

山岳地區邊坡全自動監測系統建置與應用

鍾明劍¹、王金山²、顧承宇³、冀樹勇⁴、費立沅⁵、李錦發⁶、蘇泰維⁷

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。一般監測系統可按監測資料記讀及傳輸方式區分為人工量測、半自動監測、全自動監測等運作方式，人工量測係指監測資料記讀及傳輸均由人力完成，半自動監測係指利用自記式感測器配合人工定時收取資料，而全自動監測係指利用自記式感測器搭配傳輸系統獲得即時監測資訊者。傳統邊坡穩定監測多採人工量測或半自動監測方式，而隨著科技的進步，全自動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、全自動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)。有鑑於此，本研究研擬一套適用於山岳地區邊坡的全自動邊坡監測系統架構，並實際建置於大漢河流域的義興崩塌地，文中將說明全自動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、全自動監測系統建置與應用

山岳地區邊坡全自動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。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，事實上全自動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。本節即分述義興崩塌地概況、監測佈置規劃、及全自動監測系統建置方式如后。

¹財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 研究員

²財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 研究員

³國立台灣海洋大學河海工程學系 助理教授

⁴財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 經理

⁵中央地質調查所環境與工程地質組 組長

⁶中央地質調查所環境與工程地質組 科長

⁷中央地質調查所環境與工程地質組 科員

(一) 義興崩塌地概況

義興崩塌地位於桃園縣復興鄉，為義興電廠之上方邊坡，自民國75年3月豪雨，造成邊坡滑移，導致輸水隧道末端施工縫及前池伸縮縫開裂，壓力鋼管受縱向擠壓而與支墩有明顯相對位移及兩側山坡龜裂數處並有湧水痕跡後，陸續雖進行邊坡穩定及排水改善工程，近年來每逢颱風及梅雨季豪雨影響，常造成義興、榮華、巴陵地區省道台7線附近邊坡嚴重坍方(詳見圖1)，而根據經濟部水利署北區水資源局(2006)「石門水庫暨榮華壩監測資料收集及分析綜合報告」及本研究現地調查成果研判，義興崩塌地仍具有持續潛移之情況(詳見圖2)。由於義興崩塌地下方為義興電廠，若此地滑區域產生大規模地層滑動，勢必將對電廠營運及當地居民安全造成極大的威脅，故本研究選定義興崩塌地進行全自動監測系統建置並進行持續性監測工作。



圖1 台7線道路邊坡因豪雨崩塌滑動



圖2 義興崩塌地遠景全貌

(二) 監測佈置規劃

本研究針對義興崩塌地監測工作所採用的方式如圖3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度觀測管，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與打設固定覘標點，進行降雨量與地表變形之觀測。綜上所述，本研究於義興崩塌地係同步進行降雨量、地下水位、地中變形、地表變形等監測工作，圖4則為本研究對義興崩塌地所規劃之監測儀器配置圖。惟受限於經費考量，地表變形僅於颱風事件前後進行人工量測，而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，本研究所建構之全自動監測系統初步係以雨量計與水壓計兩項感測單元為主。

(三) 全自動監測系統建置方式

由現勘結果可知，義興崩塌地植被茂密且有通行道路貫穿其坡面，且近年來相鄰之義興壩則是持續進行清淤作業致使大型車輛往返頻繁，欲於此場址以埋管拉線方式匯集監測資料確實有其困難性。因此，本研究研擬的全自動邊坡監測系統架構，其近端傳輸係採低耗電的Zigbee無線感測網路，將各感測器資訊傳至當地基地端，再配合GSM進行遠端無線傳輸。本研究於民國96年10

月29日完成全數現地建置工作，圖5為義興崩塌地全自動監測系統配置圖，包含1處監測基地站(編號：0)、3處中繼站(編號：101~103)、1處雨量站(編號：1)、及3處水壓計(編號：2~4)等設備。本研究監控中心的遠端伺服器已持續性地即時接收監測資訊，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。

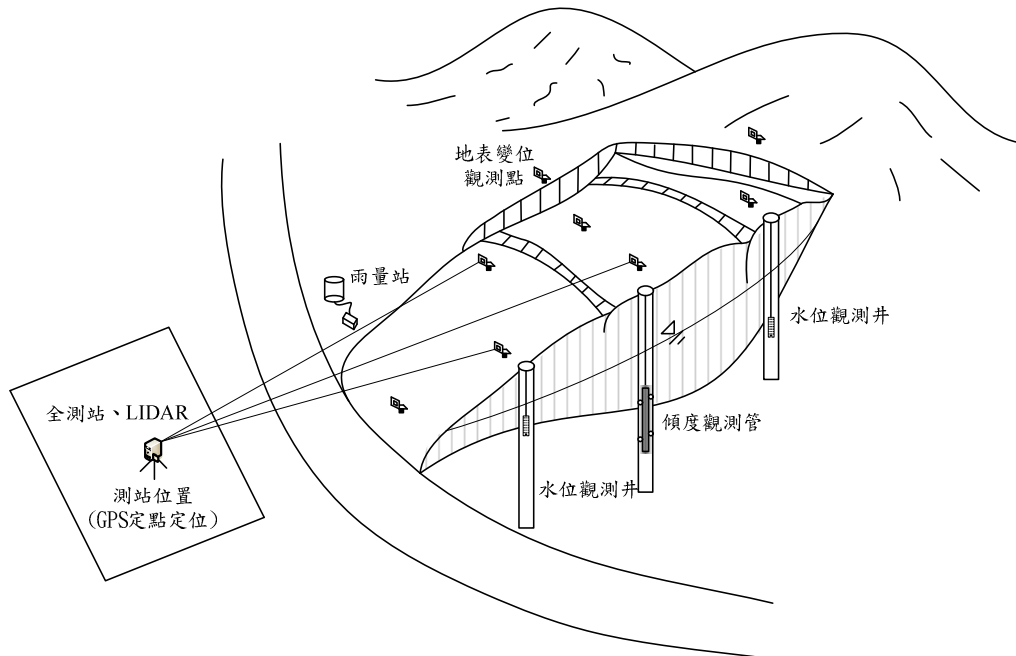


圖3 義興崩塌地監測工作示意圖

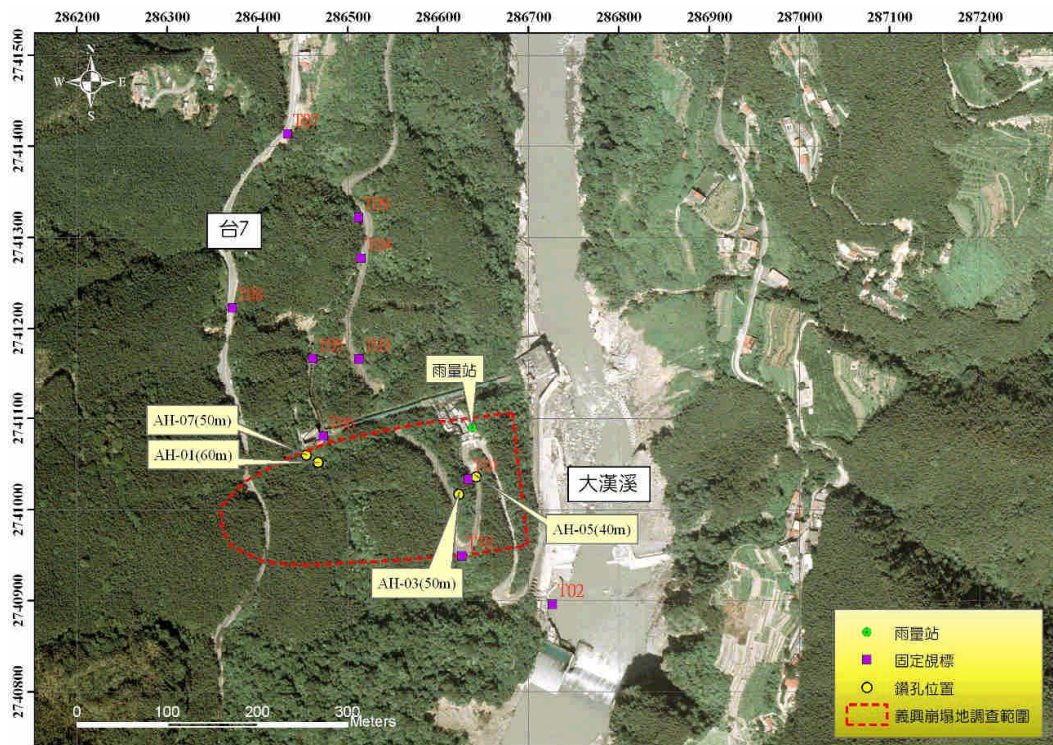


圖4 義興崩塌地監測儀器配置圖(航照日期：2007)

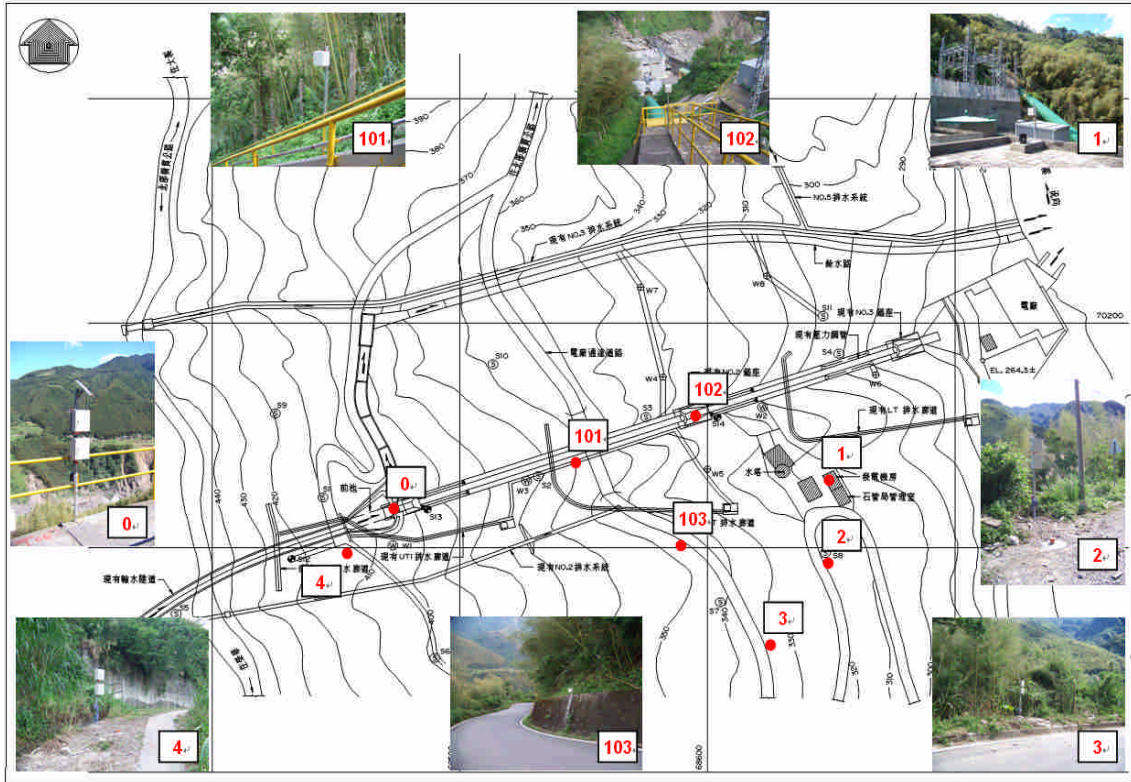


圖5 義興崩塌地全自動監測系統配置圖



圖6 遠端伺服器監測網頁畫面

三、義興崩塌地監測成果

本研究已於民國96年10月上旬至同月下旬期間陸續完成監測儀器之安裝，於有效監測期間內(截至97年7月30日之監測資料)，已成功地記錄2007年柯羅莎(KROSA)颱風期間的雨量監測資料，以及2008年卡玫基(KALMAEGI)與鳳凰

(FUNG-WONG)颱風期間的滑動監測資料，茲將其成果分述如后。

(一) 監測期間之颱風事件概述

(A) 柯羅莎颱風事件

根據中央氣象局公布資料，柯羅莎颱風屬於強烈颱風，並於民國96年10月4日至同月7日發佈警報。依據農委會截至民國96年10月12日16時止之統計資料顯示，柯羅莎颱風侵襲造成全台農業產物估計損失及民間設施毀損計42億5,623萬元。另由行政院災害防救委員會所做柯羅莎颱風災害應變處置報告(結報)之統計資料顯示，嘉義縣竹崎鄉的奮起湖於民國96年10月5日00時至10月8日12時止累積雨量達1,118mm居冠，而全台總計9人死亡，2人失蹤，57人受傷，2,329,174戶電力中斷，高達91處道路中斷。

(B) 卡玫基颱風事件

根據中央氣象局公布資料，卡玫基颱風屬於中度颱風，於民國97年7月16日至同月18日發佈警報。依據農委會截至民國97年7月24日16時止之統計資料顯示，卡玫基颱風侵襲造成全台農業產物估計損失及民間設施毀損計12億1,860萬元。另由行政院災害防救委員會所做卡玫基颱風災害應變處置報告(第11報)之統計資料顯示，高雄縣六龜鄉於颱風警報起至20日6時止累積雨量達1,043mm居冠，而全台總計20人死亡，6人失蹤，8人受傷，127,165戶電力中斷，高達96處道路中斷。

(C) 鳳凰颱風事件

根據中央氣象局公布資料，鳳凰颱風屬於中度颱風，於民國97年7月26日至同月29日發佈警報。依據農委會截至民國97年7月31日16時止之統計資料顯示，鳳凰颱風侵襲造成全台農業產物估計損失及民間設施毀損計11億2,632萬元。另由行政院災害防救委員會所做鳳凰颱風災害應變處置報告(第7報)之統計資料顯示，全台總計2人死亡，6人失蹤，388,857戶電力中斷，高達66處道路中斷。

(二) 監測成果與探討

(A) 降雨量

義興崩塌地監測所得降雨量資料如圖7所示，於有效監測期間內(民國96年10月5日至97年7月29日)之累積雨量約為2,772mm，並監測得柯羅莎、卡玫基與鳳凰等三場颱風之降雨紀錄。柯羅莎颱風時雨量紀錄如圖8(a)所示，此場颱風事件之累積雨量約711mm，最大日雨量發生於民國96年10月6日，所量得之日雨量達515mm，屬於超大豪雨事件；卡玫基颱風時雨量紀錄如圖8(b)所示，此場颱風事件之累積雨量約73mm，最大日雨量發生於民國97年7月18日，所量得之日雨量達48mm；鳳凰颱風時雨量紀錄如圖8(c)所示，此場颱風事件之累積雨量約310mm，最大日雨量發生於民國97年7月28日，所量得之日雨量達186mm，屬於豪雨事件。

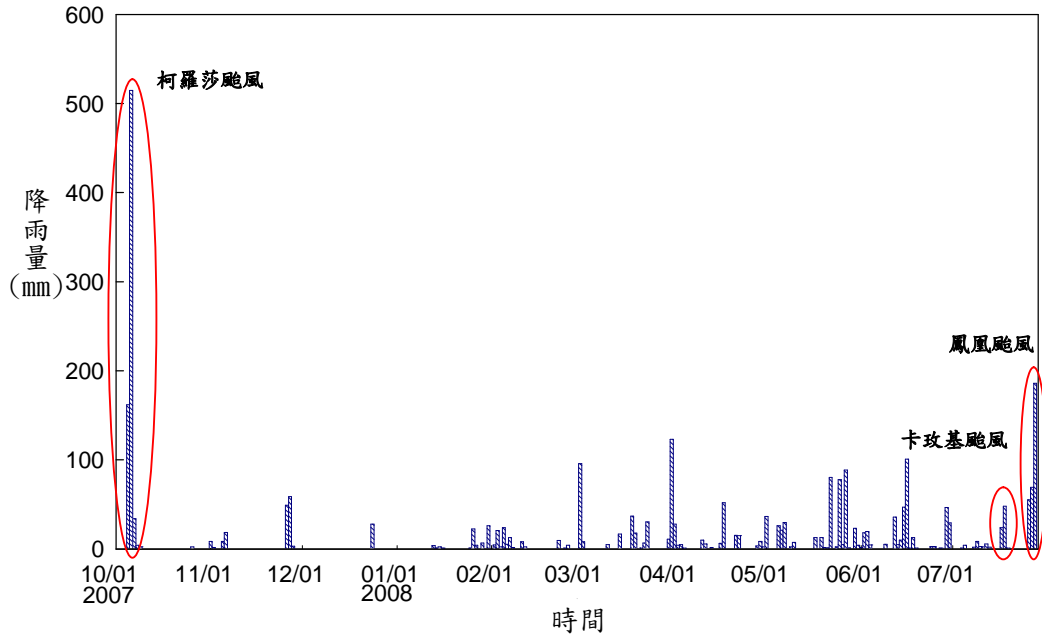


圖7 義興崩塌地日雨量紀錄(監測期間：96/10/5至97/7/29)

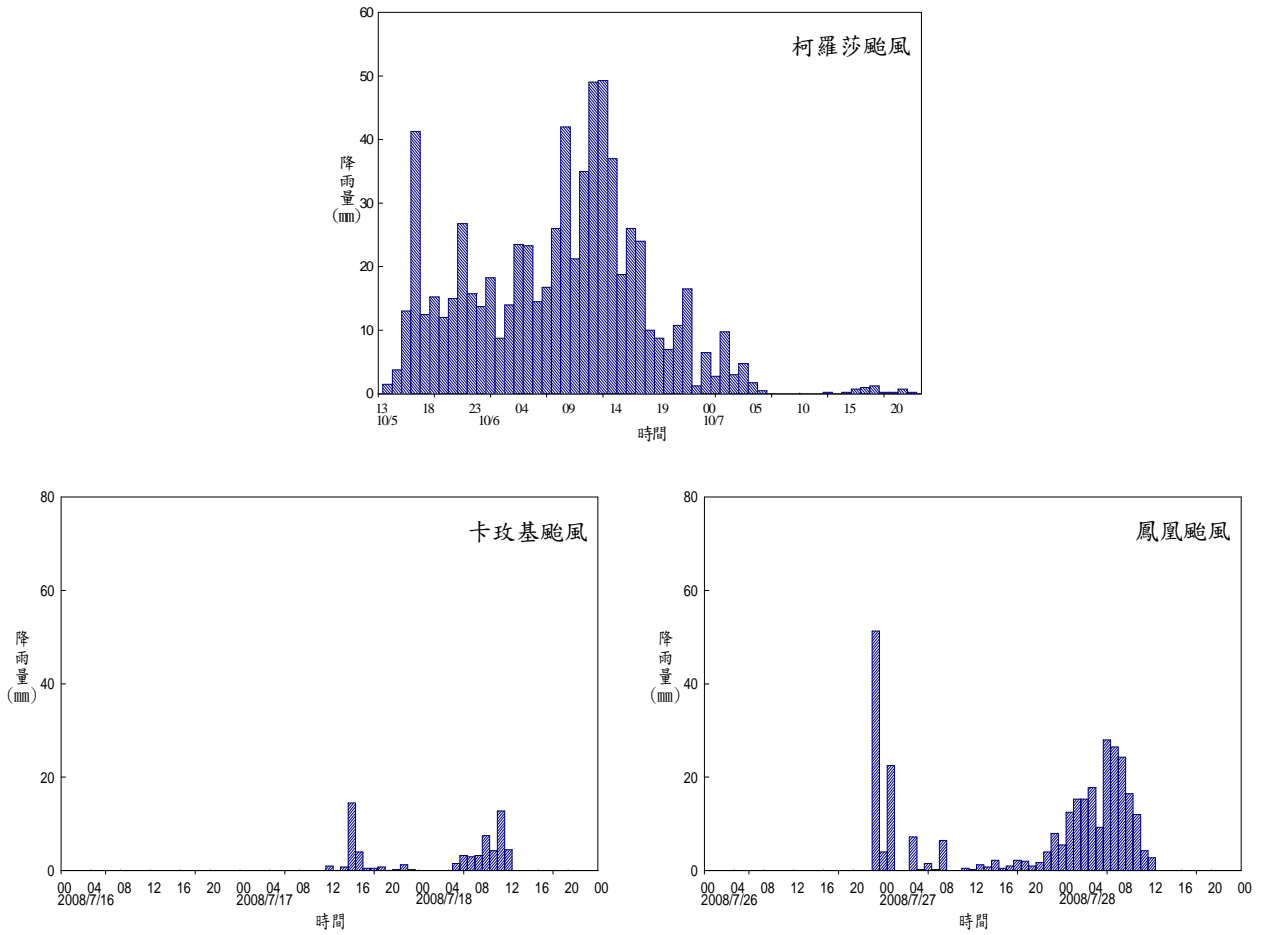


圖8 柯羅莎、卡孜基與鳳凰颱風於義興崩塌地之時雨量紀錄

(B) 地下水位

自民國96年10月5日起監測至今，AH-03與AH-07觀測井的水位變化分別如圖9與圖10所示，圖中地下水位線呈虛線部分為儀器受清淤車輛撞擊與受人為擅動等因素導致毀損無即時資料。圖9顯示位於坡中AH-03孔地下水位會隨較大降雨事件方有所抬升，如當97/3/31日雨量達123mm時使其地下水位有1~2m之抬升。圖10顯示位於坡頂AH-07孔地下水位監測初期變動甚為劇烈，初步研判係因AH-07靠近義興電廠的輸水隧道及前池，可能受輸水隧道與前池之蓄放水有關。此外，本研究將AH-07於鳳凰颱風期間的地下水位與降雨量以小時為單位繪製成圖11。由圖11可知當鳳凰颱風於降雨開始26小時後，累積雨量達137mm時，AH-07地下水位方開始顯著抬升。由以上數據初步研判義興崩塌地之累積降雨量達120mm以上時，其地下水位即可能會有所抬升，此抬升量初步判定多由該區域地下水側方補注而來，故時間上有20餘小時的遞延。

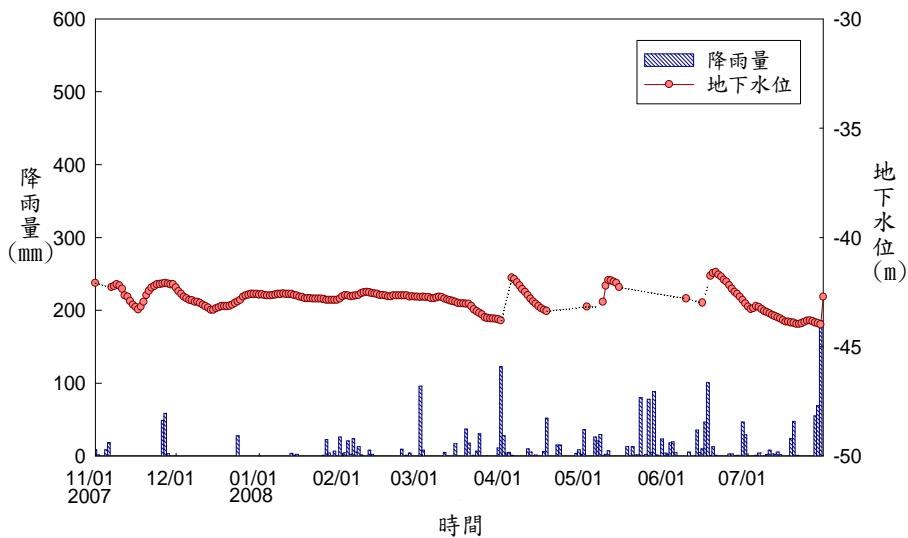


圖9 AH-03孔地下水位與降雨量之關係(監測期間：96/11/1至97/7/29)

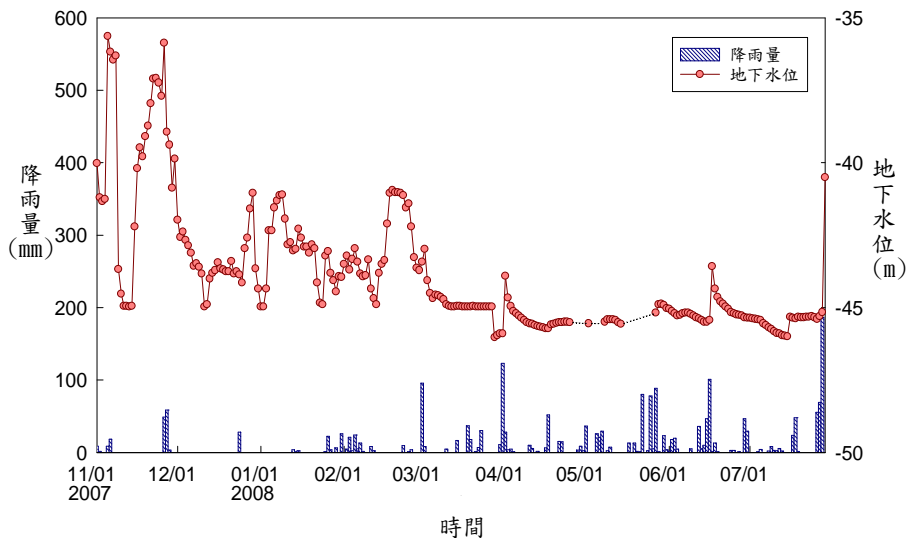


圖10 AH-07孔地下水位與降雨量之關係(監測期間：96/11/1至97/7/29)

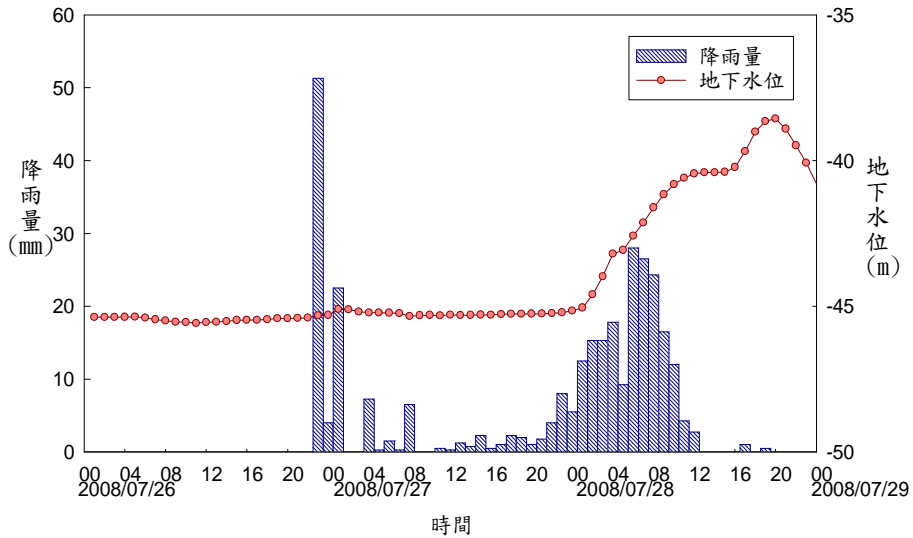


圖11 AH-07孔地下水位與降雨量之關係(鳳凰颱風事件)

(C) 地中位移

義興崩塌地監測所得地中位移資料如圖12所示，共計量測14次，此資料雖非即時監測成果，但為求完整性仍一併放入文中說明。由圖12可知義興崩塌地尚無發現明顯滑動面的存在，初步研判義興崩塌地尚屬於穩定狀態。地表下20~24m處的異常變形行為，經研判應屬局部地質破碎所引致之擠壓變形，惟仍應對其後續變形行為進行持續性觀察。

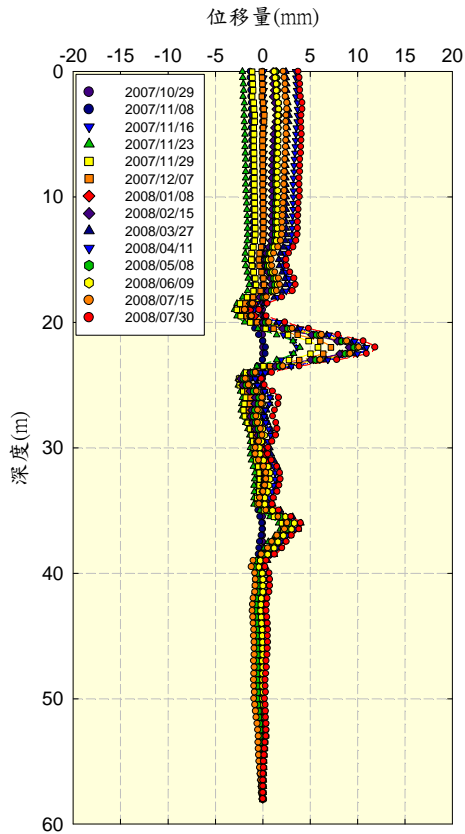


圖11 AH-03孔地中變形紀錄(監測期間：96/10/29至97/7/30)

四、結論與建議

綜合本研究所得之各項研究結果，茲摘要提出下列幾點結論與建議：

1. 義興崩塌地監測期間已成功地記錄 2007 年柯羅莎颱風期間的雨量監測資料，以及 2008 年卡玫基颱風與鳳凰颱風期間的監測資料。監測成果顯示義興崩塌地於後兩場颱風期間尚屬相對穩定狀態，而本研究所在之全自動監測系統歷經三場颱風事件仍持續正常運作中，顯示其成效良好。
2. 由地下水位與降雨量資料比對可知，義興崩塌地之地下水位均受降雨量而有所影響，初步研判義興崩塌地之累積降雨量達 120mm 以上時，其地下水位即可能會有所抬升。惟監測時間僅 10 個月，仍待更長期之資料以供比對與驗證。
3. 因目前地中變形自動化量測之經費費用昂貴致使未能普及推廣，本研究於地中變形部分亦僅採人工按月定期量測及重大颱風事件加測方式取得資料，建議未來具高崩塌潛勢或重要保全對象之崩塌地可納入地中變形之自動化量測，以取得潛在滑動面的即時位移資訊。
4. 監測目的若為研判地滑機制或原因而不需即時監測資料時，建議可採人工量測或半自動監測方式，但若為未來需進行預警或發佈警報時，則應建置全自動監測系統回傳即時資料以供研判及分析。

五、參考文獻

1. Lemke, J.L. (2006), "In-place inclinometer using low-G accelerometer network," Proceedings of Geocongress 2006, pp. 1-6.
2. Lemke, J.L., Hagy, M., and Brittsan, D. (2008), "Continuous real-time monitoring of an active landslide using a high-density accelerometer network," Proceedings of Geocongress 2008, pp. 500-508.
3. Liu, D.A., Yang, Z.F., Tang, C.H., Wang, J., and Liu, Y. (2004), "An automatic monitoring system for the shiplock slope of Wuqiangxi Hydropower Station," Engineering Geology, Vol. 76, Issues 1-2, pp. 79-91.
4. Lollino, G., Arattano, M., and Cuccureddu, M. (2002), "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.
5. 方仲欣、何應璋 (2007), 「儀器就定位：邊坡監測自動化」, 營建知訊, 第 293 期, 第 10-21 頁。

6. 何樹根、陳斗生、詹連昌 (2001),「梨山地滑區之全自動化監測系統」,地工技術,第 86 期,第 39-52 頁。
7. 經濟部水利署北區水資源局(2006),石門水庫暨榮華壩監測資料收集及分析綜合報告。
8. 廖瑞堂、徐振煌、陳昭維 (2008),「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。