

瑞里幼葉林地滑機制探討

鄭裕適⁽¹⁾ 陳勝全⁽²⁾ 林俐玲⁽³⁾ 顏呈仰⁽⁴⁾

摘要

幼葉林地滑位於嘉義縣梅山鄉瑞里村，近年來遭逢暴雨侵襲即有地層滑動災害發生，尤其以民國 98 年 8 月之莫拉克颱風造成之滑動破壞最為嚴重，初步估計滑動體頭部地表陷落約達 1~2 公尺以上。經初步地質調查、地下水文監測等相關調查工作後，發現本地滑區為一老崩塌區，研究邊坡所在屬卓蘭層分佈，岩性為砂頁岩互層特性，前次地質災害導致大規模坡體順向滑動，並於研究邊坡留有厚層崩積土層，先民於此地屯墾已有百年以上歷史，但近年極端降雨導致邊坡穩定狀態超過臨界條件，是以前次崩積材料再次向下坍塌，相關滑動特性尚待持續監測加以證實。

(**關鍵詞**：地滑、地質調查、砂頁岩互層)

Investigation of the Landslide Mechanism in Ruei-Li Iou-Ie Woodland

Yu-Shih Cheng⁽¹⁾ *Sheng-Chuan Chen*⁽²⁾ *Li-Ling Lin*⁽³⁾ *Cheng-Yang Yun*⁽⁴⁾

Master degree student⁽¹⁾, Doctoral student⁽²⁾, Professor⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

Manager⁽⁴⁾ Li Ming Engineering Consultants Co.,Ltd.

ABSTRACT

Iou-Ie woodland landslide area is located in Ruei-Li village, Meishan Township, Chia-I County. In recent years, this area faces with landslide disasters during heavy rainfalls. Particularly in August 2009, a landslide caused by Typhoon Morakot was the most serious than ever. The initial estimation of the head surface sliding

(1)中興大學水土保持學系碩士生(通信作者 e-mail : jang@mail.swcb.gov.tw)

(2)中興大學水土保持學系博士生

(3)中興大學水土保持學系教授

(4)黎明工程顧問股份有限公司 經理

body was about 1- to 2-meter drops. From preliminary geological investigations, groundwater monitoring and other relative examinations, we found that Iou-Ie woodland landslide area is an old landslide area, where the geology is Cholan formation, inter-bedded with sandstone and shale. Previous geological disasters have led to large-scale landslides along the body, and left in the thick layer of colluvial soils. Our ancestors have being cultivated in this place for more than a century. However, extreme rainfalls have led to critical slope stability problem in recent years and caused the previous collapsed materials to slide again. Therefore, some relative sliding characteristics should be constantly monitored for this area.

(**Keywords** : landslide, geological survey, interbedded sandstone and shale)

財產損失。

前言

本研究區位幼葉林地滑區位於嘉義縣梅山鄉瑞里村，屬濁水溪流流域支流生毛樹溪集水區。多年來每逢颱風豪雨季節，就得面對滑動的威脅，雖然沒有造成重大的傷亡事件，但是其滑動破壞產生災害的風險，卻始終存在著。目前滑動區內住戶約 20 餘戶，農作約 40 公頃，若持續發生滑動，恐對滑動區內居民身家性命財產安全造成威脅。

造成坡面滑動的因素有地形與地質的特徵、降雨規模、不當的開挖與加載等，本研究區位於中央山脈西翼，岩層較為破碎，降雨時地表逕流容易入滲，除了增加邊坡荷重外，孔隙水壓力上昇亦使邊坡土體抗剪強度降低，使得邊坡產生破壞。

為探討本研究區的滑動機制，除地文、人文等基本資料之蒐集外，對於滑動深度、滑動面推估、滑動變形量等，均必須做充分的掌握。經由本研究探討滑動的機制，將對本研究區後續整治的方向有所助益，可以作為有關機關實施坡面穩定規劃設計的參考，期能有效降低本研究區因滑動而造成的生命

研究區域背景資料

1. 研究調查範圍

本研究區域位於嘉義縣梅山鄉東側瑞里村，屬於濁水溪流流域支流生毛樹溪集水區內。由嘉義縣竹崎鄉文化路（嘉 122）向東而行，沿縣道過瑞里國小後即為研究區邊坡。另從本研究區可沿縣 162 甲道路至梅山、太和等地區；為生毛樹溪集水區中幼葉林地滑地，研究範圍約 40 公頃，詳見圖 1 所示。



圖 1 幼葉林地滑邊坡位置圖

Figure 1 Location of the landslide in Iou-Ie woodland

2. 地形、地勢與水系概況

梅山鄉平地面積僅佔 1.74%，其餘皆山坡地及高山林地。全鄉地形山巒起伏，全鄉標高介 EL.90m 至 EL.1815m 之間，高低懸殊，且境內地勢錯縱複雜，群山環繞。本鄉依標高不同可分為丘陵地帶、淺山地帶、深山地帶等三地形帶 1。

本研究區域區屬於光崙山 (EL.1815m) 向北分出支嶺，其嶺線為西北偏北走向，東北向坡屬生毛樹溪本流之集水區。由於本區溪床下切甚深，故山坡皆極為陡峻，僅山脊線坡度較緩；縣道通過山腹，經常發生崩塌。研究範圍整體地勢主要由北向南傾斜。研究區坡向大部分呈東南走向，另於海土崙溪東側及研究區西側少部份山坡坡向呈西南走向 (圖 2)。研究區坡度情況，分佈形態有一級坡至四級坡，其中以三級坡所佔比例最高 (圖 3)。

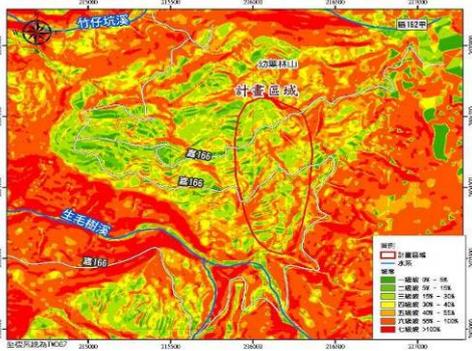


圖 2 幼葉林地滑坡度圖

Figure 2 Slope distribution of Iou-Ie woodland

3. 區域地質概況

(1) 地層：

本地區位西部麓山帶地質區之內麓山

帶，地形上屬於阿里山山塊。出露的地層，主要有中新世至上新世的桂竹林層(包含關刀山砂岩、十六份頁岩及大窩砂岩)、上新世的錦水頁岩及卓蘭層等，岩性多以砂頁岩互層為主 (圖 4)2。本地滑邊坡主要分佈於卓蘭層(CL)，其岩性概要敘述如下：卓蘭層以細粒至粉砂質層狀砂岩為主，淡灰至灰色，風化後常呈黃棕色。砂岩多純淨，局部含泥質。本層底部之砂岩呈中至厚層塊狀，在薄互層之砂岩面上有波痕，砂岩中常含石灰質砂岩結核，其直徑 20~80 公分，而呈現球形及枕形構造。貝類化石保存不佳，外殼多已成為碎片，常隨同炭粒及粗粒之石英出現，似由他處移置者。

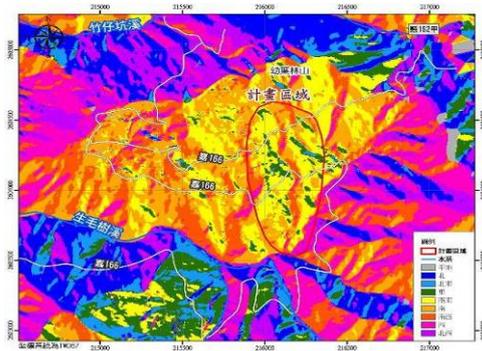


圖 3 幼葉林地滑坡向圖

Figure 3 Slope aspect of Iou-Ie woodland

(2) 地質構造：

研究區域附近出露的地質構造，斷層方面主要有鹿窟斷層、社前湖斷層及內磅斷層等，褶皺方面則有草嶺背斜、奮起湖背斜、九芎坪向斜及大湖背斜等。其中以鹿窟斷層對本邊坡影響最大，該斷層分佈情形如下：鹿窟斷層呈北北東走向，為斷面向東傾斜之逆斷層，斷面估計約為 50 度，並於深部漸變

緩。斷層西側出露地層大部份為卓蘭層，斷層東側出露地層則為大窩砂岩，其層位落差達 2000 公尺以上。

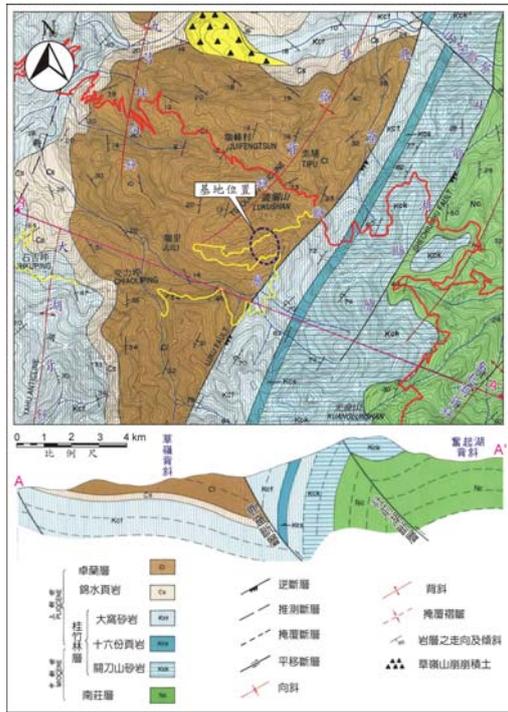


圖 4 區域地質圖

Figure 4 Regional geology map

調查成果與分析

為調查本研究區地質分佈情形，採用地表地質調查、地質鑽探、地球物理探測調查(包含地電阻影像探測)、水文地質模型分析以及地下水監測等方式進行探查，以下就調查方法分項說明：

1. 地表地質及裂隙分佈調查

根據現場調查的結果，本地區的地表地質及裂隙分佈如圖 5 所示，地質剖面圖則見

圖 6。其中，地質剖面圖中位於地表下之地層，主要參考本研究地質鑽探成果及調查區域鄰近地區之地質露頭繪製而成。

調查區域主要涵蓋幼葉林附近海土崙溪東西兩側之區域，出露之地層主要為卓蘭層，岩性以細粒至粉砂質砂岩為主，夾有灰色的頁岩。砂岩淡灰至灰色，風化後常呈黃棕色，岩質多純淨，局部含泥質。

調查區域下方有鹿窟斷層通過。鹿窟斷層為北北東走向之逆斷層，斷面向東傾斜，估計約為 50 度，並於深部漸變緩，其層位落差達 2,000 公尺以上。鹿窟斷層以東的區域，則有大窩砂岩出露，岩性主要以細粒至粉砂質砂岩為主，與所夾頁岩常呈薄互層。

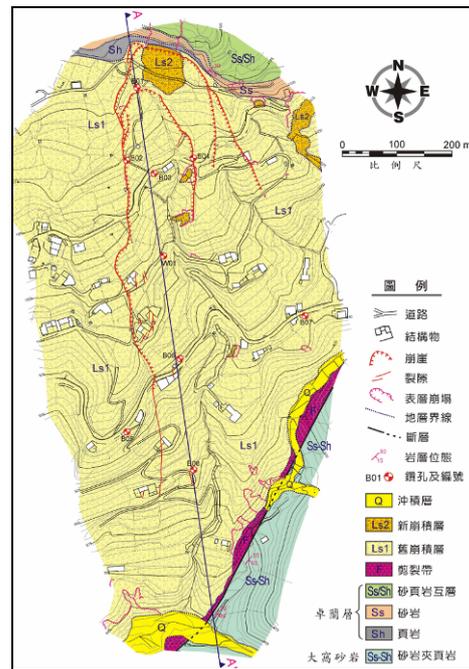


圖 5 地表地質及裂隙分佈圖

Figure 5 Resistivity imae profiling layout

本區地層位態約為東北－西南走向，與

區域地質構造走向相近，地質露頭主要分布在計畫區域北側崖壁及邊坡下方的河谷區域。北側崖壁所量得的地層位態為 N30°E/S15°E，與邊坡之坡面位態相近；河谷區域的地質露頭多以崩積層、剪裂帶及大窩砂岩為主，並未發現屬卓蘭層的地層位態，而大窩砂岩中的地層約為北偏東 30 度，向東南傾斜 65~80 度，地層傾角較大。

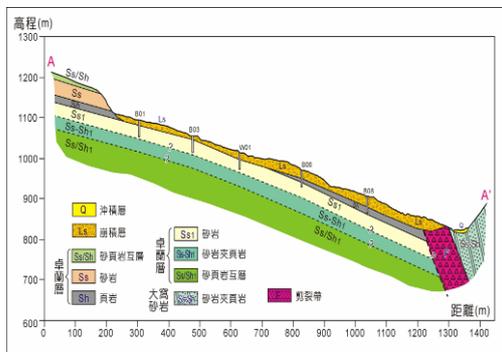


圖 6 地質剖面圖

Figure 6 Geological profile

研究區域在莫拉克颱風前即有諸多裂隙產生，其中有多條裂隙通過當地居民的房舍並造成損害。莫拉克颱風後，許多既有裂隙擴大，尤其是地滑區的頭部，形成明顯的主崩崖，使得本地滑區的型態更加完整而明顯。根據現場調查的結果，研究區域崩崖及裂隙的分布如圖 5，主要包含一個主崩崖及一個次崩崖，以及多處的伴生裂隙。

2. 地質鑽探調查

在規劃鑽孔位置及鑽深之前，對地滑地滑動面位置先作一審慎的評估，將能夠大幅提高鑽探調查的精確性。在本研究地滑地中，因為民國 97 年 9 月之連續颱風豪雨造成地層滑動及崩塌情形，於現場調查發現明顯

之周邊地物移動與破壞，並可明顯看出滑動範圍與規模，藉此現地特徵來初估可疑滑動規模深度，因此規劃鑽孔能鑽過覆蓋層並深入新鮮岩盤 5 公尺以上為原則，以利於推估穩定之岩盤面深度及後續滑動面分析。

本研究區地質鑽探共佈置 8 處鑽探孔位 (B01~B08)，並另鑽設 1 孔地下水檢層專用井 W01，以涵蓋現有滑動範圍與可能影響區域，鑽孔佈設位置如圖 7 所示。

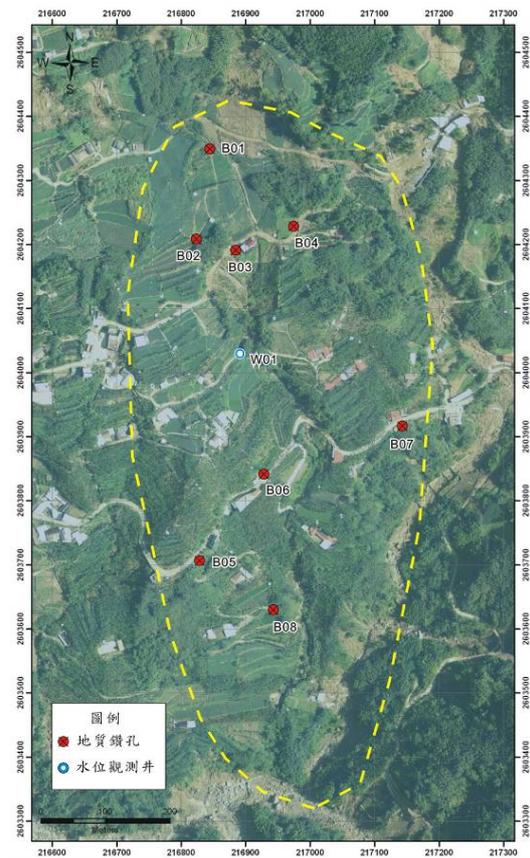


圖 7 鑽探孔位佈置圖

Figure 7 Borehole layout

研究區域地質情形經鑽探調查後，大致可依工程性質區分為兩個單位，即位於表面

的崩積層，以及其下的堅實岩盤。地質鑽探成果摘要如表 1 所示，茲將各地層之分佈及性質概要整理如下：

(1) 崩積層

本層之上部可能會包含部分的表土覆蓋層，但因其不易區分，且其工程性質無明顯差異，故皆併入崩積層。崩積層的厚度由 9m 至 45m 不等，一般而言，位於邊坡上方的鑽孔，其崩積層較薄，位於邊坡下方者則較厚。

表 1 地質鑽探成果

Table 1 Geological drilling results

孔號	深度(m)	岩性描述
B01	0.00-11.50	0.00-7.00 表土層(田壤柏油、混凝土、黃棕色砂質粉土夾岩塊) 7.00-11.50 崩積層
	11.50-40.00	11.50-40.00 灰色至灰白色砂岩為主，偶夾灰黑色頁岩及砂頁岩薄葉互層
B02	0.00-17.00	0.00-17.00 崩積層
	17.00-40.00	17.00-40.00 灰色至灰白色砂岩夾薄層灰黑色頁岩，局部地區生物擾動
B03	0.00-9.00	0.00-9.00 崩積層
	9.00-40.00	9.00-40.00 灰白色砂岩為主，偶夾灰黑色紋層、貝類化石及生物擾動
B04	0.00-17.00	0.00-17.00 崩積層
	17.00-40.00	17.00-40.00 灰色至灰白色砂岩，偶夾薄層頁岩及貝類化石
B05	0.00-32.10	0.00-32.10 崩積層
	32.10-40.00	32.10-40.00 灰色至灰白色砂岩，局部鑄鐵呈黃棕色
B06	0.00-20.35	0.00-20.35 崩積層
	20.35-40.00	20.35-40.00 灰色至黃棕色砂岩，偶夾灰黑色頁岩薄層，部份砂頁岩薄葉互層
B07	0.00-45.50	0.00-6.30 表土層 6.30-45.50 崩積層
	45.50-52.00	45.50-52.00 灰黑色頁岩及砂頁岩互層，局部剪裂破碎
B08	0.00-26.20	0.00-26.20 崩積層
	26.20-40.00	26.20-40.00 灰黑色頁岩，局部剪裂破碎

(2) 岩盤

本地區的堅實岩盤岩性以灰色砂岩為主，地層分類屬於上新世的卓蘭層。砂岩通常岩體完整而少有擾動跡象，局部含有灰黑色頁岩的夾層，或夾有紋層狀灰黑色頁岩薄層，整體厚度估計在 30m 以上。位於邊坡下方的鑽孔中，砂岩上方尚可發現較厚的頁岩層，其中，B08 鑽孔中，僅鑽到砂岩上的頁

岩層，尚未到達砂岩層頂部，頁岩厚度達 14m。整體而言，本地區的岩盤中並無滑動跡象，地滑現象應僅限於崩積層中。

3. 地球物理探測調查

本研究主要為使用地電阻影像探測方法針對崩塌區域進行探測，探查重點包括工程地質、潛在滑動面及地下水分佈狀態，並配合其他包含地質調查、地質鑽探等資料綜合研判，以期能對調查區域之地層滑動特性做一較清楚之掌握，以提供相關資料做為後續安全評估作業之參考。

二維地電阻影像剖面探測 (2D RIP) 是一種二度空間高密度的電阻探測成果，其前提為假設測線下的地層電阻分佈於垂直測線方向為無限沿伸，故可以二維空間 (測線方向、深度) 表示，此法可大致掌握調查區域底下之地層構造及異常狀態，其優點為現場施測較為迅速，施測成果準確，可以快速、準確及有效掌握調查區域底下大範圍之狀態。電極排列方法採用 pole-dipole、dipole-dipoles 及 Schlumberger 等排列方式綜合施測。

本研究施設一條縱向地電阻探測測線 (RIP1)，測線長度為 1000 公尺，佈設位置如圖 8 所示。

本研究地電阻探測剖面成果如圖 9 所示，經比對露頭電阻率及測線上鑽孔資料 (B01、B03、W01、B06 及 B08)，可得知本測線上地下水水位面大部份位在崩積層內，深度約在地表下 5.0m~30m。在岩層方面，大致可推論出崩積層或表土層因受地表人工結構物、地下水及夾有岩塊，因此電阻率分佈較

廣，電阻率 1~400 Ω -m，厚度 6.0m~35m；在測線 0m~675m 主要以砂岩為主，電阻率大於 50 Ω -m，但中間夾有三處砂岩夾頁岩或砂頁互層的地層，其電阻率集中於 20~50 Ω -m，但局部可能因含水、泥或破碎使得電阻率降至 2 Ω -m，此三處地層主要分佈於 200m~230m、300m~560m 及 580m~600m；675m~1000m 主要以頁岩為主，由於局部破碎及含水，因此電阻率介於 2~40 Ω -m。

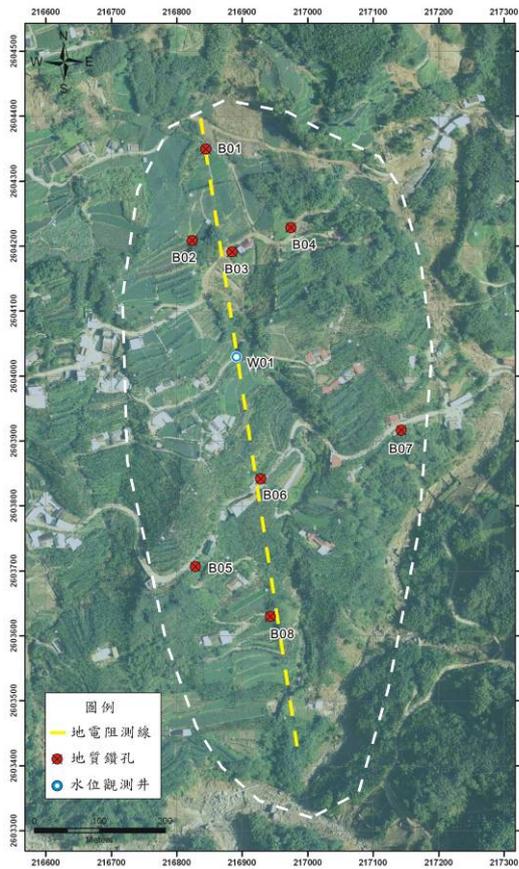


圖 8 地電阻探測測線佈置圖

Figure 8 Resistivity image profiling layout

4. 水文地質模型分析

由現地地質鑽探調查與地下水位監測結果建立之三維數值模式分析成果，研判本研究區域內鑽探孔 B01 附近崩積土層下方，岩層可能有破碎帶，並且地層複雜，地下水位監測結果較其他孔位的水位升降幅度差異較大，另由地質鑽探調查得知，研究區域內之砂岩層較為緻密，特別是在鑽探孔 B03 與 W01 附近範圍，使得 B03 與 W01 的地下水水位較為接近地表面；而鑽探孔 B07 與 B08 孔位接近生毛樹溪溪流邊界，地下水位受邊界條件控制，最後，在研究區域的西南區塊即鑽探孔 B05，地下水位監測結果得知，其地下水水位都維持在地表面 35 公尺以下，經分析結果，此孔位接近山脊線之零流量邊界，入滲補注迅速流往下方地層，故地下水長期處於低點，另由鑽探岩心亦可知此孔深度 35m~40m 處有銹染之現象，推估於此深度洩漏。三維數值分析成果如圖 10 所示，並說明如下。

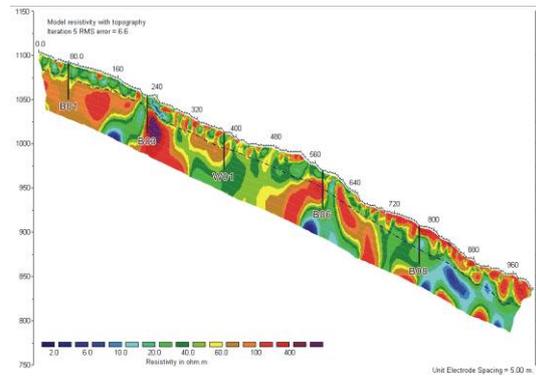


圖 9 地電阻影像剖面探測成果圖

Figure 9 Resistivity image profiling results

- (1) 本研究區域內之砂岩層較為緻密，特別在區域中上段部分即 B03 與 W01 的區塊，迫使降雨補注時，入滲水蓄積於研究區域

上邊坡處，由降雨後的地下水位等高線即可得知。

- (2) 在崩崖和裂隙調查中指出，莫拉克風災造成研究區域內既有裂隙擴大，特別是在研究區域上游位置，因土體含水過重發生有滑動破壞。而數值模擬之地下水位等高線圖呈現的分析結果，符合此裂隙調查結果，故此三維數值模式可以符合研究區域之地下水流情況。

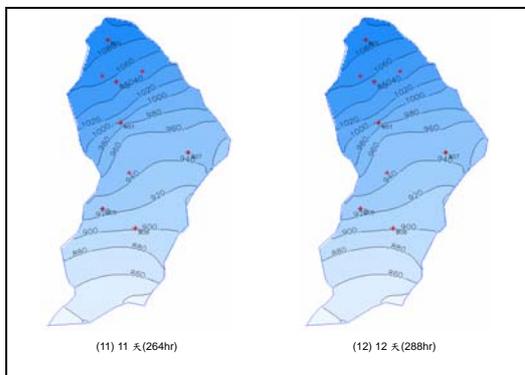


圖 10 降雨補注後之地下水位等高線圖
Figure 10 Groundwater level contour map

5. 地下水監測

一般而言，地下水的作用造成地層滑動的主因之一，本研究藉由地下水位之量測，得到水位之變動情形，並與降雨量比對得到相互之間的關係。

由西元 2009 年 12 月至 2010 年 10 月監測資料所示，監測期間台灣唯有發佈三次陸上颱風警報，且颱風期間研究區降雨量皆未達 40mm，故監測期間地下水變化受夏季午後雷陣雨影響居多。研究區中央位置之鑽孔 (B01、B03、B08 及 W01)，地下水監測變化情形明顯看出 2010 年 5 月後因降雨次數增

加，其中以 B01 地下水位上升約 15~20m 最為明顯，地下水變化情形詳圖 11。

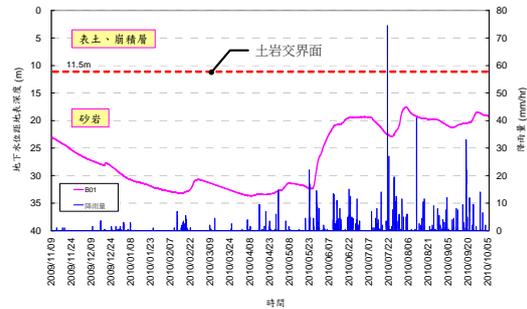


圖 11 B01 地下水位監測變化情形
Figure 11 B01-hole groundwater monitoring changes

綜合地下水監測記錄及地表地質相關影響因素推估，研究區域地下水位汛期間因降雨升高後，隨雨季結束逐漸下降。但因研究區域外北方地勢較高乃有機會蘊含地下水，並沿地層交界面補充注入研究區內，因此雖於乾季久未降雨但研究區頭部處地下水位不致乾枯見底。除研究區頭部外，坡體中段與坡趾處地下水位全年約於 12m 以上，以此推估地下水長期仍有區外之地下水注入研究區。

滑動機制綜合探討

根據地表地質調查及鑽探的結果顯示，本地區的地層屬於上新世的卓蘭層，主要岩性由細粒至粉砂質層狀砂岩構成，與頁岩常呈薄互層組成。本區位處草嶺背斜之東南翼部，地層位態約為東北—西南走向，與區域地質構造走向相近，向東南傾斜約 15~30 度，在地形上構成順向坡；經初步調查，邊

坡內岩層尚無見光露空情形，出現大規模岩層滑動趨勢之可能性較低。

然而本研究區域所在邊坡被生毛樹溪的支流海土崙溪縱向貫穿，將研究區域分為左右二岸之地形區塊，因此在地形及位態考量上，海土崙溪可能沖蝕坡腳造成趾部側向支撐發生崩積土層破壞之情況發生。

在莫拉克颱風前本研究區域即有諸多裂隙產生，其中有多條裂隙通過當地居民的房舍並造成損害。莫拉克颱風後，許多既有裂隙擴大，尤其是地滑區的頭部，形成明顯的崩崖，崩崖主要沿著茶園延伸，東西側崩崖穿越嘉 122 線道時，造成路面、擋土牆之下陷、損壞，可明顯看出上邊坡區塊部份滑動崖陷落後，滑動土體往海土崙溪擠壓而破壞之現象。

主要滑動面位於地滑區的主崩崖下方，即海土崙溪的源頭附近，往東西兩側向下延伸，形成莫拉克颱風期間較為劇烈之滑動破壞區；而次要滑動區則是在主要滑動面滑動後牽引或擠壓所造成之滑動區域，主要為西側裂隙及東側裂隙所涵蓋範圍，推估滑動面如圖 12 所示。

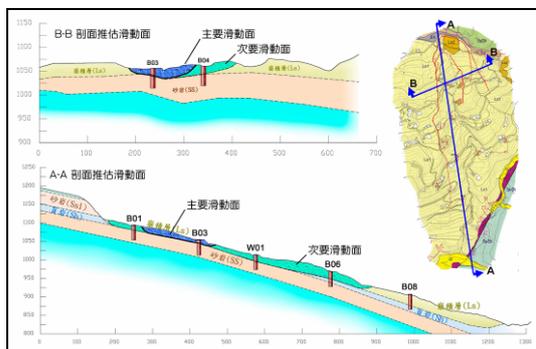


圖 12 邊坡滑動面示意圖

Figure 12 The diagram of slope sliding

在滑動機制部份，由地質鑽探、地表地質調查成果及颱風災害後現場情況，研判本地滑的滑動土體為覆蓋於基盤岩層上的古崩積層，因豪雨使得崩積土體含水過重而沿平整的砂岩層面往下方移動。

結論與建議

綜上所述，造成本研究區域邊坡滑動破壞之可能原因，可從以下兩方面來說明：

1. 促使潛在滑動面剪應力增加之因素

因雨水或地表水流入研究邊坡上的張力裂縫中，增加土體自重，致使水壓力增加產生側向推力。

2. 促使潛在滑動面剪力強度減小之因素

孔隙水壓增加：雨水滲入地層中、地下水位上升等因素，使得潛在破壞面之上頂力增加，致使剪力強度降低。

經由上述探討得知，降雨入滲是造成研究區邊坡滑動之主要因素，如何有效排除地表水防止入滲及增加崩積土層抗滑力為治理工程之首要課題。

初步建議本研究邊坡治理可由以下措施加以實施：

- (1) 填補張力裂隙，減少降雨藉由裂隙入滲至土體，而增加邊坡下滑動力。
- (2) 加強邊坡排水，減少降雨造成之地下水入滲量。
- (3) 可利用地下水排除工法，進行地下水減

壓，排除蓄積之地下水。

誌謝

感謝行政院農業委員會水土保持局團隊的支持，中興大學游繁結、蘇苗彬及林德貴教授在工作調查期間的指導。

參考文獻

1. 「行政院環保署地方環境資料查詢系統」，<http://edw.epa.gov.tw/default.aspx>
2. 劉恒吉(2004)，「中央地質調查所五萬分之一雲林圖幅說明書(第二版)」。
3. 工業技術研究院能源與資源研究所(1992)，「崩塌地調查、規劃與設計手冊

(地滑篇)」，行政院農委會與臺灣省政府農林廳水土保持局委託研究報告。

4. 國科會工程科技推展中心(1988)，「1998 瑞里地震災害調查研討會論文集」。
5. 台灣省政府農林廳水土保持局(1997)，「農村區域綱要性規劃報告－嘉義縣梅山」。
6. 經濟部中央地質調查所，<http://www.moeacgs.gov.tw/app/index.jsp>。

100 年 10 月 17 日收稿

100 年 10 月 17 日修改

100 年 12 月 26 日接受