

二萬坪大規模崩塌監測治理經驗

文／圖 ■ 沈宜慶 ■ 林務局嘉義林區管理處治山課技正

一、前言

阿里山是國內外著名的自然旅遊風景區，同時也是自然災害相對容易發生的區域，諸如地震、山崩、颱風、土石流等，但在各種災害中以颱風帶來的災害最為廣泛。尤其是每年7、8月颱風季節，若有颱風過境，經常造成阿里山重大災害。如民國98年之莫拉克颱風，就重創了阿里山，且使二萬坪地區發生大規模

之崩塌災害，崩塌面積高達130公頃，迄今復建工程仍在持續進行當中，災害影響程度可見一斑。



▲圖1、莫拉克後二萬坪月台邊坡滑落情形（拍攝日期：98年9月）



▲圖2、二萬坪崩塌地空拍現況（拍攝日期：105年5月）

二、災害成因探討

二萬坪地區座落於向西北方向傾斜的陡峭邊坡上，其上邊坡至阿里山國家森林遊樂區入口，坡腳處則為阿里山溪之溪谷，屬於濁水溪流域清水溪支流阿里山溪上游集水區之範圍，本區域地理位置圖詳見圖 3。



▲圖3、二萬坪地區及阿里山森林遊樂區103年正射影像

本區域岩層傾角約呈 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，坡面坡度約 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，坡面與岩層間傾向相同且傾角接近，因此本區域整體為順向坡地形，而在地質材料組成的部分又以疏鬆透水的崩積層及易遇水軟化的頁岩、風化程度高之砂頁岩互層為主。

二萬坪地區為一舊崩場地，由 69 年正射影像圖 4 ①中可以觀察到，於坡面上已有多處蝕溝發展，且崩崖線型明顯，植生生長情形也與周圍區域有明顯之差異。圖 4 ②為 97 年

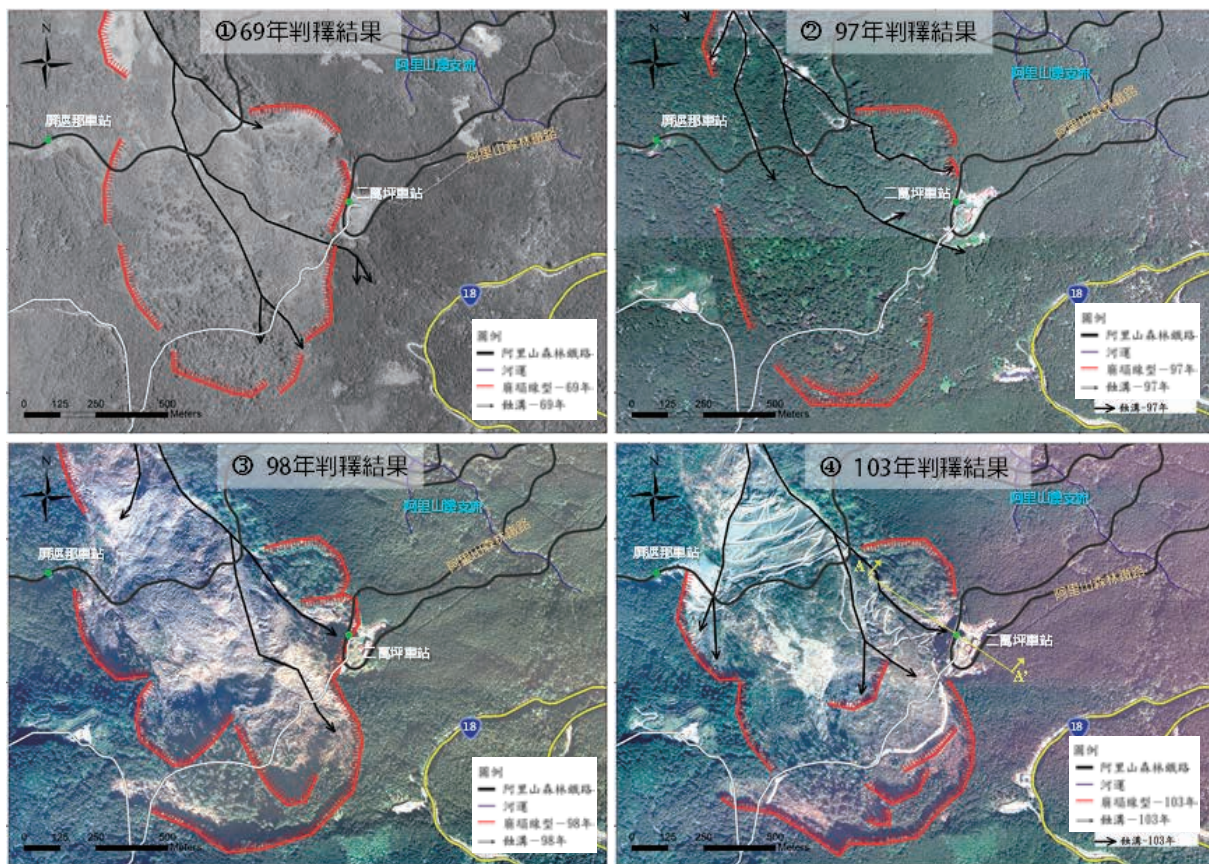
正射影像（莫拉克前），除了蝕溝位置有變化外，植生茂密覆蓋全區及其周邊區域，其他坡面狀況與 69 年並無明顯差異。

由於本區域之地形及地質條件，當民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風侵襲時，於 4 天期間內帶來累積雨量 3,049.5 毫米，單日最大雨量達 1,161.5 毫米，已超過氣象局統計之 200 年重現期距，在強降雨長延時作用下，導致大量地表水下滲，使得崩坍區地下水蓄積分佈不均，且於地表沖蝕出大小不一之侵蝕溝；疏鬆的崩積層在吸水後，土體重量增加，使得坡面安全係數下降，最終導致邊坡滑動坡壞，並在森鐵區間內形成縱向長度（水平投影）達 2,000 公尺，最大橫向寬度達 800 公尺，總崩塌面積達 130 公頃的大規模崩塌。該崩塌區冠部靠近二萬坪車站上邊坡高程約 2,080 公尺處，冠部崩崖落差達 10 ~ 20 公尺；崩塌趾部接近阿里山溪溪谷，高程約 1,200 公尺。比對圖 4 ③ 98 年正射影像（莫拉克後），可見坡面發生大範圍之坍滑，除了主崩崖之線型外，亦於坡面上發現多處次崩崖線型，98 年影像判釋之蝕溝部分，可見一條蝕溝往二萬坪車站下邊坡發展，蝕溝的向源侵蝕可能造成基礎之掏刷。莫拉克風災造成本區之森林鐵路路段（屏遮那 60k + 550 ~ 61k + 450）及二萬坪車站之邊坡坡體崩滑、鐵道路基流失，其崩塌區域主要可分為兩處，兩崩場地以一山脊相隔，相距約 100 ~ 200 公尺，一處規模較小發生於二萬坪火車站月台邊，造成二萬坪鐵道路基掏空崩落，鐵軌懸空；另一處則是位於二萬坪車站西側的巨大崩場地，該處崩塌造成

屏蔽那車站後之鐵路路基全數流失。

圖 4 ④為二萬坪崩塌地區 103 年之正射影像，由此圖可知，原裸露坡面處已有部分施以整治手段，且二萬坪車站下邊坡側設置排樁

與預力地錨予以穩固，亦於下邊坡蝕溝設置格框護坡與固床工減少蝕溝之冲刷與向源侵蝕作用，另外，主崩崖之線型無明顯變化，但次崩崖之線型已與 98 年時有所不同。



① 69年二萬坪地區正射影像

② 97年二萬坪地區正射影像

③ 98年二萬坪地區正射影像

④ 103年二萬坪地區正射影像

▲圖4、由歷年正射影像圖判釋二萬坪地區坑溝及崩崖發展情形

三、歷年治理工作

莫拉克風災後，林務局嘉義林區管理處於二萬坪及屏東那車站鐵路沿線進行一連串的搶災及復建工作，而本區域之治理工作可分為三大方向進行，分別為崩場地整治、鐵路與車站搶災復建工作及植生復育，各項治理工作內容說明如下：

（一）崩場地整治

二萬坪及屏東那區域崩塌範圍規模龐大，嘉義林區管理處自 101 年起分期進行相關整治，內容包含坡面排水、坑溝整流、挖填整坡及新建擋土設施等工程手段，以達到提高邊坡抗滑強度及減緩向源侵蝕的目的，並於坡腳阿里山溪處設置多項防砂設施及護岸等結構，以穩固崩塌邊坡坡腳，防止持續掏刷。

（二）鐵路與車站搶災復建

崩塌災害發生後，嘉義處於二萬坪車站月台下邊坡施作擋土牆、基樁及地錨等強度較高的結構物來保護鐵道下邊坡，而其下方因崩塌造成的裸露坡面也施作了自由樑框護坡與縱

橫向排水溝，來進行坡面沖蝕的保護及排水功能的整治。在森鐵屏蔽那段鐵路修復的部分，為避免厚崩積層持續滑動等二次災害的發生，森鐵屏蔽那段改以隧道的形式穿越岩層內部，以保護鐵路路基的安全。

（三）植生復育

除工程手段外，林管處亦於 100 年起於裸露的崩場地進行撒播造林等復育工作，目的為儘速恢復與自然狀態相似之植物群落，適地適木使植生快速覆蓋地表，以減低土壤沖蝕、防止二次災害，其中栽植種類包含紅檜、扁柏及青楓等逾 27,600 株，復育面積約 25 公頃。

目前上述工程整治項目皆已完工，其工程位置及詳細效益說明詳見表 1，其中治理工作各工區位置編號方式以該工程之完成時間作為編號順序基準，各工區詳細位置見圖 5。二萬坪崩塌區除上述植生復育及工程整治項目外，亦於 103 年起進行該地區的整體調查規劃及定期安全監測，以持續檢視過往施工之成效，並視現地需求進行進一步的植生復育及工程整治工作。

表 1、二萬坪地區歷年整治工程及效益分析表

崩場地整治部分				
工區位置 編號	工程名稱	工程效益	完成時間	工程經費 (元)
1	阿里山溪主流及支流整理工程	1. 設置防砂設施，保護上游林班地坡腳，穩定邊坡。 2. 保全來吉橋、河道下游村民之安全。 3. 清疏量 41,795m ³ 、防砂量 50,000m ³ 。	99 年度	1,800 萬
2	二萬坪崩場地坡頂排水工程	1. 保護坡頂並防止崩塌邊坡續向上擴大、減少雨水入滲地下。 2. 防砂量 1,627m ³ 。	100 年度	864 萬

崩塌地整治部分				
工區位置 編號	工程名稱	工程效益	完成時間	工程經費 (元)
5	屏遮那下方野溪整治工程	1.保護崩塌邊坡山腳,穩定河床;增加囚砂空間,保護來吉部落。 2.清疏量23,542 m ³ 、防砂量80,000 m ³ 。	102年度	2,943萬
6	阿里山溪主流防砂加強工程	1.設置固床工、護坦、基礎保護工、加強既有防砂設施、邊坡穩定設施之穩定性,確保下游來吉橋及來吉1、2鄰居民安全。 2.清疏量11,495m ³ 、防砂量55,275m ³ 。	102年度	956萬
7	屏遮那坡面崩塌地處理工程	1.採用排水、整坡並加強土層之抗剪強度以保護崩塌坡面,減少邊坡之崩塌滑動。 2.防砂量53,362m ³ 。	103年度	3,853萬
10	屏遮那坡面崩塌地處理二期工程	1.延續第一期整治工程,加強西側坑溝整流工程,降低溪床坡度、減緩水流流速,避免繼續向源冲刷。 2.整坡採挖填工法,降低上邊坡載重,減少坡面滑動之驅動力。 3.防砂量10,000m ³ 。	104年度	1,800萬
11	屏遮那坡面崩塌地處理三期工程	1.延續第二期整治工程,加強東西側坑溝整流工程,降低溪床坡度、減緩水流流速,保全上方設施及邊坡穩定。 2.設置防砂設施固床工及護岸,穩固坡腳。 3.防砂量35,000m ³ 。	105年度	2,100萬

鐵路與車站搶災復建				
工區位置 編號	工程名稱	工程效益	完成時間	工程經費 (元)
8	森林鐵路 66K+950~67K+050 災害修復工程	1.以RC擋土護坡及坡面掛網植生,達到穩定鐵道沿線路基邊坡。 2.以鐵道安全及通車為第一要件,進而獲取保存森林鐵道之歷史意義及增進觀光收益。 3.保全二萬坪車站。	103年度	5,966萬
9	森林鐵路 60K+550~61K+450 路基修復工程	1.鐵路損壞段路基改線以隧道方式深入岩層內,保護鐵路路基安全,於屏遮那至舊有47號隧道間之崩塌地新建隧道長度1,141公尺,明隧道24.8公尺。 2.東、西洞口及填土區排水工程。	104年度	3億8千萬

植生復育				
工區位置 編號	工程名稱	工程效益	完成時間	工程經費 (元)
3	二萬坪崩塌地撒播造林工作	主要為達到在短期內恢復與自然狀態相似之植物群落,適地適木使植生快速覆蓋地表,以減低沖蝕、防止災害之目的。	100年度	390萬
4	紅十字會總會山區復育造林	種植紅檜、扁柏及青楓,合計27,617株,面積25.1068公頃。	102年度	-

調查與監測工作				
工區位置 編號	工程名稱	工程效益	完成時間	工程經費 (元)
12	二萬坪地區整體調查規劃及安全監測	1. 針對二萬坪大崩塌區域進行整體調查規劃，以及奮起湖工作站後方邊坡崩塌區域既有監測設施之持續監測，另納入豐山、來吉地區歷年工程效益評估。 2. 保全阿里山青年活動中心、森林鐵路二萬坪車站、屏遮那車站、奮起湖工作站及下方苗圃與169縣道人車之安全。	104年度	550萬

註：工區位置編號方式以該工程之完成時間作為編號順序基準，各工區詳細位置見圖5。



▲圖5、二萬坪崩塌地區歷年整治位置圖

其中二萬坪地區之歷年整治工程編號 1 ~ 11 項之執行成果照片及簡述如下：

1 阿里山溪主流及支流整理工程



2 二萬坪崩塌地坡頂排水工程



3 二萬坪崩塌地撒播造林工作

4 紅十字會總會山區復育造林



5 屏遮那下方野溪整治工程



6 阿里山溪主流防砂加強工程



7 屏遮那坡面崩塌地處理工程（一期）



8 森林鐵路66k + 950 ~ 67k + 050災害修復工程



9 森林鐵路60k+550~61k+450路基修復工程



修復森林鐵路路基工程



以隧道方式深入岩層



隧道工程施作中



隧道修復完工程

10 屏遮那坡面崩塌地處理工程（二期）



乾砌石駁坎及固床工



二期工程空間全景



洩槽溝及消能設施



崩塌坡面整坡及植生

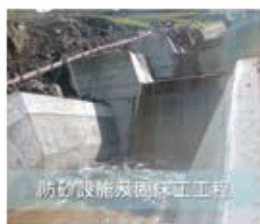
11 屏遮那坡面崩塌地處理工程（三期）



乾砌石護坡工程



跌水工程



防砂設施及固床工程



植石消能設施

四、現地監測及分析

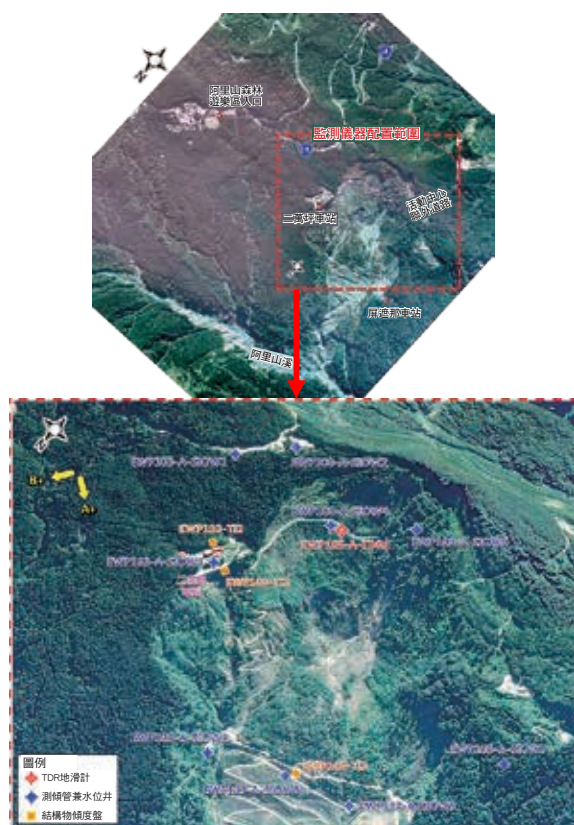
目前於二萬坪崩塌區內之監測儀器項目主要為地中測傾管、地下水位觀測井以及結構物傾度盤。為充分了解由森林鐵路至阿里山公路之間的地質狀況，在二萬坪崩塌區內進行補充鑽探，並於鑽探完成後於該點位執行定期監測工作，以掌握二萬坪大崩塌區之長期穩定狀況，其監測範圍包含森林鐵路至阿里山公路，及阿里山青年活動中心區域之可能地層滑移趨勢；由於本區域地層特性為厚崩積層，地下水的分布情形為坡面穩定的重要關鍵，故於本區域內設置測傾管兼水位井並進行定期的安全監測及水位資料蒐集，並安裝結構物傾度盤於擋土牆及青年活動中心建築物上，以進行結構物傾斜量的監測。依照二萬坪崩塌地地形及保全對象位置等考慮因素，於本區佈設監測儀器（如圖6），各監測儀器項目及設置目的等詳細資料如表2所示，依照監測數據及地形圖資，進行監測結果分析說明如下：



（圖片／高遠文化）

表 2、二萬坪地區監測儀器及設置目的列表

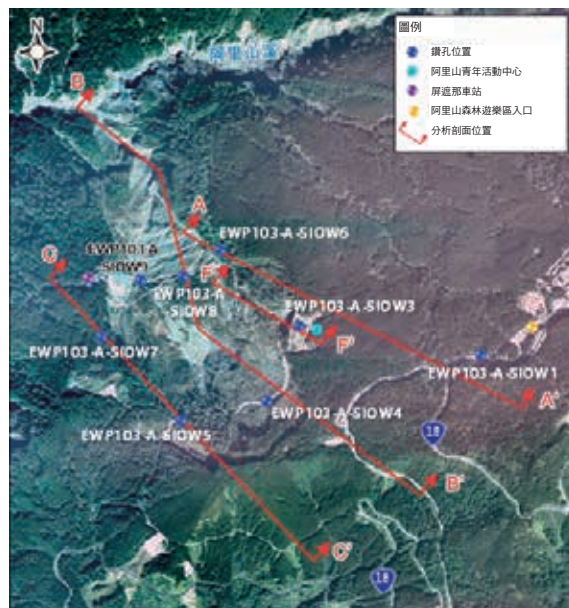
孔號	深度	監測儀器項目	探查目的及保全對象
	(m)		
EWP103-A-SIOW1	50	測傾管/水位井	監測阿里山公路
EWP103-A-SIOW2	50	測傾管/水位井	監測新設加油站
EWP103-A-SIOW3	50	測傾管/水位井	監測青年活動中心
EWP103-A-SIOW4	55	測傾管/水位井	監測連絡道路
EWP103-A-SIOW5	65	測傾管/水位井	監測連絡道路
EWP103-A-SIOW6	50	測傾管/水位井	監測森林鐵路隧道上方崩積層
EWP103-A-SIOW7	50	測傾管/水位井	監測森林鐵路隧道上方崩積層
EWP103-A-SIOW8	50	測傾管/水位井	監測下邊坡及新建設施
EWP103-A-SIOW9	50	測傾管/水位井	監測下邊坡及新建設施
EWP105-A-TDR1	60	TDR地滑計	監測連絡道路並與傳統測傾管數據進行比對
EWP103-TI1	-	傾度盤	監測二萬坪車站下邊坡擋牆
EWP103-TI2	-	傾度盤	監測阿里山青年活動中心
EWP103-TI3	-	傾度盤	監測屏遮那一期擋土牆



▲圖6、二萬坪地區監測儀器配置圖

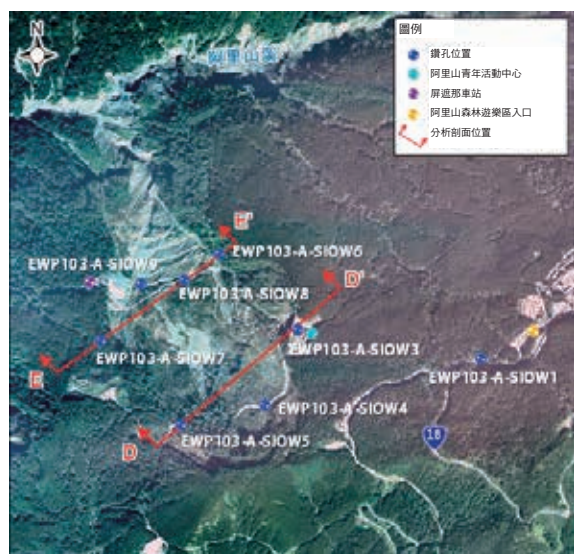
(一) 地層滑動監測情形

監測結果依照地形剖面 AA'~剖面 FF' 共 6 處剖面進行說明，其剖面位置及鑽孔位分佈 (如圖 7)。



①垂直坡面剖面AA'-CC' & FF'

▲圖7、二萬坪地區鑽孔及剖面位置圖



②平行坡面剖面DD'及EE'

▲圖7、二萬坪地區鑽孔及剖面位置圖

1. 圖 8-AA'剖面

EWP103-A-SIOW1：

EWP103-A-SIOW1 位於台 18 道路下邊坡、靠近遊樂區大門口處，其監測結果顯示，於

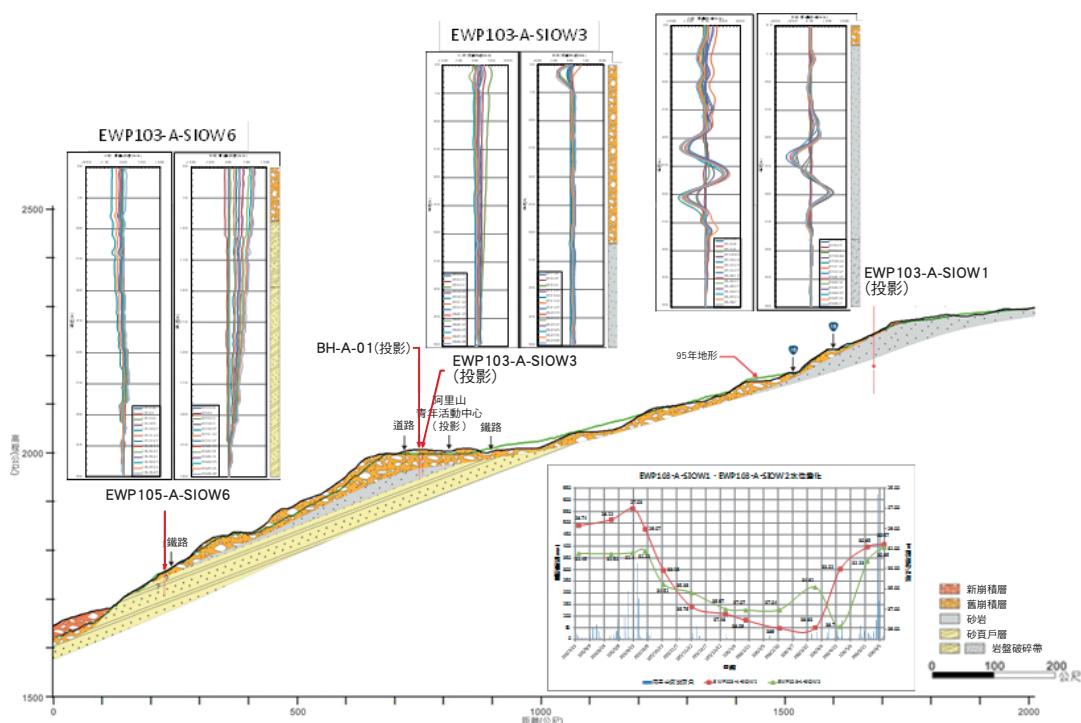
105 年 10 月颱風豪雨後，管深 19 ~ 38 公尺處之累積變位圖出現波浪狀，判定為測傾管周圍回填材料局部沉陷擠壓變形造成，非地層滑移，其後量測數月之變形曲線約略與其一致，未出現擴大變位情形，EWP103-A-SIOW1 周邊道路鋪面局部有發現平行坡面之細微裂隙，待後續持續觀察。

EWP103-A-SIOW3：

EWP103-A-SIOW3 位於阿里山青年活動中心停車場，自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止，並無出現明顯變位量，尚無出現滑動傾向。

EWP103-A-SIOW6：

EWP103-A-SIOW6 位於屏遮那隧道旁，自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止，並無出現明顯變位量，尚無出現滑動傾向。



▲圖8、二萬坪地區AA'地質剖面及測傾管歷次監測成果

2. 圖 9-BB' 剖面

EWP103-A-SIOW2：

EWP103-A-SIOW2 接近大崩場地冠部處，本監測點位自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止，變位曲線僅在儀器誤差範圍內擺盪，暫無出現明顯滑動傾向。

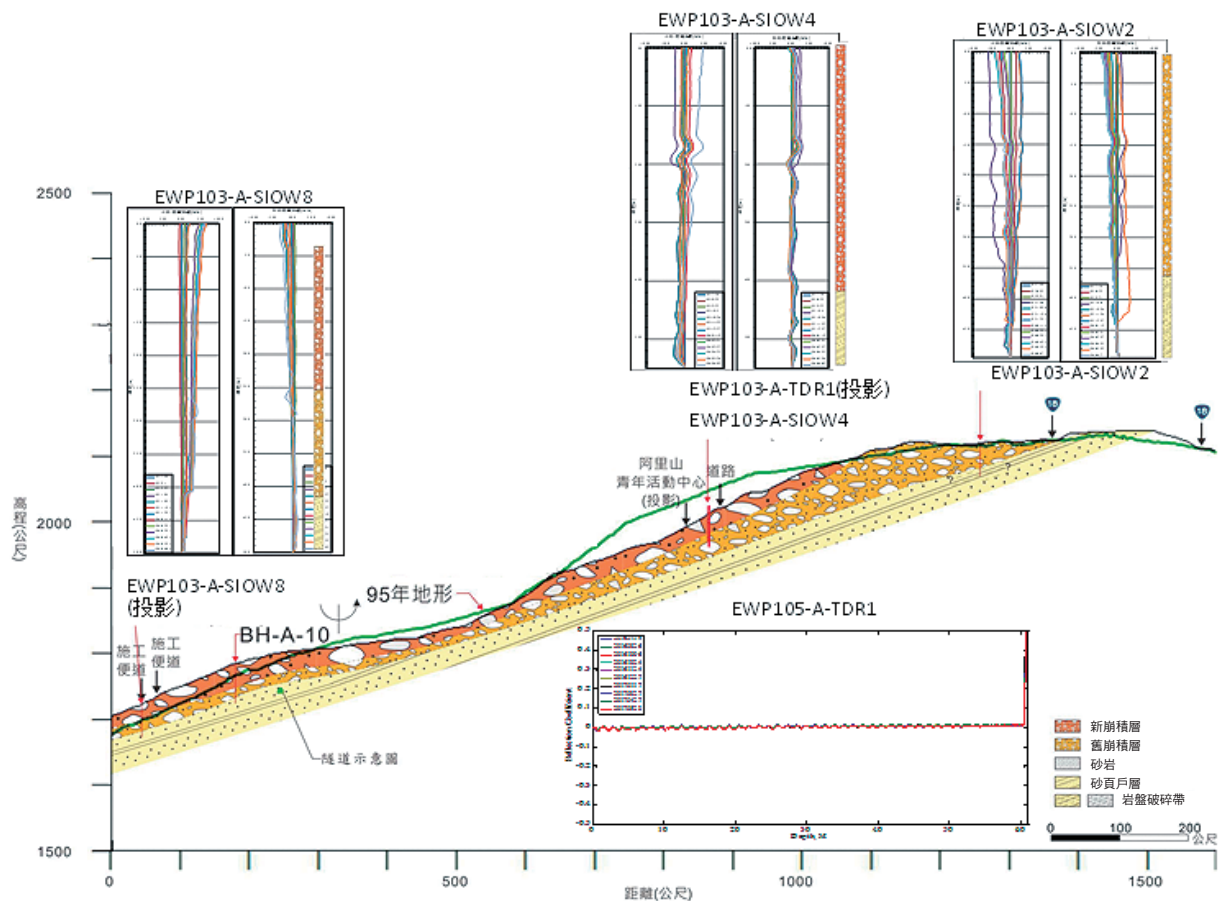
EWP103-A-SIOW4 & EWP105-A-TDR1：

EWP103-A-SIOW4 位於阿里山青年活動新聯外道路旁，該監測點於 GL-16m ~ 20m 處出現 S 形變位曲線，唯自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止，並無出現明顯滑動面及變位量，故判定尚無滑動傾向；其鄰

近位置之 TDR 地滑計 EWP105-A-TDR1 之量測結果亦無出現明顯滑動面，兩者量測結果雷同。

EWP103-A-SIOW8：

EWP103-A-SIOW8 位於大崩場地中間位置，本監測點於 GL-41m 處疑似有滑動面出現，自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止 A 向最大累積變位量為 6.18 毫米（該最大變位量發生於孔口處），近幾個月量測發現並無擴大，待後續觀察是否有持續變位情形。



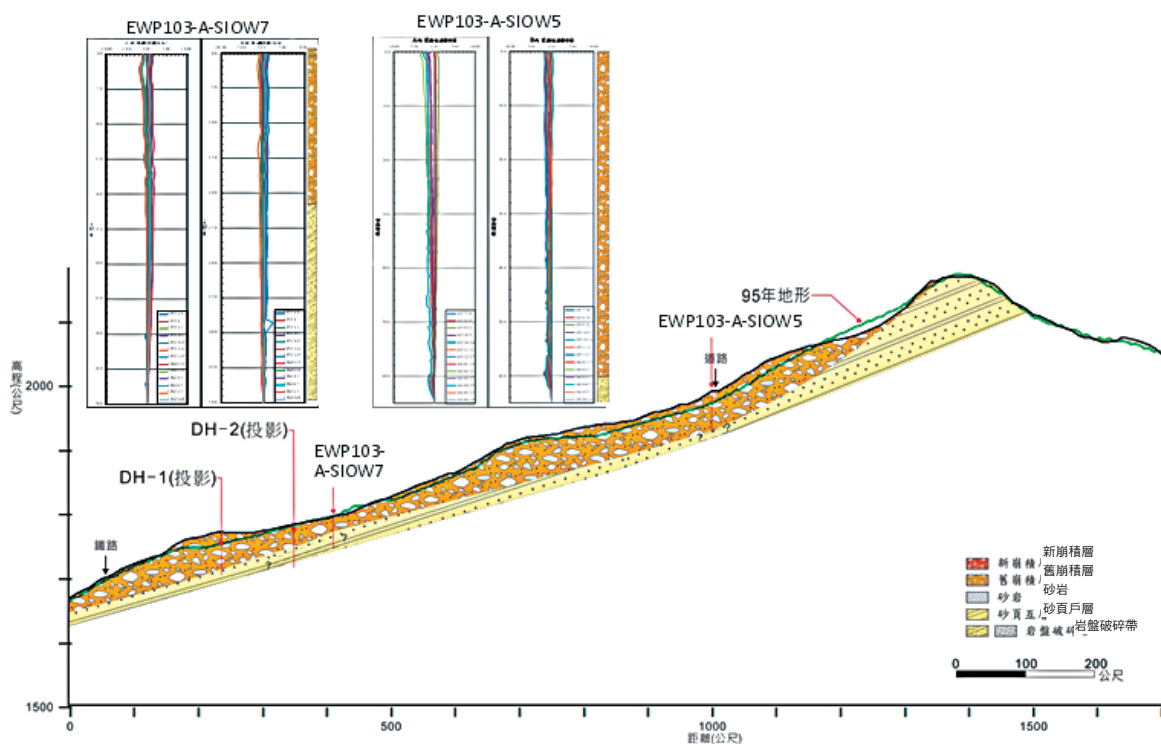
▲圖9、二萬坪地區BB'地質剖面及測傾管歷次監測成果

3. 圖 10-CC' 剖面

EWP103-A-SIOW5 & EWP103-A-SIOW7：

EWP103-A-SIOW5 位於阿里山青年活動新聯外道路旁，EWP103-A-SIOW7 位於二萬坪崩

塌地便道旁，該兩處本監測點位自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止，並無出現明顯變位量，尚無出現滑動傾向。



▲圖10、二萬坪地區CC'地質剖面及測傾管歷次監測成果

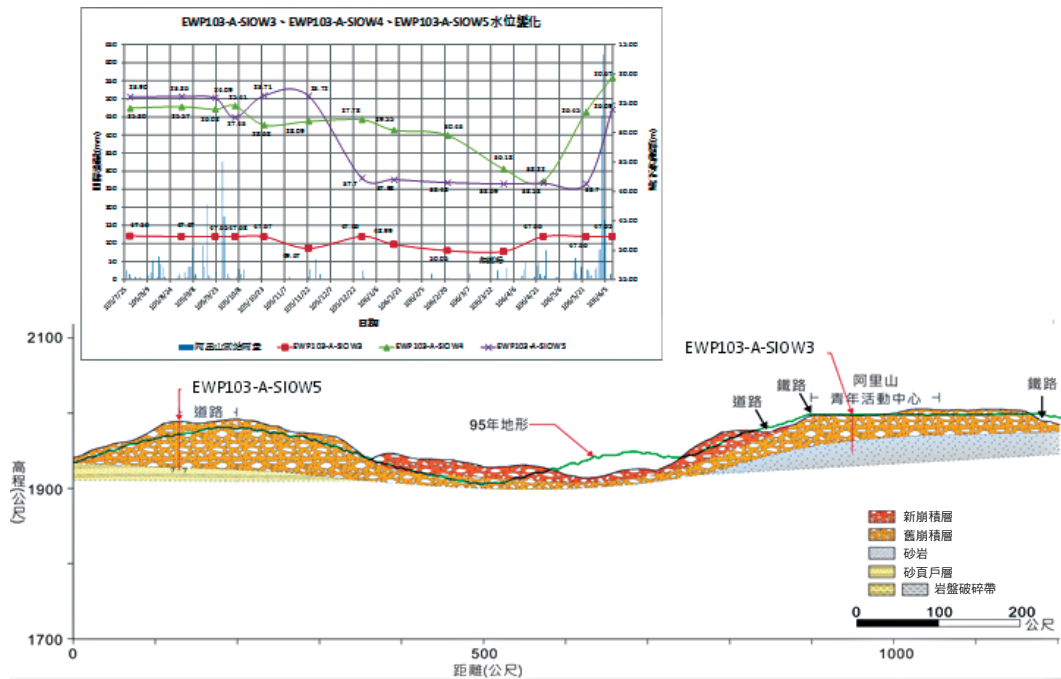
(二) 地下水位監測情形

二萬坪地下水位觀測井 EWP103-A-SIOW1 ~ EWP103-A-SIOW9 變化如圖 11 ~ 圖 12 所示。EWP103-A-SIOW1 及 EWP103-A-SIOW2 位於崩塌區冠部，常時地下水位約在地表下 36 公尺處，因崩積層地質材料疏鬆，受強降雨影響可上升 6 ~ 9 公尺不等。

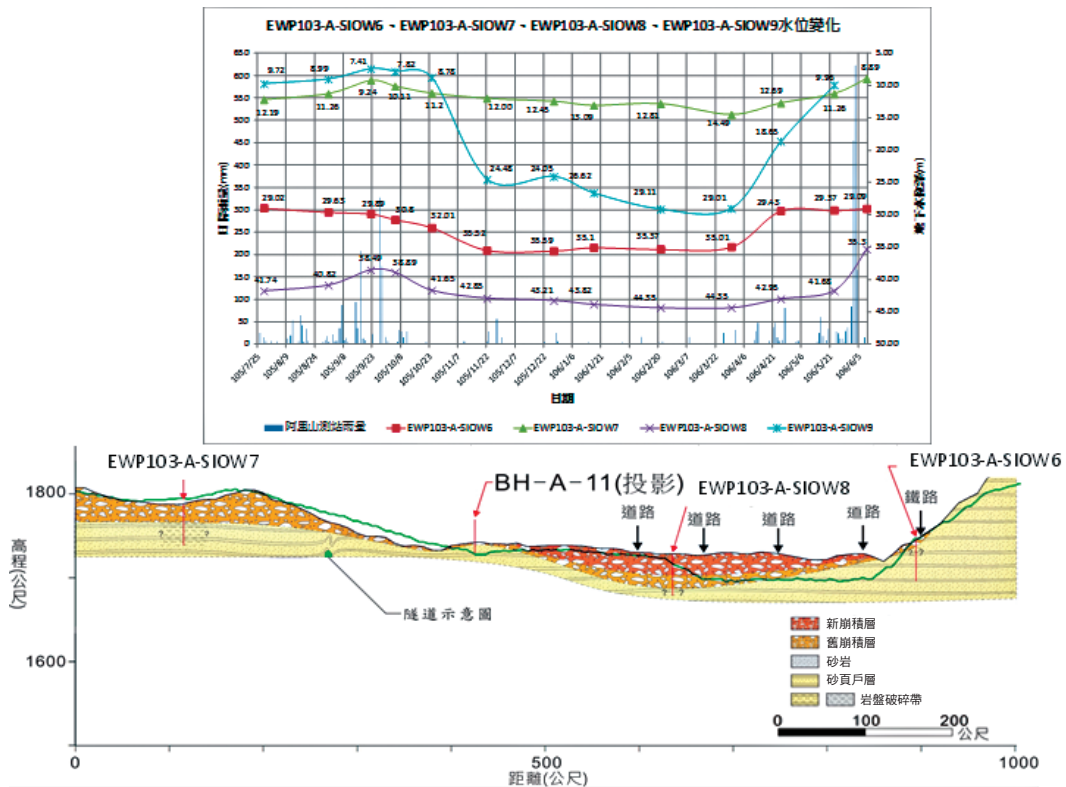
EWP103-A-SIOW3 鄰近阿里山青年活動中心，此區常時地下水位約在地下 47 ~ 49 公尺，地下水位偏低且變化不大，推估該區局部地下水位面位置如圖 13 所示；EWP103-A-

SIOW4 及 EWP103-A-SIOW5 位於青年活動中心連外道路旁避車道上，此兩孔受降雨量影響地下水位變動較大（受強降雨之變化量約在 10 ~ 18 公尺間）。

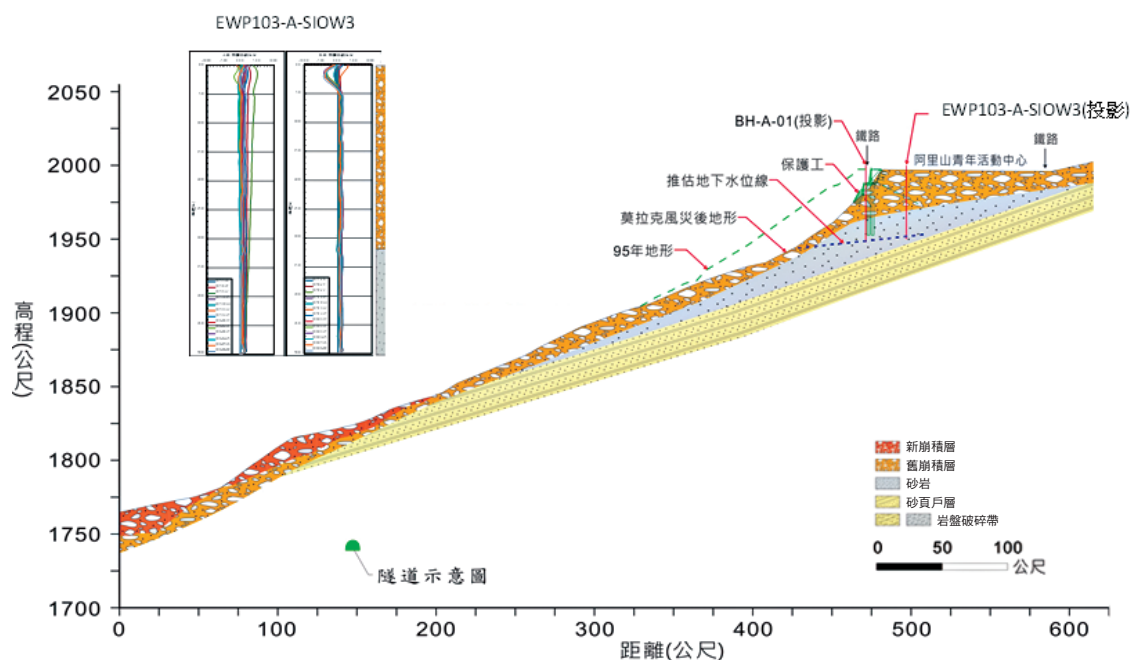
EWP103-A-SIOW6 ~ EWP103-A-SIOW9 位於屏遮那崩場地中上緣，受 106 年 6 月初梅雨降雨量影響，水位上升約 4 ~ 6 公尺不等，惟 EWP103-A-SIOW9 因位置較靠近坑溝，為逕流易匯集處，因此水位變動較大，受強降雨影響水位升降範圍約為 20 公尺。



▲圖11、二萬坪地區DD'地質剖面及測傾管歷次監測成果



▲圖12、二萬坪地區EE'地質剖面及測傾管歷次監測成果

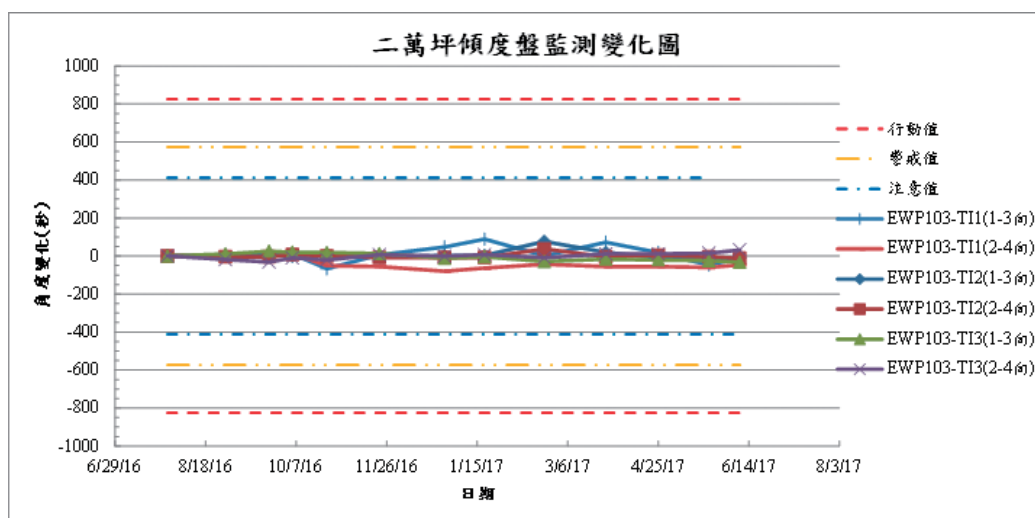


▲圖13、二萬坪地區FF'地質剖面及測傾管歷次監測成果

(三) 結構物傾斜量監測情形

二萬坪傾度盤 EWP103-TI1 安裝於二萬坪車站月台下邊坡擋牆上，EWP103-TI2 安裝於阿里山青年活動中心建築物上，EWP103-TI3

安裝於崩場地中心擋土牆上，歷次量測結果如圖 14，自 105 年 7 月（監測初始值）起至 106 年 6 月止傾度盤變化值皆小於 100 秒內，無明顯變位情形發生。

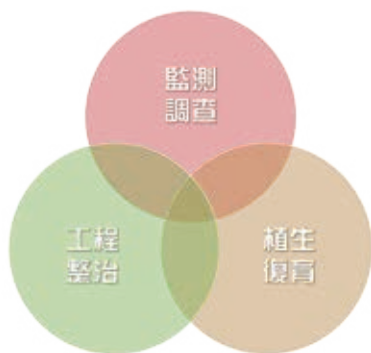


▲圖14、二萬坪地區結構物傾度盤歷次監測成果

(四) 小結

二萬坪崩塌及火車站區域自莫拉克風災後已陸續完成相關整治工程，由 105 年 7 月～106 年 6 月之地層滑動監測及結構物傾斜量監測結果來看，在靠近崩塌地上緣（保全對象為阿里山青年活動心及二萬坪車站），暫無持續且立即的地層滑移情形發生（圖 13 及圖 14），顯示風災後之治理手段已有初步成效，待後續持續監測以了解整體穩定性之變化。

五、結語



二萬坪地區經歷年航照及現地調查可發現，二萬坪地區原為舊崩場地，崩積材料厚達 50 公尺以上，且組織疏鬆緊密度不均勻，透水性較強，強降雨後地表水入滲，降低崩積層之剪力強度及有效應力，引發舊崩場地急劇地滑及局部岩塊崩落。風災後二萬坪地區出現大規模裸露坡面，區域內水系部份出現局部改變且多呈向源侵蝕之趨勢。

由於崩塌範圍量體較大，整治復育手段應採分期階段式進行，對於崩塌區內之裸露面持續進行植生復育工作，適地適木使植生快速覆蓋地表，以減低坡面沖蝕等災害。再者關於區內向源侵蝕趨勢明顯之坑溝與野溪，應優先

施以工程手段進行整治，防止溪床下切掏刷坡腳，造成土石崩落堆積等情形。由 105 年度至今之監測數據可知，莫拉克風災後於阿里山青年活動中心及二萬坪車站周邊之整治手段已有初步成效，該區域暫無發現明顯地層滑移及結構物傾斜之趨勢，唯二萬坪大崩塌區之地下水層分布與水文特性資訊尚嫌不足，又於此厚崩積層型態之地層，水文特性為其致災之重要考量因素，故在實施植生復育及工程整治的同時，後續將持續監測以了解該區域地層滑移趨勢，配合監測管理值加以判釋保全對象是否有立即性之危險，並持續於二萬坪崩塌區域辦理調查工作，包含新設鑽孔確認崩積層深度及活動性、施作地電阻測線探查以了解崩塌區地下水文之模式，供未來該區施設集水井及排水設施之依據。

二萬坪地區有阿里山森林鐵路穿越，並且為阿里山森林遊樂區觀光休憩區中重要之一環，保全對象重要且明確，未來亦須透過持續的調查及監測工作釐清該區地質材料以及地下水流路等可能再次致災之控制因素，並予以階段性之整治，以永續經營及使用。🌱



（圖片／高遠文化）