

宜蘭寒溪土砂觀測、預警及分析暨耗材化設備研發

林秉賢¹ 黃奕璋² 連惠邦³

摘要 宜蘭縣寒溪村為土砂災害好發區域，本團隊自 2011 年起陸續於此地區建置觀測儀器有攝影機、水位計、土壤含水量計、傾斜計、位移計、地聲檢知器、鋼索檢知器，搭配無線電傳輸及太陽能供電系統，可提供即時土砂災害監測及預警；此外亦蒐集該區 DEM、土地利用、土壤、及地質圖層，並由無人載具取得並製作河道細部 DSM，配合現地資料搭配相關分析方法與模式，用以研判土砂崩塌潛勢及運移特性；並研發低成本低耗能之耗材化傾斜計、位移計，期能擴大偵測範圍並降低防災成本。

關鍵詞：寒溪村、土砂災害、崩塌潛勢、土砂運移、耗材化

Sediment Observation, Prediction, Analysis, and Development of Expendable Equipment in Hanxi Village

Bing-Sian Lin¹ Yi-Jhang Huang² Hui-Pang Lien³

ABSTRACT Hanxi Village is the area where prone to sediment disaster in Yilan County. We have installed the equipment of observation such as the camera, the water level sensor, the soil moisture sensor, the clinometer, the displacement meter, the geophone, and the wire sensor since 2011. These sensors can supply real-time observation and warning of sediment disaster by radio transmissions and solar energy system. Furthermore, we collect the DEM, land-use, soil and geological layers in the area, and produce the DSM in detail by the UAV. After that, we can deal these data with analysis method and model to research the failure potential and sediment movement. Finally, we are developing the cheaper, expendable clinometer and displacement meter with low power consumption to expand observed area and reduce the cost of disaster prevention in expectation.

Key words : Hanxi Village, failure potential, sediment transport, expendable

一、前言

宜蘭縣大同鄉寒溪村於民國 86 年安珀颱風、99 年梅姬颱風均發生嚴重坡地坍塌，進而引發土石流災害，故本團隊於 100 年後陸續於此區域建置土石流觀測站用以預警保全對象，並於通訊及電力受限之環境條件下，發展出以無線電資料系統(RDS, Radio Data

¹ 逢甲大學水利工程與資源保育學系助理教授

Assistant Professor, Dept. of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan

² 逢甲大學營建及防災研究中心助理研究員

Assistant Researcher, F.C.U. Construction and Disaster-Prevention Research Center, Taichung 407, Taiwan

³ 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

Professor, Dept. of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan

System)及太陽能供電系統(Solar Energy System)為主之機動式觀測站，有別於傳統固定式儀器屋受限於電力及通訊無法廣佈及延伸觀測點，本觀測系統具有易延伸、易佈建、電力自主之優點，未來更將朝向耗材化設備發展，可大幅降低設備於土砂災害中損壞之成本。

二、研究區域概述

宜蘭縣大同鄉寒溪村位於蘭陽平原南端羅東溪上游番社坑溪之溪畔，海拔高程約 250 公尺，住民以泰雅族南澳群為主，涵括寒溪社、四方林社、小南社、大元社、古魯社等五大部落。番社坑溪集水區面積約 4,319.64 公頃，上游西南端大元山海拔 1,489 公尺、南端有 1,066 公尺之番社坑山及西南西端有 978 公尺之古魯山。區內主要支流包括宜縣 DF085 及宜縣 DF086 兩條土石流潛勢溪流、出水溪，淋漓坑野溪及兩條無名野溪等六條。本集水區周邊山坡陡峻，邊坡平均坡度約 40%，屬四級坡，集水區主要道路為縣道宜 33。

三、設備佈建

本計畫區隸屬於羅東溪集水區上游，可依分水嶺再細分為出水溪、番社坑溪與寒溪(DF085)三處小集水區如圖 1 所示。

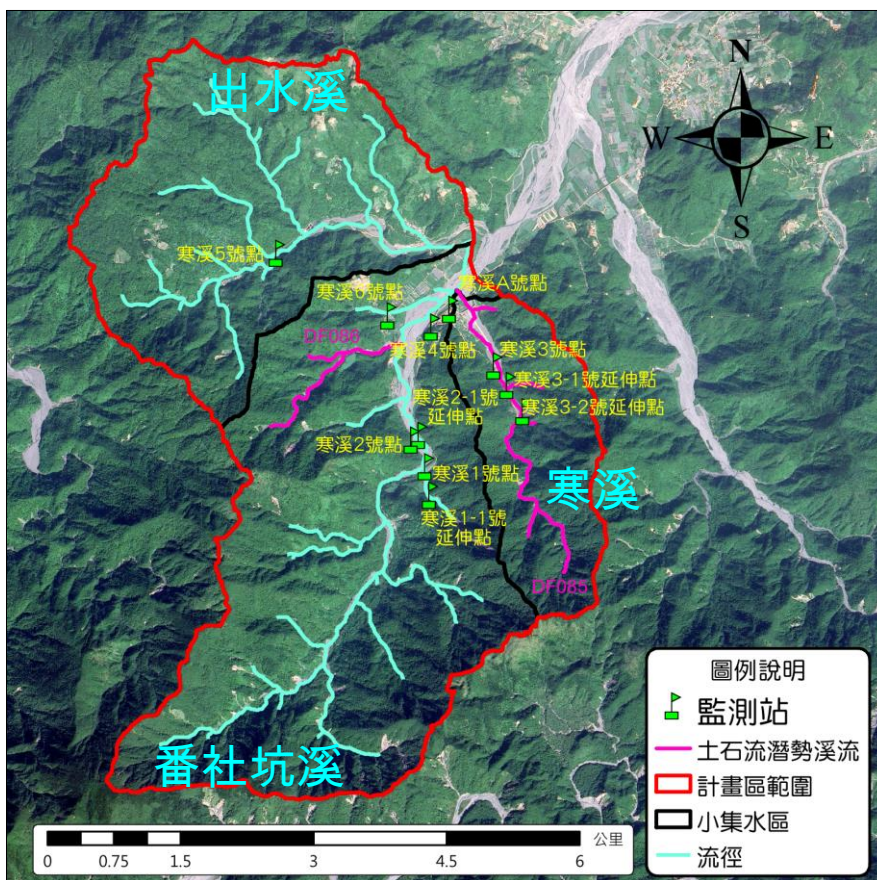


圖 1 計畫區內監測站分布示意圖

其中，番社坑溪上游寒溪農場旁之側邊谷地曾於 101 年蘇拉颱風時發生大規模土石崩塌(如圖 2 所示)，並形成土石流沿番社坑溪向下游推移，形成現今砂石漫佈於番社坑溪河床之情況(如圖 3 所示)；此外，寒溪(DF085)亦於 98 年莫拉克颱風時，於中游河道攻擊面發生坡片坍塌(如圖 4 所示)，並形成土石流毀損下游唯一對外聯絡道路「寒溪大橋」，故為保全下游寒溪聚落之生命財產，本團隊於此易致災地點皆設有監測儀器如圖 1 之 1 號監測點、2 號監測點、3 號監測點及相關延伸點。

再者，計畫區內保全對象除寒溪村下游聚落外，尚有出水溪下游養鱒場、原民聚落與聯外橋樑華興橋(如圖 5 所示)，以及位於寒溪吊橋左岸土石流路徑旁之民宅(如圖 6 所示)，和 DF086 左岸之大元社民宅(如圖 7 所示)，故本團隊亦設置 5 號點、6 號監測點與 4 號監測點如圖 1 所示，以達預警保全對象之功效。

另外，各站之傳輸模式係採用無線電將資訊回傳至下游寒溪村聚落處之匯集站，再透過有線光纖網路回傳至雲端資料庫。最後，吾人整理計畫區內各監測站與匯集點之儀器設備功能性如表 1 所示。



圖 2 寒溪農場邊谷崩塌



圖 3 砂石漫布番社坑溪



圖 4 寒溪(DF085)坡面崩塌



圖 5 出水溪下游保全對象



圖 6 土石流路徑旁民宅



圖 7 DF086 出流口

表 1 計畫區內監測站設備功能性一覽表

站別	監測設備(建置年份)	功能	傳輸模式	監測站外觀
A 號匯集點	攝影機(2011)	監視寒溪吊橋現況。	FTTB 100M	
	雨量計(2012)	監測番社坑溪下游雨量。		
1 號點	攝影機(2013)	監視寒溪農場側邊谷地現況。	3G 433MHz 無線電 174MHz 無線電	
	雨量計(2013)	監測番社坑溪中上游雨量。		
	地聲檢知器(2013)	監測寒溪農場側邊谷地土石流。		
	土壤含水量計(2013)	監測寒溪農場側邊谷地匯流處土壤含水量變化。		
1-1 號延伸點	傾斜計(2013)	監測寒溪農場側邊谷地上游崩塌地傾斜現況。	433MHz 無線電	
	位移計(2013)	監測寒溪農場側邊谷地上游崩塌地位移現況。		
	土壤含水量計	監測寒溪農場側邊谷地上游崩塌地之土壤含水量。		
2 號點	攝影機(2011)	監視番社坑溪上游防砂壩現況。	433MHz 無線電 174MHz 無線電	
	雷達波水位計(2011)	監測番社坑溪上游防砂壩淺槽水位。		
	電阻式水位計(2012)	監測番社坑溪上游防砂壩深槽水位。		
2-1 號延伸點	土壤含水量計(2013)	監測番社坑溪上游防砂壩左岸裸露面之土壤含水量。	433MHz 無線電	
3 號點	攝影機(2012)	監視寒溪(DF085)防砂壩現況。	5.8GHz 微波	

站別	監測設備(建置年份)	功能	傳輸模式	監測站外觀
3-1 號 延伸點	鋼索檢知器(2012)	監測寒溪(DF085)防砂壩之過壩流況。	433mHz 無線電	
3-2 號 延伸點	傾斜計(2013)	監測寒溪(DF085)上游崩塌地傾斜現況。	433mHz 無線電	
	位移計(2013)	監測寒溪(DF085)上游崩塌地位移現況。		
	土壤含水量計(2013)	監測寒溪(DF085)上游崩塌地土壤含水量現況。		
4 號點	攝影機(2012)	監視 DF086 防砂壩現況。	5.8GHz 微波	
5 號點	雨量計(2011)	監測出水溪中上游雨量。	5.8GHz 微波	
	鋼索檢知器(2012)	監測出水溪防砂壩之過壩流況。		
	電阻式水位計(2012)	監測出水溪中上游防砂壩處水位現況。		
	攝影機(2013)	監測出水溪中上游防砂壩現況。		
6 號點	攝影機(2013)	監視寒溪吊橋右岸之土石流潛勢溪流。	5.8GHz 微波	

四、研究方法

本計畫區內建置之監測站，主要目的雖為土砂災害之預警，但各項設備所提供之數據亦可做為整體集水區現況分析、土砂運移演算、崩塌潛勢分析...等相關用途，其主要概念如圖 8 所示。

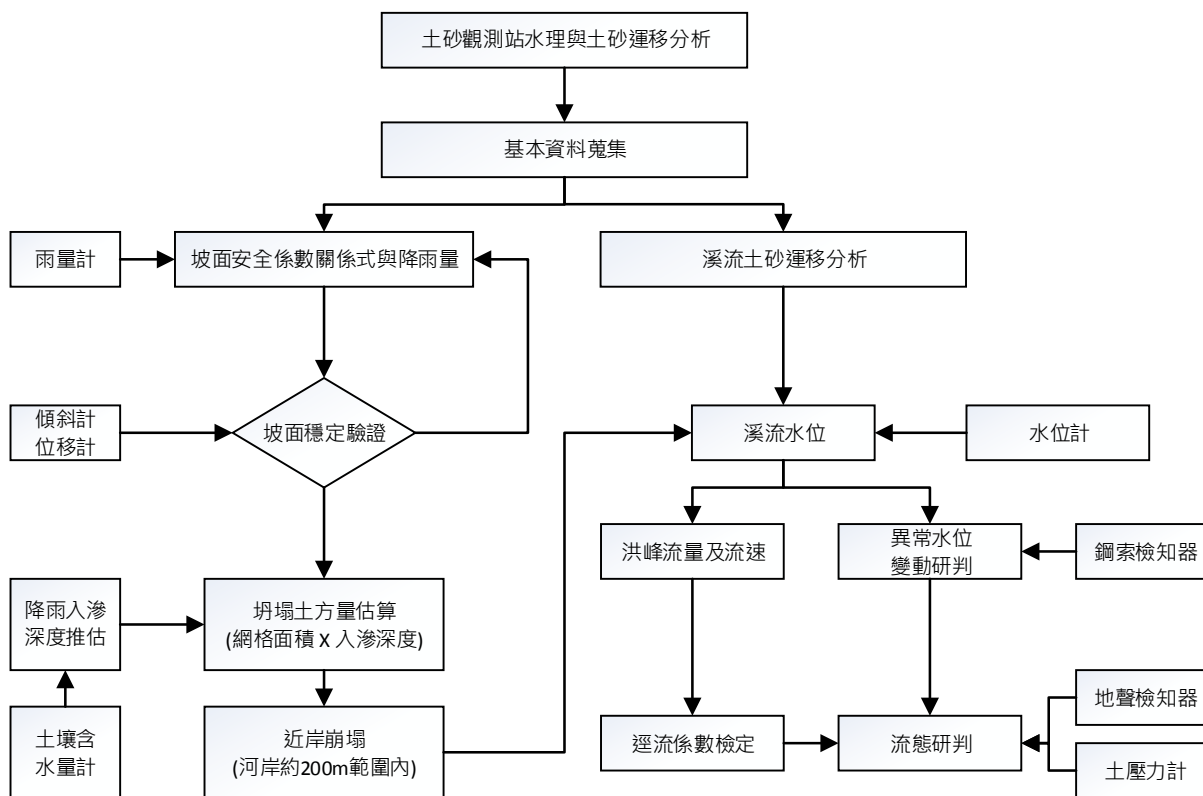


圖 8 觀測設備與溪流水理和邊坡土砂運移之關聯圖

1. 坡面土體崩塌分析模式

已知在無限邊坡斜面之堆積土體上，存在可能受降雨因素影響而產生之滑動層(或稱為不安定土層)，其中斜面平均坡度為 θ ，孔隙水沿斜面之滲流角為 i (i =滲流方向與地表面之夾角)，如圖 9 所示。設堆積土體於降雨發生前無地下水，則作用于邊坡斜面堆積土體上之推移力(T)，包含土體自重沿著斜坡方向分量、土體表面以上液相水體自重沿斜坡方向之分量與降雨入滲水流滲流力(或孔隙水壓)，即

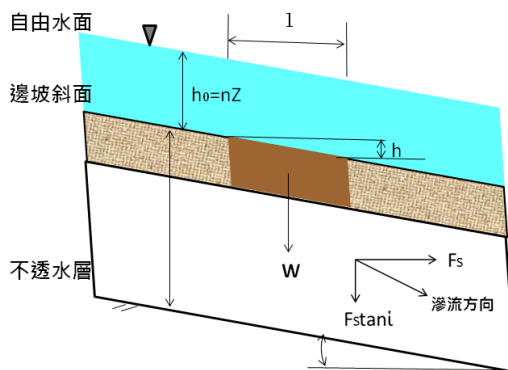


圖 9 無限邊坡上堆積土體示意圖

$$T = F_s + W_{sub} \sin \theta + W_w \sin \theta \tag{1}$$

式中， F_s = 平行於斜面方向之滲流力(Seepage Force)，則垂直於斜面方向之滲流力為 $F_s \tan i$ 。因滲流力 F_s 乃源自於斜面堆積土體上、下游之水力坡降，通常可表為

$$F_s = \gamma_w h_w \sin \theta \quad (2)$$

式中， γ_w = 水體單位重； h_w = 降雨入滲深度。 W_{sub} = 土體於地表面下之重量，以方程式表示之，可表為

$$W_{sub} = \gamma_{sub} h_w \sin \theta \quad (3)$$

W_w = 土體表面以上液相水體自重，以方程式表示之，可表為

$$W_w = \gamma_m h_o \sin \theta \quad (4)$$

式(8)及式(9)中， γ_{sub} = 浸水泥砂單位重 $[(\gamma_s - \gamma_w)C_*]$ ； γ_m = 地表水流單位重 $[(\gamma_s - \gamma_w)C_0 + \gamma_w]$ ， C_0 = 地表水流入流水流之泥砂體積濃度，若為清水流則 $C_0 = 0$ ； γ_s = 固體泥砂顆粒單位重； C_* = 堆積土體之泥砂體積濃度。將式(2)、(3)及(4)分別代入式(1)中，經整理可得推移力(T)為

$$T = \gamma_m h_o \sin \theta + [(\gamma_s - \gamma_w)C_* + \gamma_w] h_w \sin \theta \quad (5)$$

另，不安定土層內泥砂之抵抗力(R)部分，分別來自于不安定土層內固體泥砂顆粒(R_s)及土體表層的地表水流(R_w)，即

$$R = R_s + R_w \quad (6)$$

不安定土層固體泥砂之抵抗力，包含土體本身之凝聚力、地表植生根係固結力、土體水中自重及向下滲流分力等，按庫倫方程(式 Coulomb Equation)可表為

$$R_s = C_h + C_r + (\gamma_s - \gamma_w)C_* h_w \cos \theta \tan \phi + \gamma_w h_w \sin \theta \tan i \tan \phi \quad (7)$$

式中， C_h = 土體凝聚力； C_r = 地表植生根係固結力； ϕ = 土體之內摩擦角。在土體表層地表水流之抵抗力部分，分別是由水流中泥砂相互碰撞和床面泥砂對水流的阻抗，即

$$R_w = (\gamma_s - \gamma_w)C_0 \cos \theta h_o \tan \alpha + R_c \quad (8)$$

式中， $\tan \alpha$ = 動摩擦係數； R_c = 床面泥砂顆粒起動剪阻力，可表如式(5-9)

$$R_c = \eta(\gamma_s - \gamma_w)d_s \quad (9)$$

式中， d_s = 特徵粒徑； η = 待定係數。結合式(5-8)及式(5-9)可得

$$R_w = (\gamma_s - \gamma_w)C_0 \cos \theta h_o \tan \alpha + \eta(\gamma_s - \gamma_w)d_s \quad (10)$$

將式(7)與式(10)代入式(6)可得總抵抗力表示為

$$R = C_h + C_r + (\gamma_s - \gamma_w)C_* h_w \cos \theta \tan \phi + \gamma_w h_w \sin \theta \tan i \tan \phi + (\gamma_s - \gamma_w)C_0 \cos \theta h_o \tan \alpha + \eta(\gamma_s - \gamma_w)d_s \quad (11)$$

根據力學平衡關係，于邊坡斜面堆積土體，其穩定條件決定於推移力與抵抗力之間的大小。令推移力與抵抗力之比值為邊坡崩壞係數 F_A (Failure Factor)，即

$$F_A = \frac{T}{R} \quad (12)$$

從力學平衡觀點，崩壞係數可能有三種狀況，即

- (一) 當 $F.A. > 1.0$ 時，因邊坡斜面土體抵抗力小於推移力，邊坡斜面土體應已處於破壞狀態；
- (二) 當 $F.A. = 1.0$ 時，土體處於崩壞之臨界狀態，此時只需要些許外力作用，邊坡斜面土體將會發生破壞或滑動；
- (三) 當 $F.A. < 1.0$ ，邊坡斜面土體足以抵抗推移力作用而處於安定狀態。

位於山腹邊坡斜面上之堆積土體，因具有集水面積較小及坡度極為陡峭之特點，即使在暴雨過程，其地表逕流水深仍遠較於河道水流深度為小，對斜面土體穩定性之直接影響誠屬有限；惟地表下水流則因可以大幅降低土體之抗剪強度，對趨動土體崩壞具有直接之影響，是山腹邊坡斜面土體崩壞的主要因素。據此，在不考慮地表逕流之影響，且降雨水滲水流滲流方向與邊坡斜面土體平行(即 $i=0$)等條件下，將式(5)及式(11)予以簡化，則山腹邊坡斜面土體崩壞係數 F_A 別表為

$$F_A = \frac{T}{R} = \frac{[(\gamma_s - \gamma_w)C_* + \gamma_w]h_w \sin \theta}{C_h + C_r + (\gamma_s - \gamma_w)C_* h_w \cos \theta \tan \phi} \quad (13)$$

將上式以降雨入滲深度(h_w)表示，可整理為

$$h_w = \frac{F_A(C_h + C_r)}{[(\gamma_s - \gamma_w)C_* + \gamma_w] \sin \theta - (\gamma_s - \gamma_w)C_* F_A \cos \theta \tan \phi} \quad (14)$$

地表土壤在不同降雨條件下可入滲深度之相關研究，包括簡單模式法(Simple Model)、濕帶法(Wetting Band)、水壓反應法(Piezometer Responses)及計算模(式 Computational Models)等，而本康(2005)嘗試考慮上述四種方法之內涵，利用下式表示降雨導致地下水位上升之公式：

$$h_w = \frac{(P + P_0) f}{n_1} \quad (15)$$

式中 P = 累積降雨量； P_0 = 前期累積降雨(前 3 天)； f = 入滲率； n_1 = 土體孔隙率。綜

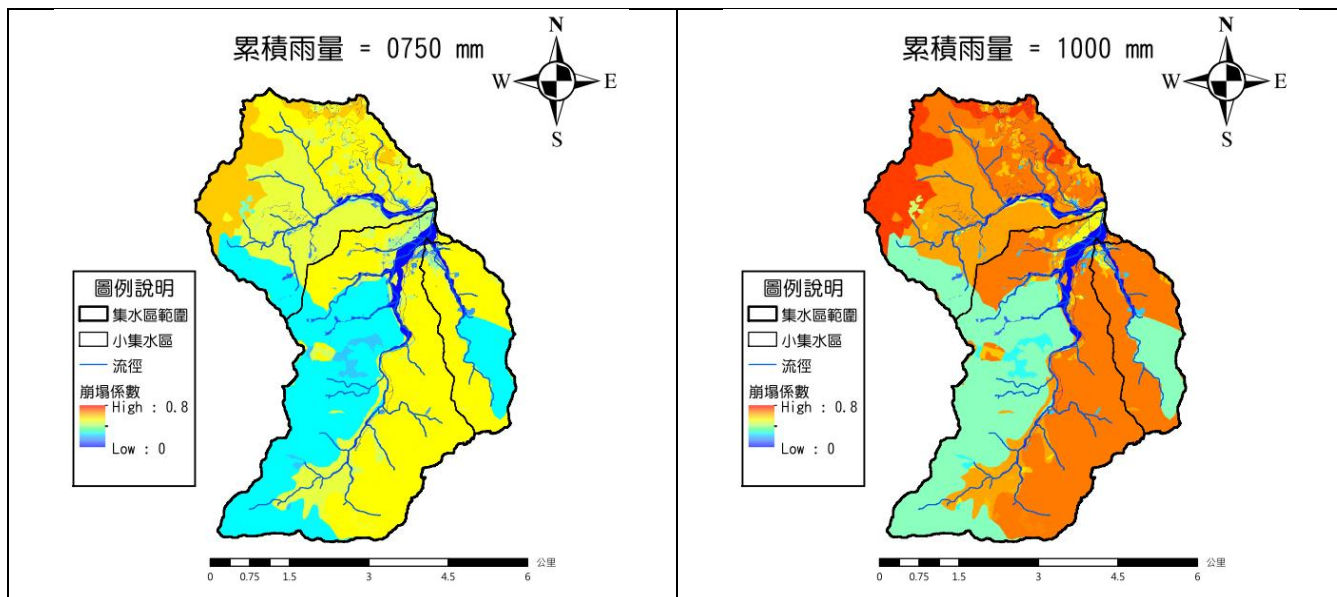


圖 11 寒溪計劃區崩壞係數分佈圖

2. 溪流水理演算及流態研判

一、降雨前：

(一) 一維動床溪流數值模式(如 HEC-RAS、CCHE-1D 等)之模擬演算，以取得各重要斷面之水理參數，以及觀測點斷面之洪峰流量、流速、水位等資料。

(二) 沖淤嚴重區位或斷面可考量安裝架設沖淤量測設備之可行性。

二、雨時觀測點水位紀錄：

(一) 依觀測點斷面量測之水位紀錄，計算對應之洪峰流量。

(二) 依雨量計之降雨資料代入合理化公式，可得對應之逕流係數。

註：通過觀測點斷面之水流屬臨界流況，其流量(矩形斷面)可表為

$$Q = \sqrt{g b^2 h_c^3} \quad (18)$$

式中， b =溪流寬度； h_c =臨界水深(實測水深)。逕流係數可表為

$$C_j = \frac{Q_j}{A_x \sum_{j=1}^n I_j} \quad (19)$$

式中， C_j =第 j 時間之逕流係數； Q_j =第 j 時間之洪峰流量； I_j =第 j 時間內平

均降雨強度； A_x =水位計觀測斷面以上集水區面積。

(三) 依步驟(一)至(二)繪製水位、洪峰流量及逕流係數歷線圖。

(四) 由於逕流係數 C 表徵集水區地面特性，當崩塌裸露面積愈大者，其值就愈高。因此，通過雨量組體圖計算某時間間距之平均降雨強度(I)及實測過壩水流水深(h_c)，代入式(19)即可得該時段集水區逕流係數，理論上當集水區地面條件沒有重大變化時，其逕流係數應可以維持定值；反之，當逕流係數發生顯著變化時，意味著上游集水區可能已出現大規模崩塌，而這也反映出溪流上游蓄積大量土砂料源，大大提升土石流之發生機率。

(五) 降雨時水位異常變動研判：

土石流具有多種發生條件，其中有因上游邊坡大量土體崩塌滑落溪床而形成臨時壩，對溪流水位變化會引起兩種截然不同的反應，初期因滑崩土石阻塞水流，使得溪流水位瞬間下降，接著土石阻塞水流形成之臨時壩，受到其上游水流動壓力及滲流之綜合作用，在短時間內可能發生潰決，大量土石會隨著水流流下，使得溪流水位迅速抬升。不論是水位突然下降或抬升，水位計觀測值均能有效地偵測到這種變化，再配合上游鋼索檢知器之剪斷時間，即能提供溪流水流流態立即研判之用。

(六) 流態研判：流態研判多藉由觀測設備之觀測資料進行研判，包括：

1. 鋼索剪斷研判：溪流水流因降雨而抬升水位之後，當水位觸碰鋼索時會將其扯斷，此時即可獲知溪流水位約略之高度；當水位持續上升，並將最上位鋼索扯斷時，因溪流水位已高出設計最大洪水位，經降雨量比對，即能初步研判其可能之水流流態。

2. 土壓力觀測值分析：根據土壓力觀測值遺對應之水深值，則

$$C_D = \frac{P/h_o - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \quad (20)$$

當水流大於 0.3 時，即屬土石流流態。式中， h_o =水面至土壓力計間之深度，

可採用超音波水位計或其他非接觸式水位計量測之。

3. 地聲振動頻率分析：依小坡轉換計算其振度頻率。

(七) 溪床沖淤演算及研判

溪床土砂沖淤除了可以採用一維數值模式進行演算外，亦可採用物理模式，即假設降雨水滲方向與邊坡斜面土體平行(即 $i=0$)，且不考慮土體凝聚力 ($C_h=0$)，而降雨入滲深度可表為溪床上可能沖刷厚度(h_{so})，則

$$\left(\frac{h_{so}}{h_o}\right)_c = \frac{C_o(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\alpha - \tan\theta) - \gamma_w \tan\theta + [\eta(\gamma_s - \gamma_w)d_s]/(h_o \cos\theta)}{C_*(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\theta - \tan\phi) + \gamma_w \tan\theta} \quad (21)$$

設若溪流水流為清水流時，且溪床無任何泥砂起動(即 $C_o=0$ 及 $h_{so}=0$)，則上式可寫為

$$\gamma_w \tan\theta - \frac{\eta(\gamma_s - \gamma_w)d_s}{h_o \cos\theta} = 0 \quad (22)$$

上式可表為

$$\frac{\gamma_w h_c \sin\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)d_s} = \eta \quad (23)$$

式中， $\eta = 0.04 \sim 0.06$ 。上式即為希爾得(Shield's)泥砂起動公式。若入流水流泥砂體積濃度達到飽和，即 $C_o = C_{do}$ (C_{do} = 平衡泥砂體積濃度)，溪床泥砂沖淤即處於一種動態平衡狀態，此時土層移動厚度(或沖刷深度) $h_{so} = 0$ ，故(式 20)可表為

$$\left(\frac{h_{so}}{h_o}\right)_c = \chi \frac{C_{do} - C_o}{C_*} \quad (24)$$

$$C_{de} = \frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\alpha - \tan\theta)} \left(1 - \frac{h_c}{h_o}\right) \quad (25)$$

$$\chi = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\theta - \tan\alpha)}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\theta - \tan\phi) + \gamma_w \tan\theta / C_*} \quad (26)$$

式為土體臨界相對移動深度之表示式，表明當入流水流泥砂體積濃度(C_o)為已知，地表水流沖刷床面泥砂達平衡泥砂體積濃度(C_{do})時之土體相對沖刷深度。但是，當入流泥砂體積濃度(C_o)大於平衡泥砂體積濃度(C_{do})時，則上式即成為溪床土砂淤積深度公式，即可用於演算溪流沖淤變化。

五、結論與未來展望

1. 本計畫區為土石流好發地區，吾人於易致災點位均設置土砂監測設備，期能於土砂災害期間為保全對象爭取較長之避難疏散時間，保障生命安全。
2. 根據崩壞係數關係式，本團隊以 250mm、500mm、750mm 及 1000mm 為累積雨量，配合土壤分佈與土地利用圖層推估相關地文參數，計算寒溪集水區之崩壞係數(FA)分佈，由圖可知崩壞係數分布近似於土壤分布與地質分布圖層，由此可知坡地崩塌受土壤地質影響甚鉅，此外當累積降雨量大於 750mm 時，計畫區內約 70% 面積崩塌係數皆大於 50%，代表土體滑移力已超過土體支撐力的一半，崩塌機率大增。
3. 另根據溪流水理演算相關公式推導，吾人可根據現有觀測設備回傳之數據以及崩壞係數推估與驗證集水區內之土砂變化。
4. 最後，由於土砂觀測站之儀器多架設於土砂災害發生處，故災後往往造成儀器損壞不堪使用，故吾人擬研發耗材式監測設備具有優點如表 2 所示，此外更可搭配現有觀測模式，以網狀網路(MESH)方式進一步擴展觀測範圍如圖 12 所示。

表 2 土砂觀測站之類型比較

土砂觀測站類型	傳統型觀測站	耗材式微型觀測站
耗電量	高(100W 以上)	極低(5W 以下)
體積	大(約高:3000cm/寬:5000cm/ 深:2000cm)	小(約高:30cm/寬:20cm/深:20cm)
資料傳輸	有線為主，無線為輔	無線，未來可擴充為網狀網路(MESH)
設備成本	高(每站 NT.400 千元以上)	低(每站 NT.25 千元以下)
同成本可佈建數量	少(1 站)	多(約 20 站)

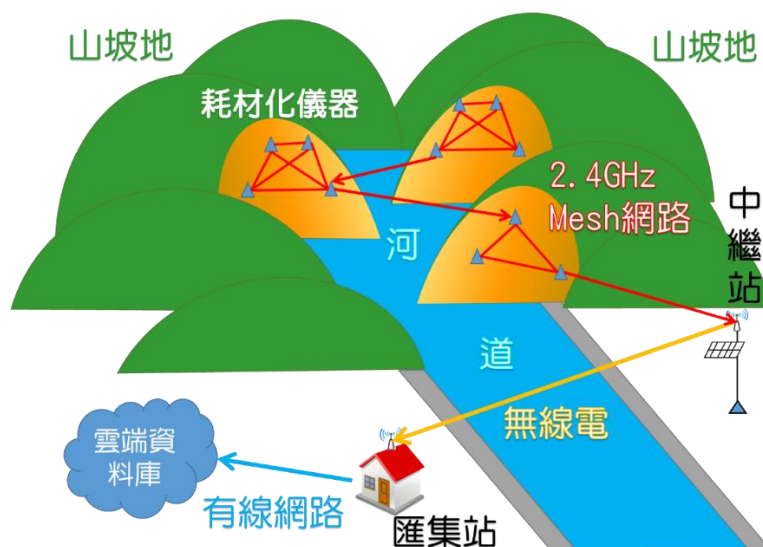


圖 12 耗材式設備網狀網路化示意圖

參考文獻

1. 吳佐川，台灣地區崩塌地區域特性之研究，國立台灣大學森林學研究所碩士論文，1993。
2. 臺灣地區與量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析，經濟部水利署，2002。
3. 礫石床河川推移載顆粒粒徑推估模式之研究，連惠邦，1988。
4. 礫石型土石流流體性質與運動特性之相關研究，連惠邦，1994。
5. 水土保持手冊，行政院農業委員會水土保持局，2006。
6. 集水區整體治理調查規劃參考手冊，行政院農業委員會水土保持局，2006。
7. 集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫，經濟部中央地質調查所，2008。
8. 坡地災害警戒通報系統研發與示範，行政院農業委員會水土保持局，2010。
9. 土石流固定式觀測站建置計畫，行政院農業委員會水土保持局，2011。
10. 坡地災害監測及傳輸整合計畫，行政院農業委員會水土保持局，2012。
11. 朱崇銳、黃清哲、顏利宸、林慶仁、王兆璋，2013。地震儀應用於土石流監測之研究。
12. 林正洪，熊谷博之，安藤雅孝，辛在勤，2010。Detection of landslides and submarine slumps using broadband seismic networks, *Geophysical Research Letters* 2010, 37, L22309, DOI:1029/2010GL044685。
13. 馮正一，2010。小林村堰塞壩潰壩時間點與潰壩洪峰歷程之震動訊號分析。THE 14TH CONFERENCE ON CURRENT RESEARCHES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING IN TAIWAN, Aug.25-26 ,2011, Taoyuan, Taiwan
14. <http://246.swcb.gov.tw>，行政院農業委員會水土保持局土石流防災網
15. <http://fema.swcb.gov.tw>，行政院農業委員會水土保持局土石流防災系統。