

藤枝聯外道路大規模崩塌監測治理經驗

文／圖 ■ 吳重君 ■ 勇霖工程顧問有限公司技師

陳俊吉 ■ 勇霖工程顧問有限公司技師

張嘉倫 ■ 林務局屏東林區管理處治山課技士

林秀勇 ■ 林務局屏東林區管理處治山課技正

施保呈 ■ 林務局屏東林區管理處治山課課長

一、前言

藤枝聯外道路位於高雄市六龜區與桃源區，為通往藤枝森林遊樂區與周邊居民主要道路，聯外道路沿邦腹溪右岸稜線山麓起伏而上，沿線地層主要為廬山層，以中新世的硬頁岩和板岩系為主，依御油山雨量站 82 ~ 105 年資料顯示，聯外道路年平均降雨量約為 4,137 毫米，且以 93 年為界，可明顯看出累積雨量差異（93 年以前平均雨量 3,416 毫米，94 年以後平均雨量 4,859 毫米）。此外，因受梅雨及颱風影響，降雨多集中於每年 5 ~ 9 月期間。

聯外道路因地勢陡峭，加上坑溝向源侵蝕、坡面岩盤風化等影響，94 年海棠、98 年莫拉克，及 101 年 610 等颱風豪雨期間，均造成聯外道路沿線多處邊坡崩塌與路基流失，其中，94 年海棠颱風後，因邦腹溪淘刷坡趾，導致聯外道路 2K 周邊發大規模崩塌，其崩塌範圍由 4K 路基（滑動體冠部），向下延伸至邦腹溪畔（滑動體趾部），崩塌面積約 10 公頃，

為求根本整治該崩場地，屏東處除緊急於坡趾設置護岸，避免坡趾持續遭淘刷，2K 與 4K 周邊增設懸臂式與加勁擋土牆，及石籠路基，維持道路通行能力外，96 年起辦理地質調查與監測，依調查結果辦理分期整治，並將監測資料回饋，作為後續林道管理依據。

二、現況調查與監測成果

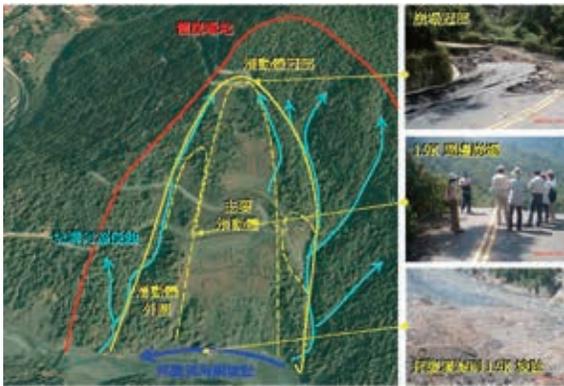
為釐清大規模崩塌機制，以妥善規劃監測系統，精確判定滑動塊體，進而評估整治工法，以下將介紹本崩場地之調查與監測成果。

（一）滑動範圍初判與監測系統規劃

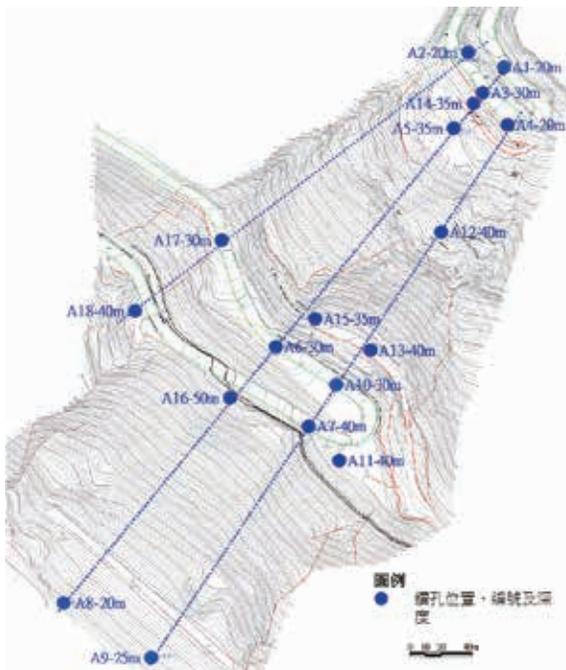
由於邊坡位在邦腹溪河道攻擊岸，坡面大小坑溝分布，海棠颱風後之災害跡象研判，工區所在邊坡坡趾，因邦腹溪淘刷而發生大規模崩塌，而坡面因鬆動土石形成數處坑溝，加上坑溝向源侵蝕而使邊坡形成大小崩場地。94 年海棠颱風後，邦腹溪河道淤積抬升，溪水淘刷坡趾，致舊崩塌範圍內再度發生大規模

崩塌，其側邊坡面雖未發生明顯崩塌，但因可見土石崩落與構造物開裂等徵兆，故研判仍在潛在滑動範圍內（圖 1）。

為瞭解工區之滑動深度、速率與規模、地下水位變化、結構物潛變與路基下陷速率等資料，故 96 年設置傾斜管、水位觀測井、沉陷點、傾度盤與裂縫計等監測設施（圖 2），以綜合研判滑動機制，作為評估整治工法依據。



▲圖 1、94 年海棠颱風後現況與潛在滑動範圍判釋圖



▲圖 2、傾斜管配置圖

（二）地質成果與地滑潛勢評估

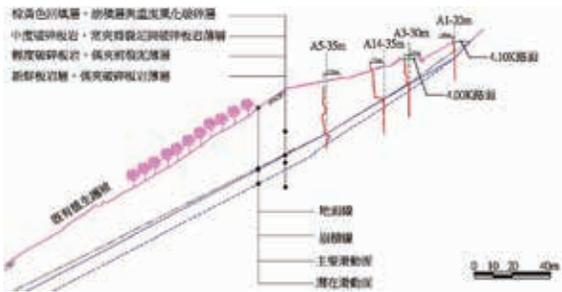
本案地質鑽探深度依鑽孔所在位置與岩心狀況而定，其深度介於 20 ~ 50 公尺間，調查成果顯示，工區地層依序為崩積層與重度風化破碎層（厚度 10.5 ~ 16 公尺）；中度破碎板岩，常夾剪裂泥與嚴重破碎板岩薄層（厚度小於 17.5 公尺）；輕度破碎板岩層，偶夾剪裂泥（厚度 3.9 ~ 9.5 公尺）；而最下層為灰色新鮮板岩層，偶夾破碎板岩薄層。

（三）監測成果

工程界常以滑動深度將邊坡滑動區分為淺層（深度 3 公尺以內）、中層（深度 3 ~ 10 公尺間）、中深層（深度 10 ~ 30 公尺間）、以及深層（深度 30 公尺以上）滑動，並依滑動類型，選定適當之穩定工法。而 96 年監測初期傾斜管變形量甚大，部分孔位在大雨後便被剪斷，經由增設傾斜管後，始收集足夠所需設計參數，相關監測成果彙整說明如下：

1. 滑動體冠部

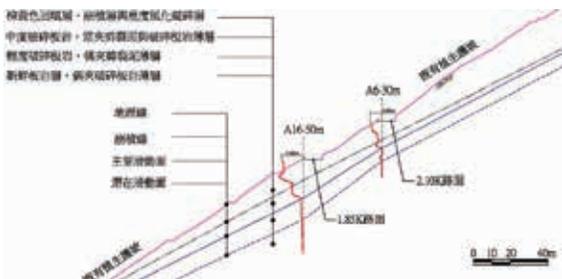
聯外道路 4.0K 周邊路段位於滑動體冠部，前期先以箱籠構築路基以恢復交通，96 年監測期間，周邊地表裂隙分布，傾斜管仍可觀查到 1.4 ~ 24.9 公分不等之變形量，且於地表下 8.5 ~ 17.0 公尺間（崩積層範圍）發現滑動面（圖 3），故優先加強周邊地表排水與強化地層穩定，可避免滑動體之地滑潛勢持續惡化。



▲圖3、滑動體冠部代表斷面監測成果

2. 主要滑動體

鑽探成果顯示，位於滑動坡面之聯外道路 1.8K ~ 2.1K 區間路段上邊坡，其殘留崩積層厚可達 22 公尺，調查期間為裸露坡面，以擋土牆與局部格梁方式護坡，保護道路安全，96 年監測期間，汛期坡面土石崩落，周邊傾斜管可觀察到 6.5 ~ 24.9 公分不等之變形量，地表下 14.5 ~ 20.0 公尺間發現滑動面（圖 4），且滑動範圍內地下水位升降與降雨呈正相關，顯示工區確實為地滑潛勢區，宜採用滑動土體抑止方式整治。

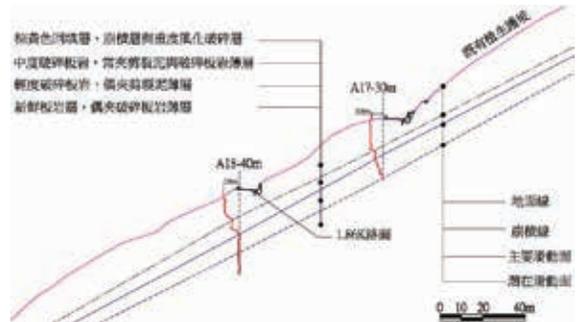


▲圖4、主要滑動體代表斷面監測成果

3. 滑動體外圍

相較於崩塌坡面之明顯現象，位滑動體外圍之 A17 與 A18 傾斜管，同樣於地表下 17.0 ~ 21.5 公尺間發現滑動面，但 96 年變

化量僅 5.5 ~ 7.5 公分間（圖 5），顯示其同屬於地滑潛勢區，但穩定性相對較高，治理急迫性較低。



▲圖5、滑動體外圍監測成果

三、分期整體規劃

聯外道路 2K 周邊路段，因坡趾長期遭受邦腹溪淘刷，94 年海棠颱風後，形成大規模崩塌，災後於坡趾先行興建護岸，坡面局部設置格梁護坡，道路上下設置箱籠路基、懸臂式與加勁式擋土牆，維持道路通行能力。

嗣後於 96 年藉由鑽探與監測，確認工區為地滑高潛勢區後，考量治理急迫性與有限經費額度，依監測成果，辦理分期整治工程。而一般滑動深度在 10 公尺以上之地滑災害，除應優先辦理地表截排水，避免災害急速擴大外，可採用之地滑整治工法有以下 3 種：

- (1) 預力地錨工法：於滑動層面上方施加上向力，以提高滑動層面摩擦力與穩定性。
- (2) 抗滑樁工法：直接以 RC 排樁支承下滑岩體。
- (3) 水平集水管與集水井等排水工法：導排

滑動層面地下水與增加有效應力，提高岩體強度與滑動層面穩定性。

一般工法選擇上，可同時搭配數個工法，故應視工區狀況適材適用評估選用，就本案而言，依據保全需求、岩盤條件、抗滑強度、施工與費用、工期長短、維護成本、路基穩定、及交通維持等因素評比（詳表 1），建議地滑整治時以抗滑樁為主體，並視工區地水位與滑動面深度，適度搭配水平排水管與預力地錨，以形成複合型整治工法，提升邊坡穩定成效。

（一）第一期工程（96 年期間）

工區屬地滑高潛勢區，滑動體冠部陷落崖與張力裂隙分布，為避免地表逕流入滲，導致地滑災害擴大，第一期整治工程以冠部處理（即聯外道路 4K 周邊路段），及少量設施維持坡面短期穩定，避免災害擴大，為後續整治工程爭取所需時間，相關工程規劃如下：

1. 強化地表排水

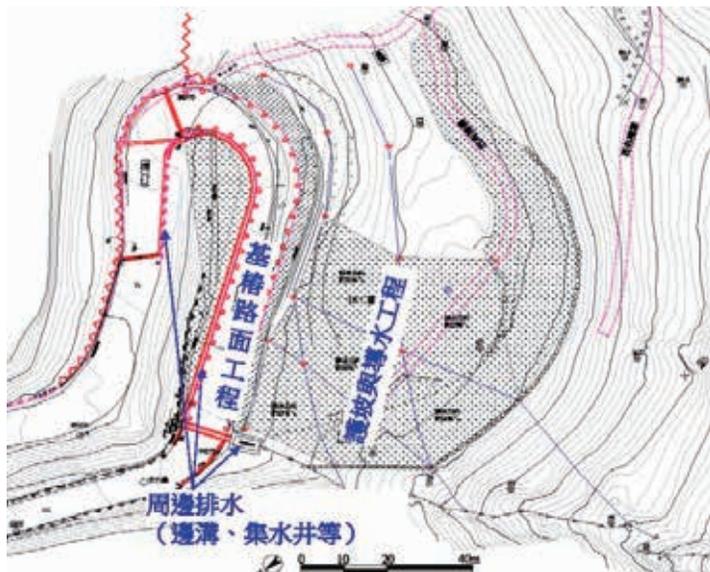
藉由冠部整坡（含裂隙填補）、植生護坡與噴漿縱橫溝，配合周邊道路排水工程（含道路邊溝）（圖 6），截排地表水，減少逕流入滲，達初步穩定邊坡之目的。

2. 冠部長久穩定

考量降低坡體自重、提升邊坡抗滑能力及維持道路長久穩定性，以抗滑樁（貫入滑動面下岩層 5 公尺以上）路基搭配 RC 路面板方式，改建 4K 周邊路段（圖 7），以兼顧 4K 周邊道路安全，減輕邊坡下滑力，提高坡穩定性。

3. 坡面短期穩定

依據滑動面深度，於聯外道路 1.8K ~ 2.1K 路段之既有擋土牆牆面，增設 50 公尺預力地錨（貫入滑動面下岩層 10 公尺以上），以維持邊坡穩定性。



▲圖6、第一期整治工程配置

表 1、藤枝聯外道路 2K 大型地滑整治工法評估表

| 工法 評比 | 預力地錨工法 | 抗滑樁工法 | 水平集水管與集水井等排水工法 |
|----------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 工法限制 | 適用於滑動深度10~30公尺間之中深層滑動 | 適用於滑動深度10~30公尺間之中深層滑動 | 適用滑動深度30公尺以上之深層滑動，造價昂貴 |
| 鑽探與監測需求 | 需求稍低 | 需求次高 | 需求最高（需探查地下水位、流向與流速） |
| 岩盤條件 | 錨定層岩盤需具破碎性低，強度高之特性 | 承載層岩盤需具破碎性低，強度高之特性 | 導排層需為地下水豐富，且透水性高之地層 |
| 結構性質 | 錨定成效視地質特性與鋼鍵防蝕能力而定 | RC力學特性明確 | 地下水排導成效受含水層影響甚鉅 |
| 抗滑強度 | 短期抗滑強度佳，長期抗能力視地錨品質而定 | 基樁間距密則抗滑效果強，成效可預估與量化 | 集水或排水阻塞時成效降低，成效無法發揮 |
| 施工技術 | 施工技術要求稍低，工班最多 | 施工技術要求稍低次高，工班多 | 大型集水井施工技術要求最高，工班少 |
| 施工費用 | 可複拉60T地錨*40公尺約4萬/支 | 全套管D100公分樁徑1.6萬/公尺 | 集水井D350公分約20萬/公尺，集水管600元/公尺 |
| 工期長短 | 可同時多部鑽機鑽孔，工期較具彈性 | 現地鑽掘澆置基樁，支數多時工期長 | 視集水井與管之深度與長度而定，一般工期長 |
| 維護成本 | 荷重需長期監測、維護與補強，維護成本中等 | 無需維護，定期檢視即可，維護成本低 | 排水速度隨時間遞減，偶需補孔，維護成本高 |
| 路基穩定 | 完工後立即發揮穩定功效，但長期穩定性視地錨狀態而定 | 完工後立即發揮穩定功效 | 成效視整體坡面排水成效而定 |
| 交通維持 | 擋土牆旁施工，視機具型式進行必要交通管制 | 路外闢建便道施工，交通影響小 | 工區周邊坡施工，交通影響小 |
| 建議工法 | | 建議採用 | |

（圖片／高遠文化）



▲圖7、基樁路面版標準斷面圖與現況照片

(二) 第二期工程 (96 ~ 97 年期間)

有鑑於 94 年崩塌後，崩場地淺層不穩定，坡面為裸露土石坡面，且 96 年汛期期間，坡面土石大量崩落、淹沒聯外道路 2K 周邊路段，嚴重影響道路安全，本期以崩塌坡面淺層整治與坡面落石防護，維持行車安全為主；此外，藉由水平排水管導排地下水，以達地滑整治之目的，相關工程規劃說明如下：

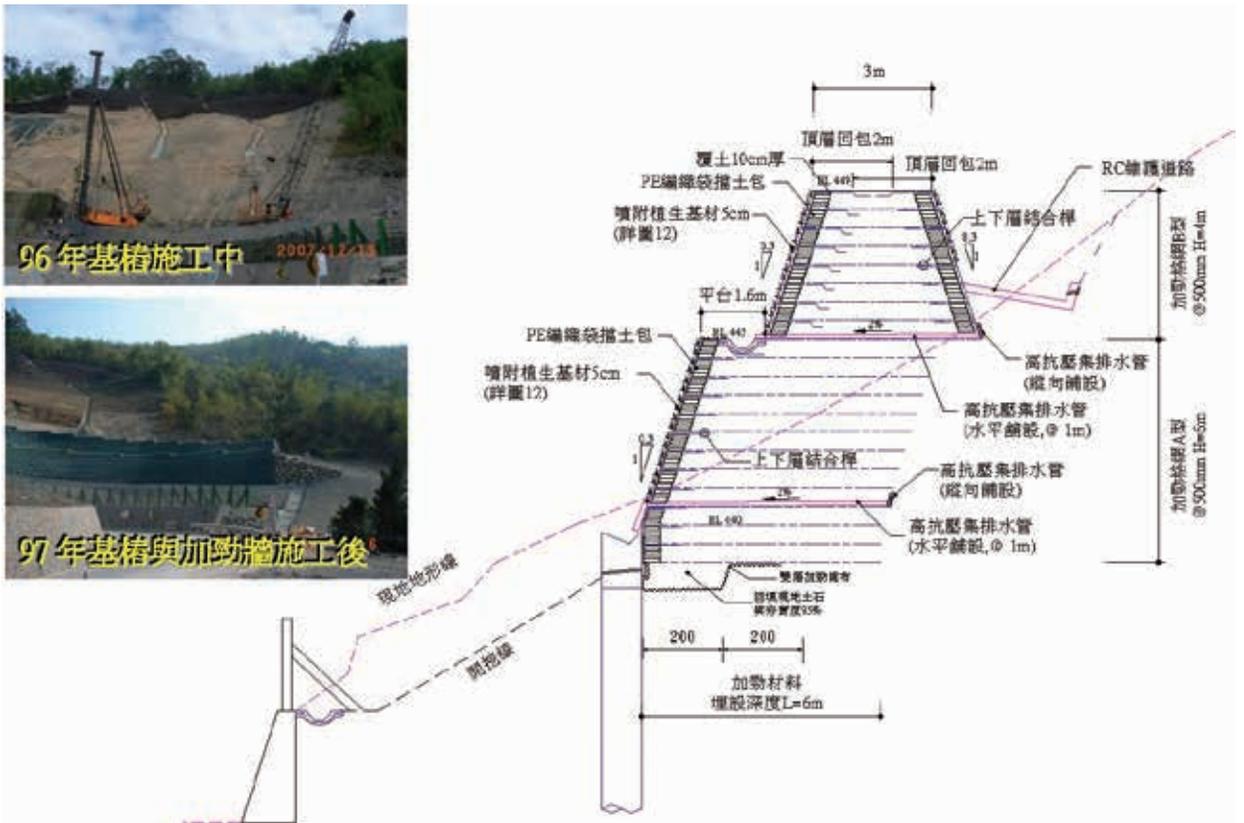
1. 崩塌坡面淺層整治

因聯外道路 2.0K 所在邊坡淺層不穩定，坡面無法自然復育，汛期屢發生落石事件，故

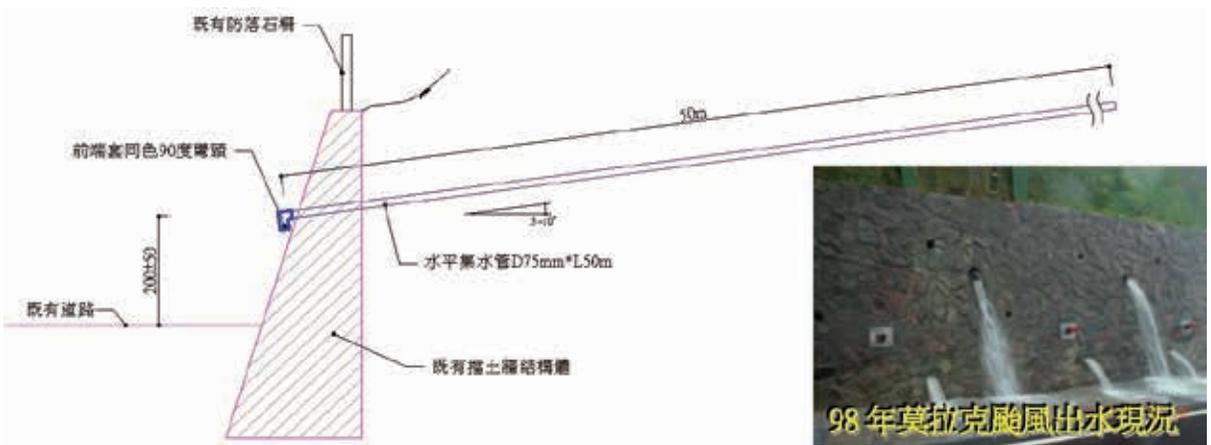
進行全面刷坡、噴植、型框植生及格框植生，期達坡面穩定之目的；另道路上邊坡增設加勁防落石牆與防落石柵，避免落石傷人災害。

2. 地滑整治

新設加勁防落石牆趾部設置基樁（貫入滑動面下岩層 5 公尺以上），以提升邊坡淺層與深層穩定性（圖 8）。此外，考量汛期地下水位升降顯著，為影響邊坡穩定性之重要因素，於聯外道路 1.8K ~ 1.9K 區間路段上邊坡擋土牆，增設 50 公尺之水平排水管，導排滑動面以上之地下水（圖 9），以降低工區地滑發生潛勢。



▲圖8、2.0K基樁與加勁防落石牆斷面圖與現況圖



▲圖9、水平排水管斷面圖與莫拉克颱風期間排水現況

(三) 第三期工程 (97 至 98 年期間)

本期工程以控制地滑潛勢為主，加強前期工程不足處為輔，相關規劃說明如下：

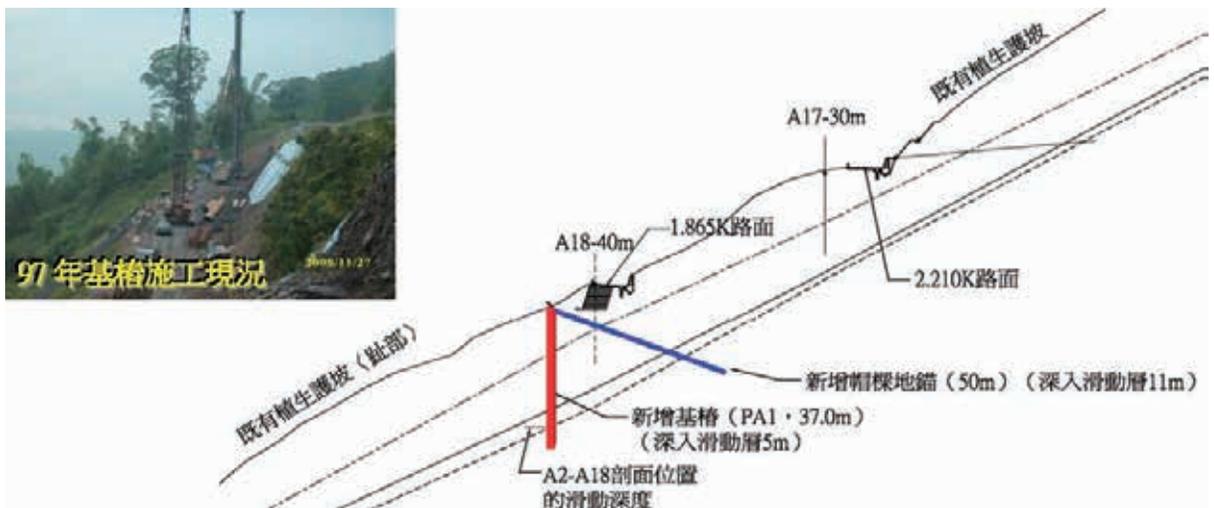
1. 抗滑樁搭配地錨工法

為控制邊坡地滑潛勢，並確保聯外道路 1.8K ~ 2.1K 區間路段之道路穩定性，故於 1.86 ~ 1.95K 道路下邊坡，施作 33 公尺之鑽

掘式基樁（貫入滑動面下岩層 5 公尺以上），且於基樁帽梁處增設 50 公尺地錨，輔助基樁達穩定邊坡目的（圖 10）。

2. 其它加強工程

有鑑於現地部分地表排水設施、水平排水管、地錨及坡面處理未臻完善，辦理補設與加強作業，以確保全區穩定性（圖 11）。



▲圖 10、第三期整治斷面圖



▲圖 11、坡面處理與保護前後現況

四、整治成效評估與回饋

(一) 98 年莫拉克風災後整治成效評估

98 年莫拉克颱風期間，8 月 8 日單日累積雨量 1,283 毫米，8 月 7 日至 11 日共 5 日累積雨量達 2,895 毫米（為平均年雨量之 70.7%），豐沛雨量重創藤枝聯外道路，造成沿線 20% 以上路段損壞。然而，聯外道路 2K

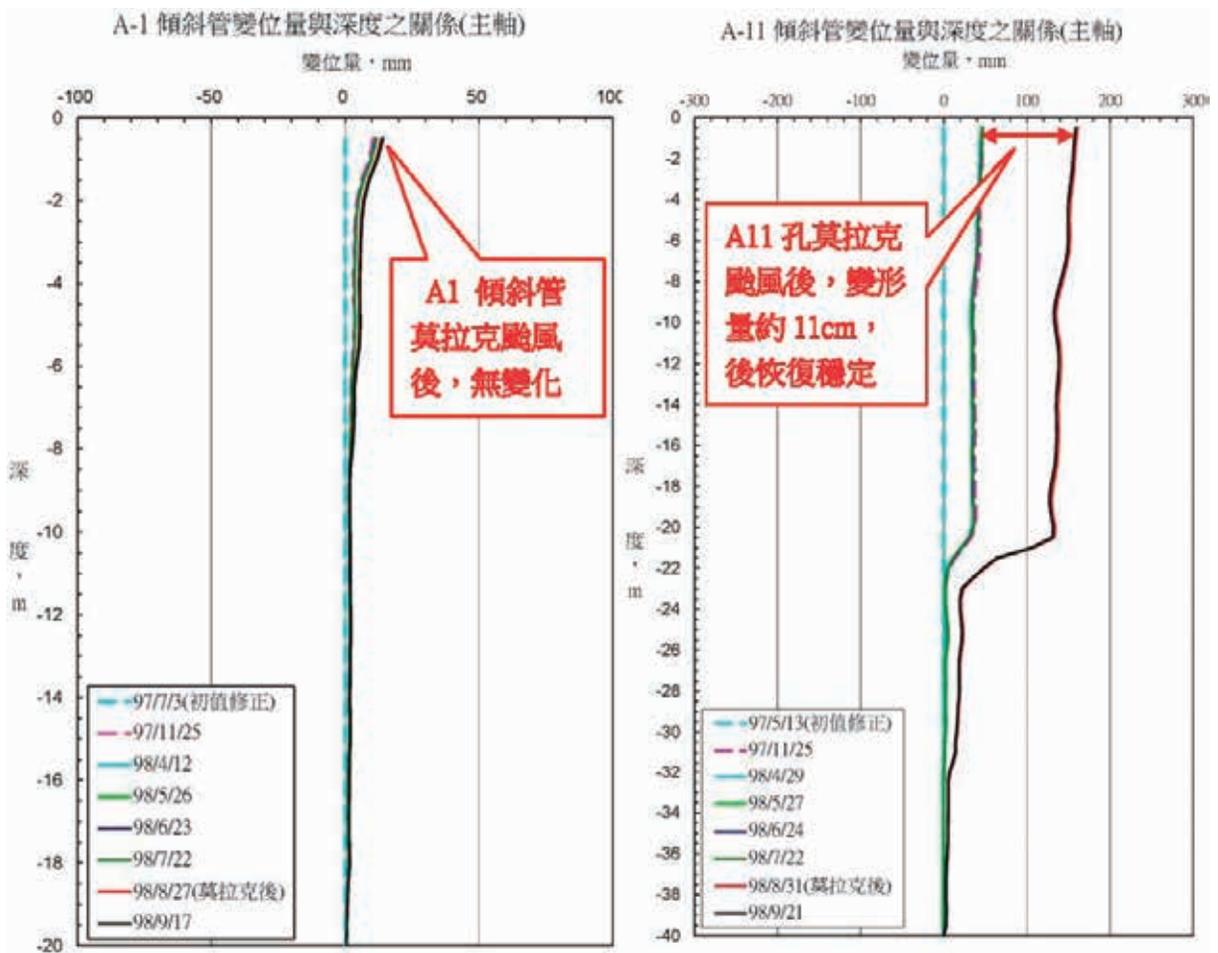
與 4K 周邊路段，因經過完整之調查、監測、與整治規劃，工程設施發揮穩定功效，工區無重大災害發生，整治成效如下：

1. 滑動體冠部

位於聯外道路 4K 基樁工程上邊坡之 A1 傾斜管，經歷 97 年卡玫基與 98 年莫拉克颱風考驗，穩定無明顯變化產生，顯示整治工程成效良好（圖 12(a)）。

2. 主要滑動體

由莫拉克颱風後，水平排水管大量排水，地錨應力上升 50%，位於主要滑動體內之 A11 傾斜管雖產生 11 公分之變形，但災後 1 個月後，地下水水位下降，地錨應力與傾斜管保持穩定（圖 12(b)）等現象研判，顯示整治工程發揮成效，面臨莫拉克颱風極端降雨之考驗，有效減緩工區地滑潛勢。



(a)滑動體冠部 A1 傾斜管（4K 周邊）

(b)主要滑動體 A11 傾斜管（1.9K 周邊）

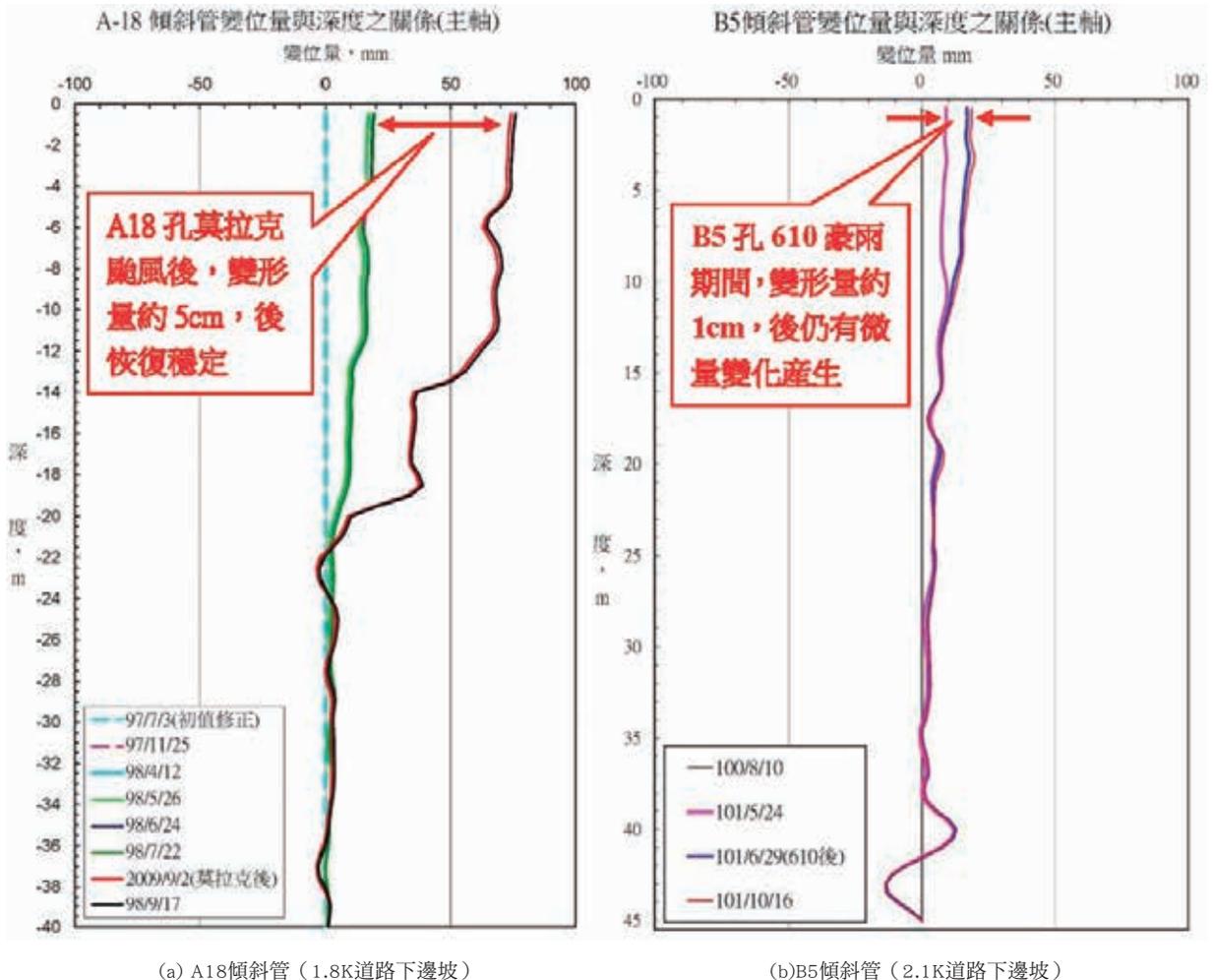
▲圖12、莫拉克風災前後主要滑動體內傾斜管監測成果

3. 滑動體外圍

對於地滑潛勢稍低之滑動體外圍（1.8K與2.1K周邊路段），採地錨搭配水平排水管補強，整治工程雖減緩工區地滑潛勢，1.8K周邊A18傾斜管於莫拉克颱風後雖產生5公分變位後，恢復穩定（圖13(a)），但位於上邊坡2.1K周邊地錨有應力上升後斷裂與鬆脫之現象，顯示2.1K周邊路段於極端降雨狀態

下，其強度尚有不足。

有鑑於莫拉克風災後，潛在滑動範圍內植生復育良好，設施無嚴重損壞情形，且災後監測設施保持穩定，顯示本案治理成效良好，故先針對地2.1K周邊錨損壞處加以補設地錨，並延續監測其後續變化，以評估後續補強需求。

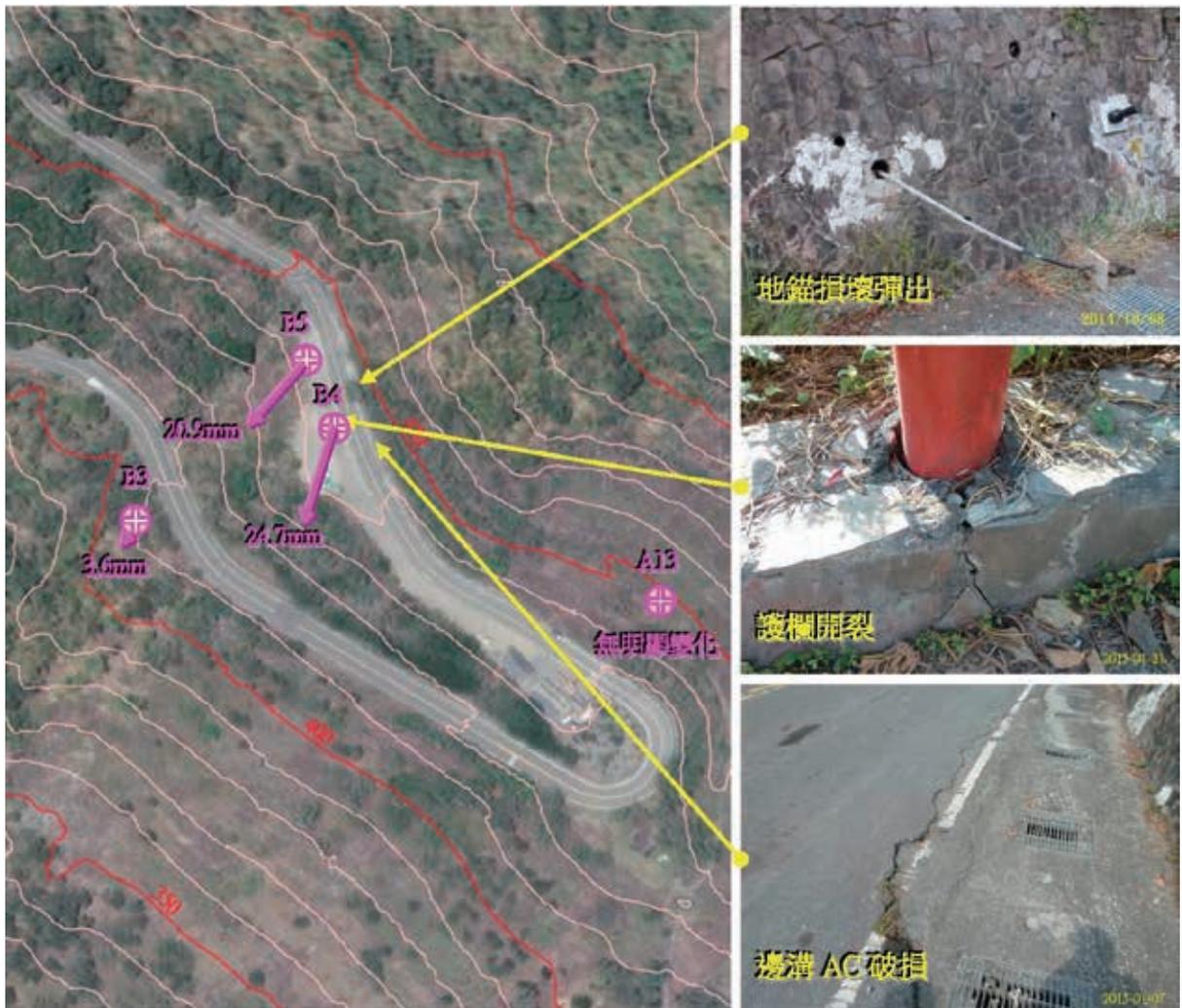


▲圖13、莫拉克與610風災前後滑動體外圍傾斜管監測成果

（二）第四期整治工程與成效說明

因莫拉克颱風後，聯外道路 2.1K 周邊路段陸續發現擋土牆與護欄開裂，地錨持續損壞脫落，路面下陷與開裂等災害徵兆，故增設 B3 至 B5 傾斜管，並由傾斜管之孔口變位向量發現，610 豪雨後 B3 與 B4 傾斜管有 2.1 ~ 2.5 公分之變化量（圖 13(b) 與圖 14），且 103

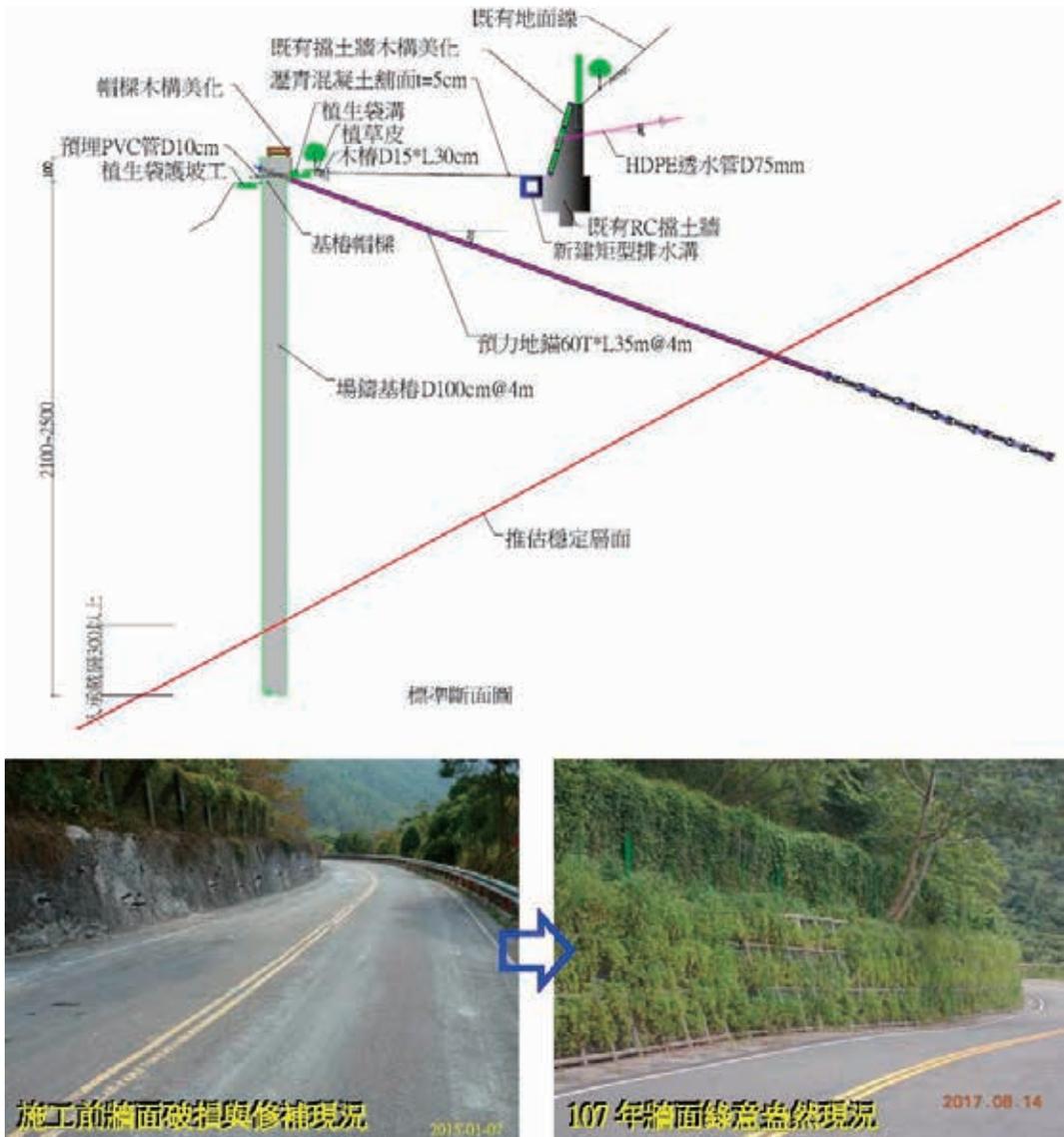
年雖為乾旱年度，降雨量少，但麥德姆颱風後傾斜管位移，且持續有災害徵兆產生，顯示本路段汛期地滑潛勢仍高。考量本路段地滑潛勢升高，且地錨損壞將使鄰近地錨負荷增加，須辦理整治，抑制地層滑移，以降低大規模崩塌發生機會。



▲圖14、103年2.1K周邊現況與監測成果

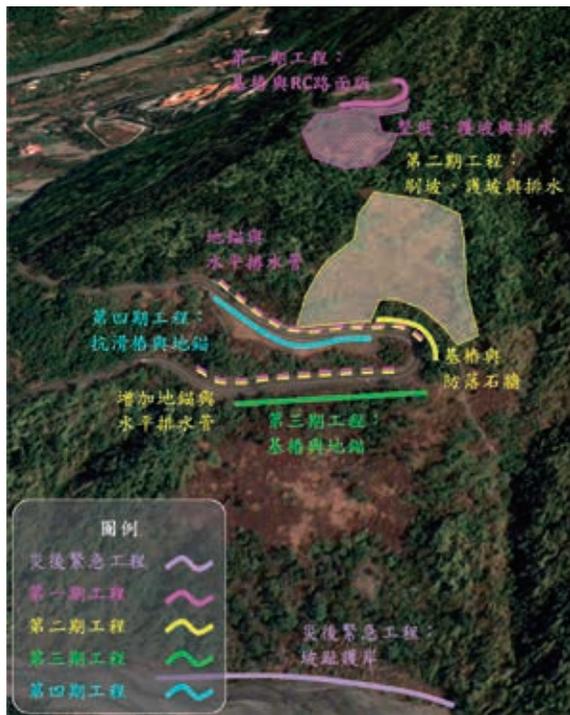
由 101 ~ 103 年監測成果發現，前期整治工程雖發揮功效，成功抑制地滑災害發生，但聯外道路 1.8K 與 2.1K 周邊所在坡面，因治理急迫性稍低，於擋土牆面僅施做地錨與水平排水管，因近年監測發現汛期期間，聯外道路 2.1K 周邊發現多處地滑徵兆，於 104 年施作長 23 公尺鑽掘式基樁，及 35 公尺地錨之

第四期整治工程，以提升該路段之穩定性；此外，聯外道路 2.0K 至 2.1K 路段既有擋土牆，96 年完工至今，因經歷數場極端降雨與整治工程，牆面功能雖然良好，但牆面密布修補痕跡，考量工區將趨穩定，且鄰近工作站内恰有一批紅檜疏伐木（小徑木），故將其應用於牆面美化工程（圖 15），以達友善環境之目標。



▲圖 15、第四期地滑整治斷面圖與牆面美化現況

另由第四期工程完工後之監測成果可知，105年梅姬颱風帶來超大豪雨等級之考驗（日累積雨量570毫米），工區現況良好，傾斜管與地錨應力均保持穩定而無變化，顯示各期整治工程已均發揮成效，歷年工程配置示意詳圖16所示，工區趨於穩定（圖17）。



▲圖16、藤枝2K大規模崩塌地歷年主要整治工程配置圖

五、結論與建議

本文以94年海棠颱風後，藤枝聯外道路2K周邊發生大規模崩塌為例，藉由現況與地質調查、以及坡地監測，探究工區地滑潛勢與機制，據以規劃適宜之分期整治工法，並搭配完工後之延續監測，評估整治成效，作為後續維護補強依據，相關成效彙整如下：

- （一）坡面維護需運用防災、減災、避災觀念，以「災前」監測規劃，與惡化前積極治理，取代「災後」交通阻斷與搶修復建，前期監測成果確認滑動機制，後續監測成果評估工程整治成效，並配合持續監測，作為有效資料回饋。
- （二）考量山區地形限制、岩層分佈、鑽掘機具、與施工性等因素，採抗滑樁與地錨工法，搭配地下水排除之複合式手法，整治地滑；若以淺層整治工法（如植生、掛網護坡、擋土牆等），成效較不彰。
- （三）藤枝聯外道路2K路段所在邊坡，屬舊崩場地重複致災之地滑高潛勢區，經完成之調查、監測、規劃整治、成效評估與回饋等機制，已有效穩定工區地層。
- （四）未來林道於坡面發現明顯地滑潛勢跡象時，應及早進行調查、鑽探與建置監測系統，作後續整體整治規劃之依據，整治後持續監測，以評估整治成效，作為維護補強之依據。



▲圖17、藤枝2K大規模崩塌地整治後現況