

九份二山崩塌地觀測探討

王晉倫⁽¹⁾ 尹承遠⁽²⁾ 王文能⁽³⁾

摘要

本研究期藉由地表位移觀測樁測量、孔內傾斜觀測、地下水位及韭菜湖溪堰塞湖水位觀測，以掌握九份二山崩場地自 921 大地震以來，崩塌區及堆積區地表及地下變動情形，相關觀測結果與韭菜湖溪堰塞湖水位即時監測資料，於颱風豪雨期間，能提供相關資訊，做為緊急應變之參考。

(**關鍵詞**：九份二山、崩場地、觀測)

Observation of the Chiu-fen-er-shan Landslide

Chin –Lun Wang⁽¹⁾

Section Chief , Soil&Water Conservation Bureau , Council of Agriculture ,Nantou, Taiwan.

YIN, Chen-Yuan⁽²⁾

Researcher, Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

Wen –Neng Wang⁽³⁾

Chief Engineer , Industrial Technology Research Institute,Hsinchu, Taiwan.

ABSTRACT

The major observation methods on the Chiu-fen-er-shan landslide induced by the 921 earthquake included surface displacement by surveying, measuring subsurface displacement by inclinometer, groundwater levels, and water level in the landslide damed lakes. The results of observation could offer the authorities for emergency response during heavy rainfalls. (**Keywords** : Chiu-fen-er-shan , landslide, observation)

-
- (1) 行政院農業委員會水土保持局科長
 - (2) 工業技術研究院能源與環境研究所研究員
 - (3) 鋒環工程顧問公司顧問

前言

南投縣國姓鄉南港村崁斗山東南山麓一帶，受民國 88 年 921 大地震影響，發生大規模順向坡岩體滑動，即為"九份二山崩場地"，崩塌區與堆積區之總面積達 195ha，崩塌土石堵塞北山坑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。

91 年 11 月間，崩塌區順向坡趾部，發現上拱及張口裂隙等異常現象，行政院農業委員會水土保持局隨即於 92 年起辦理「九份二山崩場地觀測計畫」，觀測項目包括地表位移觀測樁測量、孔內傾斜觀測、地下水位及韭菜湖溪堰塞湖水位觀測，以瞭解九份二山崩場長期地表及地下變動情形。此外，並建置堆積區地下水位及韭菜湖溪堰塞湖水位即時資料回傳系統，以利在颱風豪雨期間，掌握相關資訊，進而提供緊急應變之決策參考。

計畫區域概況

九份二山崩場地位於南投縣國姓鄉南港村澀仔坑，地質上，係位處西部麓山帶地質區內，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 20~30°的順向坡，受地震影響，以致整個順向坡岩體沿層理面下滑。崩塌區高程在海拔 500~1,000 m 間，崩塌區面積 102.5ha，崩塌深度 30~50 m，剝離的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，堆積區面積約 92.5ha，岩層最大滑距約 1km，並堵塞韭菜湖溪及澀仔坑溪，分別形成兩處堰塞湖(圖 1)。

根據中央氣象局北山雨量站資料(1993~2004)，年降雨量在 1,239~2,723mm，年平均降雨量為 2,027 mm。年平均降雨日數為 120.1 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 2)，約佔全年總降雨量 81%。

觀測項目

觀測項目包括地表位移樁測量、孔內傾斜觀測、地下水位、及韭菜湖溪堰塞湖湖水面水位觀測，位移觀測樁及各水位觀測站位置如圖 3 所示，以下分別說明之。

(一) 地表位移觀測樁測量

九份二山崩場地於 92 及 93 年度共埋設 4 支基準點、6 支控制點樁，及崩塌區內埋



圖 1. 九份二山崩場地地理位置圖
Figure 1. Location map of Chiu-fan-erh-shan landslide.

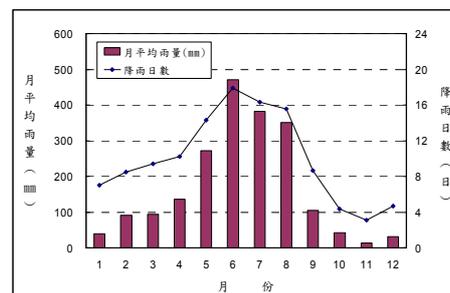


圖 2. 月平均雨量與降雨日數統計圖
Figure 2. Average monthly rainfall and raindays at the station Peishan near Chiu-fan-erh-shan landslide.

設了 45 支位移觀測樁；93 年度因受敏都利及艾利颱風影響，共計損毀 3 支控制點樁，及 26 支位移觀測樁，僅剩餘 19 支位移觀測樁，而於堆積區增設 1 支控制點樁及 17 支位移觀測樁，共計有 4 支控制點樁與 36 支位移觀測樁。

基準點樁採用 GPS 接收儀，以靜態測量方式進行，並與內政部衛星測量點至少聯測三點，於每一時段同步接收 4 小時以上。位移觀測樁採用全測站精密經緯儀進行測量，同時觀測角度、距離，以求出其水平變動量。

(二) 孔內傾斜觀測

於 BH-4 孔內傾斜觀測井，每個月定期量測傾斜管的變化情形持續觀測至 94 年 11 月。BH-4 鑽孔之岩心，自地表-9.0m 為砂質頁岩，-9.0~-13.0m 為砂岩，自-13.0m~-30.0m 為砂岩與頁岩互層。井管係採用 SINCO 51111 2.75" 傾斜管。量測儀器係採用 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 4 所示。

(三) 地下水位觀測

包括崩塌區之 BH-4、堆積區之 BH-1 與 BH-3 等三觀測站，觀測儀器包括壓力式水位計及資料記錄器，每小時記錄一次。BH-1 與 BH-3 水位觀測站在 94 年度增設 GPRS 通訊模組及太陽能板，以便建置地下水位觀測資料回傳系統，水位觀測站之儀器設備如圖 5 所示。

(四) 堰塞湖湖面水位觀測

本觀測站於民國 93 年度建置，觀測儀器包括壓力式水位計及資料記錄器，每小時記錄一次。在 94 年度增設 GPRS 通訊模組及太陽能板，建置地下水位觀測資料回傳系統，與地下水位觀測站相同，水位觀測站之儀器設備與圖 5 所示相同。

(五) 光達系統(LiDAR)觀測

空載 LiDAR (Light Detection And Ranging) 係以高精度之三維雷射掃描儀，自空中獲取地面大面積之 DEM 資料。行政院農業委員會曾於 90~92 年度，委託交通大學及工研院，利用 Optech ALTM 2033 及 Leica ALS40 儀器，進行 921 地震災區空載雷射掃描，九份二山崩場地亦在掃描範圍。94 年度水土保持局亦委託工研院進行「LiDAR 於土石流防災與災後調查分析之應用研究」，利用 Leica ALS50 儀器，進行九份二山崩場地空載雷射掃描作業。因此在本區有二次之空載雷射掃描資料，其作業時間分別為 91 年 4 月與 94 年 9 月，為瞭解溢洪道局部之地形變動情形，本計畫利用經過處理後之 DEM 資料進行相關分析。

觀測成果

(一) 地表變動觀測

崩塌區之地表位移觀測結果如圖 6 所示，崩塌區西北角之崩塌頂部右側位移觀測點 A7A、A8A 及 B3A 等，水平位移較大 (> 10cm)，且有繼續向下滑動現象；而左側觀測點 A2A、A4A、A5A、A6A 則有較大之垂直下陷量，研判該地區之土體已呈不穩定狀態。崩塌區東北角 D7 觀測點水平位移變化量為 13.8cm，垂直位移變化量 7.7cm，該區屬崩積土石堆置區，可能係下方岩塊風化崩塌導致下陷滑動所致。龍南產業道路附近之觀測點 E1A，有 6cm 之水平位移，有繼續下滑之現象。崩塌區東南區觀測點 F3A、F5、F5-1 及 F4-1 等有 2~3cm 之變化量，此為趾部滑動碎裂岩盤，變化量雖不大，但顯示該地區已有鬆動現象。

堆積區之地表位移觀測成果如圖 7 所示，其中 G1~G5 等觀測樁，在 93 年敏督利颱風後，水平位移量均超過 1cm，其中又以 G3 位移量達 3.6cm 最為明顯，其次為 G4 的

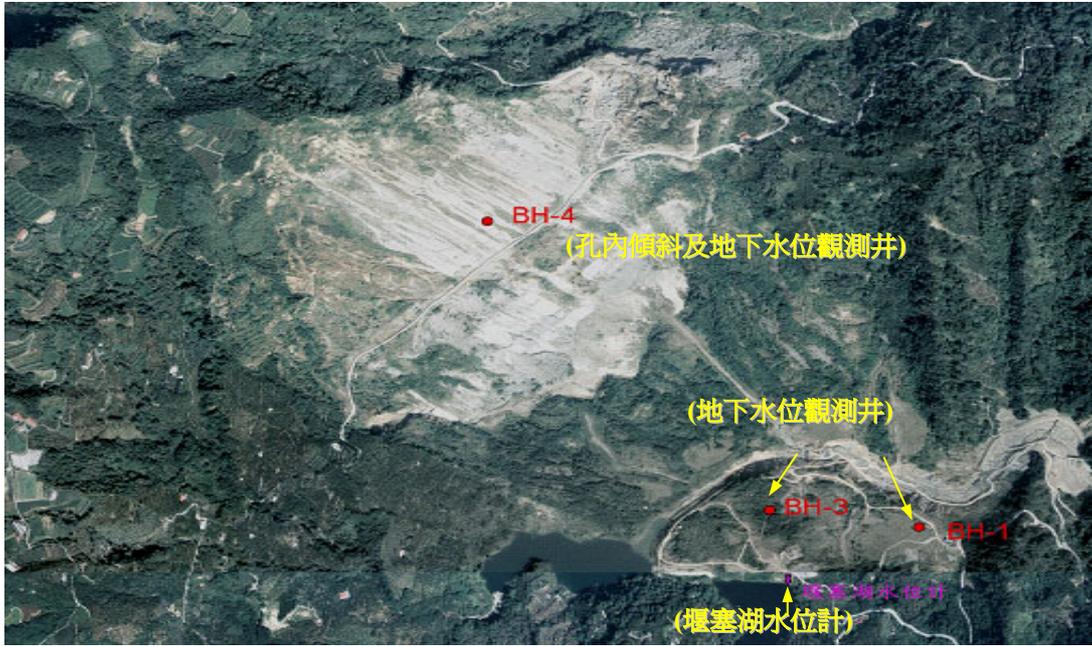


圖 3. 九份二山崩場地孔內傾斜與水位觀測站位置圖
 Figure 3. Location map of observation stations at Chiu-fan-erh-shan landslide.

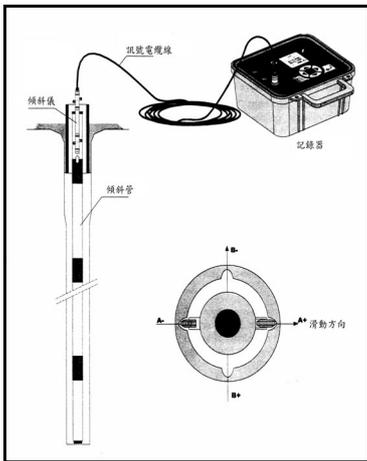


圖 4. 孔內傾斜觀測方法示意圖
 Figure 4. Slope deformation measurement using an inclinometer.



圖 5. 水位自動觀測站之儀器設備
 Figure 5. Equipments of automatic water level observation stations.

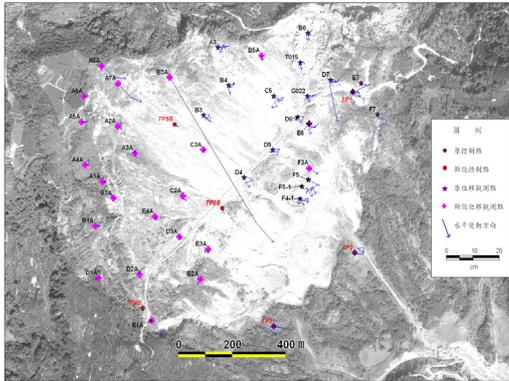


圖 6. 崩塌區水平位移向量圖
Figure 6. Horizontal displacement of faulture region at Chiu-fan-erh-shan landslide.

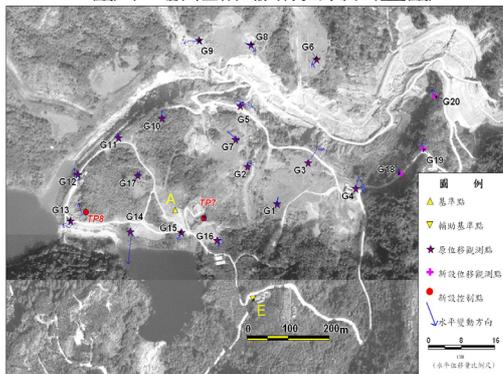


圖 7. 堆積區水平位移向量圖
Figure 7. Horizontal displacement of accumulation region at Chiu-fan-erh-shan landslide

2.6cm 次之；垂直位移量亦以 G4 最大，下陷達 1.8cm，至 93 年 10 月更達 4.5cm。由於 G4 與 G5 係鄰近溢洪道南側邊坡，受敏督利颱風之影響，已有局部崩塌之情形，在 93 年已研判堆積土體已有局部不穩定之現象；而 94 年觀測果顯示，堆積區堰塞湖附近測點 G12、G13 及 G14，及溢洪道附近 G5、G3、及 G9 等地區位移變化量在 2~3cm 左右。

(二) 崩塌區孔內傾斜與地下水位

根據至 92 年 7 月~94 年 10 月之觀測結果(圖 8)，BH-4 鑽孔於深度約 8.5m 及 14.5m 處，似有側向位移累積之趨勢；但其位移方向與滑動方向不一致，目前尚難研判是否因

滑動所造成，有待日後持續觀測。

BH-4 之地下水位觀測結果如圖 9 所示，資料顯示地下水位對降雨之反應較為迅速，且於降雨過後，地下水位呈直線下降之趨勢，且在乾季時期，下降更為明顯，但若持續降雨，則水位維持在地表下 1m 上下變動降雨；由水位變動現象研判，似有明顯地下水流管道，且其來源很近，有可能是崩場地頭部下滲後之地下水，才會使得水位對降雨反應如此迅速。

(三) 堰塞湖水位與堆積區地下水位

93 年度與 94 年度之觀測結果如圖 10~11，由圖中得知，塞湖湖面水位在 93 年敏督利颱風之前，其水位變化不超過 0.6 m；敏督利颱風期間，湖面水位自 574.95m 上昇至 576.03m，升高 1.08m，降雨緩和後，水位下降 0.5m；93 年艾利颱風期間，升高 0.43m，降雨緩和後，水位則緩慢下降 0.4m，惟在 93 年觀測期間，水位已從 574.85m 升高至 575.36m。94 年湖面水位變動與 93 年度相似，除直接受降雨之影響，尚有來至其韭菜湖溪所匯集之地表水。在多次大、豪雨或颱風帶來超大豪雨前，其水位均約在 575.25m 上下，變動範圍不超過 0.02 m；降雨後水位即迅速升高，降雨緩和或停止後，水位呈指數曲線下降。

BH-3 鑽孔之地下水位，對受降雨之反應較為遲緩，93 年敏督利與艾利颱風帶來之超大豪雨，約有 10~14 日之延遲效應；自 93 年 6 月 9 日觀測系統更新開始，水位自 557.34m (-39.70m) 即呈緩慢上升現象，在多次大、豪雨或颱風帶來超大豪雨之後，沒有明顯之上升現象，及在無降雨情況下水位升高現象，初步研判 BH-3 地下水位應屬岩層之地下水變化，推測一部分受堰塞湖影響外，應另有補注來源。

BH-1 鑽孔之地下水位則與降雨之關係則較為密切，93、94 年多次颱風，地下水位上升幅度均在 1m 以上，海棠颱風期間，上升幅度超過 2m，且均有有 4~5 日之延遲效應。水位變化則近似正偏歪 (Positive skewness) 分布曲線，屬於較為鬆散之崩積土層內之地下水變動現象。

BH-1 地下水位 94 年於 9 月 3~19 日呈緩慢下降之趨勢，但自 9 月 19 日後，水位在 2 天內驟降 1.15m。經現場勘後發現，鄰近觀測站之溢洪道邊坡坡腳有滲水現象 (圖 12~13)，而在石門觀景台附近溢產生裂隙。

(四) 光達系統 (LiDAR) 觀測結果

為瞭解堆積區排水溝及溢洪道兩側邊坡之變動情形，應用 91 年 4 月與 94 年 9 月兩次觀測資料，共分析八個橫斷面，各橫斷面測線位置如圖 14，各橫斷剖面如圖 15~22 所示。S1 與 S2 測線之橫斷面位置，係位於崩塌邊坡趾部至溢洪道之排水設施之末端。由圖 13 即可看出兩側有明顯之崩塌現象；而由圖 15~16 得知，排水溝兩岸邊坡均退縮至少 16m 以上，而深度也至少加深 10m，顯示其侵蝕嚴重，由於排水溝係位於組織鬆散之堆積區，且出口與溢洪道落差超過 10m，有可能持續向源侵蝕。

S3、S4 及 S5 測線 (圖 17~19) 原有 (91 年 4 月) 之橫斷面大小較為接近，S3 橫斷面於北岸邊坡有約 5m 之退縮，南岸則變化不大；S4 橫斷面北岸有約 1m 以上之退縮，南岸則有約 5m 以上之退縮，深度亦加深約 1.6m；S5 橫斷面北岸有約 1m 以上之退縮，南岸則有約 3m 以上之退縮。自 S3 至 S5 測線之溢洪道兩岸邊坡，有侵蝕崩塌之現象，但並沒有明顯之縱向侵蝕現象，顯示防砂壩有其一定的功能；惟因溢洪道兩岸落差大，在無邊坡保護措施之情形下，橫向侵蝕無法避免。

S6 及 S7 測線 (圖 20~21) 原有之橫斷

面大小較為接近，但已較 S3~S5 斷面為寬。S6 橫斷面於北岸邊坡有約 1.7m 之退縮，南岸則有約 5.2m 之退縮；S7 橫斷面北岸退縮超過 26m，南岸則有平均約 10m 之退縮，兩橫斷面顯示並無明顯之縱向侵蝕現象。S6 測線兩岸退縮情形與 S5 類似，南岸侵蝕較北岸嚴重。S7 測線北岸嚴重退縮，其主要原因係恰位於坑溝之出口，該坑溝雖有經過整治，但其排水出口可能因落差較大，造成河岸侵蝕，使得溢洪道北岸邊坡嚴重崩塌，南岸也因為邊坡落差大 (約 40m)，因橫向侵蝕造成較大崩塌現象。

S8 測線 (圖 22) 原有橫斷面較為 S7 為小，S7 兩岸邊坡崩塌退縮，已使得溢洪道加寬，當洪水到達 S8 測線位置，勢必加速橫向侵蝕作用，而使得兩岸均有 30m 以上的退縮。

(五) 水位觀測資料回傳系統

觀測資料之即時展示，係利用網頁程式語言，建置九份二山觀測資料展示網頁，以展示資料庫內之現場水位自動觀測資料。該資料藉由資料記錄器蒐集並做最近資料記錄的保存，然後透過 Wireless Plug MA8-9 GPRS 通訊模組，將資料傳送至遠端的伺服器接收，遠端的伺服器接收成功後將資料儲存於資料庫中。

觀測資料展示系統可與水土保持局土石流防災應變系統 (網址為 http://fema.swcb.gov.tw/main/index_01.asp) 以超連結方式整合。九份二山觀測資料展示系統網站架設在 Windows 2000 以上之平台上，網路伺服器使用微軟公司的 Internet Information Server (IIS) 來管理網站的連接。在資料庫連結的部分使用 Active Server Page (ASP) 語言撰寫，並配合網路程式語言，如 HTML、JavaScript、Java Applet 等，來對觀測站水位資料進行 SQL 語法的查詢及展示。

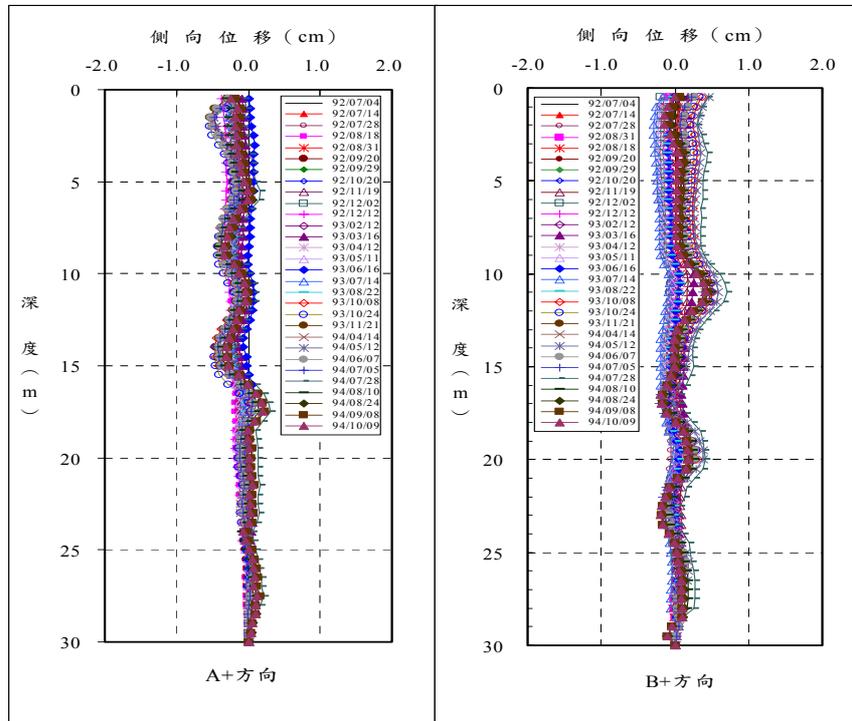


圖 8. BH-4 孔內傾斜觀測結果圖

Figure 8. Displacement measured with an inclinometer in bore-hole BH-4.

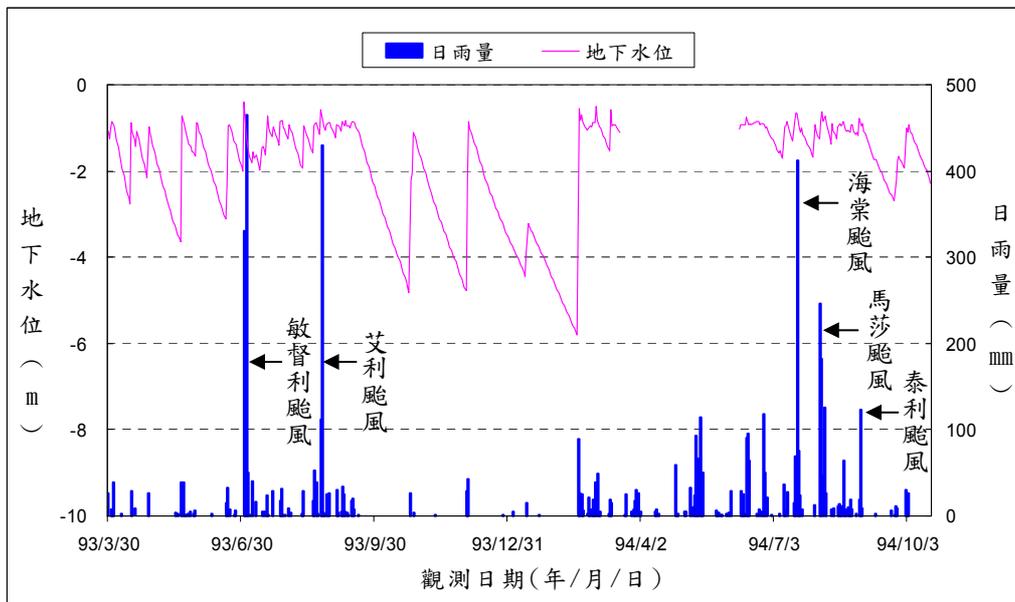


圖 9. BH-4 地下水水位與日雨量關係圖

Figure 9. Relationship between rainfall and variation of groundwater level of bore-hole BH-4.

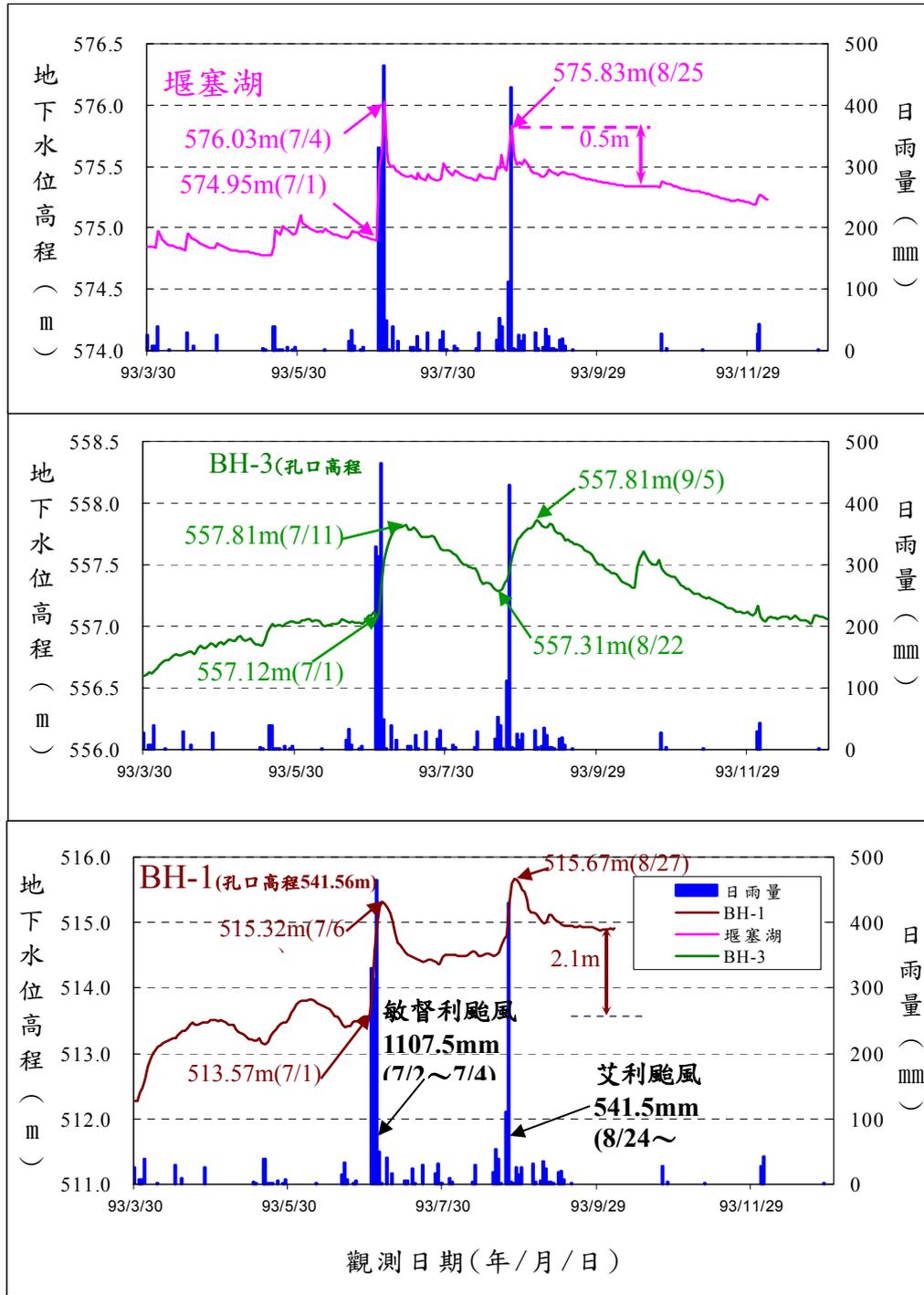


圖 10. 93 年度堰塞湖水位與堆積區地下水位分析結果
 Figure 10. Relationship between rainfall and variation of water level of barrier lake , groundwater level of bore-holes BH-1 and BH-3 in 2004.

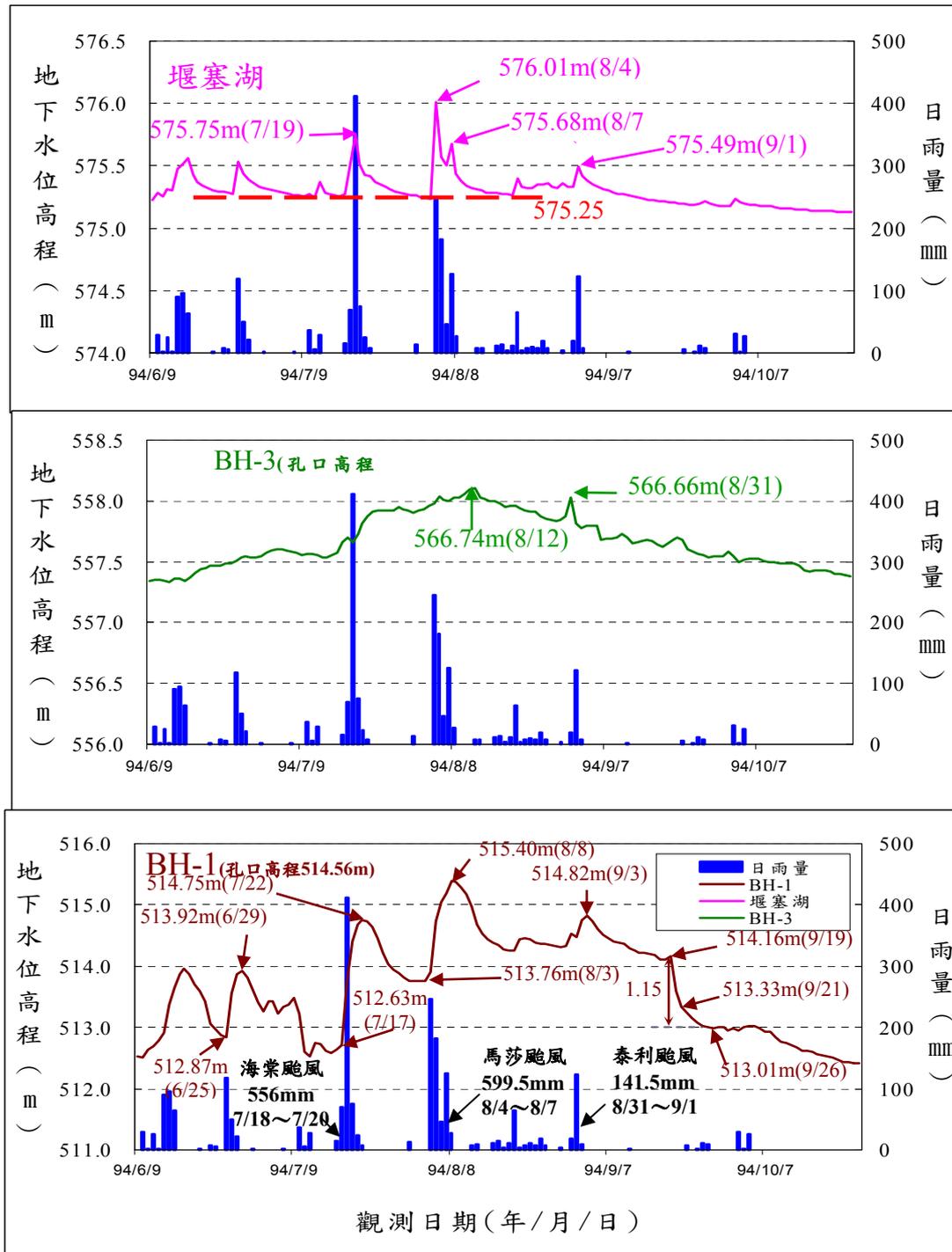


圖 11. 94 年度堰塞湖水位與堆積區地下水位分析結果

Figure 11. Relationship between rainfall and variation of water level of barrier lake , groundwater level of bore-holes BH-1 and BH-3 in 2005.



圖 12. 堆積區現場勘查結果說明圖

Figure 12. Results of field investigation of accumulation region at Chiu-fan-erh-shan landslide. (Sep. 25, 2005)



圖 13. 溢洪道南岸邊坡崩塌情形

Figure 13. Slope failure caused by bank erosion at the southern side of spillway.

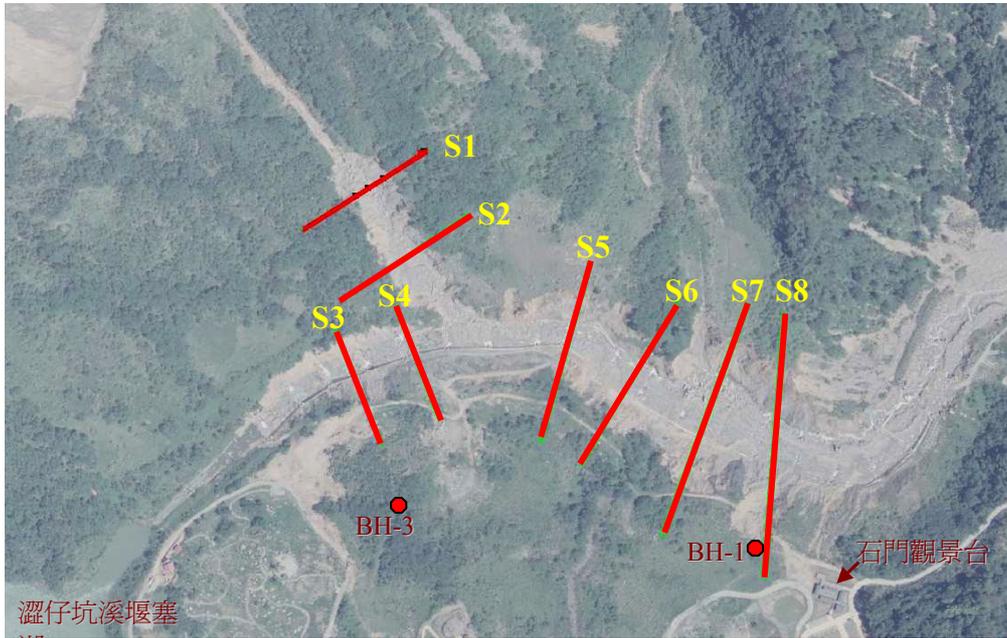


圖 14. 堆積區排水溝及溢洪道橫斷面測線位置圖

Figure 14. Location map of survey line of of accumulation region at Chiu-fan-erh-shan landslide.

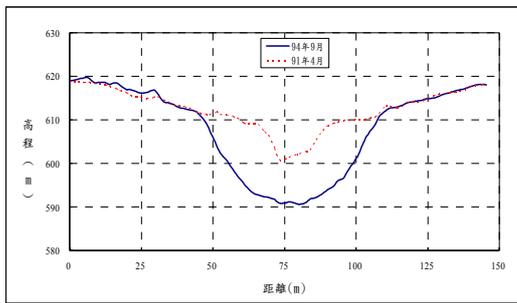


圖 15. S1 測線橫斷面圖

Figure 15. Variation of cross section of survey line S1.

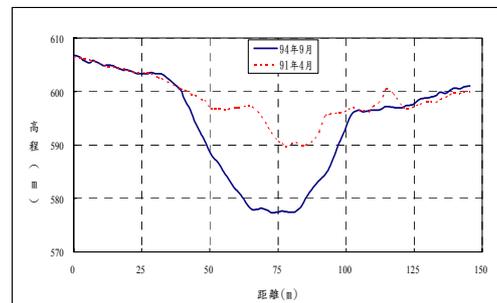


圖 16. S2 測線橫斷面圖

Figure 16. Variation of cross section of survey line S2.

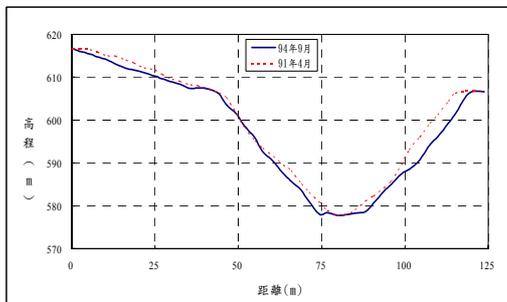


圖 17. S3 測線橫斷面圖

Figure 17. Variation of cross section of survey line S3.

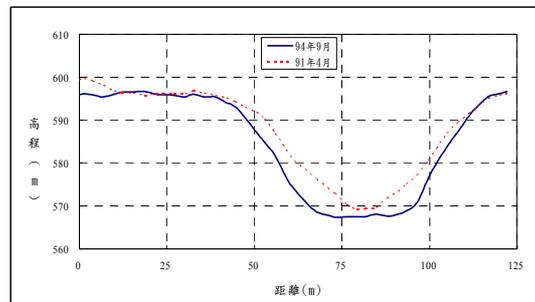


圖 18. S4 測線橫斷面圖

Figure 18. Variation of cross section of survey line S4.

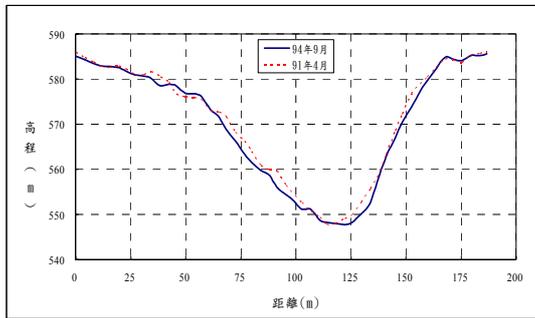


圖 19. S5 測線橫斷面圖

Figure 19. Variation of cross section of survey line S5.

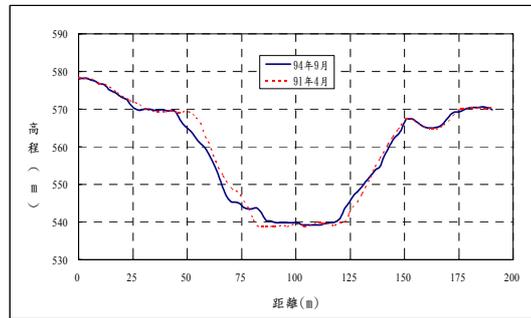


圖 20. S6 測線橫斷面圖

Figure 20. Variation of cross section of survey line S6.

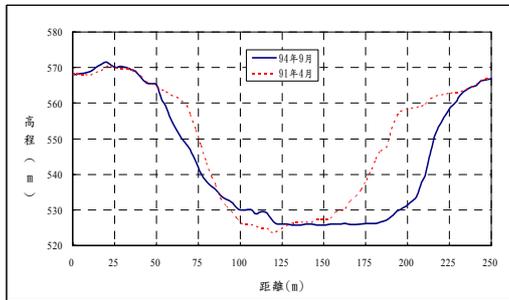


圖 21. S7 測線橫斷面圖

Figure 21. Variation of cross section of survey line S7.

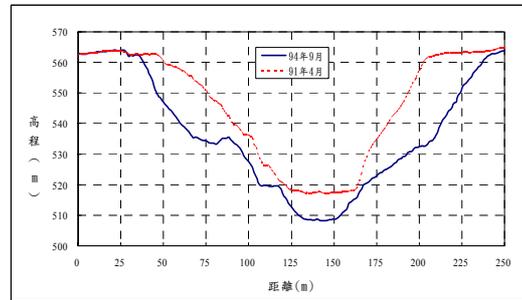


圖 22. S8 測線橫斷面圖

Figure 22. Variation of cross section of survey line S8.

討論與建議

- (一) 崩塌區頭部尚未滑落之土石，及崩塌區趾部，均有明顯持續位移之現象，龍南道路現正進行修復，建議日後在豪雨期間或其後一週內，應管制人車之通行。
- (二) 崩塌區之 BH-4 鑽孔之側向位移情形不明顯，有待持續觀測；而地下水位對降雨之反應較為迅速，似有明顯地下水流通管道，且其來源很近，有可能是崩塌地頭部下滲後之地下水，才會使得水位對降雨反應如此迅速。
- (三) 堰塞湖湖面水位變動，除直接受降雨之影響，尚有來至其韭菜湖溪所匯集之地表水。在多次大、豪雨或颱風帶來超大豪雨前，其水位均約在 575.25m 上下，降雨後水位即迅速升高，降雨緩和或停

止後，水位呈指數曲線下降。湖面水位高程 575.25m，應可做為九份二山崩塌地堆積區警戒之參考。

- (三) BH-3 鑽孔之地下水位，對受降雨之反應較為遲緩，初步研判其地下水位應屬岩層之地下水變化，推測一部分受堰塞湖影響外，應另有補注來源。
- (四) BH-1 鑽孔之地下水位與降雨之關係較為密切，93、94 年多次颱風，地下水位上升幅度均在 1m 以上，海棠颱風期間，上升幅度超過 2m，且均有 4~5 日之延遲效應。水位變化屬於較為鬆散之崩積土層內之地下水變動現象，變動幅度除與降雨量多寡及地表入滲率有關外，推測與石門觀景台西南側水塘之蓄水可能有關。
- (五) BH-1 地下水位自 9 月 19 日後，水位在

2 天內驟降 1.15m，經現場勘查發現，石門觀景台近溢洪道邊坡之地表，有明顯之裂隙，且位於觀測站附近之地表亦有局部陷落。經 94 年 9 月與 91 年 4 月兩期 LiDAR 資料之比較分析，近石門觀景台之 S8 測線兩岸邊坡崩塌最為嚴重，且南岸邊坡坡趾有滲水現象，經勘查後初步研判係堆積區土體內產生滲流，造成土壤顆粒間的阻力減少，水力坡降增加，將較大顆粒的土壤帶出，同時持續往上游面延伸，因此 BH-1 觀測井附近之崩積土體，現正處於不穩定狀態，有很高之崩塌潛勢，石門觀景台應儘速管制人員進入。

參考文獻

1. 黃鑑水·謝凱旋·陳勉銘(2000)：五萬分之一埔里地質圖幅及說明書，經濟部中央地質調查所，75P。
2. 行政院農委會水土保持局(2003)：九份二山崩場地觀測計畫(第一年)成果報告，行政院農委會水土保持局委託，工研院能資所執行，101P。
3. 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。
4. 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。
5. 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。

95 年 10 月 15 日 收稿

95 年 11 月 27 日 修改

95 年 11 月 30 日 接受

水土保持學報 38(4) : 303-316 (2006)
Journal of Soil and Water Conservation, 38(4) : 303-316 (2006)