

---

**坡地土砂觀測站**

**效能提升規劃及資料加值分析運用**

**Upgrading Monitoring Station with Value-  
added Data Analysis**

---

**成果報告**

執行單位：國立臺灣大學

執行期間：111 年 1 月 1 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：劉格非教授

**行政院農業委員會水土保持局編印**

**中華民國 111 年 12 月**

本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考







## 摘要

為了驗證現有觀測研究成果是否能快速移植於神木土石流觀測站以外之地區，本計畫除了持續神木村測站的監測外，本年度增設玉穗溪中游測站，系統包含一個雨量計、二個 CCD 與二個地聲檢知器，經過現勘與電與網路申請，玉穗溪測站於 10 月設立完成。並建立下游的預警系統和簡訊及 line 的警報通知系統。設立完成後僅有四場小降雨事件，證實於降雨與大霧的情況下，不會有錯誤發警報的情況。

玉穗溪測站已植入完整資料分析功能，也以儀器檢校方法確認地聲檢知器、攝影機等設備運作正常，以檢驗測站觀測功能的適用性與準確度。

整個系智慧觀測預警已建立英文介面，並包含神木與玉穗兩站。

**關鍵詞：**土石流監測、土石流預警



## **Abstract**

To verify the Shen-Moo warning system can be used in other location , this project sets up Yusui monitoring station with the same data analysis system. The Yushi monitoring station has 2 CCD , 2 geophones and 1 raingage installed around 1.87Km from the Yusui river mouth. The Yusui station is completed on October. Warning through message and line as well as through warning device to downstream road construction site are established. Four records of raining events are analyzed and the results prove this system will not send error warning during heavy rainfall and fog.

The presicion and validity of CCD and geophones are examined using calibration methods. The intelligent web system is now bilingual and has both Shen-Moo and Yusui stations. The value-added analysis process is built into the web system.

**Keywords: Debris flows monitoring , Debris flow warning**





## 目次

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	III
目次 .....	V
表次 .....	IX
圖次 .....	XI
第一章 前言 .....	1-1
第一節 計畫目的 .....	1-1
第二節 擬解決問題與解決問題重點 .....	1-3
第三節 重要工作項目及實施辦法 .....	1-3
第四節 預期效益與評核標準 .....	1-5
第二章 監測設備架構與安裝 .....	2-1
第一節 玉穗溪概述 .....	2-1
第二節 監測點 .....	2-2
第三節 監測設備與系統 .....	2-4
第四節 預警方式 (子系統、現地處理) .....	2-4
第五節 監測站資料接收作業 (主系統，資料處理) .....	2-5
第六節 神木村監測系統與玉穗溪監測系統差異分析 .....	2-6
第七節 玉穗溪現勘與監測預警系統效能分析 .....	2-7
第三章 儀器檢校 .....	3-1
第一節 地聲檢知器檢校 .....	3-1
第二節 攝影機檢校 .....	3-13

第四章 影像分析 .....	4-1
第一節 總灰階值法 .....	4-1
第二節 玉穗溪事件影像分析 .....	4-8
第五章 長期災害潛勢預報 .....	5-1
第一節 玉穗河流域土砂生產與運移分析 .....	5-1
第二節 愛玉子河流域土砂變化監測 .....	5-39
第六章 玉穗智慧防災網站 .....	6-1
第一節 展示系統 .....	6-1
第二節 資料接收、儲存與預警機制 .....	6-3
第七章 結論與建議 .....	7-1
參考文獻 .....	參-1
附錄 .....	附錄-1
附錄一 系統開發大事件紀錄 .....	附錄-1
附錄二 期中會議開會通知單 .....	附錄-7
附錄三 期中會議記錄 .....	附錄-9
附錄四 期中審查會議意見回覆 .....	附錄-16
附錄五 查核作業 .....	附錄-22
附錄六 查核會議記錄 .....	附錄-32
附錄七 查核意見回覆 .....	附錄-36
附錄八 期末簡報 .....	附錄-39
附錄九 期末會議 .....	附錄-48
附錄十 期末審查會議記錄 .....	附錄-50
附錄十一 期末審查會議意見回覆 .....	附錄-51

附錄十二 論文發表與人才培育 .....	附錄-59
附錄十三 期末暨成果效益報告 .....	附錄-60
附錄十四 成果報告書初稿（稿本）審查意見回覆 .....	附錄-68



## 表次

表 2.1 裝設新站工作時間分配.....	2-6
表 2.2 神木村測站與玉穗溪測站功能比較表.....	2-7
表 3.1 地聲參數檢定之變數、參考數據與尺度大小.....	3-8
表 3.2 地聲檢知器參數檢定結果.....	3-10
表 3.3 玉穗溪地聲位置與檢定敲擊位置.....	3-11
表 3.4 神木村下游攝影機像元檢定結果(每秒一張畫面).....	3-15
表 3.6 以現場的點檢定參數結果，誤差是以斷面一為標準計算.....	3-20
表 3.7 攝影機專換參數.....	3-22
表 4.1 總灰階值法應用於現地影像土石流前鋒偵測.....	4-7
表 4.2 2022/5/8-2022/11/1 玉穗溪監測站降雨事件表.....	4-10
表 5.1 日本筒狀模式參數列表.....	5-7
表 5.2 模型控制點與檢核點誤差結果.....	5-14
表 5.3 玉穗溪邊坡與河道土砂變動量計算結果（體積）.....	5-32
表 5.4 玉穗溪流域邊坡與河道土砂變動量計算結果（質量）.....	5-33



## 圖次

圖 2.1 玉穗溪全景與崩坍點.....	2-2
圖 2.2 玉穗溪觀測站位置與觀測站向上游監測之坡面與溪流 .....	2-3
圖 2.3 玉穗溪觀測點 1 與 2 向上游監測之坡面與溪流 .....	2-3
圖 2.4 監測系統架構圖 .....	2-4
圖 2.5 儀器設備一覽.....	2-5
圖 2.6 現場攝影機，雨量計還有地聲檢知器，配以中控小屋 .....	2-6
圖 2.7 下游警衛室中的土石流警報器.....	2-6
圖 2.8 玉穗溪河口堆積層 .....	2-8
圖 2.9 下游流量量測.....	2-8
圖 2.10 星號為監測點，三條紅線段表示最靠近下游三個壩的位置 ..	2-9
圖 2.11 距離河口約 800 公尺的第一個攔沙壩.....	2-9
圖 2.12 離下游 1.3 公里處的第二座壩已經毀壞，壩基掏空 .....	2-10
圖 2.13 第二座壩向上遊走，兩側為刷深 10 公尺以上的鬆散邊坡 ..	2-10
圖 2.14 由河谷向左上可以看到我們的監測站位置.....	2-11
圖 2.15 第二座壩向上游都是高過 10 公尺的堆積.....	2-11
圖 2.16 第二座壩向上游走 1.1 公里，束縮形成高達 9 公尺的瀑布 ..	2-11
圖 3.1 地聲檢知器內部構造示意 .....	3-2
圖 3.2 地聲探測器(GEOSPACE 產置之 GS-32CT 三軸地聲探測器)之 頻率響應曲線；圖左為振幅響應、圖右為相位響應 .....	3-2
圖 3.3 檢校流程示意圖 .....	3-4
圖 3.4 標準地聲儀器(上圖)、待測地聲儀器(下圖)電壓時域資料示意圖 .....	3-5
圖 3.5 標準地聲儀器、待測地聲儀器電壓頻域資料.....	3-6

圖 3.6 振動速度振幅之頻率變化圖 .....	3-6
圖 3.7 愛玉子溪上游地聲檢知器檢定設置 .....	3-10
圖 3.8 愛玉子溪中游地聲檢知器檢定設置 .....	3-10
圖 3.9 地聲檢知器檢定後響應曲線，紅線為檢定結果黑線為原廠曲線 .....	3-11
圖 3.10 地聲 B 檢定結果，檢定曲線與原廠幾乎重疊.....	3-12
圖 3.11 地聲 A 檢定結果，檢定曲線與原廠幾乎重疊 .....	3-12
圖 3.12 像元檢定測試圖；左圖為純藍光攝影原圖、右圖為每一像元 灰階值斜率不連續點.....	3-14
圖 3.13 全測站測量外參數矩陣之測試實驗；圖中紅色箭頭為世界座 標系之軸、藍色箭頭則為攝影機座標系之軸.....	3-17
圖 3.14 八個現場測量點，圖中每個黑色與白色的格子邊長都是 5 公分 ..	3-19
圖 3.15 愛玉子溪現場測點分佈圖，相同顏色為垂直河床的一個斷 面，從左到右為斷面 1 到 4.....	3-20
圖 3.16 回推世界座標誤差，虛線為使用全區平均參數結，實線為修 正到正確區域參數後結果.....	3-21
圖 3.17 以繩索攀爬 120 公尺邊坡.....	3-21
圖 3.18 監測畫面中的現場測量點.....	3-22
圖 3.19 中游驗證誤差，Z 為離監測站距離，X 為流向，Y 為垂向。 .... .....	3-23
圖 3.20 上游轉換後點的誤差 .....	3-23
圖 4.1 2004 年 7 月 2 日愛玉子溪土石流之影像灰階值分佈隨時間變化 圖，(A)ROI 中影像灰階值分佈隨時間變化圖，(B)與(C)分別為(A) 上三個時間點之原始影像以及灰階值分佈圖。 .....	4-3
圖 4.2 偵測土石流事件之流程圖.....	4-6



圖 4.3 案例 1 隨時間變化之影像(以時間間隔 5 秒擷取影像畫面).....	4-7
圖 4.4 0520 土石流抵達 ROI 範圍內的影像，右下圖為總灰階值變化曲 線，顯示土石流抵達時，總灰階值快速變化達 2 秒之範圍 .....	4-8
圖 4.5 2022/6/7 攝影機影像，下圖為大霧影像為，上圖為清晰影像 .	4-9
圖 4.6 0714，0811，0817 三場降雨事件的預警圖與灰階值變化圖	4-12
圖 5.1 航空攝影測量技術建置高精度數值地表模型 .....	5-2
圖 5.2 玉穗河流域位置圖與正射影像.....	5-4
圖 5.3 水筒模式概念.....	5-6
圖 5.4 2000-2022 年 8 月間玉穗溪集水區有效累積雨量 and 土壤雨量指 數對應之降雨事件。雨量資料採用中央氣象局小關山測站為代 表，灰色方框代表 2005 年 7 月至 2006 年 1 月雨量闕漏者，則以 復興測站資料補遺，綠色虛線和文字代表本計畫取得影像的年 月。 .....	5-8
圖 5.5 農航所原始航空照片類型 .....	5-10
圖 5.6 地面控制點與檢核點的分布.....	5-11
圖 5.7 運動恢復結構示意圖和多視角拍攝影像.....	5-12
圖 5.8 PIX4D MAPPER 航空攝影測量軟體產製三維模型的示意圖 ....	5-12
圖 5.9 2001 年 3 月正射影像與數值地表模型.....	5-15
圖 5.10 2002 年 2 月正射影像與數值地表模型.....	5-15
圖 5.11 2003 年 4 月正射影像與數值地表模型 .....	5-16
圖 5.12 2004 年 7 月正射影像與數值地表模型.....	5-16
圖 5.13 2007 年 1 月正射影像與數值地表模型.....	5-17
圖 5.14 2008 年 8 月正射影像與數值地表模型.....	5-17
圖 5.15 2009 年 11 月正射影像與數值地表模型 .....	5-18
圖 5.16 2013 年 2 月正射影像與數值地表模型.....	5-18

圖 5.17 2015 年 10 月正射影像與數值地表模型 .....	5-19
圖 5.18 2019 年 1 月正射影像與數值地表模型 .....	5-19
圖 5.19 2021 年 1 月正射影像與數值地表模型 .....	5-20
圖 5.20 2021 年 8 月正射影像與數值地表模型 S.....	5-20
圖 5.21 兩期數值地表模型相減分析土砂侵淤量的示意圖 .....	5-22
圖 5.22 內政部 DEM 以 SPLINE 內插結果.....	5-23
圖 5.23 玉穗溪流域的樹冠高程模型分析結果.....	5-23
圖 5.24 2001/03–2002/02 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-27
圖 5.25 2002/02–2003/04 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-27
圖 5.26 2003/04–2007/01 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-28
圖 5.27 2007/01–2008/08 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-28
圖 5.28 2008/08–2009/11 玉穗河流域地形侵淤變化量.....	5-29
圖 5.29 2009/11–2013/02 玉穗河流域地形侵淤變化量.....	5-29
圖 5.30 2013/02–2015/10 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-30
圖 5.31 2015/10–2019/01 玉穗河流域地形侵淤變化量.....	5-30
圖 5.32 2019/01–2021/01 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-31
圖 5.33 2021/01–2021/08 玉穗河流域地形侵淤變化量 .....	5-31
圖 5.34 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的發展（2001-2009） .....	5-36
圖 5.35 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的發展（2013-2021 年） ..	5-37
圖 5.36 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的寬度變化 .....	5-38
圖 5.37 愛玉子河流域位置圖與正射影像.....	5-40
圖 5.38 愛玉子河流域地質圖 .....	5-40
圖 5.39 2022 年 10 月無人機空拍範圍.....	5-41
圖 5.40 運動恢復結構示意圖和多視角拍攝影像.....	5-42
圖 5.41 PIX4D MAPPER 航空攝影測量軟體產製三維模型示意圖 .....	5-43

圖 5.42 2021/09/08 正射影像與數值地表模型.....	5-44
圖 5.43 2021/09/08-2022/10/07 愛玉子溪上游地形變化量 .....	5-45
圖 5.44 2021-2022 年汛期後愛玉子溪上游地形變化量 .....	5-46
圖 5.45 愛玉子溪中游河道地形變化.....	5-46
圖 5.46 愛玉子溪上游邊坡新增崩塌地.....	5-47
圖 5.47 愛玉子溪上游邊坡新增崩塌地的地形變化量 .....	5-47
圖 6.1 網站系統架構圖 .....	6-1
圖 6.2 展示系統登入首頁 .....	6-1
圖 6.3 玉穗溪展示網頁中心整體監測設施圖.....	6-2
圖 6.4 資料下載頁面(一分鐘一筆);雨量、影片與地聲都可下載.....	6-2
圖 6.5 玉穗溪 3D 環場照 .....	6-3
圖 6.6 自動偵測預警系統流程圖 .....	6-4
圖 6.7 自動預警流程與預警通知模式 .....	6-4
圖 6.8 預警視窗 .....	6-5



## 第一章 前言

### 第一節 計畫目的

行政院農業委員會水土保持局基於職司山坡地保育利用之責，自民國 91 年開始，陸續發展土石流防災觀測科技，期能更加精進坡地土砂災害之觀測科技研究及發展。目前此觀測系統已安裝於全台 21 站，且有三台高靈活度的觀測車，整個系統包含了超過兩百個的各種設備，此系統已經成為國內與國際之亮點，而神木村測站更是所有測站中，台灣防災的代表點，不但過去事件豐富紀錄詳細，更被列為世界上示範監測站之一(Hürlimann et al., 2019)，因此早有建立神木研究中心與試驗場域之計畫，若能建立神木研究中心，除了可提升國內土砂災害研究所需要的實際數據外，更將提升台灣土砂災害研究在國際上的領導地位。

目前的觀測系統要在應用上發揮更大的功能。整套觀測系統，有以下待改進的方向：

- 一、觀測系統資料必須經過加值分析，產出天然災害事件相關資訊，才能提供準確的偵測、預警與分析。
- 二、觀測站資料在加值後需要一套即時的展示、分析與智慧系統來運用資料，才能不但讓所有資料一目了然，還可以針對事件資料比對與建議決策。
- 三、觀測站除了提供土石流事件發生時的準確預警，更應該可以延伸到崩塌土方、堰塞湖潰堤、多次上游土砂運移等等各種不同的事件，並藉此發展早期土石流或淺層山崩預警系統，提供長期區域性的災害潛勢分析，進而提供水保與農業的預防措施參考觀測系統資料的加值，

在前期計畫中，107 年「坡地土砂災害特徵資訊加值分析與應用」，108 年「坡地土砂災害觀測資訊加值分析與應用」與 109 年「坡地土砂災害觀測資訊進階加值分析與應用」一系列研究中，已經針對觀測系統中數量最多的設備攝影機與地聲檢知器研發出了快速並準確的判別土石流前鋒的方法，該法也經現地資料驗證過，同時也針對攝影機與地聲檢知器的資料加值，找出了估算土石流(含砂水流)流量與速度的方式，因此 110 年「坡地土砂運移歷程之觀測技術提升與監測設備校驗方法研究」計畫中，所有加值方法經過結合，產出包含預警、流速與流量的智慧系統。下游預警範圍更經由數值模擬以提供更即時範圍更精準的預警條件，也由航照與無人機照片的分析，產出長期的土砂運移平衡計算，提出長期的預警條件。整個系統已經於神木村站設立，然神木村近年並無土石流，因此必須另外找地方，驗證這整個系統。

這四個前期計畫中，也提出了攝影機與地聲探測器的現場安裝注意準則，但是研究過程中也發現，精確的觀測資料，必須由準確的現場儀器提供，但是目前現場儀器雖有維護，但是沒標準檢校機制，因此偶然會發生數據無法比對的問題，因此需要針對數據的準確度與調整建立標準檢校的方法。而以上所有加值的資訊，也尚未整合到一個即時智慧型的網站，以確保預警可以快速自動化進行。同時在觀測站多年的資料也尚未整合分析，以執行長期的災害潛勢分析，這些都是急需改進之處。

## 第二節 擬解決問題與解決問題重點

依據前節計畫目的，本節將針對各工作項目說明問題與擬解決之研究方法如下：

### 一、驗證智慧監測系統可否快速並成功移植於其他地方

- (一)於神木測站以外地點，另找研究場域測站驗證監測系統功能。
- (二)研究場域測站與原神木測站流況(流深、流速、流量)估算方法比對測試。
- (三)檢驗於研究場域測站設立監測系統，是否需要改變任何設定與參數。
- (四)建立研究場域測站日誌或相關記錄，俾利研究期間進行修正。

### 二、現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於不同的測站

- (一)地聲、攝影機之土石流偵測預警方法驗證，檢驗預警條件與方法的適用性與準確度。
- (二)進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證。

### 三、建構監測站之智慧防災系統並新增英文介面功能

## 第三節 重要工作項目及實施辦法

### 一、擇定研究場域測站及進行現地觀測規劃作業(本報告第二章)

- (一)提出 1 處研究場域測站地點(南橫明霸克露橋觀測點)
- (二)於研究場域測站設立觀測設備(含 1 個 CCD 與 2 個地聲檢知器)以分析現地監測資訊
- (三)檢驗於研究場域測站設立之監測系統，同時建立觀測紀錄，俾利確認測站的相關設定與參數是否符合現地需求。

### 二、現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於特性不同的測站

**(本報告第三章與第四章)**

- (一)於現場進行地聲、攝影機之檢定，檢查是否參數與出場時相同。
- (二)進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證。
- (三)系統搭載預警實體(如:警報簡訊，燈號等)並進行測試作業初步導入研究場域測站警報系統通報功能(例如:偵測到土石流事件發出通報等功能)。

**三、航照與無人機空拍分析(本報告第五章)**

- (一)進行神木土石流觀測站坡地與河川沖刷現況分析。
- (二)研究場域測站地區航照與無人機空拍分析。
- (三)於愛玉子溪或玉穗溪測站地區以無人機拍攝作業。
- (四)以空拍資料分析出的 DSM 進行崩坍與土砂平衡計算。

**四、建立多測站之智慧防災系統並導入英文介面功能(本報告第六章)**

- (一)智慧網站包含神木站與玉穗站之監測儀器資料展示與分析。
- (二)全網站具雙語介面(中文及英文)。



## 第四節 預期效益與評核標準

### 一、預期效益

- (一)提出觀測站之前端觀測儀器(如:攝影機與地聲檢知器)其土石流事件偵測預警方法驗證，以提升未來現地觀測預警條件的適用性與準確度。
- (二)以現有計畫研究成果為基礎，結合規劃試驗之研究場域測站，以強化及驗證於不同研究場域之研究成果。
- (三)以神木土石流觀測站與研究場域測站等研究成果資料，推動國際合作外交，成為國內外的研究熱點。
- (四)完成土石流觀測站預警系統與物理觀測系統之測試。

### 二、評核標準

#### (一)期中評核標準

1. 研究場域測站現地相關資料蒐集。
2. 研究場域測站設備建置作業。
3. 攝影機與地聲檢知器現場檢校應用與測試完成。

#### (二)期末評核標準

1. 完成建構智慧型網站(含神木觀測站與玉穗溪觀測站)。
2. 神木土石流觀測站或研究場域測站等其他測站之土石流事件流程完整分析。



## 第二章 監測設備架構與安裝

本章描述整個監測設備的架構，還有於玉穗溪現場安裝的流程，並說明安裝過程中的困難與解決方案。

監測儀器的功能，都是利用前期計畫發展的土石流預警方式，即利用攝影機的總灰階值法與地聲檢知器的能量變化法的標準流程。

### 第一節 玉穗溪概述

玉穗山，為台灣中央山脈的高山，標高 3,045 公尺，位在中央山脈雲峰往西延伸的支稜，座落於高雄市桃源區梅山里，玉山國家公園的範圍內。東方隔著下降將近 1000 公尺深的狹窄鞍部約 4 公里處連接雲峰，北方隔著荖濃溪與約 8.5 公里外玉山山脈的南玉山相望，由西側、北側荖濃溪及南側拉庫音溪所圍繞。玉穗溪是玉穗山旁荖濃溪、布唐布那斯溪、玉穗溪三溪匯流中最細小的。

玉穗溪全長 7.3 公里，集水區面積 1231.9 公頃，莫拉克風災造成上游林班地大面積崩塌達 128.2 公頃，產生 1107 萬方土砂量，形成土石流，造成堆積 202 萬方沖積扇，寬度達 500 公尺，最高達 22.3 公尺，平均高度 11.9 公尺。而到今年 2022 年，河床淤積離新建之鋼構便橋僅 5 公尺，於 2021 年從 8 月 1 到 9 日，共降下 2700 毫米雨量，明霸克露橋 8/7 日下午 1 點多，因玉穗溪上游爆發土石流，而交通中斷。主要土石來源為上游與中游的崩坍。

因為中上游土砂仍然不穩，因應下游工程單位搶修道路的安全需求，因此於中游安裝一個監測系統，以提供下游施工單位，在土石流來的時候，足夠的人員與機具撤離時間，也可做為道路預警之用，本溪流沒有任何聚落或農地，因此唯一的保全對象為道路加上施工人員。

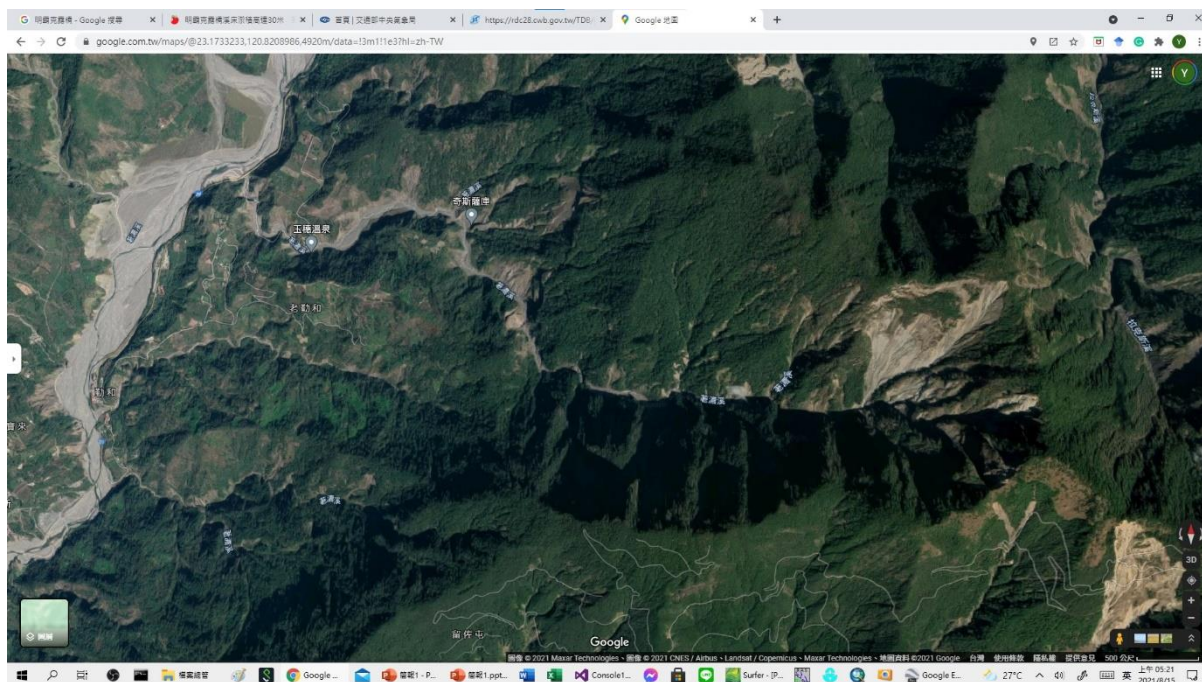


圖 2.1 玉穗溪全景與崩坍點

## 第二節 監測點

玉穗溪上游有大面積崩坍與大量土砂堆積，沿河道到中下游，沿溪床都至少有 5 m 以上堆積土砂量，中游與下游，另外有至少 5 處的支流有大型崩坍，因此只要下雨就會繼續崩坍，並產生泥流與土石流。

現場公路局工作人員在四月份的觀測為中游觀測到土石流，三分鐘不到就下游的施工地點就會發生土石流。以中游崩坍點到下游的長度約 3 公里計算，發生大型的土石流，速度最快約 10 m/s 來算，並假設直線河道估計，的確只需要 300 秒(5 分鐘)抵達谷口。但是玉穗溪蜿蜒段相當多，尤其中游後有大量的蜿蜒段與擴張段，中游的土石流不太可能在 2 分鐘抵達谷口，因此公路局看到的「中游觀測到土石流，下游 3 分鐘有土石流」，應該表示觀測到土石流的同時，其實下游段同時也產生了土石流，抵達谷口的，為整個河段所產生的土石流，也就是大雨時，上游有崩坍型土石流(石頭多)，中下游同時也會因為河道堆積產生溪床型土石流(石頭較少、偏泥流)，監測點應該是在上、中、下游都要有。

玉穗溪兩側均為陡峭的山坡，在上游設置監測點，監測設備與目標崩坍地或溪流距離在三公里以上，監測的效果非常不好。而在下游溪流出口旁設監測點，絕對無法提供足夠的安全避難時間，因此選定中遊為唯一監測點。監測設備設置的位置距離下游保全對象 1.87 公里，就是圖 2.2 中的觀測點 2。

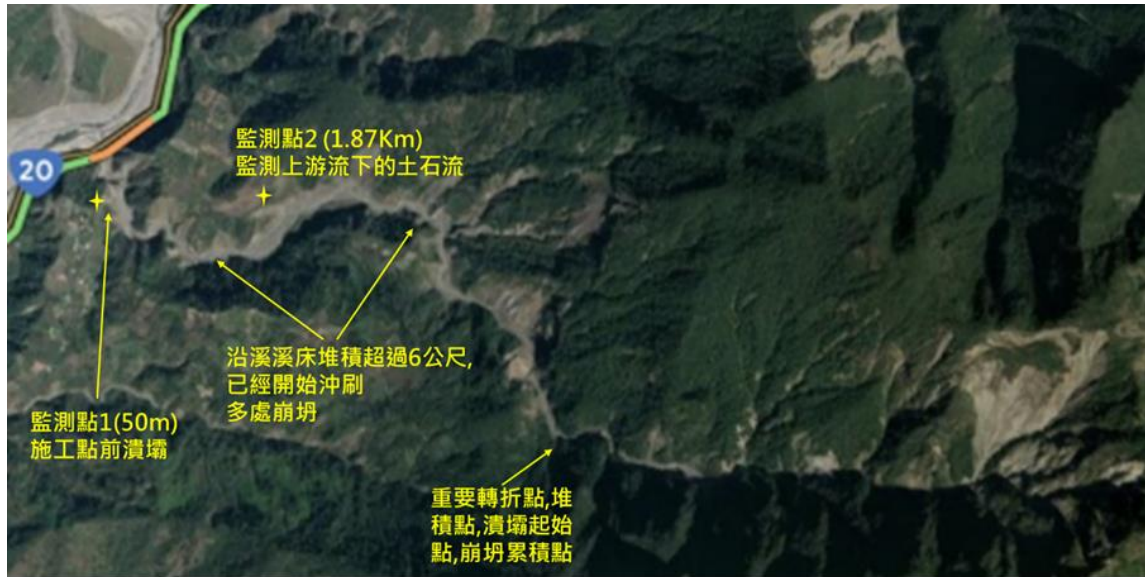


圖 2.2 玉穗溪觀測站位置與觀測站向上游監測之坡面與溪流



圖 2.3 玉穗溪觀測點 1 與 2 向上游監測之坡面與溪流

### 第三節 監測設備與系統

監測系統為兩個 CCD，兩個地聲檢知器還有一個雨量計的簡單系統。系統架構如圖 2.4

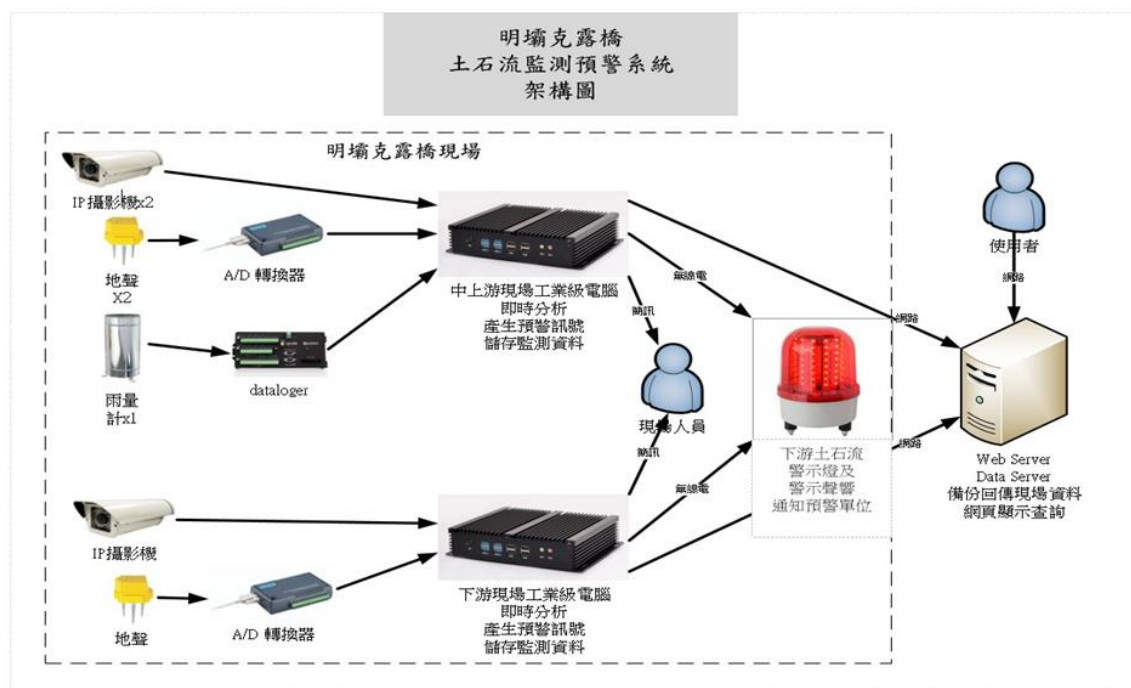


圖 2.4 監測系統架構圖

因為監測點距離河道相當遠(超過 200 公尺)，CCD 採取高解析度，高光感(現場不打光，晚上純粹憑藉月光或星光)，以利用總灰階值法判視。

### 第四節 預警方式 (子系統、現地處理)

在預警與訊號接收作業上，採取主從分離。兩個監測點的訊號都直接由影像分析軟體與地聲分析軟體於現場即時計算處理，當判視為需要預警時，利用以下兩種方式回傳警戒訊號。

#### 一、無線電

- (1) 於公路局監控室發布警報，促發蜂鳴器
- (2) 於公路局監控室發送警訊「玉穗溪上游土石流警報」，由公路局決定有疏散避難預警時，是否發布警報

## 二、網路

針對水保局與計畫人員，發送簡訊與 line 訊息「請注意，高雄桃源區玉穗溪上游疑似有土石流事件發生，請注意應變」

### 第五節 監測站資料接收作業（主系統，資料處理）

- 一、主系統設於現場，所有資料儲存，計算，網頁與警戒都由現場電腦負責
- 二、事件發生時，經過分析，資料另外儲存硬碟中
- 三、其他事件資料切割與儲存，由系統自動進行

序	品名及工作內容	數量	單位
1	網路攝影機 ●2MP 低照度 CMOS 圖像傳感器 ●具備 2 個影像碼流，低解析度做為即時影像分析，高解析度做為影像備份 ●戶外防水等級: IP67 ●鏡頭焦距: 2.7mm-13.5mm	3	台
2	三軸向地聲速度計 ●導線長度 50m	3	組
3	三軸向地聲速度計 A/D 轉換器	2	組
4	0.5mm 雨量計	1	組
5	雨量計資料記錄器	1	組
6	現場工業級子主機	2	組
7	監測小屋 ●保護儀器設備 ●含電源穩壓器 AVR ●含不斷電系統 UPS	2	座
8	主控主機(含 UPS 不斷電系統) 4U 機架式伺服器主機	1	組

圖 2.5 儀器設備一覽

整個系統包含的設備如圖 2.5。現場設備如圖 2.6，現場電腦置於鐵櫃中，雨量計與一個地聲檢知器在左側，另一個地聲檢知器在下方斜坡埋於土中。



圖 2.6 現場攝影機，雨量計還有地聲檢知器，配以中控小屋

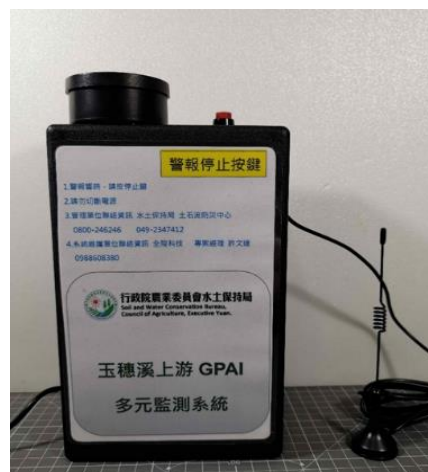


圖 2.7 下游警衛室中的土石流警報器

## 第六節 神木村監測系統與玉穗溪監測系統差異分析

雖然神木站與玉穗站都是用本計畫開發的軟體偵測預警，但是因為資料接收方式不同，造成設備與資料格式不同，後續處理軟體都需要依據修改。

在神木村的監測系統純粹只有從神木測站以 NATS 接收監測資料，資料是由逢甲大學接收完現場資料後，每隔固定時間寫到 NATS，然後



本系統依據該資料作分析與呈現於互動網頁與預警功能，皆由網頁呈現。而玉穗溪監測系統，則是由本計畫從購買設備硬體，架設監測儀器，到接收資料都必須完成，因此工作份量與神木村不同，差異分析如下

表 2.2 神木村測站與玉穗溪測站功能比較表

	神木土石監測系統	玉穗溪土石流監測系統
雨量，地聲，影像資料擷取	由逢甲 NATS 取得資料檔案	自行裝設 直接讀取儀器讀數。
即時資料分析	只能取得檔案後再分析 地聲大約延遲至少 1 分鐘 影像大約延遲至少 5 分鐘	即時分析，沒有延遲
網頁呈現	有	有(需要 ADSL)
簡訊，email 通知	有	有(需要 ADSL)
無線電報警機	無	有(無線電)
Line 訊息通知	無	有(需要 ADSL)

## 第七節 玉穗溪現勘與監測預警系統效能分析

計畫團隊於 6 月 26 日第一次到現場檢驗監測系統的準確度與狀態，同時也確認媒體報導 6 月 7 日有土石流的原因，自玉穗溪出口開始，公路局的怪手仍然在慢慢的去除深達 15 公尺的堆積層，怪手以挖掘壩底的方式，讓堆積層自然慢慢崩落，然後以卡車將大石運走。



圖 2.8 玉穗溪河口堆積層

整個堆積層很明顯，只要有大雨，就會崩坍形成土石流，不過公路局的標準是降雨到 5 mm 就停工，雖然這標準非常保守，但是應該表示上游有些問題。

同時為了取得基流流量，於接近下游處，測量了基流量為 0.505 cms。



圖 2.9 下游流量量測

在連續三日下午有微雨(累積日雨量小於 4 mm)的情況下，團隊沿著厚厚的堆積層向上遊走，多處可見小型土石流的前鋒遺跡，但整體維持著相同粒徑與土壤組合，到了第一個壩，只剩左翼最高點稍微可見，其他部分均已被埋掉。



圖 2.10 星號為監測點，三條紅線段表示最靠近下游三個壩的位置



圖 2.11 距離河口約 800 公尺的第一個攔沙壩

繼續往上游走約 500 公尺，就碰到第二個壩，第二個壩已經毀損，

且壩的下游部分，堆積層也已經沖出 10 公尺的深度，如果有大雨，下一次大規模土石流必然從此處開始



圖 2.12 離下游 1.3 公里處的第二座壩已經毀壞，壩基掏空

而走到此處，繼續往上走就是監測站 2 的監測範圍，此處無法攀登，因此現勘是等了兩個月，我們從上游山上用繩索爬下後繼續進行。



圖 2.13 第二座壩向上遊走，兩側為刷深 10 公尺以上的鬆散邊坡

破壞的壩上游，有非常多的鬆散料源堆積於河谷兩側，高度至少 10

公尺，再向上游就是一大塊邊坡崩坍地堆積，左側山頂就是本計畫的監測站，繼續向上游走一公里，沿岸都是高過 10 公尺的堆積，長度超過 650 公尺，最後河道束縮成一個高過 9 公尺的小瀑布，上游所有料源都將在此停頓。



圖 2.14 由河谷向左上可以看到我們的監測站位置



圖 2.15 第二座壩向上游都是高過 10 公尺的堆積



圖 2.16 第二座壩向上游走 1.1 公里，束縮形成高達 9 公尺的瀑布

現勘到這邊，可以下結論，本溪流上游大量崩坍，當收到強降雨形成土石流向下游運行時，必定會再此束縮瀑布段落暫停，累積然後才向下游繼續運行，因此本計畫的上游監測點，離此暫停點僅僅不到 200 公尺，是一個非常理想的監測點。

而本計畫的中游監測段，也恰好是最多鬆散料源堆積處，因此上游與中游兩個監測點，恰好代表上游沖下與中游啟動的兩個可能性的代表點，被監測的點很適當。

## 第三章 儀器檢校

監測設備放於現場，經過現場溫度，濕度，日曬雨淋，還有長期突發性斷電的衝擊下，長時間下來，任何儀器都會在設定上與剛出廠時不同，當然也會有部分失常的狀況。因此必須定期檢校才能確保數據可信。

現場儀器的另一個敏感問題為不可移動，現場儀器若已經安裝好，則其參數往往就固定了，若拆下來帶回試驗室檢校，檢校完又安裝回現場，這移動與安裝的過程，本身就改變了整套儀器的特性，尤其像地聲檢知器安裝於現場需要非常穩固，取出再裝回去跟本就改變了整個接收的環境與位置，因此地聲檢知器一定必須於現場檢定而無法拿回試驗室在控制環境中檢定，攝影機的問題也是相同的。現場儀器檢校並非針對儀器的每一個部分分別去判斷其好壞，是針對已經穩固安裝於現場的設備，以整套設備(包含感知，電力，承載體等等)為單位去做檢校，如此才能真正適合監測之用。

### 第一節 地聲檢知器檢校

#### 一、地聲檢知器原理

地聲檢知器有不同廠牌與原理，但是水保局各測站使用的地聲檢知器(不考慮低頻地聲)都屬於相同速度型系統(Geospace)，因此本章僅針對速度型地聲檢知器做檢校設計。

由於地聲檢知器內部是一個類似阻尼與彈簧的系統，如：圖 3.1，當地聲檢知器隨著外部介質一起振動時，其內部透過彈簧與阻尼固定的永久磁鐵也會開始產生一振動速度，透過永久磁鐵的運動，其磁鐵外部的線圈將產生對應的感應電流，最後將感應電流的電壓值輸出，透過外部的訊號放大器、類比數位轉換器輸出數位電壓訊號，此訊號即為一

般常見的電壓訊號。而這電壓值就是地聲檢知器輸出的原始資料，要將電壓資料轉變為振動資料，則必須經過該系統的響應函數(response curve)。因此響應函數表示了測得電壓跟真實振動的關係，這跟儀器內部的永久磁鐵質量(m)、電線電阻(R)、電壓敏感度(G)、彈簧彈性係數(k)等參數有關係。

為了分析地聲的檢校流程，本計畫自原廠買全新的地聲檢知器附有原廠提供的這些參數值與檢定過的響應曲線圖(如圖 3.2)。

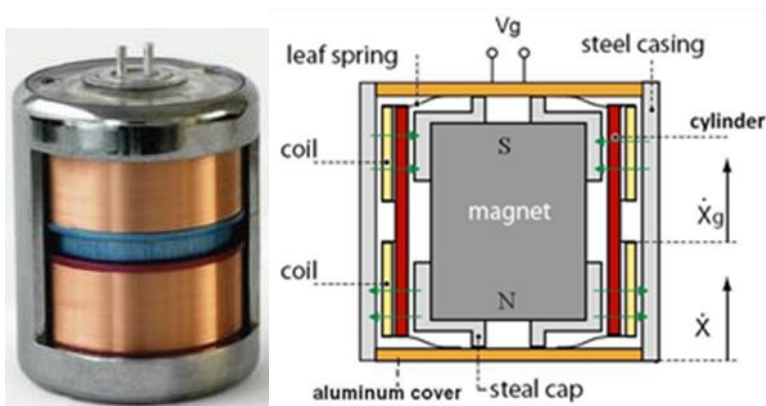


圖 3.1 地聲檢知器內部構造示意

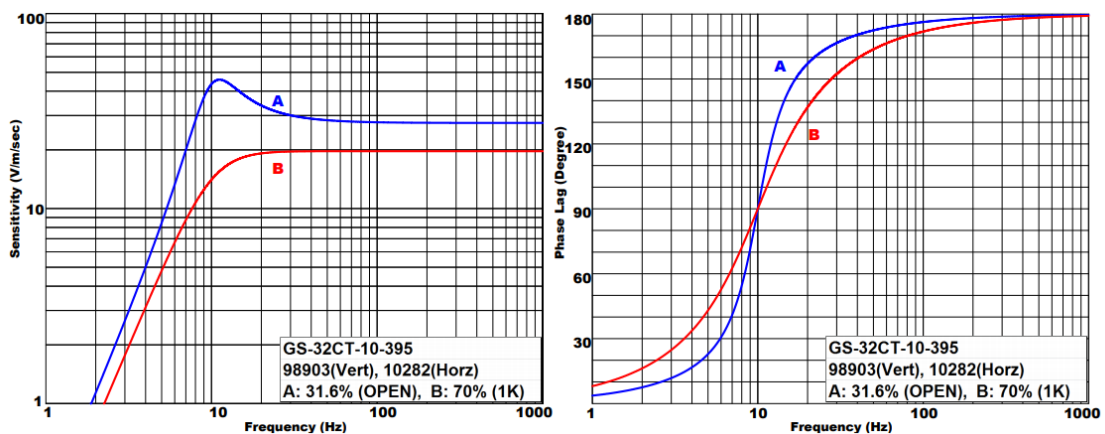


圖 3.2 地聲探測器(GEOSPACE 產置之 GS-32CT 三軸地聲探測器)之頻率響應曲線；圖左為振幅響應、圖右為相位響應

在圖 3.2(左圖)中，其縱軸為是振動速度與電壓之比值、橫軸為頻率，而地聲檢知器紀錄的電壓改變是時間上的變化紀錄，因此必須將一段時間的電壓訊號經過傅立葉轉換，取得電壓隨頻率改變的分佈，並應



用圖 3.2 將每一個頻率對應的振動速度求出，最後透過傅立葉反轉換將振動速度隨頻率的關係轉換回振動速度隨時間的變化訊號。

而在上述轉換過程中，響應曲線基本上是透過地聲檢知器的構造所推導出的方程式，不同的地聲檢知器，差別僅存在於其各別的參數，其響應曲線之公式如下

$$T(\omega) = \frac{E(\omega)}{V(\omega)} = \frac{G\omega^2}{\sqrt{\left(\frac{k}{M}\right)^2 - 2\left(\frac{k}{M}\right)\omega^2 + \omega^4 + 4\left(h_0 + \frac{G^2}{2R\sqrt{Mk}}\right)^2 \left(\frac{k}{M}\right)\omega^2}} \quad (3.1)$$

其中  $E(\omega)$  為電壓振幅、 $V(\omega)$  為地表振動振幅、 $G$  為電壓敏感係數 (Intrinsic Voltage Sensitivity)、 $k$  為彈簧彈性係數 (coefficient of elasticity)、 $h_0$  為開路阻尼 (open circuit damping)、 $R$  為總電阻 (total resistance)、 $M$  為磁體質量。

透過式(3.1)，可由量測之電壓資料與已知的振幅響應曲線求得真實振動資料，但隨著現場地聲檢知器長期暴露於野外，其內部的參數則可能隨之改變，即使測得相同的電壓資料，其所代表的地表真實振動速度則會出現失真。因此本計畫建議每過一段時間，就必須檢定一次該儀器的響應曲線，以確保能獲得真正的振動速度資料。

## 二、檢校方法

因為無法移動已經裝好的地聲檢知器，所以本計畫利用帶一個已經於室內檢定好的標準地聲檢知器 (內部參數都已知且響應函數已確認) 去現場，放在待測地聲檢知器儀器的旁邊 (越近越好)，然後在附近以敲擊地面方式產生震源訊號，使標準地聲檢知器與待測地聲檢知各產生一組電壓資料做比對。

假設兩個極靠近的地聲檢知器安裝在相同的介質上，其所測量到

的地表振動型態相同，但容許接收訊號的振福相位有些許延遲的差別外，其振動的的頻率將不會改變，因此可用振幅與頻率的關係來檢定待測地聲檢知器的響應曲線。

檢校時，是以三個方向的總能量來進行檢校，以防止有一個主要流動方向沒有檢校到，因此以下的分析數據都是三個軸進行複列轉換後，每個頻率都是三軸大小平方相加後的總能量值。

### 三、檢校方式與流程

以圖 3.3 為例，左方為真實地表振動，但是因為標準地聲檢知器與待測地聲檢知器與震源距離有一點差別，因此測得的振幅會稍微有差，也就是圖 3.3 中 1 與 4 的位置是兩個變化相同，但是振幅差一點點的两个圖 1 與 4 經過傅立葉轉換變成 2 與 5 的頻域圖，再經過 3 與 6 的各別響應曲線轉換，就可以產生不同頻率的振幅。

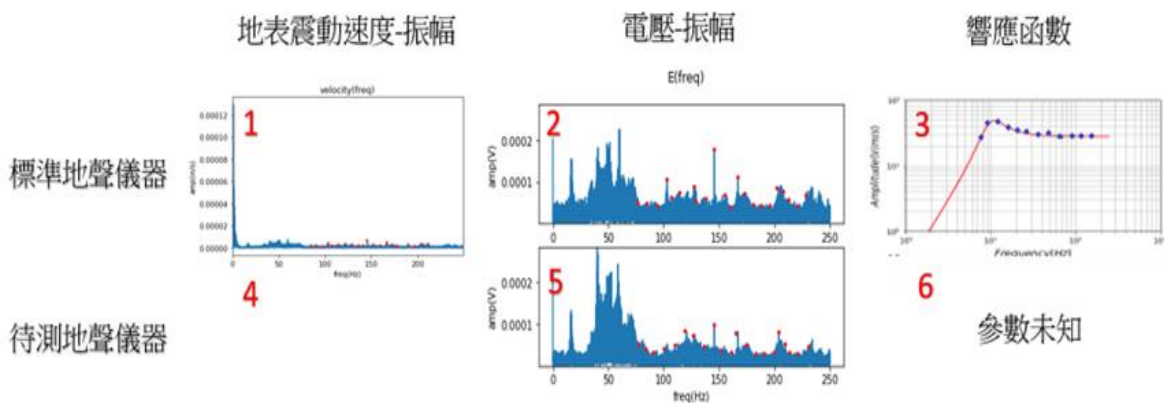


圖 3.3 檢校流程示意圖

但是在以上的流程中，我們只知道標準地聲檢知器的響應曲線，不知道待測地聲檢知器的響應曲線(圖 3.3 中第 6 格)，如果知道了 6 的圖，則每一個頻率的振幅都應該相同，除了因為接收訊號強度有稍微的差別(傳遞介質稍差)與可能的一點點時間差(訊號傳播介質與距離不同)，因此的最後一步，振幅也會稍有差別，但是每一個頻率的差異都是相同

的倍數.因此可用標準地聲檢知器的響應曲線來檢定待測地聲檢知器的響應曲線，其步驟如下

### (一) 產生待測震源

於現場產生地表振動(敲擊)，以相同取樣頻率與總取樣時間取得資料，標準地聲儀器與待測地聲儀器都會得到電壓時域資料如圖 3.4 的兩筆資料，上圖是標準地聲儀器到的，下圖是待測地聲儀器量到的。

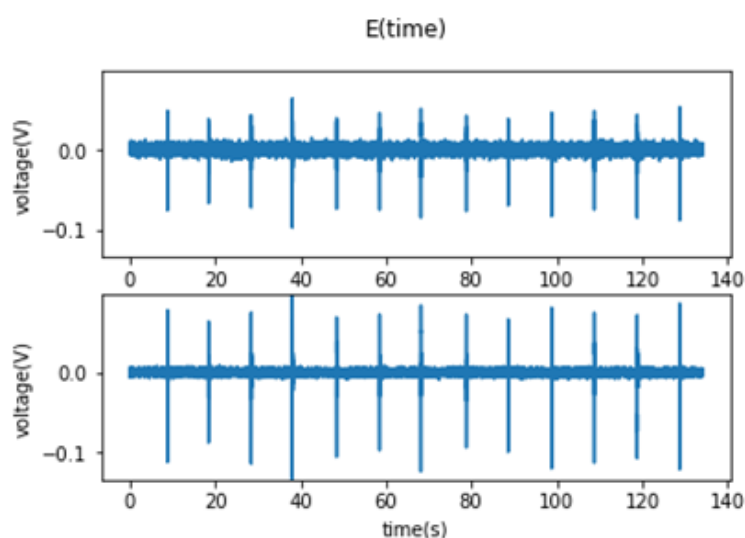


圖 3.4 標準地聲儀器(上圖)、待測地聲儀器(下圖)電壓時域資料示意圖

因為兩者非同一部機器，時域資料一定會有差異，先將兩份資料做時間互相關，以便移除可能的時間差別。

### (二) 訊號頻譜分析

移除時間差別後，取相同長度的兩筆時域資料做傅立葉轉換可以分別得到電壓在頻域的分佈圖，因為後面檢定需要用到不同角頻率( $\omega$ )對應的電壓振幅。並利用頻率響應函數將每一個角頻率對應的電壓振幅換成真實地表振動振幅。

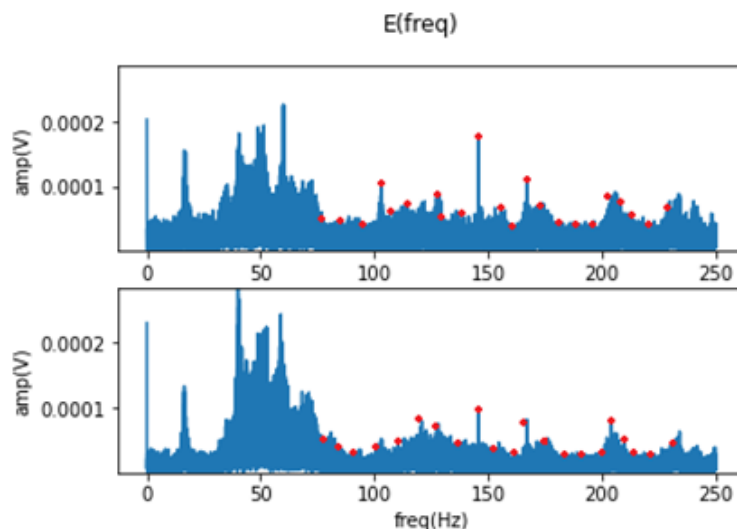


圖 3.5 標準地聲儀器、待測地聲儀器電壓頻域資料

經由離散傅立葉轉換後，對兩筆資料取相同頻率點的振幅，如圖 3.5。就可以用來檢定待測儀器的響應曲線

### (三) 訊號電壓-振幅轉換

將電壓振幅除以振幅響應函數中對應頻率的值，就可以得地表真實振動速度頻域圖，定義為  $V_{correct}(\omega)$

計算  $V_{correct}(\omega) = \frac{E_{correct}(\omega)}{T_{correct}(\omega)}$ ，結果如圖 3.6

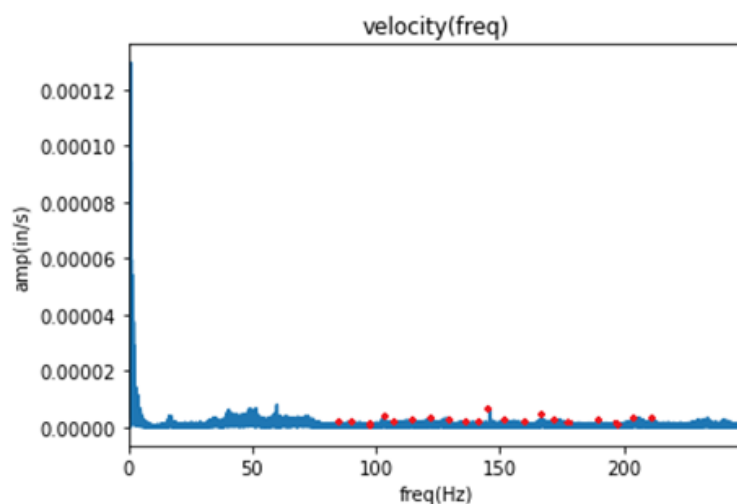


圖 3.6 振動速度振幅之頻率變化圖

將待測地聲檢知器的資料除以待測地聲檢知器的響應曲線值，可得待測地聲檢知器所測得的地表振動  $V_{test}(\omega)$ ，如果待測地聲檢知器沒

有問題，就該是相同的結果，也就是說我們可以用最小方差法，取得很多點，來檢定待測地聲檢知器的參數，也就是讓  $\sum(V_{test}(\omega) - V_{correct}(\omega))^2$  之誤差最小，就可以用來檢定待測地聲檢知器的參數。

#### 四、檢定方程式推導與簡化

待檢定的參數有  $G$ (電壓敏感係數，Intrinsic Voltage Sensitivity)， $k$ (彈簧彈性係數，coefficient of elasticity)， $h_0$ (開路阻尼，open circuit damping)， $R$ (總電阻，total resistance)和  $M$ (磁體質量，mass)。

因為是彈性系統，所以重新定義  $\sqrt{\frac{k}{M}} = a$ 、 $2RM = b$ ，得響應曲線為

$$T(\omega) = \frac{G\omega^2}{\sqrt{a^4 - 2a^2\omega^2 + \omega^4 + 4\left(h_0 + \frac{G^2}{ab}\right)^2 a^2\omega^2}} \quad (3.2)$$

也就是待檢定參數為  $a$ ， $b$ ， $G$  和  $h_0$  四個參數，由待檢定地聲檢知器算出的地表每一個頻率的振動振幅為

$$\begin{aligned} V_{test}(\omega) &= \frac{E_{test}(\omega)}{T_{test}(\omega)} \\ &= \frac{E_{test}(\omega)}{\omega^2} \left( \frac{\sqrt{a^4 - 2a^2\omega^2 + \omega^4 + 4a^2\omega^2 h_0^2 + 4a^2\omega^2 \frac{2h_0 G^2}{ab} + 4a^2\omega^2 \frac{G^4}{a^2 b^2}}}{G^2} \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

而將待檢定地聲的所有參數，檢定到與標準地聲檢知器算出的地表振幅相同，就可以寫成目標函數：

$$\text{誤差} = \sum(V_{test}(\omega) - V_{correct}(\omega))^2 \quad \text{其誤差必須最小} \quad (3.4)$$

待檢定的各參數的大小尺度約為我們檢定的頻率範圍最大到 500，因此  $\omega = O(100)$ 、電壓  $E = O(10^{-5} \text{ volt})$  得震動速度  $V = O\left(10^{-7} \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$ ，

而參數的典型數字  $G = 27.6$ 、 $a = 62.8$ 、 $b = 22000008690$ 、 $h_0 = 0.3$  (原廠提供)。

可以發現其中  $b$  特別大，而且在檢定方程式中， $b$  永遠出現在分母，表示只要是有  $b$  的項，都非常小(比其他項小  $10^{-9}$ )，因此可以忽略，也就是  $b$  其實不需要檢了，因為即使  $b$  數字變大十倍，對儀器讀值的影響都是可忽略，因此地表位移可以直接寫成

$$V_{test}(\omega) = \frac{E_{test}(\omega)}{T_{test}(\omega)} = \frac{E_{test}(\omega)}{\omega^2} \left( \sqrt{\frac{a^4 - 2a^2\omega^2 + \omega^4 + 4a^2\omega^2h_0^2}{G^2}} \right) \quad (2.5)$$

### 五、檢定方法(最陡坡降法；steepest descent method)

如果有一個 3 個變數的函數  $Z = f(G, a, h_0)$ ，想要找到他的局部最小值，可以隨便選一個起始值( $G_0, a_0, h_0$ )然後往最大  $Z$  值減少方向走、這個方向 就是負梯度(再乘上一個 *learning rate*)，然後就這樣不斷地走，直到走到一個很平很平的地方為止就是局部最小值。而現在我們的目標函數  $Z$  就是  $\sum(V_{test(\omega)} - V_{correct(\omega)})$ 。

表 3.1 地聲參數檢定之變數、參考數據與尺度大小

	變數	變數之參考數據與無因次尺度
待檢定參數	$G$	$G_0 = 27.6$
	$a$	$a_0 = 62.8$
	$b$	$b_0 = 22000008690$
	$h_0$	$(h_0)_0 = 0.3$
已知變數	$\omega$	$\omega_0 = 100$
	$V_{correct}(\omega)$	$V_0 = 10^{-7}$
	$E_{test}(\omega)$	$E_0 = 10^{-5}$

## 六、現場地聲檢知器檢定與計算

本計畫於 2022 年 6 月 24 號到神木村與 6 月 25 日到玉穗溪進行現場，檢定使用器材為：

- (1)待測地聲儀器-GS-20DX
- (2)標準地聲儀器- GS-32CT
- (3)類比數位轉換器-PCI-1713U
- (4)砂袋(裝現地石頭約 40 公斤)

### (一) 敲擊方式說明與訊號處理、取樣方法

試驗透過鐵錘尖端連續敲擊地面，製造地表震動，使儀器產生電壓訊號。敲擊速度與敲擊總時長是兩個影響訊號重要的因素，改變敲擊速度會直接影響特徵頻率範圍，像是 1 秒敲擊 4 次，兩組地聲檢知器接收到的訊號在轉換後的電壓頻域資料上靠近 4 Hz 附近的低頻波振幅會較明顯。至於總敲擊時間會影響頻域上資料總數，總時間越長，頻域上的點會越多，頻率間隔越小，所以隨著總敲擊時長越長，頻域解析度越好，界於 0 到 250 Hz 之間的資料越多。因此在現場以鐵錘尖端於地聲檢知器約 10 cm 的位置連續敲擊地面，總敲擊時間約 15 秒，取其中 12.5 秒時域資料分析檢定。連續敲擊的速度大約是一秒 4 下，共做 5 次。

### (二) 參數檢定

地聲檢知器在 60 Hz 以上的響應曲線是一個常數，因此只與 G 有關，所以檢定的時候，先以最陡坡度法配合 60 Hz 以上資料檢定出 G，然後以全部資料再檢定 a 與  $h_0$ ，如此可以加速檢定時間與準確度。

## 愛玉子溪

### 上游—岩石上

現地介質為岩石，現場地聲檢知器放在一個較平坦的位置，帶過去的標準地聲檢知器放置於待測儀器旁邊(極近)用砂袋壓在兩者上面。



圖 3.7 愛玉子溪上游地聲檢知器檢定設置

### 中游—壩體上

現地介質為兩層混凝土，一層防砂壩本身的混凝土，一層為為了固定現場待測地聲儀器後來填上去的混凝土(淺色混凝土)，將帶過去的標準地聲檢知器放置於待測儀器旁邊(極近)用砂袋壓在兩者上面。



圖 3.8 愛玉子溪中游地聲檢知器檢定設置

檢定結果如表 3.2

表 3.2 地聲檢知器參數檢定結果

	上游			中游		
參數	$G$	$a$	$h_o$	$G$	$a$	$h_o$
誤差	1%	9%	50%	2%	3%	13%



檢定結果顯示神木村上游地聲檢知器參數已經有很大幅度的改變，若用原廠參數，20 Hz 以下的訊號將必須修正。或者必須用本計畫檢定初的表 3.2 中的新參數

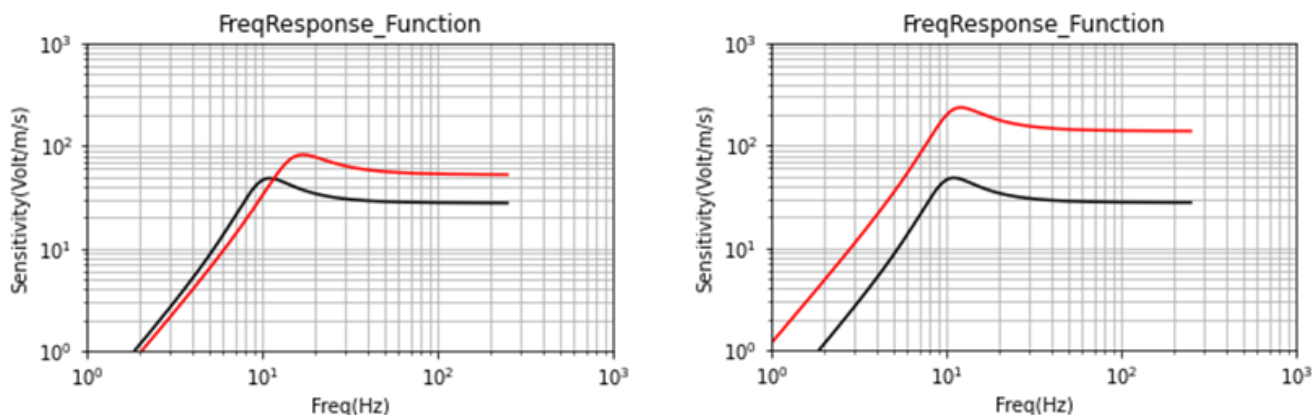

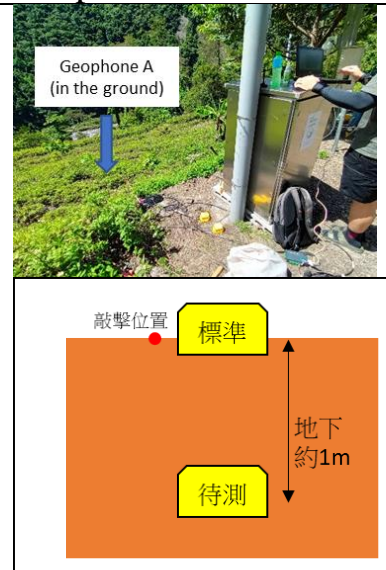


圖 3.9 地聲檢知器檢定後響應曲線，紅線為檢定結果黑線為原廠曲線

### 玉穗溪中游測站

玉穗溪兩個地聲檢知器，一個埋於坡地上，一個埋於監測儀器旁（見表 3.3），以標準檢測流程檢測結果如下，

表 3.3 玉穗溪地聲位置與檢定敲擊位置

Geophone B	Geophone A
	

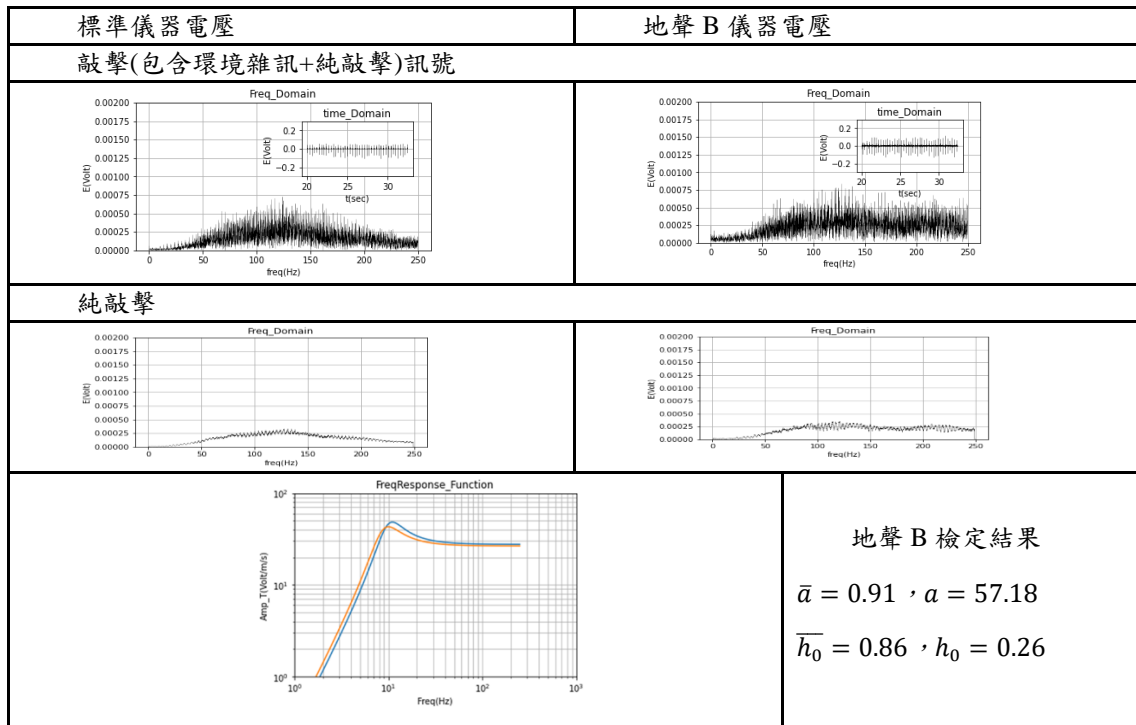


圖 3.10 地聲 B 檢定結果，檢定曲線與原廠幾乎重疊

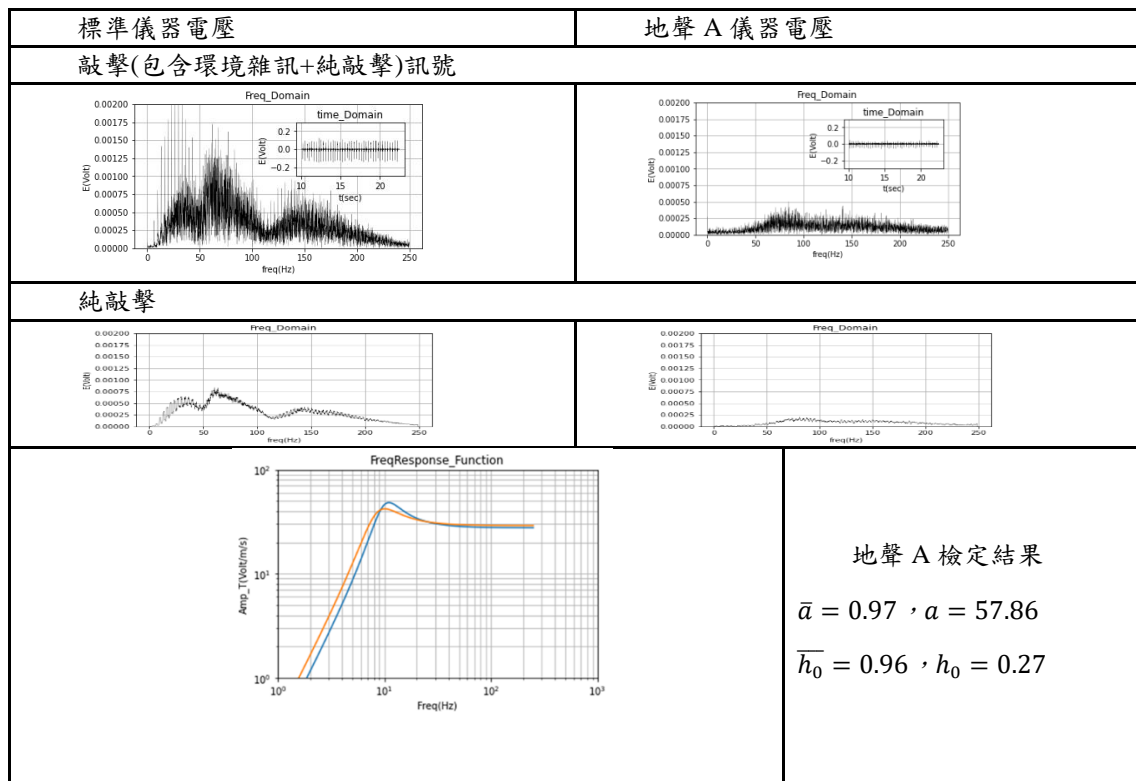


圖 3.11 地聲 A 檢定結果，檢定曲線與原廠幾乎重疊

地聲 B 於三月檢定時有問題，經過現場加強，並以水泥塊固定，檢定結果顯示正常。

但是因為地聲檢知器離下游河道距離超過 120 公尺，已經無法接收到一般河道中流況的訊號，因此有必要以延長線將地聲檢知器再拉到接近河道的地方，因為經費緣故，今年無法執行此部分的修正，雖然地聲檢知器確認功能正常，也僅能接收極大事件的能量。

## 第二節 攝影機檢校

攝影機檢定必須經過幾個步驟，首先必須檢定攝影機本身所有畫素良好，然後檢定攝影畫面與監測畫面間轉換關係，如此才能確保攝影機畫面可以用於監測，數位式攝影機檢定項目至少包含幾何校正(透鏡、CCD 幾何位置精度、光圈校正)、缺陷像元(Defect Pixel Recognition)、雜訊等，像元線性度(Sensor Linearity)對土石流監測較沒有影響，因為即是有偏離，畫面整體對比保持相同，對人類眼睛或影像分析都不會有影響，因此不予檢定，

攝影機都已經裝設於現場固定角度位置，無法拆下來送回試驗室檢定，因此目前所有方式均以在現場可以執行為原則。

### 一、像元檢定

檢定攝影機每個像元，本該把單色光源打入檢定像元的反應，即可確認其是否有缺陷或雜訊，但考慮所有攝影機都已經固定於現場，不適合移動，在現場有陽光或燈光下，不可能打單色光，因此本計劃透過標準色板去測試感光元件的像元(pixel)讀值。初步構想是將一張標準單色板放在鏡頭前面上下左右搖晃，嘗試確認每一個像元都是否可以得到正確讀值，並依此檢定感光元件內部的像元。

由於現場的光源並非均勻，因此標準顏色會因其他光源而造成不同讀值，因此當色板移動時，感光元件上不同像元理論上會分別記錄到不同的顏色，因此檢定時不以標準色板的顏色作為讀值的標準，而是以像元間讀值的差異來做比較，若有與周圍像元不連續的像元，則將其標

示為不正常的像元。

這樣檢定的前提，基本上是假設感光元件上的大部分像元仍然可正常運作，因此才可以用像元間的偏差來檢定。假若大部分像元不正常，則無法使用，但其造成的噪點雜訊應可直接透過肉眼判釋，因此也不需要去檢定而是直接更換或維修攝影機。這個方式也可以同時檢定像元讀值是否有大的雜訊，只要相鄰像元偏差值非固定，就可知道是雜訊，以下以室內試驗驗證一次流程：

以純藍光為例，顯示於電腦螢幕中，然後以相機拍影片連續一秒，因為螢幕本身位置有光源差異，因此每個點的灰階值都不同，無法以灰階值不同來檢視像元讀值是否有誤，因此本研究選取相隔 0.5 秒的兩幀畫面來檢查圖元，如圖 3.12。

第零秒: (將判定不連續的點畫上白點)



第 0.5 秒: (將判定不連續的點畫上黑點)

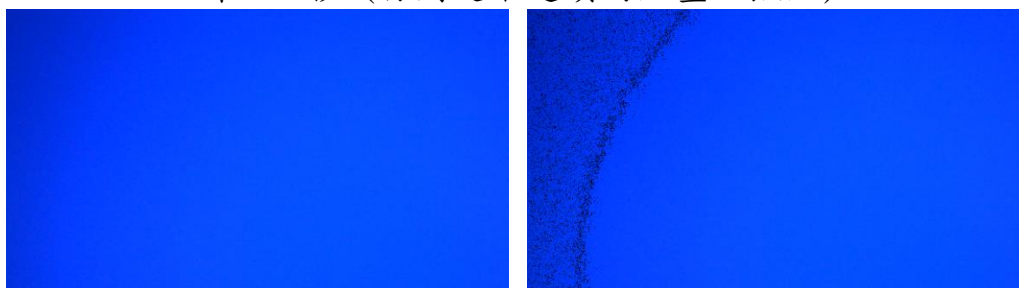


圖 3.12 像元檢定測試圖；左圖為純藍光攝影原圖、右圖為每一像元

灰階值斜率不連續點

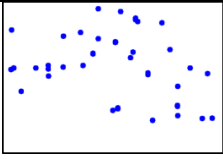
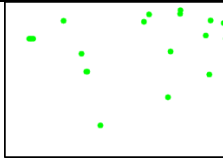
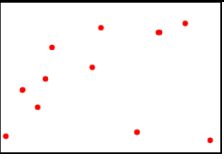
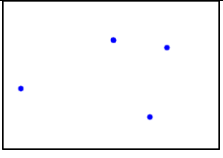
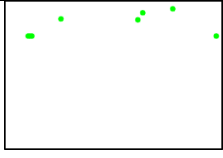
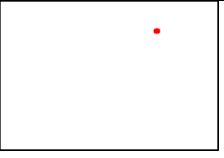
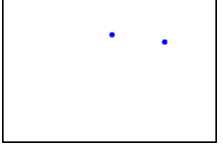
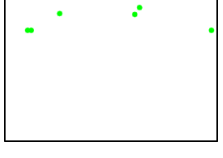

在圖 3.12 中，左圖為原影像畫面，視覺上顏色似乎沒變，但是若檢查灰階值，事實上兩側的灰階值因為打光關係，變化較大。而右圖為檢查藍光灰階值斜率不連續的圖元，如果一個圖元點與周圍圖元的

灰階值斜率大於左右兩邊或是上下點任何一邊的斜率超過 10 倍，本研究即判定為不連續。以黑色(正斜率)或白色(負斜率)標出，可見到不連續點從左跑到右，若是像元有本身問題，則點會留在原地，因為沒有任一個圖元點在兩禎畫面下都不連續，因此表示代測相機的像元都正常。

## 二、現場攝影機檢校流程

將三原色(藍、綠、紅)純色塊板置於現場攝影機前約 20~30 公分的距離，須確保色塊填滿攝影機畫面，並上下左右移動色塊板約五秒的時間，去檢查三原色灰階值斜率不連續的圖元，如果某個圖元點的灰階值斜率大於上下左右任一邊的斜率超過 10 倍，其圖元點及判定為不連續，先將每幀畫面不合格的點找出，並將此幀與下一幀不合格的點去比較，比較不合格點的重覆率，如果不合格的點在每幀影像中都有，則為有問題的圖元點，最後找出在每幀影像中都不合格的圖元點，並在同影像大小的三原色色塊上用白點標出來。最後不合格點如下表

表 3.4 神木村下游攝影機像元檢定結果(每秒一張畫面)

時間	藍色	綠色	紅色
~7 秒			
~8 秒			
~9 秒			
~10 秒	沒有任何問題畫素	1 個問題畫素	沒有任何問題畫素

所以該攝影機有 1 個畫素是有問題的，不會影響視覺或分析結果。

### 三、幾何校正(透鏡、CCD 幾何位置精度、光圈校正)

要校正或檢定所有參數，必須於現場架設全測站，以全測站的測量來檢定所有參數(透鏡、幾何位置精度、光圈校正、還有轉換矩陣)，因此本研究先將檢定公式推導於下。由於現場攝影機架設位置已固定，但全測站的架設點必然會與攝影機有一位置的偏離，因此不同於過去單純的相機檢定模式(Zhang, 2000)，本研究的檢定公式會多出一個現場的全測站位置與現場攝影機位置間的距離參數。

#### (一) 座標系轉換

真實世界本身為三維，而三維座標投影到攝影機中的成像為二維平面座標，因此這兩個座標必須先定義由世界座標系( $X_w, Y_w, Z_w$ )轉換換到圖像座標系( $u, v$ )的轉換式

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{dx} & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \frac{f}{dy} & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & U \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & V \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

其中( $u_0, v_0$ )為圖像座標系的原點(鏡頭光學中心)、 $Z_c$  為圖像座標系原點至真實景物間的距離、 $dx, dy$  為圖元在  $x, y$  方向上每一單位元元長度在影像中佔多少圖元、 $f$  為焦距，而旋轉矩陣  $R$  為世界座標系三個軸與攝影機座標系三個軸的夾角如式(3.10)，平移矩陣 $[U V H]t$  為攝影機座標系原點在世界座標系的座標位置。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_z & \sin\theta_z & 0 \\ -\sin\theta_z & \cos\theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_y & 0 & -\sin\theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_x & \sin\theta_x \\ 0 & -\sin\theta_x & \cos\theta_x \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

因此 
$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & U \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & V \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
 又被稱為外參數矩陣，因為其中數字都是當攝影機架好後，可直接測量的。

## (二) 檢定公式推導

為了檢定外參數矩陣，同時於現場也會採用全測站直接測量攝影機位置等相關數據，其示意如圖 3.13。



圖 3.13 全測站測量外參數矩陣之測試實驗；圖中紅色箭頭為世界座標系之軸、藍色箭頭則為攝影機座標系之軸

在此試驗中，本研究以全測站測得世界座標與攝影機座標三個軸之轉角為： $\theta_x=270^\circ$ 、 $\theta_y=32^\circ 42' 59''$ 、 $\theta_z=0^\circ$ 。將其代入式 3.10 中可求得旋轉矩陣 R

$$R = \begin{bmatrix} 0.841 & -0.540 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0.540 & 0.841 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

在完成全測站測量後，本研究將攝影機安裝於相同位置，但是因為攝影機內部感光元件位置與全測站的感光平面位置不同，因此在垂直

於鏡頭的 $Y_W$ 方向會有一個未知的攝影機成像平面與全測站原點間的距離  $L$ ，故本研究將攝影機的世界座標令為 $(0, L, 1.18)$ ，並將攝影機의 平移矩陣導出如下

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.841 & -0.540 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0.540 & 0.841 & 0 \end{bmatrix} \left( - \begin{bmatrix} 0 \\ L \\ 1.18 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 0.540L \\ 1.18 \\ -0.841L \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

由式(3.11)與(3.12)，則可導出攝影機的外參數矩陣如下

$$\begin{bmatrix} 0.841 & -0.540 & 0 & 0.540L \\ 0 & 0 & -1 & 1.18 \\ 0.540 & 0.841 & 0 & -0.841L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

將上式代回式(3.9)如下

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{dx} & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \frac{f}{dy} & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.841 & -0.540 & 0 & 0.540L \\ 0 & 0 & -1 & 1.18 \\ 0.540 & 0.841 & 0 & -0.841L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

並將外參數矩陣與內參數矩陣展開則可得

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.841 \frac{f}{dx} + 0.540u_0 & -0.540 \frac{f}{dx} + 0.841u_0 & 0 & 0.540L \frac{f}{dx} - 0.841Lu_0 \\ 0.540v_0 & 0.841v_0 & -\frac{f}{dy} & 1.18 \frac{f}{dy} - 0.841Lv_0 \\ 0.540 & 0.841 & 0 & -0.841L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

接續將式(3.14)中  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三個分量的式子列出

$x$  分量：

$$\begin{aligned} & \frac{f}{dx} (0.841X_w - 0.540Y_w + 0.540L) + u_0(0.540X_w + 0.841Y_w - 0.841L) \\ & = (0.540X_w + 0.841Y_w - 0.841L)u \end{aligned} \quad (3.15a)$$

$y$  分量：

$$\begin{aligned} & \frac{f}{dy} (1.18 - Z_w) + v_0(0.540X_w + 0.841Y_w - 0.841L) \\ & = (0.540X_w + 0.841Y_w - 0.841L)v \end{aligned} \quad (3.15b)$$

$z$  分量：

$$Z_c = 0.540X_w + 0.841Y_w - 0.841L \quad (3.15c)$$



由於式(3.15)中的 $\frac{f}{dx}$ 、 $u_0$ 、 $\frac{f}{dy}$ 、 $v_0$ 、 $L$ 皆為未知數，而 $\frac{f}{dx}$ 、 $u_0$ 、 $v_0$ 與未知數 $L$ 又必須相乘，且 $Z_c$ 裡也有未知數 $L$ ，因此式(3.15a)與(3.15b)為非線性的四元二次聯立方程式。

利用反覆運算概念，第一步先令 $L=0$ ，以線性方程式解出 $\frac{f}{dx}$ 、 $u_0$ 、 $\frac{f}{dy}$ 、 $v_0$ 四項後，再將數據代回式(3.15)求解 $L$ ，重複反覆運算至 $L$ 收斂。即可求得系統中所有參數

### (三) 檢定方法之試驗與測試

本研究先於台大校園內選擇一室外場地，在牆上貼上標準方格版(每個方格為 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ )，來測試此檢定方法是否可行，並確認檢定式的精度與誤差，此次實驗取了八個測量點如圖 3.14，其座標列於表 3.8，將此八個點代入前節之方法計算。

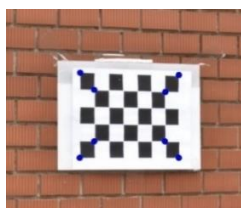


圖 3.14 八個現場測量點，圖中每個黑色與白色的格子邊長都是 5 公分

本研究發現只迭帶一次即獲得準確結果，如表 3.5。

表 3.5 代求變數反覆運算過程之結果

$\frac{f_x}{dx}$	$u_0$	$f_x$	$\frac{f_y}{dy}$	$v_0$	$f_y$	誤差
13912.6	2706.95	54.491	14058.5	1990.76	54.828	$1.01889 \times 10^{-6}$

### (四) 現場檢驗

#### 1. 神木村

為確認區域參數，並計算世界座標，本計畫以現場所有點的資料代入前式進行參數檢定，因為檢定公式為每一個 $Z_c$ 有一個公式，因此以四個斷面分別檢定參數。

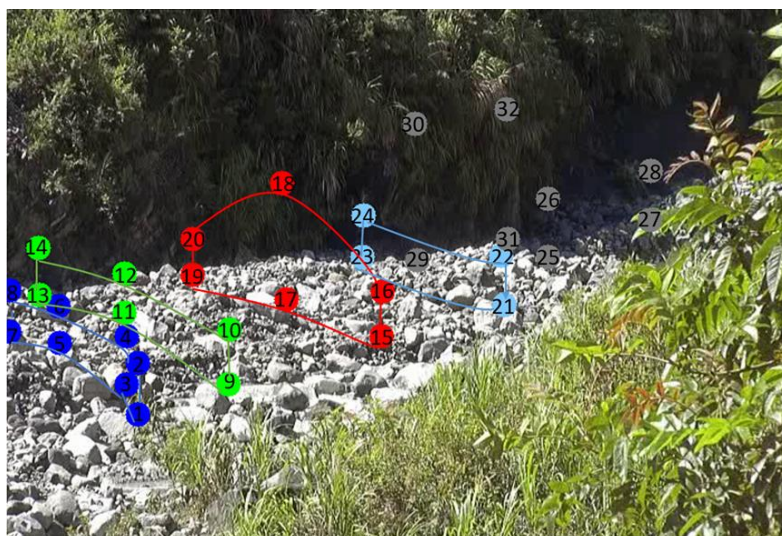


圖 3.15 愛玉子溪現場測點分佈圖，相同顏色為垂直河床的一個斷面，從左到右為斷面 1 到 4

表 3.6 以現場的點檢定參數結果，誤差是以斷面一為標準計算

	$\frac{f_x}{dx}$	$u_0$	$\frac{f_y}{dy}$	$v_0$
斷面一	882.273	63.702	405.288	42.766
斷面二	808.667	54.070	606.146	41.722
誤差	2.55%	2.64%	.89%	0.43%
斷面三	819.542	60.412	539.109	43.917
誤差	2.17%	0.90%	.92%	.47%
斷面四	835.235	63.222	3475.205	248.159
誤差	1.63%	0.13%	2.05%	2.22%

先以平均參數計算任何影片畫面上的點，計算出來的世界座標可以由其 Z 座標重新修正到正確的區域，再使用正確斷面的參數，以此方始計算出來結果如圖 3.16。

如果光使用全區平均參數，畫面中接近兩側的點，其世界座標位置誤差可以大到 100%，但如果只需要垂直座標(流深方向)，除了邊界點，誤差最大也只有 10%。

經過修正到正確區域參數後，Z(垂直方向，流深方向)誤差都不到 5%，Y(垂直接動方向，河寬方向)誤差也不到 20%(除了邊界點)。

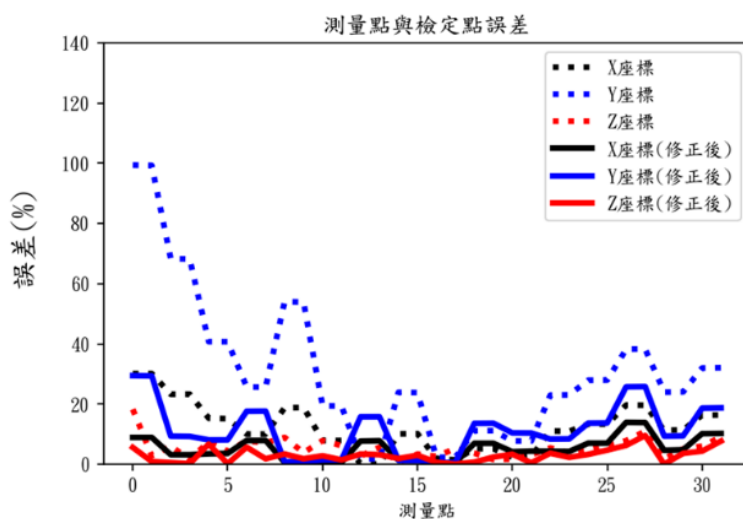


圖 3.16 回推世界座標誤差，虛線為使用全區平均參數結，實線為修正到正確區域參數後結果

這個結果顯示，雖然檢定公式對  $Z_c$  (垂直攝影機方向) 很敏感，但是在分區校正後，流深方向會很準確，河寬的數據會有 20% 的誤差。

## 2. 玉穗溪

玉穗溪攝影機第一步檢驗像素是完美的，沒有任何一個像素有任何問題。第二步要檢驗目標區的世界座標轉換的參數時，因為與目標區的距離相當遠，要檢定參數必須將反光板拿到河道四週檢定。本計畫工作人員，以繩索攀爬 120 公尺到溪谷中測量，結果如圖 3.17。

抵達溪谷後，測量中游的測點分布如圖 3.18，畫面放大後的點分布如圖 3.18(c)(d)。



圖 3.17 以繩索攀爬 120 公尺邊坡

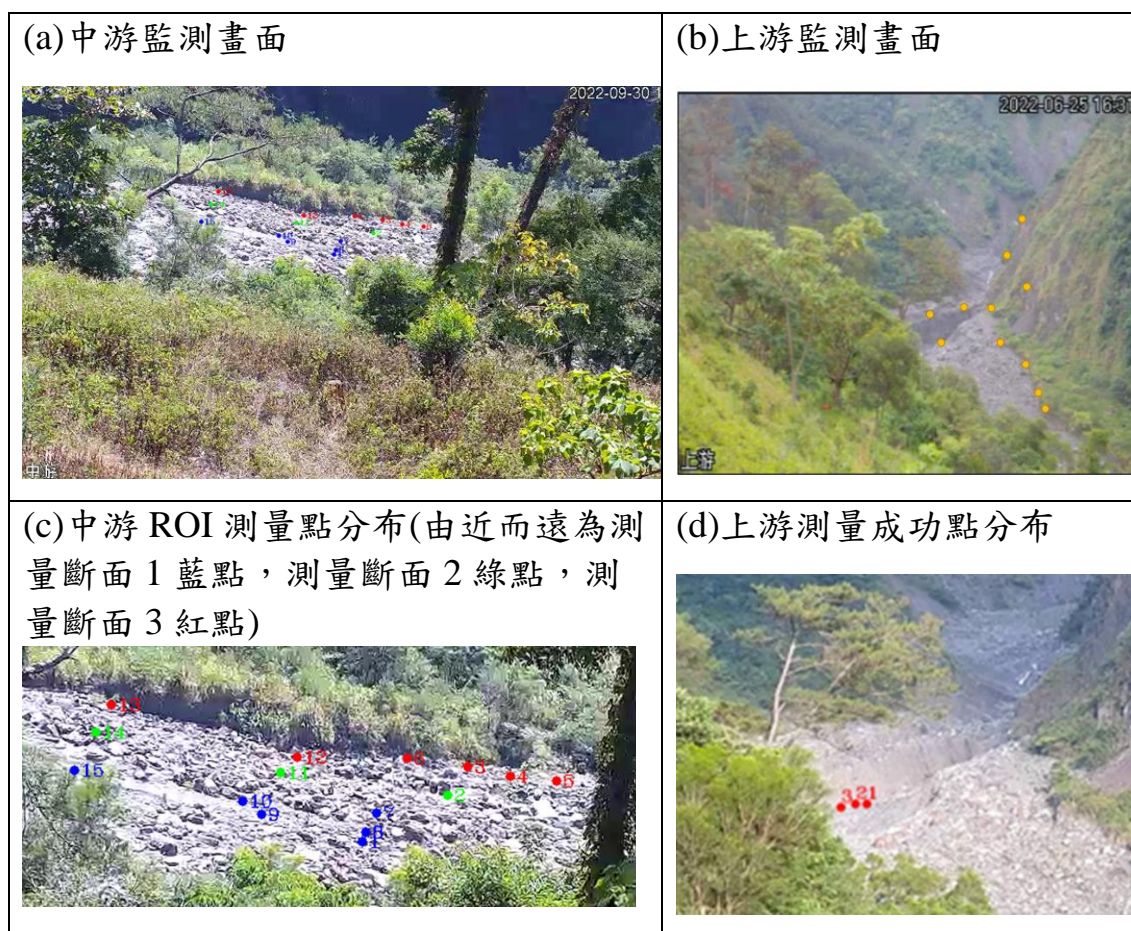


圖 3.18 監測畫面中的現場測量點

中游河谷的點，離監測站最近直線距離為 250 公尺，上游的河谷測量點，離監測站最近 650 公尺，即使用全測站配合反光鏡，也非常難抓到點。測量後的參數如表 3.7。

表 3.7 攝影機專換參數

	$\frac{f_x}{dx}$	$u_0$	$\frac{f_y}{dy}$	$v_0$
中游 Plane 1	1716.268	642.58	1360.82	446.02
中游 Plane 2	1660.227	610.44	1220.75	377.72
上游	1054.296	666.88	1189.13	374.39

而將中游參數帶入現場座標取點驗證誤差如圖 3.19，斷面 2 為中央斷面，也就是反推現場流深流速都會用斷面 2，也就是計算流速的時候(Y 方向)平均誤差有 10%，計算流深的時候平均誤差有 7%。

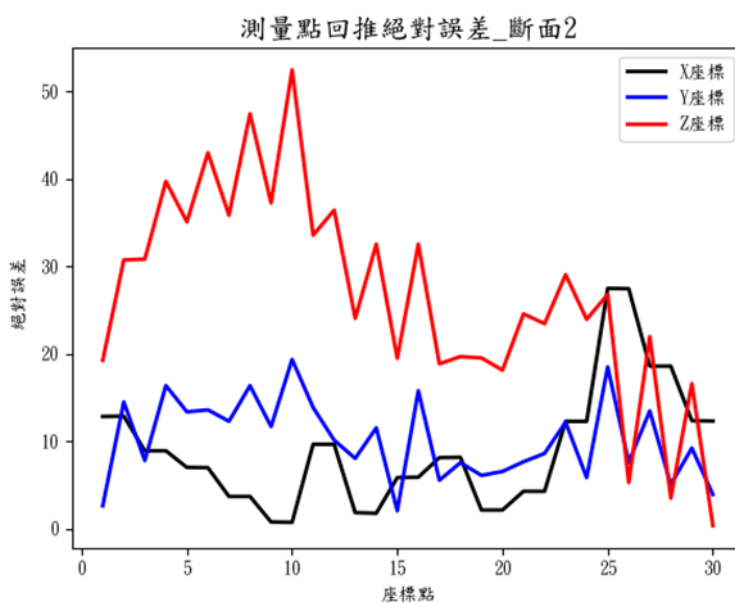


圖 3.19 中游驗證誤差，Z 為離監測站距離，X 為流向，Y 為垂向。

將上游測量參數帶入現場座標檢定，誤差如圖 3.20，不管哪個方向平均誤差都在 5%。

但是有一點要注意，檢定完，發現上游畫面中每一個畫素，代表約 3 公尺的長度，中游畫面每個畫素代表 1.5 到 2 公尺的長度。也就

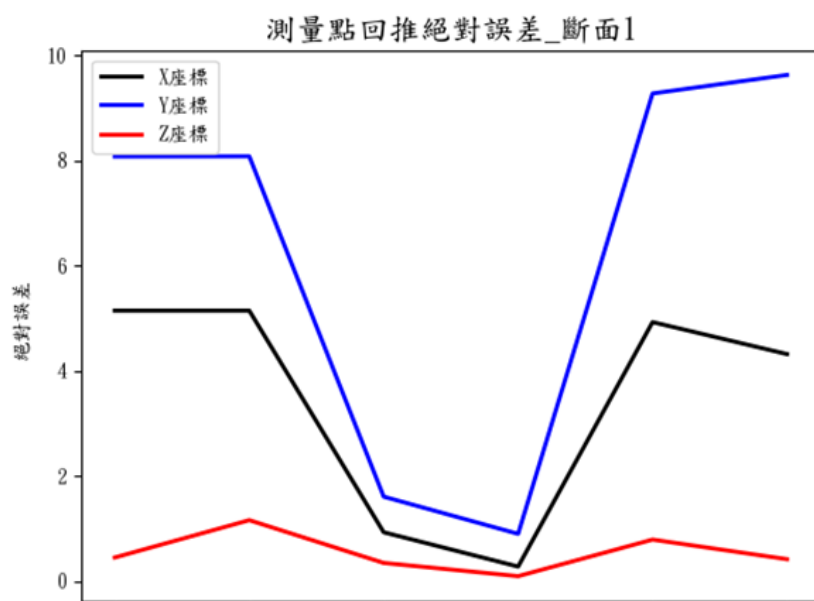


圖 3.20 上游轉換後點的誤差

是說如果現場有土石流以每秒 2 公尺的速度前進，一秒內，無法前進到下一個畫素，因為一秒中有 10-30 禎畫面，因此分析結果會認為這土石流在這一秒內是靜止的，必須分析到第二秒，才會多一個畫素有土石流，而分析軟體是以一個畫素認定為誤差可接收範圍，因此會兩秒內都誤判土石流為靜止。因此為了因應每個畫素代表 2 公尺以上這麼大的距離，土石流的偵測時間必須加大。

## 第四章 影像分析

本研究為了採取能即時計算與偵測的方式，回到類似以人類眼睛判斷事件的標準，即畫面中有大量土石流來的時候，此時影片中會有大量畫素改變灰階值，此灰階值改變就是人眼看到且依以判斷是否有土石流事件的主要條件，因此本研究採計每一幀畫面的總灰階值改變，然後依據此改變量來做預警。當然除了總灰階值改變，為了反應這是土石流事件，灰階值變化必須符合土石流來的特徵，前鋒波高大且通常於波前會延續兩秒左右(不同於偶發或人為事件通常時間極短)，這些考慮形成了以下的總灰階值預警方法。

### 第一節 總灰階值法

當土石流事件發生時，泥水夾雜大量石頭在河道中移動，由於重力作用，巨礫通常會集中於前端，形成一個有坡度的明顯波前，泥水以及坡度陡的土石流前鋒會反映出不同的亮度值，在人眼的判斷下，土石流發生前後會有劇烈的亮度值變化，以及顏色上的差異，但土石流是沒有特定顏色的，因此利用亮度值的差異偵測土石流事件是否發生。於是，在開始分析影像灰階值之前先在河道中畫出一個追蹤區塊(Region of interest, ROI)，計算每一幀影像 ROI 中的平均灰階值及其隨時間的改變速率，以土石流事件發生前的環境亮度改變速率作為雜訊，去除雜訊後率定出平均亮度值的基準值，以平均亮度值改變快速與劇烈，並且事件須持續發生兩秒以上，做為偵測土石流前鋒的條件，以排除瞬間但劇烈的灰階值差異事件。

#### 一、擷取灰階化影像

由於土石流沒有特定的顏色，無法以顏色作為偵測土石流事件的

標準，因此將彩色影像灰階化，僅留下亮度資訊，並且用以減少的計算量。擷取影片第  $t$  秒的影像，灰階化先前定義的 ROI 範圍內的圖元，然而，灰階化的計算是很主觀的，通常依照使用者的需求做公式的選擇，常見的灰階化公式有平均值法和加權平均法；本研究使用國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)所訂定的加權平均法公式將彩色影像灰階化，公式中三原色的權重係數依據人眼對該顏色的感光程度而設計，反映出人眼對綠色的感光度最敏感，對藍色最不敏感。

$$f(x, y) = \frac{R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)}{3} \quad (4.1)$$

$$f(x, y) = 0.299 \times R(x, y) + 0.578 \times G(x, y) + 0.144 \times B(x, y) \quad (4.2)$$

其中  $x, y$  為影像二維座標，函數  $f, R, G, B$  分別為二維影像座標  $(x, y)$  的灰階值、紅色亮度值、綠色亮度值、藍色亮度值，在此採用 256 個級度分類灰階值，則其範圍皆介於 0 至 255 之間，數值對應之亮度由暗到亮。

## 二、平均灰階值計算

透過對 ROI 中的圖元作灰階值的統計，可得該影像 ROI 中的灰階值分佈，繪製成影像直方圖(如圖 4.1(a))，加總圖元的灰階值得到總灰階值，再除以圖元總數可得平均灰階值，平均灰階值的計算公式如下，

$$\bar{f}(t) = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y, t)}{MN} \quad (4.3)$$

其中  $t$  為時間(單位秒)， $\bar{f}(t)$  為影像平均灰階值， $M$  為 ROI 中影像二維座標  $x$  方向圖元數量， $N$  為  $y$  座標方向圖元數量。時間與幀數關係式為

$$t = n \times \frac{1}{fps} \quad (4.4)$$

式中  $t$  為時間(秒)， $n$  為影像幀數， $fps$  為幀率，單位為幀數/秒。



以發生於南投縣神木村愛玉子溪的土石流事件影片為例，定義 ROI 後(圖 4.1(b)中的紅框)，透過對影片作灰階值統計分析，繪製該場事件灰階值分佈隨時間變化圖(圖 4.1(a))，而灰階值分佈隨時間變化圖的時間剖面即為該時間點的影像直方圖。由人眼判釋土石流事件於影片第 25 秒時即將進入 ROI 區域，平均灰階值由第 25 秒的 109.83 下降至第 39 秒的 88.48，表示當土石流進入影像時，前鋒夾雜泥水和巨石，使得影像畫面變暗，而後大量泥水進入河道，水面反光使得平均灰階值攀升。

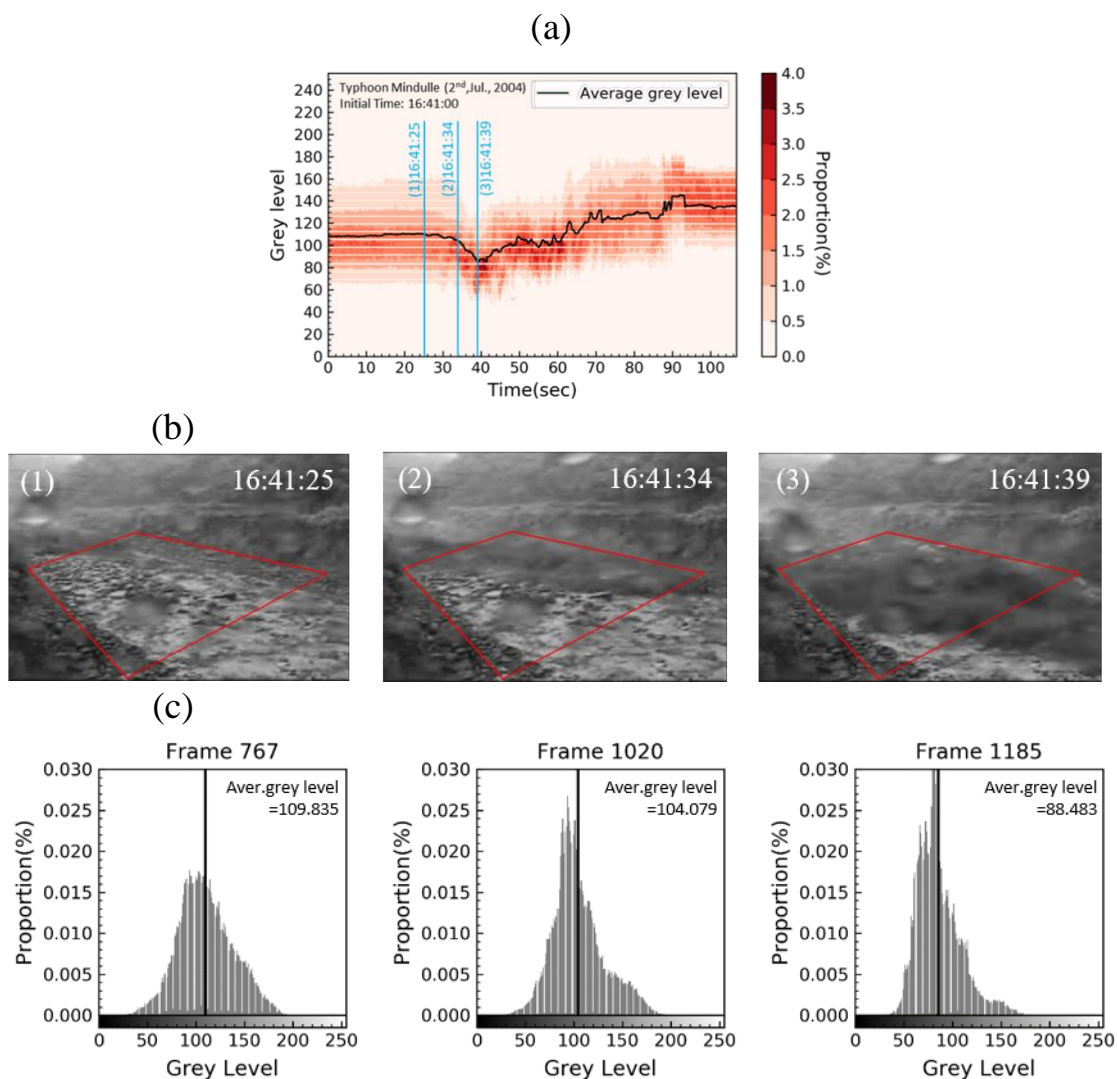


圖 4.1 2004 年 7 月 2 日愛玉子溪土石流之影像灰階值分佈隨時間變化圖，(a)ROI 中影像灰階值分佈隨時間變化圖，(b)與(c)分別為(a)上三個時間點之原始影像以及灰階值分佈圖。

在圖 4.1 中，灰階值分佈圖之橫坐標採用 256 色之灰階值，座標軸旁繪有該灰階值於影像中相對應的亮度，縱軸為 ROI 影像中該灰階值的像數量佔總圖元量的比例，黑色垂直線代表 ROI 平均灰階值的位置；(1)土石流前鋒尚未進入 ROI，影像平均灰階值為 109.835，(2)土石流前鋒到達 ROI 中心處，影像平均灰階值為 104.079，(3)土石流前鋒通過 ROI 下游邊界，影像平均灰階值為 88.483。

影像的平均亮度值受環境亮度(如天氣、晝夜)和河道流況所影響，拍攝每張影像的當下，環境亮度值都不同，因此若以平均亮度值改變量當作偵測事件的指標因數時，沒有一個固定的基準值，但我們能知道在任何事件發生之前，河道的流況是穩態的或變化緩慢的，所以平均亮度值在長時間的週期內應保持相近的數值，相反的，當事件發生時的灰階值變化相對於環境亮度改變來的劇烈且快速，因此可使用河道流況為穩態情況下的灰階值變化速率，做為事件偵測的基準。

### 三、資料平均

土石流事件發生前，平均灰階值曲線應保持相近的數值，但圖 4.1 的平均灰階值曲線上卻存在著微小且快速變化的波動，這是由隨時間變化的環境亮度所造成的雜訊，此種高頻擾動所造成的不規則脈衝會影響後續的數據處理，為了消除短期波動，突出當下平均灰階值在時間上的趨勢，應用中心移動平均法的概念於此，以第  $t$  秒(第  $n$  幀)的數據為中心，以該數據左右相同數量的數據點建立一個數據集，並透過向前位

$$\bar{f}(t) = \frac{\sum_{i=-\frac{(m-1)}{2}}^{\frac{(m-1)}{2}} f(t+i\Delta t)}{m} \quad (4.5)$$

其中 $\bar{f}(t)$ 為雜訊平均後的平均灰階值， $f(t)$ 為第  $t$  秒時的平均灰階值， $\Delta t$ 為每兩幀影像之間的時間間隔，即為單位時間， $\Delta T$ 為中央平均移動法之延時，單位為秒， $m$ 為在延時 $\Delta T$ 中，中央平均移動法之延時所包含的數據長度，單位為幀，其兩者之關係為

$$\Delta T = m\Delta t$$

#### 四、計算斜率

在即時偵測的情況下，能得到的是過去以及現在的資料，以向後差分法(RAO 2002)計算平均灰階值的改變速率，即是灰階值隨時間變化之斜率，向後差分公式如下，

$$S(t) = \frac{3\bar{f}(t) - 4\bar{f}(t - \Delta t) + \bar{f}(t - 2\Delta t)}{2\Delta t} \quad (4.6)$$

其中 $S(t)$ 為第 $t$ 秒的灰階值改變速率，單位元元為灰階值差值/秒， $\Delta t$ 為單位時間， $\bar{f}(t)$ 為第 $t$ 秒經由資料平均後的平均灰階值。

#### 五、土石流前鋒之偵測條件

偵測土石流前鋒門檻值之建立，依據土石流發生時的平均灰階值變化相對於環境亮度改變來的劇烈且快速之特性，以平均灰階值變化率做為偵測事件的指標因數，使用河道流況為穩態情況下的灰階值變化速率，做為事件偵測的基準，當平均灰階值的改變速率大於環境亮度改變速率一個量級，則視為事件的發生。然而，環境亮度值會隨時間改變，若以傳統固定式門檻值偵測土石流事件，則容易造成誤警或未警的情況，故在此使用浮動式門檻值，以因應環境亮度的改變而自動更新數值。浮動式門檻值的計算為以每動態 $dt$ 秒的平均灰階值斜率最大值 $S_n$ ，即為環境雜訊在這段時間變化的最大範圍，乘上一個倍率 $\alpha$ 作為後續偵測土石流前鋒的參考值，即門檻值為兩倍、五倍或十倍之環境雜訊，關於 $\alpha$ 之使用倍率，會於第五章節現地影片分析討論。

除了影像空間上的偵測條件外，再加入土石流特性於時間因數的考量(持續一段時間)，例如斜率值大於門檻值須連續 10 個點，目的為排除瞬間但劇烈的灰階值差異事件，但是在土石流事件發生時，偶爾伴隨著泥水翻騰之景象，使得影像時暗時亮，導致無法滿足斜率值大於門檻值連續多個點之條件，因此對平均灰階值改變速率做區域峰值的判釋，當區域峰值連續大於門檻值 2 秒，即判釋為事件的發生。

假設在時間 $t_0$ 時，平均亮度變化率 $S(t_0)$ 大於 $\alpha$ 倍的環境亮度變化率 $S_n$ ，則視為事件的發生，其中環境亮度變化率 $S_n$ 的量測時間介於 $t_0 - 2dt$ 至 $t_0 - dt$ ，並以該時間區間之最大值作為參考值。

$$S(t_0) > \alpha \cdot S_n \quad (4.7)$$

$$S_n = \max\{S(t) , t_0 - 2dt < t < t_0 - dt\}$$

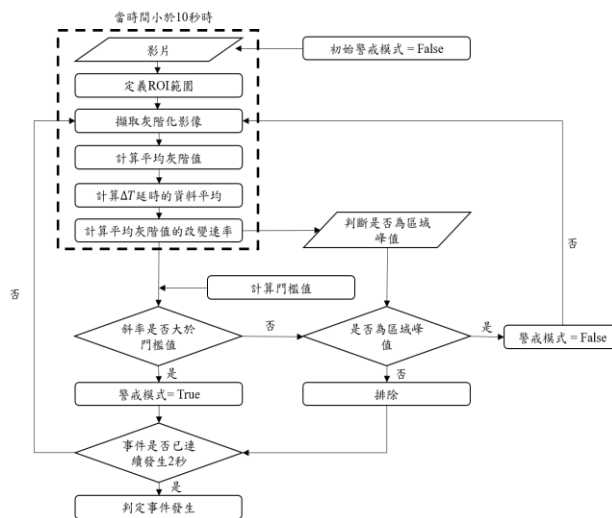


圖 4.2 偵測土石流事件之流程圖

圖 4.2 偵測土石流事件之流程圖

## 六、現地影像偵測抵達時間驗證

### (1). 2004 敏督利颱風神木村土石流

為了應用總灰階值法偵測土石流前鋒於現場土石流事件，以 2004 年敏督利颱風之影片進行測試，其原始影像之截圖如圖 4.3。以延時 $\Delta T$

為 1 秒做資料平均，以兩倍的動態 10 秒環境雜訊斜率最大值做為偵測土石流前鋒之門檻值，並且滿足持續兩秒之偵測效果，其偵測結果如表 4.1。(因為人眼偵測把泥水當作土石流開始，因此固定誤差 11.2 秒)

表 4.1 總灰階值法應用於現地影像土石流前鋒偵測

幀率	偵測時間	
	有 ROI	無 ROI
30	36.73 (晚 11.17 秒)	37 (晚 33 秒)
5	37 (晚 11.43 秒)	37 (晚 33 秒)
2	37 (晚 11.43 秒)	37 (晚 33 秒)

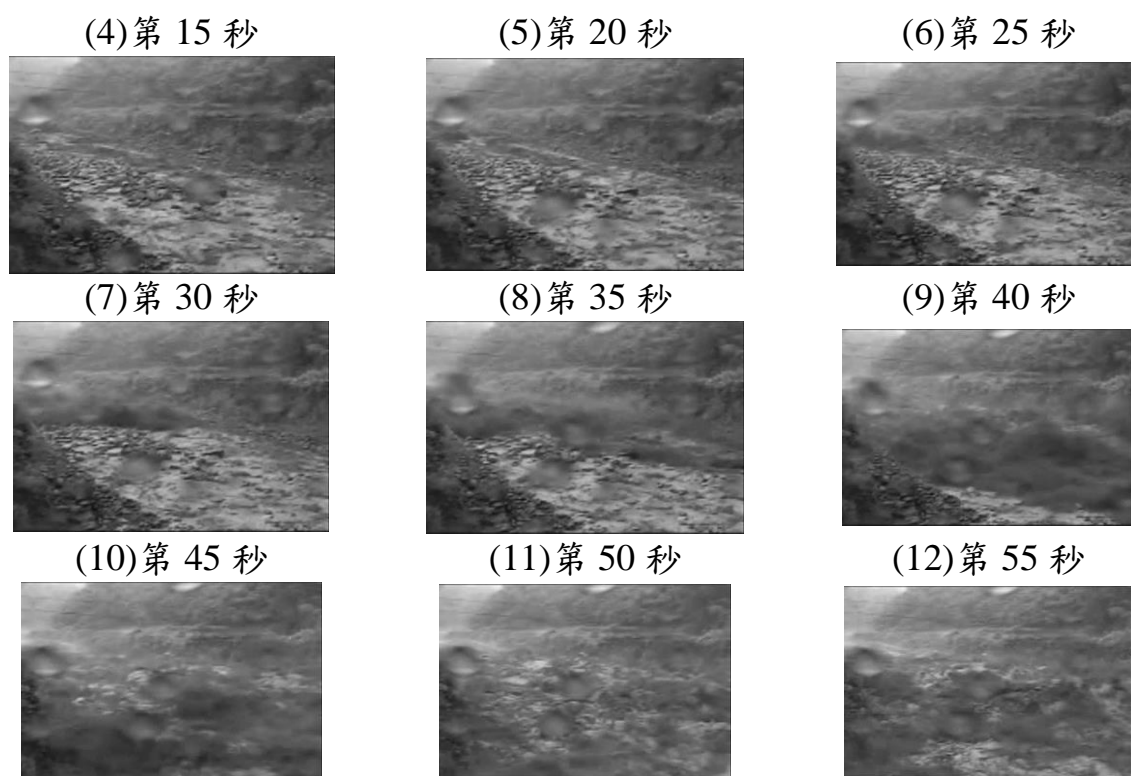


圖 4.3 案例 1 隨時間變化之影像(以時間間隔 5 秒擷取影像畫面)

(2)2014 5 月 20 日暴雨土石流事件

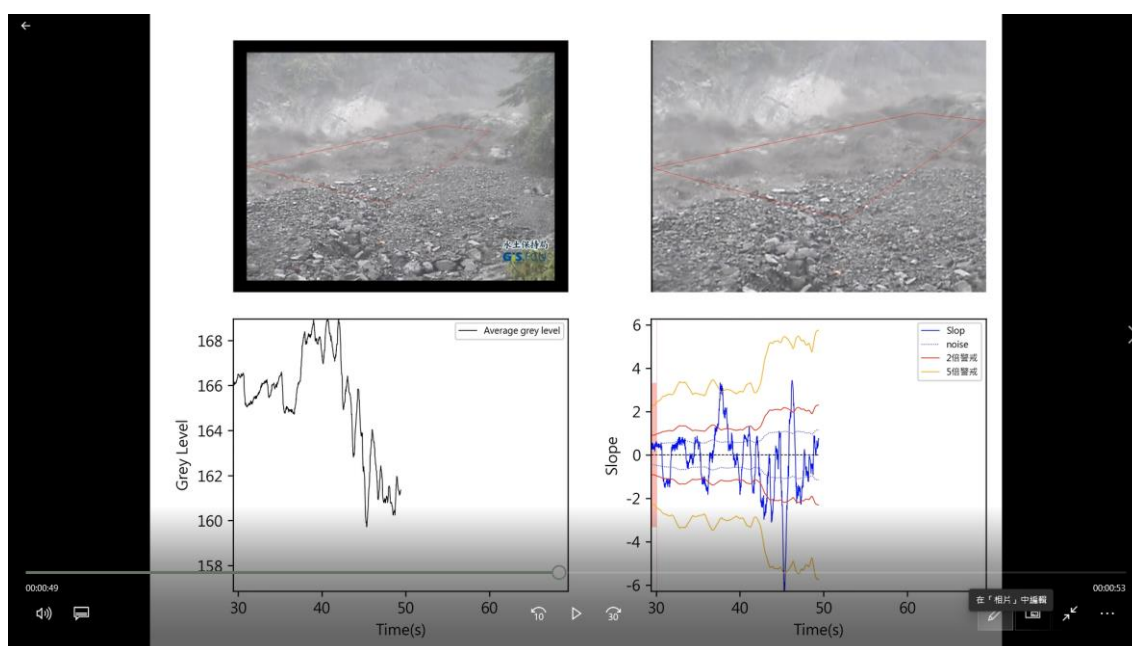


圖 4.4 0520 土石流抵達 ROI 範圍內的影像，右下圖為總灰階值變化曲線，顯示土石流抵達時，總灰階值快速變化達 2 秒之範圍

2014 年 0520 暴雨之影片，以延時 $\Delta T$ 為 1 秒做資料平均，以兩倍的動態 10 秒環境雜訊斜率最大值做為偵測土石流前鋒之門檻值，並且滿足持續兩秒之偵測效果，其偵測結果程式發出預警時間與人眼辨識時間僅差 2.1 秒。

## 第二節 玉穗溪事件影像分析

2022 年 6 月 7 日在明霸克露橋發生了大規模土石流事件，而本觀測系統於 6 月 7 日下午剛剛才裝設完成，於中游監測到的影像顯示 80% 的時間都是大霧，偶而有清楚影像發生，不過由清楚的影像部分，可以看出河道部分完全沒有土石流經過，因此把該時段時間影像進行分析如圖 4.5。

從下午 2PM 到 5PM，大部分時間 ROI 中影像都被大霧蓋掉，大霧在移動的過程中，總灰階值也是緩緩變化，而且大霧中總灰階值的平均分布很廣，但是系統並未因為大霧而產生誤警，事實上，即使在大霧中，人眼仍然勉強可以看出流況是否有變化，因此總灰階值還是會因為流

況而改變。

從影像分析結果可以知道，中上游在 6 月 7 日並無崩坍或土石流的發生，下游的土石流應該是在離監測點到溪口的這範圍內，有部分堆積層潰決而產生的。

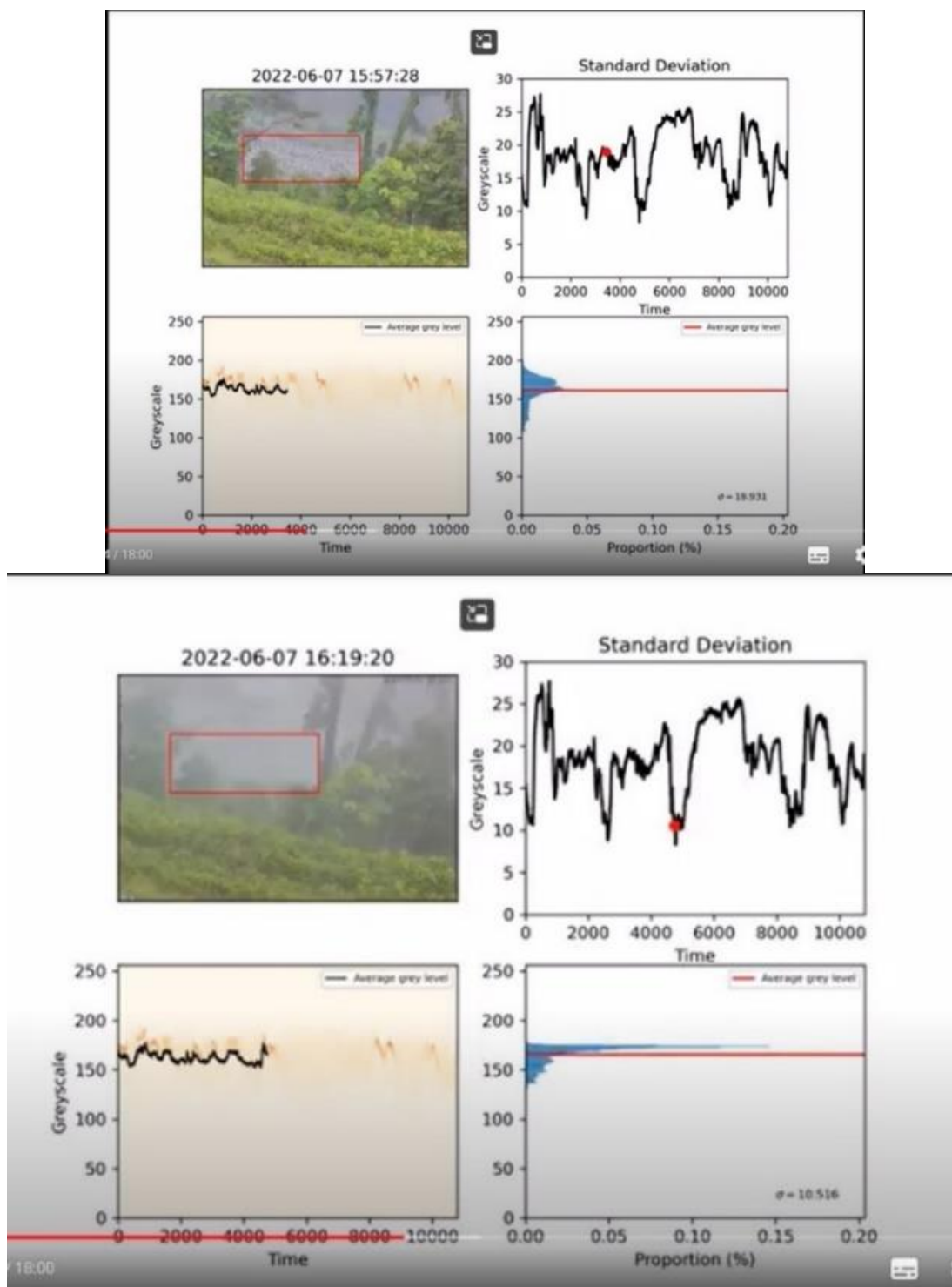


圖 4.5 2022/6/7 攝影機影像，下圖為大霧影像為，上圖為清晰影像

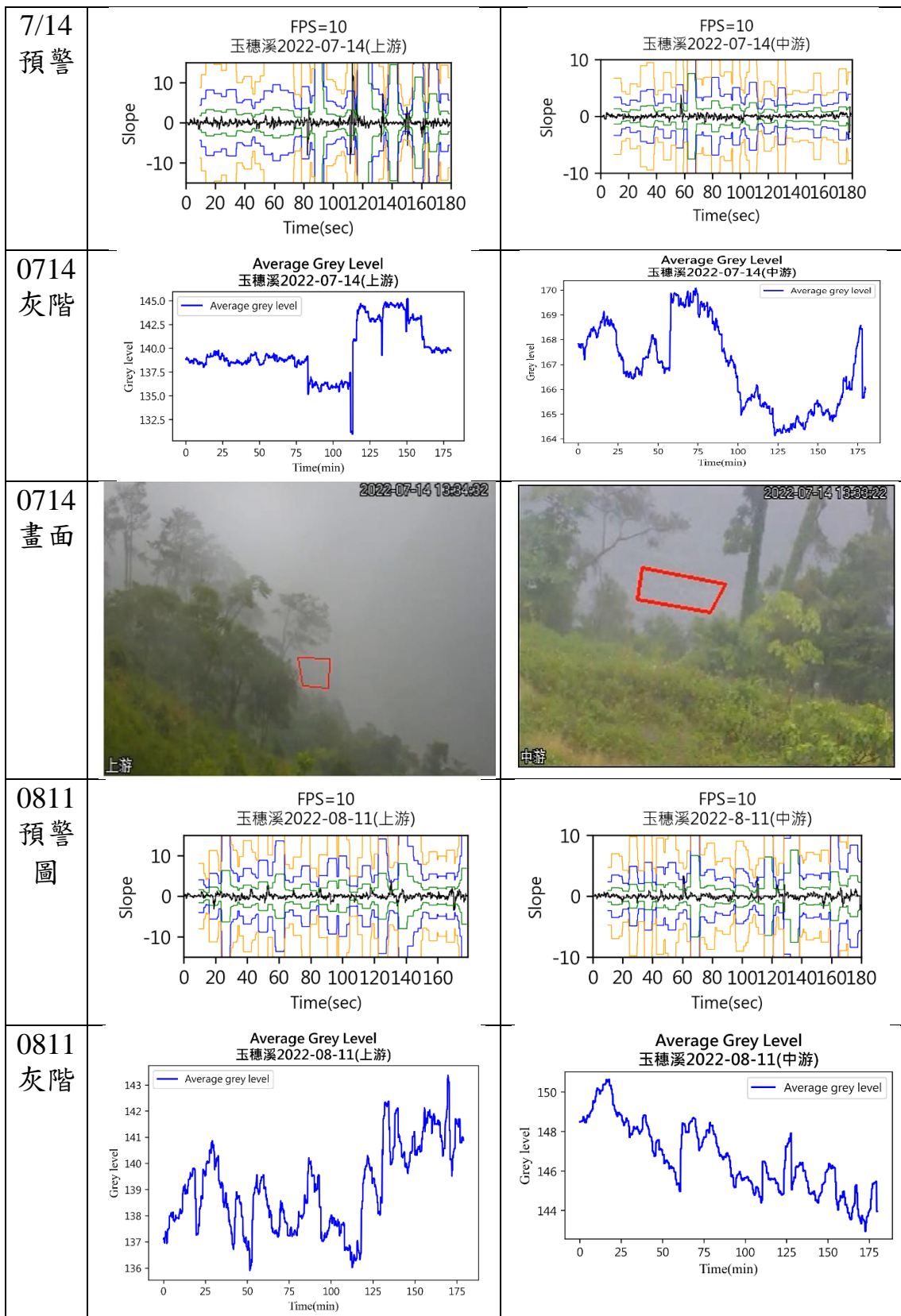
表 4.2 2022/5/8-2022/11/1 玉穗溪監測站降雨事件表

時間	累積(mm)	分布圖
2022/07/14 13:22~13:49	31	
2022/8/11 17:17~19:54	41	
2022/08/17 16:44~19:46	30	

從監測站 6 月 5 日完成到 11 月，期間有三次累積降雨較大的事件，如表 4.2，降雨事件累積雨量都不超過 50 mm (根據氣象局紀錄只有 5 月 12 日有一場累積雨量為 387 mm，但是當時本系統尚未安裝完成)，各場降雨的雨量分布與累積雨量變化請見表 4.2，三場都發生於下午到傍晚，因此影像都有紀錄，下午到傍晚，也是玉穗溪最容易出現大霧的時候，因此所有影片都有大雨，大霧等現象，影像分析顯示，這幾場事件系統都沒有發布警報，因此沒有誤發警報的現象，但是因為也沒有發生真正的土石流，因此也沒有任何成功發布土石流警報的紀錄驗證。以下就針對每一場影像分析給予分析紀錄。







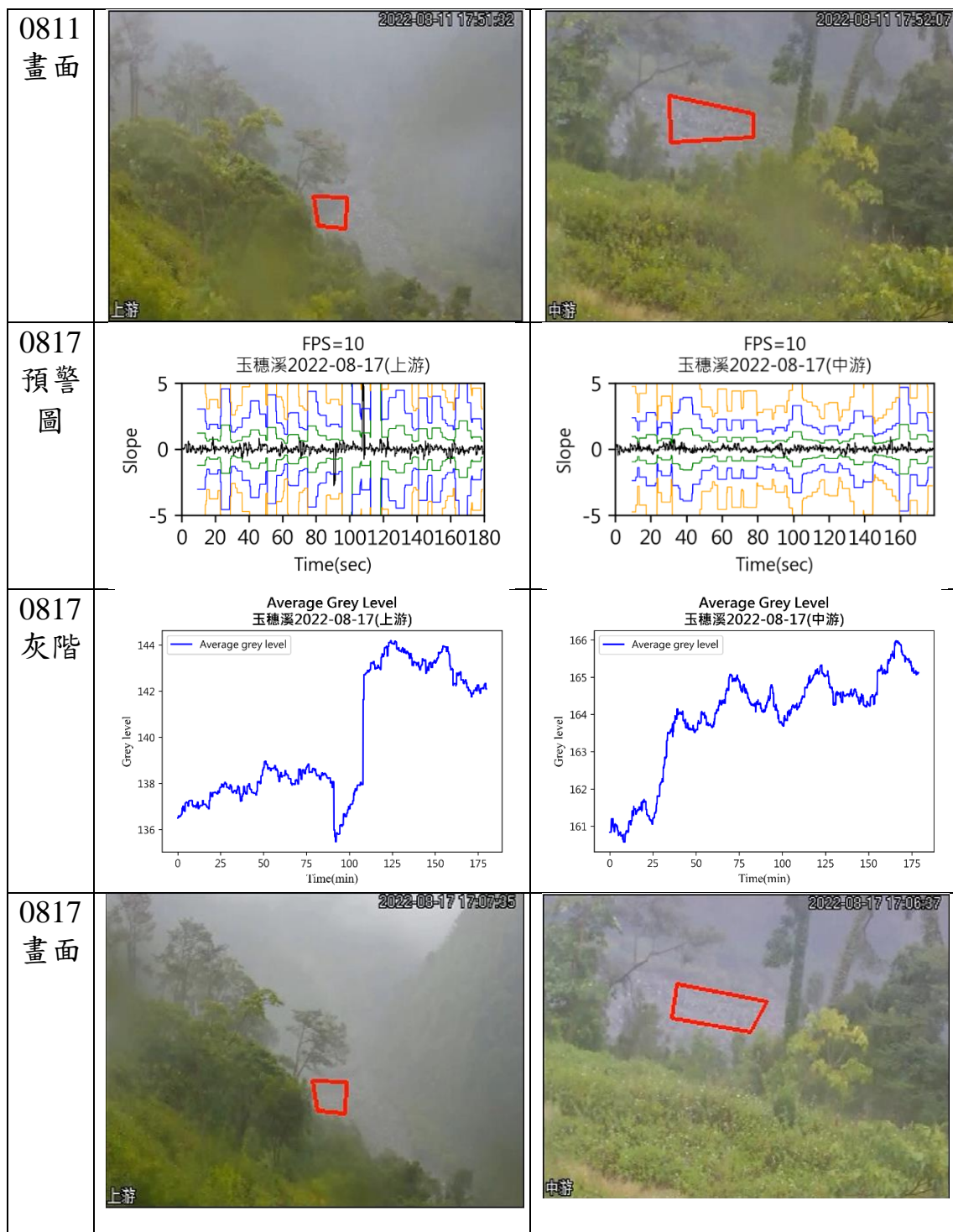


圖 4.6 0714，0811，0817 三場降雨事件的預警圖與灰階值變化圖

## 第五章 長期災害潛勢預報

### 第一節 玉穗河流域土砂生產與運移分析

在陡峭山區集水區，崩塌、土壤沖蝕、土石流與河川輸砂等地形作用共同構成的泥砂傳輸過程 (Liu et al., 2013)，野溪為連接邊坡與下游河道的重要過程，當崩塌和土壤沖蝕產生的大量泥砂堆積在野溪的河床上，雨水和地表逕流與堆積土砂混合後，受到重力牽引沿著邊坡或河谷向下游移動的塊體運動 (mass movement) 現象，形成土石流的現象，且泥砂或河床物質受到河道流的剪應力帶動而產生侵蝕作用 (Barbour et al., 2009)，使得泥砂順著往下游搬運與堆積，這一系列的泥砂生產、搬運與堆積的作用過程控制集水區地形演育與泥砂收支，並且也會影響到鄰近人類生命、財產相關設施的安全，造成所謂「複合式災害」。

為了釐清集水區的土石流的潛在威脅與進行適當的防制，則需仰賴一套從上游坡地土砂生產，到中游野溪泥砂傳輸，和下游泥砂淤積的地形、土砂變遷的監測方法。本計畫以玉穗河流域為研究區，將使用歷史航照影像，配合攝影測量-運動恢復結構法 (Structure from Motion, SfM) 的技術，產製多時期、高解析度的正射影像和數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)，以監測玉穗河流域的地形變遷與土砂侵淤之空間分布，提供崩塌災害地形演變分析與災害預警的工具 (圖 5.1)。

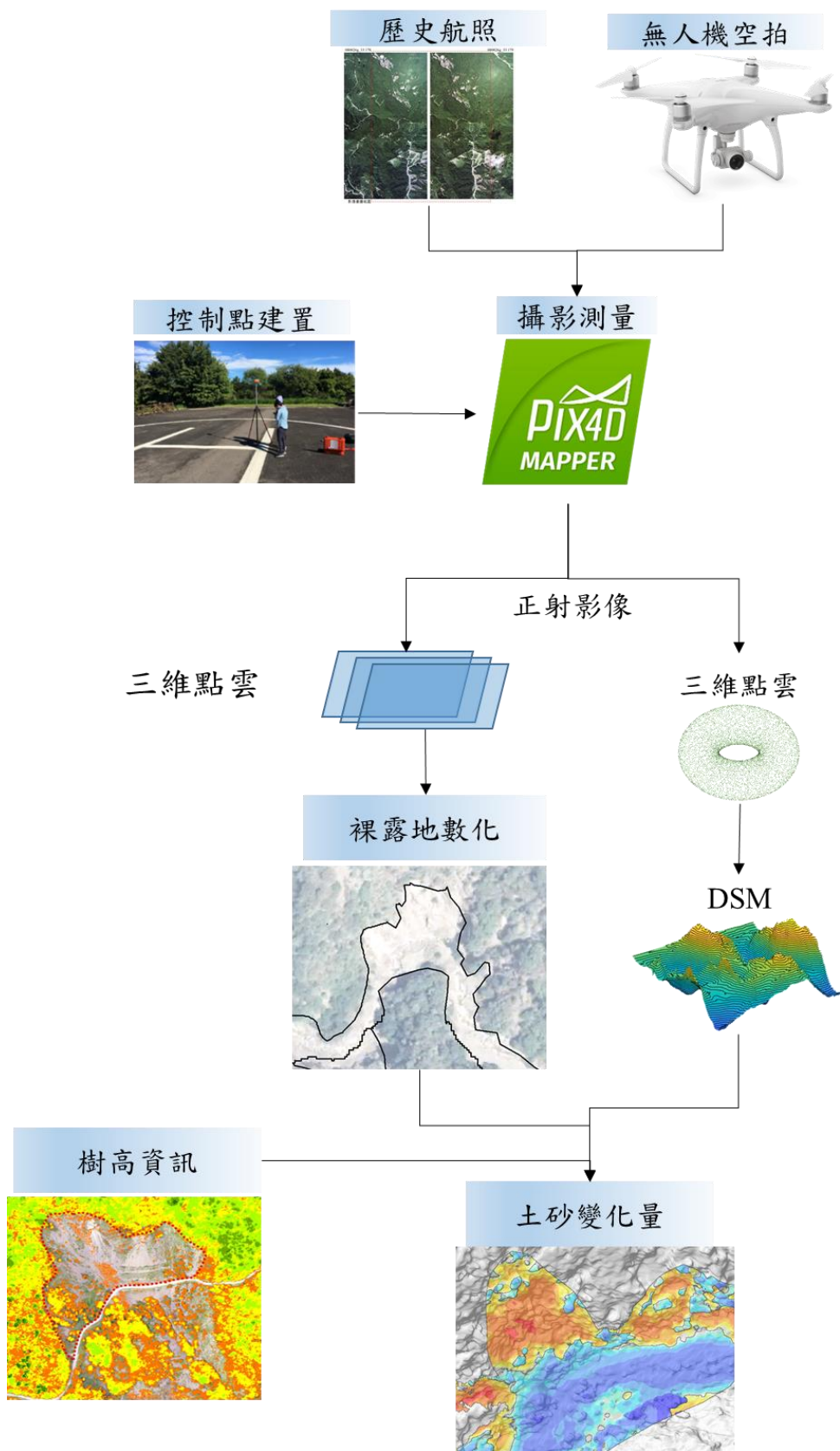


圖 5.1 航空攝影測量技術建置高精度數值地表模型

## 一、玉穗溪流域

玉穗溪位在高屏溪支流荖濃溪之上游，流域東側與拉克斯溪的分水嶺，溪流西側與荖濃溪匯流，溪流約 7.8 公里長。玉穗溪的流域面積 12.28 平方公里，集水區海拔高程從流域出口明霸克露橋的 623 公尺至最高峰斯拉巴庫山 2,756 公尺，平均坡度約 40.38 度（圖 5.2），年平均雨量約為 3,695 公釐（小關山測站，2000-2021 年）。此區域主要降雨受到西南季風盛行和颱風的影響，其中 81% 的降雨量集中在 4 到 9 月的雨季。

玉穗溪流域的地層組成有兩種，流域下游側為中新世廬山層，岩性由硬頁岩、板岩、千枚岩組成；上游區則為始新世西村層，由千枚岩、板岩、夾砂岩為主。2021 年盧碧颱風產生的大規模崩塌，主要位於上游的西村層（中央地質調查所，2022）。



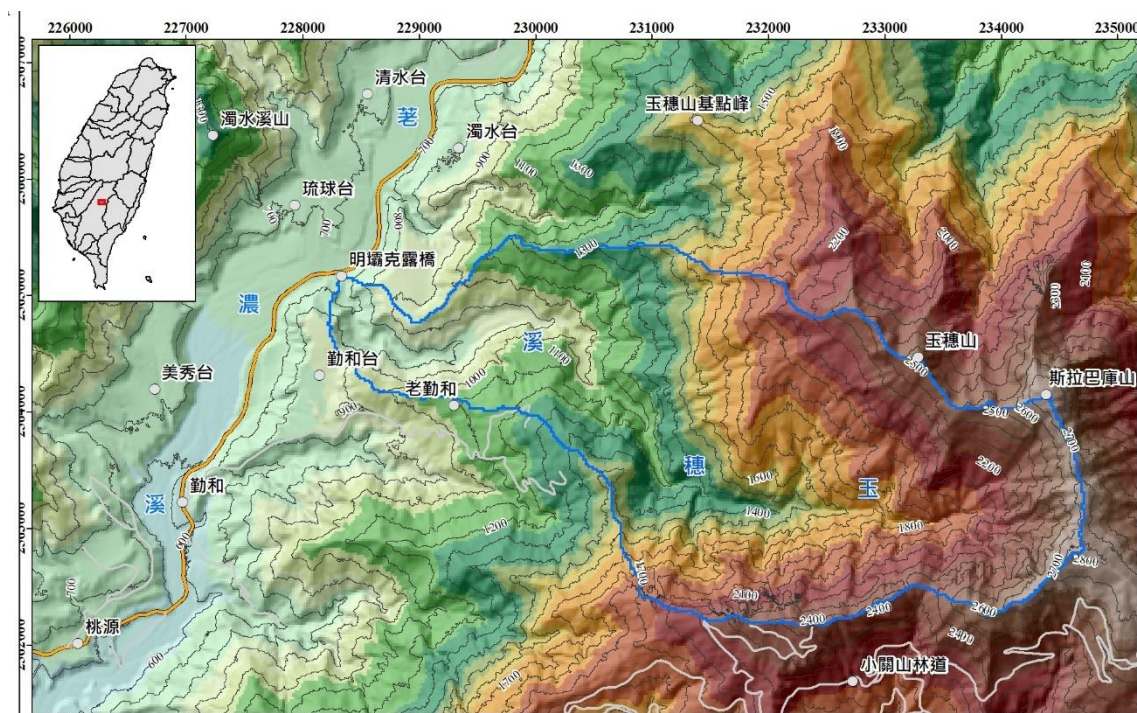


圖 5.2 玉穗河流域位置圖與正射影像

## 二、降雨指標

為分析降雨量對於玉穗溪土砂生產和運移量的關係，本計畫採用兩種降雨指標，分別為國內水土保持局採用的有效累積雨量 (Effective rainfall)，以及日本氣象廳使用的土壤雨量指數 (Soil Water Index, SWI)，各個降雨指標計算說明如下：

### (一)有效累積雨量

我國水土保持局自 2005 年採用 60 分鐘累積雨量及考慮前七天降雨效應之有效累積雨量 ( $R_t$ )，組合成為降雨驅動指標 (Rainfall Triggering Index, RTI) 模式，根據各土石流潛勢溪流地的基準值，建議土石流紅、黃警戒發布機制，已證實能夠有效降低土石流災害評估災害發生的可能性，進而實施疏散避難，以降低民眾之傷亡數目 (陳振宇，2008；詹錢登、李明熹，2004)。有效累積雨量 ( $R_t$ ) 和降雨驅動指標 (RTI) 的計算式如下：

$$RTI = I \times R_t \quad (5.1)$$

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i \quad (5.2)$$

其中， $I$  為 60 分鐘累積雨量 (mm)； $R_t$  稱為有效累積雨量 (mm)， $R_i$  為前  $i$  日的 24 小時累積雨量 (mm)， $\alpha_i$  為前  $i$  日的折減係數； $\alpha$  原先採用 0.8，經多年實務應用檢討後，自 2014 年起調整為 0.7 (水土保持局，2016)。

然而，現行 RTI 模式中的有效累積雨量考慮前七日的降雨，並以 24 小時為週期的折減，但這種折減方法對於短延時強降雨、長延時降雨的時序變化上有所不足。因此，在不改變折減係數和考慮前七日降雨，有效累積雨量修正採用陳振宇等 (2017) 提出之「逐時折減」為概念，計算式如下：

$$R_t = I_t + R_{t-1} \times (0.7)^{\frac{1}{24}} \quad (5.3)$$

## (二) 土壤雨量指數

日本氣象廳自 2007 年開始採用土壤雨量指數做為土砂災害警戒系統發佈的指標，土壤雨量指數的定義為「土壤中所儲留之雨量深度」，即為筒狀模式 (Tank model) 中，儲存於三層筒水深的總和 (陳樹群等，2013) 已有許多研究三層筒水深的總和或特定水筒的水深可應用於崩塌或土石流之警戒 (如陳樹群等，2013；Saito and Matsuyama，2015；Chen et al.，2007；馮智偉，2017；Chen et al.，2018；Matsuyama et al.，2021)。筒狀模式為日本學者菅原正巳 (1972) 所提出的能模擬降雨-土壤含水量-逕流量關係的黑箱模式 (black box)，筒狀模式將地表分層三層水桶：地表、地表土壤層、與地下水層 (圖 5.3)，筒桶中儲存水的深度則代表各層的含水量，而每一層水筒有不同大小的入滲孔，代表地下水下滲與蒸發散的過程，並且每一層水也有不同高度、大小的水平方向出水孔，從這三層流出的水分別代表：地表逕流、表層滲出水流、地下

水流。因此，能夠模擬降雨所產生地表下各層含水量和逕流量。

筒狀模式所需的參數共有 11 個，需要藉由當地雨量和逕流量資料進行率定，Ishihara and Kobatake (1979) 已建立日本的花崗岩、火山岩、古生代地層、第三紀、第四紀的地層所建議之筒狀模式參數 (表 5.1)。

Ishihara and Kobatake 曾利用上述四種地質區的參數計算，發現這四種參數所計算出來的結果差異不大，說明各地質條件的參數不敏感，故氣象廳建議全日本統一採用花崗岩的參數為標準。目前台灣尚未有本土化的筒狀模式參數，大多研究採用日本建立的參數進行模擬 (如陳樹群等，2013；Chen et al., 2018)，例如：Chen et al. (2018) 採用日本第三紀、第四紀地層之筒狀模式參數，模擬石門水庫集水區秀巒和玉峰水文測站的逕流量，具有不錯的模擬成果。此外，玉穗河流域地質屬於中新世廬山層和始新世西村層，亦屬於第三紀 (Tertiary Period) 的地層，故本計畫的筒狀模式採用日本第三紀、第四紀地層之參數。

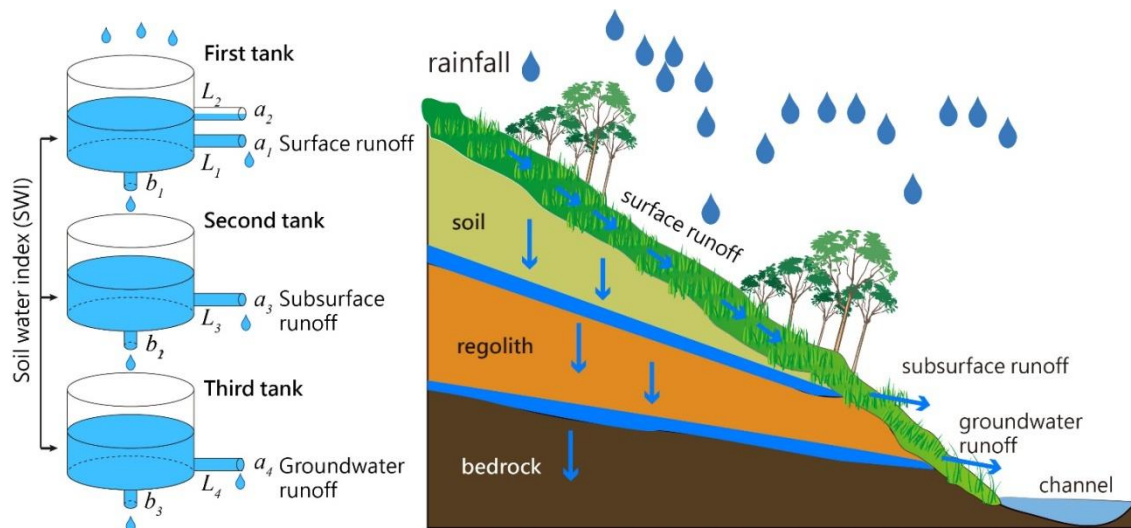


圖 5.3 水筒模式概念

為了計算玉穗溪歷年的有效累積雨量和土壤雨量指數，本計畫蒐集中央氣象局的時雨量資料，玉穗河流域沒有雨量測站，最鄰近的測站為小關山測站 (C1V220)，離流域僅 1 公里，且該測站海拔 1,781 公



尺，與研究區的海拔高程相吻合，故本計畫搜集小關山時雨量資料，由於小關山測站雨量資料在 2005 年 7 月至 2006 年 1 月有所闕漏者，故以鄰近的中央氣象局復興雨量站（C0V210）資料補遺，根據上述計算方法，得到歷年降雨事件的有效累積雨量和土壤雨量指數，計算結果如下所示。

表 5.1 日本筒狀模式參數列表  
修改自：Ishihara and Kobatake (1979)；陳樹群等（2013）

地質	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
花崗岩	15	60	15	15	0.1	0.15	0.05	0.01	0.12	0.05	0.01
火山岩	30-40	60-75	15	15	0.1	0.15	0.05	0.01	0.12	0.08	0.01
古生代地層	30	75	5	15	0.1	0.15	0.05	0.01	0.12	0.04	0.01
第三紀、第四紀地層	15	40	5	15	0.1	0.15	0.05	0.01	0.12	0.04	0.01
方程式： $R_1 = (H_1 - L_1) \times a_1$ $R_2 = (H_1 - L_2) \times a_2$ $R_3 = (H_2 - L_3) \times a_3$ $R_4 = (H_3 - L_4) \times a_4$ $F_1 = H_1 \times b_1$ $F_2 = H_2 \times b_2$ $F_3 = H_3 \times b_3$	符號說明： L1：第一筒第一層出流水深 (mm) L2：第一筒第二層出流水深 (mm) L3：第二筒出流水深 (mm) L4：第三筒出流水深 (mm) a1：第一筒第一層出流比 a2：第一筒第二層出流比 a3：第二筒出流比 a4：第三筒出流比 b1：第一筒入滲比 b2：第二筒入滲比 b3：第三筒入滲比						R1：第一筒第一層出流量 (mm) R2：第一筒第二層出流量 (mm) R3：第二筒出流量 (mm) R4：第三筒出流量 (mm) H1：第一筒水深 (mm) H2：第二筒水深 (mm) H3：第三筒水深 (mm) F1：第一筒入滲量 (mm) F2：第二筒入滲量 (mm) F3：第三筒入滲量 (mm)				

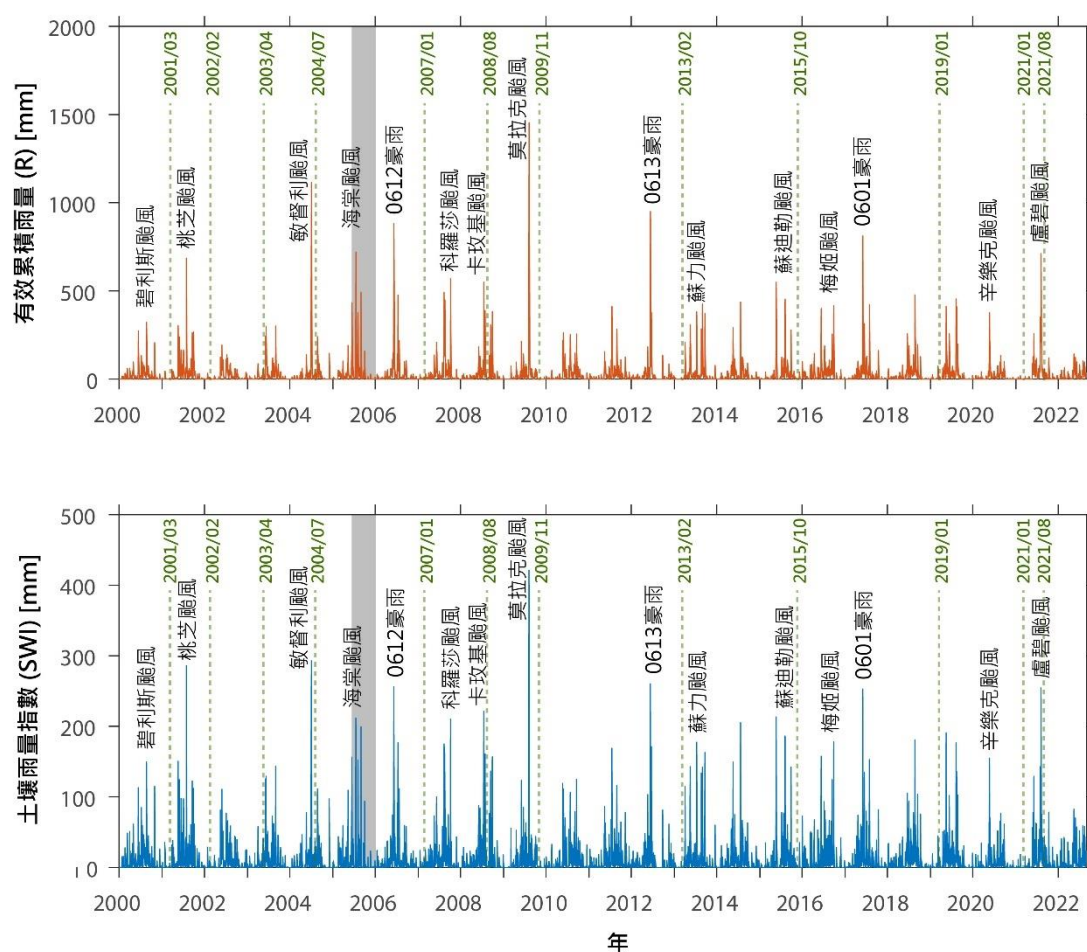


圖 5.4 2000-2022 年 8 月間玉穗溪溪集水區有效累積雨量和土壤雨量指數對應之降雨事件。雨量資料採用中央氣象局小關山測站為代表，灰色方框代表 2005 年 7 月至 2006 年 1 月雨量闕漏者，則以復興測站資料補遺，綠色虛線和文字代表本計畫取得影像的年月。

### 三、遙測影像蒐集

為分析歷年的土砂生產和運移，本計畫蒐集玉穗河流域周圍之農委會農林航空測量所（農航所）歷史航照影像，藉由運動恢復結構（Structure from Motion, SfM）產生數值地表模型與正射影像，藉以獲得高解析度三維地形的資料，並比較前後兩期的數值地表模型和正射影像，以分析流域土砂生產和運移之變化。

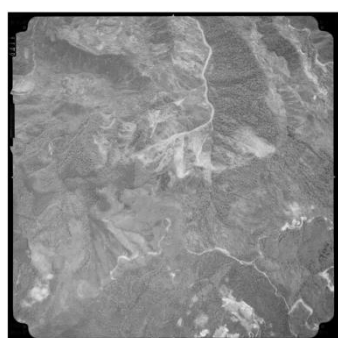
### (一) 農航所航照影像

本計畫透過水土保持局之「多元衛星遙測影像整合申購模組」申請農航所拍攝歷年原始航照影像。農航所提供的影像分為：黑白航空影像、彩色航空影像、DMC 數位影像（圖 5.5）。

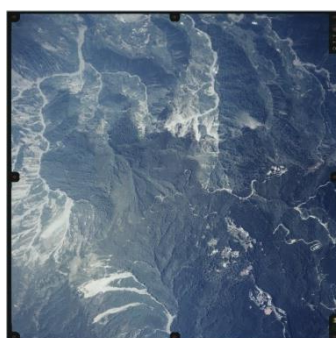
在 2001 年以前，農航所的航照皆為黑白航空照片（圖 5.5 農航所原始航空照片類型 a），利用蔡司高精度影像掃描儀，將類比航照底片影像掃描建置成高解析（ $14\mu$ ）之影像檔，像素約為  $16,864 \times 16,720$ 。在 2001 年之後，陸續改為彩色航空照片（圖 5.5 農航所原始航空照片類型 b），將類比航照底片影像掃描成影像檔，像素約為  $11,240 \times 11,143$ 。在 2007 年之後，開始採用 Zeiss Intergraph DMC 數位相機進行拍攝（圖 5.5 農航所原始航空照片類型 c），DMC 系統共包含八個鏡頭，由四個鏡頭組成一張  $13824 \times 7680$  像元的黑白全色態影像，再由周圍四個鏡頭拍攝紅、綠、藍、近紅外線的多光譜影像，解析度僅  $3072 \times 2048$  像元，經由影像融合組成  $13824 \times 7680$  像元的紅、綠、藍、近紅外線的四個波段的影像，輻射解析度為 12 bit（王韻皓、陳連晃，2011）。DMC 數值影像且相對於傳統黑白與彩色照片，DMC 數值航照影像具有較穩定的輻射與正切畸變差，並且拍攝時紀錄精確的空間位置與姿態。

上述三種原始航照影像於同一條航帶前後重疊率超過 60%；左右重疊率超過 35%故每處影像重疊率大於 5 張。航高介於 3000-6000 公尺，可產生 30-50 公分地面解析度之數值地表模型和正射影像。

本計畫取得 2001-2021 年間的農航所航拍影像對（圖 5.5），影像日期分別為：2001/03、2002/02、2003/04、2004/07、2007/01、2008/08、2009/11、2013/02、2015/10、2019/01、2021/01，共 11 時期的原始航照影像。



(a)黑白航空影像



(b)彩色航空影像



(c)DMC 數位影像

圖 5.5 農航所原始航空照片類型

由於上述影像皆為 2021 年盧碧颱風前的航照影像，截至 2022 年 10 月底，本計畫尚無法取得 2022 年新的航照影像，故透過水土保持局之「多元衛星遙測影像整合申購模組」申請水保局 110 年「110 年巨量空間地理資訊平台維運計畫」產製的盧碧颱風後（2021 年 8 月 27 日）拍攝之參立體對影像產製數值地表模型進行分析。

## (二) 地面控制點與檢核點

為控制航空攝影測量模型精度與品質，需要藉由地面控制點（Ground Control Points，GCPs）率定參數與校正模型。根據何維信（1995）指出控制點進行平差時最少需要六個平面控制點，且須分布於航帶開始、中間及結束的區域。

由於玉穗溪流域為處偏遠山區，在地面設置控制點困難度高。本計畫搜集農航所提供之航照正射影像與內政部 20 公尺數值地形模型，從歷年航照影像中挑選不變動的地表特徵物（invariant features），如學校操場標線、道路轉折點、十字路口交點等，共選取 14 處為地面控制點，作為模型校正的依據（圖 5.6）。本計畫所採用的地面控制點與檢核點分布如圖 5.6 所示，控制點的分布能夠涵蓋研究區的範圍，同時也

能涵蓋集水區最高峰（近斯拉巴庫山）與下游的河段。此外，另選取 5 處獨立檢核點（圖 5.6），獨立於控制點之外，以檢核數值地表模型的誤差。

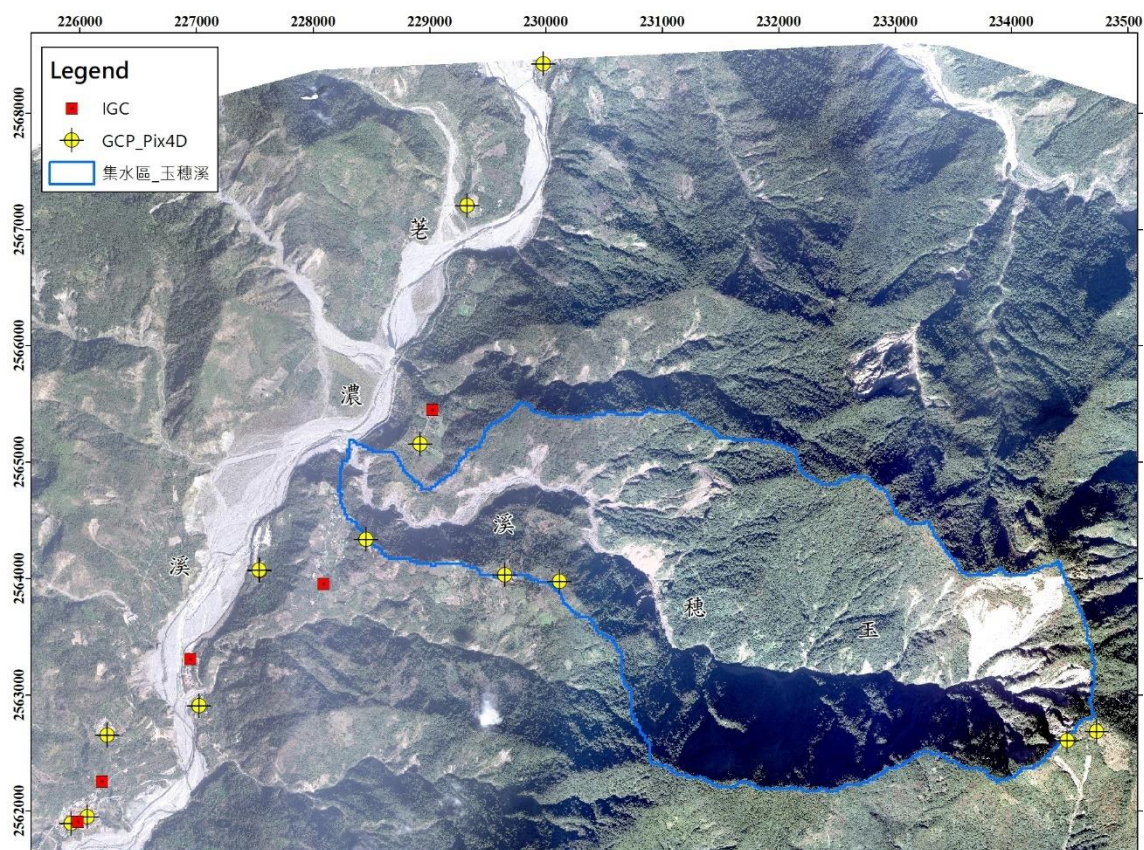


圖 5.6 地面控制點與檢核點的分布

### （三）運動恢復結構演算

本計畫採用 Pix4D Mapper 專業航空測繪軟體，產製數值高程模型與正射化影像，Pix4D Mapper 發展自瑞士洛桑聯邦理工大學團隊，專門為現今 UAV 航空攝影測量所設計，基於運動恢復結構-多視角攝影（Structure-from-Motion and Multi-View Stereo, SfM-MVS）的技術，其特徵點匹配法採用 SIFT 演算法（Küng et al., 2011），當相機參數與姿態未知或不精準時時，則需要由多張影像拍攝的物體，反解算相機的位置與姿態，進而計算物體的座標，稱為運動恢復結構原理，計算流程分別輸入多視角拍攝影像，將影像相互匹配後，根據共線性原則率定相

機的內、外方位參數，並產生點雲，再將點雲進行空間內插產生正規網格的 DSM，並且將影像鑲嵌成為正射影像。

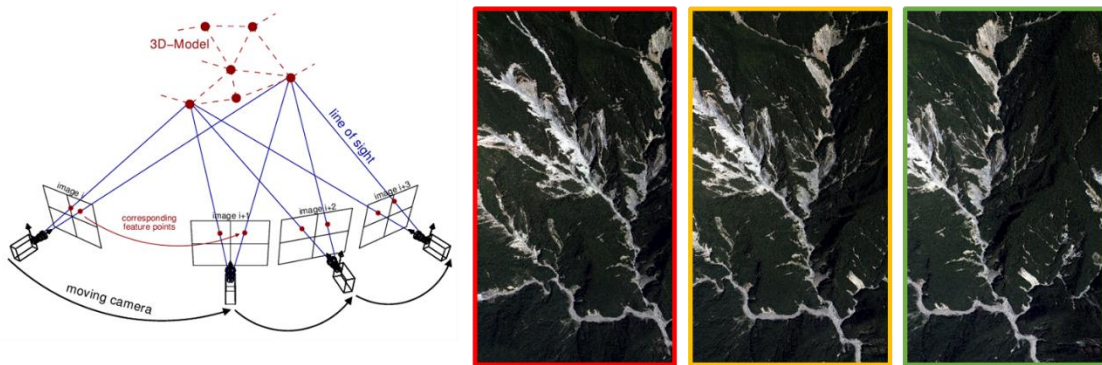


圖 5.7 運動恢復結構示意圖和多視角拍攝影像

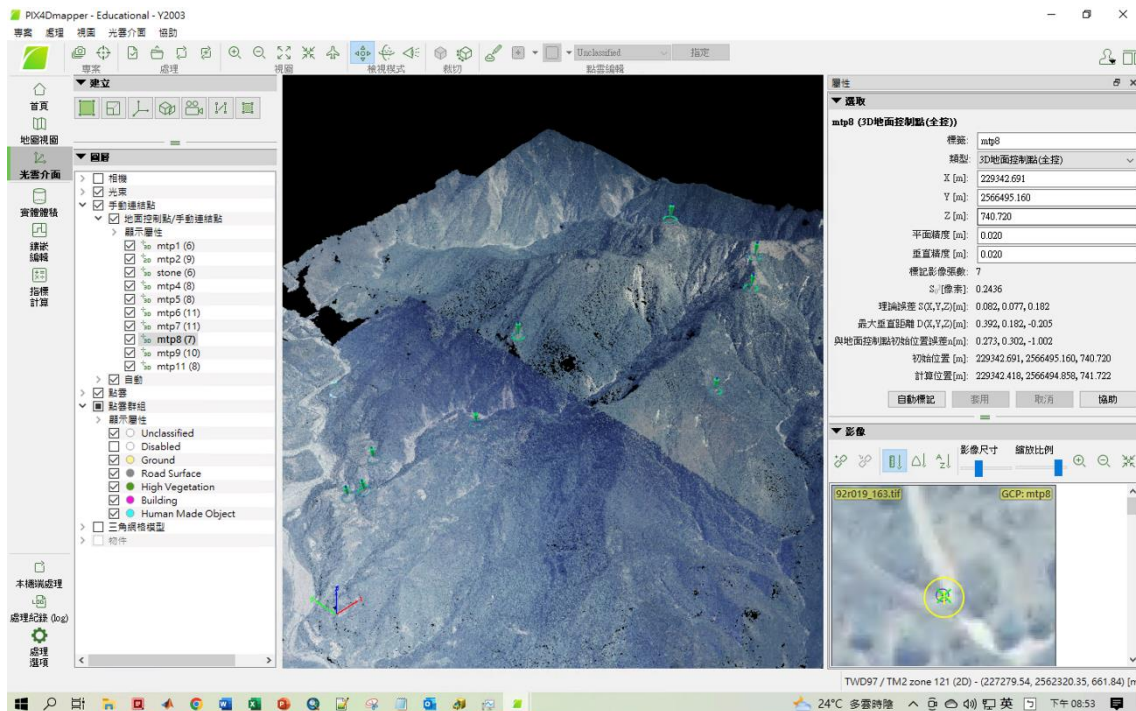


圖 5.8 Pix4D Mapper 航空攝影測量軟體產製三維模型的示意圖

#### (四) 數值地表模型與正射影像

表 5.2 為本計畫完成的 11 期的模型的控制點與檢核點誤差分析結

果，農航所航拍產製的數值地表模型之對地解析度介於 31.4 – 45.9 公分之間，控制點的水平誤差（root mean square error，RMSE）大多介於 0.5 – 1.5 公尺之間，平均約為 0.9 公尺；垂直誤差大多介於 1.0 – 2.0 公尺，平均約 1.3 公尺。檢核點評估數值地表模型的高程誤差介於 0.69 – 4.56 公尺之間，平均約 2.1 公尺。其中，以 2004 年 7 月 2009 年 11 月的誤差較大，超過 4 公尺，推測可能因為這兩期影像涵蓋範圍較小，控制點數量相對較少，不容易校正模型，導致誤差較大。

圖 5.9 至圖 5.20 為歷年的正射影像與數值地表模型成果。各期影像大多能夠涵蓋玉穗溪流域的範圍，其中，2004 年 7 月的影像僅有下游的匯流口與荖濃溪主流，且模型誤差較大，故不予用於分析。此外，2013 年 2 月和 2015 年 10 月影像中的上游區域被雲霧和陰影所覆蓋，導致產製上游的正射影像和數值地表模型。

表 5.2 模型控制點與檢核點誤差結果

編號	時間	影像類型	對地解析度 [cm]	控制點誤差 [m]			檢核點誤差[m]
				X	Y	Z	Z
01	2001/03	農航所航照	33.2	1.11	1.46	1.71	1.55
02	2002/02	農航所航照	45.4	1.60	0.79	1.45	0.98
03	2003/04	農航所航照	45.9	1.02	0.38	1.32	2.10
04	2004/07	農航所航照	31.4	0.85	0.53	0.50	4.56
05	2007/01	農航所航照	34.1	1.34	0.65	0.71	1.46
06	2008/08	農航所航照	36.3	0.38	0.86	1.38	0.77
07	2009/11	農航所航照	36.3	1.44	0.75	1.01	4.50
08	2013/02	農航所航照	32.4	1.21	1.68	1.07	0.69
09	2015/10	農航所航照	32.1	0.90	0.96	2.94	3.09
10	2019/01	農航所航照	33.9	0.29	0.50	0.42	2.06
11	2021/01	農航所航照	32.2	0.47	0.51	1.35	1.63
12	2021/08	衛星影像*	100.0	-	-	-	1.41

\*資料取自於「110年巨量空間地理資訊平台維運計畫」所使用參立體對影像產製數值地表模型，其餘資料皆為本計畫產生之成果。



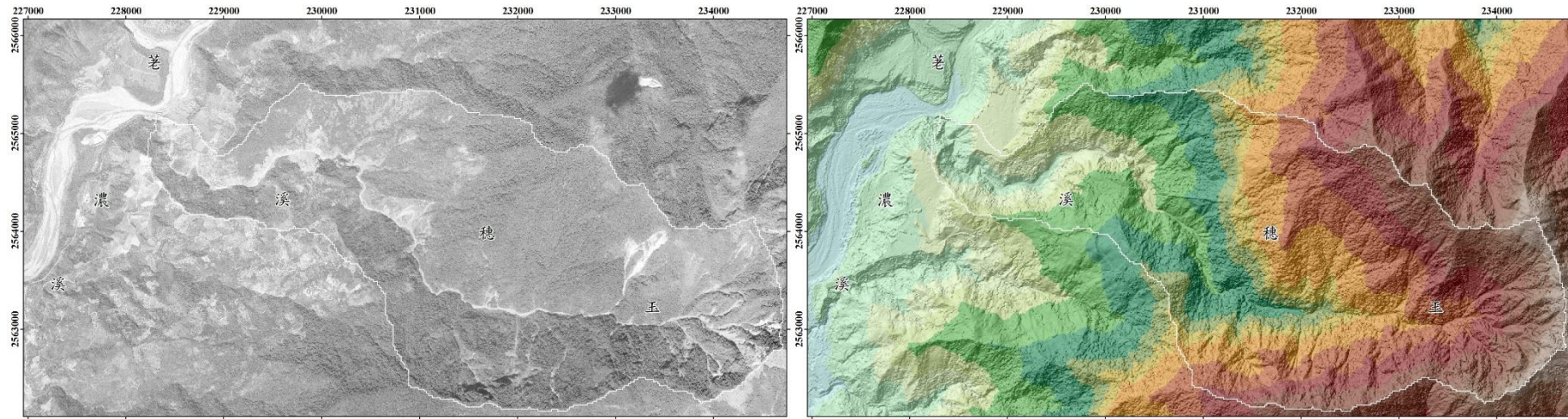


圖 5.9 2001 年 3 月正射影像與數值地表模型

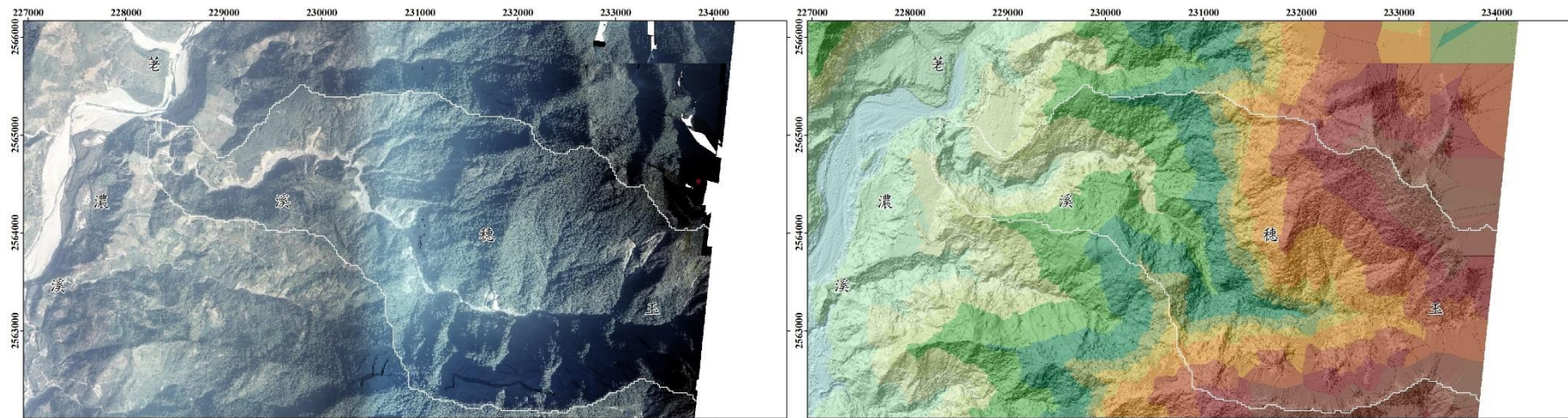


圖 5.10 2002 年 2 月正射影像與數值地表模型

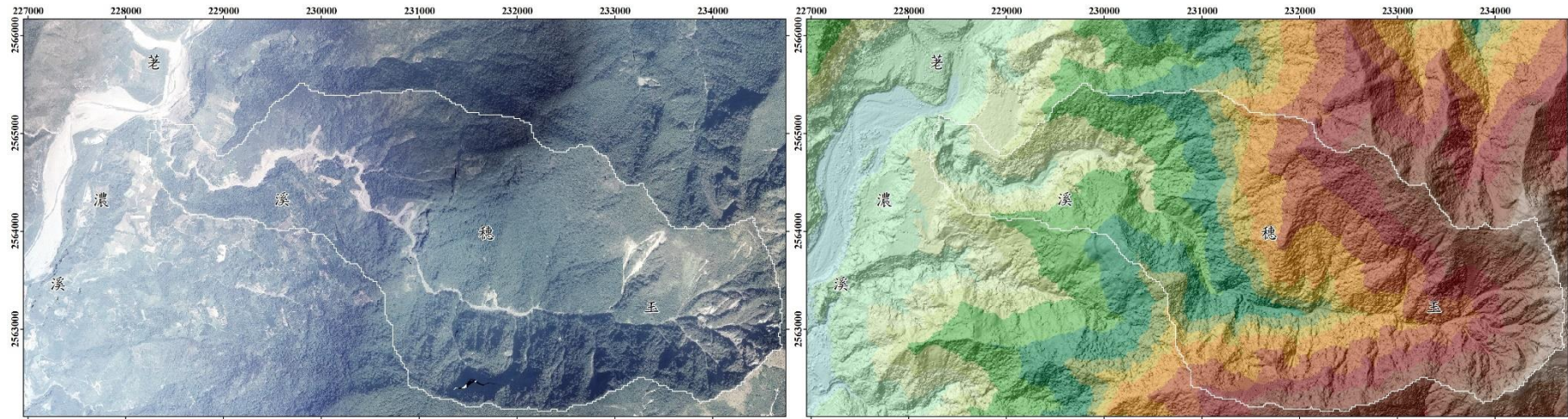


圖 5.11 2003 年 4 月正射影像與數值地表模型

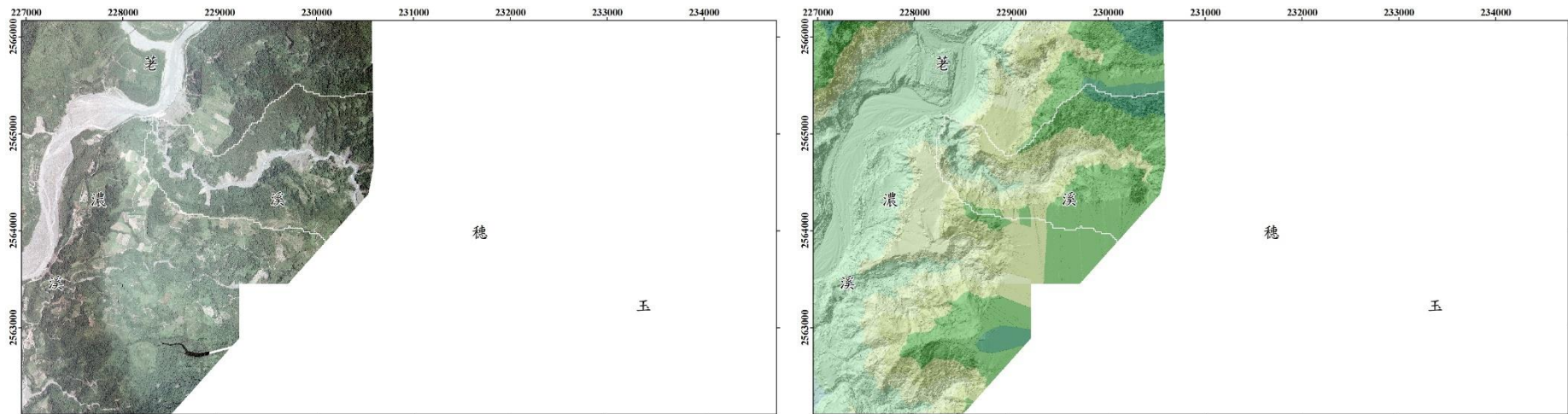


圖 5.12 2004 年 7 月正射影像與數值地表模型

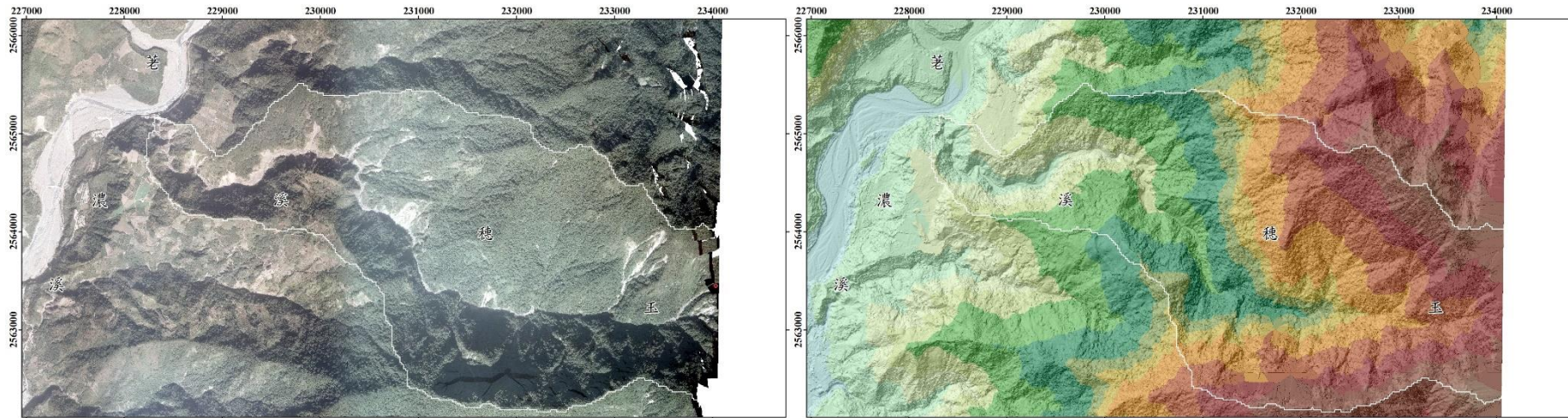


圖 5.13 2007 年 1 月正射影像與數值地表模型

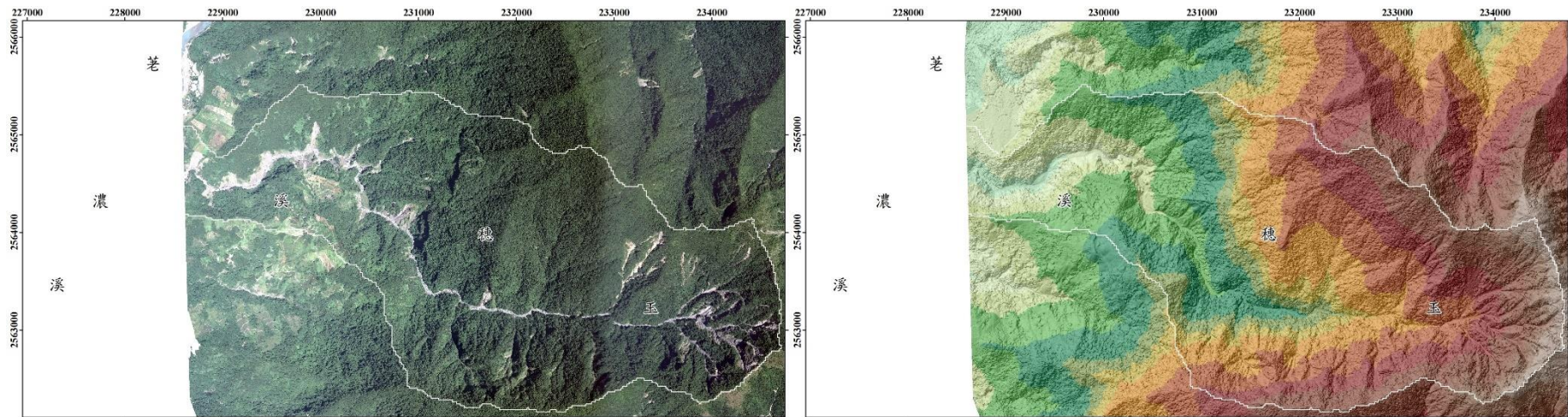


圖 5.14 2008 年 8 月正射影像與數值地表模型

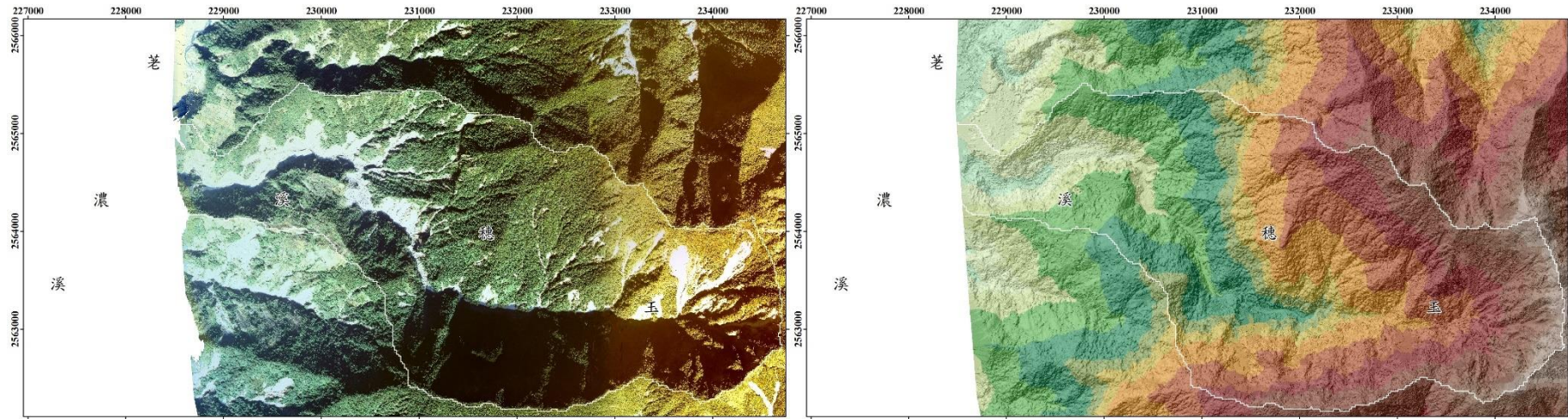


圖 5.15 2009 年 11 月正射影像與數值地表模型

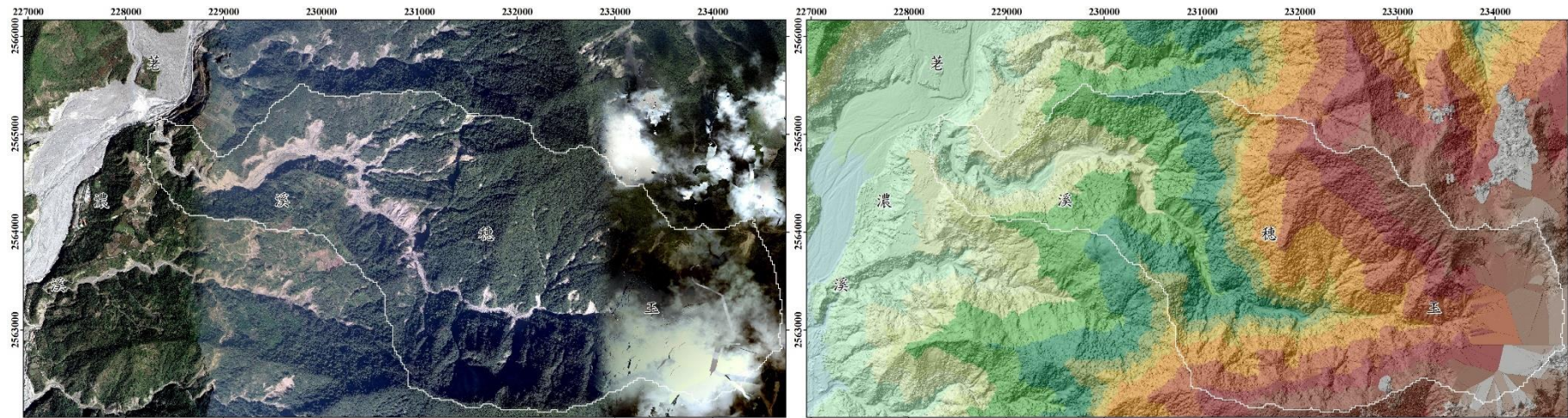


圖 5.16 2013 年 2 月正射影像與數值地表模型

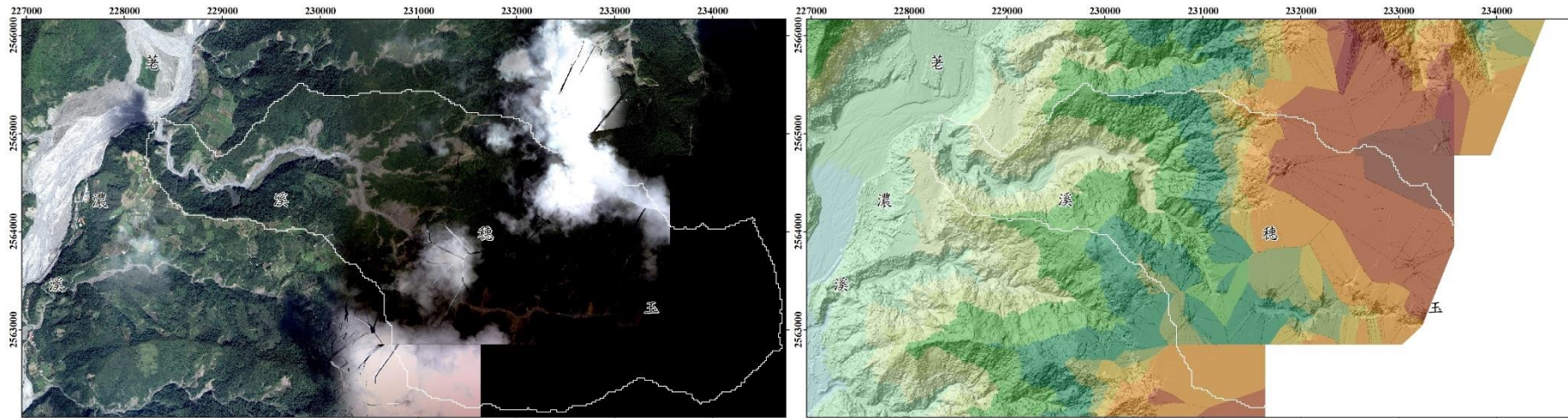


圖 5.17 2015 年 10 月正射影像與數值地表模型

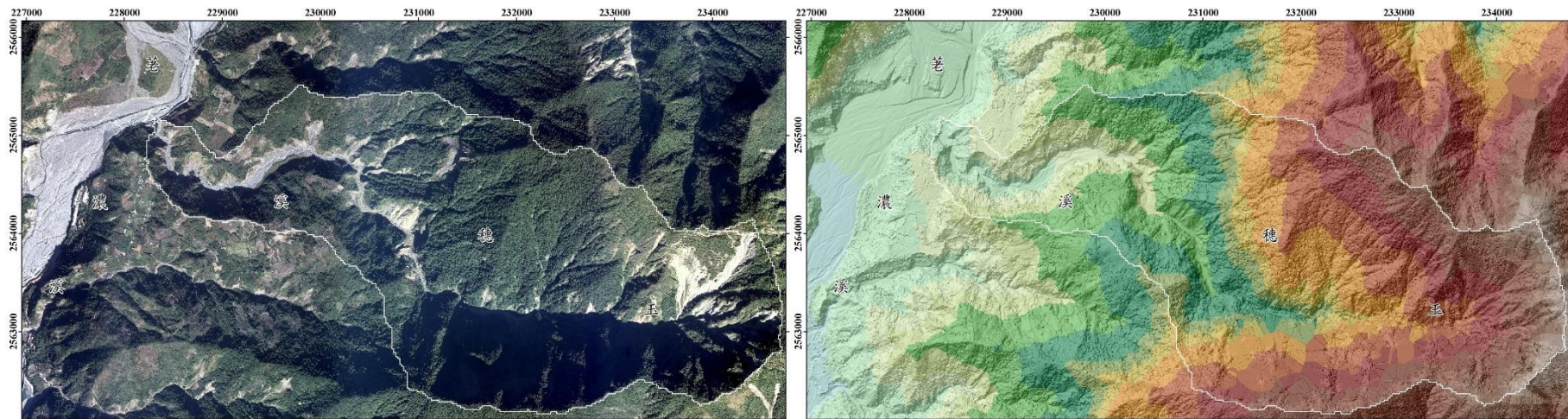


圖 5.18 2019 年 1 月正射影像與數值地表模型

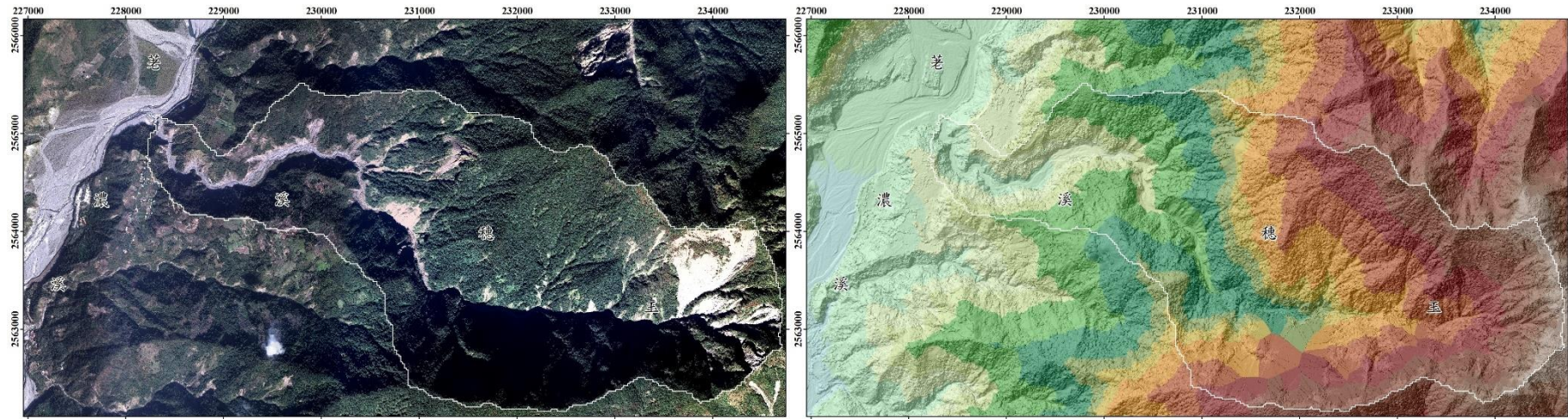


圖 5.19 2021 年 1 月正射影像與數值地表模型

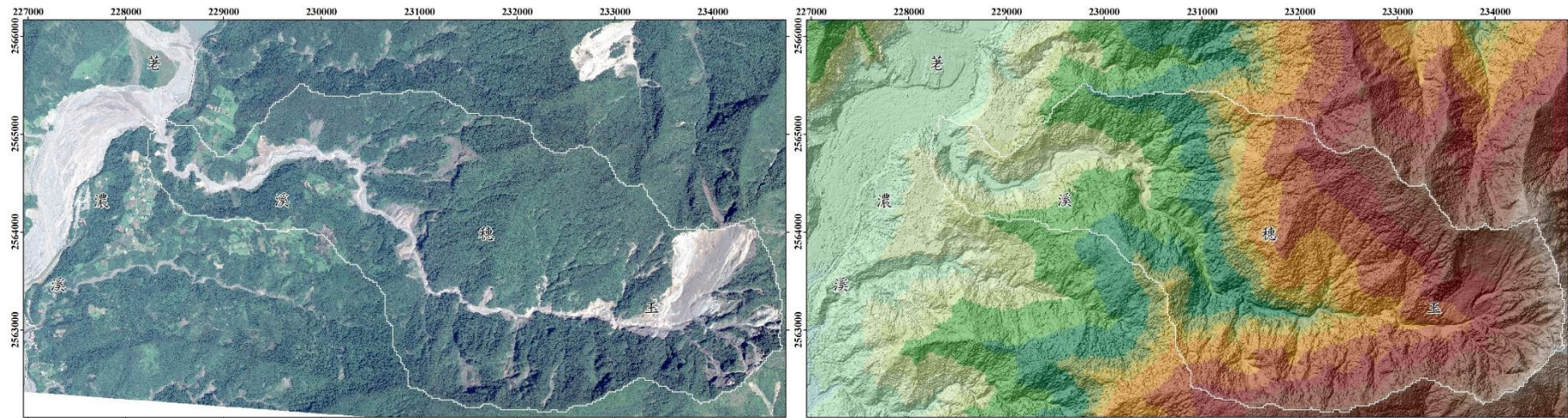


圖 5.20 2021 年 8 月正射影像與數值地表模型 s

#### 四、數值地表模型相減與樹冠層高度

為分析流域內地形和土砂變化，可將前、後期的數值地形模型相減取得地表高程變化，然而，本計畫取得的航照影像屬於皆屬光學影像，皆無法穿透森林的樹冠層的數值地表模型（Digital Surface Model，DSM），其高程資訊包含建物、樹冠層之高程資訊。若直接將兩期的數值地表模型相減時，前、後兩期地表覆蓋為裸露地的地區，樹冠層高度不會造成影響，如舊崩塌、野溪、河道等。但是對於前期為地表覆蓋為森林，後期轉變為裸露地的區域，如新生崩塌地與河岸侵蝕等，便會高估崩塌的深度，或低估土砂堆積的深度。

本研究區絕大多數的地表覆蓋為森林，建物的影響相對較小，可以予以忽略，因此，若要解決上述問題，則需要對於研究區內的樹冠層高度和地表覆蓋範圍進行測量與數化。

本計畫將透過樹高測量與裸露地人工數化的方式，來校正樹冠層導致的誤差，其概念如所示圖 5.21。計算規則如下：

- (a) 前後皆為植生時，地形變化量 = 0
- (b) 前後皆為裸露地時，地形變化量 = 後期高程 - 前期高程
- (c) 由植生變成裸露地時，地形變化量 = 後期高程 - [前期高程 - 樹高]
- (d) 由裸露地復育為植生，地形變化量 = 0

(a) Schematic of calculation of topographic change from two DSMs

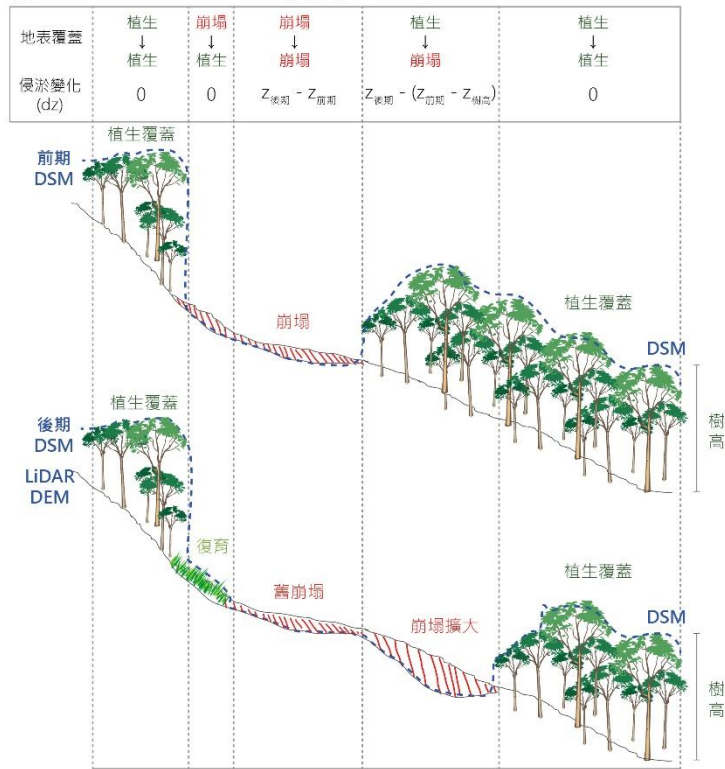


圖 5.21 兩期數值地表模型相減分析土砂侵淤量的示意圖

樹冠層高程模型分析是根據內政部 DEM 與本計畫產製 DSM 相減，內政部 2020 年版 20 公尺解析度 DEM，測量年代約為 2015 年，測量方式是以空載光達量測，去除地表建物和樹木等地物高程，產生地表地形高城的資料，本計畫將 20 公尺解析度 DEM 以 Spline 空間內插取得 1 公尺解析度之 DEM (圖 5.22)。接著，DSM 資料則取用 2008 年與 2021 年兩年的數值地表模型，將資料重新取樣至 1 公尺解析度，取兩著的平均值。

最後，將內政部 DEM 與本計畫 DSM 相減得到樹冠高程模型，由於集水區內存在變動的崩塌地，故崩塌區域的樹高剔除，以臨近非崩塌區域的樹高進行內插，計算裸露地的樹高資訊。玉穗河流域的樹高分佈如圖 5.23 所示。



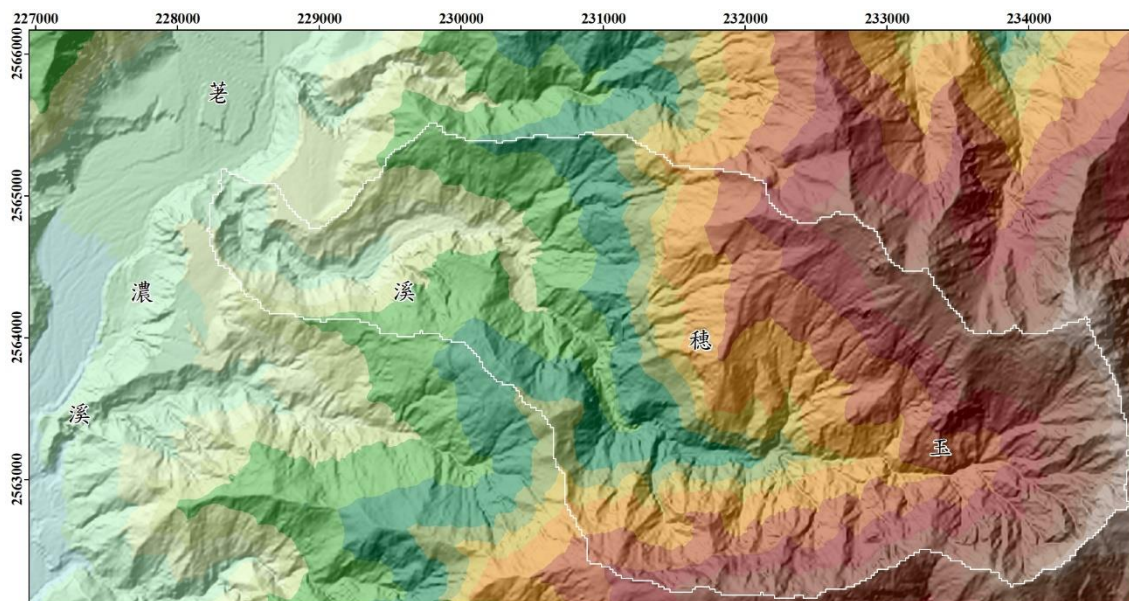


圖 5.22 內政部 DEM 以 Spline 內插結果

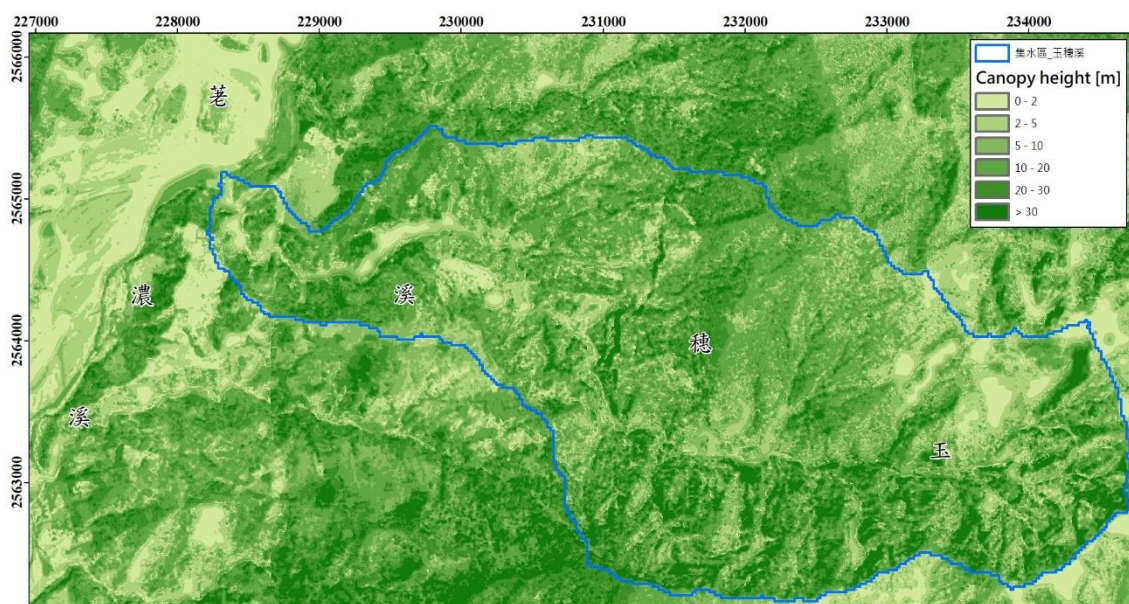


圖 5.23 玉穗溪流域的樹冠高程模型分析結果

### 五、玉穗溪流域歷年土砂變化

將歷年數值高程模型相減，扣除樹冠層高度，得到玉穗溪流域歷年地形變化，如至圖 5.33 所示。玉穗溪流域邊坡與河道土砂變動量計算結果如表 5.3（體積）和表 5.4（質量）所示。

2001 年 3 月至 2002 年 2 月期間，玉穗溪流域主要降雨事件為 2001

年桃芝颱風，最大有效累積雨量為 686 mm，邊坡侵蝕量 65.0 萬方；堆積 38.5 萬方，主要崩塌發生在河道中游，特別是河道凹岸基蝕坡（undercut slope）位置。上游野溪河段呈現些微侵蝕；下游呈現堆積的現象，河道整體淨侵淤量+18.6 萬方，可能因為河岸兩側的崩塌地提供土砂，導致中游河道明顯堆積現象，而荖濃溪河段整體呈現侵蝕的現象現象。

2002 年 2 月至 2003 年 4 月期間，流域內最大降雨事件為 2003 年 6 月的蘇迪勒颱風和 2003 年 9 月的杜鵑颱風，最大有效累積雨量分別為 300 mm 和 301 mm。邊坡僅有少數的新增崩塌，邊坡侵蝕量 38.1 萬方，堆積量 27.6 萬方，邊坡整體淨侵淤量共+10.5 萬方；上游河段呈現些微侵蝕；下游呈現些微堆積的現象，河道整體淨侵淤量+10.6 萬方。荖濃溪河道也呈現微堆積的現象。

2003 年 3 月至 2007 年 1 月期間（圖 5.26），玉穗河流域主要降雨事件為 2004 年敏督利颱風，最大有效累積雨量為 1,114 mm，在上游和中游產生許多的新增崩塌地，加上原本河岸就崩塌的持續沖刷，邊坡侵蝕量 164.2 萬方；堆積量 9.1 萬方，邊坡淨侵淤量為-155.2 萬方。野溪整體以侵蝕為主，淨侵淤量-126.7 萬方。荖濃溪河段呈現侵淤互現，在曲流得凹岸處則有明顯的側蝕發生，凸岸則明顯堆積，淨侵淤量-43.9 萬方。

2007 年 1 月至 2008 年 8 月期間（圖 5.27），主要降雨事件為 2007 年柯羅莎颱風和 2008 年卡玫基颱風，最大有效累積雨量分別為 569 mm 和 550 mm，中游和下游產生幾處的新增小崩塌，邊坡侵蝕量 91.5 萬方；堆積量 18.0 萬方，邊坡淨侵淤量為-73.5 萬方。野溪河段中游略微侵蝕；下游明顯堆積，淨侵淤量-32.3 萬方。

2008 年 8 月至 2009 年 11 月期間（圖 5.28），主要降雨事件為 2009

年莫拉克颱風，最大有效累積雨量為 1,454 mm，上游邊坡產生許多崩塌，特別是位於 2021 年盧碧颱風的大規模崩塌的邊坡，以發育出兩個崩塌，並延伸到接近分水嶺之處，中游的河岸凹坡也產生許多崩塌地，邊坡侵蝕量 1,200.5 萬方；堆積量 316.7 萬方，淨侵淤量為-883.8 萬方。由於邊坡產生大量的土砂，河道以堆積為主，下游堆積高度可達 20 公尺，淨侵淤量+147.7 萬方。

2009 年 11 月至 2013 年 02 月期間(圖 5.29)，主要降雨事件為 2012 年泰利颱風，最大有效累積雨量為 950 mm，上游因受到雲霧遮蔽而無法判釋，中游舊崩塌持續沖刷和擴大，邊坡侵蝕量 407.6 萬方；堆積量 76.1 萬方，淨侵淤量為-331.5 萬方。因莫拉克颱風已於河道累積大量泥砂，後續水流沖刷鬆散的土砂，河道整體呈現侵蝕現象，淨侵淤量為-124.1 萬方。

2013 年 02 月至 2015 年 10 月期間(圖 5.30)，主要降雨事件為 2015 年蘇迪勒颱風，最大有效累積雨量為 549 mm，上游因受到雲霧遮蔽而無法分析，中下游產生幾處小規模崩塌，邊坡侵蝕量 108.4 萬方；堆積量 28.0 萬方，淨侵淤量為-80.4 萬方。中下游河道整體侵淤互現，淨侵淤量為-11.6 萬方，此時玉穗溪流域土砂和地形的變化相對穩定。荖濃溪河段產生明顯的堆積，淨侵淤量為+595.8 萬方。

2015 年 10 月至 2019 年 1 月期間(圖 5.31)，主要降雨事件為 2017 年 6 月的豪雨事件，最大有效累積雨量為 812 mm，在中游河道凹岸有一個新增崩塌之外，邊坡地形變化相對穩定，邊坡侵蝕量 58.5 萬方；堆積量 38.6 萬方，淨侵淤量為-19.8 萬方。中下游河道整體侵淤互現，和社溪則呈現侵蝕和淤積互現，淨侵淤量為-19.1 萬方。荖濃溪河段以侵蝕為主，淨侵淤量為-222.2 萬方。

2019 年 1 月至 2021 年 1 月期間(圖 5.32)，主要降雨事件為 2019

年利奇馬颱風，最大有效累積雨量為 454 mm。但位於上游兩處崩塌持續擴大，邊坡材料明顯產生位移，冠部形成圓弧狀的張力裂隙，形成非常不穩定的邊坡，邊坡侵蝕量達 652.7 萬方；堆積量 126.8 萬方，淨侵蝕量-525.8 萬方。上游河道侵蝕；下游堆積，淨侵蝕量+6.9 萬方。在玉穗溪和荖濃溪匯流口形成一個小規模的沖積扇，堆積最大高度 19 公尺，土方量為 48.5 萬方，荖濃溪河段以沖淤互現為主，淨侵蝕量為+36.6 萬方。

2021 年 1 月至 2021 年 8 月期間（圖 5.33），主要降雨事件為 2021 年盧碧颱風，最大有效累積雨量為 712 mm。流域上游的不穩定邊坡滑落，產生斜面積 57.5 公頃，平均深度約為 25 公尺的大規模崩塌，土砂生產量約為 1,100 萬立方公尺，並且在大規模崩塌的坡腳，堆積高度近 30 公尺，體積 489 萬立方公尺的土砂堆積，此外，中下游兩岸也有許多新生崩塌和舊崩塌持續擴大的現象，邊坡侵蝕量達-1,811.4 萬方；堆積量 527.1 萬方，淨侵蝕量-1,284.3 萬方，為 2001-2021 年來最大規模的崩塌事件。河道也因為上游大量土砂影響，在中上游河道呈現侵蝕的現象，可能因為上游大量土砂形成土石流的現象，造成野溪河床和河岸大量的侵蝕，中下游則以堆積為主，特別是在明霸克露橋的上游，堆積高度可達公尺以上，河道整體淨侵蝕量 18.6 萬方（侵蝕-135.1 萬方；堆積 153.7 萬方），故玉穗溪上游仍有大量鬆散、不穩定的土砂殘留於上游。荖濃溪河段整體的淨侵蝕量為 815.5 萬方，堆積主要發生在大量土砂在明霸克露橋的玉穗溪和荖濃溪匯流口形成一個大型沖積扇，最大堆積高度 22.3 公尺，堆積量 319 萬立方公尺，造成台 20 線南橫公路勤和路段以上之「明霸克露橋」損毀。

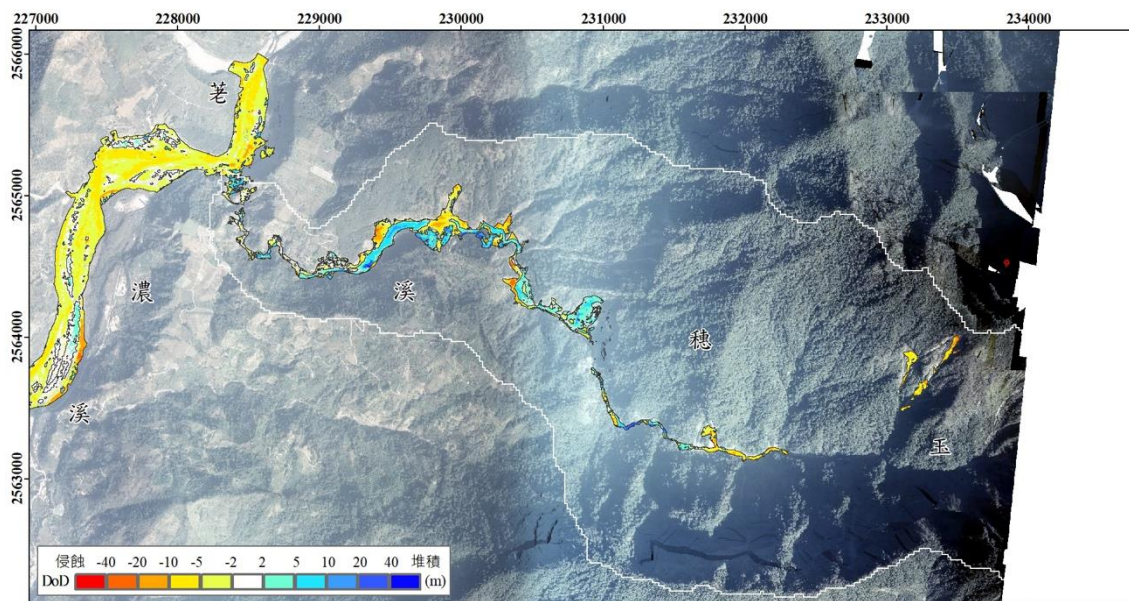


圖 5.24 2001/03-2002/02 玉穗河流域地形侵淤變化量

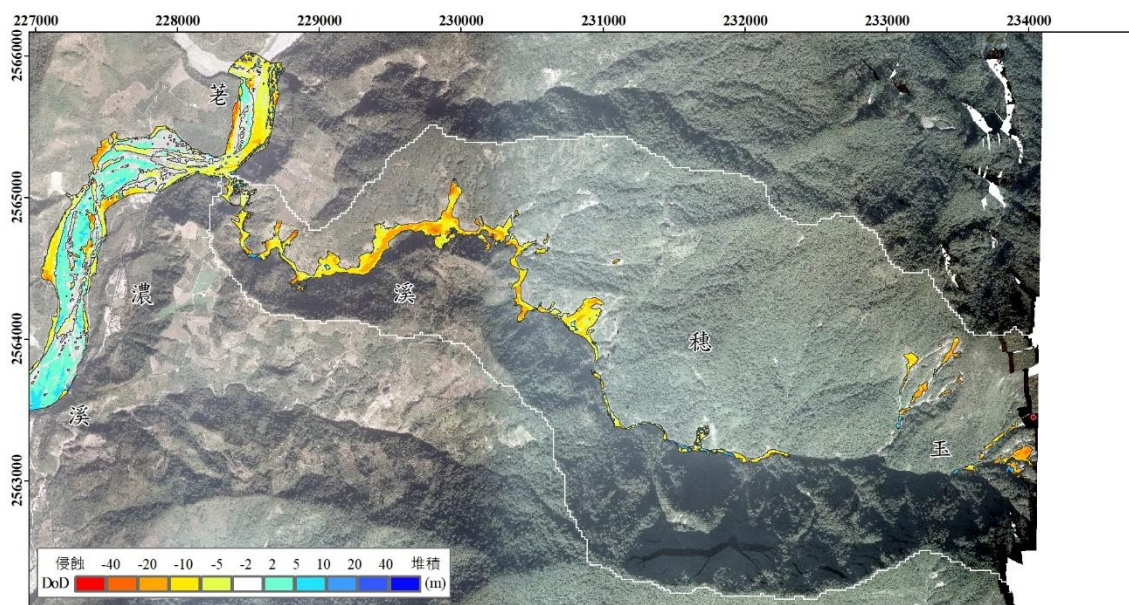


圖 5.25 2002/02-2003/04 玉穗河流域地形侵淤變化量

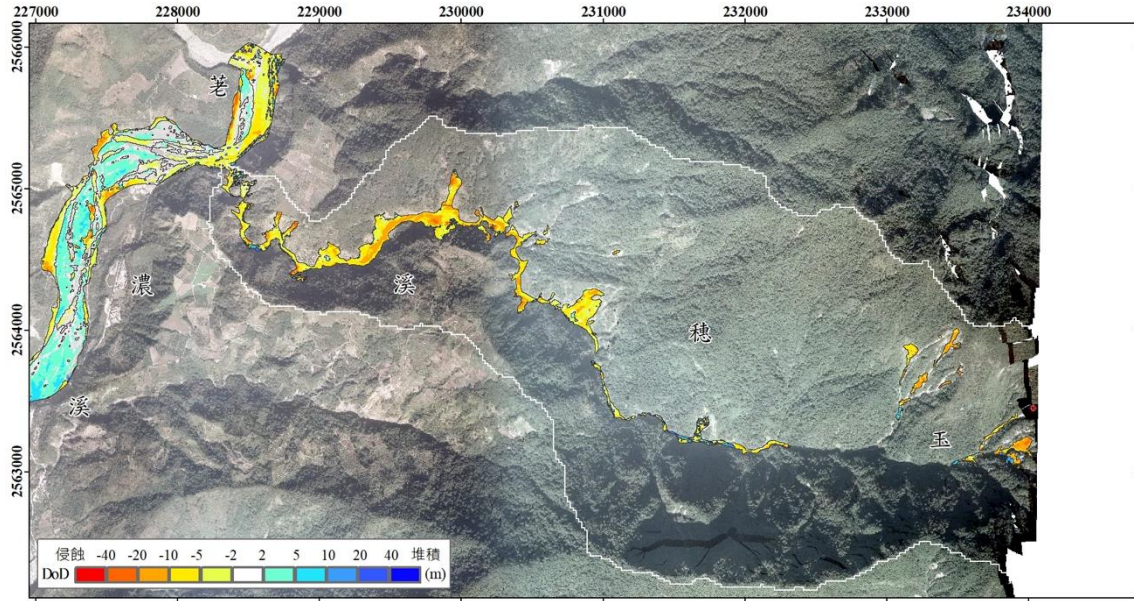


圖 5.26 2003/04–2007/01 玉穗河流域地形侵淤變化量

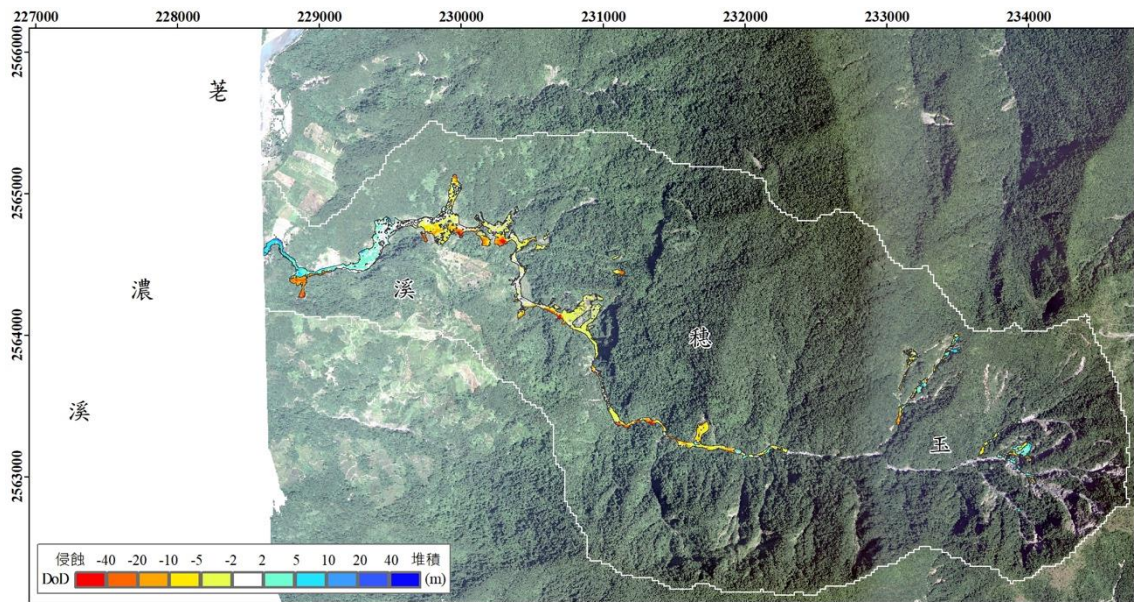


圖 5.27 2007/01–2008/08 玉穗河流域地形侵淤變化量

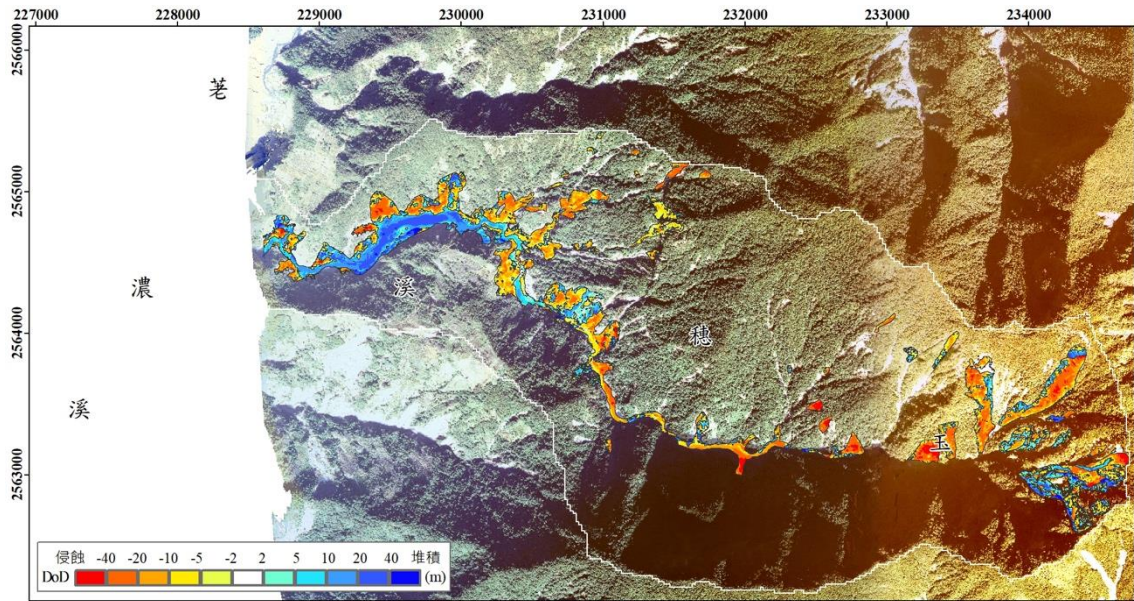


圖 5.28 2008/08–2009/11 玉穗河流域地形侵淤變化量

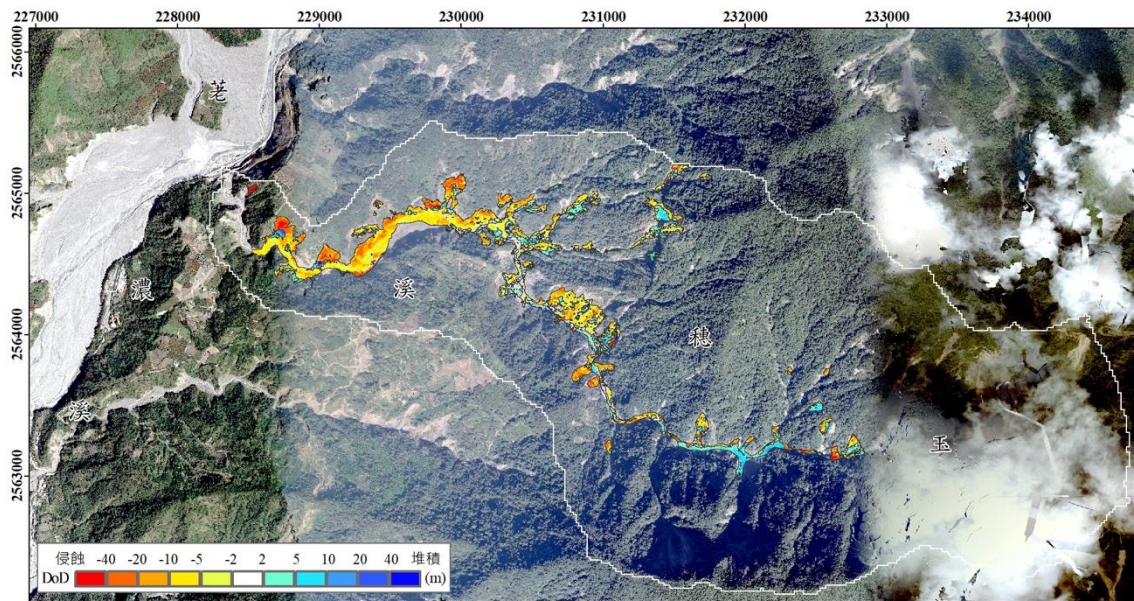


圖 5.29 2009/11–2013/02 玉穗河流域地形侵淤變化量

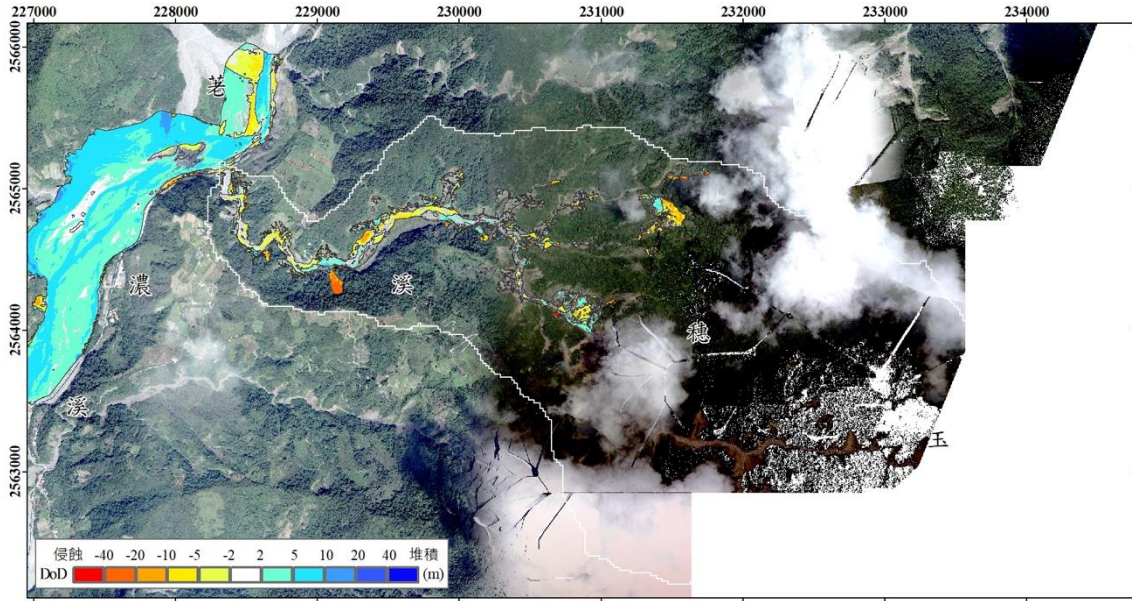


圖 5.30 2013/02-2015/10 玉穗溪流域地形侵淤變化量

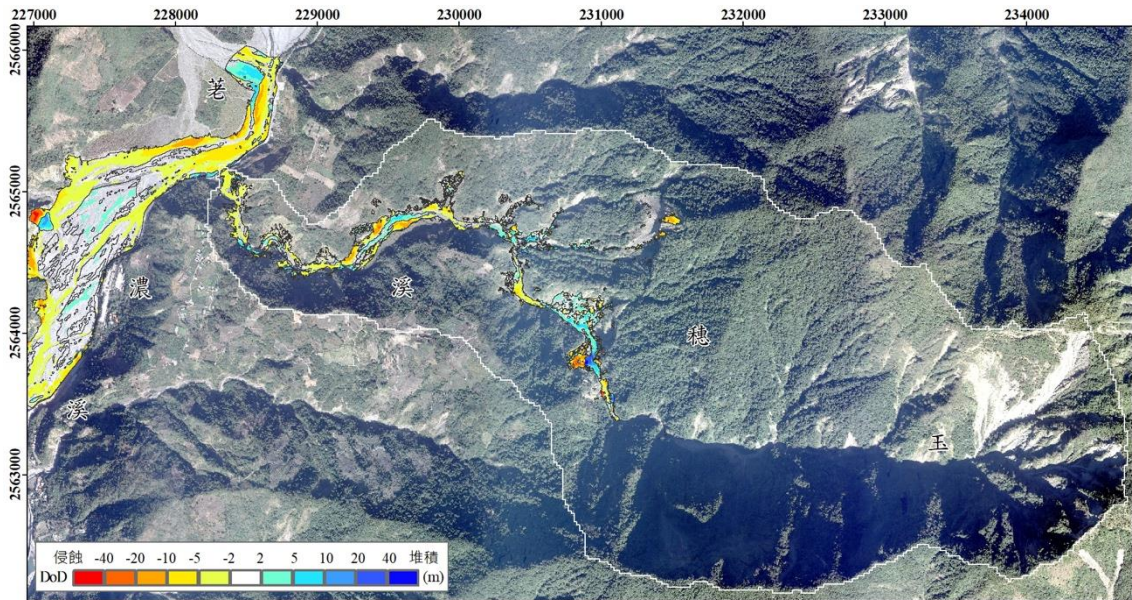


圖 5.31 2015/10-2019/01 玉穗溪流域地形侵淤變化量



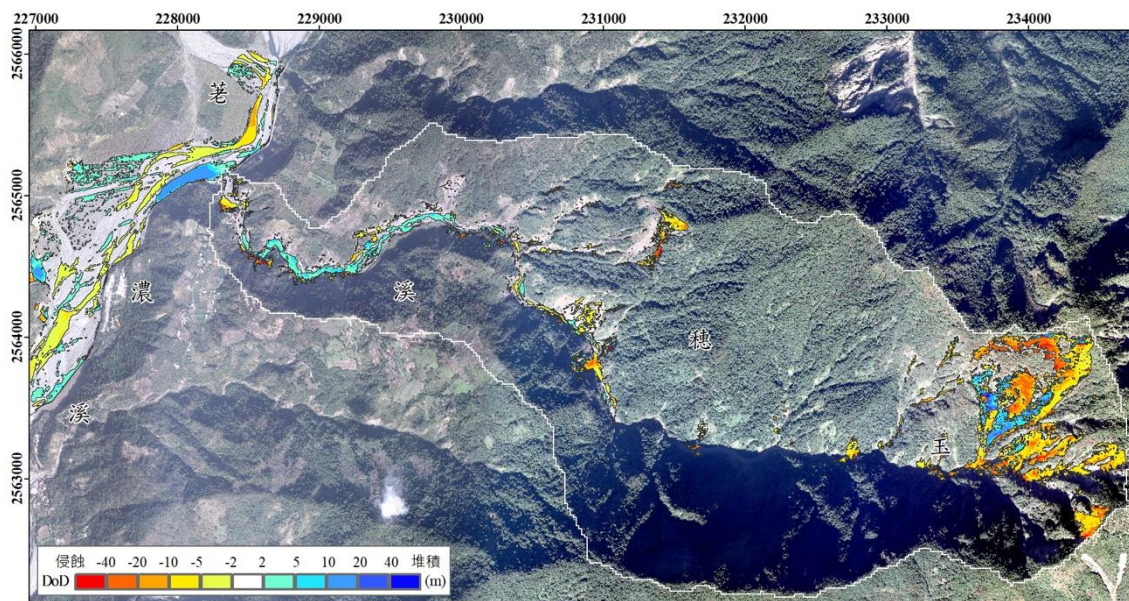


圖 5.32 2019/01-2021/01 玉穗河流域地形侵淤變化量

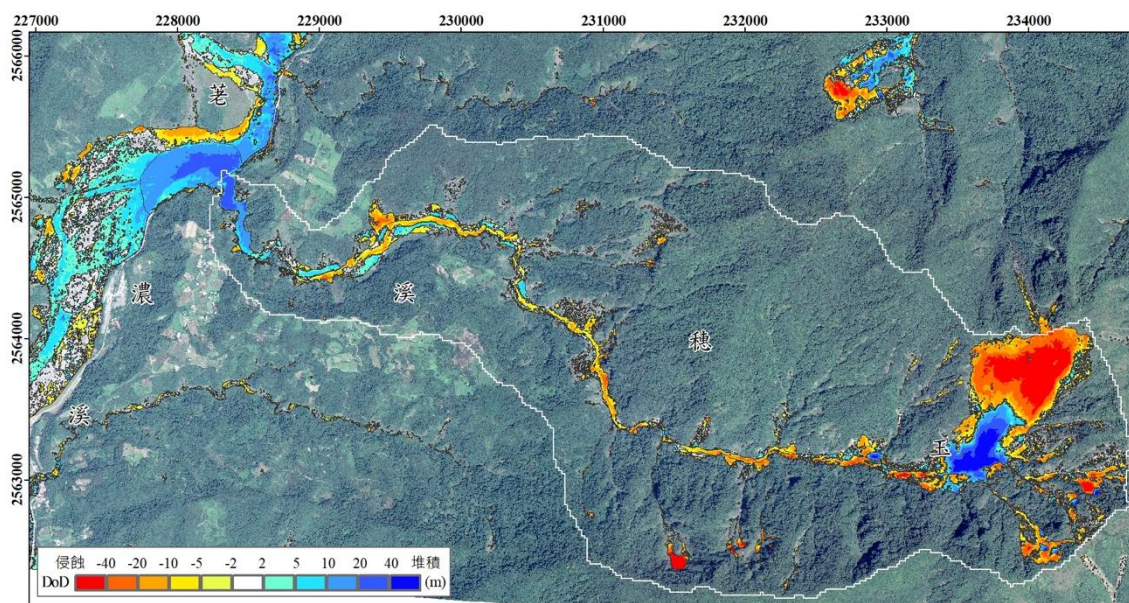


圖 5.33 2021/01-2021/08 玉穗河流域地形侵淤變化量

表 5.3 玉穗溪邊坡與河道土砂變動量計算結果 (體積)

Event	玉穗溪邊坡 (萬立方公尺)			玉穗溪河道 (萬立方公尺)			荖濃溪河道 (萬立方公尺)		
	Erosion	Deposition	Net	Erosion	Deposition	Net	Erosion	Deposition	Net
2001/03 – 2002/02	-65.0	38.5	-26.5	-45.9	64.5	18.6	-286.6	14.7	-271.9
2002/02 – 2003/04	-38.1	27.6	-10.5	-31.7	42.3	10.6	-32.6	219.8	187.2
2003/04 – 2007/01	-164.2	9.1	-155.2	-135.7	9.0	-126.7	-168.3	124.4	-43.9
2007/01 – 2008/08	-91.5	18.0	-73.5	-55.6	23.3	-32.3	-	-	-
2008/08 – 2009/11	-1,	316.7	-883.8	-127.7	275.4	147.7	-	-	-
2009/11 – 2013/02	-407.6	76.1	-331.5	-146.8	22.7	-124.1	-	-	-
2013/02 – 2015/10	-108.4	28.0	-80.4	-24.2	12.6	-11.6	-47.8	643.6	595.8
2015/10 – 2019/01	-58.5	38.6	-19.8	-42.2	23.1	-19.1	-279.6	57.5	-222.2
2019/01 – 2021/01	-652.7	126.8	-525.8	-38.2	45.1	6.9	-124.9	161.5	36.6
2021/01 – 2021/08	-1,	527.1	-1,	-135.1	153.7	18.6	-419.5	953.3	533.9
<b>Total (萬立方公尺)</b>	-4,	1, 206.6	-3,	-783.1	671.7	-111.4	-1,	2, 174.9	815.5

表 5.4 玉穗溪流流域邊坡與河道土砂變動量計算結果 (質量)

Event	玉穗溪邊坡 (萬公噸)			玉穗溪河道 (萬公噸)			荖濃溪河道 (萬公噸)		
	Erosion	Deposition	Net	Erosion	Deposition	Net	Erosion	Deposition	Net
2001/03 – 2002/02	-150.8	89.3	-61.5	-73.4	103.2	29.8	-458.5	23.5	-435.0
2002/02 – 2003/04	-88.4	64.0	-24.4	-50.7	67.7	17.0	-52.2	351.8	299.5
2003/04 – 2007/01	-381.0	21.0	-360.0	-217.1	14.4	-202.8	-269.3	199.1	-70.2
2007/01 – 2008/08	-212.2	41.8	-170.4	-89.0	37.4	-51.7	-	-	-
2008/08 – 2009/11	-2,	734.8	-2,	-204.4	440.6	236.3	-	-	-
2009/11 – 2013/02	-945.6	176.6	-769.0	-234.9	36.3	-198.6	-	-	-
2013/02 – 2015/10	-251.6	65.0	-186.6	-38.7	20.2	-18.5	-76.5	1, 029.8	953.3
2015/10 – 2019/01	-135.6	89.6	-46.0	-67.6	37.0	-30.6	-447.4	91.9	-355.5
2019/01 – 2021/01	-1,	294.3	-1,	-61.1	72.1	11.0	-199.9	258.4	58.6
2021/01 – 2021/08	-4,	1, 222.9	-2,	-216.1	245.9	29.8	-671.2	1, 525.3	854.2
<b>Total (萬公噸)</b>	-10,	2, 799.2	-7,	-1,	1, 074.7	-178.2	-2,	3, 479.9	1, 304.9

\*備註：邊坡材料密度以 2.32 ton/m<sup>3</sup> 計 (Tasi et al., 2013)；河道材料以 1.60 ton/m<sup>3</sup> 計。



## 六、崩塌張力裂隙與降雨關係

根據上述歷年土砂變化的分析顯示，玉穗流域的土砂生產量最高事件發生於 2021 年盧碧颱風，其次為 2009 年莫拉克颱風，再者為 2019 年 5 月的豪雨事件，土砂生產量和降雨並非簡單的正比關係，而是土砂量隨著時間有逐漸增加的趨勢，且主要的土砂供應來源為上游的大規模崩塌地，大規模崩塌演變過程應是影響玉穗流域土砂生產的關鍵。

為瞭解玉穗溪上游大規模崩塌的演變過程，本計畫從歷年航照正射影像進行檢視，圖 5.34 和圖 5.35 為玉穗溪上游大規模崩塌處的歷年正射影像。

在 2001 年 3 月（圖 5.34），位於分水嶺下方的邊坡，已有一道約 1, 100 公尺長、M 字形的張力裂隙（tension crack）（紅色 crack1），且在東側上邊坡還有一道約 340 公尺長的張力裂隙，但此時的裂隙寬度較窄，從裸露植被的寬度去量測，裂隙平均寬度約為 3.5 公尺。在 2003 年 4 月和 2008 年 8 月的影像中，張力裂隙變化不明顯，平均寬度約為 5.8 公尺。在 2009 年 11 月莫拉克颱風後，邊坡下方的崩塌地擴大，上方的張力裂隙也明顯加寬，平均寬度增加至 25.5 公尺。

在 2013 年 2 月（圖 5.35），邊坡東側的崩塌已擴及至張力裂隙處，西側的裂隙也明顯加寬，且形成多道裂隙。在 2019 年 1 月，張力裂隙持續加寬，並且從影像中已經可以觀察出下邊坡產生位移。在 2021 年 1 月，邊坡已產生數百公尺的滑落，張力裂隙平均寬度增加至 135 公尺。最終，在 2021 年 8 月盧碧颱風的強降雨，邊坡順著張力裂隙的邊界產生滑動。

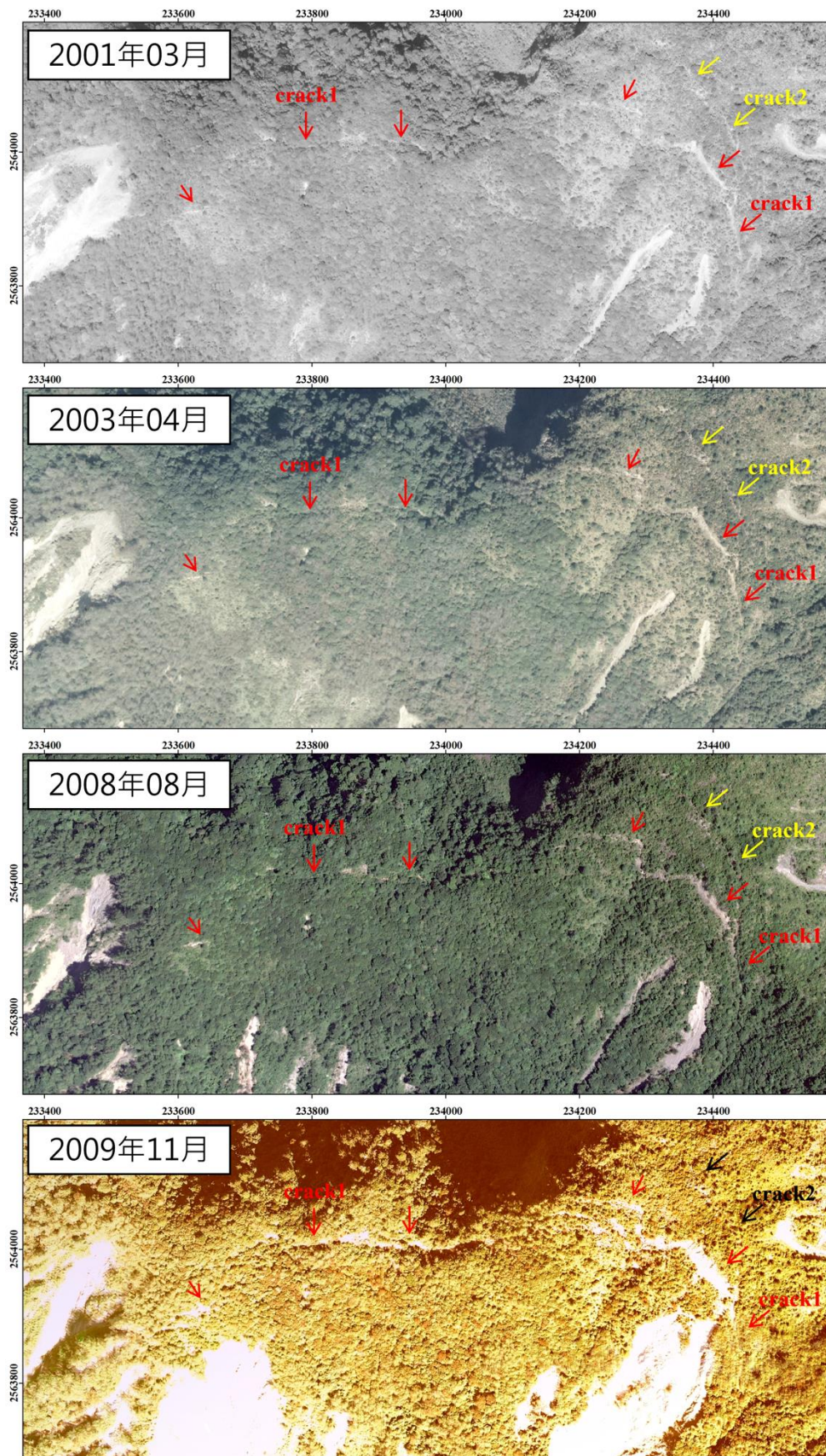


圖 5.34 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的發展 (2001-2009)

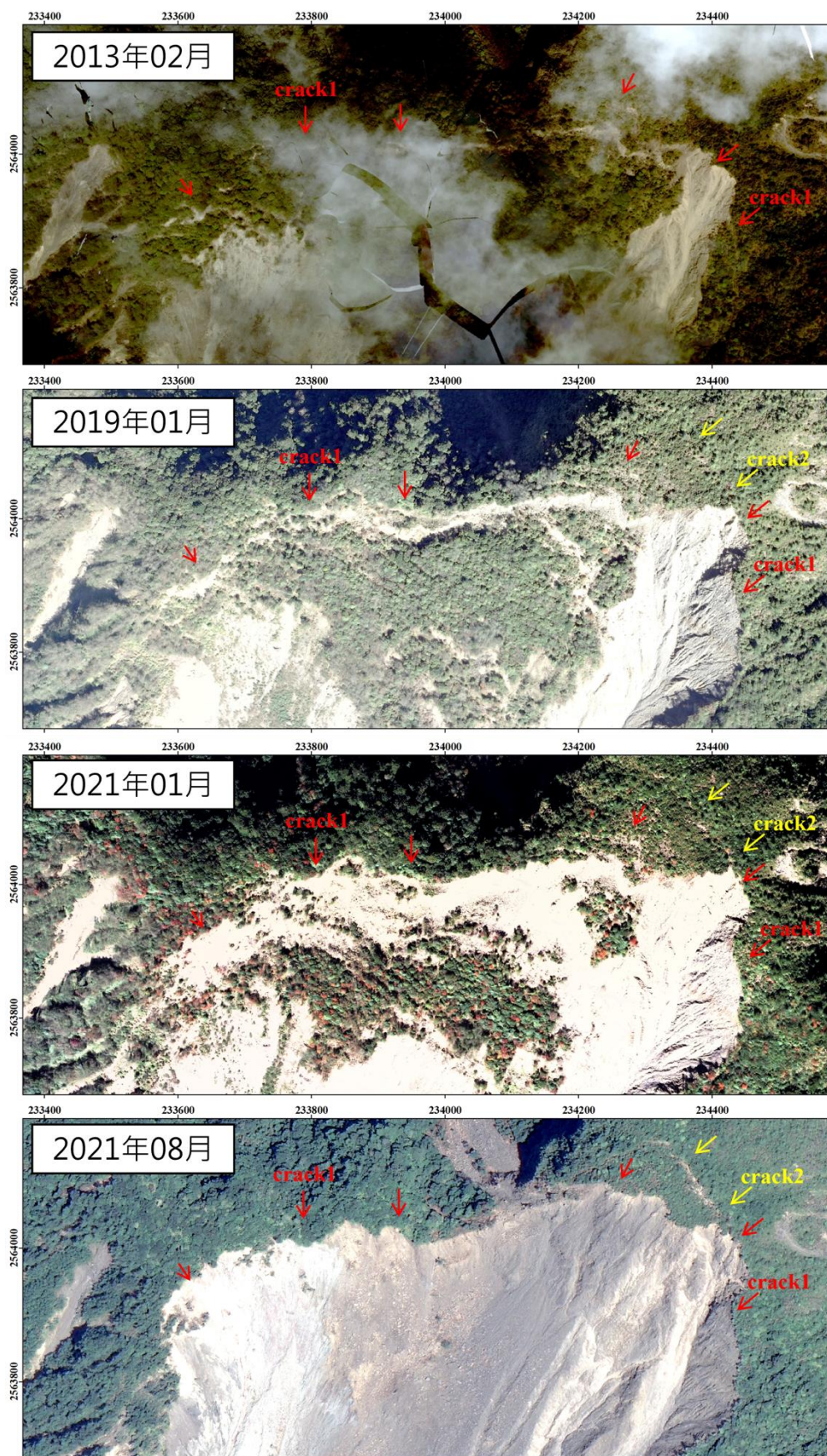


圖 5.35 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的發展 (2013-2021 年)

為了觀測張力裂隙的變化，本計畫利用航照正射影像與衛星影像資料，在張力裂隙處劃設 10 條垂直等高線的測量剖面線，假設植生裸露為張力裂隙的寬度，從 GIS 軟體中量測歷年張力裂隙寬度的變化。

圖 5.36 為玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙寬度的量測結果，在 2001-2008 年之間，張力裂隙變化不明顯，平均寬度皆小於 10 公尺，裂隙寬度每年約增加 0.3 公尺。在 2009 年莫拉克颱風後，裂隙寬度明顯加寬至 10-30 公尺之間，且其裂隙寬度的增加速度變為每年 3.1 公尺。在 2017 年之後，張力裂隙快速發展，以每年 31.7 公尺的速度變寬，至盧碧颱風前的 2021 年 5 月，平均寬度已接近 150 公尺，暗示邊坡材料已在滑動，相當危險。

玉穗溪的土砂生產與土石流災害發生，主要受到上游大規模崩塌的發育所控制，而藉由航遙測影像觀測邊坡張力裂隙的變化，可作為崩塌或土石流災害發生的先期預警指標。

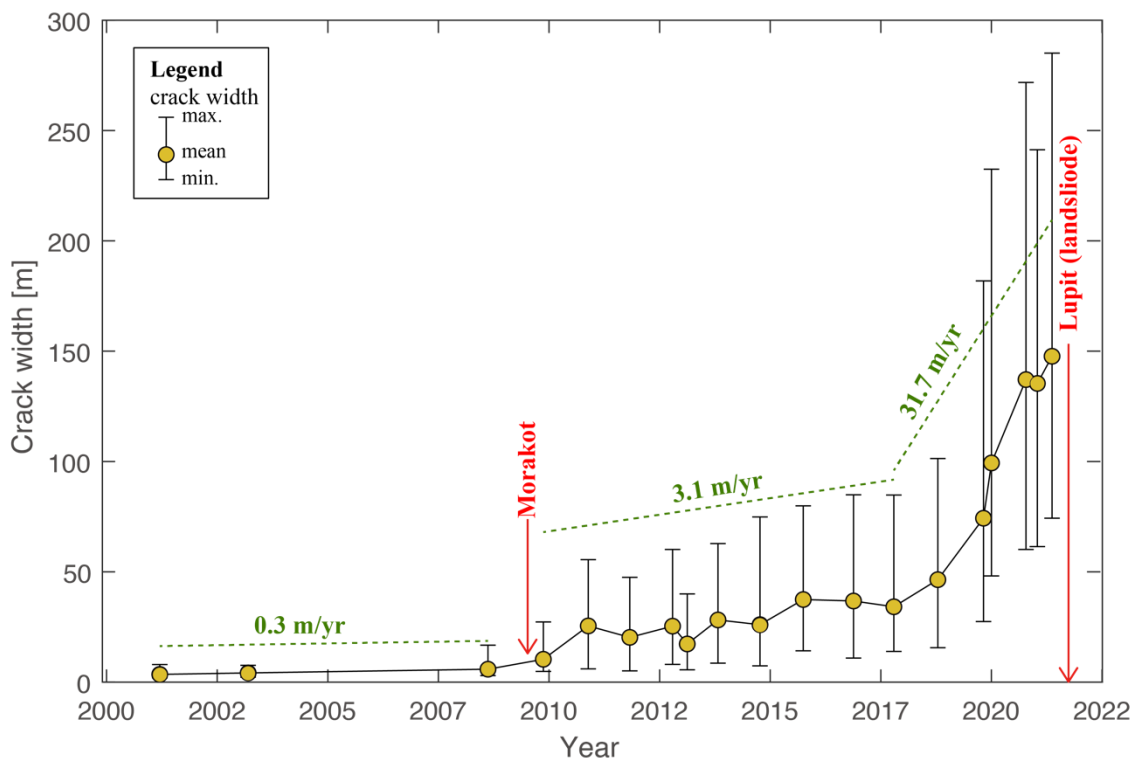


圖 5.36 玉穗溪上游大規模崩塌張力裂隙的寬度變化



## 第二節 愛玉子溪流域土砂變化監測

### 一、愛玉子溪流域

愛玉子溪位在濁水溪支流陳有蘭溪之上游，集水區東側的分水嶺為阿里山森林遊樂區和祝山觀景台，溪流東側與霍薩溪匯流。愛玉子溪的集水面積，集水區海拔高程介於 1,153 至 2,492 公尺，平均坡度約為 39 度，年平均雨量從上游分水嶺的 3,932 公釐(阿里山測站，1981-2010 年)，往下游逐漸地減至 1,950 公釐(神木村雨量站)，其中 81%的降雨量集中在 4 到 9 月的雨季(圖 5.37)。

愛玉子溪集水區下游地質屬於中新世中期深坑砂岩層，岩性為塊狀砂岩夾薄層砂岩；上游地區則是中新世的南莊層，岩性為淺灰色厚砂岩、砂岩和頁岩所組成的條狀薄紋層和深灰色頁岩(張麗旭等，1960)，此區岩層遭受強烈之擠壓褶曲與變形，岩體不連續面發達(圖 5.38)。由於集水區內沒有單壓強度觀測資料，參考阿里山附近的岩樣的抗壓強度的測量結果，抗壓強度分佈之區間在  $52.19 \pm 10.24$  MPa(林慶偉，1994)。研究區地表覆蓋以森林為主，因海拔落差大，植物分布具垂直分層，植被分布從低海拔的暖溫帶闊葉林帶，直到中高海拔的檜木林帶。



圖 5.37 愛玉子河流域位置圖與正射影像



圖 5.38 愛玉子河流域地質圖

## 二、遙測影像蒐集

本計畫去年度已透過農委會農林航空測量所(農航所)歷史航拍影像和與無人機的航拍影像,藉由運動恢復結構(Structure from Motion, SfM)產生1999年到2021年17期的數值地表模型與正射影像,藉以獲得高解析度三維地形的資料,比較前後兩期的數值地表模型和正射影像,以分析降雨事件對集水區土砂生產和運移之影響。

本計畫今年度持續在愛玉子溪流域進行空拍,空拍時間選擇在汛期後行拍攝,汛期期間的降雨事件為0902軒嵐諾和0911梅花颱風,以及0917關山地震(規模6.4)和0918池上地震(規模6.8)。由於汛期後的天候不佳,本計畫團隊蒐集相關的航照影像,直到12月才拍攝完成愛玉子溪影像蒐集,建立2022年汛期後影像建模。。

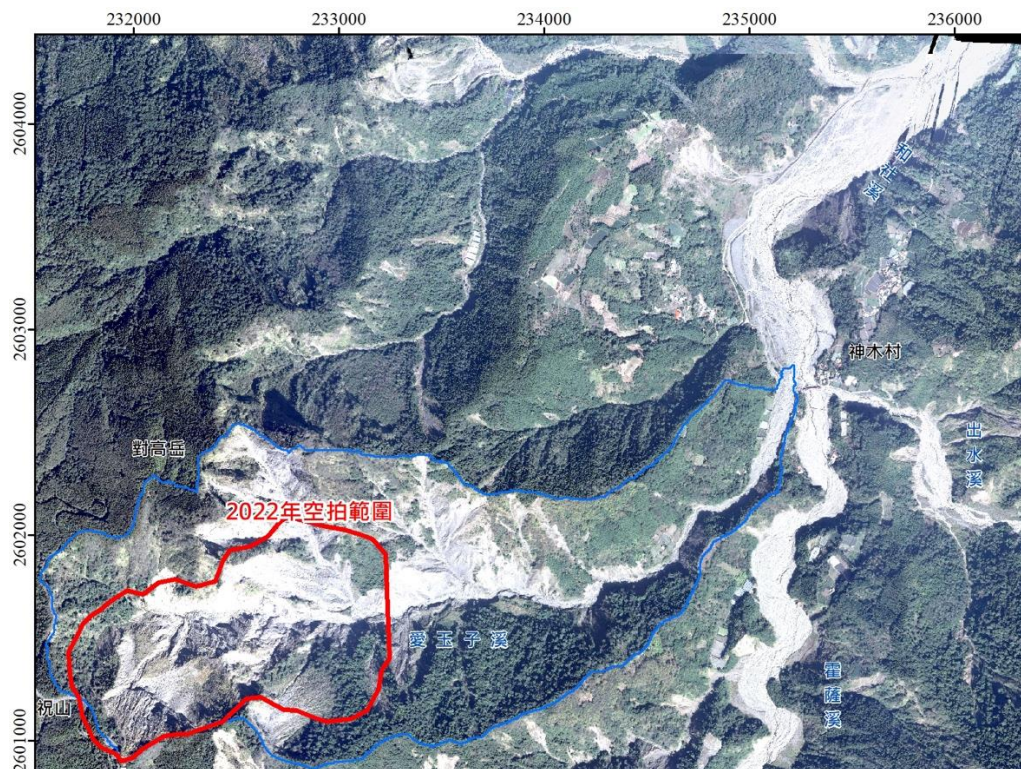


圖 5.39 2022 年 10 月無人機空拍範圍

### (1) 運動恢復結構演算

本計畫採用 Pix4D Mapper 專業航空測繪軟體，產製數值高程模型與正射化影像，Pix4D Mapper 發展自瑞士洛桑聯邦理工大學團隊，專門為現今 UAV 航空攝影測量所設計，基於運動恢復結構-多視角攝影 (Structure-from-Motion and Multi-View Stereo, SfM-MVS) 的技術 (圖 5.43)，其特徵點匹配法採用 SIFT 演算法 (Küng et al., 2011)，當相機參數與姿態未知或不精準時時，則需要由多張影像拍攝的物體，反解算相機的位置與姿態，進而計算物體的座標，稱為運動恢復結構原理，計算流程分別輸入多視角拍攝影像，將影像相互匹配後，根據共線性原則率定相機的內、外方位參數，並產生點雲，再將點雲進行空間內插產生正規網格的 DSM，並且將影像鑲嵌成為正射影像 (圖 5.40)。

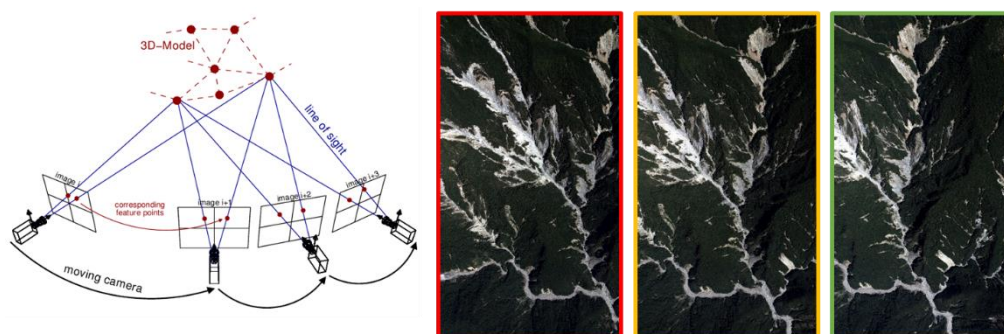


圖 5.40 運動恢復結構示意圖和多視角拍攝影像

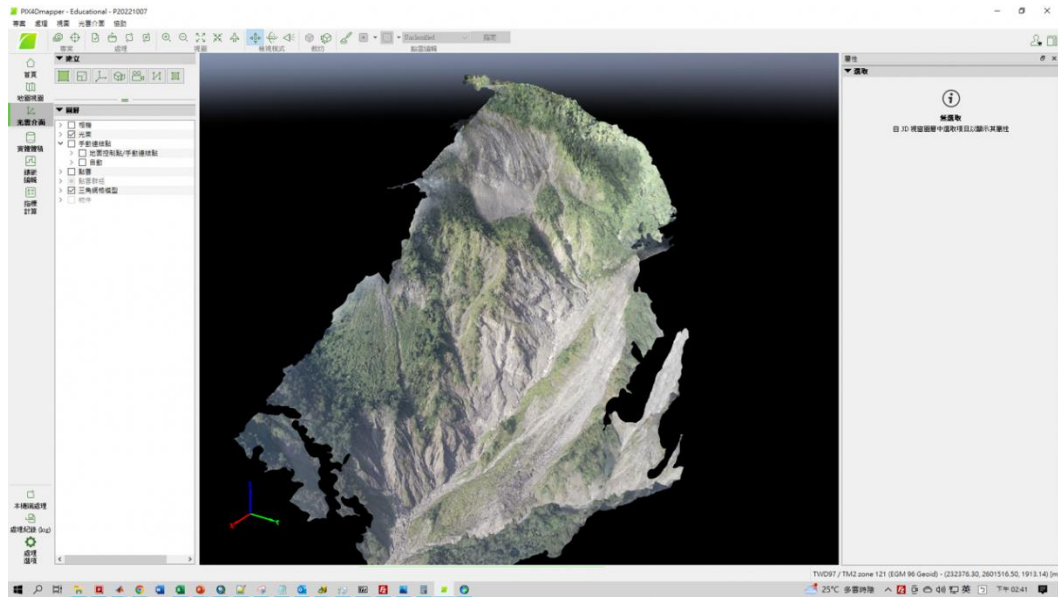


圖 5.41 Pix4D Mapper 航空攝影測量軟體產製三維模型示意圖

## (2) 建模成果與土砂變化分析

圖 5.42 為愛玉子溪上游的正射影像和數值地表模型，地面解析度為 18 公分，從正射影像可以清楚看到堆積在崩塌和野溪的礫石，然而，與前一期（2021 年 9 月 8 日）的影像比較，地表幾乎無明顯的變化，僅有南側邊坡有些微的地形變化（紅色方處），原本裸露的崩塌地，往上邊坡擴張約 1, 216 平方公尺（圖 5.43）。

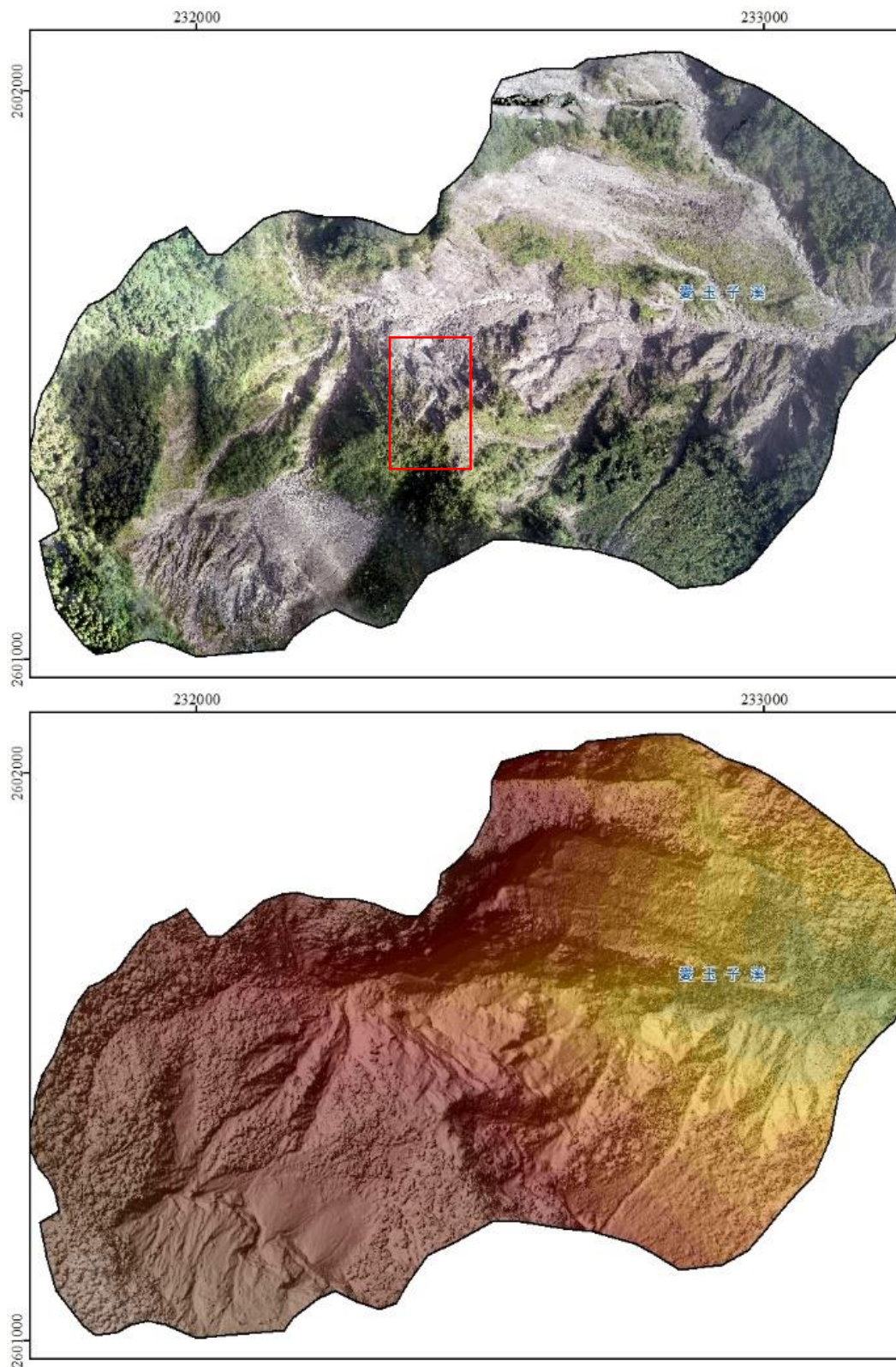


圖 5.42 2021/09/08 正射影像與數值地表模型



圖 5.43 2021/09/08-2022/10/07 愛玉子溪上游地形變化量

比較 2021-2022 年汛期後的正射影像和數值地表模型（圖 5.44），愛玉子溪集水區幾乎沒有明顯的地形變化，邊坡植被亦無明顯的變化，河道變化亦不明顯，僅有在上游南側的陡峭邊坡有一處新增崩塌，以及霍薩溪與和社溪有些微的侵蝕和淤積。

圖 5.45 顯示愛玉子溪中游河道的正射影像，可以觀察堆積在河道中的巨礫沒有發生移動，且兩側河岸地形也沒有明顯變化。圖 5.46 為愛玉子溪上游南側陡峭邊坡的新增崩塌地，原本裸露的崩塌地往上邊坡擴張約 1,143 平方公尺（圖 5.45）。對比前後期數值地表模型（圖 5.47），崩塌體積為 2.4 萬方，並於下邊坡堆積兩處堆積物，土方量約為 2.3 萬方的土砂。

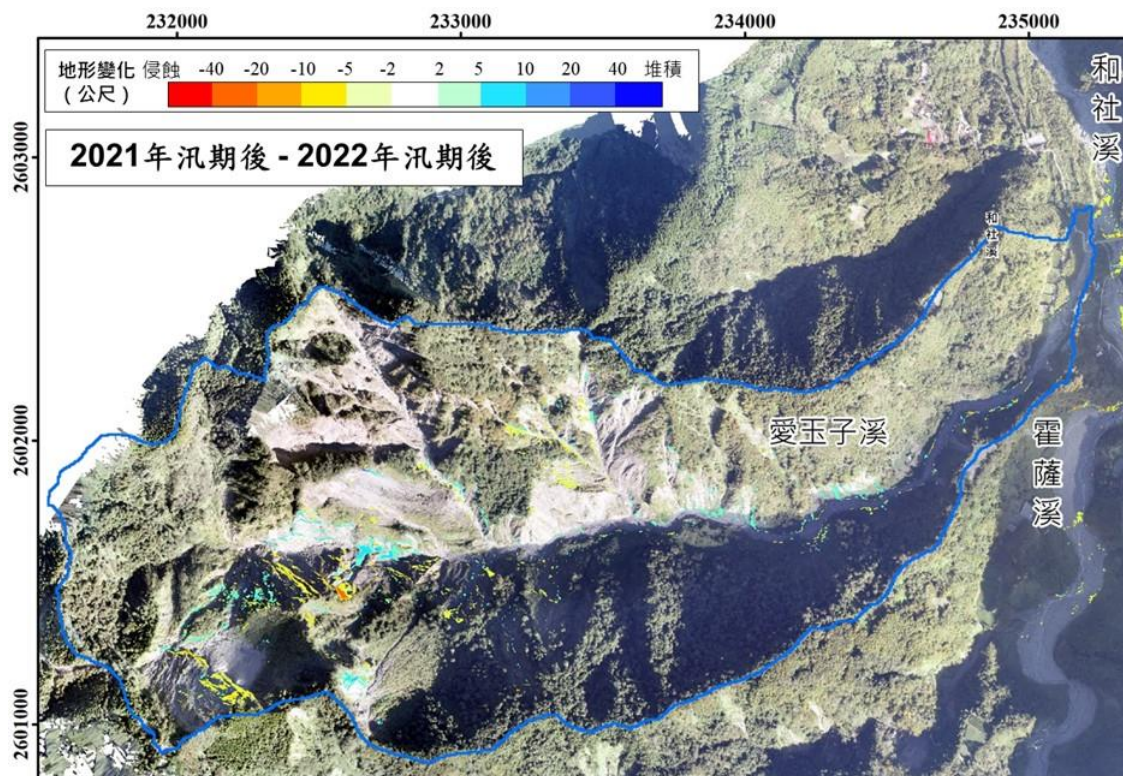


圖 5.44 2021-2022 年汛期後愛玉子溪上游地形變化量



圖 5.45 愛玉子溪中游河道地形變化



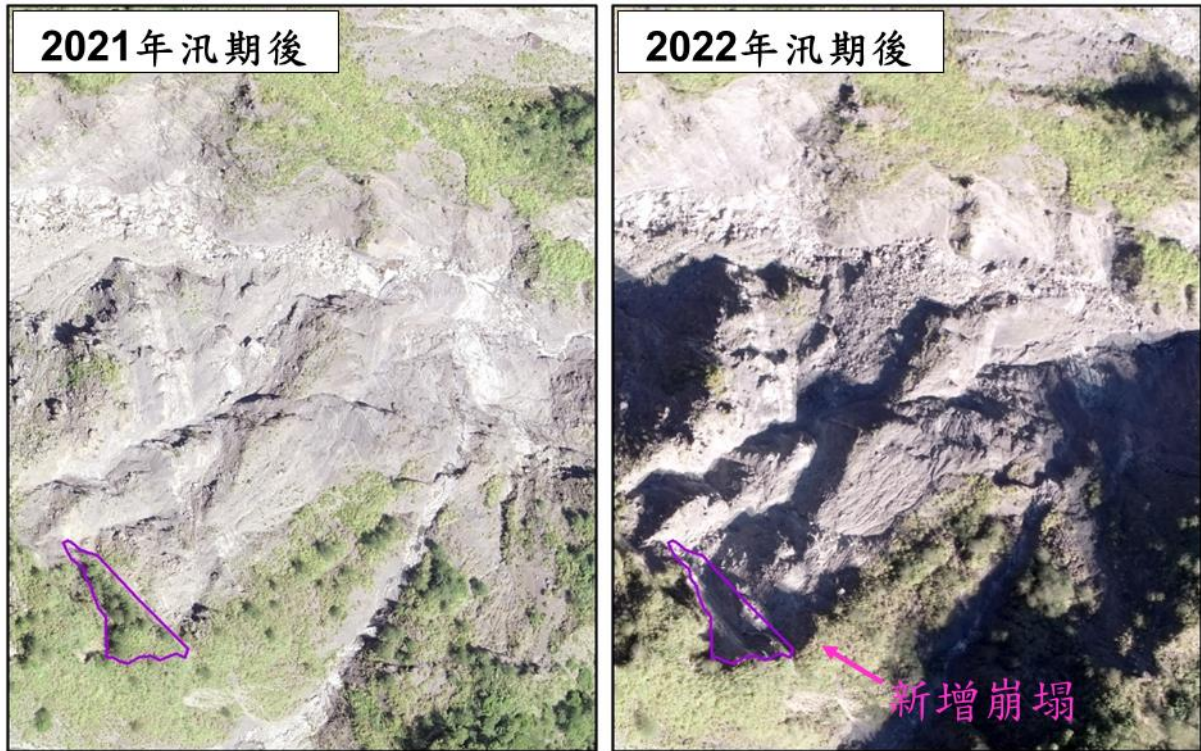


圖 5.46 愛玉子溪上游邊坡新增崩塌地

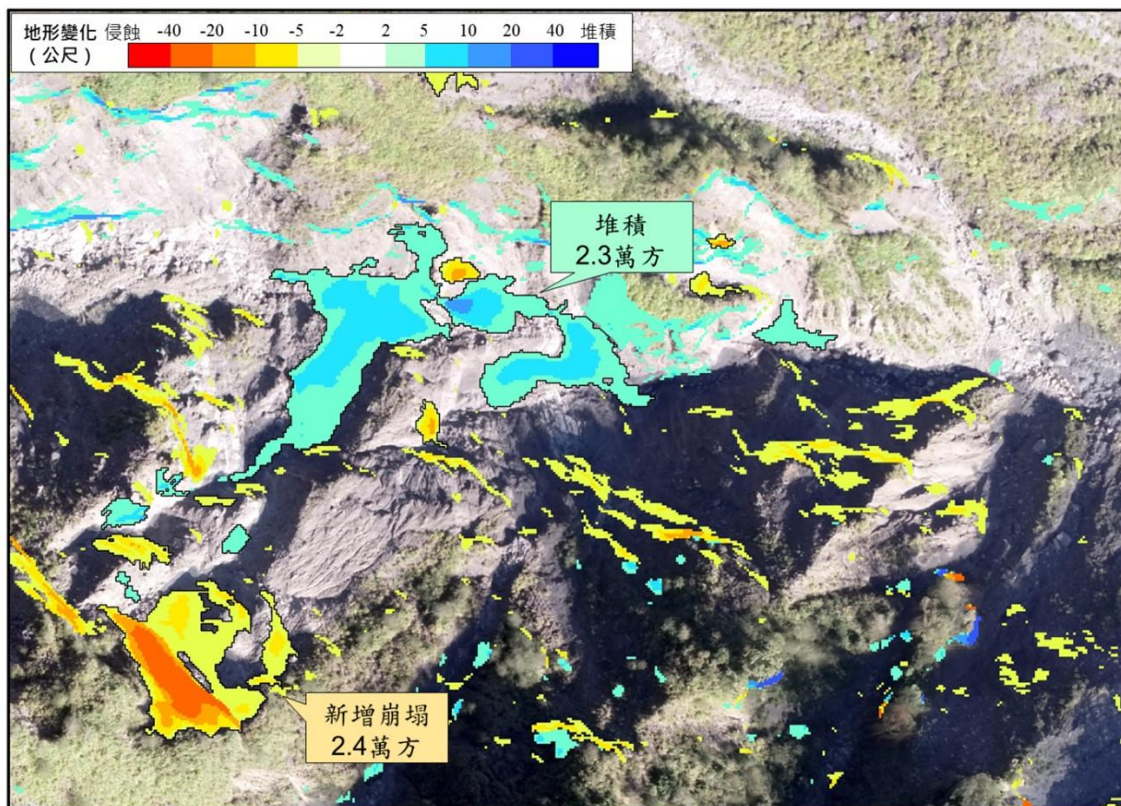


圖 5.47 愛玉子溪上游邊坡新增崩塌地的地形變化量

整體來說，2021 年汛期後至 2022 年汛期後，愛玉子溪流域地形變化相當穩定，邊坡地形變化主要為裸露的舊崩塌，向上邊坡擴大而產生的新增崩塌土砂，共計 2.4 萬立方公尺，產生 2.3 萬立方公尺堆積在邊坡和上游野溪，代表絕大多數土砂並未往下游運移，由於土砂量相對較少，且距離下游保全對象較遠（距離流域匯流口約 3 公里），初步研判應不會造成下游危害。

## 第六章 玉穗智慧防災網站

玉穗溪智慧網頁已經完成，與神木村網也架構相同。網址為 [http://125.227.119.31/\\_core/control/login.php](http://125.227.119.31/_core/control/login.php)。網站架構如下，分成資料接收，即時分析，監控顯示與自動預警四大部分。

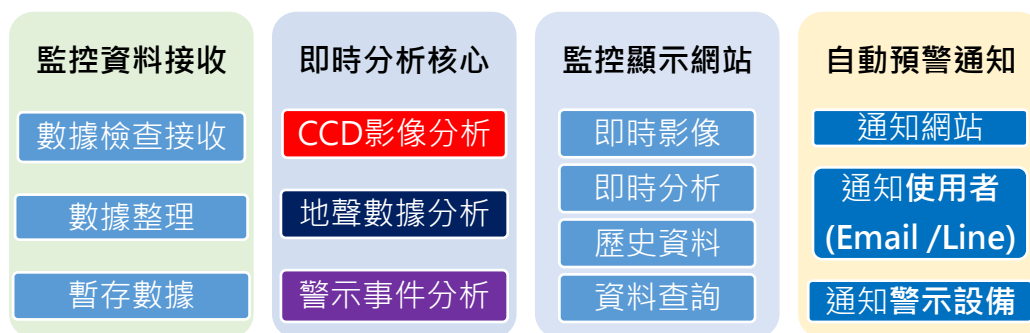


圖 6.1 網站系統架構圖

### 第一節 展示系統

網站上必須有登入的機制，如圖 6.2。

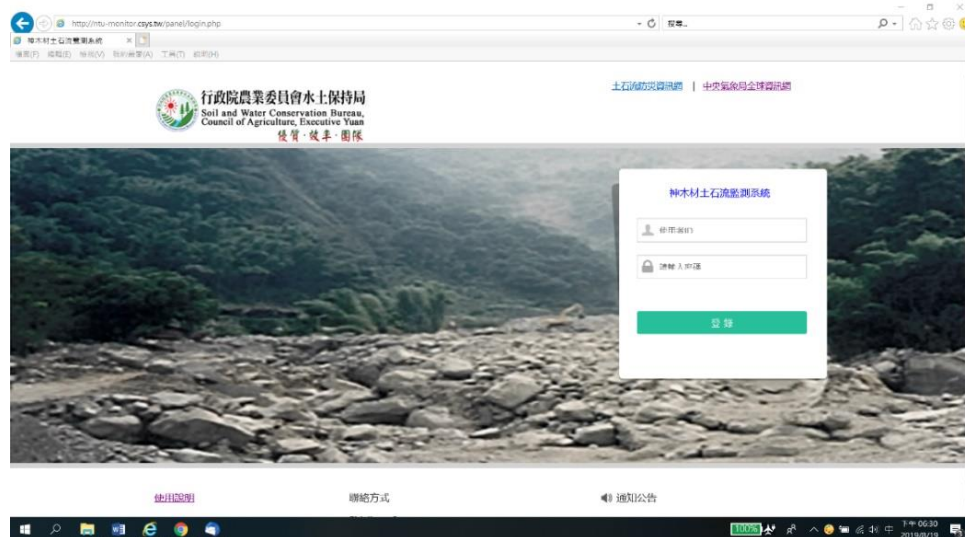


圖 6.2 展示系統登入首頁

進入系統後是以整個集水區的空拍圖(目前初步使用 Google 航拍圖)為底，攝影機與地聲探測器的訊號直接顯示在該設備所在溪流，同時攝影機以灰階值法計算的結果就顯示於攝影機下方，地聲檢知器的訊號與 FFT 分析預警曲線也顯示在一起，右下增加了集水區的雨量

分佈區線，如圖 6.3。

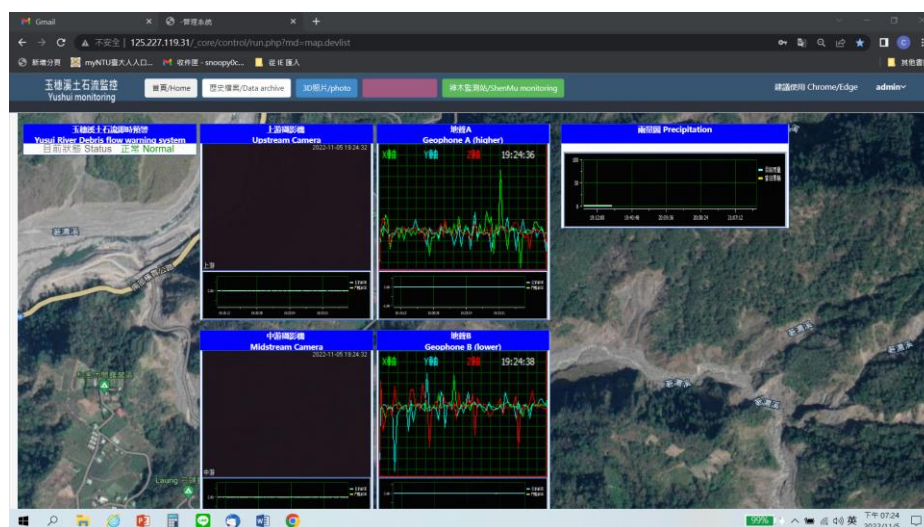


圖 6.3 玉穗溪展示網頁中心整體監測設施圖

而在上方選項中(圖 6.3)則包含:歷史資料(可供下載)、事件查詢、360 度現場照片等功能，

若選擇歷史資料，使用者可以把過去事件資料下載，資料切成一分鐘一筆，方便下載，如圖 6.4。

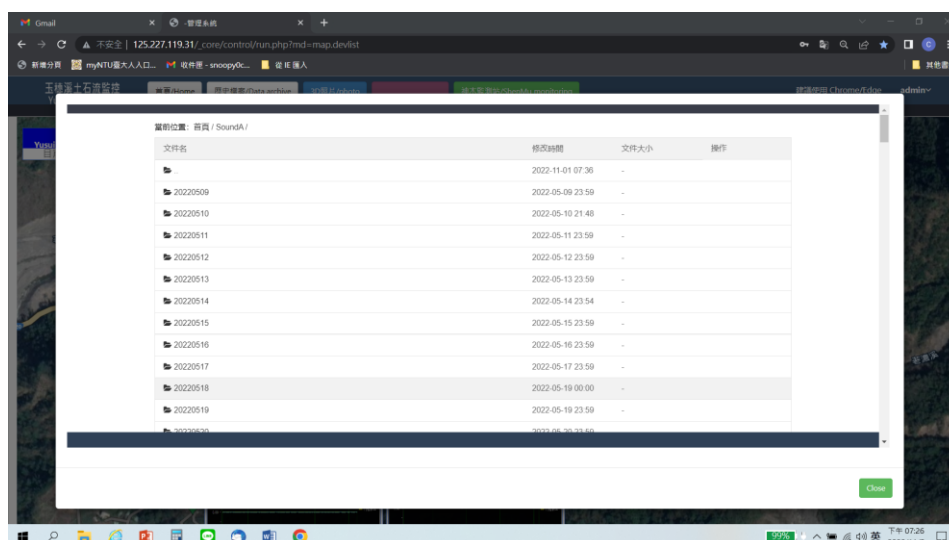


圖 6.4 資料下載頁面(一分鐘一筆);雨量、影片與地聲都可下載

若選 3D 照片，會以虛擬 3D 的方式，把我們現勘的照片立體自下游向上游分 35 個斷面顯示。

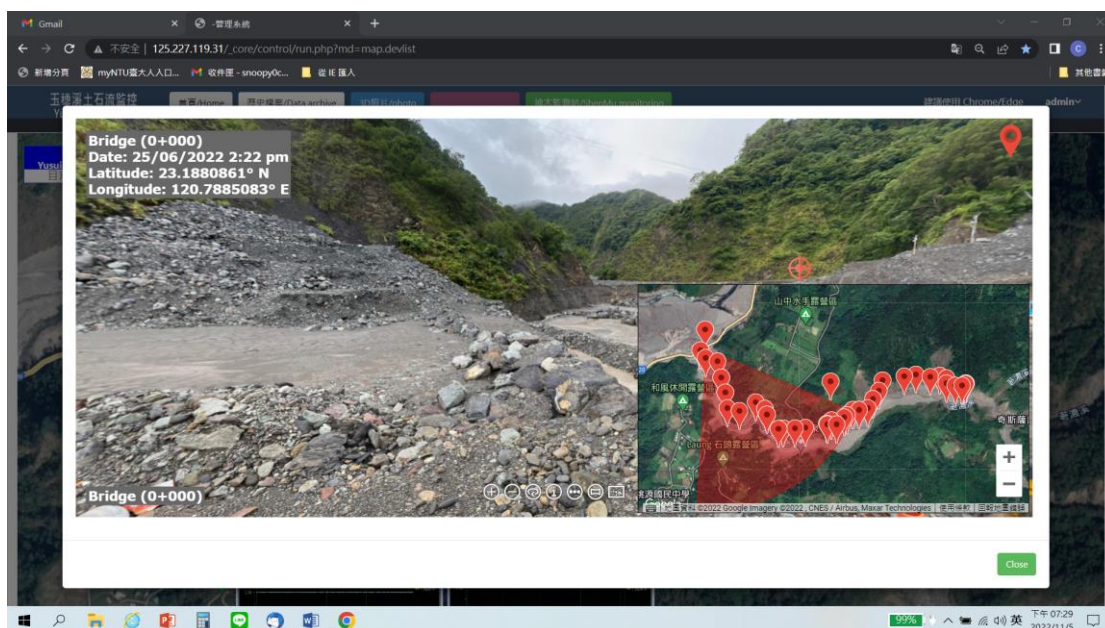


圖 6.5 玉穗溪 3D 環場照

## 第二節 資料接收、儲存與預警機制

### 一、資料接收

此網頁的資料，是由現地電腦直接接收現地兩台攝影機，兩台地聲檢知器與雨量的資料，所有資料都是以有線方式連結到電腦，資料沒有遺失之虞。

### 二、資料展示

資料接收後，即刻於首頁展示本集水區兩台攝影機的即時畫面，2 地聲檢知器與影像資料也同步以快速傅立葉轉換與總灰階值法分析，分析結果也同步顯現於首頁如圖 6.3，所有分析資料都是同步即時進行，網頁本身也是存於現場電腦，從資料接收、處理與展示都是在現場，沒有將資料傳輸到其他地方的需求或困擾。

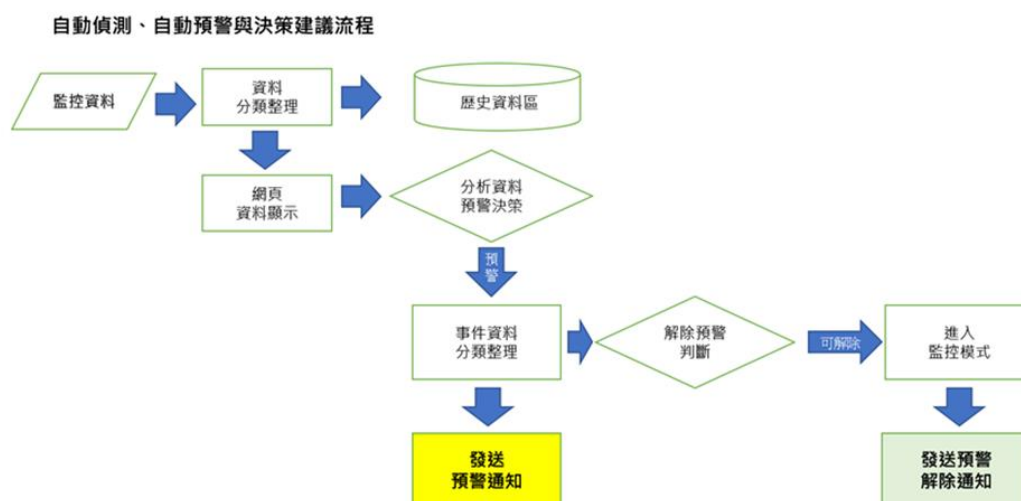


圖 6.6 自動偵測預警系統流程圖

### 三、預警機制

若地聲檢知器或攝影機兩者有一個顯示偵測到土石流，首頁就會顯示警報，同步下游警報時間就都會顯示出，若有連結預警通報與設備遙控，也會直接自動控制，流程如圖 6.6

而過程中如果資料到達警戒，則會以警戒模式處理，如圖 6.7。

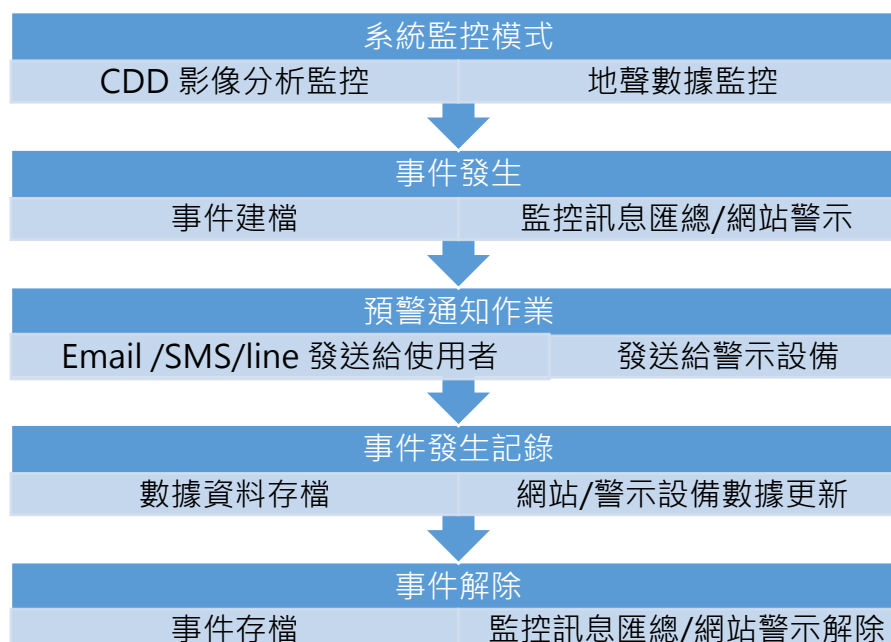


圖 6.7 自動預警流程與預警通知模式

警戒模式分兩部分，一部分是於網站上直接顯示訊息，另一部分是直接發訊息給相關人員，若有需要則直接控制遠方裝置。



圖 6.8 預警視窗

任何外界想要看到網站或連結到網站，其實都需要裡用網路連到現場的電腦。





## 第七章 結論與建議

### 結論

- 一、玉穗溪觀測站設備已經安裝完畢，電與網路也都接好，整個過程約需 11 個月。未來若安裝於新場址，從購賣儀器開始，應該可以將期程縮短到 7 個月。
- 二、現場儀器包含攝影機與地聲檢知器都已檢校完成，誤差都在 2% 以下，證實安裝的過程沒有任何問題。
- 三、因為觀測站到被觀測溪流距離超過 400 公尺，造成影片中每個畫素代表 2 公尺長度，因此必須改變預警條件，而地聲檢知器因為訊號線無法拉到 300 公尺，因此安裝位置離河谷太遠，只接收得到非常大的崩坍與土石流事件。
- 四、本年度從系統安裝完畢到計畫結束，沒有大降雨事件，因此沒有真實土石流發生。但選擇玉穗溪四場事件(一場下游有土石流，上游沒有，另外三場降雨事件為這段期間最大累積降雨)，都有降雨與大霧，雖然現場訊號存在強烈變化，但是系統不會發出錯誤警報。
- 五、智慧預警網頁已經英文化，且所有功能都完備，包含資料分析展示，過去資料下載 3D，現場環場照，自動預警等功能。自動預警機制包含於下游守衛處以無線電觸發預警訊號，同時可以用 line 與簡訊發出預警訊息。

六、因為觀測設備距離溪流太遠，一個畫素代表的距離太長，因此必須調整偵測最短時間到 4 秒，也就是畫面中的運動行為必須持續 4 秒，才算偵測到土石流。其他系統參數不需要調整。

## **建議**

1. 玉穗溪沿岸河谷高聳，幾乎沒有適當的監測點，監測點離溪谷距離太遠，造成影像解析度降低，地聲檢知器無法收到訊號等問題，目前河口便橋已經完成，若可能，建議把地聲檢知器向河岸移動，或監測站向下游移動到第一個被淹埋的壩址，會監測到非常詳細的資料，也會提供足夠的預警時間給下游封閉道路。
2. 自由液面高程與表面流速是一個非常重要的物理因子，可以提供更多更詳細的流動狀態與溪谷現況，建議於未來計畫中加入。

## 參考文獻

1. 王虹萍、黃彥豪、葉美伶、方耀民、李秉乾、周天穎、尹孝元 (2009), 「莫拉克風災台灣土石流觀測實錄」, 中華水土保持學報, 40(4): 311-328。
2. 水土保持技術規範 (中華民國 103 年 9 月 11 日)
3. 行政院農業委員會水土保持局 (2015), 「歷年觀測資料成果彙編」, 行政院農業委員會水土保持局。
4. 行政院農業委員會水土保持局 (2016), 「神木國際土砂災害觀測研究中心暨坡地水文試驗研究場域規劃」, 行政院農業委員會水土保持局。
5. 李欣輯 (2000), 「地聲探測器應用於土石流預警」, 國立台灣大學土木學系研究所碩士論文。
6. 周憲德 (2015), 「火災山土石流之流動型態與地聲特性分析」, 中華水土保持學報。
7. 區域排水整治及環境營造規劃手冊
8. 張婉真 (2005), 「地聲檢知器複式探測之研究」, 國立台灣大學土木學系研究所碩士論文。
9. 黃名村 (2003), 「土石流災害範圍之數值模擬及利用微波偵測土石流之研究」, 國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。
10. 黃清哲 (2007), 「不同形態土石流地聲特性之實驗研究」, 中華水土保持學報。
11. 詹錢登、李明熹 (2004), 「土石流發生降雨警戒模式」, 中華水土保持學報, 第 35 卷, 第 3 期, 第 273-283 頁。
12. 劉格非、李峰昌 (1997), 「石流撞擊機制之試驗分析」, 中華民國力學學會期刊, 第 13 卷, 第 1 期, 第 87-100 頁。
13. 劉格非、魏士超、鄺寶成 (2013), 「累積雨量對土石流影響範圍評估之影響」, 中華水土保持學報, 第 44 卷, 第 3 期, 第 225-233 頁。
14. 魏士超、劉格非、黃亦敏、方耀民、尹孝元、黃效禹、林建良 (2018), 「愛玉子溪土石流之地動訊號特性與警戒方法之探討」, 中華水土保持學報, 49(2): 77-88。
15. 魏士超 (2019), 「土石流震聲波之理論研究」, 博士論文, 國立臺灣大學土木工程學系。
16. 內政部土地測量局 (2006) e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統-VS-RTK 定位測試成果報告, 內政部土地測量局。

17. 水土保持局 (2020) 「土砂災害空間資訊蒐集判釋與變遷分析」計畫成果報告，行政院農委會水土保持局。
18. 王韻皓、陳連晃 (2011) 農業委員會林務局農林航空測量所業務介紹，地籍測量，第 30 卷第 1 期，第 38-46 頁。
19. 何維信 (1995) 「航空攝影測量學」，大中國出版社。
20. 林慶偉 (1994) 玉山國家公園新中橫地區地質構造分析及其對崩塌地發育之影響，玉山國家公園出版。
21. 科技部 (2017) 「災後地形改變影響全流域水砂運移之模擬、劃設與資料庫建置」，科技部專題研究計畫成果報告。
22. 科技部 (2018) 「災後地形改變影響全流域水砂運移之模擬、劃設與資料庫建置 II」，科技部專題研究計畫成果報告。
23. 張麗旭、詹新甫、李朝雄 (1960) 阿里山煤田地質，台灣省地質調查所彙刊，第十二號，第 91-102 頁。
24. 陳振宇(2008)，「國內土石流警戒發布機制沿革」，台灣水土保持季刊，第 63 卷，第 1-7 頁。
25. 陳振宇、劉維則、許家祥 (2017) 使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式，中華水土保持學報，第 48 卷，第 1 期，第 44-55 頁。
26. 陳樹群、翁愷翎、吳俊鎰 (2010) 玉峰溪集水區崩塌特性與崩塌體積之探討，中華水土保持學報，第 41 卷，第 3 期，第 217-229 頁。
27. 陳樹群、蔡喬文、陳振宇、陳美珍 (2013) 筒狀模式之土壤雨量指數應用於土石流防災警戒，中華水土保持學報，第 44 卷，第 2 期，第 131-143 頁。
28. 馮智偉 (2017) 「整合土壤雨量指數與降雨驅動指標之警戒模式可行性評估」，行政院農業委員會水土保持局委辦計畫。
29. 詹錢登、李明熹 (2004) 土石流發生降雨警戒模式，中華水土保持學報，第 35 卷，第 3 期，第 275-285 頁。
30. 農委會 (2017) 「多元尺度環境因數對崩塌災害發生誘因之研究」，農委會補助研究計畫成果報告。
31. 農委會 (2018) 「多元尺度環境因數對崩塌災害發生誘因之研究 II」，農委會補助研究計畫成果報告。
32. Arattano, M.(2003)Monitoring the presence of the debris-flow front and its velocity through ground vibration detectors, The third Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Davos, Switzerland, pp.719-730.
33. Armanini A., Fraccarollo L. &Rosatti G. (2009) Two dimensional simulation of debris flows in erodible channels. Computers &

- Geosciences , 35 , 993–1006.
34. Andreas Schimmel(2018)Automatic Identification of Alpine Mass Movements by a Combination of Seismic and Infrasound Sensors
  35. BeaucheminS. S. , Barron J. L.(1995) The Computation of Optical Flow , ACM Computing Surveys (CSUR) Surveys Homepage archive Volume 27 Issue 3 , Sept , Pages 433-466
  36. Bouguet J. Y.(1999) Pyramidal implementation of the ILcas Kanade feature tracker description of the algorithm , Intel Corporation Microprocessor Research Labs
  37. Coussot , P. , and Boyer , S. (1995) “Determination of yield stress fluid behaviour from inclined plane test.” *RheologicaActa*. 34(6):534-543
  38. FLO-2D (2006) FLO-2D User’s manual (version 2006.01) , FLO-2D Software , Inc. , Arizona , USA
  39. Friedlander B. and ZeiraA.(1995)Over-sampled Gabor representation for transient signals.
  40. Huang C.J. , Yin H.Y. Chen C.Y. , Yeh C.H. , Wang C.H. (2007) Ground vibrations produced by rock motions and debris flows. *J. Geophys. Res.* 112 , F02014.
  41. Hungr , O. (1995) A model for the runout analysis of rapid flow slide , debris flow , and avalanches , *Canadian Geotechnical Journal* , 32 , 610–623.
  42. Hutter , K. &Greve , R. (1993) Two-dimensional similarity solutions for finite-mass granular avalanches with Coulomb- and viscous-type frictional resistance. *J. Glaciol.* 39 , 357–372
  43. Hutter , K. , Koch , T. , Plüss , C. & Savage , S. B. (1995) The dynamics of avalanches of granular materials from initiation to runout. *Acta Mech.* 109 , 127–165.
  44. ITU-R Recommendation BT.709 , Basic Parameter Values for the HDTV Standard for the Studio and for International Programme Exchange (1990) , [formerly CCIR Rec. 709] (Geneva: ITU , 1990)
  45. Itakura Y. , KogaY. , TakahamaJ.I. , and NowaY.(1997) Acoustic detection sensor for debris flow.
  46. Jenson , S. and Domingue , J. (1988) Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* , 54 , 1593-1600.
  47. Julien , P.Y. and Y. Lan (1991). “Rheology of

- Hyperconcentrations.” *J. Hydr. Engrg* , 117(3):346-353.
48. Kuo H.M. , Ren H. , Lee C.S. , Chen Yen-Liang , Lin Yen-Shuo , and Su Yeng. (2013) Monitoring Debris Flows Using Spatial Filtering and Entropy Determination Approaches. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* , Vol. 24 , No. 5 , 773-791 , October
  49. Liu , K.F. and Huang , M.C. (2006). “Numerical simulation of debris flow with application on hazard area mapping.” *Computational Geoscience* , 10(2): 221-240.
  50. Liu , K.F. , Hsu , Y.C. and Huang , M.C. (2007). Study on the sensitivity of Parameters Relating to Debris Flow Spread. 2007 International Conference on Slope land Disaster Mitigation , Taipei , Oct. 29-30 , 212-220
  51. Liu K.F. , Kuo T.I. , Wei S.C. (2021) Debris flow detection using a video camera. In: Sassa K. et al. (ed) *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk* (accepted)
  52. Liu , K.F. , Li , H.C. and Hsu , Y.C. (2009). “Debris flow hazard assessment with numerical simulation.” *Natural Hazards*. 49:137-161.
  53. Liu K.F. , Wei S.C. , and Wu Y.H. (2014) The influence of accumulated precipitation on debris flow hazard area. In: Sassa K. et al. (ed) *Landslide Science for a Safer Geo-Environment* , Vol 3 , Springer , pp 45-50
  54. Liu , K.F. and Wu , Y.H. (2010). The Assessment of Debris Flow Hazard in Korea Using Debris 2D. *Interpraevent 2009* , 820-82
  55. Mizuyama T. , Fujita M. , Nonaka M. (2003) Measurement of bed load with the use of hydrophones in mountain torrents”.
  56. Naef , D. , D. Rickenmann , P. Rutschmann and B.W. Mc Ardell (2006) Comparison of friction relations for debris flows using a one dimensional finite element simulation model , *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* , 6 , 155–165.
  57. Nakatani K. , Wada T. , Satofuka Y. , Mizuyama T. (2008). Development of “Kanako 2D (Ver.2.00) , ” a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface. *International Journal of Erosion Control Engineering*: Vol.1 , No.2 , 62-72.
  58. O’Callaghan , J.F. and Mark , D.A. (1984) The Extraction of the Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision , Graphics , and Image Processing* , 28 , 323-344.
  59. O’Brien JS , Julien PY , Fullerton WT. (1993). Two-dimensional

- water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering* 119 : 244-259.
60. O'Brien , J. and Julien , P. (1988). "Laboratory Analysis of Mudflow Properties." *J. Hydraul. Eng.* , 114(8) , 877–887.
  61. Sassa K (1988) Geotechnical model for the motion of landslides. In: *Proc. 5th International Symposium on Landslides* , "Landslides" , Balkema , Rotterdam , vol. 1. pp 37–56
  62. Sassa K , Wang G , Fukuoka H , Wang FW , Ochiai T , Sugiyama , Sekiguchi T (2004) Landslide risk evaluation and hazard mapping for rapid and long-travel landslides in urban development areas. *Landslides* 1(3):221–235
  63. Simon Baker , Iain Matthews.(2004)"Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework" , *International Journal of Computer Vision* 56(3) , 221–255
  64. SunD. , RothS. , and Black.M. J (2010)Secrets of optical flow estimation and their principles. In *CVPR*. 6
  65. Takahashi , T. (1981). "Debris flow." *Annual Review Fluid Mechanics* , 13:57-77.
  66. Thomas Brox , Andrés Bruhn , Nils Papenberg , Joachim Weickert(2004)High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping , *ECCV 2004: Computer Vision - ECCV* pp 25-36
  67. Tsai , M.P. , Hsu , Y.C. , Li , H.C. and Liu , K.F. (2011). "Application of simulation technique on debris flow hazard zone delineation: a case study in the Daniao tribe , Eastern Taiwan." *Nat. Hazards Earth Syst.* , 11:3053–3062
  68. Wang Chia-Ming , Fan Kuo-Chin , and Wang Cheng-Tzu (2008)Optical Flow by Integrating Multi-Frame Information , *Journal of Information Science and Engineering* 24 , 1719-1731
  69. Wei , S.C. , Li , H.C. , Shih , H.J. , and Liu , K.F. (2018) Potential Impact of Climate Change and Extreme Events on Slope Land Hazard – A Case Study of Xindian Watershed in Taiwan , *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* , 18 , 1–14.
  70. Wei , S.C. , and Liu K.F. (2019) Automatic Debris Flow Detection with Geophones , *Landslides*. 17(2) , 349-359. doi: 10.1007/s10346-019-01258-9
  71. Wu , Y.H. , Liu , K.F. and Chen , Y.C. (2013) Comparison between FLO-2D and Debris-2D on the application of assessment of granular debris flow hazards with case study. *Journal of Mountain*

- Science. 10(2):293-304
72. Barbour, J.R., Stark, C.P., Lin, C.W., Chen, H., Horng, M.J., Ko, C.P., Yi, T.C., Tsai, T.T., Chang, W.S., Lee, S.P., Huang, C., 2009. Magnitude-frequency distributions of boundary shear stress along a rapidly eroding bedrock river. *Geophysical Research Letters*, 36(4).
  73. Chen, C.W., Saito, H., and Oguchi, T. 2017. Analyzing rainfall-induced mass movements in Taiwan using the soil water index. *Landslides* 14, 1031-1041
  74. Chen, Y.-C., Chang, K.-t., Chiu, Y.-J., Lau, S.-M., Lee, H.-Y., 2013. Quantifying rainfall controls on catchment-scale landslide erosion in Taiwan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 372-382.
  75. Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D., 2009. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3-4), 222-229.
  76. Ishihara, Y., and Kobatake, S. 1979. *Runoff Model for Flood Forecasting*. Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 29, Part 1. NO.260.
  77. Küng, O., Strecha, C., Fua, P., Gurdan, D., Achtelik, M., Doth, K.-M., Stumpf, J., 2011. Simplified building models extraction from ultra-light UAV imagery. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3822, 217-222.
  78. Larsen, I.J., Montgomery, D.R., 2012. Landslide erosion coupled to tectonics and river incision. *Nature Geoscience*, 5(7), 468-473.
  79. Larsen, I.J., Montgomery, D.R., Korup, O., 2010. Landslide erosion controlled by hillslope material. *Nature Geoscience*, 3(4), 247-251.
  80. Liu, K.-F., Wu, Y.-H., Chen, Y.-C., Chiu, Y.-J., Shih, S.-S., 2013. Large-scale simulation of watershed mass transport: a case study of Tsengwen reservoir watershed, southwest Taiwan. *Natural hazards*, 67(2), 855-867.
  81. Parker, R.N., Densmore, A.L., Rosser, N.J., de Michele, M., Li, Y., Huang, R., Whadcoat, S., Petley, D.N., 2011. Mass wasting triggered by the 2008 Wenchuan earthquake is greater than orogenic growth. *Nature*



- Geoscience* , 4(7) , 449-452.
82. Saito , H. , and Matsuyama , H. 2015. Probable Hourly Precipitation and Soil Water Index for 50-yr Recurrence Interval over the Japanese Archipelago. SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere) 11 , 118-123.
83. Zhang , Z. , (2000) A flexible new technique for camera calibration , IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 22(11):1330–1334.
84. 岡田憲治 (2002) 「土壤雨量指數」 , 測候時報 , 69.5。  
(Okada , K. (2002). Soil Water Index. Weather service bulletin , 69.5 , 67-97. (in Japanese))
85. 菅原正巳 (1972) 「流出解析手法」 , 共立出版社。  
(Sugawara , M. (1972). “Analytical method of outflow.” Kyoritsu Shuppan Co. , Ltd. (in Japanese))



## 附錄

### 附錄一 系統開發大事件紀錄

本計畫於確認監測點後，廠商即開始購買設備，測試設備，並依據現場狀況修正需求，重要事件紀錄於下

玉穗溪監控系統開發記錄

2022-03-30 設備進場測試

2022-04-02 專案起始開發

2022-04-19 完成雨量器讀取系統應用系統

2022-04-23 完成雨量器讀取系統第二階改版功能

1. 增加讀取錯誤自動校正程序
2. 增加系統運作異常重啟自動處理累計兩題問題

2022-04-23 完成即時分析中控系統

2022-04-24 完成地聲讀取系統應用系統(讀取系統自動存檔)

2022-04-25 完成影像讀取系統應用系統(讀取系統自動存檔)

2022-04-26 安裝儀器設備

2022-04-27 水保局及公路局現場會勘

2022-04-29 準備蘇院長來的展示

2022-05-03 地聲讀取系統無法在雙地聲檢測器下讀取二檢測器的資料進行系統地聲讀取修正

2022-05-05 地聲讀取系統第二版本完成

1. 增加多緩衝區讀取系統增加讀取設備資料的穩定度
2. 增加系統讀取資料即時寫入功能;收到資料即時寫入速度

2022-05-06 監測電腦及儀器，安裝於辦公室測試

2022-05-07 系統程式更新說明

- 1.修正長時間執行的一些問題
2. 修改了地聲的讀取系統與相關結節程式 (目前是讀取二個地聲計)
3. 影像讀取系統優化 (讀取副頻的參數和使用工具程式沖碼&符號)

4. 影像讀取系統的磁碟佔用優化
5. 更新與警報器程式的連結 (呼叫警報器程式後再右下方有記錄)

#### 2022-05-09 系統程式更新說明

1. 雨量計程式改版，修正計時無法歸零問題
2. 另外影像讀取系統已購置新元件目前改版
  - A. 不用 Video 截取子系統，直連攝影機
  - B. 目前已可以連到副頻道進行處理
  - C. 採用主控系統直連網路攝影機不會有間接檔，減少對磁碟的負擔
  - D. 影像分析系統改採實分析;不透過存檔再分析 (減少分析時間差)
3. 把雨量及地聲子程式改成啟動後自動最小化執行

#### 2022-05-16 系統程式更新說明

增加看門狗系統，以提昇系統的穩定度

#### 2022-05-24 系統程式更新說明

增加通知人員名單維護功能

#### 2022-05-29 台電電源可以使用，設備進場安裝

#### 2022-05-30 系統更新說明

修正地聲讀取系統顯示上圖形破裂的問題

#### 2022-05-31 設備安裝完成

#### 2022-06-02 新工作計畫

配合目前即時系統重新開發適合的 ROI 設定工具

#### 2022-06-10 土石流報警機電池爆炸

#### 2022-06-10 系統更新說明

完成適合目前即時系統 ROI 設定工具

#### 2022-06-13 報警機修復完成

#### 2022-06-13 系統更新說明

- 1 新版本的影像讀取系統程序上線
  - A. 增加影像的讀取穩定度
  - B. 增加影像的讀取速度
  - C. 降低使用的 OS 記憶體

D. 降低破圖發生

2.同步錄制低解析度 mp4 上線測試中

3.ROI 功能調整上線，測試是否會有破圖

4. Line 通知功能上線

2022-06-14 跟中華電信會勘現場，並且恢復報警機

2022-06-19 影像讀取系統更新

1. 加快與主系統連結時間(降低延宕時間)
2. 增加系統自動錯誤處理功能增加影像讀取系統隱定度

2022-06-25

雨量記錄計程式/地聲讀取記錄系統/影像讀取記錄系統  
等系統程式更新

- A. 修正雨量記錄計程式在某些狀況下的執行問題
- B 增加三個資料記錄程式作業安全性避免誤關閉
- C. 增加三個程隱藏執行功能可降低 OS UI 資訊損耗
- D. 增加系統是否一啟動就進入 隱藏參數

2022-06-28

- A.影像程式修改
- B. 修改系統分析參數(增加影像分析的調整參數)

2022-07-03

修改影像分析演算法程式更新線測試

修改系統分析參數 - 更新

2022-07-05

主控台系統調整

- 1.事件用時分秒來顯示
- 2.曲線圖加上時間刻度

2022-07-07

1. 分析系統增加 OverWrite 偵測及防護因 OverWrite 狀況造成分析引擎的記憶池損壞
2. PS.OverWrite 資料分析密度過高或 CPU 來不及分析收集的資料前端又送來新的資料要求分析，造成分析核心時間序錯

誤

2022-07-11

1. 即時分析圖表的記憶體控制優化，加強長時間運作
2. 應用程式運作監控系統優化調整，降低長時間作業的記憶體使用量

2022-07-13

Web 版即時監控狀態系統上線測試

2022-07-24

修正系統執行問題，更新版本

2022-08-05

系統看門狗增加作業參數檔

修整系統監控程序的執行問題增加穩定度

2022-08-15

監控分析系統微調

系統看門狗增加細部作業參數，增加系統運作調整參數

2022-08-15 中華電信工班施工

2022-08-23

作業 WINDOWS OS 更新服務

配合新中華電信網路固定 IP 進行監控系統的參數調整

配合新中華電信網路固定 IP，增加 FTP 作業服務

增加系統每週一凌晨 01 進行系統重新開機

2022-08-23 中電電信光世代網路進場

2022-08-27

即時監控的網頁查看系統更新

增加歷史資料可以透過瀏覽器進行下載

增加歷史資料可以透過 FTP 進行批次下載

2022-08-28

系統看門狗昇級，增加對多重分析結果的檢查以提高即時分析系統的穩定度

2022-08-29

系統看門狗系統異常偵測功能昇級

網頁版面及文字調整

2022-08-30

網頁版面及文字調整適應手機可顯示

2022-08-31 水位局專案現場查核

2022-09-02

1. 現場電源問題修復
2. OS 系統不正常關機造成檔案損壞修復

2022-09-04

修正分析系統在讀取 ROI 某些狀況會有 Bug

優化分析系統在影像 ROI 功能

增加 Camera 讀取及存檔系統對不同設備的相容性

2022-09-06

系統 OS 優化

增加專用高速大量暫存檔的處理機制，提高硬體使用壽命

優化分析系統提高系統穩定度

系統優化即時影像輸出頻率提高

系統優化即時地聲數據圖輸出頻率提高與穩定度提高

2022-09-07

更新通知:

目前已解決監控及圖表無法頻繁輸出(間隔小於 10Sec 易當)

目前已更改成 4Sec 更新一次

2022-09-12

進行顯示網頁系統修改作業

2022-09-23

新版顯示網頁系統上傳更新

2022-09-30

現地參數檢定與測量

2022-10-01

進行顯示網頁系統修改

2022-10-05

顯示網頁系統修改上傳

2022-10-07

修改顯示網頁系統

2022-10-11

修正顯示網頁系統顯示格式

2022-10-19

更新通知:修正分析系統增加分析引擎穩定度

2022-10-24

分析工具

- .分析圖表顯示斜率值正負值
- .分析圖表顯示正負號的門檻值

分析核心

- .計算平均灰階值改成浮點數 (原採整數處理)
- .增加峰值處理功能
- .增加峰值達標參數

2022-10-27

網站英文修改需求

2022-11-01

監控網站依需求進行修改

2022-11-02

修改監控網站因為文字的修改造成的部份功能無法執行

2022-11-04 公路局監視器廠商來借用網路通訊線路

系統開發花最久時間為電源與網路的申請和使用，其次是因為設備距離事件可能發生地點太遠，造成檢定與程式的分析修正，然後預警程式本身的修正，以工作項目總時間來看可見表 2.1。

表 2.1 裝設新站工作時間分配

工作大項	估計時間	備註
購買設備	一個月	
在室內準備與測試系統	兩個月	後續可加速
現場裝設	一個月	
電源網路的協調申請	三個月	後續應該預先進行
系統檢驗修正	兩個月	後續可加速



## 附錄二 期中會議開會通知單

電子公文

校級公文 111/07/01



1110049279

檔 號：  
保存年限：

### 行政院農業委員會水土保持局 開會通知單

受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國111年7月1日

發文字號：水保防字第1111833113號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：期中報告書、會議議程及出席費領據等各1份

開會事由：召開「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期中審查會議

開會時間：111年7月13日(星期三)上午10時30分

開會地點：本局府西辦公室第二會議室(南投市府西路71號)及視訊會議

主持人：林簡任正工程司任修

聯絡人及電話：林建良(副工程司) 049-2347412

出席者：游委員繁結、鐘委員志忠、陳委員毅輝、郭委員治平、黃委員效禹、蔡委員政修

列席者：國立臺灣大學(劉格非教授)(不含附件)

副本：本局秘書室、本局土石流防災中心、本局技術研究發展小組(請協助視訊會議)

備註：

- 一、本次審查會議採實體及webex視訊會議併行辦理，請視訊與會人員提前安裝Webex程式，會議號碼及密碼請詳視訊會議資訊說明。
- 二、會議結束後請委員將發言單及出席費領款收據填寫簽名後，以照相或掃描方式回傳本局承辦人電子信箱(E-mail: blueway@mail.swcb.gov.tw)，俾利辦理後續相關事宜。
- 三、因應新冠肺炎疫情影響，如有呼吸道症狀及發燒者，請來電告知請假。
- 四、疫情期間請自備水杯，做好個人防疫措施。

電子111/07/01  
11:48:48章

本校簡易辦文

校級公文



回函文號: 1110049279

檔號: 0111/640501/003

保存年限: 10年

聯絡人: 江翠美  
聯絡電話: 33664285

收文日期: 111年07月01日

收文文號: 1110049279

來文摘要: 召開「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期中審查會議

簽辦意見: 擬印送劉格非教授知悉, 文擬陳閱後送文書組存查。

處理方式: 逕送存查。

公文流程: 【線上簽核公文】土木工程學系→(決行)工學院→土木工程學系

承辦單位

會辦單位

決行單位

承辦人

土木工程學系  
技 工 江翠美

111/07/01 13:40:11

### 附錄三 期中會議記錄

電子公文

校級公文 111/07/18



1110054194√

檔 號：  
保存年限：

#### 行政院農業委員會水土保持局 書函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：林建良  
電話：049-2347412  
傳真：0492394343  
電子信箱：blueway@mail.swcb.gov.tw

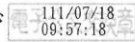
受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國111年7月18日  
發文字號：水保防字第1111866880號  
速別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：  
附件：如主旨

主旨：檢送111年7月13日「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料  
料加值分析運用」案期中審查會議紀錄1份，請查照。

正本：林委員仕修、游委員繁結、鐘委員志忠、陳委員毅輝、郭委員治平、黃委員效禹、蔡委員政修、國立臺灣大學(劉格非教授)

副本：本局土石流防災中心



國立臺灣  
公文系統

本校簡易辦文

校級公文



回函文號: 1110054194

檔號：0111/640501/003  
保存年限：10年

聯絡人：江翠美  
聯絡電話：33664285

收文日期：111年07月18日  
收文文號：1110054194

來文摘要：檢送111年7月13日「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料  
料加值分析運用」案期中審查會議紀錄1份，請查照。

簽辦意見：擬印送劉格非教授知悉，文擬陳閱後送文書組存查。  
處理方式：逕送存查。

公文流程：【線上簽核公文】土木工程學系→(決行)工學院→土木工程學系

坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用

承辦單位	會辦單位	決行單位
承辦人		
土木工程學系 江翠美		
技 工		
111/07/18 14:01:34		

大學  
算

坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用期中審查會議簽到單

壹、開會時間：111年7月13日(星期三)上午10時30分

貳、開會地點：本局府西辦公室第二會議室

參、主持人：林仕修簡任正工程司 林仕修

肆、出(列)席單位及人員

紀錄：林建良

出席委員			簽名處
單位(機關)	職稱	姓名	姓名
國立中興大學	教授(退休)	游繁結	游繁結
國立中央大學	教授	鐘志忠	鐘志忠
國立中興大學	教授	陳毅輝	陳毅輝
明新科技大學	教授	郭治平	郭治平
土石流防災中心	簡任正工程司	林仕修	林仕修
土石流防災中心	科長	黃效禹	黃效禹
臺南分局	正工程司兼課長	蔡政修	蔡政修
出列席單位			簽名處
單位	職稱	姓名	姓名
土石流防災中心	副工程司	林建良	林建良
國立臺灣大學(劉格非教授)	教授	劉格非	劉格非
國立臺灣大學(劉格非教授)	研究員	魏士超	魏士超

**行政院農業委員會水土保持局**  
**「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案**  
**期中審查意見**

**一、游繁結委員：**

- (一) 以土石流流動之灰階值變化，作為土石流發生之預警時間點，有無考慮日射在不同時間、不同角度之直射、反射及散射等效應，又夜間光源不足，甚至無光照，其如何判釋，請說明。
- (二) 以農航所之地表模型與 UAV 之地表模型解析平均誤差小於 1 公尺，用來判釋崩塌、土石流等變動應可接受，惟垂直誤差近 2 公尺，使否適用，請說明。
- (三) 由衛星影像測量樹高之方法是否受季節性之影響，宜斟酌。
- (四) 公式(5.8)、(5.9)將面積因子併入簡單之係數似乎不合理，請確認說明。

**二、鐘志忠委員：**

- (一) 有關 GEOPHONE 部分，請說明：
  - 1. 有關安裝 SOP 建議審視修正。
  - 2. 儀器之參數可先進行敏感度分析，如此可回饋校正與安裝 SOP。
  - 3. 實務安裝所需延長纜線長度是否有影響？
  - 4. 頻率響應結果是否受上述因子影響？
- (二) 有關影像，請說明：
  - 1. 現場佈點校正點位，是否需絕對座標？
  - 2. 有關門檻設定，有關灰階之平均值與 STD 標準偏差之時間取樣設定為何，另針對短時間發生事件可能無法偵測。
- (三) 有關樹高概估，是否需 2 組以上裸露崩塌地進行內插比對，其空間解析度是否下降。

**三、郭治平委員：**

- (一) 現地地聲檢知器的校正方式，高頻部分如何製造出來與控制品質？
- (二) 即時影像監測成果有提到大雨或大霧不會發警報，未來是否有可能用模擬方式推定不同雨霧情境下的預警功能適用範圍。

**四、陳毅輝委員：**

- (一) 玉穗溪的雨量警戒值以及 ROI 的灰階警戒值的設定門檻可否建議訂定之參考值。
- (二) p2-9 的地聲檢知器檢定，待測與標準的儀器型號不同，是否會影響檢定成果。

SWCB(108.12 月版)

行政院農業委員會水土保持局  
「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案  
期中審查會議紀錄

壹、時間：111 年 7 月 13(星期三)上午 10 時 30 分

貳、地點：本局府西辦公室第二會議室及視訊會議

參、主持人：林簡任正工程司任修

紀錄：林建良

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、報告事項：

案由一：確認出席委員人數符合「本局委託服務作業程序」第 33 點規定，報請公鑒。

決 定：本次會議由林簡任正工程司任修主持，出席審查會之審查委員(7 人)達其委員總數(7 人)二分之一以上，且出席委員中專家學者(4 人)超過出席委員人數三分之一，達開會標準。

案由二：「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期中報告書，報請公鑒。

決 定：

一、請國立臺灣大學參照與會人員相關意見辦理後續工作。

二、國立臺灣大學所提期中報告書，經審查通過，同意依契約書第 4 條規定撥付第 2 期款。

三、請國立臺灣大學於 111 年 11 月 10 日前提出期末報告書，俾利召開期末審查議。

捌、臨時動議：無

玖、散會。(上午 11 時 30 分)

- (三) p3-7, 2022-05-05 地聲檢知器已安裝完成, 6月7日發生土石流, 是否有偵測到訊號, 請補充說明。
- (四) p3-8, 現地電池爆炸, 其原因為何, 未來如何避免?
- (五) p3-10, 神木村監測系統影像與玉穗溪系統影像記錄方式不同?請補充說明, 是否採用玉穗溪模式較佳, 真正即時影像串流是否會有系統負荷過大問題。
- (六) P5-20, 崩塌體積與有效雨量關係式的 R 值, 是否跟土石流目前警戒發布之 ETR 值的定義相同, 請檢附 R 值的定義?
- (七) P5-22, 野溪與河道清淤變化圖, 可參酌分析理想河道縱剖面與河流坡降指標(gradient indices), 分析河道坡降變異點。
- (八) 報告內容勘誤:
  - p2-9, " 敲擊" 兩字單獨一段?
  - p2-21, " 計算出來結果如圖 2.16." ?
  - p3-6, 圖 3-7 右邊圖之影像左右顛倒。
  - p3-9, " 1#"、" 2#" ?

#### 五、林仕修委員:

- (一) 有關玉穗溪土石流觀測系統於現地觀測到土石流事件時, 建議貴校能儘快提供現地觀測事件資料, 俾利彙整製作相關事件報告。

#### 六、黃效禹委員:

- (一) 目前已完成監測預警機制, 惟 ADSL 需到 9 月份才能完成, 這段期間僅能利用無線電通報現地下游外, 是否有替代方案可同步將訊息告知相關應變人員。
- (二) 本計畫玉穗溪監測亦有安裝雨量計, 除地聲及影像判釋分析外, 雨量與土石流發生關係如何?其結果有助提供訂定當地警戒門檻值之參考
- (三) P3-8 在 2022-06-10 有發生土石流警報機電池爆炸, 其狀況及原因為何, 請說明。
- (四) 有關智慧防災網站未來可提供資料接收分析結果展示及預警通知, 建議未來先規劃與水保局應變系統之介接或展示方式, 請說明。

#### 七、蔡政修委員:

- (一) 智慧防災網站開始啟用時, 建議未來可考慮提供分局及現地機關, 如



SWCB(108.12 月版)

公路總局及桃源區公所…等，瞭解玉穗溪土砂變動情形。

- (二) 6月玉穗溪土石流發生時，蜂鳴器是否有響?是否能透過上游監測設備，預判下游土石流發生風險?請說明。
- (三) P3-1 提到「今年 2022 年河床淤積離明壩克露橋面僅 5 公尺，…略」，明壩克露橋已於 2021 沖毀，若是指目前橋台，建議可以鋼構便橋替代，請說明。
- (四) 圖 3-10 提到玉穗溪 3 座壩的位置，與簡報壩的數量似乎不一致，建議再行確認。

**七、土石流防災中心：**

- (一) 請貴校於現地觀測到土石流事件時，能同步提供事件報告報局供參。
- (二) 有關影像灰階辨識所傳遞之預警訊息，是否有誤報可能，請說明。

## 附錄四 期中審查會議意見回覆

行政院農業委員會水土保持局

「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案  
期中審查會議意見回覆

	意見	回覆
<b>一、游繁結委員:</b>		
1	以土石流流動之灰階值變化，作為土石流發生之預警時間點，有無考慮日射在不同時間、不同角度之直射、反射及散射等效應，又夜間光源不足，甚至無光照，其如何判釋。請說明。	夜間無光，的確無法收到任何資料，玉穗溪監測點又無法加裝照明設施，因此無光的時候，無法偵測 有光的時候，灰階值偵測法就可以偵測，因為偵測是計算總灰階值的改變，光源強弱，直射，散射等現象，因為是影響整個畫面，不影響時間上畫面總灰階值的改變，因此都不會影響偵測
2	以農航所之地表模型與 UAV 之地表模型解析平均誤差小於 1 公尺，用來判釋崩塌、土石流等變動應可接受，惟垂直誤差近 2 公尺，是否適用，請說明。	垂直誤差兩公尺，是因為地表植生與驗證點的分布不均，因此在使用垂直資料時，我們是利用兩點間的垂直距離差異，而不使用絕對高度，兩點間距離不大的時候，相對誤差會比 2 公尺小很多
3	由衛星影像測量樹高之方法是否受季節性之影響，宜斟酌。	樹高的確是準確度的一大問題，不過因為地區廣大，目前是最快速的方式，也因為這樣，我們整個高程的誤差偏大
4	公式 (5.8)、(5.9) 將面積因子併入簡單之係數似乎不合理，請確認說明。	今年資料並不充分，因此已經崩塌體積與雨量間關係該節拿掉
<b>二、鐘志忠委員:</b>		
1	有關 GEOPHONE 部分，請說明：	a. 地聲檢知器安裝目前沒有 SOP，只有安裝時要注意的重

	<p>a. 有關安裝 SOP 建議審視修正。</p> <p>b. 儀器之參數可先進行敏感度分析，如此可回饋校正與安裝 SOP。</p> <p>c. 實務安裝所需延長纜線長度是否有影響？</p> <p>d. 頻率響應結果是否受上述因子影響？</p>	<p>要考慮的點，然後安裝後檢驗是否正常</p> <p>b. 去年的計畫已經執行過敏感度分析，因此參數 G 不須檢定，目前檢定的兩個參數對響應曲線都很重要</p> <p>c. 地聲檢知器延長線非常昂貴，以玉穗溪監測站到溪谷有超過 400 公尺距離，價格會是天價，因此應該無法以延長纜線來解決問題</p> <p>d. 響應因子受到安裝方式的影響，其他 b, c 不影響因子</p>
2	<p>有關影像，請說明：</p> <p>a. 現場佈點校正點位，是否需絕對座標？</p> <p>b. 有關門檻設定，有關灰階之平均值與 STD 標準偏差之時間取樣設定為何，另針對短時間發生事件可能無法偵測。</p>	<p>a. 現場需要絕對座標，才能準確計算高度與長度，因此需要到現場以全測站測量至少一次</p> <p>b. 本計畫是以總灰階值的變化快慢來偵測土石流，平均值與標準偏差，不會影響變化率，因此並沒有計算，同時偵測土石流的方式是以土石流的動速度偵測，因此要偵測變化達 2-4 秒，才算偵測到，少於 2 秒的快速變化，不會是土石流的前鋒</p>
3	<p>有關樹高概估，是否需 2 組以上裸露崩塌地進行內插比對，其空間解析度是否下降？</p>	<p>本計畫今年因為經費限制，因此沒有取得足夠多的樹高比對點，也因此垂直方向準確度的確下降</p>
<p><b>三、郭治平委員：</b></p>		
1	<p>現地地聲檢知器的校正方式，高頻部分如何製造出來與控制品質？</p>	<p>因為土石流的特徵頻率是在 20-80Hz 範圍內，因此檢測是以該範圍為重點，而檢測時，不會刻意製造高頻訊號，因為不是檢測的重點</p>

2	即時影像監測成果有提到大雨或是大霧不會發警報，未來是否有可能用模擬方式推定不同雨霧情境下的預警功能適用範圍。	現場雨或霧非常難以模擬，目前是以現場影片有許多場霧和雨的資料來確認功能
<b>四、陳毅輝委員:</b>		
1	玉穗溪的雨量警戒值以及 ROI 的灰階警戒值的設定門檻可否建議訂定之參考值。	目前玉穗溪的雨量警戒值是以水保局公告的警戒值為標準，影像 ROI 並無警戒值標準，目前系統是以總灰階值變化速度突然增加兩倍且持續 2 秒以上為偵測標準
2	P2-9 的地聲檢知器檢定，待測與標準的儀器型號不同，是否會影響檢定成果。	該兩型號與原廠確認過，其響應曲線相同
3	P3-7，2022-05-05，地聲檢知器已安裝完成，6 月 7 日發生土石流，是否有偵測到訊號，請補充說明。	6 月 7 日土石流發生於接近明壩克露橋的下游，上游經檢查影像，完全沒有任何事件，地聲檢知器也沒有偵測到任何訊號
4	P3-8，現地電池爆炸，其原因為何，未來如何避免？	經檢查為現場電源不穩，多次突波所造成，已經在現場加裝 UPS，之後就再也沒問題了
5	P3-10，神木村監測系統影像與玉穗溪系統影像記錄方式不同？請補充說明，是否採用玉穗溪模式較佳，真正即時影像串流是否會有系統負荷過大問題。	神木村是由逢甲大學負責收集資料，以 NATS 方式給我們資料，因此並非即時，玉穗溪資料由我們收集與處理，為即時處理，因為影像分析採總灰階值法，非常省 CPU 因此系統負荷沒有問題
6	P5-20，崩塌體積與有效雨量關係式的 R 值，是否跟土石流目前警戒發佈之 ETR 值得定義相同，請檢附 R 值的定義？	該式並沒有探討與 ETR 的關係式，同時因為體積與有效雨量關係準確度不高，已經從報告中移除

7	P5-22，野溪與河道清淤變化圖，可參酌分析理想河道縱剖面與河流坡降指標 (gradient indices)，分析河道坡降變異點。	今年的資料顯示，垂直高度解析度並不好，因此算河道坡降變異點恐怕誤差會非常大，如果明天經費充裕可以多取檢驗點，將垂直誤差降到 0.5 公尺以下，就會考慮分析河道坡降變異點
8	<p>報告內容勘誤：</p> <p>a. P2-9，“敲擊”兩字單獨一段？</p> <p>b. P2-21，“計算出來結果如圖 2.16？”？</p> <p>c. P3-6，圖 3-7 右邊圖之影像左右顛倒。</p> <p>d. P3-9，“1#”、“2#”？</p>	<p>a. 為敲擊方式說明，已修正</p> <p>b. 漏打「以此方式」計算，已修正</p> <p>c. 謝謝指正，已修正</p> <p>d. #均為多打，已刪除</p>
<b>五、林仕修委員：</b>		
1	有關玉穗溪土石流觀測系統於現地觀測到土石流事件時，建議貴校能儘快提供現地觀測事件資料，俾利彙整製作相關事件報告。	目前持續監測中，6月7日系統安裝完成後，都沒有大雨和土石流紀錄
<b>六、黃效禹委員：</b>		
1	目前已完成監測預警機制，惟 ADSL 需到 9 月份才能完成，這段期間僅能利用無線電通報現地下游外，是否有替代方案可同步將訊息告知相關應變人員。	ADSL 完成前，會用無線電通知下游，也會用簡訊通知相關人員
2	本計畫玉穗溪監測亦有安裝雨量計，除地聲及影像辨釋分析外，雨量與土石流發生關係如何？其結果有助提供訂定當地警戒值之參考	遵照辦理，本計畫會分析發生土石流的雨量過程

3	P3-8 在 2022=06-10 有發生土石流警報機電池爆炸，其狀況及原因為何，請說明。	爆炸原因為現場電源不穩，多次突波效應引致，後續加裝了 UPS，就再也沒有問題了
4	有關智慧防災網站未來可提供資料接受分析結果展示及預警通知，建議未來先規劃與水保局應變系統之介接或展示方式，請說明。	目前有規劃將連結放到展示系統中，還需要與相關單位洽商
<b>七、蔡政修委員:</b>		
1	智慧防災網站開始啟用時，建議未來可考慮提供分局及現地機關，如公路總局及桃園公所...等，瞭解玉穗溪土砂變動情形。	只要經過水保局同意，智慧網站可以公開給相關人士，但是因為有許多資料可以下載，還是建議有限度公開
2	6 月玉穗溪土石流發生時，蜂鳴器是否有響？是否能透過上游監測設備，預判下游土石流發生風險？請說明。	6 月 7 日監測點毫無動靜，因此沒有預警，蜂鳴器也沒有响，中游監測沒有任何動靜的時候，並無法預測下游的土石流
3	P3-1 提到「今年 2022 年河床淤積離明壩克露橋面僅 5 公尺，...略」，明壩克露橋已於 2021 冲毀，若是指目前橋台，建議可以鋼構便橋替代，請說明。	原文的確是指當時的鋼構便橋，已修正
4	圖 3-10 提到玉穗溪 3 座壩的位置，與簡報壩的數量似乎不一致，建議再行確認。	圖 3-10 只標了最下游的三座壩，簡報把整條溪五座壩都標了出來，因為現勘無法到達最上面兩條溪，因此沒有在圖 3-10 中標出
<b>七、土石流防災中心:</b>		

1	請貴校於現地觀測到土石流事件時，能同步提供事件報告報局供參。	遵照辦理，事實上已經有把局內相關人員列入通報名單中
2	有關影像灰階辨識所傳遞之預警訊息，是否有誤報可能，請說明。	總灰階值判釋的就是一個事件，然後是以時間尺度來區分事件，因此若在河川中有大規模輸砂運動，或高濃度水流，應該都會視為土石流，但以廣義而言，這種誤報應該仍然表示下游有危險

## 附錄五 查核作業

電子公文

檔 號：  
保存年限：

### 行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6  
號

承辦人：黃韋智

電話：049-2347118

傳真：

電子信箱：pet2918@mail.swcb.gov.tw

受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國111年8月11日

發文字號：水保企字第1111859831號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如說明四

主旨：為辦理本局111年度科技計畫實地查核作業案，請查照。

說明：

- 一、依據行政院農業委員會農業科技計畫查核作業要點辦理。
- 二、本局謹訂111年8月31日辦理旨揭實地查核作業，受查計畫為「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」，其查核內容及查核重點如下：
  - (一) 查核內容：
    - 1、計畫檢討報告重點內容及討論事項簡報。
    - 2、實地勘查解說。
  - (二) 查核重點：
    - 1、計畫有無按計畫說明書核定本內容執行及執行情形。
    - 2、計畫執行有關軟硬體設備(施)之購(建)置情形。
    - 3、計畫執行困難及落後原因。
    - 4、前期計畫成果有無妥善管理。
    - 5、計畫經費支用情形是否妥適。
    - 6、計畫執行是否涉及違約情事。



校級公文 111/08/12



7、其他。

- 三、請受查單位（國立臺灣大學）全程參與實地查核作業，並邀請會計單位攜帶支出憑證與會，以利本局查核計畫經費支用情形。
- 四、隨函檢附111年度科技計畫實地查核議程、行程表、計畫說明書、實地查核執行檢討報告、實地查核表及發言單各1份。

正本：鐘主任啟榮、鄒委員宗儒、王委員志豪、張委員欽舜、黃委員立誠、高委員百毅、侯委員惠哲、徐委員嘉徽、周委員學昊、國立臺灣大學(劉格非教授)  
 副本：本局綜合企劃組、本局土石流防災中心(均含附件)

111/08/12 07:51:40

本校簡易辦文

校級公文



回函文號: 1110062606

檔號：0111/640501/003  
保存年限：10年

聯絡人：江翠美  
聯絡電話：33664285

收文日期：111年08月12日  
收文文號：1110062606

來文摘要：為辦理本局111年度科技計畫實地查核作業案，請查照。

簽辦意見：擬印送劉格非教授知悉，文擬陳閱後送文書組存查。  
處理方式：逕送存查。

公文流程：【線上簽核公文】土木工程學系→(決行)工學院→土木工程學系

承辦單位

會辦單位

決行單位

承辦人

土木工程學系 江翠美  
技 工

111/08/12 15:34:56

行政院農業委員會水土保持局  
111 年度科技計畫實地查核會議議程

壹、時間：111 年 8 月 31 日(星期三)上午 10 時 30 分

貳、地點：高雄市桃源區樣仔腳文化共享空間

參、主持人：鐘主任啟榮

肆、討論事項：

案由一：「本局 111 年度科技計畫實地查核案」案，提請討論。

說 明：

一、依據行政院農業委員會 104 年 1 月 6 日函頒之「行政院農業委員會農業科技計畫查核作業要點」辦理。

二、本次受查計畫名稱為「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」。

三、據農業科技計畫實地查核作業要點規定，本次查核重點如下：

(一) 計畫有無按計畫說明書核定本內容執行及執行情形。

(二) 計畫執行有關軟硬體設備(施)之購(建)置情形。

(三) 計畫執行困難及落後原因。

(四) 前期計畫成果有無妥善管理。

(五) 計畫經費支用情形是否妥適。

(六) 計畫執行是否涉及違約情事。

(七) 其他。

擬 辦：

一、請計畫執行單位國立臺灣大學就該執行之計畫進行簡報，並請各查核委員提供相關意見。

二、請本局主計室及政風室委員負責查核該計畫經費支用情形。

決 議：

附件三 農委會科技計畫實地查核行程表

一、查核計畫名稱：坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用

二、查核日期時間：

(一) 111年8月31日(星期三)上午10時30分

三、查核實施地點：高雄市桃源區(計畫實驗場域)

四、查核小組：

(一) 領隊：鐘主任啟榮

(二) 聯絡人：黃工程員韋智

(三) 成員：鄒簡任正工程司宗儒、王科長志豪、林副工程司建良、高副工程司百毅、張工程員欽舜、黃工程員立誠、侯助理員惠哲、徐科員嘉徽、周科員學旻

五、計畫主辦單位：土石流防災中心

六、計畫執行單位：國立臺灣大學

七、查核行程表：

時間	行程說明	主持人	地點
10:30-10:40	水土保持局長官致詞	水土保持局 鐘主任啟榮	高雄市桃源區玉穗溪上游土石流觀測系統
10:40-11:10	(一)計畫實驗場域現地解說	臺灣大學 劉格非教授	公路總局勤和管制站
11:10-11:40	(二)計畫實驗場域現地解說	臺灣大學 劉格非教授	樣仔腳文化共享空間
11:40-12:10	計畫內容與執行進度報告	臺灣大學 劉格非教授	
	計畫經費使用說明		
12:10-12:40	綜合討論	水土保持局 鐘主任啟榮	
12:40~	查核結束及午餐		

八、擬討論事項：業務單位就執行機關單位檢討報告內容提出需討論事項

1. 計畫是否依照進度進行
2. 經費使用是否合理

九、備註：

附件二 農委會科技計畫實地查核執行檢討報告

一、計畫基本資料：依據核定之計畫說明書內容填寫

計畫名稱：坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用	
計畫編號：111農科-7.3.4-保-S3	
主管機關單位：行政院農業委員會水土保持局	執行機關單位：國立臺灣大學
計畫主持人：劉格非	電話：02-33664366
<p>期程：</p> <p>全 程：111年1月1日~111年12月31日</p> <p>本年度：111年1月1日~111年12月31日</p>	
<p>計畫全程目標：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 驗證是否智慧監測系統可以快速並成功移植於其他地方                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)提出1處研究場域測站地點(如:火炎山觀測站或南橫明霸克露橋觀測點等地點)</li> <li>(2)於研究場域測站設立觀測設備(含1個CCD與2個地聲檢知器)分析現地監測資訊</li> <li>(3)分析研究場域測站蒐集之監測資料，並與現地相關背景資料比對，及測試監測系統產出的物理量(流深,流量)等</li> <li>(4)研究場域測站與神木土石流觀測站流況(流深、流速、流量)等估算方法比對測試。</li> <li>(5)檢驗於研究場域測站設立之監測系統，同時建立觀測紀錄，俾利確認測站的相關設定與參數是否符合現地需求。</li> </ol> </li> <li>2. 現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於特性不同的測站                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 地聲、攝影機之土石流偵測預警方法驗證，檢驗預警條件與方法的適用性與準確度。</li> <li>(2) 進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證</li> <li>(3) 系統搭載預警實體(如:警報簡訊,燈號等)並進行測試作業</li> </ol> </li> <li>3. 建立多測站之智慧防災系統並導入英文介面功能</li> </ol>	
<p>計畫本年度目標：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 驗證是否智慧監測系統可以快速並成功移植於其他地方                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)提出1處研究場域測站地點(如:火炎山觀測站或南橫明霸克露橋觀測點等地點)</li> <li>(2)於研究場域測站設立觀測設備(含1個CCD與2個地聲檢知器)分析現地監測資訊</li> <li>(3)分析研究場域測站蒐集之監測資料，並與現地相關背景資料比對，及測試監測系統產出的物理量(流深,流量)等</li> <li>(4)研究場域測站與神木土石流觀測站流況(流深、流速、流量)等估算方法比對測試。</li> <li>(5)檢驗於研究場域測站設立之監測系統，同時建立觀測紀錄，俾利確認測站的相關設定與參數是否符合現地需求。</li> </ol> </li> <li>2. 現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於特性不同的測站                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 地聲、攝影機之土石流偵測預警方法驗證，檢驗預警條件與方法的適用性與準確度。</li> <li>(2) 進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證</li> <li>(3) 系統搭載預警實體(如:警報簡訊,燈號等)並進行測試作業</li> </ol> </li> <li>3. 建立多測站之智慧防災系統並導入英文介面功能</li> </ol>	
<p>全程經費： 1652千元</p>	

本年度經費：	1652千元(經常門：1652千元；資本門：0千元)
本計畫是否為延續性計畫：	否

**二、實地查核實施地點：**

1. 樣仔腳文化共享空間(集合及討論地點)
2. 玉穗溪上游土石流觀測系統(現勘地點)
3. 公路總局勤和管制站(現勘地點)

**三、實地查核執行檢討：**(針對計畫期中執行情形或參照實地查核項目，提出相關計畫

執行檢討說明)

行政院農業委員會水土保持局基於職司山坡地保育利用之責，自民國91年開始，陸續發展土石流防災觀測科技，期能更加精進坡地土砂災害之觀測科技研究及期於防汛期間能順暢運作，持續進行土石流現地觀測資訊蒐集，本計畫將導入最新之觀測設備及技術，藉由先進量測儀器和高效率分析系統，即時追蹤掌握溪流土砂生產、土石流發生動態等資料，以提昇現地土石流防災應變能力及災情警戒通報效率。

110年8月1至9日於高雄市桃源區共降下約2700毫米雨量，重創台20線南橫公路勤和到復興段，其中有生命之橋之稱的94K明霸克露橋8月7日下午1點多，因玉穗溪上游爆發土石流沖毀橋面板而交通中斷。

為蒐集現地土石流現地觀測資訊，本計畫規劃於南橫明霸克露橋現址附近之玉穗溪上游2km裝設監測系統，該系統包含：機動式雨量計、土石流即時影像及地動訊號偵測等設備，以蒐集之現地觀測資訊，未來可做為現地相關單位之道路橋樑(如：明霸克露橋現址鋼便橋等)等設施監管作業參考。為要發揮更大的功能，本計畫現地觀測系統功能詳如下說明：

- (一)本計畫建立一個即時土石流監測系統，為利用最新發展的土石流偵測技術，該技術包含：影像總灰階值偵測與地聲檢知器能量變化偵測兩種偵測技術，搭配現地市電供應，以蒐集現地土石流事件資料。

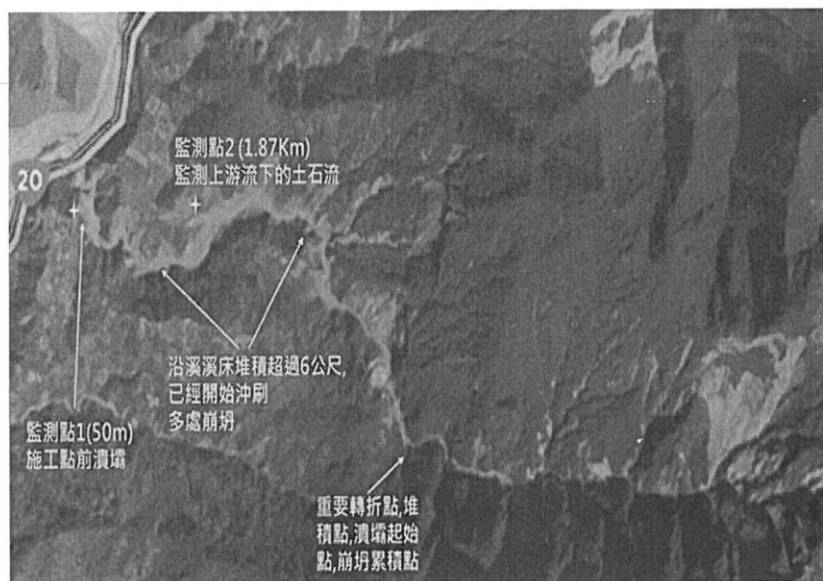


圖 1 玉穗溪上游土石流觀測系統與監測點位置

(二)本計畫已於 111 年 4 月現勘確認於南橫明霸克露橋玉穗溪上游的研究場域，經評估現場土石流事件的可能來源，決定於中下游設置監測站，系統包含 2 組 CCD 攝影機、2 組地聲檢知器及 1 組機動式雨量計。

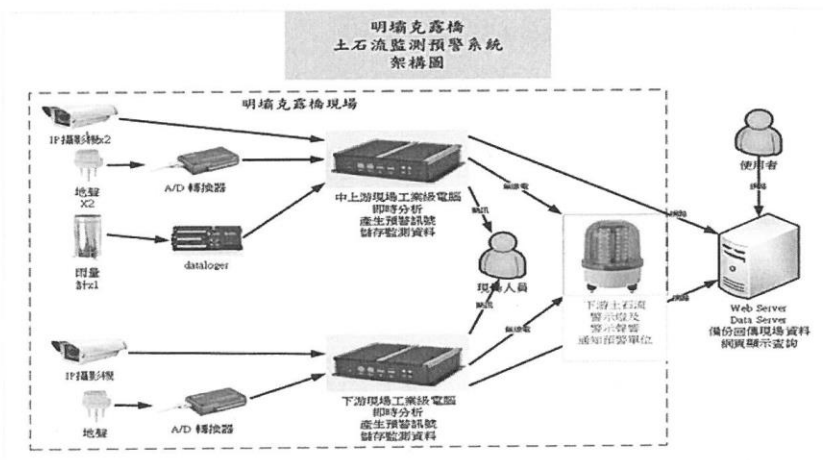


圖 2 現場土石流觀測系統架構圖



圖 3 現地土石流觀測系統及儀器架設現況

- (三)上游偵測到土石流事件後,現地訊號經過現場加值分析,目前初步運作為透過無線電傳送土石流事件訊息至公路局勤和管制站蜂鳴器執行通知告警,同時以簡訊傳送相關人員作為現地防災應變參考依據。
- (四)本計畫並於 111 年 6 月 26 日到現場下游確認河道狀況,同時進行地聲檢知器檢校與攝影機檢校地聲檢知器檢定後,確認參數整正常;檢定的結果與原廠規格相符,表示精度符合分析解算要求。

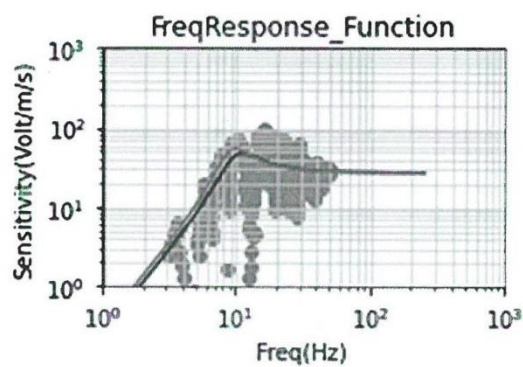


圖 4 現地地聲檢知器檢校測試數據

- (五) 觀測系統資料經過加值分析後,可產出天然災害事件相關物理資訊,提供

準確的偵測、預警與分析，同時可即時展示成果，並兼具智慧化來運用資料，使觀測資料更趨完善。

三、綜合建議與改進事項：針對前項執行檢討結果，提出建議與改進做法

1. 目前現地以無線電方式傳送現地土石流事件訊息，如此訊息於傳遞上可能較緩慢且有受天候雨衰影響疑慮，建議未來現地 ADSL 通訊傳輸架設完成後，可進一步規劃在偵測到事件時如何精進訊息的傳遞，原無線電通訊方式則可考量轉為備援傳輸方式。
2. 考量現地目前無電力備援設備，未來現地在市電斷供時，建議規劃考量如何因應，以完備觀測現地土石流事件時之運作妥善率。
3. 為避免現地土石流事件訊息避免有誤發情形，建議未來思考如何提升觀測訊息準確率，例如：現地發送條件，可以多重比對方式，即兼具比對現地降雨、地聲數據及即時影像資訊後，再行發送。
4. 玉穗溪上游土石流觀測系統所搭載之地聲檢知器，其裝設位置距離河谷較遠(高差約 60 公尺)，如此小型土石流事件可能無法偵測到，建議未來可延長訊號線距離，使現地地聲檢知器安裝更接近河道或河谷位置。
5. 建議未來可於下游河口再裝設一套觀測設備，可完整觀測到上、中及下游發生的土石流事件。

四、佐證資料清單：針對前項實地查核執行檢討說明，表列相關佐證文件資料清單，如研究紀錄簿、儀器/設備使用或管理紀錄、會計憑證等，並應據以於實地查核日提供以備查驗。

序號	資料名稱
1	會計報帳表
2	研究紀錄簿
3	實地查核說明海報



行政院農業委員會水土保持局科技計畫實地查核表

一、計畫編號：111 農科-7.3.4-保-S3

二、計畫名稱：坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用

三、計畫主持人：劉格非教授

四、計畫執行機關單位：國立臺灣大學

五、實地查核意見：

(一)查核項目評述與建議：

項次	實地查核項目	查核者	評述與建議
1	計畫有無按計畫說明書核定本內容執行及執行情形	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	
2	計畫執行有關軟硬體設備(施)之購(建)置情形	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	
3	計畫執行困難及落後原因	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	
4	前期計畫成果有無妥善管理	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	
5	計畫經費支用情形是否妥適	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	
6	計畫執行是否涉及違約情事	<input type="checkbox"/> 計畫主辦單位 <input type="checkbox"/> 相關業務單位 <input type="checkbox"/> 主計室 <input type="checkbox"/> 政風室 <input type="checkbox"/> 秘書室	

(二)其他綜合評述與建議：

查核委員：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

## 附錄六 查核會議記錄

電子公文

校級公文 111/09/06



1110069554 ✓

檔 號：  
保存年限：

### 行政院農業委員會水土保持局 函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：黃韋智

電話：049-2347118

傳真：049-2394302

電子信箱：pet2918@mail.swcb.gov.tw

受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國111年9月6日

發文字號：水保企字第1111859903號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨

主旨：檢送本局111年度科技計畫實地查核會議紀錄1份，請查照。

說明：旨揭會議已於111年8月31日假高雄市六龜區樣仔腳文化共享空間辦理完畢，請相關單位依結論事項配合辦理。

正本：鐘委員啟榮、鄒委員宗儒、王委員志豪、高委員百毅、張委員欽舜、黃委員立誠、徐委員嘉徽、周委員學旻、侯委員惠哲、本局土石流防災中心、國立臺灣大學(劉格非教授)

副本：本局綜合企劃組

111/09/06  
16:05:08

行政院農業委員會水土保持局  
111 年度科技計畫實地查核會議委員審查意見

- 一、地聲設備位置離河道太遠，是否影響準確度？
- 二、ROI 影像分析，速度快，成本較低，值得推廣運用。
- 三、監測儀器有 CCD 及地聲，土石流預警判斷是其中某一儀器達到警戒值即發布預警嗎？(判斷原則)是否有漏報情況？
- 四、CCD 影像判斷是否會受土石流類型(泥流型、礫石型)影響？
- 五、在參數調整，是否需要事件發生來做依據？
- 六、有關本計畫使用影像 ROI 灰階值進行土石流事件監測，現地受綿密暴雨及光線不佳情形下，其 ROI 灰階值判定是否會有影響？是否需足夠的現地事件，做成灰階值背景資料庫，才能增加土石流事件判識的妥善率；另外，建議未來可於綿密暴雨、不同降雨強度及不同光源情形下進行室內試驗探討。
- 七、請問若以機動式的架設監測方式，是否可結合影像 ROI 灰階值判識方式？另外，是否可運用於監測坡地崩塌？成本部分是否會很高。
- 八、考量現地目前無電力備援設備，未來現地在市電斷供時，建議規劃考量如何因應，以完備觀測現地土石流事件時之運作妥善率。

行政院農業委員會水土保持局  
111 年度科技計畫實地查核會議紀錄

壹、時間：111 年 8 月 31 日（星期二）上午 10 時 30 分

貳、地點：高雄市六龜區樣仔腳文化共享空間

參、主持人：鐘主任啟榮

紀錄：黃韋智

肆、出（列）席者：（詳簽到簿）

伍、討論事項：

案由一：「本局 111 年度科技計畫實地查核案」案，提請討論。

決議：

一、本次實地查核結果如下：

- （一）計畫執行情形尚符計畫說明書核定本內容執行。
- （二）無軟硬體設備（施）之購（建）置。
- （三）計畫執行進度無落後原因。
- （四）前期計畫成果尚屬妥善管理。
- （五）計畫經費支用情形尚屬妥適。
- （六）計畫執行無涉違約情事。

二、請計畫執行單位（國立臺灣大學）於 111 年 9 月 19 日（星期一）前就查核委員審查意見回復辦理情形，並請計畫主辦單位（本局土石流防災中心）至農業計畫管理系統填報查核結果。

三、請本局科技聯絡人依限完成查核報告，函知受查單位及查核委員，並副知農委會科技處、會計室及政風室。

陸、臨時動議：無。

柒、散會。（中午 12 時 30 分）

行政院農業委員會水土保持局  
111 年度科技計畫實地查核會議簽到單

壹、開會時間：111 年 8 月 31 日（星期三）上午 10 時 30 分

貳、開會地點：高雄市桃源區樣仔腳文化共享空間

參、主持人：鐘主任啟榮 鐘啟榮 紀錄：吳年知

肆、出（列）席單位及人員：

出席單位及人員		簽到處	
		職稱	姓名
保育治理組	張欽舜	工程員	請假
監測管理組	黃立誠	工程員	請假
農村建設組	鄒宗儒	簡任正工程司	請假
綜合企劃組	王志豪	科長	王志豪
土石流防災中心	林建良	副工程司	林建良
技術研究小組	高百毅	副工程司	高百毅
政風室	侯惠哲	助理員	侯哲
主計室	徐嘉徽	科員	徐嘉徽
秘書室	周學旻	科員	請假
列席單位及人員		簽到處	
		職稱	姓名
國立臺灣大學	劉格非	教授	劉格非

散會：中午 12 時 30 分

## 附錄七 查核意見回覆

### 國立臺灣大學 函

地 址：10617臺北市大安區羅斯福路4段1號  
聯 絡 人：黃淨翎  
聯絡電話：0958381242

受文者：如行文單位

發文日期：中華民國 111年9月14日  
發文字號：校生農字第 1110069762 號  
速別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：  
附件：111年度科技計畫實地查核意見回覆

主旨：檢送本校辦理「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加  
值分析運用」（計畫編號：111農科-7.3.4-保-S3）111年  
度科技計畫實地查核意見回覆，請查照。

說明：復貴局111年9月6日水保企字第1111859903號函。

正本：行政院農業委員會水土保持局  
副本：水工試驗所劉格非教授、研究計畫服務組

# 校長管中閔

依分層負責規定授權單位主管決行

## 111 年度科技計畫實地查核意見回覆

	意見	回覆
1	地聲設備位置離河道太遠，是否影響準確度？	因為經費不足，無法購買足夠長的訊號線，因此目前設置位置的確離河道太遠
2	ROI 影像分析，速度快，成本較低，值得推廣運用。	謝謝指教
3	監測儀器有 CCD 及地聲，土石流預警判斷是其中某一儀器達到警戒值即發布預警嗎？(判斷原則)是否有漏報情況？	原則上應該是 CCD 與地聲檢知器都偵測到才發布警報，但是本系統因為地聲檢知器僅能偵測極大的事件，因此暫時以 CCD 偵測為主要警報依據
4	CCD 影像判斷是否會受土石流類型 5(泥流型、礫石型)影響？	經過室內試驗，網路災難影片的測試，只要是混濁水流或土石流(不分石流或泥流)，都會偵測到
5	在參數調整，是否需要事件發生來做依據？	以偵測到土石流發布警報的部分，不需要調整任何參數，因為都是以當下環境變化為偵測依據，但是要產生絕對數據，例如水面高程，流速等，就需要現場測量的參數
6	有關本計畫使用影像 ROI 灰階值進行土石流事件監測，現地受綿密暴雨及光線不佳情形下，其 ROI 灰階值判定是否會有影響？是否需足夠的現地事件，做成灰階值背景資料庫，才能增加土石流事件判識的妥善率；另外，建議未來可於綿密暴雨、不同降雨強度及不同	<p>1.經過室內試驗與星光測試，在有月光星光或路燈的條件下，都可以偵測到</p> <p>2. 因為判釋偵測環境改變，不需要過去的資料做為判斷依據</p> <p>3. 目前的確有規劃降雨試驗的測試，好確認極大的降雨是否真的不會影響判釋</p>

	光源情形下進行室內試驗探討。	
7	請問若以機動式的架設監測方式，是否可結合影像 ROI 灰階值辨識方式?另外，是否可運用於監測坡地崩塌?成本部分是否會很高。	本系統非常適合機動架設，只要建立架設與操作 SOP，一個預警點應該可以於一個小時內架設完畢 原則上本方法也可以應用於崩坍監測，目前有設立於北海岸坡地測試，崩坍監測與土石流監測時間尺度不同，但是成本相同



# 附錄八 期末簡報

2022/12/6

行政院農業委員會水土保持局

## 111年科技補助計畫 期末簡報

### 坡地土石流觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用

計畫主持人劉格非 教授 報告

110年11月29日

### 緣起

行政院農業委員會水土保持局基於羅司山坡地保育利用之責，自民國91年開始，陸續發展土石流防災觀測科技，期能更加精進坡地土石災害之觀測科技研究及發展：

- 2002 開始建立固定式土石流觀測站
- 2003 開始建立路邊地觀測站
- 2010 設立行動式土石流觀測站
- 2014 部分固定式測站進行儀器調整評估
- 2017 現有118座固定式土石流觀測站儀器配置
- 2019-2022 繼續 土石流觀測站儀器資料加值分析(研習)

固定式及行動式土石流觀測站

### 工作項目

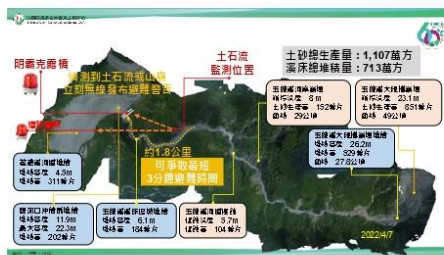
1. 建立新站(含檢查所有資料加值分析系統運作)
2. 現地攝影機與地盤傾斜器的檢定方式是否可用於特殊不同的測站
3. 航照與無人機照片分析
4. 建立多測站之智慧防災系統

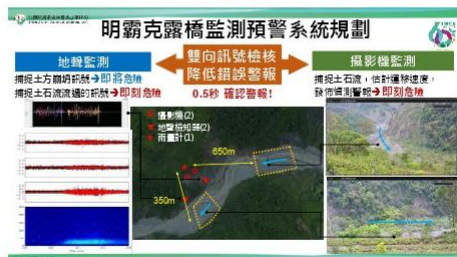
(二) 期末評核標準

1. 完成建構智慧型網站(包含神木土石流觀測站與研究壩觀測站等)
2. 觀測站之土石流事件流程完整分析

### 一、建立新站

### 四、建立多測站之智慧防災系統並完成英文系統





- ### 玉穗溪新系統
1. 現場資料傳回現場電腦
  2. 所有影像與地震資料於現場分析
  3. 所有資料加值 A P P 安裝於現場
  4. 攝錄機動為自動, 影像用線量測法, 地震用能量法
  5. 偵測到土石流時,
    - (a) 以搖鈴器在下游預警(用無線電)
    - (b) 資料展示網頁
    - (c) 通訊和line通知相關人員
  6. 現場資料儲存(影像為低頻動), 分析並可下載 (可存半年)
  7. 事件發生後, 資料另外存於儲存裝置中
- 0808研習會關於河床資料的計畫

12 **總灰階值原理**

$\sqrt{t}$  時間之平均亮度  $P = \sum_{i=1}^n I \times R_i$   
 $\sqrt{\text{平均亮度值}} S_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=1}^n I \times R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$   
 $\sqrt{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \times \Delta t$   
 $I$ : 平均亮度  
 $t$ : 灰階值 (0 ~ 255)  
 $R_i$ : 亮度值 所佔的比例 ( $R_i = 0 \sim 1$ )  
 為擷取高精度雷達訊，每一筆資料為固定長度 (10-30 補) 資料之平均

**敏督利颱風土石流** 時間: 2004/7/2 16:40

偵測到閃爍土石流位置前1.2秒, 下游閃爍區啟動預警32分鐘

紅色ROI分析影片

**地聲能量法結果**

訊號取樣頻率 500 Hz 下層與上層鋼索高度分別為 2.5 m 和 5 m

環境雜訊 土石流訊號

影片拍攝之偵測目標 土石流前鋒

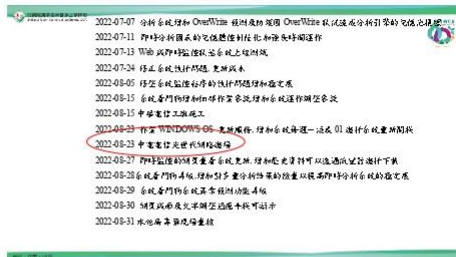
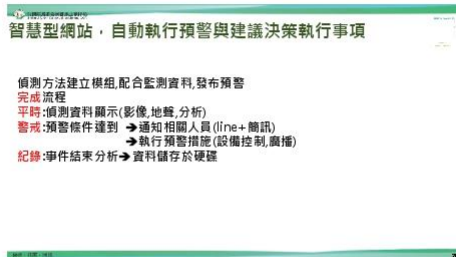
14 國立臺灣大學

4. 建立多測站之智慧防災系統並完成英文系統

**首頁**

攝影機畫面 攝影機分析結果 地聲檢知器區域 地聲檢知器分析

**資料儲存下載**



### 全部工作大致所需要時間

工作大項	估計時間	
現場勘查	一個半月	
購買設備	一個月	
在室內準備與測試系統	兩個月	後續可以加快
現場裝設	一個月	
電源網路的協調申請	三個月	最無法控制
系統檢驗修正	兩個月	後續可以變快
現場參數校正	一個月	受限於地形險惡





### 現勘結論

中游有非常長的超過10公尺的堆積層  
有大雨應該會發生崩坍與土石流  
目前監測系統會監測到並發出預警

但是持續小雨可能造成溪流持續加深與變寬  
這種產生小規模泥流  
就無法監測出來

### 事件分析

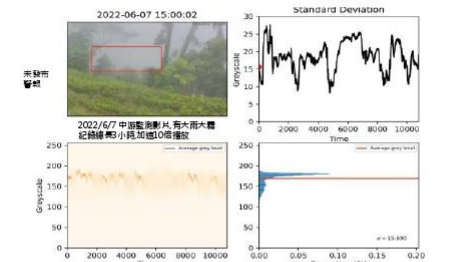
監測系統安裝完畢, 沒有發生過大雨  
最大三場數據降雨如下

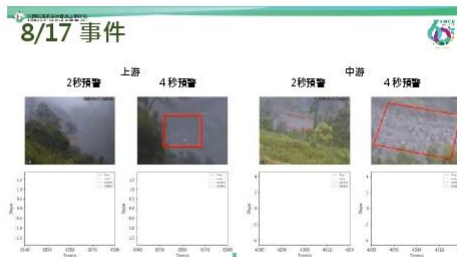
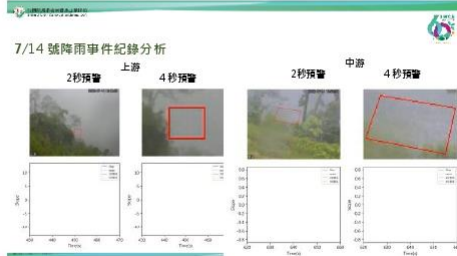
日期	2022/7/14		2022/8/11		2022/8/11	
	中洪	大洪	中洪	大洪	中洪	大洪
時間	13:25:23	13:12:45	11:31:33	17:31:43	16:39:25	16:39:35
峰高	15.50:23	12.50:40	19.36:33	19.04:10	19.47:22	19.47:32
Flow	18	18	8	18	8	8
降雨量	144mm	219mm	114mm	518mm	223mm	225mm
ROI大小(公尺)	416	66	416	66	416	66
中洪時間(東岸邊、拜季)	00:05:38	00:05:28	00:05:51	00:21:45	00:12:32	00:11:53
for: mon-2						

### 2022/6/7 土石流

由新豐中橋公路局提供影片照片  
公路局提供影片照片  
因堆積物阻礙橋樑僅5公尺

受目前影響 今年山崩持續增加, 下午2點30分公路局派水工上河堤的沖積  
深處和泥, 下午4點大豐生態區派泥, 目前沖積物阻礙橋樑僅5公尺  
橋樑式通行, 監測成為第一要務計, 易發生土石流持續下溪床面沉積, 其





### 二、地盤檢知器與攝影機現場檢校

- (1) 於現場進行地盤、攝影機之檢定, 檢查是否參數與同型號之設備相同土石流偵測預警方法驗證。
- (2) 進行地盤與攝影機檢校方法之實用性比對驗證

$$T(u) = \frac{Gu^2}{\sqrt{a^2 - 2\sigma u^2 + u^4 + 4\left(h_0 + \frac{\sigma^2}{2B}\right) \sigma^2 u^2}}$$

Geophone GS-32CT  
ADC PCI1713  
地盤檢知器型號

#### Geophone B

#### Geophone A

玉璽溪地盤檢知器檢定  
是於地下1m的地盤檢知器, 攝影機與地盤檢知器非常準確

	Geophone A			Geophone B		
此值	0	2	10	0	2	10
品質	100%	100%	100%	0.1%	2%	1%

### 攝影機現場檢校程序

#### 1. 缺陷像元: 是否有壞掉的pixel, 是否色素程度相

標準色板 → 檢查每個畫素  
 畫素在接近 → 如果有些畫素不連續  
 鏡頭處(1m內) → 目標在同一點  
 左右來回移動 → 該點列為缺陷像元

1. 任何畫素都會受到薄邊光源影響而造成二筆色灰階值不同
2. 薄邊可能有陰影造成灰階值變化
3. 等光源試驗, 同一相機也會有散光或扭曲效果造成灰階值不同

### 2. 影像幾何校正:

二維畫面由三維真實空間投影轉換

影像座標  $Z_c$  影像座標  $Z_c$

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & -f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

外參數座標  $X_0, Y_0, Z_0$  內參數座標  $f, x_0, y_0, z_0$

為精確的相機參數  
帶入現場測量點X<sub>0</sub>,Y<sub>0</sub>,Z<sub>0</sub>  
與影像上的座標u,v  
須誤差為零(檢定條件)

檢校完畢  
攝影機即可產出有  
物理單位數值

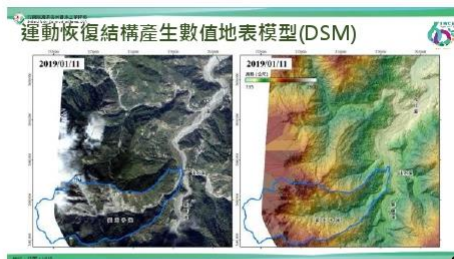
檢校條件(世界座標位於世界座標系的位置)  
dx, dy為攝定光軸與光軸以X, Y方向之偏差量  
f為焦距  
z<sub>0</sub>為攝定座標系原點至真實景物間之距離

旋轉角餘(世界座標位於影像座標三軸夾角)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_x & 0 & \sin\theta_x \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_x & 0 & \cos\theta_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$


### 3. 航照與無人機照片分析

- (1) 持續分析神木站坡地與河川沖刷
- (2) 玉穗溪航照與無人機照片分析



### 玉穗溪崩坍與河道沖淤

Event	玉穗溪崩坍 (萬立方公尺)			玉穗溪河道 (萬立方公尺)		
	Erosion	Deposition	Net	Erosion	Deposition	Net
2001/03 - 2002/02	-65.0	38.5	-26.5	-45.9	64.5	18.6
2002/02 - 2003/04	-38.1	27.6	-10.5	-31.7	42.3	10.6
2003/04 - 2007/01	-164.2	9.1	-155.2	-135.7	9.0	-126.7
2007/01 - 2008/08	-91.5	18.0	-73.5	-55.6	23.3	-32.3
2008/08 - 2009/11	-1,200.5	318.7	-881.8	-127.7	275.4	-147.7
2009/11 - 2013/02	-407.6	76.1	-331.5	-146.8	22.7	-124.1
2013/02 - 2015/10	-108.4	28.0	-80.4	-24.2	12.6	-11.6
2015/10 - 2019/01	-58.5	38.6	-19.9	-42.2	23.1	-19.1
2019/01 - 2021/01	-652.7	128.8	-523.8	-38.2	45.1	6.9
2021/01 - 2021/08	-1,811.4	527.1	-1,284.3	-135.1	153.7	-18.6
Total (萬立方公尺)	-4,597.9	1,206.6	-3,391.3	-783.1	671.7	-111.4



**愛玉子溪邊坡與河道土砂變動量計算**

站號	站名	歷年累積值			歷年最高(最低)值			差異量(最高)		
		Station	Description	Net	Station	Description	Net	Station	Description	Net
1000110-2000002	1.0	1244	20.9	-38	2241	172	-217	711	49.9	91
2001002-2000002	2.4	836	28.8	-29	438	20.8	-17	198.2	8.8	432
2003002-2000002	4.5	1748	88.4	-113	437	465	4	413	80.7	18
2004002-2000123	3.3	1877	79.1	-32	437	288	-14	804	127.7	32
2005110-2001018	3.4	480	28.8	-13	237	808	28	100.2	43.8	41
2006102-2000003	4.4	1837	26.3	-106	1138	27	-113	24.1	34.9	20
2008002-2000028	3.3	837	17.9	-94	122	284	24	58.9	33.3	45
2009002-2000121	9.8	2287	267.5	-138	2838	1218	-24.9	182.8	482.3	511
2009121-2003003	2.0	7029	30.8	-814	1771	319	-28	101.2	142.4	4
2013002-2014017	4.8	1214	39.8	-37	244	1028	7.8	37.2	121.3	24
2014017-2017107	2.1	3118	79.8	-128	442	729	39	136.1	207	-120
2017107-2018028	1.9	712	28.2	-43	232	187	-14	95.9	18.8	-42
2018028-2019111	0.8	537	26.9	-19	148	282	25	18.9	70.2	32
2019111-2020003	3.8	4835	182	-458	1122	112	-182	86.7	81.7	-3
2020003-2020100	1.2	218	18.7	-13	138	126	0	28.0	12.1	-18
2021100-2021003	2.4	289	12.5	-13	218	172	4	48.8	29.3	-23
1054mm	24.4	47472	189.8	-3361	12928	7253	-587	1211.5	1828.4	213

- 結論**
1. 觀測站設備已經安裝完畢,電與網路也都接好,整個過程約需11個月
  2. 智慧網站運作正常,包含資料分析展示,自動預警等功能
  3. 預警經由line,簡訊還有無線電接收設備或播音等途徑
  4. 目前結果證實在大雨與大雨之下,檢灰階值法仍然不會因此誤發警報
  5. 現場設備檢校完成,可以產出深度與速度等資料
  6. 因為觀測設備距離溪流太遠,一個畫素代表的距離太長,因此必須調整偵測最短時間到4秒,其他系統參數不需要調整



# 附錄九 期末會議

電子公文

校級公文 111/12/01



1110095025

檔 號：  
保存年限：

## 行政院農業委員會水土保持局 書函

地址：54044南投市中興新村光華路6號

承辦人：林建良  
電話：049-2347412  
傳真：0492394343  
電子信箱：blueway@mail.swcb.gov.tw

受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國111年12月1日  
發文字號：水保防字第1111867104號  
速別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：  
附件：如主旨

主旨：檢送111年11月29日「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期末審查會議紀錄1份，請查照。

正本：鐘副總工程司兼主任啟榮、游委員繁結、鐘委員志忠、陳委員毅輝、郭委員治平、林委員任修、黃委員效禹、蔡委員政修、國立臺灣大學(劉格非教授)  
副本：本局土石流防災中心

111/12/01 寄  
08:45:49 寄

本校簡易辦文

校級公文



回函文號: 1110095025

檔號：0111/640501/003  
保存年限：10年

聯絡人：江翠美  
聯絡電話：33664285

收文日期：111年12月01日  
收文文號：1110095025

來文摘要：檢送111年11月29日「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期末審查會議紀錄1份，請查照。

簽辦意見：擬印送劉格非教授知悉，文擬陳閱後送文書組存查。  
處理方式：逕送存查。

公文流程：【線上簽核公文】土木工程學系→(決行)工學院→土木工程學系

承辦單位

會辦單位

決行單位

承辦人


土木工程學系 技 工 江翠美

111/12/01 13:54:19

坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用期末  
審查會議簽到單

壹、開會時間：111年11月29日(星期二)下午2時30分

貳、開會地點：本局府西辦公室第二會議室及視訊會議

參、主持人：鐘主任啟榮 

肆、出(列)席單位及人員 紀錄：林建良

出席委員			簽名處
單位(機關)	職稱	姓名	姓 名
中興大學	教授(退休)	游繁結	
雲林科技大學	教授	郭治平	
中興大學	教授	陳毅輝	
中央大學	教授	鐘志忠	
土石流防災中心	副總工程司兼主任	鐘啟榮	
土石流防災中心	簡任正工程司	林任修	請假
土石流防災中心	科長	黃效禹	
臺南分局	正工程司兼課長	蔡政修	
出列席單位			簽名處
單位	職稱	姓名	姓 名
土石流防災中心	副工程司	林建良	
臺灣大學劉格非教授	教授	劉格非	
臺灣大學	研究員	魏士超	

## 附錄十 期末審查會議記錄

下載時間：2022/11/28  
SWCB(111年8月10日版)

### 行政院農業委員會水土保持局 「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案 期末審查會議紀錄

壹、時間：111年11月29日(星期二)下午2時30分

貳、地點：本局府西辦公室第二會議室及視訊會議

參、主持人：鐘副總工程司兼主任啟榮 紀錄：林建良

肆、出(列)席者：(詳簽到簿)

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、報告事項：

案由：確認出席委員人數符合「本局委託服務作業程序」第33點規定，報請公鑒。

決定：

一、洽悉。

二、本次會議由鐘副總工程司兼主任啟榮主持，出席審查會之審查委員(7人)達其委員總數(8人)二分之一以上，且出席委員中專家學者(4人)超過出席委員人數三分之一，達開會標準。

捌、討論事項：

案由：「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案期末報告書，提請討論。

決議：

一、國立臺灣大學所提期末報告書，經審查通過，並請參照與會人員相關意見辦理後續工作。

二、請國立臺灣大學於111年12月15日前提出成果報告書初稿，其內容經機關審核後，俟繳交正式成果報告書、期末暨成果效益報告，及上傳成果於本局相關圖書及圖資管理系統，據以憑辦後續付款事宜。

玖、臨時動議：無

拾、散會。(下午3時50分)

## 附錄十一 期末審查會議意見回覆

行政院農業委員會水土保持局

「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案

期末審查會議意見回覆

	意見	回覆
<b>一、游繁結委員：</b>		
1	報告書頁面 P2-2、2-11、5-7、5-12、5-24 等，有亂碼，請確認修正。	謝謝指正，已修正
2	P2-3，本計畫建議地聲檢知器每過一段時間，就必須檢定 1 次，本計劃認為多久時間應檢核 1 次？又本計劃是否有作經常性之檢核？	按照前期計畫建議，最好每年檢驗一次，本計畫依照該原則，每年一次
3	表 2.2，上游之 $h_0$ 有 50% 之誤差，中游之 $h_0$ 有 13% 之誤差，其影響如何？	參數有誤差，代表地聲檢知器特性有變動，只要依照新檢定出來的參數，就可以回復正常訊號
4	報告內容之呈現方式，以各項工作執行之具體成果呈現即可，無需增加行程之細節等情境。	遵照修改
5	P3-1，內文謂“本案描述的最終的整體架構與目前過程中不	遵照修改，已經該段刪除，替換成”本案已於 10

	太相同”一句，是何意?各種困難在工作過程中是難免的，但報告內容主要在呈現實質與研究，或執行工作之內容有關情事，請斟酌報告內容之編撰。	月安裝完成整體系統”
6	P3-5，各段落之標號不符編輯格式。	依格式改為(a)(b)...
7	P5-38，土壤“與”量指數應更正為“雨量”	該段已經整個刪除
8	P5-43，張力裂縫已到每年3.1公尺，文謂暗示邊坡材料即將滑動，此說法太保守，應已是在滑動了，請確認修正。	修正為正在滑動，必須加強監測
<b>二、郭治平委員：</b>		
1	報告中部份文字編排錯位，出現亂碼，如 P2-2、2-11、3-6、5- 11、5-24，其內容及圖號出現“錯誤找不到參照來源”等，請一併檢視修正。	謝謝指正，已修改
2	第一章提到過去成果可利用攝影機及地聲檢知器估算土石流流速、石頭大小等，若靜態畫面是否就較難以應用此成果，未來是否有機會以其他方式研發或驗證。	估算土石流流速，水位等的功能，將於未來工作中持續加入，粒徑偵測則因為目前玉穗溪畫面每個畫素代表2公尺以上，對粒徑偵測誤差會太大，因此

		不擬加入
3	在報告後半部關於土砂產生量之推估方式中，對於長期及短期預警皆有幫助，建議未來可建立量化關係，例如：張力裂縫發展與降雨之關係，以供無法取得影像時推估土砂產生量之用。	謝謝指教，本計畫加入土砂估計，正是要加強長期趨勢分析與可能的長期警報，未來若經費允許，將持續進行
4	若監測影像過程中遇霧無法辨識時，當霧氣散去時土石正在移動中之偵測，未來是否有機會偵測並研發，以供告警使用。	目前的大霧情況，因為大霧都高速通過，因此仍勉強可以辨識河床與其上的巨石，因此即使有大霧下發生土石流，仍然可以偵測，不需要等到大霧散去
<b>三、鐘志忠委員：</b>		
1	報告內文格式，錯字部分請修訂，缺少期中審查意見回覆？	遵照辦理，期中審查意見已回復
2	簡報資料相當完整，應納入本書面報告以做說明。	遵照辦理，已列為附件 7
3	地聲檢定過程可建議一組室內試驗作為展示，並確認需要校正之參數項目。	這部分的室內檢定驗證，已經於前期計畫中經過兩年完成，
4	像元校正中有關定期非定期維護作業，請另外於專章說明。	因為現場儀器都非常難維護，例如地聲檢知器固定於石頭或地底，拿出來維

		護整個狀態就改變了，因此本檢校的目的，就是以檢校來確認現場儀器的現況，並沒有規劃任何定期與非定期維護
5	<p>有關影像灰階分析方法，</p> <p>1. 除 2004 案例分析之外，建議可增加其他實際案例進行測試驗證。</p> <p>2. 簡報中 2 與 4 秒預警差異？</p>	<p>1. 實際案例增加神木村 2014 土石流案例</p> <p>2. 因為一個畫素代表 3 公尺，當土石流速度為 2m/s 時，土流要跑兩秒才會有 4m，超過一個畫素，才可以偵測，否則下一個 2 秒畫面會完全沒有改變</p>
6	<p>玉穗河流域之地面控制點量測年份為?如何作為前期航照所分析之 DEM 模型之校正與檢核使用?</p>	<p>玉穗河流域的控制點分兩部分，一部分引用自 2020 年水保局「土砂災害空間資訊蒐集判釋與變遷分析」的控制點測量結果，另一部分來自於農航所正射影像與內政部 20 公尺 DEM 中，擷取固定不變的地表特徵物，如學校操場、道路交會口等，將這些固定不變的地表特徵物作，作為模型校正與檢核</p>



		之用。
7	圖 5.39 玉溪大規模崩塌張力裂隙寬度的量測標準偏差如何取得?後期偏差變大之原因?	<p>謝謝委員意見，本研究在張力裂隙處，劃設 10 條垂直等高線的測量剖面線，分別從光學影像中量測寬度的變化，報告中有標出這 10 條量測剖線中的最大、平均、最小寬度。</p> <p>可以發現在 2020 年後，寬度的最大和最小值差異增大，因為該崩塌中央滑動距離最大，使得此處張力裂隙加寬至數百公尺，而最西側邊坡滑動較小，張力裂隙仍僅有數十公尺寬。</p>
8	愛玉子溪的空拍建模成果進度如何?	<p>本計畫已於 12 月份完成 2022 年汛期後的影像建模，比較 2021-2022 年的地形變化，愛玉子溪集水區幾乎沒有明顯的地形變化，邊坡植被亦無明顯的變化，河道變化亦不明顯，僅有在上游南側的陡峭邊坡有一處新增崩塌，以及霍薩溪與和社</p>

		溪有些微的侵蝕和淤積。
9	結論應充分說明相關量化成果與限制，並補充建議章節。	第七章結論與建議已經分兩部分，且加強說明
<b>四、陳毅輝委員：</b>		
1	有關智慧防災網頁報告書中未提供連結，請團隊補充提供，並附加操作查詢程序。	遵照辦理，已經將連結與帳密加入報告中
2	報告書內容部分圖號符號顯示錯誤，請確認修正。	謝謝指正，已修正
<b>五、鐘啟榮委員：</b>		
1	本計劃提到地聲檢知器其最佳觀測位置為設置在河岸附近，離現況地聲檢知器設置距離約120公尺，礙於經費較高關係今年無法延伸至河岸設置；請團隊提出建議，若明年度計劃在經費未增加情形下，其地聲檢知器設置位置是否有替代之地點。	唯一可行的方式為另外增加一個地聲檢知器，然後以無線將訊號傳回接收站目前的地聲檢知器其電源訊號線太短，無法拉接到距離監測站400公尺以外的溪谷，因此將視經費看看是否可以安裝新品
<b>六、黃效禹委員：</b>		
1	有關從神木經驗法則引用到玉溪是否僅調整秒數參數，移至其他地區是否僅需考慮解析度調整預警秒數即可？	現場工作有兩項，參數調整只有4秒這一項，另外現場測量則是每個站都必須進行一次
2	本計畫屬研究計畫，報告書章	已經按照工作項目，把原

	節與契約書應辦事項無法對應，建議於適當之章節詳予說明。	來第二章與第三章調換，同時在第一章工作項目中註明每個項目的相對應章節
3	降雨指標於 P5-4 分析降雨量對於玉溪土砂生產和運移量關係，分別利用有效累積雨量及土壤雨量指數，其探討結果為何？	最後分析都是用有效累積雨量，土壤雨量指數僅提出作參考
<b>七、蔡政修委員：</b>		
1	玉穗智慧防災網站登入權限，是否能開放予分局登入查詢？	已經於報告中放上連結可以公開
2	P6-3 需求“獲”困擾，建議修正。	謝謝指正，修改為”或”
3	P3-3 選定中“遊”為唯一監測點，建議修正。	謝謝指正，修改為”游”
4	4. P6-5 “預警警告”內：流深 3m，請問是否為該段淤積深度？	該流深為利用影片判釋自由水面高程算出的流深
<b>八、土石流防災中心：</b>		
1	報告書結論與建議內容太單薄，請團隊充分補充。	遵照辦理 會說明結論與給建議
2	請團隊提出現地監測設備電力備援建議。	目前是以 UPS 維持 30 分鐘，若要按照規定維持三天的電，就需要大型儲存設施，目前並無規劃

3	地聲檢知器未埋入地表內，是否符合現地監測需求。	目前地聲檢知器一個埋於地表下 2 公尺，一個埋於離地面 50 公分處，只是以厚重水泥塊加強聲音吸收，如果能裝設於溪旁，是符合監測需求的
4	期末報告書為應完成所有工項，內容應以完成式語法撰寫，而非以進行式語法撰寫。	遵照修改

## 附錄十二 論文發表與人才培育

已接受之研討會文章：

- [1]. Liu, K.F. and S.H. Wei (2023) Debris flow seismo-acoustic wave in a finite layer waveguide, 8th Debris flow Hazard mitigation conference, Florence, Italy
- [2] Liu K.F. and S. Regmi (2023) Experimental study of seismo-acoustic frequency and flow velocity of debris flow, Florence, Italy

碩博士人才培育

博士後研究:魏士超博士

博士候選人:蘇德罕

碩士論文:

張智涵 (2021) 以傅立葉轉換估算影像中顆粒位移的方法

鄭宇文 (2022) 應用影像辨識於自由水面偵測

陳世霖 (2022) 現場地聲檢知器參數檢定方法

劉偉辰 (2022) 攝影機檢定應用於土石流現場

碩士生:張正力、蔡賜晏

## 附錄十三 期末暨成果效益報告



本計畫執行機關識別碼：070304S300

### 行政院農業委員會水土保持局補助研究期末暨成果 效益報告

計畫主管機關 行政院農業委員會水土保持局

計畫執行機關 國立臺灣大學

計畫名稱 坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用 (第1年/全程1年)

審議編號 1112101012805-070304S3

農委會  
計畫編號

111農科-7.3.4-保-S3



## 111年度行政院農業委員會水土保持局科技計畫期末暨成果 效益報告

### 坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用

#### 一、基本資訊

計畫名稱：坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用	
計畫編號：111農科-7.3.4-保-S3	
主管機關：行政院農業委員會水土保持局	執行機關：國立臺灣大學
計畫主持人：劉格非	電話：0926259440
期程： 全 程：自 111年1月1日 至 111年12月31日 本 年 度：自 111年1月1日 至 111年12月31日	
經費：全程：1,652 仟元；本年度：1,652 仟元	
報告頁數：205；使用語言：中文 全文處理方式：可立即對外提供參考	

#### 二、執行成果中文摘要

為了驗證現有觀測研究成果是否能快速移植於神木土石流觀測站以外之地區,本計畫除了持續神木村測站的監測外,增加玉穗溪中游處設置測站,系統包含監測儀器(雨量計、二個CCD與兩個地聲檢知器),經過現勘還有電與網路申請,玉穗溪測站於10月完成。並建立下游的聲控預警系統和簡訊及line的警報通知系統。設立完成後僅有四場小降雨事件,並無大規模土石流發生,但是經由四場小降雨事件的驗證,證實於降雨與大霧的情況下,不會有錯誤發警報的情況。

玉穗溪測站已植入完整資料分析功能,之也以儀器檢校方法確認地聲檢知器、攝影機等設備運作正常且誤差在2%以下。

整個系智慧觀測預警已建立英文介面,並包含神木與玉穗兩站。

整個系統因為觀測設備距離溪流太遠,畫面中一個畫素代表的距離太長,因此必須調整偵測最短時間到4秒,也就是畫面中的運動行為必須持續4秒,才算偵測到土石流。其他系統參數不需要調整。

#### 三、執行成果英文摘要

To verify the Shen-Moo warning system can be used in other location, this project sets up Yusui monitoring station with the same data analysis system. The Yushi monitoring station has 2 CCD, 2 geophones and 1 raingage installed around 1.87Km from the Yusui river mouth. The Yusui



1110407\_111/12/08  
2022020810195334149



station is completed on June. Warning through message and line as well as through warning device to downstream road construction site are established. Four record of raining events are analyzed and the result proves this system will not send error warning during heavy rainfall and fog..

The presicion and validity of CCD and geophones are examined using calibration methods. The intelligent web system is now bilingual and has both Shen-Moo and Yusui stations. The value-added analysis process is build into the web system.

#### 四、中英文關鍵詞

加值分析；value-added data analysis；監測站；monitoring station；土石流；debris flow

#### 五、計畫目標

1. 驗證是否智慧監測系統可以快速並成功移植於其他地方
  - (1)提出1處研究場域測站地點
  - (2)於研究場域測站設立觀測設備(至少含1個CCD與2個地聲檢知器)以分析現地監測資訊
  - (3)分析研究場域測站蒐集之監測資料，並與現地相關背景資料比對，及測試監測系統產出的物理量(流深,流量,最大粒徑流速估計)等
  - (4)研究場域測站與神木土石流觀測站流況(流深、流速、流量)等估算方法比對測試。
  - (5)檢驗於研究場域測站設立之監測系統，同時建立觀測紀錄，俾利確認測站的相關設定與參數是否符合現地需求。
2. 現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於特性不同的測站
  - (1)地聲、攝影機之土石流偵測預警方法驗證，檢驗預警條件與方法的適用性與準確度。
  - (2)進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證
  - (3)系統搭載預警實體(如:警報簡訊,燈號等)並進行測試作業
3. 建立多測站之智慧防災系統並導入英文介面功能

#### 六、主要內容

1. 擇定研究場域測站及進行現地觀測規劃作業
  - (1)提出1處研究場域測站地點
  - (2)於研究場域測站設立觀測設備(至少含1個CCD與2個地聲檢知器)以分析現地監測資訊







(3) 研究場域測站與神木土石流觀測站流況(流深、流速、流量)等估算方法比對測試。

a. 神木土石流觀測站原有流量與地聲能量關係式,有可能需要修正,因此採現地量測方式進行,汛期前將量測三點基流能量,汛期後將量測三點,以檢驗是否需要修正流量能力關係式

b. 流深與流速必須配合攝影機檢定顯場參數來計算

(4) 檢驗於研究場域測站設立之監測系統,同時建立觀測紀錄,俾利確認測站的相關設定與參數是否符合現地需求。

2. 現地攝影機與地聲檢知器的檢定方式是否可用於特性不同的測站

- (1) 於現場進行地聲、攝影機之檢定,檢查是否參數與同型號之設備相同  
土石流偵測預警方法驗證,檢驗預警條件與方法的適用性與準確度。
- (2) 進行地聲與攝影機檢校方法之實用性比對驗證
- (3) 系統搭載預警實體(如:警報簡訊,燈號等)並進行測試作業

初步導入研究場域測站警報系統通報功能(例如:偵測到土石流事件發出通報,同步由攝影機直接錄到等功能)

3. 航照與無人機空拍分析

- (1) 進行神木土石流觀測站坡地與河川沖刷現況分析
- (2) 研究場域測站地區航照與無人機空拍分析
- (3) 於愛玉子溪與研究場域測站地區分別無人機拍攝作業
- (4) 以空拍資料分析出的DSM進行崩坍與土砂平衡計算

4. 建立多測站之智慧防災系統並導入英文介面功能

- (1) 智慧網站將包含神木站與相關測站之監測儀器資料展示與分析
- (2) 全網站具雙語介面(中文及英文)

## 七、計畫執行情形

### (一) 進度比較

	預定進度%	實際進度%	比較%
當年	100.00	100.00	0.00
全程	100.00	100.00	0.00

### (二) 資源使用情形

#### 1. 經費支用

	預定經費(仟元)	實際經費(仟元)	支用率%
當年	1,652	1,652	100.00
全程	1,652	1,652	100.00

#### 2. 經費明細

單位：千元

	111年度	112年度	113年度	備註



1110407\_111/12/08  
2022020810195334149



	預算數 (a)	初編決算數			執行率(%) (d/a)	預算數	申請數
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)			
總計	1,652.00	1,652.00	0.00	1,652.00	100		
一、經常門小計	1,652.00	1,652.00	0.00	1,652.00	100		
(1)人事費	585.00	451.47	0.00	451.47	77.17		
(2)材料費	64.00	64.00	0.00	64.00	100		
(3)其他經常支出	1,003.00	1,136.53	0.00	1,136.53	113.31		
二、資本門小計	0.00	0.00	0.00	0.00	0		
(1)土地建築	0.00	0.00	0.00	0.00	0		
(2)儀器設備	0.00	0.00	0.00	0.00	0		
(3)其他資本支出	0.00	0.00	0.00	0.00	0		

**與原計畫規劃差異說明：**  
 因為現場施工超出原規劃額度  
 因此減少聘用人力  
 將部分人事費用移到現場施工費用

### 3. 人力

姓名	計畫職級	投入人數及 工作重點	學、經歷及專長	
			學歷	專長
劉榕非	研究員級	(12.0) 整體規劃	學歷	博士
			經歷	台大教授
			專長	土木水利工程類
洪梓航	研究助理級	(12.0) 行政業務	學歷	其他
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	水土保持
鄭宇文	研究助理級	(12.0) 影像分析	學歷	碩士班研究生
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	土木水利工程類
陳世霖	研究助理級	(12.0) 地聲訊號分析	學歷	碩士班研究生
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	土木水利工程類
劉偉辰	研究助理級	(12.0) 現場測量理論	學歷	碩士班研究生
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	土木水利工程類
張正力	研究助理級	(12.0) 影響分析	學歷	碩士班研究生
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	土木水利工程類



1110407\_111/12/08  
 2022020810195334149



蘇得罕	研究助理級	(12.0) 理論推導與現場指導	學歷	博士班研究生
			經歷	台大土木系博士生
			專長	土木水利工程類
張智涵	研究助理級	(6.0) 數據分析	學歷	碩士班研究生
			經歷	台大土木系碩士生
			專長	土木水利工程類
魏士超	副研究員級	(6.0) 理論推導	學歷	博士
			經歷	逢甲大學研究員
			專長	土木水利工程類

與原計畫規劃差異說明：

(三) 期末評核標準達成情形：

序號	期末評核標準	是否已達成	辦理情形
1	完成建構智慧型網站(包含神木土石流觀測站與研究場域測站等)	是	按照合約完成中英文介面與智慧預警功能都已經完成
2	神木土石流觀測站或研究場域測站等其他測站之土石流事件流程完整分析	是	選擇玉穗溪三場大雨事件與濃霧事件進行分析均正確,沒有誤發警報

八、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)

【表一】初級產出、效益及重大突破

績效指標構面：試驗研究產出構面

共通性指標項目	細項指標	預估量化值	實際量化值	效益說明	重大突破
學術著作發表	國內期刊論文	1篇	0篇		
	國外期刊論文	1篇	0篇		
	國內研討會論文	1篇	0篇		
	國際研討會論文	0篇	2篇	廣義分析地聲檢知器接收訊號,得到在不同介質中的那些頻域會較清楚 將土石流表面流速與聲音頻率關係式求出,可以由最大頻率反推流速	
	研究報告	1本	1本	為本計畫完整記錄,可供外界參考設立監測站	設站細節描述,建立先監測站
國內外合作研發與人才培育	研發人才培育數(博士)	1人	1人	監測方式精進,現場測量技術改進	室內試驗找出土石流流速與聲波間頻率相關性
	研發人才培育數(碩士)	4人	4人	個碩士人才都已計畫內容,完成技術研發性的碩士論文	1. 現場測量反推攝影機長度方式 2. 現場水位偵測初步成果 3. 現場大石頭的偵測方式
	研發人才培育數	0人	0人	所有培育人才都學會土石流監測技巧與現場勘查技巧	研發出最新攝影機與地聲檢知器監測技術
研究團隊養成	跨機構合作團隊數	1個	1個	產生玉穗溪與愛玉子溪歷年崩塌分析	

研討會論文(國內、外)				
國內/國外	文章名稱	研討會名稱	研討會年月	報告方式



1110407\_111/12/08  
2022020810195334149



國外	8th Debris flow seismo-acoustic wave in a finite layer waveguide	Debris flow Hazard mitigation conference	112年6月	口頭報告
國外	Experimental study of seismo-acoustic frequency and flow velocity of debris flow	8th Debris flow Hazard mitigation conference	112年6月	口頭報告

名稱	類型	人數	專長
	跨機構	4	崩塌地分析

學位(碩士/博士)	姓名	專長	學校系所
博士	蘇德罕	土木水利	台大土木系
碩士	鄭宇文	土木水利	台大土木系
碩士	陳世霖	土木水利	台大土木系
碩士	劉偉辰	土木水利	台大土木系
碩士	張智涵	土木水利	台大土木系

研究報告					
國內/國外	專著/書籍名稱	出版機關名稱	出版年月	作者	授權金(千元)
國內	效能提升規劃及資料加值分析運用	水保局	111年12月	劉格非	

### 九、主要成果之價值與貢獻度

(一)、學術成就(科技基礎研究)

無

(二)、技術創新(科技技術創新)

1. 整合攝影機與地聲檢知器的最新偵測技術,完整建置一個新的監測站
2. 監測與預警結合,為全自動的流程,不需要人為判視
3. 建立新站的流程確定,可以複製經驗

(三)、經濟效益(經濟產業促進)

無

(四)、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)

無

(五)、其它效益(科技政策管理及其他)

### 十、檢討與展望

無

### 十一、後續工作構想之重點

1. 將更詳細的流深與流速模組加入系統,產生更多元的資訊
2. 可能思考稍微將整個測站向下游移動,較接近最可能發生災害的地區





3. 對於不容易裝設大型觀測站的地區,可以裝設小型獨立型的預警設備,是可以思考的方向

十二、其他補充資料

(一)、跨部會協調或與相關計畫之配合

無

(二)、其他補充說明

無

-----  
以下欄位請於期末評核(審查)後,由主辦專家至系統考評作業填寫列印,並請單位主管簽章。

主辦專家簽章

單位主管簽章



## 附錄十四 成果報告書初稿（稿本）審查意見回覆

行政院農業委員會水土保持局

「坡地土砂觀測站效能提升規劃及資料加值分析運用」案

成果報告書初稿（稿本）審查意見

	意見	回覆
1	P1-2，缺說明參閱 110 年「坡地土砂運移歷程之觀測技術提升與監測設備校驗方法研究」計畫成果，請補充。	已經補充說明於 P1-2 最後兩段
2	圖 2.4，內容模糊，請更新；第二段內容文字分離，請確認更正。	已經遵照修改
3	P2-3，第一段標號錯誤，請更正；第五節內容文字分離，請確認更正。	已經遵照修改
4	報告書內容之所有圖名，請以圖之概要名稱表示，圖說之內容請改於段落文字中說明，請確認更正。	所有圖目錄都已經修改
5	P2-6，第六節系統開發大事件紀錄，請移至附錄。	已經移到附錄一
6	P3-4~3-5，圖 3.3 內容有錯誤符號，報告內容及方程式之文字大小不一，請依據本局報告印製標準修正。	已經遵照修改

7	P3-24，圖 3.20 內容模糊，請更新；另內容中” …..這麼大的畫素距離，土石流..” ，”畫素距離” 是否為時間間隔，請確認文字語意。	已經改為” 每一個畫素代表超過 2 公尺這樣大的巨移離。”
8	P4-9，圖 4.5 內容模糊，請更新。	已經遵照修改
9	P5-7，內容及表 5.1 之格式失調，請確認更正。	已經遵照修改
10	P5-49，內容倒數第 4 行至第 1 行，文字內容格式失調，請確認更正。	已經遵照修改
11	P5-51~5-52，內容圖號有錯置色調，請確認更正。	原圖 5-44 為錯誤圖，已經刪除，圖 5-45, 5-46 的色調錯誤已經修正
12	P6-1，現地監測資訊網頁之帳號及密碼請勿寫於報告書中，請更正。	已經刪除
13	P7-2，倒數 2 段之內容編排飄移，請確認更正。	已經遵照修改
14	期末暨成果效益報告請同步更新於報告書中。	已經更新於附錄十三
15	今年度本計畫發表之期刊或論文資訊，請於報告書中摘錄說明。	已經增加於附錄十二

16	上述意見請於成果報告書中做統一意見回復(格式同本案期末審查報告回復格式)。	已經遵照修改
17	相關須修正部分，本局已圈示於成果初稿報告書中，請配合修正，修正完成後，請同成果報告書送局。	已經遵照修改
18	內頁首頁應包含計畫編號、中英文計畫名稱、初稿、執行單位、執行期間、計畫主持人、共同主持人、協同主持人、「行政院農業委員會水土保持局 編印」、印製年月、「本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考」等。	已經遵照修改
19	書脊印刷顏色為白底加明綠色，書脊應以直式列印，依序為「局徽」、「計畫名稱」、「階段成果」、「完成年度」、「行政院農業委員會水土保持局」（如書脊厚度為3公釐以下得免印上述文字）。	已經遵照修改
20	本案每頁頁首，奇數頁註明「章名」（置於單頁之右側，加底線），偶數頁註明「計畫	已經遵照修改



	名稱」(置於雙頁之左側，加底線)，字體大小為10號字，請確認修正。	
21	目次部分：目次排列順序應為「摘要」、「Abstract」、「目次」、「表次」及「圖次」等，頁碼以羅馬數字(I、II、III…)編列，接續以計畫內容之「章次」、「參考文獻」及「附錄」，且字體應為粗體；且中英文摘要應加註關鍵詞，請確認修正。	已經遵照修改
22	本文部分：章標題字體大小應為18號字(粗體)且置中排列、節標題字體大小應為16號字(粗體)、內文字體大小應為14號字體；其內文編號位階順序為一、(一)、1、(1)、A、a。	已經遵照修改
23	本案統一編號為：SWCB-111-229，請補印於成果報告書，另成果報告書請全彩影印。	已經遵照修改