

土石流觀測站之通訊傳輸建制與儀器維護分析

方耀民

李秉乾

周天穎

逢甲大學地理資訊系統研究中心 逢甲大學土木工程學系教授 逢甲大學土地管理學系教授

博士後研究員 frankfang@gis.tw

bjlee@fcu.edu.tw

jimmy@gis.fcu.edu.tw

連惠邦

張英暉

蕭泰中

逢甲大學水利工程學系教授 逢甲大學地理資訊系統研究中心 逢甲大學地理資訊系統研究中心

hplien@fcu.edu.tw

部門經理 cindy@gis.tw

專案經理 tad@gis.tw

連榮吉

尹孝元

農委會水土保持局監測管理組科長 農委會水土保持局監測管理組技正

摘要

臺灣本島土地資源極為有限且自然環境條件特殊，地形分佈以高山為主，平地面積少，致使河川短促且湍急，山勢陡峭、地質破碎以及地震頻繁，使得山區極易產生土石流災害危急民眾生命財產安全；因此，加強土石流各相關課題之研發，以提升土石流防範能力，有其急迫性；其中，土石流觀測系統因具有即時掌握土石流發生時之流動動態，不僅有助於土石流各項學理之發展，在防災應變方面，尤能即時獲得現場變異資訊，可以大幅提升防災應變之減災避災之能力。為此，本文係對水土保持局現有之全台 13 處土石流觀測站模組化觀測系統等設備，工作重點包含加強進行水土保持局及各觀測站系統設備保養與管理維護流程、觀測平台提升調整、通訊傳輸方式軟硬體維護修正以及儀器設置損壞修復及升級等工作項目。並針對近年土石流觀測系統建置現況以及神木地區現地觀測系統所蒐集之各項觀測資訊，提供觀測儀器分析方法。

關鍵詞：土石流、監測系統、土石流觀測平台。

1. 前言

臺灣地區位處菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊碰撞之交界處，山地形勢陡峭、岩質脆弱、地震頻繁，加以颱風、梅雨等季節所帶來之集中性豪雨，常引發山區大規模之坡地土砂

災害。1999 年九二一大地震後，臺灣中部六縣市災害慘重，除平地的建物嚴重受創外，山坡地亦發生大量的土砂崩塌現象，之後又經歷 2000 年象神颱風，2001 年桃芝、納莉、利奇馬颱風，2004 年敏督利、艾利等颱風肆虐，造成北部地區、九二一重建區及花蓮部份鄉鎮崩塌及土石流災害，故加強土石流各相關課題之研發，以提升土石流預防能力，有其急迫性。

臺灣山坡地保育行政管理權責機關水土保持局與逢甲大學自 2002 年即陸續進行全島十三處土石流觀測示範站建置計畫，並於防汛期間將土石流潛勢溪流現場即時資訊整合於水土保持局土石流防災應變系統，提供各級防災單位決策參考。土石流觀測示範站依據儀器設備性質，可分為觀測儀器、通訊系統、資訊設備與電力系統等，並將於本文中就現場各項系統提出詳細說明。

2. 文獻回顧

世界各國對於土石流觀測研究已有多年成果，其中因日本、義大利、瑞士與中國大陸等地土石流發生頻率較高，因此有較為長期且廣泛之研究；而臺灣地區於九二一地震後，因地質環境驟變，每逢豪大雨極易發生土石流災情，因此近年來在國科會、水土保持局等單位的推動下，亦開始對土石流之研究投入大量人力、財力進行相關研究工作。

日本於 70 年代即開始進行土石流發生之相關研究工作，網幹壽夫(1972) [9]、瀨尾克美、橫部幸欲(1985) [17]等人即針對土石流發生與降雨參數之經驗關係式，而 Itakura et al. (1997) [21]亦利用地聲感應器來偵測土石流的發生，並成功在火山地區偵測得土石流之頻率是分佈在 30~50Hz 之間。現階段日本所建立之觀測系統包括了雨量指標以及土石流動指標兩種；雨量指標需要以當地的雨量記錄為參考依據，再配合現地的地質環境狀況，來建立雨量基準的警戒值；土石流流動指標則依據鋼索檢知器、地聲檢知器、水位計、壓力計與攝影機等設備觀測土石流流動狀態。

義大利近年也開始嘗試此方面之研究，Berti et al., (1999;2000) [18、19]則以地聲麥克風、壓力計、超音波感測器與攝影機裝設於東義大利阿爾卑斯山脈之 Dolomites 管道中，進行現地資料蒐集與監測；而 Hürlimann et al., (2003) [20]亦於瑞士境內阿爾卑斯山脈之 Schipfenbach 及 Illbach 流域架設超音波感測器、雷達儀器地聲檢知器、雨量計與攝影機，進行境內土石流現場觀測工作，惟兩者之土石流來源多為雪溶後之水土混合物，因此與臺灣地區土石流事件發生原因不甚相同。

中國大陸地區自 1965 年起，即於雲南蔣家溝流域進行土石流觀測工作，由於蔣家溝流域，位於康滇地軸東緣的大斷裂帶內，岩層破碎，新構造運動活躍，地震活動強烈。流域年降雨量在 800~1000mm 之間；乾濕分明，垂直氣候明顯。雨季為 5~10 月，降雨量占年降雨量的 85%以上；暴雨和陣雨約占年降雨量的 50%以上，暴雨中心大多出現於流域內 2500~3000m 的地帶 (吳積善等，1990) [1]。蔣家溝泥石流觀測工作的研究集中於發生規模及其危害的預測及預報兩方面。對泥石流輸沙方面的預測，主要集中於流域因數預測或者短期預測為主 (陳景武，1980、崔鵬，1992、魏永明，1997、徐弘，1995、蔣忠信，1994、劉

希林，1992) [3,4,7,10,13,16]。

臺灣地區土石流觀測系統相關觀測儀器之研發工作，經多年研究發展已有部分成果；張守陽(2000) [5]將土石流觀測儀器分為接觸式與非接觸式兩類，由於接觸式儀器(如鋼索、感應塊與荷重計等)需直接承受土石流衝擊，其損壞汰換率高，較不符合經濟效益。非接觸式儀器則以遙測方式進行觀測(如地聲、影像判識等)，不但可重複使用，應付連續發生之土石流災害，而且不會有遭被沖毀之疑慮。應用上可以依不同需求加以配套使用(張守陽，2000) [5]。劉格非(2000) [12]則將觀測儀器之預報型式分為三大類，第一類為長期(包含雨量計與土壤 EC 導電度監測儀器等)，此類型儀器需要長時間之監測，以獲得相關數據資料來加以分析預測；第二類為中期(如地聲與電磁波監測儀器等)；第三類為短期(如影像判識、鋼索、荷重計與光遮斷器等)，此類型之儀器因屬事發型觀測，故其應變時間較短，但準確度高。

在實際應用方面，如林炳森(1999) [2]於南投神木村利用鋼索、土壓計、水位計與荷重計對土石流進行觀測分析；劉格非(2000) [15]亦於同地以地聲探測器對南投神木村土石流地聲進行特性研究；張守陽(2000, 2002) [5,6]則於南投縣柔佛巴魯橋集水區對鋼索、雨量計、雨量警告器、感應塊、超音波水位計、光遮斷器、加速度檢出器、CCD 攝影機與機械視覺判識等儀器，加以整合成一套完整之土石流觀測與偵測系統，進行現地之觀測與判識；蕭泰中(2004,2005) [14,15]亦於南投縣信義鄉神木村愛玉子溪側設置攝影機、地聲檢知器、鋼索檢知器等觀測設備，並進行七二水災期間於該處肇生之土石流事件資料分析，提供日後應用單位之重要參考依據。

現今的土石流觀測系統除了採用傳統雨量計擷取雨量和時間的變化情形外，還配合了其他的先進儀器，例如地聲檢知器、鋼索檢知

器、孔隙水壓計、伸縮計、紅外線攝影機、壓力轉換器、超音波水位計等，量測土石流前或發生時之顯著因數，以提供研判土石流發生與否，或其動態性狀，即時掌握土石流的形成和發展過程。除了現場的量測儀器外，將各種量測資料即時傳回控制中心亦屬高難度的技術。受到傳輸技術的限制，過去常採用數據機(modern)透過電話線進行資料傳輸，除頻寬受限無法同時傳輸大量資料外，在土石流發生前後，電話線路經常因天候狀況和風雨因素而斷線，無法適時掌握到土石流發生時的動態資料，使得前端(現場)量測系統功能無法正常發揮，亦有必要加以改善。為此，水土保持局於2000年開始，結合逢甲大學資訊、通訊、GIS和土石流等專業團隊，建構全島十三處土石流觀測示範站，除了採用雨量計量測雨量資料外，亦將地聲檢知器、鋼索檢知器、超音波水位計、孔隙水壓計及紅外線攝影機等設備納入土石流前端觀測系統中，以偵測土石流發生前和發生時的動態規律，同時設置地面小型衛星發射/接收站，利用衛星無線傳輸方式將現場觀測資料即時、安全、真實地傳回水土保持局應變中心，提供相關權責單位作為防救災之參考，亦可提供學術單位進行研究分析，使土石流相關研究更臻成熟，以期減少土石流對國土保全與民眾安危之災損。

3. 現地觀測儀器檢測與分析

3.1 雨量計

3.1.1 理論探討

雨量計量測雨量資料的主要目的，係為能即時掌握觀測示範站在土石流發生前之雨量值，並與現地先前設定之雨量警戒值進行比較，研判土石流之發生潛能，以提前發佈土石流警戒，及早做好避難疏散的避災事宜。

依據前人研究經驗常被用來分析土石流發生之降雨特性包括降雨強度、降雨延時、累積雨量及前期降雨。而目前水土保持局所採用之土石流發生降雨警戒指標模式是以降雨強

度 I 及累積雨量 R 為警戒指標(I-R 模式)，其依據係以小時降雨強度與有效累積雨量資料推求是否抵達警戒值，為求資料及時性，系統加值計算頻率為每十分鐘推求一次。

3.1.2 分析方法

在土石流發生的三個基本條件中，對同一條土石流溝或同一個土石流區域而言，在正常情況下，地形條件可視相對性的穩定；土壤條件則需長時間的累積；但降雨條件在區域內的變化則是非常大的。因此在一定的時期內，在土壤條件及地形條件變化不大的情況下，土石流的發生及其規模大小，往往取決於流域的降雨條件。而分析雨量資料的主要目的，係為能即時掌握觀測示範站在土石流災害發生前之雨量值並作為避難疏散的參考指標依據，並將各土石流觀測站的所量測到的雨量與中央氣象局的雨量站進行對照，如表 1 所示。由雨量計取得各時段雨量資料，依照事件期間描繪出降雨總量與降雨強度圖，其具體作法茲分述如下：將傾倒式雨量計內承雨斗傾倒次數轉換為雨量深度(傾倒一次降雨量為 0.5mm)，並記錄其對應時間；原則上，雨量資料係以 10 分鐘雨量記錄為主。並與中央氣象局觀測站的雨量比較，繪製事件發生時降雨強度與累積雨量關係圖，如圖 1 所示。

表 1 中央氣象局雨量站與觀測站雨量對照表

觀測站名	流域名稱	集水區名稱	子集水區名稱	中央氣象站	流域名稱	集水區名稱	子集水區名稱	距離
白布帆	大安溪流域	大安溪	清泉橋野溪	雙崎	大安溪流域	大安溪	觀音坑	1.2km

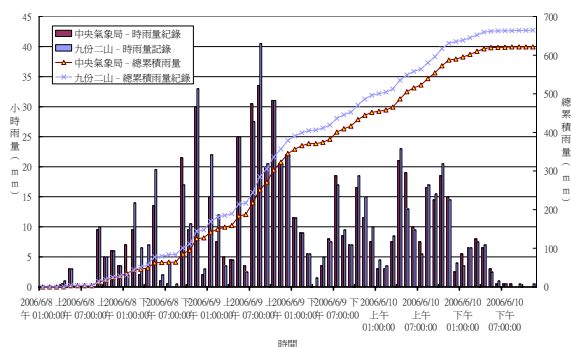


圖 1 雨量資析分析

3.1.3 檢測方法

作定期清洗保養，人工傾斗現場倒水測試以及檢視訊號線有無破損情形，其測試規範引用行政院環境保護署儀器設備規範績效查核作業規定及交通部中央氣象局基本氣象儀器校驗認定基準。檢測流程如圖 2 所示。

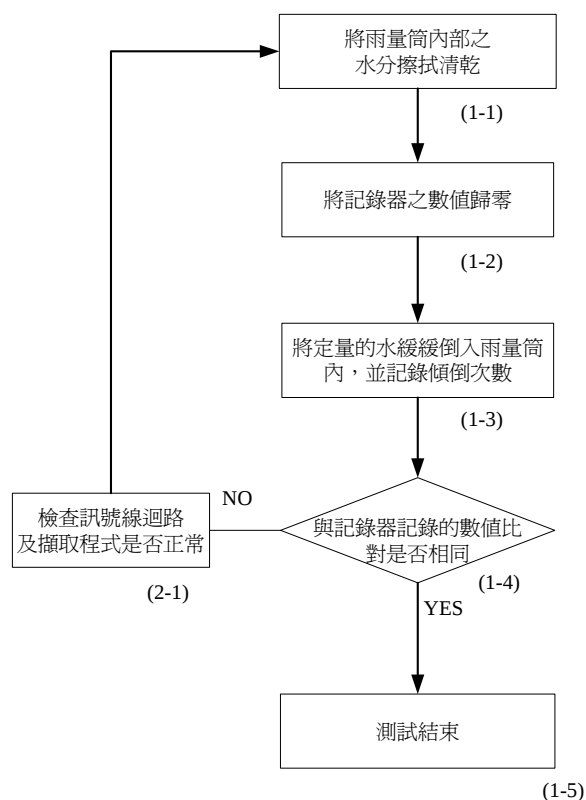


圖 2 雨量計檢測流程

3.2 地聲檢知器

3.2.1 理論探討

由於土石流是泥、砂、礫石等與水混合後受重力作用產生的流動體，因此當土石流發生時，除了會聽到巨大的低鳴聲之外，還可以感覺到地表微微的振動。此種透過地殼傳播的振動波便稱之為地聲，在日本稱之為地面振動（ground vibration）。所謂土石流地聲是將土石流看作為一個震動源，當土石流流動時，會對溝床進行侵蝕、摩擦、和碰撞，因而產生振動波。此波沿著溝床以縱向傳播，在空氣中傳播的只是其能量的一小部份，在溝床岩層中傳播的則佔其能量的大部分。其中造成地表振動最主要的原因是土石流中的巨礫撞擊底床所致，尤其土石流前端更為明顯。此乃土石流前端常呈波浪狀並有巨礫集中之現象，而其後端部分礫石及濃度均較小，故前端之撞擊力量較強而導致。

根據過去相關研究結果得知，中國學者利用壓電陶磁式地聲探測儀(1983~1985 年)於蔣家溝測得 18 場土石流地聲資料，其中屬於粘性土石流地聲頻率分佈在 25~85Hz 之間，而其顯著頻率約 50Hz；Itakura et al.(1997) [20] 測得 Nojiri River 的土石流地聲信號多數介於 20~60Hz，而劉格非及李欣輯(1999,2000) [11,12]經由室內及野外實驗結果，無論砂石粒徑之大小，其土砂相互擊產生的聲頻多分佈在 20~80Hz 之間，且以 40~60Hz 居多，因此認為土石流流動的顯著頻率大約是在 40~60Hz 左右；另外黃清哲(2005) [8]亦於豐丘地區以石頭撞擊野溪河床觀測到地聲頻率在 10~150Hz 之間，傳遞速率約為 1000m/s；而美國地質調查所 (U.S.Geological Survey) Richard G. Lahusen(1996) [23]亦認為土石流振動頻率約在 10~300Hz 之間，顯著頻率介於 30~80Hz。

為求得臺灣地區野外實際土石流特徵頻率並藉由方向分析出各方向強度及差異性，本研究之地聲檢知器(Geo Space GS-20DX 型)擷取方向分為垂直河道方向、沿河道方向及天頂方向等三軸，擷取頻率單軸為 500Hz，因此一

組地聲每一秒鐘有 1500 筆。

3.2.2 分析方法

每秒累積能量：利用地聲檢知器每一秒鐘收集 500 比資料，將這 500 比資料累加起來成為累積能量。由累積能量可以判斷是否有因土石流發生時之地表異常震動訊號，而出現最大值如圖 3。並比較不同位置的地聲檢知器之感應能量的差異，來判斷土石流發生的規模，但這會因為儀器設置環境的不同對於地表震動敏感度反應不同所影響（設置於土壤中與設置於護岸水泥結構物中）。

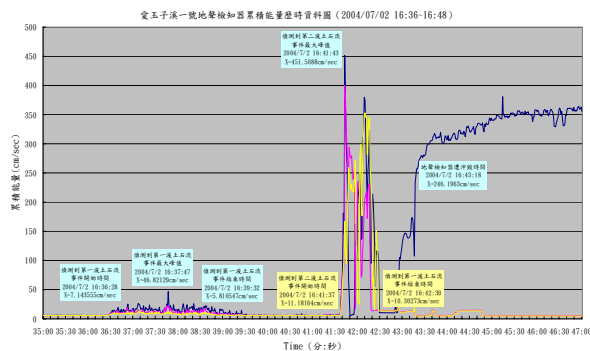


圖 3 愛玉子溪土石流事件中游地聲檢知器累積量圖 (X 軸 2004/7/2 16:36-16:48)

快速傅立葉轉換分析：依照文獻及研究成果指出，土石流流動時經由地殼傳播之振動頻率介於 30~80Hz 之間的低頻範圍，而顯著頻率約在 50Hz 左右，台大劉格非教授(2000)，研究指出土石流的種類不同，其發生時的地聲頻率也有所不同，經其研究，泥流型的土石流時地聲頻率約在 0~40Hz 間，石塊型的土石流頻率約在 40~80Hz 間，因此透過地聲頻率的分析，可以大致瞭解土石流發生的類型。

而目前，現地擷取後的地聲資料相當龐大，不可能透過衛星傳輸方式將原始資料回傳至災害應變中心，因此研擬回傳每秒累積能量作為展示之用，並蒐集現地 IPC 紀錄，將災害可能發生的時間區段資料取回，供水土保持局

所指定之研究單位做更進一步之研究分析；而一般地聲分析的範圍，採取事件時間點分析，例如鋼索斷裂時段前後各若干分鐘內的資料，將相對應時間點的地聲資料進行 FFT（快速傅立葉）分析，分析結果如圖 4 所示。

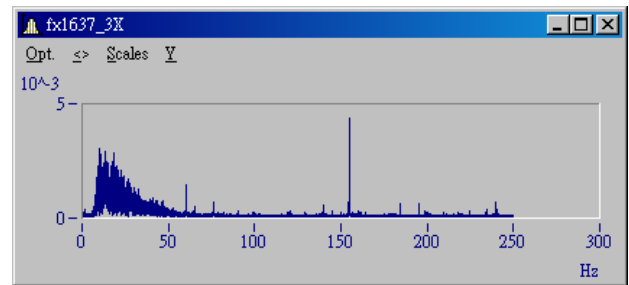


圖 4 地聲資料分析 (神木 2004/07/02 16:37 FFT 資料)

3.2.3 檢測方法

檢視訊號線有無氧化情形，測試時於地聲安裝位置附近以重物敲擊地面並檢視擷取程式接收數值是否有飆高情形。檢測流程如圖 5 所示。

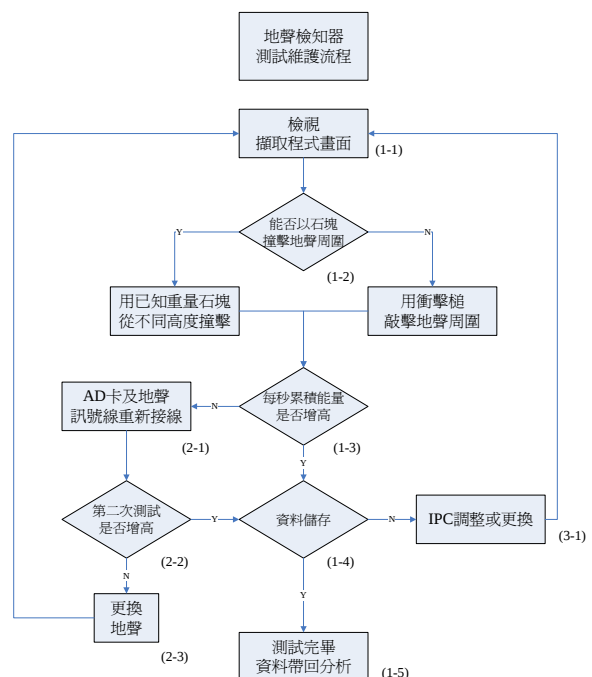


圖 5 地聲檢知器檢測流程

3.3 超音波水位計與壓力式水位計

3.3.1 理論探討

超音波水位計與壓力式水位計設置地點以防砂壩、梳子壩或潛壩溢洪口為主，超音波水位計其原理為由反射位置來進行及時計算水位高低，而當土石流發生時，能立即得到水位數值，再配合雨量數值以及壩體之通水斷面，來得知雨量與溪流流量或水位與土石流發生率之關係。

另外本研究今年度於神木觀測站同時設置壓力式水位計，規劃以超音波水位計 h ，壓力式水位計測得土石流流體壓力 p ，利用(2)式，求出土石流泥砂體積濃度 C_d 值。

$$p = [(\gamma_s - \gamma_w) C_d + \gamma_w] h \quad (1)$$

式中， γ_s = 土粒單位重量； γ_w = 清水單位重量；且 h 與 p 值為已知，故可求解土石流泥砂體積濃度 C_d 值。並可比較土石流理論泥砂體積濃度公式，即

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (2)$$

3.3.2 分析方法

透過超音波偵測河川水流高度變化資料搭配 CCD 畫面及降雨資料，可供研究單位推算該河川集水區的多項水文訊息，其分析之資料時間範圍，主要在於事件發生的前後期間，例如鋼索斷裂時間點，分析展示結果如下：

先前本團隊在分析水位資料時，曾發現超音波水位計的水位值會有飄移的現象，經過本團隊的測試及檢查，發現水位值飄移的原因，為本團隊所採用的訊號轉換器出現老化，導致超音波水位計量輸出之類比訊號在轉化的過程中發生不穩定的現象，因此已全面更換老化之訊號轉換器，避免水位值再次發生飄移現象。

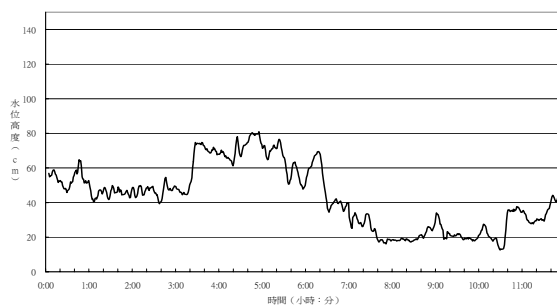


圖 6 白布帆觀測站於 2005-08-08 水位變化圖

3.3.3 檢測方法

現地人工校核超音波水位計、壓力式水位計數值，以標尺所得之數值與水位計產生之數值互相比對校正。檢測流程如圖 7 所示。

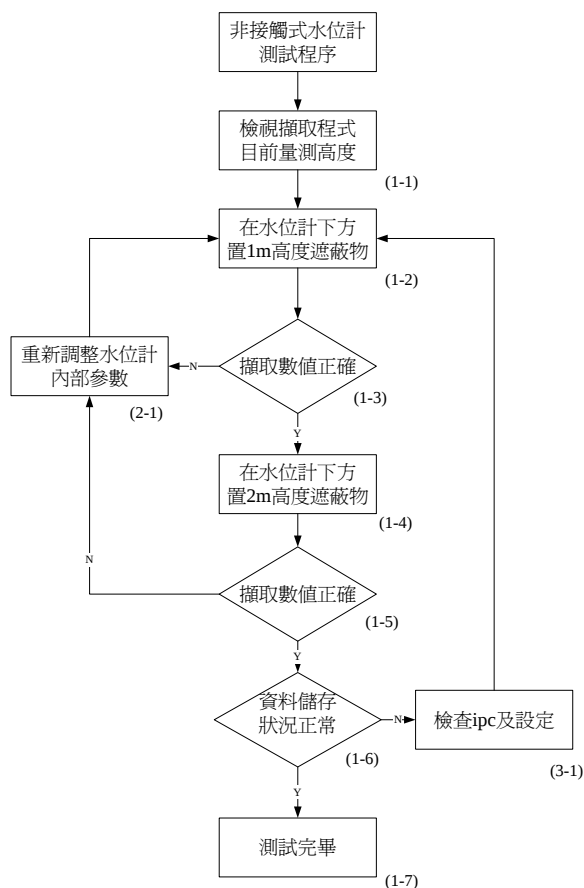


圖 7 水位計檢測流程

3.4 鋼索檢知器

3.4.1 理論探討

為一種破壞性檢測設備，利用土石流來襲

時之衝擊力造成電路斷開，因此鋼索強度需符合土石流溢頂時能立即拉斷為原則，設置地點以防砂壩、梳子壩或潛壩溢洪口為主；鋼索檢知器的量測時需配合雨量資料記錄為原則。

3.4.2 分析方法

由於鋼索在遭遇土石流後呈現斷裂的物理特性，其斷裂的時間點與當時降雨量的強度及水位的高度都有直接性的關連性，因此針對鋼索斷裂時之各別事件時段交叉比對雨量與水位的關係，甚至可援用影像資料還原鋼索斷裂時的情況，有助了解鋼索斷裂時的環境影響因子。

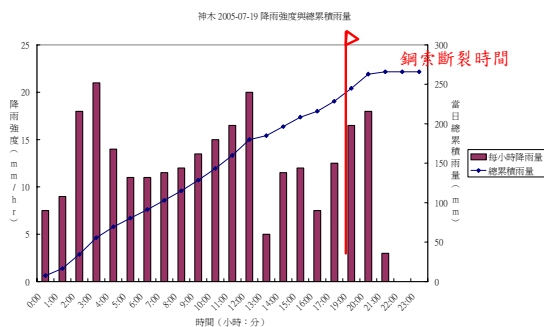


圖 8 神木觀測站鋼索斷裂與雨量交叉比對分析

3.4.3 檢測方法

檢視鋼索是否有金屬疲乏產生，將鋼索檢知器接點移開檢視接收程式是否有斷路訊號產生。檢測流程如圖 9 所示。

3.5 CCD 攝影機及輔助投射燈組

3.5.1 理論探討

本研究之影像系統依日、夜間色系的差異，分別採用彩色和黑白模式以捕捉最佳的影像(最低感光照度為 0.02Lux/54G1)，而彩色和黑白模式乃經由 CCD 攝影機自動進行切換；此外，攝影取像系統必須搭配補光裝置(可見光或紅外光)，以取得清晰的影像，並經 Video Server 將類比影像資料數位元化後，由有線

ADSL 或無線 VSAT 傳輸方式將影像傳送至資料接收中心進行處理與儲存。

由於觀測影像資料量日趨龐大，單純依靠人工進行判斷並不符合效率，因此本研究於 2004 年開始以現場觀測回傳之序列影像資料，利用影像具有之色彩、紋理、形狀等特徵，使用 Sobel 之邊緣偵測、灰階共立矩陣等方式，建立土石流事件判釋準則。

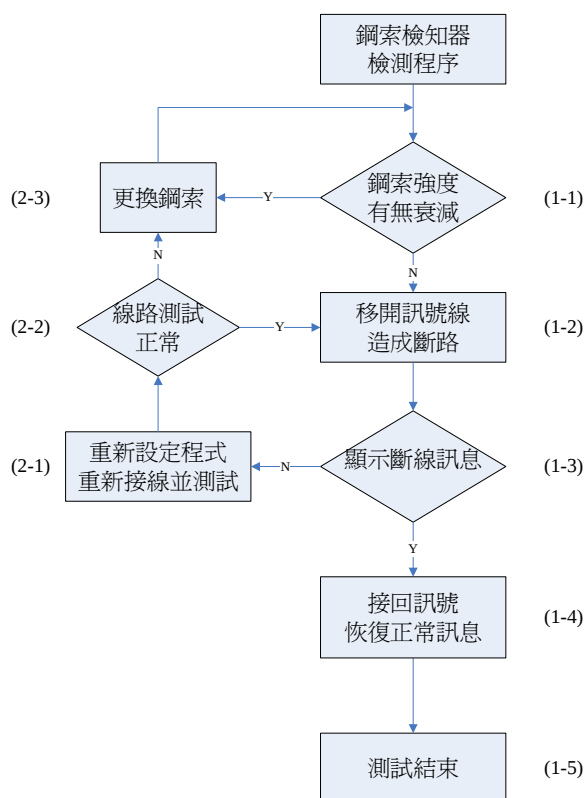


圖 9 鋼索檢知器檢測流程

3.5.2 分析方法

影像資料在土石流觀測站現場是以動態影像檔案型態儲存，並以每秒 30 張的畫面品質來呈現流暢的畫面效果，而在考慮會影響傳輸頻寬此項因素後，則採用檔案容量較小的 JPG 圖片格式，傳回災害應變中心，如圖 10 所示。針對不同的分析需要，提供影片或圖片作為辨識事件的規模及流速分析等參考驗證。



圖 10 神木村出水溪上游 CCD 回傳畫面

3.5.3 檢測方法

包含測試 ZOOM IN、ZOOM OUT、鏡頭擦拭及檢視 Cable 訊號線有無氧化之情形。檢測流程如圖 11 所示。

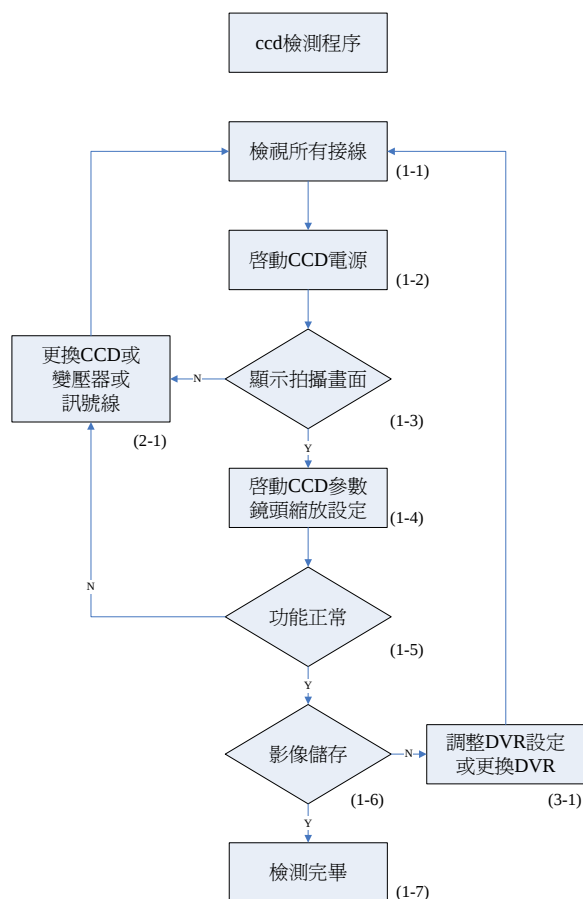


圖 11 CCD 檢測流程

4. 即時資訊紀錄與傳輸系統

土石流觀測示範站址係由水土保持局於

桃芝及納莉颱風過後所調查之 1420 條土石流潛勢溪流裡，從中挑選曾經發生大規模土石流災害之重點區域，由水土保持局與逢甲大學共同規劃，自 2002 年起，共計費時三年時間陸續完成十三處新一代之自動化土石流觀測示範站建置工作，十三處站址分別位於臺北縣瑞芳鎮大粗坑、苗栗縣卓蘭鎮內灣裏白布帆東坑、臺中縣和平鄉博愛村松鶴部落、南投縣水里鄉郡坑村二部坑、上安村三部坑、信義鄉豐丘村豐丘野溪、神木村出水溪與愛玉子溪、國姓鄉南港村九份二山(韭菜湖溪)、雲林縣古坑鄉華山村、嘉義縣阿里山鄉豐山村、花蓮縣鳳林鎮鳳義坑、光復鄉大興村及臺東市建和里射馬干坑等地，冀望能輔助災害時應變決策，掌握高潛勢地區的資訊外，也負責了蒐集臺灣本土化之土石流發生時的各項參數，提供給相關研究機構分析，擬定各項防救災警戒數值。

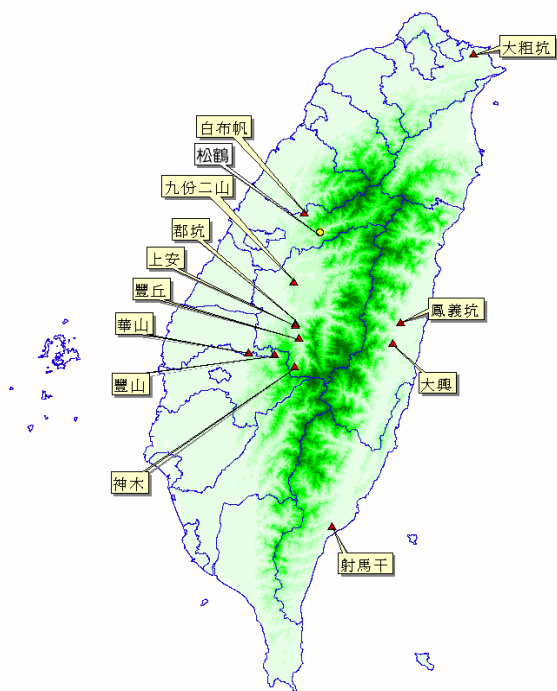


圖 12 土石流觀測系統分佈位置圖

4.1 現場觀測儀器

由於各項觀測儀器架設具有一定的基本要件與限制，設置地點的差異更是影響所得觀

測資訊品質的關鍵，故必須先行勘查現地環境，並與當地民眾進行初步的溝通，瞭解土石流可能的流路、規模、沖刷淤積地點，同時檢視紅外線攝影機有效範圍、衛星通訊環境、電力來源等，以便於評估合適的儀器安裝地點和傳輸途徑。

目前現場觀測儀器大致可分為接觸式與非接觸式兩類，為避免因土石流造成設備儀器毀損，因此儀器選定以非接觸式儀器為主，計有 CCD 攝影機，超音波水位計、地聲檢知器與雨量計等裝置，而接觸式目前僅有鋼索檢知器及壓力式水位計兩類，目前各類儀器擷取頻率與存放格式如表 2 所示。

表 2 觀測儀器擷取頻率與存放格式表

儀器種類	擷取間隔	存檔類型	副檔名	備註
CCD 攝影機	30 張／秒 (全站共用)	動態影像	VGX	該站所有 CCD 共用處理資源 (例：如該站有 2 組 CCD 則每一 CCD 以每秒 15 張記錄影像)，儲存於中端資料接收中心
	約十秒一張	靜態圖片	JPG	立即回傳後端資料庫
雨量計	1 分	文字檔	Txt	每分鐘累積雨量
地聲檢知器	500Hz/軸	二元檔	D00	
超音波水位計	1Hz	二元檔	D01	超音波水位計與壓力式水位計共用同一擷取程式
壓力式水位計				
鋼索檢知器	狀態改變時	Assess 資料庫	Mdb	

4.2 資料接收中心與通訊傳輸

配合現地觀測資料蒐集工作，於各站前端設置資料接收中心，負責蒐集及儲存現地各項觀測資料，並透過中新一號衛星或第二通訊線路立即將觀測資料傳送回水土保持局土石流災害應變中心。

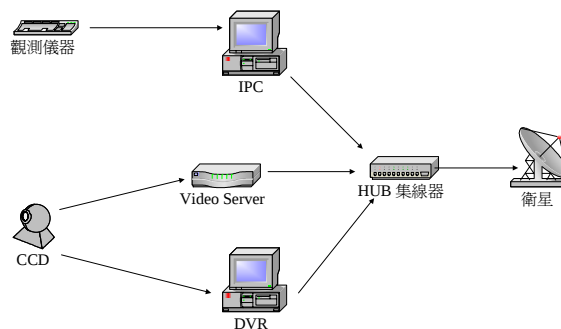


圖 13 資料接收中心任務示意圖

第一通訊線路：土石流觀測第一通訊傳輸線路以衛星通訊為主，基於衛星通訊具有涵蓋區域廣、單點對多點等其他有線、無線通信難以比擬的特點，其用途廣泛不似現有細胞式行動電話無法延伸至高山、僻野，因具有較寬的頻帶與全面覆蓋的優點，可有效提升與整合觀測資料傳輸品質。

第二通訊線路：為使土石流觀測資料在衛星通訊中斷時，亦能提供另外傳輸方式將資料傳回土石流災害應變中心，依據現場通訊許可狀況，分別以 ADSL、GSM、GPRS 或 PSTN 等相關網路做為資料傳輸備援系統。

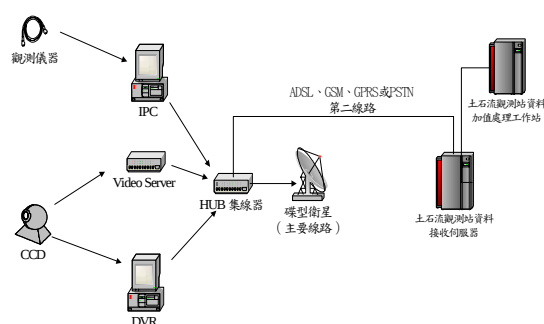


圖 14 土石流觀測站通訊傳輸系統架構圖

4.3 防災應變系統

土石流防災應變系統中，負責蒐集及展示各處土石流現地觀測系統即時資訊，並同時整合中央氣象局觀測及預報資料，將可提供土石流應變小組更多現場的參考資訊，提升現場應變的決策參考，應變系統硬體整合架構如圖

15 所示。

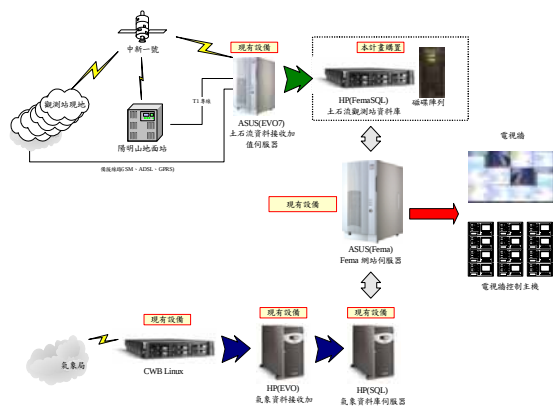


圖 15 土石流災害應變中心硬體架構圖

另為增加觀測資料提供的機動性，土石流資訊防災應變系統亦建置行動版，提供災害應變小組指揮官、輪值人員於戶外透過行動通訊裝置，隨時掌握最新土石流災情資訊。



圖 16 行動式土石流資訊防災應變系統裝置

5. 觀測資料供應平台建置工作

為建立台灣地區土石流災害防治工作研究能量及充分使用土石流觀測站現場觀測資料，水土保持局希望藉由開放申請，提供現場觀測資料，建立台灣地區於土石流防治研究工作上的地位，因此設置土石流事件現場觀測資料供應平台並規劃其下載機制。

5.1 資料供應平台運作流程規劃及架構

資料供應平台規劃，由政府機關或學術單位團隊於學術研究用途上需使用水土保持局現地觀測資料時，透過資料供應平台提出資料申請，勾選欲申請資料範圍後填寫申請基本資料及資料用途，水土保持局相關負責人員將接

獲資料申請通知，負責人員將依水土保持局資料供應辦法之申請規範進行申請審查，並將審查結果通知申請人，針對核可之申請，於核可後即將申請之資料上傳至伺服器內，供申請單位下載。

本資料供應平台架構規劃分為資料申請、申請審查查詢及平台管理等三項功能，整個供應平台的運作流程如圖 17 所示。

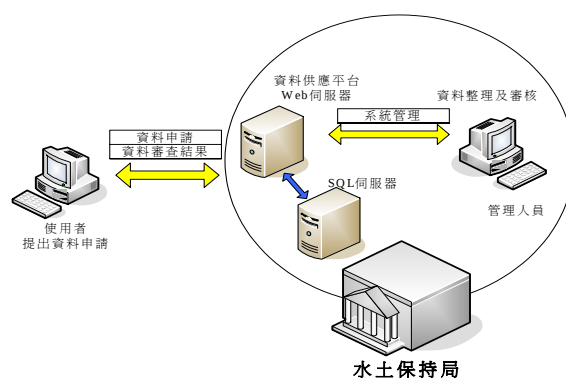


圖 17 資料供應平台運作流程

5.2 資料供應平台建置

供應平台採用 ASP 網頁技術進行資料申請及管理頁面開發，透過互動式的頁面，提供方便性的資料申請手續，本供應平台設有一個入口網站頁面，供資料申請單位及水土保持局相關管理人員統一之入口。透過資料申請、申請審查查詢及平台管理等三項介面，建立成平台入口頁面選項，資料供應平台入口頁面設計成果如圖 18 示。



圖 18 資料供應平台入口頁面

5.3 平台運作流程

經由申請單位提出資料申請後，由水土保持局人員審查申請，決定是否核可申請者的資料申請，整體資料申請審查運作流程如下：

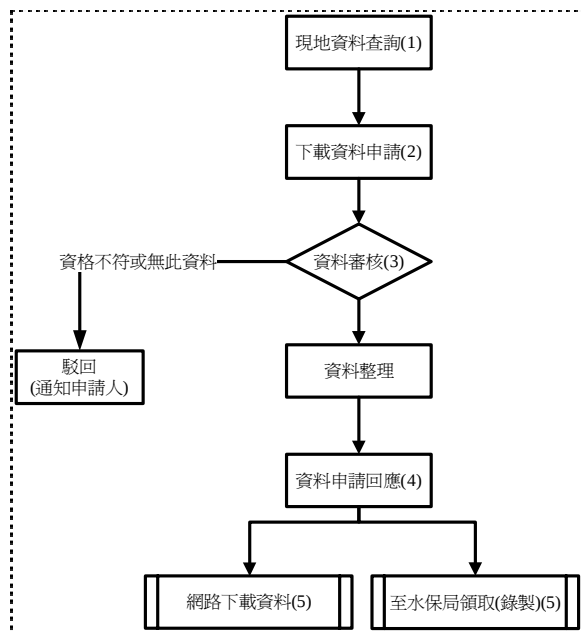


圖 19 土石流現場觀測資料供應平台運作流程

6. 資料擷取結構化調整與校正

土石流觀測系統的運作是持續不斷地，如何確保系統的穩定性及資料擷取的正確性，才能使系統能正常運轉，因此需對觀測運作平台不斷的測試調整與校正，才能提升系統的穩定性與降低不穩定之外在因素，使整個觀測系統更具完整性。就觀測系統程式測試、修正與整合工作方面及模組化系統資料接收與展示系統規劃工作將敘述說明如後：

6.1 前端觀測儀器部分

由於大部分擷取設備屬於類比式的（如地聲檢知器、超音波水位計、壓力式水位計、流速計等）相同擷取設備出廠值會有所差異。所以當有設備損壞時，採購新設備後，安裝前必須經過測試與校準的工作，才能夠安裝於觀測站。若有擷取設備本身輸出功率太小必須加裝

訊號放大器，必需將設備與放大器一起做測試調整，如其中一個損壞必須經過兩者一起做校正的工作。

安裝於現地之後每站之環境皆不相同，依據訊號線路長度，訊號衰減，有時在擷取設備與 AD 擷取卡所測得的數值與實際現地的數值會有稍許差異，這時必須再經過擷取程式將數值轉換或擷取設備本身可調整的設定去作微調的工作。

由於科技的發展，新的產品不斷被研發出來，本研究將嘗試使用不同的新產品，希望有更好品質，以期節省設備成本以減少在觀測站惡劣的環境下，儀器運作的精確性及穩定性，在做新產品的選擇中主要考量穩定性，適用性、可調整性、整合性、經濟性，開發程式的難易度，這六個因素。每一種產品必須做長時間的測試，為其開發軟體，再經過現地一段時間的運作，對環境其的影響與其他儀器是否能夠整合會不會有衝突。

6.2 中後端資料接收部分

由於觀測站設備的愈趨多樣化，各種設備的資料接收勢必需要一個穩定的伺服器軟體來運作，接收程式的演化分三個階段：最早期以 HTTP 接收資料，這種方法的嚴重缺點是無法保證擷取的資料是完整的。次一代的作法採用的是保證資料能完整存取的 WinSocket 模式，這種整體性的改變一次提昇了資料傳輸的可信賴度。

本研究除了延續之前採用的 WinSocket 傳輸模式，更在傳輸的 Server/Client 架構上做了提昇，主要分成幾個方面：

6.2.1 傳輸介面自動導向：

在早期的時候，假設衛星不通，則需要經過人為的測試，在確定是衛星問題後，經路由調整成 ADSL 傳輸，這樣的方式一來不具備時效性，二來維護人員也相當疲於奔命。關鍵的

問題在於衛星很多時候是短暫失能，有時候在檢測的同時，衛星又恢復運作，這種情況會演變成維護人員無法隨時以高度的精神去處理這種情況。

為處理上述情況，本架構採用自動導向的組態偵測系統，自動切換衛星與 ADSL 的傳輸，一般狀態下，server 與 client 透過衛星聯絡資料，一旦之間的聯繫間段，程式會給予一段三分鐘的緩衝期（判斷是否僅為瞬斷狀況），當緩衝時間經過，本程式經由自動組態偵測，將 socket 連線自動導向 ADSL 介面上，嘗試利用 ADSL 繼續傳輸資料。相反地，當 ADSL 連線碰到中斷的情況，本程式亦會自動嘗試以衛星設備進行通訊。

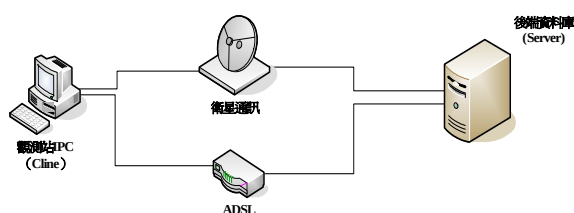


圖 20 傳輸自動導向

6.2.2 伺服器監控端實作：

在伺服器同時接收來自於十多個站台的觀測資料時，偶爾會導致無法經由程式排除的掛機問題，在先前的經驗中，我們發現造成伺服器不穩定的情況可能有：

衛星傳輸的中斷：當衛星傳輸中斷的同時，伺服器會於預先定義好的時間切片內嘗試繼續接收資料，由於伺服器必須將接收到的資料作記憶體配置，並回存到硬碟中，這種情況在很偶然的狀況下會導致所配置的記憶體無法如期釋放，因為該釋放的動作於程式正常接收後執行。

硬體設備的損壞：觀測站設備由於暴露於外，多樣設備在長年風吹日曬使用後，總有無法持續運作時刻，以致於在伺服器嘗試接收資料的時候，對一個已經損毀的設備進行資料的

接收，無異於緣木求魚。在這種情況下，伺服器亦有可能造成不穩定的掛機狀況。

在本研究實作的伺服器監控端就是為了解決上述偶發問題，我們希望的是資料接收伺服器能經年累月運作，甚至在長達一年以上無人看管的情況下仍可正常運作。該監控端會對伺服器進行運作上的保護，當伺服器無法正常運行的同時，監控端會選擇於適當的時機進行伺服器的重置。

資料接收同步化機制：以往資料的接收方式採用一分鐘接收一次的方式進行，程式會使用一個計數器做倒數，當時間到的時候就會開始擷取該分鐘內的資料，這種方式乍看之下並沒有缺點，然而在傳輸不穩定的情況下，有可能傳輸時間會越過該分鐘切片內的時間，該問題在於，現地資料接收的時間，與伺服器回寫的時間，已經屬於不同分鐘，以致於同一分鐘會收到兩筆資料，實際上其中一筆是上一分鐘的資料。

我們無法克服衛星不穩定的問題，只能從軟體方面進一步改進，採用的就是資料接收同步化的機制，雖然我們同樣採用一分鐘接收一筆的模式，但程式保證會於每分鐘的第一秒開始發出接收訊息，這樣的好處就是，資料傳輸整整有一分鐘的容錯時間，在以往程式有可能從實際時間的任何一秒發出傳輸指令（不論從哪一秒開始，都會配屬於某一分鐘），現在基於時間同步化的優點，如此一來可以大大降低上述的問題。

6.3 展示頁面

水土保持局土石流災害應變小組即時資訊接收、整合及展示、測試與修正，土石流觀測系統不斷進行資料的傳送，後端累積非常大量資料，為能維持系統正常運作，本團隊按時進行程式的檢測管理，維護資料庫或修改各項程式，並配合水土保持局的指示進行程式的修改與測試。本研究為提升觀測展示平台功能，

規劃展示系統控管機制，開發後端管理模組，以最簡捷的介面及操作模式，作即時影像接收服務設定，使觀測展示平台功能更趨完整。

6.3.1 展示系統單站 CCD 顯示設定

各站示意圖 CCD 影像播放，若因災害或其他原因須移除，本系統提供一設定介面可設定隱藏，再修復後再設定顯示如圖 21 所示。



圖 21 白布帆示意圖

6.3.2 展示系統單站地聲顯示設定

各觀測站地聲檢知器，常因通訊中斷或儀器毀損造成無資料或資料異常，展示系統為排除異常顯示狀況，後端管理系統中提供地聲顯示及設定，圖 22 為以郡坑站示範。



圖 22 郡坑站示意圖

6.3.3 展示系統單站鋼索顯示設定

各觀測站鋼索檢知器警戒狀態展示，若現場實際狀況為毀損、斷裂或鋼索已經修復，但

因通訊中斷資料無法傳回，展示系統將無法即時顯示現地鋼索狀況，為因應此狀況後端管理系統中提供鋼索顯示及設定處理此狀況，以白布帆鋼索做示範，若白布帆現地鋼索已斷裂，開啟鋼索設定介面設定警戒及斷裂時間，展示系統會呈現警戒狀態且依據後端管理系統設定之斷裂時間作顯示如圖 23 所示。



圖 23 白布帆示意圖

6.3.4 展示系統單站雨量計顯示設定

後端管理系統同樣也提供雨量計設定，控管雨量計檢視與警戒狀態如圖 24 所示。



圖 24 白布帆示意圖

6.3.5 展示系統單站水位計顯示設定

各觀測站水位計展示，若因通訊中斷或儀器毀損，展示系統為實際呈現示範站中儀器運作，後端管理系統中提供水位計顯示及設定，圖 25 為以神木站示範。



圖 25 神木站示意圖

7. 通訊傳輸方式軟硬體維護及修正工作

水土保持局(含各工程所)電腦數量眾多，網路系統相對龐大，觀測站資料傳輸亦牽涉各種網路技術、資訊架構等因素。若於後端發現觀測站資料無法正常接收，一方面即刻回報水土保持局，同時進行網路、設備等障礙排除，如涉及水土保持局其它相關網路資訊系統，則由水土保持局協調廠商共同協助處理，如需修正觀測系統之網管設定，本研究團隊亦配合進行修改，以維持系統正常運作。

目前運作中土石流觀測系統涵蓋前端網路、中端衛星網路或備援無線網路及後端水土保持局內部高速網路，由於土石流觀測資訊亦分享於網際網路上，同時牽涉到對外網路及備援系統，每一網路環節環環相扣、甚為綿密，期間亦通過數層路由器、交換器及防火牆，每一網路設備設定皆影響上、下層運作方式，需隨時與水土保持局網管人員及廠商駐點工程人員互相了解現況，以維持網路正常運作，任一方變更或修改設定需立即知會相關設備保管、管理人，並通報土石流觀測系統業管人員以掌握最新情況。

7.1 主要傳輸

衛星通訊無天候及地域之限制，各觀測站成立以來皆以衛星通訊為主要傳輸方式，現地資料收集則全年每日 24 小時持續傳輸，相較

於其他單位、系統將衛星傳輸當做備援系統，觀測站相關之衛星軟、硬體設備故障機率偏高。

既有衛星傳輸為向中華電信承租之 VSAT 系統，中華電信於二年前因當時 Sky Star VSAT 系統頻寬滿載，將觀測站 VSAT 系統改為泰國 IP Star 系統，在這二年泰國原廠一直未將此套系統技術移轉至中華電信衛星事業處，陽明山衛星地面站僅能監控通信狀況，問題排除仍需透過泰國原廠協助處理，而 IP Star VSAT 設計有上、下傳集縮比例約為 1:7，但觀測需求現地端的上傳遠大於下載，常導致衛星 IDU 需重新開機方能繼續使用，加上泰國及中華電信衛星事業處無法立即解決前端維護人員發現之衛星中斷問題，致現有衛星傳輸顯得妥善率不高。

九份二山一站於本年度開始即時常遇到衛星線路中斷情況，偶採用 PSTN 撥接方式暫時讓後端應變系統仍可與現地保持網路通聯，另已於 95 年 7 月初委託花木修剪公司修剪山頂的樹木，但效果仍有限，經由中華電信衛星事業處現地探勘後，儀器量測之訊號值與建置當年相去不遠，因 IP Star 之訊號漂移容忍度較前版 Sky Star 嚴謹，加上衰退之影響導致九份二山站衛星不堪使用(目前九份二山已建置 ADSL 備援線路)。

有鑑於上述各項 IP Star 衛星通訊衍生之妥善率問題，中華電信於 95 年 6 月重新招標購置新款衛星系統，並於 8 月份由美國 i-Direct 廠商得標，此套新 VSAT 系統解決既有 IDU 無法承受高溫、上下載傳輸集縮比例、技術移轉等問題，中華電信衛星事業處宣稱可以改善既有 IP Star 系統的穩定性。9 月份起中華電信即進行新款 i-Direct VSAT 測試，期間因陽明山地面站需配合進行系統移轉，致現地各站陸續出現衛星傳輸不穩定之狀況，經回報陽明山衛星地面站有部分觀測站已恢復例行傳輸，惟部份站陽明山衛星地面站回覆因舊款 IP Star

已與泰國原廠無繼續進行維護計畫，致斷線問題無法立即獲得解決。

新款 i-Direct VSAT 目前設備已抵台灣，但仍在海關等待驗收放行，中華電信預計於 11 月底開始進行各站新款 VSAT 設備更換，採逐站汰換設備、現場與陽明山聯測確認通聯無誤後即可正常上線。更換設備涵蓋 ODU、IDU，其餘設備可沿用，所有網路架構不變，IP 網段依舊，降低系統轉換 Downtime。

7.2 備援傳輸

為避免主要衛星傳輸因硬體或無法掌握之因素導致觀測資料無法回傳，95 年起進行各觀測站有線傳輸之評估計畫，並與中華電信各地工程人員現場探勘可行性，並將結果回報水土保持局並陸續於「白布帆」、「郡坑」、「上安」、「九份二山」、「豐山」等站申請架設 ADSL 有線傳輸，而「華山」、「鳳義坑」、「射馬干」、「大興」等站因設站之初已有線路可申請，目前僅「松鶴」需等待中華電信增設電信箱及電信桿後即可申裝。

採用 ADSL 線路各站亦保有既有衛星傳輸功能，因衛星及 ADSL 分別為不同之 IP 網段，透過網段可區分所走線路為何，直接於後端更改接收設定即可。

7.3 其他通訊方式

7.3.1 802.11b、g：

IEEE 802.11b 是由一個名為“無線乙太網相容聯盟”（Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA）的組織所發佈的業界術語，中文譯為“無線相容認證”。它是一種短程無線傳輸技術，能夠在數百英尺範圍內支持互聯網接入的無線電信號。隨著技術的發展，以及 IEEE 802.11a 及 IEEE 802.11g 等標準的出現，現在 IEEE 802.11 這個標準已被統稱為 Wi-Fi。

採用不同標準的無線網路，會使用不同的

頻譜，所支援的最高傳輸速度也會不同，更不保證兼容。所以用戶在選購用戶端接收裝置時，亦應注意到該裝置和相連之無線網路在傳輸規格上的兼容性。

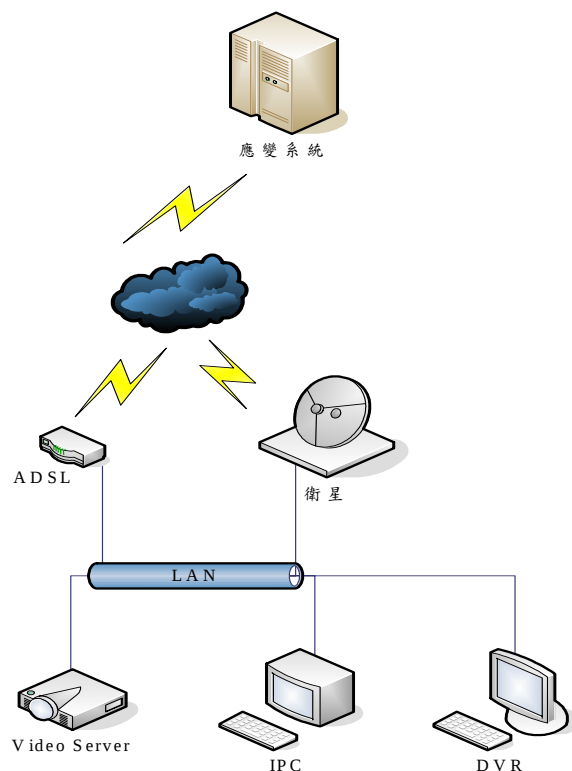


圖 26 有線、無線傳輸架構圖

表 3 IEEE 系列無線通訊比較表

項目 \ 規格名稱	802.11b	802.11a	802.11g
標準批准時間	1999 年 7 月	1999 年 7 月	2003 年 6 月
運作頻譜	2.4GHz	5 GHz	2.4GHz
最高傳輸速度	11Mbps	54Mbps	54Mbps
優點	低成本	可同時使用多個頻道以加快傳輸速度、電波不易受干擾	兼容 802.11b
缺點	電波易受干擾、速度較緩	覆蓋範圍小、與 802.11b / g	電波易受干擾

	慢	都不相容	
--	---	------	--

從以上表比較可見 802.11b 及 802.11g 都使用 2.4GHz 的公用頻譜，所以可以互相兼容使用，但由於 802.11a 使用了 5GHz 的公用頻譜，所以與其餘兩者不可兼容。目前來說，由於低成本的緣故，802.11b 標準最為普及。雖然 802.11a 及 802.11g 的最高傳輸速度皆為 54Mbps，但由於前者使用的 5GHz 頻譜目前干擾較少，所以實際的傳輸速度會較快。目前各站皆位居偏遠山區，若要從現地以微波傳回最近可申裝有線傳輸之位置，除花東「鳳義坑」、「射馬干」、「大興」三站外尚無可目視之直線距離可達，若要架設中繼站則牽涉電源、土地及中繼站數量等問題，故微波傳輸上無法適用各站情況。

7.3.2 3G：

3G 是英文--Three Generation 的縮寫，其傳輸速率可以到 2Mbps，但這僅在室內環境，且使用者不移動的情況下勉強可以辦到，384kbps 是室外環境步行使用者(移動速度小於 5km/hr)可以達到，128kbps/144kbps 是慢速移動(市區移動速度，大約小於 60km/hr)中的車輛可以達到，64kbps 則是高速移動中的車輛(移動速度大於 60km/hr)。目前 3G 無線傳輸已是目前商務人士在外進行行動辦公室的主要傳輸介面，各電信業者亦加強設置 3G 基地台，但主要仍集中在市區，偏遠地區幾乎沒有 3G 訊號，目前各佔現地 3G 訊號亦然，短時間無法作為無線傳輸。

7.3.3 GPRS：

GPRS 是 General Packer Radio Service 的英文縮寫，中文是『整合封包無線電服務』，為原有電話系統 GSM 的升級版，理論上它的傳輸速率最快為 128Kbps，目前實際上架構在現有的 GSM (2G) 平台上的 GPRS (2.5G)

提供的服務傳輸速率為 115Kbps，可以傳送文字以及圖檔，GPRS 透過封包傳輸，使得資料傳輸更有效率，比 2G 傳輸速率快，但是比不上 3G，一般認為這是一種由窄頻過渡到寬頻的中間技術。

GPRS 隨 GSM 普及其訊號亦跟著提高涵蓋率，幾乎有 GSM 訊號就可用 GPRS 傳輸，目前測試過「松鶴」及「白布帆」用 GPRS 訊號傳輸，但前者因訊號僅一半強度，若關上儀器屋鐵門將再度降低品質，上傳傳輸速度約為 20kb/s 左右，中華電信建議可加裝微細胞強波器於儀器屋頂，此舉容易讓當地居民有洩波之虞。另一問題為 GPRS 採非固定 IP，斷線後撥接其 IP 必定改變，後端接收需同時更改設定，方能正確接資料。經實地測試，各站 GPRS 及 3G 訊號請參考下圖訊號顯示。

7.3.4 數據專線

目前「大粗坑」、「神木」、「豐丘」等站尚無 ADSL 或因地形因素無法採用微波傳輸方式替代衛星線路，其中「神木」站鄰近神木國小，經評估可與神木國小共用其專屬之光纖學術網路，透過 Internet 與後端應變中心連線，作為衛星線路替代方案。其餘「大粗坑」、「豐丘」二站，中華電信評估僅可採數據專線模式，以 64K 頻寬連網 HINET，但此二站地處偏遠，易因沿路土石鬆落而讓數據專線中斷。

7.3.5 通訊比較

目前主流通訊方式眾多，每一通訊方式其穩定度、限制及費用各有不同，綜合比較如表 4 所示：

表 4 通訊方式綜合比較表

	連線速度	氣候穩定度	限制
中華電信 VSAT 衛星	256K	佳	建置無地形限制，惟系統維護及技術受限於泰國，穩定度大受影響

ADSL 固定制	1M/64K- 12M/1M	尚可	與電信機房距離 2.5km 以 內。
數據專 線	512K	尚可	偏遠地須需與固網業者洽談
PSTN	33.6K	尚可	需有固網業者電話線路
GPRS	48K	尚可	附近須有 GSM 基地台訊號
GSM	9.6K	尚可	附近須有 GSM 基地台訊號

8. 結論

目前本研究已成功建置臺灣地區 13 處土石流高危險地區之現地觀測系統，並多次成功透過衛星通訊立即將各地土砂災害、現場觀測資料傳送回土石流災害應變中心，提供政府單位決策參考外，並藉由多元化及多尺度之現場觀測儀器測得臺灣地區土石流事件之現場觀測資料。至於土石流觀測儀器、通訊系統、資訊設備與電力系統部分，本研究在理論與實際應用上已趨成熟，並可提供相關研究單位與其他政府單位參考。

在觀測系統通訊傳輸強化的部分，為建立更穩定之觀測站備援通訊系統，日前已委請中華電信新架設完成白布帆、上安、郡坑、豐山及九份二山等五站 ADSL 線路，並自行採購與安裝 IP 分享器，以便於與各項設備進行銜接工作，加上先前已申請完成之華山、鳳義坑、射馬干及大興等四站，截至目前為止全臺 13 站目前已有 9 站完成 ADSL 架設工作，本工作對於觀測站大資料量之通訊交換機制，提供了更穩定之通訊管道。

參考文獻

[1] 吳積善、康志成、田達權，”雲南蔣家溝泥石流觀測研究”，北京，**科學出版社**，pp.156~164 (1990)。

- [2] 林炳森，”土石流觀測儀器種類與設置地點之研究 (I)”，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (計畫編號：NSC-89-2625-Z-005-007)，第 45-55 頁，(1999)。
- [3] 徐弘，”泥石流鬆散固體物質臨界集聚量估算模型研究”，西南交通大學學報，30(2)，第 212~217 頁 (1995)。
- [4] 崔鵬，”區域泥石流活動性的灰色預測”，水土保持學報 (中國)，6 (3)，第 59~65 頁 (1992)。
- [5] 張守陽，”土石流偵測方法之研究”，第二屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會，(2000)。
- [6] 張守陽，”機械視覺監測土石流發生之研究”，臺北：行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (計畫編號：NSC-90-2627-Z-027-001)，第 1-62 頁，(2002)。
- [7] 陳景武，”雲南東川蔣家溝泥石流暴發與暴雨關係的初步分析”，全國泥石流學術會議論文集，成都，第 93~99 頁 (1980)。
- [8] 黃清哲、葉智惠、尹孝元、王晉倫，”地聲探測器應用於土石流監測之研究”，中華水土保持學報，36(1)：39-53，(2005)。
- [9] 網幹壽夫，”集中豪雨とつサ土斜面の崩壊”，施工技術，5(11):45 (1972)。
- [10] 劉希林，”灰色災變模型在蔣家溝泥石流年輸沙量短期預測中的應用”，山地研究，10(1),第 57-61 頁 (1992)。
- [11] 劉格非、李欣輯，”地聲探測器之初步研究”，第二屆土石流研討會論文集，pp.84~93. (1999)。
- [12] 劉格非、李欣輯，”地聲探測器之應用”，第二屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會，pp.161~169，(2000)。
- [13] 蔣忠信，”泥石流固體物質儲量變化的定量預測”，山地研究，12 (3)，第 155~162

- 頁 (1994)。
- [14] 蕭泰中、張英暉、李秉乾、周天穎、連惠邦，”土石流現場觀測系統”，第廿三屆測量學術及應用研討會論文集，第 803-810 頁，(2004)。
- [15] 蕭泰中、張英暉、李秉乾、周天穎、連惠邦，”自動化土石流觀測系統建置成果”，2005 年國際生態工程及水利技術研討會論文集 Vol. 2，第 273-288 頁，(2005)。
- [16] 魏永明，謝又予，”降雨型泥石流 (水石流) 預報模型研究”，自然災害學報，6(4): 第 48-53 頁 (1997)。
- [17] 瀨尾克美、橫部幸欲，”土砂災害降雨量之研究”，新砂防，第 108 期，pp.14~18 (1985)。
- [18] Berti, M., Genevois R., La Husen R., Simoni A., and Tecca P.R., ”Debris Flow Monitoring in the Acquabona Watershed on the Dolomites (Italian Alps),” Physics and Chemistry of the Earth(B), Vol.25, No.9,pp.707-715 (2000).
- [19] Berti, M., Genevois R., Simoni A., and Tecca P.R.,”Field observations of a debris flow event in the Dolomites,” Geomorphology, Vol.29, No.3-4, pp.265-274 (1999).
- [20] Hürlimann M., Rickenmann D., and Graf C.,”Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps,” Canadian Geotechnical Journal. 40:161-175 (2003).
- [21] Itakura, Y., N. Kamei, J. I. Takahama, and Y. Nowa,”Real time estimation of discharge of debris flow by an acoustic sensor,”14th IMEKO world Congress, New Measurements – Challenges and Visions, Tampere, Finland, Vol. XA, pp.127-131 (1997).
- [22] Itakura, Y., Y. Koga, J. I. Takahama, and Y. Nowa,”Acoustic detection sensor for debris flow,” The First Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, San Francisco, U.S.A., pp.747-756(1997).
- [23] Richard G. Lahusen,”Detecting Debris Flows Using Ground Vibrations,” USGS Fact Sheet., pp.236-296(1996).