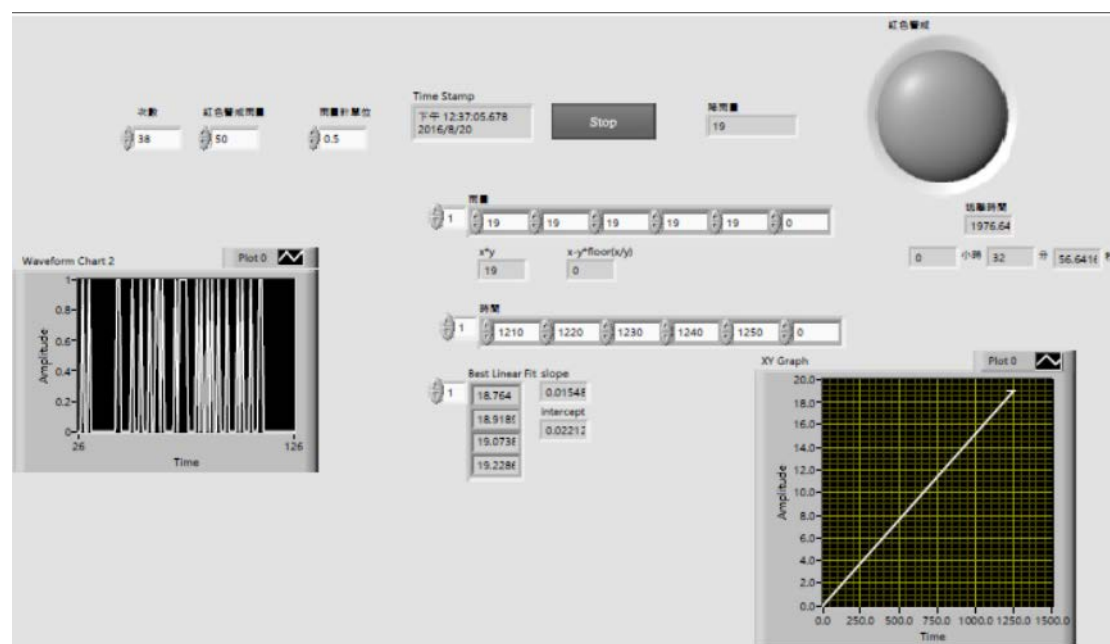


圖 3-3 土石流預警系統面板(降雨事件發生且累積雨量小於警戒值)

當降雨事件發生且累積雨量大於警戒值時，面板呈現如圖 3-4 所示。

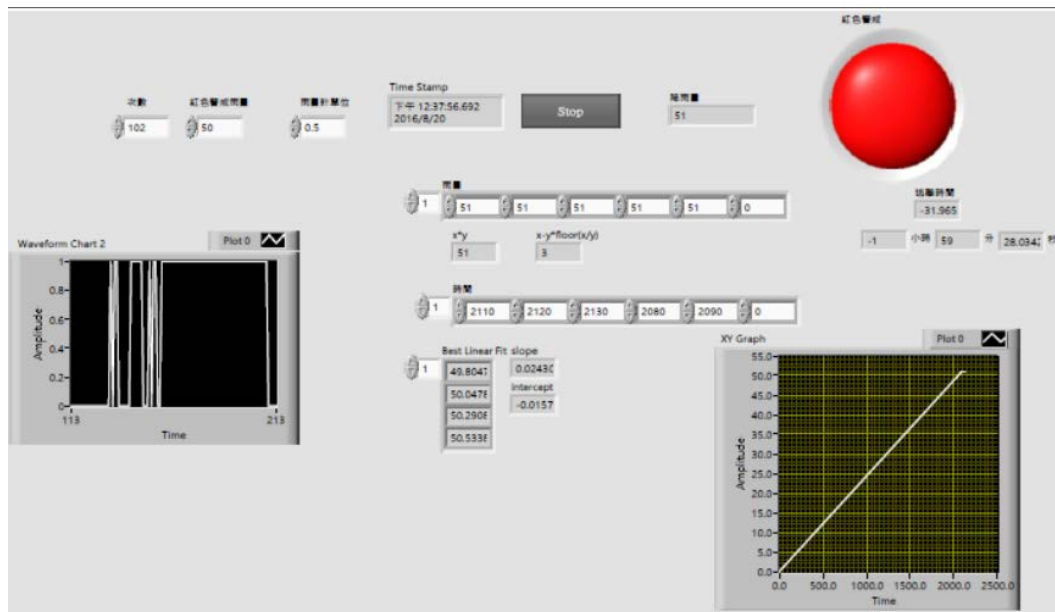


圖 3-4 土石流預警系統面板(降雨事件發生且累積雨量大於警戒值)

第二節 水位與時雨量分析

目前收集到雨量、水位資料：

1. 五峰 2017/8/28/16:00~2017/9/1/23:00，共 104 筆；
2. 崩山湖上游 2017/8/28/16:00~2017/8/31/23:31，共 104 筆；
3. 崩山湖下游 2017/7/12/10:44~2017/9/6/20:18，共 760 筆；
4. 寒溪 2017/8/28/14:00~2017/9/4/2:37，共 157 筆；
5. 碼崙 2 號壩 2017/8/21/12:00~2017/8/23/7:56，共 45 筆；
6. 碼崙 3 號壩 2017/8/21/13:00~2017/9/3/4:00，共 305 筆。

自下列圖中可知，與一般超音波感測器一樣，除了部分雜訊回傳造成負值或超大值出現外，大致上，各試驗點水位會隨著降雨有無而升降，而且，沒有降雨期間，因為水面受微風吹拂或水流流動關係，會造成超音波回傳雜訊出現。未來將努力消除雜訊，以提供更精準之數據。

由於觀測期間之降雨事件不多，目前尚未能充分掌握所有雜訊來源。雨峰和洪峰間有時間延遲是集水區集流時間關係，也是本研究未來擬探討之議題。

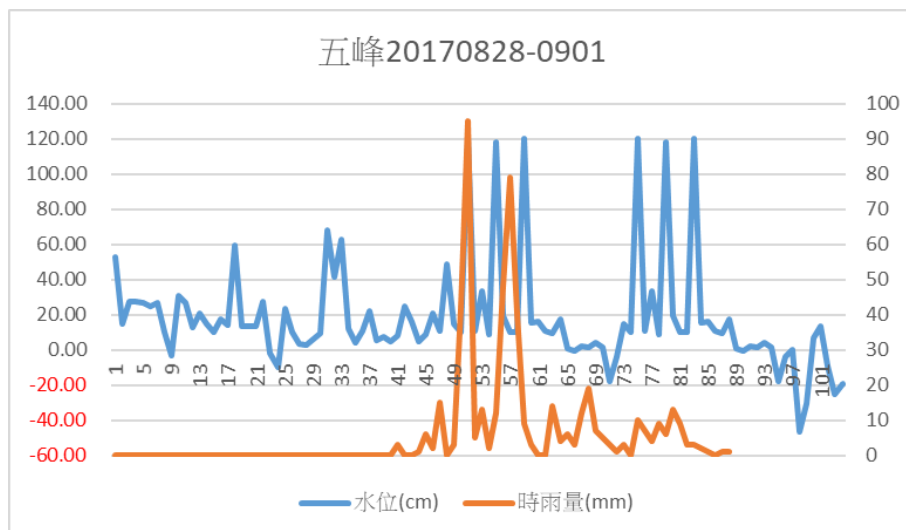


圖 3-5 五峰水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/1)

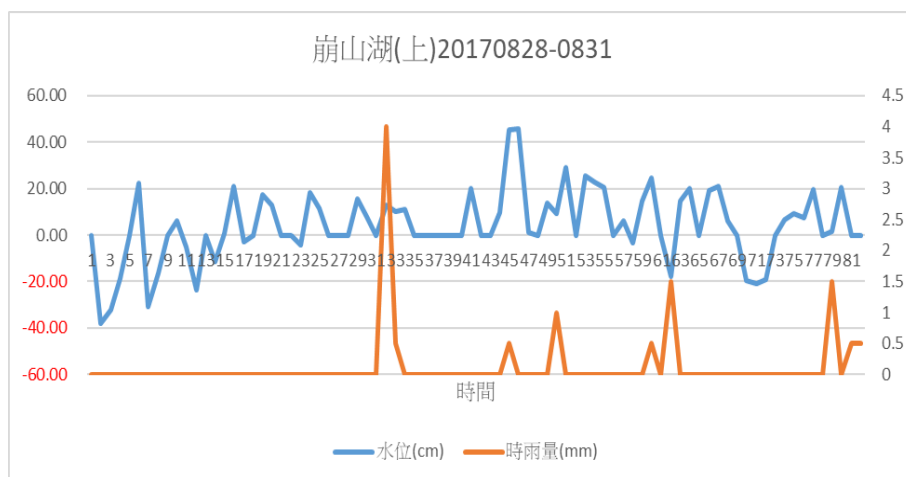


圖 3-6 崩山湖上游水位與時雨量關係圖(2017/8/28~8/31)

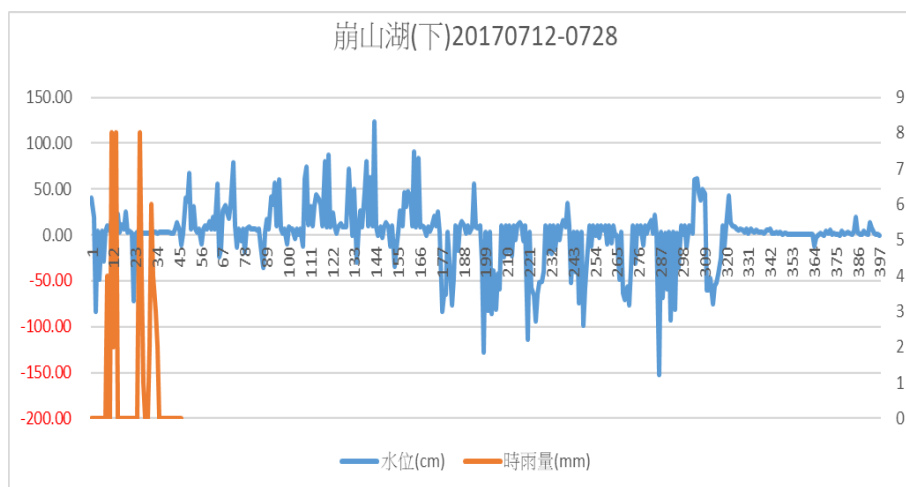


圖 3-7 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/7/21~7/28)

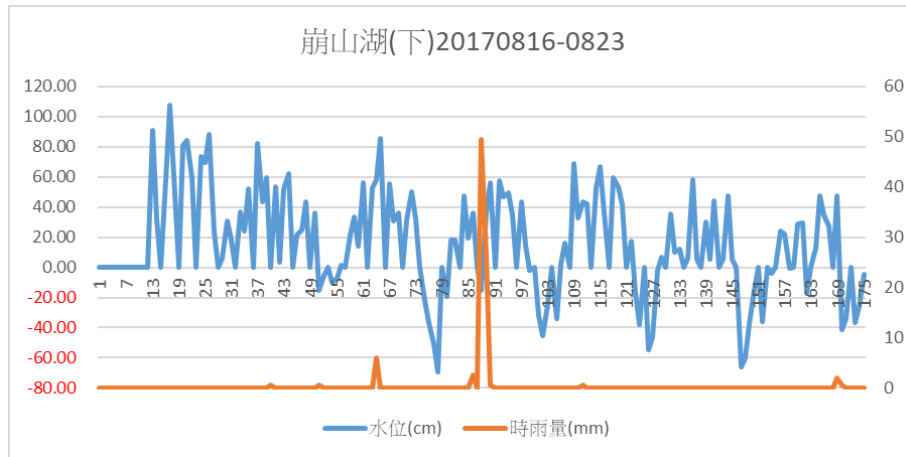


圖 3-8 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/8/16~8/23)

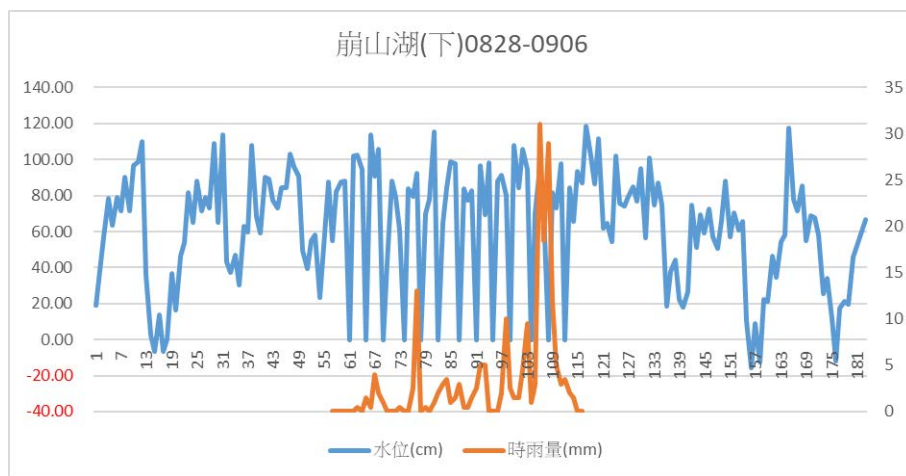


圖 3-9 崩山湖下游水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/6)

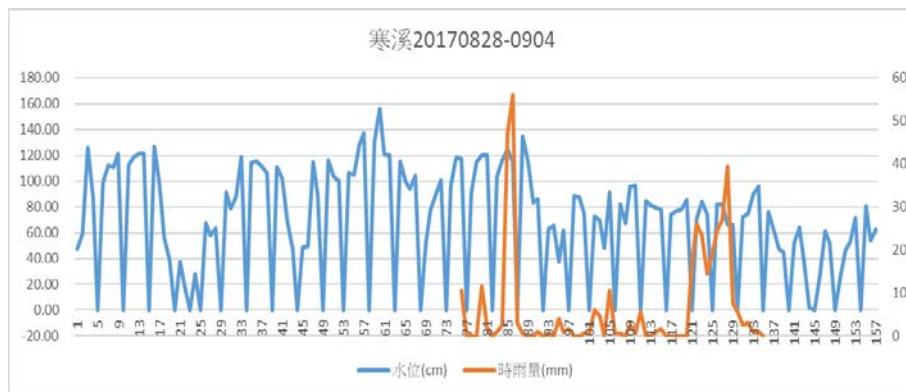


圖 3-10 寒溪水位與時雨量關係圖(2017/8/28~9/4)

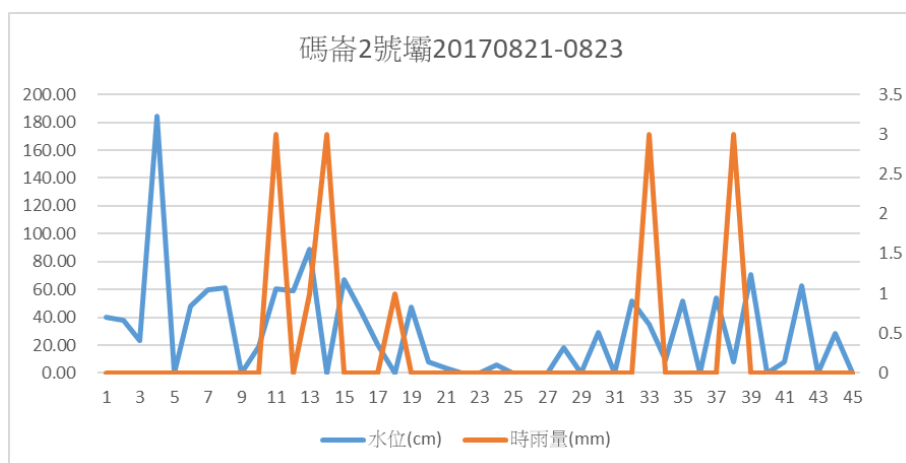


圖 3-11 碼崙 2 號壩水位與時雨量關係圖(2017/8/21~8/23)

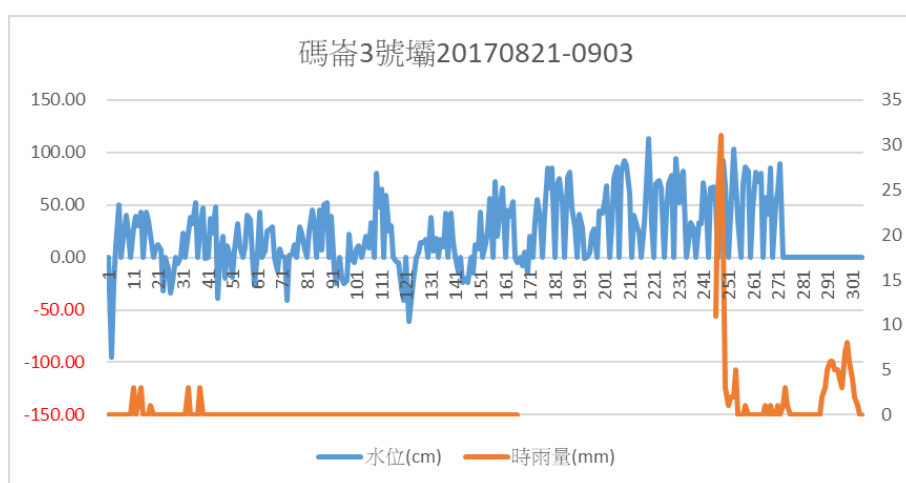


圖 3-12 碼崙 3 號壩水位與時雨量關係圖(2017/8/21~9/3)

2017/8/30 礁溪雨量站 18:00 和 19:00 時雨量分別為 3.5 和 10.0 公釐，圖 3-5 五峰那組訊號代表雨量計有感應；但卻為雜訊，正深入探討中。

第三節 集水區逕流係數初探

雖然集水區逕流係數推求並非本研究之工作項目，但卻可以是本研究成果之後續應用案例之一，因此，本研究嘗試以目前已經蒐集到之資料初探各集水區之逕流係數。集水區之逕流係數係依據水土保持技術規範第 18 條規定推估，亦即表 3-1。

表 3-1 逕流係數 C 值之選擇參考表

集水區 狀況	陡峻 山地	山嶺區	丘陵地或 森林地	平坦 耕地	非農業使 用
無開發整地區之 逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地區整地 後之逕流係數	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95~1.00

如果可以藉由所觀測控制點(如堰、壩等構造物)通過之流量和觀測之各重現期距降雨強度則可以推估該集水區較準確之逕流係數。

本研究各試驗站之控制斷面資料如下：

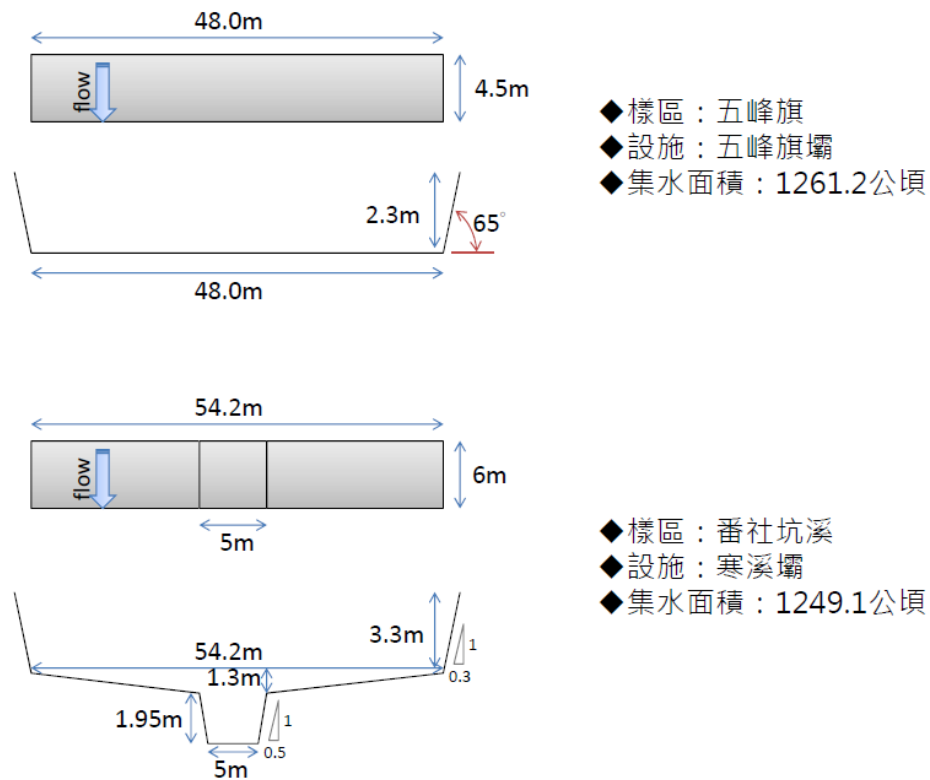


圖 3-13 五峰和寒溪防砂壩尺寸及其集水面積

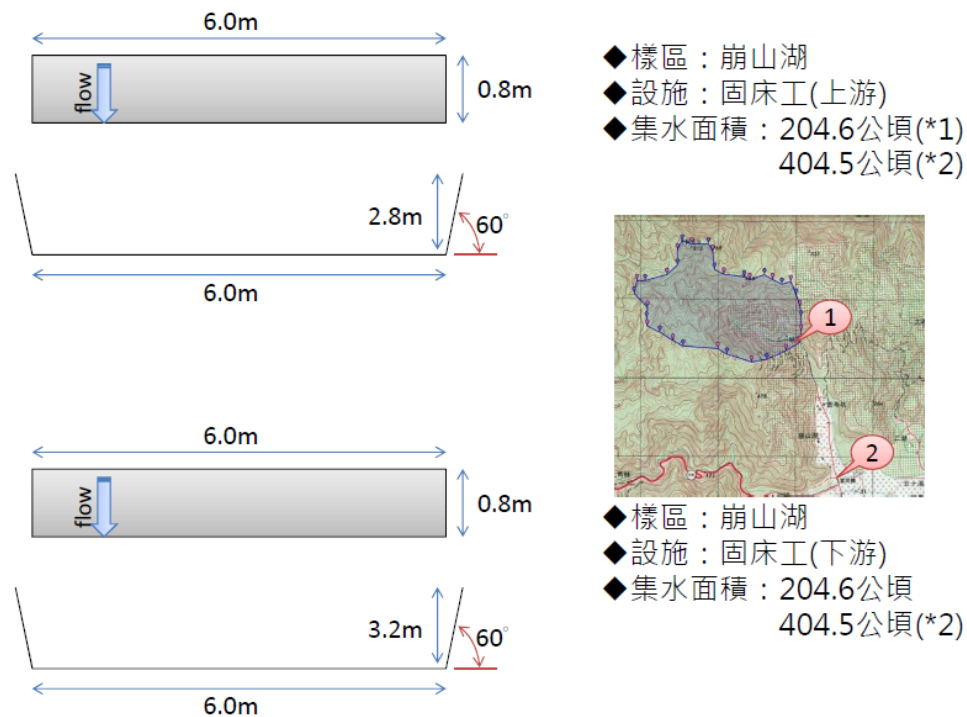


圖 3-14 崩山湖上下游整流工程尺寸及其集水面積

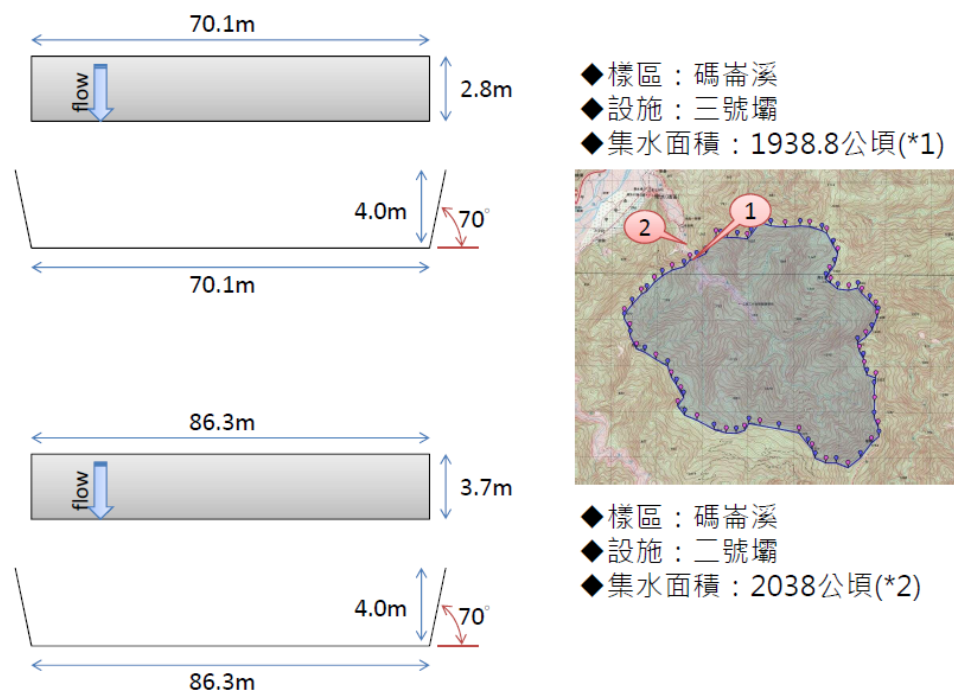


圖 3-15 碼崙 2 號、3 號防砂壩尺寸及其集水面積

由於本研究各試驗站之整流工程或防砂壩均設計梯形溢洪口，而梯形斷面溢洪口流量估算公式為：

$$Q = \frac{2}{15}(2b_u + 3b_o)ch\sqrt{2gh}$$

式中， Q = 排洪量(cms)； b_u = 梯形頂寬(m)； b_o = 梯形底寬(m)； c = 流量係數，一般採用 0.6； g = 重力加速度， $9.81 m/s^2$ ； h = 溢流水深 (m)。

另外，水土保持技術規範第 17 條規定以合理化公式估算洪峰逕流量，公式如下：

$$Q_p = \frac{1}{360}C_pIA$$

式中， Q_p = 洪峰流量(cms)； C_p = 逕流係數； I = 降雨強度(mm/hr)； A = 集水區面積(ha)

計算步驟：將通過整流工程或防砂壩之溢流水深代入求得通過梯形溢洪口之排洪量，如果該降雨強度為某重現期距之最大降雨強度時，則將排洪量和該降雨強度代入合理化公式求得該集水區之逕流係數。

由於試驗期間都未發生超過 25 年(排水系統之設計洪水量)或 50 年(防砂壩之設計洪水量)重現期距降雨事件，因此無法求得洪峰流量條件下之集水區逕流係數。雖然如此，本研究仍舊嘗試將試驗數據代入求得各集水區之逕流係數，自下列流量和逕流係數關係圖可知，在未發生某特定重現期距降雨事件時，以控制點水位求得流量再據以估算逕流係數，其變動情形非常混亂，有時候逕流係數隨水位增加而增加；有時候則降低。得到降雨強度為某重現期距之最大降雨強度時，將可藉由流經控制點之水位求得該集水區逕流係數之結論。

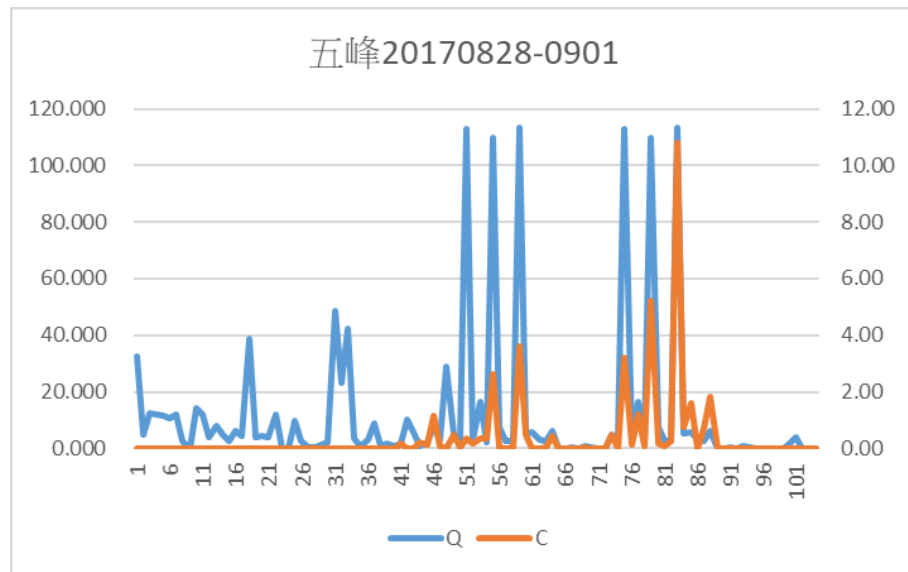


圖 3-16 五峰流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/1)

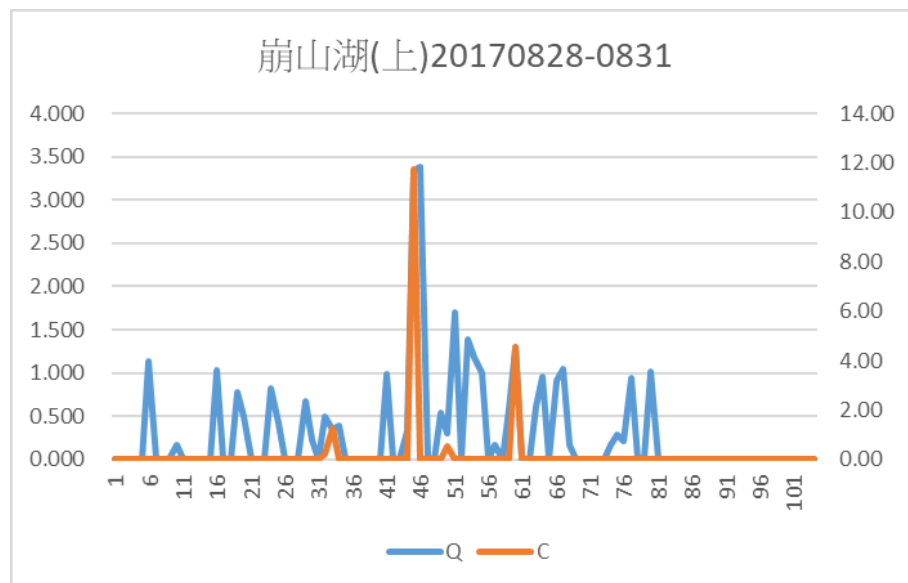


圖 3-17 崩山湖上游流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~8/31)

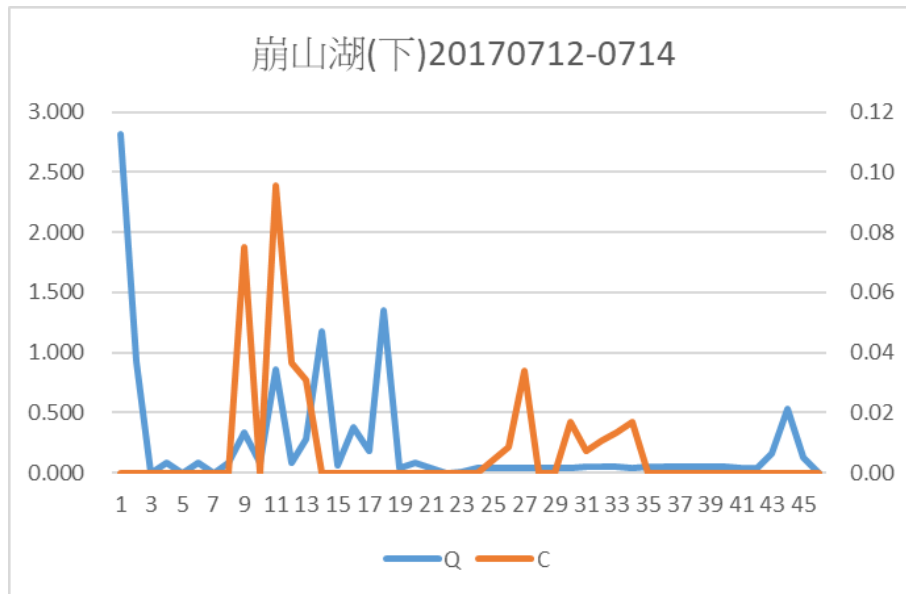


圖 3-18 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/7/12~7/14)

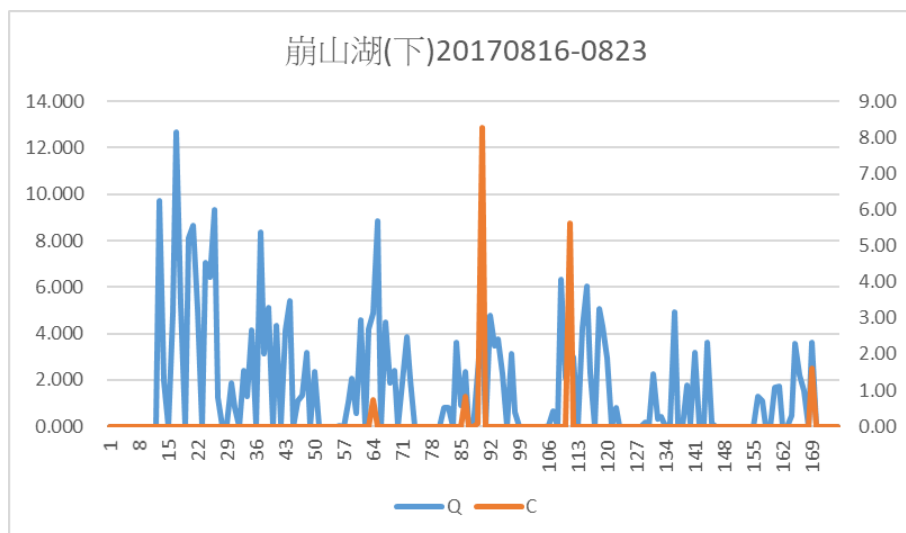


圖 3-19 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/8/16~8/23)

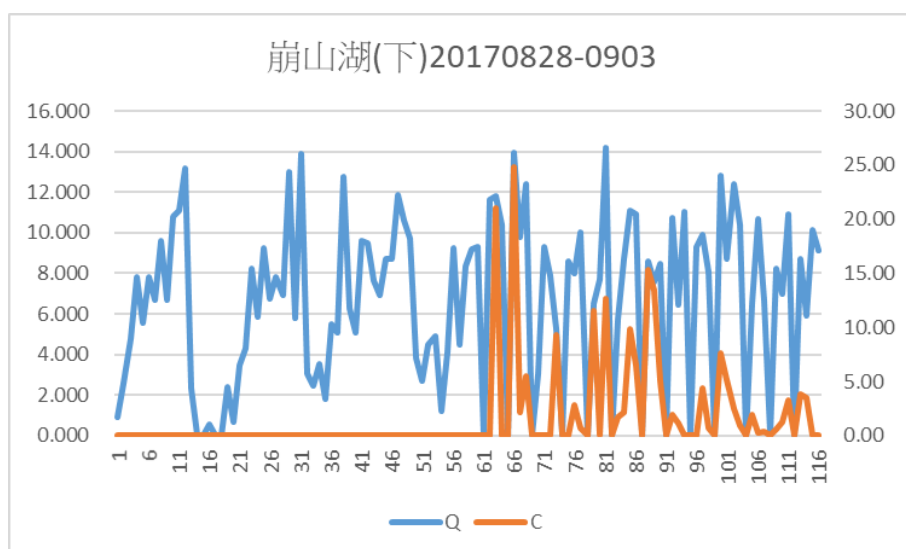


圖 3-20 崩山湖下游流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/3)

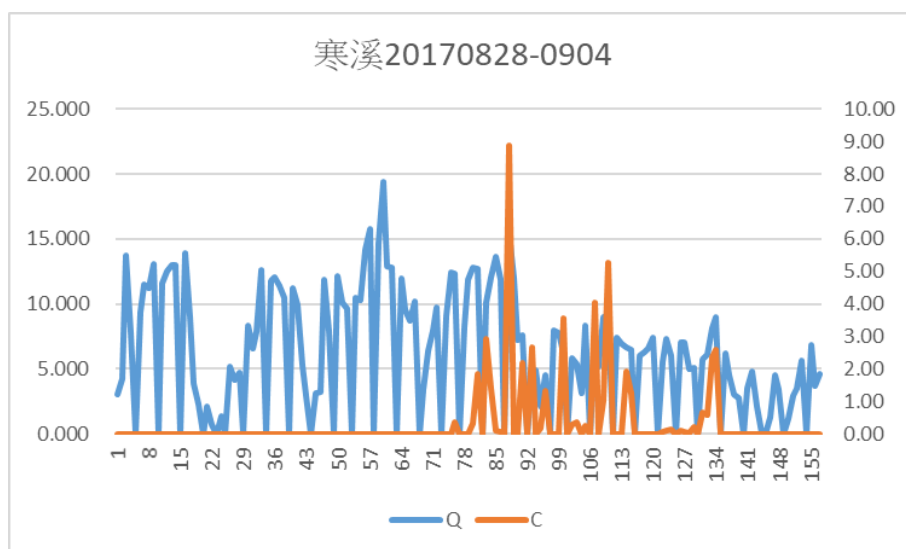


圖 3-21 寒溪流量和逕流係數關係圖(2017/8/28~9/4)

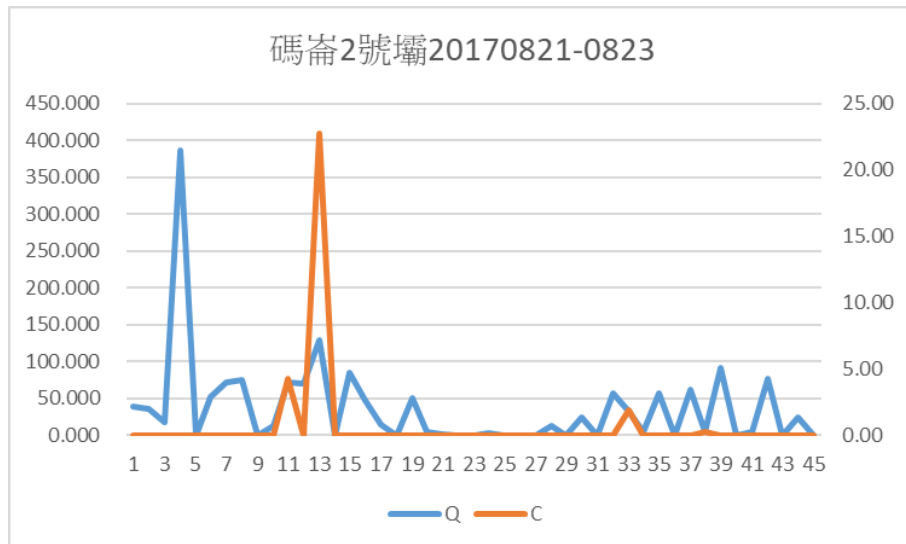


圖 3-22 碼崙 2 號壩流量和逕流係數關係圖(2017/8/21~8/23)

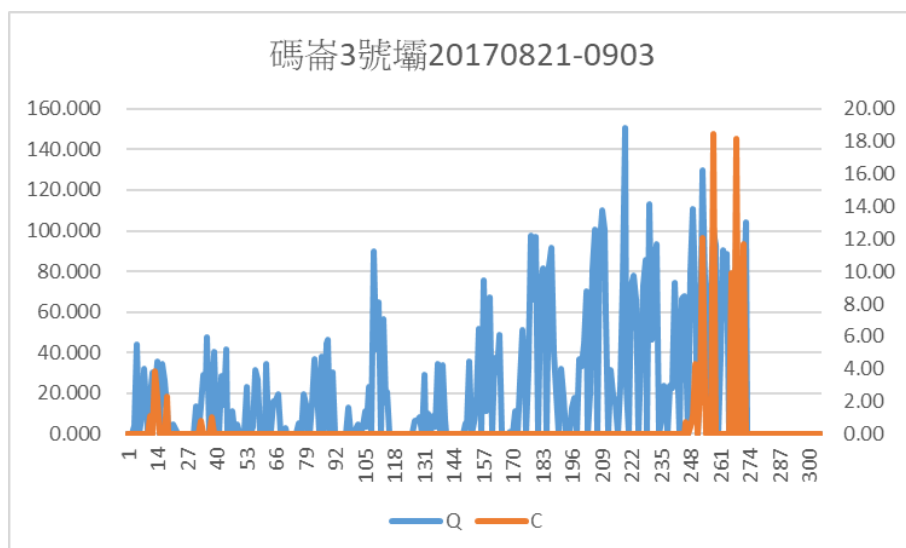


圖 3-23 碼崙 3 號壩流量和逕流係數關係圖(2017/8/21~9/3)

第四節 水位計資料擷取形式與雜訊處理

本研究為因應資訊傳送中繼難易度，發展出兩種不同資料擷取形式。一種為人工於固定期間擷取資料，再予以分析；另一種則為自動處理後再傳送警戒資訊。雖然如此，為達到物聯網之精神，未來仍然要解決資訊傳送中繼問題。

超音波感測器之優點為價錢便宜；缺點則是感測對象越平整光滑，雜訊越少。亦即超音波水位計沒有位於垂直水面位置、水面波動大或有大小懸浮物出現，都

會產生雜訊。需要經過濾波機制和增加觀測頻率，才能讓廉價超音波水位計降低雜訊發生頻度，以作為臨時或短期水位觀測使用。

另外，由於感測器和處理器都安裝於野溪整流工程或防砂壩壩翼上，除了人為惡意破壞無法處理外，目前已經發現有電路板受潮，以及小昆蟲或小動物自儀器和縫隙鑽入做窩，造成短路現象層出不窮，未來將會同時研發防潮和防蟲設施。

第五節 電源供應系統

由於本研究研發盡量縮減軟硬體耗電量之各項措施，而且規劃晴天使用太陽能板發電；陰雨天則使用微水力發電系統之效果良好，可以解決目前水土保持局許多監測系統沒有市電供應不行之窘狀。同時，本研究之太陽能並聯微水力發電之發電系統可以提供水位計及其訊號傳輸使用。由於大部分雨量計可以安裝在市電供應範圍，建議雨量計之電力供應系統以市電供應為主。

同時，本研究依據政府與民眾不同需求，規劃不同資料處理成果，可以避免不必要之資料處理程序，加速處理速度。

第六節 撰寫程式傳送警戒值訊號至 Android 系統手機

由於 iOS 系統管制很嚴謹，使用也要付費，所以一般撰寫小規格 APP 都選擇 Android 系統，容易上傳又是免費。雖然本案程式已經初步撰寫完成，但是傳送訊號之耗電量蠻大，不是太陽能和微水力發電系統之發電量所能負荷。如果要使用這項功能必須是市電供應之雨量計或水位計，在這種情況下，也能同時裝設電腦設備和有線傳輸系統，相關功能如傳輸品質較高，傳輸範圍較廣等，將導致無線傳輸無法凸顯其特色。

另外，目前法規規定僅有政府機關可以統一發布各項警戒值，智慧化雨量計和水位計不可以自行發布警戒值，僅能傳送政府機關或個人做為參考使用，因此，撰寫程式傳送警戒值訊號至手機作法之現實可行性不高。

第七節 除九芎湖試驗站外，增加尖石試驗站

去年度已經在九芎湖完成架設試驗站，包含一個雨量計和兩個水位計，原本計畫在尖石野溪整治工程完成後，在尖石增加一個試驗站。

如第二章「智慧化雨量計與水位計」之水位計「安裝紀錄」一節中所述：為了能夠普遍瞭解所製造之雨量計和水位計在現場實際操作之表現，本研究放棄在尖石增設一個試驗站之作法；而是與中興工程顧問公司合作，在宜蘭縣員山鄉崩山湖、礁溪鄉五峰旗、宜蘭縣大同鄉寒溪和碼崙共 4 處，設置 6 個觀測點(崩山湖包含上、下游各一點；碼崙則包括 2 號壩和 3 號壩)做測試研究。

相關安裝過程和觀測成果如第二章和第三章內容所述。

第八節 比較傾斗式和其他型式雨量計之適用性

世界氣象組織(WMO)曾於 2007~2008 年間於義大利 Vigna di Valle 舉行 Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges，蒐集世界各地 26 種、計有傾斗式、載重式、光學式、聲波式(又稱撞擊式)、壓力式、水準感應式和微都卜勒雷達式等七大類型式雨量計，予以互相觀摩、比較。雖然最早期之自動雨量觀測儀器有虹吸式雨量計，目前已經較為少見。該次會議也沒有蒐集虹吸式雨量計，所蒐集之 26 種雨量計如下表所示：

表 3-2 WMO 蒐集之雨量計

Model/Manufacture	Collecting Surface (cm ²)	bucket capacity (g)	Type	Operational range (mm/hr)
7499020BoMV2/RIMCO	223.6	20	Tipping bucket	0-500
AP23/PAAR	500	5	Tipping bucket	0-720
R013070/PRECIS-MECANIQUE	1000	20	Tipping bucket	0-450
PT 5.4032.35.008/THIES	200	2	Tipping	0-420

智慧化土石流預警系統建置(2)

			bucket	
R102(REFERENCE GAUGE)/ETG	1000	20	Tipping bucket	0-300
DQA031/LSI LASTEM	324	6.48	Tipping bucket	unlimited
T-PLUV UM7525/I/SIAP-MICROS	1000	20	Tipping bucket	0-250
PM B2(REFERENCE GAUGE)/CAE	1000	20	Tipping bucket	0-300
RAIN COLLECTOR II (7852)/DAVIS	214	5.43	Tipping bucket	0-2540
15188/LAMBRECHT	200	2	Tipping bucket	0-600
PP040/MTX	1000	20	Tipping bucket	unlimited
ARG100/ENV. MEAS. Lmt.	254	5.08	Tipping bucket	Not decleared
MRW500(REFERENCE GAUGE)/METEOSERVIS	500		Weighing Gauge	2-400
VRG101/VAISALA	400		Weighing Gauge	0.5-2000
PLUVIO/OTT	200		Weighing Gauge	0-1200
PG200/EWS	200		Weighing Gauge	0.1 to ∞
T-200B (REFERENCE GAUGE)/GEONOR	200		Weighing Gauge	0-600
TRwS/MPS	500		Weighing Gauge	0-3600
MPA-1M/SA "MIRRAD"			Weighing Gauge	0-1800
PWD22/ VAISALA			Optical Disdrometer	0.05-999.9
PARSIVEL/OTT			Optical Disdrometer	0.001-1200
LPM/THIES			Optical Disdrometer	0.005-250

WXT510/VAISALA			Acoustic detection of individual rain drops	0-200
ANS 410-H/EIGENBRODT	200		Pressure sensor	0-1200
Electrical raingauge/KNMI	400		Level sensor	0-300
DROP/PVK-ATTEX			Micro Doppler radar	0.1-240

最早期之虹吸式雨量計是以紀錄紙記錄降雨量，虹吸式雨量計是藉由虹吸現象排出雨量計內雨量筒所蓄存之固定雨量時，墨筆同時在紀錄紙上畫線，虹吸式雨量計不僅在虹吸現象發生時可能會有漏失雨量紀錄產生誤差，人工計算雨量之作法已經被電子紀錄器所取代。

載重式雨量計之精準度會因為內部計量之載重傳感器(load cell)規格不同而有不同，其中，載重傳感器之量測精度越高，越能記錄到小降雨事件；低量測精度之載重式雨量計僅能記錄到某種大小以上之降雨事件。如果精度要求不高，也有使用較便宜之張力計代替載重傳感器之作法。

載重式雨量計還有另一種誤差產生，也就是泥沙或是樹葉停留在雨量計上都會產生紀錄誤差。在風沙大或鄰近樹林之臺灣部分地區之可行性不高。

光學式雨量計是利用降雨穿過某一特定區域所產生之影像所產生之遮蔽效應去間接計算降雨量。對於小雨或是高強度降雨會有無法辨識，導致誤差產生之情形。雖然偵測器之精度可以適度改善此種不易辨識之降雨事件，高精度偵測器價錢昂貴且改善效果有限，對於經常發生高強度降雨事件之我國，適用性值得考量。

聲波式(又稱撞擊式)雨量計係利用雨滴打擊在薄膜上所產生之壓力，藉由內部計量之載重傳感器將壓力轉換成雨量。與載重式雨量計類似，聲波式雨量計之精密度會隨著載重傳感器規格不同而有不同，其中，載重傳感器之量測精度越高，越能記錄到小降雨事件；低量測精度之載重式雨量計僅能記錄到某種大小以上之

降雨事件。

壓力式雨量計大致可以分為兩大類，如果以雨量載重計算降雨量，則其優缺點類似載重式雨量計；如果是以雨滴打擊力量轉換成雨量，則類似撞擊式雨量計。

微都卜勒雷達式雨量計係發射電磁波到空中，如果電磁波遇到雲層或水氣會反射回到接收雷達。反映在雷達幕上之訊號即為回波。水氣越多，反射率越大，能量減弱程度越明顯。雖然水氣多不一定會發生降雨，但是一旦降雨，則雷達回波所換算之雨量則具代表意義。唯一的缺點就是購置和維修價錢昂貴。

水準感應式雨量計類似微都卜勒雷達式雨量計，係以電磁波發射，另一端接收訊號，雨量蒐集面積較一般傳統式雨量計大；但比微都卜勒雷達式雨量計小，購置和維修價錢價比微都卜勒雷達式雨量計少。

雖然載重式、光學式、聲波式(又稱撞擊式)、壓力式、水準感應式和微都卜勒雷達式等雨量計配備精密量測元件，具有精準度高之優點，但也隨著精度越高，價錢越貴亦是事實。1889 年，德國人 Sprung 和 Fuess 設計傾斗式雨量計，因為價錢便宜，維修保養容易，為目前氣象觀測自動化最常見之雨量觀測儀器。其缺點則是高降雨事件有可能會產生傾斗快速運作過程造成漏失雨量現象而產生誤差。另外，則是低於傾斗容量之降雨事件無法記錄。

以臺灣地區而言，傾斗式和微都卜勒雷達式雨量計會較適合，如果是短期或是暫時使用之雨量計，則價錢高低將是主要之選擇關鍵因子，以本案而言，傾斗式雨量計會是首選。

第四章 結論

經過儀器研發，以及現場安裝後之檢討、改進和分析，本研究獲致以下幾點主要結論：

- 一、 本研究發展出精準度足夠，且價錢便宜之雨量計和水位計，可提供臨時或短期觀測使用。觀測資料可做為長期設站之參考。
- 二、 本研究之電力供應系統擺脫山區或偏遠地區市電供應之限制，有利於臨時或短期觀測站之布置。
- 三、 水位計資料擷取系統可分為人工和自動兩大系統。
- 四、 藉由五峰、崩山湖、寒溪和碼崙等 4 個試驗區，6 個試驗點之資料分析結果，水位與時雨量之關係十分吻合。由於試驗期間沒有發生 25 年以上重現期距之降雨事件，因此，無法求得 25 年或 50 年重現期距之試驗點集水區逕流係數。

今年係探討如何將太陽能與微水力發電系統並聯運作。擬在第三年探討設計如何避免湍流沖走或石塊撞毀之微水力發電系統機構。同時建議未來能夠多選擇試驗點安裝雨量計和水位計，藉由現場監測或觀察，持續回饋、改良感測儀器在現場之適用性。

附錄

附錄一、期初簡報委員建議回覆

審查意見	回覆說明	對應章節
初審意見		
1. 有關經費審查部分 (略)	遵照辦理	
2. 為配合本局業務需求，計畫內容建議調整部分：是否可將試驗雨量站普及化，解決現階段雨量站不足之問題，冀在計畫中說明。另自動調整各地區之警戒值之調整原則，亦建議詳細說明。	試驗雨量站精準度足夠，價錢便宜，可以做為暫時或短期雨量站使用，也可以做為建置永久雨量站之參考依據。如實際降雨量大於附近雨量站紀錄時，會傳回訊號建議水土保持局調整警戒值。	PP.1-2、4-1、3-1
複審意見		
1. 有關經費審查部分 (略)	遵照辦理	

附錄二、期中簡報委員建議回覆

審查意見	回覆說明	對應章節
1. 建議對於智慧型系統的電力來源，除了利用太陽能及微水力發電之外，為避免二者均無法順利發電或供電時，宜再考慮另一個備援電力。	謝謝指教，本研究之太陽能並聯微水力發電之發電系統可以提供水位計及其訊號傳輸使用。由於大部分雨量計可以安裝在市電供應範圍，建議雨量計之電力供應系統以市電供應為主。	P.3-15
2. 建構可獨立運作的物聯網式的土石流預警系統引用新的觀測系統，及有需要，本案建議智慧化系統功能確可精進。	謝謝指教，本案研發之智慧化雨量計和水位計，未來還需要一段時間的現場測試和改善，才能現場使用。	P.4-1
3. 雨量計用 3-D 列印，可能不符經濟效益，大量生產的產品較為便宜可靠。	謝謝指教，目前使用 3-D 列印，係試驗原型雨量計，待全部功能測試通過第三方驗證後，才有可能交給協力廠商大量製作，以降低成本。	PP.2-31~2-32
4. 本案目前已達可行且已安裝現場測試，成果可期，後續整合現地分析可以做預警的過程。	謝謝指教，本案研發之智慧化雨量計和水位計，未來還需要一段時間的現場測試和改善，才能現場做為預警使用。	P.4-1
5. 建議補充現已發展之軟硬體未來商業化所需費用，並與現有商業化設備之經費比較，以做經濟效益評估之比較。	謝謝指教，以 3D 印表機打印雨量計可以大幅降低雨量計之購買經費，當不計設計費、人力和電力費用時，材料費不超出 2,000 元。比傳統式雨量計便宜許多。	P.2-11
6. 傳輸向為監測工作最難克服之問題，本計畫提出利用 XBee 傳輸極具創意，期末可提出具體結果加以說明。	謝謝指教，九芎湖測試結果與五峰類似，雨量計傳回之部分訊息有降雨事件；但卻為雜訊，正深入探討係雨量計或是無線傳輸問題中。	P.3-7

7. 除太陽能板外，不適利用微水力發電供應電力者則當如何處理？	謝謝指教，本案雨量計和水位計除配置發電系統外，也連接蓄電池，可以供應短期電力。如果環境十分惡劣，就僅能選擇市電或發電機。	PP.2-19，3-15
書面意見		
1. P.2-23 實際架設的情形，請以更詳細的文字說明所附照片。	謝謝指教，目前架設情形係針對各項功能做測試之臨時或短暫措施，待所有功能測試完成後，會依據相關規範架設。	P.2-22
2. 本年度之計畫目標請以條列式詳細說明。	謝謝指教，遵照辦理。	P.2-32
3. 目前之「結果與討論」章節還看不出對應本年度計畫目標「比較傾斗式和其他形式雨量計在臺灣地區之適用性」之內容。	謝謝指教，雖然傾斗式雨量計在極小或極大強度降雨事件會有誤差出現；但其經濟優勢還是比較會被選用。	PP.3-18~3-22
4. P.2-3，智慧型雨量計的三角形傾斗尺寸(長、寬、高)可否標示於設計圖上？	謝謝指教，遵照辦理。	P.2-8
5. P.2-15，所提之微水力發電系統在含泥沙的水流中是否可以正常運作？	謝謝指教，低泥沙濃度水流不會影響葉片旋轉。擬在第三年探討不同泥沙濃度情況下之運作情形。	P.2-17
6. 圖 2-16 試驗時是否有將風扇完全浸沒水中？	謝謝指教，圖 2-16 是為了清楚顯示風扇影像；實際量測時，風扇必須全部浸沒在水中，才能得到完整數據。	P.2-16

7. P.2-20，所指之 arduino nano 平常使用消耗 70mA 的電量，使指目前設定一小時擷取一次資料的情況下，還是未來改成 10 分鐘擷取一次資料的情況下？	謝謝指教，arduino nano 耗電量無關係擷取次數，只要開啟電源，1 小時就要消耗 70mA 的電量。	P.2-20
--	--	--------

附錄三、期末簡報委員建議回覆

審查意見	回覆說明	對應章節
8. 本案研究之雨量計成本低，電力並聯太陽能及微水力發電為創新作法，惟山區監測問題多為電力及傳輸，建議可再提升傳輸功能。	謝謝指教，本研究之太陽能並聯微水力發電之發電系統可以提供水位計及其訊號傳輸使用。由於大部分雨量計可以安裝在市電供應範圍，建議雨量計之電力供應系統以市電供應為主。	P.3-15
9. 有關水位與雨量關係圖，排除背景雜訊趨勢不一致者，是否有了解其原因。	謝謝指教，由於觀測期間之降雨事件不多，目前尚未能充分掌握所有雜訊來源。雨峰和洪峰間有時間延遲是集水區集流時間關係，也是本研究未來擬探討之議題。	P.3-4
10. 利用 3D 列印製作雨量計，若能通過第三方驗證，不失為快速且精確的解決方案。	謝謝指教，目前本研究尚在測試階段，待大部分功能在現地測試完成後，擬通過第三方驗證，完成儀器製作。	PP.2-31~2-32
11. 雨量計與水位計設置的位置請再酌。	謝謝指教，照片中之雨量計是測試傾斗靈敏度，待所有功能測試完成後，會接續設計基座支架安裝。水位計安裝在潛壩或防砂壩溢洪口，配合斷面尺寸，可以求得通過該構造物之流量。	P.2-22
12. 目前的裝置保護方式是否足夠？	謝謝指教，除了人為惡意破壞無法處理外，目前已經發現有受潮和蟲害問題，有待來年解決。	P.3-15
13. 儀器檢定的驗證資料請補充。	謝謝指教，目前僅有自行在室內初步驗證成果，相關參數尚能滿足法定標準，待大部分功能在現地測試完成後，擬通過第三方驗證，完成儀器製作。	PP.2-31~2-32

14. 本年為第 2 年的計畫，請以報告第二年的成果為主。	謝謝指教，將刪去與第二年成果無關資料。	PP.2-1~2-2
15. 圖 2-22 雨量計安裝應該在空曠地方	謝謝指教，照片中之雨量計是測試傾斗靈敏度，待所有功能測試完成後，會接續設計基座支架安裝。	P.2-22
16. 建議比較第一代與第二代設備規模，效能提昇的成果。	謝謝指教，第一代是雨量計和處理器各自獨立，共兩個單元。第二代將第一代處理器空間規劃成更有效率使用，且設計在雨量計下方，整合成一個單元。	P.2-10
17. 設備室內檢定的成果？	謝謝指教，目前室內檢測成果主要回饋作為功能改善之用，待大部分功能在現地測試完成後，擬通過第三方驗證，完成儀器製作。	PP.2-31~2-32
18. FIG3-5 五峰水位及時雨量的分析，雨量高達 90mm~100mm 之間，是否有比較附近相關資料？	謝謝指教，2017/8/30 礁溪雨量站 18:00 和 19:00 時雨量分別為 3.5 和 10.0mm，五峰那組訊號代表雨量計有感應；但卻為雜訊，正深入探討中。	P.3-7
19. 水位計的跳動很大，目前的解決方法為何？	謝謝指教，超音波水位計沒有在垂直水面位置以及水面波動大，都會產生雜訊。需要經過濾波機制，才能讓便宜的超音波水位計降低雜訊發生頻度，以作為臨時或短期水位觀測使用。	P.3-15
20. 整合系統具防災相關產業推動的貢獻，建議未來可簡化後端資料的處理流程，加速資料處理速度。	謝謝指教，本研究依據政府與民眾不同需求，規劃不同資料處理成果，可以避免不必要之資料處理程序，加速處理速度。	P.3-15

21. 本案屬應用型研究，至於期末報告中 P.3-7 的內容是否為工作項目之一，宜再確認。建議宜多著力於目前系統的困難(P.3-15)解決。	謝謝指教，集水區逕流係數探討為本研究成果之後續應用案例之一，並非本研究之工作項目。水位計資料擷取形式與雜訊處理，擬列為第三年之工作項目。	P.3-7
22. 新儀器研發，有助新技術發展，終將對產業發展提供新方向。	謝謝指教，完成各項功能測試，且經過第三方驗證後，將循正常法定程序申請智慧財產保護，再提供產業製作使用。	P.2-32
23. 本項研發工作對將來制度的改善及社經發展可有所助益。	謝謝指教，本研究發展出精準度足夠，且價錢便宜之雨量計和水位計，可提供臨時或短期觀測使用。觀測資料可做為長期設站之參考。	P.4-1
24. 防災預警系統之雨量計開發，能源系統之配置等有利於技術改善。	謝謝指教，本研究之電力供應系統擺脫山區或偏遠地區市電供應之限制，有利於臨時或短期觀測站之布置。	P.4-1
書面審查		
1. P2-14，本案電源供應，無法藉由太陽能板發電時，以為水力發電系統發電，惟如此一來，必須於有常流水之處架設，但臺灣之野溪經常有降雨時才有水流，而且經常為短延時降雨，水流急促，是否容易造成本案設備經常被破壞而無法發揮效用。	謝謝指教，今年係探討如何將太陽能與微水力發電系統並聯運作。擬在第三年探討設計如何避免湍流沖走或石塊撞毀之微水力發電系統機構。	P.4-1
2. 本案利用 3D 印表機進行打印雨量計的方式，是否有減省直接購買雨量計的經費，大約減省多少？	謝謝指教，以 3D 印表機打印雨量計可以大幅降低雨量計之購買經費，當不計設計費、人力和電力費用時，材料費不超出 2,000 元。比傳統式雨量計便宜許多。	P.2-11

3. P3-15提及本案超音波感測器之缺點為感測對象越平整光滑，雜訊越少。惟真實降雨事件中，除水波外，尚有大小懸浮物會出現在水流中，這部分的雜訊問題，應如何處理？	謝謝指教，可以藉由濾波機制和增加觀測頻率降低水面波動和大小懸浮物所產生雜訊之機率。	P.3-15
--	--	---------------

參考書目

壹、圖書：

文淵閣工作室(民 104)。用 LinkIt One 玩出物聯網大未來, 基峯資訊股份有限公司。

白乃遠、曾奕霖(民 105)。App Inventor 2 Android 應用開發實務。博碩文化股份有限公司。

柯博文(民 104)。Raspberry Pi 最佳入門與實戰應用。基峯資訊股份有限公司。

柯博文(民 104)。Arduino 互動設計專題與實戰。基峯資訊股份有限公司。

孫駿榮、蘇海永(民 104)。用 Arduino 全面打造物聯網。基峯資訊股份有限公司。

Bagree, R.(2012). *Characterization and Design of a Readout Circuit for a Piezoelectric-based Acoustic Disdrometer*. Location: M.S. thesis of Delft University of Technology.

Bishop, R.H.(2007). *Learning with LabVIEW 8*. Location: Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc.

Molini, A.(2007.09). *Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges*. Location: Data Manager Report.

貳、研究報告：

詹錢登、李明熹、郭峰豪(民 97)。以降雨因子進行土石流警戒值訂定。行政院農業委員會水土保持局委託成果報告(計畫編號：94 農科-11.5.2-保S1)。

廖泰杉(民 102)。崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展國家實驗研究院儀器科技研究中心成果報告書。財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心。

參、期刊：

蘇文瑞、張子瑩、陳宏宇(民 104)。從資料整合與資訊加值的工作到智慧

防災之實現與展望。國土及公共治理季刊。第三卷，第二期，44-52。

Salmi, A., Elomaa, L., kopsala, P. & laukkanen, E(2008). *Piezoelectric Vaisala Raincap Rain Sensor Applied to Drop Size Distribution Monitoring*. Helsinki, FINLAND FIN-00421 P.O. Box 26,.

肆、會議論文：

王晉倫(民 110)。土石流監測與防災資訊系統，國土資訊系統成果展示研討會論文集，Ⅲ-1-1~Ⅲ-1-9。中華民國內政部國土測繪中心。

林博雄、張譯心、王璿瑋、李育棋、林連楓(民 103)。不同季節降雨形態下傾斗式雨量筒與撞擊感測式雨量計之比較。103 年天氣分析與預報研討會。中央氣象局。

林博雄、張譯心、魏聰輝、李育棋(民 102)。傾斗式雨量筒與撞擊感測式雨量計之比較。102 年地質與地球物理學術研討會大會手冊。中央地質調查所。

陳亮全(民 100)。智慧聯網於防救災應用。2011 年行政院智慧聯網產業發展策略會議。行政院。

詹錢登(民 101)。土石流警戒值之訂定及應用。氣象資訊在坡地災害之預警應用研習會。行政院。