

颱風事件引致崩塌地滑動之研究—以濁水河流域 萬大崩塌地為例

王金山¹ 鍾明劍¹ 譚志豪² 冀樹勇³ 蘇泰維⁴ 李錦發⁵ 費立沅⁶

- 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組長
- 3.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心經理
- 4.中央地質調查所環境與工程地質組科員
- 5.中央地質調查所環境與工程地質組科長
- 6.中央地質調查所環境與工程地質組組長

摘 要

本研究係以霧社水庫右山脊下游側尚未經整治之崩塌區為對象進行一系列之水文地質調查、監測與分析工作，透過崩塌地內水文地質特性調查成果，建立從降雨入滲引致地下水位變化，進而導致邊坡崩塌的分析模式。模式中採 GeoStudio 整合降雨入滲及滲流-穩定性進行耦合分析，探討其淺層地下水文與崩塌的關聯性，並將現地監測資料與數值分析結果作印證與比對，以率定崩塌地之水文地質概念模型。監測期間適逢多場颱風侵襲導致此崩塌區產生明顯之滑移跡象，監測資料顯示地下水位於颱風豪雨期間有明顯之抬升(5~7 m)，且於地表下 31.5 m 處發現明顯之滑動面。本研究即以颱風事件之降雨歷時資料套用至分析模式中，所得結果均與現場監測資料具有一致性，顯示本研究所建立之分析模式具有實務應用之價值與準確性。

關鍵字：萬大崩塌地、監測、降雨、入滲、邊坡穩定。

Modeling of Active Landslide Induced by Typhoon Events – Case Study of Wanda Landslide in Jhuoshuei River Watershed

ABSTRACT

The study focused on the couple analysis of rainfall, infiltration, seepage and slope instability in Wanda landslide. A series of hydrogeological investigations, in-site and laboratory tests were carried out, the results of which were used as input for establishment of the hydrogeologic conceptual model. The study uses a general infiltration analysis combined with hydrological-slope stability analysis performed with the software GeoStudio. Finite element seepage analysis for transient condition were employed to model the changes in pore water pressure during the rainfall events, and the limit equilibrium slope stability method was applied to calculate the factor of safety simultaneously. The model was calibrated with aforementioned analysis and the data from field measurements. Finally, we verify the validity of the model by SINLAKU typhoon event. The results demonstrated that good agreement was found between predicted results and the data from field monitoring of the typhoon event.

Key Words: Landslide, Monitoring, Rainfall, Infiltration, Slope Stability.

一、前言

萬大崩塌地位於台灣中部南投縣仁愛鄉霧社水庫的右山脊下游側，對岸即萬大發電廠廠區，行政上隸屬南投縣仁愛鄉親愛村，所屬水系為濁水河流域，

相關地理位置可參考圖 1，崩塌地範圍遙測影像如圖 2 所示。

霧社壩右山脊下游側排洪隧道附近崩塌區之邊坡長久以來即有潛變現象，台電公司自民國 70 年以來針對右山脊下游排洪隧道附近邊坡進行穩定處

理，並於進行霧社水庫整體安全檢查與評估時將該邊坡之崩塌範圍劃分為崩塌區 I、II、III (如圖 3 所示) (中興工程顧問社, 1984~1994)。其中較嚴重之崩塌區 III 及排洪隧道出口上方邊坡於高程 1010 m、980 m 及 902 m 分別打設擋土排樁，高程 950 m 及 820 m 佈設排水廊道極多處面板格梁可複拉式預力鋼鍵地錨。

民國 95 年 5 月底至 6 月上旬期間，由於連續豪大雨，造成霧社水庫入流量急速升高，而於 6 月 9 日上午啟用排洪隧道進行緊急洩洪連續 62 小時，最大排洪量為 436 CMS，造成排洪隧道出口混凝土結構局部剝落與開裂，連續豪雨亦造成大壩右山脊崩塌區等多項災害。該次豪大雨造成崩塌區表層位移，部分格梁地錨等穩定設施開裂，原未設擋土措施之崩塌區 I 則發生路面下陷、變形。

本研究於 2007 年現勘時發現道路旁既有噴凝土護坡明顯可見因潛變造成表面擠壓的現象，而崩塌區 I 內小徑坡面上亦可見噴漿破裂、坡面岩釘破壞及小徑旁鋼軌樁變形情形。由於萬大崩塌地鄰近霧社水庫之排洪出口，上方道路亦為通往奧萬大之唯一聯外道路，下方河道對岸即為萬大發電廠，若此大範圍地滑區域再次產生大規模地層滑動，勢必將對水庫及電廠安全造成極大的威脅，故本研究針對該地區之地滑機制及地滑潛勢進行調查與研究。

二、研究區域概述

2.1 地形與地質

萬大崩塌地附近山高谷深，地形發育上屬幼年期至壯年期，溪谷兩側山脊海拔高度可達 1,500 m 以上。河流下切作用盛行，由於沿線以較軟弱之板岩為主，常形成大規模崩塌地，使溪水夾帶大量沉積物而呈現混濁狀。萬大溪和霧社溪為濁水溪南北兩大支流，兩支流溪谷狹窄，霧社溪松林攔河堰附近谷底寬度僅約 25 m，兩岸地勢陡峭，自然邊坡坡度約 35 至 55 度，近谷底則成垂直或倒懸之勢。濁水溪自匯流口以下溪谷寬廣，呈曲流地形，兩側常見河階發育，溝谷下游測普遍存在沖積扇。

萬大崩塌地鄰近區域出露地層主要為中央山脈西翼輕度變質之第三紀亞變質岩 (中新世之廬山層)，岩性含硬頁岩、板岩及千枚岩與深灰色硬砂岩互層等，如圖 4 所示。由於區域山坡陡峭，坡面淺層地區解壓作用顯著。此外，因劈理發達之故，邊坡淺層之板岩易受風化擾動，而形成鬆動帶，帶內板岩劈理面位態呈現不規則變化，且有扭曲現象，惟大體仍呈高角度順向坡之位態。此區鄰近之主要地質構造為縱貫台灣全島，區隔雪山山脈帶與脊樑山脈帶之梨山構造線及姊原斷層。

根據民國 82 年於崩塌區 III 內之地質鑽孔資料 (中興工程顧問社, 1984) 顯示，崩塌區地表下 50 m 地層情況約可分成四層：第一層為鬆散之覆蓋層，深度約為 3 m 深；第二層為高度風化破碎板岩，深度約為 3 至 15 m 深，劈理發達且有明顯解壓現象，劈理裂隙有黃泥填充，顯示岩盤劈理已開裂；第三層為 15 至 30 m 深之輕度風化板岩，輕微銹染並偶夾泥縫，顯示岩盤已受輕微擾動；30 m 以下為新鮮未銹染之灰黑色板岩層，僅偶有小剪裂出現，岩盤尚稱完整。鑽孔之迴水率趨近於零，顯示本區地下水位甚低。

2.2 氣象與水文

由鄰近萬大崩塌地的萬大氣象站，進一步統計 1993 年至 2004 年的資料可知，此地區的年平均氣溫為 16.6°C，最高氣溫為 7 月份之 20.3°C，最低為 1 月份之 11.5°C；最低溫度紀錄曾達 0°C。年平均相對濕度為 79%；年雨量約 2,002.5 mm (如表 1)，雨量主要集中在於 5~8 月間，合佔年降雨量的 67%；10 月至翌年 2 月間為乾季，降雨量僅占 9.2%。

濁水溪之發源地位於仁愛鄉合歡東峰南安武嶺東邊溪谷，流經奇萊主山西麓、靜觀、平生、平靜等地後，與塔羅彎溪在雲龍橋會合。在霧社轉南進入萬大水庫，然後與千卓萬山的萬大溪會合，此區段均屬濁水溪上游，其中，萬大崩塌地即於霧社水庫大壩右山脊下游側 (見圖 1)。隨後，濁水溪再經松林、曲冰至武界攔沙壩，利用地下水道將大多數的水流引進日月潭，其餘溪水則與卡社溪會合進入信義鄉境內。

三、水文地質特性調查、試驗及監測成果

3.1 水文地質調查及試驗

為了解本區域之地層屬性、地質構造及水文特性，本研究進行一系列現地水文地質調查與試驗項目，包含有 (1) 鑽孔調查 (鑽孔位置如圖 2 所示)；(2) 地表地質調查；(3) 雙環入滲試驗；(4) 地表地球物理調查；(5) 岩體裂隙位態調查；(6) 裂隙岩體水力試驗；室內試驗則包括 (1) 室內土壤與岩石力學試驗 (基本物理性質、滲透性質及強度性質試驗) 及 (2) 未飽和層土壤含水曲線調查 (壓力平板試驗)。各項調查工作之目的與用途如表 2 所示，以下針對崩塌地水文地質特性調查結果做一簡要概述。

本研究於萬大崩塌地計有 3 孔地質鑽孔，編號分別為 CH-07、CH-09 及 CH-11，綜合地質鑽探資料可知其地質可簡化為三層。第一層為山坡表土堆積層，主要是由極風化之板岩碎屑或風化板岩塊夾雜黃褐色沉泥質壤土所構成。厚度自數公尺至十幾公尺不等，碎屑岩塊大小不一，小者數公分，大者數十公分，此層岩屑膠結鬆散，易受地表逕流冲刷掏蝕。由試驗結果可知本層之單位重介於 17.66~22.96 kN/m³，比重介於 2.65~2.68，透水係數介於 1.80×10⁻⁵ m/sec 至 1.32×10⁻⁴ m/sec，凝聚力為 0 kPa，摩擦角介於 30.0~35.2 度。體積含水量函數曲線如圖 5 所示，而水力傳導函數曲線係透過地層材料之飽和滲透係數 K_{sat} 及 Fredlund & Xing (1994) 進行估算，如圖 6 所示。

第二層為風化破碎之板岩層所構成，板岩之劈理發達，且山坡地形陡峭，坡面淺層解壓作用顯著，故淺層之板岩易受風化擾動，形成一鬆動帶。受重力下滑影響，擾動帶內之板岩劈理位態呈不規則之變化。岩體內解壓節理發達，部份節理成開口狀，或已形成裂縫，部份開口者具有黏土填充物，節理或劈理面常有鐵質繡染，透水性大。破碎帶深度約在 25~30 m，其風化與破碎程度隨地表之深度而遞減。

第三層為新鮮安定之灰黑色板岩層，板狀板岩之岩質堅實緻密，千枚狀板岩之岩質則較軟弱。因板狀板岩夾千枚狀板岩常有剪裂出現，故此岩層中偶夾灰色泥縫。由試驗結果可知本層之單位重約為 26.68 kN/m³，比重介於 2.79，透水係數介於 7.20×10⁻⁸ m/sec 至 1.29×10⁻⁷ m/sec，尖峰剪力強度參數 C_p 約為 78.48 kPa， ψ_p 約為 29.0 度；殘餘剪力強度參數 C_r 約為 0 kPa， ψ_r 約為 14.0 度。

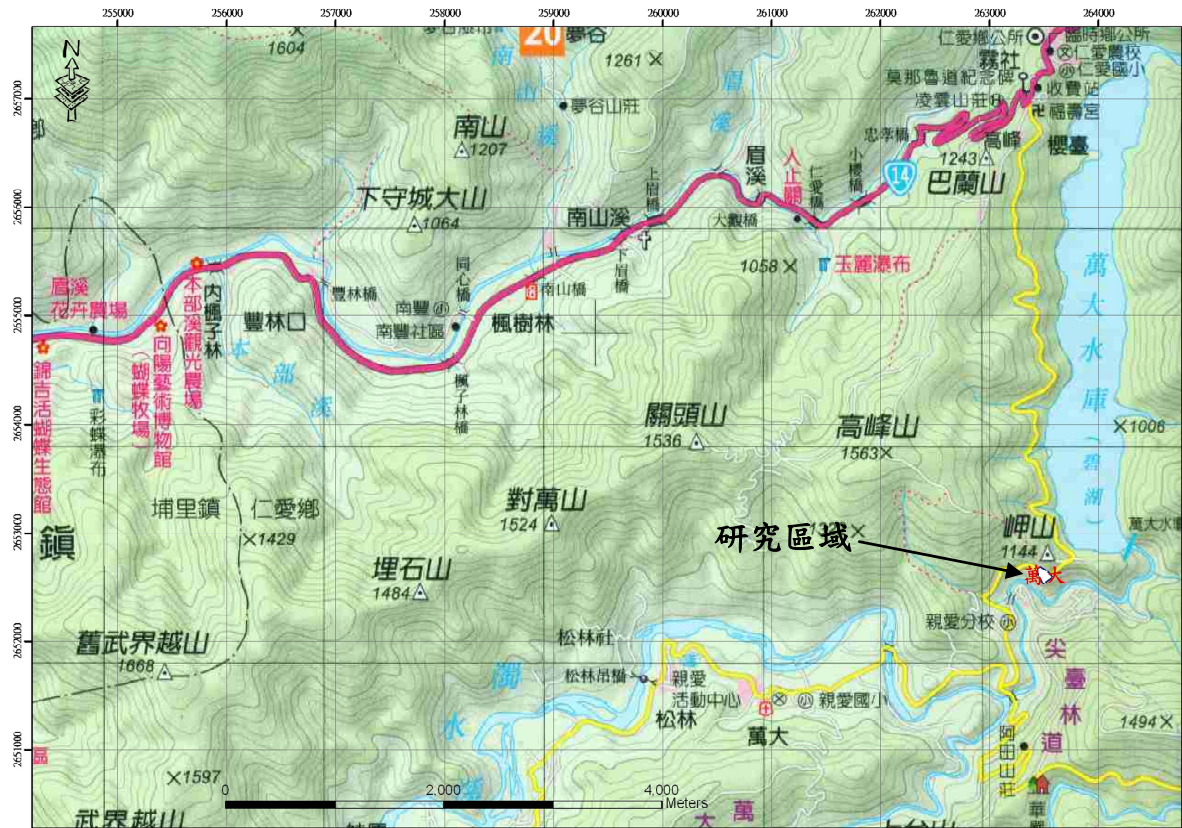


圖 1 萬大崩塌地之地理位置

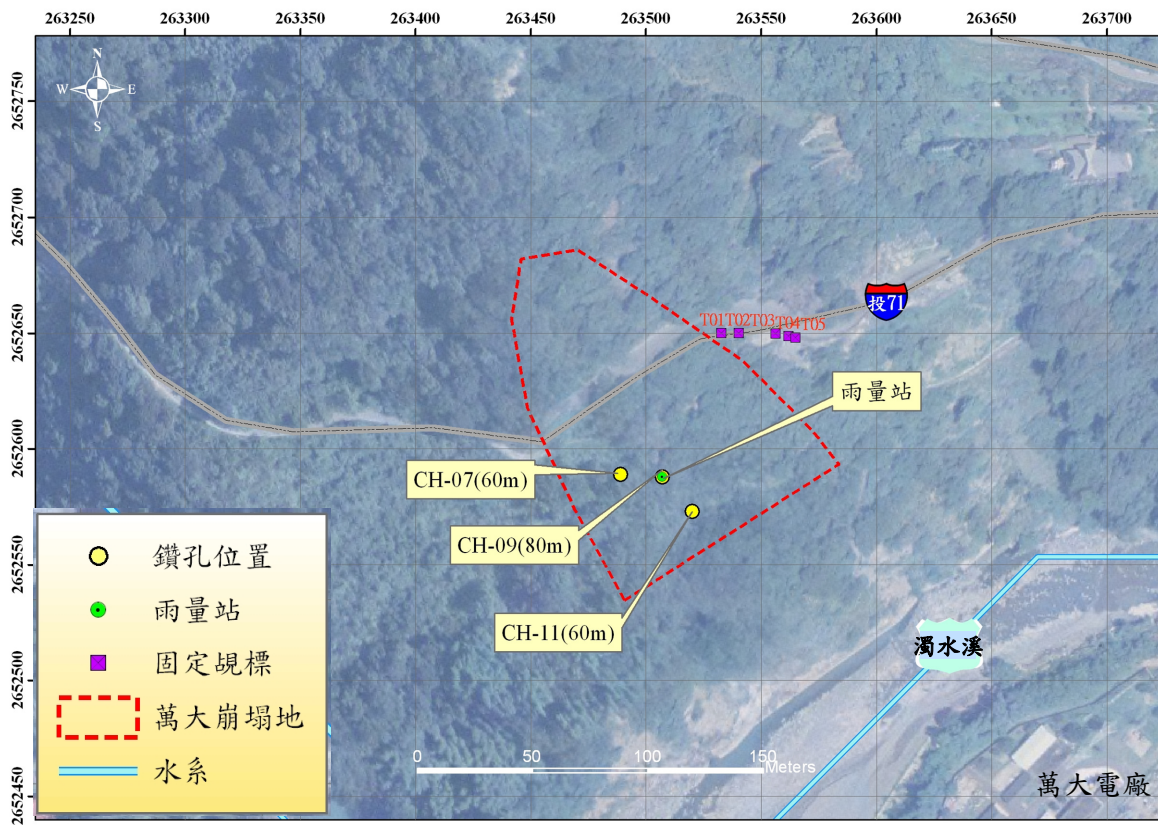


圖 2 萬大崩塌地遙測影像與地滑區域圈繪 (影像日期：2008)

表 2 崩塌地水文地質調查工作之目的與用途說明

調查項目	目的	用途
鑽探調查	調查崩塌地內地層與地質構造之空間分布及其力學特性。	1. 提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之基本參數； 2. 瞭解崩塌地地層之破碎程度； 3. 提供崩塌地可能滑動面深度及可能滑動位置。
地表地質調查	調查崩塌地範圍內之地形表徵與地質露頭。	1. 調查崩塌地地形表徵，掌握坡面變動狀況； 2. 掌握崩塌地露頭分佈及位態，推估崩塌地內地質構造。
雙環入滲試驗	調查崩塌地土壤之入滲率。	1. 提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之入滲參數。
地表地球物理調查	調查崩塌地內地層構造特性與地下水位面訊息。	1. 調查崩塌地內潛在滑動面位置與滑動區塊； 2. 調查崩塌地內岩盤分布及深度； 3. 調查阻水層位置、含水層深度與厚度。
岩體裂隙調查分析	調查岩層破碎程度、主要含水層可能之位置。	1. 評估裂隙岩體水力試驗之深度位置； 2. 掌握鑽孔岩心之精確位置，檢核鑽探品質； 3. 釐清可能潛在滑動面之範圍。
裂隙岩體水力試驗	調查鑽孔內地層之裂隙岩體透水係數。	1. 評估崩塌地水文地質特性； 2. 評估崩塌地內含水層位置與型態； 3. 提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之透水係數。
土壤與岩石力學試驗	利用現地鑽探與調查取得的岩心試體或土壤試樣進行各項相關之室內試驗。	1. 提供崩塌地水文地質及穩定分析所需之基本參數。
未飽和層土壤含水特性試驗	利用壓力鍋與現地張力設備調查未飽和層土壤含水特性。	1. 評估未飽和土壤滲透特性，求取體積含水量隨基質吸力之變化； 2. 提供崩塌地水文地質及未飽和層穩定分析所需之基本參數。
地下水文分析 (地下水基流分析)	瞭解各集水區之地下水補注量與長期穩定入滲量。	1. 提供流域內地下水補注之時間與空間分布與補注量。

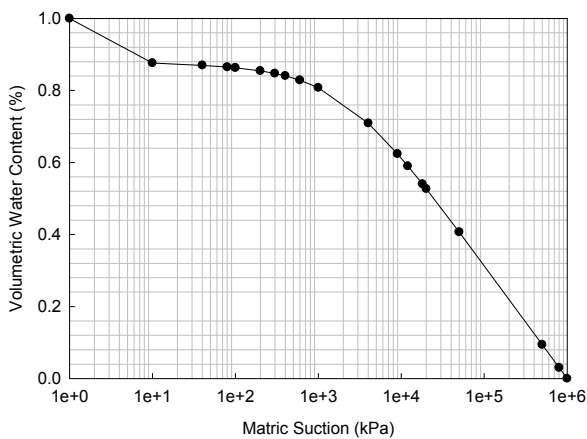


圖5 萬大崩塌地表土堆積層土壤水分特性曲線

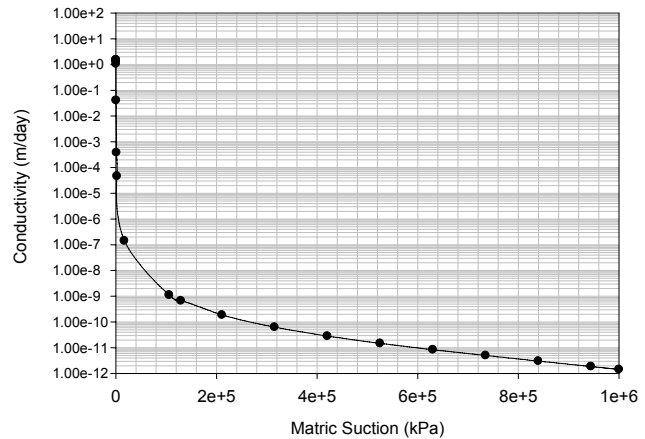


圖6 萬大崩塌地表土堆積層水力傳導函數

3.2 崩塌地監測

為了解本區域降雨、地下水位變化及地層滑動之關係，於研究區域內裝設自記式雨量計及地表固定規標點(配合全測站施測)，進行降雨量及地表變形之觀測，並於地質鑽孔中設置傾斜觀測管及水位觀測井(內置水壓計量測)，以進行崩塌地潛在滑動面深度、位移及地下水位變化觀測，現場監測工作項目如圖 7 所示，監測儀器配置位置如圖 2 所示。

由 2008 年調查研究期間，崩塌地內設置之雨量計所紀錄的日降雨量(圖 8(a))可看出，7~9 月颱風季節之降雨量均比其他月份要高，其中四場颱風事件(卡玫基、鳳凰、辛樂克及薔蜜)即佔全年總降雨量之

59.1%，茲將研究期間歷經之颱風紀錄及其降雨量整理如表 3 所示。另外，由地下水監測資料可發現研究區域內 CH-07 鑽孔地下水位受降雨影響並不顯著；而 CH-11 鑽孔地下水位則於卡玫基及鳳凰颱風期間，水位急遽抬升 5~7 m，如圖 8(b)、(c)所示。由此可知，此崩塌地之地下水文呈現複雜且多變之型態。

根據崩塌地內傾斜觀測管之累積變位曲線可知，深度 31.5 m 處有一潛在滑動面，此滑動面位於風化破碎之板岩層內，如圖 8(d)所示。由圖 9 可知研究區域邊坡有持續之滑動現象，其累積滑動量約為 11.4 mm，平均滑動速率皆在 2 mm/月以下(2008/01/01~2008/06/19)。根據表 4(日本地滑對策技術協會，1978)研判，萬大崩塌地於常時即處於「準

確定變動狀態」，屬於緩慢運動(蠕動)中的崩塌地，其變動之速率雖小，但位移之方向仍有一定之趨勢。

而於 2008 年 7 月 16~18 日卡孜基辛樂克颱風過後，CH-09 傾斜觀測管產生一較大之變形，其累積滑動量達到 20.1 mm，平均滑動速率約為 7.5 mm/月，由表 4 可知萬大崩塌地於此時已處於「確定變動狀

態」，屬於活潑運動中之崩塌地。隨之而來的辛樂克颱風，在其所挾帶的豪雨過後，傾斜觀測管及 2 孔全孔水位觀測井皆因變位過大而無法量測，崩塌地上方道路及其內之噴凝土護坡也產生明顯之下陷及破壞，如圖 10 所示，顯示降雨對此崩塌地之穩定性有極不利之影響。

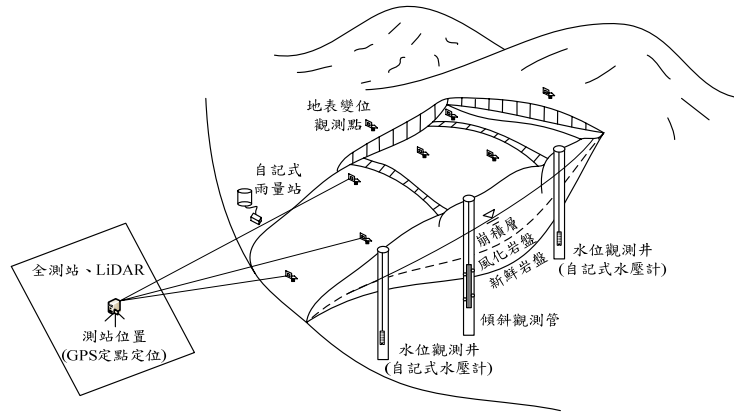
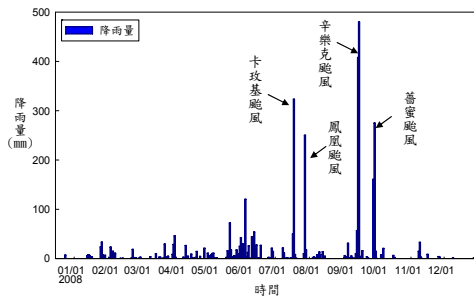
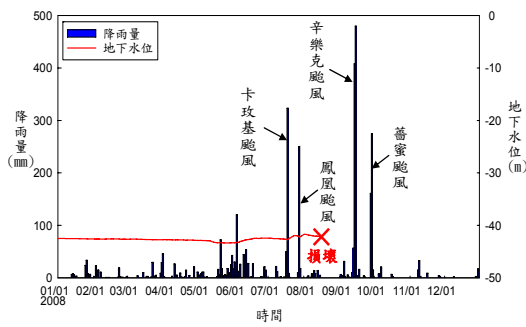


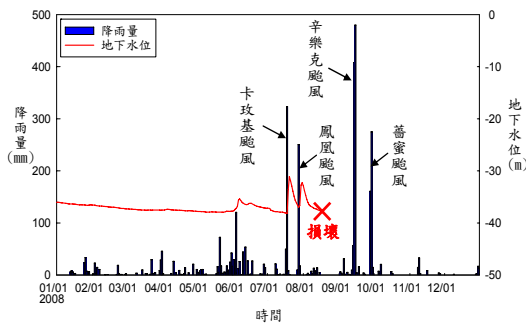
圖7 萬大崩塌地現地監測工作項目示意圖



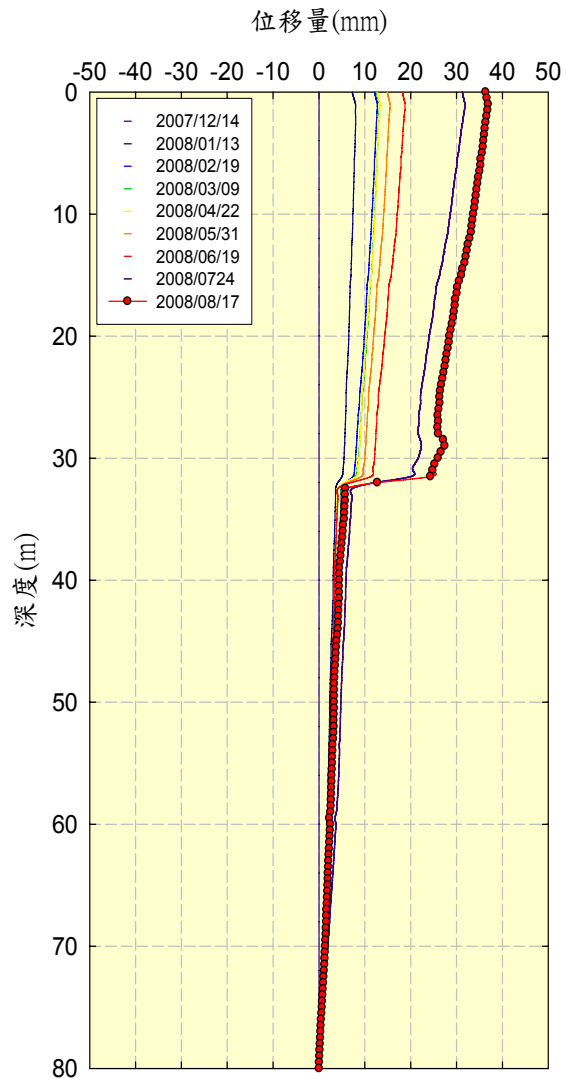
(a) 日雨量紀錄



(b) CH-07 鑽孔地下水位與降雨量之關係



(c) CH-11 鑽孔地下水位與降雨量之關係



(d) CH-09 傾斜觀測管地中水平變形紀錄

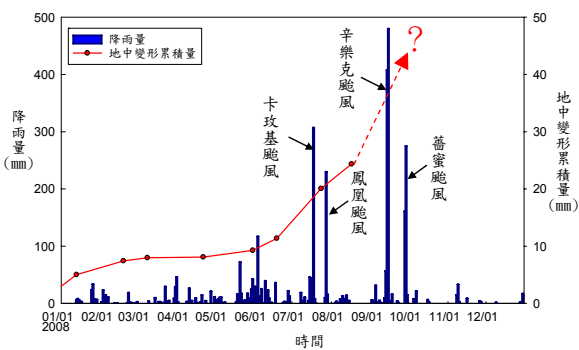
圖8 萬大崩塌地現地量測紀錄

表3 研究期間各颱風事件之降雨紀錄

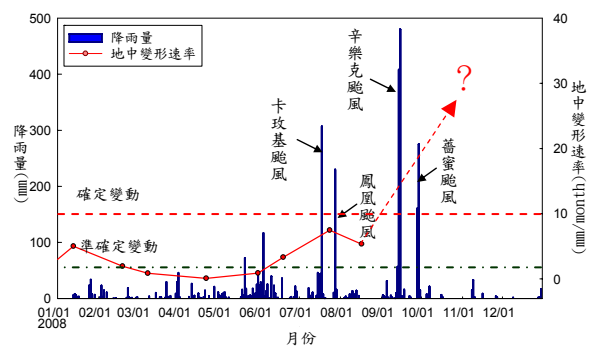
日期	颱風名稱	累積降雨量(mm)
2008年7月16~18日	卡玫基	383
2008年7月26~29日	鳳凰	279
2008年9月11~13日	辛樂克	960
2008年9月27~28日	薔蜜	451

表4 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表 (日本地滑對策技術協會, 1978)

變動種別	日變位置量 (mm)	月變位置量 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	摘要
緊急變動	20 以上	500 以上	非常的顯著	急速崩壞	崩壞型/泥流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	崩積土滑動/深層滑動
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	粘土滑動/回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	待繼續觀測	粘土滑動/崖錐滑動



(a) 地中水平變形累積量(深度 31.5 m)



(b) 地中水平變形速率(深度 31.5 m)

圖9 萬大崩塌地CH-09傾斜觀測管量測紀錄



(a) 坡面通達道路明顯下陷、護欄傾斜



(b) 坡面產業道路下陷及開裂

圖10 萬大崩塌地現勘照片 (卡玫基颱風過後)

四、降雨-入滲-滲流-穩定性耦合分析

本研究採用 GEO-SLOPE 公司所開發之 SEEP/W 有限元素程式及 SLOPE/W 邊坡穩定程式進行降雨-入滲-滲流-穩定性之耦合分析，以探討降雨在不同岩土中的滲透特性與入滲過程及雨水入滲時孔隙水壓力變化與邊坡失穩的關聯性。首先根據各項現地調查、室內試驗所得之結果建立崩塌地水文地質概念模型，隨後利用 SEEP/W 程式與研究期間現地監測資料，進行降雨量與地下水關係之耦合分析，以率定前述所建立之模型，並以 SLOPE/W 程式及卡孜基颱風事件造成崩塌地滑移之臨界狀態，反算模型之強度參數，最後由辛樂克颱風造成崩塌地之滑動事件，驗證本模型之準確性。

4.1 程式簡介

SEEP/W 為分析土體和岩石中地下水滲流和超額孔隙水壓力消散問題的有限元素程式，包含飽和與未飽和狀態下土壤滲流問題。運算分析方式有兩種選擇，分別為穩態分析 (Steady-State Analysis) 及暫態分析 (Transient Analysis) 兩種。穩態分析可計算達到長期穩定狀態之結果；暫態分析則係依設定時階 (Time Step) 運算出特定時間之結果。SEEP/W 滲流分析程式可將土壤之水力傳導值、體積含水量值與孔隙水壓之關係以連續性函數呈現，藉此進行分析運算。通過 SEEP/W 之計算，可以分析邊坡在不均勻飽和條件、非飽和條件下的孔隙水壓力，亦可對邊坡穩定時的暫態孔隙水壓力進行分析。通過暫態分析，可以得出不同時間不同位置的孔隙水壓力分布狀況，以研究邊坡穩定性與時間的關係。

SLOPE/W 程式之原理係採用擬靜態分析法 (Pseudo-Static Method) 之極限平衡分析，以切片法進行邊坡分析及安全因子計算。其原理係將滑動體分成許多垂直片段，利用力與力矩之平衡求得臨界安全係數，為目前常見之邊坡破壞穩定分析方法。本研究分析破壞行為依據 Mohr-Coulomb 破壞準則，以 Morgenstern-Price 模式進行邊坡穩定分析，以求取颱風事件下邊坡之安全係數。

4.2 水文地質概念模型建置

本研究透過上述各項現地調查、室內試驗所得之結果，並參考「霧社水庫排洪隧道山坡穩定處理規劃報告」(中興工程顧問社, 1984) 試驗所得之地質參數，結合現地勘察結果及監測資料所顯示之邊坡行為，建立萬大崩塌地的水文地質概念模型，如圖 11 所示。為簡化滲流分析條件，本研究之邊界條件設定如下：

1. 穩態分析水力邊界

本分析之最左邊界為濁水溪之河道，故將其設為定水頭邊界，總水頭值與河道內水位面之高程相同；底部邊界則考量下方新鮮板岩之水力傳導性甚小，故將其視為無滲流行為，設為一滲流量為零之不透水邊界；而左邊之邊界則假設地下水位於破碎岩盤與新鮮岩盤之交界面上，將其設為定水頭邊界，總水頭值與交界面之高程相同。

2. 暫態分析水力邊界

於暫態分析中，除前述之穩態分析水力邊界條件

外，本研究設定崩塌地表土堆積層之坡面為降雨入滲邊界，採用實際之降雨資料(流量)作為其邊界條件；為考慮地下水之側向補助，將右邊界之表土堆積層及風化破碎岩盤設定為一穩定流量邊界，流量值則採河川基流分析之資料。

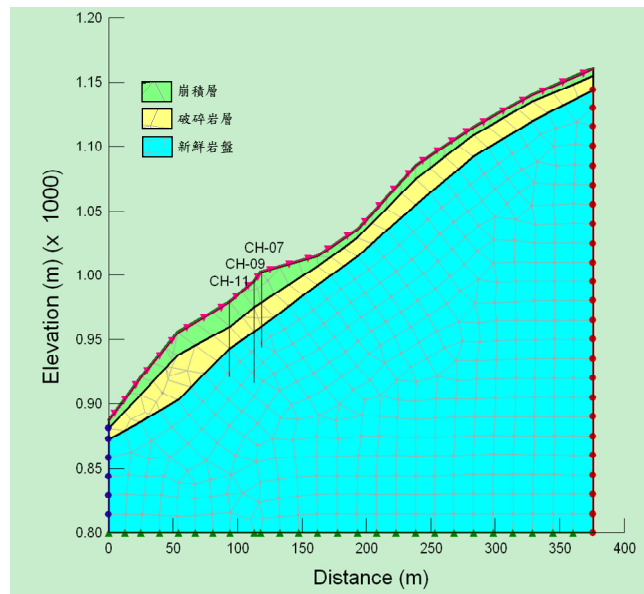


圖 11 萬大崩塌地水文地質概念模型

4.3 參數率定

4.3.1 地層水力參數

本研究利用前述所建立之水文地質概念模型，透過 SEEP/W 進行降雨入滲分析，比對數值分析所得到之壓力水頭值與研究期間(2008 年 1~7 月)之日雨量及地下水水位監測值是否吻合。率定方式係藉由反覆調整概念模型內各地層水力傳導係數值，使模擬之結果與實際監測之地下水水位相符，以率定前述所建立之模型。本研究率定所使用之各地層參數及結果如表 5 所示，由圖 12 可知本研究於 2008 年 1~7 月之模擬結果與實際量測值之趨勢相符且差異甚小，可說明本研究所提出之水文地質概念模型及參數具有相當之合理性。

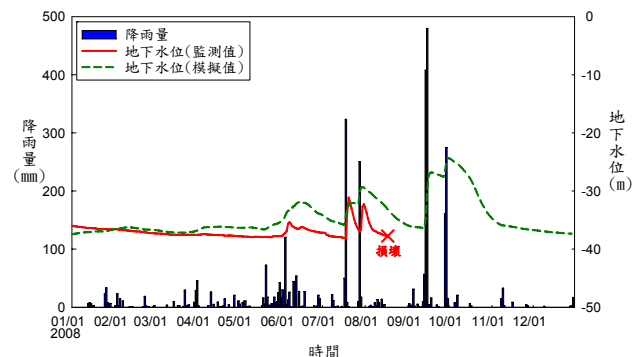


圖 12 萬大崩塌地CH-11鑽孔地下水水位模擬成果

4.3.2 地層強度參數

藉由上述率定後之水文地質概念模型，以

SLOPE/W 程式分析颱風事件造成崩塌地滑移(蠕動)之臨界狀態現象,反覆調整概念模型內各地層之強度參數值,以符合此時之安全係數 F.S=1.0 之條件,本研究採用 2008 年 7 月 16~18 日之卡玫基颱風事進行地層強度參數之率定,率定所使用之各地層參數及結果之如表 5 所示。

表5 初始分析參數及率定成果

地層 參數	崩積土	風化岩層	新鮮岩盤
飽和透水係數 K_s (m/sec)	1.79×10^{-5} (1.74×10^{-5})	6.02×10^{-6} (1.62×10^{-5})	4.41×10^{-8} (3.47×10^{-7})
單位重 γ_t (kN/m ³)	17 (19)	21.2 (20)	26.68 (26.68)
凝聚力 C (kPa)	20 (30)	100 (90)	222 (111)
摩擦角 ϕ (deg)	32 (31)	33 (31)	35 (35)

*括弧內之數值為本研究之率定成果

4.4 模式驗證

為了解本研究率定所得水文地地質概念模型之可靠度,遂進行後續辛樂克颱風事件之分析。首先將辛樂克颱風事件之日雨量監測值輸入模型中,藉此分析所得之地下水位及邊坡破壞滑動面如圖 13 及圖 14 所示。分析成果顯示此颱風事件將引致地下水位抬升約 7.3 m,可能滑動面之深度約位於 CH-09 鑽孔深度的 31.5 m 處,其安全係數將達臨界值 1.023(邊坡處於不穩定臨界狀態)。比對現場實際監測資料可知,CH-09 鑽孔深度 31.5 m 處確實已產生顯著之滑動現象(傾斜觀測管變形過大導致無法量測,如圖 8(d)所示),由此可知本模式分析準確性甚佳,惟崩塌地顯著之變形導致現地理設之水壓計無法取出,因而無法了解颱風事件造成現地地下水位之變化以供分析比對之用。

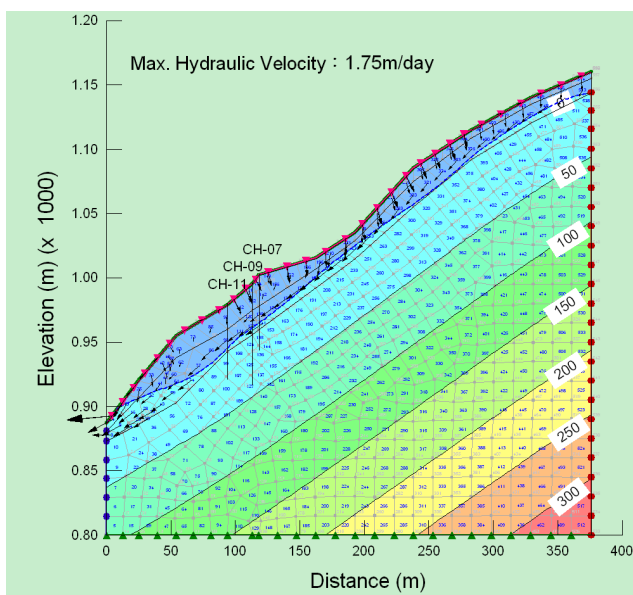


圖13 萬大崩塌地降雨入滲分析成果
(辛樂克颱風事件)

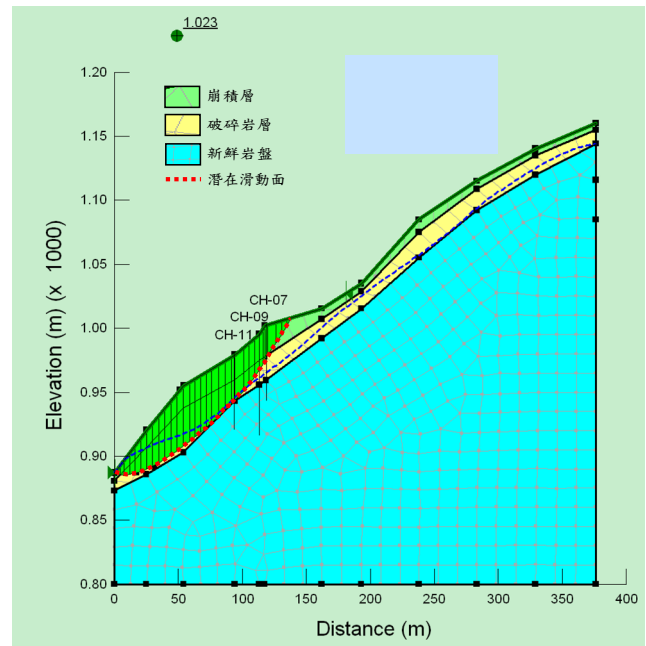


圖14 萬大崩塌地邊坡穩定分析成果
(辛樂克颱風事件)

五、結論與建議

5.1 結論

- 1.本研究經由現地調查及監測結果可知,萬大崩塌地潛在滑動面深度約在地表下 31.5m 處,約位於灰黑色板岩為主之破碎岩盤內,常時即處於「準確定變動狀態」,屬於緩慢運動(蠕動)中的崩塌地。而 2008 年的幾場之颱風事件後,崩塌地已產生明顯之滑動現象,並處於「確定變動狀態」,顯示萬大崩塌地具有因暴雨導致崩塌之潛勢。
- 2.本研究經由一系列現地調查及室內試驗所得之結果,建立萬大崩塌地之水文地地質概念模型,並利用常時之監測資料及卡玫基颱風導致崩塌地滑動事件之監測數據進行模型率定,隨後利用辛樂克颱風事件進行驗證。結果顯示模式分析成果與現地監測資料相符,顯示本研究建立之一系列現地水文地地質調查、試驗、監測及室內分析模式具有實務應用之價值與準確性。

5.2 建議

由本研究之現地監測資料可知,於同一颱風事件下,相鄰 2 孔水位觀測井內之水位抬升及洩降有截然不同之反應。究其原因,應為崩塌地內地質條件錯綜複雜,導致水文地地質特性難以掌握,因此本研究所建立之水文地地質概念模型仍存在許多之簡化及假設條件。未來若能針對崩塌地範圍進行更細緻的調查、試驗與監測工作,以瞭解崩塌地內之地層種類、地質構造、土壤與岩石特性、現地水文條件及崩塌歷史,遂可進行更深入之研究,以充分掌握崩塌地降雨-入滲-穩定性之機制,供未來之災害預測及預警用。

誌 謝

本研究承蒙經濟部中央地質調查所提供相關研究經費，在此致上誠摯謝意，對於工作期間努力付出的中興社同仁，亦一併感謝諸位對此研究之付出與努力。

參考文獻

- [1]財團法人中興工程顧問社（1984），霧社水庫排洪隧道山坡穩定處理，規劃報告，台灣電力公司。
 - [2]財團法人中興工程顧問社（1993），霧社壩右山脊下游側崩坍區穩定處理，地質鑽探報告，台灣電力公司。
 - [3]財團法人中興工程顧問社（1993），霧社壩右山脊下游側崩坍區穩定處理，地質探查配合岩石力學試驗工作報告，台灣電力公司。
 - [4]財團法人中興工程顧問社（1994），霧社壩右山脊下游側邊坡穩定處理，第二階段規劃報告，台灣電力公司。
 - [5] Fredlund D.G., Xing Anqing, and Huang Shangyan , “Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve,” Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, pp. 533-546 (1994).
 - [6]日本地滑對策技術協會，地滑對策技術設計實施要領，一卷，第二期，(1978)。
-