

# 阿里山公路面對 519 豪雨事件之精進概述

賴明煌\*

## 一、前言

台 18 線阿里山公路是我國最重要的國際觀光路線，要維持該公路的安全通暢與旅遊美觀等功能，便成了公路養護管理機關極為重大的優先任務。今年春夏之際，除了在清明假期的連續降雨其 0405 豪雨在阿里山降雨量逾 100mm/24hr 之外，就以五月下旬的這次降雨最大，同時也對該公路造成數次與數處的公路邊坡崩塌。我們就簡稱這次五月下旬的降雨誘發的公路崩塌等為「519 豪雨事件」。

本文要介紹阿里山公路在觸口(台 18 線 34k+000)至自忠(台 18 線 96k+794≐97k)這一段山嶺區公路受此連日豪大雨所誘發的公路泥流溢洩與土石崩落等，山區公路正常交通受阻的情況與其阻斷之定義，並藉由這事件的崩塌與泥流阻斷路段的事實與工務段受通報的公路塌坍通車表的登載記錄明顯差距之窘境，作一些通報與登載上建議以利可以更加精進至臻。同時也運用降雨的特性與崩塌時間點來比對，檢核學術界常用的日本國池谷浩君的累積降雨量與土砂發生崩塌點的關係模式與我們公路養護管理機關目前執行中的「一、二級監控路段(含橋梁、便道)預警值、警戒值與行動值」的管理值是否有必要修正之參考。

2013 年 05 月 19 日(週日)，國立成功大學土木系李德河特聘教授協同日本國立命館大學土木系深川良一教授等研究團隊十餘人，進入阿里山公路低中高海拔檢視公路邊坡的護坡工程等事務，湊巧很躬逢其盛面遭遇此一大豪雨的洗煉，對此降雨誘發崩塌與泥流所釀的公路警戒、封閉與公路總局現場工程人員辛苦危險之事件印象深刻，亦可以實情比對既有颱風降雨誘發公路崩塌研究的建議值，可與公路養護管理機關的基準值在此次山區豪雨的適用性做一比較。

---

\*交通部公路總局第五區養護工程處副處長

## 二、阿里山公路主要項目之簡介

### 2-1 路線介紹

本文所指之阿里山公路為我國在西部地區最重要的山區觀光旅帶—台 18 線阿里山公路如圖 2-1-1 所示。該公路是由雲嘉南平原中樞~嘉義市進入阿里山國家風景區以及玉山國家公園與西拉雅國家風景區北端曾文水庫、達邦里佳、山美達娜伊谷與聯絡那瑪夏和瑞里豐山草嶺等各旅遊景點的西口及國道三號最大交通動脈。1979 年 7 月成立之「新橫貫公路嘉義玉山關建工程處」執行阿里山公路的開設，終於 1982 年 9 月底阿里山公路分段關建完成全線通車。台 18 線原本之起點在嘉義市東區阿里山森林鐵道北門火車站前，於 2006 年行政院公告該公路起點向西挪移至嘉義縣太保市之台灣高鐵嘉義太保車站北側 1 公里之交叉處再往西約 1 公里的「故宮南院大道」為起點，東邊則到南投縣信義鄉之塔塔加與台 21 線銜接處，全長達 109.985 公里【此係 2013 年 6 月之記錄，山嶺區公路長因受崩塌，常不定時改線或施設更佳結構(如芙谷峯橋蓋好之後整條路線移出去就會縮短)之變化而致里程樁號會有所長短鏈變化】。

因為該公路在平原區幾無受颱風降雨崩塌之災損，故本文只選取台 18 線嘉義丘陵區東邊之部份以山區路段為主，起點自嘉義縣番路鄉橫跨竹崎鄉以及阿里山鄉，排除觸口以西的八掌溪河谷平原不屬於山嶺區之現代的沖積層。研究區域其行政轄區範圍由西向東依序為嘉義縣番路鄉觸口(34k+000，海拔 280m)，經過龍美(51k，海拔 1,050m)，再通過竹崎鄉石棹(64k，海拔 1,300m)及阿里山鄉的十字路(77k，海拔 1,500m)、阿里山森林遊樂區入口處(89k，海拔 2,200m)等重要山區聚落與交通樞紐到達自忠(96k+794，海拔 2,280m)。此公路若再往東北向約已進入南投縣信義鄉的玉山塊銜接台 21 線公路，地質構造已屬於中新世至古第三紀硬頁岩及板岩系與厚砂岩，總長度約為 63 公里，圖 2-1-1 中所示，從觸口到自忠之間即為本研究之路段範圍。

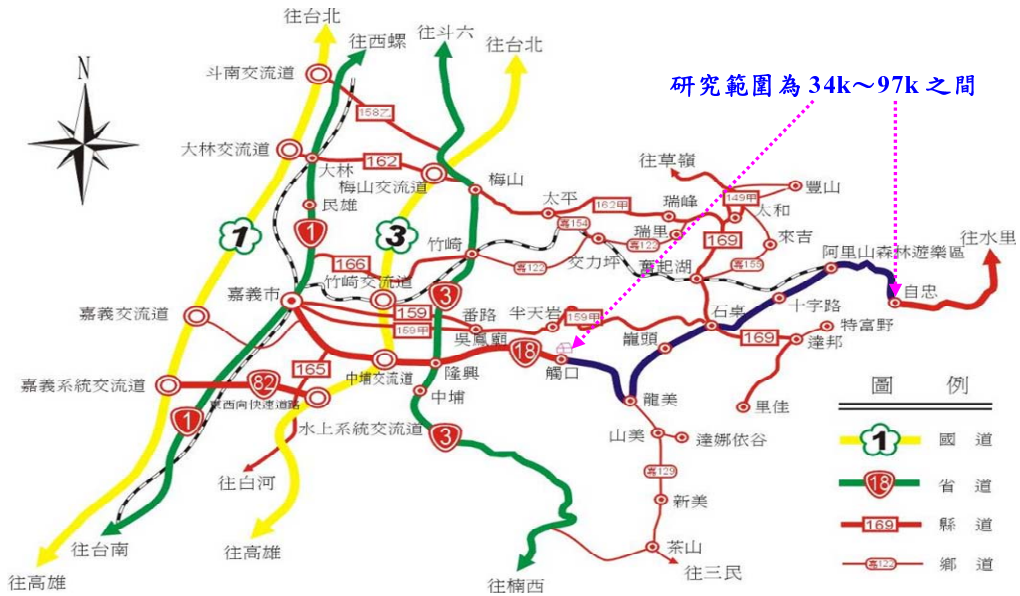


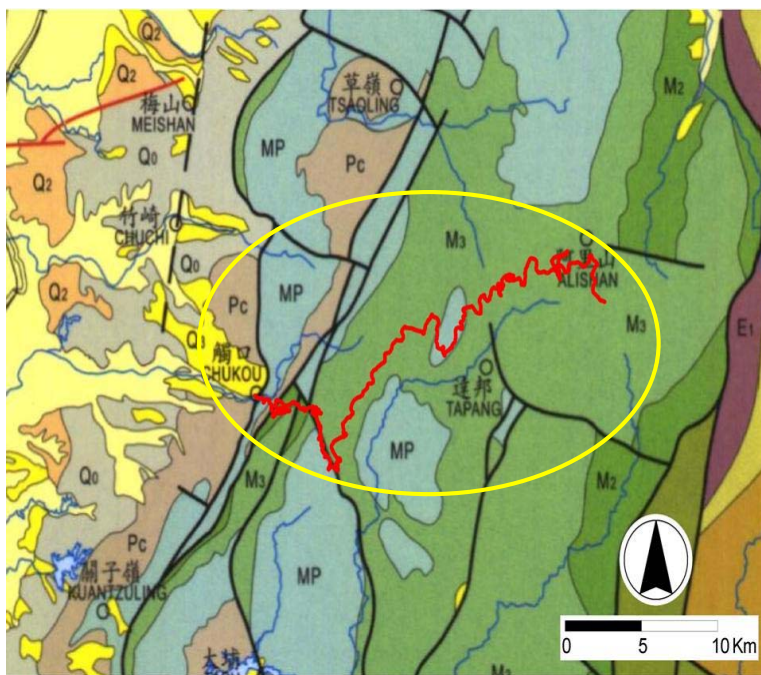
圖 2-1-1 本文範圍阿里山公路與鄰近公路系統示意圖(摘自賴明煌，2012 年)

## 2-2 阿里山公路之地質構造

本研究路段沿線出露之西部麓山帶新生代地層的岩層，主要以第三紀中新世中期至第四紀更新世之沈積岩層為主(均未變質)，依其岩層形成年代的順序為第三紀中新世中、早期之達邦層(相當為臺灣北部之南港層、中部的水裡坑層)、中新世晚期在此地以其年代由下往上又可區分為三民頁岩、紅花子層、長枝坑層(相當為中、北部的南莊層)，中新世新晚期至上新世初期的糖恩山層(相當為北部桂竹林層或中部的關刀山砂岩)、上新世中期之中崙層、鹽水坑頁岩與鳥嘴層、隘寮腳層(相當為北部桂竹林層與錦水頁岩、中部的十六份頁岩與魚藤坪砂岩)，上新世晚期至更新世早期之澗水溪層、竹頭崎層與六重溪層、北寮頁岩(相當為中北部錦水頁岩與卓蘭層)等[1]，如圖 2-2-1 所示。

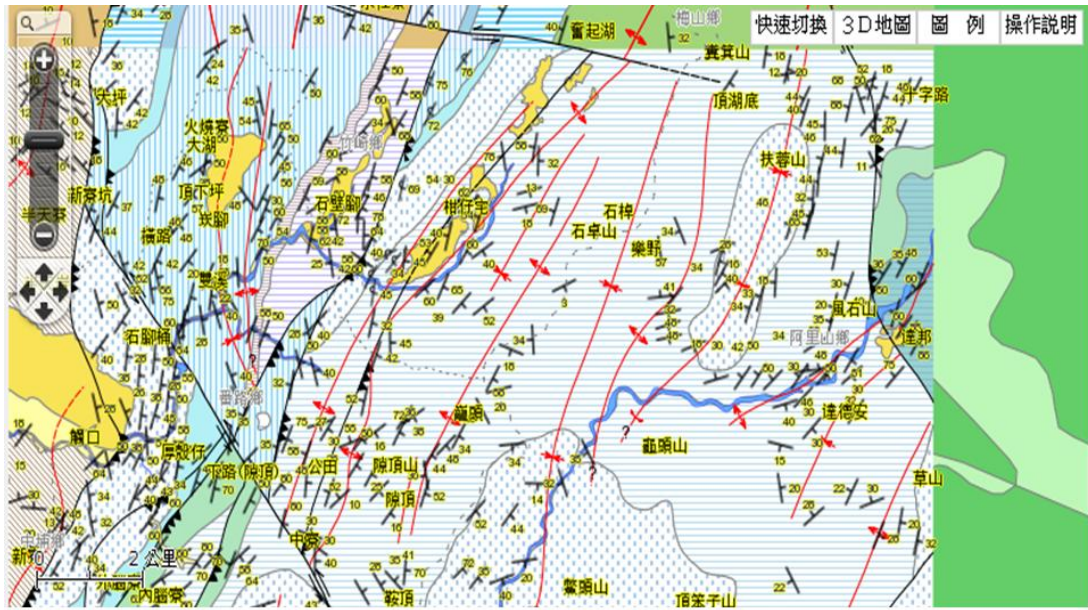
臺灣最近一次造山運動係於五百萬年前開始之菲律賓海板塊與歐亞陸板塊碰撞作用迄今，這種推擠動作用係自北往西約 45~52° 方向，造成每年長達 7~8 公分的地殼縮減與上擠，因為在本島西側有古第三紀隆起基盤岩石的北港高地之抵摺(歐亞板塊前緣)，讓此地區阿里山山脈如鋒雪效應與 S 型反轉島弧，在其西側前緣西部麓山帶形成頗多的逆衝帶之覆瓦狀構造，故研究區域內阿里山公路沿線各種道路工程現場實際開挖所見，有頗多岩層褶皺與斷層構造相當發達與破脆[2、3]。根據經濟部中央地質調查所的「地質資料整合查詢網站」最新調查資料，如圖 2-2-2 所示，顯示阿里山公路沿線及其鄰近之主要斷層，由西向東為(1)觸口逆衝斷層、(2)獺頭橫移斷層、(3)無名逆衝斷層、(4)崙

後逆衝斷層、(5)馬頭山逆衝斷層、(6)鹿窟逆衝斷層、(7)柑子宅逆衝斷層、(8)水社寮橫移斷層、(9)內磅逆衝斷層、(10)十字路逆衝斷層(與劉憲德等人調查之六個斷層中的公田斷層與達邦斷層二個名稱不一，餘均為相同或新增)等，顯示在此研究區域內的斷層頗多[2]；再根據經濟部中央地質調查所的最新調查資料，顯示而主要的褶皺由西到東則為(1)坑內向斜、(2)大湖背斜、(3)柑子宅背斜、(4)無名背斜、(5)無名向斜、(6)巖頭背斜、(7)奮起湖背斜、(8)樂野向斜、(9)樂野背斜、(10)鹿窟山向斜、(11)未定名背斜、(12)達邦向斜、(13)未定名背斜等，而與劉憲德等人在 2000 年調查略有不同(劉君等調查約有七個走向、背斜之構造，如(7)小公田向斜、(8)奮起湖背斜、(9)扶蓉山向斜、(10)特富野背斜、(11)阿里山向斜、(12)和社背斜、(13)同富背斜等)，如圖 2-2-3 所示。從這些地質資料不論為何者所調查所稱，均顯見本路段阿里山公路沿線之大地運動應力激烈與地質構造極為複雜，該區域之地質年代、地層名稱與岩性特徵之概述如表 2-2-1 所示[4、5]。



圖例說明：  
 Pc-卓蘭層、錦水頁岩及其相當地層；  
 Mp-桂竹林層及其相當地層；  
 M3-南莊層及其相當地層

圖 2-2-1 阿里山公路地質略圖(黃色圓圈標記處為台 18 線，改自經濟部中央地質調查所，2003 年 6 月)



- 頭嵙山層香山段(1694)  
更新世
- 卓蘭層(1330)  
上新世
- 錦水頁岩(1680)  
上新世
- 桂竹林層關刀山砂岩段(1436)  
中新世—上新世
- 桂竹林層大窩砂岩段(1434)  
中新世—上新世
- 桂竹林層十六份頁岩段(1432)  
中新世—上新世
- 南莊層(1380)  
中新世

圖 2-2-2 阿里山公路地質略圖(摘自經濟部中央地質調查所地質資料整合查詢網站，2013年6月)

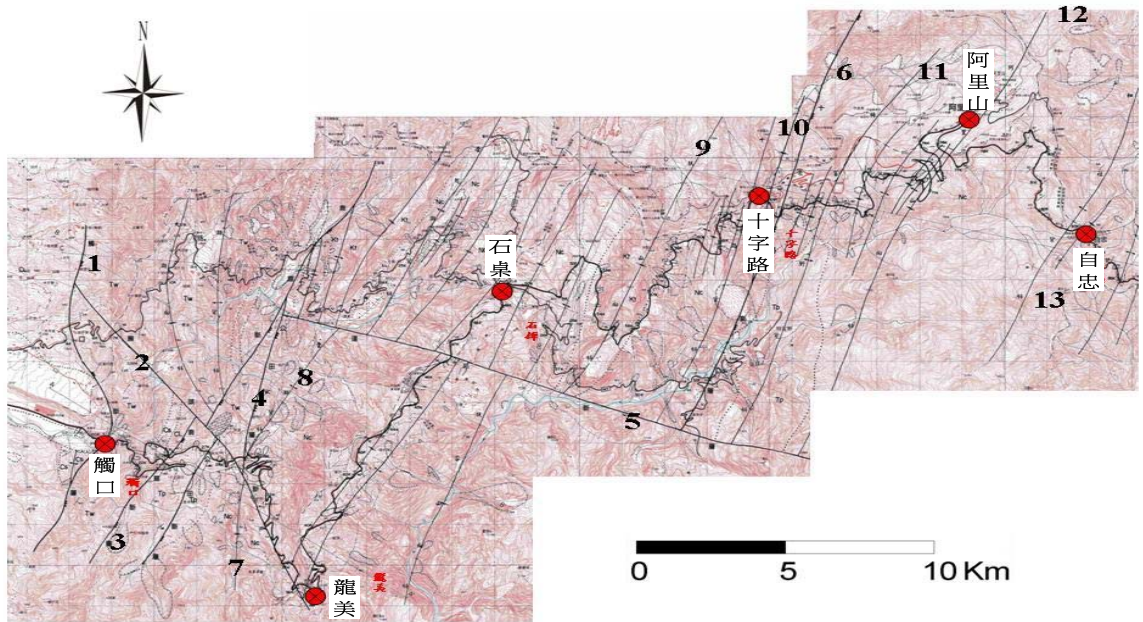


圖 2-2-3 阿里山公路沿線之主要地質構造圖(改自劉憲德等，2000 年)

表 2-2-1 阿里山公路主要地層說明(改自劉桓吉、李錦發，1998 年、劉憲德、曾俊傑，2000 年)

地質年代	地層名稱		岩性特徵描述
更新世早期至上新世	Pc	卓蘭層	厚層塊狀泥岩、細粒淺灰層狀或塊狀純淨砂岩，夾薄層頁岩及砂岩頁岩互層，部分砂岩為石灰質。
		錦水頁岩	青灰至暗灰色厚層塊狀砂質頁岩(或泥岩)，並含有不規則石灰質頁岩團塊，中層砂岩及頁岩互層。
中新世	Mp	大窩砂岩	中至厚層淺灰細粒至粉砂質層狀或塊狀純淨砂岩，相當堅硬緻密，夾薄層頁岩。
		十六份頁岩	青灰至暗灰色厚層塊狀砂質頁岩(或泥岩)，洋蔥狀節理發達，夾薄層砂岩，並含有不規則石灰質頁岩團塊。
		關刀山砂岩	灰色細粒至粉砂質厚層塊狀砂岩偶夾砂頁互層，層理不明顯。
	M <sub>3</sub>	南莊層	薄至中層淺灰細粒純淨砂岩與青灰至暗灰色頁岩之互層，上部夾一煤層；砂岩薄層至厚層塊狀；層理良好，堅硬緻密。
M <sub>2</sub>	達邦層	青灰色至暗灰色頁岩夾中至薄層砂岩之互層。	

## 2-3 研究區域之降雨

一般影響公路邊坡穩定之因素極多，可粗略概分為「內在宿因」與「外來誘因」兩大類之外，尚可再細分如下：例如地質岩性、地層構造、植被種類情形、坡地走向、山陰山陽面、地震或爆炸振動、地下水位與滲流、降雨、颱風與氣旋流行徑、地面水逕流、工址鄰近人為開發行為、截水排水構造、公路使用的規模及行為與邊坡保護措施等等因素。但其中又以降雨為害最為劇烈，尤其是颱風所帶來的暴雨，這一類型的「集中降雨」就比起梅雨或是山區豪雨等「分散降雨」的加害更是嚴重。但是若是兩者合併，先有長期的分散降雨浸滲又接續有颱風型的集中降雨並且其降雨延時頗長在 72 hr 以上又逢強降雨(約 50 mm/hr)複合加害，則可能發生的崩塌規模與發生地點，就會變得難以預測了。

本研究區域位於我國西部走廊東緣之西部麓山帶至阿里山山脈東側之間，緊鄰雪山山脈與玉山山塊的南部西緣。該地區降雨情形常受地形及季風等之影響，在本研究區之主要降雨類型則以颱風與梅雨所帶來暴雨為主，目前在該地區的交通部中央氣象局所設置之雨量站迄今僅有三處，以現況環境與龐大交通及防救災需求性等因素考量，其實是不敷使用。其中以高海拔之阿里山站(高程 2,413m)開設為最早，其蒐集之降雨量記錄由 1984 年開始。位於低海拔的瀨頭雨量站(高程 1,090m)則設立於 1989 年，在中海拔的奮起湖雨量站(高程 1,404m)是於 1994 年設立，三個雨量站之位置以及其作為該公路之高、中、低海拔路段代表性雨量站的路段劃分之區域範圍如圖 2-3-1 所示[6]。

台 18 線之本研究範圍長度約 63 公里，東西兩端之海拔落差約達兩千餘公尺，其各路段受地形及海拔高度之影響，並且因降雨特性亦不盡相同，故為探討降雨對於公路邊坡崩塌特性之關係，須分成不同路段進行討論較為精準。本研究採用降雨資料，係以所謂「接近雨量站法」，選擇緊鄰台 18 線阿里山公路附近之交通部中央氣象局雨量站所自動紀錄之降雨資料為主。其區域分割原理沿襲國立成功大學土木工程學系岩石力學試驗室之研究結果(吳秉晃，2002 年、張舜孔，2003 年、曾志豪，2004 年、李德河，2005 年、方世杰，2009 年)，其係利用 ArcView 軟體內部之空間分析功能，計算該公路里程樁位至各雨量站之最短距離，如此可獲得崩塌樁位與各雨量站的最近分佈距離。根據上述區域分割原則可以得到本研究之低、中、高海拔各路段之區域。分割里程樁位現在為 59K 與 79K 二個界限，亦即以 34K~58.6K 為低海拔路段，58.6K~78.8K 為中海拔路段，78.8K~97K 為高海拔路段，在圖 2-3-1 所示分有三個範圍，標示「I」屬低海拔區域、「II」屬中海拔區域、「III」屬高海拔區域。

如圖 2-3-2 所示即為阿里山雨量站自 1984 年 1 月~2012 年 12 月的各月平均降雨量，由該圖可知雨季一般是由四月到九月，且其降雨主要均集中於夏季：而五、六月為梅雨期(平均月雨量之累積數佔全年的 27.38%)，七、八月為颱風豪雨期(佔全年之 39.68%)；故合計五至八月這四個月的夏季總降雨量竟佔全年 66.37%，若是自四到九月這半年之長

雨季又是屬於防汛期間，其所累積雨量則占全年總降雨量的 83.66%，顯示該地區降雨量集中的情況是越來越明顯越激烈。

另外將高、中、低海拔的三個雨量站歷年的年降雨量列出如圖 2-3-3、圖 2-3-4、圖 2-3-5 所示。圖 2-3-3 為阿里山雨量站於 1996~2012 年間之降雨資料，其年平均降雨量高達 4199mm(1996~2010 年平均才 3,915mm)，較全國之年平均降雨量 2,500mm 還要高，顯示此區域雨量非常豐沛。特別是自 2005 年以來之年平均降雨量多超過 5,000mm(除 2010 年只有 3,632mm，最高是 2008 年的 5,886mm)，全球暖化引致的極端降雨現象變得非常顯著與常態了。同樣，圖 2-3-4 及圖 2-3-5 分別列出中海拔奮起湖雨量站在 1996~2012 年以及低海拔瀨頭雨量站自 1989 年到 2012 年的年平均降雨量分別為 3,866mm 及 3,153mm，此二雨量站的年平均降雨量都較全國的年平均降雨量 2,500mm 為高，也同樣在 2005 年以後記錄到較往年為高之年平均降雨量。此外，圖 2-3-3、圖 2-3-4、圖 2-3-5 中亦將三個雨量站自 1996 年到 2012 年之平均年降雨量列出，分別為阿里山雨量站為 4199mm，奮起湖雨量站為 3844mm，瀨頭雨量站為 3324mm，顯示海拔愈高其平均年降雨量愈多。這三個不同海拔的 1996 至 2012 年間之平均雨量圖，主要是考量到該研究區域內的公路崩塌，自 1996 年之後的記錄較為完整與詳細，故才以 1996 年為起始點，來做為該區域的三區段海拔之比較分析。

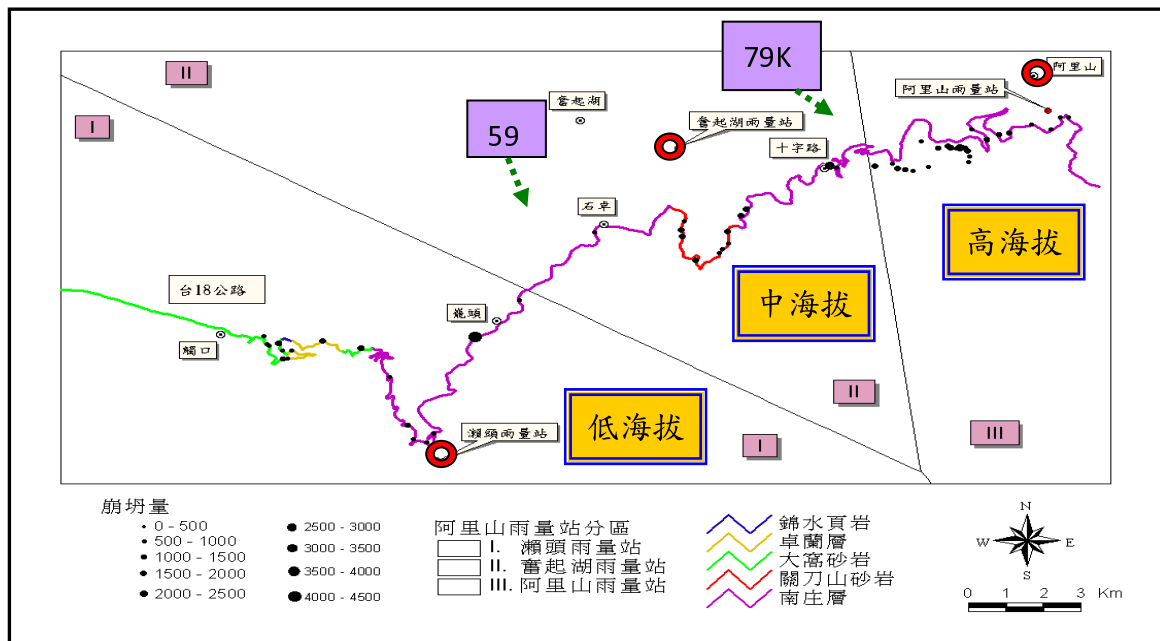


圖 2-3-1 阿里山公路低、中、高海拔各路段之區域劃分圖 (改自吳秉晃，2002 年、李德河，2005 年)



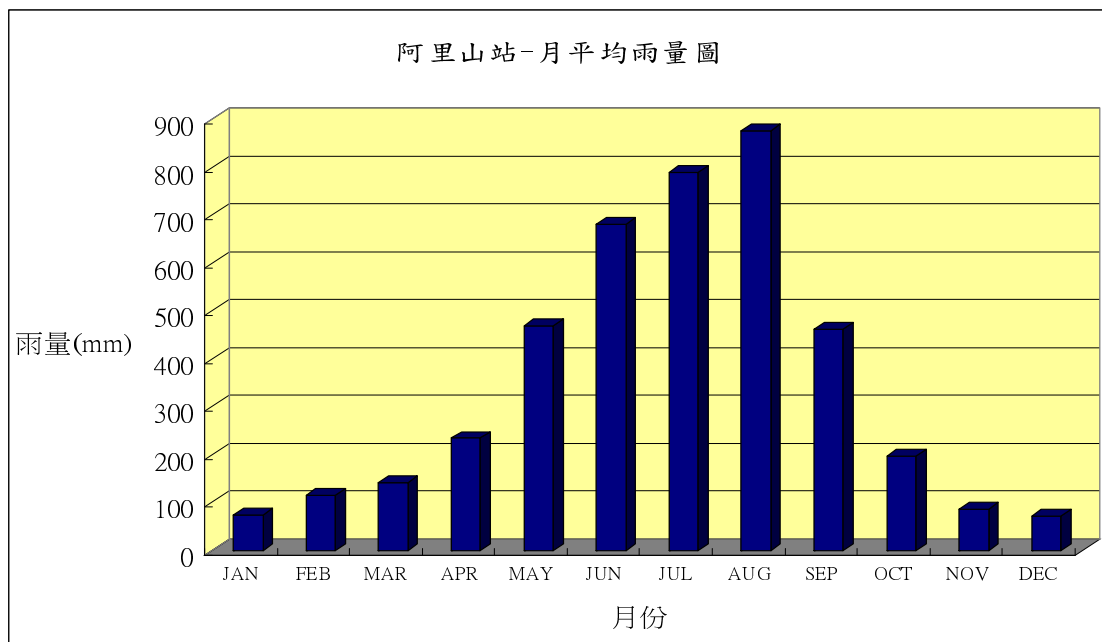


圖 2-3-2 阿里山雨量站之月平均降雨量(統計時期 1984.01~2012.12)

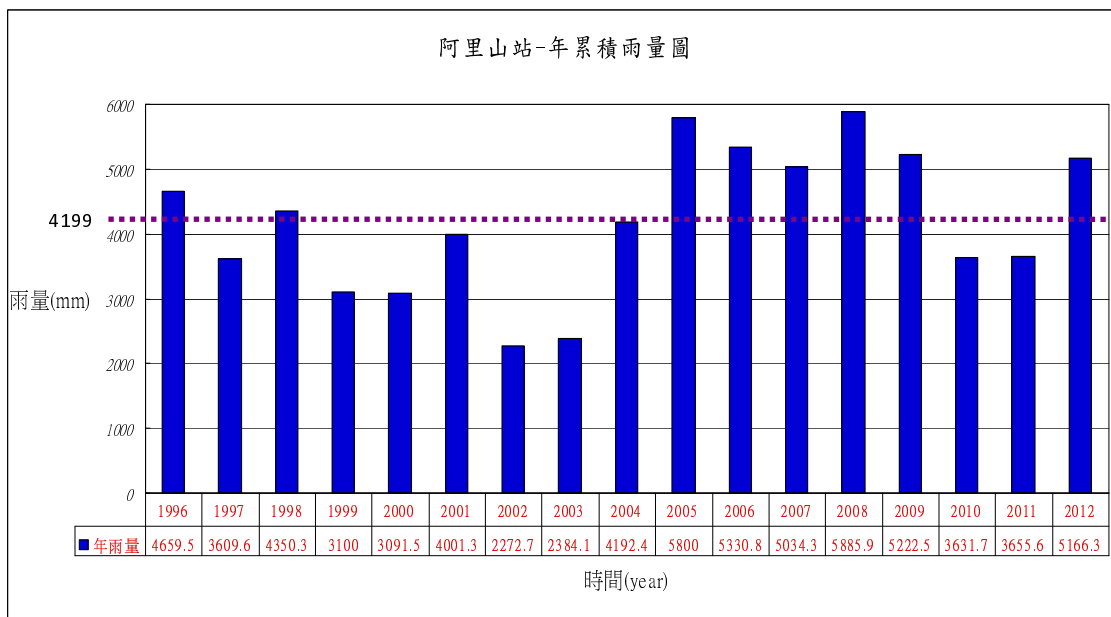


圖 2-3-3 高海拔代表雨量站-阿里山雨量站 1996~2012 年降雨量圖(平均年雨量 4199mm)

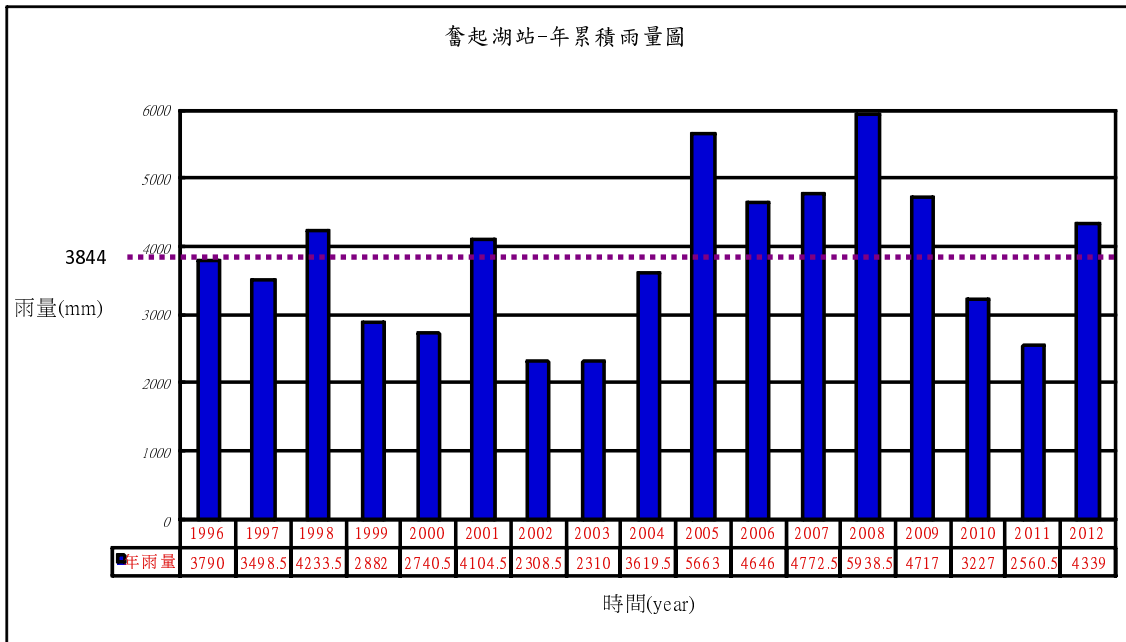


圖 2-3-4 中海拔代表雨量站-奮起湖雨量站 1996~2012 年降雨量圖(平均年雨量 3844mm)

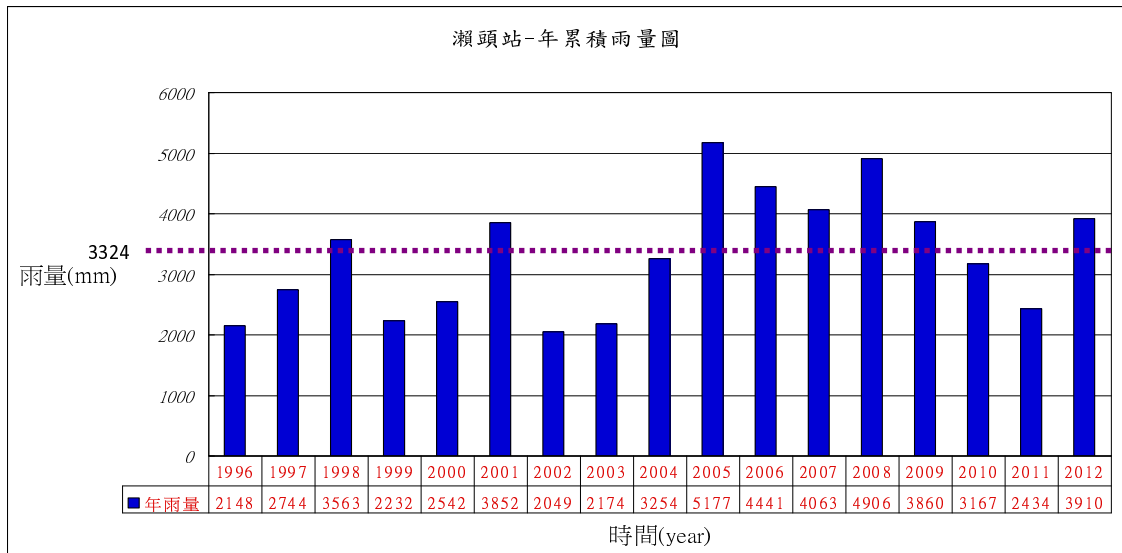


圖 2-3-5 低海拔代表雨量站-瀨頭雨量站 1996~2012 年降雨量圖(平均年雨量 3324mm)

### 三、研究區域之水系

本公路在阿里山地區主要的溪流水系有三大條，由北至南分別為雲林縣之清水溪(係屬於濁水溪上游段)、嘉義縣與臺南市的八掌溪與曾文溪二條中央管的河川，其餘還有十餘條小型山溪分布於該水系之上游匯集。分述如下：

- 一、清水溪水系：該清水溪是濁水溪的第三大支流，發源於阿里山脈西北麓的塔山海拔 2663m，全長約有 51km，原名為阿拔泉溪、阿里山溪，流域面積達 421km<sup>2</sup>。該溪上游的石鼓盤溪和阿里山溪在社後坪附近會合後，再向西流經約 8km，在雙溪嘴處納入生毛樹溪自南來匯流，之後河川流路突然北折，並且在南投縣的竹山匯入濁水溪的主流，該主流之坡度約為 1：190，相較本區域內其餘二水系頗為平緩。
- 二、八掌溪水系：該溪流之主流發源於阿里山脈西邊的奮起湖山，海拔約 1403m，全長約 80.86km，有赤蘭溪與頭前溪兩大主要支流匯合，流域面積達 474.74km<sup>2</sup>。該河流上游溪段陡峻，平均之坡度在 1:42 相較於本區域內其他二水系最為陡峭，切割旺盛，支流眾多，水潭、深谷、瀑布與峭壁的景觀隨處可見。
- 三、曾文溪水系：該溪發源於阿里山脈之水山又稱萬歲山，海拔有 2609m，全長約 138.47km，其中匯合有後堀溪、菜寮溪、官田溪為其三大支流，呈縱谷形態，坡陡流急，流域面積 1,176.64km<sup>2</sup>。主流之坡度約為 1：200，相較清水與八掌溪二水系而言最為平緩。但是在阿里山鄉的曾文溪上游叫做長谷川溪，源自水山與霞山之間，流向西南至達邦有一支流與伊斯基安娜溪來匯合，並從達邦、樂野以下至山美村之間，曾文溪與其支流里佳溪、塔乃庫溪切穿堅硬砂岩形成峻深峽谷地形，兩岸支流形成懸谷峭壁，多瀑布之景觀。里佳溪上游流域，為明顯之幼年地形，幾無平坦河階台地。

本研究區域其三大水系之示意圖，如圖 3-1 所示，在北邊的濁水溪(上游為本區域的清水溪水系)與南邊的曾文溪水系之交角的西邊到臺灣海峽的區間，就概屬於八掌溪水系之範圍。



圖 3-1 研究區域內三大水系示意圖(摘自交通部公路總局五工處 2012 年度公路防救災檢討年報)

#### 四、公路邊坡崩塌種類與降雨特性之簡介

##### 4-1 邊坡崩塌時間的模式與律定

颱風暴雨、梅雨豪雨與公路邊坡崩塌發生之間的關係，不論在國內外均一向為專家學者與公路管理機關極有興趣的研究課題。以往研究也指出邊坡淺層破壞通常是發生在一段瞬時暴雨下降時或之後，而除了瞬時暴雨之外，對於淺層破壞的發生，暴雨先前的降雨量(累積降雨量與降雨延時)也是一大重要的影響因素。因此，為尋求邊坡崩塌與降雨參數關係，本研究以實際降雨特性及該公路崩塌等資料之統計方式，並區分颱風暴雨與山區豪雨二者不同降雨特性(但著重在颱風的降雨，以此種集中型的降雨為本研究的主要範圍)，以建立各降雨參數相對於公路邊坡崩塌，所得崩塌預警基準，可供道路主管機關或用路人量化數據之參考。

降雨這個因素引發邊坡發生崩塌、土石流，是公路與坡地災害常見的主要項目之一。日本池谷浩(1983) [7] 指出在一場引發土砂災害的豪雨中，其典型的降雨延時與累積降雨量的關係曲線如圖 4-1-1 所示。這樣假設的想法是首先在開始降雨時先降下一場的小雨量，其降雨延時為  $dT$ ，累積降雨量為  $dM$ ，而後在  $P$  點雨勢改變，降雨強度變大，連續急速降雨一段時間  $dt$ ，崩塌前期之累積降雨量為  $dm$  後，俟雨勢變緩之際，就在累積降

雨量曲線的斜率由急陡要變成緩升之際(Q 點),亦即累積降雨量曲線開始偏離之前急陡的直線段而呈現彎曲狀時,即會產生土砂災害(崩塌)[7]。

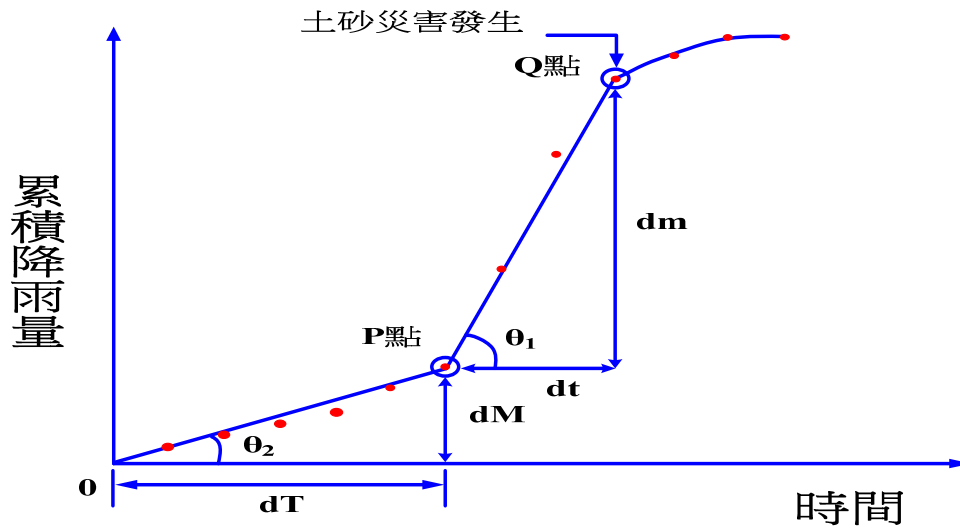


圖 4-1-1 日本池谷浩提出累積降雨量與土砂災害發生點之關係圖

#### 4-2 本研究之雨場劃分與雨量站之分界

在分析公路邊坡崩壞點所對應之累積降雨量時，須先確定該場次降雨之起始點，否則起點不確定則以累積降雨量就會在崩壞點之際，有不同的認定標準而有所明顯之差距。而在探討此次降雨引發的邊坡崩壞是否受到上一場降雨之影響時，則上一場降雨之終點也須加以明確化，以利相臨兩個雨場可以精確地切割，清楚明白一次降雨的起點與終點之標示，這樣才能定義出一個「雨場」的始末。

至於如何來劃分雨場的方法很多，本研究回顧過去研究者對於引發邊坡崩壞以及土石流的降雨「雨場」各有不同之劃分方法，大概可歸納成 8 種類型如表 4-2-1[8][9]所示。本研究則採用該表第 7 種類型之雨場定義，如圖 4-2-1 所示，即一個雨場(一場連續降雨過程，其有效降雨時間的起點為前 12 小時累積雨量達 10mm 之時為始，而有效降雨時間的終點則定義為其後 12 小時累積降雨量不足 10mm 之時為末)；這種雨場切割的方式也是其他學者使用原來之型式後的修正版本，故其雨場切割的結構是相當略似。該圖為阿里山雨量站於 2007 年聖帕颱風時所觀測到之暴雨雨場，圖中延時在第 25 小時處為雨場的起點，延時第 101 小時處為連續降雨雨場之終點，則該「一場連續雨降雨之雨場」歷時約為 77 小時。

表 4-2-1 不同研究者所使用之雨場切割方式

類型	雨場切割方式	研究者(年份)	研究對象
一	一場連續降雨過程，其前後24小時以上皆無雨量記錄	陳慶秋(1995)吳傳威等人(1999)	邊坡災害
		謝正倫等人(1993、1995) 陸源忠(1995)陳晉琪(2000)	土石流災害
二	一場連續降雨過程，其前後12小時以上皆無雨量記錄	譚萬沛(1999)	土石流災害
三	一場連續降雨過程，其前後6小時以上皆無雨量記錄	田坤國(2000) 謝玉興(2003)	邊坡災害
四	一場連續降雨過程，以其時雨量大於4mm之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續3小時均小於4mm之時為有效降雨時間結束。	瀨尾克美、船崎昌繼(1973)江永哲、林啟源(1991)謝正倫(1993、1995) 陸源忠(1995)詹錢登等人(2001)	土石流災害
五	一場連續降雨過程，以其時雨量大於4mm之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續6小時均小於4mm之時為有效降雨時間結束。	黃婷卉(2002) 詹錢登、李明熹(2004)	土石流災害
六	一場連續降雨過程，以其時雨量大於4mm之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續24小時均小於4mm之時為有效降雨時間結束。	曾炫學(2003)	土石流災害
七(本研究採用)	一場連續降雨過程，以前12小時累積雨量達10mm之時為有效降雨時間開始，而以後12小時累積雨量達不足10mm之時為有效降雨時間結束。	詹錢登等人(2002)	土石流災害
		吳秉晃(2002) 曾志豪(2004)	邊坡災害
八	一場連續降雨過程，以前24小時累積雨量大於10mm之時為有效降雨時間開始，而以後24小時累積雨量小於10mm之時為有效降雨時間結束。	范正成等人(1999、2001)	土石流災害

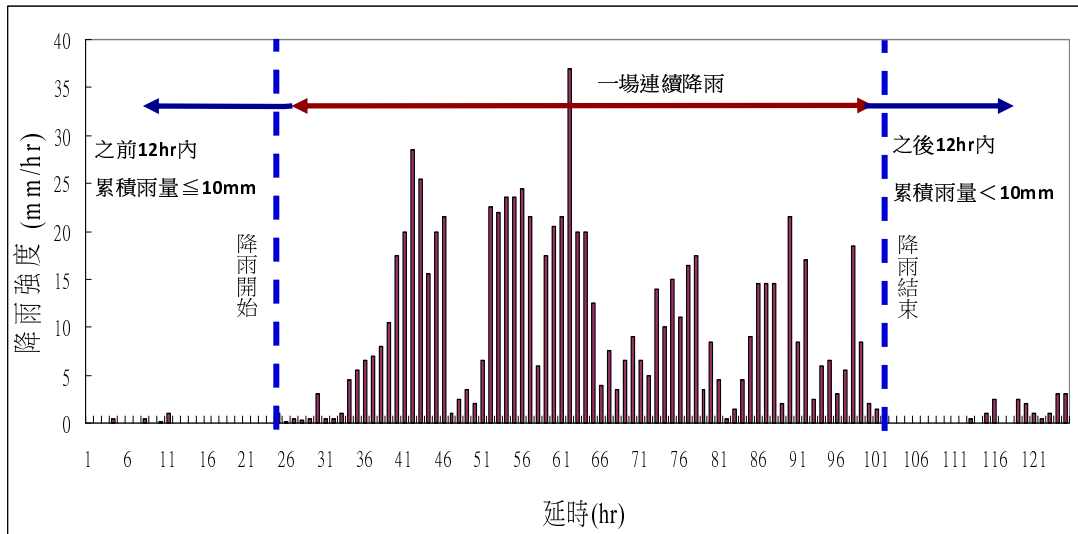


圖 4-2-1 本研究採用之一場連續降雨組體圖(以 2007 年聖帕颱風為範本，雨場之起迄點均以 12hr 小於 10mm)

#### 4-3 公路邊坡崩塌之定義

1991年國立成功大學防災研究中心謝正倫教授提出，土石流堆積物的組成材料之粒徑來區分其規模約有下列三種型態[11]：

- 一、泥流型土石流 (Mud Flow)： $\phi \leq 0.1\text{mm}$ 以下的粒徑材料含量在50%以上。
- 二、混合型土石流 (Debris Flow)： $\phi \leq 0.1\text{mm}$ 以下的粒徑材料含量在10~50%之內。
- 三、礫石型土石流 (Granular Flow)： $\phi \leq 0.1\text{mm}$ 以下的粒徑材料含量在10%以下。

另外日本國學者Takahashi在1991年依照土石流的規模，區分如下所列之四級[12]：

- 一、第1級：土石流的總體積約為 $\leq 1000\text{m}^3$ 。
- 二、第2級：土石流的總體積約在 $1000\sim 4000\text{m}^3$ 之間。
- 三、第3級：土石流的總體積約在 $4000\sim 15000\text{m}^3$ 之間。
- 四、第4級：土石流的總體積約為 $\geq 15000\text{m}^3$ 以上。

本文使用的勘災記錄表中所列崩塌坍方數量，係於公路崩塌災害發生後待雨勢漸歇已達安全之際，工務段之工程人員才敢去崩塌現址勘災丈量現況等，雖不能極精確記錄出公路邊坡發生崩塌坍方當時之正確時間到達幾分與幾秒，但因台18線阿里山公路係我國最重要國際觀光道路，每日車流量極為龐大（常日遊覽車高達百餘輛與難計量小客車載近萬人入園；尖峰時段如櫻花季則逾四百輛大客車與達三萬人入園），且沿路居家及商販眾多，還有很多冒著危險的騎士進出絡繹不絕，一旦該重要國際觀光公路有崩塌落石阻擾車輛通行，必然就會有許多旅客或商家住民立即通報。而工務段目前二十四小時值

勤人員之反應，也會在甚短的容許時間內(約十分鐘)動作執行後續現勘與清排除之作業(除非當時因還持續山崩落石，在安全上不容許之外)，故以目前紀錄所呈現之真正崩塌時間的精確度實在足以堪用；更何況崩塌的土石量或泥流究竟要多少數量，才可定義其是降雨所致之公路崩塌呢？還是一顆卵礫石(  $\phi > 60\text{mm}$  )的掉落公路上就算數嗎？實務上，就公路管理機關而言是只要公路上已經有零星的落石或泥流、樹叢倒塌來妨礙到公路上車輛必需減速繞行、跨越逆向車道或停止再開的通行之際，即可以定義 $10\text{ m}^3$ 其為阿里山公路崩塌之起始點。

故以阿里山公路 37k+100 處，在 2013 年 05 月 17 日 11 時，有一小型崩塌的土岩塊在內側邊溝與車道路面上，倒臥在路面邊線內。該風化砂岩約為寬度 0.3m 長度 0.5m 與厚度 0.2m 體積約  $0.03\text{ m}^3$ ，雖不致於阻斷該交通動線但就會讓來車要躲避崩石而駛入逆向的車道了，實拍相片如圖 4-3-1-1 至 2 所示。故據此可知倘若要精確到十分鐘以內來精確掌握公路崩塌時間之「真值」，以為公路防救災的「啟動、監視、部署、調派、預警、管理、管制、封閉、迴避、就地安置」等等措施的依據，實也無此需要再浪費如此珍貴民脂民膏，只要加些安全值即可應付。況且公路管理是要化繁雜為簡易且實際可行，故必要的簡化與內含安全係數及易懂好用，讓所有值班的人員均能瞭解與簡易操作又不需要去記憶經常變來變去的管理數值的複雜性，這才是公路防災安全經濟方便可行的方向目標。

本研究亦考量到該公路養護管理單位維修及交通運輸的現場實務操作經驗，故粗略定義該公路的崩塌阻斷分兩級，如下所示：

- 一、限制通行：崩塌量約為  $10\text{ m}^3$  以下，其考量為阿里山公路屬於山嶺區六級路，東西行(亦可稱為順樁號與逆樁號)雙向各有一車道，車道寬度為 3.5~3.75m，其路肩與設施帶有時小於 1.0m，故倘若有崩塌落石倒在一車道的寬度，長度約 10m，其堆積土石厚度達 0.3m 時，一般車輛就難以跨越過去，必須繞轉入逆向的反向車道前進才能避開，故如此約達  $10\text{ m}^3$  左右就形成了限制通行。也以此為該公路崩塌的標準值，較可提供在現場第一時間通報與現場勘災或夜間大雨時用路人通報時易記好用。
- 二、完全阻斷：是以超過上述的限制通行之崩塌數量  $10\text{ m}^3$ ，即為東西雙向公路均已阻斷之崩塌，其數量較大故較易區分辨識。

故實務上是以  $10\text{ m}^3$  為分界點，其上為公路崩塌與本研究未來再延續記錄分析的現場標準。過去的工務段執勤人員接獲通報的「零星落石」與「零星土石流」等字眼宜予以歸類到上述的『限制通行』之程度。倘若其值勤通報記錄簿上所寫的「零星坍方」與「明確  $> 10\text{ m}^3$ 」或是已有現場之勘災記錄者，均可定義為『公路崩塌阻斷』了。





圖 4-3-1-1 阿里山公路 37k+100 在 2013 年 05 月 17 日 11 時的零星小崩塌落石會有略為妨礙正常行車之情況。(賴明煌拍攝)



圖 4-3-1-2 阿里山公路 37k+100 在 2013 年 05 月 17 日 11 時的零星小崩塌落石已略妨礙正常行車而轉駛入逆向車道之情況。(賴明煌拍攝)

#### 4-4 公路邊坡崩塌預警值基準之介紹

賴明煌等人在 2011 年 8 月於桃園龍潭舉辦之「2011 第十四屆大地工程學術研討會暨國科會成果發表會」，彙整 1996~2010 年間該阿里山公路降雨特性與崩塌記錄等資料，其間整理有 89 場的颱風記錄內含 18 場致災的颱風暴雨、58 場山區的豪雨等記錄，迴歸統計分析，提出在阿里山公路的低、中、高海拔路段的颱風暴雨之「集中型降雨」與山

區豪雨的「分散型降雨」兩大類型公路崩塌預警管理值，如表 4-4-1 與 4-4-2 所示[13]。

在該兩表中的管理基準值之間的使用上之合併參考值，稱謂為「邏輯值」就是「AND、OR」這兩值。當管理基準值是使用「AND」，就是在該階段的各值不論是十分鐘降雨量、一小時降雨量、三小時降雨量、二十四小時降雨量等，均要同時存在，才可以執行該階段的管理措施，所以其安全性(或然率)必然較低，但對於該公路的防救災管制就少，顯見該重點監控路段，可能是該處地質等條件相當良好或是已有很好的人工護坡工程(例如 71K+100 芙谷峽橋蓋好後，基層單位擬要建議公路總局取消這一段便道的重點監控)。至於使用「OR」這個值，就是代表所有降雨的條件，只要其中有一項達到其界限，就必須啟動該階段管理措施，故其安全性是極高，但相對該公路的管制措施就極為嚴謹，其反彈也就會高。

這種「邏輯值」AND、OR，其中是以很精細(就目前防救災而言量測到十分鐘是頗為精準的要求)的 10 分鐘 ( $I_{10} = \text{mm}/(hr/6)$ )、1 小時的降雨量 ( $I_1 = \text{mm}/hr$ )、3 小時的降雨量 ( $I_3 = \text{mm}/3hr$ )、24 小時的降雨量 ( $I_{24} = \text{mm}/24hr$ ) 等降雨參數，考量到過去的致災歷史與公路管理養護單位所做之人工護坡工程等因子，以「AND、OR 邏輯值」來作調配管制，以滿足目前詭異多變的降雨情況，讓現場監控重點路段或橋梁，有更靈巧的管制界限。但也因容易有多重標準，而必然會易生複雜與衍生錯誤判讀的出現。而這「AND、OR 邏輯值」的構成模式，本研究將之濃縮成合併圖，來加以區分其邏輯值中的「AND、OR」與其應用的單位小時降雨量  $I$  (也可稱為尖峰的最大降雨量)與累積雨量  $R$  (又可區分 3 小時與 24 小時)，本研究僅以單位小時  $I$  與累積 24 小時降雨量  $R$  的二項來描述，如圖 4-4-1a~c 與 4-4-2a~c 所示，該圖中的邊界畫虛線表示是 $\infty$ 。這種邏輯值的觀念應用也是一種很特殊靈巧的創舉，值得後續觀查其使用的實用性。但若從安全的面向為公路管理出發點，採用「OR」是較為安全但適合公部門執行之依據；但若從經濟快速旅遊的面向為目前用路人的角度來看待這些公路防救災的基準值，就希望能夠使用「AND」，是較為不保險但適合私部門要來旅遊的內心期盼值，尤其是遠來 china 旅客，均希望不論風雨多麼大，他們一定要上阿里山才不會白來臺灣的心態，因此也就肇致頗多交通事故的發生[14]。

本研究也把該公路養護管理機關於 2013 年 03 月 19 日所核定之阿里山公路「二級監控路段(含便橋)預警值、警戒值、行動值基準表」列舉如文後表 4-4-3 所示(列在附錄)。在該表中的「第 1 格公田村」就是本研究區域內的低海拔路段，故使用其鄰近雨量站為瀨頭雨量站；在該表中的「第 2 格樂野村 7」就是本研究區域內的中海拔路段，養護工務段考量「流域管理」是採用瀨頭雨量站，但本研究是取「近距離」以海拔與距離較為相近的奮起湖雨量站，這一項兩者相當不一樣；在該表中的「第 3 格」就是本研究區域內的高海拔路段，故使用其鄰近雨量站為阿里山雨量站。其中 71K+100 芙谷峽橋蓋

好後其安全性提高頗多，故如在該表中的「第 5 格」，基層管理單位就擬建議公路養護管理主辦機關與之取消重點監控路段（便道）[15]。

海拔 \ 管理值	管理警戒值		管制行動值	
	最大降雨強度 (mm/hr)	有效累積降雨量 (mm)	最大降雨強度 (mm/hr)	有效累積降雨量 (mm)
低海拔	25	250	35	350
中海拔	20	310	40	380
高海拔	25	300	50	600

表 4-4-1 颱風暴雨時台 18 線阿里山公路邊坡崩塌預警管理值 (摘自賴明煌等人, 2011 年)

海拔 \ 管理值	管理警戒值		管制行動值	
	24 小時累積雨量 (mm)	15 天前期累積雨量 (mm)	24 小時累積雨量 (mm)	15 天前期累積雨量 (mm)
低海拔	30	300	50	360
中海拔	25	280	50	280
高海拔	25	250	60	300

表 4-4-2 山區豪雨時台 18 線阿里山公路邊坡崩塌預警管理值 (摘自賴明煌等人, 2011 年)

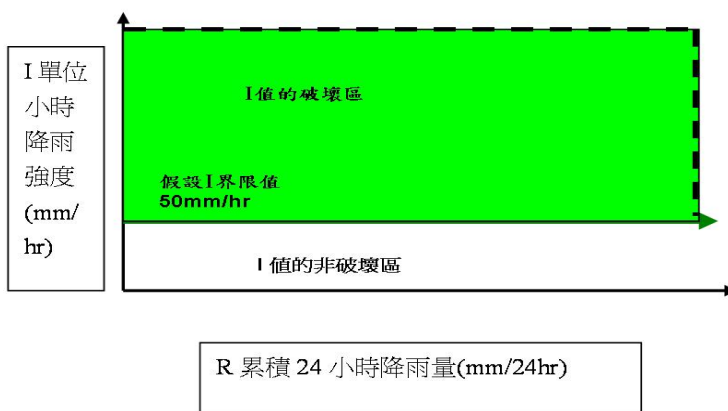


圖 4-4-1a 邏輯值 AND 在考量只有單位降雨強度 I 的破壞界限圖

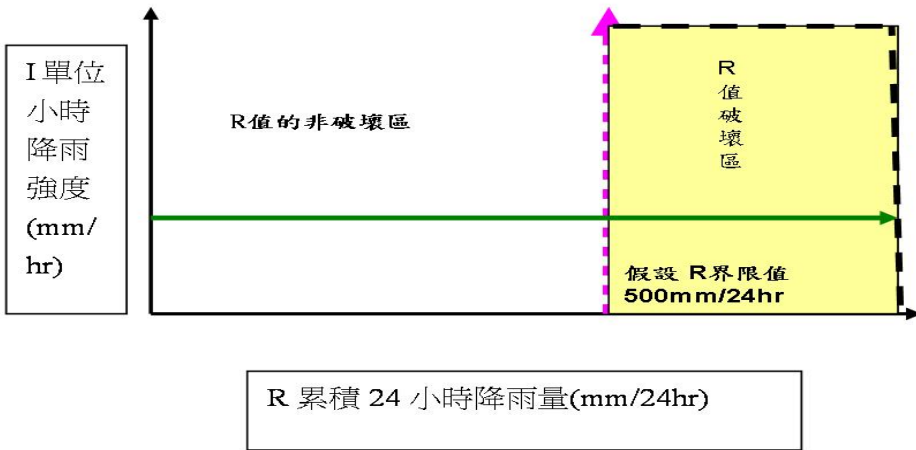


圖 4-4-1b 邏輯值 AND 在考量只有累積降雨強度 R 的破壞界限圖

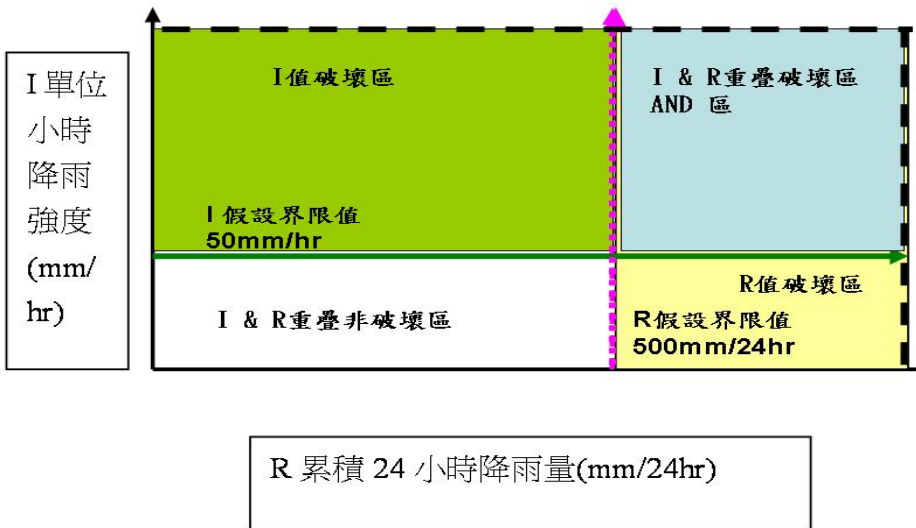


圖 4-4-1c 邏輯值 AND 在合併上面 a、b 圖的破壞界限圖(僅有右上角 AND 區域才會發生崩塌，其餘均不會崩塌)

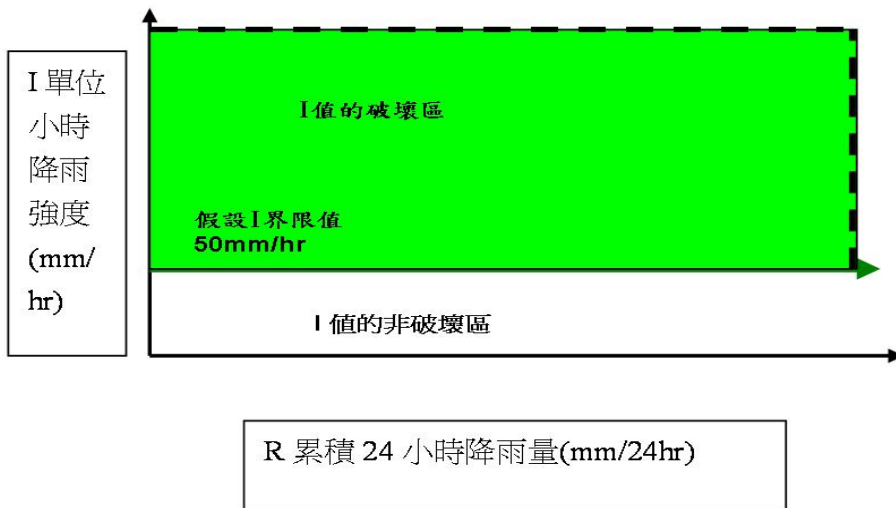


圖 4-4-2a 邏輯值 OR 在考量只有單位降雨強度 I 的破壞界限圖

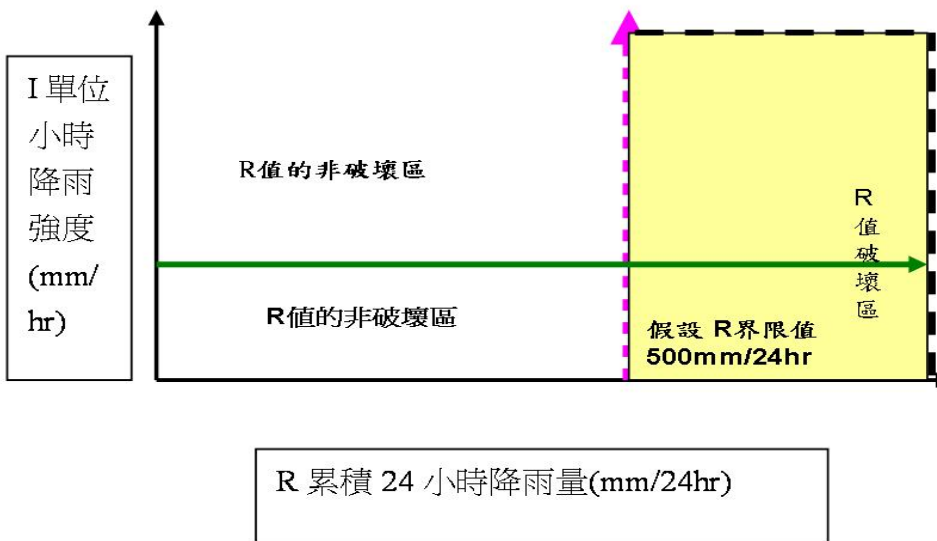


圖 4-4-2b 邏輯值 OR 在考量只有累積降雨強度 R 的破壞界限圖

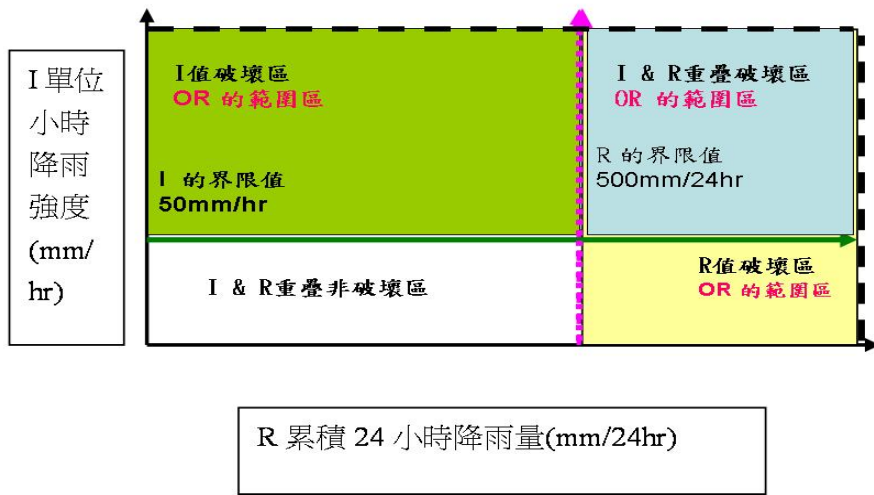


圖 4-4-2c 邏輯值 OR 在合併上面 a、b 圖的破壞界限圖(除左下角之外，其餘區域均會發生崩塌)

## 五、實例之比對與 519 事件之介紹

本文挑選國內赫赫有名的「廬山地滑區邊坡崩塌事件」之實例，用此國內實例來比對日本池谷浩君對降雨延時與累積降雨量的關係曲線發生崩塌點原則之適用性，其所得之結果相當接近其律定原則。

另外也再以今年 2013 年 5 月 19~23 日的大豪雨在阿里山地區公路形成崩塌「519 豪雨事件」之例子，來比對池谷浩的崩塌時間與累積降雨量之原則，發現在阿里山公路高海拔地區的豪雨崩塌事件，也有頗為類似的適用性；但是在低海拔地區的崩塌事件，其實情與該原則就有明顯的不一致，顯示池谷浩的模式原則概也以颱風集中型降雨所致之崩塌事件較為適用；而一般長期降雨之梅雨與間歇性降雨的山區豪雨就有需要大幅修改。

### 5-1 廬山地區邊坡崩塌實例之比對

以國內顯赫有名的廬山地滑實例來說明，在 2008 年 9 月 12 日~9 月 15 日辛樂克颱風來襲時，南投縣仁愛鄉的廬山溫泉區因雨受創嚴重，多處產生土石流及岩層崩滑之災害。依據經濟部中央地質調查所的記錄[4]，9 月 15 日上午 10 時累積雨量已達 960 mm 之高(約以本研究的雨場起算在 09 月 12 日的 20 時達到計算雨場，則其累積雨量約在

960mm/62hr)，已有小型土石流發生。中午 12 時民宿飯店蜜月館停車場後方山坡岩層崩滑，其下方的綺麗飯店一帶之母安山坡趾處，大面積山坡往河岸下斜，該處附近的雨量記錄如圖 5-1-1 所示。在該圖中有數處尖峰時雨量出現，最先發生一處在 9 月 14 日 15 時，又有一處在 9 月 15 日 7 時，另一處在 9 月 15 日 11 時；而累積降雨量曲線在 9 月 15 日部份，在 9 月 15 日 7 時前是呈急陡直線，而在 8~9 時處累積降雨量則開始偏離直線段(如  $Q_2$  點)，同日在中午 11 時之前又是一急陡直線段，過了 12 時之後累積降雨量又偏離直線段(如該圖之  $Q_3$  點)，而小型土石流發生於  $Q_2$  旁之 10 時，大規模山坡岩層崩滑則發生於  $Q_3$  之 12 時，這點與池谷浩[7]所言土砂災害易發生點是相通的，即土砂災害大部分是發生在累積降雨曲線之斜率由陡趨緩之際，即是累積降雨曲線開始偏離原有直線段之後才來發生崩塌。按這些統計分析的降雨與崩塌的關係圖，更進一步推論其土砂災害，則會發生在累積降雨量的曲線陡直上升卻又趨緩之際，而且也會大多在各個坡度變化點之後發生崩塌。

在 2011 年 3 月，於經濟部中央地質調查所詳細調查分析發現，認為廬山地區北坡之母安山，只要累積降雨量超過 800mm，就可能引發極明顯邊坡位移地滑，爆發嚴重崩塌之災情。在社會輿論壓力下，為避免類似 2008 年莫拉克風災對高雄甲仙鄉小林村滅村事件再度發生，南投縣政府在 2011 年 6 月斥資了 36 億元賠償金，要把該聚落全數搬遷至 36 公里外的埔里鎮福興里進行遷村安置，但是該地區的違規業者還是以莫拉克風災已經事過境遷與龐大的違法觀光收入，堅拒不遷。遂於 2012 年 5 月 31 日，南投縣政府公告廢止廬山溫泉區，但廬山溫泉業者仍然表達不滿，抗議政府的「先公告廢止溫泉區、卻不先安置業者」。但是在該年 6 月 10 日，因為單日 24 小時的大雨已累積近 300mm，當日的雷達回波圖如圖 5-1-2 所示，其當日之累積降雨量圖，如圖 5-1-3 所示，仁愛鄉公所就對廬山溫泉區旅客及當地居民實施強制撤離之措施，預定維持廬山地區三天的淨空狀態以為避災之考量。6 月 11 日，則因雨引發土石流與岩石崩落等災情，廬山溫泉上方的屯原地區工寮，有三名工人慘遭活埋，經搶救後還是釀成二人死亡，一人受重傷之慘劇。由此悲劇可知，具有公權力的各級政府，倘若再持續民粹選票考量的沉迷在好好人之鄉愿不作為也不得罪任何人，未能即時依法令與學理分析之結果進行必要的強制管制措施，則該地區當日的遊客員工達三百餘人未提早即時強力撤離，則該 0610 豪雨事件的死傷人數必然非此而已，該事件其豪雨重大土砂災例如行政院農委會水土保持局的速報，如圖 5-1-4 所示。故檢視當日累積降雨量與崩塌關係圖，發現該事件崩塌於 6 月 10 日 22 時，當時每小時降雨強度  $I$  為 16.5mm/hr、其累積雨量  $R$  為 259.4mm，但是該雨場之崩塌前期的尖峰降雨強度發生在 16 時其該小時降雨量  $I$  約為 40mm/hr，而其後的 17 時就陡降至約 10mm/hr 為其尖峰之 25%而已，之後各小時降雨量並在 21 時的 20mm/hr 之間持續降雨，故也符合池谷浩君的崩塌律定，在累積降雨曲線陡坡變緩坡後發生崩塌之原

則。

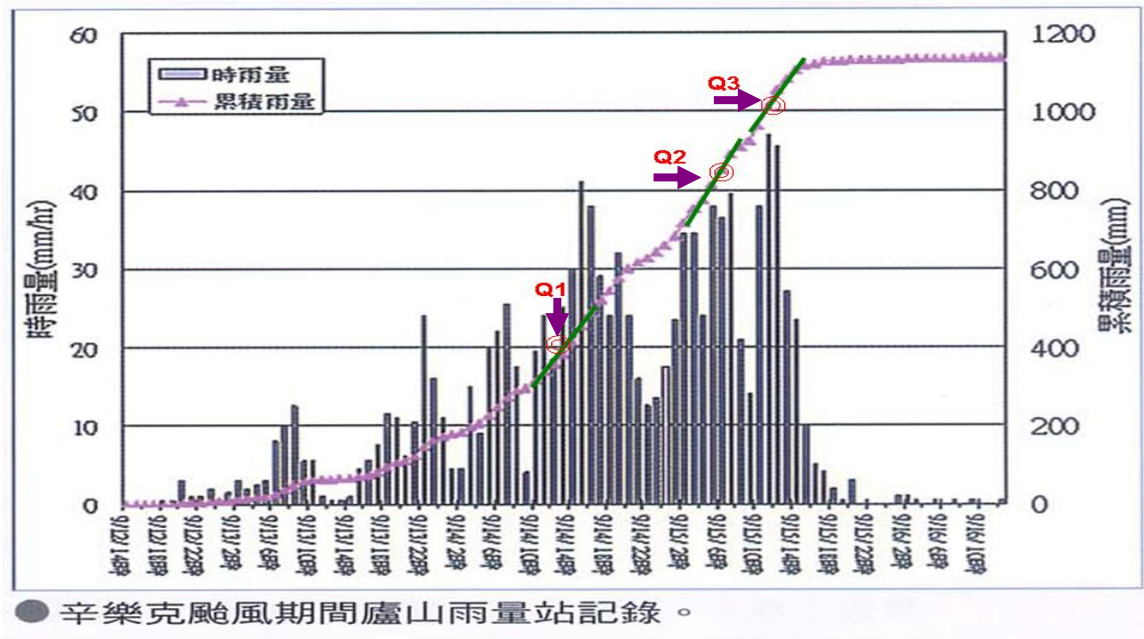


圖 5-1-1 2008 年 辛樂克颱風南投廬山雨量圖

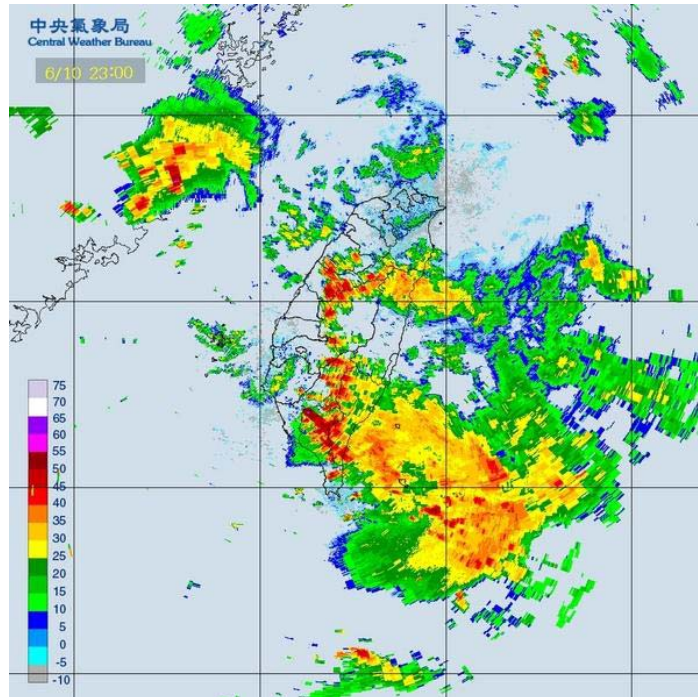


圖 5-1-2 2012 年 06 月 10 日臺灣的雷達回波圖(摘自中央氣象局)



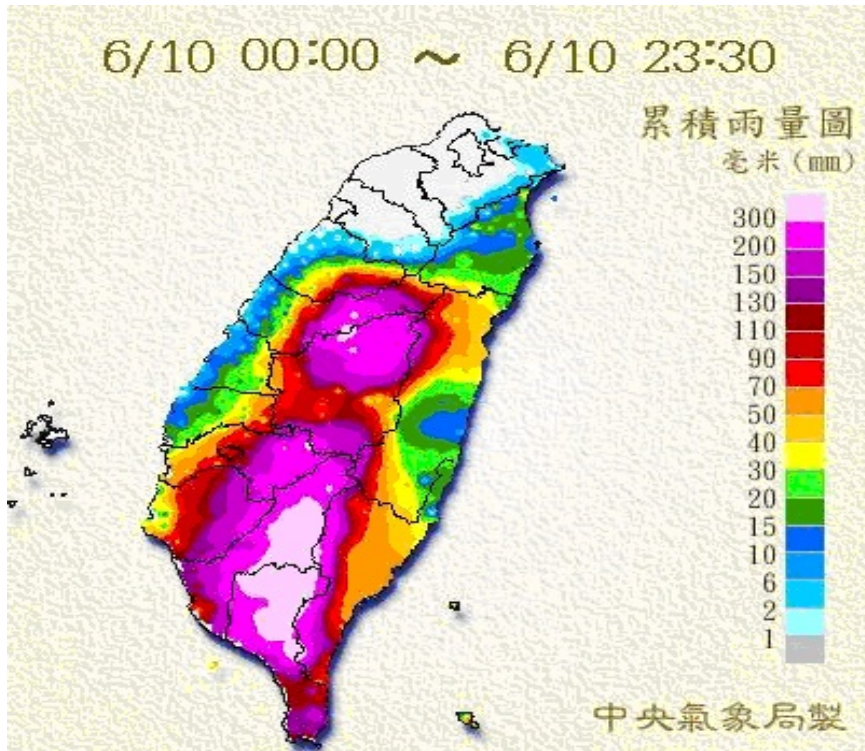


圖 5-1-3 2012 年 06 月 10 日臺灣累積降雨量圖

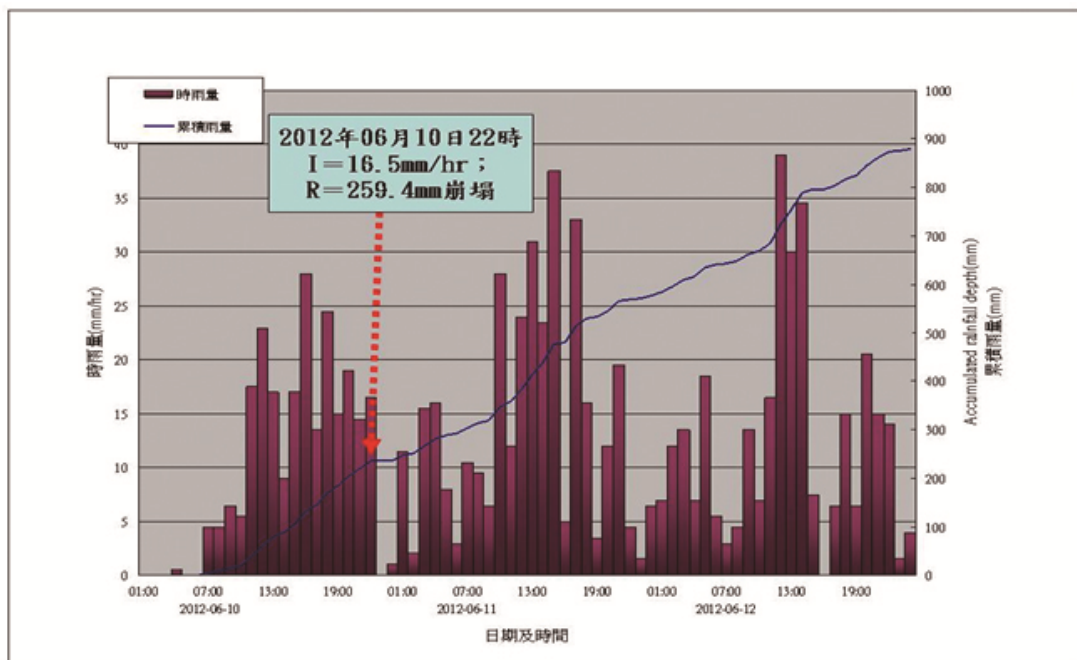


圖 5-1-4 2012 年 0610 豪雨水災南投廬山降雨量與崩塌關係圖

## 5-2 阿里山公路受 519 豪雨誘發邊坡崩塌實例之介紹

2013 年 05 月 17 日凌晨，公路養護管理機關在 QPESUMS 系統上觀測到雷達回波與地面天氣圖等資料，發現高雨量的強烈梅雨雲層之鋒面系統南下，至當日下午約 16 時該雲帶已經東移至我國東部海域，且在中南部地區均已陸續降下豪雨。本研究區域內的阿里山雨量站在高海拔地區，在 17 日已有累積達 124.01mm/24hr 雨量。鋒面雲帶並於 18 日入夜後因受偏南氣流導引從南海暖濕空氣往西北向合流於中國東南沿海，並隨低壓系統東移出海影響我們台灣，19 日清晨起影響我國中南部各地區均下雨。並於 19 日上午開始出現較強雨勢(其強度在 06 至 12 時之間有 20mm~15mm/hr，其中 10 與 11 時雨量約達 40mm/hr)，當日累積雨量達到 210.52mm/24hr。20 日在阿里山雨量站，量測的雨量趨緩，當日累積雨量只有 89.03mm/24hr，當日的每小時降雨最大在第 24 時的 20.5mm/hr。21 日的雨勢略大，當日累積降雨量達 138.01mm/24hr，最大單位小時尖峰降雨量在 06 時有 38.5mm/hr，但其後 07 時則降 18.5mm/hr 往後更一直趨緩。22 日累積為 35.61mm/24hr；23 日則為 56.5mm/24hr，且 14 時下 1.5mm/hr 後 10 小時以上之降雨量均為 0，故依據以本研究所選用的兩場劃分模式就視同該兩場結束。

這整個就是 519 的暴雨事件，以阿里山雨量站之資料來看，其間視同有 7 天共 168hr 總累積降雨量為 728.09mm/168hr，其平均量才 4.33mm/hr。其降雨的規模雖然不能與大型颱風來比較，但其中還是有幾處的單位降雨強度，與颱風加害之際很相似，例如在 19 日的 06~12 時之強降雨，並且當下又夾帶有強風的雹線（引述交通部中央氣象局預報中心主任鄭明典在 19 日所稱「大豪雨」之警告），故本研究特地以此 519 事件的資料視為接近颱風暴雨的「集中降雨」類型，並藉由其降雨特性與延時，來檢驗是否吻合池谷浩君的模式，也可來檢視本研究的律定基準值及該公路養護管理機關在 2013 年 03 月 19 日核定之依據執行的防救災「重點監控路段（含便橋）預警值、警戒值、行動值」的基準是否允用，以利作更進一步更實務的修改之。

在本研究區域內有劃分出三個低、中、高海拔區域，其公路沿途在此次 519 事件，有很多路段地點發生崩塌、屑岩落石與泥流(可稱為爛泥流或泥流型土石流)，雖然若干的泥流或零星的小崩塌，在該公路養護管理單位，並未有登錄在崩塌坍方的記錄中，其崩塌記錄表如表 5-2-1 所示。或是該表上或有些雖然登載，但是當時的值班人員並沒有要求電話通報的用路人明確的指出其崩塌量，僅是含糊地標寫著「零星落石」、「零星土石流」、「零星坍方」等等非量化描述而已，這一部分值得再精進改善使之記錄明確化與使用科學儀器來佐證化。舉例講，在 19 日週日早上 09 時前在高海拔之 82k+500 處發生的不小的崩塌(約 720 m<sup>3</sup>)，目測其崩積在公路路面上約達寬度 8m 長度 60m 厚度 1.5m 之砂頁脆岩夾土泥漿等，其現場珍貴施工前、中、後的實景圖如圖 5-2-1~4 所示，但是在工務段針對這處崩塌的通報記錄上僅僅登載著「零星坍方」而已。幸好當時有在 16 日就提前已

進駐的搶修保全廠商春富營造公司之相關搶通施工機械 8 部計有 7 人駐紮在 70k+100 處，立即就近趕往搶修開通，並且因應山上近千人旅客要趕下山就只好有一邊搶通，而且還要挖搶其下邊坡側的車道為優先施工順序，以利上邊坡側的崩塌土石可以做安全防護上邊坡的持續降雨崩落土石之加害，一邊在安全的情況下，約 11 時由其交通指揮人員引導用路人儘快單線通車離開，但也一直施做到當日 14 時(其降雨強度為 40.5mm/hr)才完成全部的清除與當處因 12 時(當時降雨強度為 14.5mm/hr)不再掉落崩石(本研究團隊的近十五人合計三部車輛也在此時與此地上下山被困住二趟，順便可以兼做搶通之交維與觀察其崩塌情形)，但是該處該雨場自 17 日 0 時至 19 日 09 時，在阿里山雨量站的累積雨量才達到 289mm/57hr，這不算大的雨也崩塌這樣大，令人深感每一次雨季來的第一場大豪雨之破壞威力明顯大很多。

另外一個描述現勘記錄不量化極需改善之例，在 17 日週五近 12 時在台 18 線 39k 處也發生了泥石流淤積在路面上，適為本研究撰寫者驅車經過巡察，立即通報給警察廣播電臺台中分臺來對全國收聽路況的民眾廣播預警，並也電知基層管理幹部派了一部山貓機械來清刮這些泥流型的土石流或稱崩塌泥土，以防用路人的小客車低底盤浸泥泡湯引致故障在此地，當時目測淤積爛泥達寬度 8m 長度 15m 厚度 0.2m，但是工務段的通報也沒有此次記錄，因此極易喪失這些珍貴的崩塌與降雨關係的資料，至為可惜值得立即改善。05 月 17 日該地點的公路崩塌泥流情況其施工前實景圖，如圖 5-2-5 所示，情清理後的相片如圖 5-2-6~7 所示。

同時在當日的阿里山公路 38k+700，也有發生邊坡上方的兩條侵蝕溝合流沖下之崩塌礫石夾泥漿，砸傷該漿砌卵石護坡之表面與阻礙公路順樁號路面的部分通行，其數量約只達 20 m<sup>3</sup>如圖 5-2-8~10 所示，很快就被清理往下邊坡護欄外側堆置，並且在其車道行車上游端加設置有交通錐一枚來警告用路人小心，但是這一崩塌與清理的作業，就沒有記載於工務段的報告內，因此這也是該公路養護管理單位的特性，「慙慙做沒人記錄沒宣傳、沒人知其艱辛暨危險」，但對於防救災的記錄填寫與保存及延伸使用上，就有不足之影響，亦頗覺得十分可惜。

本研究搜集到本次 519 豪雨事件自 16 日到 24 日期間，分別劃分在低、中、高海拔之瀨頭雨量站、奮起湖雨量站、阿里山雨量站的單位小時降雨量與累積降雨量之資料，並且將之整理成表格狀，如表 5-2-2、5-2-3、5-2-4 所示。

檢視該 519 事件在低海拔的雨量記錄與該路段崩塌的記錄，所繪出之間關係圖，如圖 5-2-11 所示。在約以 34K 至 59k 屬低海拔路段地區，以瀨頭雨量站為其鄰近降雨記錄之代表，約有二個崩塌記錄。在 17 日週五 12 時由撰寫者提報之 39k 泥流或土石流下淤積公路東西行雙向路面，認定在此地的此時有崩塌現象發生，則相對其瀨頭雨量記錄的累積雨量曲線上，即可得到該累積雨量曲線的第一個陡坡後，在該日 04 時就有當日最大

降雨量 17mm/hr 之後就持續近乎 0mm/hr 之時降雨量數個小時，到 08、09 時又連續兩小時出現 8mm/hr 之降雨，之後就又降到接近 0mm/hr 的和緩降雨，遂於 12 時發現該處有頗多的泥流一直傾流淤積公路上，此時 10hr 前至今的累積雨量是 48.5mm/10hr，降雨延時 10hr。這種降雨坡度變緩之際發生有崩塌或泥流的情況，亦屬於池谷浩君的模式所描述的範圍，同時該處如實景相片所示，為一高達約 75° 的人工格框植生護坡的陡坡，其坡長約 20m，其坡頂為細粒料的露土頁岩，植生良好，但卻經常泥土流垂流而下。

至於再檢視表 5-2-2，去看 18 日 12 時該 39k 地點又發生零星土石流的崩塌記錄，一直清理到 14 時，並且該清修機具一直在該處等候戒護，雖然沒有甚麼降雨但還是等到 17 時才撤離，這一段的崩塌與降雨之關係，就與池谷浩君的律定模式略有不符；但是因為其崩塌係屬於泥流，故檢視該時的降雨與崩塌圖 5-2-11，又可以發現在 17 日 20 時單位降雨強度為 3.5mm/hr 之前期的累積雨量為 53.5mm/20hr，之後每小時降雨就呈現幾乎為 0mm/hr 之情況共達 15hr，突然在 18 日 13 時降下 9.5mm/hr 之雨量，所以該處又通報有泥流發生。所以也顯示前期降雨在一定的累積量，讓該處上邊坡的泥土層入滲雨水，再等 15hr 約已沒降雨之後，突然又降下接近大雨(15mm/hr)之降雨，就會把這些較屬於細粒料成份（鮮有礫石岩塊）高的泥土層帶溜滑下來，形成了泥流或稱土石流。該處第三階段的崩塌，是在 19 日的 08 時發生的泥流與崩塌，這時的降雨量為 5.5mm/hr，但是 09 時就降大雨 21.5mm/hr、10 時又降該處該事件的尖峰最大降雨量 45.5mm/hr、在 11 時降 18.5mm/hr，該崩塌點就發生在降雨高峰前，其累積雨量曲線從平緩坡度要立即轉變成陡坡之際，也很容易趨動泥流或土石流造成崩塌。故檢視該地的公路上邊坡確實已在這三年復建完成格框植生護坡工程，其結構良好，表面大多長有綠茅草被覆，而在其上方則有呈現裸露的細粒料泥坡與向源侵蝕之現象，故這次豪雨事件沒有發生大規模的崩塌落土，只有產生泥流，此處很值得公路養護管理單位再後續觀查，可能的危害因子，再予必要的事前防治整修。

檢視該事件在中海拔的雨量記錄與該路段崩塌的記錄，所繪出之降雨曲線與崩塌關係圖，如圖 5-2-12 所示，配合檢視表 5-2-3。在中海拔路段約以 59k 至 79K 之間的地區，以鄰近的奮起湖雨量站為其鄰近降雨記錄，計有二個崩塌記錄。再檢視崩塌記錄的表 5-2-1 所示，中海拔第一次是於 68k 發生在 18 日週六 10 時 50 分有零星落石，但是很快在 11 時 10 分就由駐紮在 70k+100 處的開口契約廠商搶通了。其崩塌的時間點在累積降雨曲線上標註出，約略位於該累積曲線之平坦處，表示當時的降雨強度約為 0mm/hr，而其前期降雨累積 12 小時(包含崩塌當時的那小時之前的雨量)僅為 0.5mm/12hr，而再往前 3.0mm/24hr，可見該處的前期降雨累積量不論是 12hr 或 24hr 均是很低，但公路卻是崩塌了，只不過其數量在崩塌記錄表中，是載著「零星落石」，顯然又與實況有差距。

不過在 19 日 12:10 於該中海拔路段的 69k+600 也發生了崩塌，惟其記錄表中亦是載

著「零星落石」，但遲至當日 13 時才開放通車，顯示這次崩塌量必然比 18 日的 68k 來得大。且這一次本研究撰寫者也有與李德河教授等相關研究人員到現場，該路段約在當日 10 時其 65k+600、67k+800 共二處也有些確實零星落石與泥流，所以就阻塞在下邊坡的紐澤西護欄底部的洩水孔，還有過去幾次的崩塌清除，因為盲目走馬看花之觀光趕行程與通車壓力時效的迅速要求與水保、森林等法規不能遠運棄土等限制，搶通公路清除公路上的落石大多就近刮搬於護欄之外而已，故造成公路雙向路面排水阻塞形成長約 20m 之積泥水厚度約達 30cm；故也有一些小客車因底盤過低而不敢跨越，形成塞車或拋錨待援，故有用路人立即電話通知工務段派人來清除搶通。故從這樣現場的豪雨崩塌之描述與值班所登載之崩塌記錄表確實有明顯的差距。以圖 5-2-12 在 69k+600 的崩塌點與其降雨累積曲線之比對，當時的單位降雨強度為 11mm/hr，往前(當下的 12 時)12hr 前期延時的累積降雨量為 131.5mm/hr，再往前則為 172.5mm/24hr，其崩塌點就會相當吻合池谷浩所提的模式，確實在累積降雨量的陡升曲線後開始變緩之際就發生崩塌了。

並再來檢視高海拔地區的崩塌與累積降雨曲線的關係，在崩塌通報的記錄表上，如表 5-2-1 所示有 2 次崩塌，其登載也是與現場崩塌達約 720 m<sup>3</sup> 的數量有極明顯不一致的差異，幸好研究團隊有到現場與有相片來佐證其客觀與正確性。第一處 82k+500 於 19 日 09:00 時登載崩塌，一直清理到 11 時才能勉強單線通車，當時的降雨強度  $I=27\text{mm/hr}$ ，而其前期累積降雨量  $R_{12}=91.5\text{mm}/12\text{hr}$ 、 $R_{24}=164\text{mm}/24\text{hr}$ 、 $R_{36}=169.5\text{mm}/36\text{hr}$ 、 $R_{48}=198.5\text{mm}/48\text{hr}$ 、 $R_{56}=289\text{mm}/56\text{hr}$ ，其發生崩塌的時間點，恰在該降雨累積曲線的陡直段上，其後 10 時的  $I=40\text{mm/hr}$ ，而在 11 時發生本次豪雨事件中單位小時最大尖峰降雨量  $I=40.5\text{mm/hr}$ ，之後雨勢明顯下降在 12 時  $I=14.5\text{mm/hr}$ ，而更後面 13 時則  $I=9.5\text{mm/hr}$ ，之後六個小時的幾乎均是  $I=0$ 。其豪雨事件的雨場如圖 5-2-13 所示。

另一處是於 19 日的 14:10 時發生在 80k+100 的崩塌，其清除可通車時間為 15 時，故其崩塌量應比 82k+500 大。當時崩塌的  $I=0\text{mm/hr}$  而累積 12 小時降雨量  $R_{12}=197\text{mm}/12\text{hr}$ 、 $R_{24}=258\text{mm}/24\text{hr}$ ，而其後有 5 小時降雨量幾乎為  $I=0\text{mm/hr}$ ，所以該處的崩塌點恰落在累積降雨量曲線最陡峭的直線段因其後單位降雨量變低而變緩坡之際，就發生的崩塌的通報，相當吻合池谷浩的模式律定。

表 5-2-1 本研究區域 2013 年 519 豪雨事件崩塌與累積雨量統計表

日期	通報時間	里程樁號海拔區域	坍塌情形	通車時間	雨量站測得降雨情形	
					(第一適用海拔區域)	(第二適用海拔區域)
5/18	10:50	台 18 線 68 k (中海拔)	零星落石	11:10	奮起湖雨量站(中海拔區) 16 日: 10mm 17 日: 67.5mm 18 日(至 10 時): 0.5mm 總累積雨量: 78mm	阿里山雨量站(高海拔區) 16 日: 14 mm 17 日: 24 mm 18 日(至 10 時): 1 mm 總累積雨量: 139 mm
5/18	12:00	台 18 線 39 k (低海拔)	零星土石流	14:00 清除完 竣並原 地待命 至 17:00	瀨頭雨量站(低海拔區) 16 日: 14,5 mm 17 日: 54mm 18 日(至 12 時): 0.5 mm 總累積雨量: 69 mm	—
5/19	08:00	台 18 線 39k (低海拔)	零星土石流	17:00	瀨頭雨量站(低海拔區) 16 日: 14,5 mm 17 日: 54 mm 18 日: 28 mm 19 日(至 08 時): 22 mm 總累積雨量: 118.5mm	—
5/19	09:00	台 18 線 82 k+500 (高海拔)	零星坍方	11:00	阿里山雨量站(高海拔區) 16 日: 14 mm 17 日: 124 mm 18 日: 73.5 mm 19 日(至 09 時): 91.5mm 總累積雨量: 303 mm	—
5/19	12:10	台 18 線 69 k+600 (中海拔)	零星落石	13:00	奮起湖雨量站(中海拔區) 16 日: 10mm 17 日: 67.5mm 18 日: 41.5mm 19 日(至 12 時): 131.5 mm 總累積雨量: 250.5mm	阿里山雨量站(高海拔區) 16 日: 14mm 17 日: 124 mm 18 日: 73.5 mm 19 日(至 12 時): 187.5mm 總累積雨量: 399 mm
5/19	14:10	台 18 線 80 k+100 (高海拔)	零星落石	15:00	阿里山雨量站(高海拔) 16 日: 14 mm 17 日: 124 mm 18 日: 73.5 mm 19 日(至 14 時): 197mm 總累積雨量: 408.5 mm	—

表 5-2-2 瀨頭雨量站 2013 年 05 月 15~23 日 519 豪雨事件降雨量統計表

時間	1 時	2 時	3 時	4 時	5 時	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時	19 時	20 時	21 時	22 時	23 時	24 時	合計 (mm)	
15 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2
16 日	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	4	5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.5
17 日	0	0	4	17	1	6.5	1	8	8	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1.5	3.5	0	0	0	0.5	54	
18 日	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5	5.5	8	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0	0	2	28	
19 日	0	0	1	0	11	0.5	4	5.5	21.5	45.5	18.5	1	2	0	0	3	6.5	4.5	7	20	2	0	0	0	153.5	
20 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1.5	0	6.5	0	1.5	0.5	1	0.5	22.5	21	3	61	
21 日	0.5	8	3.5	1	2.5	11.5	4.5	0	0	0	0	0.5	5	4	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	49	
22 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	4.5	26	2.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5	
23 日	0	0	1.5	0	0	0	0	2	1.5	1.5	4.5	3	0.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15.5	
總計	低海拔區域 15~23 日的累積降雨量為 412mm。																									

表 5-2-3 奮起湖雨量站 2013 年 05 月 16~23 日 519 豪雨事件降雨量統計表

時間	1 時	2 時	3 時	4 時	5 時	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時	19 時	20 時	21 時	22 時	23 時	24 時	合計 (mm)	
15 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	7.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	10.5
16 日	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	4	0	1.5	3.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
17 日	0	0	4	27	19	11.5	1	1	0.5	1	1.5	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	67.5
18 日	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5	3.5	16	2.5	0.5	3.5	4	0	0	0	0	0.5	0	41.5
19 日	0	0	1.5	0	9	16	26	9.5	32	15.5	11	11	1.5	0	0	0	4	0.5	0.5	10	0	0	0	0	0	148
20 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	2	2	0.5	2.5	0.5	0.5	24	3	21	60	
21 日	1.5	9.5	3.5	24.5	3.5	23.5	11.5	0.5	0	0	0	0	4	7.5	4.5	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	102
22 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13.5	14.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5
23 日	0	0	4	0	0	0	0	2.5	0.5	6	4.5	10	10	0.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	39
24 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	中海拔區域 15~23 日的累積降雨量為 513mm。																									



表 5-2-4 阿里山雨量站 2013 年 05 月 15~23 日 519 豪雨事件降雨量統計表

時間	1 時	2 時	3 時	4 時	5 時	6 時	7 時	8 時	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時	19 時	20 時	21 時	22 時	23 時	24 時	合計 (mm)	
15 日	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.5	0	0	0	0	0	0	0	11
16 日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.5	2.5	4.5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	14
17 日	0	1.5	8.5	20.5	26	18	7	5	4	6	7.5	2	1.5	0	3	3.5	0.01	0.5	2	1	2	3	0.5	1	124.01	
18 日	0.01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11.5	23.5	7	15.5	7.5	0	6.5	0	0	0	0	0	73.51
19 日	0.5	0	1	0	1	20	23.5	18.5	27	41	40.5	14.5	9.5	0	0.5	0	0.01	0	0	12.5	0.01	0.5	0	0	0	210.52
20 日	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.5	0	0	10	5	12.5	5.5	1.5	3	0.5	2	0.5	0.01	11.5	16	20.5	89.03	
21 日	3	12	5	13.5	7	38.5	18.5	9	0.5	0	0	0.01	4.5	10	6.5	3.5	0	0.5	0	0	5.5	0.5	0	0	0	138.01
22 日	0	0	0	3	1	0.01	0	0	0	0	0	0	1	15.5	11.5	3	0.5	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	36.51
23 日	0.5	2.5	7	4	0	0	0.5	2	4	6.5	5	14.5	8.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56.5
總計	高海拔區域 15~23 日的累積降雨量為 753.09mm。																									

表 5-2-5 阿里山工務段 2013 年 05 月 16~23 日 519 豪雨事件執行預警封路表

路線 樁號	鄰近雨 量站	附近 地名	決策 時間點	封閉 時間	開放通 車 時間	管制作 為	封閉原因	備註
台 18 線 34K~ 66K	瀨頭	觸口 至石 棹	5 月 21 日 16 時 30 分	5 月 21 日 21 時	5 月 22 日 5 時 45 分	道路雙 向封閉	連續山區豪雨, 零星落石不斷, 有危及行車安全之虞	含二級監控路段 台 18 線 35k+500~40k+500 及台 18 線 59k+100 路段
			5 月 22 日 15 時 30 分	5 月 22 日 21 時	5 月 23 日 5 時	道路雙 向封閉	連續山區豪雨, 零星落石不斷, 有危及行車安全之虞	含二級監控路段： 台 18 線 35k+500~40k+500 及台 18 線 59k+100 路段
台 18 線 66K~ 88K	阿里山	石棹 至阿 里山	5 月 21 日 16 時 30 分	5 月 21 日 19 時	5 月 22 日 5 時 45 分	道路雙 向封閉	連續山區豪雨, 零星落石不斷, 有危及行車安全之虞	含二級監控路段台 18 線 78K+500-82K+500 路段
			5 月 22 日 15 時 30 分	5 月 22 日 19 時	5 月 23 日 5 時	道路雙 向封閉	連續山區豪雨, 零星落石不斷, 有危及行車安全之虞	含二級監控路段台 18 線 78K+500-82K+500 路段



圖 5-2-1 阿里山公路高海拔 82k+500 於 2013 年 05 月 19 日受豪雨誘發崩塌岩土泥塊事件  
崩塌量約 720m<sup>3</sup> 清理施工前現場實況圖(陳威安 9 時 50 分拍攝)



圖 5-2-2 阿里山公路高海拔 82k+500 於 2013 年 05 月 19 日受豪雨誘發崩塌岩土泥塊先清  
一半先通車的現場施工中實景圖(陳威安當日 11 時拍攝)



圖 5-2-3 阿里山公路高海拔 82k+500 於 2013 年 05 月 19 日豪雨誘發崩塌岩土泥塊從上端 500m 處看其交通封閉正進行清理的現場施工實景圖(賴明煌當日 11 時拍攝)



圖 5-2-4 阿里山公路高海拔 82k+500 於 2013 年 05 月 19 日受豪雨誘發崩塌岩土泥塊已清理完畢通車的現場施工後實景圖(黃坤森當日 16 時拍攝)



圖 5-2-5 阿里山公路 39k 在 2013 年 05 月 17 日邊坡崩塌泥流施工前實況圖  
(賴明煌當日 12 時拍攝)



圖 5-2-6 阿里山公路 39k 在 2013 年 05 月 17 日邊坡崩塌泥流現場搶機具山貓鏟刮其崩塌  
泥流施工作業中實況圖(賴明煌當日 15 時拍攝)



圖 5-2-7 阿里山公路 39k 在 2013 年 05 月 17 日 15 時 30 分邊坡崩塌泥流現場搶機具山貓鏟刮其崩塌泥流與當場戒護作業實況圖(賴明煌拍攝)



圖 5-2-8 阿里山公路 38k+700 在 2013 年 05 月 17 日邊坡崩塌礫石夾泥砸下傷害漿砌卵石護坡與設置交通錐實況圖(賴明煌 11 時 30 分拍攝)



圖 5-2-9 阿里山公路 38k+700 阿里山公路在 2013 年 05 月 17 日邊坡崩塌礫石夾泥砸下傷害漿砌卵石護坡與塌石暫清通置放下邊坡護欄外實況圖(賴明煌 11 時 30 分拍攝)



圖 5-2-10 阿里山公路 38k+700 在 2013 年 05 月 17 日邊坡崩塌礫石暫置放下邊坡護欄外與上邊坡二沖蝕溝匯流合一實況圖(賴明煌拍攝)

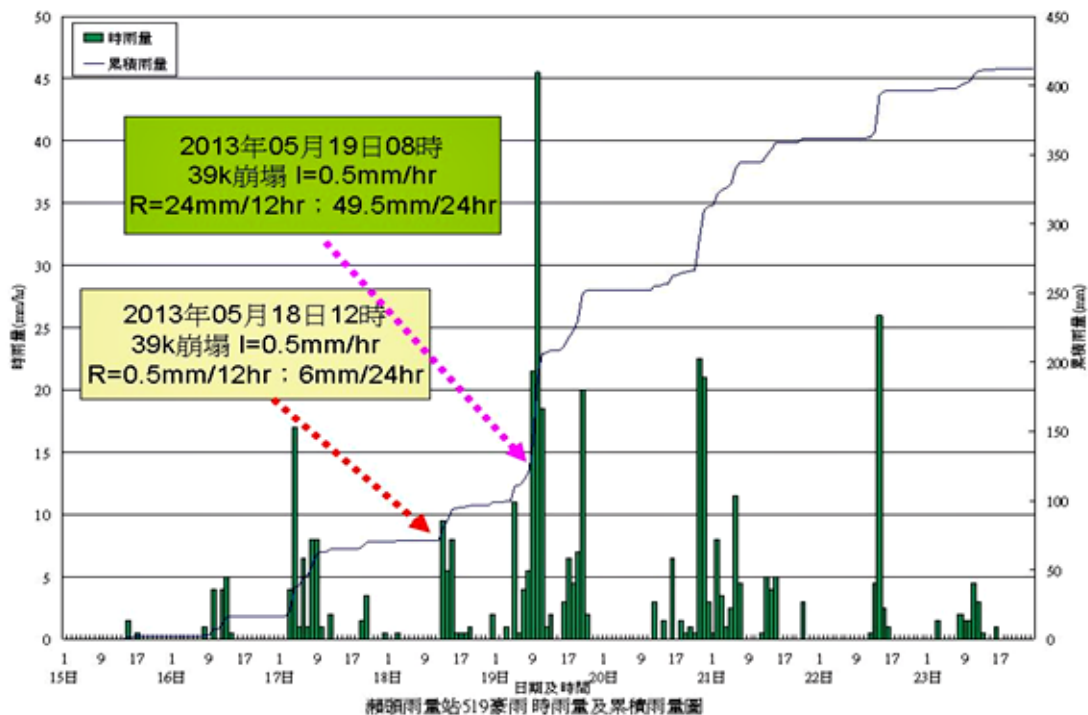


圖 5-2-11 阿里山公路低海拔 39k 於 2013 年 519 豪雨事件的崩塌點與 I&R 圖

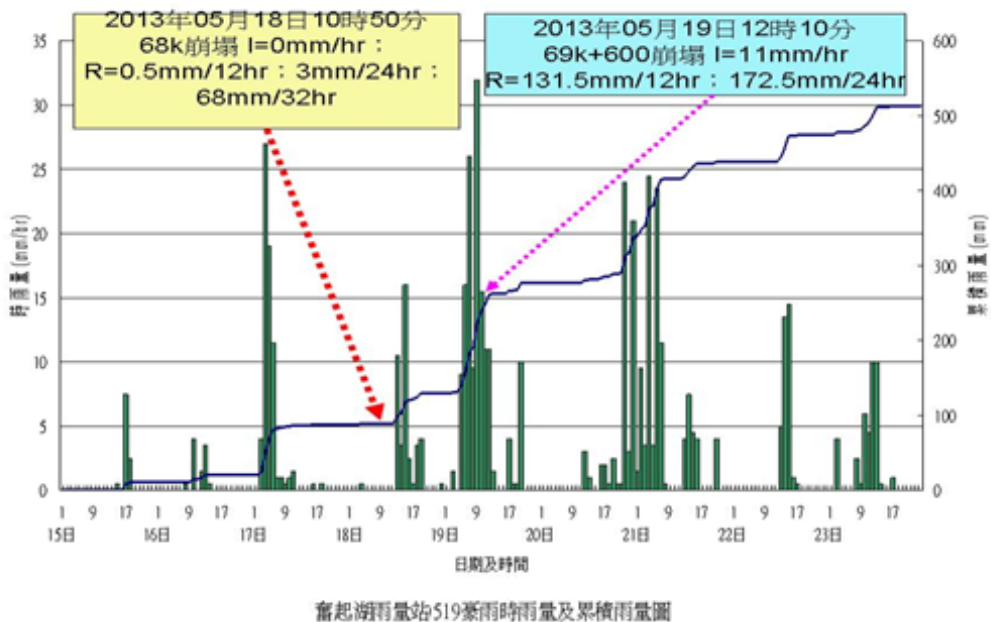


圖 5-2-12 阿里山公路中海拔 80k+100、82k+500 於 2013 年 519 豪雨事件的崩塌點與 I&R 圖



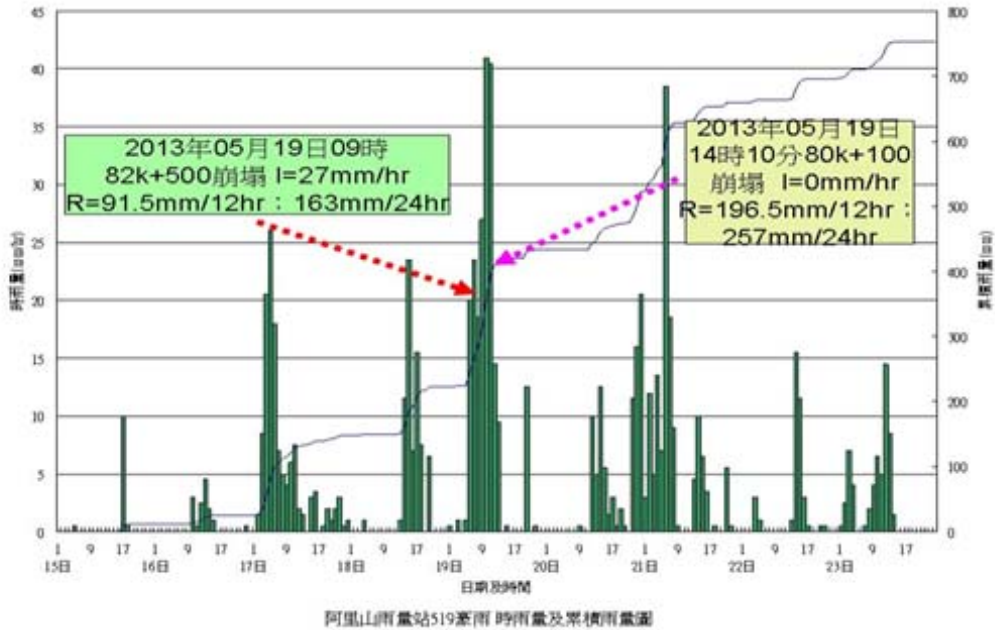


圖 5-2-13 阿里山公路高海拔 80k+100、82k+500 於 2013 年 519 豪雨事件的崩塌點與 I&R 圖

## 六、結語與建議

總結該公路養護管理單位為了因應 519 豪雨事件，在雲嘉南地區的公路系統，計共動員人力約 222 人次、機具 74 輛次。至於阿里山工務段，則在其轄區內也投入了約 68 人次、機具 36 輛次搶救災機具。而且也在本研究區域內，考量到暴雨不斷與山區崩塌落石頻傳，所就提前二天啟動了封閉公路的嚴格管制措施，其針對「低至中海拔」與「中至高海拔」有兩個管制範圍區域，其管制的時間與地點等資料，其執行預警封路如表 5-2-5 所示。這次為今年度進入防汛期所遇到第一個最大的豪雨事件，其公路養護管理單位可說是耗費不少人力與物力，但幸好均沒有用路人傷亡，只有少許偶發的車禍事件，很值得慶幸。本研究就這次 519 豪雨事件，除感激第一線基層工程人員辛苦之外，提出下列的結語與建議，以為該降雨特性與公路崩塌之防救災管理更加精進之參考。

1. 所有的公路崩塌或阻斷的現場通報記錄，應該要盡力量化與數字上的清楚記載，倘若能有相片的佐證，更形客觀判釋。
2. 本研究中曾根據 1996~2010 年該公路三個海拔區段的颱風降雨與致災的記錄做迴歸統計，提出颱風的各階預警值，與公路養護工務段所採行的預警值有明顯的不一致，不

論是「管理警戒值」與「管制行動值」項目，後者大多是屬於偏高的管理值。故有必要依公路崩塌的實況與降雨資料，來適當的調整才符實況與歷史記錄的趨勢。

3. 本研究的管理邏輯值均採用「OR」，而養護工務段則是富有變化性，例如在低中高海拔路段在「管理警戒值」項目均採用「OR」，但其「管制行動值」項目則全部採用「AND」，建議宜整併為一致性，以利執勤緊急使用，不易慌亂誤用與過度複雜。
4. 這次的非颱風之山區豪雨，所形成的公路災損，建議公路養護工務段要事後立即勘查其致災的原因，與尋求在公路管理、宣傳配合與工程建設上的最經濟可行的改善措施，來做下一次暴雨來的預防及準備之依據。

## 謝誌

本文的編寫順利要感謝蔡站長明君與王工程司仁誠的兩組圖的繪製與公防中心的同仁李嘉欣工程司、洪春生氣象分析師、吳松峰工程司、謝國禎主任及工地第一線的作業同仁等人提供降雨資料。

## 參考文獻

1. 陳肇夏、何信昌、謝凱旋、羅偉、林偉雄、張徽正、黃鑑水、林啟文、陳政恆、楊昭男、李元希，「五十萬分之一臺灣區域地質圖-臺灣」，經濟部中央地質調查所，台北，(2003)。
2. 潘國樑，「坡地開發與調查」，詹氏書局，第 1-8 頁，臺北(1991)。
3. 陳培源，「台灣地質」，科技圖書，第 25-2~2-29 頁，臺北，(2006)。
4. 經濟部中央地質調查所官方網頁，<http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp>，臺北，(2013)。
5. 劉憲德、曾俊傑，「阿里山公路之地質與山崩災害調查研究」，經濟部中央地質調查所「環境地質調查研究」計畫，臺北，(2000)。
6. 吳秉晃，「集集地震後阿里山地區公路邊坡之崩壞行為與熱影像特性研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，臺南，(2002)。
7. 池谷浩，土石流預測之對策，武居有恆監修，鹿島出版會，第 65-70 頁，日本東京，(1983)。
8. 曾志豪，「降雨對阿里山公路邊坡破壞模式分析之影響研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，臺南，(2004)。
9. 李明熹，「土石流發生降雨警戒分析及其應用」，博士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，臺南，(2006)。
10. 行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網

<http://246.swcb.gov.tw/default-l.asp>，南投，(2013)。

11. 謝正倫，「土石流災害防治與預警系統」，山坡地質災害與防治研討會，pp1~26，臺北，(1991)。
12. Takahashi，「土石流之發生與流動之關係研究」，京大防災研究年報，Vol.20，No:B-2，pp405~435，日本京都，(1991)。
13. 賴明煌等人，「降雨特性分析台十八線省道邊坡崩塌預警管理之研究」，2011 第十四屆大地工程學術研討會暨國科會成果發表會，桃園，(2011)。
14. 賴明煌等人，「颱風降雨誘發邊坡崩塌之阿里山公路通行管理基準研擬」，中國土木工程學刊，第 24 卷，第 4 期，臺北，pp377~392，(2011)。
15. Lee, etc.(2013). “Slope management criteria for Alishan Highway based on database of heavy rainfall-induced slope failures.” Engineering Geology ENGEO-03592, May, 2013, P P.11.

附錄

表4-4-3 台18線阿里山公路「二級監控路段(含便橋)預警值、警戒值、行動值基準表」  
(20130319核定第15版)

各工務段、所	二級監控路段	座落行政區	實體參考雨量站	預警值						警戒值							
				10分鐘雨量(mm)	邏輯值	1小時雨量(mm)	邏輯值	3小時雨量(mm)	邏輯值	24小時雨量(mm)	邏輯值	10分鐘雨量(mm)	邏輯值	1小時雨量(mm)	邏輯值	3小時雨量(mm)	邏輯值
阿里山工務段	台18線公田村(35k+500~40k+500)低海拔路段	嘉義縣番路鄉公田村	瀨頭	10	OR	30			OR	200			40			OR	300
阿里山工務段	台18線樂野村(59k+100)中海拔路段	嘉義縣阿里山鄉樂野村	瀨頭	10	OR	30			OR	150			40			OR	300
阿里山工務段	台18線十字村(78K+500-82K+700)高海拔路段	嘉義縣阿里山鄉	阿里山			40			OR	300			50	OR			400
阿里山工務段	159甲線光華村(40K+500~41K+300)	嘉義縣竹崎鄉光華村	奮起湖	10	OR	30			OR	200			40			OR	300
阿里山工務段	台18線樂野村(71k+100便道)中海拔路段	嘉義縣阿里山鄉樂野村	阿里山			40			OR	300			50	OR			400

行動值

10分鐘 雨量 (mm)	邏輯 值	1小時 雨量 (mm)	邏輯 值	3小時 雨量 (mm)	邏輯 值	24小時 雨量 (mm)	10分鐘 雨量 (mm)	邏輯 值	1小時 雨量 (mm)	邏輯 值	3小時 雨量 (mm)	邏輯 值	24小時 雨量 (mm)	10分鐘 雨量 (mm)	邏輯 值	1小時 雨量 (mm)	邏輯 值	3小時 雨量 (mm)	邏輯 值	24小時 雨量 (mm)	
		100	AND			450			90				AND	500			80			AND	530
		100	AND			450			90				AND	500			80			AND	530
		70	AND			550			60	AND				600			50	AND			650
		100			AND	450			90				AND	500			80			AND	530
		70	AND			550			60	AND				600			50	AND			650

# 原生植物在台灣高海拔地區邊坡植生的應用實例

(以台 14 甲線 41K 及 41.2K 邊坡保護工程為例)

劉世桐\*、張正義\*\*、陳添財\*\*\*

## 摘要

目前國內邊坡植生工法常用的種籽材料，草本的部分仍以外來種為主，除造成單調且與周遭原生植被不協調的景觀外，也是外來種入侵的原因之一。本文報導兩則擷取高海拔原生植物種籽，做為邊坡植生復育的案例。其中，以原生種搭配些許歸化種做為植生基材的邊坡，在 10 年後，多數種類原生植物仍生長旺盛，植被外貌與周遭景觀相融合；另外，以目前常用的速生型外來草種(高狐草和黑麥草)搭配原生種的部分，在 3 年後，原生種植物仍無法自覆蓋繁密的外來草種下發芽成長，形成以外來種為單一優勢的植被景觀。據觀察高海拔地區以外來種植生的邊坡，常在多年後呈現生長勢下降而露出混凝土結構的情形。相對地，以原生種復育植生的邊坡，其生長勢茂盛且植被演替循序自然，值得在高海拔地區的邊坡植生工法上推廣應用。

關鍵詞: 生態工法、邊坡植生、原生植物

## 一、前言

近年來政府基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展的目的，致力於生態工法的推廣。然而，目前國內常用於坡地保護的植生草類或綠肥植物仍以外來種為主<sup>[1]</sup>。面對生物多樣性保育及日益嚴重的外來種入侵議題，如何利用適當的原生植物來穩定及美化邊坡，落實植被自然演替的永續經營理念，是當前公路養護工程應積極追求的目標之一。

---

\* 交通部公路總局第四區養護工程處 正工程師

\*\* 交通部公路總局第四區養護工程處洛韶工務段慈恩監工站 站長

\*\*\* 國立東華大學自然資源與環境學系 博士候選人

台灣山區地質多脆弱且地形陡峭，一旦地震或豪雨來襲極易發生崩塌，邊坡整治及恢復原有景觀是道路養護的重點工作之一。公路總局第四區養護工程處洛韶工務段所轄養護路線之一的台 14 甲線，公路盤繞於高海拔(大禹嶺標高 2565 公尺~武嶺 3275 公尺)的合歡山山麓，位處太魯閣國家公園內，該地區環境生態敏感；在國家公園和各級保護區內之整治除應考量適地適宜的工法外，以適當的原生植物做為植生復育的素材，可同時兼顧水土保持、景觀美化、地景協調性及恢復原生植被等目標，亦符合國家在生物多樣性保育及防止外來種入侵上的經營策略。基於生態維護、改善公路邊坡的植被景觀，及恢復原生植被並保護生物多樣性的理念，洛韶工務段自 2003 年起推動以合歡山地區多樣性的原生草本及灌木植物之種籽，做為公路邊坡保護植生工法的試驗。

本案例試驗地點位於大禹嶺附近，分別於 2003 年在台 14 甲線 41K 的上、下邊坡，及 2009 年在台 14 甲線 41.2K 的上邊坡進行(圖 1)，前者面積約 6000 m<sup>2</sup>，後者面積約 4600 m<sup>2</sup>。台 14 甲線 41K 災害情形(圖 2.a)，台 14 甲線 41.2K 災害情形(圖 2.b)。

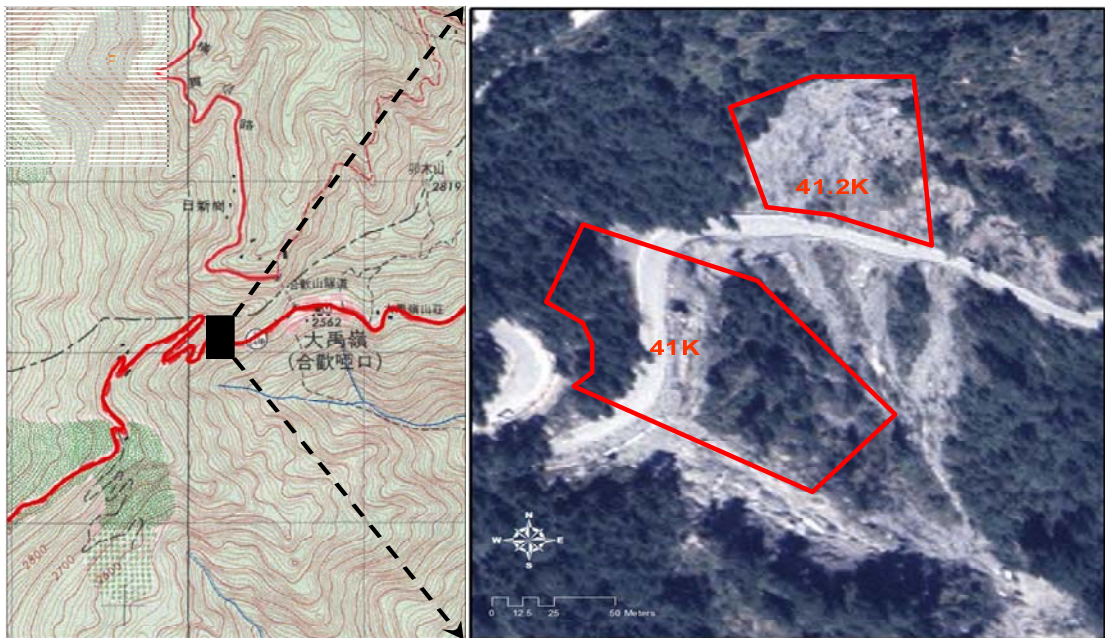


圖 1 台 14 甲 41K 及 41.2K 原生植物邊坡植生綠化試驗基地位置圖



圖 2a 台 14 甲線 41K 災害情形 (2001/4/2) 圖 2b 台 14 甲線 41.2K 災害情形 (2009/6/6)

台 14 甲線 41K 災害路段，於 1987 年~2002 年間近 15 年來路面總沉陷量約 3~4 公尺，每逢颱風、豪雨等天然災害侵襲後，均有明顯沉陷，自 1999 年 921 地震之後至 2001 年間路基沉陷量更深達 1 公尺有餘，且有明顯加劇的趨勢。為能有效解決本災害路段持續沉陷之問題，第四區養護工程處乃於 2002 年 5 月~2003 年 2 月辦理整治。工程設計以地錨及混凝土格梁方式辦理，其中，道路上邊坡採 45T 地錨、下邊坡採 60T 地錨，護坡格框內部填植生土袋（厚度約 30 公分，含種籽），面層施噴厚度約 10 公分之植生基材。工程經費約 6,950 萬元。

台 14 甲線 41.2K 上邊坡於 2009 年 4 月大規模坍塌造成交通阻斷，遂由洛韶工務段辦理邊坡整治與修復。工程設計以錨筋及型框植生方式辦理，其中，邊坡格框內部填植生包（厚度約 10 公分，不含種籽），面層施噴厚度約 10 公分之植生基材；工程經費約 3,110 萬元。

## 二、試驗地點地質與環境概述

### 1. 地質

台 14 甲線沿線之地質狀況複雜，地層滑動潛能高，自開路以來即有多次路基沉陷與邊坡坍塌之紀錄，公路養護常為之所苦；依據文獻合歡山大禹嶺間大規模之崩塌，可能係受區域地質特性、順向坡地形及下方河川向緣侵蝕之影響。

台 14 甲線里程 32.8K-41.6K 間地層分佈與主要地質構造如圖(3.a)，主要的地層為大禹嶺層與廬山層，大禹嶺層岩性以板岩、千枚岩與變質砂岩為主，廬山層以板岩、薄砂岩與板岩互層為主。公路沿線附近劈理呈北偏東走向，向東南傾斜，因而與立霧溪上游



塔次基里溪東南向邊坡形成順向坡。本路段之地質災害可概分為路基災害與上邊坡災害兩類。2001-2011 年間災害修復位置、修復經費與次數統計資料見圖(3.b)。



圖 3a 台 14 甲 32.8K-41.6K 附近區域地質圖

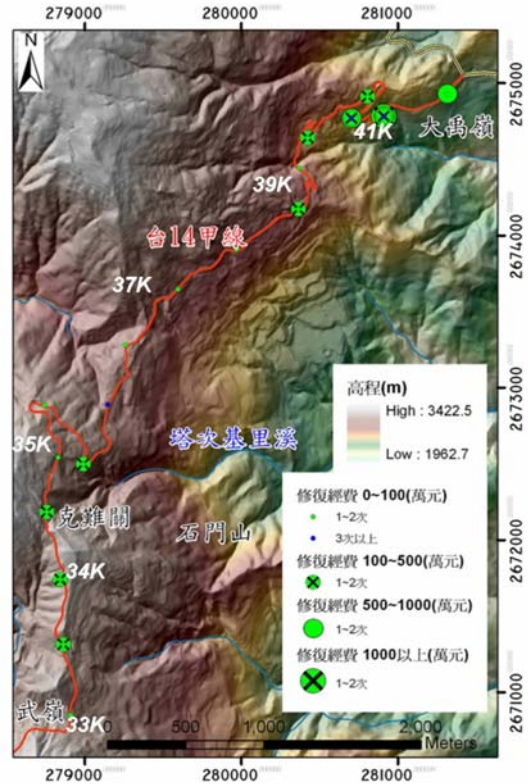


圖 3b 台 14 甲線 32.8K-41.6K 附近 2001-2011 年災害修復統計資料

台 14 甲線公路路基災害常發生於里程 33.7K、34.0K-34.3K、34.5K-34.8K、36.3K-37.3K、38.8K-40.0K、40.3K-40.5K、40.8K-41.0K、41.3K-41.7K 等處；另按洛韶工務段巡查紀錄，本養護路段在里程 33.2K、33.7K、34.6K-34.8K、38.6K、39.2K、39.8K、41.0K-41.7K 等處路面裂縫、路拱變形以及路側構造物錯動等情形仍持續發生。路基災害與公路下邊坡的岩體滑動與岩屑崩滑有關，且為持續進行的潛移型態。經災修養護後，除里程 41.3K-41.7K 外，其餘路段下邊坡之岩體滑動與岩屑崩滑，或其對公路之影響自 2001 年後已有趨緩。比對災修資料與巡查紀錄獲知，里程 34.6K(克難關附近)、38.6K-39K(落鷹山莊附近)、40K-40.6K 及 41.3K-41.7K(大禹嶺東南側)，均有潛勢崩場地。公路上邊坡災修位置分布在里程 39.1K、40.8K-41.5K 等處。按洛韶工務段巡查紀錄，里程 34.6K、41.1K-41.7K 處路段落石有加劇趨勢，該位置與前述路基災害潛勢崩場地對應，

顯示該處公路上、下邊坡皆在崩塌範圍內，係受立霧溪上游塔次基里溪向源侵蝕影響所致<sup>[2]</sup>。

根據劉世桐等<sup>[3]</sup>的研究指出，41K 及 41.2K 兩處試驗地點均位於立霧溪上游塔次基里溪源頭附近，海拔約 2600 公尺，地質出露的岩性主要為板岩，劈理發達，呈 40-60° 傾斜向東南，工程特性與岩體強度深受劈理影響，因高山氣候溫差大，凍融作用造成坡面岩體破碎，常見淺層岩屑崩滑，崩塌潛能受風化程度與岩體強度之影響極大，復受塔次基里溪強烈的向源侵蝕影響，邊坡穩定性較低。

## 2. 氣候

依據夏禹九等<sup>[4]</sup>的研究指出，本試驗地點年均溫為 9.7°C，平均月低溫為 3.9°C，平均月高溫為 15.5°C；每年 12 月至翌年 3 月氣溫為最低 (-2.2~-4.0°C)，單月最低溫-4.0°C 發生在每年的 3 月，每年 6~8 月氣溫為最高 (16.6~23.6°C)，單月最高溫為 23.6°C 發生在每年的 7 月。年平均降雨量 168mm，每年 11 月至翌年 1 月為旱季，每月降雨量 67.7~94.2mm；每年 5 月至 8 月為雨季，降雨量 209mm~249.4mm。大禹嶺地區之氣候統計資料如圖(4)。

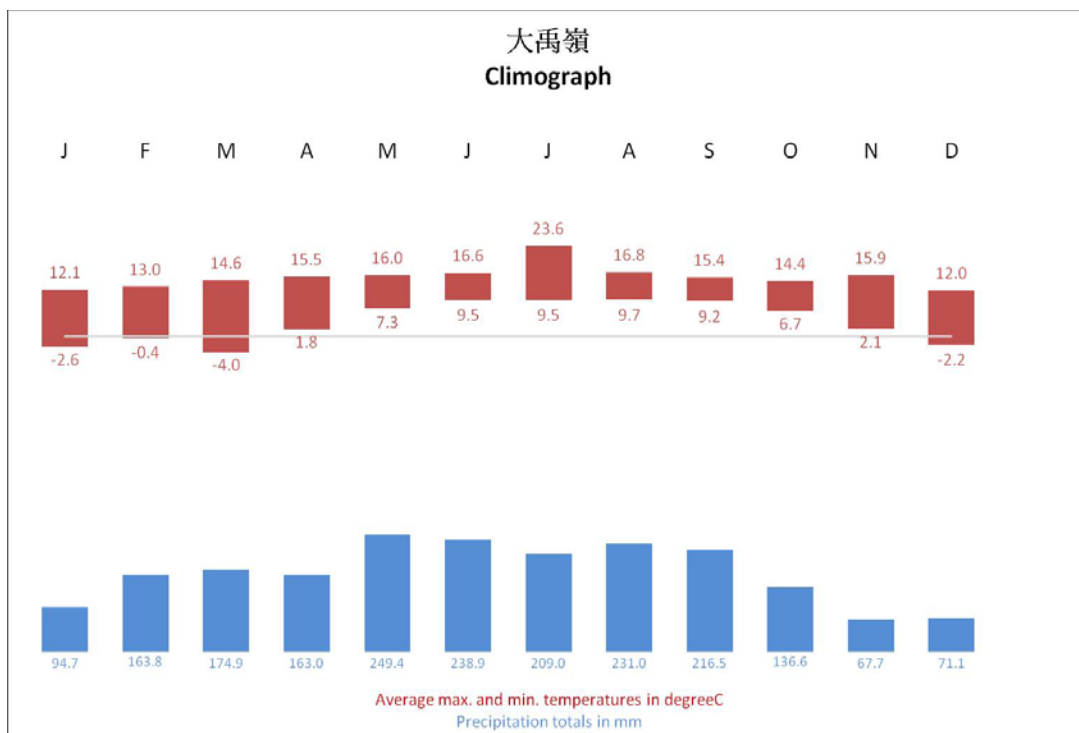


圖 4 大禹嶺地區 1996~2011 氣候圖 (夏禹九、林佩蓉 2011)

### 3. 植物

另根據徐國士等<sup>[5]</sup>對台灣植被類型的研究，試驗地點附近的植被主要為山地涼溫性針葉林、寒溫性竹灌叢、山地草地等植被類型。生育地環境可粗略歸納為冷涼、向陽、多雲霧、地勢陡峭及易受干擾等特性。試驗地周圍除二葉松林和鐵杉林外，是以草地或灌叢為主的溫帶植被，屬鐵杉林帶的範圍。

## 三、方法

目前常見的邊坡整治，在坡緩處多以種籽撒播植生工法或直接噴植植生工法施作；坡陡或有繼續崩塌之虞處，則以格梁地錨及型框植生護坡工法為主<sup>[6]</sup>。本案例的護坡結構形式，92年的台14甲線41K為格梁地錨護坡(圖5)，98年的台14甲線41.2K則採型框植生護坡(圖6)，兩者皆在框格內以植生包搭配厚層之噴植植生工法施作。92年之試驗計畫，由於開始較晚，錯過許多種籽的成熟期，為達工程所需用量，另採集於高海拔地區歸化已久的外來種植物——大羊蹄和大扁雀麥之種籽，以補不足。其他工程所需的原生植物種籽，則以大禹嶺附近的野生草本和灌木植物為收集對象。98年除採集原生種籽外，因有快速恢復植生的需求，以達到工程契約植生覆蓋率與存活率之考量，另加入目前國內常用的邊坡植生外來草種：高狐草及黑麥草。為了解自然條件下的種籽發芽和存活能力，



圖5 台14甲41K格梁地錨工法(2003/11/1)



圖6 台14甲41.2K型框植生護坡工法  
(2009/12/3)

另以數種可採得大量種籽的原生種做發芽試驗，期能找出適合高海拔地區邊坡植生的種類，並嘗試探討影響種籽發芽和存活的因素，以做為日後推廣時擬訂契約植生覆蓋率與存活率的參考依據。方法如下：

#### 1. 種籽採集

本計畫試驗地點位處太魯閣國家公園範圍內，依國家公園法第17條及第21條之規

定，分別於2003年10~12月及2009年8~11月委請國立東華大學自然資源與環境學系研究人員，調查台8線中橫公路及台14甲線霧社支線合歡山區兩側的植被，尋找與試驗地海拔高度及生育地環境相近的草本或灌木植物，主觀選取較能適應試驗地環境的種類，以人力採集成熟果實(圖7)。種籽經陰乾處理(圖8)後交由施工廠商於當年底進行噴植。



圖7 採集虎杖種子 (2003/10/13)



圖8 虎杖種子陰乾處理 (2003/10/22)

## 2. 植生基材與工法

將原生種籽(2009年度額外增加的高狐草及黑麥草則以 $24\text{g}/\text{m}^2$ 的比例)混入摻有肥料和高分子黏著劑的香菇木屑堆肥中(以下稱植生基材)，用氣壓式強力壓縮機全面噴植於堆有植生包的護坡結構上，其中植生基材之噴植厚度約10公分。於完工後追蹤紀錄植物的發芽、生長及更新狀況，並與附近其他工法的邊坡植生做比較，並嘗試探討影響種籽發芽和存活的可能因素。

## 3. 種籽發芽試驗

2012年1月，以高山芒、前原鵝觀草、台灣澤蘭、虎杖、畢祿山蓼、樺葉莢迷、南燭、玉山假沙梨、高山薔薇及台灣繡線菊等10種原生植物之種籽500~2000顆不等，於台14甲41.2K(圖9)之邊坡植生基地內，挑選較平緩的邊坡，清除現有混凝土框格內的植生(葦狀羊毛及黑麥草)，重新覆上植生基材進行發芽試驗(圖10)。同時，另於溫度及水分條件皆適宜的低海拔地區(台東縣東河鄉)，以艾、虎杖及高山芒做對照的發芽試驗，以釐清高山的氣候條件對種籽發芽率和存活率的影響。



圖9 台14甲41.2K播種試驗地(2012/1/31)



圖10 玉山假沙梨播種試驗 (2012/1/31)

## 四、結果

本試驗案例因採集種籽時間較晚，以致有部分種類的植物種籽未能順利取得。前、後兩次的種籽採集名錄及數量見文後附表一，物種及種籽照片見附圖一。以下是本試驗的結果：

### 1. 植被類型及適用種類

邊坡植生應以演替前期的草本或灌叢植物為優先考慮對象，本文認為適合該地且可採得大量種籽的原生植物，草本類有前原鵝觀草、高山芒、剪股穎、艾、台灣澤蘭、台灣馬蘭、黃菀、琉璃草、虎杖及畢祿山蓼等；灌木類有鄧氏胡頹子、紅毛杜鵑、南燭、台灣小蘗、大葉溲疏、小葉莢迷、樺葉莢迷、高山莢迷、高山薔薇、巒大花楸、白絨懸鉤子、苦懸鉤子、刺花懸鉤子、台灣繡線菊、笑靨花及台灣馬桑等；藤本類有台灣何首烏、蔓黃菀及阿里山忍冬等。惟本試驗案例因採集種籽時間較晚，以致有部分種類的植物種籽未能順利取得。前、後兩次的種籽採集名錄及數量見附表一，物種及種籽照片見附圖一。

### 2. 植生復育成果

台 14 甲 41K 的植生噴植工作於 2003 年底完工(圖 11)，隔年 3 月大羊蹄和大扁雀麥陸續發芽，5 月梅雨季時已有相當成熟的植株，同時艾及虎杖開始萌芽。



圖 11 41K 邊坡噴植完工 (2004/2/20)



圖 12 41K 植生覆蓋狀況 (2004/10/9)

直到 10 月中為止，共有上述 4 種植物發芽存活，覆蓋面積達 60%以上(圖 12)。2005 年春天始，除原已發芽存活的種類外，高山芒、高山薔薇、台灣澤蘭、台灣繡線菊(圖 13)和灰絨懸鉤子陸續出現，同年夏天已有超過 90%的覆蓋度。截至 2013 年止，除樺葉莢迷未曾有發芽的記錄外，其餘種類皆生長茂盛且可自然更新(圖 14)。



圖 13 播種一年後發芽的台灣繡線菊  
(2005/9/13)



圖 14 94 年 9 月 41K 植生覆蓋狀況  
(2005/9/13)

台 14 甲 41.2K 的植生噴植工作於 2009 年底完工，2010 年 2 月高狐草和黑麥草開始發芽，梅雨季來臨前幾已全面覆蓋整個邊坡(圖 15)。爾後，除少許虎杖發芽存活外，該邊坡呈現以高狐草為單一優勢的植被，幾無其他原生種存活(圖 16)。



圖 15 41.2K 2010 年 4 月的高狐草覆蓋  
(2010/4/20)



圖 16 41.2K 高狐草單一優勢的邊坡  
(2011/3/29)

### 3. 種籽發芽試驗結果

高海拔的發芽試驗結果，前原鵝觀草於播種後約 1 個月萌芽，虎杖、高山薔薇、畢祿山蓼和台灣澤蘭於 3 個月後的梅雨季開始陸續發芽，餘者至同年夏天為止不見萌發。結果顯示，草本類的發芽率優於灌木或小喬木，然而兩者皆有明顯的枯死現象(圖 17)。平地播種的虎杖及高山芒，雖值冬季仍在 1 周後大量發芽，艾則約於 40 天后發芽，三者在播種四個月後生長狀況良好(圖 18)。高海拔地區播種後 8 個月內的小苗數量及存活率見表(一)。



圖 17 高海拔播種枯死的高山薔薇  
(2012/11/14)



圖 18 平地播種的艾、虎杖及高山芒  
(2012/11/20)

表一、種子發芽數量及存活率(2012 年 8 月止)

日期 中名(種籽數)	2/18	3/25	5/3	6/2	6/28	8/18	存活率(%)
前原鵝觀草(500)	1	14	18	35	30	18	3.6
高山芒(2000)	0	0	0	0	0	0	0
樺葉莢迷(500)	0	0	0	0	0	0	0
南燭(1000)	0	0	0	0	0	0	0
大葉溲疏(1000)	0	0	0	0	0	0	0
艾(1000)	0	0	0	0	0	0	0
台灣澤蘭(500)	0	0	0	0	3	1	0.2
虎杖(1000)	0	0	*	7	10	1	0.1
畢祿山蓼(500)	0	0	0	18	20	3	0.6
玉山假沙梨(500)	0	0	0	0	0	0	0
高山薔薇(500)	0	0	0	9	5	2	0.4
台灣繡線菊(1000)	0	0	0	0	0	0	0

\* 小苗過小且密，無法計算，但隨後即大量枯死。

## 五、討論

邊坡整治除要避免再次的崩塌外，也要避免人工復育的植生對環境產生太大的衝擊，故崩塌地附近的原生植物是優先的復育對象。植生復育首先以具備耐旱、耐貧瘠和生長迅速等特性的先驅性草本和灌木為優先，其次再考量物種的多樣性及美觀等問題。

發芽試驗結果顯示，高海拔地區原生草種的發芽和存活率，主要應是受溫、溼度條件的影響。冬季期間分別在低、高海拔同時進行的試驗，前者月均溫近 20℃，在土壤水分充足的情況下，一個禮拜後即開始大量發芽，生長旺盛且少有死亡的跡象；後者播種時月均溫約 5℃，土壤多半呈現乾旱狀態，直到 5 月梅雨季來臨的春暖時節才陸續發芽，後因雨水斷斷續續，小苗因高海拔日照強烈而大量枯死。氣候條件的不確定性，影響植生復育的成敗甚巨，春暖時節開始加強水分的供給，有助於高海拔地區原生種籽的發芽和存活率。另外，灌木和小喬木的種類在一年內均不見發芽，其種籽可能需要越冬或進一步處理才能萌發，若植生工程有一定時間內覆蓋率的要求，則以草本和蔓性灌木植物為優先復育對象。

合歡山區的禾本科和薔薇科懸鉤子屬植物於 8 月即陸續成熟，灌木類則多在 10 月以後果熟，1 月仍可採得紅毛杜鵑種子，故種籽採集最遲不應超過 10 月。某些生態幅度大的種類(例如大葉溲疏、台灣馬桑、台灣澤蘭及前原鵝觀草等)，在較低海拔即可收集到種籽，其成熟期亦較早，故 7~8 月間即可開始採種。除前原鵝觀草外，其餘種籽多在梅雨季開始(約 5 月上旬左右)發芽，因此，植生工程於梅雨季來臨前完成為佳。

41.2K 的試驗案例，原生植物復育情況未如預期，前人研究指出過密之草本植物往往阻礙及減少鄰近原生植物之入侵<sup>[7]</sup>，應為主要原因；其餘可能因素尚有天候之影響及植生基材堆肥的品質，前者，本案例越冬期之雪季較往年提早開始稍晚結束，期間較久，有可能因而影響種籽之保存與發芽，後者包含植生土袋、植生包與植生基材等之有機質含量與酸鹼度等。本案例過密之草本植物，起因於施工廠商為避免植生存活率與覆蓋率未達契約規定時之扣款，而以每平方公尺 24g(共約 100kg) 比例混入的速生草種，卻可能因速生草種覆蓋過密而導致原生種無法發芽。因此，適量地混入速生型草種，或許有助於原生種的存活率，而過量的速生草種則易形成單一優勢的植被，不利其他物種的生存。原生種與速生草種的搭配用法及用量問題，仍需更多實驗或案例才能有較為可靠的參考依據。另一方面，為利日後之推廣，現行契約規定之植生存活率與覆蓋率，建議審慎檢討配合修訂。

41K 的邊坡植生完工近 10 年，顯示擷取台灣高海拔地區之原生植物種籽做為邊坡植生復育的工法可行。本試驗於 41K 邊坡混入的歸化種種籽(共約 25kg)，在原生種種籽發芽前已有一定的覆蓋面積，然其枝葉稀疏且根系不密，除不妨礙原生種籽發芽外，亦可防止小苗遭到過度曝曬。本案例之試驗期間除波斯菊、苦蕒菜和鼠茅等少許植物曾出現外，仍以當初噴植的種類原地更新為主，顯見高海拔地區邊坡植生若無人為的導入，原生植物傳播至基地並自然演替的過程並不容易。高海拔地區許多以外來種復育的邊坡，在生長勢衰退後仍少有原生種入替，導致水泥結構外露的情形普遍存在(圖 19、20)。相



較於本試驗案例邊坡植生 10 年後仍生長茂盛，外來種植物或可在高海拔地區邊坡植生上做為輔助角色，但若欲達永續經營的目標，原生植物應是邊坡植生全面復育的主角。



圖 19 台 8 線關原橋附近邊坡植生  
(2009/6/20)



圖 20 台 8 線 102.1K 邊坡植生(2013/2/20)

臺灣位於亞熱帶上，海拔落差近 4000 m，造就島內同時擁有熱帶至亞寒帶的氣候及植被類型。植被生態學者根據雨量的地區性及季節性變化，將臺灣劃分為 7 個代表植群局部變異的地理氣候區<sup>[8]</sup>。植物區系也因位於古北區與舊熱帶的交界，在東西、南北及低高海拔之間，因起源與植物相的差異，可再細分為不同的小區。此外，南北氣候因北迴歸線橫越而有些許差異，而攸關夏、冬兩季降雨的西南及東北季風因中央山脈的阻隔，也讓東、西部的降雨型態有所不同。由此可知，台灣不論在植被類型、植物相及氣候型態上，不同地區之間都有其獨特性，貿然將不同區域的物種做跨域引種，會對目前動輒探討至基因層次的族群生態學研究造成困擾，亦將破壞此天然的界線及特色。另有鑑於國內市場少有原生種籽可得，尤其缺乏適合中、高海拔的種類，一旦有原生種植生綠化的需求，勢必在野外採集種籽。以目前常用的噴植工法而言，種籽的用量相當大，大量採集種籽對植物的傳播和依其果實維生的動物必有衝擊，故野外採集對生態系可能有負面效應，不符當前對自然資源的經營保育理念。因此，可考慮在全省不同的地理氣候區或植物區系內，選擇適當的公路邊坡崩塌地，在辦理工程保護時，噴植當地原生種籽，一方面建構原生植物種原庫，除可供日後相同區域內邊坡植生之用外，也可避免跨域引種而打破物種間天然藩籬的問題，另一方面則藉以逐步恢復原有的原生植物自然環境。

過去可供原生草種做邊坡植生參考的案例不多，有關種籽的發芽率與存活率，以及不同海拔高度適用的種類，甚或噴植土、黏著劑和肥料的搭配等問題，建議後續能辦理更多的案例，有系統的整合資料，俾以提供更詳盡的資訊。

## 六、參考文獻

1. 林信輝、鄭梨櫻、林妍琇。坡地植生草類與綠肥植物。水土保持植物解說系列(一)。行政院農業委員會水土保持局。2006。96 頁。
2. 吳東錦。向源侵蝕。水利土木科技資訊季刊。2009。45:32。
3. 劉世桐、李佳翰、王泰典。從中橫公路東段養護經驗探討工程地質特性對公路養護之影響。地工技術。2012。131：35-46。
4. 夏禹九、林佩蓉。2011。太魯閣國家公園氣象觀測站維護及資料庫建置。太魯閣國家公園管理處委託報告。35 頁。
5. 徐國士、宋永昌、呂勝由。臺灣植被類型圖說。國立臺灣科學教育館。2001。167 頁。
6. 林泉盛。邊坡穩定植生工法之研究。國立臺灣海洋大學碩士論文。2003。
7. 李元智、李錦浚、黃育珍、張禎驩。不同噴植植生工法應用於道路邊坡之研究。水土保持學報。2007。39(2)：201~215。
8. Su, H. J. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan ( II ) A scheme of geographical climatic regions. Quarterly Journal of Chinese Forestry. 1985. 18(3)：33-44.

## 七、附錄

附表一、種子採集清單

1. 民國 92 年，台 14 甲 41K 邊坡復育原生草種種子清單				
中名	學名	生活型	科名	重量(kg)
艾	<i>Artemisia indica</i>	草本	菊科	7
大扁雀麥	<i>Bromus catharticus</i>	草本	禾本科	10
台灣澤蘭	<i>Eupatorium cannabinum</i> subsp. <i>asiaticum</i>	草本	菊科	2
高山芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	草本	禾本科	5
虎杖	<i>Polgonum cuspidatum</i>	草本	蓼科	25
高山薔薇	<i>Rosa transmorrisonensis</i>	蔓性灌木	薔薇科	2.5
白絨懸鉤子	<i>Rubus niveus</i>	蔓性灌木	薔薇科	1
大羊蹄	<i>Rumex obtusifolius</i>	草本	蓼科	15
台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	半灌木	薔薇科	1
樺葉莢迷	<i>Viburnum betulifolium</i>	灌木	忍冬科	3
總計 10 種，共約 70 kg				
2. 民國 98 年，台 14 甲 41.2K 邊坡復育原生草種種子清單				
中名	學名	生活型	科名	重量(kg)
前原鵝觀草	<i>Agropyron mayebaratum</i>	草本	禾本科	6.36
剪股穎	<i>Agrostis clavata</i>	草本	禾本科	0.75
艾	<i>Artemisia indica</i>	草本	菊科	0.48
台灣馬桑	<i>Coriaria japonica</i> subsp. <i>intermedia</i>	灌木	馬桑科	0.25
鄧氏胡頹子	<i>Elaeagnus thunbergii</i>	蔓性灌木	胡頹子科	0.2
台灣澤蘭	<i>Eupatorium formosanum</i>	草本	菊科	1.5
高山芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	草本	禾本科	4.4
玉山毛連菜	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>morrisonensis</i>	草本	菊科	0.26
玉山假沙梨	<i>Photinia niitakayamensis</i>	小喬木	薔薇科	0.18
虎杖	<i>Polgonum cuspidatum</i>	草本	蓼科	45
台灣茶藨子	<i>Ribes formosanum</i>	灌木	虎耳草科	0.4
高山薔薇	<i>Rosa transmorrisonensis</i>	蔓性灌木	薔薇科	2.76
桑葉懸鉤子	<i>Rubus kawakamii</i>	蔓性灌木	薔薇科	0.35
白絨懸鉤子	<i>Rubus niveus</i>	蔓性灌木	薔薇科	0.73
小柃葉懸鉤子	<i>Rubus parvarialiifolius</i>	蔓性灌木	薔薇科	0.12
苦懸鉤子	<i>Rubus trianthus</i>	蔓性灌木	薔薇科	0.48
巒大花楸	<i>Sorbus randaiensis</i>	小喬木	薔薇科	0.25

台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	半灌木	薔薇科	1.8
樺葉莢迷	<i>Viburnum betulifolium</i>	灌木	忍冬科	6.17
狹葉莢迷	<i>Viburnum parvifolium</i>	蔓性灌木	忍冬科	0.38
總計 20 種，共約 72 kg				

### 八、附圖—邊坡噴植的原生植物及種子圖輯



附圖 1 高山芒的花序



附圖 2 高山芒小穗



附圖 3 前原鵝觀草



附圖 4 前原鵝觀草穎果



附圖 5 台灣澤蘭



16 附圖 6 台灣澤蘭果序



附圖 7 玉山毛連菜果序



附圖 8 玉山毛連菜瘦果



附圖 9 虎杖花序



附圖 10 虎杖果序



附圖 11 狹葉莢迷果序



附圖 12 狹葉莢迷種子



附圖 13 樺葉莢迷果序



附圖 14 樺葉莢迷種子



附圖 15 台灣馬桑果序



附圖 16 台灣馬桑種子



附圖 17 鄧氏胡頹子果枝



附圖 18 鄧氏胡頹子種子



附圖 19 玉山假沙梨果序



附圖 20 玉山假沙梨種子



附圖 21 高山薔薇花



附圖 22 高山薔薇種子



附圖 23 苦懸鉤子



附圖 24 苦懸鉤子種子



附圖 25 白絨懸鉤子果序



附圖 26 白絨懸鉤子種子



附圖 27 巒大花楸果序



附圖 28 巒大花楸種子





附圖 29 台灣繡線菊花序



附圖 30 台灣繡線菊種子



附圖 31 台灣茶藨子



附圖 32 台灣茶藨子種子