

阿里山森林鐵路路基之破壞原因與邊坡穩定治理工法之初步探討－以森林鐵路 42k+940～43k+040 為例

羅大為⁽¹⁾ 吳志展⁽²⁾

摘 要

國寶級的阿里山森林鐵路為世界著名的登山鐵路之一，由於阿里山森林鐵路 42k+940～43k+040 路段，於九二一地震後已造成嚴重坍方，地形破碎，雖經整治，然多年來路基仍有下陷之跡象，嘉義林區管理處為考量行車安全而辦理「森林鐵路 42k+940～43k+040 路基邊坡穩定處理工程」。本研究係以該路段為研究對象，實地進行現勘調查，經調查後得知，導致本研究地區發生崩塌之主要原因係為地形陡峭、降雨量集中及植生生長不佳等因素；此外，本研究並針對該整治工程之治理工法進行初步探討。

(**關鍵詞**：阿里山森林鐵路、邊坡穩定)

A preliminary study on the causes of failure and the remediation efforts of slope stabilizing for the Alishan Forest railway between sections 42k+940 and 43k+040

Ta-Wei Lo⁽¹⁾ *Chin-Chan Wu*⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.
Technician⁽²⁾, Taiwan Professional Soil and Water Conservation Association

ABSTRACT

The Alishan Forest Railway, a national treasure, is a world-renowned “mountain climbing railway”. Due to the 921 Jiji Earthquake, forest railway sections between 42k+940 and 43k+040 suffered considerable damage, causing collapse and deformation of the track. Despite efforts of remediation over the years, the subgrade still shows signs of subsidence. To ensure safety, “Forest Railway Sections 42k+940 ~ 43k+040 Slope Stability Project” were put in operation by the Chia-yu Forestry Management Administration. Field surveys were applied in this research to explore the main reasons

(1)國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者 e-mail：batman710602@yahoo.com.tw)

(2)台灣省水土保持技師公會-水土保持技師

of failure for the sections of the forest railway. Results show that steep terrains, concentrated rainfall and poor vegetation cover which were playing important roles on the failure of the sections. In addition, this study was also focusing on the remediation efforts of slope stabilizing projects.

(**Keywords** : Alishan Forest Railway, slope stabilization)

前言

「阿里山森林鐵路」在民國前六年開工，民國元年十二月二十五日嘉義到二萬坪正式通車，原是用來運送木材，現在改為觀光鐵路，一百年來它仍帶著歷史腳步的巨輪，傳承著活動文化資產，繼往開來的運轉著。國寶級的阿里山森林鐵路為世界著名的登山鐵路之一，所謂登山鐵路，它必須是從低海拔地區攀爬到中海拔地區，且落差達到一千公尺以上的鐵路。蜿蜒於崇山峻嶺之間的阿里山森林鐵路，主、支線全長八六·四五七公里，深具文化及觀光旅遊價值。

由於阿里山森林鐵路 42k+940 ~ 43k+040 路段，於九二一地震後已造成嚴重坍塌，地形破碎，雖經整治，然多年來路基仍有下陷之跡象。該路段於民國九十三年八月因受艾利颱風豪雨影響，路基掏空約 100m，當時該路段僅能以接駁方式通車，要在原地重建困難性極高，為維持阿里山森林鐵路之暢通，故「行政院農業委員林務局—嘉義林區管理處」計畫辦理該路段崩塌邊坡整治工程。

以「森林鐵路 42k+940~43k+040 路段」為研究對象，實地進行現勘調查，並針對該整治工程之治理工法及治理成效進行初步探討，期能提供做為崩塌地整治工法之參考。

研究地區背景環境概述

一、地理位置

本研究地區之行政區域屬於嘉義縣竹崎鄉。依據中華民國臺灣地區像片基本圖「瑞里」圖幅（圖號 9520-III-24）及「樂野」圖幅（圖號 9519-IV-04），並配合現場 GPS 定位之後，得知本研究地區之 TM2 座標（TWD67）約為【X：215860mE、Y：2600400mN】，其地理位置詳見圖 1。



圖 1 地理位置圖

Figure 1 Map of study site

二、氣候與水文

(一)氣溫

一般而言，隨著海拔高度之增加，氣溫及溫差亦隨之遞降，以民國 87 年為例（如表 1 所示），由嘉義至阿里山，海拔高度增加 2378m，平均氣溫則由 24 度降至 12 度，相差達一倍。氣溫適中聞名的奮起湖，則介於嘉義與阿里山兩者之間，本區平均月均溫為 17.4 度，最暖月月均溫高於嘉義最冷月之月均溫不到 3 度，而最冷月月均溫比阿里山最暖月月均溫，則僅低 1.3 度而已。依此觀之，奮起湖之氣溫不似嘉義酷熱難耐，亦不如阿里山寒冷難擋。再以三地之年溫差觀之，嘉義地區之年溫差高達 11.5 度，而阿里山則僅為 6.8 度，但位於半山腰之奮起湖年溫差亦僅有 6.8 度，溫差並無隨高度而變化，此或許與奮起湖三面環山，在夏季南風徐徐、冬季卻擋住東北季風之地形有關。

(二)雨量

台灣地區降雨量十分充沛，惟雨量之分布則受地形影響，一般而言，山區雨量多於平地，東部多於西部。從西岸至中央山脈之間，降雨量隨海拔高度之遞增而增加。如民國 87 年之降水資料顯示（如表 2 所示），嘉義之年雨量為 2445.6mm，阿里山與奮起湖之降雨量則皆高達 4000mm 以上，但兩者差距則不大。

至於雨量之分配情形，因台灣屬於海島型之副熱帶季風氣候，夏潮冬乾，乾濕季節變化極為明顯，由表 2 可知，奮起湖 5~10 月為期半年之降雨量達 3083.5mm，佔全年降雨量之 72.8%，其中 5 月及 6 月梅雨季之降雨量就獨佔全年降水量之 31.2%，而 11 月及 12 月之單獨月降雨量則甚不足 100mm，冬季顯然屬缺水之「乾冬」。

表 1 嘉義、奮起湖、阿里山 87 年度各月月均溫一覽表

Table 1 Chia-yi、Fen-chi Lake、Alishan 1998 Mean Monthly Temperature

氣溫(°C)	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均
嘉義	17.7	18.0	20.8	24.9	26.5	27.9	29.2	28.8	26.9	25.2	22.9	19.6	24.0
奮起湖	13.3	13.9	15.5	17.4	18.8	19.6	19.9	20.1	19.2	18.3	17.5	14.9	17.4
阿里山	7.8	8.1	10.6	11.6	13.6	14.3	14.6	14.6	13.9	13.1	11.7	9.6	12.0

資料來源：嘉義、阿里山資料引用自中央氣象局全球資訊網

表 2 嘉義、奮起湖、阿里山 87 年度各月降雨量一覽表

Table 2 Chia-yi、Fen-chi Lake、Alishan 1998 Mean Monthly Rainfall

雨量(mm)	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總雨量
嘉義	105.3	408.0	135.9	178.5	210.0	595.6	130.1	398.1	78.7	151.1	0.0	54.6	2445.6
奮起湖	120.0	360.5	271.5	297.0	314.0	1008.5	177.5	633.5	451.0	499.0	1.5	99.5	4233.5
阿里山	97.5	527.5	358.0	377.0	361.0	955.5	83.5	739.7	185.5	539.4	12.0	127.5	4364.4

資料來源：嘉義、阿里山資料引自中央氣象局全球資訊網

三、區域地質

參考中央地質調查所「台灣中部竹山

至嘉義間地質圖」（詳見圖 2）及中國石油公司「嘉義圖幅」（詳見圖 3），本研究地區鄰近地區出露之地層主要為中新世南莊

層以及上新世桂竹林層之關刀山砂岩段、十六份頁岩、大窩砂岩及錦水頁岩層等，而本研究地區可能位處在桂竹林層之關刀山砂岩段範圍內，其地層位態大致呈 N20° E/40° W。

茲將上述地層性質說明如下：(地層符號以中央地質調查所「台灣中部竹山至嘉義間地質圖」之符號為基準)

(一)南莊層(Mn)

南莊層係以砂岩層為主，夾薄層頁岩，砂岩與頁岩之緊密互層層理不如北部者普通。砂岩岩質堅緻、純淨、細粒、色淡灰至灰白，屬原石英砂岩類。局部含長石或石灰質。砂岩呈層狀，為數公分至數十公分之薄層至中層，間以三、四公尺厚之塊狀厚層。在層面上可見波痕。由本層內砂岩層理良好(由薄層以至厚層)，且為砂岩與頁岩之互層，並由砂岩之細粒、純淨、淺灰至青灰，以及岩質堅硬緻密諸特徵，可將本層與關刀山砂岩加以區別。

(二)桂竹林層之關刀山砂岩(Mk)

關刀山砂岩主要為細粒，塊狀或層狀泥質或純淨砂岩。砂岩堅硬緻密尤以純淨者為然。泥質砂岩常因泥質增多而轉為砂質頁岩。關刀山砂岩與南莊層不同之處在本層砂岩常為厚層塊狀，層理極不明顯。常含泥質，因而不如南莊層砂岩之緻密。砂岩常呈球形及枕形構造，本層砂岩中節理普遍發達，本層中、上部含有中粒至粗粒白砂岩，為厚層塊狀。

(三)桂竹林層之十六份頁岩(Msl)

本層以青灰色塊狀砂質頁岩為主，有

時為粉砂質，層理不明顯，常示洋蔥狀剝理，因而易破碎為球狀小片。本層中夾有薄層至中層細粒砂岩，頗堅硬緻密，富於節理，與頁岩之間為逐漸移變關係，即如由砂質頁岩變為泥質砂岩，反之亦然。

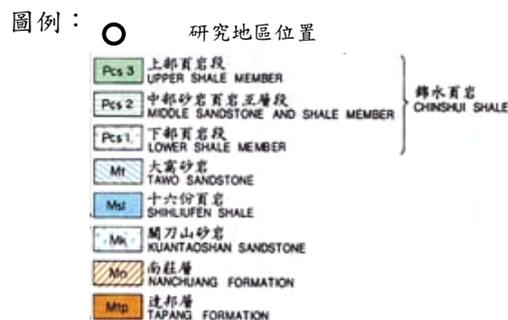
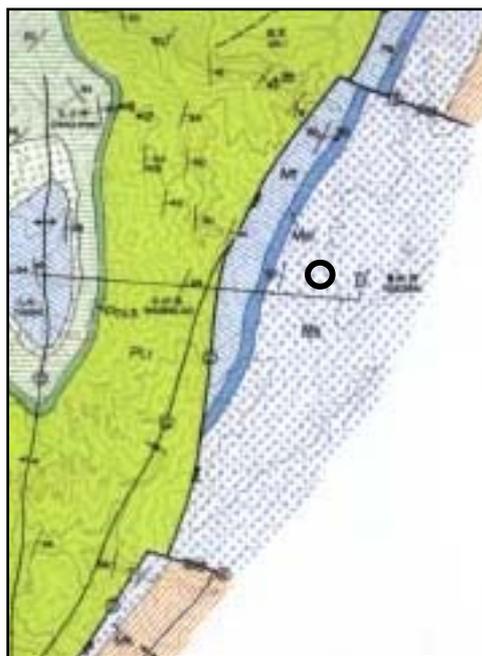


圖 2 區域地質圖(一)

Figure 2 Regional Geological Map(1)

(四)桂竹林層之大窩砂岩(Mt)

本層以細粒至粉砂質砂岩為主，由薄層以至厚層塊狀。與所夾頁岩常呈薄互

層，局部緊密互層，但延展不遠即形尖滅。砂岩相當堅硬緻密。岩質純淨，顏色以淺灰至中灰色為主，風化後呈黃棕色甚至紫紅色。局部含泥質團塊。在薄層砂岩面上可見水流造成之波痕及波浪造成之交錯層。向上頁岩成分增多，岩質由堅緻逐漸變為疏鬆。本層砂岩中常含石灰質砂岩層或結核，厚數公分至數十公分，砂岩中節理甚發育，通常有兩組。在砂岩層底面上時見管狀生痕化石，縱橫相連。在外湖溪中，本層上部含一頁岩層。此頁岩層之下為中層至厚層塊狀、砂岩。此層砂岩之周圍皆為其上之頁岩所包圍，形成一小型內露層構造。

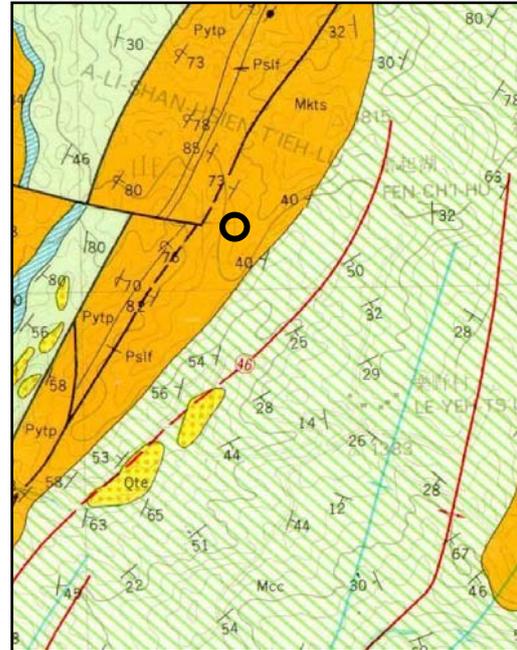
(五)錦水頁岩層(Pcs)

錦水頁岩整合位於大窩砂岩之上。本層之分層可細分為三段，下段為頁岩段，中段為砂岩及頁岩互層段，上段為頁岩段等。本層頁岩為青灰色至暗灰色塊狀純淨頁岩，呈球狀或洋蔥狀剝理發達，常破碎成球形小碎片。

崩塌災害狀況

崩塌範圍形狀約呈一澤形崩塌面，其地勢為由東北向西南傾斜，地勢陡峭，海拔高程約介於 EL.1210~1330m 之間。經地形實測後得知，崩塌面積約有 1.5 公頃，崩塌區主體長度約為 220m，最寬部份在頭部陷落崖及次落崖之間，寬度約為 120m，最窄部份則位於基地下方地形谷口與堆積區交界處，寬度約為 30m；趾部海拔標高約為 EL.1210m，冠部標高約為 EL.1330m，高程差約為 120m（詳見圖 4

崩塌區照片及圖 5 研究地區地形圖)。



圖例：

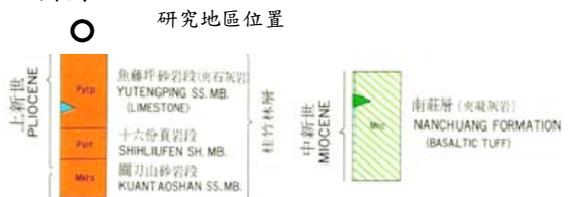


圖 3 區域地質圖(二)

Figure 3 Regional Geological Map(2)

結果與討論

一、崩塌發生原因探討

關於坡地崩塌發生機制之相關研究，陳榮河（1999）曾針對坡地崩塌之發生因子進行探討，文中提到影響坡地崩塌的因子眾多，一般而言可概括分為地文條件及水文條件，地文條件包括地質、地形、坡度以及集水區面積等；水文條件則包括降



圖 4 崩塌區照片

Figure 4 Photo of the collapsed zone

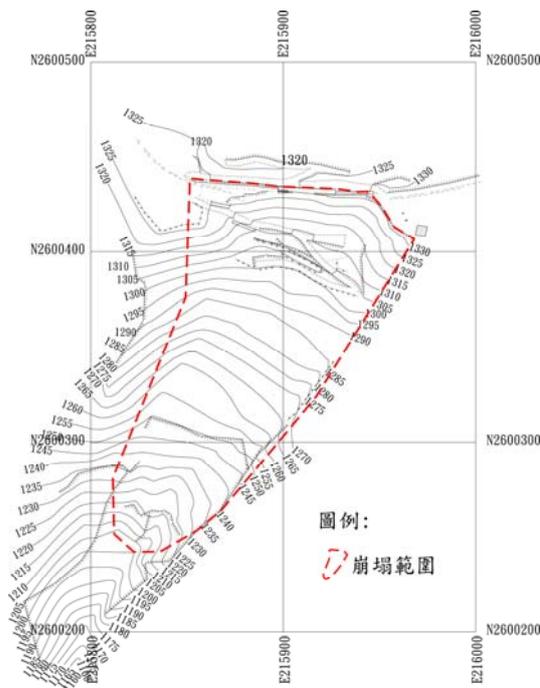


圖 5 研究地區地形圖

Figure 5 Topographic map of the study area

雨強度、降雨延時、坡地逕流及地下水狀況等等。

以下係針對本研究地區崩塌地之地

形、水文、植生等特性，進行崩塌發生之原因探討。

(一)地形陡峭

崩塌範圍形狀約呈一澤形崩塌面，經由地形實測後得知，趾部海拔標高為 EL.1210m，冠部標高約為 EL.1330m，高程差約為 120m，地勢相當陡峭，加上岩石具有相當發達之節理及受到強烈的風化作用，因此在地形陡峭且岩質破碎之環境下，邊坡易發生崩塌之災害。

(二)降雨量集中

一般來說，較淺層的地表破壞，如淺層崩塌、地表沖蝕或溝壑沖刷等，主要皆由短時間且降雨強度大的事件所造成。本研究地區之降雨量多集中於 5~10 月，因此，當累積降雨量高且日降雨量亦高時，相對發生土壤沖蝕及崩塌之機率亦愈高。

(三)植生生長不佳

植生可以有效地阻止雨滴衝擊地表、減少土壤沖蝕、防止飛濺和分散現象的發生，並可降低地表逕流流速及抑制土壤移

動。植物根系和植物體的殘留物可以改進土壤的團粒構造和孔隙率，根系的補強作用亦可增加土壤凝聚力，使土壤剪力增加。本研究地區崩塌地植生狀況不佳，多為裸露區域，對於表層土壤的保護功能不佳，易隨颱風豪雨之侵襲造成土壤流失及崩塌。

二、崩塌地治理工法

在進行崩塌地治理時，需先依據個案之地形、地質等現況環境條件及其崩塌破壞型態加以考量，以選用適合之治理工法。行政院公共工程委員會（2003）於「坡地開發技術之研究」一書中，將各種常見邊坡穩定工法之適用性予以歸納整理（如表 3 所示），表 3 中所列各類工法之適用狀況，可作為邊坡穩定工法選取之依據。此外，在選用邊坡穩定工法種類時亦需考慮工法之安全性、經濟性及施工可行性。

本研究地區崩塌地之整治工程除需針對構造物毀損之處進行必要之修復外，於整體觀點來看，其治理需求主要仍是以維持阿里山森林鐵路安全暢通及崩塌地治理工程為主，期能降低土石災害之發生，以維護當地居民生命財產之安全以及本集水區之自然生態環境。而在進行崩塌地相關工程規劃設計時，除應考慮安全防護之功能外，亦應考量生態環境之維持，並使工程構造物與週遭環境相容。

因此，在充分了解災害發生之原因和確認整治之目的後，以整體性之考量和評估，因地制宜、適地適作，並配合生態工法，規劃完整且周詳之整治工程。

茲將本研究地區崩塌地之主要治理工法敘述如下。

(一)設置排水系統

邊坡穩定工法與坡面保護工之成敗，除了受到地質、地形、氣候及岩性等因素影響外，降雨所形成的地表水與入滲後的地下水，亦為重要影響因素之一，因此，治理崩塌地需設置完善之排水系統，以降低產生崩塌之可能性。

本研究地區之排水工程係於坡頂與坡面設置截水溝及縱向排水溝，攔截邊坡上方之地表逕流，並將其安全導引至適當處，以防止地表遭逕流沖蝕。

(二)坡度、坡長改善及坡趾穩定工程

修坡整地係邊坡穩定最經濟及最重要之對策之一，但在某些案例，由於用地取得或施工條件之限制，無法單純採用修坡整地達成目標，在此情況下則須採取必要的坡趾穩定工程，於坡趾設置適當的擋土設施，以增加邊坡下滑之抗滑力，達到穩定的目標。擋土設施之種類繁多，包括傳統重力式擋土牆、RC 擋土牆、蛇籠及加勁擋土牆、土釘工法或地錨均屬之。

本研究地區之坡趾穩定工程係採用加勁擋土牆配合鋼軌樁處理，施設目的主要在穩定坡趾基腳，防止基腳塌陷而引起上邊坡崩塌或溯源侵蝕。一般鋼軌樁常使用在含有較深厚堆積之土石或風化土層，而加勁擋土牆則常用在崩塌坡面基腳，由於本研究地區崩塌地坡度陡峭，可利用現場之崩土於崩塌地整坡後設置加勁擋土牆，

表 3 邊坡穩定工法適用性評估整理（行政院公共工程委員會，2003）

Table 3 Summary of slope stabilizing measures (Public Construction Commission, 2003)

處理原則	穩定工法	適用破壞模式					工程經費			適用狀況
		落石	淺層滑動	深層滑動	土石流	表面沖蝕	高	中	低	
避開	落石防護措施	✓						✓		易崩落(石)之邊坡
	明隧道	✓	✓					✓		易崩落(石)之邊坡
	隧道	✓	✓	✓	✓	✓	✓			遠離崩塌範圍
	橋工	✓	✓	✓	✓	✓		✓		橫跨崩塌範圍或緊急應變處理
坡面保護工程	噴植法					✓			✓	土質、軟岩坡面
	植生帶法					✓			✓	坡度小於 45 度之土質邊坡
	草苗植生法					✓			✓	坡度小於 35 度之土質邊坡
	草皮鋪植法					✓			✓	坡度小於 45 度之挖方邊坡
	打樁編柵		✓			✓			✓	坡度小於 45 度或淺層崩塌之邊坡之挖方邊坡
	噴漿護坡	✓				✓		✓		岩石邊坡
	固定框梁		✓			✓		✓		坡度 45~60 度或崩落風化之邊坡
排水工程	地表排水	截水溝及縱向排水溝		✓	✓	✓	✓		✓	沿等高方向攔截邊坡上方逕流，防止地表遭沖蝕，並依據地形、土壤抗蝕性以及坡度、水流速決定材料
		排水盲溝		✓			✓		✓	淺層地下水或回填土與地層介面之滲流水
	地下排水	水平集水管		✓	✓	✓			✓	地下水豐沛施作空間許可，收集深層地下水
		集水井			✓			✓		大崩塌地、地下水豐沛不易導出
		排水廊道			✓			✓		大崩塌地、地下水豐沛不易導出
		垂直抽水井		✓	✓				✓	地層屬滲透性佳者
地盤改良工程	電氣滲透法		✓				✓			用於較軟弱黏土填方邊坡
	離子交換工法		✓				✓			吸附土壤中陽離子
	注入工法		✓					✓		使用石灰、飛灰、氯化鈣等材料
擋土工程	砌石擋土牆		✓						✓	挖方或坡高較低邊坡
	重力式擋土牆		✓						✓	挖方或坡高較低邊坡
	懸臂式擋土牆		✓					✓		一般邊坡
	蛇籠擋土牆		✓					✓		基礎土壤較為軟弱
	格框式擋土牆		✓					✓		挖方及填方邊坡皆可
	輕量回填土		✓					✓		軟弱地盤或急斜之填方邊坡
	加勁擋土牆		✓					✓		填方邊坡及坡面綠化植生
	地錨			✓				✓		高挖方邊坡或崩坍邊坡
	土釘工法		✓							挖方邊坡
	抗滑樁			✓				✓		深層滑動邊坡
微型樁		✓							陡坡或崩塌邊坡	

該工法之特性為透水性良好，亦可隨地形之變化而調整。而鋼軌樁與加勁擋土牆二者配合處理，則有互輔之功能。

作業係為造成適合植物生長、繁殖與演替之立地環境，其工作項目包括生育地之改

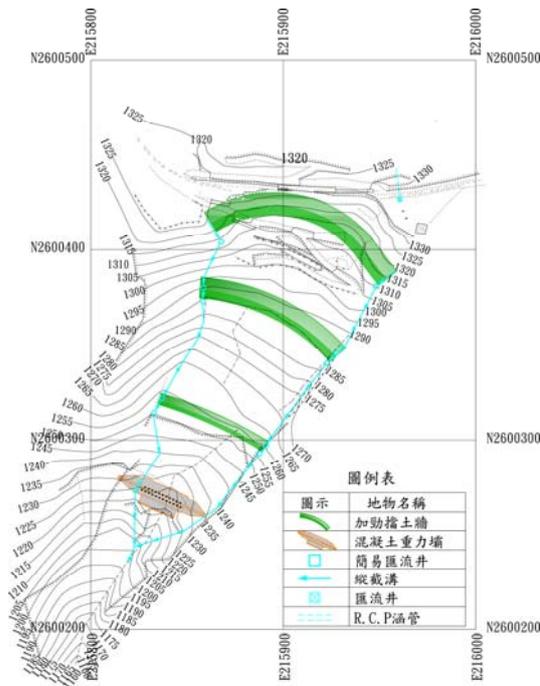


圖 6 整治工程規劃配置圖

Figure 6 Layout of the remediation project

(三)崩塌區植生綠化工程

崩塌地之植生綠化工程主要目的在應用人為方法導入植物，快速造成植物覆蓋坡面，以發揮減少沖蝕、涵養水源之功效。崩塌區邊坡植生工法的選擇應視邊坡特性，透過適當之規劃，降低不利因素，以充分發揮植生對邊坡穩定之功效，而相關植生工法施作之位置示意圖可參考圖 7 所示。

植生綠化工作包括植生前期作業、植生方法及相關之維護管理工作。植生前期

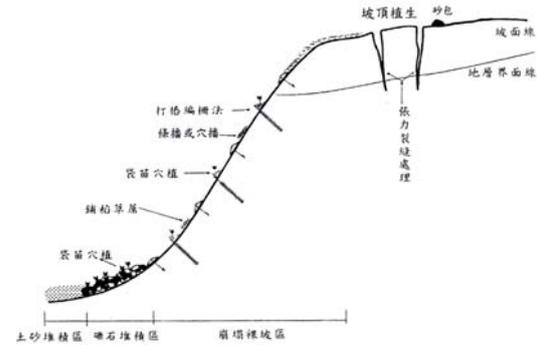


圖 7 淺層崩塌之典型剖面示意圖 (中華水土保持學會, 2002)

Figure 7 Typical profile of the shallow collapse (Chinese Soil and Water Conservation Society, 2002)

善、排水、植生基礎處理等坡面安定設施及其相關作業。而植生綠化之規劃設計，應依地區之氣候及土壤條件，選擇適宜當地環境之植物，以有效之植生方法，快速造成複層之植被。此外，於植生種類之考量，應儘量採取以草種、灌木及喬木混合之複層植生，方能對坡面提供良好保護。

本研究地區採用之植生綠化工法包含下列各項：

1.打樁編柵

由於崩塌區現場存有為數不少之鐵軌枕木，本研究地區於規劃設計時，即以就地取材方式，使用現場之鐵軌枕木做為木樁並且輔以萌芽樁，依適當距離打入土中，並以竹片編織成柵，其目的為固定不安定之土石、改善坡度、防止沖刷，造成

有利植物生長之環境。

2. 鋪網噴植

修整邊坡後，於坡面鋪設菱形鐵絲網，並以錨釘固定之，以防止表層土石及植物體滑落，以利植物生長。之後於鋪網內噴植植生基材，形成連貫性坡面，以減緩坡面之風化作用，施工完成後不久即可達到綠化之效果。

三、崩塌地治理成效

經實地現勘調查後可知，本研究地區自民國 94 年完成崩塌區治理工作迄今，歷經多次颱風豪雨之侵襲，該區之坡面皆呈現穩定之狀態，且無大量土石崩塌與大規模土壤流失之情形，再加上其上游集水區植生覆蓋良好，並未發現大型或新生之崩塌裸露地；因此，阿里山森林鐵路在此路段均能維持通行，顯見本研究地區邊坡治理之成效。

結論與建議

經實地現勘調查得知，導致本研究地區發生崩塌之主要原因係為地形陡峭、降雨量集中、植生生長不佳等因素。因此，本研究地區之整治工程係依據現況環境，綜合應用縱橫向截排水工程、坡面與坡趾保護工程及植生綠化工程等，同時並考量採用符合生態理念之工法，各治理工法環

環相扣、相互影響，期能創造多樣而豐富之生態環境並兼顧邊坡及構造物之穩定與安全，以達到工程與生態互利共生狀態。

此外，崩塌地治理需特別注意整治的時機，應俟整體邊坡已較趨於穩定時再進行整治，其成效最佳，並應減少對崩塌區地形進行過度改變，尤其應避免過度增加坡頂及坡面之荷重，以免造成再度崩塌的危險。

參考文獻

1. 中華水土保持學會(2002)，「土石流及崩塌地整體治理工作手冊」。
2. 行政院公共工程委員會(2003)，「坡地開發技術之研究」。
3. 陳榮河(1999)，「土石流之發生機制，地工技術」，第74期，第21-28頁。

100 年 05 月 16 日收稿

100 年 05 月 19 日修改

100 年 06 月 15 日接受