

# 重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測(1/4)

## Simulation and Monitoring in Areas Susceptible to Landslide Hazard (1/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

林美聆

王國隆

Lin, Meei-Ling

Wang, Kuo-Lung

國立台灣大學

廖瑞堂

Liao, Jui-Tang

青山工程顧問有限公司

羅偉

王泰典

Lo, Wei

Wang, Tai-Tien

國立台北科技大學

### 摘要

有關山崩敏感區的研究，過去多以山崩發生的潛勢或潛感性地區為主要對象，對於山崩發生後之堆積範圍、可能危害之保全對象等少有考量。檢視國內多次重大山崩災害事件如草嶺、九份二山、新竹土場部落等可以發現，除山崩滑動區的辨識之外，山崩堆積區對於保全對象直接或間接危害的影響更不容忽視，顯見潛在山崩滑動範圍與山崩可能的堆積區域，皆應考慮劃設為山崩敏感區。山崩潛勢範圍國內外以往已有豐碩的研究成果，其主要考量為地形、地質等環境因素以及豪雨、地震等致災因素，因此有關山崩行為的境況模擬，為界定山崩堆積區的關鍵，而依據其結果進行的風險評估，更為劃設山崩敏感區不可或缺的程序。鑑於國內缺乏山崩災害潛勢地區有關境況模擬與風險評估之系統性研究，本計畫自 96 年度起連續四年，針對國內具有重大山崩災害潛勢案例之地區，擇定四處進行調查、監測與山崩災害境況模擬與風險評估工作，以推廣至其他地區及案例應用，並提供山崩敏感區劃設的重要參考。本年度研究區為廬山岩體滑動區。

關鍵詞：潛勢範圍、堆積區、境況模擬、風險評估、監測

### Abstract

The researches of the landslide potential mapping were focused major on the potential or probability of landslide occurrence. The run-out zone and risk elements subjected to the landslide are not well considered. Despite of the identification of

landslide slipping area, the direct or indirect effects to the deposition area in the mapping of sensitive landslide cases cannot be ignored after several large landslide incidences such as Tsao-Ling, Chiufenerhshan, and Tu-Chang cases. It is obvious that both the potential landslide area and run-out zone should be considered as landslide susceptible area. Researches on potential landslide areas had been conducted by adopting the environmental factors such as geomorphology and geology and the disaster-triggering factors such as torrential rain and earthquake. The key point of landslide run-out mapping is based on the scenario simulation, and the risk assessment from scenario simulation is the essential procedure for mapping of landslide susceptible area. Owing to lacking of systematic research on the scenario simulation and risk assessment of potential landslide areas in Taiwan, four sites with significant landslide potential have been selected for research starting from 2007 for 4 years. The major works include field investigation, field monitoring, landslide scenario simulation and risk assessment etc. The results of the research will provide important information for other potential landslide cases and mapping of susceptible area.

Keywords : potential area; run-out zone; scenario simulation; risk assessment; monitoring

## 一、前言

鑑於國內缺乏山崩災害潛勢地區有關境況模擬與風險評估之系統性研究，經濟部中央地質調查所自民國 96 年開始辦理「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」，針對國內具有岩體滑動型與落石型之重大山崩災害潛勢地區，進行地形與地質調查、崩塌地判釋，設置監測系統，並進行山崩災害境況模擬以及風險評估等工作。地形與地質調查以建立較大比例尺基本資料，研判既有崩塌範圍，瞭解地質特性為主要工作目標。現地監測結合遙感探測技術，主要掌握滑動深度與滑動量化資料，並發展新式監測設備與方法及即時監看系統。依據前兩項工作成果所提供之資料，繼而進行山崩災害境況模擬與風險評估，其目標則在建立山崩災害潛勢範圍的評估方法、災害境況模擬之模式以及災害潛勢地區風險評估的方法。

## 二、基本資料調查

本計畫地區位於濁水溪、塔羅灣溪與馬海僕溪之交匯處北側，有省道臺十四線公路通往廬山部落(富士社)，在地形上，本區屬中央山脈，區域內有母安山(1528 公尺)與母安山基點峰(1475 公尺)二山峰，山型特徵為一西緩東陡略向南傾斜之坡地。區域西側為濁水溪，東側與南側則為塔羅灣溪；馬海僕溪由南向北，於廬山溫泉區之廬山吊橋處匯入塔羅灣溪。

根據經濟部中央地質調查所出版之五萬分之一霧社地質圖幅(羅偉與楊昭男，2002)，本計畫地區出露之地層為廬山層；廬山層是中央山脈最年輕且分布最廣的地層，本層由何春蓀(1975)所命名。標準地點即在本區之廬山溫泉地區。

工業技術研究院能源與資源研究所曾於本計畫區繪製四張環境地質圖，分別為南投縣春陽溫泉地區環境地質圖(工研院能資所，1989)、南投縣廬山溫泉地區環境地質圖(工研院能資所，1991)、南投縣春陽地區環境地質圖(工研院能資所，1991)及南投縣翠峰地區環境地質圖(工研院能資所，1992)。工研院所繪之環境地質圖，於計畫範圍內有崩塌地及填土，並未顯示有大型之崩塌地。

依據水土保持局第三工程所(2006)報告中指出，於集集地震前民國 88 年至民國 93 年之公路總局第二養護工程處提供資料顯示，於前述期間該路段主要修復工程主要災因為颱風、豪雨及集集地震，將其災因整理如表 1 所示，惟由公路總局之災情查詢系統顯示，本區雖有災害但並未造成交通中斷之情形。

## 三、地質調查

### 3.1 航照判釋

本工作收集研究區歷年航空照片，共計有 4 個年度，共 5 組航空相對，藉由判釋歷年航空照片可圈繪本區之崩塌地位置或找出可能之滑落崖(scarp)，而由多年度之航空照片判釋成果比對，可進一步了解本區之歷史崩塌地崩落情形。由民國 82 年至 94 年歷年之航照判釋，大致可了解研究區內大致有二處岩屑崩滑及三處滑落崖，由各年度航照判釋及現地調查資料整合後，廬山岩體滑動區之現況分佈如圖 1 所示。

### 3.2 地質鑽探

本計畫鑽探孔位之佈設，係參考水土保持局之既有相關報告，與之配合以獲得更多地質資料，完備本計畫目的所需為原則，本計畫之鑽探孔位佈設如圖 2 所示。本計畫之地質鑽探包括垂直孔 7 孔及斜孔 1 孔，孔深為 50~109m 不等，鑽探孔位及深度配置係根據計畫目的所規劃，以期能確實反應滑動深度及補足前期工作之不足，並符合提供後續研究所需資料之依據。鑽孔總長度合計共 500m。並於鑽孔完成後於孔內佈設監測儀器，以進行後續之監測調查，各孔位裝設之儀器如表 2 所示。

### 3.3 野外地質調查

研究區內露頭主要分布於研究區西側之道路兩側及南側之塔羅灣溪溪畔，研究區東側則多為人為開墾或植生覆蓋，且道路兩側多有擋土牆，露頭出露較不連續。由於調查範圍內岩性以板岩為主，岩性較為單調，所夾之變質砂岩甚薄，且露頭出露範圍有限，無法單以野外調查資料區分岩段，須藉由鑽孔資料輔助區分；野外調查量測之板劈理位態，經投影分析顯示其走向大致呈北偏東 33° 朝南傾 49°；而節理位態則略顯雜亂，未能判斷其位態趨勢。

鑑於本研究區已有多次岩體破壞記錄，研究區內之柏油鋪面多有張裂隙，且部分成雁形排列；擋土牆亦有張裂隙，甚至有修補過之擋土牆持續張裂之情形；另外尚有因擠壓產生之壓力脊，故野外調查除記錄岩性及其位態外，同時標示出研究區內之人工構造物破壞，如柏油鋪面、擋土牆之張裂隙開口大小及位置。

繪製完成之地質圖與剖面圖如圖 3 所示，本研究區之岩層由下至上分為板岩層(S11)、變質砂岩層(Mss)、板岩層(S12)、板岩與變質砂岩薄互層(S1/Mss1)、板岩層(S13)及板岩與變質砂岩薄互層(S1/Mss2)等六層。

在地質構造方面由野外調查資料之劈理位態分析，本區之劈理位態為走向北偏東 33°，朝東南傾 49°，而節理位態則較為凌亂，未能判釋其優勢位態。鑽孔資料經分析，本區內有一向斜構造，以北偏西 48° 通過本區，其東西兩翼之位態分別為東翼走向北偏東 77°，朝南傾 43°；西翼走向北偏東 40°，朝東南傾 40°。

## 四、廬山岩體滑動機制探討

由前述之航空照片判釋顯現出廬山岩體滑動區具有多處淺層滑動之趨勢，但由水保局(2006)於民國 95 年 6 月 9 日豪雨之觀測與現地調查資料卻顯示，廬山岩體滑動區可能存在深層滑動面，因此將廬山岩體滑動區分為淺層滑動及深層滑動兩部分進行探討。

### 4.1 廬山淺層滑動機制探討

地表逕流分析採用 FLO-2D 二維模擬模式進行，使用之地表數值地形為委託航測學會利用民國 96 年 1 月航空照片製作地面解析度 5 公尺數值地形，採用降雨資料為民國 96 年 6 月 9 日豪雨降雨歷時，模擬時間計 61 小時，累積降雨量為 827.5 公釐，經分析結果得知，除部分槽溝流速較快之外，其餘坡面上之流速均較緩慢，顯示坡面水滯留之可能性，最大流深可顯示地表水滯留位置，但仍不足以表現其與淺層滑動之相關性；坡面中段至坡頂表土層厚度較厚，表土層代表水入滲之可能性高於未風

化板岩，尤其當地表水淤積於表土層較厚之區域時可能入滲並造成驅動力提升形成局部邊坡滑移，因此將流動深度大於 3.5 公分以上與表土深度 2 公尺以上結合假設為可能發生淺層滑動位置，繪製如圖 4 所示，由圖中可看出可能發生邊坡滑移位置並與前述判斷之淺層滑動位置有相當程度的吻合，此外，當降雨持續情況下，降雨持續入滲至風化板岩層，此時則可能產生較深層之滑動行為。

#### 4.2 廬山深層滑動機制探討

為探討本研究區之滑動機制及其範圍，本研究整合由鑽孔岩心資料之劈理傾角及剪動帶進行討論。

將各鑽孔繪於 AA'剖面上，並與 RIP 剖面相套疊如圖 5，可由鑽孔、剪動帶、RIP 剖面與岩層之相對位置，研判其可能滑動位置。由剖面上之各鑽孔，可將相鄰各孔之最深剪動帶位置相連，最後連至鑽孔 W5 上邊坡之滑落崖，詳滑動面 A，該位置亦為變質砂岩與板岩之岩性界限；而由剖面上各鑽孔之剪動帶位置，可與 RIP 剖面之低電阻帶位置相比對，依此原則區分則可能滑動面 B，本滑動面可延伸至母安山山頭下；此外，較淺部還有一可相連之滑動面 C，滑動面 C 亦可連接至鑽孔 W5 上邊坡之滑落崖。

如以剖面 EE'如圖 6 所示及本計畫與水保局鑽孔岩心資料分析，同時合併現場調查資料，於圖 7 中 A 處坡趾可發現因擠壓隆起，B 處為前述 96 年 1 月觀察發現之崩崖，C 及 D 處可發現地表破裂，由岩心資料判斷，廬山整體之岩體滑動可能存在多組滑動面，如圖 7 之假設，由坡趾處至坡頂應存在一條由多組剪裂面所構成之剪裂帶，及圖 7 中兩組可能滑動面所夾之區域，此一可能剪裂帶之存在，可為地下水體連通之管道，水保局 RIP 量測時間為民國 95 年 69 豪雨之前，而於 69 豪雨時所觀測到滑動深度最深為 41 公尺，惟傾斜觀測管深度不足以觀測更深層之滑動，而於民國 96 年於新設 TDR 觀測井觀測到深度 90 公尺左右可能產生滑動，因此綜合前述研判資料，此一由多層剪裂面構成之剪裂帶於民國 95 年 69 豪雨前已經存在，於 69 豪雨時產生滑動剪壞部分水保局觀測井，同時於民國 96 年再次產生滑動，惟水保局 TDR 觀測井無法量化移動量，未來可考量 TDR 與傾斜觀測管資料之量化比對，以期對此一深層滑動位置與滑動量提供驗證及資料。

### 五、計畫監測系統

#### 5.1 監測儀器配置

為有效掌握及收集本計畫區之降雨、地層滑動及地下水狀況資料，以利研判滑動機制與滑動規模，作為後續分析及模擬之用，因此本計劃除參考既有之水土保持局所設置之監測儀器成果外，更於本計劃區新增佈設相關監測儀器，主要為雨量計、地表伸縮計以及利用鑽孔埋設傾斜管(兼水位井)、電磁波時域反射 (TDR ,Time Domain Reflectometry)、水位觀測井、電子式水壓計、孔內伸縮計等監測儀器，各儀器之裝設位置平面示意如圖 8 所示。監測方式係採手動監測與自動化監測並行方式。

#### 5.2 自動化監測成果展示系統

自動化監測系統之架構圖如圖 9 所示，主要分為(一)儀器設備(sensor) (二)監測成果整合程式(三)監測成果展示網站等三大部份。其中之自動化監測系統係為自量測、記錄、傳輸、資料庫建檔、繪圖全程自動化運作之系統，所有儀器集中於台 14 線約 90K 上方邊坡民宅內之資料記錄擷取器，以 GSM 無線傳輸方式傳送至後端之伺服器，進行資料庫建檔整理、管理值研判、警戒發佈及繪圖等工作。

### 5.3 三維雷射掃描

三維雷射掃描技術係利用雷射測距原理建構目標物與掃描站間之三維關係，可以快速建構三維地表模型(Digital Surface Model, DSM)，本計畫採用奧地利 Dibat 3D Laser Geoscanner 及 Trimble Mensi GS200 兩具三維雷射掃描儀搭配 GPS 進行三維地形掃描並將座標由掃描站及局部座標系統轉至常用之 TWD97 座標系統。

本計畫團隊於 11 月 13 日前往廬山現場選址進行架站掃描作業，經尋找後於廬山岩體滑動區對面一處果園內尋得通視良好之架站點如圖 10 所示，利用 Dibat 三維雷射掃描儀於該處對廬山岩體滑動區進行掃描並同時設置參考 GPS 點位，將掃描所得之點雲資料藉由 GPS 資料轉換至 TWD97 座標系統顯示於圖上，圖 10 上所示之點雲資料為三維雷射掃描儀之結果；如遇較大岩體位移情形將安排進行第二次全部岩體滑動區掃描以利進行滑動量及趨勢監測。

### 5.4 近景攝影測量

近景攝影測量觀測成果如圖 11 所示，由圖中可知廬山岩體滑動區內於三個月內之滑移量應屬於相當活躍程度，比對本計畫其他觀測資料，點 A、B 及 C 分別位於三處判釋崩崖邊界處，除此之外，雨量觀測證實於 97 年 3 月底三日內所降雨量為 149.5 公釐。

## 六、風險評估

聯合國國際減災策略委員會 (ISDR) 提出，風險 (risk) 是由發生災害 (hazard) 與致災性 (vulnerability) 及承受力 (capacity) 交互影響而成。目前國內外已將災害發生機率與風險管理觀念納入坡地災害防治研究，以崩塌潛勢分級及風險評估，為達到國土資源管理與保護之目的。山崩風險以方程式表示： $H$  (hazard) 為崩塌潛勢，包括崩塌空間的影響範圍 (run-out) 與時間上的發生頻率 (frequency)； $V$  (vulnerability) 保全對象在風險範圍內的損害程度； $A$  (amount) 為受災直接與間接成本等等。

山崩之風險分析與管理對策研擬之流程，C.J. van Westen (2006) 認為須對山崩環境參數、山崩促發因子、山崩發生規模以及保全對象予以討論後，決定山崩風險為山崩的危害度、易損性以及災損的函數；香港土力工程處對於山坡地量化風險評估流程，須先定義山崩類型、發生頻率、影響評估、風險量化、風險可接受度以及風險的對策管理；Crozier (2005) 認為山崩風險管理首先須進行風險估計，根據山崩影響範圍內之保全對象損失程度、山崩危害程度以及山崩發生頻率關係，而求出其風險值後，根據其可接受之山崩風險值，才能再進一步進行風險評估、風險對策以及風險管理，研擬山崩防治工程、防災對策、監測及未來規劃等管理辦法。

山崩風險是為潛勢、易損性以及損失變數之函數，可利用簡單之函式表示：

山崩風險=f(潛勢,結果)=潛勢×結果 (concequence)

雖然國內外對於風險值已有函數表示，然而實際量化風險值仍以山崩發生潛勢與可能造成的最大損失，訂定風險分級，例如瑞士 Federal office for water and geology (1997) 風險分級是以可能發生頻率（高、中或低）及可能發生之損失程度（高、中或低），以風險矩陣圖而得到一個風險量值，如圖 12 所示。因此，以廬山地區由現地監測及境況模擬結果，以上述保全對象損失評估應評為高可能損失；在發生可能性當中屬於高可能性；綜合發生可能及可能損失，廬山風險矩陣量化應屬於 A 等級之風險。

## 七、結論與建議

本計畫自民國 96 年 9 月 12 日開始執行，總結本年度各項工作成果如下：

### 一、地質調查：

本區之岩層大致可分為六層，由下至上分別為板岩層(SI<sub>1</sub>)、變質砂岩層(Mss)、板岩層(SI<sub>2</sub>)、板岩與變質砂岩薄互層(SI/Mss<sub>1</sub>)、板岩層(SI<sub>3</sub>)及板岩與變質砂岩薄互層(SI/Mss<sub>2</sub>)；而本研究區內有一向斜以近西北東南走向通過本研究區。由野外調查人工構造物之裂隙等破壞位置，道路多有張裂隙，推估與裂隙之產生與邊坡滑動有關，；經由航照判釋、岩心及現地調查綜合研判，廬山岩體滑動區包含淺層滑動、岩屑崩滑及深層滑動。

### 二、滑動機制探討：

廬山岩體滑動區分為淺層滑動、岩屑崩滑及深層滑動，淺層滑動及岩屑崩滑主要由豪雨及地表逕流造成，而由航照判釋、岩心及現地調查並整合水土保持局地電阻資料研判，廬山地區可能存在深層剪裂帶，當豪雨持續時，地下水位增加而增加驅動力，因而形成深層滑動。

### 三、自動化監測及成果：

本計畫建置自動化監測成果展示系統，藉由 GPRS/GSM 將現地雨量、地下水位等資料傳回，並配合人工量測傾斜觀測管資料展示於網頁，並提供警戒預警功能可通知相關單位及人員；同時本計畫進行三維雷射掃描監測，利用三維雷射掃描技術進行廬山岩體滑動區地表移動監測；於近景攝影測量方面，應用於道路邊坡擋土結構物監測，於民國 97 年 1 月至 4 月間監測得部份地區因 3 月底豪雨產生滑動情形，未來仍將持續進行監測資料收集及分析研判。

### 四、風險評估：

由彙整國內外風險評估方法，進行廬山地區山崩風險初步評估；由於受限廬山山崩災害統計母體不足及評估範圍有限，因此僅評估廬山山崩影響範圍一次滑動後之最大損失，未將淺層滑動所造成道路塌陷或擋土牆移動記錄一併列入討論，未來將對持續蒐集廬山山崩災害，冀能依廬山因不同山崩規模及危害程度，對應不同之

發生可能性及損失，以得到廬山風險量化圖。

## 參考文獻

1. 水土保持局第三工程所 (2006)，台 14 線 88K 至 91K 地滑地調查治理規劃工程成果報告
2. 工研院能礦所 (1984)，臺灣區地熱資源探勘評估報告
3. 張麗旭 (1971)，臺灣變質區第三系基於小型有孔蟲之生物地層學研究 (一:橫貫公路沿線)，中國地質學會會刊，第 14 號,第 45-61 頁
4. 羅偉、楊昭男 (2002)，五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書，經濟部中央地質調查所
5. 何春蓀 (1975)，台灣地質概論—台灣地質圖說明書，中華民國經濟部
6. 經濟部中央地質調查所(2006)，環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則，都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫。
7. 經濟部中央地質調查所 (2005)，山崩潛感分析之研究 (3/3)。
8. Westen, C.J., Asch, T.W.J., Soeters, R.(2006)，'Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?' Bull Eng Geol Env (2006) 65: 167–184.
9. Federal office for water and geology (Fowg, Switzerland),  
<http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/>

表 1、廬山岩體滑動區道路之主要災因

時間	災害歷史	最大時雨量 /累積雨量 (mm)	災害位置	備註
民國 83 年	道格颱風	28.5/328.1		
民國 87 年	瑞伯颱風	24/260.5	台 14 線 81k+300-87k+910 邊坡	
民國 88 年	集集地震	(465.3gal)	台 14 線 64k+000~91k+000 路基、台 14 線 85k+850~87k+350 邊坡	國姓國小強地動觀測站
民國 89 年	221 豪雨	19.5/348	台 14 線 82k+400-90k+500 路基、台 14 線 87k+300~+380 邊坡	
民國 89 年	碧利斯颱風	26/175		
民國 93 年	艾利颱風	22/330.5	台 14 線 61k+000~97k+100、台 14 甲線 0k+000~29k+000 坍方	
民國 95 年	69 豪雨	38.5/882		





圖 1、整合歷年航空照片判釋之廬山岩體滑動區崩塌地現況分佈圖



圖 2 鑽孔平面位置圖

表 2、鑽孔探查目的及裝設儀器一覽表

孔號	鑽探深度(m)	設置目的	裝設儀器
A-12	51	地層分佈、滑動深度	傾斜觀測管 TDR
A-13	50	地層分佈、滑動深度、地下水位變化	傾斜觀測管 兼水位井
A-14	80	地層分佈、滑動深度	傾斜觀測管 TDR
A-15	109	地層分佈、滑動深度、地下水位變化	傾斜觀測管兼 電子式水壓計
A-16	50	地層分佈、地下水位變化	水位觀測井 電子式水壓計
A-17	50	地層分佈、地下水位變化	水位觀測井 電子式水壓計
A-18	70	地層分佈、滑動深度、地下水位變化	傾斜觀測管 兼水位井
E-1	40	地層分佈、滑動深度、地層相對位移	孔內伸縮計

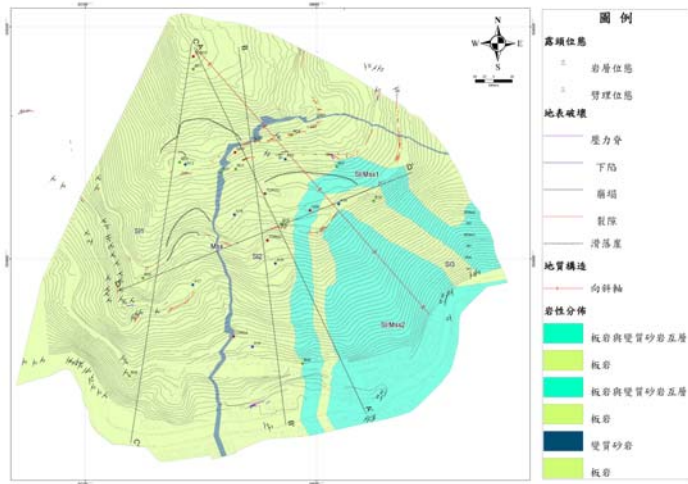


圖 3 廬山岩體滑動區內之地質剖面及剖面位置圖

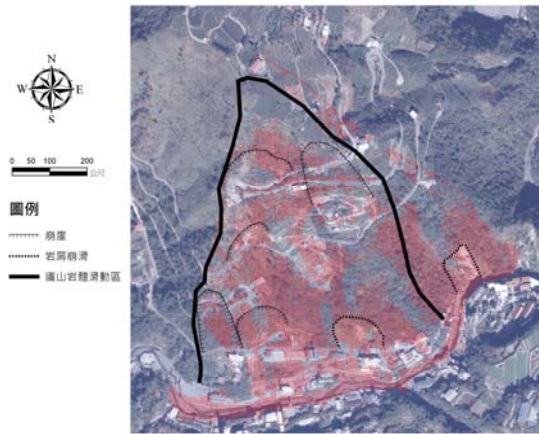


圖 4 可能產生淺層滑動位置

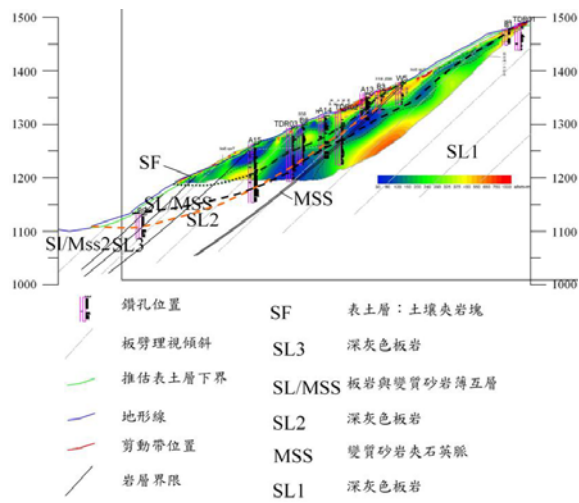


圖 5 剖面 AA' 之可能滑動面位置圖



圖 6 剖面 EE' 位置圖

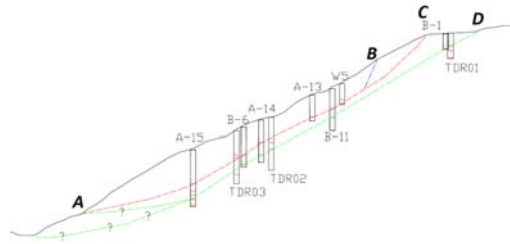


圖 7 由岩心、航照及現地調查研判可能之剪裂帶位置



圖 8 監測儀器平面配置圖

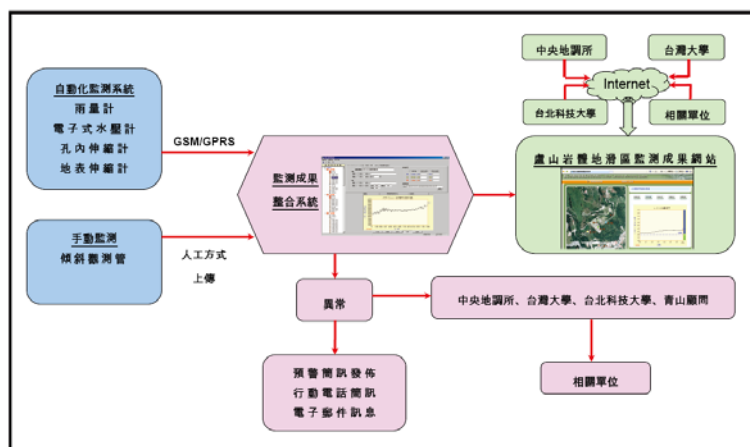
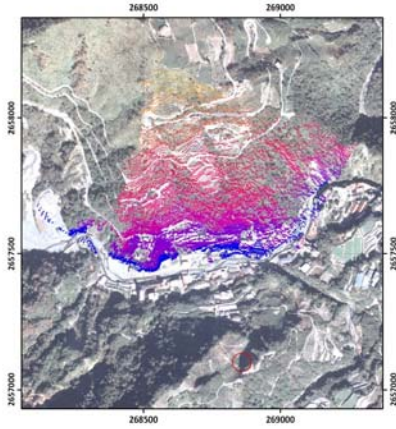


圖 9 監測系統架構圖



(a)Dibit 三維雷射掃描儀站架設位置(圈繪處)、掃描點雲資料  
 (b)Trimble Mensi GS200 掃描結果點雲資料以 RGB 真實色彩呈現

圖 10 三維雷射掃描成果



圖 11 近景攝影測量觀測成果示意圖

發生可能性 probability	高, High	C	B	A	A
	中, Medium	C	B	B	A
	低, Low	D	C	B	B
	非常低 Very Low	D	D	C	C
	非常低 Very Low	低 Low	中 Midium	高 High	
		可能的損失 Potential Loss			

圖 12 風險矩陣量化圖 (譯自 Federal office for water and geology, 1997)