

九份二山崩塌地變動觀測

Monitoring The Chiu-fen-erh-shan Landslide

摘要

民國 88 年 9 月 21 日，台灣中部發生芮氏地震規模 7.3 之強烈地震，位於南投縣國姓鄉九份二山北側之炭斗山東南坡面，受 921 大地震之影響，發生大規模順向坡之滑動，通稱「九份二山崩塌」，崩塌總面積達 195ha。民國 91 年 11 月間，在崩塌區順向坡之腳部，發現上拱張口及裂隙之現象；次年，水土保持局成立「九份二山崩塌地觀測計畫」，針對九份二山崩塌區順向坡，以全測站經緯儀及孔內傾斜儀，觀測地下及地表之變動情形，俾作為颱風豪雨來臨時，緊急應變之參考依據。

關鍵詞：九份二山、崩塌

Abstract

The Chi-chi earthquake($M_L=7.3$) triggered a gigantic landslide on the dip-slope near the Chiu-fen-erh-shan in central Taiwan on September 21,1999. The landslide is called Chiu-fen-erh-shan landslide and has an area of 195ha. In November 2002, bulges and cracks were found near the toe in the failed area of this landslide. In 2003, the Soil and Water Conservation Bureau initiated a project,Monitoring the Chiu-fen-erh-shan Landslide , to trace the surface and subsurface changes in the slide region by surface surveying and with inclinometer, and thereby facilitate rapid response action in the event of future heavy rain.

Keywords : Chiu-fen-erh-shan, landslide

一、前言

民國 88 年 9 月 21 日，台灣中部地區發生規模(M_L)7.3 大地震，稱為 921 地震，造成 2,400 人死亡，11,000 受傷，約 100,000 棟建築物倒塌，大小崩塌地超過 20,000 處，係台灣地區近百年來罕見的自然災害。南投縣國姓鄉南港村炭斗山東南山麓一帶，受 921 大地震影響，發生大規模順向坡岩體滑動，即通稱的"九份二山崩塌地"，崩塌區與堆積區之總面積達 195ha，計 39 人慘遭活埋，崩塌土石堵塞北山坑溪（木屐欄溪）支流韭菜湖溪及澀子坑溪，分別形成韭菜湖溪及澀仔坑兩處堰塞湖。

由於崩塌範圍廣闊，堆積土石量遠超乎以往經驗，為加速災區復舊，防範豪雨潰洪與土石流災害，遂由行政院農委會水土保持局，委託國立中興大學辦理「九份二山堰塞湖規劃及防災演練計畫」工作，主要針對該崩塌地堆積區，進行基本資料之調查研究、建立監測與通報系統、堆積區之整治工程對策規劃、堰塞湖破壞及可執行機關：財團法人工業技術研究院

能之災害分析等工作。上述計畫於民國 90 年 4 月完成，計畫成果報告中建議以降雨量、堰塞湖水位、BH-2 鑽孔地下水位、及溢流水位等觀測項目，做為預警項目並設定基準值。

91 年 11 月間，崩塌區順向坡腳部，再度發現上拱及張口裂隙等異常現象，水土保持局為瞭解九份二山崩塌地是否繼續滑動中，隨即於 92 年辦理「九份二山崩塌地觀測計畫」，以地質鑽探、地表變動觀測、孔內傾斜及地下水觀測等方法，以初步了解地表及地下變動情形，做為於颱風豪雨來臨時，緊急應變之參考依據。

二、計畫區自然環境

(一)地理位置與交通

九份二山崩塌地位於南投縣國姓鄉南港村澀仔坑一帶，崩塌地頭部鄰近南投縣中寮鄉。自南投縣草屯鎮沿省道台 14 線（中潭公路）東行至北山坑，沿 147 號縣道南行約 2Km 至三民橋南岸，接龍南產業道路向西行約 2.5Km，即可進入崩塌地頭部；或沿 147 號縣道南行 3Km 至南港，轉接南港七號農路西行 2Km，可進入崩塌地堆積區（圖 1）。

(二)地質與地形

地質上，九份二山崩塌地位於西部麓山帶地質區內，根據經濟部中央地質調查所（2000）出版之埔里圖地質圖幅所示，九份二山崩塌地位於大岸山向斜之西翼，東距水里坑斷層約 2Km。出露之地層以中新世之地層為主，詳如圖 2 所示。

大岸山向斜軸線呈南北向延伸，軸部由桂竹林層所構成，其下與樟湖坑頁岩以不整合相接觸，再下為整合之石門層、炭寮地頁岩等中新世地層。向斜東翼岩層呈南北走向，向西傾斜約 50°；西翼岩層呈北東走向，向東傾斜約 20°~30°，因此為一不對稱向斜，東翼較陡，西翼較平緩，同時向斜軸微向南傾沒。

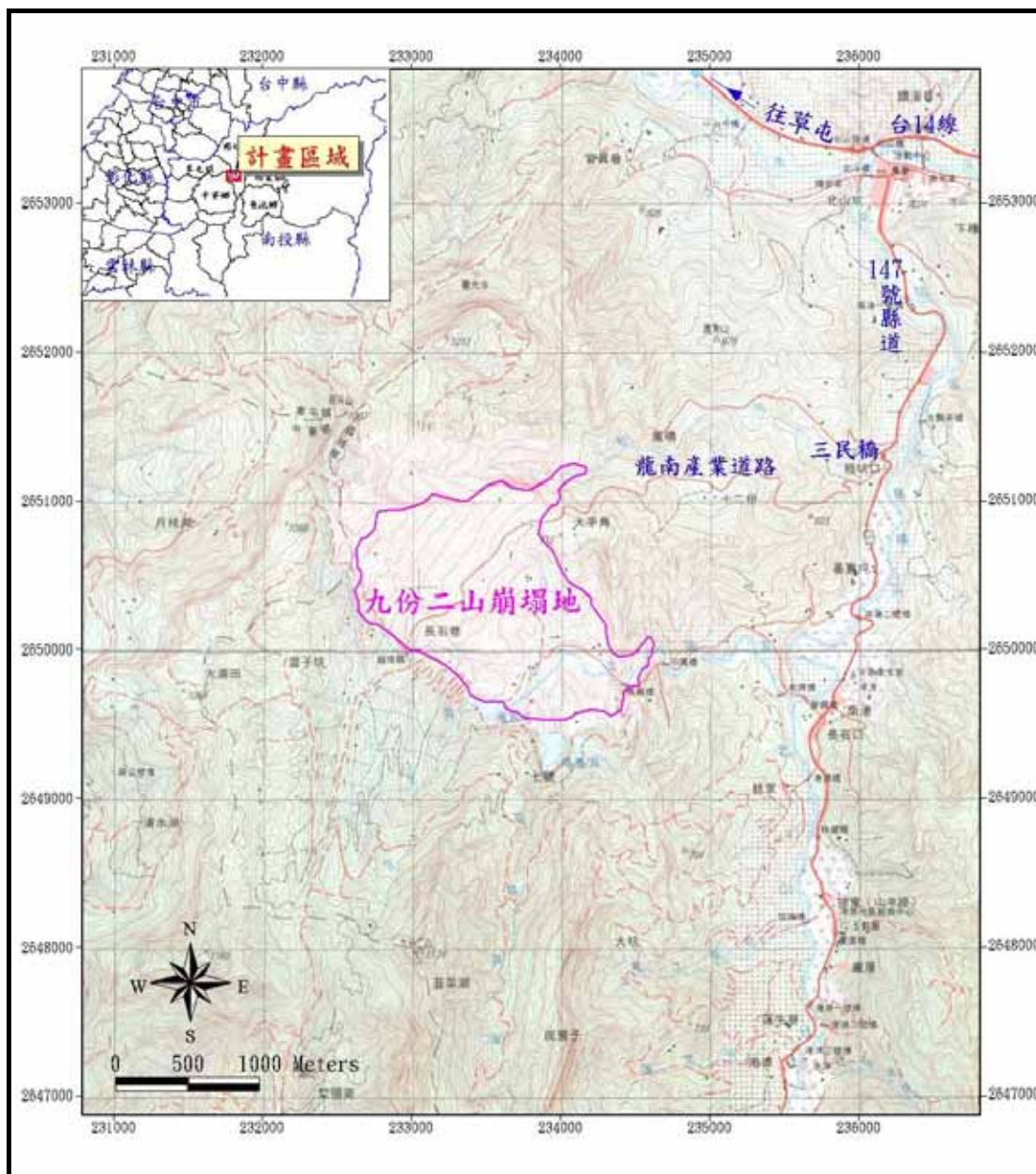


圖 1 九份二山崩塌地地理位置圖

計畫區域內出露岩層，係由中新世樟湖坑頁岩之厚層砂質頁岩夾雜砂岩所組成，為一向東南傾斜約 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的順向坡，受地震影響，以致整個順向坡岩體沿層理面脫離破裂而洩下。

崩塌區高程在海拔 500 至 1,000m 間，崩塌面積約 102.5ha，崩塌深度 30 至 50m；剝離土石以極高的速度崩落，並在東南側下方之石門峽谷受阻而堆積，平均岩層滑衝距離約 1Km，堆積面積約 92.5ha，堆積土石堵塞澗仔坑溪及韭菜湖溪而形成堰塞湖。

從崩塌地堆積區觀察得知，九份二山崩塌材料包括黃棕色之表土及風化岩，以及其下之新鮮灰色頁岩及砂岩層，且大部分岩層經快速衝下，已崩解分離成大小不一之岩塊及細小之岩屑。

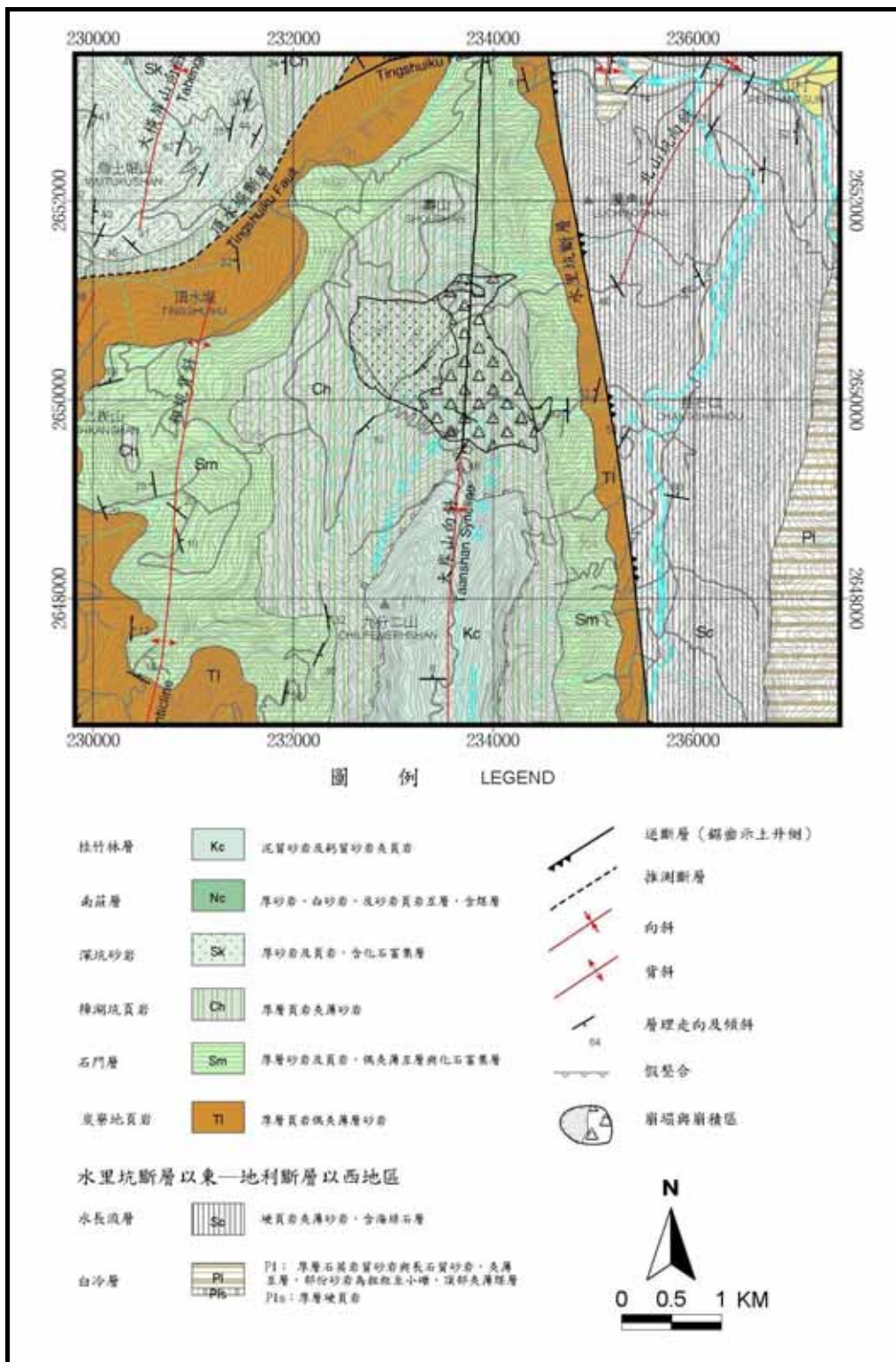


圖 2 九份二山崩塌地區域地質圖 (中央地質調查所, 2000)

(三)雨量

距離九份二山計畫區域最近之雨量站，為中央氣象局北山雨量站，根據民國82~90年的雨量資料，年降雨量在1,522~2,723mm(圖3)，年平均降雨量為2,217.8mm。年平均降雨日數為115.8日，全年降雨集中於每年四、五、六月之梅雨期及七、八月份之颱風豪雨期間(圖4)，約佔全年總降雨量77%。

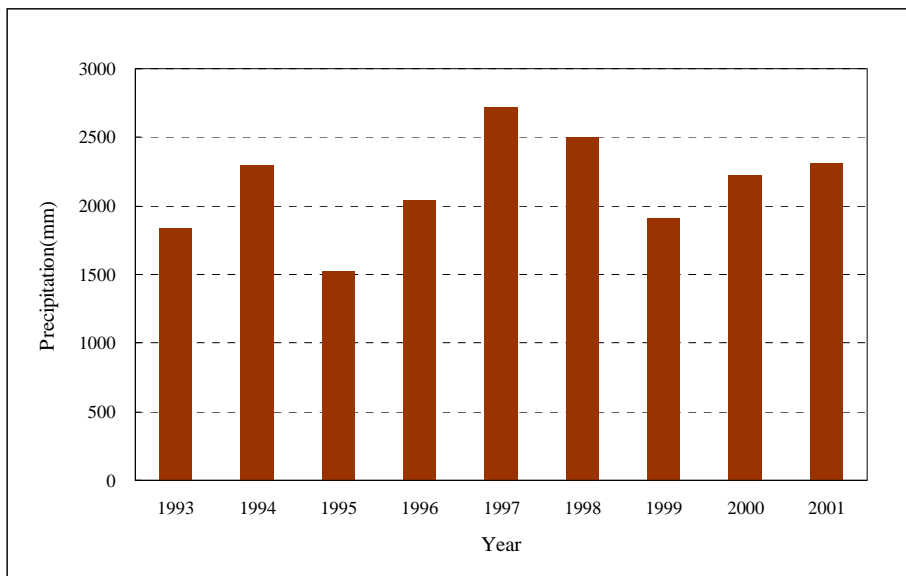


圖3 計畫區域年雨量統計圖

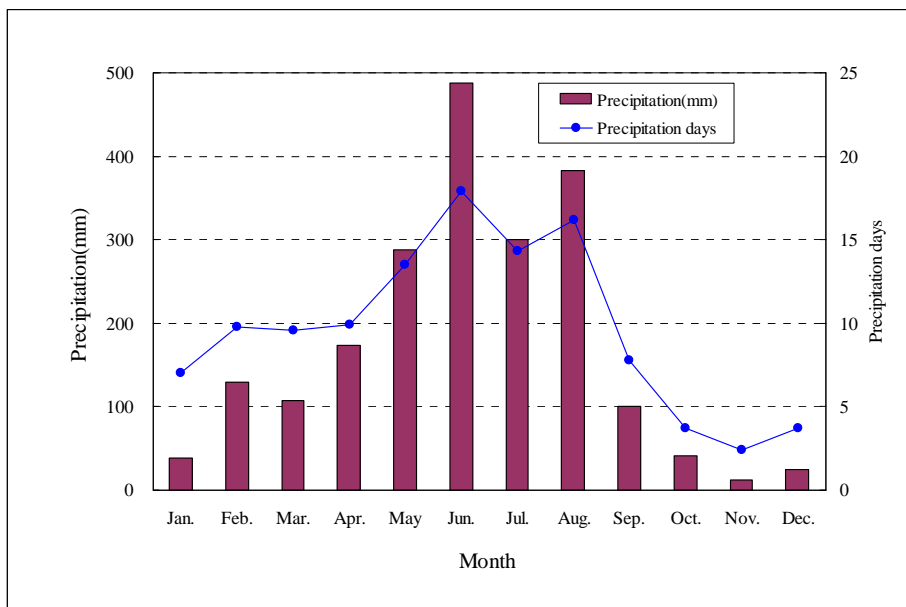


圖4. 計畫區域月平均雨量與降雨日數統計圖

三、工作方法

九份二山崩塌地之變動觀測主要以地質鑽探、地表變動觀測、孔內傾斜觀測等方法，瞭解崩塌區之地表及地下之變動情形，工作流程如圖 5，各項工作方法敘述如后。

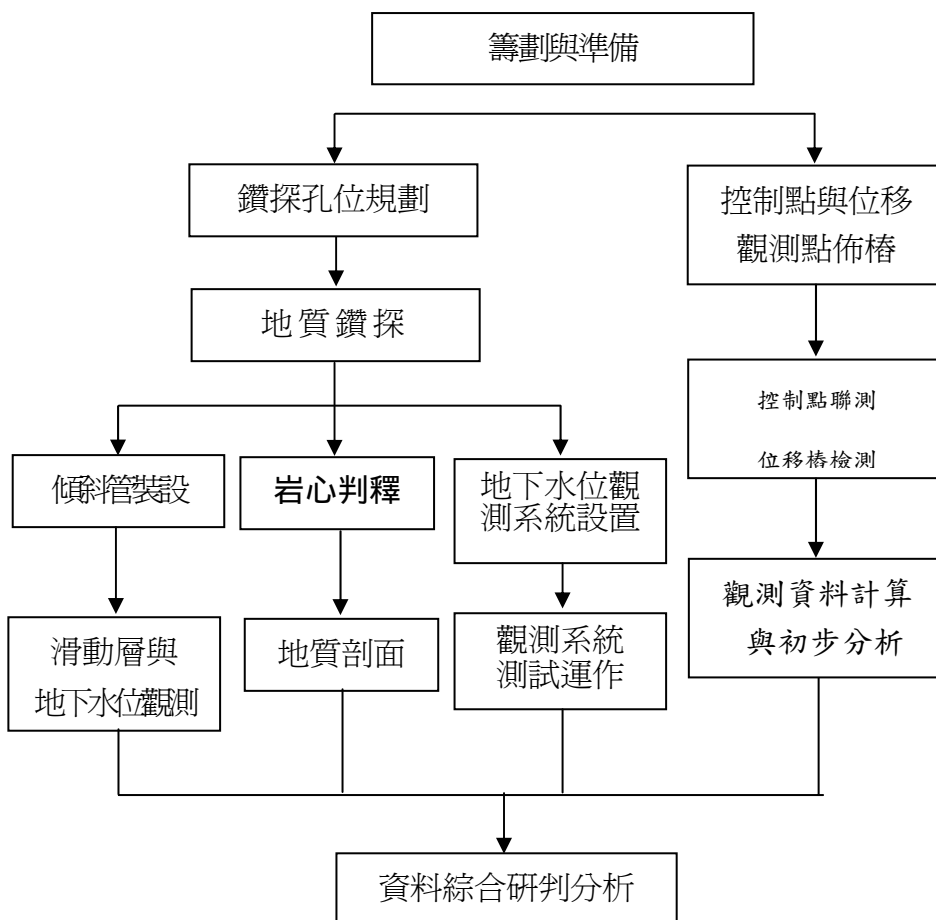


圖 5 崩塌地觀測計畫工作流程圖

(一)地質鑽探

在九份二山崩塌地崩塌區（順向坡部分）內，以龍南道路為準，其上下坡面各進行二孔地質鑽探，合計四孔，實際鑽探孔位如圖 6 所示（BH-2~5），各鑽孔之孔位座標（TWD97）如表 1，每孔鑽探深度 30m，全孔取樣。主要目的為研判順向坡的地下地質狀況，推測可能滑動面，並利用鑽孔埋設傾斜管，以孔內傾斜儀（Inclinometer）進行量測，以調查滑動面位置。另外，BH-1 鑽孔係供裝設地下水觀測井之用，深度為 60m，不取樣。

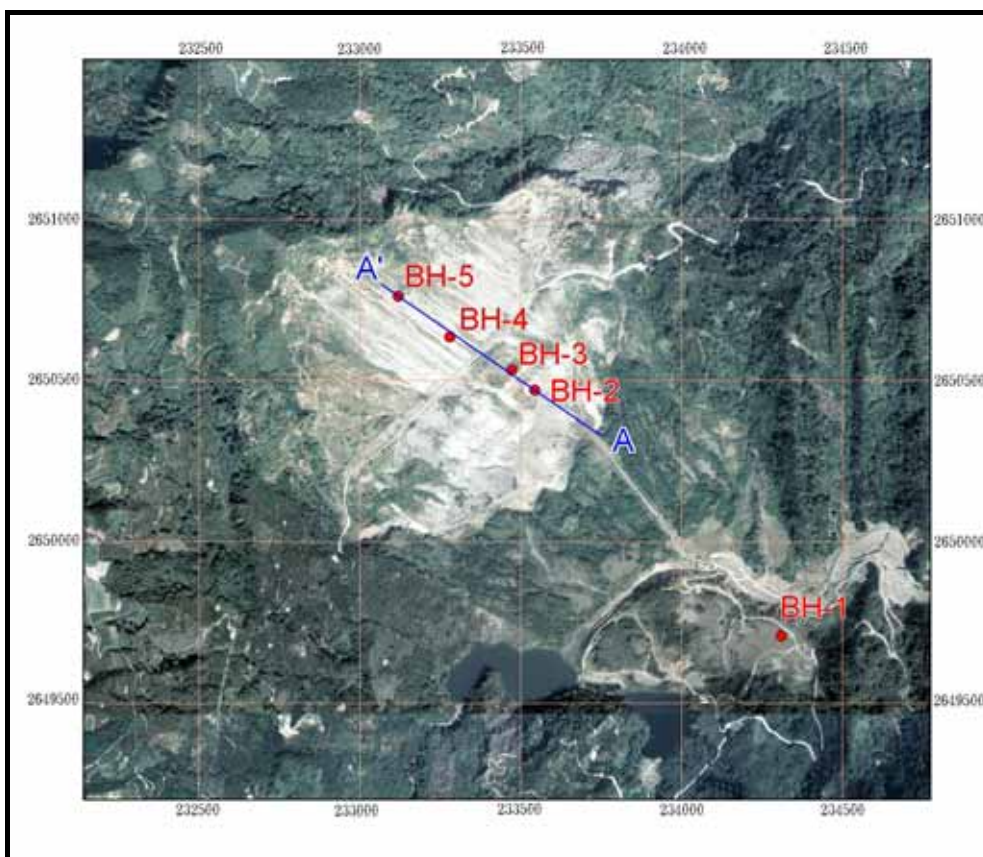


圖 6 鑽探孔位與測線位置圖

表 1 鑽探孔位座標

鑽孔編號	深度 (m)	TWD 97 座標 (m)		高程 (m)
		N	E	
BH-1	60.0	2649502.792	235139.389	541.555
BH-2	30.0	2650264.965	234373.381	638.675
BH-3	30.0	2650327.687	234302.117	688.116
BH-4	30.0	2650430.081	234110.009	775.543
BH-5	30.0	2650555.979	233949.459	858.667

(二) 滑動層調查與地下水位觀測

滑動面調查，除可參考地質鑽探岩心判釋外，主要係應用裝設於鑽孔內之傾斜管，定期量測傾斜管的側向位移。本計畫採用 Sinco 50325M 傾斜儀，量測裝設於鑽孔內之傾斜管傾斜角度變化情形，以研判滑動面位置及滑動量，量測方法如圖 7 所示。

量測時順著傾斜管內凹溝槽放入傾斜儀，每隔 50cm 測定 A 軸與 B 軸相對於垂

直軸之傾斜角度，比較觀測期間的傾斜角度變化情形，以推測滑動面的位置和滑動量，此種方法為目前被公認為最精確的土（岩）層側向變位量測方法之一。設定量測間隔為 L ($=50\text{cm}$)，其與水平變位 y 間之傾斜角為 θ 時，則水平變位 $y = L\sin\theta$ 。量測一次後，需將傾斜儀依滑輪方向旋轉 180° 再量測一次，如此可消除儀器系統誤差，而得較為正確之結果。地下水位觀測係採用觸計式水位指示器，於孔內傾斜儀量測工作前進行之。

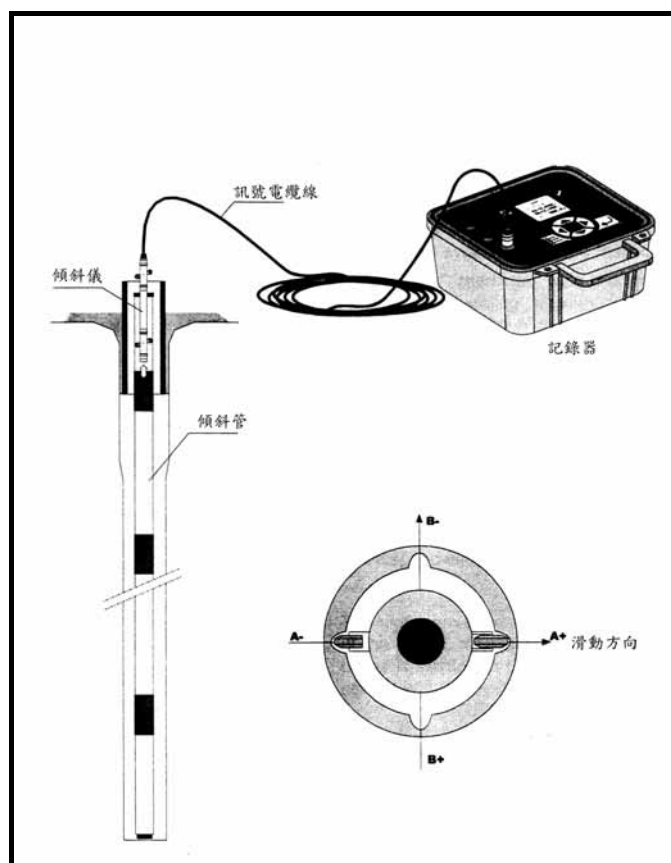


圖 7 孔內傾斜儀量測示意圖

(三)地下水位自動觀測系統

本項目係依據水土保持局委託國立中興大學「九份二山堰塞湖規劃及防災演練計畫」成果報告(2001)建議，於九份二山下游溢洪道原報告所述 BH-2 附近施鑽一孔(不取樣)，深度 60m，並裝設透水之 PVC 管，作為地下水位觀測井。觀測系統內容則包括地下水位計、電源供應、資料記錄器、RF 無線 Modem 及工業用電腦等；地下水位自動觀測站，除記錄水位資料外，尚將資料傳輸至水土保持局九份二山土石流觀測示範站資料接收中心。

(四)地表變動觀測

1.觀測樁埋設

(1)基準點樁

為假設之不動點，設置於調查區之外圍，且需極為穩固之地表上，為位移觀測相對之參考點，如圖 8 之 A、B、C、D 等。

(2)控制點樁

為連接基準點與位移觀測點之測量點，如圖 8 之 TP1 至 TP6。

(3)位移觀測點樁

為觀測崩塌區地表位移變動之測量點，分布如圖 9 所示；共計六條測線，測線間距約為 200m，測點間距約為 150m，主測線上共計埋設主觀測樁 32 支，於地表隆起處或岩層斷裂處增設副觀測樁 10 支。位移觀測點編號係以測線為首加流水號，若為岩盤加 R，土層加 S 來區別（如 A1.S、D2.R 等）。

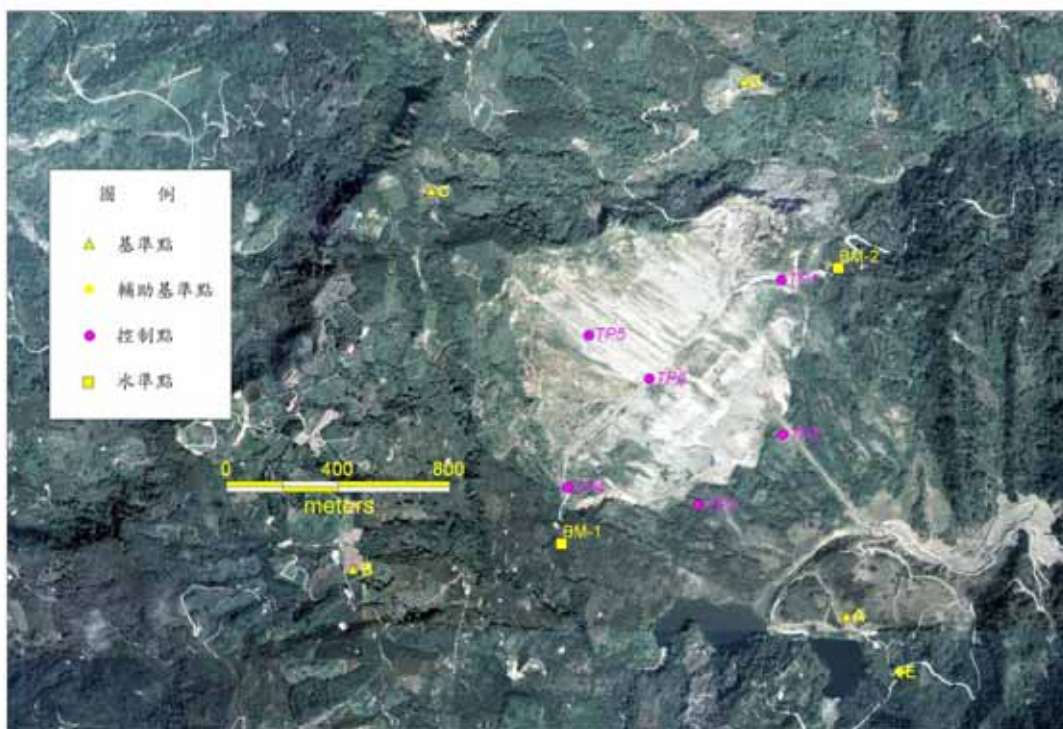


圖 8 基準點樁與控制點樁位置圖

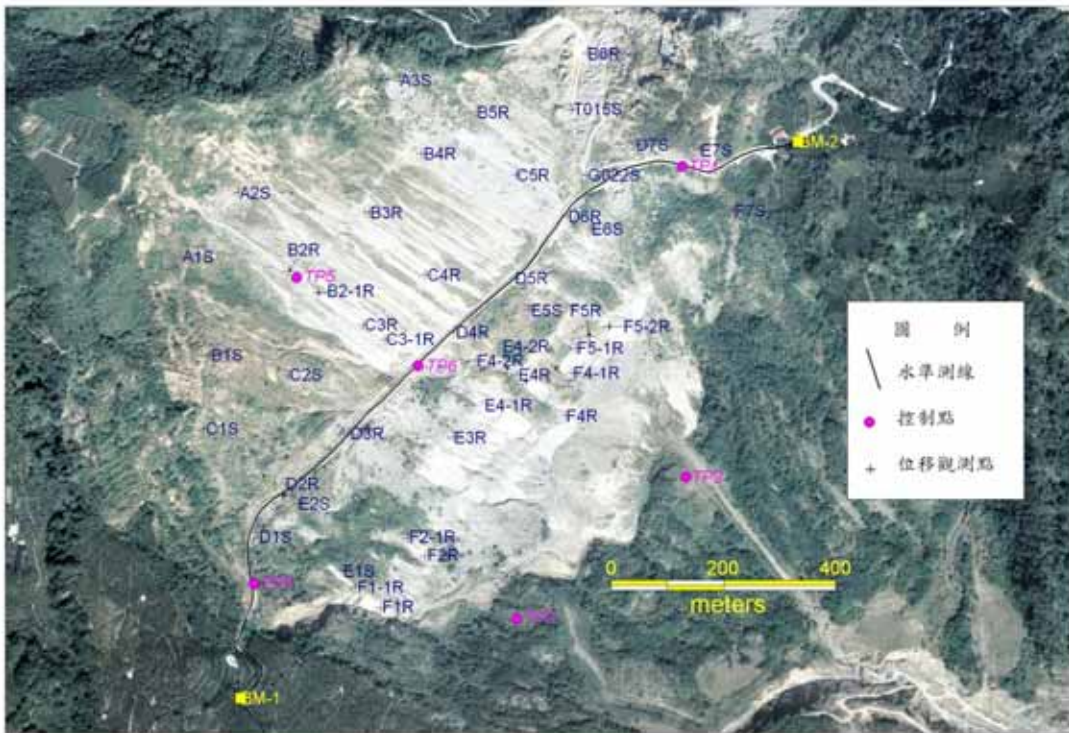


圖 9 位移觀測點樁位置圖

2. 測量作業

現場埋樁於 92 年 4 月完成，隨後即展開觀測樁測量作業，頻率約 2 次/3 月，分別於 92 年 5、7、8、10、11 月施測，共完成五次現場測量作業。

(1) 基準點測量

以 GPS 靜態測量法進行檢測，並與內政部衛星追蹤站（北港、鳳林、太麻里等）聯測，採用大地測量雙頻衛星接收儀進行觀測。

(2) 控制點測量

以 GPS 衛星定位儀施測為原則，於不適用衛星定位測量之點位，則採經緯儀或電子測距儀施測。

(3) 位移觀測點測量

以各控制點(TP1~TP6)架設全測站精密經緯儀，並於最近距離內選擇任意控制點位移觀測點施測。於各控制點施測時，相鄰或重疊之範圍內所有位移觀測點儘可能重覆觀測，以便有多餘之觀測作為精度之檢查。

四、結果與討論

(一)地質鑽探

根據地質鑽探岩心判釋結果，龍南道路下邊坡之 BH-2、3 鑽孔岩心較為破碎，BH-3 且有多處岩心已呈粘土化之強風化岩，該等岩段均為潛在動面位置；位於龍南道路下邊坡之 BH-4、5 之岩心則為完好之新鮮岩層。順向坡之岩性，從上至下可分為頁岩、砂岩、及砂頁岩互層等三層（圖 10），頁岩層厚度約 8~9m，但沿下坡方向延伸至龍南道路附近之頁岩厚度漸薄，終而消失，推測是於 921 大地震時崩落；砂岩層厚度則大致維持在 5~6m 間。位於上邊坡崩落之岩屑及土層，部分堆積覆蓋在下邊坡砂岩層之上，厚度從數十公分至十數公尺不等。

根據地形與地滑地質研判結果，推測龍南道路下邊坡有一潛在滑動體，滑動面深度約為 8~23m，滑動面約略沿著層面發育。

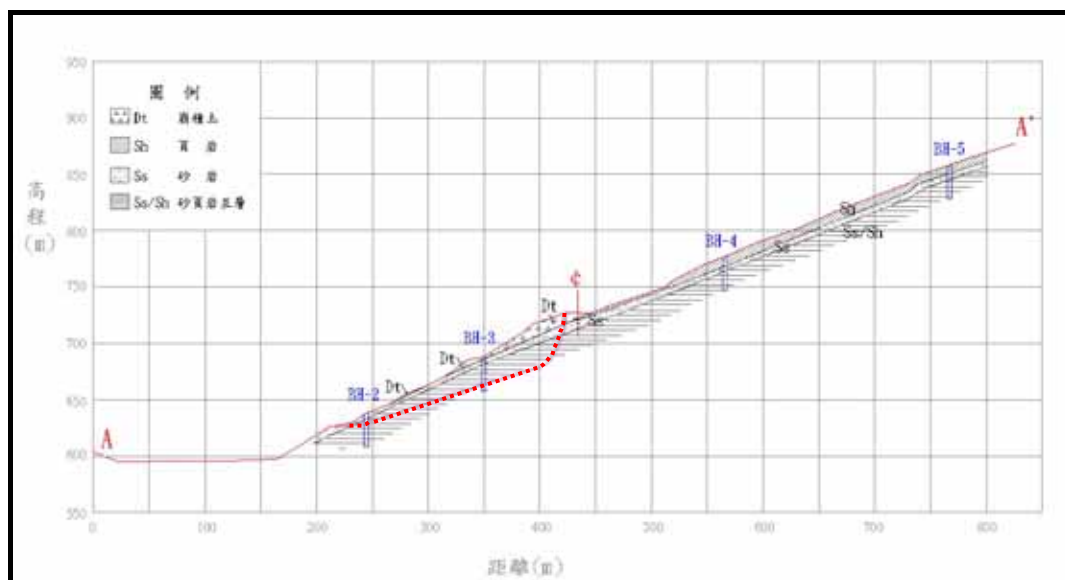


圖 10 A-A'測線地質剖面圖

(二)滑動層調查與地下水位觀測

根據孔內傾斜位移之量測結果，至 92 年 10 月截止，尚未發現有明顯位移滑動之現象，有待日後持續觀測來驗證，圖 11 為 BH-2 孔內傾斜於 92 年度內之觀測結果。

圖 12 為各鑽孔之地下水位與降雨量關係圖，圖中降雨量採用九份二山土石流觀測示範站之雨量紀錄。由圖 12 可得知鑽孔地下水位於降雨過後，均有上昇之現象，後即呈緩慢下降之趨勢，而以 BH-4 較為明顯。92 年 8 月 28 日降雨量達 194mm，在此之前地下水位均較降雨後為高，顯示九份二山順向坡之地下水，除了受降雨的影響外，推測可能有其他的補注來源。

BH-1 地下水位自動觀測站於 92 年 6 月 30 日裝設完成，圖 13 即為現場裝設完工之情形，竣工後即開始記錄地下水位資料，水位計之精度為 $\pm 5\text{cm}$ ，設定記錄時間間隔為 10 分鐘。BH-1 水位觀測井自裝設完成至 12 月 10 日之地下水位之變化情形如圖 14 所示。圖中顯示自 6 月 30 日~10 月 31 日期間，地下水位在地表下 25m~28m 間上下變動，觀測期間若有日雨量大於 10mm，地下水位即略有上昇，且有時間延遲 (time lag) 之現象。自 11 月起至 12 月上旬，九份二山地區並未降雨，地下水位呈逐漸下降之趨勢，至 12 月 10 日已降至地表下 28.9m。

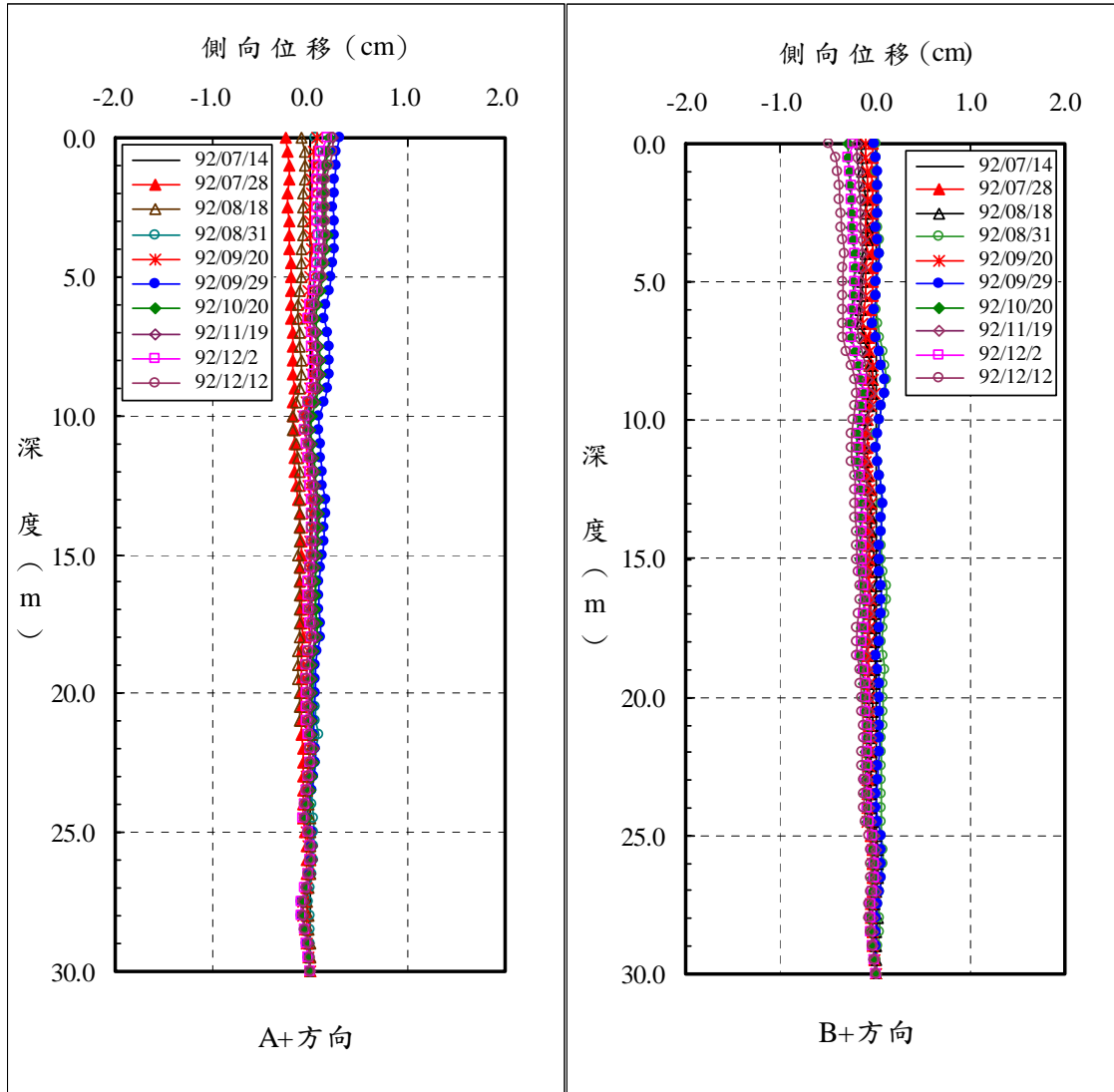


圖 11 BH-2 孔內傾斜觀測結果

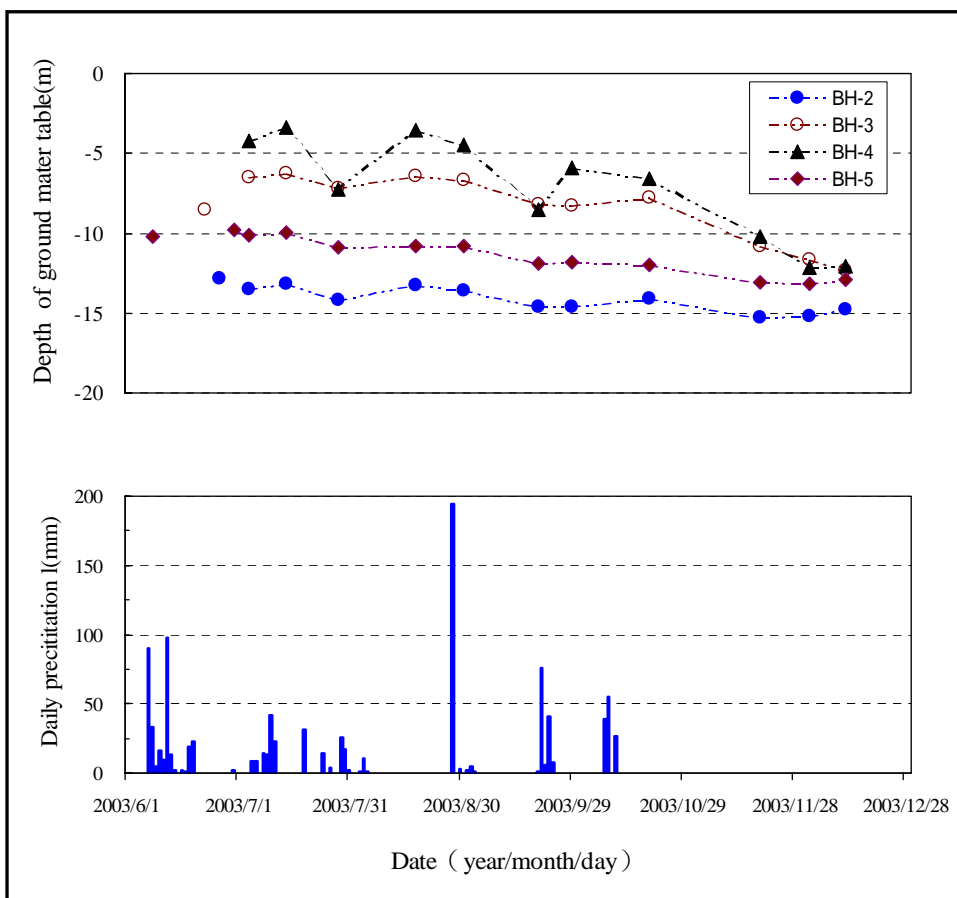


圖 12 BH-2~5 鑽孔地下水位變化與降雨量關係圖



圖 13 BH-1 地下水位自動觀測站

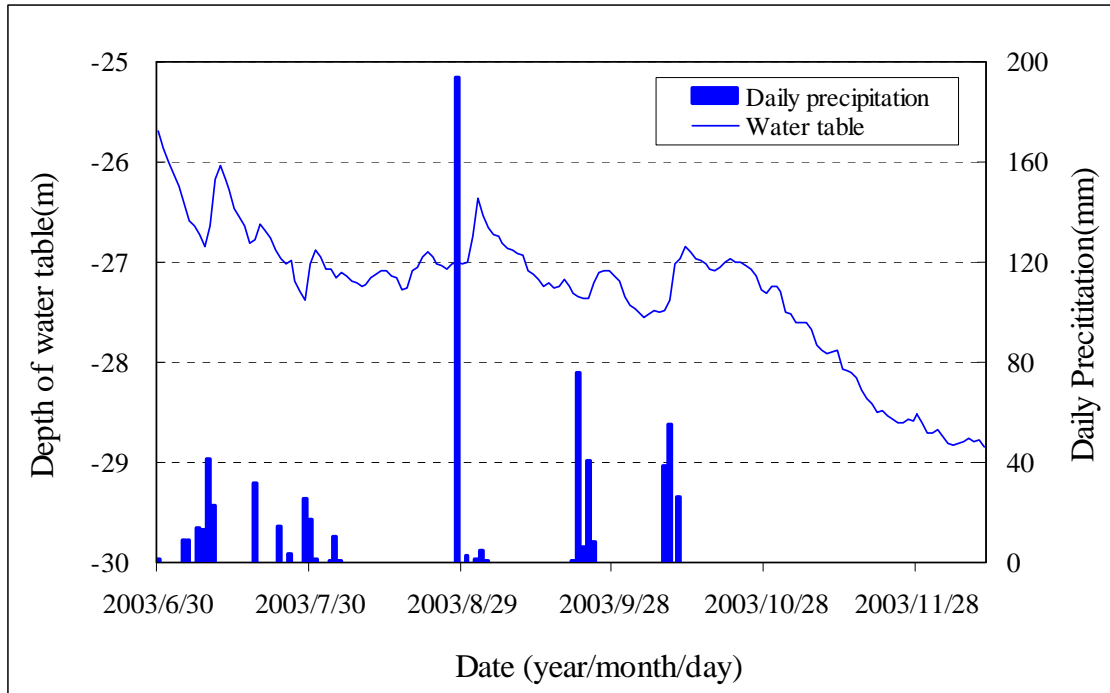


圖 14 BH-1 鑽孔地下水位變化與降雨量關係圖

(三)地表變動觀測

92 年度地表變動觀測共施測 5 次，以 92 年 5 月之觀測值為初始值，分析後四次之水平位移量，以其變動方向與變動量繪製成水平位移量向量圖如圖 15 所示。

根據位移觀測樁測量結果，位於土層之 A1、E1、E7、F7 等觀測樁，位於岩盤之 E4-2、F1-1、F2-1、F5-2 等觀測樁，在各次觀測之位移方向較為一致，其中 F7、E4-2、及 F5-2 等樁點水平位移量之累積趨勢較為明顯。

四、結論與建議

1. 九份二山崩塌地發生於順向坡面上，順向坡之地層係由中新世之頁岩、砂岩及砂頁岩互層所組成。傾角從上坡面的 20° 至下坡面的 36° ，有愈往下坡面愈陡之現象。
2. 九份二山順向坡之岩性，從上至下可分為頁岩、砂岩、及砂頁岩互層等三層，頁岩層厚度約 8~9m，但沿下坡方向延伸至龍南道路附近之頁岩厚度漸薄，終而消失，推測是於 921 大地震時崩落；砂岩層厚度則大致維持在 5~6m 間。位於上邊坡崩落之岩屑及土層，部分堆積覆蓋在下邊坡砂岩層之上，厚度從數十公分至十數公尺不等。
3. 根據地形與地滑地質研判結果，推測龍南道路下邊坡有一潛在滑動體，滑動面深度約為 8~23m，滑動面約略沿著層面發育。但根據孔內傾斜管位移之量測結果，截至 92 年 12 月止，尚未發現明顯滑動現象，有待持續觀測來驗證。

4. 九份二山崩塌地順向坡之地下水位 (BH-2~5)，在降雨過後，地下水位均有上昇之現象，後即呈緩慢下降，而以 BH-4 現象較為明顯；推測地下水位除了受降雨的影響外，可能有其他的補注來源。
5. 位於土層之 A1、E7、F7 觀測樁，位於岩盤之 E4-2、F1-1、F2-1、F5、F5-2 觀測樁，在各次觀測之位移方向有其一致性，其中 F7、E4-2、及 F5-2 等樁點水平位移總量大於 20mm，在水平位移量之累積趨勢較為明顯。



圖 15 崩塌區水平位移向量圖

五、參考文獻

1. Wen-Neng Wang, Masahiro Chigira, Takahiko Furuya (2003) : Geological and geomorphological precursors of Chiu-fen-erh-shan landslide triggered by the Chi-chi earthquake in central Taiwan , Engineering Geology, 69, pp.1-13 , Elsevier Science B.V..
2. 國立中興大學 (2001) : 九份二山堰塞湖規劃及防災演練計畫成果報告，行政院農委會水土保持局委託。
3. 黃鑑水·陳勉銘·許銘義 (2002) : A Preliminary Report on the Chiufenershan Landslide Triggered by the 921 Chichi Earthquake in Nantou, Central Taiwan , Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO) , 13:3, pp.387-395 , Chinese

Geoscience Union。

4. 壽克堅·蘇苗彬·王建峰(1998)：九份二山崩塌機制與殘坡問題探討，地工技術，第 87 期，pp.25~30，財團法人地工技術研究發展基金會。
5. 蔡豐明(2000)：九份二山崩塌及堰塞湖治理報告，台灣水土保持，33 期，pp.21~24，行政院農委會水土保持局。