

## 霧社崩塌區自動化監測系統建置與應用

鍾明劍<sup>1</sup> 王金山<sup>1</sup> 譚志豪<sup>2</sup> 冀樹勇<sup>3</sup> 蘇泰維<sup>4</sup> 李錦發<sup>5</sup> 費立沅<sup>6</sup>

1. 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員
2. 中興工程顧問社大地工程研究中心組長
3. 中興工程顧問社大地工程研究中心經理
4. 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組科員
5. 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組科長
6. 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組組長

### 摘要

本研究於霧社崩塌區內建置自動化監測系統，同步進行降雨量、地下水位、地表變形、不飽和土壤張力等監測項目，透過 GPRS 系統即時傳輸回遠端監控中心，可供權責單位解析監測資料與研判現地狀況。此套監測系統於民國 97 年 8 月起陸續完成建置，並已成功地記錄民國 97 年辛樂克與薔蜜颱風期間之監測資料，除傾斜觀測管因地中局部變形過大導致無法持續進行量測外，其餘監測設備均完好無損且持續監測中，顯示此套系統之成效良好。

關鍵字：霧社崩塌區、自動化監測系統、無線傳輸。

## Application of Automatic Monitoring System in Wushe Landslide

### ABSTRACT

This study uses solar energy, sensor, and automatic data acquisition system to establish an automatic monitoring system. The study uses the GPRS modern to transmit data into monitoring center, and then user can obtain all of the monitoring data from the database of server. The automatic monitoring system was set up for the rainfall, groundwater, surface deformation, and soil suction data in Wushe landslide. Furthermore, the study designed a real-time display interface on the website. Since October 2008 this system has been working well, including SINLAKU and JANGMI typhoon events.

*Key Words:* Wushe Landslide, Automatic Monitoring System, Wireless Transmission.

### 一、前言

台灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界區域，由於板塊間的相對運動頻繁，造成台灣的地質構造複雜且破碎。再因台灣地區雨量豐沛且颱風事件頻繁，導致山岳地區邊坡災害頻傳，造成生命與財產之損失，因此產生監測邊坡穩定之需求。傳統邊坡穩定監測多採人工量測方式，而隨著科技的進步，自動化監測系統已逐漸受矚目，其最大的優點在於節省人力與可藉由有線或無線傳輸獲得即時訊息。由於山岳地區邊坡多位於人跡罕至之處，常缺乏電力系統或有線傳輸設備，如何建立高效率、自動化的監測系統則已成近年來的重要課題(何樹根等人, 2001; Lollino et al., 2002; Liu et al., 2004; Lemke, 2006; 方仲欣與何應璋, 2007; Lemke et al., 2008; 廖瑞堂等人, 2008)。

鍾明劍等人(2008)曾於桃園縣復興鄉之義興崩塌地建置一套自動化監測系統，該系統主要係針對降雨

量及地下水位進行自動化監測，自民國 96 年 10 月開始監測迄今之成效均相當良好。本研究除沿用該套系統應用於南投縣仁愛鄉之霧社崩塌區外，且拓展至同步監測降雨量、地下水位、地表伸縮計、土壤張力計等項目。文中將說明自動化監測系統的建置方式與應用，並提出相關成果與建議供各界參考。

### 二、自動化監測系統建置與應用

自動化監測系統之基本架構主要包含感測單元 (Sensor or Transducer)、資料擷取系統 (Automatic Data Acquisition System)、傳輸系統 (ADSL、Radio、GSM、GPRS、VSAT 等)、及遠端控制中心等部分，圖 1 為自動化監測系統之示意圖。目前可應用於邊坡之自動化監測項目，包含地表及地中變形、地聲、水文、雨量等項目，坡面上之結構物則可監測其受力與變位行為。由此可知，事實上自動化監測系統係多種專業產

業與技術的整合，且應視各案例之現場環境、監測目的、經費配置與成果要求等因素進行綜合考量，方能妥善規劃合適且穩定的監測系統，以獲取所需之即時

監測資訊。本節即分述霧社崩塌區概況、監測布置規劃、及監測系統建置方式如后。



圖 1 自動化監測系統示意圖

## 2.1 霧社崩塌區概況

霧社崩塌區位於南投縣仁愛鄉台 14 線約 79K 路段，緊鄰霧社行政中心，區域海拔高程約 1,150 公尺且於眉溪與萬大水庫之間稜線上，東西兩側分別為萬大水庫與眉溪。此區屬高山河谷地形，區內山溝的沖蝕作用明顯，形成許多不穩定邊坡。在地質上，霧社崩塌區位於中央山脈西翼之脊樑山脈帶地質分區之西緣，出露之地層為第三紀中新世之廬山層。該地層主要由黑色至深灰色板岩、硬頁岩與深灰色砂岩互層所組成，偶有零星散佈之泥灰岩團塊，劈理構造發達。每遇豪雨皆造成邊坡侵蝕崩塌，其中在民國 69 年(1980)時 79K+200 回頭彎處已有崩塌，民國 93 年(2004)敏督利風災時受向源侵蝕作用影響，山溝崩塌持續往上方邊坡擴大，民國 95 年 69 豪雨造成山溝崩塌面積再次擴大，造成鄰近道路路基流失，致使多棟房舍損毀(如圖 2 及圖 3(a)所示)，鄰近路面造成斷裂

及落差(如圖 3(b)及圖 3(c)所示)，交通部公路總局第二區養護工程處(2007)乃於民國 96 年針對台 14 線 75K~80K 邊坡積極進行穩定調查與防治方案評估。

本研究於民國 97 年 6 月進行現勘時，仍可發現霧社崩塌區內部分道路或擋土結構之舊有裂縫有擴大跡象外，亦可見一些新生裂縫(如圖 3(d)至圖 3(i)所示)。綜合既有災害歷史紀錄及地質條件考量，研判此崩塌區具有較高的再崩潛勢，具有持續監測之必要性，故本研究選定此區域進行自動化監測工作。根據公路總局第二區養護工程處(2007)委辦「台 14 線 75K~80K 道路滑動委託測量地質探查監測暨防治方案評估設計服務工作」成果顯示，台 14 線 75K~80K 路段間具有大小崩塌地總計達十餘處，再依本研究現勘成果認為以 79K+200 處最具再崩潛勢，故圈劃 79K+200 處之下邊坡作為研究對象(如圖 4 所圈劃範圍)，以下統稱「霧社調查範圍」。



圖 2 69 豪雨引致台 14 線 79K 處道路邊坡破壞照片(公路總局第二區養護工程處，2007)





(a) 北側邊坡 69 豪雨崩塌狀況(2007)



(b) 79k+100 旁民宅地坪開裂(2006)



(c) 79k+200 處路面開裂(2006)



(d) 坡頂整治狀況(2008)



(e) 台 14 線道路旁地面開裂(2008)



(f) 台 14 線道路旁擋土牆開裂(2008)



(g) 坡頂舊有觀測孔擠壓變形(2008)



(h) 坡面漿砌擋土牆開裂(2008)



(i) 凌雲山莊旁路面開裂(2008)

圖 3 霧社崩塌區因豪雨崩塌滑動破壞狀況 (公路總局第二區養護工程處, 2007; 本研究現勘成果, 2008)

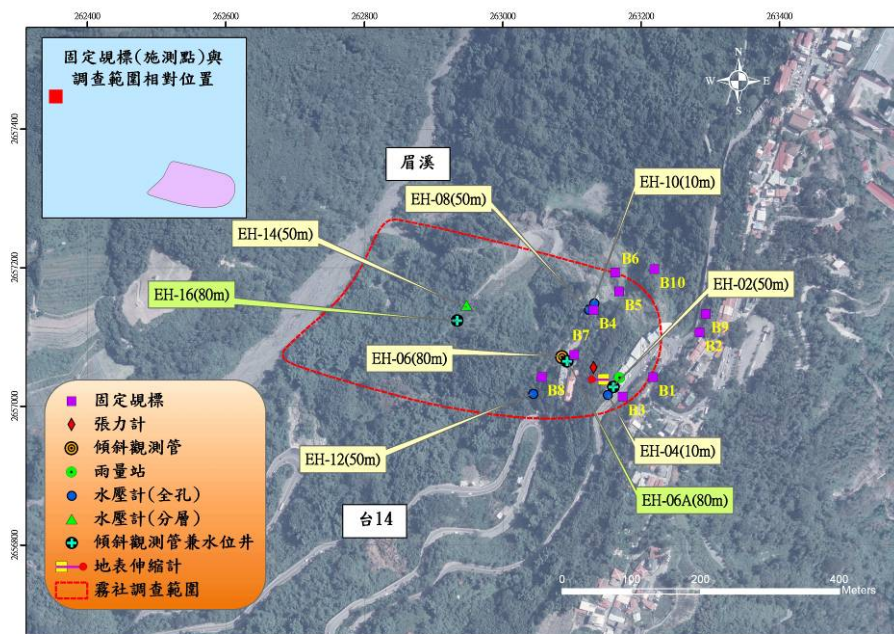


圖 4 霧社調查範圍及全自動監測系統配置規劃圖



2.2 監測布置規劃

本研究針對霧社調查範圍之監測工作所採用的方式如圖 5 所示，主要係於崩塌地內之地質鑽孔中，設置水位觀測井與傾斜觀測管，透過水壓計及測傾儀進行各崩塌地之地下水位變化及潛在面位移之觀測。同時，於崩塌地內之適當地點設置雨量站、固定規標、地表伸縮計及張力計，進行降雨量、地表變形及淺層土壤張力之觀測。

本研究對霧社調查範圍所規劃之監測儀器配置圖如圖 4 所示，各監測項目的記讀方式、監測設備、監測頻率及數量等彙整如表 1 所示。惟受限於經費考量，地表變形中固定規標點位變化僅於颱風事件前後進行人工量測，地中變形則係每月定期派員前往進行量測，再於室內統一進行相關分析。因此，本研究所建構之自動化監測系統係以雨量站、水壓計、地表伸縮計、張力計等四項感測單元為主。

表 1 霧社調查範圍監測項目

監測項目	監測設備	單位	數量	記讀方式	監測頻率	備註
降雨量	雨量站	處	1	自動化	1 筆/小時	—
地下水位 (全孔水位)	水壓計	孔	3	自動化	1 筆/小時	EH-02、EH-08 及 EH-12
地下水位 (分層水位)	水壓計	孔	1	自動化	1 筆/小時	EH-14
地下水位 (暫棲水位)	水壓計	孔	2	自動化	1 筆/小時	EH-04 及 EH-10
地表變形	全測站	處	1	人工式	2 次	固定規標 (B01~B10)
	三維雷射掃瞄儀	處	1	人工式	1 次	地面 LiDAR
	地表伸縮計	處	1	自動化	1 筆/小時	—
地中變形	傾斜觀測管	孔	2	人工式	1 次/月	EH-02 及 EH-06
淺層不飽和土壤張力	張力計	處	1	自動化	1 筆/小時	—

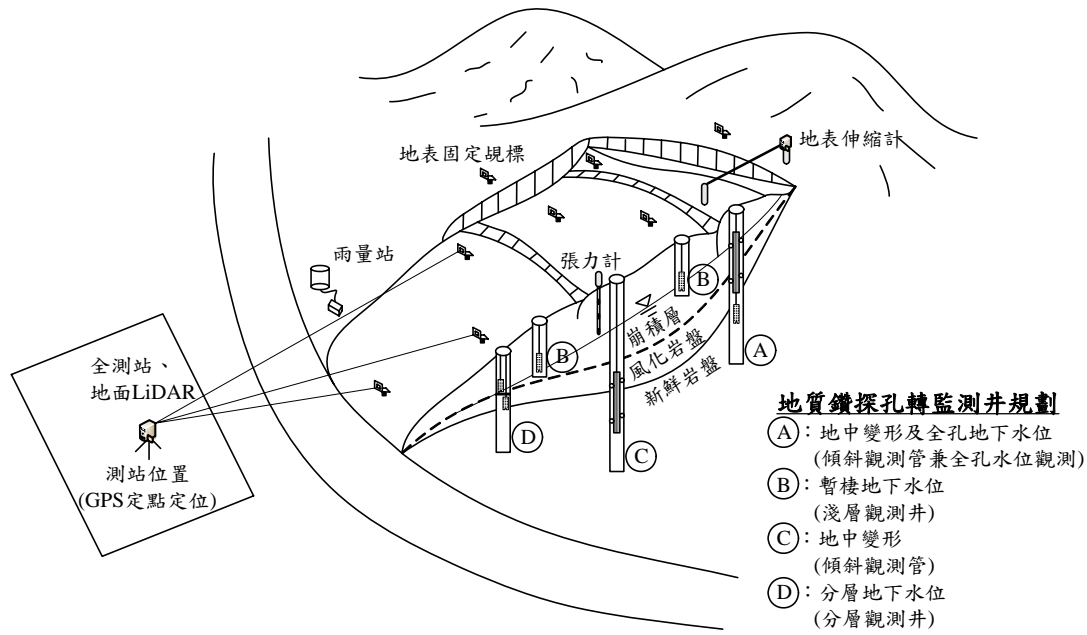


圖 5 霧社調查範圍監測工作示意圖

2.3 監測系統建置方式

霧社調查範圍監測儀器之安裝資料如表 2 及圖 6 所示，其中分層觀測井(EH-14)係依鑽探岩心與孔內水文地質探測成果綜合研判其分層深度；淺層水位觀測井(EH-04 及 EH-10)則配合全孔水位觀測井(EH-02 及 EH-08)位置搭配。以上配置可釐清各含水層型態(淺層自由含水層、暫棲水層及受壓含水層)內水位(水壓)之變化。上述所有監測資料均透過 GPRS 系統即時傳輸回遠端監控中心之監測伺服器內，配合遠端伺服器內的資料庫與即時資料展示介面(見圖 6)，可供使用者進行即時監控及資料備份與查詢動作。

三、霧社崩塌區自動化監測成果

霧社調查範圍於民國 97 年 8 月下旬起陸續執行監測儀器安裝作業，同年 10 月完成所有系統建置工作。於監測期間內(截至 98 年 5 月底之監測資料)，已成功地記錄民國 97 年辛樂克與蕃蜜颱風期間之監測資料，茲將其成果分述如后。

表 2 霧社調查範圍現地監測儀器安裝成果

鑽孔編號	鑽孔深度	量測項目	儀器種類	篩管開孔位置	安裝位置
—	—	降雨量	雨量站	—	地表
EH-02	50 m	地中變形 地下水水位	測傾儀 水壓計	-48.0~-49.5 m	-49 m
EH-04	10 m	地下水水位	水壓計	-8.0~-9.5 m	-9.5 m
EH-06	80 m	地中變形	測傾儀	—	0~-80 m
EH-08	50 m	地下水水位	水壓計	-48.0~-49.5 m	-49 m
EH-10	10 m	地下水水位	水壓計	-8.0~-9.5 m	-9.5 m
EH-12	50 m	地下水水位	水壓計	-48.0~-49.5 m	-49 m
EH-14	50 m	地下水水位	水壓計	-30.0~-31.5 m -34.5~-36.0 m	-31.0 m -35.5 m
—	—	地表變形	地表伸縮計	—	地表
—	—	淺層不飽和土壤張力	張力計	—	-0.3 m -0.5 m -1.0 m

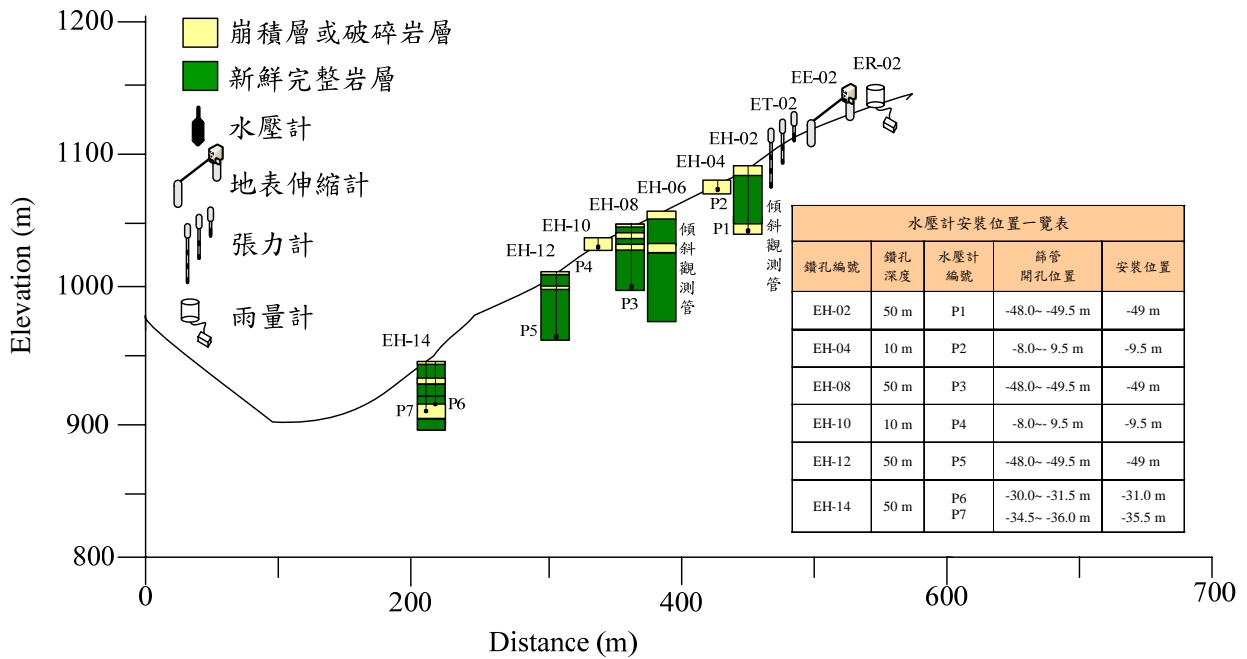


圖 6 霧社調查範圍監測儀器布置剖面位置圖



圖 7 遠端伺服器監測網頁畫面

### 3.1 降雨量

霧社調查範圍監測所得降雨量資料如圖 8 所示，於監測期間內(民國 97 年 9 月 10 日至 98 年 5 月下旬)監測得辛樂克與蕃蜜等兩場颱風之降雨紀錄，如圖 9 所示。辛樂克颱風時雨量紀錄如圖 9(a)所示，此場颱風事件之累積雨量約 1,005 mm，最大日雨量發生於民國 97 年 9 月 15 日，所量得之日雨量達 473 mm，屬於超大豪雨事件；蕃蜜颱風時雨量紀錄如圖 9(b)所示，此場颱風事件之累積雨量約 451 mm，最大日雨量發生於民國 97 年 9 月 29 日，所量得之日雨量達 270 mm，屬於大豪雨事件。

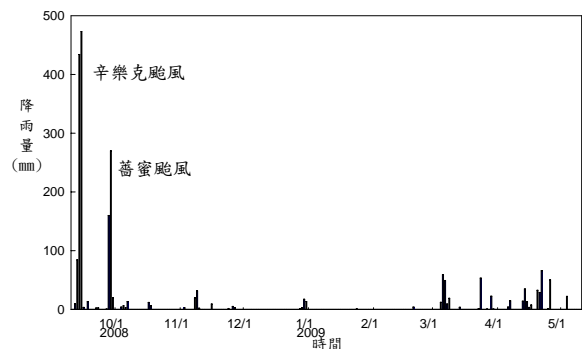
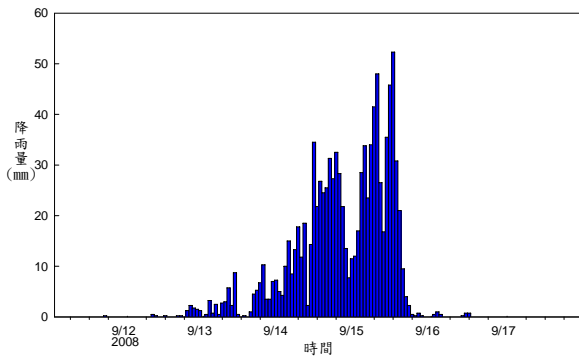
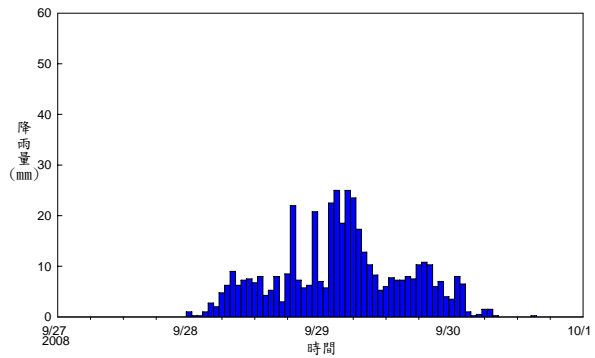


圖 8 霧社調查範圍日雨量紀錄



(a) 辛樂克颱風時雨量記錄



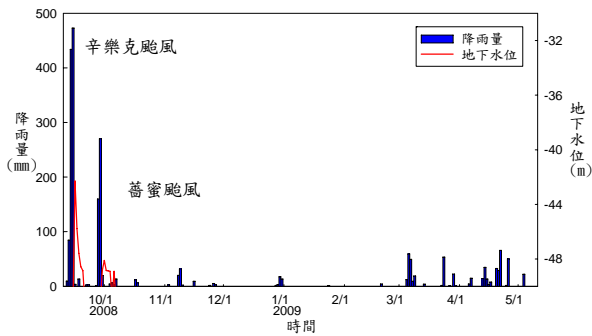
(b) 蕃蜜颱風時雨量記錄

圖 9 辛樂克與蕃蜜颱風於霧社調查範圍之時雨量紀錄

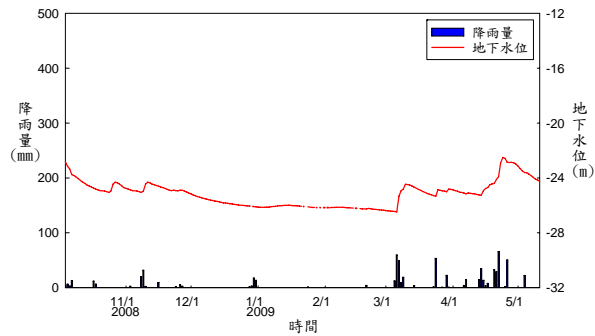
### 3.2 地下水水位

霧社調查範圍地下水水位監測資料如圖 10 所示，由 EH-14 分層水位監測成果(圖 10(c)及圖 10(d))可知，本計畫已成功地區隔淺層自由水位與受壓含水層，且 EH-14-1 及 EH-14-2 於颱風豪雨期間可觀察出

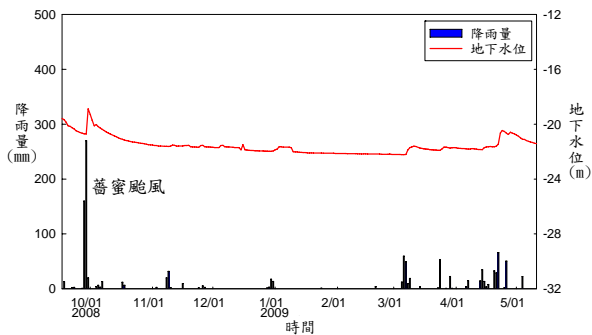
其隨降雨增加而有不同程度之抬升現象，淺層水位反應較深層水壓迅速且顯著。由 EH-12 之監測資料可知全孔水位均有隨降雨量增加而抬升之趨勢，惟抬升之幅度並不顯著。而淺層水位觀測井 EH-04 與 EH-10 於蕃蜜颱風豪雨事件期間並無出現暫棲水抬升與消散之現象。



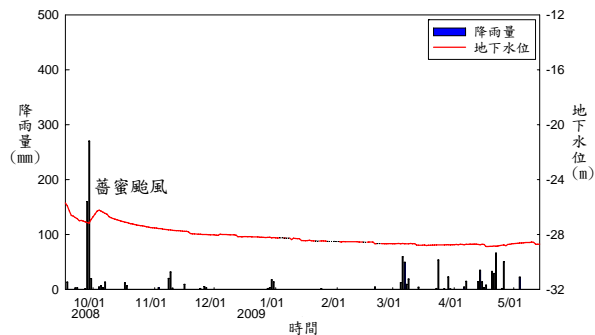
(a) EH-02 (50m) 地下水水位



(b) EH-12 (50m) 地下水水位



(c) EH-14-1 (32m) 地下水水位



(d) EH-14-2 (50m) 地下水水位

圖 10 霧社調查範圍日雨量及地下水水位監測紀錄

### 3.3 地表變形

霧社調查範圍地表變形監測系統已於民國 97 年 9 月 17 日前完成建置，包含地表伸縮計與地表變位觀測點(固定規標)，茲將其成果分述如后。

#### 3.3.1 地表伸縮計

地表伸縮計布置規劃如圖 4 所示，並於民國 97 年 9 月 10 日完成現場硬體建置。由於自動化監測傳輸模組安裝前已產生 49.91 mm 之變位(歷經辛樂克颱風事件)，故後續變位監測採此已變形量進行累加計算，而蕃蜜颱風過後使地表變位增加為 59.7 mm。

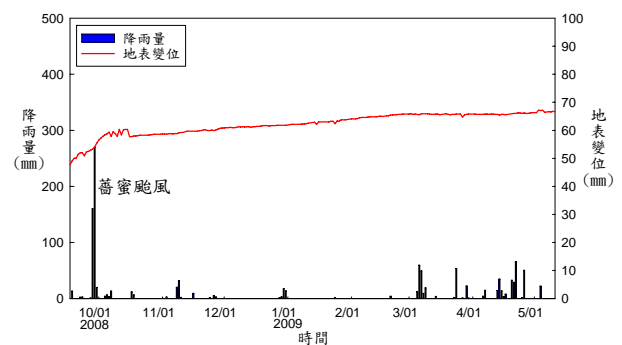


圖 11 霧社調查範圍地表伸縮計觀測紀錄



### 3.3.2 地表變位觀測點

地表變位觀測點(固定規標)布置規劃如圖 4 所示，並於民國 97 年 10 月 3 日完成第二次量測，兩次量測時間點已歷經辛樂克及蕃蜜颱風事件，點位變化成果彙整如表 3 及圖 12 所示。本計畫全測站點位採固定樁方式架設，全測站至各固定規標最遠距離約 1200 公尺，考量各固定規標之坐標誤差包含已知坐標點誤差、距離觀測量誤差及角度觀測量誤差。因此，霧社調查範圍固定規標坐標之誤差約為 2 cm。

由圖 12 位移向量圖可知霧社調查範圍歷經辛樂克及蕃蜜颱風侵襲後，調查範圍內地表固定規標均產生明顯之變位，其變位量在 2.3~36.1 cm 不等，其中 B10 規標甚至遭到沖毀而無法進行第二次量測。由圖 12 可知，調查範圍中心線之規標點(如 B01 及 B07)均朝下邊坡方向滑移，而鄰近北側崩滑區之規標點(如 B04、B05 及 B06 等)則多朝既有崩滑區沖蝕溝之面向滑移。

表 3 霧社調查範圍固定規標點位變化分析

規標編號	平面位移 (cm)	位移方位角 (度)	高程變化 (m)	備註
B01	16.02	323.631	-0.1980	—
B02	2.25	290.854	-0.0150	—
B03	4.56	243.997	-0.0080	—
B04	18.28	325.701	-0.0740	—
B05	24.64	333.227	-0.0610	—
B06	27.73	332.511	-0.0400	—
B07	36.13	307.917	-0.1510	—
B08	4.82	274.764	0.0170	—
B09	4.50	358.727	0.0060	—
B10	—	—	—	規標已沖毀

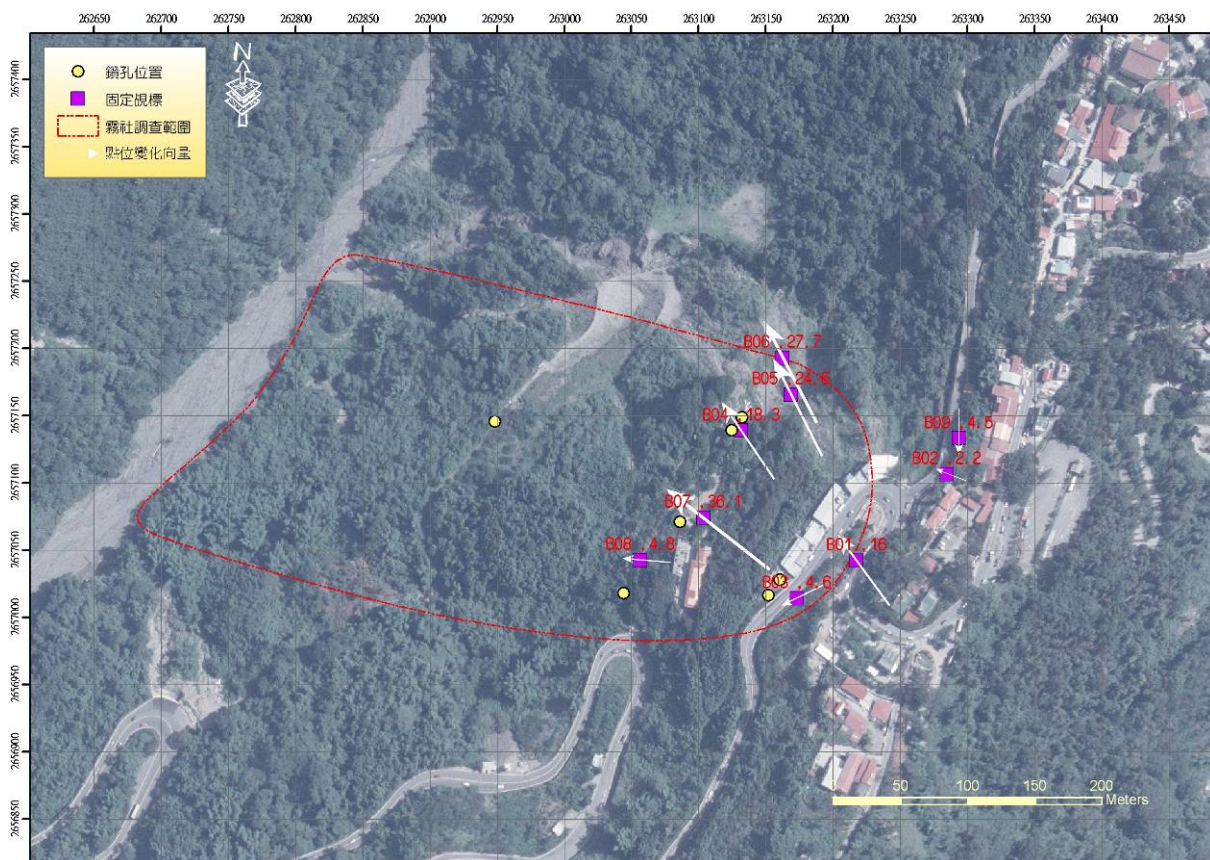


圖 12 霧社調查範圍固定規標點位移向量圖 (航照日期：2008)

### 3.4 地中變形

地中變形量測採建置傾斜觀測管，並定期派員以測傾儀進行量測，傾斜觀測管布置規劃如圖 4 所示。可惜傾斜觀測管於初值量測後，因蕃蜜颱風事件所挾帶來的豪雨導致 EH-02 (地表下深度：2.3 m) 及 EH-06 (地表下深度：16.9 m) 傾斜觀測管局部變形過大，因而無法進行後續之量測。顯示 EH-02 與 EH-06 分別於地表下 2.3 m 及 16.9 m 有一淺層滑動面，而是否有更深層之滑動面則無法由既有傾斜觀測管得知。為掌握此區之潛在滑動面，本研究於民國 98 年 12 月補充 2 口 80 m 鑽探孔，並裝設傾斜觀測管以進行地中變

形量測，編號分別為 EH-06A 與 EH-16(布置規劃詳見圖 4)，迄今之監測資料如圖 13 所示。由圖 13 可知 EH-06A 於地表下 16~30m 間略有變形，2009/5/11 量測所得異常變形曲線肇因地表沉陷導致傾斜觀測管有局部挫曲現象發生；EH-16 則於地表下 8~10m 間略有變形，但其變位不甚顯著，仍應持續觀察。

由上述監測資料及調查範圍內道路及停車場產生多處大小不一之張力裂縫可知，霧社調查範圍在歷經幾次颱風的侵襲下，地表、地中已產生顯著之變位，惟量測地中變形之傾斜觀測管因局部變形過大導致無法量測，目前尚無法推斷邊坡滑動面之深度、滑移量及其滑動速率以探討其與降雨之關聯性。

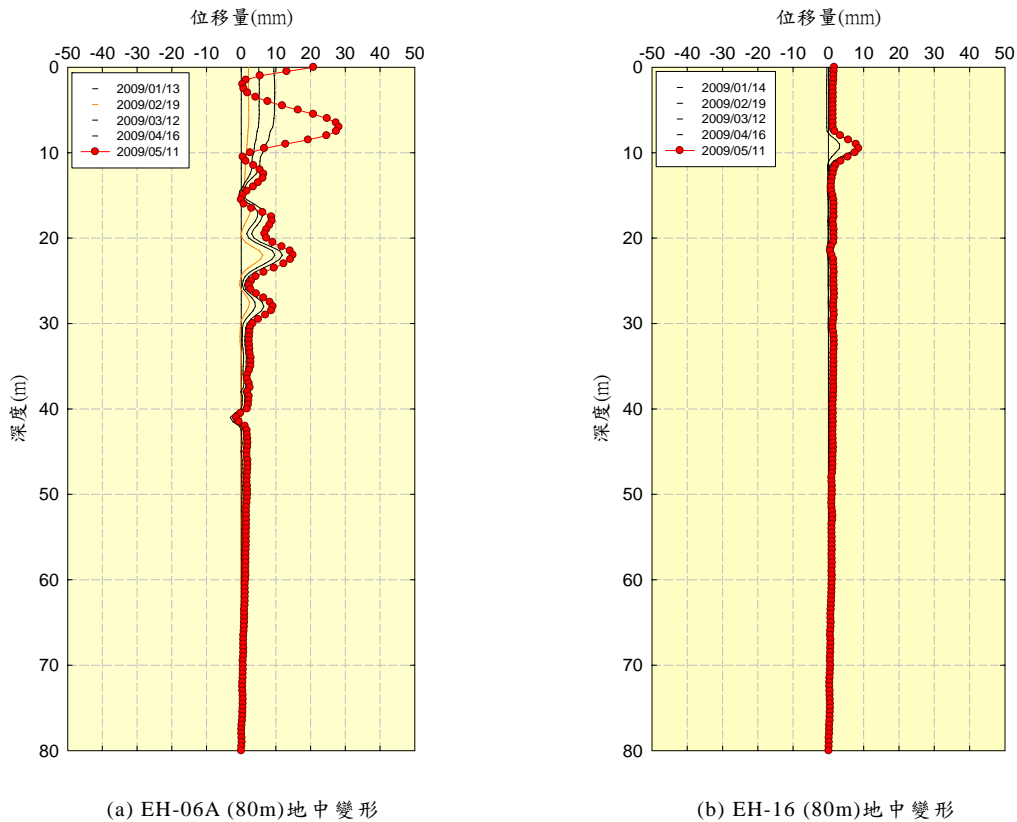


圖 13 霧社調查範圍地中變形紀錄

### 3.5 淺層土壤張力

淺層不飽和土壤基質吸力監測布置規劃如圖 4 所示，並於民國 97 年 9 月 10 日完成張力計建置，初期監測成果如圖 14 所示。由初期監測成果可知：(1) 因建置完畢後同月 12 至 16 日為辛樂克颱風，其累積降雨量導致此區崩積層含水量提高，故初期基質吸力均偏低係屬正常；(2) 監測期間之基質吸力有隨降雨事件而下降之現象；(3) 基質吸力隨降雨事件結束後有緩慢增加的趨勢，如圖 14 中 10 月份監測資料所示；(4) 由 11 月 8 至 10 日監測資料可知基質吸力受降雨入滲使含水量提高之影響而明顯下降，且係由最淺層 (0.3 m 處) 先有反應，隨降雨入滲至更深層後 (0.5 m 及 1.0 m 處)，相對應深度之基質吸力則隨之反應，此種監測成果與常見降雨入滲反應一致；(5) 自民國 97 年 11 月中旬後長達 1 個半月降雨量甚為有限，致使淺層土壤含水量大幅下降，即於圖 14 中張力值呈現顯著提高現象。

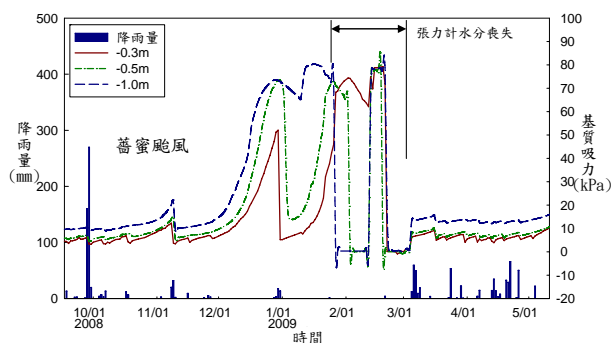


圖 14 霧社調查範圍淺層不飽和土壤基質吸力紀錄

### 四、結論與建議

霧社調查範圍由民國 97 年 9 月監測至今，顯示崩塌地之地下水位位於地表下較深之位置，僅坡面南側及坡址之地下水位即高於地表下 50 m，其餘皆在地表下 50 m 之下。而由蕃蜜颱風事件期間之監測資料可以看出地下水位隨降雨量增加而抬升之趨勢，但抬升之幅度並不顯著；而地表及地中變形則在經歷了蕃蜜颱風事件之後，可清楚地觀察到霧社調查範圍內地表面已產生顯著之變形，且傾斜觀測管於初值量測後，因颱風事件所挾帶來的豪雨導致 EH-02 (地表下深度：2.3 m) 及 EH-06 (地表下深度：16.9 m) 傾斜觀測管局部變形過大，因而無法進行後續之量測，本研究已於同年 12 月完成補充鑽孔持續進行監測中；至於土壤基質吸力監測大約可以看出淺層不飽和土壤之基質吸力隨張力計埋設之深度增加而增大的趨勢。

由監測成果而言，此套自動化傳輸系統均處於相當穩定狀態，鮮少發生資料漏失問題，顯示其功效值得肯定。惟監測期間仍未足一個水文年，今年度颱風季則可再次驗證其穩定性，並於蒐集數場完整颱風監測數據後，即可佐證降雨與坡地穩定性關聯研究之準確度。

### 誌謝

本研究承蒙經濟部中央地質調查所提供經費進行「集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫」研究，在此致上誠摯謝意。

### 參考文獻

[1]何樹根、陳斗生、詹連昌，「梨山地滑區之自動化



- 化監測系統」，地工技術，第 86 期，第 39-52 頁 (2001)。
- [2] Lollino, G., Arattano, M., and Cuccureddu, M. "The use of the automatic inclinometric system for landslide early warning: the case of Cabella Ligure (North-Western Italy)," *Physics and Chemistry of the earth*, Vol. 27, No. 36, pp. 1545-1550 (2002).
- [3] Liu, D.A., Yang, Z.F., Tang, C.H., Wang, J., and Liu, Y. "An automatic monitoring system for the shiplock slope of Wuqiangxi Hydropower Station," *Engineering Geology*, Vol. 76, Issues 1-2, pp. 79-91 (2004).
- [4] Lemke, J.L. "In-place inclinometer using low-G accelerometer network," *Proceedings of Geocongress 2006*, pp. 1-6 (2006).
- [5] 方仲欣、何應璋，「儀器就定位：邊坡監測自動化」，營建知訊，第 293 期，第 10-21 頁 (2007)。
- [6] Lemke, J.L., Hagy, M., and Brittsan, D. "Continuous real-time monitoring of an active landslide using a high-density accelerometer network," *Proceedings of Geocongress 2008*, pp. 500-508 (2008).
- [7] 廖瑞堂、徐振煌、陳昭維，「自動化監測系統於山坡地防災之應用」，土木水利，第 35 卷，第 2 期，第 45-53 頁 (2008)。
- [8] 鍾明劍、王金山、顧承宇、費立沅、李錦發、蘇泰維，「山岳地區邊坡全自動監測系統建置與應用」，第六屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會，論文編號：D-05，台中，台灣 (2008)。
- [9] 交通部公路總局第二區養護工程處，台 14 線 75K-80K 道路滑動委託測量地質探查監測暨防治方案評估設計服務工作，新世紀技術顧問股份有限公司辦理，期中報告 (2007)。
-