

# 台中豐原東陽邊坡地滑致災潛勢調查分析

李勇祥<sup>(1)</sup> 陳柏安<sup>(2)</sup> 徐森彥<sup>(3)</sup> 巫建達<sup>(4)</sup> 詹勳全<sup>(5)</sup>

## 摘要

臺中市豐原區東陽地區當地民眾反應民國 88 年 921 地震後，常因颱風、豪雨出現邊坡崩滑等情形，影響周遭居民生命財產及出入安全。經現場勘查發現區內地表有數公尺至數十公尺長的裂隙斷續出現，裂隙大多呈東北-西南走向，其東南側下陷 1~11cm，地表有 1m 至 12m 長的裂隙斷續出現，初步確認本區具崩滑徵兆，危及下方道路、民宅、農田等保全對象安全。為求瞭解地滑發生原因與研提治理對策，故進行該地滑地之調查、測量及監測。根據現場調查結果分析、滑動機制分析以及邊坡穩定分析，本研究區為順向坡地形，其岩性屬厚層之泥岩或砂岩，地層屬軟岩質且強度較低，易於強地震時產生局部弧形錯動。於汛期時，雨水漫流沖刷入滲表土層，造成表土層浸潤，使得土壤凝聚力驟減，降低土體強度，因而引發本區部分表層土體崩壞，是以降雨可能造成本區表土土體沖刷破壞。且依據地下水位變化與地滑位移量，其地表滑動深度較為明顯處，由此判斷，依賦存狀況應屬於自由水類型，富集方式屬於為斷層型富集，顯示出地下水為計畫區內發生地滑變位之潛在因子，其首要問題應為地下水之排除。結果顯示降雨發生至地表逕流產生時，已有部分水體滲入地層內，為了將水份入滲量降低，需規劃設計地表排水，加強地表截排水設施，以及應重新檢核保全住戶後方之擋土設施，以防範災害發生之可能。

(**關鍵字**：地滑、致災潛勢、調查)

## Survey and Analysis of Potential Disasters at Dongyang Landslide area, Fengyuan District, Taichung

*Yung-Hsiang Li*<sup>(1)</sup> *Bryan Chen*<sup>(2)</sup> *Sen-Yen Hsu*<sup>(3)</sup> *Jian-Da Wu*<sup>(4)</sup>  
*Hsun-Chuan Chan*<sup>(5)</sup>

### ABSTRACT

After the 921 earthquake, landslides due to the typhoon, heavy rainfall events were found by local people at Dongyang area, Fengyuan District, Taichung City, which may endanger the surrounding life and property. The field inspections showed several to ten meters long fissure intermittently appear on

---

(1)國立中興大學水土保持學系 碩士專班研究生

(2)行政院農業委員會水土保持局台中分局 規劃課課長

(3)行政院農業委員會水土保持局台中分局 分局長

(4)社團法人臺灣省水土保持技師公會 理事長

(5)國立中興大學水土保持學系 副教授(通訊作者, E-mail: hcchan@nchu.edu.tw)

region surface. The fissure was mostly northeast-southwest direction. It was initial recognition of the area with landslide indication. It has endangered the safety of the surrounding roads, homes, and the security of preservation object. Therefore, field survey, monitoring, and data analysis were applied to the Dongyang landslide area. It is expected to understand the causes of landslide and help the future countermeasures planning. According to the survey results, the area is a dip slope terrain. The lithology is the genus thick layer of mudstone or sandstone. In the flood season, the overland flow erosion sharply reduces soil strength, and thus triggered some of topsoil collapse. In accordance with the groundwater levels, the depth of surface sliding are located within the groundwater areas. As a result, it is suggested to re-examine the drainage facilities (such as the slope of the drainage ditches, vertical and horizontal drainage facilities, and groundwater drainage) in order to achieve effective interception of surface water and reduce the potential of landslide.

**(Keywords:** landslide, potential disaster, field survey)

## 前言

地滑、山崩、土石流、落石與陷落等，均為重力作用所引起的土塊或岩屑之塊體運動 (Mass Wasting)，山崩是一次的性急速移動，塊體運動後即趨於安定，地滑的移動速度較山崩緩慢，通常不只於一次的滑動，多半有再發的現象發生。一般而言「山崩及地滑」或「山崩地滑」以山崩一語來概括，然地滑之運動型態有別於前述其他之塊體運動，綜合國內外專家學者 (矢野義男，1975；山口伊佐夫，1979；陳信雄，1995；王文能與黃鎮台，2000) 對地滑之定義可知，山崩與地滑為崩塌之一部分，兩者之主要差異可由其塊體運動之形態與機制予以分辨。

影響坡地崩塌的因子大致可將其概括分為地文因子及水文因子 (陳榮河，1999)，其中地文因子包括：地質、地形、坡度以及集水區面積等，而水文因子則包括：降雨強度、降雨延時、坡地逕流及地下水狀況等。地文因子及水文因子造成坡地崩塌因子中，地下水為坡地崩塌的最主要因子之一；由土體之

物理特性可知，當水份含量增加，其有效應力及抗剪強度隨之降低，對邊坡穩定隨之產生負面的影響，以往區域性邊坡穩定的研究成果 (Tan et al., 1987；Bourke and Thorp, 2005)，指出大部分的邊坡破壞都是由於雨水入滲邊坡所引發。表 1 為本文所彙整之國內外之地滑案例其原因及整治工法，綜觀前人之研究與表 1 之地滑案例發生原因，可發現降雨或地下水的的作用容易造成邊坡破壞甚至引發滑動，鑑於地滑發生主要原因為地下水位上升造成下滑推力增加，相關治理工法之構想皆朝排水與止滑之概念出發，地滑治理工法可概分為抑制工法及抑止工法兩種如表 2 所示，抑制工法係指以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡的各種工程設施，如：整坡與排水等，而抑止工法係指以工程結構物來抑止邊坡滑動的各種工程設施，如：打樁與擋土牆等，由表 1 之國內外地滑案例整治工法可知，一個地滑地很難採用單一工法解決所有問題，規劃治理工法時需組合適當的抑制工法與抑止工法，求取最有效而經濟之工程組合。

表 1 地滑案例統計

Table 1 Summary of the landslide cases and related countermeasures

編號	名稱	地點	發生時間	地滑原因	主要整治工法
國內地滑地整治工法					
(1)	梨山地滑	台中市和平區	1980	豪大雨	截水溝及縱向排水溝、橫向集水管、集水井、排水廊道、滑動土體坡腳保護、防砂壩
(2)	九份地滑	台北市瑞芳區	1996	豪大雨	集水井、水平排水管
(3)	五彎仔地滑	嘉義縣番路鄉	1996	豪大雨	排水工程為主，擋土設施為輔
(4)	食水坑地滑	苗栗縣卓蘭鎮	2006	豪大雨	排水工程為主，擋土設施為輔
(5)	廬山地滑	南投縣仁愛鄉	2005	豪大雨	橫向集水管、集水井、排水廊道 2 座、漿砌塊石溝矩形溝、匯流工
(6)	新佳陽部落地滑	台中市和平區	2005	豪大雨	橫向集水管、地表排水工程為主
(7)	雙坑地滑	南投縣中寮鄉	1997	豪大雨	地表排水工程、地下排水工程、挖方工程
(8)	太平窩地滑	新竹縣新埔鎮	1986	豪大雨	地表排水工程、地下排水工程、河川結構物、檔土工程
國外地滑地整治工法					
(1)	華盛頓國家公園地滑	美國俄勒岡州	1995	開挖解壓產生邊坡弱化情形	抗剪樁牆
(2)	Flathead 河地滑	美國蒙大拿州	1985~1991	坡趾土砂流失、邊坡地下水水位上升	鋼筋混凝土止滑剪力樁、R.C. 樁與 P.C. 樁所組成連續樁牆
(3)	海格湖地滑	美國俄勒岡州	1977	豪大雨	槽溝排水系統
(4)	狼澤地滑	日本秋田縣雄勝郡	1991	層理面構成之順向坡	排水廊道 1 座、20 座集水井
(5)	奧大榮地滑	日本愛媛縣松山市	1943	豪大雨	排樁、地錨、鋼管樁、集水井
(6)	口坂本地滑	日本靜岡市	1988、1989	豪大雨	排水廊道、集水井、橫向集水管、防砂壩
(7)	茶臼山地滑	日本長野市	1932~1937	豪大雨	集水井、排水廊道、鋼管樁
(8)	成沢地滑	日本	1988	豪大雨	集水井
(9)	東橫山地滑	日本岐阜縣斐川郡	2001	地下水水位上升	地表排水工、排水廊道、挖方工程、填方工程

表 2 地滑整治工法種類

Table 2 The classifications of the landslide countermeasures

種類	整治工法	工程方法
抑制工法	坡面植生工	坡面綠化
	地表排水工	截流溝、縱向溝、防止滲透工
	淺層地下水排水工	明渠、暗渠、橫向排水管、地下止水壁、洩水管
	深層地下水排水工	橫向排水管、集水井、排水廊道
	開挖工法	開挖工程、整坡
抑止工法	填土工法	坡趾壓重
	河川結構物	潛壩、固床工、制水工、護岸工、防砂壩
	基樁工程	場鑄 RC 基樁、PC 樁、鋼管樁、植入式基樁
	大口徑基礎工程	大口徑基礎工程、井筒、沉箱
	地錨工程	地錨、岩錨、土釘
	擋土牆工程	重力式擋土牆、懸臂式擋土牆、漿砌卵石牆、扶壁式擋土牆、加勁擋土牆、石籠擋土牆

資料來源：梨山地區疑地滑地災害整體治理工程調查規劃委託技術工作

臺中市豐原區東陽地區民國 88 年 921 地震後，常因颱風、豪雨出現邊坡崩滑等情形，影響周遭居民生命財產及出入安全，經專家現場勘查發現區內地表有數十公尺長的裂隙斷續出現，初步確認該東陽地區具崩滑徵兆，為求徹底瞭解地滑發生原因，本研究乃針對東陽地區進行現場調查、測量及監測分析，期能增進對東陽地區可能發生崩場地滑致災原因之瞭解，並針對分析結果研擬東陽地區可能發生崩場地滑問題之治理方案，以謀求解決對策，降低災害對道路、民宅、農田等

保全對象安全之威脅。

### 集水區概況

本研究之地滑潛勢區位屬臺中市豐原區東陽里，屬烏溪流域烏牛欄溪子集水區，集水區面積約 804 公頃，呈東西寬長之趨勢，區內主要溪流為烏牛欄溪由東向西貫穿全區後匯入旱溪，崩場地滑潛勢範圍面積約 5 公頃，位於烏牛欄溪右岸支流泉州坑之邊坡，相關地理位置及集水區如圖 1 所示。

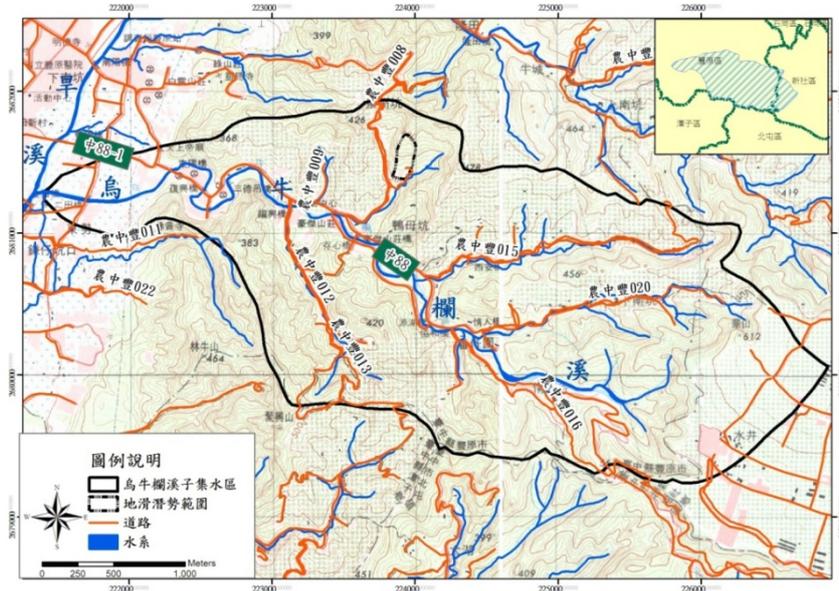


圖 1 研究區地理位置圖

Figure 1 Location map of the study area

## 1. 地文環境

烏牛欄溪集水區整體高程由東向西遞減，境內最高高程達 630 公尺，平均高程為 387.46 公尺，區內詳細高程分布如表 3 所示。

## 2. 水文

研究區鄰近有 3 座雨量測站如表 4 所示。經雨量測站的雨量資料統計結果顯示，以算數平均方式推估集水區年平均雨量約 1,748mm，降雨多集中於 5~9 月，約佔全年降雨量之 78%。尤以 6 月份之平均雨量 358mm 最多，主要仍是颱風及梅雨所帶來之充沛雨量，而 10 月至翌年 2 月雨量較少，3 月份起雨量即逐漸增加，故夏季雨量豐沛，冬季雨量較少。

表 3 高程分析表

Table 3 The elevation distribution of the study area

分級	面積 (ha)	面積百分比 (%)	備註
300m 以下	153.72	19.11%	平均高程為 387.46 公尺
300m-400m	341.24	42.43%	
400m-500m	192.68	23.96%	
500m-600m	73.08	9.09%	
600m~630m	43.56	5.42%	
合計	804.28	100.00%	

資料來源：本團隊彙整

### 3. 土壤和地質

烏牛欄溪子集水區內包含崩積土、沖積土、紅壤、雜地，其中以崩積土所佔總面積的 76.53% 為最，多此類土壤乃鄰近高山地區之土壤物質因滾落、滑降、甚至崩塌等位移作用而生成者，一般含有較多量之大小石塊，故滲透性亦較佳。其地層主要以卓蘭層砂岩及泥岩組成為主，砂岩厚度由數公分至兩公尺不等。砂岩中略含雲母質，膠結鬆散，多數以手搓即可捏散；頁岩或泥岩呈青灰色或暗灰色，厚度為數公分至數十公分。此層岩性主要以厚層的混濁砂岩與泥岩的互層為主要組合，砂岩與頁岩的厚度常超過一公尺以上，偶夾單層厚數公分之砂頁互層，向上砂岩有變厚趨勢。部份岩層中因受輕至中度的生物擾動，岩層並未能形成良好的粒級層構造。在區域地質構造上，鄰近車籠埔斷層，車籠埔斷層為第二類活動斷層，車籠埔斷層上盤為一系列向東傾斜，中新世到更新世的地層，逆衝於台中盆地的現代堆積層之上 (Chang, 1971)。整個岩層呈現一向南傾伏之傾沒向斜摺皺，此向斜構造沿伸至新社階地群中。此區地震所造成之地表破裂大部分為隆起所致，部分具走向滑移斷層特性，其破

裂帶與岩層走向大略一致，故其破裂帶或為沿著層間之滑動。

### 4. 土地利用

烏牛欄溪子集水區土地利用現況(國土測繪中心，2008)主要以人工林佔 39.82% 為主，其次為農作佔 34.85%。單就植被分布現況而言，皆以林地為組成之主要項目，大約佔 60 至 70% 左右。地滑潛勢區土地利用主要以農作為主，坡面上果園多種植柑桔、柿子及龍眼等作物，植生覆蓋情形良好，其餘則是農作附帶設施、溝渠及道路。且本區近十幾年來均已種植柑桔為主，並無重大土地利用演變情形。

### 5. 重大颱風對於集水區之影響

烏牛欄溪子集水區內歷年災害及處理情形，依據行政院農業委員會水土保持局開設緊急應變小組，針對歷年災害影響研究區而提報相關緊急工程，影響以及於集水區內發生災害之颱風包括：敏督利(2004)、瑪莎(2005)、碧利斯(2006)、卡玫基(2008)、辛樂克(2008)、莫拉克(2009)及南瑪都(2011)等颱風歷史事件。

表 4 雨量站基本資料

Table 4 The information of the rainfall stations

站號	TWD67		海拔 (m)	名稱	測站位址	
	X 座標	Y 座標			縣(市)	鄉(鎮)
11F790	222093	2682951	210	農田水利會豐原雨量站	臺中市	豐原區
11F760	229688	2680888	510	農田水利會大南雨量站	臺中市	新社區
51F700	218700	2679266	170	月眉糖廠聚興農場雨量站	臺中市	潭子區

資料來源：經濟部水利署

## 地滑潛勢區調查

### 1. 地形測量

研究區之地形測量施測採用內政部於 921 地震後頒布之台灣地區三角點成果，以

已知三等三角點配合 GPS 控制測量或導線測量方式引測至研究區域，而高程控制系統採用內政部一等水準點所公佈之高程作為高程控制之依據，測繪比例尺為 1/1,000 之地形圖如圖 2 所示。

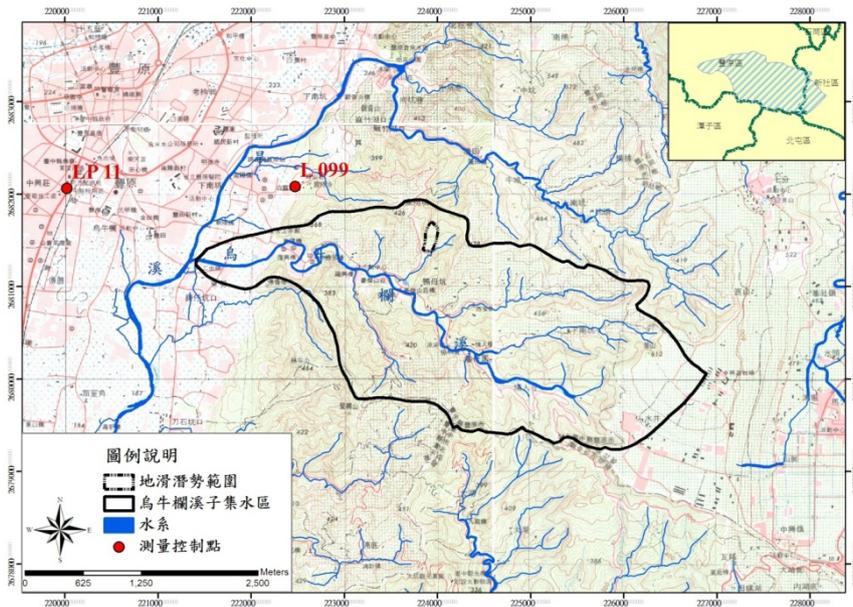


圖 2 研究區附近雨量站位置分布圖

Figure 2 The locations of rainfall stations near the study area

### 2. 地表地質調查

地表地質調查主要工作包括地層分佈、岩層特性、地質構造、岩層位態量測、岩石邊坡立體投影分析、不連續面及崩塌地等調查項目，同時依據鑽探岩心記錄配合地表露頭之地表地質調查進行地層之比對。研究區位置位於豐原東微偏南方約 3.5 公里的丘陵地上，為略呈東西延伸的烏牛欄坑溪溪谷的北側邊坡，海拔高程約 315 公尺至 430 公尺。研究區最南端海拔高度約 285 公尺處分別向北方及東北方發育出二條小侵蝕山溝，即位

於此二條侵蝕山溝之間的坡地，坡面大致向西南傾斜低下，平均坡度介於 15 至 20 度之間。由於研究區由走向略近東西或東北的卓蘭層砂岩及泥岩組成，層岩向南或東南方傾斜，傾角在 20 度至 40 度左右，故發育出特殊的單面山地形特徵，也就是地形坡面朝西或西北方的邊坡因屬逆向坡或高角度斜交坡，故發展出窄而陡急的邊坡，但朝南或東南方傾斜的邊坡因屬順向坡，故發展出坡度較平緩而面積開闊的順向坡地形面。

### 3. 地質鑽探調查

經現地地表地質勘查及與居民協調用地後調整鑽孔位置，針對研究區共進行 8 個垂直鑽孔，每一鑽孔均深入岩層 5 公尺以上，鑽孔最深達 30 公尺，鑽探深度共計 240 公尺。鑽探岩心判釋結果顯示，研究區大部分屬於順向坡地形，由於地形坡度略相當於或稍為小於岩層之傾角，故順向坡上尚無層理面「見光」或「自由端出露」情況，發生順向坡岩層滑動災害機會甚微，然研究區南側研判有一曾經位移之弧形滑動體存在，由於區內之岩性屬厚層之泥岩或砂岩，地層屬軟岩質且強度較低，易於強震時產生局部弧形錯動。

### 4. 地滑調查及監測

監測系統所獲得之資料，反應了大地在自然力作用下所牽生的行為，即坡地之地層在外力和重力、動力與水的作用下所產生的應變情況，這些力與應變皆有其自然律，也有軌跡可尋，如何檢知既有監測資料之異常，且將正確、有效之記錄完整的顯示，為本研究分析不可或缺之一環。針對此一重要課題，將透過資料庫建檔，轉換圖檔之延時曲線，以提高判釋敏感度，進行第一層篩選，再配合各單項相互關係建立，如變形量、地下水位、雨量、地形、地質、現地崩塌狀況等，進行綜合分析與檢討。另外，為充分有效利用地質鑽孔，於鑽孔完成後利用鑽孔於可能崩塌範圍裝設地下水位觀測井及傾斜(度)觀測管儀器配置，各監測項目儀器相關配置圖如圖 3 所示，其中傾斜管廣泛用於觀測土石壩、堤防、山體邊坡、建築物基坑等土體內部的水平位移量測，原理為透過測量滑動面位置每一深度處的傾斜度經換算得水平位移。



圖 3 各儀器裝置部設點位

Figure 3 The locations of monitoring instruments

## 邊坡滑動面穩定分析及整治工法

分析流程首先為至現場進行地表地質調查(包含裂縫調查、地形調查、地質調查、地質鑽探與試驗、地球物理調查)，以取得現場之實際地質數據以及實際地質分布狀況等資料，推測本崩塌地滑潛勢區之滑動機制。同時，亦採用現場鑽探之孔位監測資料(如地下水位高度觀測)進行邊坡穩定分析，其分析流程如圖 4 所示。

豐原東陽地區崩塌地滑潛勢調查區地形測量範圍包括崩塌區、崩塌區道路及其周邊、崩塌區內蝕溝以及保全對象等，總計位於區域內之施測面積約 5 公頃；另外針對崩落崖、

裂隙、湧水位置、岩層露頭等加以量測，以供作後續地滑調查分析及研究做參考。調查結果顯示，研究區域內坡面上果園多種植柑橘、柿子及龍眼等作物，植生覆蓋情形良好，園內道路表面有裂隙及輕微沖蝕情形，園內東側有一坑溝，北側坡面有岩盤出露，覆蓋淺層崩積土，岩層以砂岩及砂頁岩互層為主。

東側區外有一由北向南流之野溪，向下排入烏牛欄溪。位於崩塌地滑潛勢區域坡面下方之保全對象主要有 4 戶，包含照源宮、2 戶民宅及其工作小屋。研究區域內邊坡坡面大致呈向南傾斜低下，平均坡度介於 15 至 20 度之間，由地表地質調查結果及不連續面位態統計分析結果所示，研究區為地層為單純之單斜構造，層面位態統計結果為  $N65^{\circ}E/26^{\circ}E$ ，砂岩構成之陡坡突出外緣部分可量測到兩組幾近互相垂直的高傾角節理，共量測到八個節理之位態資料，分析後約可分為兩組節理，其平均位態約為  $N77^{\circ}E/53^{\circ}N$  及  $N2^{\circ}W/67^{\circ}E$ 。依據地表地質調查結果，層面傾角大於坡面坡度，故層面不會出露於地表形成自由面(即見光 daylight)，且由岩心觀察可知，地下新鮮岩層內之節理甚少發育，而僅有砂岩構成之陡坡突出之外緣部分可量測到兩組幾近互相垂直之高傾角節理，故沿層理面滑移或張裂之現象不普遍。研究區域砂岩所構成之陡坡突出之外緣部分，因節理之切割及逐漸張裂，可能於局部陡坡處產生落石現象。研究區域經地質鑽探將地層分佈與特性劃分如下：

### 1. 未固結地質

(1) 表土層由岩層直接風化而生成，含有機

質成分多時呈黑灰色，本區域大部分屬砂質壤土，厚 1 至 3 公尺，局部有移積性崩積土石堆積時而增厚。

(2) 崩積層在照源宮北側後方由地形特徵可研判有一局部崩積層稍厚的土石堆積。此外，由岩心紀錄可知在 BH-3 孔位下至 BH-1 孔(坡底較平緩處)有較厚的表土及崩積土石，厚約 3 至 5 公尺。

### 2. 固結地質

(1) 砂岩及泥岩互層：砂岩主要由白灰色、淺灰色至灰色細粒泥質砂岩組成，部分屬中粒結構、淘選差、透水性低，泥岩主要由灰至暗灰色泥岩組成，部分含砂質或粉砂質，為不透水層，每層砂岩或泥岩之厚度在數公分至約 1 公尺，膠結疏鬆，節理甚少發育，岩石強度低。雖有層理發育，惟因受生痕擾動影響而致層理弱面發育不良，甚少發現沿層理弱面張裂或滑移現象。

(2) 厚層砂岩：指厚度在 1 公尺以上，大部分屬淺灰色細粒泥質，但偶夾薄層泥岩，因岩石組成含較多之穩定石英顆粒，故出露於地表接受風化侵蝕後因抗蝕力相對較強而常呈現突出之山脊。本層節理亦少發育，但在陡坡邊緣上常出現二組幾近互相垂直之高傾角節理發育，並常造成零星落石崩塌現象。

(3) 泥岩夾薄層砂岩：本層以暗灰色或灰色泥岩石主(>70%)，但常夾厚薄不等的砂岩或粉砂岩，浸泡於水中亦易於軟化解離。

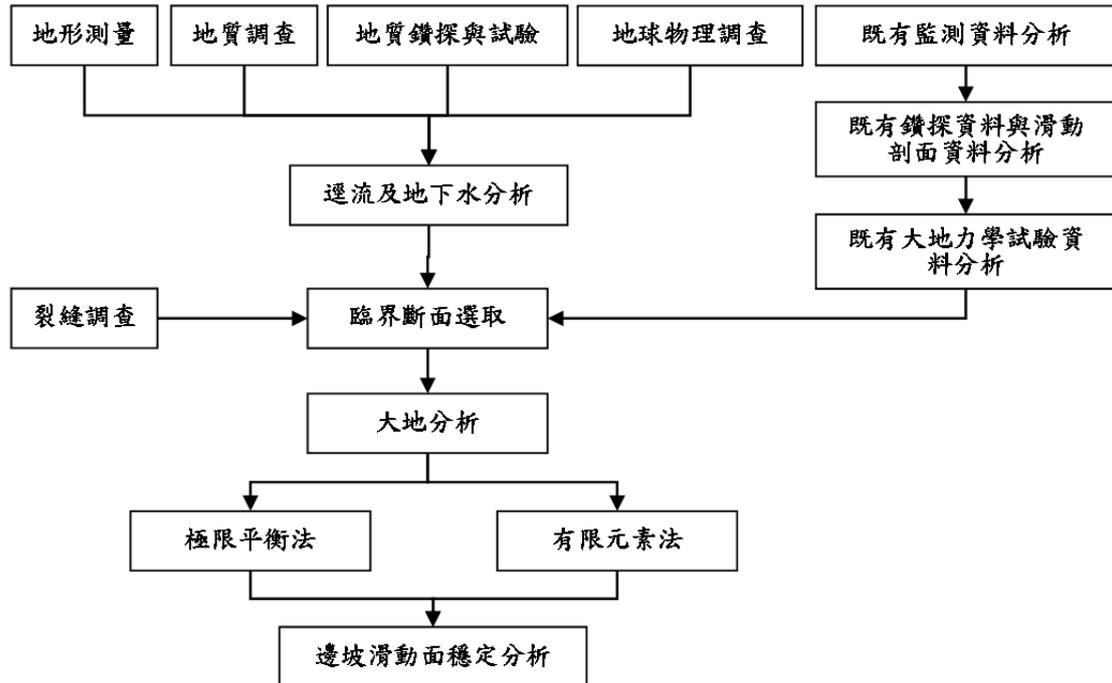


圖 4 滑動機制分析流程圖

Figure 4 The analysis procedure of the sliding mechanism

研究區位於台灣西部麓山帶地質區的西緣，其西側毗鄰台中盆地之東界，與台中盆地邊界相距僅約 2 公里。構成研究區岩盤之地層屬於上新世卓蘭層。區域性的岩層走向為南北至北東向，向東或東南方傾斜，傾角介於  $20^{\circ}$  至  $40^{\circ}$  之間。主要的地質構造為位於西側約 2 公里沿台中盆地東緣與丘陵地接壤地帶呈南北延伸的車籠埔斷層，研究區域位於車籠埔斷層東側上盤地塊內，斷層帶具有相當寬度，屬於第四紀以來反覆活動逆衝的活動斷層，在 1999 年的九二一大地震中產生了新的破裂線，在九二一大地震及斷層活動中，研究區域西側的破裂線兩側曾造成垂直變位約 3 公尺，並有左移分量的變化約 2.5

公尺，其他局部摺曲、斷裂或小錯移現象頗多，破裂線所通過及兩側地區房舍嚴重破壞或倒塌，震度五級以上。

### 1. 邊坡立體投影圖分析

邊坡立體投影圖分析採赤平投影(又稱立體投影)分析法，假定不連續面切割形成之岩體為剛性體，不連續面上之滑動體滿足牛頓力學原理。透過判斷剛性體於不連續面上是否滿足力平衡條件，來判斷邊坡之局部穩定性。赤平投影分析方法適合用於分析發育有節理面之岩石邊坡穩定性，且能有效並快速地評估邊坡節理與坡面所切割之鋼性體之穩定情況。邊坡立體投影圖分析條件：

(1) 邊坡地形：考量現況整體邊坡走向及坡度，並配合現場地表地質調查量測之岩層位態，以 A-B 剖面之坡面之平均坡度  $18^\circ$  進行赤平投影分析。

(2) 地層參數：依據地質鑽探之試驗結果，參考岩石直接剪力強度試驗結果之平均值，岩石強度採用  $C = 0$  ( $t/m^2$ )， $\phi = 25^\circ$ 。

(3) 各不連續面位態：

層理位態：經地質調查所量測得到之層理面位態，統計平均結果約為  $N65^\circ E/26^\circ E$ 。

節理位態：經調查所量測到之兩組節理，位態統計平均結果為約為  $N77^\circ E/53^\circ N$  及  $N2^\circ W/67^\circ E$ 。

赤平投影分析結果如圖 5 所示，由相關結果顯示本基地邊坡不致有平面型、楔型及傾倒破壞發生，相關岩體邊坡穩定分析說明如下：

(1) 平面滑動分析：由立體投影分析顯示，就層理弱面而言，因層面傾角大於坡角，不致有層面見光情況，且層面傾角小於岩石抗減摩擦角，故不會產生平面型滑動。基地內另兩組節理之傾向均與坡向夾角超過  $20^\circ$ ，故此二組節理不致對邊坡穩定產生不利影響。

(2) 楔型滑動分析：由立體投影分析顯示，層面與節理面之交線並未出露於坡面，即未見光(daylight)，且交線之傾角小於岩石抗減摩擦角，故不會發生楔型破壞。

(3) 傾倒破壞分析：由立體投影分析顯示，坡面傾角小於岩石抗減摩擦角，故不會發生滑動機制分析。

根據地質調查結果，研究區域為順向坡地形，其岩性屬厚層之泥岩或砂岩，地層屬軟岩質且強度較低，易於強震時產生局部弧形錯動。於汛期時，雨水漫流沖刷入滲表土層，造成表土層浸潤，使得土壤凝聚力驟減，降低土體強度，因而引發部分表層土體崩壞，是以降雨可能造成本區表土土體沖刷破壞情形。

依據本研究在地滑位移量監測結果顯示，BH-2、BH-3 及 BH-5 在觀測期間均有呈現潛移變位之情形，其顯示該 3 孔於測線上有連貫之關係，但變位情形尚未達監測標準值，因此除了建議持續進行監測外，也應重新檢核保全住戶後方之擋土設施，以防範災害發生之可能。BH-2、BH-3 及 BH-5 地質鑽孔資料如下：

BH-2 孔：岩心顯示 0-3.0 公尺為表土及崩積層，3.0-7.75 公尺岩層風化嚴重，屬中度強烈風化。7.75-10.4 公尺為新鮮砂岩及頁岩，但嚴重變形破裂，可能屬滑動帶通過。10.4 公尺以下岩心呈新鮮色且品質良好，惟因接近坡腳附近，可以地下水之聚集面顯現底部低電阻岩層往上隆起。

BH-3 孔：0-5.2 公尺為表土及崩積層，5.2-5.9 公尺顯示為灰色破碎變形之砂岩及頁岩，為可能滑動剪切帶通過之處。5.9 公尺以下岩心呈新鮮色，岩心品質良好。本孔 5.9 公尺以上表土為崩積層及滑動層，在測樁 35 公尺附近所謂的節理發達處可能與本地區之崩塌區上界一致，本孔 21.1-25.4 公尺段之砂

岩帶為低電阻帶。

BH-5 孔：0-2.0 公尺為表土層，2.0-3.0 公尺屬輕度風化砂岩，故 0-3 公尺相當於地物第一層，3.0 公尺以下屬新鮮且品質良好的岩層，其中的 16.95-17.25 公尺及 17.7-17.85 公尺段為中度風化黃褐色砂岩，顯示此二段砂岩透水性較高，有部分地下水流通導致岩層呈中度風化。

綜合地下水位變化與地滑位移量，其地表滑動深度較為明顯處，均屬地下水常態分布之地區，因此顯示研究區域內發生地滑變位之潛在因子，其首要問題應為地下水之排除。有鑑於此，建議計畫區內除應重新檢視地表排水設施(如坡面之截水溝、縱橫向排水設施等)，以達有效截取地表水，亦應考量地下水排水部分，以排除土體負荷降低誘發地滑之可能。

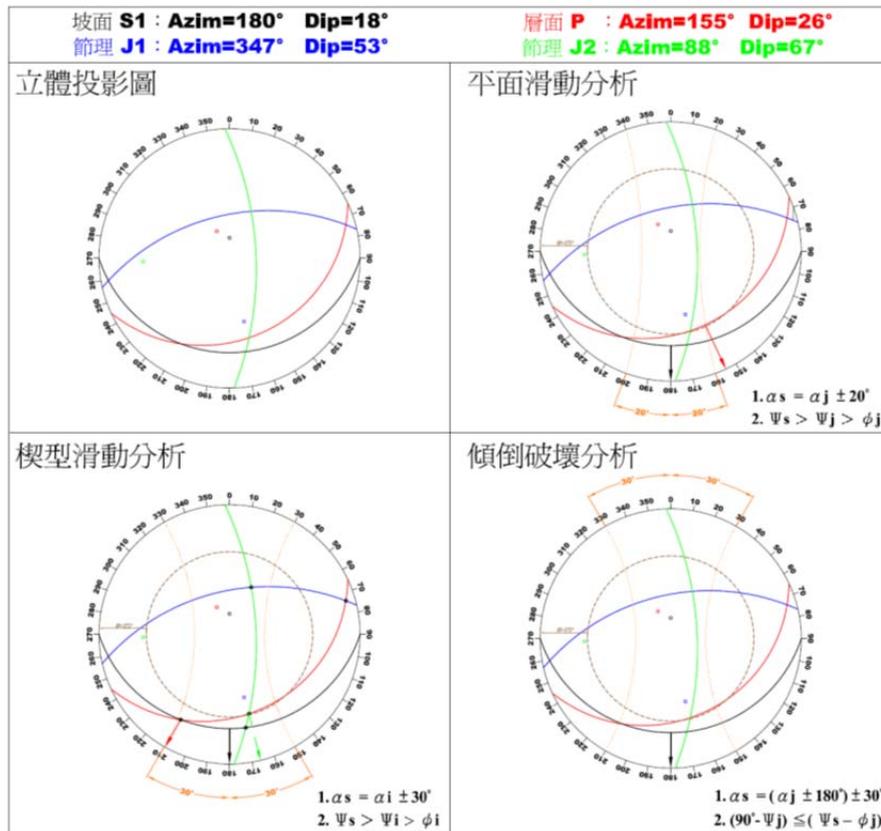


圖 5 基地岩石邊坡立體投影分析圖

Figure 5 The results of the spherical projection of the study area

## 2. 邊坡穩定分析

本研究採用極限平衡法對於地質剖面圖 AB(孔號 BH-6—BH-8)及地質剖面圖 CD(孔

號 BH-1—BH-5)之現場滑動情形研判，進行邊坡穩定分析，極限平衡法主要假設為所考慮的可能滑動土體範圍內均達極限塑性狀態，

以尋求力、力矩或能量之平衡，但該法無法確切反應邊坡之行爲，除非邊坡已接近臨界狀態，即安全係數接近或甚至小於 1.0。分析其於常時、豪雨及地震狀況下之邊坡安全性，作為後續災害整治之參考，有關各種環境狀況說明如下：

- (1) 常時狀況：即現有地形於一般情況下，土壤維持其自然含水量，地下水位以實測得之水位資料分析。
- (2) 暴雨狀況：本崩塌地滑潛勢區夏季常有短暫急驟之雷雨以及颱風帶來之豪雨，故考慮暴雨等狀況，導致地下水升高之情形，依據水位觀測井餘所觀測之最高水位進行分析。
- (3) 地震狀況：台灣地區位處歐亞大陸板塊

及菲律賓板塊相互推擠之界線上，地震頻繁，且本區鄰近 921 地震之車籠埔斷層，依據「建築技術規則建築構造編耐震設計規範與解說」進行本區邊坡穩定分析時除考量一般設計地震(地震規模 5~6，水平加速度 0.15g)外，另考慮 921 地震時發生規模考量最大考量地震(地震規模 6~7，水平加速度 0.33g)。

研究中分析土壤參數採用鑽探調查之土(岩)層及其相關之試驗結果如表 5，經電腦程式分析，現況邊坡在各種環境狀況下之抗滑動安全係數分析結果如表 6 所示，其分析成果圖以最大考量地震為例，如圖 6、圖 7 所示。經程式分析後由圖 6 可知 CD 剖面最大潛在滑動面最大滑動深度為 10m，圖 7 可知 AB 剖面最大潛在滑動面最大滑動深度為 12m。

表 5 邊坡穩定分析選定之地層參數表

Table 5 The selected parameters using in the stability analysis

土層種類		C' (t/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (degree)	單位重 $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
A-B	表土及崩積層(CO)	0.0	27.8	21.2
	砂岩頁岩互層(SS/SH)	32.3	25.7	22.4
	砂岩(SS)	9.8	29.3	23.6
C-D	表土及崩積層(CO)	0.0	27.8	21.2
	砂岩頁岩互層(SS/SH)	18.6	28.4	21.8
	砂岩(SS)	13.7	24.0	24.5

表 6 邊坡穩定分析結果

Table 6 The results of the stability analysis

分析剖面	安全係數分析結果			
	常時	豪雨	設計地震(Kh=0.15g)	最大考量地震(Kh=0.33g)
A-B	1.94	1.69	1.18	0.85
C-D	5.12	4.33	2.49	1.63

依水土保持技術規範可知邊坡穩定安全係數於常時、豪雨時及地震時 FS 分別需達 1.5、1.1 及 1.2，而由 CD 剖面(含三合院下邊坡道路)於常時 FS=5.12>1.5、豪雨 FS=4.33>1.1、5~6 級地震 FS=2.49>1.1 及 6~7 地震時 FS=1.63>1.2 均符合水土保持技術規範之要求，AB 剖面於常時 FS=1.94 及豪雨時 FS=1.69 均符合水土保持技術規範之要求，但

遇設計地震(地震規模 5~6，水平加速度 0.15g)時 FS=1.18 仍算安全，但不符合水土保持技術規範，而最大考量地震(地震規模 6~7，水平加速度 0.33g)時 FS=0.85<1 會有崩塌之危險，顯示強烈地震對於該處下邊坡之道路及當地居民具有一定之威脅性。因此，需及時整治以達到邊坡之穩定性。

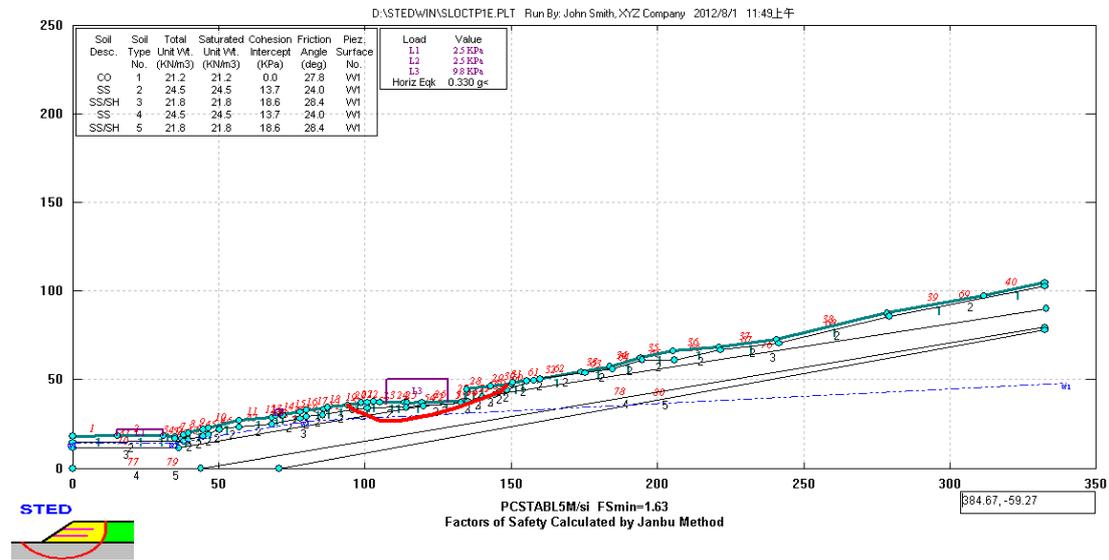


圖 6 CD 剖面(含三合院下邊坡道路)邊坡穩定分析成果(最大考量地震 Kh=0.33g) FS=1.63

Figure 6 The results of the stability analysis along the CD profile ( using Kh=0.33g), FS=1.63

### 3. 整治工法

一般地滑地治理的方式大致可分為抑制工程與抑止工程兩大類如表二，所謂抑制工程，係指以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡的各種工程設施，如整坡、排水等；抑制工程，係指以工程結構物來抑制邊坡滑動的各種工程設施，如擋土牆、基樁等。並且依據調查結果瞭解地滑發生機制與規模，適當地運用抑制工程或抑止工程

而取得工程最有效經濟之設計。

由滑動機制分析得知水是造成研究區域淺層土體崩壞之因素，故如何將地表水及地下水引導至鄰近排水系統，使水流不再匯集沖刷土體，或入滲浸潤土體造成土體強度減弱，是整治主要考需要量的因素之一；其次由於本區為順向坡地形，加以屬軟岩質地層，強度較弱，易受強地震影響，造成深層之錯動且影響擋土牆遭擠壓破壞，如何配合坡面

維護增加本區抗震強度穩定邊坡，亦為考量之因素。

### (1) 排水系統

對於降雨後當日或次日而發生部分淺層土地崩壞者，其邊坡穩定性主要受淺層地下水之影響，因此整治工法以地表排水工程為主，故首要應先對於研究區域內截排水設施

進行設置，以減少地表逕流沖刷及入滲，達到淺層土體穩定之目的，需考量區域內整體截排水狀況，設置坡面截水溝，且利用原有坑溝設置縱向排水溝，以穩定坑溝兩岸減少沖刷並截流地表水。另外由於坡度較陡，縱向排水需注意配合靜水池及消能設施設置，減緩流速及防止縱向淘刷。

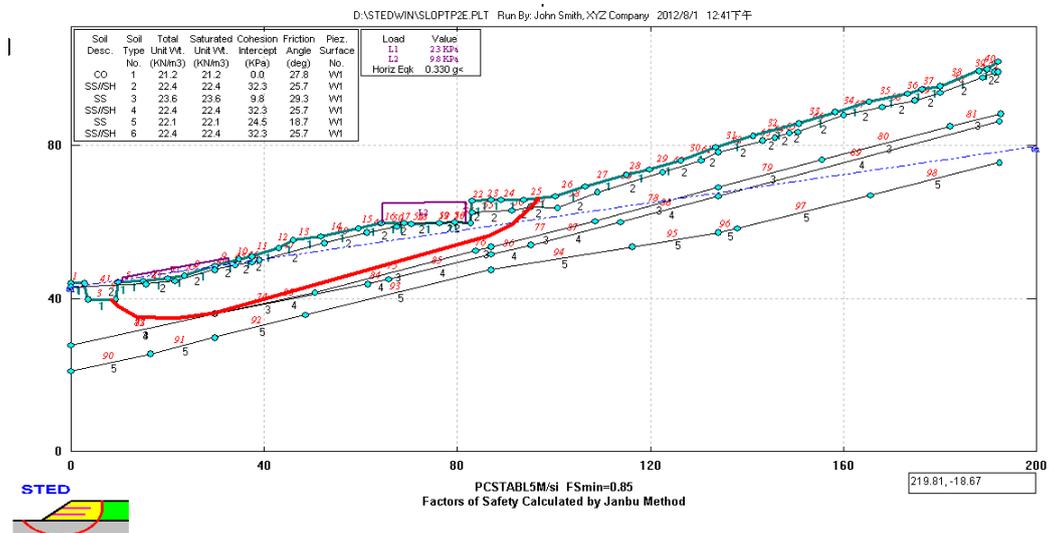


圖 7 AB 剖面邊坡穩定分析成果(最大考量地震  $K_h=0.33g$ )  $FS=0.85$

Figure 7 The results of the stability analysis along the AB profile (using  $K_h=0.33g$ ),  $FS=0.85$

### (2) 擋土措施

由滑動機制及邊坡穩定分析可知研究區域東側邊坡，易受強地震影響而生錯動，因此邊坡穩定之治理，採用抑止工法，宜於東側邊坡下邊坡設置擋土基樁；另西側邊坡由於順向坡擠壓坡趾，造成既有擋土牆破壞，因此以土釘面板配合加固修復民宅後方被擠壓破壞之擋土牆，保護居民生命財產安全。

## 結論與建議

1. 域為順向坡地形，其岩性屬厚層之泥岩或砂岩，地層屬軟岩質且強度較低，易於強地震時產生局部弧形錯動。
2. 暴雨時，雨水漫流沖刷入滲表土層，造成表土層浸潤，使得土壤凝聚力驟減，降低土體強度，因而引發本區部分表層土體崩壞，是以降雨可能造成本區表土土體沖刷破壞情形。

3. 當降雨發生至地表逕流產生時，已有部分水體滲入地層內，爲了將水份入滲量降低，需規劃設計地表排水，加強地表截排水設施，迅速排除地表水，以降低水分入滲量，以及地下水排除及邊坡穩定設施能使邊坡更爲穩定，降低災害發生。
4. 縱向排水溝靜水池後續維護部分，需定期清淤，以維持其正常排洪功能。
5. BH-2、BH-3 及 BH-5 傾斜管在觀測期間，雖月平均累積量小於潛在變動量，但該 3 孔於測線上顯示有連貫之關係，其主要區域多在地表下 5~7m 的範圍，爲崩積層或風化岩盤之分佈，但變位情形尚未達監測標準值，因此除了建議持續進行監測外，也應重新檢核保全住戶後方之擋土設施，以防範災害發生之可能。
6. 研究區域內民宅緊鄰坡趾擋土牆，應加強注意地震豪雨後擋土牆是否有傾斜及龜裂等異常現象。建議民宅日後修繕時切勿在靠近擋土牆，保持較大之變位空間，以策安全。
4. 矢野義男 (1975)，「山坡防災工學」，山海堂，日本，70-124。
5. 陳信雄 (1995)，「崩塌地調查與分析」，台北，渤海堂文化公司，620。
6. 陳榮河(1999)，「土石流之發生機制」，地工技術，74: 21-28。
7. Bourke, M.C. and Thorp, M. (2005). "Rainfall-triggered slope failures in eastern Ireland. Irish Geography,"38(1), 1-22.
8. Chang, S. L. (1971), "Subsurface geologic study of the Taichung Basin, Taiwan,"Petro. Geol. Taiwan. 8, 21-45.
9. Tan S. B., T. L. Lim, S. L. Tan and K. S. Yang (1987), "Landslide problems and their control in Singapore," In: 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Thailand, 1(25), 1-36.
10. 李正兆(2012)，梨山地區疑地滑地災害整體治理工程調查規劃委託技術工作，傑美環境工程顧問股份有限公司。

### 參考文獻

1. 山口伊佐夫 (1979)，「治山設計」，農林出版，日本，104。
2. 內政部國土測繪中心，[http://www.nlsc.gov.tw/websites/i\\_ext/default.aspx](http://www.nlsc.gov.tw/websites/i_ext/default.aspx)。
3. 王文能、黃鎮台 (2000)，「梨山地滑工程地質調查及整治規劃案例探討」，地工技術」，64，33-50。

102 年 11 月 06 日收稿

102 年 11 月 19 日修改

103 年 03 月 06 日接受