

目 錄

摘要	1
第一章 前言	1
1-1 計畫緣由	1
1-2 委託工作項目及內容	1
1-3 工作範圍	3
第二章 計畫區域基本資料	4
2-1 地理位置說明	4
2-2 地形及水系	5
2-3 氣象與水文	6
2-4 區域地質概況說明	9
第三章 前期調查工作概要	12
3-1 前期監測作業情形	12
3-2 前期邊坡滑動情形	18
3-2-1 前期監測成果說明	18
3-2-2 前期計畫期間邊坡破壞情形	27
3-3 前期治理工程規劃及實施	30
3-3-1 前期治理規劃說明	30
3-3-2 前期治理規劃工程實施情形	33
3-3-3 其他治理工程概要	37
第四章 自動化監測系統建置說明	38
4-1 自動化監測儀器配置	38
4-2 監測儀器架構及傳輸方式	42
4-2-1 監測系統架構	42
4-2-2 系統儀器架構	44
4-3 各項感測儀器說明	48
4-3-1 雨量站建置說明	48
4-3-2 地下水位觀測井建置說明	48
4-3-3 地表傾斜儀建置說明	50
4-3-4 三角量水堰建置說明	53
4-3-5 網路攝影機建置說明	54
第五章 TDR 監測作業說明	58

5-1 TDR 地滑監測原理	58
5-2 TDR 監測系統.....	59
5-2-1 監測儀器設備.....	59
5-2-2 監測頻率與方法.....	60
5-3 TDR 監測系統佈置及作業程序	61
5-4 TDR 監測成果.....	64
第六章 即時監測網頁及通報系統.....	68
6-1 後端監測系統伺服器	68
6-2 監測成果整合程式.....	68
6-2-1 架構.....	68
6-2-2 操作介面說明.....	69
6-2-3 主要功能說明.....	70
6-3 廬山地滑區監測成果網站	71
6-4 資料庫系統	73
第七章 RTK 地表變位監測作業	74
7-1 RTK 地表變位監測系統配置	74
7-2 RTK 作業方法	77
第八章 廬山地滑監測應變計畫方案說明.....	83
8-1 監測應變及管理程序建議.....	83
8-2 管理基準值建立	87
8-2-1 降雨量管理基準值建立(注意階段)	87
8-2-2 地下水位管理基準值建立(警戒階段).....	91
8-2-3 地表傾斜儀管理基準值建立(確認滑動).....	96
8-2-4 TDR 監測佐證確認滑動深度.....	96
第九章 補充地質調查及相關試驗成果	99
9-1 補充地質調查成果.....	99
9-2 相關力學試驗及參數	105
9-3 現地透水試驗成果.....	107
第十章 調查成果彙整分析	109
10-1 地質調查成果彙整說明.....	109
10-1-1 岩層及岩性分佈	111
10-1-2 弱面分佈情形.....	114
10-1-3 岩層風化分佈情形	115

10-1-4 地質構造模型.....	117
10-2 地下水調查成果.....	118
10-3 滑動體補充調查情形.....	125
10-3-1 裂隙調查及地表變位關係.....	125
10-3-2 滑動面調查及變位情形.....	127
10-4 滑動機制說明.....	133
第十一章 治理工程規劃檢討.....	142
11-1 前期坡面排水改善檢討.....	142
11-2 橫向集水管成效評估.....	148
11-3 後續治理規劃方案檢討.....	151
11-3-1 方案一排水廊道規劃 - A 廊道.....	154
11-3-2 方案二排水廊道規劃 - B 及 C 廊道.....	158
11-3-3 工程效益評估與方案比較.....	164
11-3-4 排水廊道臨時替代方案建議.....	171
11-3-5 排水廊道先期規劃方案建議.....	174
第十二章 治理機關權責法令檢討.....	175
參考文獻.....	179
附錄 A RTK 解算報告及記錄.....	附 1
附錄 B 岩心柱狀圖.....	附 8
附錄 C 岩心照片.....	附 31
附錄 D 力學試驗成果.....	附 45
附錄 E 定水頭透水試驗工作成果表.....	附 54
附錄 F 監測資料成果表.....	附 60
附錄 G 廬山地滑災害應變草案.....	附 65
附錄 H 審查意見及辦理情形.....	附 78

表 目 錄

表 2-3-1 計畫概要氣候統計表.....	7
表 3-1-1 前期雨量及地下水位監測系統一覽表	12
表 3-1-2 前期傾度管監測系統一覽表.....	13
表 3-1-3 前期地滑計一覽表	13
表 3-1-4 前期邊坡構造物監測儀器一覽表.....	14
表 3-1-5 原有監測儀器一覽表.....	15
表 3-3-1 前期治理規劃分年分期實施計畫表	31
表 3-3-2 公路橫向集水管區間與數量.....	37
表 4-1-1 本期雨量及地下水位監測系統一覽表	38
表 4-1-2 本期 TDR 監測系統一覽表	39
表 4-1-3 本期地表傾斜儀監測系統一覽表.....	39
表 4-1-4 本期三角量水堰監測系統一覽表.....	39
表 4-1-5 本期數位攝影機監視系統一覽表.....	40
表 4-1-6 本期監測儀器統計表.....	40
表 4-2-1 自動化監測儀器一覽表.....	45
表 4-3-1 雨量計規格及現況照片	48
表 4-3-2 地下水壓計規格及現況照片	49
表 4-3-3 地表傾斜儀規格及現況照片	52
表 4-3-4 三角量水堰規格及現況照片	53
表 4-3-5 固定式攝影機規格及現況照片	56
表 4-3-6 360 度可旋轉攝影機規格及現況照片.....	57
表 5-2-1 TDR100 基本規格(Campbell scientific INC.).....	59
表 5-3-1 TDR 孔位基本資料	64
表 7-2-1 GPS 硬體設備規格及照片	81
表 7-2-2 RTK 測量成果表.....	82
表 9-1-1 本期鑽探作業規劃表.....	99
表 9-1-2 前期鑽探作業一覽表.....	100
表 9-1-3 經濟部中央地質調查所鑽探作業一覽表.....	100
表 9-2-1 現地及室內試驗目的及相關規範.....	105
表 9-2-2 岩石一般物性試驗成果表	105
表 9-2-3 岩石弱面直接剪力試驗成果表	106

表 9-2-4 岩石直接剪力試驗成果表	106
表 9-3-1 定水頭透水試驗成果表	108
表 10-1-1 計畫邊坡近年地質鑽探統計表	109
表 10-1-2 計畫邊坡近年地物探測統計表	110
表 10-3-1 六九水災後傾度管變位情形	127
表 10-4-1 邊坡破壞型式 Varnes(1978)	134
表 11-1-1 坡面排水設施規劃與竣工完成數量比較表	142
表 11-1-2 新排水分區之特性與洪峰逕流量	146
表 11-1-3 流量控制點分配區域與逕流量加總	146
表 11-2-1 計畫邊坡坡趾滲出水量表	150
表 11-3-1 排水廊道 A 經費概算表	158
表 11-3-2 排水廊道 B 經費概算表	163
表 11-3-3 排水廊道 C 經費概算表	164
表 11-3-4 排水廊道方案比較表	165
表 11-3-5 廬山地滑治理總投資額計算	168
表 11-3-6 廬山地滑治理經濟效益分析	170
表 11-3-7 排水廊道先期規劃工作項目表	174
表 12-1-1 廬山地滑邊坡治理相關法規一覽表	178

圖目錄

圖 1-3-1 計畫範圍圖	3
圖 2-1-1 計畫位置圖	4
圖 2-2-1 計畫區域水系分佈圖	5
圖 2-3-2 日月潭氣象站月平均氣溫統計圖(1942-2006)	7
圖 2-3-3 日月潭氣象站月平均濕度統計圖(1942-2006)	8
圖 2-3-4 日月潭氣象站月平均雨量統計圖(1942-2006)	8
圖 2-3-5 廬山雨量站月平均雨量統計圖(1952-2006)	8
圖 2-4-1 區域地質圖	11
圖 3-1-1 前期計畫監測儀器配置圖	15
圖 3-1-2 地表變位監測系統配置圖	16
圖 3-1-3 道路觀測點位總平面圖	17
圖 3-2-1 地下水位變化與岩盤深度分佈對照示意圖	20
圖 3-2-2 地下水位量測情形(一)	21
圖 3-2-3 地下水位量測情形(二)	21
圖 3-2-4 計畫區域傾度管量測情形	23
圖 3-2-5 地表變位向量分析圖	25
圖 3-2-6 前期滑動監測資料彙整示意圖	26
圖 3-3-1 前期規劃分年分期計畫工程配置圖	32
圖 3-3-2 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」橫向集水管位置	33
圖 3-3-3 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」坡面排水設施(一)	34
圖 3-3-4 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」坡面排水設施(二)	35
圖 4-1-1 自動化監測儀器配置圖	41
圖 4-2-1 自動化監測測站配置圖	43
圖 4-2-2 監測系統儀器架構說明	46
圖 4-2-3 監測站儀器現況說明	47
圖 4-3-1 地下水位井現場裝設情形	49
圖 4-3-2 雨量站及地下水位井佈置圖	50
圖 4-3-3 地表傾斜儀裝設說明	51
圖 4-3-4 地表傾斜儀佈置圖	52
圖 4-3-5 橫向集水管及三角量水堰現況情形	54
圖 4-3-6 台 14 線 91K+200 攝影機(CCD01)裝設及影像情形	54

圖 4-3-7 台 14 線 89K+700 攝影機(CCD02)裝設及影像情形.....	55
圖 4-3-8 廬山立體停車場攝影機(CCD03)裝設及影像情形.....	55
圖 4-3-9 數位攝影機配置圖	56
圖 5-1-1 TDR 變形監測之反射訊號與原理(盧吉勇, 2003).....	58
圖 5-3-1 TDR 監測孔佈置圖	62
圖 5-4-1 聖帕颱風前後 TDR 02 測站量測波形.....	64
圖 5-4-2 聖帕颱風前後 TDR 03 測站量測波形.....	65
圖 5-4-3 聖帕颱風前後 TDR 04 測站量測波形.....	65
圖 5-4-4 柯蘿莎颱風前後 TDR 01 測站量測波形	66
圖 5-4-5 柯蘿莎颱風前後 TDR 02 測站量測波形	66
圖 5-4-6 柯蘿莎颱風前後 TDR 03 測站量測波形	67
圖 5-4-7 柯蘿莎颱風前後 TDR 04 測站量測波形	67
圖 6-2-1 監測成果整合程式架構圖	69
圖 6-2-2 監測成果整合程式操作畫面	70
圖 6-3-1 廬山地滑區監測成果網站畫面	72
圖 7-1-1 RTK 地表監測系統總配置圖	75
圖 7-1-2 RTK 地表監測系統配置圖	76
圖 7-2-1 靜態基線測量接收示意圖	78
圖 7-2-2 GPS-RTK 系統示意圖	78
圖 8-1-1 廬山地滑監測應變架構圖	85
圖 8-1-2 監測應變作業程序說明	86
圖 8-2-1 海棠颱風降雨資料及現地情形(F.S 約等於 1.0).....	88
圖 8-2-2 瑪莎颱風降雨資料及現地情形(F.S 小於 0.95).....	89
圖 8-2-3 六九水災降雨資料及現地情形(F.S 小於 0.90).....	89
圖 8-2-4 柯羅莎颱風降雨資料及現地情形(F.S 大於 1.0).....	90
圖 8-2-5 傾度管變位量測記錄	90
圖 8-2-6 地下水位井平面位置圖	92
圖 8-2-7 歷史災害臨界地下水位記錄說明.....	93
圖 8-2-8 邊坡穩定反算分析成果範例(瑪莎颱風歷史水位).....	93
圖 8-2-9 B9403 警戒水位制定說明.....	94
圖 8-2-10 柯羅莎颱風 B9403 / W9602 地下水位比對分析圖	95
圖 8-2-11 TDR 門檻值率定說明.....	98

圖 9-1-1 鑽探孔位佈置圖	101
圖 9-1-2 鑽探工作進度圖	103
圖 10-1-1 計畫邊坡近年地質調查總佈置圖	110
圖 10-1-2 地表地質調查成果	111
圖 10-1-3 板岩及砂質板岩岩性差異	112
圖 10-1-4 砂質板岩(SSL)岩心照片	113
圖 10-1-5 岩性分佈地電阻反應成果	114
圖 10-1-6 計畫區域弱面特性說明	115
圖 10-1-7 岩盤深處高度鏽染、風化夾泥岩心情形	115
圖 10-1-8 折射震測與鑽探成果套繪說明	116
圖 10-1-9 地質構造模型示意圖	117
圖 10-2-1 孔位位置與地下水變化特性說明	118
圖 10-2-2 坡趾處橫向集水管洩水情形	119
圖 10-2-3 台 14 線 89K+800 處橫向集水管洩水情形	119
圖 10-2-4 地下水調查綜合評估說明	121
圖 10-2-5 A-A 剖面地下水變化情形	122
圖 10-2-6 各孔位地下水變化情形(1/2)	123
圖 10-2-7 各孔位地下水變化情形(2/2)	124
圖 10-3-1 民 95 年六九水災邊坡破壞裂隙與變位調查成果	126
圖 10-3-2 傾度管監測資料說明	128
圖 10-3-3 地層剪動 TDR 反射波形	129
圖 10-3-4 滑動體變位資料彙整	130
圖 10-3-5 A-A 剖面推估滑動面	131
圖 10-3-6 B-B 剖面推估滑動面	132
圖 10-3-7 C-C 剖面推估滑動面	132
圖 10-4-1 計畫邊坡附近(人止關)的板岩岩體潛移案例	133
圖 10-4-2 葉理位態與岩坡潛移類型 Chigira(1992)	136
圖 10-4-3 葉理與坡面傾角關係說明 Chigira(1992)	137
圖 10-4-4 滑動面附近岩體剪裂情形	137
圖 10-4-5 邊坡趾部高角度傾角變化	138
圖 10-4-6 邊坡破壞與地質構造關係	140
圖 10-4-7 滑動機制說明	141

圖 11-1-1 坡面排水設施竣工平面圖(一).....	143
圖 11-1-2 坡面排水設施竣工平面圖(二).....	144
圖 11-1-3 竣工後排水分區與流量控制點	145
圖 11-2-1 三角量水堰監測成果.....	148
圖 11-2-2 地下水位井 W9604 與三角量水堰流量關係圖.....	149
圖 11-3-1 排水廊道規劃平面圖	153
圖 11-3-2 A 廊道洞口位置現況	154
圖 11-3-3 方案一 A 廊道縱斷面圖.....	156
圖 11-3-4 排水廊道廊道標準斷面規劃	157
圖 11-3-5 方案二通過 A-A 斷面高程位置	159
圖 11-3-6 B 廊道洞口位置現況.....	161
圖 11-3-7 C 廊道洞口位置現況.....	161
圖 11-3-8 方案二 B 廊道縱斷面圖.....	162
圖 11-3-8 方案二 C 廊道縱斷面圖	163
圖 11-3-9 排水廊道施設後邊坡安定分析	165
圖 11-3-10 替代方案集水井工程平面佈置圖	172
圖 11-3-11 替代方案集水井工程縱斷面圖.....	173
圖 12-1-1 相關法令及主管機關權責架構圖.....	176

摘要

南投縣仁愛鄉廬山地區根據當地居民記憶所及，數十年來廬山地滑邊坡每逢豪大雨即有滑動破壞跡象發生，而廬山溫泉自日治時代之偏僻山村發展至今，已成為高度開發之觀光勝地，因此面對此潛在威脅可能產生之危害與損失，則益發使人擔憂。

爰此，民國93年10月奉行政院九二一震災災後重建推動委員會重建設字第0930013904號函指示農委會水土保持局、交通部公路總局及原住民委員會、南投縣政府、仁愛鄉公所等相關單位，責成各單位依權責辦理邊坡調查及治理規劃工作。

是以本分局前身水保局第三工程所於民國93年12月依前述決議辦理「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」(以下簡稱前期計畫)進行調查及治理規劃工作。

前期計畫於民國95年完成，並獲致初步成果，為補充調查不足處，另於民國96年度成立「廬山地滑監測及後續治理規劃」(以下簡稱本計畫)後續辦理相關調查及治理規劃工作，主要工作內容包含：

- (一)廬山地滑監測及未來防災應變系統的研擬。
- (二)整體治理計畫的規劃與檢討。

以下概要說明本計畫相關規劃成果：

壹、滑動機制調查成果

根據調查得知，豪雨造成地下水入滲為本邊坡滑動之主因，因為岩性分佈的影響，使得坡體中段的板岩層SL2存在厚層之軟弱風化帶；暴雨時地下水入滲此一區域積蓄，並且因為劈理傾角較陡，且砂質板岩層SSL1阻擋的影響，致使地下水不易宣洩，下邊坡處長期積蓄地下水壓。

本邊坡因弱面特性影響，使坡體形成無數微小的岩塊，又因岩體風化、劈理高度發達的因素，豪雨時雨水易入滲並匯集於前述岩盤厚層風化帶，造成坡體超額負重，下方束制岩體因岩性過於破碎，無力支撐上方荷重坡體，致使岩體不堪擠壓，造成邊坡潛移滑動破壞。



圖一 廬山地滑邊坡滑動機制調查成果

貳、監測管理值建議

邊坡治理期間，在邊坡未達到安全穩定目標之前，建議廬山地滑監測應變計畫採用以下程序：

(一) 注意階段

當中央氣象局發佈豪大雨特報後，以降雨量準則判斷；當降雨量達到作業程序率定的兩項準則其中之一時，則進入注意階段。

(二) 警戒階段

當進入注意階段後，本計畫將率定1處地下水位井為主要判斷標的，並率定另1處地下水位井為複核判斷標的；當地下水位超過判斷準則時，發佈警戒資訊予各相關人員，並建議各單位或居民作必要準備。

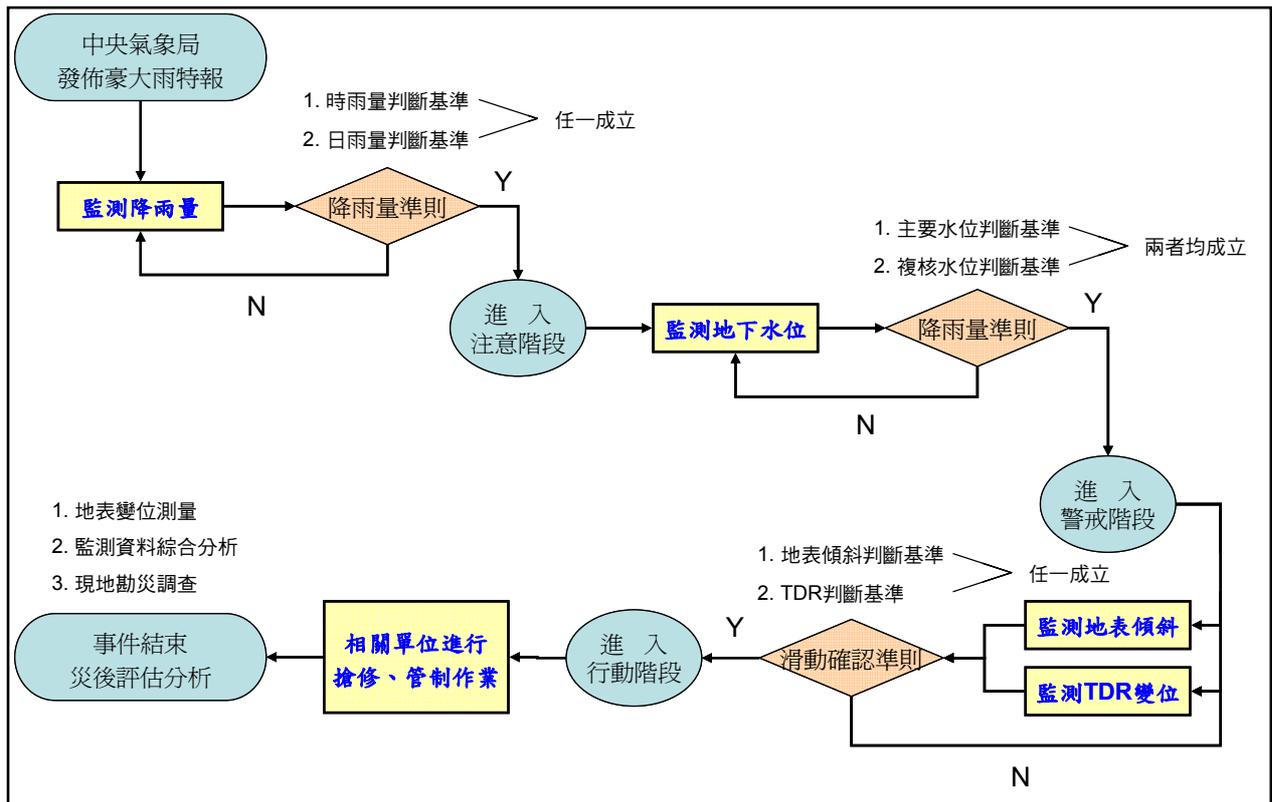
(三) 行動階段

當地下水位進入警戒階段並持續升高後，則由地表傾斜儀及TDR監測資料綜合判斷確認地層是否發生滑動；當確認已發生滑動後，在警戒階段經過通知的警消、公路、地方政府等相關人員，應有相關動員、

管制措施，以確保民眾安全。

(四) 災後復原、評估分析階段

當中央氣象局豪大雨特報解除後，各單位著手進行災後復原工作，應變中心人員就豪大雨期間收集的降雨量、地下水、變位量等監測資料作綜合分析，彙整後提送評估報告。



圖二 廬山地滑邊坡監測管理程序

參、治理工程建議

廬山地滑邊坡治理工程經前期計畫建議以分年分期依以下次序逐項推動：

1. 表層之坡面排水系統。
2. 淺層之橫向集水管。
3. 中層之集水井。
4. 深層之排水廊道。

目前治理工程已依序完成坡面排水系統及淺層之橫向集水管打設；經審慎評估後，建議直接設置排水廊道以收徹底治理之效，初步評

估可行方案計有方案一及方案二兩案，概要說明如下：

(一)方案一 - A廊道

本方案選擇計畫邊坡中央的斷面作為廊道規劃之路線，其規劃構想為設置一條排水廊道於滑動體底部，廊道長度約400公尺。

(二)方案二 - B廊道及C廊道

本方案分為兩階段推動：

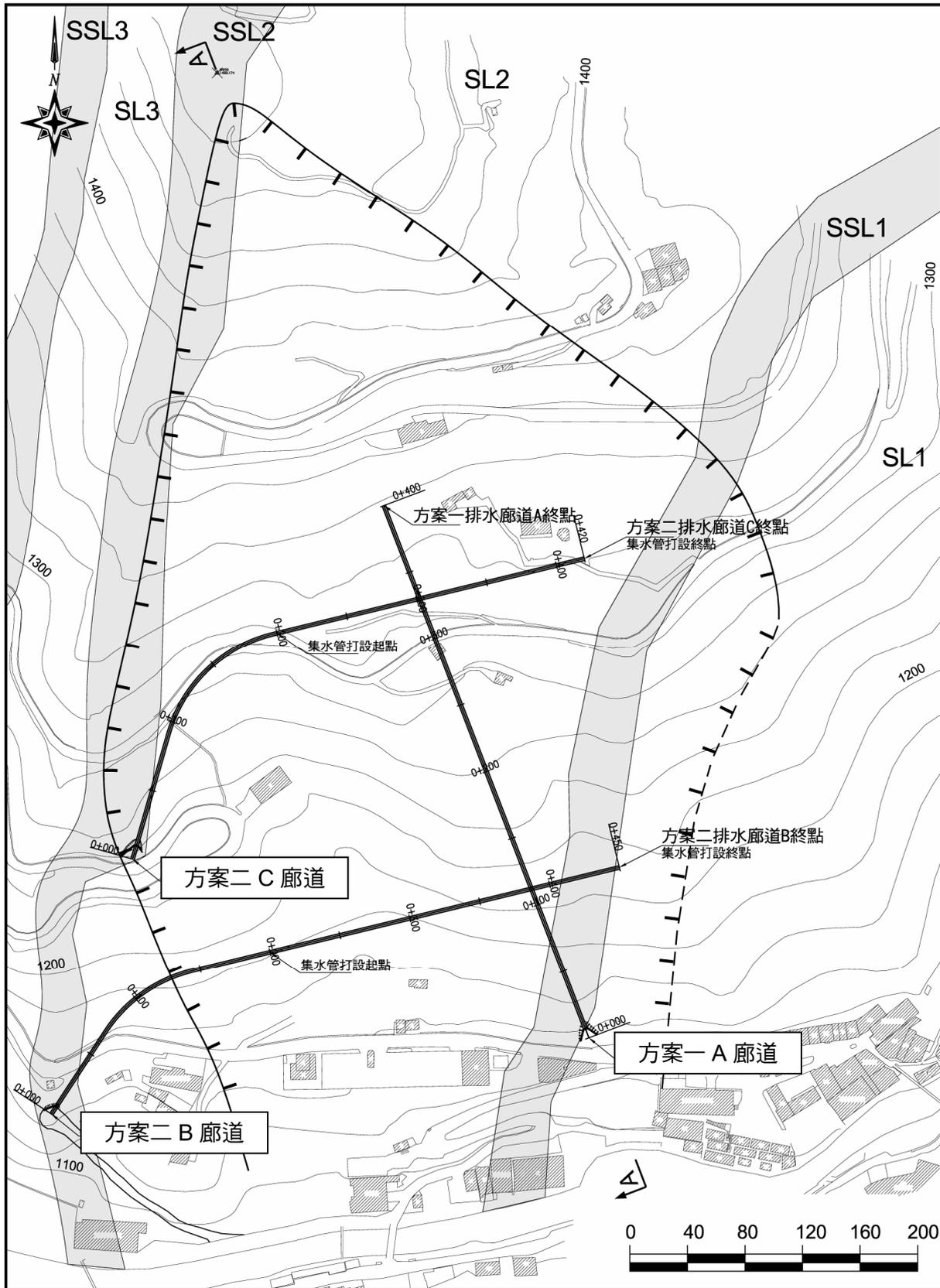
- 1.先推動C廊道施工(廊道長度420公尺)。
2. C廊道完工後，視需要再推動B廊道施工(廊道長度450公尺)。

本方案選擇計畫邊坡中段及趾部適合洞口兩處，施設兩條橫切滑動體的廊道，分別為B廊道及C廊道，因為排水廊道通過邊坡全部橫切面，因此預計坡體中段和下段的地下水將能夠全面的予以排除。

兩方案比較如下所示：

表一 廬山地滑邊坡排水廊道規劃方案比較

	方案一 A 廊道	方案二 B.C 廊道
排水功能	針對滑動體重點區域排水，排水效益高，但可能只對廊道週邊產生效果。	廊道橫切滑動體，排水效果較全面。
洞口邊坡	1.洞口邊坡較破碎。 2.附近腹地有限。	1.B 廊道洞口地質條件佳，但需施設臨時道路。 2.C 廊道洞口地質條件較破碎。 3.附近有空曠腹地。
廊道地質	在滑動體內施設廊道，地質條件破碎，廊道坡度陡難度高。	局部通過滑動帶，廊道條件較單純。
民生影響	洞口位於商業區域對民生影響大	遠離商業區，對民生影響程度小。
工程造价	A 廊道造價 7014 萬元 整體造價較低。	B 廊道造價 5885 萬元 C 廊道造價 5523 萬元 整體造價較高。



圖三 廬山地滑邊坡排水廊道規劃方案說明

肆、治理效益說明

本計畫治理規劃之預期效益包含直接效益及間接效益兩大類，以下針對直接效益與間接效益逐一說明。

(一)直接效益

- 1.節省道路維護修繕費用。
- 2.促進觀光產業持續發展。

(二)間接效益

- 1.延長台電霧社水庫壽命。
- 2.維持台14線道路暢通。
- 3.避免發生大規模地滑災害。
- 4.確保廬山地區之水土資源永續利用。

(三)效益分析

一般土木工程設施耐用壽齡以30年為經濟分析年限，計算經濟效益，預計未來整治工作完成後，計畫區域之環境將有效改善，災害發生機率降低，人民安全、社會發展獲得保障。由計算得知方案二僅施作排水廊道C的效益最高為2.28，其次為方案一排水廊道A為1.98，最低為方案二排水廊道B及C均施作的效益最低為1.47，但經濟效益均大於1，證實本計畫屬經濟可行。

伍、結論與建議

本計畫依行政院九二一重建員會指示，辦理水土保持局權責相關之治理調查工作，歷經兩期計畫的調查與研究，對於邊坡的地滑機制探討已臻於完整，並對後續治理及監測應變計畫提出相關建議。

而本邊坡之滑動原因係屬與地質因素有關的岩體深層滑動，除對表層之水土保持工作治理外，其他尚包括：塔羅灣溪治理、道路工程整治、可能致災的深層地下水排除以及邊坡開發管理等工作，方能展現治理成效；期盼相關單位按權責分工推動，以期有效解決本地滑災變及住民之憂苦。

第一章 前言

1-1 計畫緣由

南投縣仁愛鄉廬山地區根據當地居民記憶所及，數十年來廬山地滑邊坡每逢豪大雨即有滑動破壞跡象發生，而廬山溫泉自日治時代之偏僻山村發展至今，已成為高度開發之觀光勝地，因此面對此潛在威脅可能產生之危害與損失，則益發使人擔憂。

是以民國93年經當地居民向政府陳請，要求治理本計畫邊坡後，由公共工程委員會邀集各相關單位會商，並由本分局前身水土保持局第三工程所以「90年度921震災災後重建第二期特別預算執行後賸餘款增辦重建區振興計畫」於民國94年辦理「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」(以下簡稱前期計畫)進行調查及治理規劃工作。

該項計畫於民國95年完成計畫工作，獲致初步成果，並依計畫成果逐次實施治理工作，而為針對此一滑動坡體持續進行監測工作，故於民國96年度成立「廬山地滑監測及後續治理規劃」(以下簡稱本計畫)。

本計畫目標主要為兩大標的：

- 一、廬山地滑監測及防災應變系統的建立。
- 二、整體治理計畫的規劃與檢討。

後續工作推動將以上述兩計畫標的為目標。

1-2 委託工作項目及內容

一、計畫區域基本資料調查

蒐集並調查計畫區域基本資料，包含：地質、地形、氣象、水文、人文、交通以及歷年災害情形與規劃、整治概況。

二、地質鑽探補充調查

本計畫預定於計畫坡面設6處地質調查鑽孔，其中4處為TDR監測孔，另2處作為治理工程-集水井設計所需要參數之用，總鑽探深度為405公尺，全程鑽取岩樣，以瞭解地下地質資訊。

三、地下滑動面調查

在本計畫邊坡新設4處同軸電纜線(TDR01~TDR04)觀測孔，其中2

處(TDR02~TDR03)為深孔100公尺，另2處(TDR01~TDR04)孔深50公尺，以監測坡體滑動面變位情形。

四、監測系統

(一)降雨量監測

整修現有雨量計1處(Rain01)，採即時監測方式記錄現地雨量情形。

(二)地下水位監測分析

於TDR觀測孔旁，採不取樣方式另鑿新孔，做地下水調查用途，連同前期堪用水位觀測井，裝設自動記錄水位計，作成8處地下水位自動觀測井(新設6處：W9601~W9606、既設2處：B9403.B9409)，即時觀測紀錄並傳輸至監測主機，另於颱風警報或豪雨特報發布後預先檢查自動記錄式水位計之運作情形。

(三)地表變位調查

1.地表傾斜儀監測

新設4處電子式地表傾斜儀(SL01~SL04)，將自動監測合併地下水觀測系統辦理。

2.地表變位固定樁監測

連同前期觀測樁於坡面裝設47處固定樁(新設樁位35處：P01~P35、既設樁位12處)，採GPS方式量測長期地表變位情形，量測頻率於颱風季節(6~9月)每月每處1次，其餘期間每季量測1次。

五、防災預警系統建置

結合自動監測系統及安定性結果分析，就降雨量、地下水位變化、地表變位量等建立危險之基準值，以即時傳輸系統連結，達防災預警之功能。

六、地表湧水調查及橫向集水管成效評估

調查坡面湧水位置，配合地下水調查成果，綜合分析地下水流向，並評估現有坡體內依前期計畫打設之橫向集水管成效，以作為後續集水井等其他工程設施之參考。

七、綜合研判與分析

綜合前述調查與觀測成果，回饋治理工程設計，進行相關研判與分析工作。

八、治理工程規劃與設計

根據調查與監測成果，進行整體治理規劃方案調整，並完成預算金額至少新台幣貳仟萬元工程預算書。

1-3 工作範圍

本計畫工作地點位於南投縣仁愛鄉精英村廬山溫泉北側邊坡，調查規劃範圍約50公頃，相關位置如圖1-3-1所示。

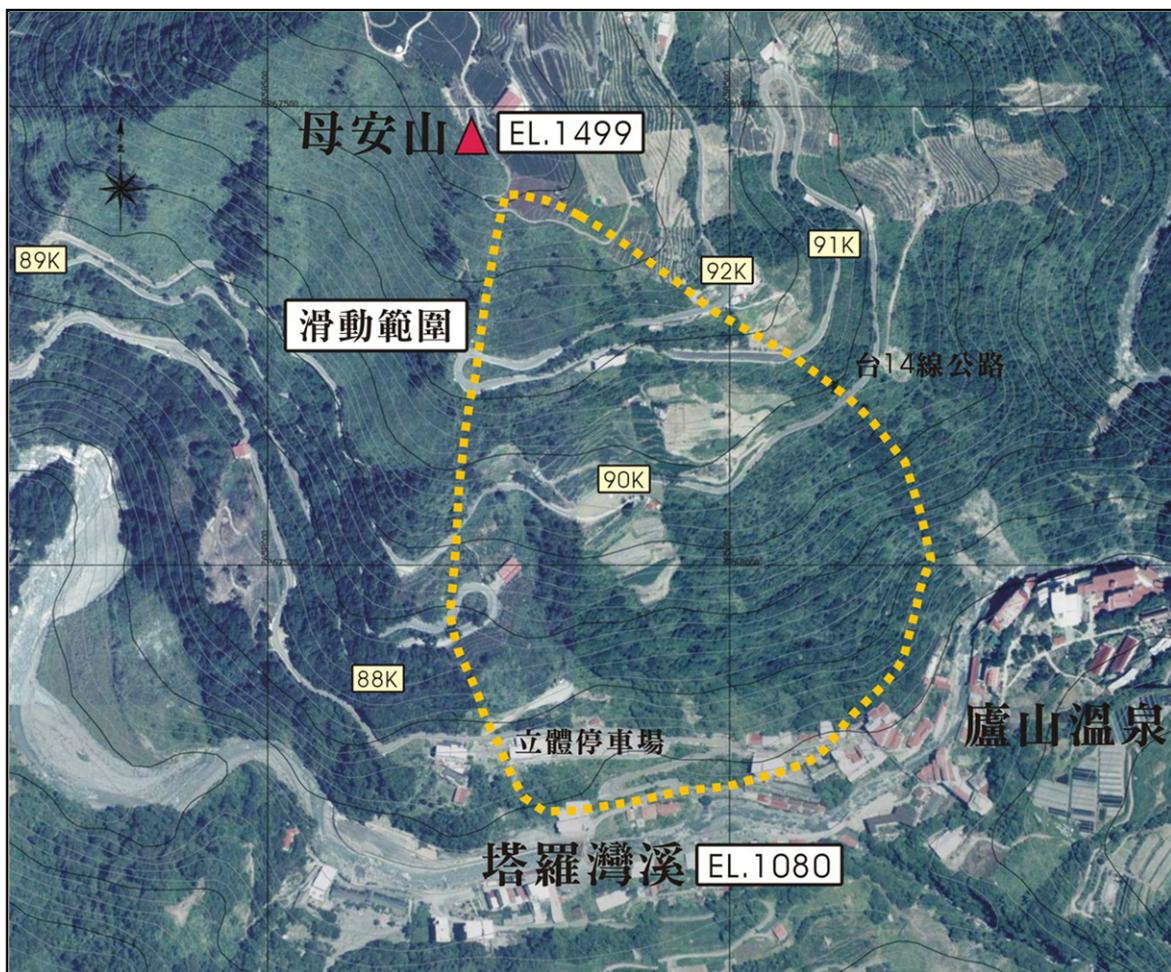


圖 1-3-1 計畫範圍圖

第二章 計畫區域基本資料

2-1 地理位置說明

計畫位置在行政區域上屬南投縣仁愛鄉精英村內，而精英村位於仁愛鄉東側，與春陽村及合作村為界，村內部落以廬山、平靜與平和等三個部落為居民主要聚落，而廬山溫泉位於廬山部落下方塔羅灣溪溪畔。

本計畫邊坡下方即為著名之廬山溫泉觀光區，而上述三個原住民部落居民均依賴計畫區內台14線公路作為聯外交通的唯一道路，因此本計畫邊坡除溫泉區安全產生立即威脅外，亦對部落居民之民生計有重大影響。

除台14線公路外，投87線亦為計畫區內之重要聯絡道路；台14線沿計畫區山坡之字蜿蜒而上通往廬山部落，投87線則順塔羅灣溪溪谷而下連接廬山溫泉區。

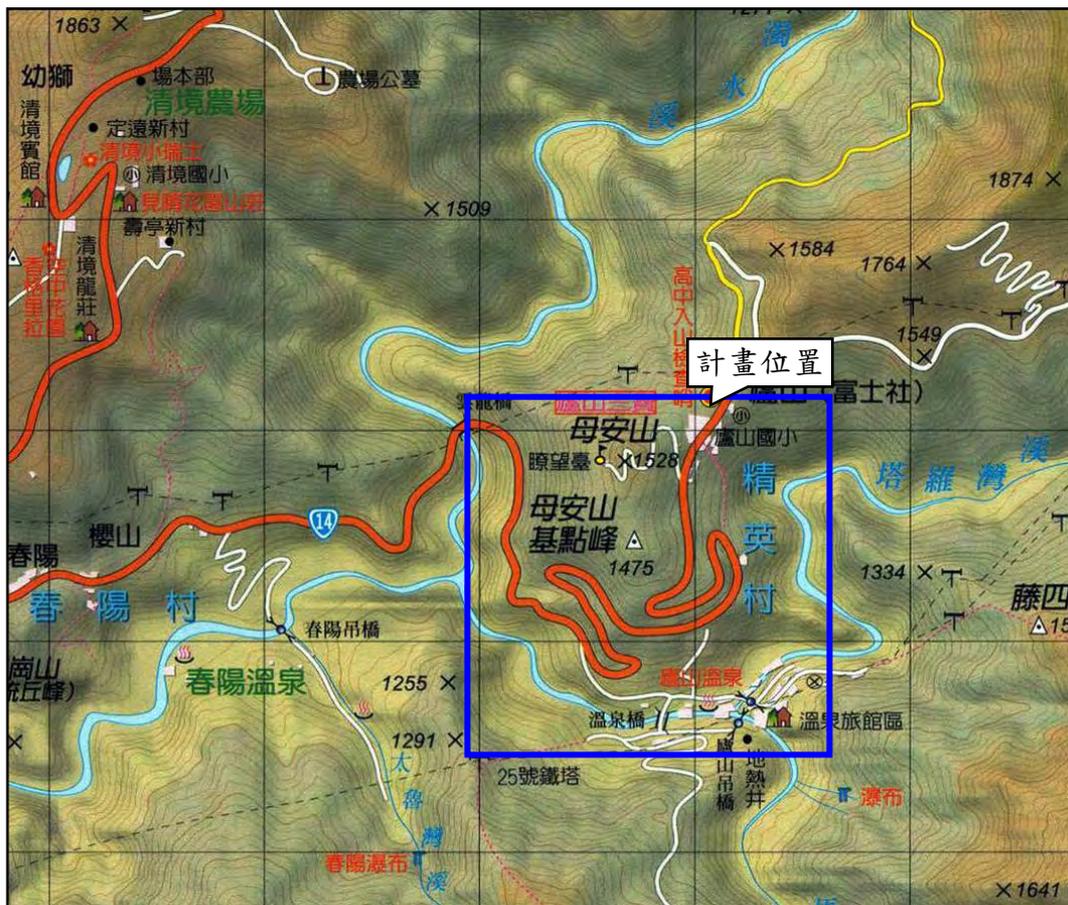


圖 2-1-1 計畫位置圖

2-2 地形及水系

計畫區域位在廬山溫泉北側山坡。仁愛廬山溫泉區東臨能高諸山，北接合歡群峰，南面則有卓社大山，以西則有埔里盆地。

在台灣地形分區上，本地區位於脊樑山脈帶高山地區，全區地形主要屬山高谷深的幼年期河谷地形，河川侵蝕作用相當劇烈，多成陡峭的峽谷，水流湍急。

在水系分佈上本地區屬於濁水溪流域之上游區域，為濁水溪支流塔羅灣溪集水區，濁水溪水系在霧社以上河段呈連續之峽谷地形，各村落如廬山、和平、靜觀等均建設在狹隘的河階上，本計畫邊坡亦位於其中之陡峭河谷。

濁水溪與支流塔羅灣溪交會在台14線公路雲龍橋附近，距離計畫邊坡約2至3公里距離，同時塔羅灣溪和支流馬海僕溪也在計畫區域交匯。

計畫邊坡坡趾塔羅灣溪溪床，海拔高程約為1085公尺；而頭部母安山三角點海拔高程1495公尺，邊坡長約850公尺，寬約400公尺，高程差為410公尺。

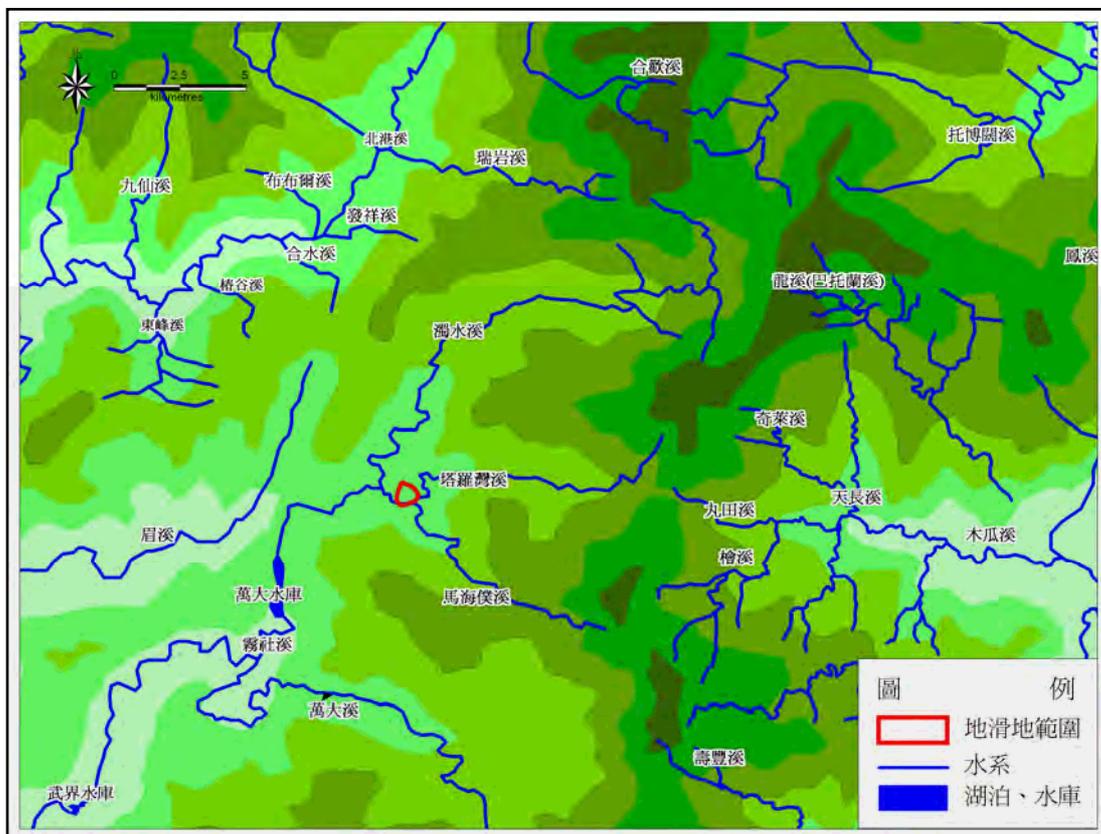


圖 2-2-1 計畫區域水系分佈圖

2-3 氣象與水文

本計畫區域附近氣候監測站為距離計畫位置約30公里之日月潭氣候站，而計畫區內另有中央氣象局設置之廬山雨量站，以下概要敘述上述兩測站之氣候要素情形：

一、氣溫

日月潭測站，月平均以7月最高，約22.9℃；一月最低，約14.1℃；年平均溫度約19.2℃，過去6年最高氣溫發生於西元2004年6月30日為33.3℃，最低氣溫發生於西元2005年3月5日為1.0℃。

二、氣壓

西元2001年至2006年平均氣壓約901.75毫巴，因日月潭位於台灣本島中央位置，東臨水社大山，所以全年氣壓差異不大。

三、溼度

全年平均相對溼度83%，以春夏兩季之相對溼度較大，最高月平均濕度約為87%，冬季相對溼度較小，約為77%。

四、雨量

中央氣象局日月潭氣象站統計自西元1942年至2006年之年平均雨量約為2,369.2毫米，平均年降雨日數約為155天，而近6年之降雨情形則較過去為低，約在2,296.7毫米左右，降雨日數並未有太大變化，約在147天左右；而台灣電力公司廬山雨量站自西元1952年至2006年之年平均雨量約為2,558.1毫米，平均年降雨日數約為135天，年平均降雨量略高於日月潭地區，且降雨較為集中。

表 2-3-1 計畫概要氣候統計表

測站	廬山雨量站		日月潭氣象站			
	降雨量	降雨日數	降雨量	降雨日數	平均氣溫	相對濕度
單位	毫米	天	毫米	天	攝氏度	百分比
1月	69.3	8	46.9	8	14.1	77
2月	150.3	10	84.3	9	14.9	81
3月	191.2	12	108.1	11	16.9	82
4月	233.7	12	163.9	13	19.4	84
5月	396.6	17	353.2	19	21.2	86
6月	472.2	19	491.8	21	22.1	87
7月	264.8	13	377.5	20	22.9	86
8月	398.0	15	408.1	20	22.6	87
9月	212.9	12	218.7	14	22.2	86
10月	76.9	6	51.0	7	20.6	84
11月	40.5	5	27.6	6	18.4	81
12月	51.7	6	38.1	7	15.5	78
合計	2558.1	135	2369.2	155	19.2	83
統計期間	1952-2006	1952-2006	1942-2006	1942-2006	1942-2006	1942-2006

資料來源：交通部中央氣象局(日月潭氣象站)

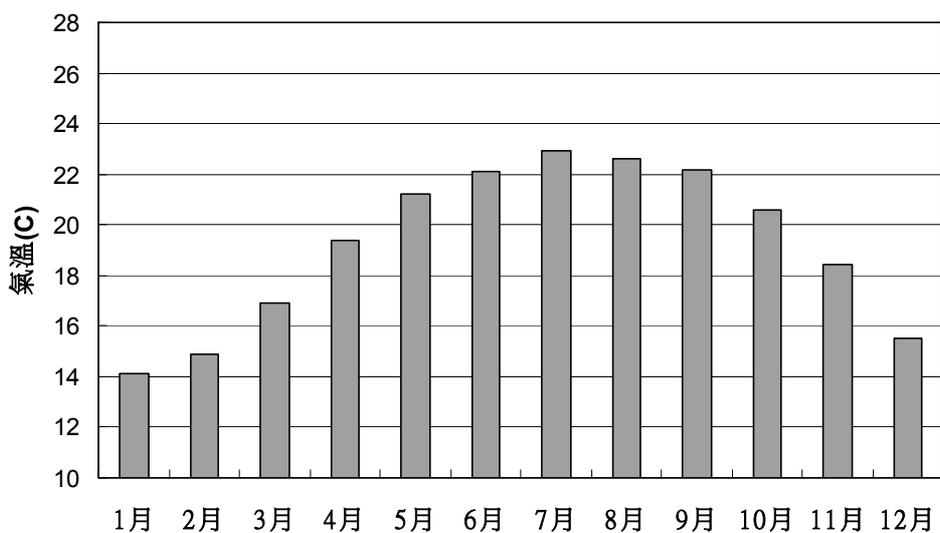


圖 2-3-2 日月潭氣象站月平均氣溫統計圖(1942-2006)

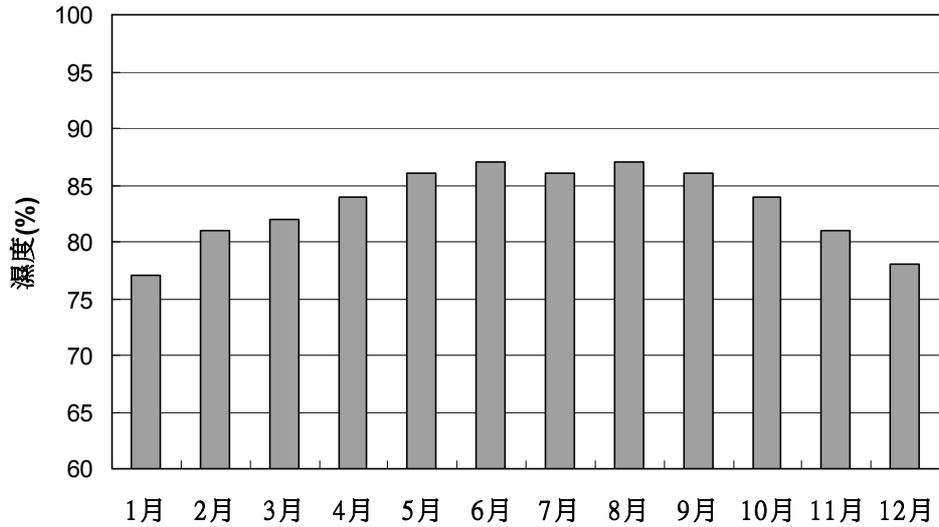


圖 2-3-3 日月潭氣象站月平均濕度統計圖(1942-2006)

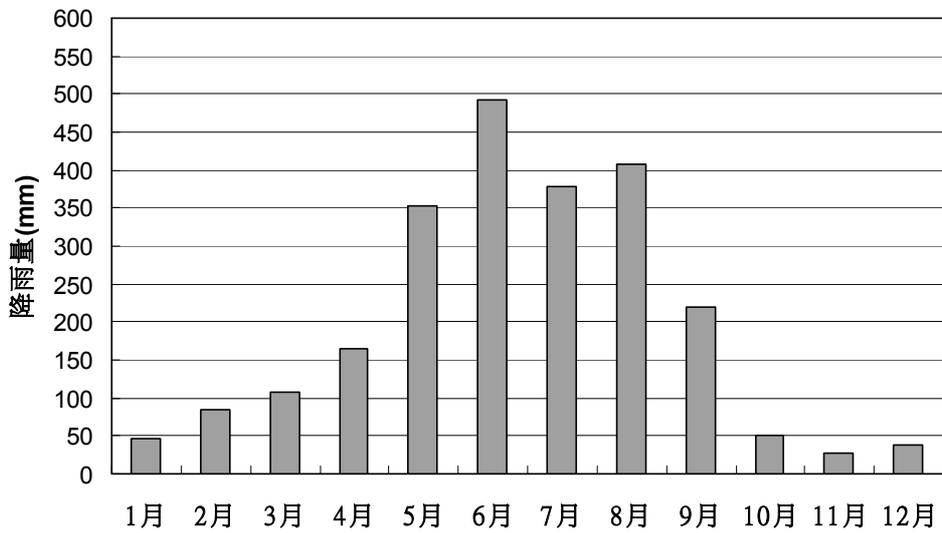


圖 2-3-4 日月潭氣象站月平均雨量統計圖(1942-2006)

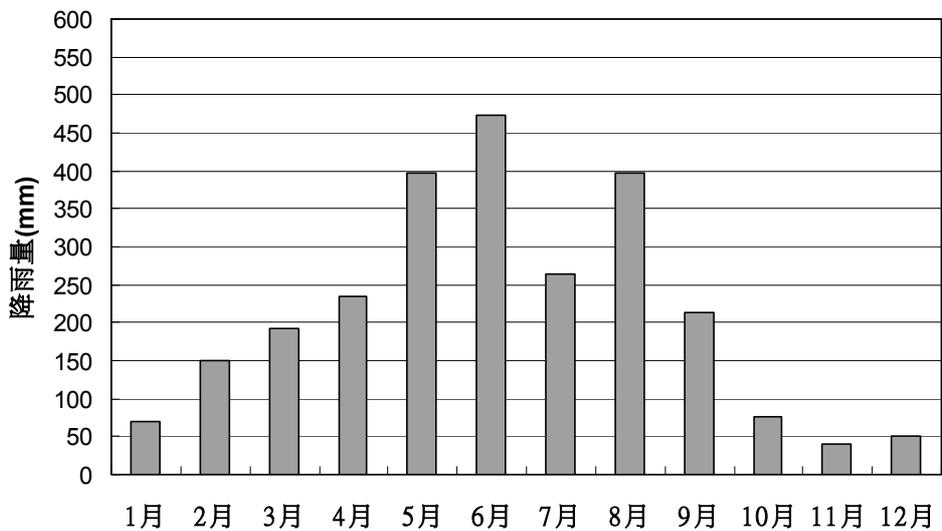


圖 2-3-5 廬山雨量站月平均雨量統計圖(1952-2006)

2-4 區域地質概況說明

一、地層分布

本地區在地層分佈上屬廬山層標準出露地點，廬山層是中央山脈最年輕且分布最廣的地層，岩性多為淘選度差的雜砂岩及黑灰色板岩，以塊狀粉砂質板岩為主，夾塊狀泥質粉砂岩、厚層混濁砂岩、薄層細砂岩(部分與板岩構成互層)。

根據工研院能礦所(1984)的調查結果，將廬山層自下而上分為春陽板岩段、鳶峰砂岩段與昆陽板岩段等三段。概要分述如下：

1. 春陽板岩段：

春陽板岩段出露於霧社至廬山溫泉之間，岩性主要為暗灰色板岩為主，偶夾薄層之細粒變質砂岩或粉砂岩。

2. 鳶峰砂岩段：

鳶峰砂岩段整合於春陽板岩段之上，主要岩性為青灰色細粒變質砂岩及暗灰色砂質板岩之互層組成，變質砂岩中富含白色雲母薄片及炭質物碎片。

3. 昆陽板岩段：

昆陽板岩段亦整合於鳶峰砂岩段之上，主要岩性為劈理發達並具有絹絲光澤的千枚岩組成，偶夾厚數公分至一公尺之細粒暗灰色變質砂岩。

計畫區域所在位置主要屬於春陽段，岩性以劈理面發達的板岩為主；其南側的廬山溫泉區，岩性則多為鳶峰段的青灰色細粒變質砂岩及暗灰色砂質板岩岩層所組成。

二、地質構造

本地區各重要的區域地質構造分述如下：

1. 雲海斷層

雲海斷層主要通過廬山層與大禹嶺層出露地區，在翠峰、靜觀產業道路以及能高越嶺路的雲海等地均可見到此一斷層的露頭。

2. 眉溪斷層(梨山斷層)

眉溪斷層在眉溪部落東面沿眉溪溪流向北大致呈向東北－西南向

延展，在紅香部落西南約500公尺處。

3. 霧社複向斜

霧社複向斜是一西翼較陡、東翼較緩的複向斜構造。同斜軸軸面位態和本地區廬山層板岩中的岩石劈理面相同，方位為東北－西南向，並向西南傾沒。

除了上述地質構造以外，工研院曾就廬山溫泉地熱區進行地質調查，並於計畫區域附近發現三條斷層，分別以A、B、C編號命名之(圖2-4-1)，分述如後：

1. 斷層A：

本斷層通過翠峰迴頭彎處，斷線之走向約為北10度西，並通過尾上山之西南約1.5公里處，其北端可能延伸至北港溪紅香溫泉附近。在翠峰附近因鳶峰砂岩不連續，認為是因本斷層通過錯開所致，其斷層之性質為右移斷層。

2. 斷層B：

本斷層之走向為北35度東，在馬海僕溪下游溫泉地表徵兆可見本斷層斷面角度約70度，傾向東南，其層位落差不明，本斷線長約4公里。

3. 斷層C：

本斷層由鳶峰砂岩之不連續而推定。推定斷層之走向約北70度西，其東南端與馬海僕溪上游河谷走向略為平行，其西北端可能通過春陽溫泉之西側。

上述斷層及地質構造均未於本計畫區域通過，但構造方向與地滑區內之劈理面與主節理面位態頗為吻合，顯示在大地應力作用下之地質變化呈現相當的一致性。

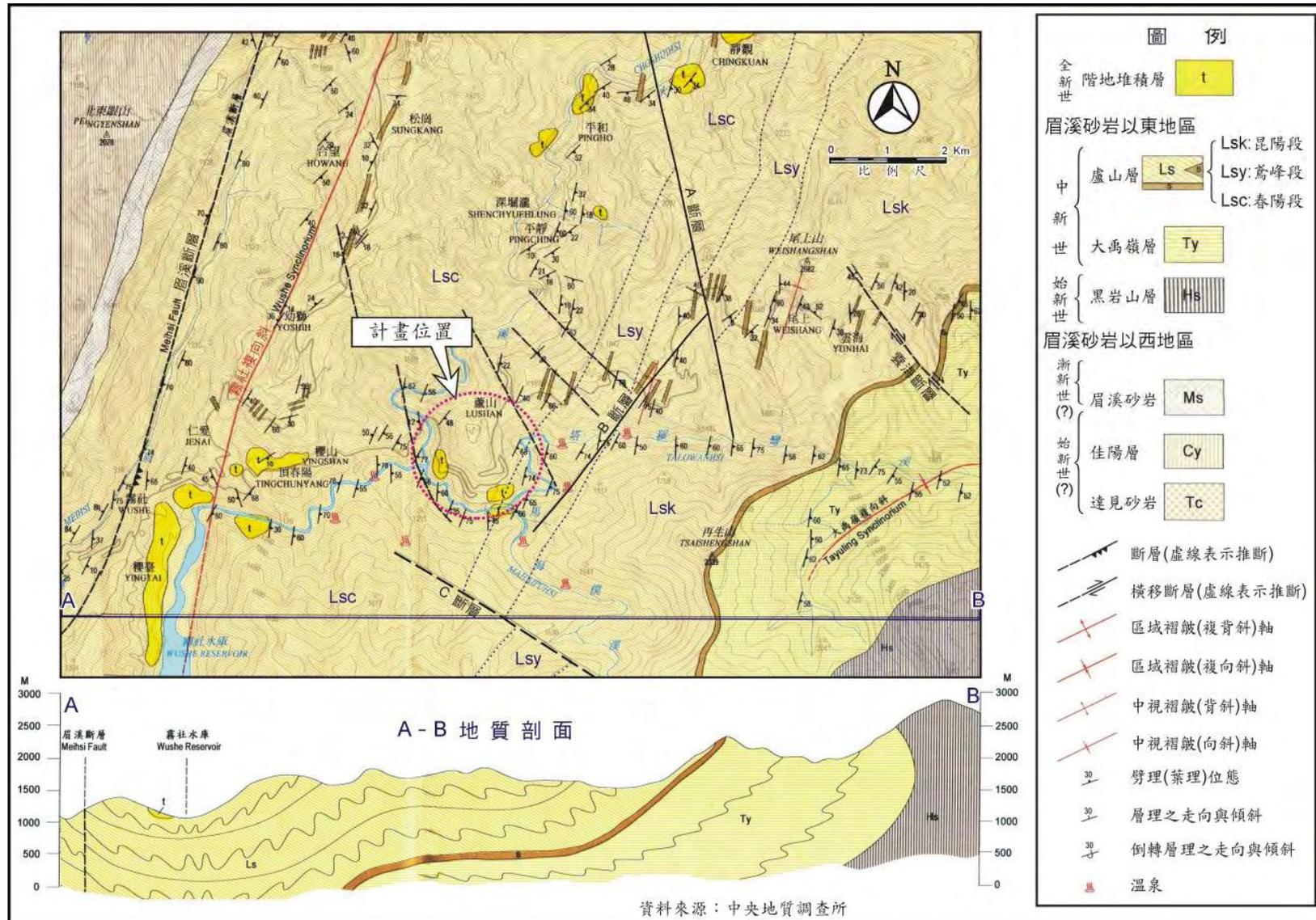


圖 2-4-1 區域地質圖

第三章 前期調查工作概要

3-1 前期監測作業情形

前期地滑地監測工作計畫期程為期12個月，自民國94年6月起迄於民國95年6月，每個月至少監測一次，監測項目主要分為以下5個部份：

一、地下水位與降雨量監測分析

計畫區域內目前共埋設電子式水壓力計9只及電子式雨量計1具，採無線通訊方式每兩小時記讀一次，自動化監測計畫區域之地下水位及雨量之變化情形。

地下水位井除B9403外，均與傾度管合併使用，使用情形如表3-1-1所示，設置位置如圖3-1-1所示。

表 3-1-1 前期雨量及地下水位監測系統一覽表

編號	儀器別	裝設位置	開始監測日期	運作情形
1	水壓計	B9401 鑽孔	94/7/14	95/6/9 測孔剪斷
2		B9402 鑽孔	94/7/14	95/6/9 測孔剪斷
3		B9403 鑽孔	94/7/14	正常
4		B9404 鑽孔	94/7/14	95/6/9 測孔剪斷
5		B9405 鑽孔	94/7/14	95/6/9 測孔剪斷
6		B9406 鑽孔	94/7/14	95 年道路修復損毀
7		B9407 鑽孔	94/7/14	堪用，無地下水反應 本期未再使用
8		B9410 鑽孔	94/7/14	
9		B9409 鑽孔	94/8/1	正常
10	雨量計	蔡家茶園內	94/7/14	正常

二、傾度管監測分析

計畫區域傾度管監測共埋設10處孔位，每處孔位於每個月量測一次，測讀方向分為平行及垂直坡向兩測向，每次測讀兩測向之水平變位情形。

傾度管除B9411外，均與地下水位井合併使用，使用情形如表3-1-2所示，設置位置如圖3-1-1所示。

表 3-1-2 前期傾度管監測系統一覽表

編號	儀器別	裝設位置	監測深度	開始監測日期	運作情形
1	傾度管	B9401 鑽孔	30m	94/6/27	95/06 剪斷
2		B9402 鑽孔	40m	94/6/27	95/06 剪斷
3		B9404 鑽孔	40m	94/6/27	94/08 剪斷
4		B9405 鑽孔	40m	94/6/27	94/06 剪斷
5		B9406 鑽孔	50m	94/6/27	95 年道路修復損毀
6		B9407 鑽孔	40m	94/6/27	正常
7		B9408 鑽孔	40m	94/6/27	正常
8		B9409 鑽孔	45m	94/6/27	正常
9		B9410 鑽孔	40m	94/6/27	正常
10		B9411 鑽孔	50m	94/6/27	94/07 剪斷

三、地滑計監測分析

地滑計共安裝4具，目前採人工測讀方式，每個月測讀一次，共計48站次。

4具地滑計於民國95年69水災時均已達設定量測界限，後續未再量測，使用情形如表3-1-3所示，設置位置如圖3-1-2所示。

表 3-1-3 前期地滑計一覽表

編號	使用期間	現況	原因
L01	94.8.25~95.5.20	損毀	95 年 69 豪雨災害損壞
L02	94.8.25~95.6.22	損毀	95 年 69 豪雨災害損壞
L03	94.8.25~95.5.20	損毀	95 年 69 豪雨災害損壞
L04	94.8.25~95.6.22	損毀	95 年 69 豪雨災害損壞

四、邊坡構造物監測系統

計畫區域內邊坡構造物共裝設傾度盤5具、裂縫計2處，規劃每個月測讀邊坡構造物變化情形一次。

目前相關設施多已損壞，後續未再監測，使用情形如表3-1-4所示，設置位置如圖3-1-1所示。

表 3-1-4 前期邊坡構造物監測儀器一覽表

儀器品項		有效記錄日期	儀器現況	儀器損壞描述
構造傾斜儀	S1	94.6.15~95.6.21	損毀	遭拆除
	S2	94.6.15~95.6.21	損毀	遭拆除
	S3	94.6.15~95.6.21	損毀	遭拆除
	S4	94.6.15~95.6.21	損毀	遭拆除
	S5	94.6.15~95.6.21	損毀	遭拆除
裂縫計	C1	94.6.15~95.6.21	損毀	擋土牆重建損毀
	C2	94.6.15~95.6.21	損毀	擋土牆重建損毀

五、坡面固定樁及道路導線觀測點位監測分析

計畫區域共埋設坡面固定樁4處，並沿區域內道路佈設145處觀測點位，道路觀測點位測量主要選取台14線道路91K+600~90K+900以及89K+500~90K+400兩路段作密集之監測，其主要組成如下：

- 1.區域外之4處GPS控制點位作為測量之起迄點。
- 2.由GPS01測量至GPS04之K導線控制測量(89K+500~90K+400路段)
- 3.由GPS02測量至GPS03之N導線控制測量(91K+600~90K+900路段)
- 4.設置於道路邊溝、擋土牆上之觀測點位，計有A群組56處、B群組43處、C群組26處，共計145處觀測點位。

監測方法以每個月採導線測量方式監測上述觀測目標一次，以掌握計畫坡面之地表位移情形。

目前監測點位因擋土牆及道路修路，半數以上多以損毀，目前將堪用及重要點位整合至本期監測點位內，詳見第七章說明，相關地表變位監測系統詳見圖3-1-2~圖3-1-3所示。

前期相關監測儀器、數量及監測頻率整理如表3-1-5所示，相關配置圖3-1-1所示，並整理儀器堪用情形如表3-1-6所示。

表 3-1-5 原有監測儀器一覽表

編號	儀器名稱	數量	監測頻率	目的
1	雨量計	1 具	每 2 小時 1 次	記錄計畫區域雨量變化情形
2	地下水壓計	9 具	每 2 小時 1 次	記錄計畫區域地下水位變化情形
3	傾度管	10 孔	每月 1 次	監測並推估潛在滑動面位置
4	地表伸縮計	4 組	每月 1 次	監測地表裂隙變化情形
5	坡面固定樁	4 處	每月 1 次	監測地表變位情形
6	道路觀測點位	145 處	每月 1 次	監測地表變位情形並推估滑動範圍
7	構造物傾度盤	5 具	每月 1 次	監測邊坡構造物傾斜變化
8	構造物裂縫計	2 處	每月 1 次	監測邊坡構造物裂隙變化

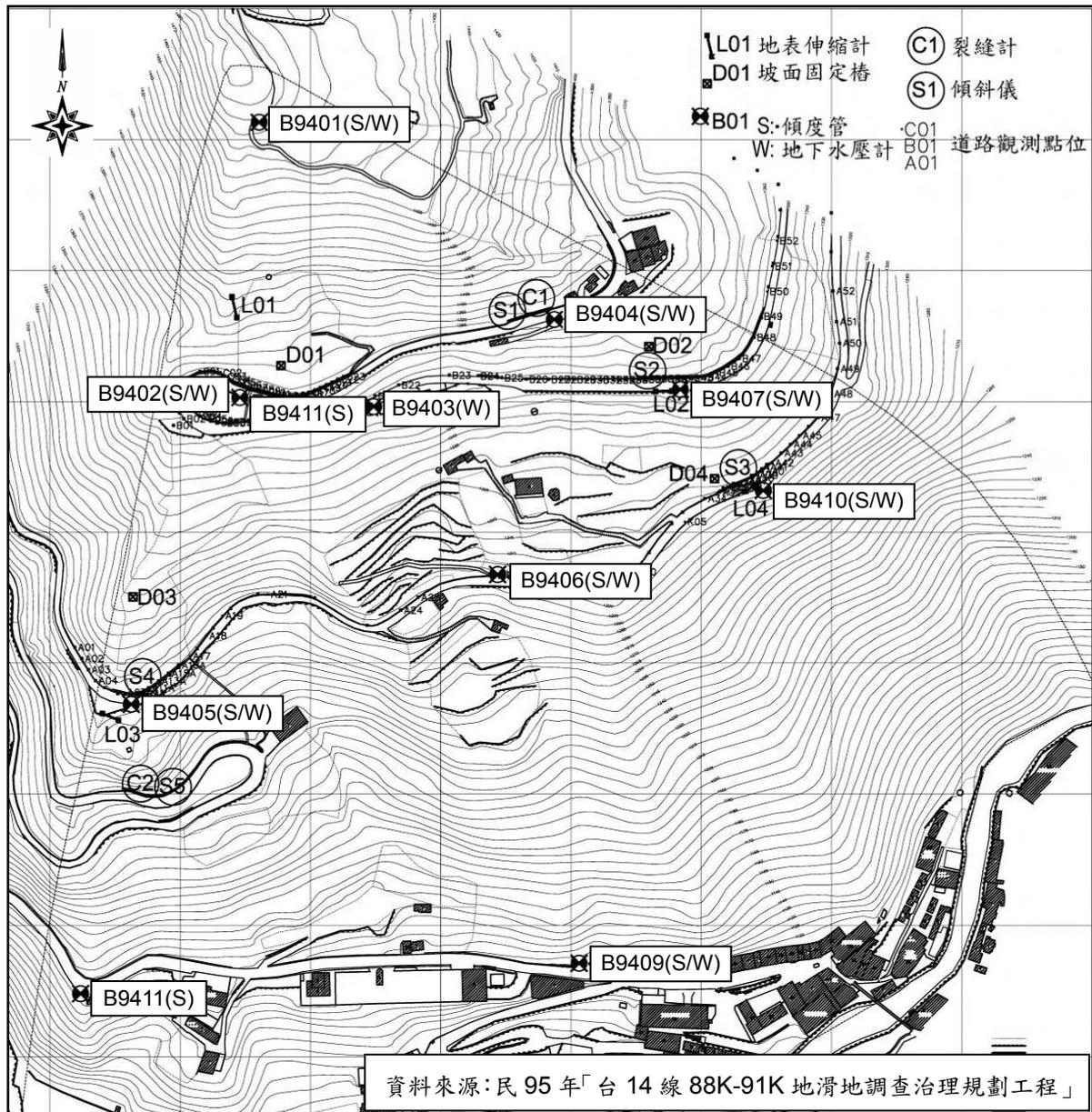


圖 3-1-1 前期計畫監測儀器配置圖

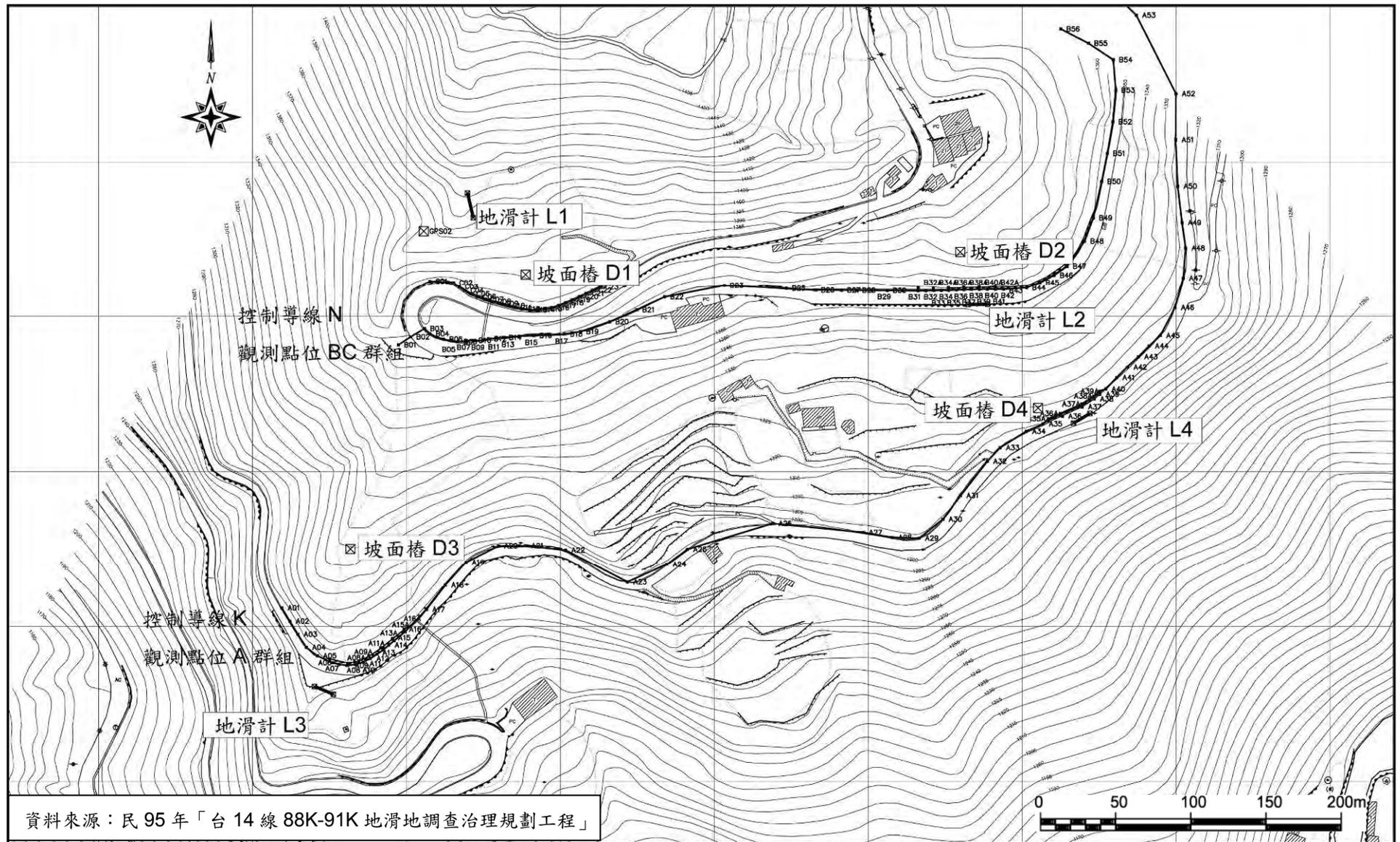


圖 3-1-2 地表變位監測系統配置圖

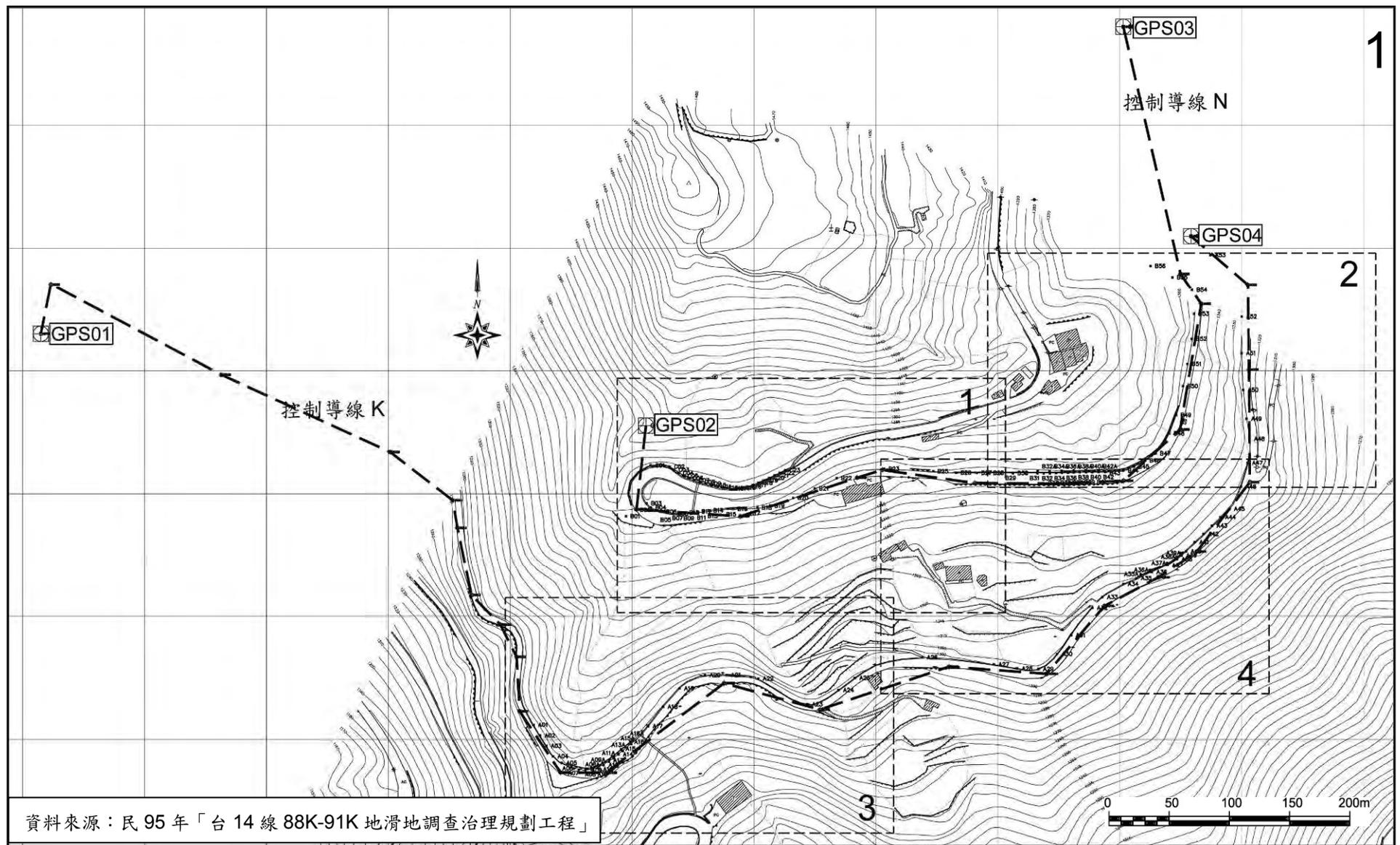


圖 3-1-3 道路觀測點位總平面圖

3-2 前期邊坡滑動情形

3-2-1 前期監測成果說明

前期監測計畫自民國94年6月至民國95年7月為止，共歷經一個完整的季節循環，對於計畫邊坡的各項監測成果，分為以下幾點概要說明：

一、降雨量情形

前期監測計畫在民國94年期間共經歷七次颱風，其中以7/16日海棠颱風及8/3日馬莎颱風降雨情形較為強烈，分別達到單日降雨量370毫米以上及400毫米以上之記錄，而民國95年主要豪大雨為發生在6/9日之69水災，單日降雨量達460毫米，已經超過中央氣象局所定義超大豪雨之標準，除此之外，其他颱風降雨情形均較輕微；而冬季期間計畫區域的降雨情形則明顯降低到僅有零星的雨量及天數。

二、地下水位情形

前期監測計畫在地下水位變化情形，可分為雨季時有常水位及無地下水位兩種情形，在有常水位變化的孔位部份為：B9402、B9403、B9406、B9409等4孔，其變化情形，分別敘述如下：

(一) B9402孔位地下水位情形：

B9402孔僅在颱風雨季(7-9月)可量測到水位，並在暴雨時可觀察地下水位明顯變化，但進入枯水期後，本孔無地下水反應。

(二) B9403孔位地下水位情形：

B9403孔在枯水期(1-3月)期無地下水位反應，而進入梅雨季(4-6月)後，水位逐漸向上蓄昇；在颱風雨季(7-9月)期間，地下水位會隨降雨有上下10公尺的變化，進入秋季後才緩慢向下消散，並降至孔底。

(三) B9406孔位地下水位情形：

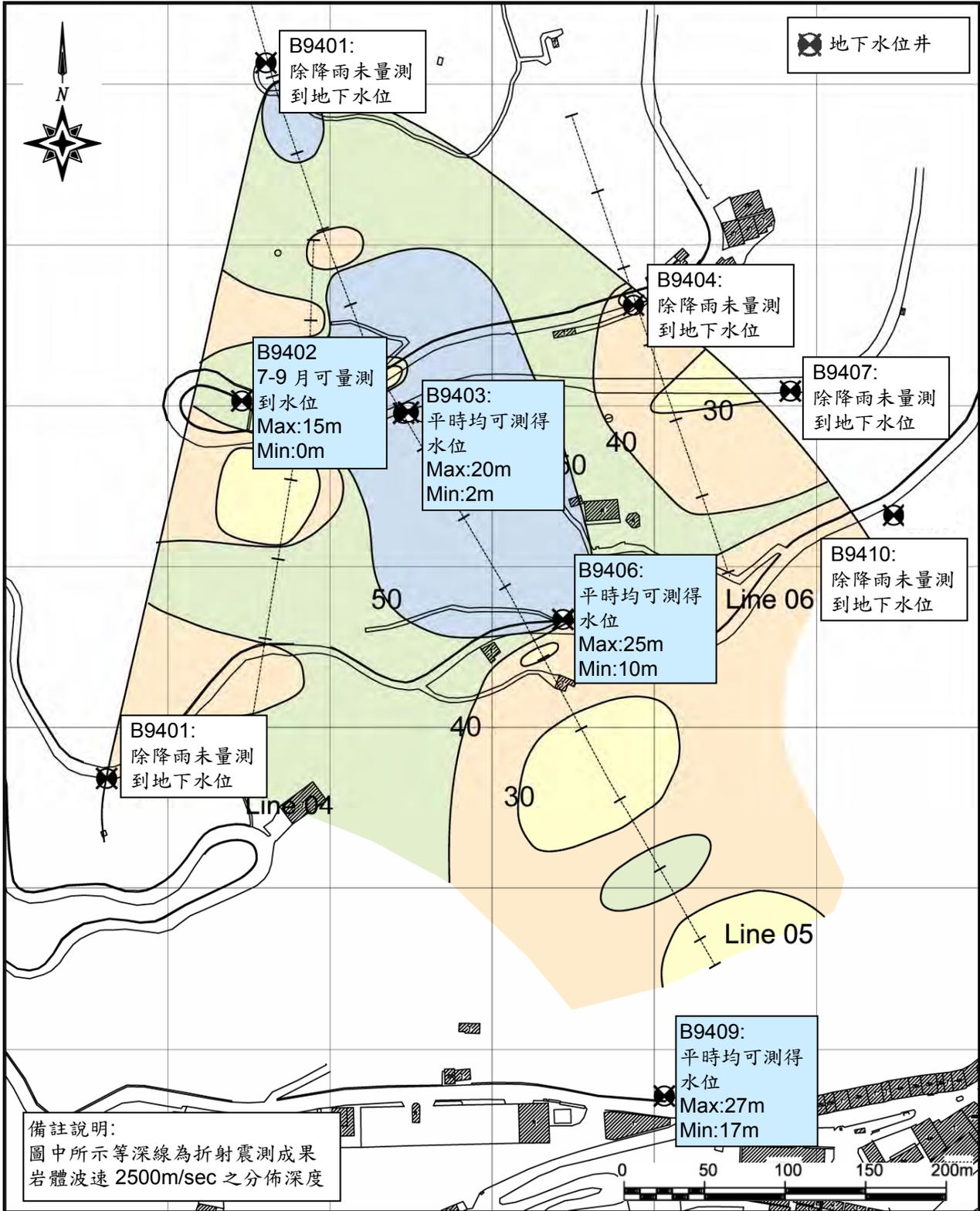
B9406孔在枯水期(1-3月)期間大致維持在地表深度-30公尺處的低水位，而進入梅雨季後(4-6月)，水位逐漸向上積蓄；在颱風雨季(7-9月)期間，地下水位會隨降雨有上下10公尺的變化，進入秋季後才緩慢向下消散，並降至低水位。

(四) B9409孔位地下水位情形：

B9409孔位於坡趾，接近溪床處，在上方坡體補注之下，持續維持一定地下水位高程，僅在雨季過後地下水位方緩慢下降。

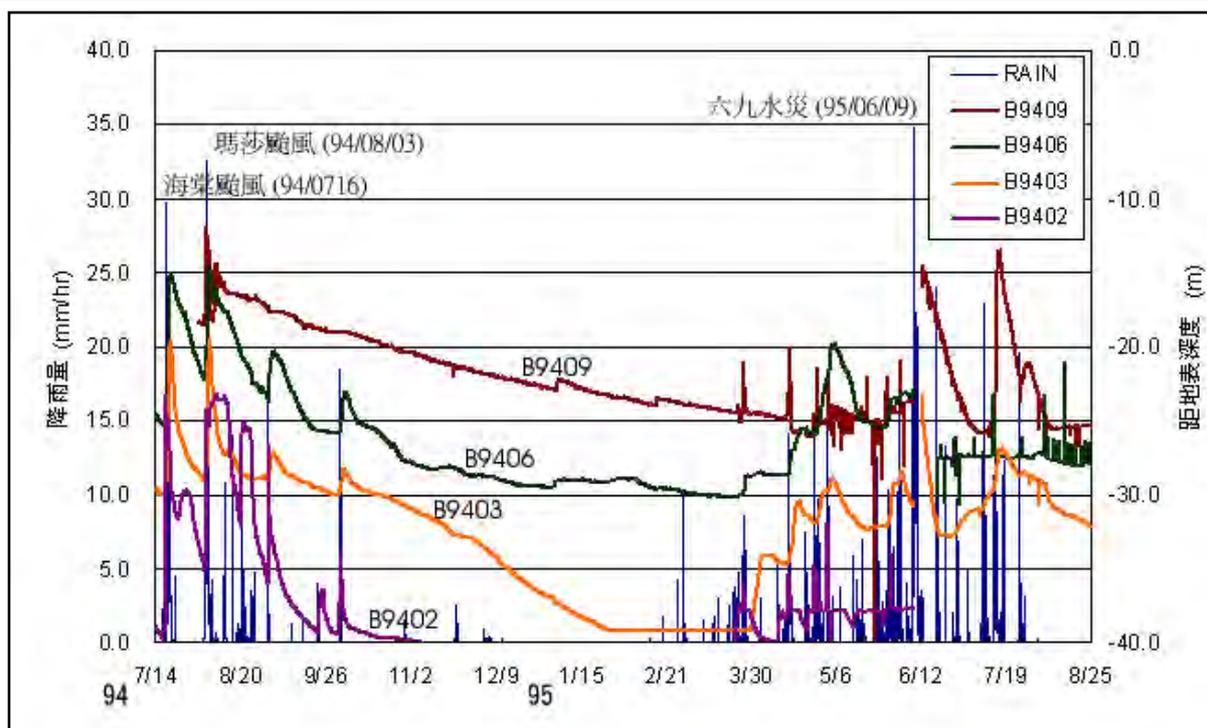
除此之外，位於坡頂及兩側邊緣的孔位水位變化並不明顯，平時均維持在孔底，僅在降雨時有些微的地下水位變化情形。

大體而言，地下水位之變化與岩層風化程度具有相當高之關連性，將折射震測所探測得到之岩盤分佈情形(圖中所示為岩體震測波速2500m/sec之分佈深度)與各鑽孔地下水位量測情形作一比對，如圖3-2-1所示；比對後發現，地下水位明顯變化之孔位大多位於岩盤向下凹陷之低窪處，推估應為降雨逕流入滲進入風化岩層後，於風化岩層內流動，並向岩盤分佈低窪處匯集所造成之現象。



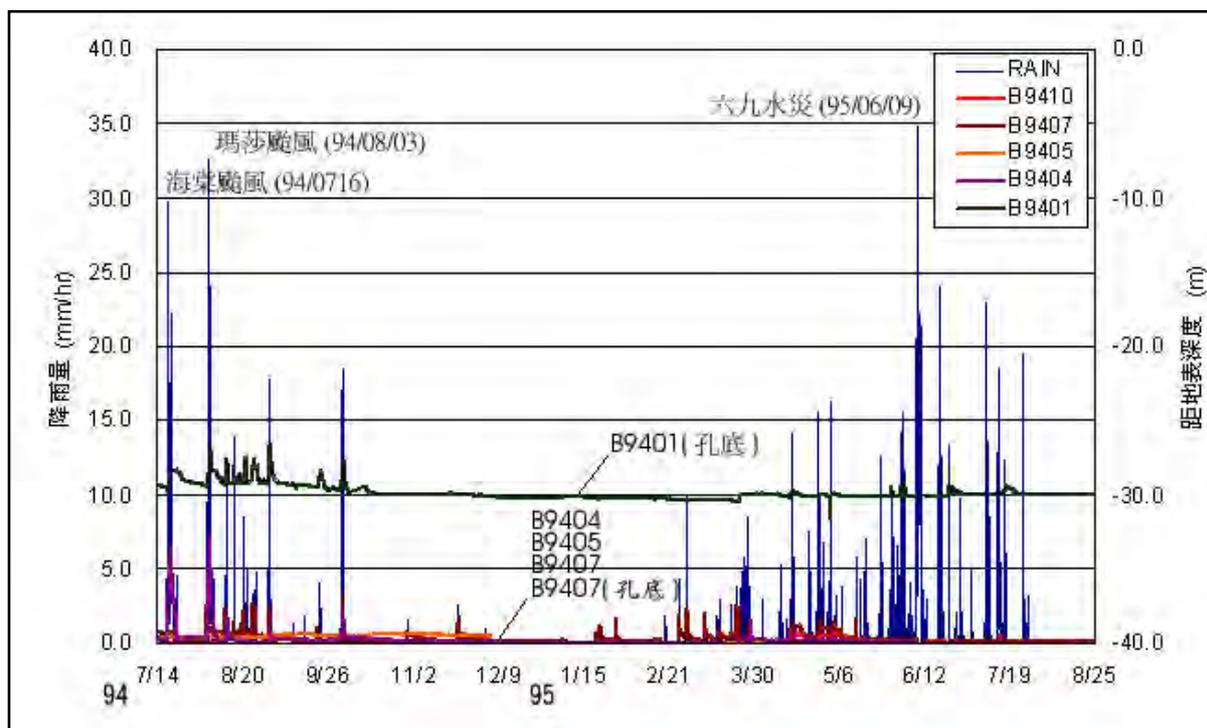
(資料來源：台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程,95 年)

圖 3-2-1 地下水位變化與岩盤深度分佈對照示意圖



(資料來源：台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程,95 年)

圖 3-2-2 地下水位量測情形(一)



(資料來源：台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程,95 年)

圖 3-2-3 地下水位量測情形(二)

三、傾度管量測情形

前期監測計畫共佈設10處傾度管，其中有量測到變位的孔位為：B9401、B9402、B9404、B9406、B9408、B9409等6孔，其變化情形，分別敘述如下：

(一) B9401孔位變位情形：

B9401孔位發生變位深度約在地表深度20公尺處，為漸進式之變位情況，並無明顯錯動面，瑪莎颱風造成變位量約5cm，69水災造成變位量約18cm。

(二) B9402孔位變位情形：

B9402孔位發生變位深度約在地表深度25公尺處，有明顯錯動面，瑪莎颱風造成變位量約10cm，69水災則因地層錯動將傾度管剪斷。

(三) B9404孔位變位情形：

B9404孔位發生變位深度在極淺地表，僅約深3公尺，有明顯錯動面，本孔位共量測94年6月、7月、8月三次，每次均量測有變位，其後即因錯動過大無法再量測。

(四) B9406孔位變位情形：

B9406孔位發生變位深度約在地表深度37公尺處，69水災後才發生，變位量僅2.5cm。

(四) B9408孔位變位情形：

B08孔位未發現滑動面，而是傾孔整體向後傾倒，應為下邊坡滑動後，坡體解壓所致。

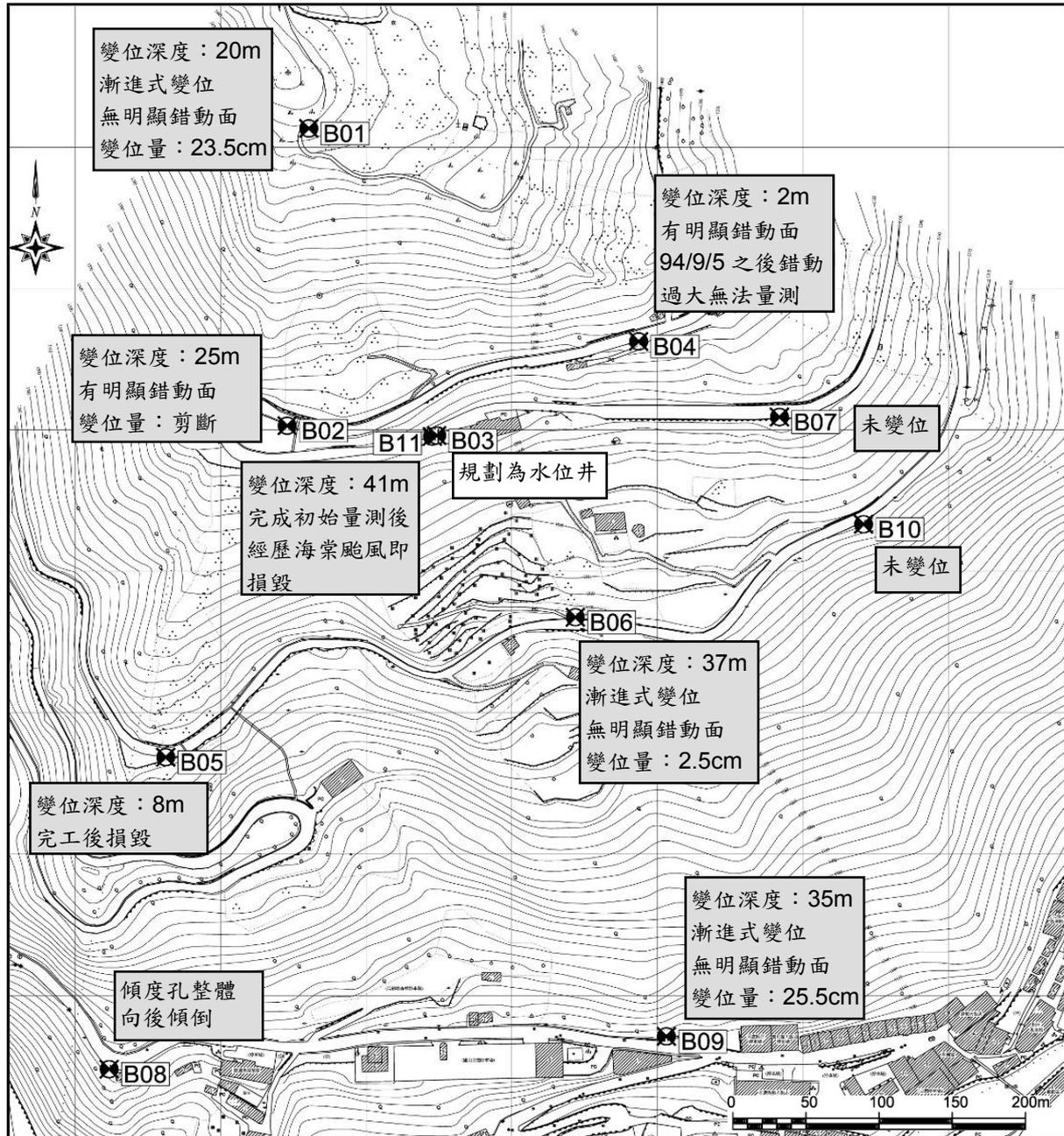
(六) B9409孔位變位情形：

B9409孔位發生變位深度約在地表深度35公尺處，為漸進式之變位情況，並無明顯錯動面，94年發生變位時間共有二次，一次發生在瑪莎颱風期間，後續在9/5-9/30日之間又滑動一次，其中以後者變位量較大，兩次累積大約有8cm，而95年69水災後又造成變位，變位量約有17cm。

除上述6處孔位外，B9411及B9405孔雖於完工後不久即損毀無法量測變位歷線，但在69水災後明顯可發現兩孔分別於41m及8m深度附近發

生錯動，並將傾度管剪斷。

整理各孔位傾度管量測情形，如圖3-2-4所示。



(資料來源：台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程,95 年)

圖 3-2-4 計畫區域傾度管量測情形

四、地表變位情形

由前期道路觀測點測量資料中，發現計畫區域主要變形區域發生在坡體兩側裂隙之間，而從歷次觀測記錄發現，發生明顯變位之時間共有兩次，一次發生於民國94年瑪莎颱風前後之颱風季節，一次則為民國95年69水災產生之變位，而兩次變位之間，從民國94年9月至95年5月之間的量測位置則呈現疊合之情形，表示在此一期間地層呈現穩定，未有錯動。

從地表變位量觀察，民國94年瑪莎颱風造成之變位量約為10cm左右，而民國95年69水災造成之變位量幾達50cm以上，顯示較長延時之大豪雨量，確實造成大變位之滑動量，相同情形於水準高程之量測亦可觀察得知。

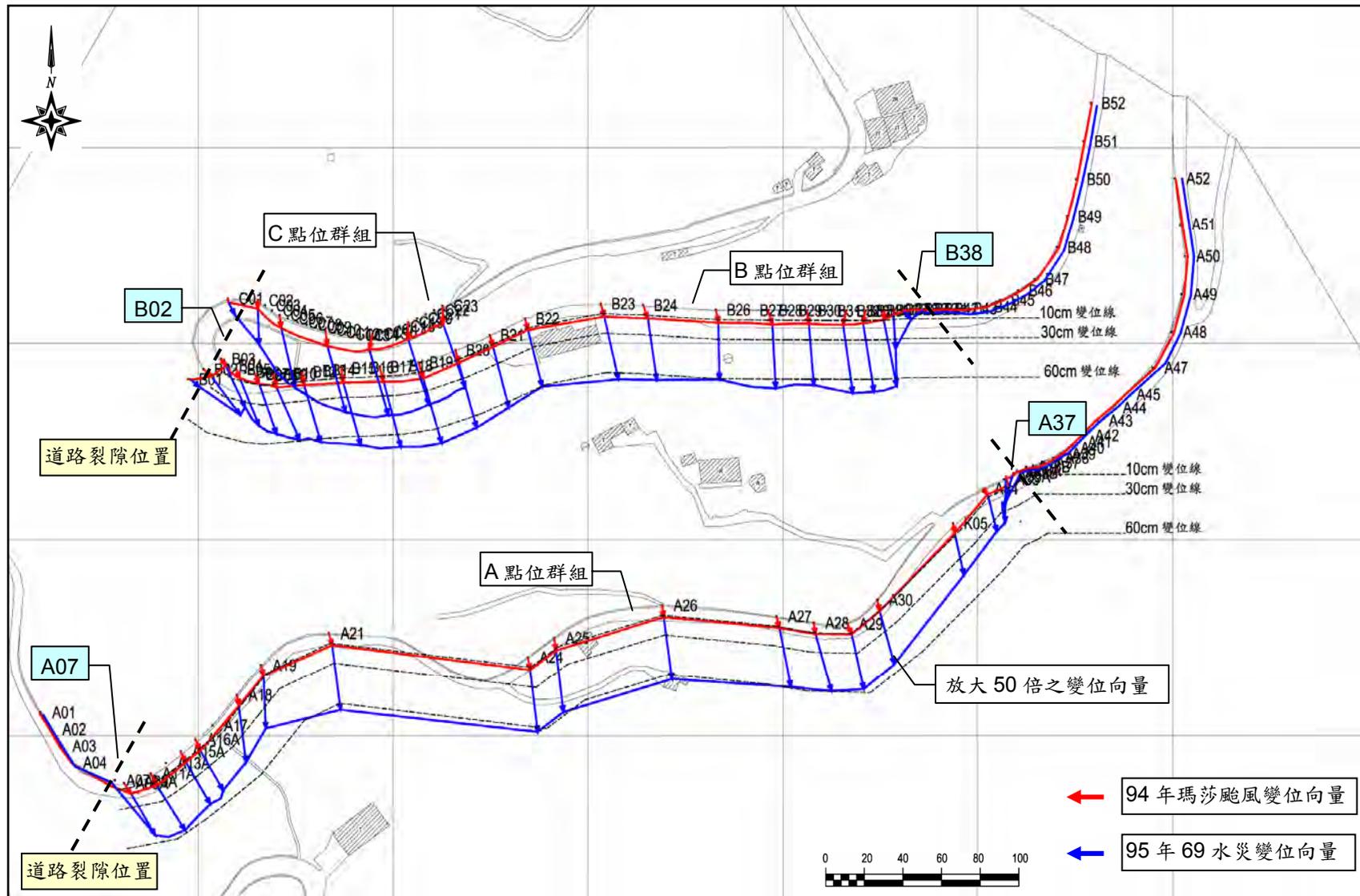
再從地表變位向量觀察，在坡體兩側裂隙間之觀測點，均呈現大變位之滑動量，且變位方向具有相當高之一致性，而裂隙外側之坡體，其變位量則不明顯，顯示坡體主要變形區域發生在兩側裂隙之間。

94年瑪莎颱風及95年69水災相關地表變位向量比對分析情形，展繪如圖3-2-5所示。

五、整體綜合評估

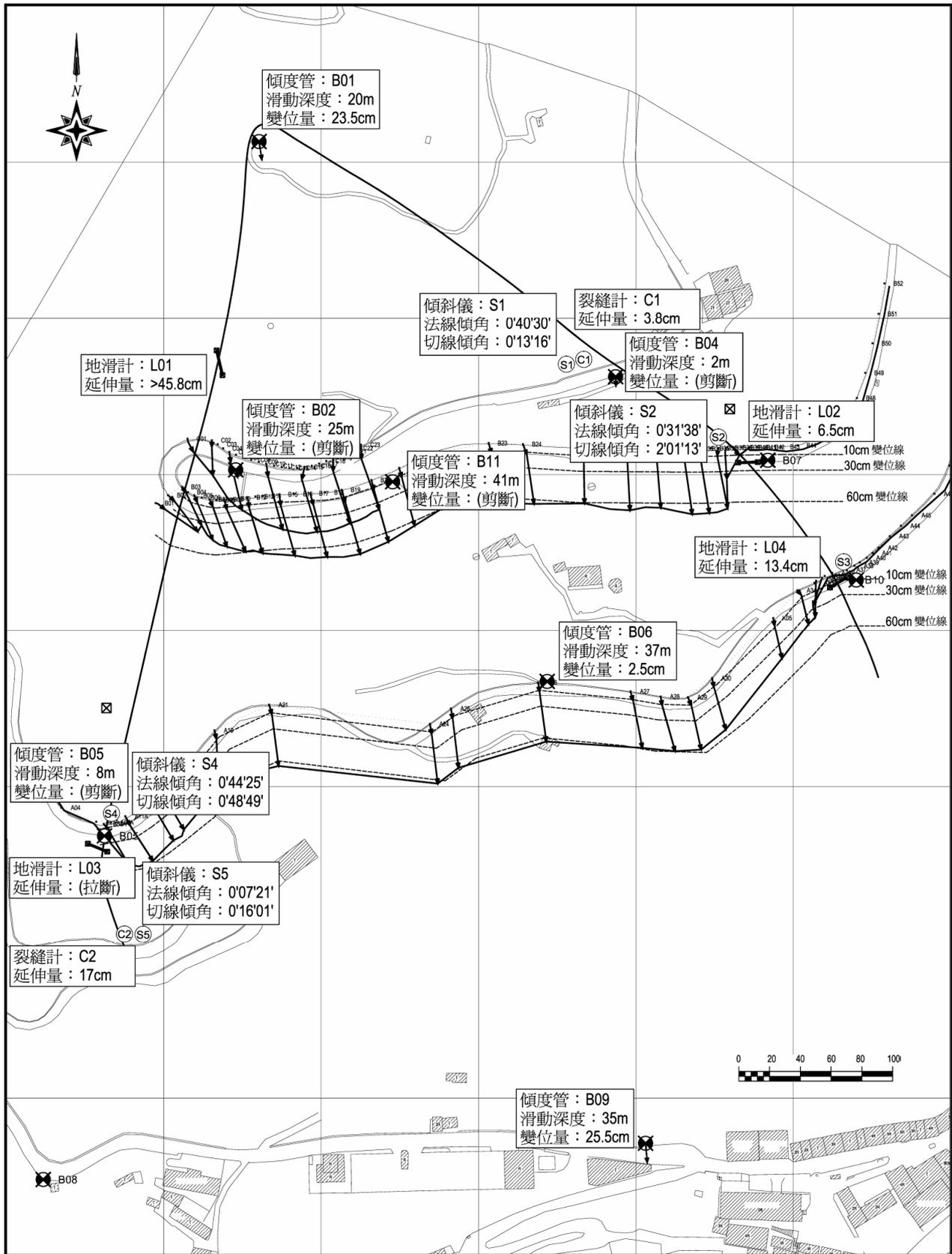
經彙整各項監測資料後，可以明確釐清計畫坡體之滑動範圍，確實存在於坡體兩側裂隙之內，無論由地表位移觀測或是地滑計、裂縫計、傾斜儀以及傾度管量測等等資料，均可發現明顯之位移量；而裂隙之外的觀測讀值則相對微小許多，詳見圖3-2-6所示。

再由地下水位之觀測資料得知，位於滑動範圍內之觀測孔位均可量測明顯之地下水位流動情形，再對照岩盤分佈深度以及傾度管測得之變位深度，已可概略勾勒出一典型受豪雨作用坡體飽和產生下滑之地滑塊體雛形。



(資料來源：台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程,95 年)

圖 3-2-5 地表變位向量分析圖



(資料來源: 台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程, 95 年)

圖 3-2-6 前期滑動監測資料彙整示意圖

3-2-2 前期計畫期間邊坡破壞情形

在滑動情形方面，過去3年間曾使本邊坡產生明顯滑動的豪大雨分別為六九水災(950609)、瑪莎颱風(940803)以及海棠颱風(940716)。就近期觀察所得而言，邊坡滑動量與降雨量大致成正比；而其災害情形可以歸納為以下四類情形：

- (一) 道路沿線構造物損壞
- (二) 房舍傾倒、擠壓災害
- (三) 塔羅灣溪淤塞、溢流災害
- (四) 豪雨沖刷災害

上述災害情形在道路構造物損害及房屋傾倒災害部分與計畫坡體之地滑現象具有密不可分之關係，以下就滑動坡體與表面破壞裂隙之關係作一扼要敘述。

計畫坡體明顯且劇烈之裂隙多半位於坡體之兩側；在計畫區西側依序為台14線91K+600、89K+700、88K+350、88K+050及投87線麗蘆飯店前道路等處，而在計畫區東側依序為91K+950、91K+350、90K+200等處，而前述暴雨時各處裂隙情形詳見以下照片整理。

上述裂隙方向多橫跨道路且與上下裂隙形成連結之趨勢，若與前期計畫地表變位監測資料綜合檢討，可發現此東西兩側裂隙恰位於滑動區塊之邊緣，而此裂隙之造成應為坡體滑動錯移所致，而滑動體之下方即為涵碧莊飯店傾倒破壞及附近道路發生隆起擠壓裂隙之位置。

坡趾處六九水災邊坡破壞情形



涵碧莊飯店傾倒拆除情形



涵碧莊飯店旁道路擠壓情形

台14線89K+700歷年裂隙記錄



93年12月16日



94年08月25日



95年06月13日



96年01月24日

台14線91K+200歷年裂隙記錄



93年12月16日



94年08月25日



95年06月13日



96年01月24日

台14線91K+600歷年裂隙記錄



93年12月16日



94年08月25日



95年06月13日



96年01月24日

台14線91K+900歷年裂隙記錄



93年12月24日



94年08月25日



95年06月13日



96年01月24日

3-3 前期治理工程規劃及實施

3-3-1 前期治理規劃說明

前期「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」所建議之分年分期治理工程主要由以下四大部分所構成：

1. 表層之坡面排水系統：

包含既設之公路側向邊溝以及建議之新設橫向截流溝、縱向排水溝、管涵、排水箱涵以及天然流路之山坡坑溝所組成。

2. 淺層之橫向集水管：

本部分之工程佈置，係以公路管理單位於94年度施作完成之橫向集水管為主，目前已於計畫坡體發揮排水功用，而為整體規劃坡體排水目標，應將其系統效能列入整體考量範圍內；除此之外，在下邊坡處投87線沿途經常可見坡面濕潤之現象，建議再新設橫向集水管將地下水排出。

3. 中層之集水井：

於計畫坡體內風化岩層較厚、地下水較集中之處，規劃2處集水井工程，以期發揮重點排除中層地下水之功效。

4. 深層之排水廊道：

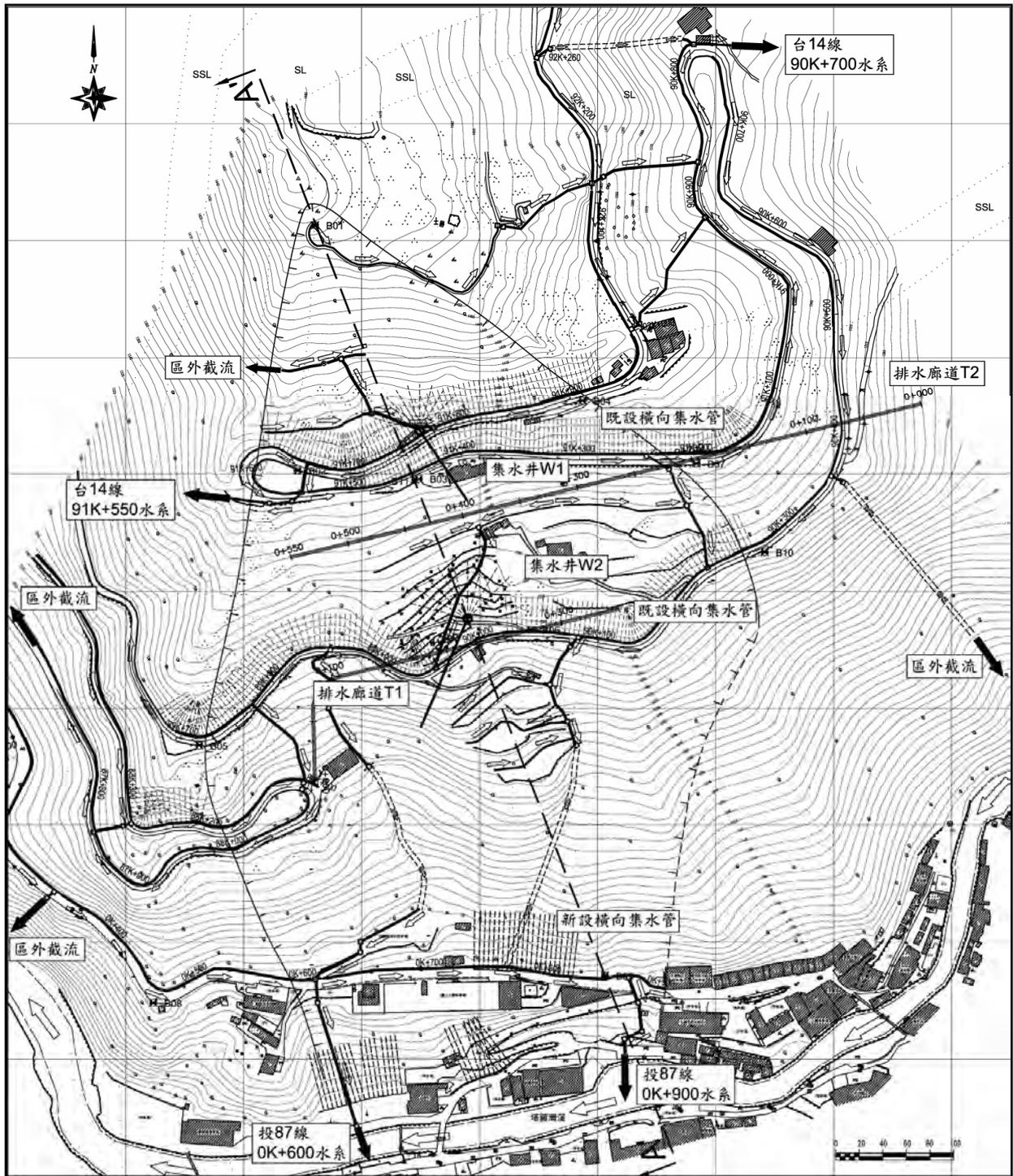
如上述排水工程列為先期整治方案，依實施後之監測成果加以檢討，如仍未達到預期穩定坡體之目標，則建議採全面性之排水廊道方式，排除主要滑動區域內之深層地下水。

在各項分年分期計畫中初步估計總工程經費1億4,960萬元，考量主辦機關人力配合及年度經費編列，具急迫性需要之工程優先辦理，後續再就治理成效逐年逐步推動，據此擬定分年分期計畫，如表3-3-1所示，相關工程配置如圖3-3-1所示。

表 3-3-1 前期治理規劃分年分期實施計畫表

期別	工程名稱	工作內容	工程經費 (千元)	備註
第一年	台 14 線 88K-91K 坡面排水改善工程	截流溝、縱向溝、匯流井、管涵、排水箱涵	12,200	已完工
	台 14 線 W1 及 W2 集水井工程	集水井 2 座(直徑 3.5m、深度 45m 及深度 30m)	16,500	
	投 87 線 0K+600~0K+825 橫向集水管工程	橫向集水管長 50m，共計 50 支	3,600	已完工
	廬山地滑治理成效監測	既設監測系統維護，增設傾度孔及伸縮儀各 1 座、人工記讀傾度孔 1 孔	4,300	本期實施
小計			36,600	
第二年	排水廊道補充調查及設計	廊道沿線地質調查及洞口段水平孔地質鑽探、細部設計	5,000	視集水井治理成效而定
	廬山地滑治理成效監測	監測系統維護	2,000	
小計			7,000	
第三年	台 14 線 T1 及 T2 排水廊道工程	排水廊道 2 座 (廊道淨高 2.1m、長度 850m)	102,000	視集水井治理成效而定
	廬山地滑治理成效監測	監測系統維護	2,000	
小計			104,000	
第四年	廬山地滑治理成效監測	監測系統維護	2,000	
小計			2,000	
總計			149,600	

資料來源：民95年「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」



資料來源：民95年「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」

圖 3-3-1 前期規劃分年分期計畫工程配置圖

3-3-2 前期治理規劃工程實施情形

本分局前身水保局第三工程所已於民國95年編列預算實施「95年度易淹水地區水患治理計畫-廬山段邊坡監測治山防洪工程」進行坡面排水改善及投87線橫向集水管施設之工作，其概要項目如下：

1. HDPE溝 - 997M。
2. 噴漿溝 - 478M。
3. 混砌塊石溝 - 226M。
4. 集水井、匯流工、消能池等構造物 - 45座。
5. 投87線陡槽式跌水工。
6. 投87線橫向集水管 - 2500M。

相關工程佈置如圖3-3-2~3-3-4所示，目前工程已施工完成，在本年度幾次颱風豪雨期間，坡面排水工程對於降雨逕流排除的情形良好，而投87線之橫向集水管也初步發揮排除坡體地下水之功效。

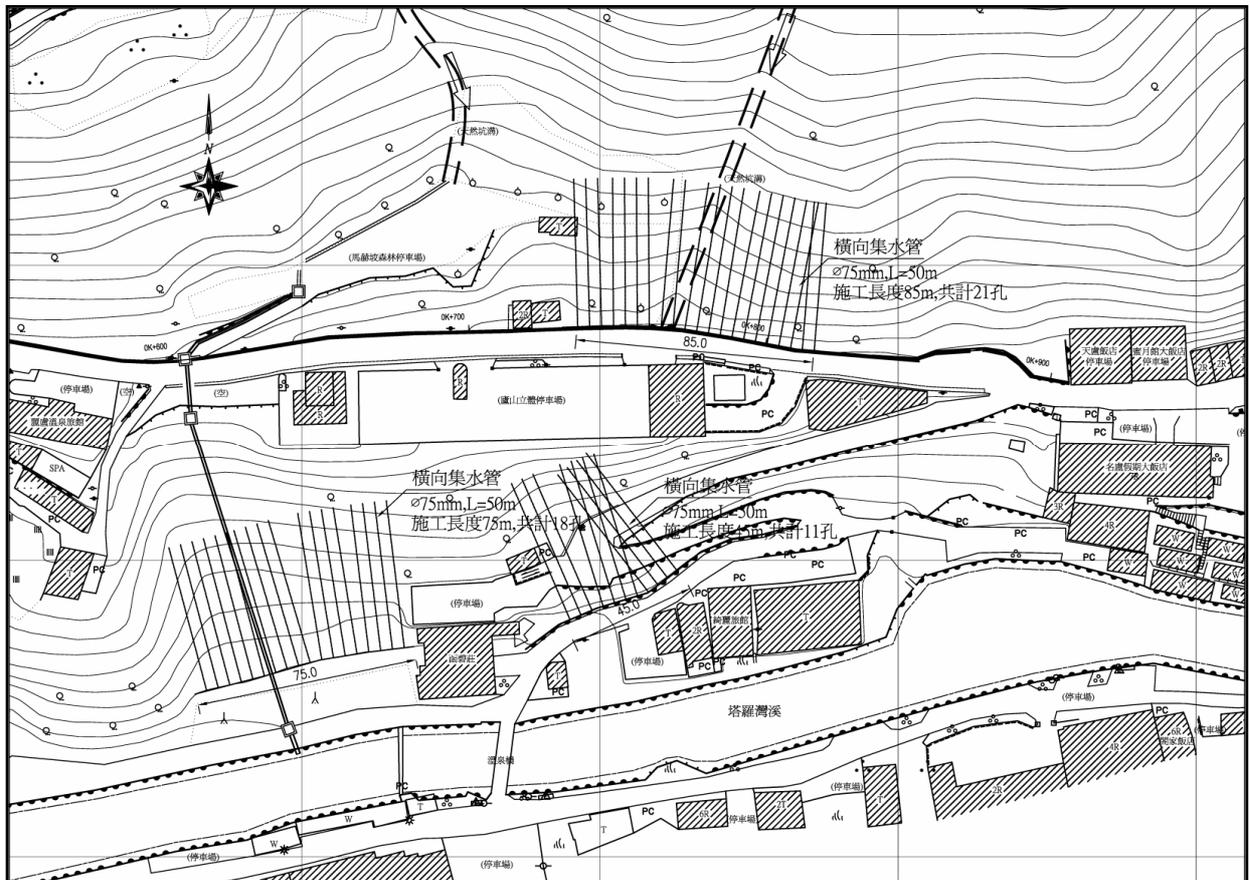


圖 3-3-2 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」橫向集水管位置

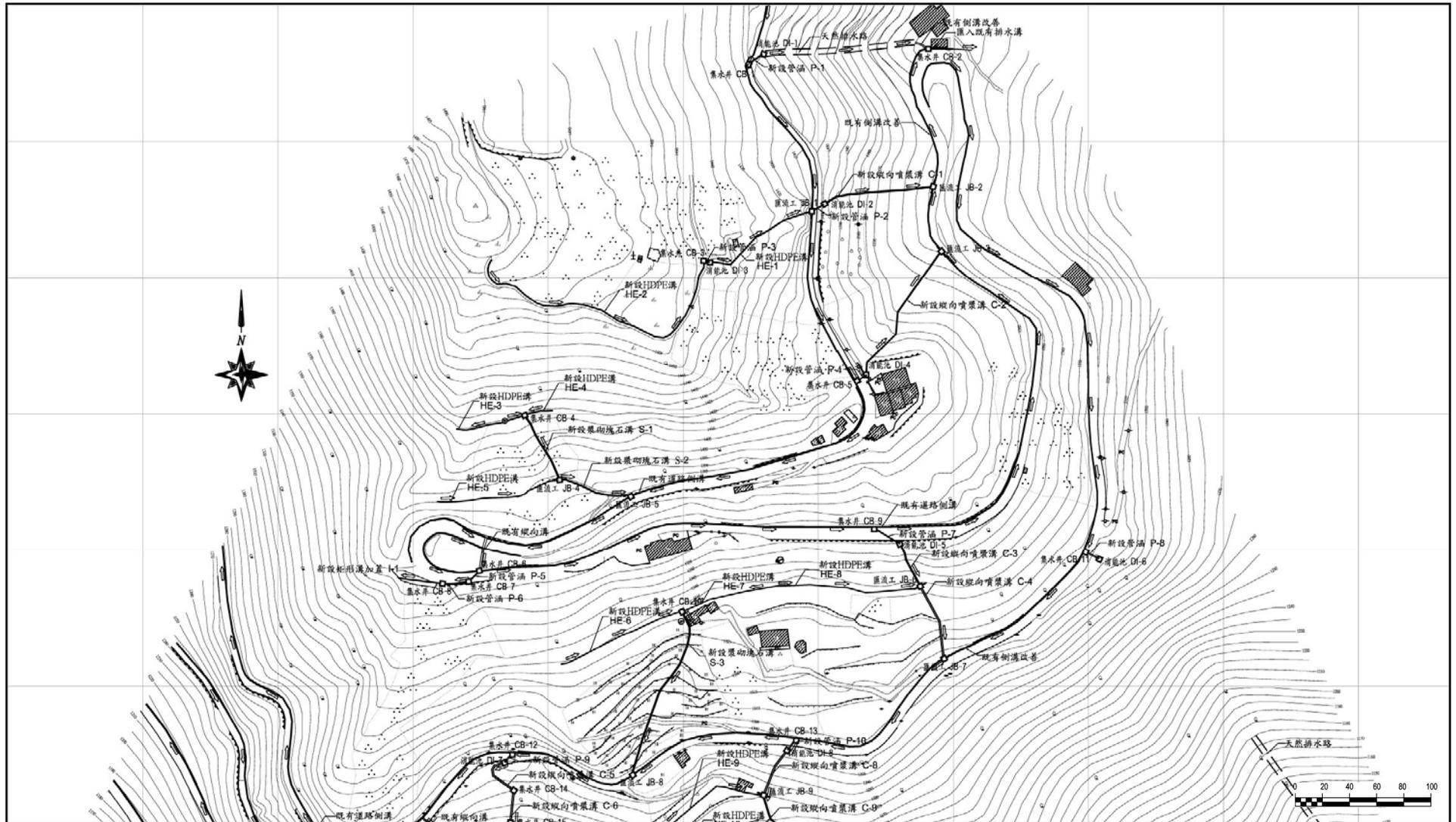


圖 3-3-3 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」坡面排水設施(一)

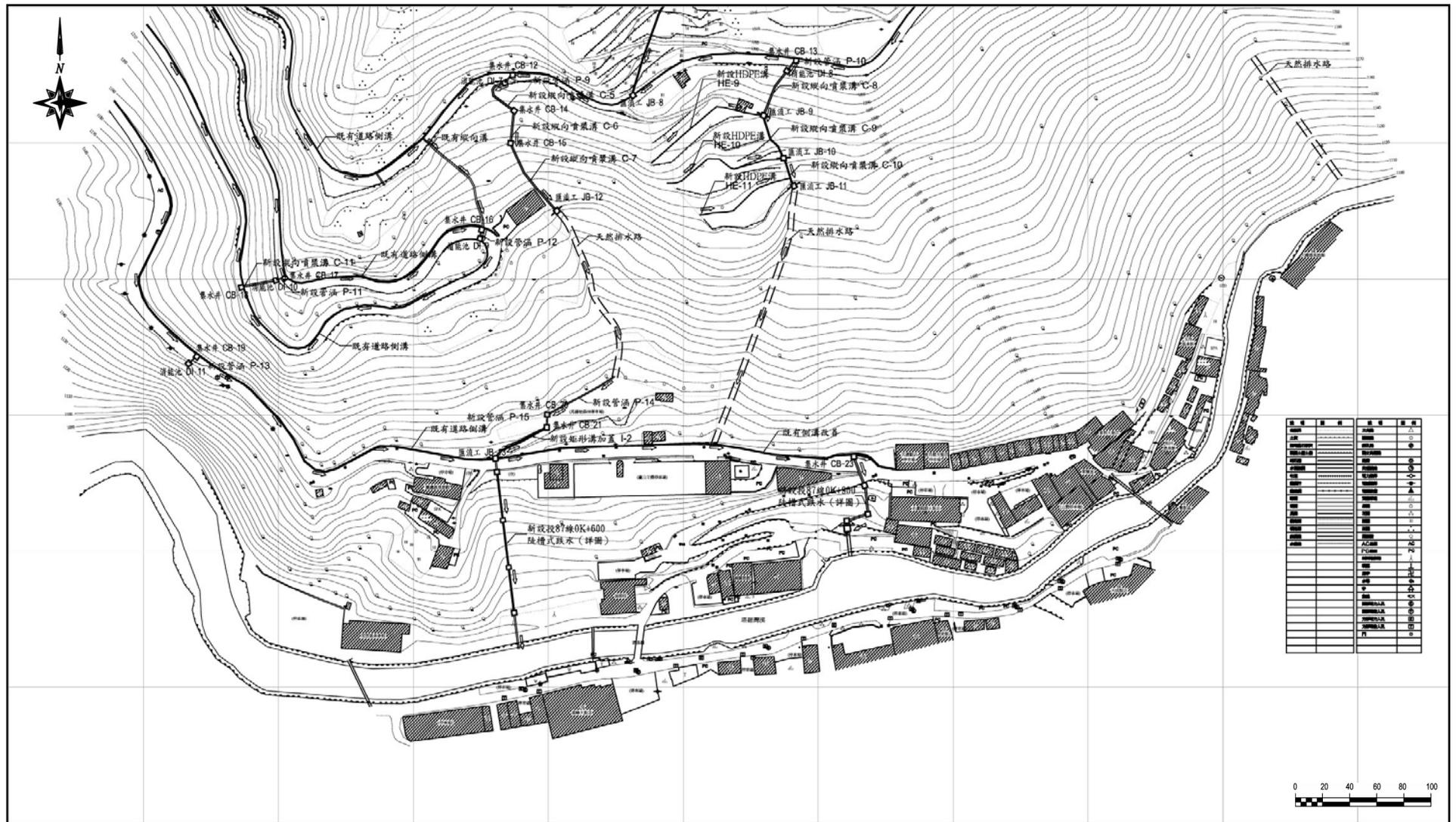


圖 3-3-4 95 年度「廬山段邊坡監測治山防洪工程」坡面排水設施(二)

照片說明：「廬山段邊坡監測治山防洪工程」設施現況



投 87 線噴漿溝及匯流工



90K+700 處噴漿溝及集水井



涵碧莊飯店後方陡槽跌水工



92k+100 處新設消能池



涵碧莊飯店後方橫向集水管



涵碧莊飯店旁道路橫向集水管



投 87 線橫向集水管



投 87 線橫向集水管

3-3-3 其他治理工程概要

交通部公路總局第二區養護工程處鑑於台14線88K-91K路段路基塌陷嚴重，於民國94年4月於計畫邊坡路段選擇五個區間進行總計317孔之橫向透（排）水管打設工程（表2-5-1），以降低道路邊坡之側向水壓，保護路基。

表 3-3-2 公路橫向集水管區間與數量

打設位置區間	孔數	總長 (m)
88K+200-300	25	750
89K+666-906	60	1800
90K+020-268	55	1650
91K+132-508	104	3120
91K+619-931	73	2190
合計	317	9510

第四章 自動化監測系統建置說明

4-1 自動化監測儀器配置

本期計畫自動化監測系統依原有雨量及地下水位監測系統擴充如下：

一、降雨量監測分析

有效的記錄降雨情形，對研究邊坡滑動災害是相當重要的關鍵。爰此，本計畫於坡體中央設置1處獨立雨量站(Rain01)，作為連續記錄計畫邊坡降雨情形之用途。

二、地下水位監測分析

經過去調查後發現，在滑動範圍內的坡體明確可見暢旺的地下水變化現象；因此，本期計畫接續過去調查成果，於計畫坡體地下水變化敏感區域新設6處地下水觀測井(W9601~W9606)，並整併前期堪用地下水觀測井2處(B9403及B9409)，以觀察計畫坡體地下水變化情形。

相關雨量及地下水位監測儀器詳如表4-1-1所示。

表 4-1-1 本期雨量及地下水位監測系統一覽表

儀器別	編號	深度	開始監測日期	備註
水壓計	W9601	50M	96/9/20	本期新設
	W9602	50M	96/9/20	
	W9603	50M	96/9/20	
	W9604	50M	96/9/20	
	W9605	40M	96/9/20	
	W9606	45M	96/9/20	
	B9403	40M	94/7/14	沿用前期孔位
	B9409	45M	94/8/1	
雨量計	Rain01		94/7/14	前期設置

三、TDR地層錯動監測分析

為即時掌握坡體滑動面變位情形，本計畫利用地質探查鑽孔埋設同軸電纜線(TDR)方式進行自動化監測，於主剖面線上佈置4處TDR觀測井(TDR01~TDR04)，以監測坡體滑動面變位情形。

相關TDR監測儀器詳如表4-1-2所示。

表 4-1-2 本期 TDR 監測系統一覽表

儀器別	編號	深度	開始監測日期	備註
TDR 監測	TDR01	50M	96/9/20	本期新設
	TDR02	100M	96/9/20	
	TDR03	100M	96/9/20	
	TDR04	50M	96/9/20	

四、地表傾斜儀監測分析

為反應坡體滑動時，坡頂及坡趾處地表變化情形，於計畫邊坡裝設4處電子式地表傾斜儀(SL01~SL04)，採自計式自動監測並合併於自動化觀測系統中。相關地表傾斜儀詳如表4-1-3所示。

表 4-1-3 本期地表傾斜儀監測系統一覽表

儀器別	編號	開始監測日期	備註
地表 傾斜儀	SL01	96/9/20	本期新設
	SL02	96/9/20	
	SL03	96/9/20	
	SL04	96/9/20	

五、橫向集水管滲流量監測分析

民國95年水保局三工所實施「廬山地滑監測治山防洪工程」，於坡趾處打設橫向集水管，宣解坡體內地下水。為評估橫向集水管績效，本計畫選擇一段截水溝裝設三角量水堰(WS01)量測滲流流量。

相關地表傾斜儀詳如表4-1-4所示。

表 4-1-4 本期三角量水堰監測系統一覽表

儀器別	編號	開始監測日期	備註
三角 量水堰	WS01	96/9/20	本期新設

六、數位攝影機監視錄影

為協助各機關人員於第一時間掌握邊坡況，本計畫於邊坡重點位置裝設3處數位攝影機(CCD01~CCD03)。

相關數位攝影機詳如表4-1-5所示。

表 4-1-5 本期數位攝影機監視系統一覽表

儀器別	編號	開始監測日期	備註
數位攝影機	CCD01	96/9/20	本期新設
	CCD02	96/9/20	
	CCD03	96/9/20	

相關監測項目說明及現地配置情形，詳如表4-1-6及圖4-1-1所示。

表 4-1-6 本期監測儀器統計表

項目	儀器名稱	數量	編號	監測頻率	目的
1	雨量計	1 具	Rain01	a, 平時： 每小時 1 次 b. 豪雨特報後： 連續監測	記錄計畫區域雨量變化情形
2	地下水壓計	8 具	W9601~W9606 B9403、B9409		記錄計畫區域地下水位變化情形
3	TDR 監測孔	4 孔	TDR01~TDR04		監測並推估潛在滑動面位置
4	地表傾斜儀	4 組	SL01~SL04		監測地表滑動變位情形
5	三角量水堰	1 處	WS01		量測橫向集水管滲流量
6	數位攝影機	3 處	CCD01~CCD03	連續錄影	監看邊坡實際情況

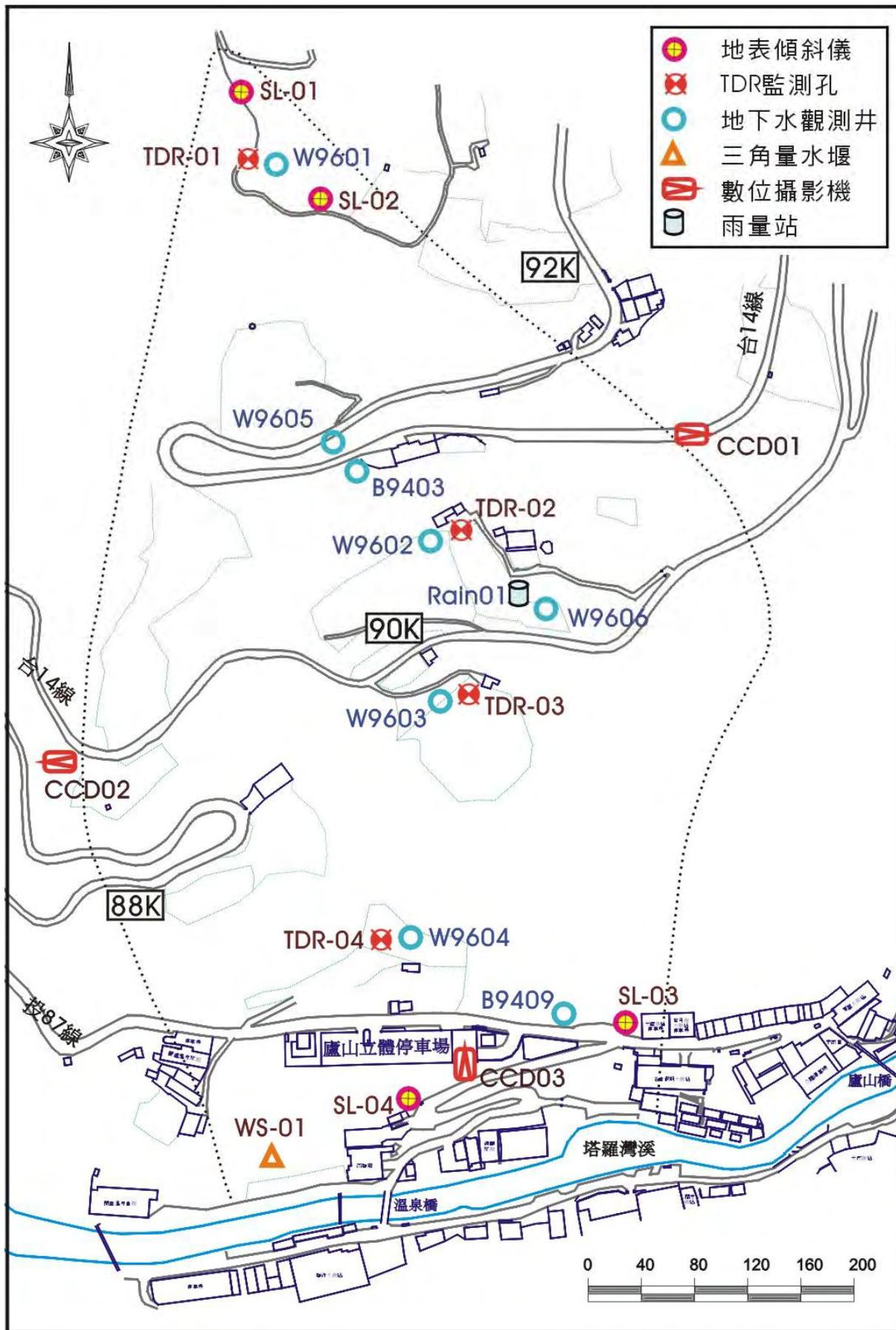


圖 4-1-1 自動化監測儀器配置圖

4-2 監測儀器架構及傳輸方式

4-2-1 監測系統架構

本計畫監測系統係將上節所述各項儀器統合成3處監測站，將各測站附近之感測儀器以訊號線連結至資料擷取器後，再以ADSL方式與網際網路連結。

以下扼要說明各測站情形：

一、監測站01(山頂站)

位置：母安山三角點下方農路旁

座標值：E268562.45,N2658212.60

感測儀器：(1).TDR監測孔-TDR01

(2).地下水壓計-W9601

(3).地表傾斜儀-SL01.SL02

傳輸方式：經由Access Point以Wi-Fi指向型天線對監測站02(蔡家站)無線傳輸監測資料。

資料IP網址：61.218.184.156

二、監測站02(蔡家站)

位置：台14線90K+100附近茶園內

座標值：E268763.65,N2657912.30

感測儀器：(1).TDR監測孔-TDR02.TDR03

(2).地下水壓計-W9602. W9603. W9605. W9606. B9403

(3).數位攝影機-CCD01 . CCD02

傳輸方式：(1).無線傳輸接收監測站01(山頂站)監測資料。

(2).ADSL方式連結網際網路傳送上述兩站監測資料。

資料IP網址：61.218.184.157

攝影機IP網址：61.218.184.154(CCD01)、61.218.184.155(CCD02)

三、監測站03(停車場站)

位置：廬山立體停車場內

座標值：E268716.57,N2657566.12

感測儀器：(1).TDR監測孔-TDR04

(2).地下水壓計-W9604. B9409

(3).地表傾斜儀-SL03.SL04

(4).數位攝影機-CCD03

傳輸方式：以ADSL方式連結網際網路傳送本站監測資料。

資料IP網址：60.249.80.163

攝影機IP網址：60.249.80.165(CCD03)

相關監測測站位置圖詳如圖4-2-1所示。



圖 4-2-1 自動化監測測站配置圖

4-2-2 系統儀器架構

本計畫監測系統儀器架構採用美國Campbell scientific公司製造之資料擷取器(Datalogger)為基礎，對外延伸感測單元及傳輸單元等組件，構成本監測系統儀器架構，以下扼要說明各單元概要內容：

一、感測單元

本系統各感測單元包含：雨量計、地下水壓計、地表傾斜儀、量水堰水位計、TDR時域反射儀等儀器，以下將於4-3節詳細說明。

二、資料擷取記錄單元

資料擷取記錄單元採用Campbell scientific公司製造之資料擷取器(Datalogger)為基本單元，其中監測站02(蔡家站)為前期監測系統擴充，繼續沿用前期購置之型號CR10X資料擷取器，監測站01(山頂站)及監測站03(停車場站)為新增監測站，則採用新型CR1000資料擷取器。除資料擷取器外，為避免傳輸網路斷訊期間，監測資料軼失；本系統另於資料擷取器延伸儲存記憶體，以儲存斷訊期間邊坡監測資料。

三、傳輸單元

監測系統傳輸單元包含RS232介面卡、AP基地台、無線傳輸天線、ADSL數據機等儀器，傳輸方式係以RS232介面卡轉換資料格式進入乙太網路再由ADSL數據機對外傳輸，而監測站01(山頂站)則透過無線AP基地台對監測站02(蔡家站)傳輸，再統一由監測站02(蔡家站)以ADSL專線連結網際網路。

四、電力供應單元

本監測系統採台電市電系統供電，並加裝蓄電池，作為供電中斷期間備用電源供應。

五、資料庫儲存及顯示單元

監測資料經ADSL專線傳輸後，由遠端機房伺服器接收並儲存資料，經由safty100程式系統展示監測資料及發佈警訊，系統伺服器採用IBM公司X3650型2U機架式伺服主機，相關規格詳見表4-2-1所示。

表 4-2-1 自動化監測儀器一覽表

分類	項目	儀器名稱	數量	型號/規格	說明
感測單元	雨量計	傾斗式雨量計	1組	日本，大田 雨量計34-T	
	地下水水位計	振弦式水壓計	8組	美國，Slope Indicator VW Piezometers 52611020	
		振弦介面卡	3組	美國，Campbell scientific AVW1	
	地表傾斜儀	固定式孔內傾斜儀	4組	美國，Slope Indicator EL Sled Sensor	
	三角量水堰	LVDT測位儀	1組	日本，Midori 線性電位計LP-200F-15	
	TDR地滑監測	感測纜線	420m	RG-8/P3-500	
		製波器	3組	美國，Campbell scientific TDR100	
		同軸線多工器	1組	美國，Campbell scientific SDMX50	
	影像監測	數位攝影機	3組	國產品，弘鼎 固定式*2，360度可旋轉*1	
資料擷取記錄單元	資料擷取器	1組	美國，Campbell scientific CR10X		
		2組	美國，Campbell scientific CR1000		
	儲存記憶體	1組	美國，Campbell scientific SM16M Storage Module		
		2組	美國，Campbell scientific CFM100		
	多工器	1組	美國，Campbell scientific AM16/32		
傳輸單元	RS232介面卡	3組	美國，Campbell scientific SC32B		
	Ethernet轉換器	3組	國產品		
	Access Point	2組	國產品 Maxim 無線寬頻路由器		
	戶外指向型天線	2組	國產品		
	ADSL數據機	2組	中華電信提供		
資料儲存顯示單元	伺服主機	1組	IBM X3650 2U機架式 CPU XEON DC5130-2.0G RAM 2*512MB HDD 3.5" 2*73GB SAS HOT-SWAP WINDOWS 2003SERVER R2		

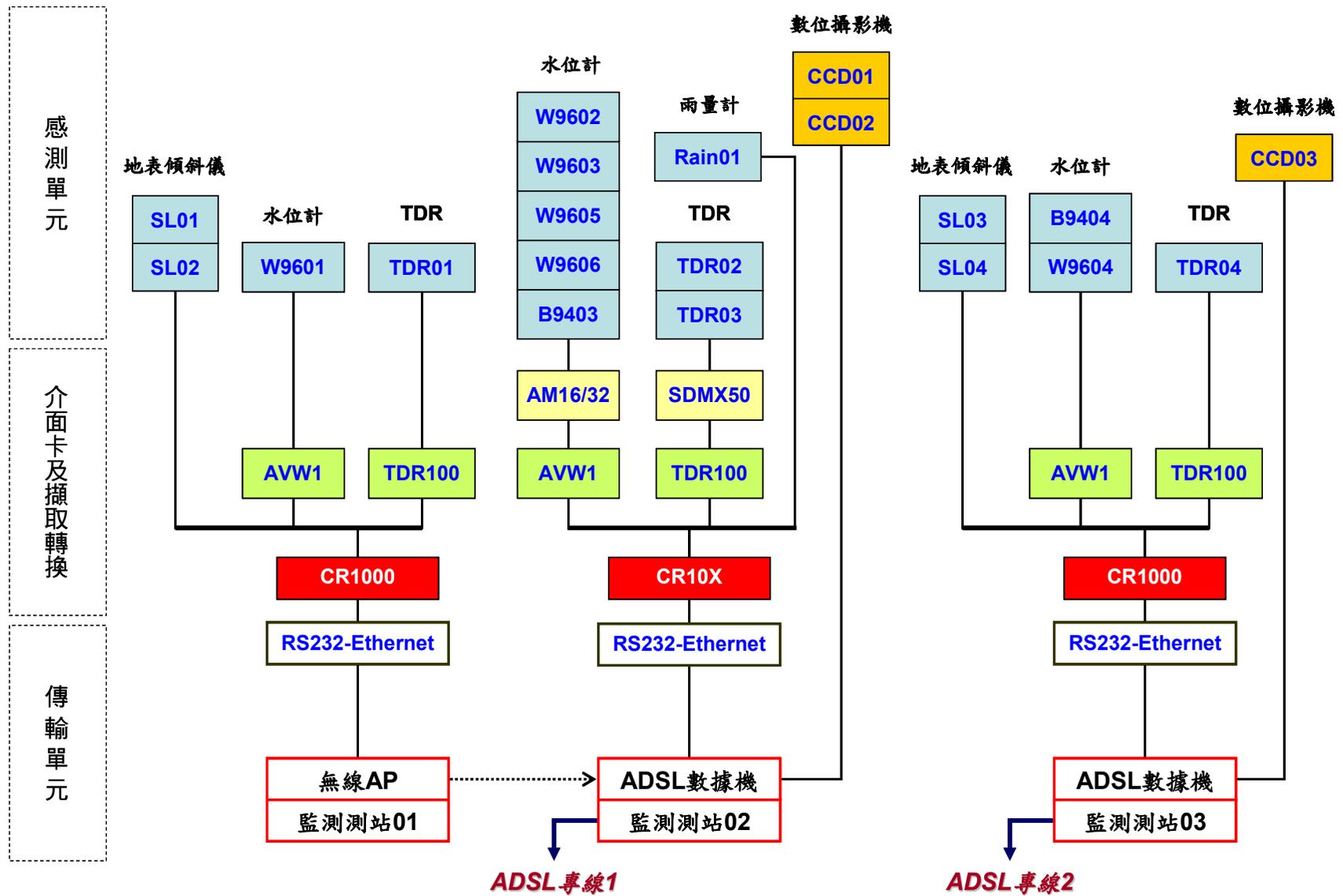


圖 4-2-2 監測系統儀器架構說明

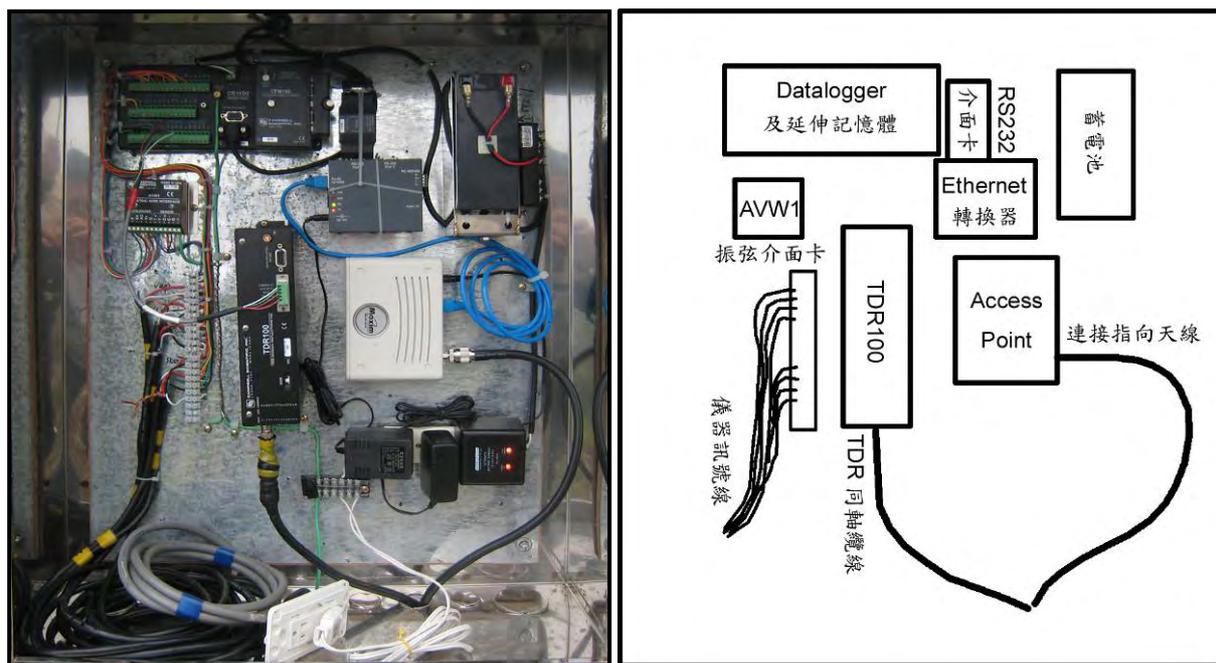


圖 4-2-3 監測站儀器現況說明

4-3 各項感測儀器說明

本計畫監測系統感測單元包含：雨量站、地下水壓計、地表傾斜儀、三角量水堰、TDR時域反射儀等等項目，除TDR監測方法於第五章專章說明外，其餘各監測方式於以下各節說明。

4-3-1 雨量站建置說明

本期雨量站沿用前期設置儀器繼續使用，儀器規格及照片詳見表4-3-1所示。

表 4-3-1 雨量計規格及現況照片

目的	量測並記錄降雨量變化情形	
雨量計規格		
廠牌	大田株式會社	
尺寸	Ø210mm*450mm	
重量	3.9kg	
型號	34-T	
辨識率	0.5mm/1 次傾倒	
頻率	最高可達 0.1~0.2 秒	
準確度	20mm 以下±0.5mm	
	21mm 以上±0.3%	

4-3-2 地下水位觀測井建置說明

一、作業規劃構想：

前期勘用水位井B9403、B9407、B9409、B9410中，僅B9403、B9409可量測到地下水，所以此兩孔繼續沿用，另根據前期調查發現，主要地下水流動發生在滑動體中央區域，所以針對此主要縱斷面佈置6處新設水位井(B9601~B9606)。

二、儀器建置方法

本計畫地下水位井採1.5英吋PVC管為井材，在地下0~8m為無鑿孔

管材，並在周邊以水泥砂漿灌漿，其用意在避免暴雨時地表入滲逕流直接循管材灌入井內，以致獲得不正確地下水位高程，8m以下則以通透鑿孔之管材全程配置至孔底。現場施工情形如圖4-3-1所示，相關水位井配置如圖4-3-2所示。

地下水位觀測採用美國SLOPE INDICATOR公司振弦式水壓計，量測原理係利用水壓使水壓計壓力室發生變位，進而使振弦振動頻率隨之改變，藉此量測水壓之變化情形；監測單位於接收站接收感測計之水壓力讀數後，再將其轉換為水位讀數，儀器規格及照片如表4-3-2所示。

表 4-3-2 地下水壓計規格及現況照片

目的	監測地下水壓變化	
水壓計規格		
廠牌	SLOPE INDICATOR	
尺寸	19*195mm(0.75*7.75")	
重量	0.16kg(0.3lb)	
型號	VW PIEZOMETER 52611020	
準確度	±0.1% FS for 50 and 100 psi	
量測範圍	100(psi)	
溫度係數	< 0.04% FS per °C	



圖 4-3-1 地下水位井現場裝設情形

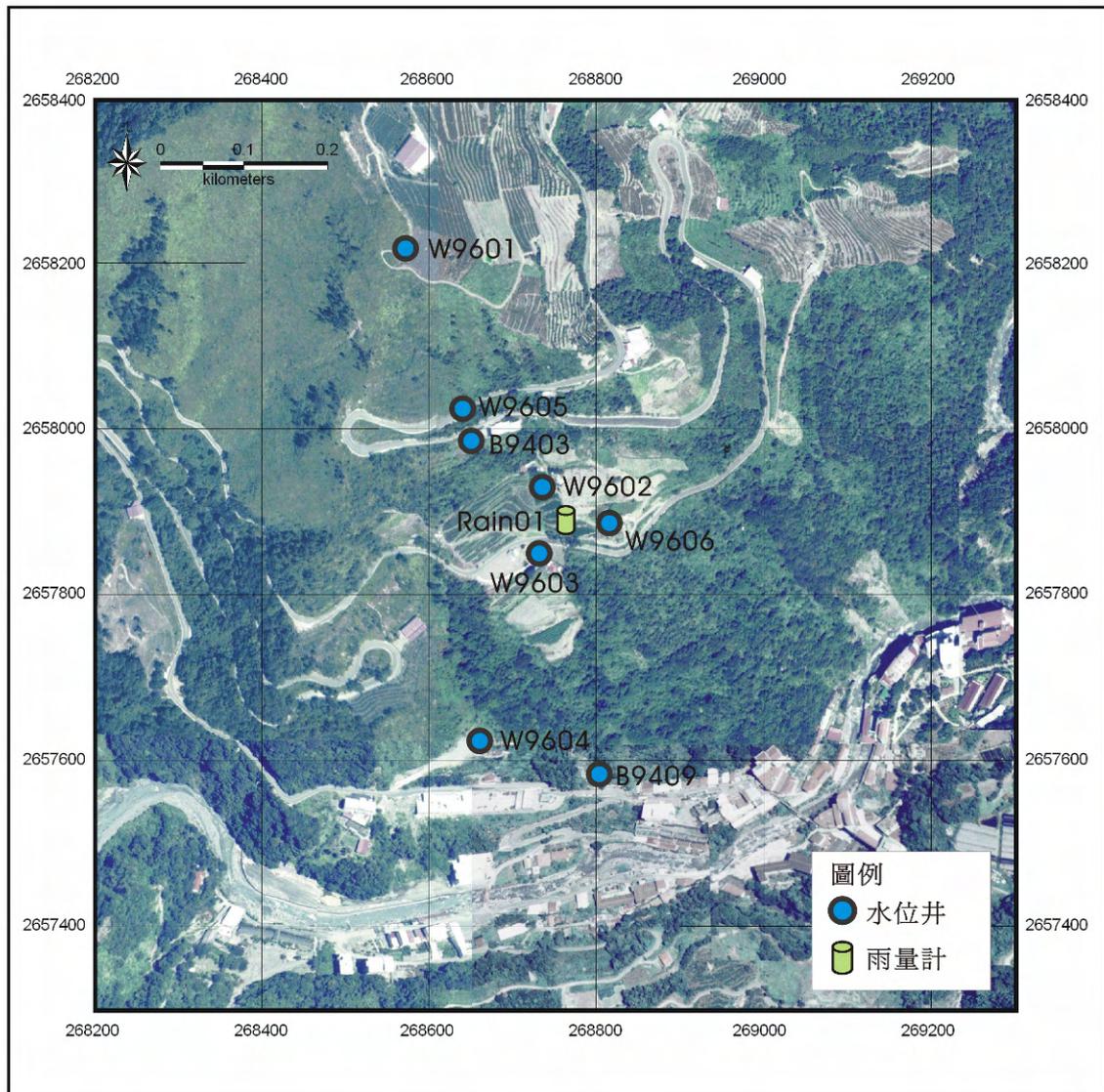


圖 4-3-2 雨量站及地下水位井佈置圖

4-3-3 地表傾斜儀建置說明

一、作業規劃構想：

本計畫共於計畫邊坡裝設4具地表傾斜儀，選擇位置則分別選取可量測到傾斜變化量較大的頭部與趾部各兩處。

二、儀器建置方法

地表傾斜儀的設置係於預定裝設位置鑽掘一6m深度的孔位，並埋設傾度管於孔內，而傾度管孔底則裝設一具電子式傾斜儀，以量測地表6m深度位置的傾角變化量。

電子式傾斜儀採用美國SLOPE INDICATOR公司EL Sled Sensor，本型式傾斜儀為單向式傾斜儀，現地裝設時將傾度管凹槽軌道對準邊坡滑動方向，傾斜儀循凹槽置入傾度管內，當邊坡滑動時，則可連續記讀此一方向之傾斜變位量。

如圖4-3-3所示，本計畫採用之地表傾斜儀係將一組EL Sled Sensor安裝於圓形鋼管上，並將該鋼管及Sensor固定在凹槽軌道方向上，置入傾度管底部；而所量測到的傾斜量即為傾度管底部Sensor儀器長加鋼管長度的傾角變位量 θ 。

相關儀器規格及現況照片如表4-3-3所示，現場配置如圖4-3-4所示。

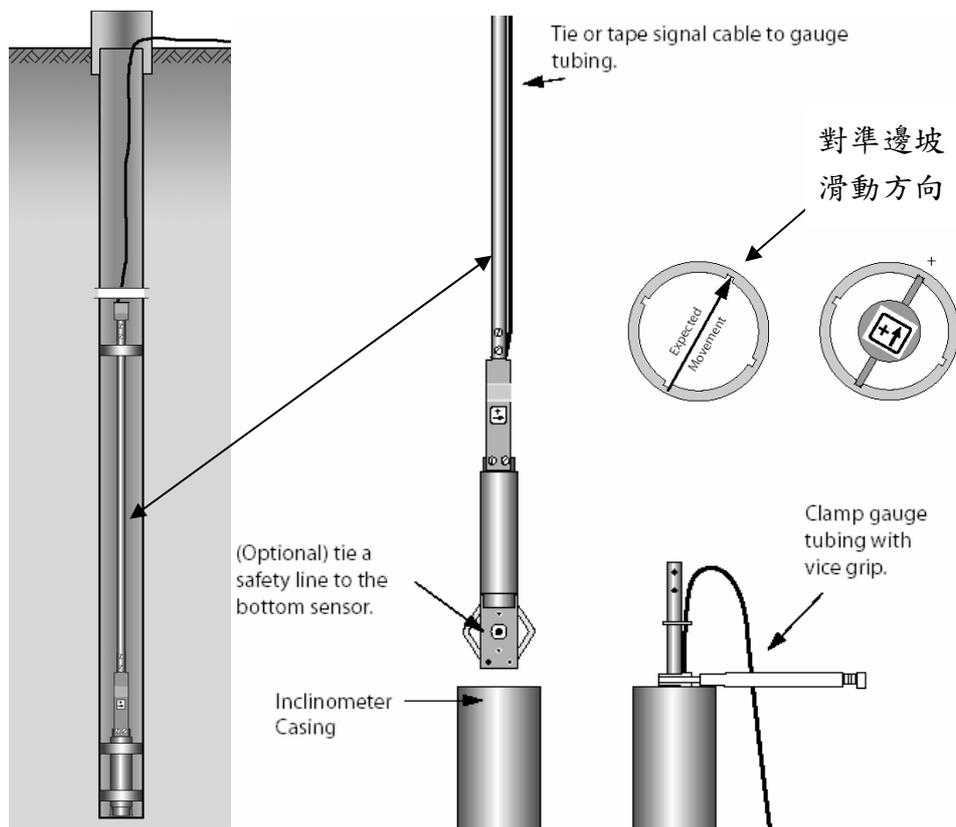


圖 4-3-3 地表傾斜儀裝設說明

表 4-3-3 地表傾斜儀規格及現況照片

目的	監測地表傾斜變位量	
傾斜儀規格		
廠牌	SLOPE INDICATOR	
適用管徑	3.34" 或 2.75"	
量測範圍	±30 度(短期) ±10 度(長期量測建議值)	
型號	EL Sled Sensor	
準確度	±0.35mm/m	
溫度範圍	-15 °C~40 °C	

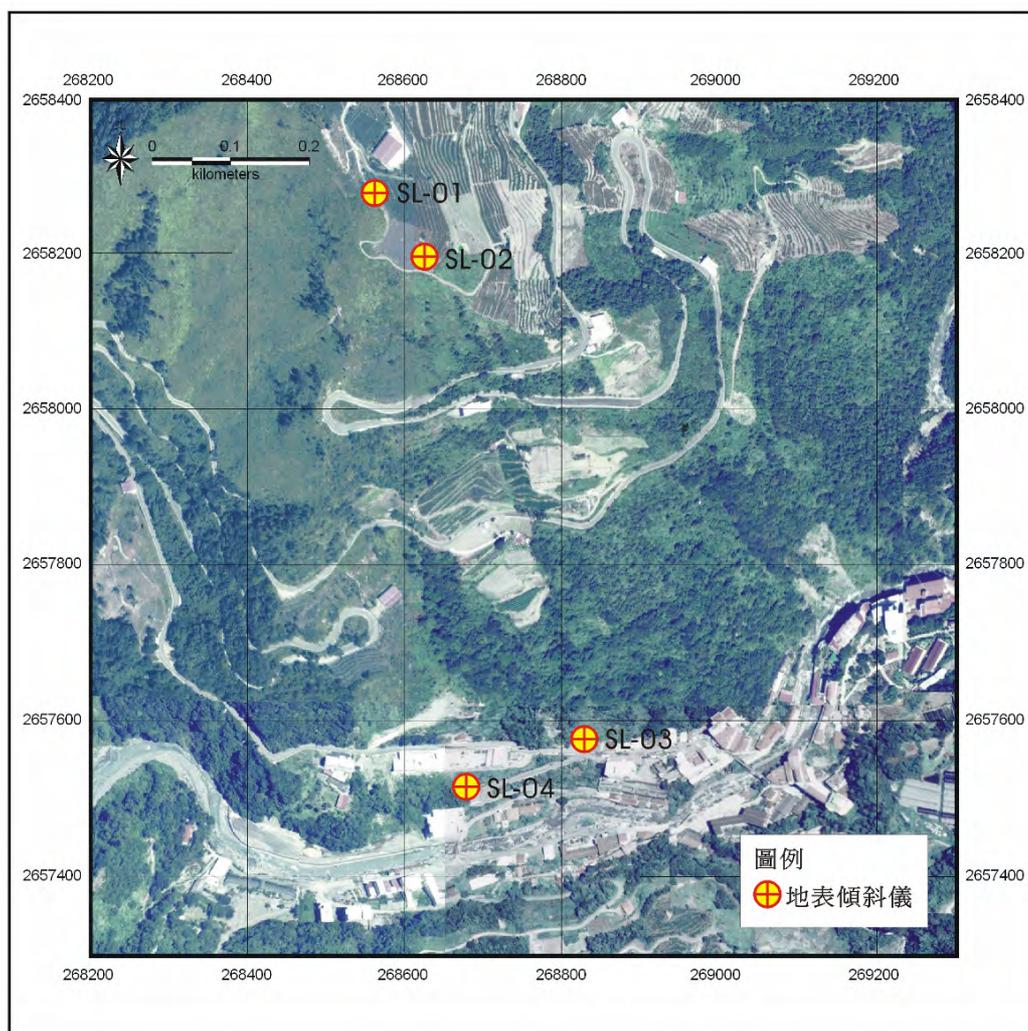


圖 4-3-4 地表傾斜儀佈置圖

4-3-4 三角量水堰建置說明

一、作業規劃構想：

水保局三工所於民國94年「廬山地滑監測治山防洪工程」，於坡趾處打設50支50公尺長橫向集水管，宣解坡體內地下水。

完工後橫向集水管洩出大量地下水，為評估橫向集水管績效，本計畫選擇廬山立體停車場下側邊坡施設之一段坡面作為研究標的，以滲出水截流溝裝設三角量水堰(W501)量測滲流流量，來評估集水管成效。

二、儀器建置方法

量水堰以標準三角量水堰規格訂製，並安裝水位自動化標尺量測水位變化。相關三角量水堰規格及現況照片如表4-3-4及圖4-3-5所示。

流量評估以量水堰標準90度V型缺口之溢流水頭h計算流量，根據沼知、黑川、淵澤公式，計算方式如下：

$$Q = K h^{5/2}$$

$$K = 1.354 + 0.004/h + (0.14 + 0.2/\sqrt{D})(h/B - 0.09)^2$$

式中：

Q:流量(cms) h:溢流水頭(m) K:流量係數

B:量水堰寬度(B=0.6m) D:水路底至銳緣頂高度(D=0.15)

表 4-3-4 三角量水堰規格及現況照片

目的	量測橫向集水管滲流量	
量水堰規格		
量水堰尺寸	60*40*155cm	
水位量測	MIDORI 廠牌 LVDT 變位計	
變位計型號	LP-200F-15	
量測範圍	0~20cm	
變位計重量	約 60g	
溫度範圍	-40°C~100°C	



圖 4-3-5 橫向集水管及三角量水堰現況情形

4-3-5 網路攝影機建置說明

以影像方式呈現是掌握邊坡現況最直接的監測方法，在本計畫邊坡中，滑動體裂隙穿越台14線公路多處交點均留下擋土牆破裂、道路下陷等破壞跡象，且根據歷年災害記錄得知，滑動體裂隙位置相當一致，多次災害均位於同一地方(詳見第三章說明)。因此，本計畫篩選台14線91K+200及台14線89K+700兩處劇烈破壞位置，作為影像監測的標的。

上述兩處影像監測監視攝影機，係採用固定式紅外線攝影機架設於滑動範圍外穩定區域，24小時連續監看地滑地裂隙情形。

相關裝設現況及影像情形如圖4-3-6及圖4-3-8所示。



圖 4-3-6 台 14 線 91K+200 攝影機(CCD01)裝設及影像情形



圖 4-3-7 台 14 線 89K+700 攝影機(CCD02)裝設及影像情形

除邊坡裂隙外，計畫邊坡下方的塔羅灣溪亦為歷次颱風豪雨侵襲下時常發生災害的位置；每逢暴雨，則塔羅灣溪上游挾帶大量洪流造成溫泉橋及兩岸溢流災害。

因此，為協助主辦機關第一時間掌握塔羅灣溪溪流狀況，本計畫於廬山立體停車場頂樓架設一具360度可旋轉攝影機，以即時傳輸最新影像，供機關人員作正確判斷。相關裝設現況及影像情形如圖4-3-8所示。相關攝影機位置彙整如圖4-3-9所示。

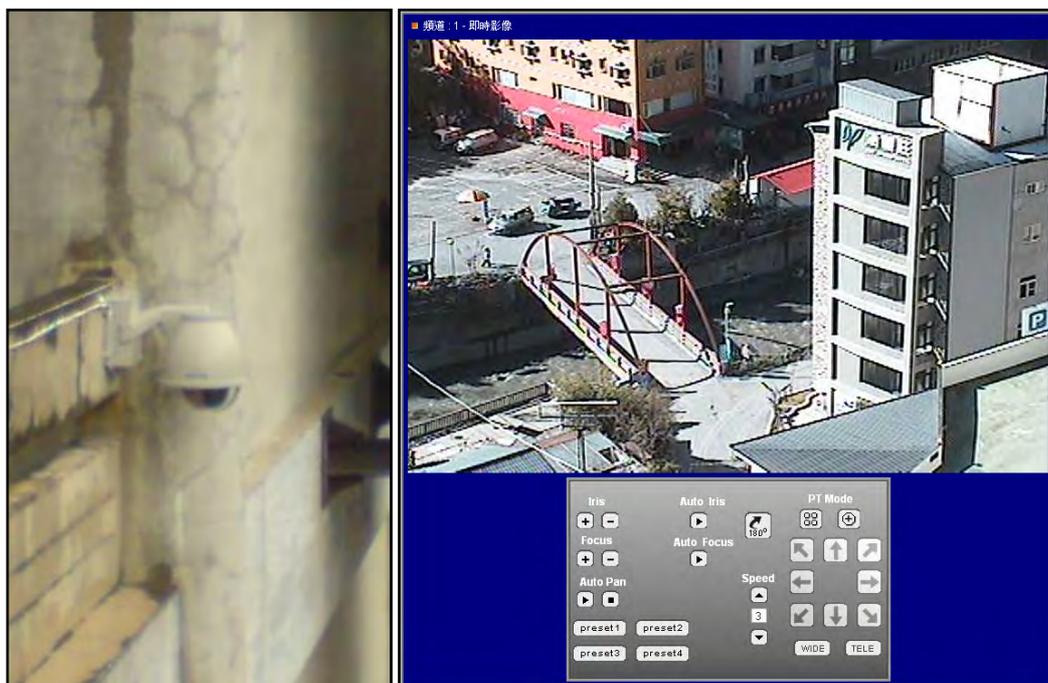


圖 4-3-8 廬山立體停車場攝影機(CCD03)裝設及影像情形

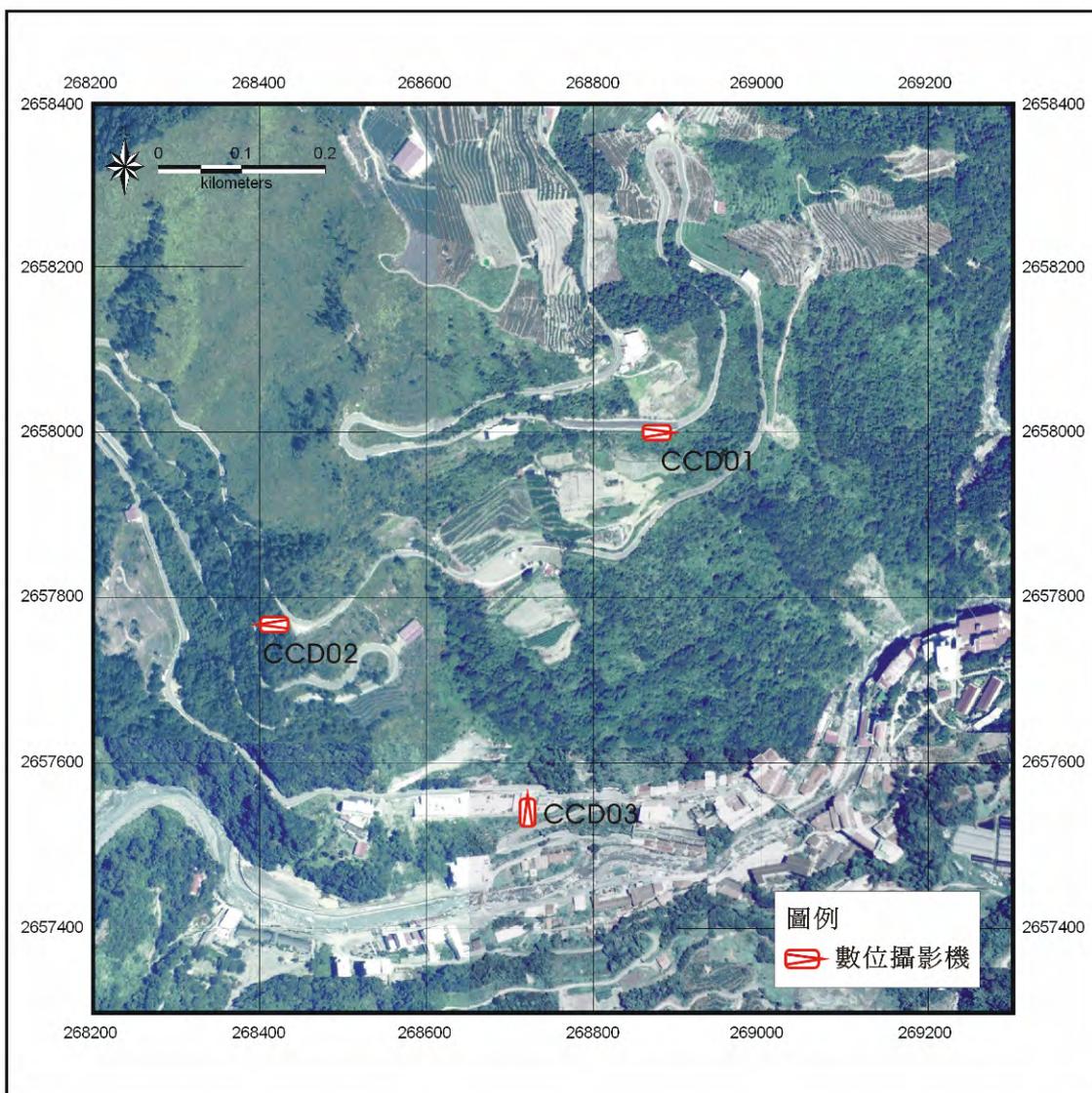
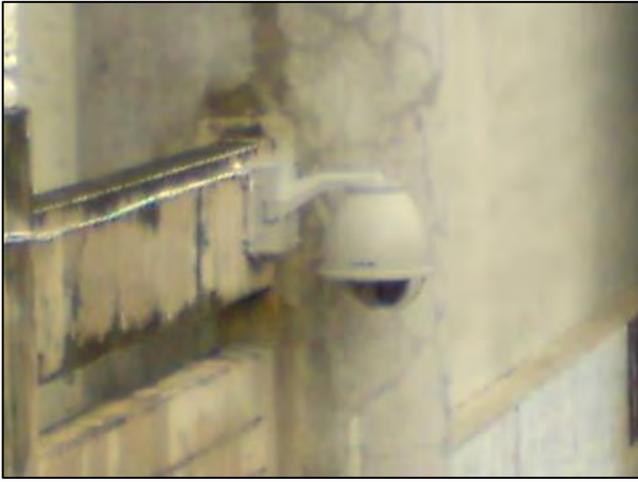


圖 4-3-9 數位攝影機配置圖

表 4-3-5 固定式攝影機規格及現況照片

目的	監看邊坡現況	
攝影機規格		
攝像元素	SONY 1/3" HAD CCD	
總圖素	811(H)*508(V)	
解析度	彩色：480 條 黑白：550 條	
光圈/焦距	F1.5/9~22mm	
其他功能	紅外線自動切換	

表 4-3-6 360 度可旋轉攝影機規格及現況照片

目的	監看溪流現況	
攝影機規格		
攝像元素	SONY 1/3" HAD CCD	
總圖素	811(H)*508(V)	
解析度	彩色：480 條 黑白：550 條	
光圈/焦距	F1.6~F3.7/3.8~95mm	
其他功能	遠端控制	

第五章 TDR 監測作業說明

5-1 TDR 地滑監測原理

時域反射法 (Time Domain Reflectometry, TDR) 是一種以電磁波進行監測及探查的方法，基本原理與雷達(Radar)相似，但TDR之電磁波局限在一維之傳輸線系統中發送與接收。根據TDR量測系統與傳輸纜線的特性可知，TDR製波器發出之脈衝訊號在遇到斷面材質不同(即纜線阻抗不連續)或幾何形狀不同時會產生反射訊號，因此可利用此原理來監測土體變形。首先必須在所要量測變形的土體上鑽孔，放入同軸纜線，然後用水泥漿填塞，使纜線、灌漿材料與土體緊密接合。隨著土體變形將應力傳至灌漿材料再傳給同軸纜線使之發生斷面破壞，當土體變形增加，TDR反射之波形亦會隨之增加 (Su 1987; Lin et al. 2006)。

當同軸纜線安裝完成後，利用TDR發射一電壓脈衝送至纜線下方，至纜線底部反射回來，而其間所遭遇受剪、受張等情況使同軸線產生缺陷(幾何形狀之改變)，便輸出於示波器上。如圖5-1-1所示，由TDR產生電磁波經同軸纜線至變形感測纜線時，即於接頭位置產生一起點反射；電磁波繼續前進當遇到凹痕時，又產生一反射訊號，而於TDR之波形上顯現一向下凹之反射波形；當電磁波至纜線之末端時，即產生一終點反射，於TDR之波形上顯示上揚之反射波形。因電纜的波傳速度已知，由因纜線凹痕引起的反射訊號之時間，可以得知滑動深度，反射訊號之大小會隨著錯動變形量增加而增加。

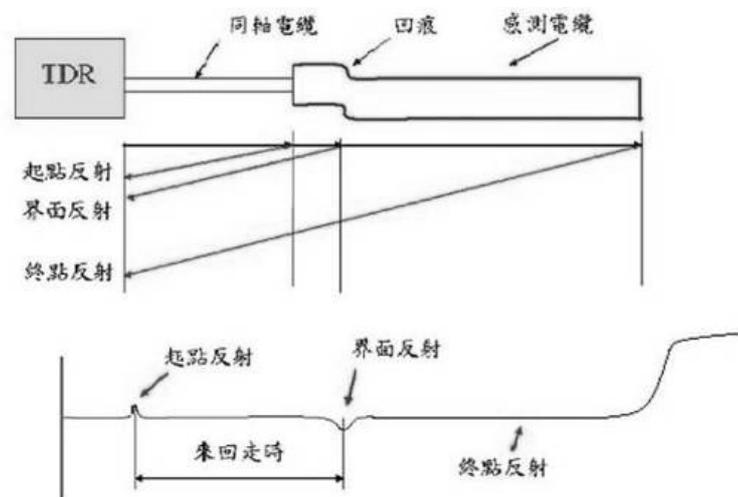


圖 5-1-1 TDR 變形監測之反射訊號與原理(盧吉勇, 2003)

5-2 TDR 監測系統

TDR 錯動變形監測包含發射電磁波的脈衝製波器 TDR100、感測纜線 (coaxis cable)、資料擷取器 (datalogger) 等三大部份，另可搭配天線、ADSL 網路或 GPRS 等模組進行遠端資料傳輸。

5-2-1 監測儀器設備

本計畫所使用之電磁脈衝製波器為美國 Campbell scientific 公司所生產之 TDR 100，基本規格如表 5-2-1 所述。TDR100 為一適用於現地且穩定性佳之製波器；此外，可搭配資料擷取器 (datalogger) 與 CFM100 模組 (資料存取器) 進行資料擷取與儲存以達遠端自動化功能，提供即時之監測資料。現地遠端自動化模組示意如圖 5-2-1。

表 5-2-1 TDR100 基本規格(Campbell scientific INC.)

規格	說明
脈衝產生器輸出(pulse generator output)	250 mV into 50 ohms
輸出阻抗(output impedance)	50 ohms \pm 1%
脈衝長度(pulse length)	14 microseconds
時間解析度(timing resolution)	12.2 picoseconds
取樣點數(waveform sampling)	20~2048
量測範圍(range)	-2~2100m 0~7 microseconds
解析度(resolution)	1.8 millimeter 6.1 picosecondss
波形平均次數(waveform averaging)	1~128
電源供應器(power supply)	12 volt
溫度範圍(temperature range)	-40°C ~55°C
尺寸(dimensions)	210mm×110mm×55mm
重量(weight)	700g

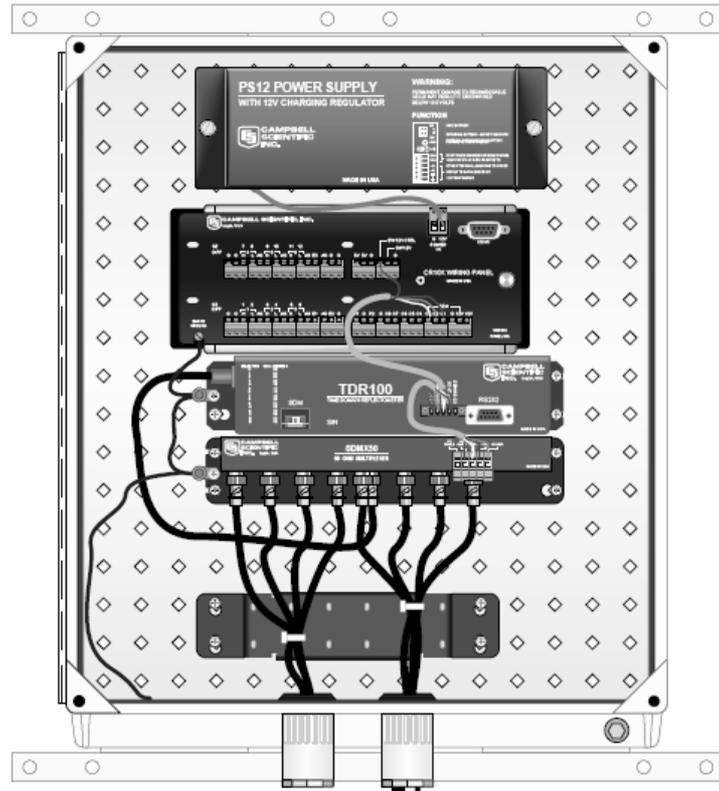


圖 5-2- 1 TDR 自動化模組(Campbell scientific INC.)

5-2-2 監測頻率與方法

TDR錯動變形監測於未完成自動化初期是以人工進行量測，分別於安裝完成時建立初始值，並進行多次量測，確保資料之完成性(人工量測之監測頻率視現地狀況進行調整)。待自動化監測系統建置完成後，監測頻率為每天一次，監測資料由資料擷取器進行儲存，並可透過ADSL網路傳輸進行下載。

為維持監測資料品質與考量資料儲存空間，本計畫設定TDR錯動變形量測解析度約為0.05 m，亦即垂直解析度為5 cm。對於邊坡監測而言，垂直解析能力應充分足夠。

5-3 TDR監測系統佈置及作業程序

一、作業規劃構想：

根據前期調查結果，發現計畫邊坡係單一滑動體，因此本期滑動面監測系統佈置時，則針對此一滑動體的主要縱斷面佈設4處TDR監測孔，其中位於頭部的TDR01及趾部的TDR04滑動深度較淺，規劃孔位深度為50公尺，而滑動體中央的孔位TDR02及TDR03滑動深度較深，規劃孔位深度為100公尺。

在位置選擇上，因前期傾度管孔位多半設在道路週邊，當道路修復時，常使傾度管遭到不當干擾。因此本期孔位位置的佈置，則選擇在前期觀測到變位的傾度管附近邊坡坡面，繼續追蹤前期所監測到滑動面變化情形。

二、現地安裝作業程序：

本計畫TDR錯動變形監測孔預計裝設四孔，孔位平面配置圖如圖5-3-1。為提早感測地層錯動變形，本計畫原則採用軟性的RG-8纜線，但TDR 03因深度深且資料擷取器較遠，因此採用信號衰減率較低的硬式P3-500纜線。各孔孔深與安裝日期如

表5-3-1。茲將TDR現地安裝作業程序(以TDR04測站為例)，如下照片說明，並簡述安裝過程如下：

- 1.以適當孔徑鑽探至預定深度，隨即安裝同軸纜線作為TDR錯動變形感測器。
- 2.待纜線放置達預定深度後，以水灰比(重量比)約 $W/C=1:1.5$ 之水泥純漿進行灌漿封填，待初凝之後再行二次灌漿，確保感測纜線外之水泥封填至孔口面。
- 3.待水泥漿體凝固後，進行TDR訊號初始值量測。

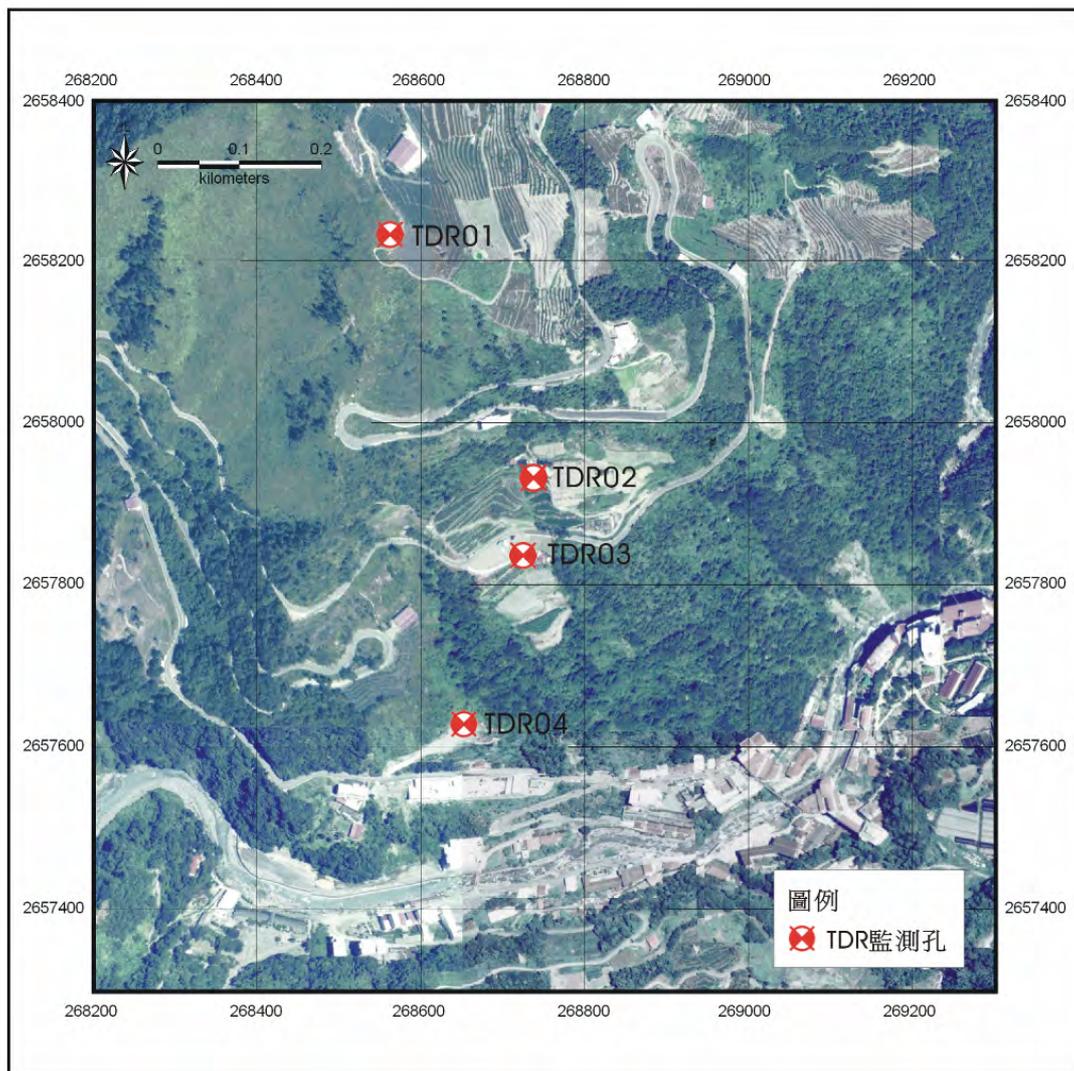


圖 5-3-1 TDR 監測孔佈置圖



纜線安裝前



纜線置入孔內



將纜線固定



灌漿(W/C=1:1.5)



灌漿完成，等待二次灌漿



初始值量測

表 5-3-1 TDR 孔位基本資料

孔位編號	深度(m)	感測器種類	安裝日期	備註
TDR 01	50	RG-8	2007/08/24	
TDR 02	100	RG-8	2007/08/17	
TDR 03	100	P3-500	2007/08/07	
TDR 04	70	RG-8	2007/07/30	

5-4 TDR 監測成果

TDR 錯動變形監測於未完成自動化初期是以人工進行量測，期間 TDR02、TDR03 及 TDR04 測站經歷過聖帕颱風(2007/08/17)，其量測結果如圖 5-4-1 至圖 5-4-3 所示。以圖 5-4-1 為例，圖中水平線為 TDR 錯動變形感測纜線之反射波形，末端(地表下 100 公尺處)產生一反射係數(reflection coefficient, ρ)趨近於 1 之正反射為感測纜線之終端反射，訊號正常，聖帕颱風前後並無明顯滑動訊號。

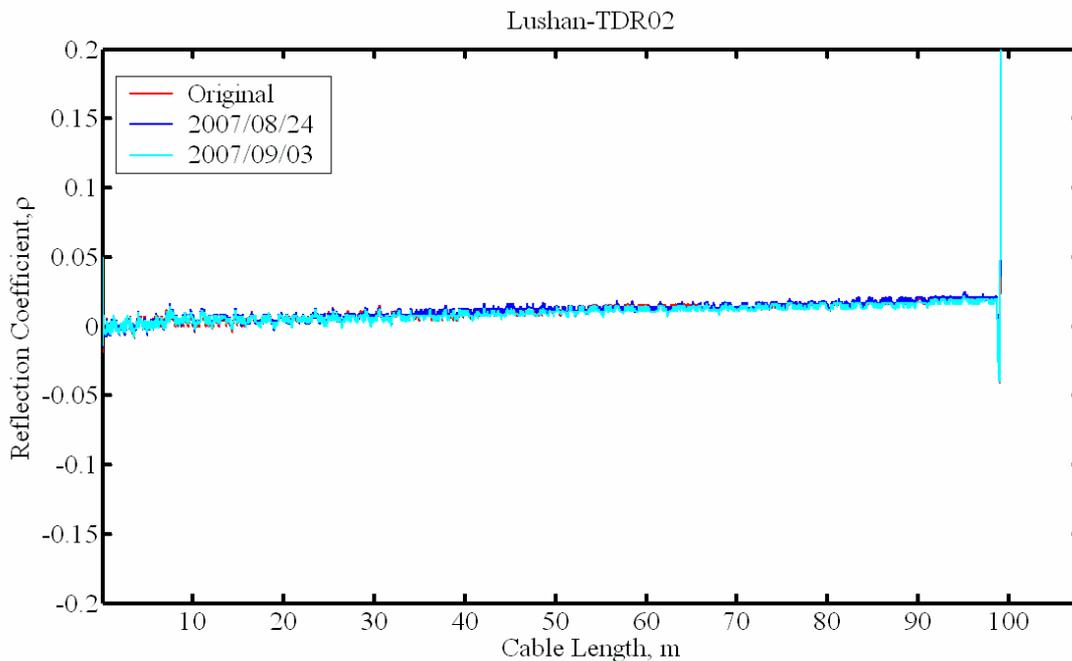


圖 5-4-1 聖帕颱風前後 TDR 02 測站量測波形

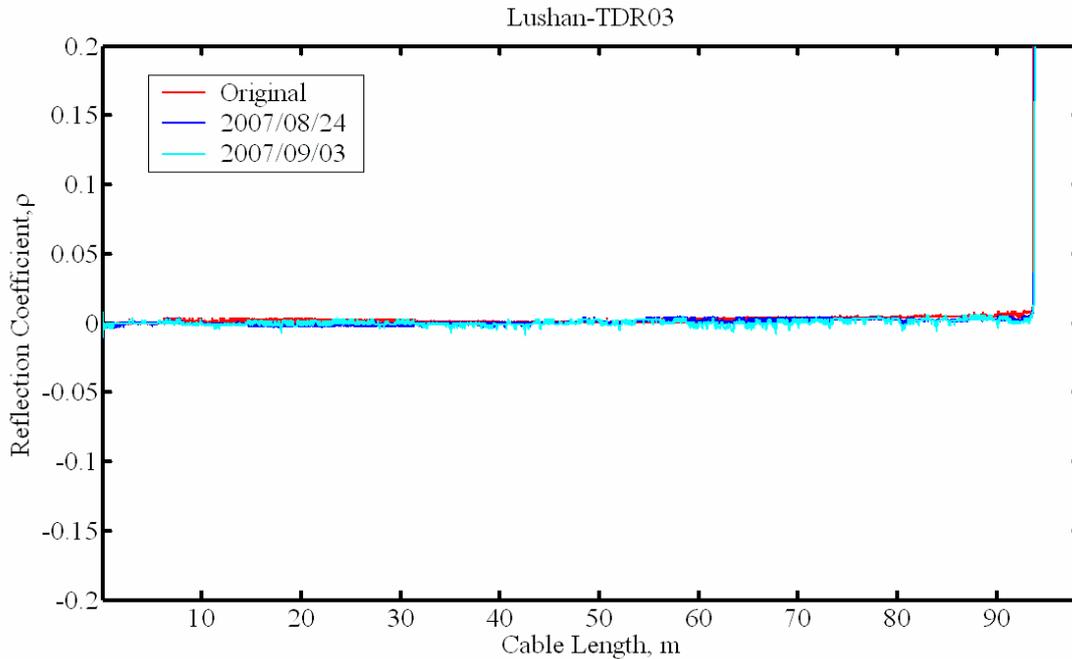


圖 5-4-2 聖帕颱風前後 TDR 03 測站量測波形

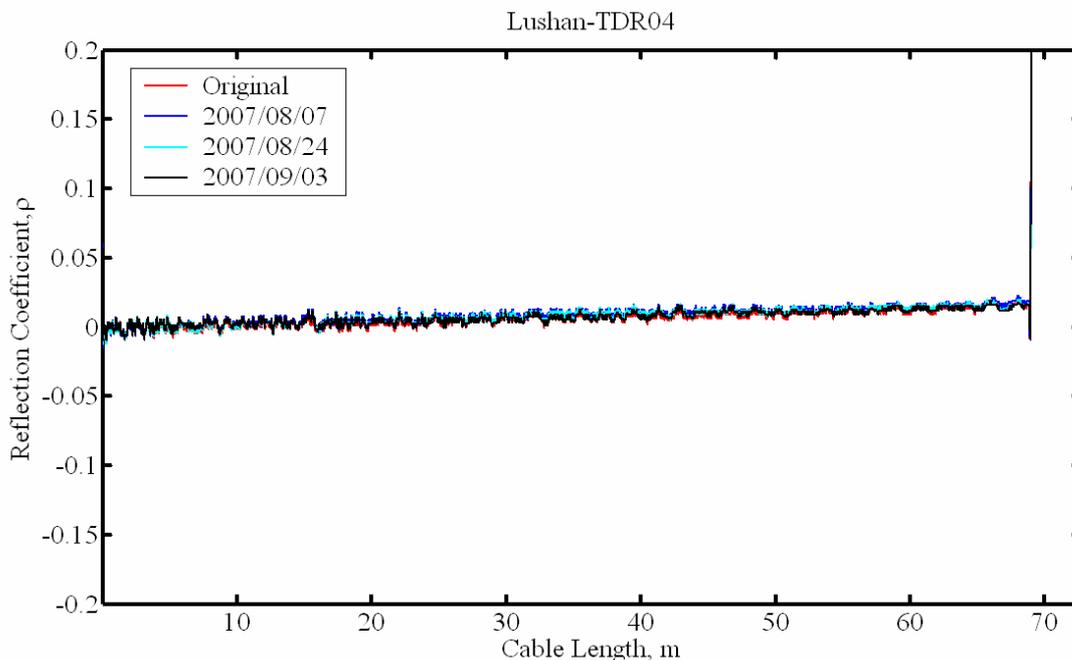


圖 5-4-3 聖帕颱風前後 TDR 04 測站量測波形

待自動化完成後，於2007年9月下旬進行自動化量測，至2007年10月份為止，期間又經歷柯羅莎颱風(2007年10月07日)來襲，量測結果如圖5-4-4至圖5-4-7所示。由量測結果顯示，位於坡頂的TDR01及坡趾的TDR04並未發現明顯的剪動跡象，但在地質較敏感的TDR02及TDR03則反應出地層剪動的反射波形，剪動深度分別為地下-55.5m及地下-88.5m。

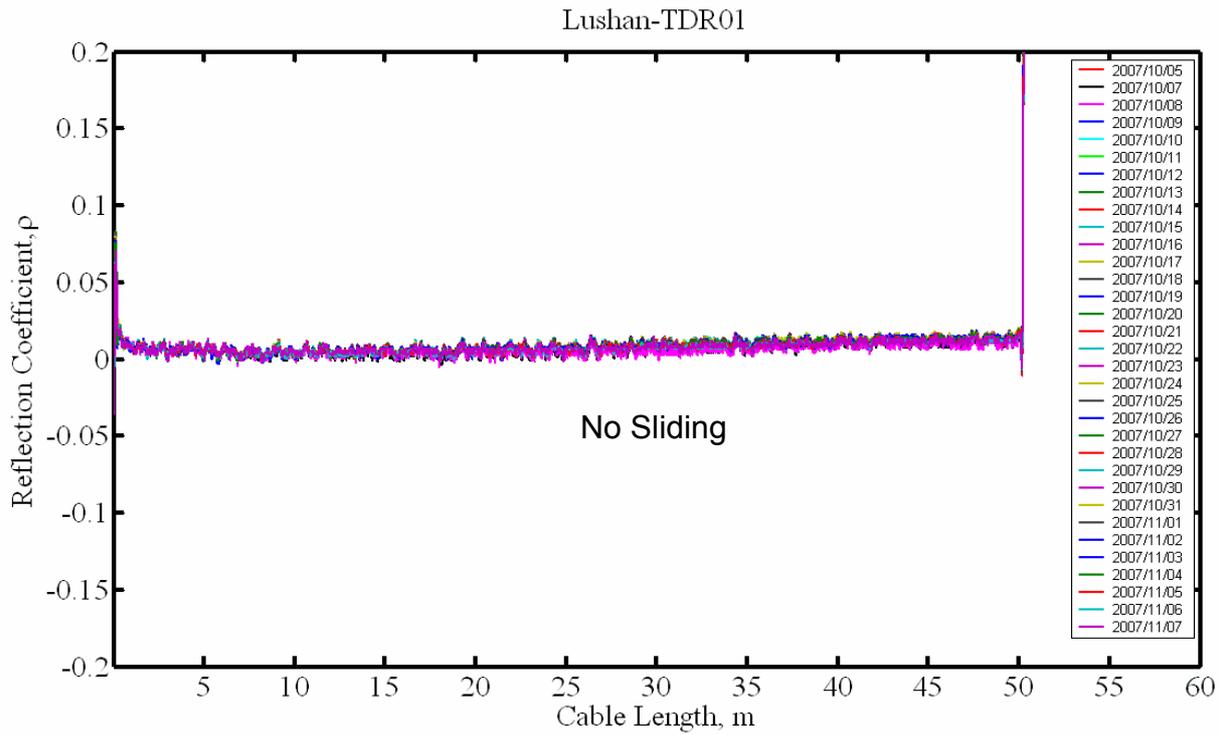


圖 5-4-4 柯蘿莎颱風前後 TDR 01 測站量測波形

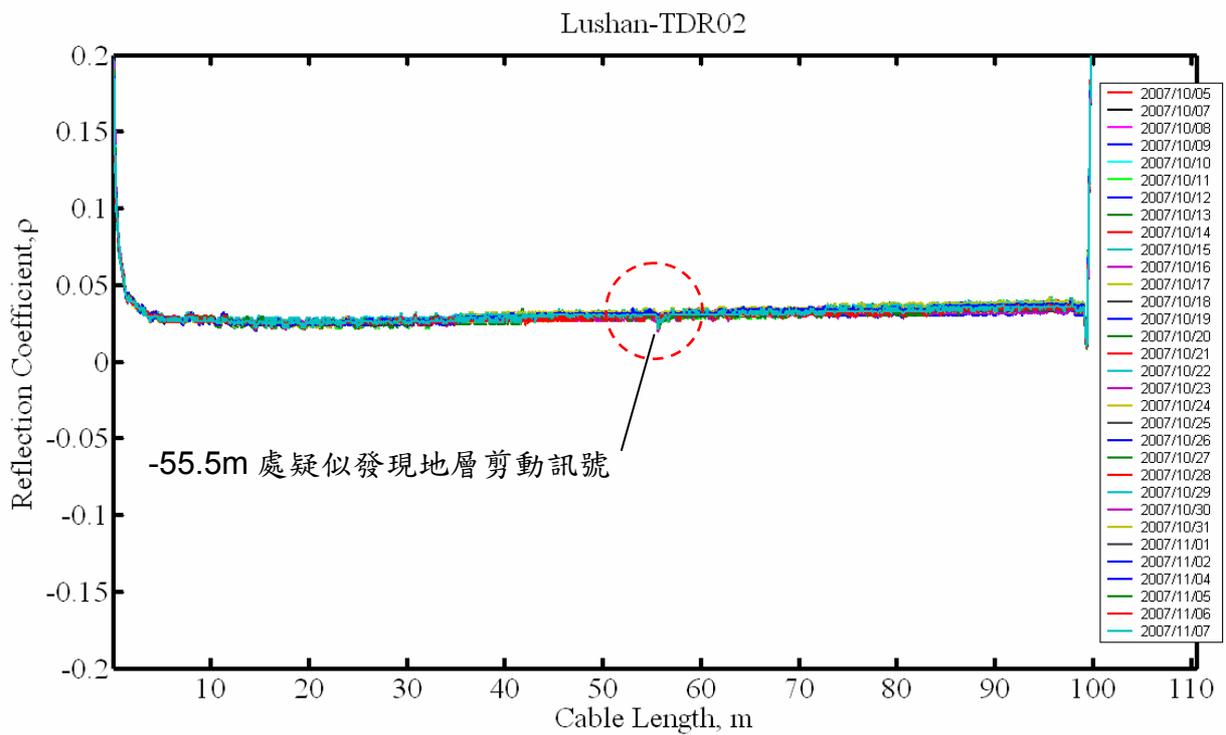


圖 5-4-5 柯蘿莎颱風前後 TDR 02 測站量測波形

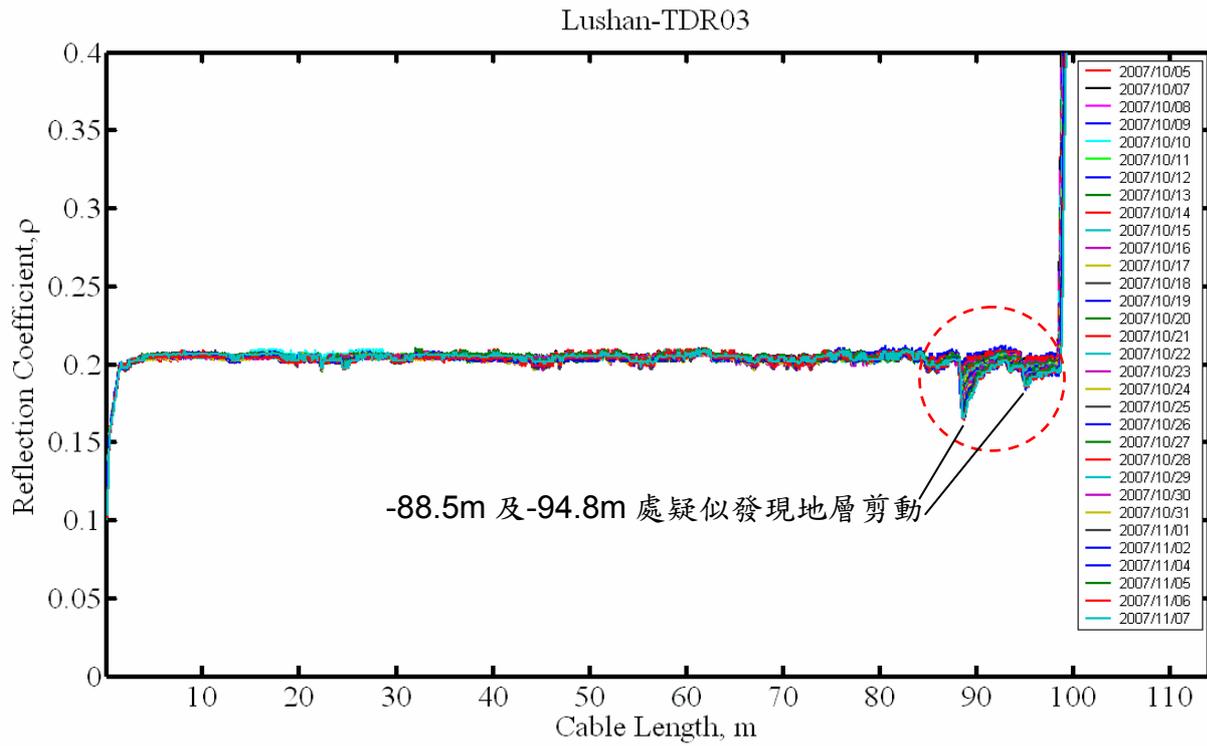


圖 5-4-6 柯蘿莎颱風前後 TDR 03 測站量測波形

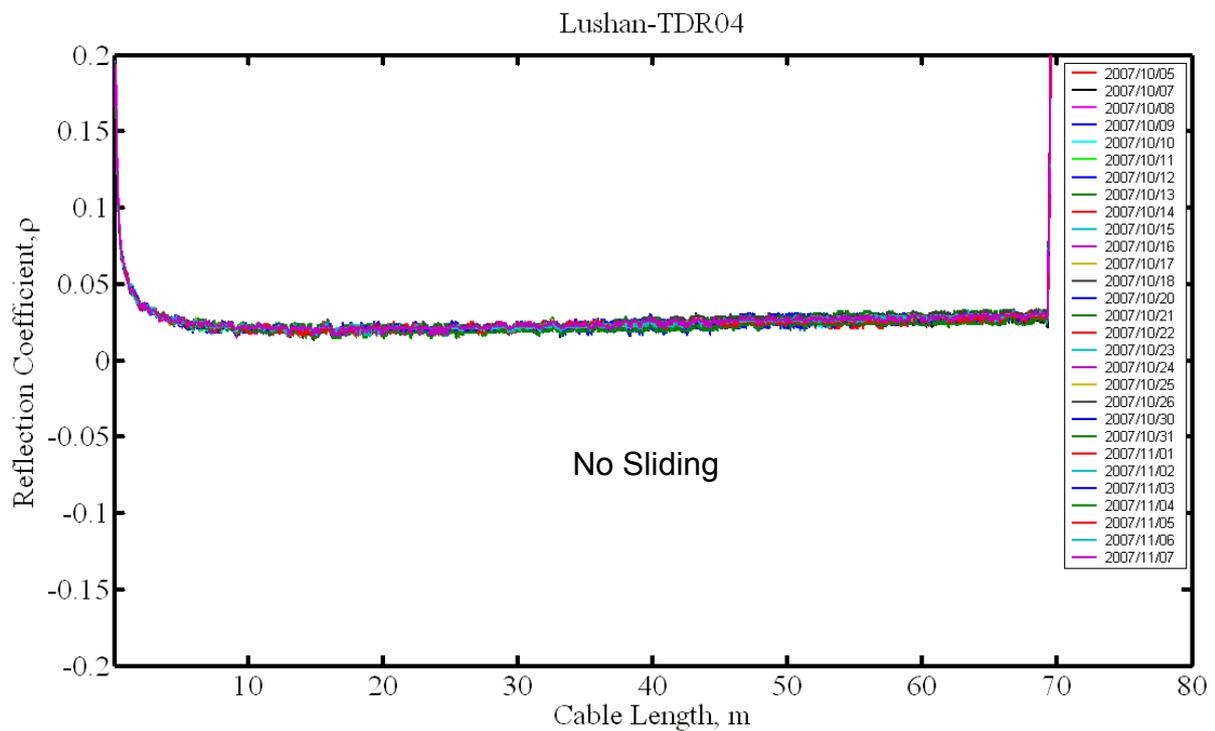


圖 5-4-7 柯蘿莎颱風前後 TDR 04 測站量測波形

第六章 即時監測網頁及通報系統

本計畫工作於廬山地滑區補充裝設雨量站、電子式水壓計、地表傾斜計、TDR地層變位監測、量水堰監測等自動化監測儀器，並藉由傳輸系統即時回傳最新之監測成果，為進一步建置完整之預警防災監測系統，整合地滑區降雨量、地下水位、地層變位、傾斜等監測資訊，本計畫建置『廬山地滑區監測成果網站』，將所有監測成果以圖形化方式顯示於網頁上，方便管理者及有關單位能隨時隨地透過網路瞭解地滑區最新狀況。此外，並配合本工作訂定之危險管理基準，在監測成果達警戒標準時，立刻通報各相關管理單位，提供在防災決策上之重要參考。

6-1 後端監測系統伺服器

裝設於廬山地滑區現場之監測儀器，其監測資料經由資料擷取器讀取及記錄後，以網路(TCP/IP)方式傳送至建置於貴所之『監測系統伺服器』。

『監測系統伺服器』為整個監測系統後端之控制中樞，硬體部分，綜合根據各程式工作內容及運用屬性之需求，本計畫購置一部機架式2U伺服器，廠牌型號為IBM 3650-7979-41V。軟體部分，運作程式除必要之作業系統外（Windows Server 2003），監測程式包括三大部分。

- 一、監測成果整合程式：負責資料匯入、繪圖、警戒狀態研判、警告發佈等工作。
- 二、廬山地滑區監測成果網站：圖形介面展示即時監測成果。
- 三、資料庫：儲存各儀器監測資料及各項系統設定。

6-2 監測成果整合程式

6-2-1 架構

本計畫於廬山地滑區現場建置三處觀測站，由於各觀測站回傳之資料均為純文字之監測數據，除不易直接監看外，更缺乏與歷史觀測資料整合，無法顯示歷時之變化趨勢，因此本計畫工作建置『監測成果整合程式』，其主要目的為將已回傳之各監測站之觀測成果，繪製成監測成

果圖，並根據警戒管理基準，研判及發佈警告訊息。

監測成果整合程式係以Microsoft Visual Basic .net程式撰寫，以開發符合Windows作業系統使用介面及資料庫支援之程式，詳細之程式架構如圖6-2-1所示。

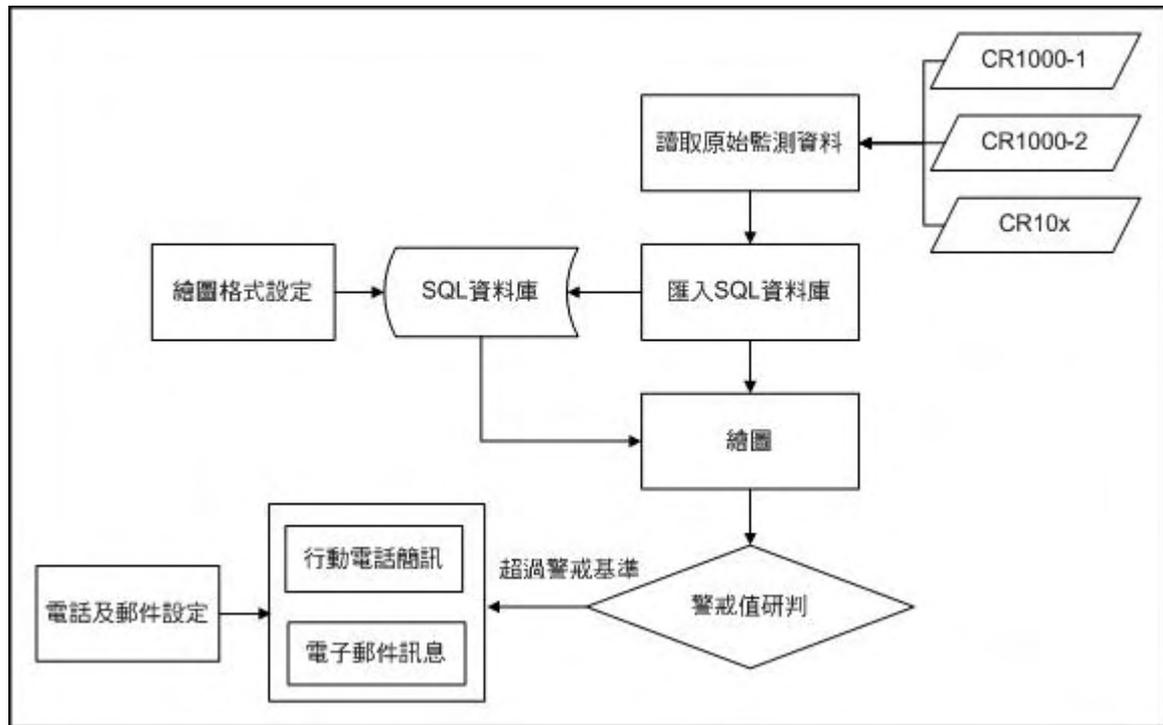


圖 6-2-1 監測成果整合程式架構圖

6-2-2 操作介面說明

監測成果整合程式之操作畫面如圖6-2-2所示，主要可分為三大部分：

- 一、**監測儀器選擇表單**：詳列各項現場監測站名稱、儀器之型式、編號等基本資料。
- 二、**條件設定表單**：設定監測站之資料擷取頻率、繪圖格式、管理基準、訊息發佈等。
- 三、**監測成果圖形展示區**：根據設定之格式，繪製監測成果圖形。

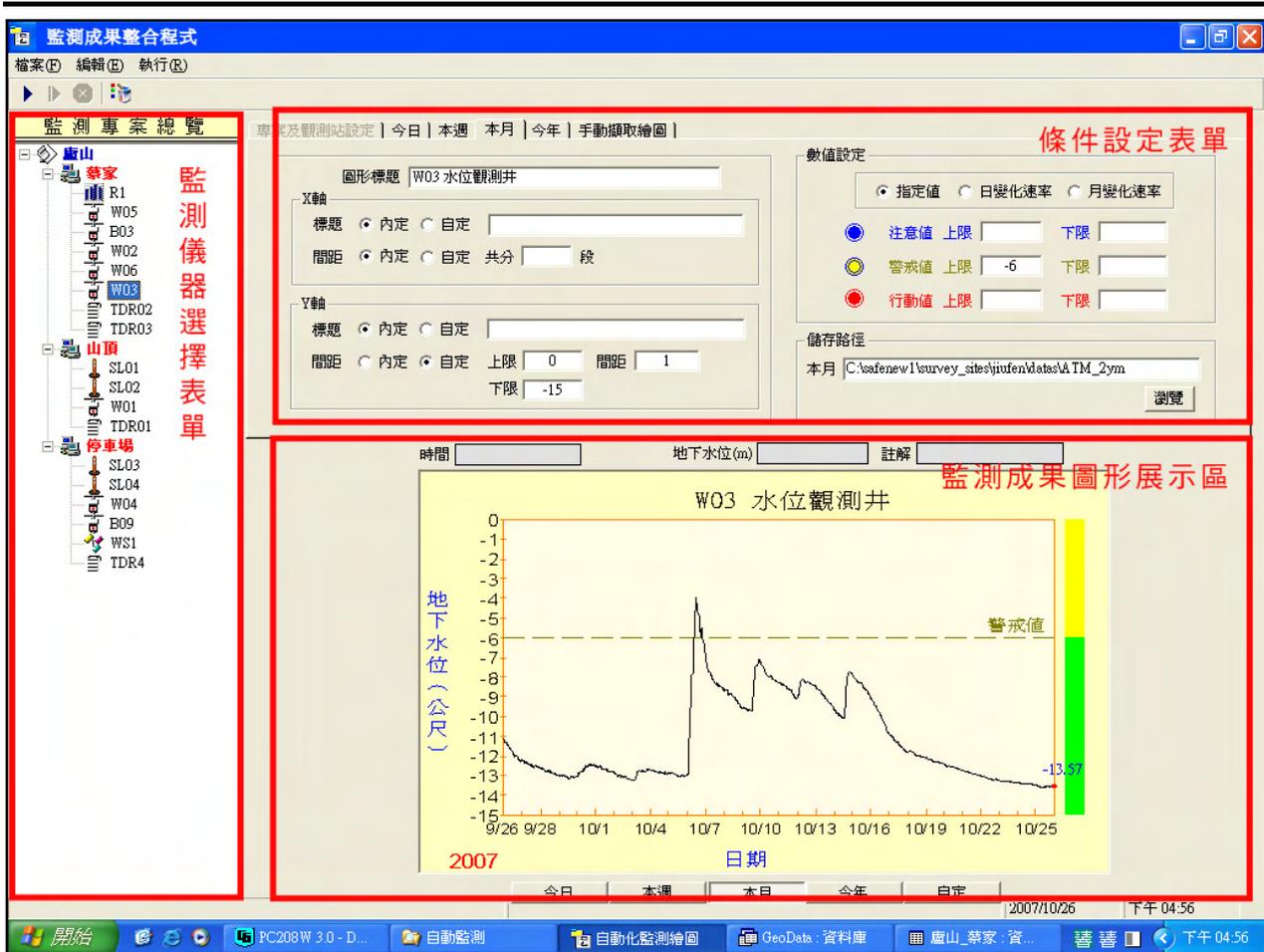


圖 6-2-2 監測成果整合程式操作畫面

6-2-3 主要功能說明

監測成果整合程式之主要功能包括以下四大部分，茲說明如下：

- 一、資料庫功能：係將現場資料擷取器回傳之純文字原始數據(raw data)，匯入SQL資料庫中，除可提供統一保存各監測站之資料外，並主要作為監測成果繪圖展示及日後查詢之用。
- 二、繪圖功能：本程式可根據不同類型之儀器，設定其適合之繪圖格式，如X、Y軸之物理量定義、時距、顏色等，並定時提取（預設為2小時，可調整）資料庫之最新監測資料進行繪圖，繪圖時距分別為24小時、7日及30日，以讓管理者根據不同時距之監測成果，研判其變化趨勢。

此外，可於圖形之任一時間點加註事件說明，有效管理各項現場事件對監測成果之影響。

三、警戒研判及警告發佈功能：本程式可針對每一儀器訂定不同的管理基準，管理基準可分為三級設定，分別為「注意」、「警戒」、「行動」等階段，設定模式包括「指定值」、「日變化速率」、「月變化速率」等三種，使用者可根據不同儀器之特性，訂定不同之管理基準，如地下水水位一般採用指定值模式，而地層傾斜則採用月變化速率模式。

而一旦監測數值到達管理基準，程式將主動發佈警告訊息，發佈方式共有以下四種：

(一)電腦蜂鳴器音效：通知值守人員

(二)畫面閃爍效果：通知值守人員

(三)行動電話簡訊：通知本案有關單位人員

(四)電子郵件訊息：通知本案有關單位人員

其中行動電話簡訊及電子郵件訊息之發送對象可由使用者自行增加或更改，發送訊息內容除預設格式外，亦可由使用者自訂之。

四、歷史資料查詢功能：使用者可自訂欲查詢之時間間隔，繪製該時距內之監測成果圖形。

6-3 廬山地滑區監測成果網站

上述之監測成果整合程式雖功能完整，並能清楚展示各監測儀器之觀測成果，但其操作環境僅限於該電腦，為便於其他各單位有關人員均能即時地瞭解地滑區之最新監測成果，本工作建置「廬山地滑區監測成果網站」，將所有監測成果均即時地呈現於網頁上，以透過網路方式，隨時隨地均能掌握地滑區之監測狀況。

網頁畫面如圖6-3-1所示，其內容係以HTML語言撰寫，網頁之樣版內容主要分為六個區塊，說明如下。

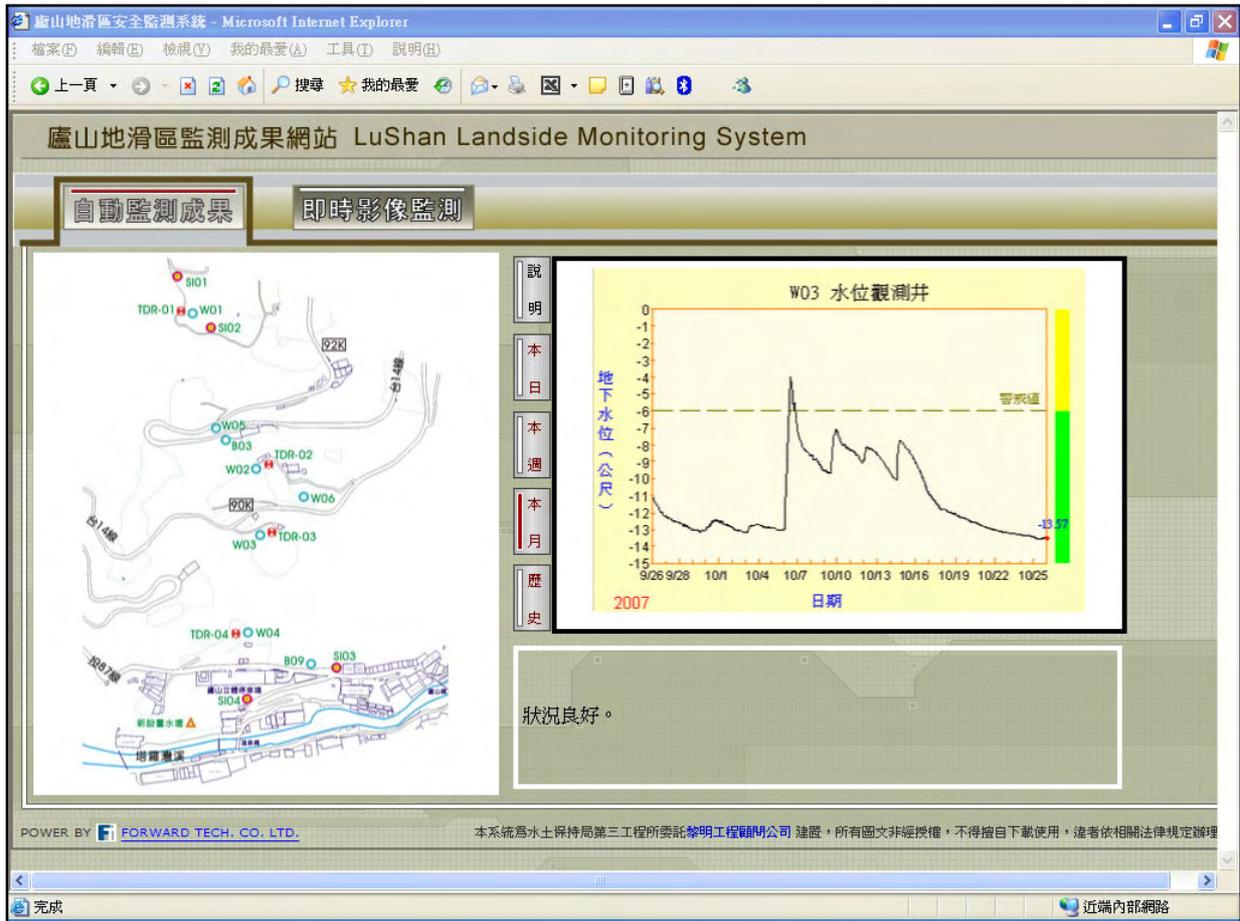


圖 6-3-1 廬山地滑區監測成果網站畫面

- 一、上方橫幅標題區塊：說明本監測成果網頁之標題---「廬山地滑區監測成果網站」。
- 二、中上方內容連結區：依監測儀器性質之不同，區分為「自動監測成果」及「即時影像監測」兩部分。
- 三、左方儀器位置地圖區：於廬山地滑區之地圖標註各儀器之位置，各儀器型式以不同之圖例標示，圖例之顏色將以監測值之警戒狀態改變，綠色表示儀器正常，藍色表示達注意值或其他異常，黃色表示達警戒值，紅色表示達行動值。
- 四、右方觀測成果圖形區：點選左方之儀器圖例即可在本區顯示最新之觀測成果。本區顯示之資料包括儀器現場照片、本日監測成果、本週監測成果、本月監測成果及歷史監測成果。
- 五、右下方觀測成果說明區：監測成果出現異常或已達警戒狀態，其文字訊息將顯示於本區，說明儀器狀況及發生時間。

六、下方版權宣告區：說明網站建置單位及網站所屬版權。

6-4 資料庫系統

本系統之資料庫採用Microsoft SQL server，SQL Server是一個功能完備的資料庫平台，提供安全、可靠的資料儲存環境，其強大之管理功能將能加強監測成果整合程式之可用性及運作效能。

本工作建置之資料庫的資料表主要可分為以下五部分。

- 一、監測站及儀器名稱。
- 二、圖形及管理基準設定。
- 三、監測成果紀錄。
- 四、儀器警戒狀態。
- 五、訊息發佈對象電話及郵件地址

相關資料彙整、運算及分析，將依上述五大部分加以編排、儲存，而資料庫將於伺服器主機內以磁碟陣列方式備份保存。

第七章 RTK地表變位監測作業

7-1 RTK地表變位監測系統配置

一、作業規劃構想：

(一)觀測樁位佈置規劃

前期計畫共沿台14線公路佈置3條監測導線，分別為：A群組、B群組、C群組，共計145處(詳3-1節所述)；在前期計畫執行期間前述3條導線對邊坡變位的掌握已清楚勾勒滑動體的滑動範圍。

因此，本期所觀測的地表監測系統樁位係針對前期所調查得知的滑動範圍佈置樁位共計47處，其中樁號A~C編號共12處為前期既設橫向道路觀測點改設之鋼製標點，樁號P編號共35處則為新設地表監測位移樁，詳見附錄A所示，其相關樁位配置如圖7-1-1及圖7-1-2所示。

本期埋設之地表監測樁尺寸為10x10x40(cm)之石樁，埋入地下30cm，再以混凝土固結，樁台中央鑽孔埋入鋼片及鋼標，現地之控制點及地表監測位移樁照片如照片7-1-1~7-1-4所示。

(二)控制樁位置選取及佈置

本計畫範圍內具有三等三角點N5959位於母安山山頂處，相關觀測工作係以此三角點為基準，而前期計畫另於滑動範圍外側穩定區域佈置4處控制點如下：

- 1.滑動體西側控制點：GPS01及GPS02兩處。
- 2.滑動體東側控制點：GPS03及GPS04兩處。

相關控制點位置說明如3-1節所述，本期觀測計畫實施時，因為係採GPS方式測量，所以選取前述控制點中3處作為控制基準，但此3處控制點的圖形強度不足，故於坡體中央增加1處點位補強強度，4處控制分別為：

- 1.N5959母安山三角點：位於邊坡上方，靠近北側。
- 2.GPS01控制點：位於邊坡側邊，靠近西側。
- 3.GPS03控制點：位於邊坡側邊，靠近東側。
- 4.P11補強點：位於坡體中央，作為補強圖形強度用途。

二、作業方法規劃：

(一)控制點靜態控制測量：

在計畫開始及每年汛期前，針對前述4處控制點作GPS靜態控制測量，以GPS03為主站作4處控制點的閉合測量，因P11位於滑動體內，所以閉合計算成果係以N5959及GPS01座標作檢核。

(二)觀測樁位動態座標測量：

在每年的3月、6月、7月、8月、9月、12月針對計畫邊坡的觀測樁位作RTK測量，計算其地表變位量。

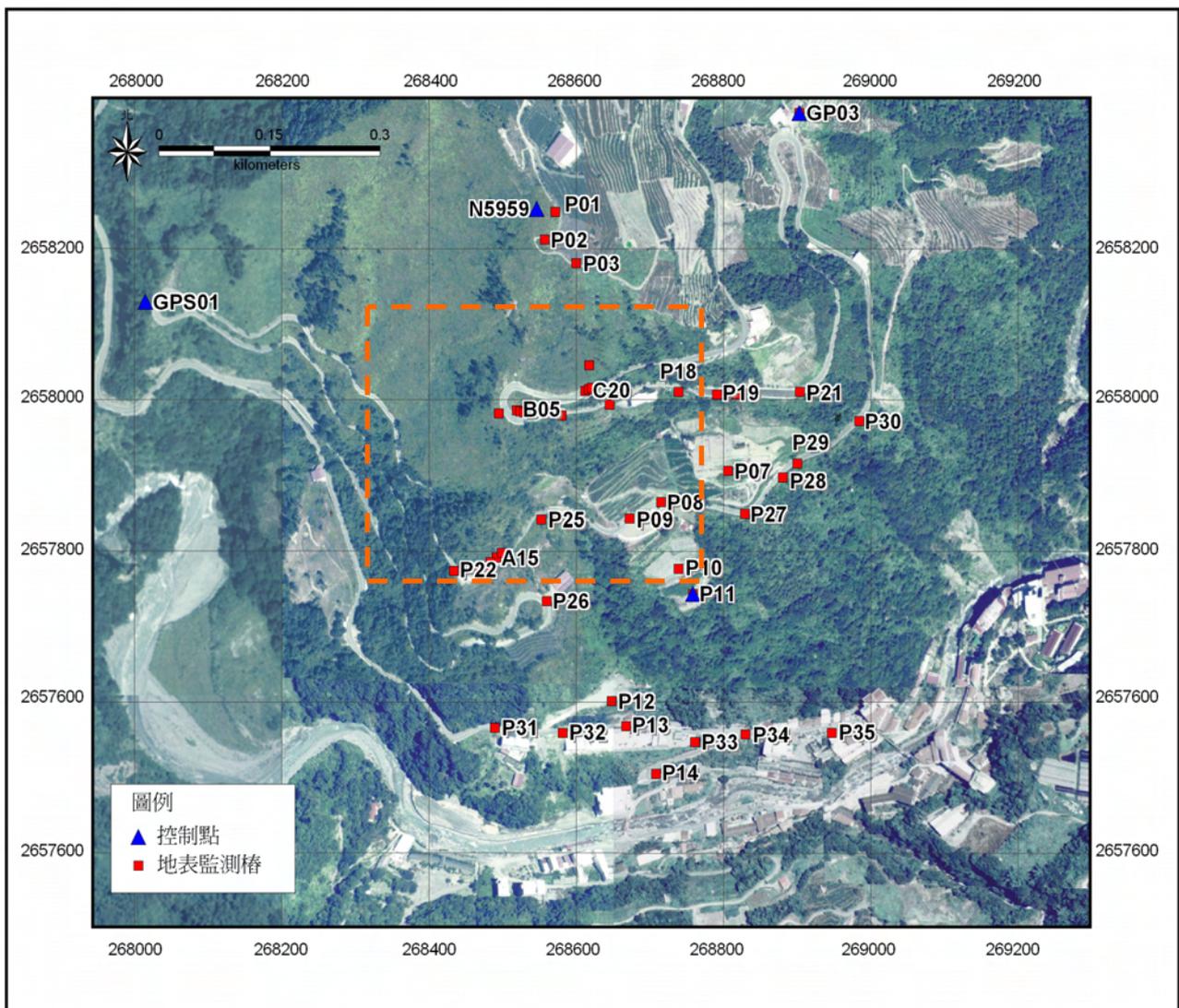


圖 7-1-1 RTK 地表監測系統總配置圖

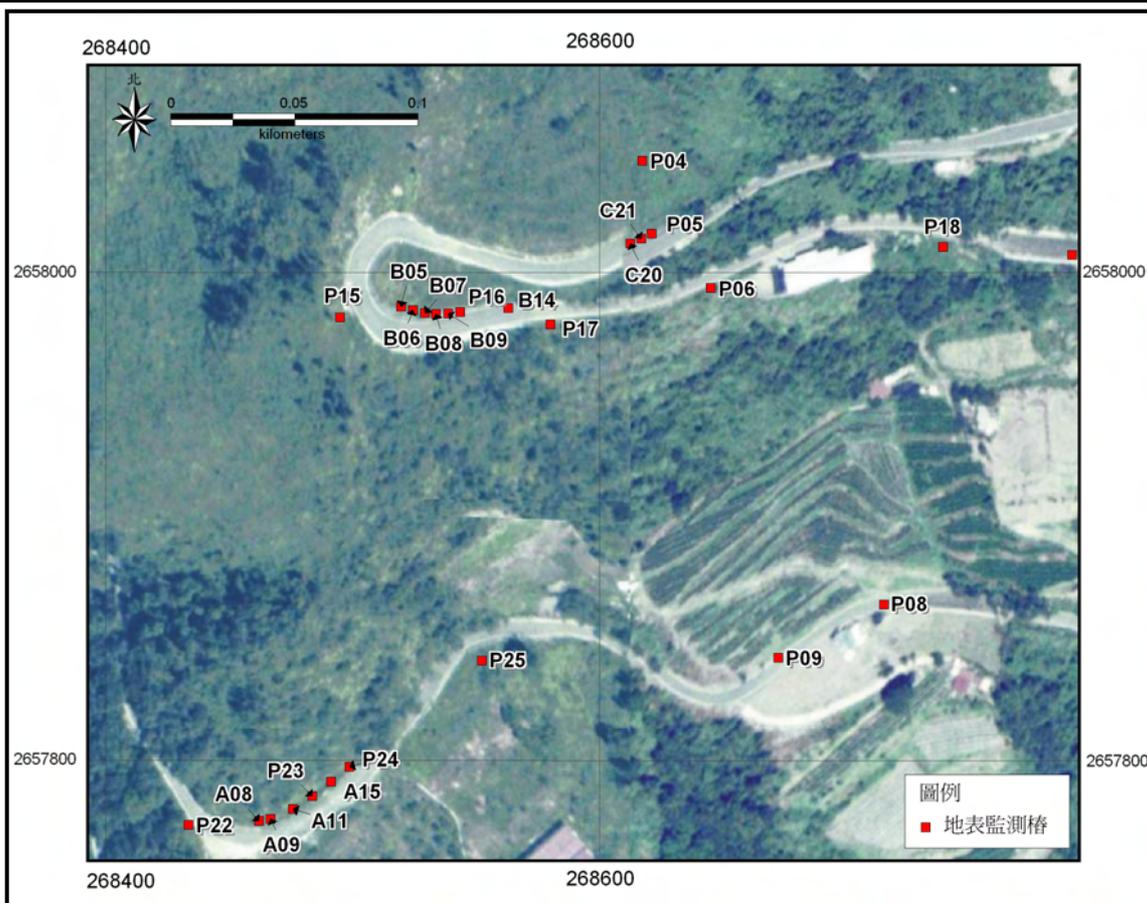


圖 7-1-2 RTK 地表監測系統配置圖



照片 7-1-1 控制點 N9599



照片 7-1-2 地表監測樁 P02



照片 7-1-3 控制點 GP01



照片 7-1-4 控制點 GP03

7-2 RTK作業方法

由於衛星定位技術發展，傳統測量方式已有了重大轉變，不再完全依賴平板儀、水準儀及經緯儀等的量測方法，而採用衛星接收儀藉著接收衛星訊號，即可精確得到點位坐標。隨著GPS (Global Positioning System) 衛星定位的方法不斷的演進，從靜態測量 (Static)、快速靜態測量 (Rapid static)、虛擬動態測量 (Pseudo-Kinematic)、動態測量 (Kinematic) 及一直到目前結合無線電通訊設備之即時動態測量 (Real-Time Kinematic, RTK)，不但將GPS定位效率大幅提昇，更已達到公分級之精度。

本計畫採用RTK即時性動態測量方法來監測地表變位情形，RTK即時動態測量係經由通訊設備將主站觀測量訊號即時傳至移動站，並在移動的狀態下求解相位未定值。目前RTK定位技術已經被廣泛接受，並應用於各種測量作業上。該法由於效率高，可以在作業中提供經過檢驗的測量成果，使用者能夠在滿足精度的前提下，擺脫資料後處理的負擔和外業往返的困擾。

以下就靜態測量及RTK施測原理及作業方法作一扼要概述。

一、原理概述

(一)靜態(Static)基線測量原理(圖7-2-1)

GPS衛星接收儀器同時在兩個以上測點進行接收，而其中至少一測點已知位置，並被視為已知測點，其他測點為待求點。此測點對相同的GPS衛星(4顆以上)持續接收衛星訊號達30分鐘以上，甚至到數小時不等，視基線長度、衛星幾何分佈及大氣狀況而定。衛星幾何分佈愈佳、觀測時間愈長，則未定值及坐標之求解就愈精確。一般而言，基線在10公里以內者，接收1小時即可；但基線愈長則接收時間也就愈久。基線測量的精度標準誤差小於 $5\text{mm}+1\text{ppm}$ 。此作業模式所觀測的基線，應構成某種閉合圖形，以便觀測成果的檢核，提高成果的可靠性及GPS網平差後的精度，主要適用於5km以上之高精度控制網測量。

(二)即時性動態測量(RTK)原理(圖7-2-2)

RTK(Real-Time Kinematic)測量技術是採用差分定位概念，利用高精度的GPS雙頻載波相位觀測量進行即時定位測量。將主動站架設於已知坐標上，對所有可見GPS衛星進行連續觀測，並將主動站所接收到的

GPS雙頻載波相位觀測量，經由無線電數據通信設備，傳送至移動站的掌上型電腦。而移動站在接收本身觀測量的同時，透過無線電數據通信設備，接受主動站傳輸之觀測數據，然後根據相對定位的原理聯合求解，進而計算移動站之瞬時坐標值。其系統架構如圖7-2-2 GPS RTK系統示意圖。

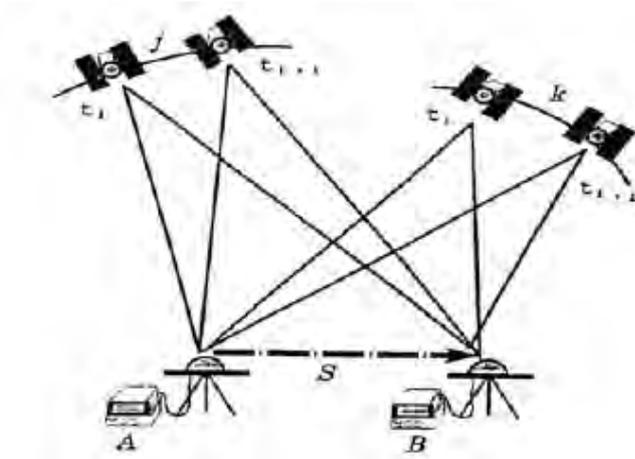


圖 7-2-1 靜態基線測量接收示意圖

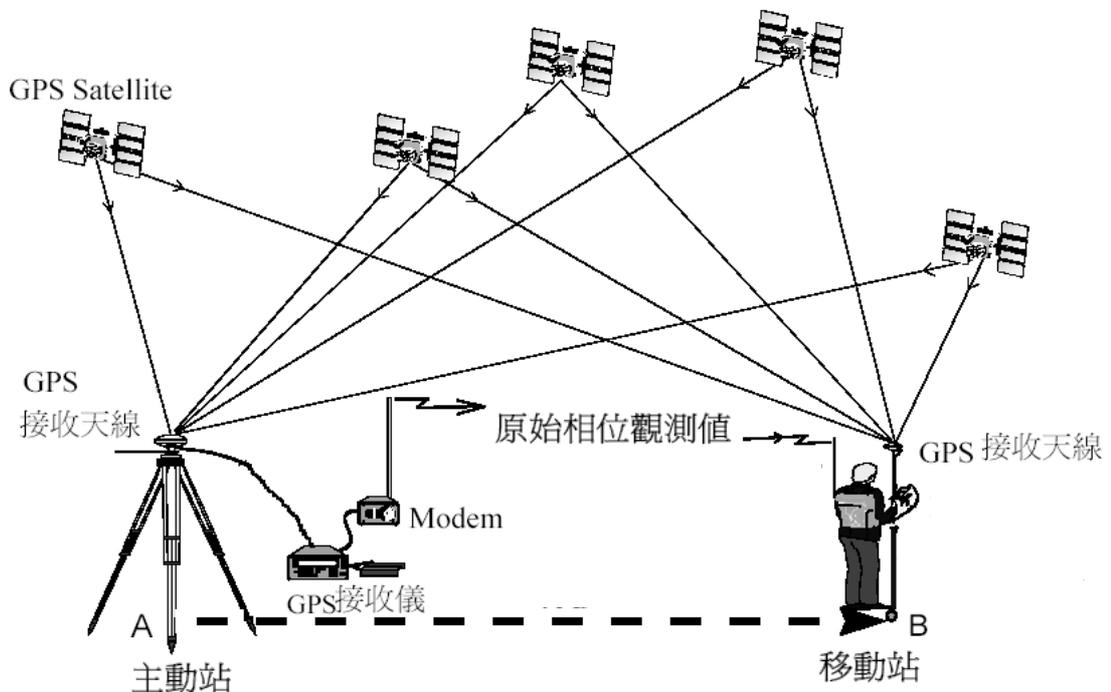


圖 7-2-2 GPS-RTK 系統示意圖

二、RTK作業方法

1. 首次量測時，於施測區域範圍外考慮測量點位之空間網型分佈選取及設置控制點位，由GPS (Global Positioning System) 靜態定位測量方法接收各測站衛星資料，依相對定位方法，於台灣大地基準1997 (Taiwan Datum 1997; TWD97) 平面座標系統及橢球高 (Ellipsoid Height; h) 高程系統下解算各控制點之空間三維座標。
2. 選取滑動區域外，無變動疑慮之控制點為控制基站。
3. 由靜態觀測經解算所得之基站控制點座標，利用GPS-RTK定位方法即時量測各觀測樁位之空間三維座標。
4. 將各樁位之觀測成果展點至Autocad作分析比對。

三、工作內容及觀測成果

本次測量工作係應用GPS (Global Positioning System, GPS) 靜態定位測量以及GPS-RTK (Real-Time Kinematic, RTK) 即時動態定位測量方法施測；於施測區域範圍外考慮測量點位之空間網型分佈選取及設置控制點位，由GPS靜態定位測量方法接收各測站衛星資料，依相對定位方法，於台灣大地基準1997 (Taiwan Datum 1997; TWD97) 平面座標系統及橢球高 (Ellipsoid Height; h) 高程系統下解算各控制點之空間三維座標；並選取滑動土體外，無變動疑慮之控制點為控制基站(GP03)，由靜態觀測經解算所得之基站控制點座標，利用GPS-RTK定位方法即時量測各觀測樁位之空間三維座標。現地量測之作業情形如照片7-2-1、7-2-2所示。

(一) 成果計算座標系統

本計畫測量成果計算座標系統採TWD97二帶分度新國家座標系統，其計算參數說明如下：

1. 地球原子：新國家坐標系統之參考橢球體採用1980年國際大地測量學與地球物理學協會 (International Union of Geodesy and Geophysics 簡稱為IUGG) 公布之參考橢球體 (GRS80)，其橢球參數如下：長半徑 $a=6378137$ 公尺；扁率 $f=1/298.257222101$
2. 投影系統：橫麥卡脫二度分帶投影系統，中央子午線為121，且橫座

標西移250,000 m，中央子午線之尺度比率為0.9999。

3. 座標引測：基準點座標系統以TWD97新國家座標系統為基準，並與內政部衛星追蹤站聯測。

(二)測量精度

RTK即時動態測量是採即時差分方式解算出定位座標，其精度為 $10\text{mm}+(1\text{ppm}\times L)$ 。(其中 L 為觀測樁與基站之距離； ppm 為 10^6)，因此其距離 L 對精度造成之影響甚微，其整體之測量精度誤差為 $\pm 10\text{mm}$ 。

(三)觀測成果

本計畫所使用之硬體設備儀器為Leica GPS1200(設備規格如表7-2-1所示)，應用GPS相對定位方法施策，並由LEICA Geo Office Combined軟體，先由自由網平差方法解算各測站間之相對方位後，再由已知座標之控制點位將各測站座標化算與全國座標系統一致，此為靜態測量檢核控制點之實施。再以解算得出之控制點位為基站，以RTK方式即時量測各監測樁之三維座標。

目前已於本計畫區域進行數次監測，其監測定位精度均在公分級，且於監測作業進行時，於同一樁位上俟GPS定位精度在規定值內時連續接收十筆資料，連續觀測可提高RTK監測之精度，數次監測後其定位精度大致在2公分以下。為判斷是否有無移動趨勢，將監測成果展繪至AutoCad分析比對後，其結果並無一致性之走向趨勢，表示其誤差量為GPS儀器本身之定位誤差，本計畫地滑地近期以監測結果顯示並無移動現象。其近期量測成果如表7-2-2所示。

相關解算報告及地表變化監測位移樁記錄詳見附錄A所示。



照片 7-2-1 RTK 主站架設

照片 7-2-2 RTK 移動站量測

表 7-2-1 GPS 硬體設備規格及照片

	Leica GPS1200	
	類型	雙頻
	電源電壓	標稱 12VDC
	操作溫度:接收機	-40°C to +65°C
	精度(動態)	水平精度 10mm+1ppm 垂直精度 20mm+1ppm
	位置更新率及延時	1.初始化時間典型為 8 秒 2.可提供 0.05 秒 (20Hz) 到一秒間隔的採樣率 3.延時少於 0.03 秒
	儲存裝置	CF 卡(32 和 256MB)
重量	接收機重 1.20kg 控制器重 0.48kg SmartTrack 天線重 0.44kg。	

表 7-2-2 RTK 測量成果表

單位:m

點號	96年8月		96年9月		96年12月		96年8、9月差異			96年8、12月差異		
	E	N	E	N	E	N	ΔE	ΔN	二維方根差	ΔE	ΔN	二維方根差
A08	268462.115	2657775.381	268462.122	2657775.413	268462.144	2657775.380	-0.007	-0.032	0.033	0.029	-0.001	0.029
A09	268466.719	2657776.216	268466.712	2657776.244	268466.740	2657776.242	0.007	-0.028	0.029	0.021	0.026	0.033
A11	268475.811	2657780.239	268475.828	2657780.232	268475.839	2657780.250	-0.017	0.007	0.018	0.028	0.011	0.030
A15	268491.146	2657791.377	268491.151	2657791.386	268491.167	2657791.389	-0.005	-0.009	0.011	0.021	0.012	0.025
B05	268519.557	2657986.020	268519.567	2657986.019	268519.537	2657985.984	-0.011	0.002	0.011	-0.020	-0.037	0.042
B06	268524.278	2657984.565	268524.285	2657984.569	268524.260	2657984.527	-0.008	-0.004	0.009	-0.018	-0.039	0.042
B07	268529.209	2657983.490	268529.239	2657983.470	268529.197	2657983.450	-0.030	0.020	0.036	-0.012	-0.040	0.041
B08	268533.638	2657982.937	268533.665	2657982.935	268533.631	2657982.916	-0.027	0.002	0.027	-0.007	-0.021	0.022
B09	268538.567	2657983.312	268538.597	2657983.320	268538.551	2657983.287	-0.030	-0.008	0.031	-0.017	-0.025	0.030
B14	268563.028	2657985.534	268563.066	2657985.512	268563.014	2657985.498	-0.038	0.023	0.045	-0.014	-0.037	0.039
C20	268612.385	2658011.762	268612.378	2658011.758	268612.369	2658011.712	0.007	0.004	0.008	-0.016	-0.050	0.053
C21	268616.810	2658013.821	268616.803	2658013.811	268616.804	2658013.770	0.007	0.010	0.013	-0.006	-0.051	0.051
P01	268571.224	2658248.683	268571.243	2658248.713	268571.254	2658248.696	-0.019	-0.029	0.035	0.029	0.012	0.032
P02	268557.349	2658211.985	268557.371	2658211.990	268557.357	2658211.953	-0.022	-0.005	0.023	0.007	-0.033	0.034
P03	268599.665	2658180.795	268599.670	2658180.812	268599.670	2658180.785	-0.004	-0.017	0.018	0.005	-0.009	0.010
P04	268617.349	2658045.779	268617.342	2658045.784	268617.336	2658045.769	0.006	-0.005	0.008	-0.012	-0.010	0.016
P05	268621.080	2658015.909	268621.096	2658015.916	268621.067	2658015.875	-0.016	-0.007	0.018	-0.013	-0.033	0.036
P06	268645.095	2657993.645	268645.092	2657993.635	268645.105	2657993.613	0.003	0.010	0.011	0.010	-0.032	0.033
P07	268806.189	2657905.640	268806.175	2657905.646	268806.222	2657905.603	0.014	-0.005	0.015	0.033	-0.037	0.049
P08	268715.129	2657864.218	268715.117	2657864.224	268715.149	2657864.134	0.013	-0.006	0.014	0.020	-0.084	0.086
P09	268672.276	2657842.381	268672.265	2657842.375	268672.256	2657842.340	0.011	0.006	0.013	-0.020	-0.041	0.046
P10	268739.104	2657776.593	268739.101	2657776.581	268739.108	2657776.560	0.003	0.012	0.012	0.005	-0.032	0.033
P11	268758.304	2657743.566	268758.313	2657743.572	268758.324	2657743.527	-0.009	-0.006	0.011	0.021	-0.039	0.044
P12	268648.184	2657601.434	268648.204	2657601.403	268648.211	2657601.430	-0.019	0.031	0.036	0.027	-0.004	0.027
P13	268668.014	2657568.152	268668.026	2657568.126	268668.044	2657568.149	-0.013	0.026	0.029	0.030	-0.003	0.031
P14	268708.647	2657505.124	268708.668	2657505.111	268708.665	2657505.164	-0.021	0.013	0.025	0.018	0.039	0.043
P15	268494.893	2657981.589	268494.899	2657981.596	268494.871	2657981.567	-0.006	-0.008	0.010	-0.022	-0.021	0.030
P16	268543.414	2657983.742	268543.446	2657983.726	268543.400	2657983.718	-0.032	0.015	0.036	-0.014	-0.023	0.027
P17	268580.138	2657978.833	268580.160	2657978.817	268580.132	2657978.780	-0.022	0.016	0.028	-0.005	-0.053	0.053
P18	268739.025	2658010.508	268739.002	2658010.523	268739.008	2658010.509	0.022	-0.015	0.027	-0.017	0.000	0.017
P19	268791.412	2658007.281	268791.407	2658007.248	268791.421	2658007.229	0.005	0.033	0.033	0.009	-0.051	0.052
P20	268816.912	2658006.931	268816.900	2658006.909	268816.908	2658006.874	0.012	0.021	0.024	-0.004	-0.056	0.056
P21	268903.361	2658010.250	268903.352	2658010.253	268903.384	2658010.236	0.009	-0.003	0.009	0.023	-0.014	0.027
P22	268433.569	2657773.769	268433.568	2657773.818	268433.578	2657773.793	0.001	-0.049	0.049	0.009	0.023	0.025
P23	268483.569	2657785.487	268483.580	2657785.478	268483.597	2657785.496	-0.011	0.010	0.015	0.027	0.009	0.029
P24	268498.715	2657797.536	268498.729	2657797.543	268498.744	2657797.519	-0.014	-0.007	0.015	0.029	-0.016	0.033
P25	268552.234	2657841.173	268552.216	2657841.183	268552.204	2657841.231	0.018	-0.010	0.020	-0.030	0.058	0.066
P26	268559.688	2657733.601	268559.719	2657733.587	268559.702	2657733.635	-0.031	0.014	0.035	0.015	0.033	0.036
P27	268829.216	2657848.438	268829.199	2657848.418	268829.207	2657848.406	0.017	0.019	0.026	-0.009	-0.032	0.033
P28	268880.383	2657897.113	268880.361	2657897.122	268880.328	2657897.100	0.022	-0.009	0.024	-0.055	-0.012	0.056
P29	268900.412	2657915.620	268900.403	2657915.648	268900.431	2657915.637	0.009	-0.029	0.030	0.020	0.017	0.026
P30	268984.355	2657972.038	268984.341	2657972.053	268984.310	2657972.067	0.014	-0.015	0.021	-0.045	0.029	0.053
P31	268489.677	2657566.242	268489.675	2657566.227	268489.661	2657566.225	0.002	0.014	0.015	-0.017	-0.017	0.024
P32	268581.547	2657559.264	268581.560	2657559.225	268581.546	2657559.292	-0.013	0.039	0.041	-0.001	0.027	0.027
P33	268761.460	2657547.259	268761.458	2657547.230	268761.491	2657547.257	0.003	0.029	0.029	0.030	-0.002	0.031
P34	268830.038	2657557.335	268830.060	2657557.306	268830.044	2657557.352	-0.022	0.029	0.036	0.006	0.018	0.019
P35	268946.972	2657559.139	268946.949	2657559.152	268946.964	2657559.106	0.023	-0.013	0.027	-0.008	-0.033	0.034
GP03	268902.799	2658380.156	268902.799	2658380.156	268902.799	2658380.156	0.001	0.000	0.001	-0.001	0.000	0.001

第八章 廬山地滑監測應變計畫方案說明

廬山地層滑動區經本計畫建構監測系統後，已大致具備邊坡管理需要之相關功能，如何將監測系統功能落實在即時防災警戒目標上，則需要有一套配套的應變管理計畫。

在訂定應變管理計畫時，因涉及包含：地方政府、警消單位、公路單位、水庫管理等各機關權責，在具通盤檢討釐清各機關責任區分之前，目前應變管理以發揮警戒、通報各機關之功能為主，而在整體運作架構上，本計畫建議如圖8-1-1所示。

以下就廬山地滑監測應變系統在警戒、通報功能上的操作方法，作扼要介紹。

8-1 監測應變及管理程序建議

廬山系統監測系統目前具有以下數個項目的監測功能：

1. 降雨量自動化監測
2. 地下水位自動化監測
3. 地表傾斜儀自動化監測
4. TDR地層錯動自動化監測
5. 坡面固定樁位移監測

除上述監測功能外，另有橫向集水管的滲流量追蹤監測，但與地滑監測應變功能無關，在此不多作討論；而數位攝影影像即時傳輸，則為輔助應變中心人員功能，並未列入正常程序內。

所有的監測項目作業方法及功能、規格已於第4~7章詳細介紹，本章節將就監測系統的應變程序作討論。

根據本計畫參考梨山、九份二山等國內重要成功地滑整治案例後，研擬廬山地滑監測應變程序如下所述：

第一步驟(降雨量準則判斷 - 正常→注意階段)

當中央氣象局發佈豪大雨特報後，監測系統操作人員即進入應變作業程序，檢視監測系統功能並調整監測頻率，準備應變防災作業。

降雨量判斷準則率定以下兩項準則：

1. 時雨量判斷準則

2. 24小時累積雨量判斷準則

當降雨量達到作業程序率定的兩項準則其中之一時，由監測系統於網頁警示並發佈警訊給各相關人員行動電話，告知廬山邊坡地層滑動已進入注意階段。

第二步驟(地下水位準則判斷 - 注意→警戒階段)

當進入注意階段後，本計畫將率定1處地下水位井為主要判斷標的，並率定另1處地下水位井為複核判斷標的，其判斷準則如下：

1. 地下水位主要判斷準則

為地下水位井B94003孔率定警戒水位，當地下水位達到率定水位時，進入複核判斷程序，確認並非單孔異常狀況。

2. 地下水位複核判斷準則

當地下水位超過主要判斷準則時，率定地下水位井W9602孔為複核孔位，確認附近區域水位均已達警戒高值，則發佈警戒資訊予各相關人員，並建議居民作必要準備或疏散。

若複核程序未通過，則由系統單獨通知操作人員，由應變中心專業人員現場判斷是否發佈警訊。

第三步驟(滑動確認準則判斷 - 警戒→行動階段)

當地下水位進入警戒階段並持續升高後，則由以下兩項準則綜合判斷確認地層是否發生滑動：

1. 地表傾斜量判斷準則

率定4處地表傾斜儀一判斷基準，若與前一小時比對超過一定變化量且連續發生3小時以上，則由系統告知操作人員進入複核判斷程序。

2. TDR複核判斷準則

率定4處TDR觀測井一判斷基準，當反射波形達一定係數以上時，

由專業人員現場判斷是否確認邊坡已發生滑動。

當確認已發生滑動後，在警戒階段經過通知的警消、公路、地方政府等相關人員，應有相關動員、管制措施，以確保民眾安全。

第四步驟(災後復原、評估分析階段)

當中央氣象局豪大雨特報解除後，各單位著手進行災後復原工作，本計畫研究人員則就豪大雨期間收集的降雨量、地下水、變位量等監測資料作綜合分析，並赴計畫邊坡作坡面地表變位監測追蹤測量評估滑動規模，最後彙整災後報告提送業主。

整體運作體系架構圖建議如圖8-1-1所示，而應變程序流程圖則如圖8-1-2所示：

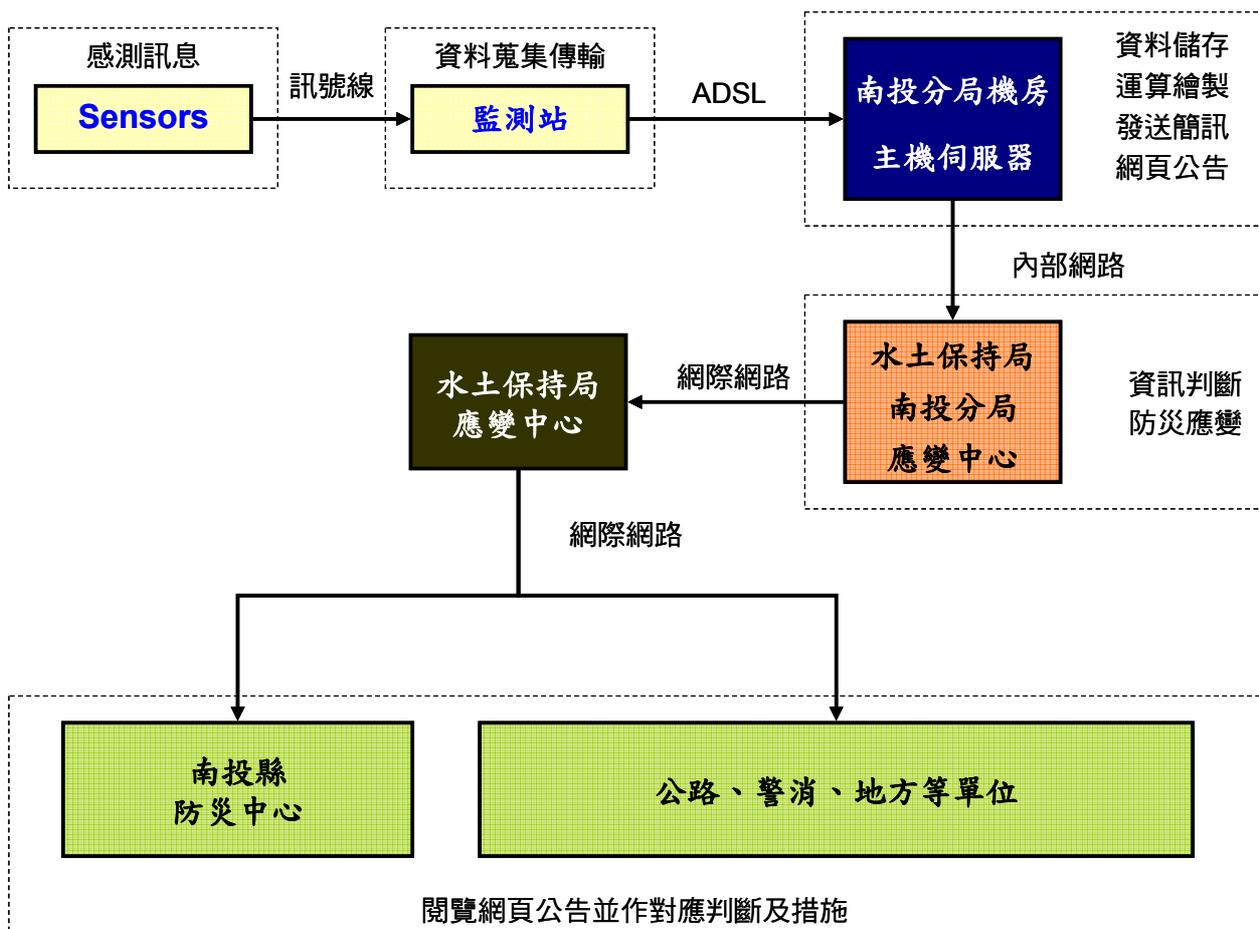


圖 8-1-1 廬山地滑監測應變架構圖

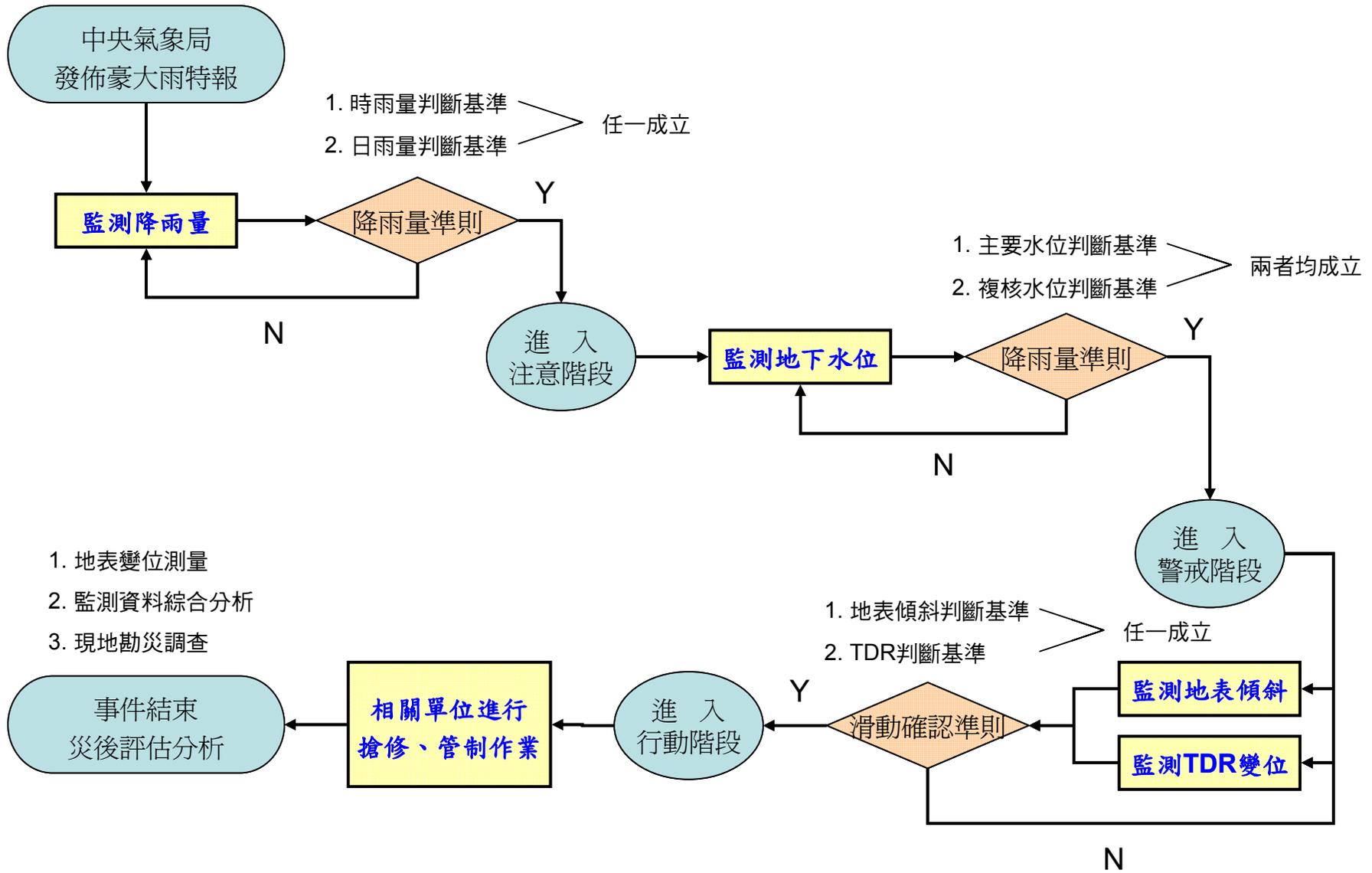


圖 8-1-2 監測應變作業程序說明

8-2 管理基準值建立

8-2-1 降雨量管理基準值建立(注意階段)

在訂定計畫邊坡降雨量管理基準值時，必須參考過往降雨歷史記錄以及邊坡破壞情形加以綜合評估分析，而廬山地滑邊坡正式調查以來有記錄可查的豪大雨降雨記錄有：

- 一、民國94年：海棠颱風(940716-940720)、瑪莎颱風(940803-940806)、珊瑚颱風(940811-940813)、泰利颱風(940830-940901)、卡努颱風(940909-940911)、丹瑞颱風(940921-940923)、龍王颱風(940930-941003)等七次。
- 二、民國95年：珍珠颱風(950516-950518)、六九水災(950605-950612)、艾維尼颱風(950707-950709)、碧利斯颱風(950712-950715)、凱米颱風(950723-950726)、桑美颱風(950809-950810)、寶發颱風(950807-950809)、珊珊颱風(950914-950916)等八次。
- 三、民國96年：帕布颱風(960806-950808)、梧提颱風(960808-960809)、聖帕颱風(960816-960819)、韋帕颱風(960917-960919)、柯羅莎颱風(961004-961007)等5次。

其中雨勢最大且有釀成災害的分別為：海棠颱風(940716-940720)、瑪莎颱風(940803-940806)及六九水災(950605-950612)等3次，以下將就此3次豪雨量作歸納分析，以訂定邊坡管理基準值。

首先，先概略敘述3次豪雨歷史記錄情形：

一、海棠颱風(接近臨界狀況)：

海棠颱風自94年7月16日至94年7月20日侵襲台灣，期間最大降雨強度為29.8(mm/hr)，最大24小時累積雨量為371.4(mm/day)，地下水位明顯上升，詳細情形如下節地下水位基準值所述。

邊坡現地未見明確破壞跡象，但道路路面及擋土牆可見輕微裂隙發生，傾度管及地表量測僅可見微小變位量，顯示本次豪雨作用下邊坡已至滑動體臨界狀況，經邊坡穩定反算分析，本次邊坡狀況已逼近安全係數1.0。

相關降雨資料及現地情形如圖8-2-1所示，傾度管變位資料如圖8-2-5所示。

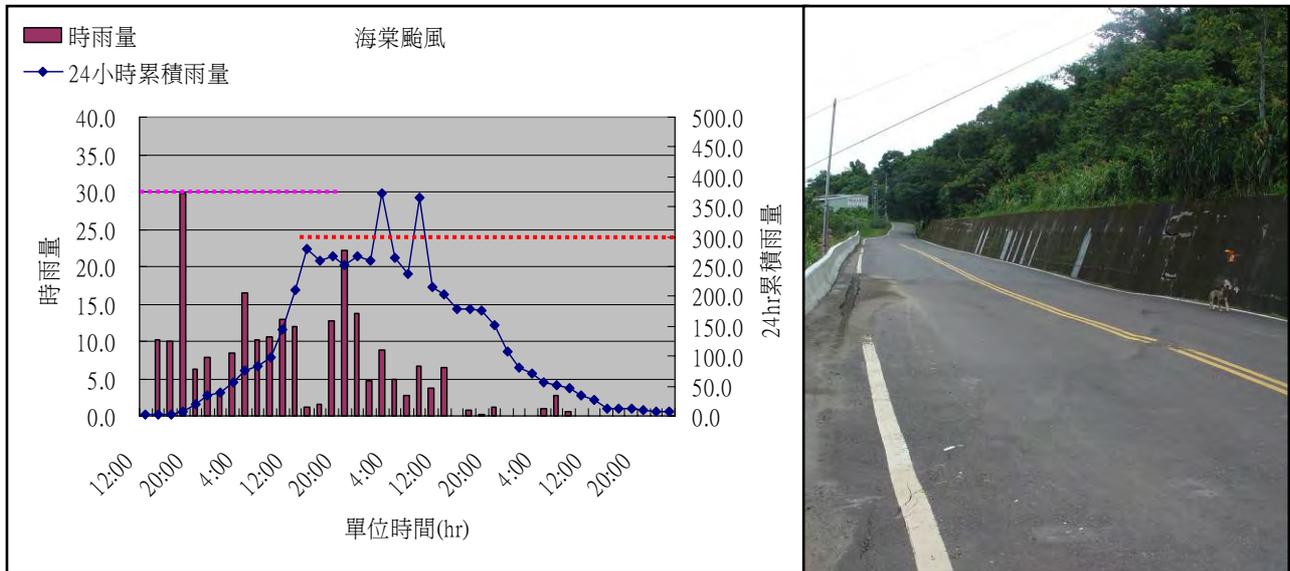


圖 8-2-1 海棠颱風降雨資料及現地情形(F.S 約等於 1.0)

二、瑪莎颱風(明確可見滑動)：

瑪莎颱風自94年8月3日至94年8月6日侵襲台灣，期間最大降雨強度為32.5(mm/hr)，最大24小時累積雨量為402.0(mm/day)，地下水位同樣明顯上升達10公尺以上。

邊坡已可見明確破壞跡象，邊坡路面及擋土牆可見明確裂隙，傾度管及地表變位均可見明確變位量，經量測本次下移變位量約為10cm。

經邊坡穩定反算分析，本次邊坡狀況約略小於0.95。

相關降雨資料及現地情形如圖8-2-2所示，傾度管變位資料如圖8-2-5所示。

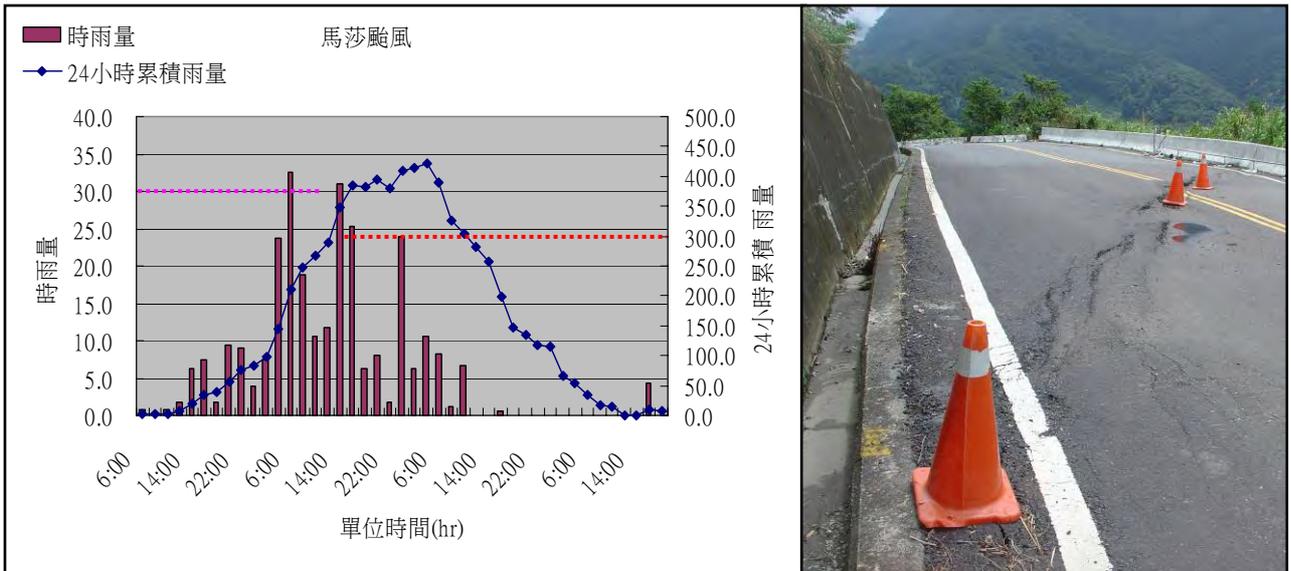


圖 8-2-2 瑪莎颱風降雨資料及現地情形(F.S 小於 0.95)

三、六九水災(發生劇烈滑動)：

六九水災自95年6月5日至95年6月12日侵襲台灣，期間最大降雨強度為34.8(mm/hr)，最大24小時累積雨量為461.5(mm/day)，期間邊坡發生嚴重滑動，傾度管及地表變位均可量測劇烈變位量，經量測本次下移變位量達60cm。經邊坡穩定反算分析，本次邊坡狀況小於0.90。

相關降雨資料及現地情形如圖8-2-3所示。

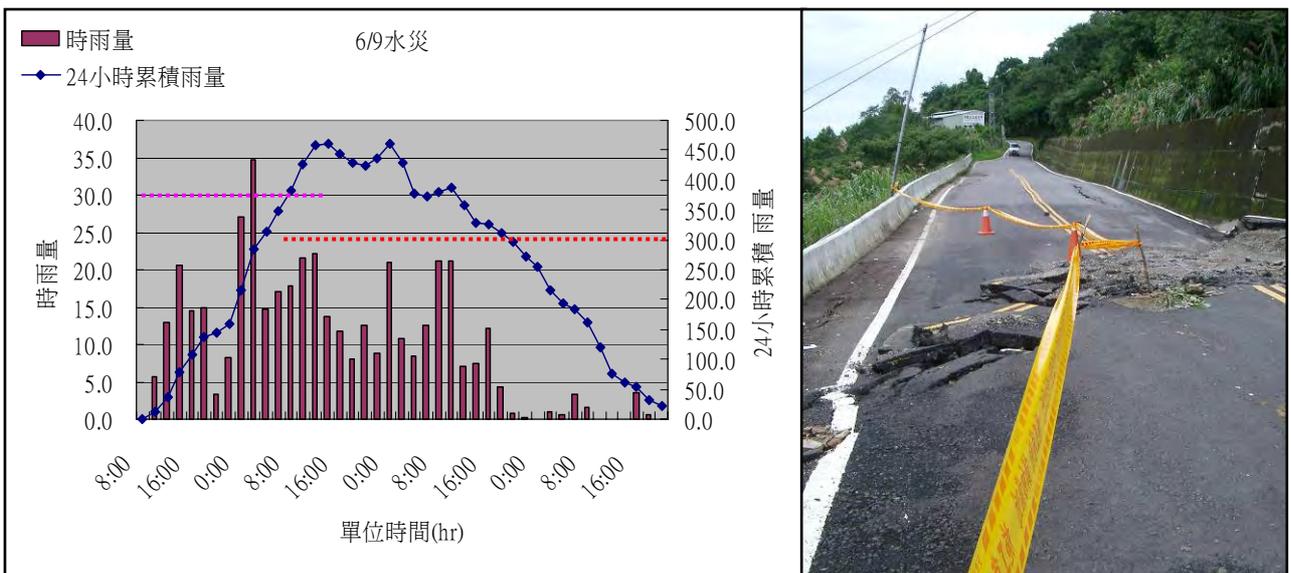


圖 8-2-3 六九水災降雨資料及現地情形(F.S 小於 0.90)

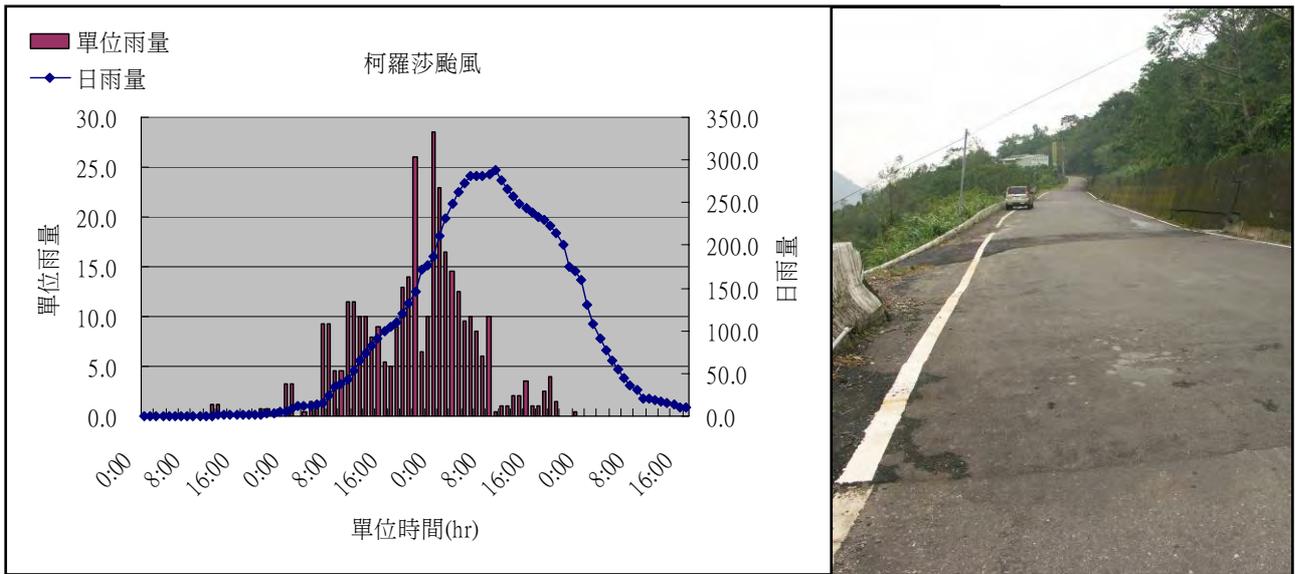


圖 8-2-4 柯羅莎颱風降雨資料及現地情形(F.S 大於 1.0)

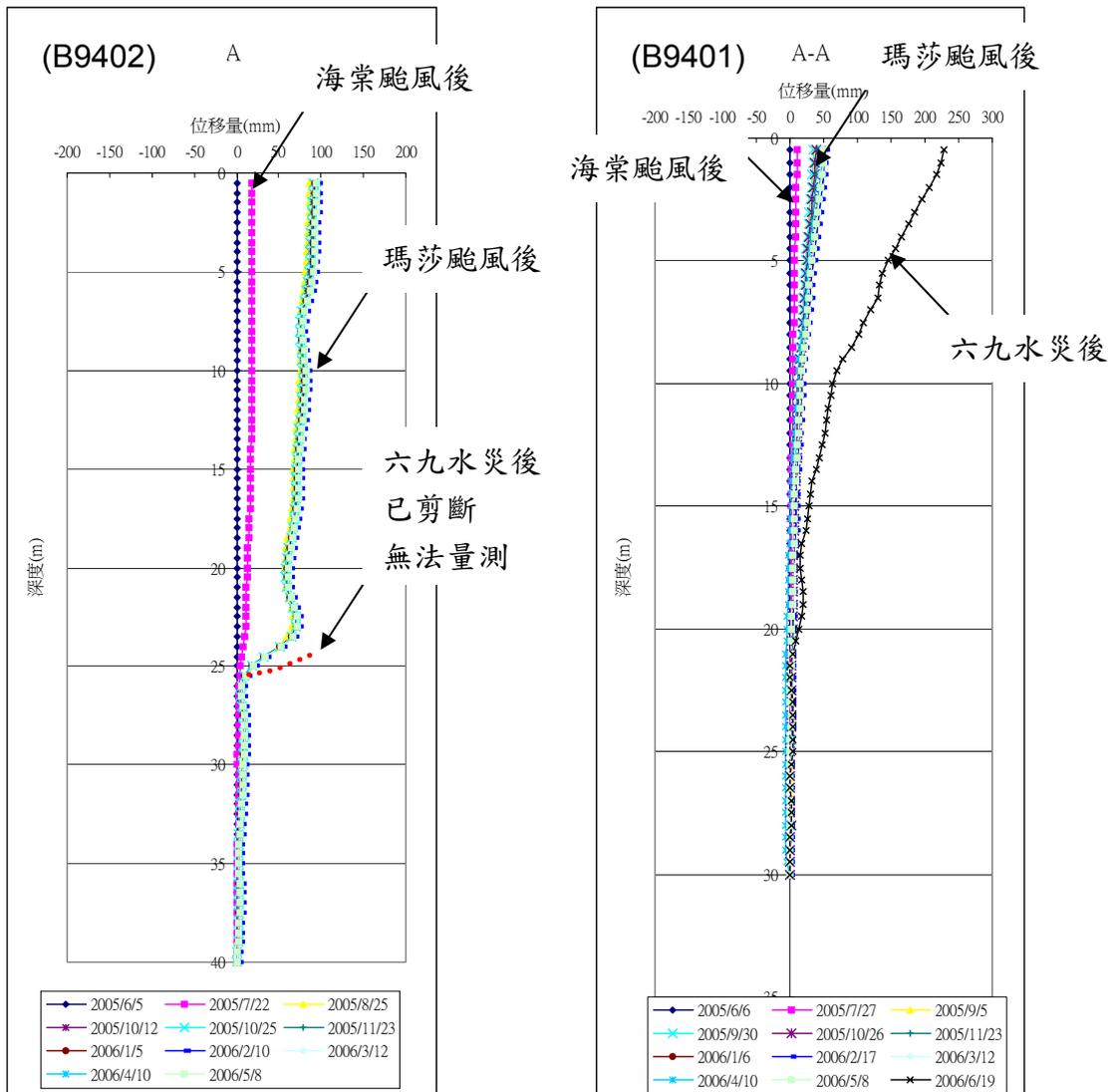


圖 8-2-5 傾度管變位量測記錄

由上述歷史資料研究，得知廬山邊坡在海棠颱風規模大小(時雨量30mm/hr，24小時雨量370mm/day)之降雨量情況下，為一可能發生滑動之臨界狀況，而再比對一未發生滑動破壞之降雨規模，以今年度最強烈暴雨柯羅莎颱風(時雨量28.5mm/hr，24小時雨量288.5mm/day)為例，考量廬山地滑邊坡降雨量注意值應落在上述兩降雨規模之區間，經評估後建議採用以下兩基準管理值：

1. 時雨量達到30mm/hr；
2. 24小時累積雨量達300mm/hr；

以上任一者成立即進入注意階段，依歷史資料推估注意階段到警戒開始，約有5到12小時以上的應變時間。

相關柯羅莎颱風歷史降雨記錄如圖8-2-4所示。

8-2-2 地下水位管理基準值建立(警戒階段)

在本計畫邊坡的降雨/地下水位量測記錄中，可以發現在邊坡中間區域的孔位(參見B9403、B9406、W9602、W9603、W9606)明顯會隨降雨量而有明顯變化的現象，而位於頭部或裂隙外側的孔位則無地下水反應(參見B9401、B9407、B9410、W9601)，位於趾部的孔位則處於積蓄地下水壓緩慢宣洩的狀態(參見B9409、W9604)，無論本期或前期地下水位井均具有以上的區域特色。

尤其經過研究後發現，坡體中央的B9403、B9406孔地下水位昇降與邊坡的安定性具有相當高依存性的關係，根據歷史豪雨記錄，觸動邊坡滑動時的地下水位呈現相當的一致性，亦即當地下水位上升至一定深度後，邊坡必然發生滑動，而此關係亦經邊坡穩定反算分析加以驗證。

因此，若以地下水位井預警邊坡滑動的準確性需求來考量，上述兩孔位歷經3個年度的歷史記錄，所呈現的高度準確性，當然為警戒水位觀測值的優先首選，而B9406孔因道路修復受損，殊為可惜，所以在選擇上當以B9403孔為監測警戒水位井。

上述地下水位井平面位置圖如圖8-2-6所示。

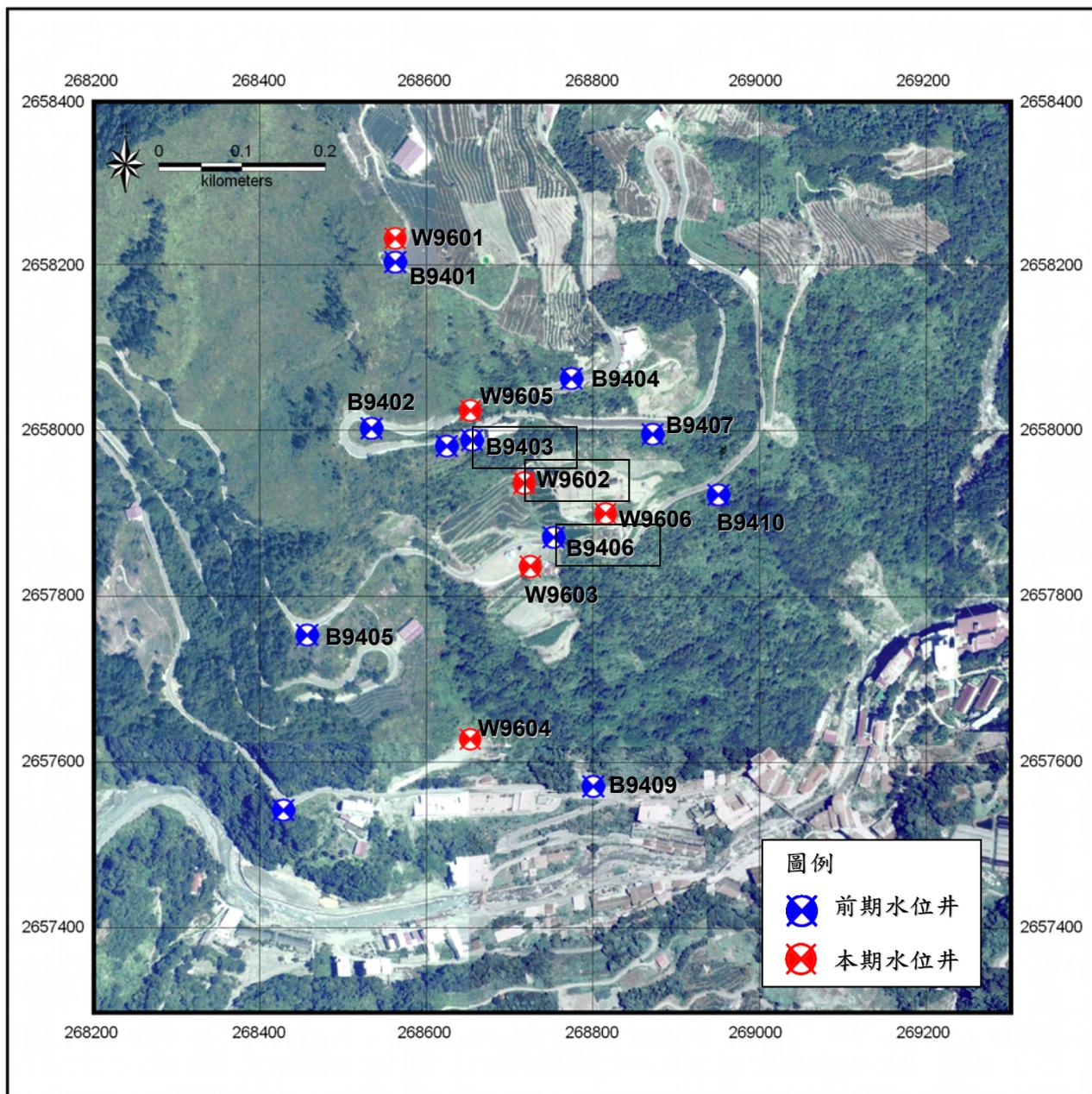


圖 8-2-6 地下水位井平面位置圖

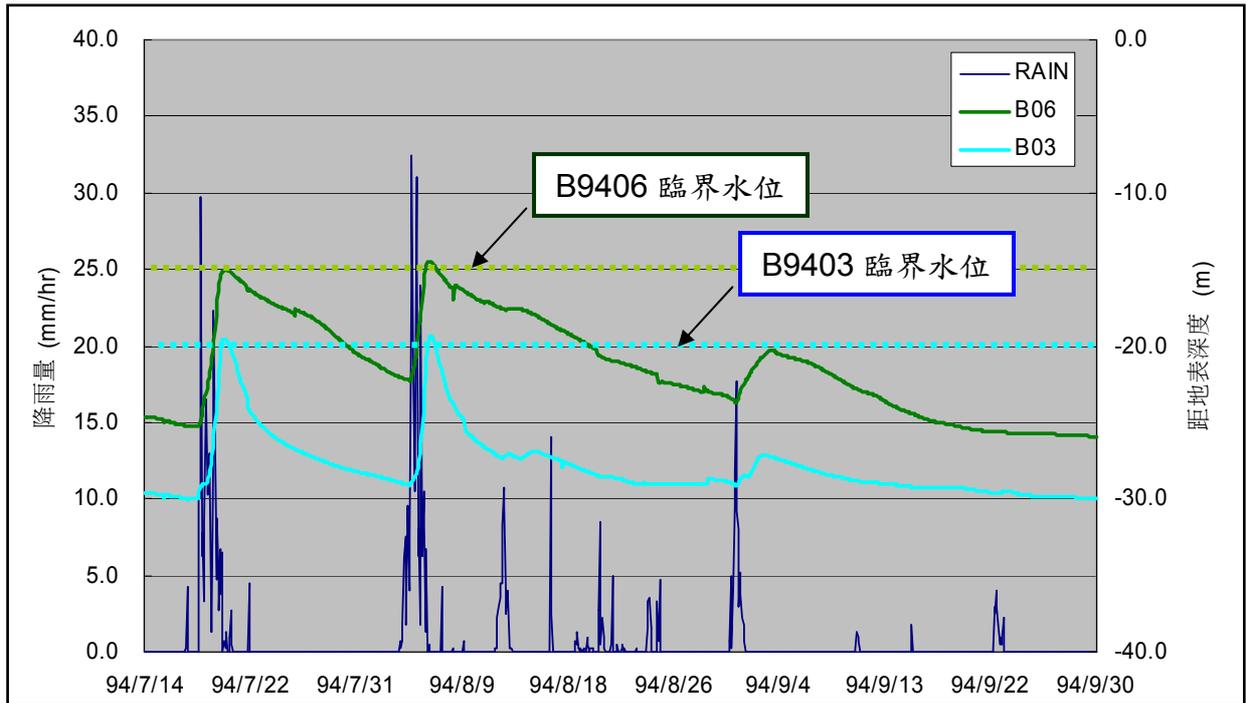


圖 8-2-7 歷史災害臨界地下水位記錄說明

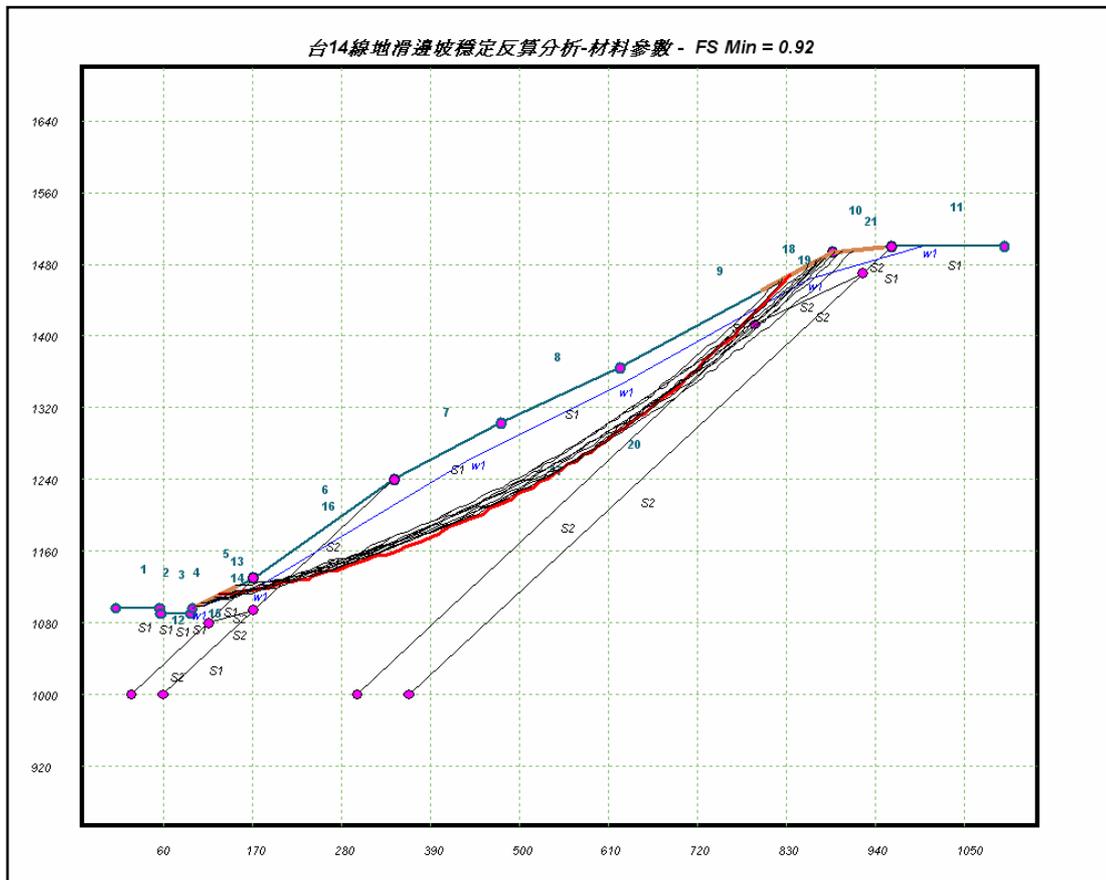


圖 8-2-8 邊坡穩定反算分析成果範例(瑪莎颱風歷史水位)

一、主要警戒水位判斷基準

依前文所述，以B9403孔位為地下水警戒基準值，而訂定滑動前的警戒水位，茲選取接近臨界狀況的歷史水位記錄加以分析，由圖8-2-9所整理之臨界水位相近幾次地下水位歷時曲線得知，當B9403孔位地下水位達距地表深度-20公尺時，為邊坡滑動前的臨界條件，因此建議邊坡的警戒水位為距地表深度-21.5公尺，根據經驗法則，當地下水位達到警戒水位後，若豪雨仍持續進行，從警戒到滑動臨界條件約有5-6小時，供居民緊急應變。

由以上討論率定計畫邊坡地下水位管理基準值：

1. 警戒地下水位判斷基準：B9403孔距地表深度-21.5公尺；
2. 臨界地下水位判斷基準：B9403孔距地表深度-20.0公尺；

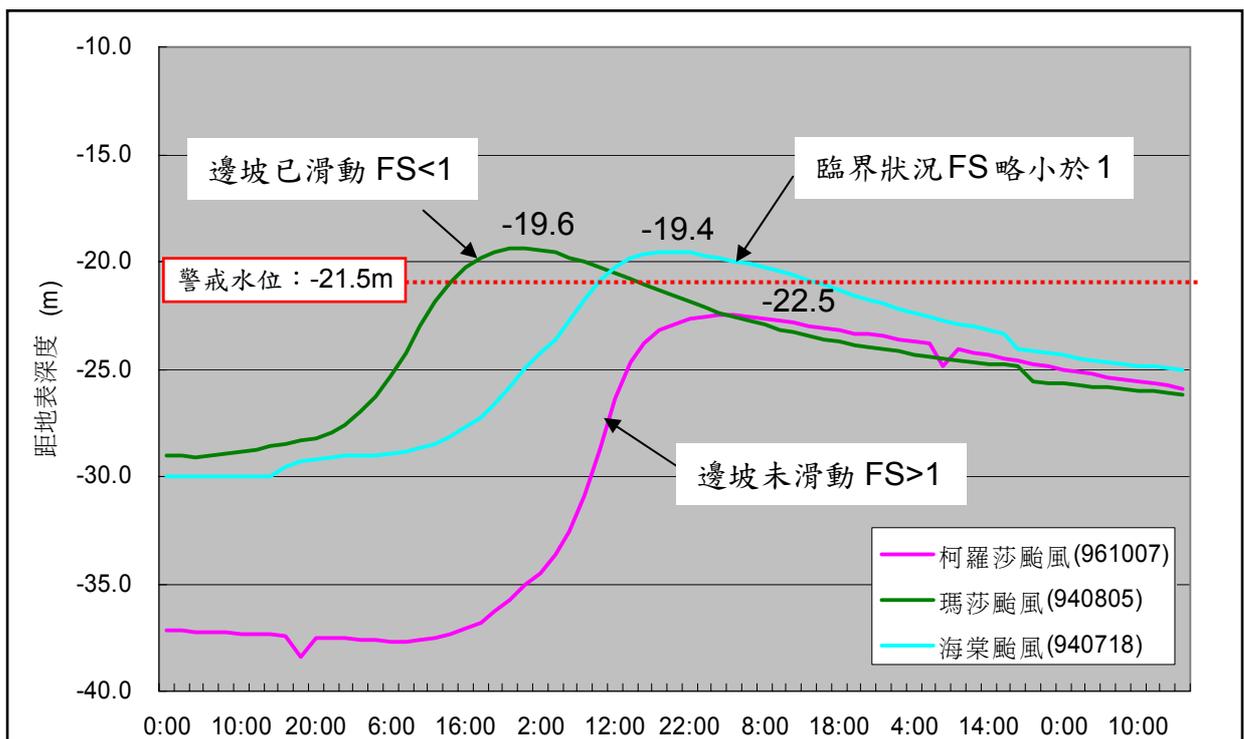


圖 8-2-9 B9403 警戒水位制定說明

二、警戒水位複核判斷基準

率定另一孔位的複核判斷基準值，其目的在確認計畫邊坡地下水位均位於高水位狀態，以免發生單孔異常造成警訊錯發的狀況，因此選取B9403孔附近的W9602孔作為警戒值發佈前的複核判斷地下水位井。

根據柯羅莎颱風期間，B9403孔與W9602孔的地下水位量測記錄得知，在同一場暴雨下，兩地下水位井在鄰近位置，地下水反應亦為相近變化趨勢。

所以在正常狀況下，當主要判斷地下水位井B9403孔達到警戒狀態的高地下水位時，W9602孔亦應處於高地下水位狀態。

因此，建議在主地下水位井B9403孔達到警戒地下水位時，由系統自動複核W9602孔是否亦處於高地下水位狀態，再發佈警戒訊息，建議之複核判斷值如下：

3. 警戒地下水位複核判斷基準：W9602孔距地表深度-21.0公尺；

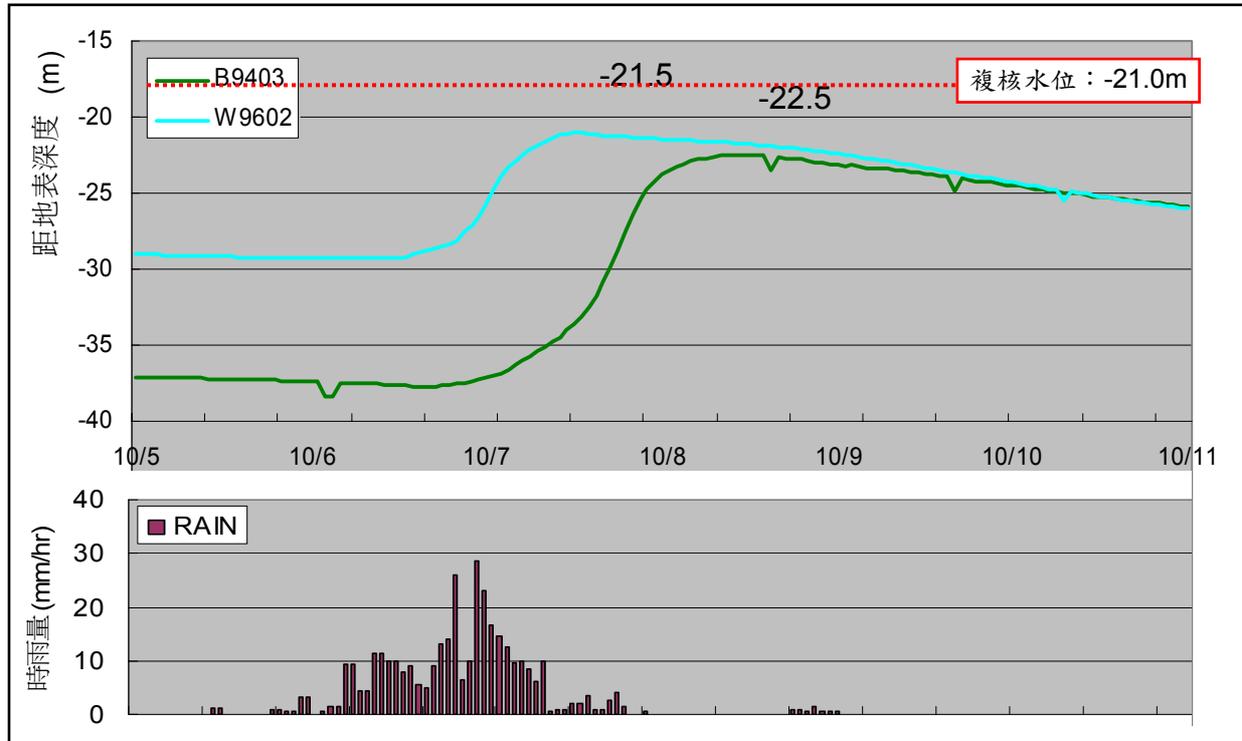


圖 8-2-10 柯羅莎颱風 B9403 / W9602 地下水位比對分析圖

8-2-3 地表傾斜儀管理基準值建立(確認滑動)

地表傾斜儀為直接量測坡體傾斜量的監測方式與地表伸縮計、孔內伸縮儀、自動化傾度管監測、管內應變計等等均為證實坡體滑動的最直接證明。

因此，許多國內外學者均對地表傾斜量、地表伸縮量應變速率與邊坡破壞的關係提出許多理論加以判斷，而在因地制宜運用相關理論於本計畫邊坡時，經考量本計畫邊坡為初次應用自動化變位監測儀器於即時量測，對於應變速率的掌握尚不如地下水位變化的瞭解透徹。

所以為保守起見，目前現階段建議以確認坡體已初步滑動即為行動值，而在坡體滑動確認的認定方式，依本計畫地表傾斜儀的精準度 0.005rad 加以考慮，若單一小時變位量與前一日平均變位量相較達2倍精準度即 0.010rad 時，應為可信的滑動傾斜量，而連續2小時均達到2倍精準度以上時，應可據以發佈警訊。

而從實務上探討， 0.010rad 的傾角變位為 1.0cm/m 的變位量，地下6公尺的傾斜變化即於地表產生 6cm 的裂隙，足為肉眼可堪確認，以此動員警消、交通單位作搶修、管制措施，亦可足以昭信於大眾。

因此，率定地表傾斜儀的滑動確認準則：

1. 傾角變位量大於24小時前觀測量的平均值 0.010 rad 以上；
2. 連續2小時均超過24小時前觀測平均值 0.010rad 以上即發佈警訊。

8-2-4 TDR監測佐證確認滑動深度

當邊坡發生滑動，地層間相對位移對於灌注於現地坡體的同軸纜線造成剪切或拉張等改變纜線幾何形狀的情形時，在TDR呈現波形上會在該處產生一個反射尖峰，經由走時分析可以明確定位出發生錯動的位置，而透過自動化監測，更可以協助應變中心專業人員判斷邊坡是否發生滑動以及發生滑動的深度。

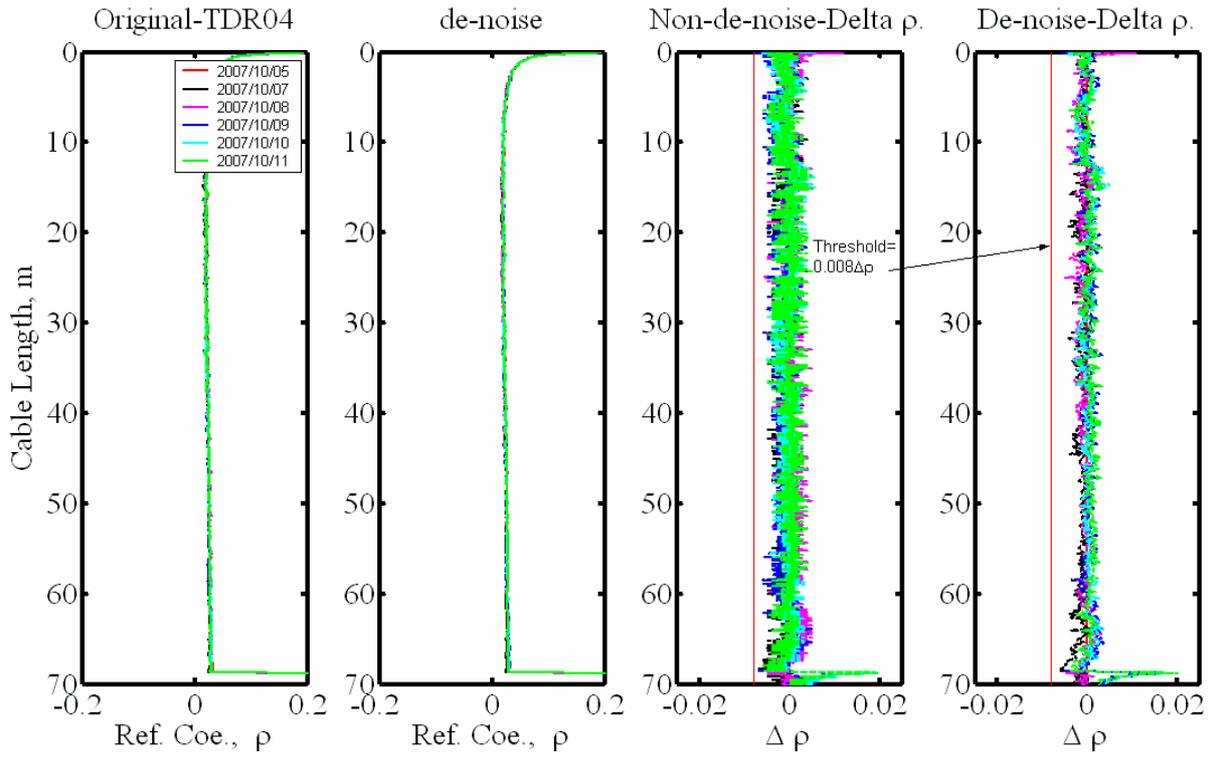
TDR觀測作業經自動化監測後，將依據每筆監測資料經運算處理，提供深度-TDR反射係數之關係圖，並將最新量測波形與初始波形進行比較，當反射係數變化值($\Delta \rho$) 超過門檻值(thresholds)，即需密切注意觀察。

偵測纜線是否產生錯動變形的門檻值之設定方法，主要利用考慮現地量測資料之訊號雜訊比，以初期尚未產生錯動之量測資料($\Delta \rho$)的包絡線決定，由試驗結果初步訂出RG-8(本計畫TDR01、02及04孔)與P3-500型纜線(本計畫TDR03孔)之門檻值分別為 $0.008 \Delta \rho$ 與 $0.004 \Delta \rho$ (如圖8-2-11鉛直紅線部分)，未來可再視現地情況及濾波的改良調整。

而在實務操作上，建議採下述方式進行，以發揮TDR自動化之後，助掌握滑動面監測的優勢：

1. 反射係數變化值($\Delta \rho$) 超過門檻值(0.008或0.004)時，由系統發佈訊息或終端機蜂鳴、警示，提醒操作人員邊坡可能發生異常狀況。
2. 應變中心專業人員接獲提醒訊息後，開始監控4處TDR監測孔位回傳之反射波形，若經判斷確認超出門檻值的波形反應確為地層錯動造成，則正式發佈確認警訊。

(1)RG-8型纜線現地反射波形



(2)P3-500型纜線現地反射波形

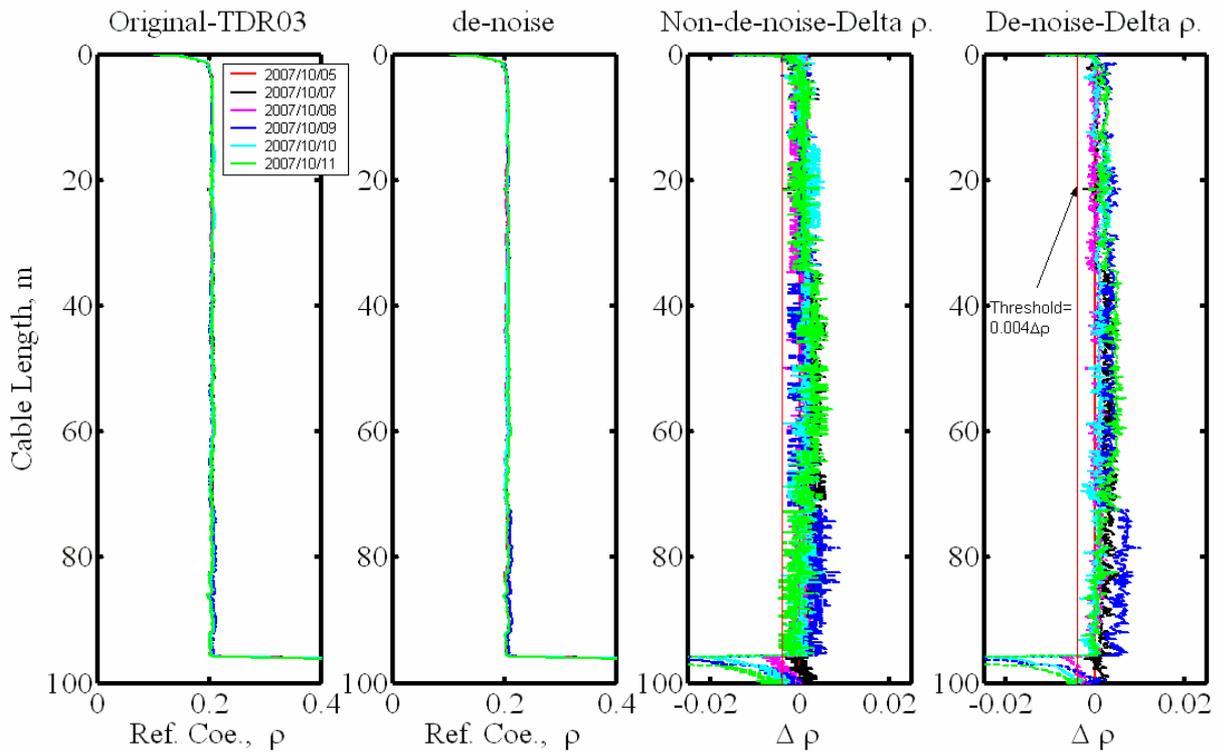


圖 8-2-11 TDR 門檻值率定說明

第九章 補充地質調查及相關試驗成果

9-1 補充地質調查成果

一、鑽探作業規劃

依前期傾度管監測成果，滑動體頭部及趾部佈置之傾度管在不同深度均量測到明確變位量，但滑動體腹部B06觀測井，僅量測到漸進式變位，並無明顯錯動跡象，為確認本地滑地是否存在深層滑動面及地質構造是否存有變異性，本期於滑動體腹部佈置TDR02及TDR03兩處100m深孔，滑動體頭部及趾部各佈置TDR01(50m)、TDR04(70m) 全程採HQ岩心取樣，取樣後裝設自動化TDR觀測井（TDR錯動感測儀）即時監測滑動體運動情形，以完整調查地滑地滑動規模及深度。另於TDR觀測井旁另作不取樣洗孔各50m，作地下水位觀測井專孔用。

另外為規劃設計集水井工程，選定兩處W9605(40m)及W9606(45m)進行集水井補充地質鑽探，鑽探取樣尺寸及深度整理如表9-1-1所示。

表 9-1-1 本期鑽探作業規劃表

孔號/監測用途	取樣尺寸	鑽探深度
B9601 / TDR01(TDR 監測)	HQ	50m
B9602 / TDR02(TDR 監測)	HQ	100m
B9603 / TDR03(TDR 監測)	HQ	100m
B9604 / TDR04(TDR 監測)	HQ	70m
W9601(水位井)	不取樣洗孔	50m
W9602(水位井)	不取樣洗孔	50m
W9603(水位井)	不取樣洗孔	50m
W9604(水位井)	不取樣洗孔	50m
B9605 / W9605(水位井)	HQ	40m
B9605 / W9606(水位井)	HQ	45m
合計：HQ 取樣 405m / 不取樣洗孔 200m		

此外，為完整說明本計畫邊坡地質調查成果，另整理前期鑽探孔位如表9-1-2所示，以及經濟部中央地質調查所「重大山崩災害潛勢地區災

害模擬與監測-第一階段廬山岩體滑動區調查工作」之地質調查鑽探孔位如表9-1-3所示，並整理前述三次鑽探孔位佈置如圖9-1-1所示。

表 9-1-2 前期鑽探作業一覽表

孔號/監測用途	取樣尺寸	鑽探深度
B9401/傾度管.水位井	NX	30m
B9402/傾度管.水位井	NX	40m
B9403/水位井	NX	40m
B9404/傾度管.水位井	NX	40m
B9405/傾度管.水位井	NX	40m
B9406/傾度管.水位井	NX	75m
B9407/傾度管.水位井	NX	40m
B9408/傾度管	NX	40m
B9409/傾度管.水位井	NX	45m
B9410/傾度管.水位井	NX	40m
B9411/傾度管	HQ	80m

表 9-1-3 經濟部中央地質調查所鑽探作業一覽表

孔號/監測用途	取樣尺寸	鑽探深度
A9612/傾度管.TDR 監測	HQ	51m
A9613/傾度管.水位井	HQ	50m
A9614/傾度管.TDR 監測	HQ	80m
A9615/傾度管.水位井	HQ	109m
A9616/水位井	HQ	50m
A9617/水位井	HQ	50m
A9618/傾度管.水位井	HQ	70m
E9601/孔內伸縮計	HQ/斜孔	40m

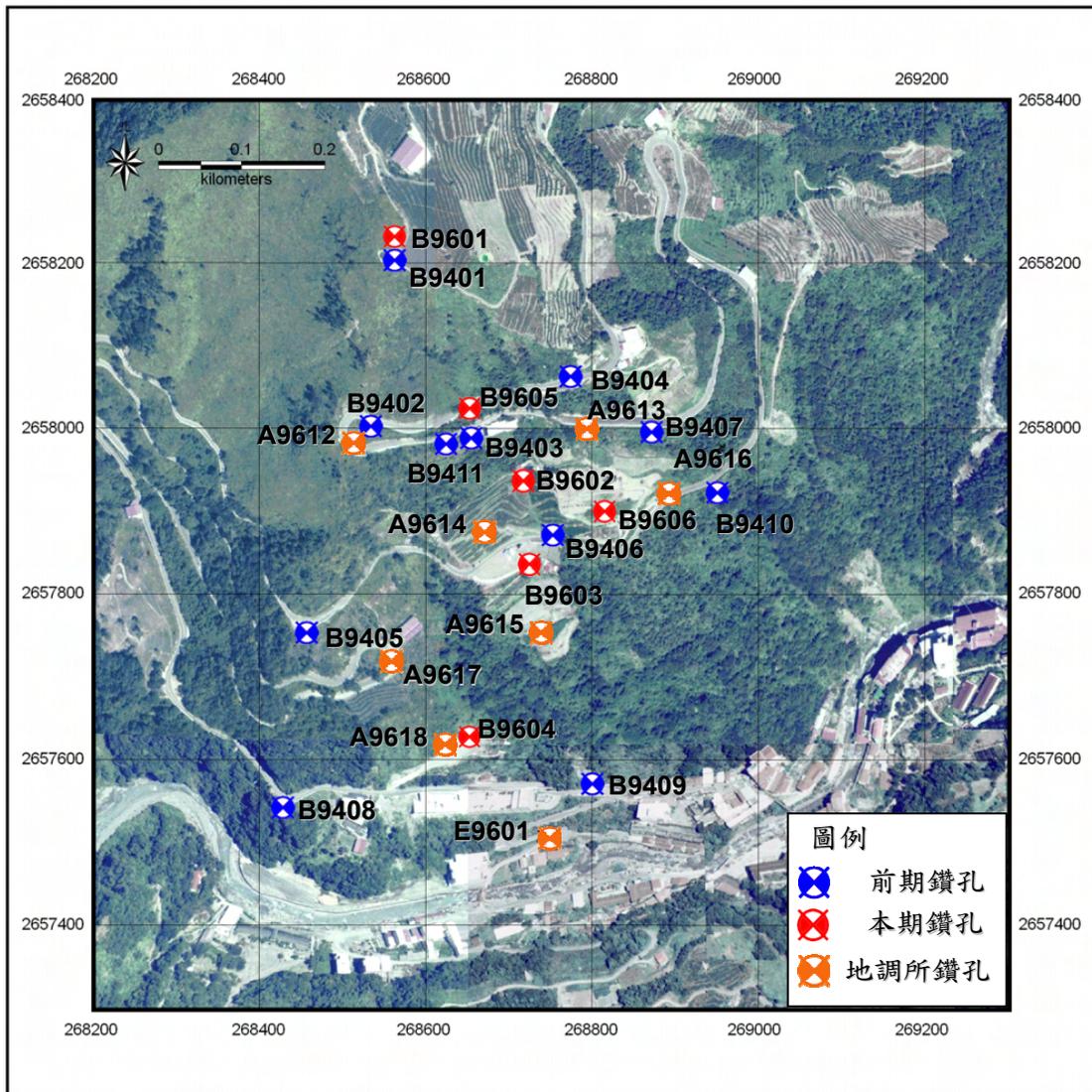


圖 9-1-1 鑽探孔位佈置圖

二、鑽探作業方法

(一) 鑽探進尺

本計畫鑽探採用KH-2油壓推進式鑽機，鑽探過程中使用套管保護孔壁，套管內徑不得小於取樣器及其配件之外徑，全程採用鋼索(HQ)取樣。

(二) 取樣

岩心取樣方式採全程鋼索(HQ)取樣，並可採取不小於50.8公厘直徑岩心之鑽頭和三套岩心取樣管進行。岩心取樣方法應參照ASTM D2113規定辦理，每次所取樣品長度以不超過2公尺為原則。為提高取樣率，應依岩層特性適當整理每次取樣長度。每次岩心取樣率應予記錄，供作試驗用之試樣岩心取出後，立即以保鮮膜包裹再用石臘包裹封

妥，並於岩樣外標示明晰之標籤，註明工程名稱、孔號、岩心箱箱號、取樣深度、岩性及取樣日期。此外，鑽探取樣時應控制鑽機之鑽桿擺動、轉速及水量，以避免岩心因鑽頭過份晃動而破裂或因磨損沖刷而無法取得。

所有取出岩心按正確之取樣深度依次排列，並置於堅固之岩心箱內予以保存。每公尺樣品予以分隔，每次取得之岩心放置於適當位置，未取得樣品之處則以木塊或保麗龍嵌入，並標明取樣之深度。每一岩心箱亦標明工程名稱、孔號、岩心箱箱號、鑽探日期及取樣深度。

三、試驗方法

(一)岩心一般物性試驗

岩石材料一般可由成因加以分類，雖然其組成及環境不同，而會有不同之物理性質如：含水量、孔隙率等，此類性質可間接反應其力學特性，由力學之觀點，亦可由物理性質加以分類，以供參考。本試驗項目包括含水量、孔隙率、單位重及比重等。各項試驗規範可參考英國工地調查規範(BS 5930(1981),P74)、ISRM “Suggested Methods for Determination Water Content Porosity, Density, Absorption and Related Properties” 相關規定辦理。

(二)岩石直接剪力試驗

本試驗之目的為測求岩石破壞面之抗剪強度(摩擦角)。本項試驗使用英國ELE公司製造之剪力儀進行試驗，其剪力能量10噸，正向力能量10噸，試體之最大尺寸可達30cm×30cm，以切割機將岩樣裁成高約10公分之試體，使夾心大致位於試體中央。使用模具將試體四周鑲上石膏，置入大小適宜之剪力盒中進行試驗。試驗時，其正向力採油壓自動補償方式維持定壓，其大小由壓力錶測讀，剪力採機械剪動方式，在讀數前10分鐘內，應變速率應小於0.1mm/min，若尖峰度可精確記錄，此速率可增加至最大0.5mm/min，若需要可降低變速率或延遲最後幾階剪力以符合要求。為適當的求出剪力變形量，在達到尖峰強度後須有0.55~5mm剪力變形讀數，在讀數前10分鐘內，應變速率應在0.02~0.2mm/min之間，在讀數期間，此速率可增加但不超過1mm/min。其剪力大小由壓力衝環測讀，由測微錶測讀正向及剪向變形量，試驗至殘餘

強度或剪力變形達20%即止。試驗步驟係照國際岩石力學會(ISRM 1981)規定辦理。

(三) 岩石弱面直剪試驗

岩石弱面直剪試驗係將所得之岩心試體中，選取具代表性之弱面，如節理面、劈理面、層面等，以石膏或水泥砂漿灌製試體，利用直剪儀，在不同之垂直正應力下施加水平力，求其剪力強度，進而評估弱面之破壞包絡線，試驗步驟參照ISRM“Suggested Methods for Determination of Direct Shear Strength”。

四、鑽探經過

計劃鑽探工作於民國96年7月13日開工，截至8月29日止完工，共計耗時一個半月，整體鑽探工作以三部鑽機於計畫區域TDR02孔、TDR03孔及TDR04孔起鑽，全程以套管跟進，不受坍孔影響。其中TDR02孔約在50m處岩體較為破碎且夾帶剪裂泥，進尺緩慢，以水泥灌漿後，鑽探過程順利。而TDR04孔鑽至預定深度50m後岩心仍相當破碎，因此決定加鑽20m，以了解溪床高程下之岩體情形。其餘鑽孔較無遭遇卡鑽等影響工進之情形，整體鑽探工作相當順利。相關鑽探進度如圖9-1-2所示：

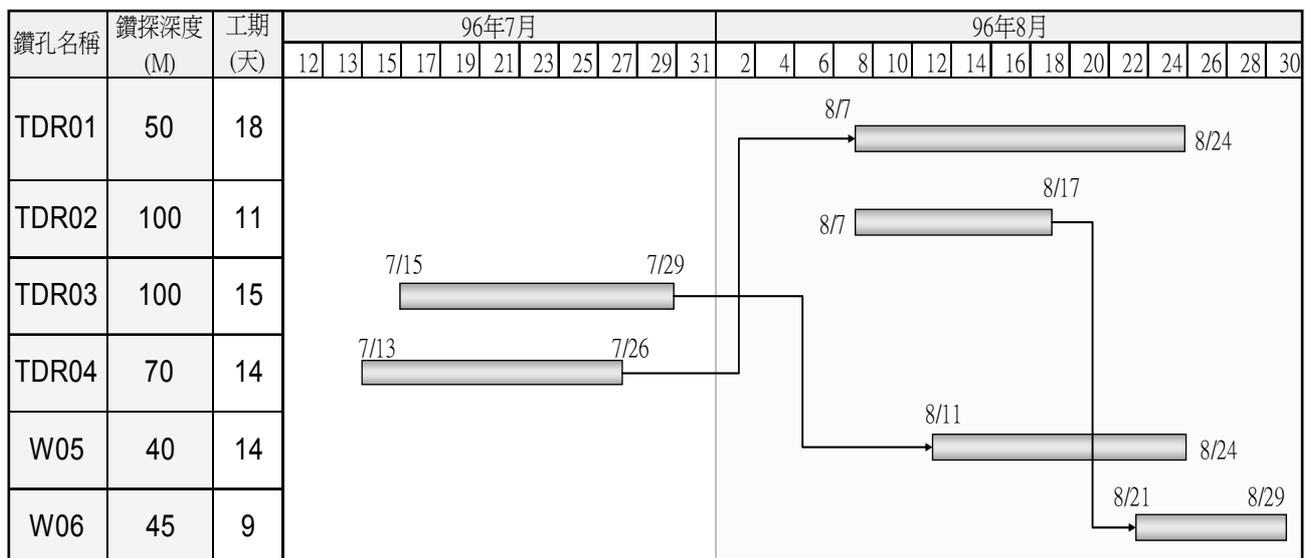


圖 9-1-2 鑽探工作進度圖

五、岩心取樣成果

本計畫地質鑽探成果岩心柱狀圖整理如附錄B所示，岩心照片整理如附錄C所示。

計畫區域地質情形經鑽探調查後，概要整理如下所述：

(一)崩積層

- 1.計畫區域之崩積層多為風化破碎板岩與土層混雜之堆積料，除TDR04較接近河床，崩積層較淺為4.7公尺外，其餘厚度約為12.45公尺至33.8公尺。

(二)岩盤

- 1.岩層以板岩分佈(廬山層)為主，少部分為砂質板岩分佈，偶有夾薄砂或紋層狀互層出現，本次計劃所取樣之成果，只有TDR04在深度68公尺至70公尺間有夾薄層砂岩。
- 2.板劈理非常發達，劈理角度多為40度至50度，但因邊坡擾動及地層構造的變化，時可見高角度或水平之劈理，且部分有劇烈扭曲現象。
- 3.自崩積層以下至新鮮岩層間之岩盤大多有剪裂破碎夾剪裂泥之情形，且常可見石英礦脈填充，尤其以TDR03鑽孔自覆蓋層23.7公尺至85.3公尺多為剪裂破碎帶。其餘鑽孔破碎帶厚度約為6.2公尺至58.6公尺。
- 4.深層劈理位態大多一致，節理略為發達且多為高角度節理。

(三)弱面

- 1.主要弱面為劈理面，節理局部中度發達。
- 2.計畫區域多有剪裂破碎夾泥之情形。
- 3.崩積層岩心可見劈理受擾動扭曲變形之情形。

9-2 相關力學試驗及參數

為配合集水井工程設計分析需要，特針對集水井補充地質鑽探之岩心試體，進行岩石方面之試驗，共計有一般物性試驗7組，岩石直剪4組及弱面直剪3組。相關試驗成果如附錄D。

相關力學試驗成果及取樣位置整理如表9-2-2~表9-2-4所示。

表 9-2-1 現地及室內試驗目的及相關規範

試驗項目	試驗目的	試驗相關規範
標準貫入試驗	求得現地土壤強度性質	ASTM D1586
一般物理性質試驗	求取土壤之基本性質	ISRM、ASTM
岩盤透水試驗	求取現地土壤或岩體之滲透係數	水利署水試所
岩石單軸壓縮強度試驗	求取岩心之單壓強度	ISRM、ASTM D2938
岩石弱面直剪試驗	試體弱面的剪力強度參數	ISRM、ASTM D2938
岩石三軸強度試驗	求取剪力強度參數(c及 ϕ)	ISRM
岩石靜彈性試驗	求取應力/應變曲線、變形模數以及包松比。	ISRM、ASTM D2938

表 9-2-2 岩石一般物性試驗成果表

鑽孔 編號	深度 (m)	r_d (t/m^3)	W_n (%)	Gs	e	試體說明
B9602	58.35-58.55	2.06	11.70	2.72	0.32	深灰色泥質板岩
B9605	35.00-35.70	2.26	7.65	2.73	0.21	風化破碎板岩
B9606	6.60-6.85	1.89	15.64	2.72	0.44	灰黑色板岩
B9606	18.00-18.30	2.29	6.85	2.75	0.20	灰黑色板岩
B9606	26.20-26.60	2.13	10.42	2.74	0.29	灰黑色板岩
B9606	35.70-36.00	2.23	6.02	2.73	0.23	灰黑色板岩
B9606	38.70-39.10	2.24	7.89	2.78	0.24	灰黑色板岩

表 9-2-3 岩石弱面直接剪力試驗成果表

試體編號	W5	W6	W6
取樣深度(m)	30.0-30.7	18.0-18.3	38.7-39.1
C_p (kg/cm ²)	0	0	0
ϕ_p	29.10	40.50	24.30
C_r (kg/cm ²)	0	0	0
ϕ_r	27.80	29.90	22.90

表 9-2-4 岩石直接剪力試驗成果表

孔號	B9606	B9606	B9606	B9606
取樣深度(m)	6.60-6.85	6.60-6.85	6.60-6.85	35.7-36.0
Gs	2.72	2.72	2.74	2.73
γ_d (t/m ³)	1.89	2.06	2.13	2.22
w_n (%)	15.64	11.74	10.40	6.02
C_p (kg/cm ²)	0.07	0.84	0.66	0.33
ϕ_p	36.4	28.3	24.0	31.4
C_r (kg/cm ²)	0.04	0.30	0.60	0.10
ϕ_r	29.7	26.3	16.9	29.6

9-3 現地透水試驗成果

為配合規劃設計集水井工程需要，了解現地透水情形，俾能提供相關之滲透性參數，於W9605及W9606進行現地定水頭透水試驗。

一、設備

- (一) 栓塞：用於透水試驗之栓塞應屬雙圈型式，或氣壓式單圈型式，並須可承受大於 20kg/cm^2 之壓力。惟本計畫以氣壓式栓塞為主。
- (二) 水錶：除甲方工地工程師另有規定外，所用之水錶最小讀數為0.1公升以下(含)，並可顯示累計值。
- (三) 注水管：介於孔口及檢塞間之注水管須為尺寸一致之光滑鋼管，其內徑為19公厘(3/4吋)或25公厘(1吋)。為使注入之壓力水不致因水流阻礙而產生亂流起見，注入水管之聯接應採用平接頭。

二、試驗程序

- (一) 本小節所述之透水試驗得於逐孔段鑽孔完成後採分階方式施行。於施行透水試驗期間，須將栓塞固定於該孔段試水之頂部，待透水試驗完成後始得進行下一步之工作。此項步驟須重覆施行直至所需之深度。
- (二) 完成鑽孔後以鑽桿或沖管，用水將孔內石粉岩屑沖除乾淨。
- (三) 在施行透水試驗之前應先量測地下水位。地下水位之量測須採用導電式水位探測器，每隔10分鐘探測一次，連續2次量測結果相同(最後2次差值在1公分以內者可認為相同)，即為該孔段之地下水位。
- (四) 試驗時，開啟控制水閥，保持上下端水頭固定，俟1、2、4、8、16、32、64、128分鐘後，記錄水錶讀數。
- (五) 透水試驗紀錄項目包括：孔號、試驗孔段深度、注入管內徑、注入管地面長度、注入管地下長度、地下水深度(自地面起算)和注入水量等資料，以供計算該孔段之流量及滲透性係數。現地試驗之照片如照片9-3-1及照片9-3-2所示。詳細之試驗結果，如附錄E定水頭透水試驗工作成果表所示。

相關之試驗成果整理如表9-3-1所示。



照片9-3-1 現地試驗情形



照片9-3-2 現地記錄表

表 9-3-1 定水頭透水試驗成果表

試驗孔號	W9605	W9606	W9606	W9606
試驗深度(m)	30.00-32.00	9.00-10.00	24.00-25.00	39.00-40.00
地下水位(m)	19.7	15.0	15.0	30.5
試驗長度(cm)	200	100	100	100
平均透水係數 (cm/sec)	1.75×10^{-5}	2.36×10^{-4}	4.48×10^{-4}	1.17×10^{-4}

第十章 調查成果彙整分析

10-1 地質調查成果彙整說明

本計畫邊坡自民國94年起，相關調查計畫計有以下三項：

- 1.民國94年由本分局前身水土保持局第三工程所辦理「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」(簡稱：前期計畫)。
- 2.民國96年本分局接續辦理「廬山地滑監測及後續治理規劃」(簡稱：本期計畫)。
- 3.民國96年經濟部中央地質調查所「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測-第一階段廬山岩體滑動區調查工作」(簡稱：地調所計畫)。

上三項計畫中為調查本計畫邊坡地質分佈情形，共採用以下幾種方式進行探查，並整理各項調查工作配置如以下各圖表所示：

- 1.地表地質調查。
- 2.地質鑽探調查。
- 3.地球物理探測調查(包含折射震測及地電阻影像探測)。

表 10-1-1 計畫邊坡近年地質鑽探統計表

前期計畫			本期計畫			地調所計畫		
孔位	深度	方法	孔位	深度	方法	孔位	深度	方法
B9401	30m	NX	B9601	50m	HQ	A9612	51	HQ
B9402	40m	NX	B9602	100m	HQ	A9613	50	HQ
B9403	40m	NX	B9603	100m	HQ	A9614	80	HQ
B9404	40m	NX	B9604	70m	HQ	A9615	109	HQ
B9405	40m	NX	B9605	40m	HQ	A9616	50	HQ
B9406	75m	NX	B9606	45m	HQ	A9617	50	HQ
B9407	40m	NX				A9618	70	HQ
B9408	40m	NX				E9601	40	HQ/斜孔
B9409	45m	NX						
B9410	40m	NX						
B9411	80m	HQ						
合計	510m		合計	405m		合計	500m	

表 10-1-2 計畫邊坡近年地物探測統計表

前期計畫					
測線	長度	探測方法	測線	長度	探測方法
L9401	670	地電阻 影像探測	L9404	345	折射震測
L9402	540		L9405	670	
L9403	430		L9406	305	
合計	1640m		合計	1320m	

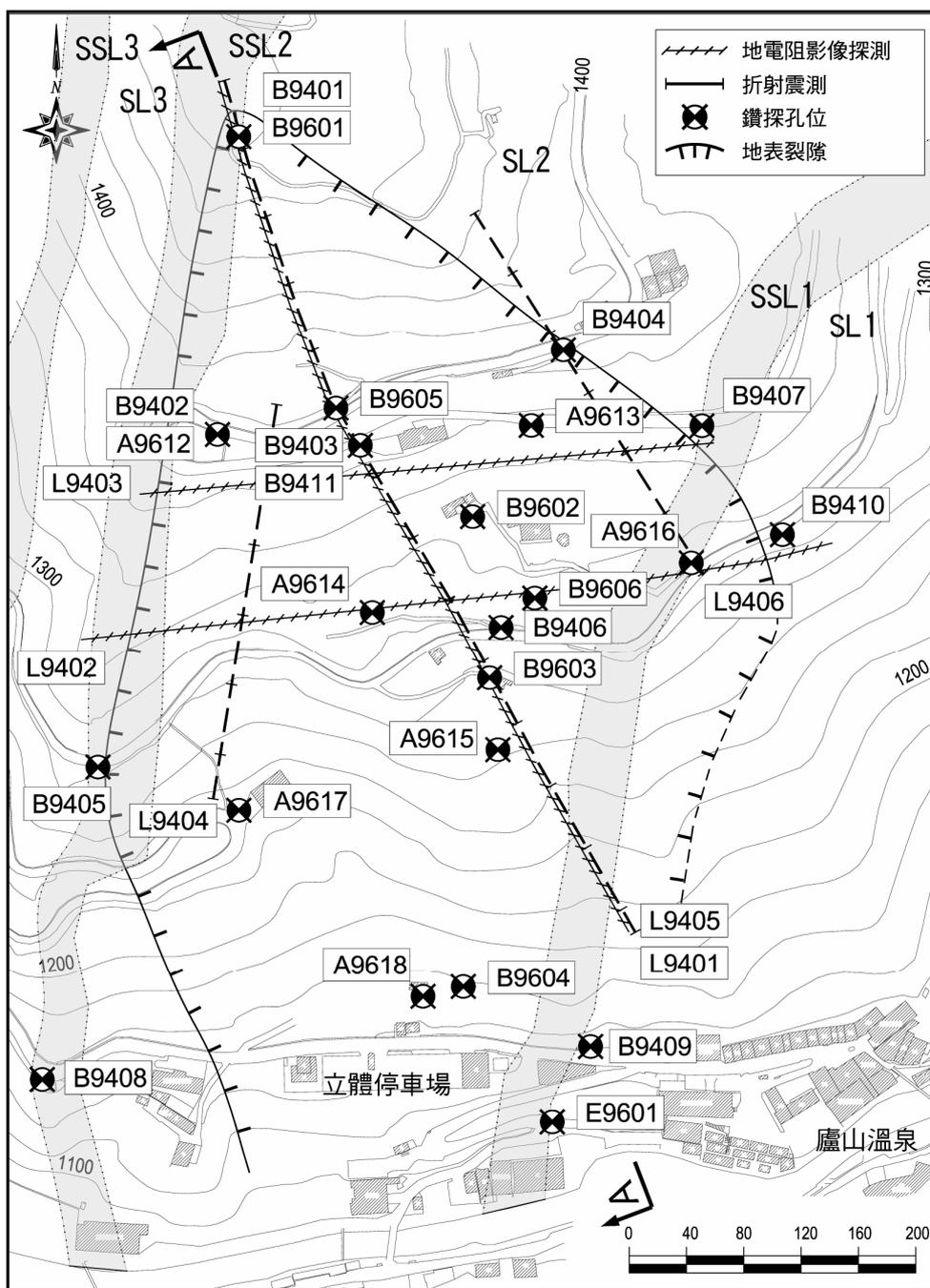


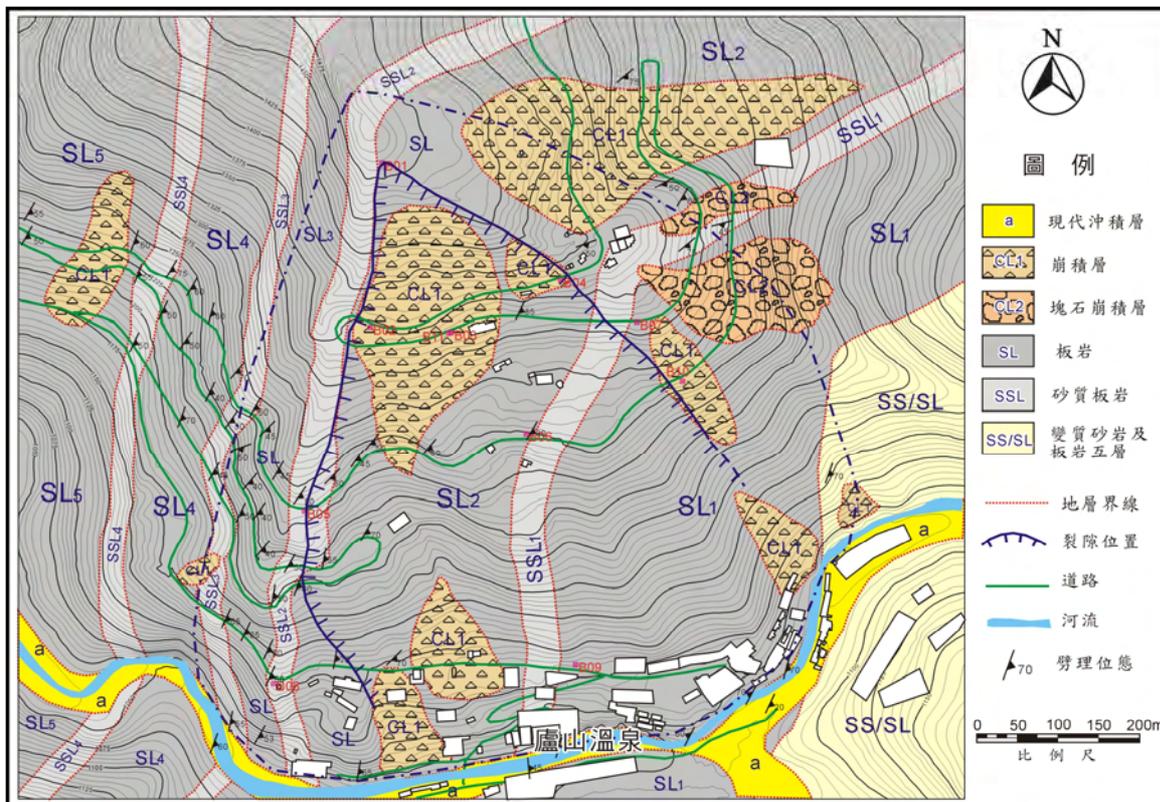
圖 10-1-1 計畫邊坡近年地質調查總佈置圖

以下整理各項地質調查成果說明如下：

10-1-1 岩層及岩性分佈

本地區為廬山層標準出露地點，區域岩層分佈主要屬廬山層春陽段，岩性以劈理面發達的暗灰色板岩為主。根據前期計畫地表地質調查成果(圖10-1-2)，將本地區板岩岩層依其岩性概分為板岩(SL)及砂質板岩(SSL)兩大類，概要敘述兩種岩層性質如下：

- 1.板岩(SL)：板岩為本地區最主要之岩性，一般為灰黑色，質地堅硬，劈理面發達，越靠近地表，劈理面開裂程度越明顯，並多呈風化狀態，部分劈理發達並有重力潛移現象，使劈理呈現層間扭曲狀；劈理間隙多在1公分以下，劈理傾角度多為40度至70度之間，但時可見高角度劈理；於薄互層處，劈理多與層理平行。
- 2.砂質板岩(SSL)：部分板岩因砂質含量較高，具有類似砂岩之特徵與產狀，與板岩(SL)略有不同，因此歸類為砂質板岩。本類岩性劈理面較不發達，常被節理切割成塊狀，岩性通常較堅硬，常形成地形上的突出部。



(改繪自台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程)

圖 10-1-2 地表地質調查成果

兩種不同岩性之岩盤在地表的露頭與鑽探所獲致的岩心亦呈現出截然不同的型態，詳如圖10-1-3所示。

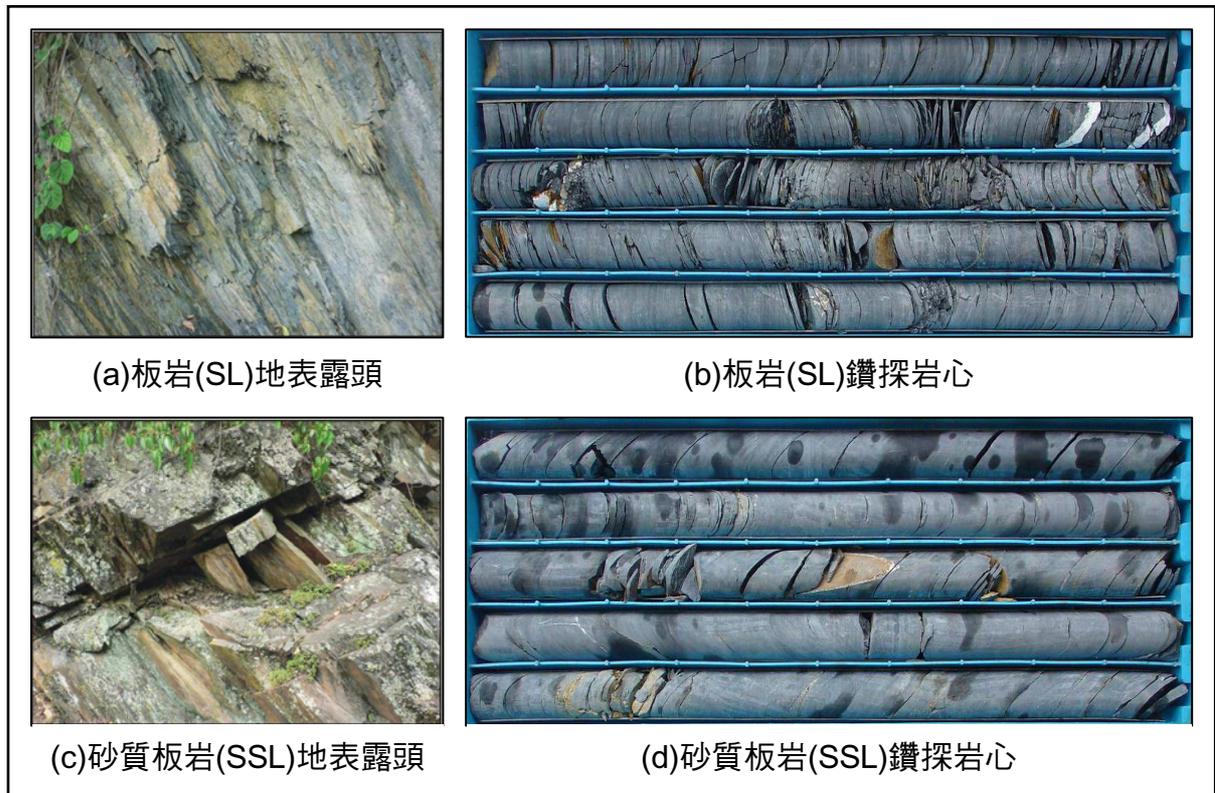


圖 10-1-3 板岩及砂質板岩岩性差異

在岩層分佈上主要以板岩(SL)為主，砂質板岩(SSL)則呈帶狀出露在板岩(SL)層內，而現地崩積層多為兩種岩層風化後堆積材料。前述幾條帶狀砂質板岩(SSL)層的走向大致平行，並與區域板劈理的走向一致，為東北-西南走向，向東北傾斜；而在地質鑽探進尺經過砂質板岩(SSL)帶分佈深度附近時，多會發現一厚度數公尺到十公尺左右的砂質板岩(SSL)緻密岩心(圖10-1-4)，但從板岩(SL)轉變到砂質板岩(SSL)之間為一漸進變化的岩性改變，兩者之間並不像沈積岩會有明顯的分界。

除了從地表露頭及鑽探岩心可發現兩種不同岩性之差異以外，由地電阻影像剖面探測成果同樣反應類似岩性變化，在板岩(SL)區可以發現電阻值反應較低，而砂質板岩(SSL)區則電阻值反應較高，高低電阻值反應的分佈位置大致與地質調查成果相符，也可以歸納出數條高電阻值的帶狀分佈(圖10-1-5)。

板岩與砂質板岩的工程性質差異，主要在抵抗風化的能力不同。板岩劈理發達，地下水容易入滲，長久作用下形成厚層風化軟弱地帶；而砂質

板岩岩體較完整，抵抗風化能力相對較佳，經鑽探獲取的岩心品質較為良好，從折射震測成果呈現高速帶分佈亦顯示岩體緻密之特性。

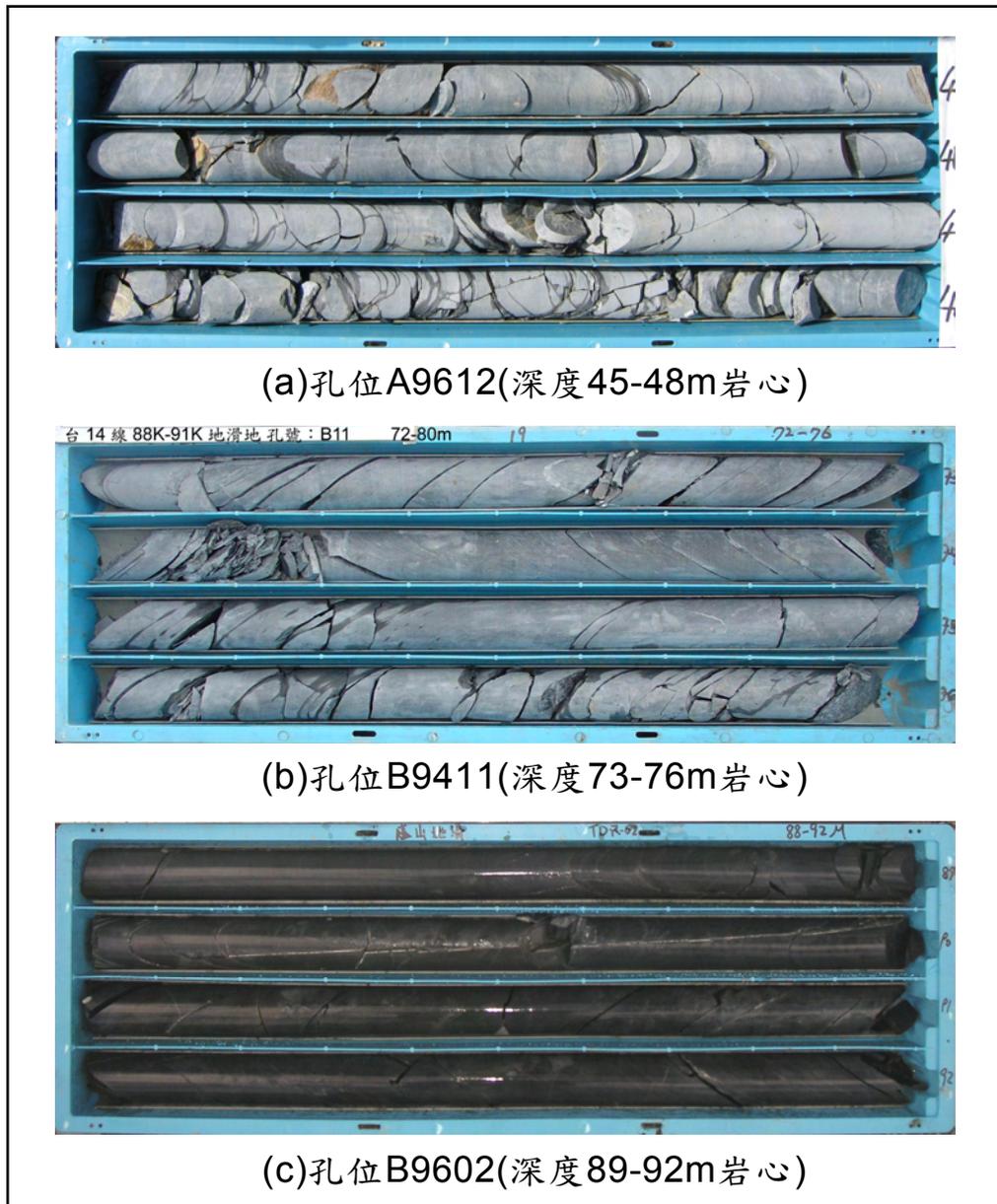
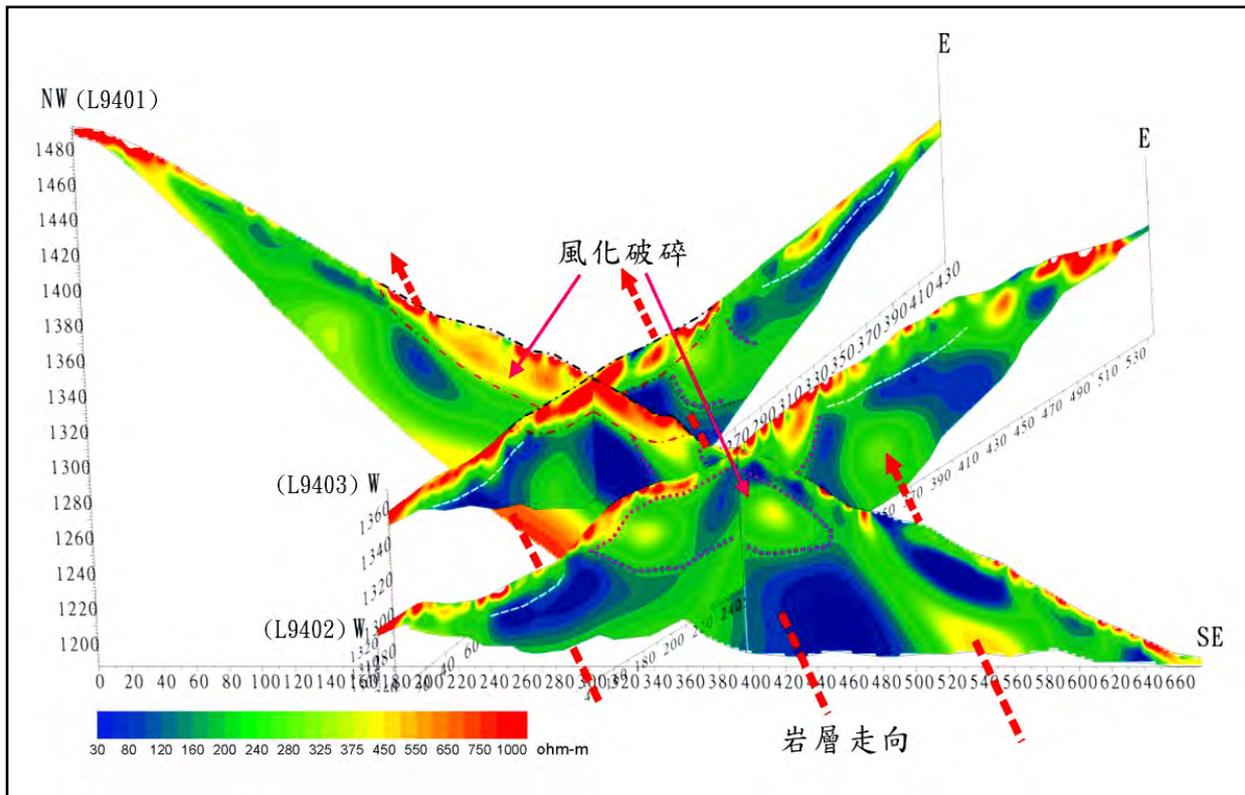


圖 10-1-4 砂質板岩(SSL)岩心照片



(改繪自台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程)

圖 10-1-5 岩性分佈地電阻反應成果

10-1-2 弱面分佈情形

以往研究指出，在廬山到中央山脈西側之間的板岩帶只有一組遍佈的劈理，此組遍佈的岩盤劈理屬軸向劈理，其位態為東北-西南走向，並向東傾斜，傾角約40-60度之間(羅偉，2007)。

根據前期研究的調查成果，本邊坡的弱面位態分佈與前述研究大致相符，主要弱面即為該組遍佈的板岩劈理面，經實地量測之節理統計結果，其位態大致為北偏東10至40度，向東南傾斜40至70度左右。

除主要弱面(即劈理面)之外，本地區仍常見到兩組節理，即走向節理與傾向節理(圖10-1-6)，其傾角多在40度至70度間。在這兩組節理中，又以走向為北偏西，向西南傾斜的節理組(傾向節理)為最優勢之節理(predominant joint)。此優勢節理之走向與區域附近斷層構造線走向頗為一致，顯示本邊坡地質特性仍受大區域地質構造型態所影響。



資料來源：民95年「台14線地滑地調查治理規劃工程」

圖 10-1-6 計畫區域弱面特性說明

10-1-3 岩層風化分佈情形

彙整近年於計畫邊坡的地質調查資料(圖10-1-1)，發現在坡體中央板岩層SL2所在區域(圖10-1-5中標示風化破碎位置)，岩層高度風化且厚度極深，可能深達40至50公尺以上，地質鑽探孔位B9411、B9602、B9606、B9406及B9603等孔即位於此一區域，在深度40至50公尺之間仍可以發現岩心高度鏽染、破碎夾泥的情形(圖10-1-7)，而將鑽探資料與折射震測成果相互比對後，發現高度鏽染、破碎夾泥的深度大概與震測波速1500m/sec的分佈線相當(圖10-1-8)，而若由該震測波速的分佈情形觀察，在坡體中央的板岩層SL2的確存在一岩盤低窪帶。

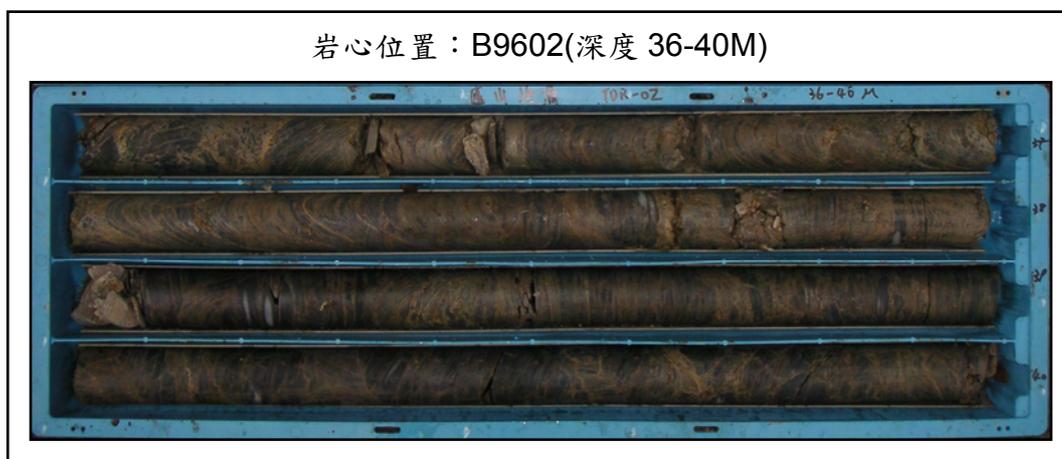


圖 10-1-7 岩盤深處高度鏽染、風化夾泥岩心情形

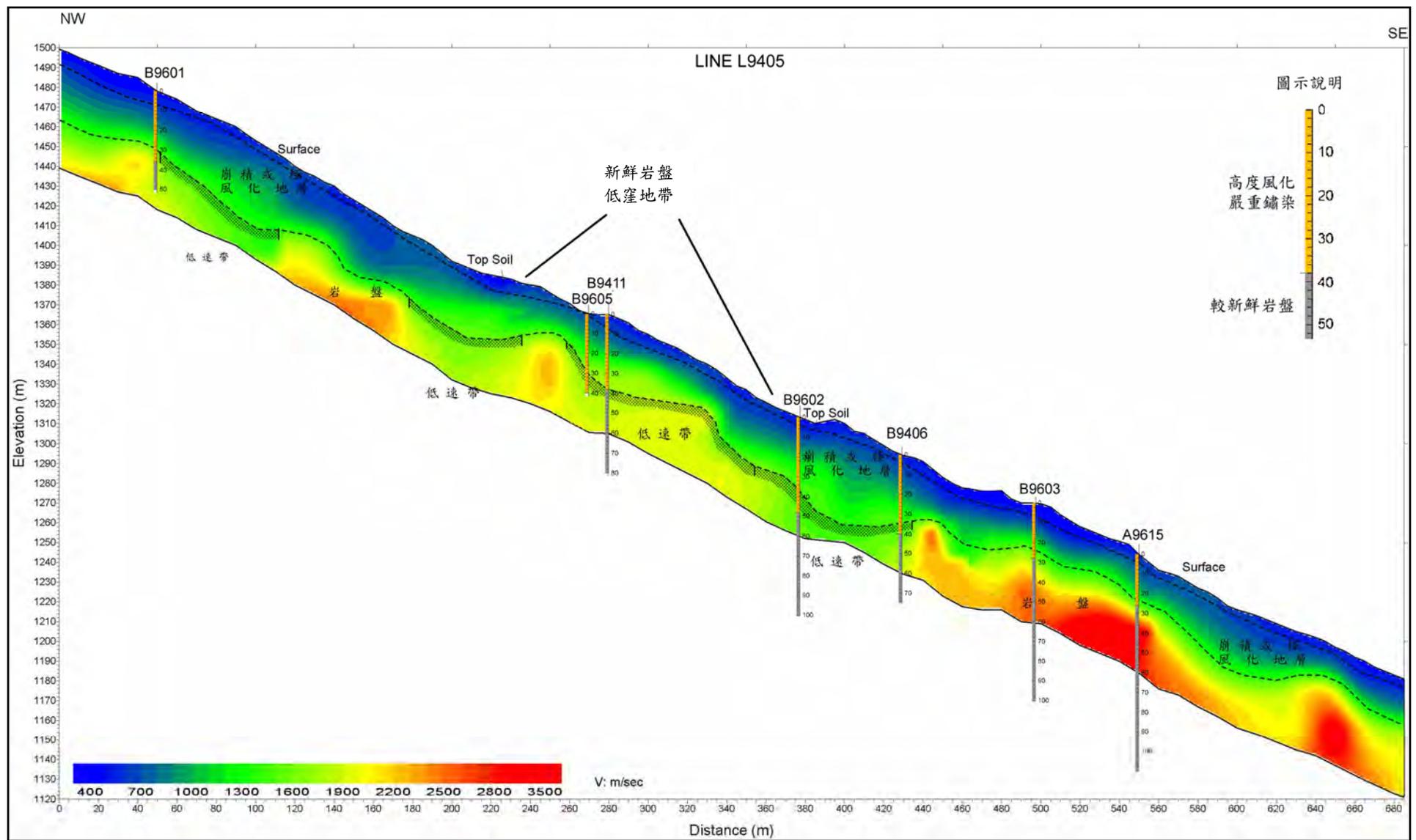


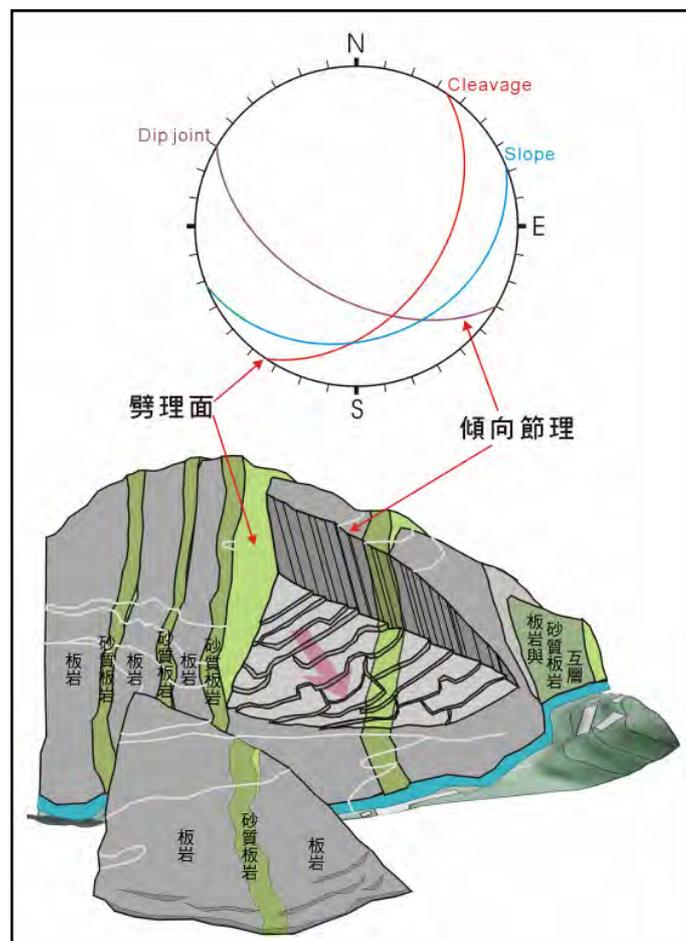
圖 10-1-8 折射震測與鑽探成果套繪說明

10-1-4 地質構造模型

由前述地質調查的成果，可勾勒出本邊坡的地質構造模型(圖 10-1-9)：本地區岩層分佈主要以板岩(SL)為主，但存有數條帶狀的砂質板岩(SSL)分佈；砂質板岩(SSL)層的走向與劈理面走向平行，與邊坡坡面走向呈小角度斜交，但岩層傾角大於坡面坡度。

邊坡的主要弱面為劈理面，其次為傾向節理面。此兩組弱面與坡體構成一潛在岩楔，但弱面交線傾角大於坡面傾角，依據邊坡楔型破壞檢驗法則，理論上岩楔並無滑動之可能。但由於本邊坡實際上是由無數劈理發達的板岩岩楔所組成，而非單一完整的大型岩塊，在重力及其他環境因素作用下仍有變形滑移之趨勢。

圖 10-1-9 為本邊坡的 3D 立體地質模型，值得注意的是在變質岩區中，板岩與砂質板岩的分界不若沈積岩明顯，且常為漸進的過渡變化，本圖僅為方便說明所作的簡化示意。



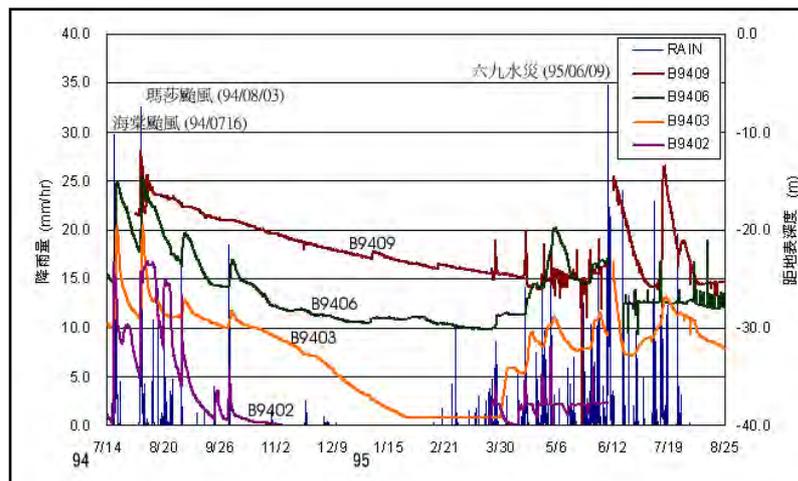
資料來源：民95年「台14線地滑地調查治理規劃工程」

圖 10-1-9 地質構造模型示意圖

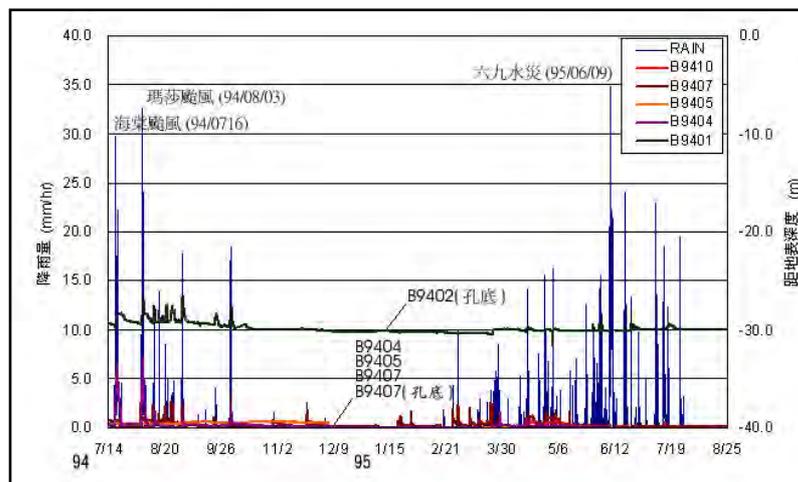
10-2 地下水調查成果

經調查發現，本邊坡位於滑動區中央的觀測孔，在暴雨時可以偵測到明顯的地下水蓄昇反應(圖10-2-1a)；而位於滑動區外圍或邊緣的觀測孔則幾乎量測不到地下水水位變化(圖10-2-1b)。推究其可能原因如下：

1. 滑動體邊緣經長時期滑動作用下，在地形上已形成兩道脊線，山脊線的降雨逕流容易往兩側散去，入滲機會較低。
2. 地下水流動需要岩體裂隙提供空間，滑動體內岩層經錯動後板岩開裂程度較大，相對提供較充足地下水流動空間。
3. 經現地透水試驗發現，滑動面上因為摻雜剪裂泥等材料，所以滲透性較低，相對形成阻水；而邊緣的滑動面較淺，地下水不易往深處入滲。



(a)滑動體中央地下水變化情形



(b)滑動體邊緣地下水變化情形

圖 10-2-1 孔位位置與地下水變化特性說明

若將主要的縱斷面(圖10-1-1中A-A剖面)的地下水變化現象從上而下加以探討，可以歸納出以下三點特性：

1. 坡趾處：從坡趾處的地下水位井監測資料(如圖10-2-6中B9409、B9604孔)，發現下邊坡處的地下水長期處於積蓄、未有效消散的狀態；而從民國95年水保局三工所在下邊坡處打設的橫向集水管加以觀察，亦可發現該處排出之地下水終年不斷，顯見其地下水脈之豐沛。



圖 10-2-2 坡趾處橫向集水管洩水情形

2. 坡體中段：此處的地下水位井(如圖10-2-6~圖10-2-7中B9403孔、B9602孔、B9603孔)在豪大雨時會有約10公尺上下的水位抬昇變化，顯示本處地盤在豪大雨時提供相當空間供地下水流動，而此一區域亦為10-1-3節所述新鮮岩盤低窪之區域。

而在台14線89K+800附近有數處橫向集水管在雨季會有地下水排出的情形，但是當進入冬季，附近孔位地下水位下降之後，該處排水亦告終止，顯示在坡體中央新鮮岩盤低窪之區域，在雨季時積蓄大量地下水。



圖 10-2-3 台 14 線 89K+800 處橫向集水管洩水情形

3. 坡頂處：從坡頂處的地下水位井監測資料(如圖10-2-6中B9601孔)，可以發現除非雨勢夠大，否則在坡頂處的水位井甚少有地下水反應。

整理A-A剖面地下水變化情形如圖10-2-5所示。

綜合以上地下水觀察現象歸納以下幾點推論：

1. 從坡頂或兩側邊緣孔位甚少地下水反應的情形研判，本邊坡的地下水應該沒有外來補注來源。
2. 坡體中段明顯蓄積地下水的區域，正是地質鑽探最破碎，震測探測低速帶分佈較深的區域，同時也是滑動深度最深的位置，顯示破碎岩體確實提供地下水流動空間。
3. 當坡體中段孔位地下水位在冬季逐漸消散下降時，坡趾處的孔位地下水位才稍有下降，但是坡面仍然終年有地下水滲出。在沒有外來地下水補注來源的情形下，坡體內可能蘊含相當大量的地下水體持續向下邊坡處補注。

綜合以上說明，彙整計畫邊坡地下水調查綜合說明如圖10-2-4所示，根據各項調查資料顯示，推估地下水係由豪雨逕流入滲所致，初步評估並無其他區域外地下水來源；而地下水在坡體內之流動，由地下水位井之監測資料顯示，在滑動體中央的區位明顯有地下水流動變化跡象，若再配合地形因素及地表所觀察之坡面滲水及山溝位置，則可推斷計畫邊坡之地下水敏感區域及可能流向如圖10-2-4中所示。

而此一地下水敏感區域與地質上的分佈有相當高之關聯性，此區域與板岩層SL2所在位置大致相符，而探測所得之厚層風化板岩區域，也大致為地下水敏感之分佈區域。

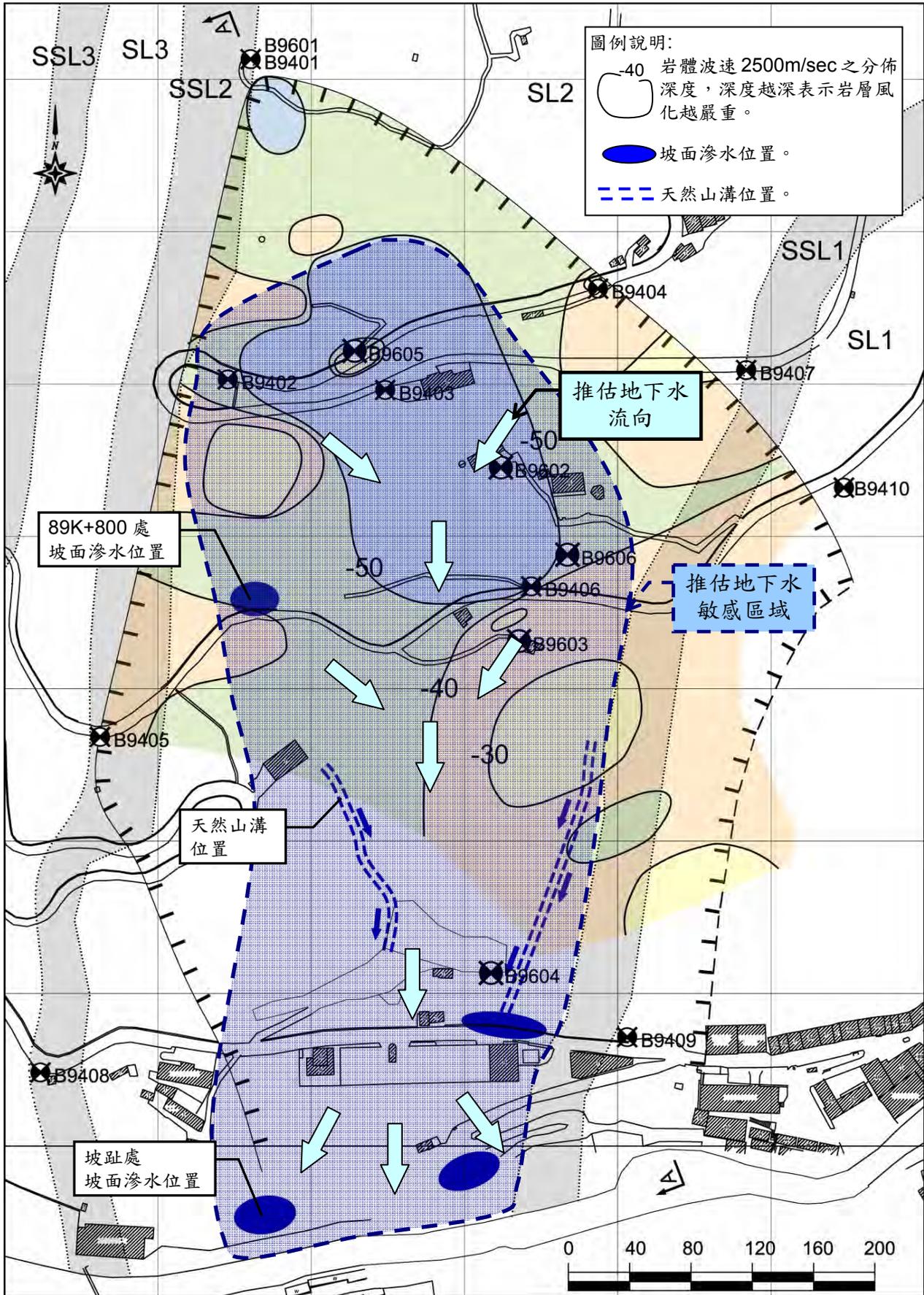


圖 10-2-4 地下水調查綜合評估說明

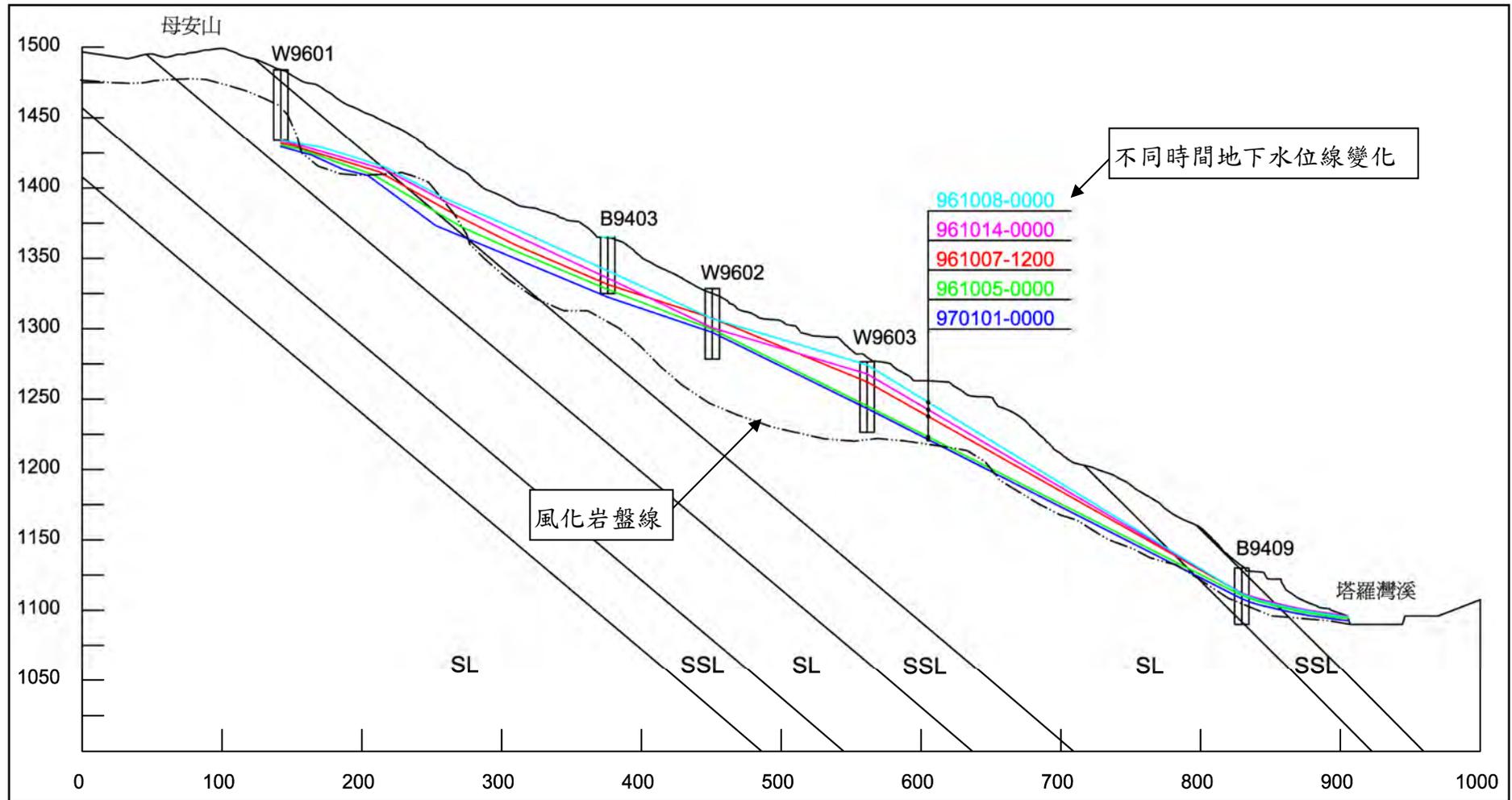


圖 10-2-5 A-A 剖面地下水變化情形

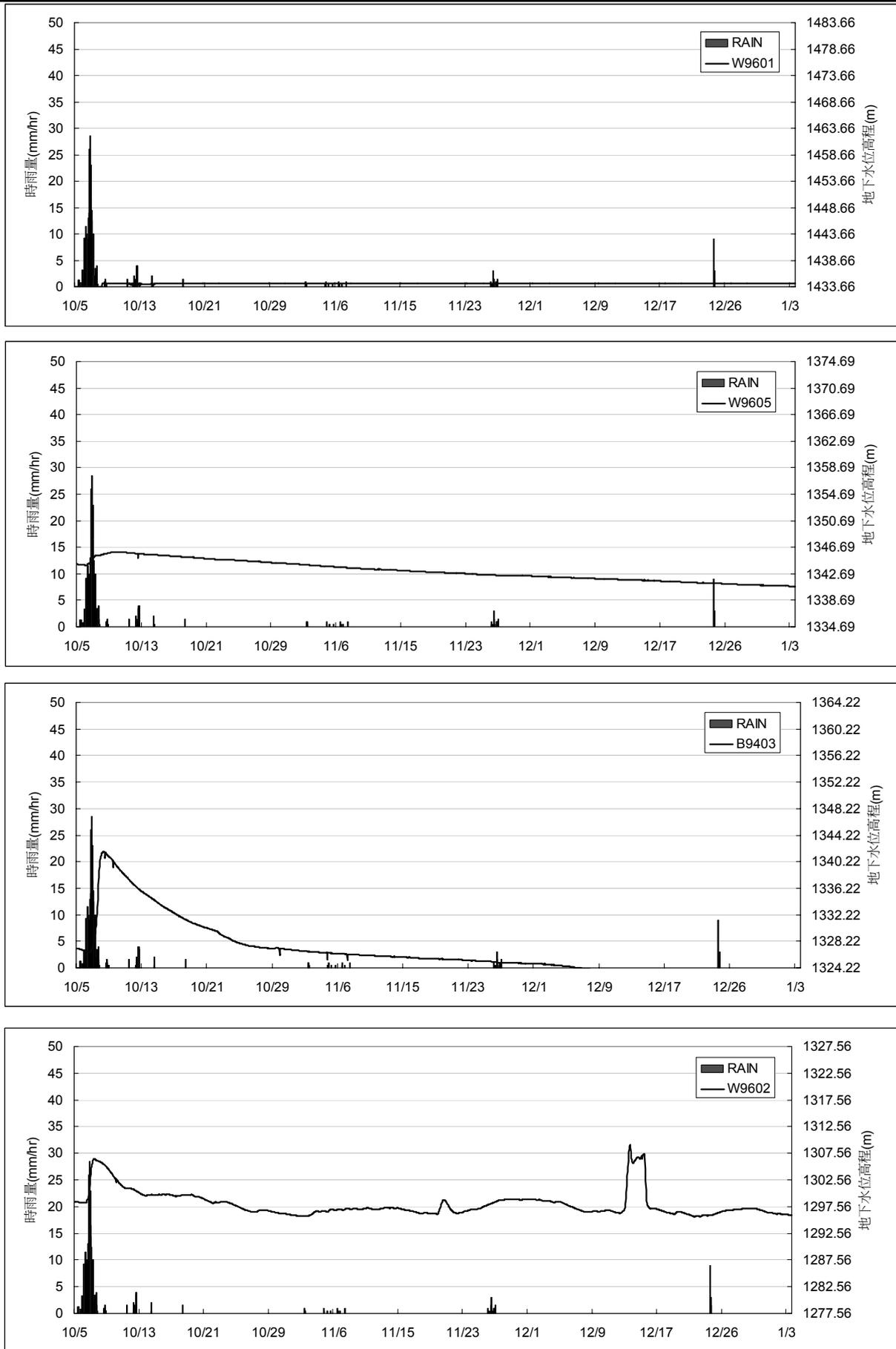


圖 10-2-6 各孔位地下水變化情形(1/2)

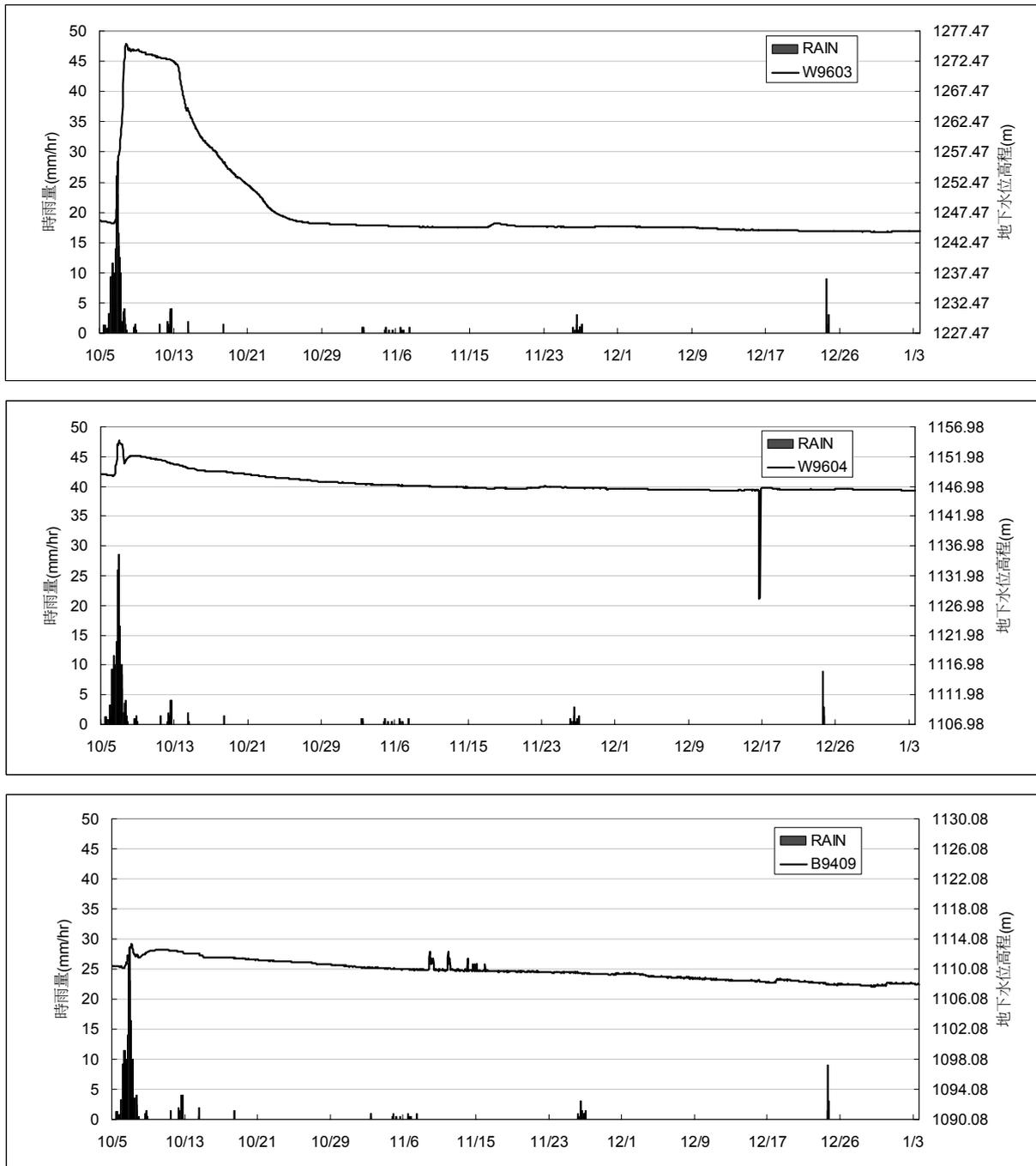


圖 10-2-7 各孔位地下水變化情形(2/2)

10-3 滑動體補充調查情形

在滑動面調查方面，過去3年間曾使本邊坡產生明顯滑動的豪大雨分別為六九水災(950609)、瑪莎颱風(940803)以及海棠颱風(940716)，而民96年度最劇烈之豪雨-柯羅莎颱風(961004)雖使TDR02、TDR03產生剪動反射波形，但地表之裂隙觀察、變位測量及TDR01、TDR04並未有相同的變位反應，推測應為坡體的微小錯動造成；以下說明邊坡的滑動體調查情形：

10-3-1 裂隙調查及地表變位關係

從地表裂隙追蹤調查發現(詳見3-2-2節)，當坡體發生滑動時，在滑動區範圍內的台14線公路、溫泉路或農路上方總會留下滑動造成的破壞裂隙；而這些道路的破壞裂隙位置幾乎每次皆相同，並且從裂隙的發展方向加以延伸，可以上下連結出一個滑動坡體的邊界形狀(圖10-3-1)。

從破壞裂隙串連出來的滑動範圍再加以仔細研究，發現劇烈的裂隙破壞只出現在滑動區兩側邊界，而滑動區內的屋舍、建物則幾乎不見損壞跡象，據此推斷滑動深度可能極深，因而屋舍及建物在坡體滑動時遂一致向下移動，故不見損壞跡象。

上述推斷亦可由地表的變位測量加以證實。本研究調查期間共於台14線公路89K+600~90K+300、91K+200~91K+600等路段佈置兩條橫跨滑動區的觀測測線，共計約145處觀測樁位，經過每月1次的定期觀測後發現，在滑動區外的觀測樁位幾乎沒有滑動位移，但在滑動區內的觀測樁位則在暴雨前後會產生明顯的變位量，並且變位向量頗為一致(圖10-3-1)，顯示滑動區內坡體呈現整體向下移動之現象。

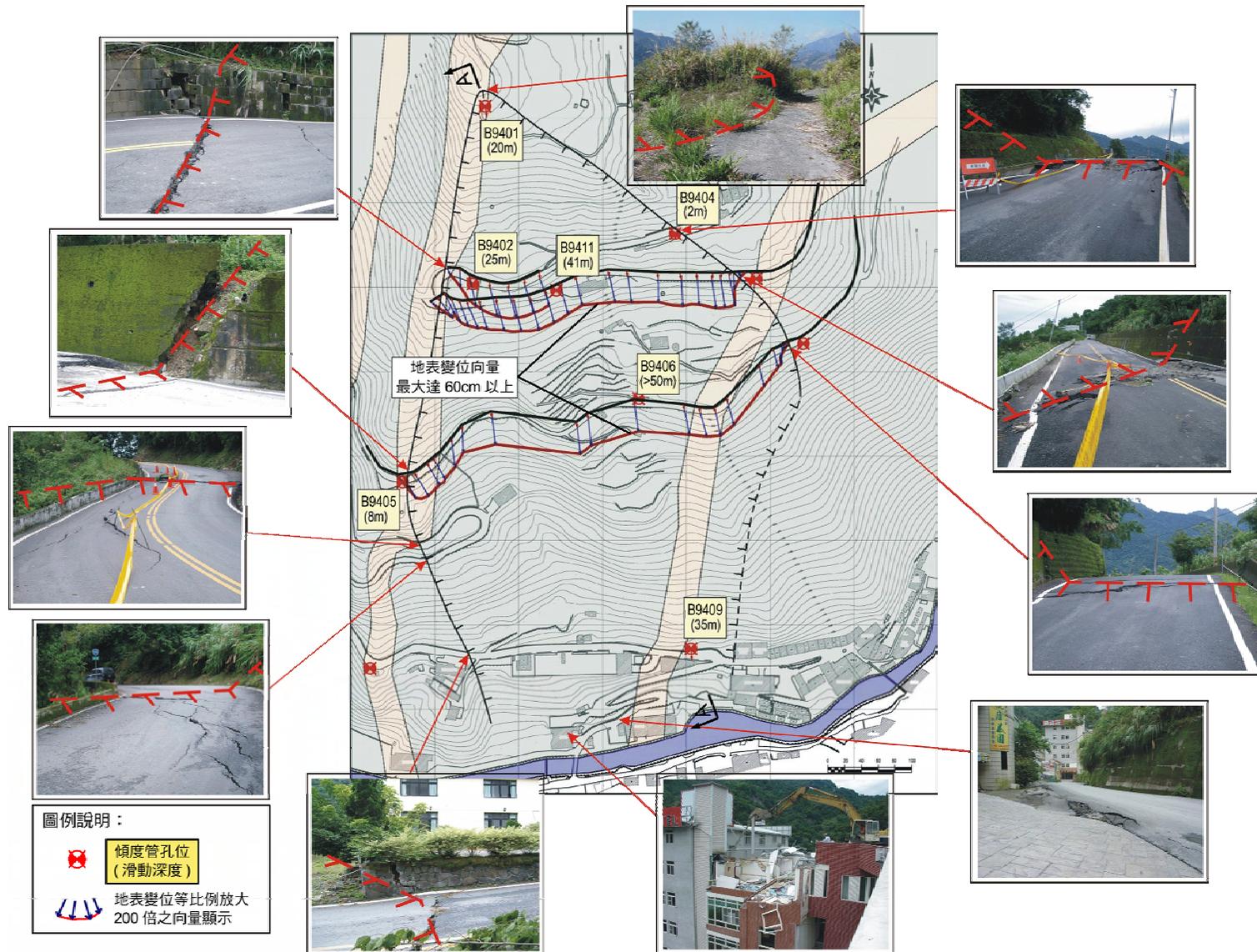


圖 10-3-1 民 95 年六九水災邊坡破壞裂隙與變位調查成果

10-3-2 滑動面調查及變位情形

本邊坡之滑動面調查主要採用以下兩種方式：

1. 傾度管滑動面監測：自民國94年6月起共於本邊坡設置10處傾度管觀測孔，每個月進行1次人工量測。
2. 時域反射法(TDR)滑動面監測：民國96年9月起於本邊坡主要縱斷面佈置4孔TDR觀測孔，並採自動化方式監測，每天1次。

由監測結果顯示，滑動區內傾度管在六九水災後均產生滑動變位(詳見圖10-3-4及表10-3-1)，靠近滑動區兩側的滑動深度較淺，位於中央的滑動深度較深，符合地表變位調查對於單一滑動體的推斷。

表 10-3-1 六九水災後傾度管變位情形

孔位	埋設深度	變位深度	累積變位量	備註
B9401	30m	20m	225mm	
B9402	40m	25m	剪斷	
B9404	40m	2m	剪斷	
B9405	40m	8m	剪斷	
B9406	50m	37m	20mm	>埋設深度
B9407	40m	-	未變位	
B9408	40m	40m	40mm	>埋設深度
B9409	45m	35m	250mm	
B9410	40m	-	未變位	
B9411	50m	41m	剪斷	

而在所有傾度管的變位監測資料中，位於坡體正中央的B9406孔埋設深度50公尺，卻在深度37公尺處量測到僅有20mm的變位量，與地表的變位量(60cm)或上下孔位大幅錯動的變位情形相較，顯不相符；因此，推斷坡面正中央B9406孔處的滑動面深度應該超過埋設深度(>50公尺)。為證實此一推論，另於民國96年9月裝設4孔TDR觀測孔，其中坡面中央的TDR9602孔及TDR9603孔以深度100公尺的深孔佈置，期能進一步掌握確切的滑動面位置。

在民國96年的柯羅莎颱風(10/08~10/11)過後，前述兩處TDR觀測孔

一如預期於坡體深處偵測到地層剪動產生的反射波形(圖 10-3-3)，TDR9602 與 TDR9603 二孔之剪動深度分別為 -55.5m 及 -88.5m。至此，廬山邊坡滑動面調查經 TDR 監測資料的補充佐證後，更能明確掌握滑動面之位置與型態(圖 10-3-5)。

而在滑動面型態上，由目前監測資料所定義之滑動面，係為主要滑動面所在深度；但若從傾度管監測資料加以判讀，部分孔位具有明顯之主要滑動面特徵，如圖 10-3-2 中 B9402 監測資料或圖 10-3-3 中 TDR02 及 TDR03 監測資料所示，在某一滑動深度具有明顯之剪動訊號；但部分孔位則如圖 10-3-1 中 B9401 監測資料所示，某一滑動深度以上均為破碎之滑動地帶，尚難釐清特定滑動層；但由目前所蒐集之資料判讀，仍以一主要滑動深度為研判推論。

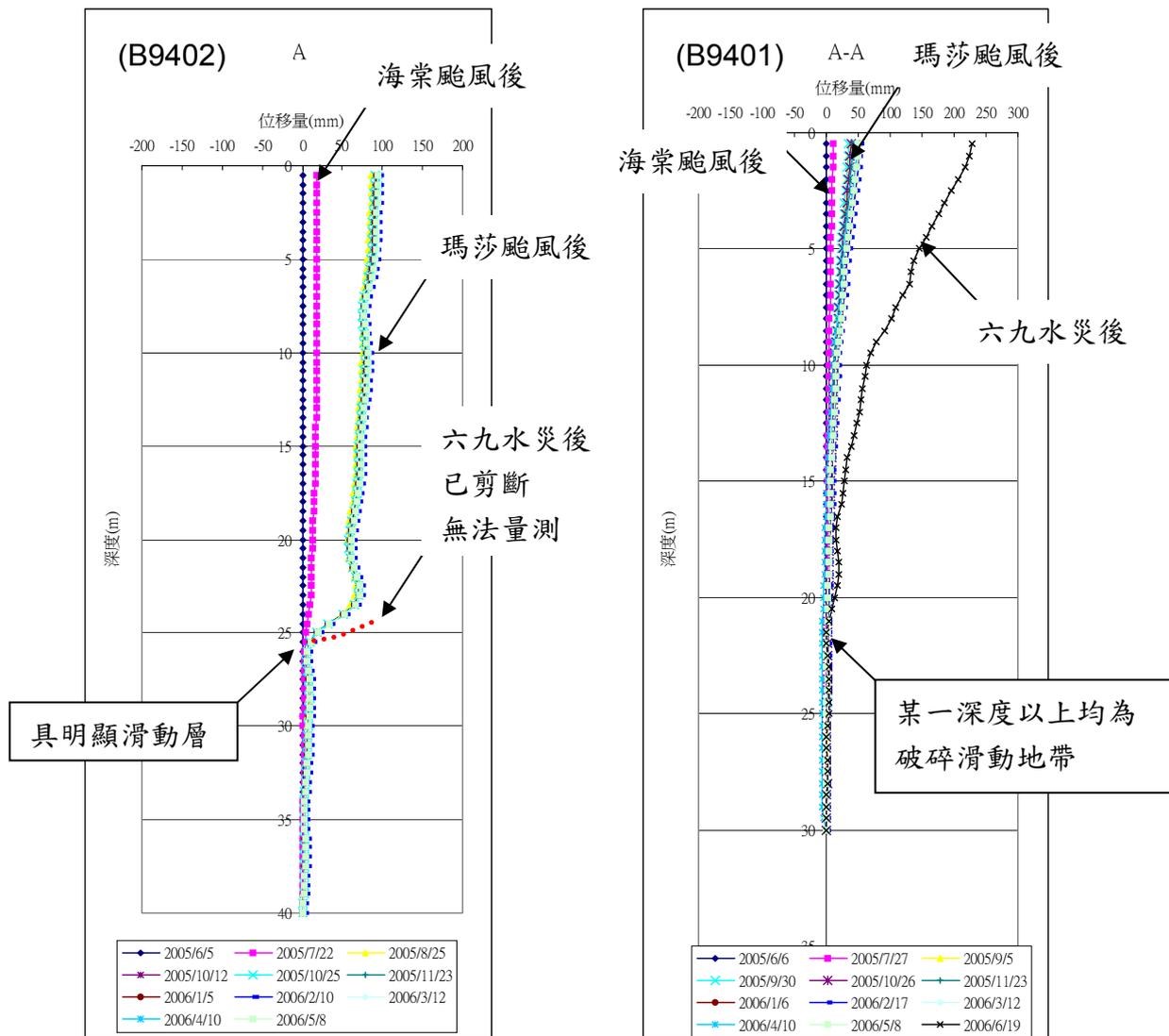


圖 10-3-2 傾度管監測資料說明

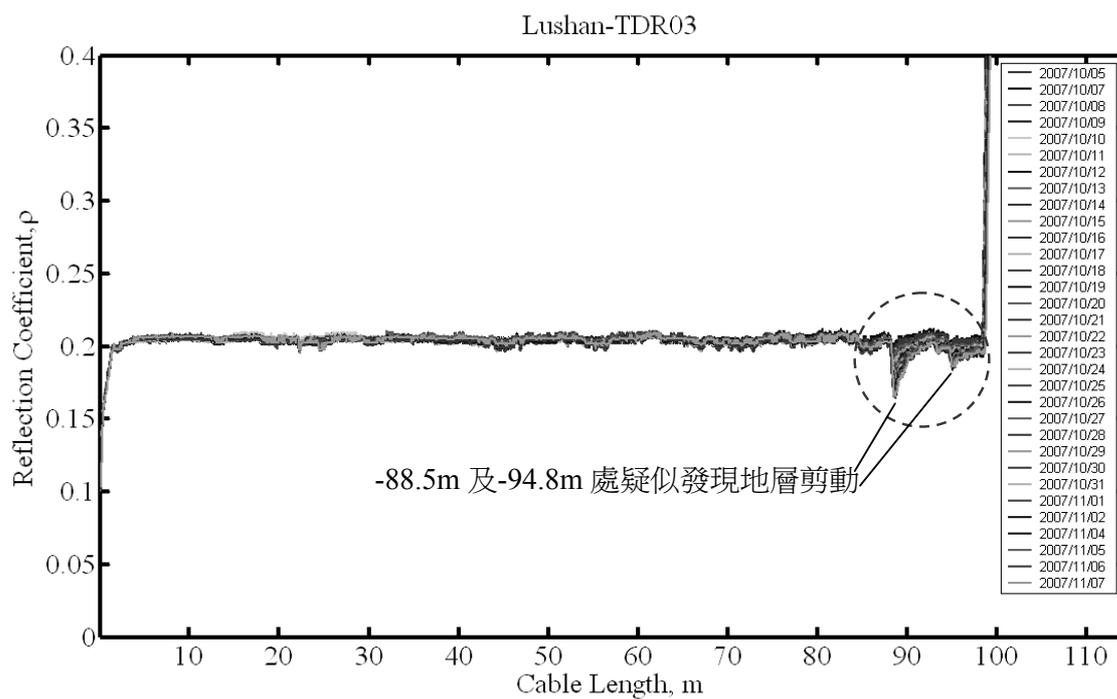
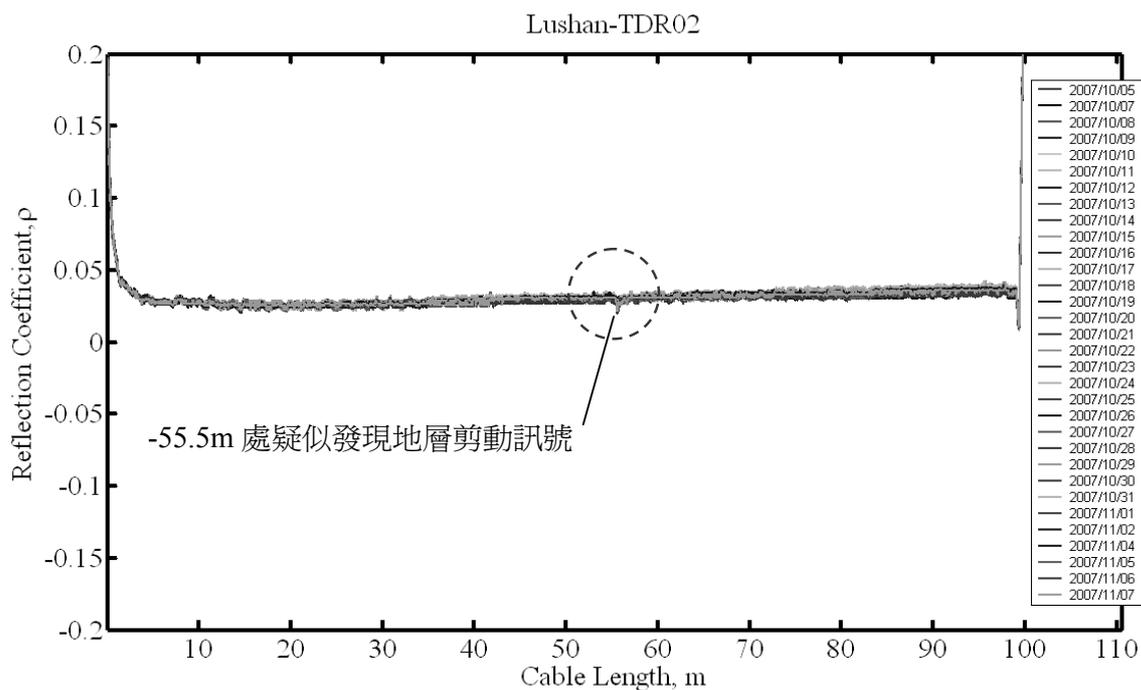


圖 10-3-3 地層剪動 TDR 反射波形

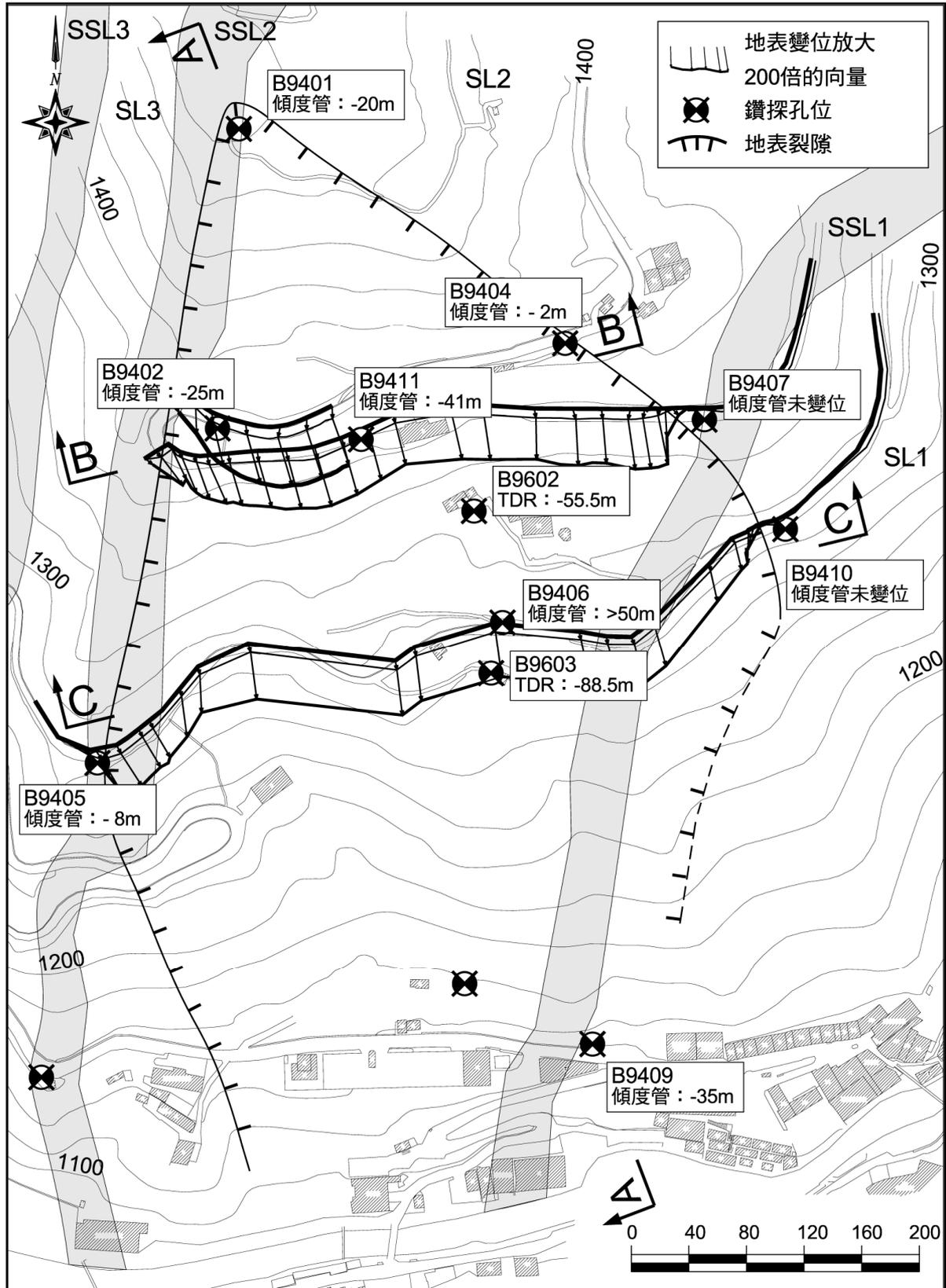


圖 10-3-4 滑動體變位資料彙整

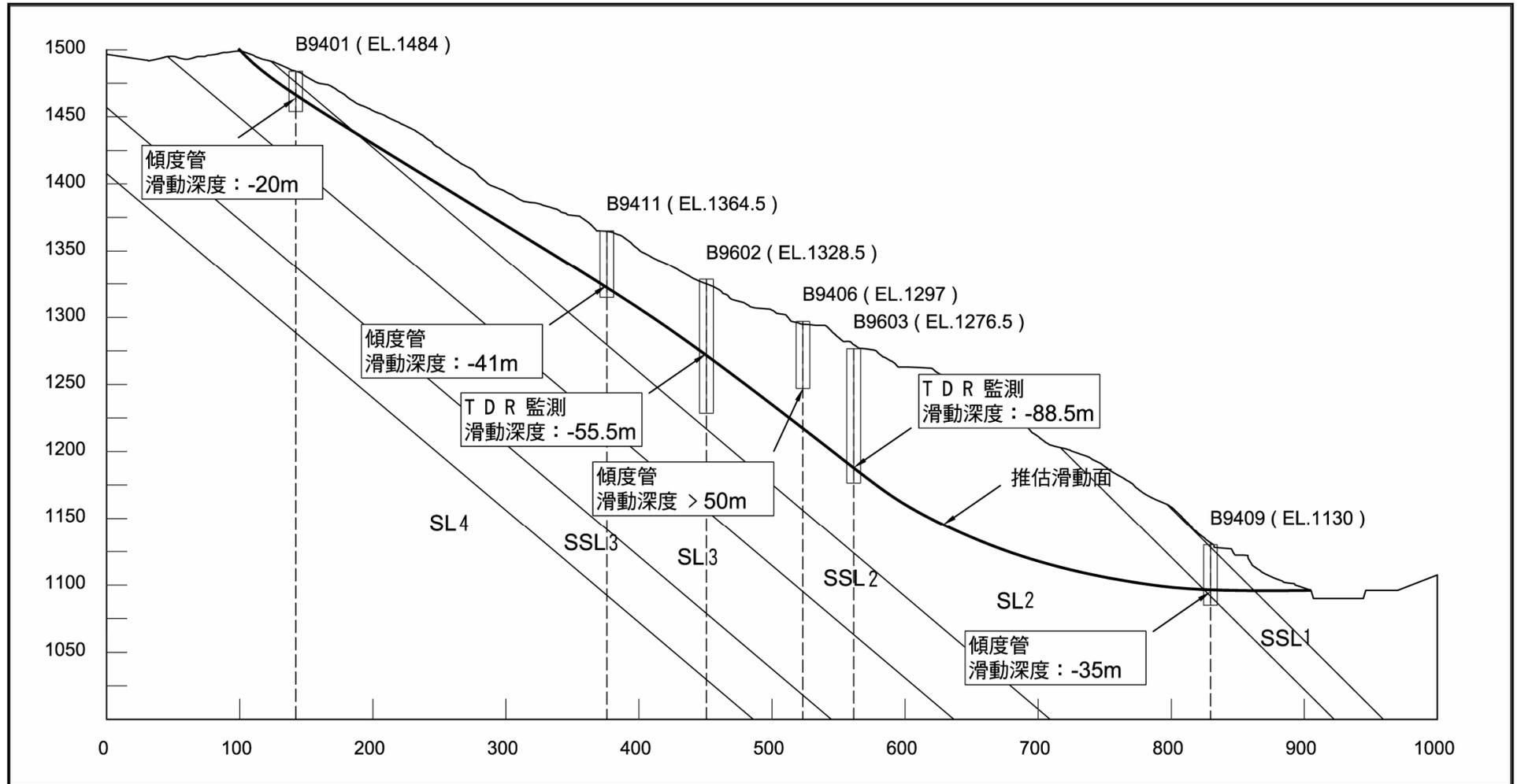


圖 10-3-5 A-A 剖面推估滑動面

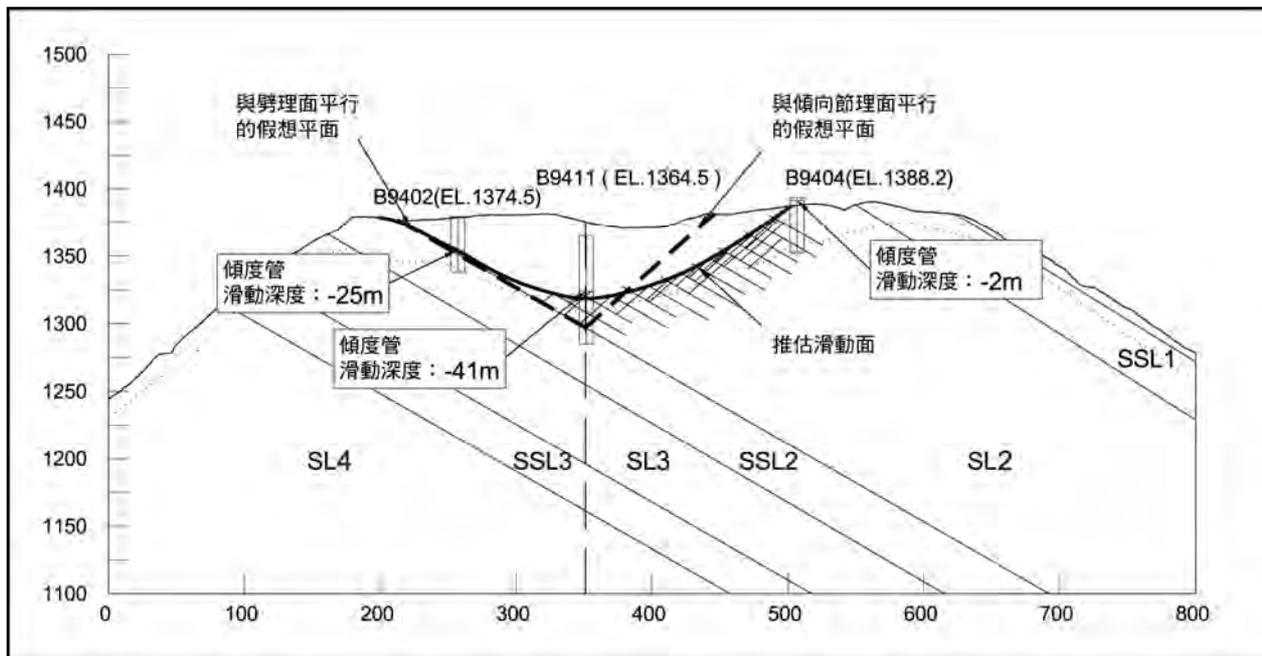


圖 10-3-6 B-B 剖面推估滑動面

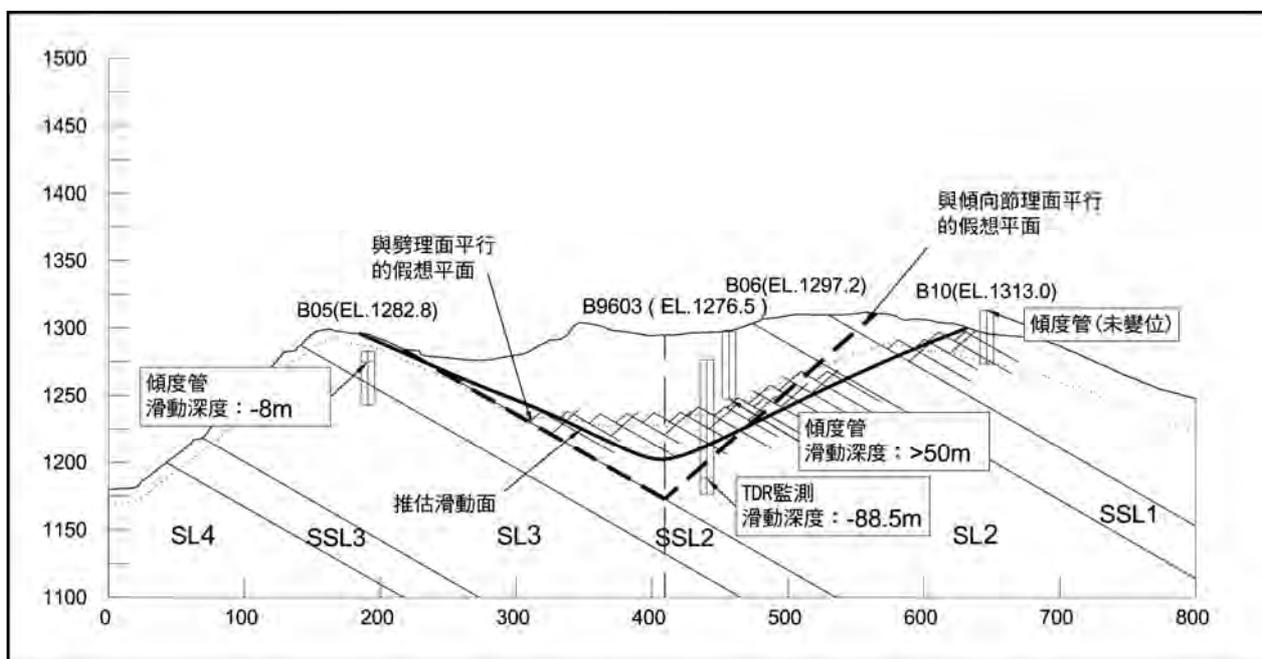


圖 10-3-7 C-C 剖面推估滑動面

10-4 滑動機制說明

經10-3節的滑動面調查後發現，雖計畫邊坡的風化深度極深，但滑動面卻仍在風化岩層的深度以下，最大深度可能達到80-100公尺以上，若以土壤或風化軟弱岩層的材料性質，甚難有如此龐大的滑動體仍存在如此陡峭的邊坡(坡度50至60度)，而未發生大規模崩塌災害。

因此，本計畫邊坡的滑動型態應該較為接近深層岩體的潛移作用，以下先就國內外相關學者對岩體潛移作用的研究作一概要的回顧：

Varnes(1978)根據沿斜坡向下移動的材料及方式，將山崩分為墜落、傾翻、滑動、側滑與流動等五大基本類型(表10-4-1)，而深層的岩體潛移(Deep Creep)在歸納上屬流動型(flow)邊坡破壞模式，Varnes認為潛移作用不僅影響淺層土壤，亦可能發生在深層之岩體。

一般常見的岩體潛移作用，潛移多發生在地表處的岩體扭曲破壞(圖10-4-1)，但發生在深處的岩體潛移作用亦不乏相關案例。



圖 10-4-1 計畫邊坡附近(人止關)的板岩岩體潛移案例

表 10-4-1 邊坡破壞型式 Varnes(1978)

運動類型		材料種類		
		岩石	工程土壤	
			粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls		岩石墜落 Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落 Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Topple	岩屑傾覆 Debris Topple	土傾覆 Earth Topple
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移 Debris Slump	土崩移 Earth Slump
		岩塊滑動 Rock Block Slide	岩屑塊滑動 Debris Block Slide	土塊滑動 Earth Block Slide
	移動 Translational	岩石滑動 Rock Slide	岩屑滑動 Debris Slide	土滑動 Earth Slide
側落 Lateral Spreads		岩石側落 Rock Spread	岩屑側落 Debris Spread	土側落 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動 (深層潛移) Rock Flow (Deep Creep)	岩屑流動 土流動 (土層潛移)	
			Debris Flow Earth Flow (Earth Creep)	
複合運動 Complex		複合兩種或兩種以上之運動方式		

Zischinsky(1966)發現在奧地利阿爾卑斯山會有大規模岩體在不連續的剪切面上緩慢流動的情形，並且邊坡上的葉理伴隨發生了位態的變化，使得位態在邊坡自由面發生傾向相反的情形，因此推測這是由潛移作用所造成的。

Ter-Stepanian(1966)認為邊坡上的岩體深部潛移作用(deep creep)所造成的變形現象不只會表現在土壤層，岩體亦會受到影響，其過程通常是極為緩慢的，且具有持續性。不同的地質構造環境及岩體特性會產生不同的深部潛移作用樣式，依據岩體及邊坡型態可區分為三種類型，分別

為：常發生在順向坡的平面型深部潛移(planar deep creep)、常發生在短斜坡處的旋轉型深部潛移(rotational deep creep)及最常見於逆向坡的一般型深部潛移(general deep creep)。

Nemcok (1972)發現變質岩區山坡潛移作用具有以下特徵：變質岩為非均質的，葉理(劈理、片理)發達，受重力的作用常使葉理變形呈類似拱彎型的褶皺(buckling fold)的型態，變形延伸至坡趾，近地表的岩層被彎曲。在深部的潛移呈現較為塑性的性質，由於岩體為非均質故大部分的不連續變形常沿著近地表的剪力面產生。此外Nemcok亦發現受到潛移作用的岩層其往下傾倒的速度通常很緩慢，每年可能只有數公釐至數公分之間，但最大的潛移速度每天可達到20公分，或每年最大6公尺，而變形深度可達到250-300公尺深。

Radbruch- Hall(1978)對潛移作用做一個較為正式的定義：潛移是一種山崩的形式，在鄰近邊坡的地質材料以非常緩慢的方式往下或往外移動的作用，岩層沒有連續的破裂面，在一些地區邊坡岩層易受到重力的作用而產生向下傾倒的潛移現象。

由以上案例說明得知，深層的岩體潛移作用與岩石的葉理特性具有相當的關連性，日本學者Chigira(1992)依據葉理位態的特性，將岩體潛移作用分成四大類型(圖10-4-2)，其分類如下所述：

1. TYPE I. 順向坡的拱彎褶皺型(Buckling folds formed in consequent slopes)。
2. TYPE II. 逆向坡的拖曳褶皺型(Drag folds formed in obsequent slopes)。
3. TYPE III. 葉理高傾角的折彎褶皺型(Bending folds formed in slopes with steeply dipping foliation)。
4. TYPE IV. 順向坡的斷層型(Faults formed in consequent slopes)。

在TYPE I的順向坡類型中，通常發生在坡度比葉理傾角平緩的情況，因此岩層將受到底層基岩的束制無法自由活動，所以當岩體順葉理方向向下邊坡運動時，將使坡趾處產生拱彎褶皺(圖10-4-3(b))。

而在此一類型的岩體潛移作用，其運動方向通常受葉理位態所控制，若葉理位態與坡向並不平行時，岩體運動方向將介於葉理與坡向之間。

而趾部的拱彎褶皺同樣與潛移運動方向一樣，會受葉理位態的影響，褶皺的軸向會介於葉理位態與坡面坡向之間，而通常此類型的邊坡會在上邊坡的潛移岩體底層或趾部的拱彎褶皺附近發現局部的斷層。

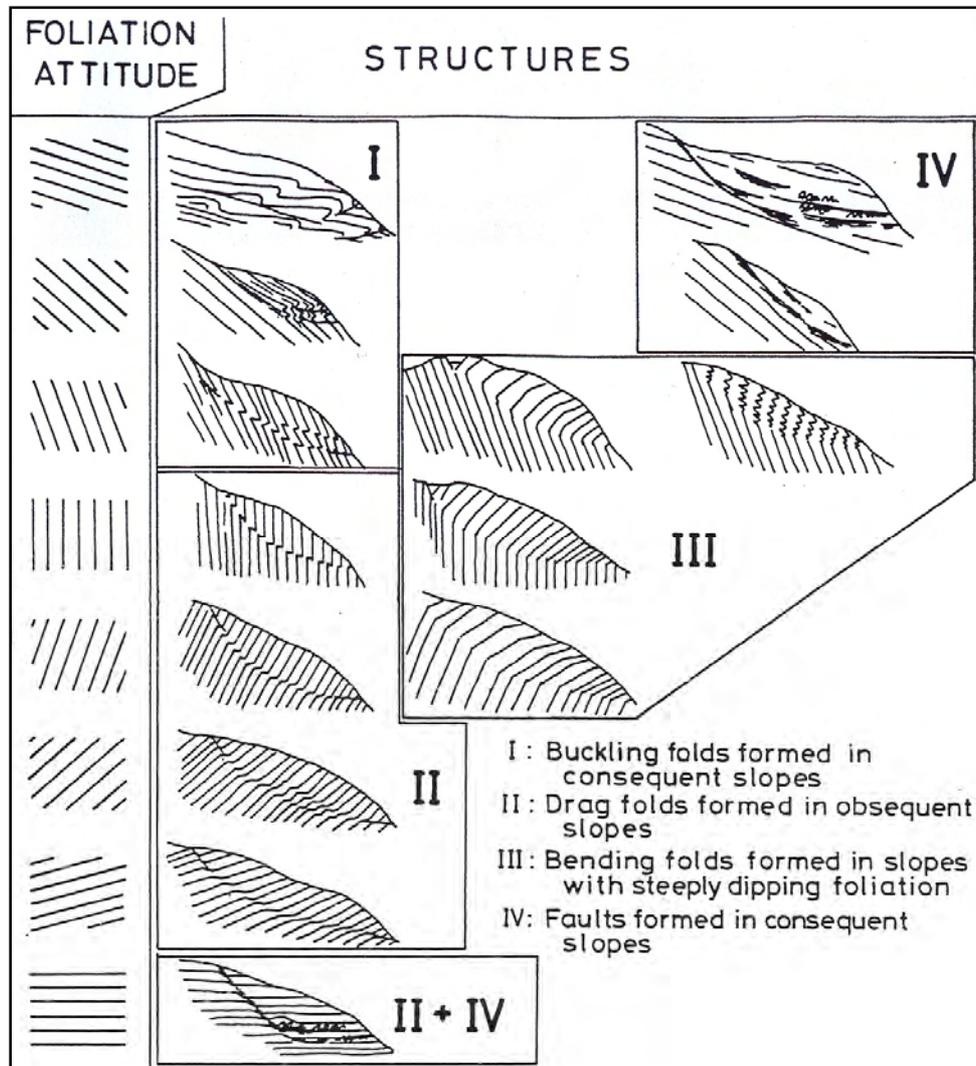


圖 10-4-2 葉理位態與岩坡潛移類型 Chigira(1992)

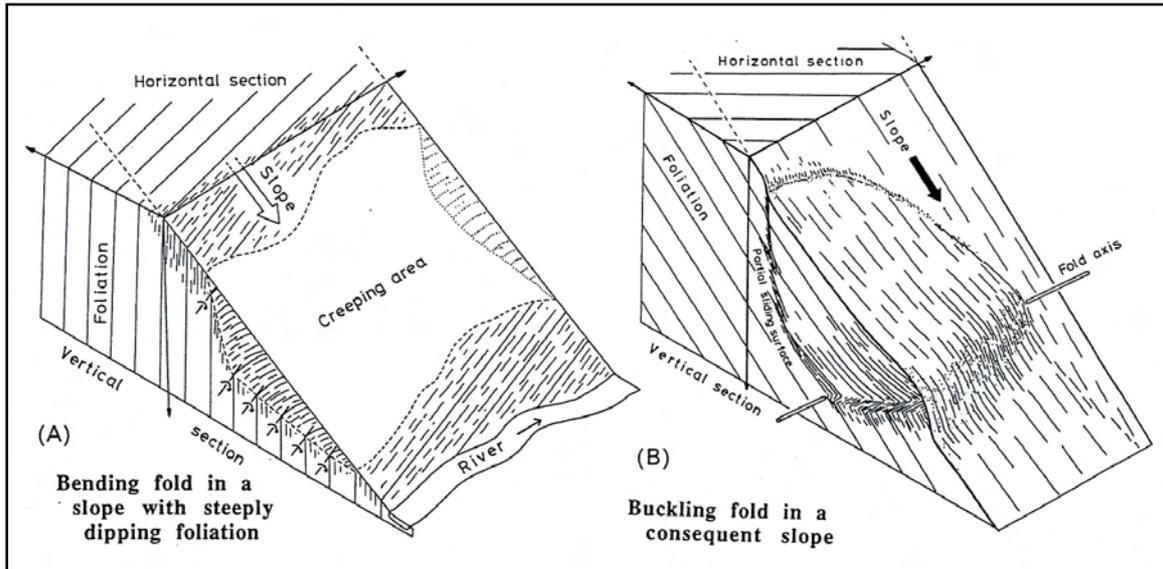


圖 10-4-3 葉理與坡面傾角關係說明 Chigira(1992)

在本邊坡案例中，與前述文獻相較同屬葉理(劈理)發達的岩坡，並且劈理位態與邊坡呈小角度斜交，地質構造上吻合TYPE I的順向坡類型；在該類型的潛移作用中滑動體的底層常有局部的斷層現象，在本計畫邊坡確為一常見的情形，在各鑽探孔位的滑動面附近的確可以發現滑動的剪裂帶，其外觀頗為類似斷層痕跡 (圖10-4-4)。



圖 10-4-4 滑動面附近岩體剪裂情形

至於本邊坡趾部拱彎褶皺的存在性，因下邊坡處為多已經觀光開發，地表露頭較少，不易掌握明確證據；但是下邊坡的鑽孔在推估滑動深度附

近發現近乎90度的高角度劈理傾角變化(圖10-4-5)，亦為拱彎褶皺之初步佐證，更詳細的調查仍待地質專家深入研究。

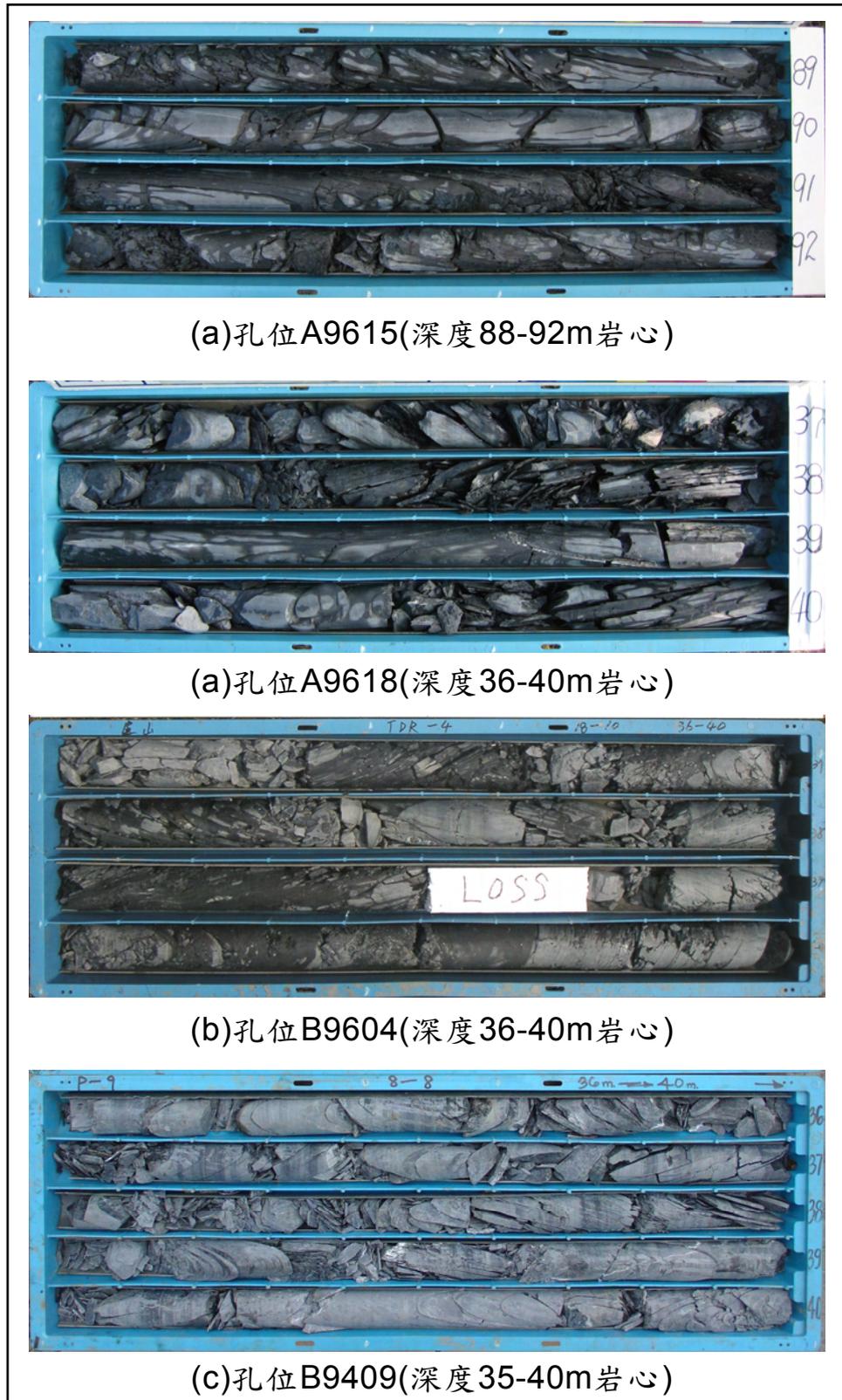


圖 10-4-5 邊坡趾部高角度傾角變化

以下本計畫邊坡的滑動機制分項說明：

一、弱面位態對邊坡的關係

本邊坡的破壞裂隙在上邊坡處呈角錐狀的型態，與一般常見的覆蓋層地滑邊坡樣態並不相同，但若將兩組主要的弱面位態(劈理面與傾向節理面)展繪到地形圖上時，則可以發現邊坡破壞的型態可能受弱面型態所控制，邊坡破壞裂隙與兩個弱面假設平面在地表的交線頗為吻合，推測西側的滑動體邊界可能受劈理位態所控制，東側的滑動體邊界受傾向節理所控制(圖10-4-6)。

而在滑動面方面，邊坡中段以上的傾度管或TDR 監測孔所測得的滑動面可以串連出一條與劈理傾角相近的直線(圖10-4-7)，顯示邊坡可能類似TYPE I的順向坡類型在上半部順劈理方向向下滑移。

二、岩性分佈對邊坡的影響

在地質調查中發現邊坡存有數條平行的帶狀砂質板岩分佈，而前述西側的邊界裂隙則沿砂質板岩層SSL2的分佈而發展(圖10-4-6)，附近的傾度孔位亦在SSL2岩層的上方發現錯動變形，顯示滑動發生時，砂質板岩層因為岩體較為緻密、強度高，滑動面可能沿此岩層介面發生。

而板岩層SL2夾在砂質板岩層SSL1與SSL2之間，其劈理高度發達的特性，使得此區域的岩盤高度風化，穩定岩盤深度較深。當暴雨侵襲時，地下水在此一區域蓄昇形成超額荷重，而下邊坡坡面濕潤、終年洩水不斷的區域亦為此板岩層SL2所在位置(廬山立體停車場附近)。

再者滑動發生時，擠壓變形、房屋傾倒等破壞現象多發生在板岩層SL2的區域，顯示此一板岩層SL2確為本地滑區地質上的弱帶；相對的，傳統廬山溫泉商店的開發多集中在岩性較強的砂質板岩層SSL1以東的溫泉吊橋附近，此一區域相較來說破壞現象較少，滑動區東側的破壞裂隙亦未見向下延伸到商店街附近。

東側破壞裂隙並未向下延伸，使得邊坡趾部東側未發現擠壓破壞現象，其原因可能如下：

1. 岩性較強的砂質板岩層SSL1的存在。
2. 劈理位態與邊坡呈斜交角度，坡趾的破壞褶皺可能如Chigira(1992)所述受劈理走向影響向東北方伸入坡體深處而漸消失，是以越靠東側

的邊坡表面商店街附近擠壓變形量趨小，所以不見邊坡破壞現象。

三、滑動機制說明

由監測資料顯示，豪雨造成地下水入滲為本邊坡滑動之主因，因為岩性分佈的影響，使得坡體中段的板岩層SL2存在厚層之軟弱風化帶；暴雨時地下水入滲此一區域積蓄，並且因為劈理傾角較陡，且砂質板岩層SSL1阻擋的影響，致使地下水不易宣洩，下邊坡處長期積蓄地下水壓。

本邊坡因弱面特性影響，使坡體形成無數微小的岩塊，又因岩體風化、劈理高度發達的因素，豪雨時雨水易入滲並匯集於前述岩盤厚層風化帶，造成坡體超額負重，下方束制岩體因岩性過於破碎，無力支撐上方荷重坡體，致使岩體不堪擠壓，造成邊坡滑動破壞。



圖 10-4-6 邊坡破壞與地質構造關係

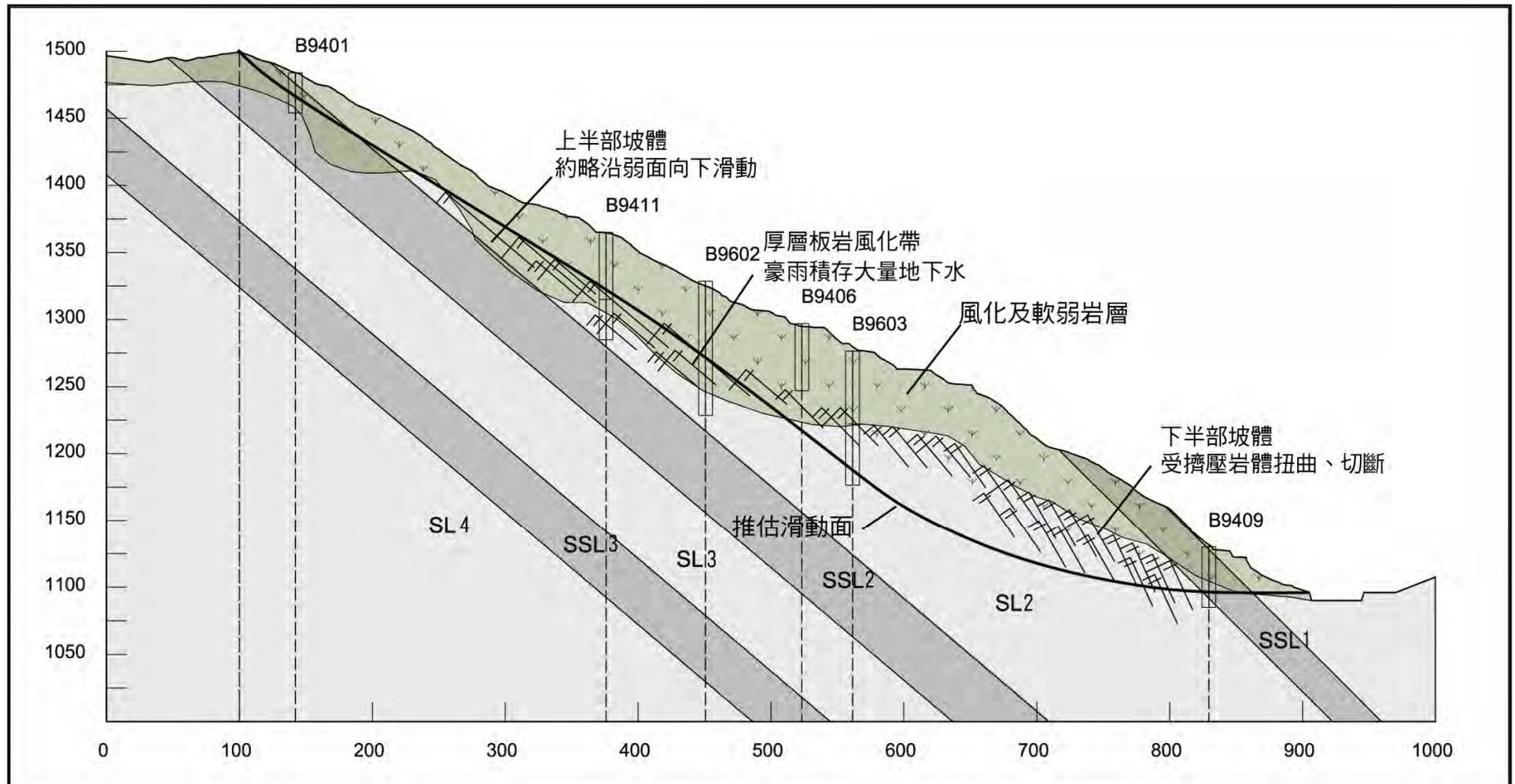


圖 10-4-7 滑動機制說明

第十一章 治理工程規劃檢討

11-1 前期坡面排水改善檢討

本分局前身水保局第三工程所依據前期規劃進行坡面排水改善，部份排水工程為尊重土地所有人或租用人之使用意願，將前期規劃之排水設施進行增減，並已於民國96年年底完工。規劃項目與竣工數量如表11-1-1所示，坡面排水設施竣工平面詳圖11-1-1與圖11-1-2。

表 11-1-1 坡面排水設施規劃與竣工完成數量比較表

排水設施項目	前期規劃數量	竣工完成數量	備註
HDPE溝	997M	843M	
噴漿溝	478M	785M	
漿砌塊石溝	226M	0M	
集水井	24座	18座	
匯流工	9座	7座	
消能池	10座	6座	
渠末工	2座	2座	
投87線0K+600陡槽式跌水工	141.9M	139M	
投87線0K+900陡槽式跌水工	88.4M	0M	

本計畫根據竣工後坡面排水設施佈置，重新劃設排水分區(圖11-1-3)，其中A2*~A5*、C3*~C8*、F*與O12*為調整之排水分區，C10*~C12*為新設之排水分區。依各分區之面積、溝長、坡度等特性代入合理化推估公式計算逕流量，所得之洪峰逕流量、集流時間示於表11-1-2。

利用前期規劃選定之26個流量控制點(圖11-1-3)核定通洪斷面，經統計各點所分配排水區域與控制洪峰流量如表11-1-3所示。結果顯示僅22號控制點因納入原規劃岩坡逕流之O12之排水分區逕流，造成洪峰逕流量增加外，其餘各點之控制逕流量皆與前期規劃之結果相同。22號控制點所處之陡槽式跌水工(上寬1.2m、下寬0.8m、高0.8m、坡降0.58)之通洪斷面經檢核可收納大於10cms之洪峰逕流量，故應無通洪斷面不足之疑慮。

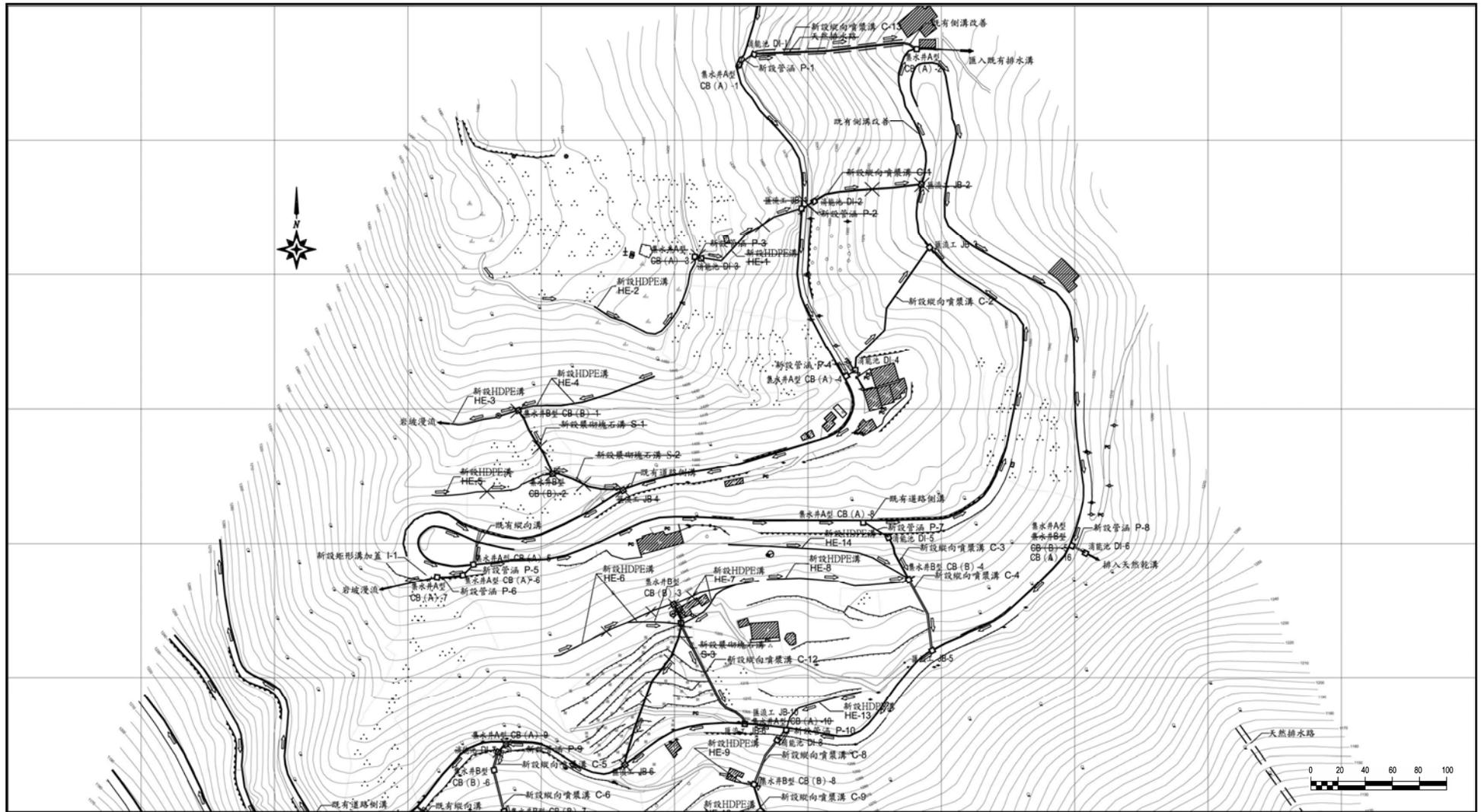


圖 11-1-1 坡面排水設施竣工平面圖(一)

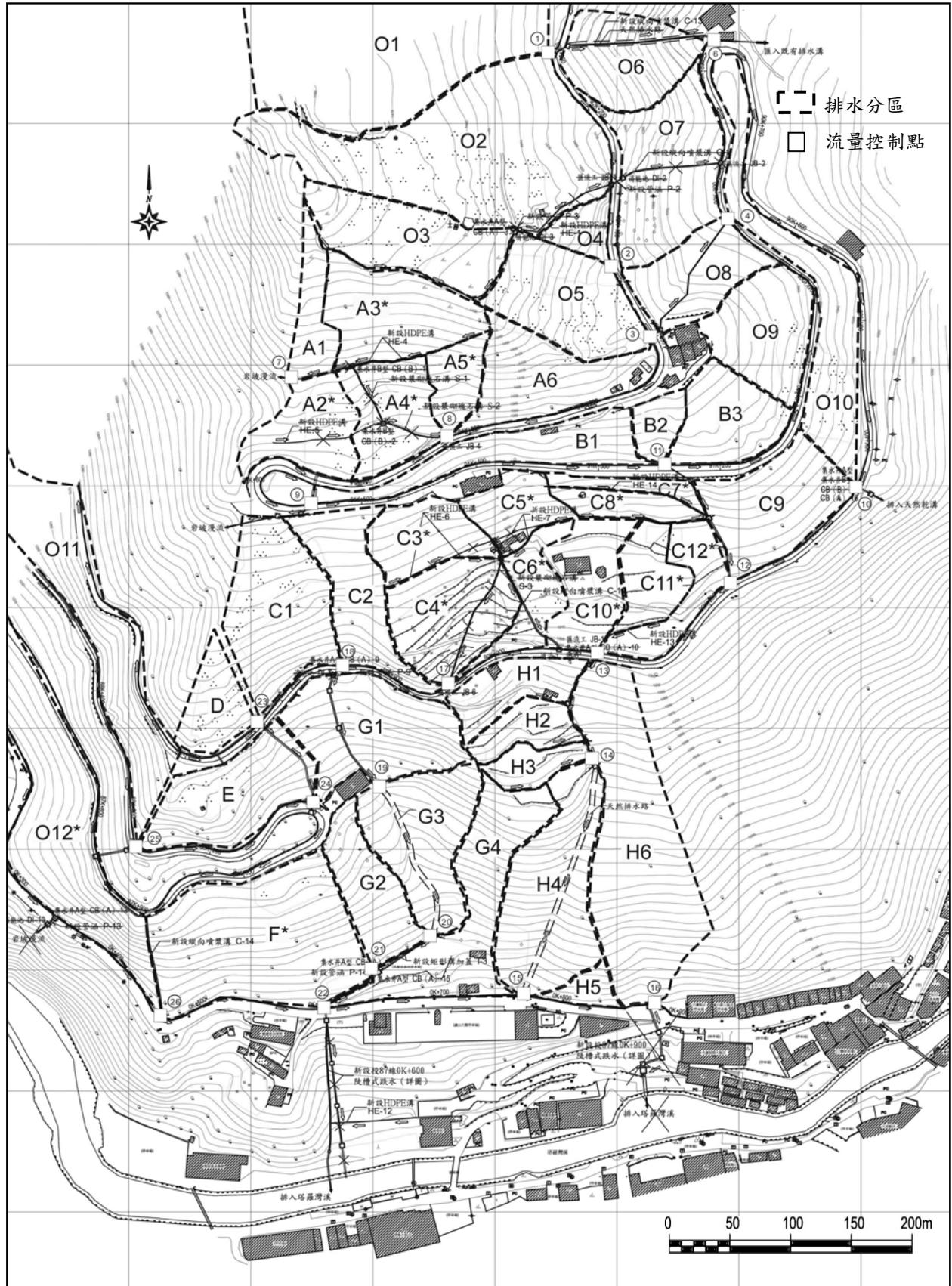


圖 11-1-3 竣工後排水分區與流量控制點

表 11-1-2 新排水分區之特性與洪峰逕流量

排水分區	集流面積 A (ha)	排水溝長度 L (km)	高度差 H (km)	坡面長度 l (km)	洪峰逕流量 Q _p (cms)	集流時間 t _c (mins)
A ₁	0.32	0.04	0.07	0.15	0.13	6.3
A ₂ *	0.55	0.10	0.04	0.09	0.22	3.9
A ₃ *	0.82	0.13	0.06	0.12	0.33	5.2
A ₄ *	0.58	0.09	0.05	0.08	0.24	3.4
A ₅ *	0.28	0.09	0.07	0.09	0.12	3.8
A ₆	0.77	0.21	0.08	0.12	0.31	5.3
B ₁	0.65	0.30	0.03	0.05	0.26	3.1
B ₂	0.19	0.06	0.03	0.06	0.08	2.6
B ₃	0.53	0.13	0.03	0.09	0.22	4.0
C ₁	1.01	0.09	0.09	0.15	0.40	6.3
C ₂	0.68	0.10	0.08	0.16	0.28	6.8
C ₃ *	0.48	0.10	0.03	0.06	0.20	2.7
C ₄ *	0.79	0.13	0.04	0.11	0.32	4.8
C ₅ *	0.36	0.07	0.03	0.06	0.15	2.6
C ₆ *	0.37	0.08	0.04	0.12	0.15	5.1
C ₇ *	0.15	0.13	0.02	0.03	0.07	1.6
C ₈ *	0.24	0.11	0.02	0.05	0.10	2.3
C ₉	0.84	0.13	0.05	0.09	0.34	3.9
C ₁₀ *	0.56	0.14	0.04	0.14	0.22	6.1
C ₁₁ *	0.37	0.05	0.02	0.09	0.15	3.8
C ₁₂ *	0.42	0.19	0.03	0.13	0.17	5.9
D	0.35	0.09	0.05	0.11	0.14	4.7
E	0.83	0.16	0.05	0.11	0.33	4.9
F*	1.84	0.50	0.06	0.06	0.74	4.0
G ₁	1.01	0.13	0.06	0.10	0.41	4.3
G ₂	0.53	0.06	0.08	0.14	0.21	5.9
G ₃	0.88	0.13	0.11	0.15	0.35	6.4
G ₄	1.02	0.16	0.13	0.19	0.40	8.1
H ₁	0.40	0.10	0.02	0.04	0.17	1.9
H ₂	0.28	0.08	0.01	0.05	0.12	2.3
H ₃	0.21	0.07	0.01	0.04	0.09	1.9
H ₄	1.13	0.20	0.12	0.20	0.44	8.6
H ₅	0.12	0.09	0.04	0.04	0.06	1.8
H ₆	1.77	0.02	0.17	0.29	0.66	12.1
O ₁	2.21	0.06	0.06	0.24	0.84	10.1
O ₂	2.41	0.13	0.09	0.29	0.89	12.2
O ₃	0.86	0.22	0.05	0.18	0.34	7.9
O ₄	0.19	0.07	0.04	0.06	0.08	2.6
O ₅	0.87	0.07	0.06	0.14	0.34	5.9
O ₆	0.69	0.12	0.08	0.12	0.28	5.1
O ₇	1.07	0.08	0.07	0.08	0.44	3.4
O ₈	0.60	0.11	0.04	0.03	0.25	1.4
O ₉	0.70	0.14	0.04	0.10	0.29	4.4
O ₁₀	0.99	0.42	0.04	0.06	0.40	3.9
O ₁₁	1.68	0.48	0.05	0.08	0.67	4.9
O ₁₂ *	1.72	0.18	0.08	0.12	0.68	5.2

表 11-1-3 流量控制點分配區域與逕流量加總

控制點號	分配竣工後重新劃設排水區域	前期規劃逕流量總和 (cms)	竣工後逕流量總和 (cms)
1	O ₁	0.84	0.84
2	O ₂ +O ₄	0.97	0.97
3	O ₂ + O ₃ +O ₄ +O ₅	1.65	1.65
4	O ₂ +O ₃ +O ₄ +O ₅ +B ₃ +O ₉ +O ₈	2.41	2.41
5	—	2.85	—
6	O ₁ +O ₂ +O ₃ +O ₄ +O ₅ +B ₃ +O ₉ +O ₈ +O ₇ +O ₆	3.97	3.97
7	A ₁	0.13	0.13
8	A ₅ *+A ₆	1.04	0.43
9	A ₂ *+A ₃ *+A ₄ *+A ₅ *+A ₆	1.22	1.22
10	O ₁₀	0.40	0.40
11	B ₁ +B ₂	0.34	0.34
12	B ₁ +B ₂ +C ₇ *+C ₈ *+C ₉	0.85	0.85
13	B ₁ +B ₂ +C ₇ *+C ₈ *+C ₉ +C ₁₁ *+C ₁₂ *	1.17	1.17
14	B ₁ +B ₂ +C ₇ *+C ₈ *+C ₉ +C ₁₁ *+C ₁₂ *+H ₁ +H ₂ +H ₃	1.55	1.55
15	B ₁ +B ₂ +C ₇ *+C ₈ *+C ₉ +C ₁₁ *+C ₁₂ *+H ₁ +H ₂ +H ₃ +G ₄ +H ₄	2.39	2.39
16	B ₁ +B ₂ +C ₇ *+C ₈ *+C ₉ +C ₁₁ *+C ₁₂ *+H ₁ +H ₂ +H ₃ +G ₄ +H ₄ +H ₅ +H ₆	3.11	3.11
17	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *	1.04	1.04
18	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *+C ₂	1.32	1.32
19	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *+C ₂ +G ₁	1.73	1.73
20	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *+C ₂ +G ₁ +G ₃	2.08	2.08
21	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *+C ₂ +G ₁ +G ₃ +G ₂	2.29	2.29
22	C ₃ *+C ₄ *+C ₅ *+C ₆ *+C ₁₀ *+C ₂ +G ₁ +G ₃ +G ₂ +F*+O ₁₂ *	3.07	3.71
23	C ₁ +D	0.54	0.54
24	C ₁ +D+E	0.87	0.87
25	O ₁₁	0.67	0.67
26	O ₁₂ *	0.59	0.68

前期規劃之部份坡面排水設施受限於土地使用人不同意施作，因此無法施工，雖經調整排水工程之數量與位置，尚能滿足排洪能力。惟無設置改善工程之邊坡，因不符水土保持手冊所建議之每隔150公尺設置一橫向排水設施，故仍須水土保持義務人自行維持山坡地之保育及利用，方能減少逕流水滲入，達到降低地滑風險之成效。

投87線0K+900之陡槽式跌水工因地方民意之反彈，因此無法施作，

造成16號控制點所匯集之洪峰逕流(3.11cms)無法迅速排入塔羅灣溪，進而流入廬山溫泉區內，若遭逢豪大雨，恐有淹水之疑慮，建議商請仁愛鄉公所對溫泉業者做一說明，並依據協調結果改善此問題。

11-2 橫向集水管成效評估

本計畫為評估前期改善工程於坡趾施設之橫向集水管，是否有效宣解坡體地下水，選擇廬山立體停車場下側邊坡施設之坡面作為評估標的，以橫向截流溝收集坡體滲出之地下水，並於截流溝出口處裝設三角量水堰(WS01)量測滲流流量。

由於在本計畫三角量水堰監測期間(民國96年10月5日至民國97年1月3日)，已經過了7-9月之颱風季節，除了10月5日至10月11日的柯羅莎颱風對本計畫邊坡有比較顯著的影響外，其餘皆為零星降雨，三角量水堰監測成果如圖11-2-1所示。由監測成果發現，儀器裝設初期滲出水量約為0.74 l/sec，在柯羅莎颱風期間，三角量水堰由於受到降雨及地表逕流的影響，其監測量並非皆為坡體滲出水量，因此在此降雨期間所監測之數值不予採用。在10月8日停止降雨時，監測之滲出水量約為6.40 l/sec，因此數值已排除降雨及地表逕流流入量水堰之影響，此滲出水量應可視為橫向集水管排除颱風造成之坡體地下水量；在經過7天之後(10月15日)滲出水量僅剩2.39 l/sec，與前值相比已減少62.7%，然而後續時節將進入枯水期，在長期無降雨作用下，滲流量將漸次遞減，在10月31日時坡趾滲水量已經降至0.88 l/sec，與最大值相比已減少86.3%，監測至本年度1月3日止，三角量水堰測得流量已降至0.10 l/sec。

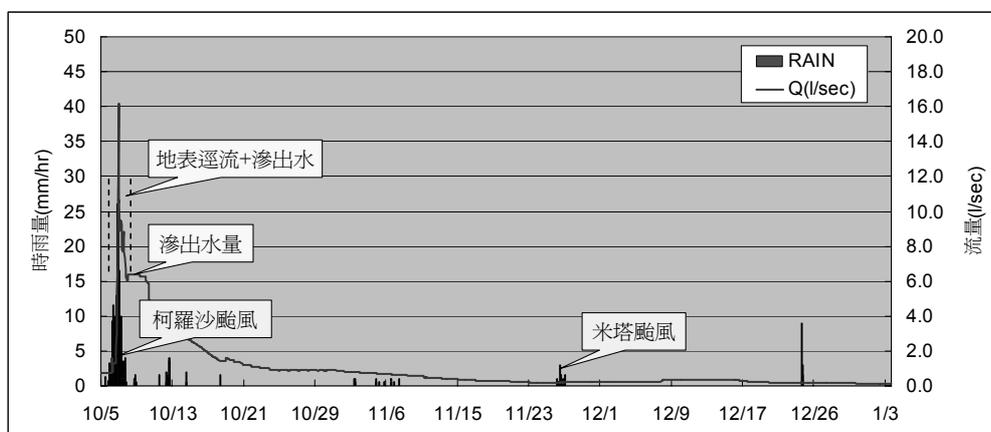


圖 11-2-1 三角量水堰監測成果

另由坡趾處地下水位井W9604之地下水位變化與量水堰之滲出流量比較，如圖11-2-2所示，在柯羅沙颱風期間，坡體地下水位與橫向集水管滲出水量有同步升高的現象，然而因已進入枯水期，偶有零星降雨發生，但對坡體的地下水位影響不大，因此由圖中可發現地下水位及三角量水堰測得之滲出水量皆有逐漸遞減趨勢，因坡體水量減少，坡趾處之橫向集水管排出流量亦同步降低。

由此可知，暴雨前後的集水管滲流量明顯產生差異，顯示橫向集水管對於暴雨後地下水壓的抒解具有一定的功效，可加速坡體地下水量的排除，有效宣解坡體地下水。

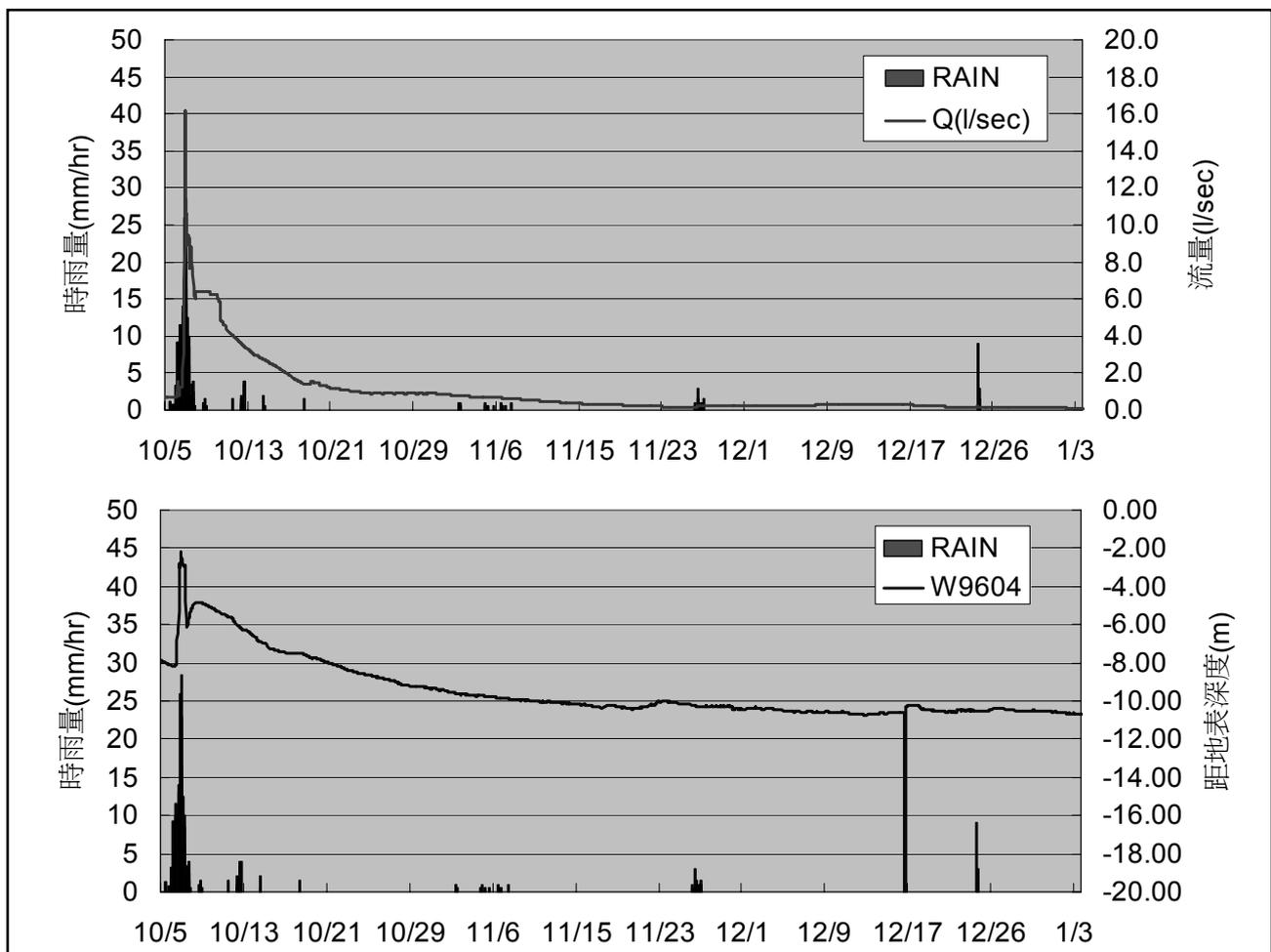


圖 11-2-2 地下水位井 W9604 與三角量水堰流量關係圖

在坡趾橫向集水管滲出水量的部份，計算結果如表11-2-1所示，95年10月5日~31日累積總滲出量為 5612.93m^3 ，其後每月逐漸降低，另考量柯羅沙颱風帶來之降雨量及地表逕流流入截流溝，造成量水堰數值高估，因

此將颱風期間測得之滲出水量扣除，扣除後之值降為4702.11 m³。由修正後總累積滲出量與監測日數相除，可得每日之平均滲出水量，由96年10月的174.15 cmd逐漸降至97年1月之10.02cmd，由此可知橫向集水管在雨季及乾季之差異性極大，但因本計畫監測期間尚不足一年，對於全年度變化趨勢並無法觀之。

前期排水改善工程除在本區域鑽設18孔橫向集水管外，另分別於投87線公路沿線鑽設21孔、廬山立體停車場下方擋土牆鑽設11孔橫向集水管，在計畫監測期間三個區域皆可見坡體地下水由集水管排出，但因外在條件的影響下，其餘兩區域並無法裝設量水堰量測滲出水量，經由本團隊多次於現場勘查發現，投87線公路之橫向集水管滲出水量甚大，由前節描述甚至可發現集水管排出水量如噴泉一般，因此概估此區域之出水量為量水堰量測之1.2倍；另外廬山立體停車場下方擋土牆部份，集水管排水量並無前兩區域那麼大，概估此區域之出水量為量水堰量測之0.7倍，詳細之數值如表11-2-1。

表 11-2-1 計畫邊坡坡趾滲出水量表

區域	起日	迄日	總累積滲出量 (m ³)	修正後總累積滲出量 (m ³)	平均日滲出量 (cmd)
廬山停車場 下側邊坡	10/5	10/31	5612.93	4702.11	174.15
	11/1	11/30	1084.05	1084.05	36.14
	12/1	12/31	622.75	622.75	20.09
	1/1	1/3	30.07	30.07	10.02
投87線公路	10/5	10/31	7858.10	6582.95	243.81
	11/1	11/30	1517.67	1517.67	50.60
	12/1	12/31	871.85	871.85	28.13
	1/1	1/3	42.10	42.10	14.03
廬山停車場 牆下側擋土	10/5	10/31	2401.09	2011.46	74.50
	11/1	11/30	463.73	463.73	15.46
	12/1	12/31	266.40	266.40	8.59
	1/1	1/3	12.86	12.86	4.29
備註：修正後總累積滲出量為扣除柯羅沙颱風期間之滲出水量。					

11-3 後續治理規劃方案檢討

一、分年分期治理方針檢討

前期「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程」所建議之分年分期治理工程主要由以下四大部分所構成，並擬定一治理規劃分年分期實施計畫表(表3-3-1)：

- 1.表層之坡面排水系統。
- 2.淺層之橫向集水管。
- 3.中層之集水井。
- 4.深層之排水廊道。

目前治理工程已依序完成坡面排水系統及淺層之橫向集水管打設，詳見11-1節及11-2節說明，對於暴雨期間迅速排除地表逕流應已發揮一定之功效。

在完成表層之處理後，下一階段後續應針對積蓄在坡體深處之地下水加以排除，以增加豪雨期間邊坡之穩定性。

原規劃擬於計畫邊坡重點區域設置數處集水井排除坡體深處之地下水，但經本年度汛期對地下水變化之監測後，發現邊坡趾部積蓄大量地下水未能有效排除，初步推斷坡體內可能涵藏可觀之地下水量。因此，經過計畫執行期間多次研究與檢討後，建議更改原訂之分年分期計畫，直接於邊坡的重點部位設置排水廊道排除地下水，以達穩定邊坡之預期功效。

二、直接設置排水廊道建議

在排水廊道路線規劃時，應考慮地表之用地情形，廊道通過路線上方，如為公有地或無人利用之樹林，則在用地取得或施工抽坍的處理，均較為單純，若需通過私有地，則應避免經過既有房舍下方。

除地表用地考量外，洞口位置亦為決定廊道路線線型之另一要素，為方便廊道出渣，宜選擇足夠腹地之洞口位置；但計畫邊坡因山勢陡峭，可供選擇之寬廣空地作為洞口處並不多見，且由廊道施工考量，需要地質穩定的邊坡作為洞口規劃。

此外，地質條件亦為影響廊道規劃的要素之一，最佳之廊道方向應

該是與岩層之劈理位態正交，則施工期間廊道地質情況較為穩定；若是平行劈理走向，以本邊坡劈理之發達特性，則可能遭遇比較多的湧水及抽坍機率。

基於以上考量規劃本地滑邊坡排水廊道治理方案，但在佈置工程方案線型時，必須對以下兩種不同設計思維來作衡量：

1. 排水廊道不同其他隧道，其設置目的即為排水，一定程度的損害變形應在容許範圍內。所以規劃排水廊道時會接近或直接穿入滑動體內，由廊道自身構造發揮最大汲水效果，雖廊道會受滑動作用損壞，但若抑制邊坡滑動，則損害程度會趨於穩定。
2. 希望排水廊道位於滑動體外的穩定岩盤內，再由集水管伸入破碎岩區，將破碎岩區的地下水疏解出來，若邊坡發生滑動亦不致損害廊道自身結構。

以上兩種思維經常成為設計排水廊道時，工程師必須加以取捨的要素，倘若廊道距離破碎岩區過遠，則效果不佳，若距離破碎岩區過近，又面臨滑動威脅。

兩種不同的設計理念並無孰為優劣之分，衡觀國內已完成的排水廊道案例，諸如：梨山地滑、德基水庫右岸中橫63K處、鯉魚潭水庫右岸投池、霧社水庫疏洪隧道右山脊、曾文水庫水力電廠邊坡、協和火力電廠第三部機組邊坡、谷關壩等等，均可見兩種不同方式之設計，而也多半發揮預期穩定邊坡的效果。

因此在規劃排水廊道方案時，必須因地制宜考慮案例邊坡的特性；基於本案為深層潛移的岩坡滑動，滑動行為較為緩慢，相對對於廊道結構破壞作用亦較小，所以在規劃廊道線型可適時接近破碎岩區，以達到最大排水效果。

基於以上兩種設計思維，規劃兩排水廊道方案，方案一為直接自滑動體內穿入破碎岩區之設計方法，而方案二則為自滑動體側邊繞到滑動體後方再接近破碎岩區的設計方法，方案規劃如圖11-3-1所示，概要說明如下節所述。

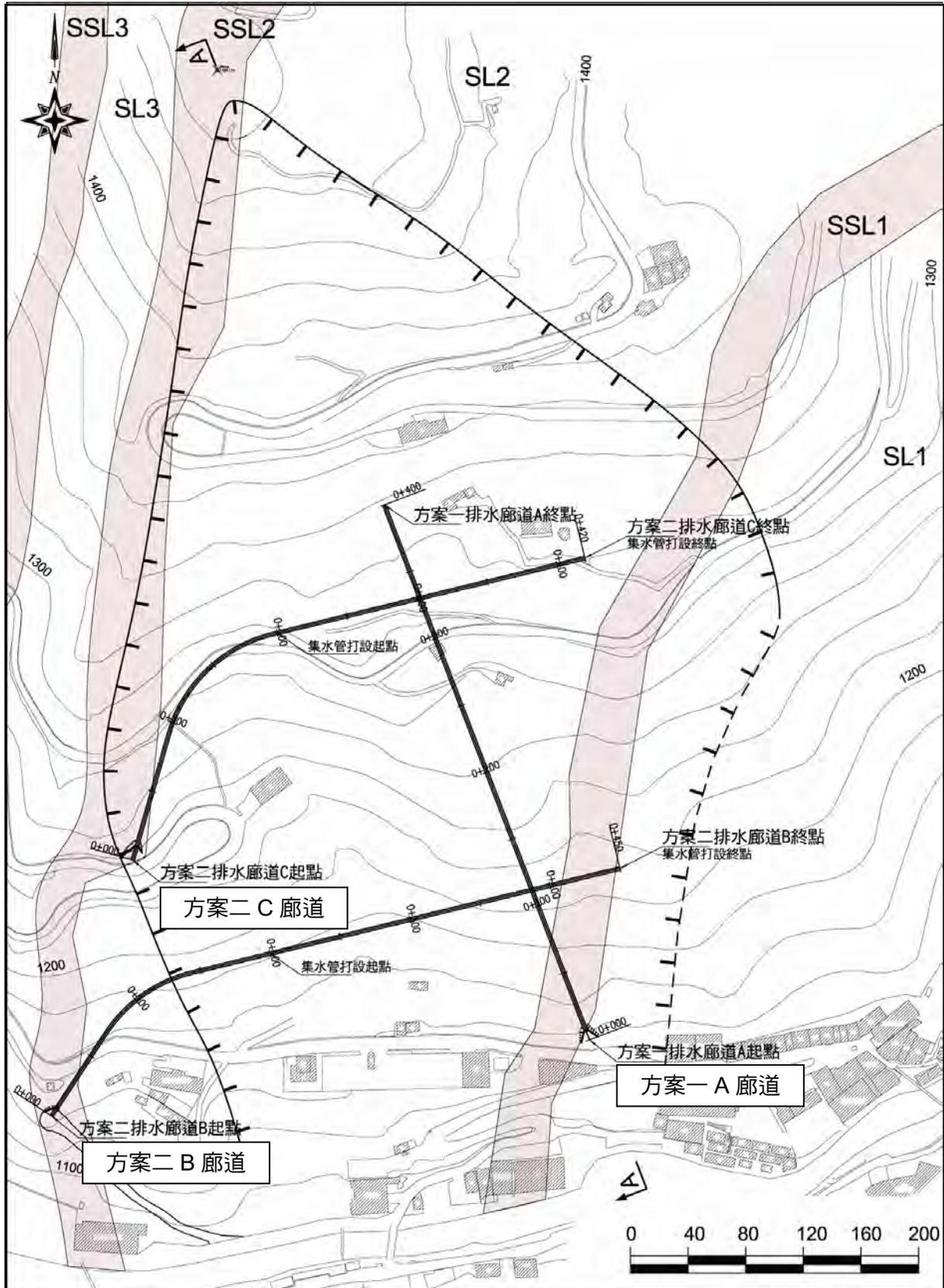


圖 11-3-1 排水廊道規劃平面圖

11-3-1 方案一排水廊道規劃 - A廊道

一、方案一概要說明

本方案選擇計畫邊坡中央的斷面作為廊道規劃之路線(圖11-3-1)，其規劃構想為設置一條排水廊道於滑動體底部，因為滑動體中央部位的滑動體深度最深，滑動體內的地下水亦多由兩側脊線向中央匯集。因此，若在滑動體的中央部位設置一條排水廊道，對於地下水的宣洩理論上應具有極佳之效率。

二、洞口位置說明

在計畫邊坡的趾部多已人為開發，可供選擇的洞口位置並不多見，在投87線溫泉路名廬大飯店的對面有一稍微寬廣的邊坡空地(圖11-3-2)。



圖 11-3-2 A 廊道洞口位置現況

本處洞口附近僅路側擋土牆後方有較為寬廣之腹地可供施工運用，但所在位置為溫泉路與商店街之叉路口，假日期間人潮、車輛繁忙，如於此處施工，相關交通維持設施應有詳細規劃。

三、廊道路線說明

本廊道路線在滑動體中央進入坡體，預計達到位置為前述地質調查所發現之地下水明顯變化、新鮮岩盤陷落處(B9602孔、B9603孔附近，

圖11-3-3)，本方案廊道的洞口段為滑動體表層的風化帶，由坡趾附近的鑽探孔位資料得知(B9409孔、B9604孔)，地面表層的岩心多半風化、破碎預估在施工上會遭遇一段較為惡劣地質條件。

而進入岩盤深處後，因為仍在滑動體內，根據地調所A9615孔的鑽探岩心資料顯示，廊道可能通過的地質雖不若洞口段破碎，但在滑動體滑動、擠壓作用下，地質條件仍不為良好，而廊道將通過預估之滑動面，預測將來會有廊道結構剪切變形的情况。

而在廊道縱坡規劃設計上，為使廊道達到抒解積存地下水的目標，應該控制廊道高程以橫向集水管能夠探得B9602孔、B9603孔附近風化破碎岩層的高程為方針，但必須考量廊道坡度過大將不利廊道施工，經施工實務經驗得知，一般機械開挖施工，在無捲揚設施的條件下，廊道縱坡不宜超過14度。

基於以上考慮，建議規劃以縱坡10度、長度400公尺的廊道路線向坡體中央佈置廊道線型。

四、廊道斷面規劃

廊道斷面則考慮可以機械施工之最小斷面，以節省工程成本；初步決定採內徑2.1公尺馬蹄形混凝土襯砌斷面，每隔4公尺打設1環排水孔及汲水孔，每環頂拱設置4處排水孔，側壁兩處汲水孔，排水孔內裝設30公尺長管徑50mm之集水管，汲水孔內埋設3公尺長PVC管(圖11-3-4)。

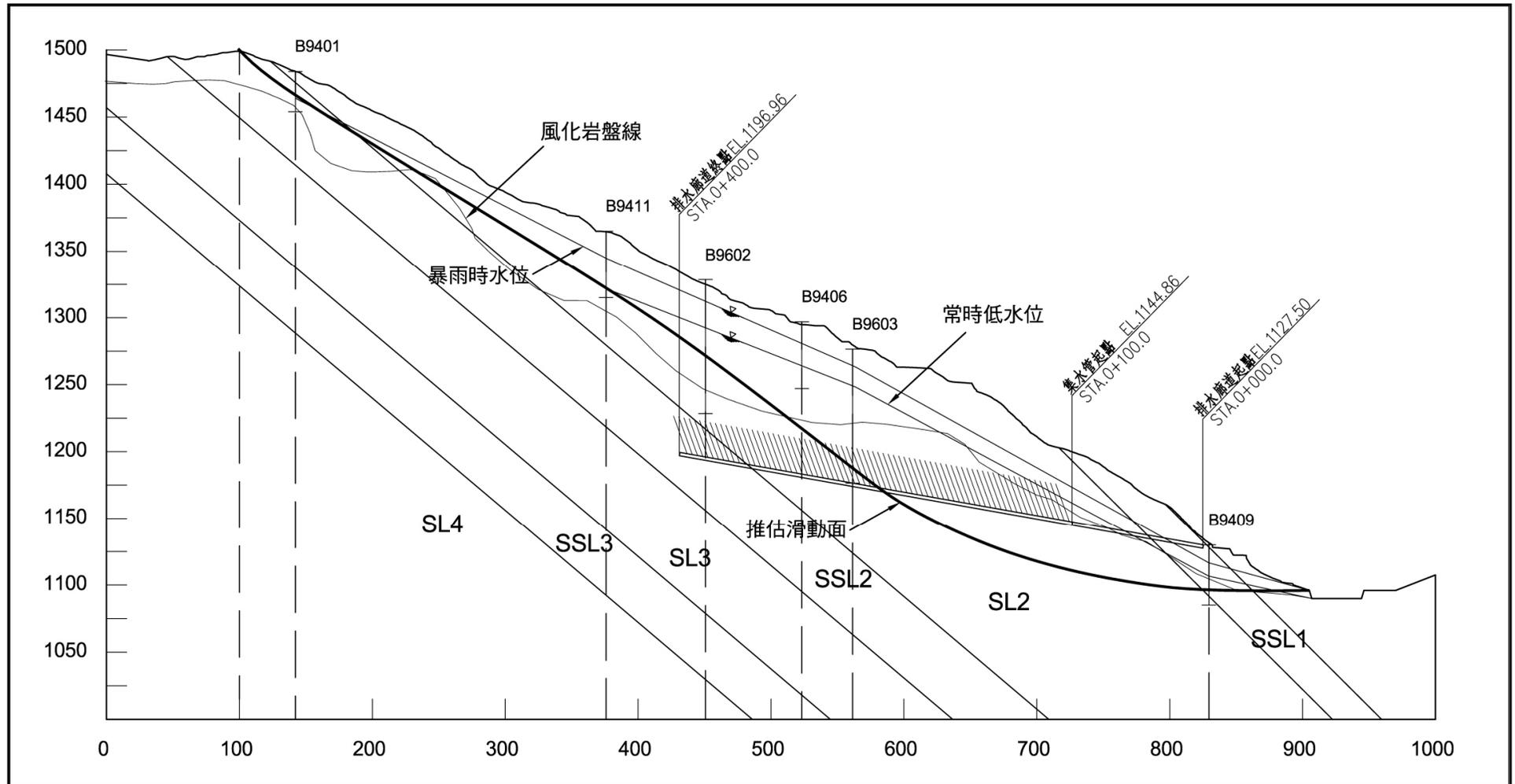


圖 11-3-3 方案一 A 廊道縱斷面圖

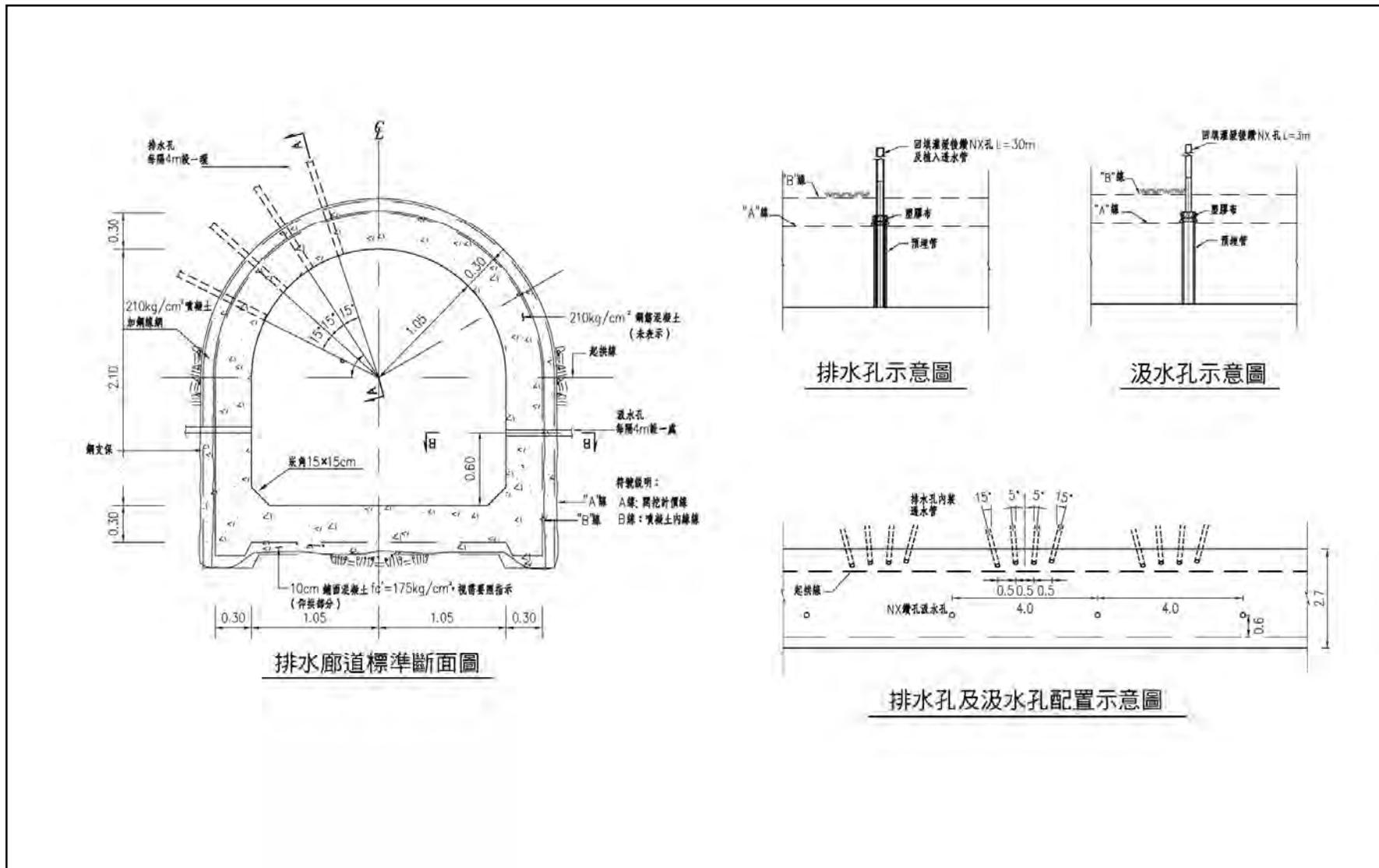


圖 11-3-4 排水廊道標準斷面規劃

五、工程經費概算

本方案廊道通過地質條件較為破碎，需要以工程灌漿、木板支撐等方式克服破碎滑動面，工程經費較高，初步以每公尺10萬元估計，經過初步估算本方案工程預算為新台幣7,014萬元。

表 11-3-1 排水廊道 A 經費概算表

項目	單位	數量	單價	總價	備註
一、發包工程費			-		
(一)廊道工程	m	400	100,000	40,000,000	
(二)橫向集水管	m	9,000	1,500	13,500,000	
(三)出口工程	全	1	-	2,000,000	
(四)開挖地質圖製作	全	1	-	300,000	
(五)雜項工程	全	1	-	5,000,000	
(六)包商管理費(含工地管理費、利潤、營業稅以外稅捐及其他雜支)	全	1	-	6,000,000	
小計				66,800,000	
二、營業稅	全	1	-	3,340,000	5%
合計				70,140,000	

11-3-2 方案二排水廊道規劃 - B及C廊道

一、方案二概要說明

本方案選擇計畫邊坡中段及趾部適合洞口兩處(圖11-3-1)，施設兩條橫切滑動體的廊道，分別為B及C廊道，預計在坡體中段及下段將邊坡的地下水全面加以排除(圖11-3-5)。

在治理工作推展上，則建議分階段進行，第一階段先施作C廊道，重點排除下邊坡處的積存地下水，若已達預期目標，並使整體邊坡的地下水位一併下降，則不再推動B廊道的施工。

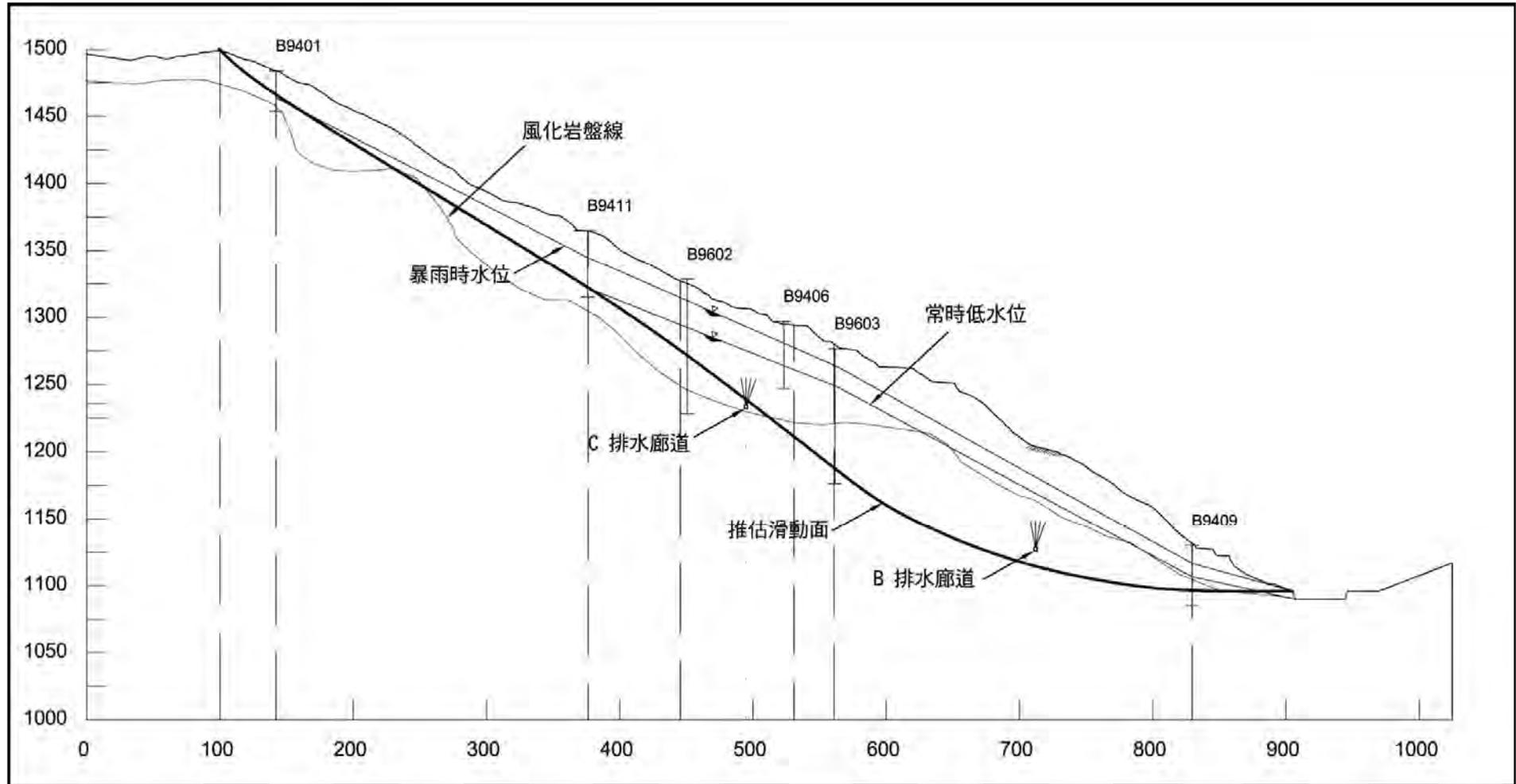


圖 11-3-5 方案二通過 A-A 斷面高程位置

二、洞口位置說明

(一) B 廊道洞口說明

投87線溫泉路西高東低，若於西側選擇洞口入洞，則排水廊道整體高程過高，可能無法有效排除坡體內下邊坡處地下水，但東側又多為溫泉飯店及商店適宜地點不多。

經審慎考慮後，建議於塔羅灣溪溪畔，廬山立體停車場西南側一處穩定山脊地形為入洞地點(圖11-3-6)。此處洞口前方為寬廣的停車場，具有足夠寬間供施工及棄渣，且遊客罕有到達此一地點，施工不會干擾當地觀光事業，就洞口選擇上頗為適宜，但為避免廊道高程過低建議以施工便道至高程1125公尺處入洞。

(二) C 廊道洞口說明

排水廊道C則於台14線88K+100公路U型彎處入洞(圖11-3-7)，以垂直坡面方向進入穩定岩盤，此處洞口前方為台14線公路U型彎處，若經整理後，可為日後施工階段暫放機具及暫置棄渣的地點，就施工考量上亦為一良好之洞口選擇。

三、廊道路線說明

(一) B 廊道路線說明

投87線溫泉路西高東低，且沿路多為商業利用，可選擇洞口不多，目前規劃在塔羅灣溪溪畔的砂質板岩層SSL2所在山脊以施工便道方式到達預定洞口位置入洞。

目前規劃入洞方向雖與岩層走向平行，但此處岩盤狀況甚為穩定(詳見B9408孔岩心照片)，弱面位態造成的偏壓狀況應該影響不大，估計洞口段的施工將在大致良好的條件下進行，進入岩盤深處後，廊道方向已與劈理走向斜交，而可能較為破碎的位置將為里程0+350至0+450之間，廊道進入推估滑動體內後，將遇到較多的破碎情況。

相關廊道路線規劃斷面詳見圖11-3-8所示。



圖 11-3-6 B 廊道洞口位置現況



圖 11-3-7 C 廊道洞口位置現況

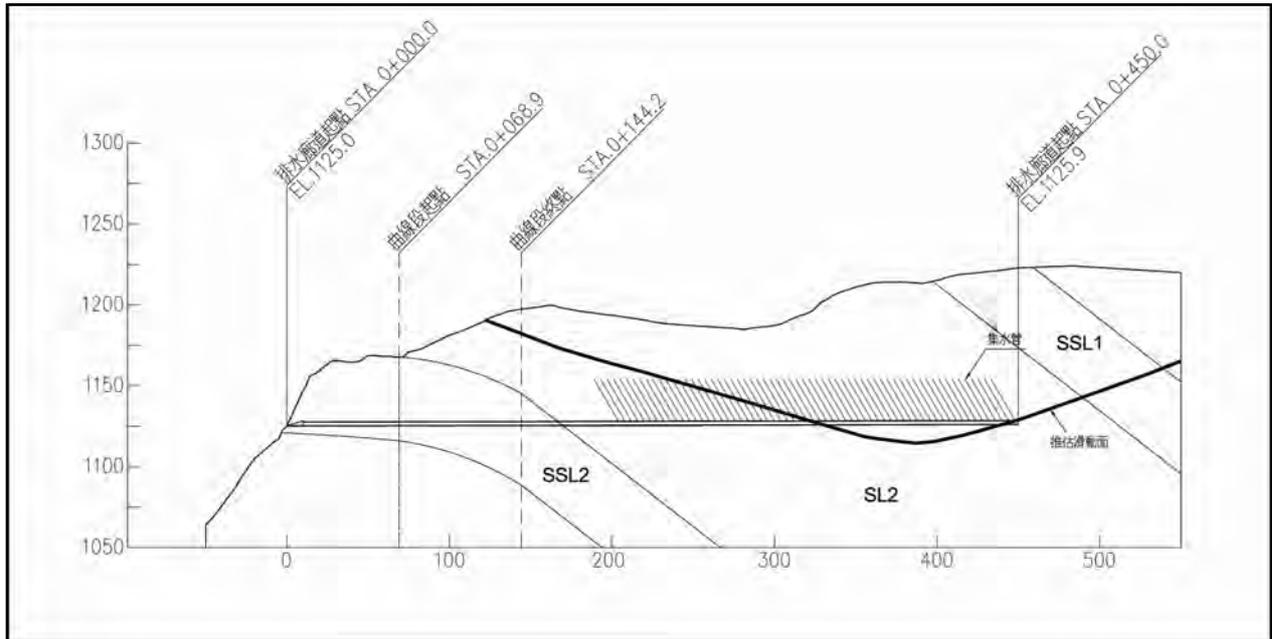


圖 11-3-8 方案二 B 廊道縱斷面圖

(二) C 廊道路線說明

排水廊道 C 則於台 14 線 88K+100 公路 U 型彎處入洞，以垂直坡面方向進入穩定岩盤，在彎折至預定方向，並為避免用地糾紛，選擇在無建物利用下方通過，取得土地使用同意將較為可行。

本廊道入洞處位於滑動體邊緣，所以滑動面屬於淺層破壞，應可以工程技術克服；若為避免此一困擾，則廊道長度必須延長一倍以上，工程成本大幅提昇，且並未有適切之洞口位置。因此，仍決定採原案以工程方式克服淺層滑動面。

相關廊道路線規劃斷面詳見圖 11-3-9 所示。

五、工程經費概算

本方案廊道通過地質條件較為單純，初步以每公尺 7 萬元估計，經過初步估算本方案 B 廊道工程預算為新台幣 5,885 萬元，C 廊道工程預算為新台幣 5,150 萬元。

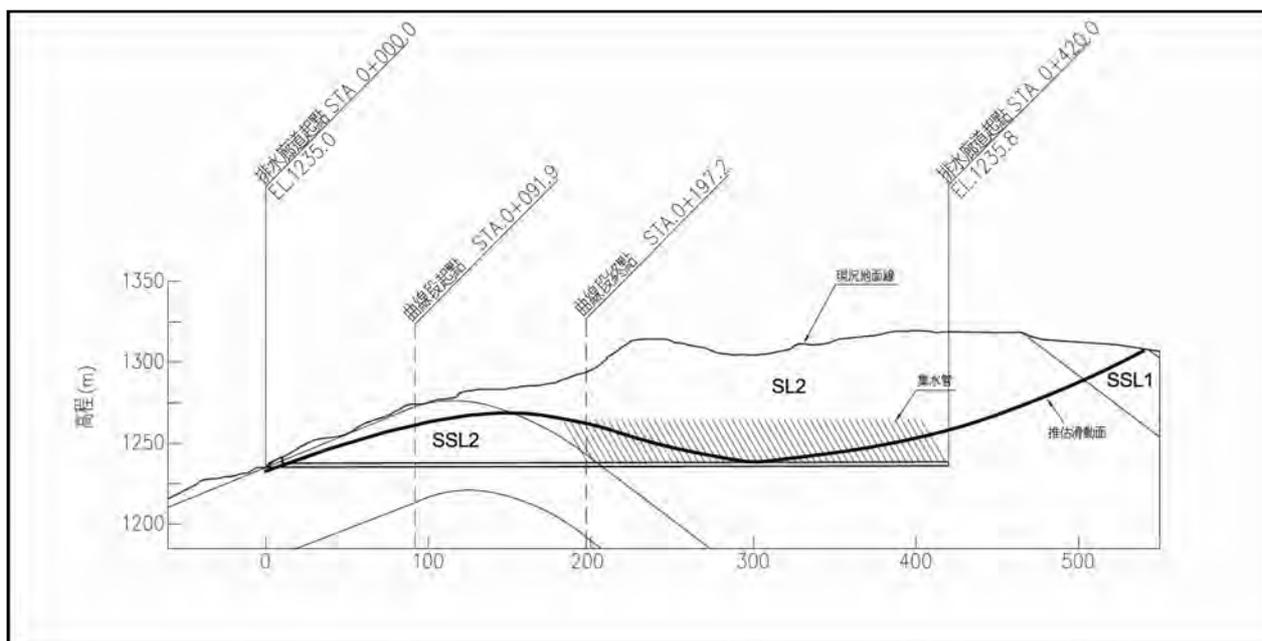


圖 11-3-8 方案二 C 廊道縱斷面圖

表 11-3-2 排水廊道 B 經費概算表

項目	單位	數量	單價	總價	備註
一、發包工程費			-		
(一)廊道工程	m	450	70,000	31,500,000	
(二)橫向集水管	m	7,500	1,500	11,250,000	
(三)出口工程	全	1	-	2,000,000	
(四)開挖地質圖製作	全	1	-	300,000	
(五)雜項工程	全	1	-	5,000,000	
(六)包商管理費(含工地管理費、利潤、營業稅以外稅捐及其他雜支)	全	1	-	6,000,000	
小計				56,050,000	
二、營業稅	全	1	-	2,802,500	5%
合計				58,852,500	

表 11-3-3 排水廊道 C 經費概算表

項目	單位	數量	單價	總價	備註
一、發包工程費			-		
(一)廊道工程	m	420	70,000	29,400,000	
(二)橫向集水管	m	6,600	1,500	9,900,000	
(三)出口工程	全	1	-	2,000,000	
(四)開挖地質圖製作	全	1	-	300,000	
(五)雜項工程	全	1	-	5,000,000	
(六)包商管理費(含工地管理費、利潤、營業稅以外稅捐及其他雜支)	全	1	-	6,000,000	
小計				52,600,000	
二、營業稅	全	1	-	2,630,000	5%
合計				55,230,000	

11-3-3 工程效益評估與方案比較

一、方案評估

方案評估比較如表11-3-4所示，方案一整體工程造價較低，但通過地質條件破碎區域，且廊道縱坡達到10度左右，施工難度高。

而方案二整體工程造價高，但施工條件較單純，若施作C廊道後可達預期效果，則整體經濟效益反較方案一為佳。

二、排水廊道效益分析

兩方案預期降低的地下水位高程相同，差別在於方案一以縱向局部改良滑動體重點區域，而方案二則採橫切剖面方式全面截除地下水，經改善後邊坡安全係數預計可提昇至1.20，達到計畫設計要求，相關分析成果如圖11-3-9所示。

表 11-3-4 排水廊道方案比較表

	方案一 A 廊道	方案二 B.C 廊道
排水功能	針對滑動體重點區域排水，排水效益高，但可能只對廊道週邊產生效果。	廊道橫切滑動體，排水效果較全面。
洞口邊坡	1.洞口邊坡較破碎。 2.附近腹地有限。	1.B 廊道洞口地質條件佳，但需設施臨時道路。 2.C 廊道洞口地質條件較破碎。 3.附近有空曠腹地。
廊道地質	在滑動體內施設廊道，地質條件破碎，廊道坡度陡難度高。	局部通過滑動帶，廊道條件較單純。
民生影響	洞口位於商業區域對民生影響大	遠離商業區，對民生影響程度小。
工程造价	A 廊道造價 7014 萬元 整體造價較低。	B 廊道造價 5885 萬元 C 廊道造價 5523 萬元 整體造價較高。

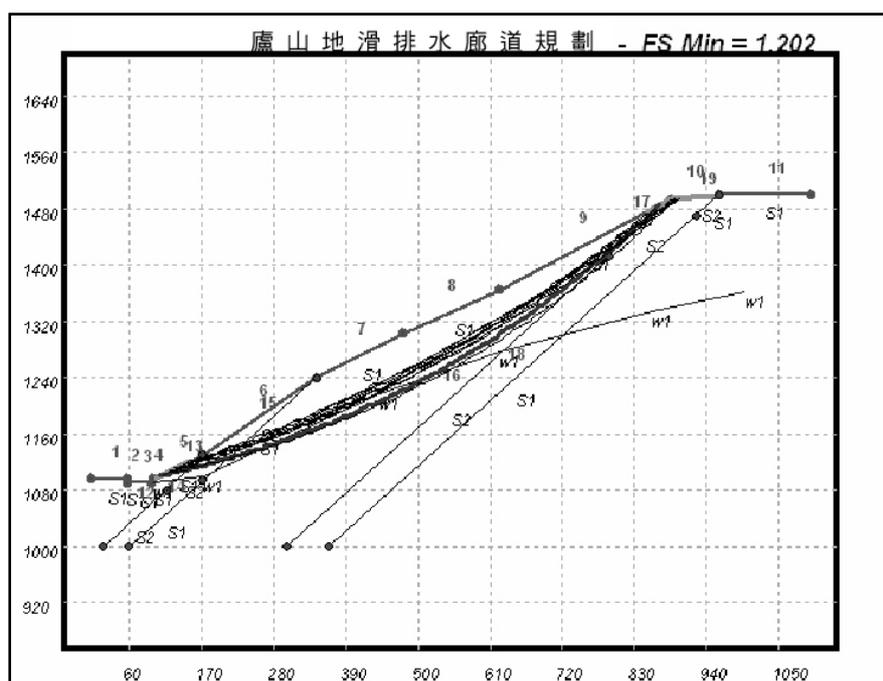


圖 11-3-9 排水廊道施設後邊坡安定分析

本計畫治理規劃之預期效益包含直接效益及間接效益兩大類，直接效益為實際可獲得之治理成果，如地滑情況的改善、保障廬山溫泉區之安全、維持台 14 線至廬山部落之交通暢通等；間接效益則包含延長塔羅灣溪下游霧社水庫之壽命、減少公路局路面養護成本、改善農業經營環境、保育自然生態、促進土地永續利用等。最後並可提升台灣水土保持治山防災績效。以下針對直接效益與間接效益逐一說明。

(一)直接效益

1.節省道路維護修繕費用：

由計畫監測資料發現，地滑主要原因係受降雨影響，當豪雨作用，致使坡體飽和後，即形成山坡滑動之驅動力，若能有效截流坡面排水與降低地下水位，引導至安全處排放，將降雨對地滑之影響程度減少，必能台 14 線公路每逢豪大雨路面就陷落之情況大幅改善。

目前公路管理單位每年均需花費 200-300 萬元，於豪雨後修復本路段公路設施，若經積極治理本計畫邊坡後，相信能使公路單位維護修繕成本大幅減少。

2.促進觀光產業持續發展：

本計畫邊坡正下方是著名之廬山溫泉風景區，直接影響之居民及假日遊客人數可達 1500 人以上，若於觀光旺季發生地滑災害，後果將不堪設想。

根據九二一震災之經驗，雖地震並未直接於計畫範圍造成顯著之災情，但在震災後數年內，旅遊人數急速衰退，整體產業萎靡不振，顯見地區災害對旅遊心理影響之鉅。

根據統計資料，目前廬山溫泉地區登記有案之飯店旅社業者共有 44 家，每逢假日於本地住宿遊憩之旅客高達上千人，每年創造經濟產值達數億元，貢獻政府大量稅收，若本地區發生再發生重大災害，將重創觀光經濟產業，因此實有需要加以積極維護治理。

(二)間接效益

1.延長台電霧社水庫壽命，霧社水庫主要係蓄積濁水溪溪水越域引水至日月潭作發電及民生利用，若本計畫範圍發生地滑災變時，所崩落之土石將淤積於塔羅灣溪上游河道，順溪水而下，間接將使霧社水庫庫

容減少，降低水庫利用效益。

- 2.維持台14線道路暢通，台14線公路為精英村及合作村2千餘居民重要聯外交通要道，不幸發生地滑災情，公路因此柔腸寸斷，居民生計將受嚴重威脅，若能有效維持山坡之穩定，道路亦將保持暢通，使靜觀、平和、平靜及廬山等部落之經濟活動將不受影響。
- 3.事前預防治理，可避免發生大規模地滑災害所耗費之救援救災人力物資。
- 4.治理規劃之施設可強化保全對象之防災意識，提高公共參與及社區整體營造之共識。
- 5.減少地滑災害發生，維持交通運輸之順暢，可提高民眾至廬山溫泉觀光旅遊之樂趣，改善國民之精神生活。
- 6.強化山坡地監測管理，確保廬山地區之水土資源永續利用，使自然與人文環境協調，塑造水與綠之生活環境。

(三)效益分析

一般土木工程設施耐用壽齡以30年為經濟分析年限，本計畫依此年限計算經濟效益、成本如下

1.經濟效益計算

(1)節省公路修繕維護效益

倘若在未治理的情形下，邊坡持續發生滑動，將來可能面臨改線的需求，則需要耗費數億元的工程經費；即使以較樂觀的情況，邊坡未發生大規模坍塌，而以常年維護經費估計，由目前公路管理單為每年需要修復維護費用以250萬元估算，30年需要金額為7,500萬元，估計滑動情形獲得改善後，公路管理單位僅需耗費20%之管理維護費用，則30年共可節省維護修繕費用6,000萬元，換算年效益約為615.9萬元。

(2)促進觀光產業效益

若計畫邊坡未持續治理，假設於未來30年內發生一次嚴重之坍塌作用，保守估計造成數家旅社傾倒需要重建，並引起新聞業者大幅報導，導致旅客怯步，5年內整體觀光產業營業額衰退20%。

估計旅社及公共設施直接重建費用約需1億元，每年影響之觀光產值以4億元之20%計算，5年恢復期約損失4億元營業額，業者毛利以1成估算，則業者收益短收4,000萬元，政府營業稅短收2,000萬元，社會總付出成本為1億6,000萬元。

若積極治理本計畫邊坡，則避免上述損失即為本治理工作之經濟效益，換算年效益為1,642.4萬元。

上述兩項年直接效益總和為2258.3萬元，間接效益以直接效益10%估計為226萬元，間接及直接效益合計為2484.3萬元。

2.年計成本

年計成本計算分為方案一及方案二兩案計算，除排水廊道需要工程外，目前已實施之坡面排水改善工程及橫向集水管工程以及相關調查治理規劃、設計監造費用均需計入總投資額內，經計算如表11-3-5所示。

表 11-3-5 廬山地滑治理總投資額計算

項目	方案一 A 廊道 (萬元)	方案二 僅施作 C 廊道 (萬元)	方案二 施作 B 及 C 廊道 (萬元)
1.已完工坡面排水及橫向集水管工程	2,000	2,000	2,000
2.排水廊道工程	7,014	5,523	11,035
3.治理調查規劃及監測	3,000	3,000	3,000
4.設計、監造及其他管理費用	1,486	1,215	1,865
總投資額合計	13,500	11,738	17,900

以30年為經濟分析年限計算年計成本包括年利息、年償債基金與年運轉維護費用，茲分述如下：

(1)年利息

以總投資額6%計算。

(2)年償債基金

工程投資攤還基金，依經濟分析年限30年計算，每年平均攤還，加上年利率6%以複利計算，則年償債基金為總投資額之1.265%。

(3)年運轉及維護成本

係以建造工程費3%為計算依據。

(4)年計成本

上述各項總合即為本計畫年計成本。

3.效益評估

整體治理規劃效益評估之評估模式最終可以益本比之模式作明確之估算，而本計畫之益本比定義如下：

$$I=B\div C$$

其中，I=益本比

B=整體治理後計畫區域之年計效益

C=整體治理計畫投資之年計成本

本計畫，預計於未來3-5年後預期當整治工作完成後，計畫區域之環境將有效改善，災害發生機率降低，人民安全、社會發展獲得保障。由表11-3-6得知方案二僅施作排水廊道C的效益最高，其次為方案一排水廊道A，最低為方案二排水廊道B及C均施作的效益最低，但經濟效益均大於1，證實本計畫屬經濟可行。

表 11-3-6 廬山地滑治理經濟效益分析

年計 效益	直接效益	節省道路修復費用	估計30年共可節省維護修繕費用6,000萬元，換算年效益約為615.9萬元。	2258.3萬元	總計	2484.3萬元
		維護觀光持續發展	治理本計畫邊坡，則避免觀光產業損失為1億6,000萬元，換算年效益為1642.4萬元。			
	間接效益	經濟效益	以直接效益之10%估計，無形效益之年效益為226萬元	226萬元		
		社會效益				
生態環境效益等						
A 廊道 年計 成本	總投資額	1億3500萬元		---	總計	1251.2萬元
	年利息金	以總投資額之6%計算		810萬元		
	年償還基金	依經濟分析年限30年計算，每年平均攤還，加上年利率6%以複利計算，則年償還基金為總投資額之1.265%		170.8萬元		
	年運轉及維護成本	以建造工程費之3%為計算依據		270.5萬元		
益本比=2484.3萬元/1251.2萬元=1.98						
C 廊道 年計 成本	總投資額	1億2100萬元		---	總計	1089.3萬元
	年利息金	以總投資額之6%計算		704.4萬元		
	年償還基金	依經濟分析年限30年計算，每年平均攤還，加上年利率6%以複利計算，則年償還基金為總投資額之1.265%		148.5萬元		
	年運轉及維護成本	以建造工程費之3%為計算依據		236.5萬元		
益本比=2484.3萬元/1089.3萬元=2.28						
B 及 C 廊道 年計 成本	總投資額	1億7900萬元		---	總計	1691.5萬元
	年利息金	以總投資額之6%計算		1074萬元		
	年償還基金	依經濟分析年限30年計算，每年平均攤還，加上年利率6%以複利計算，則年償還基金為總投資額之1.265%		226.4萬元		
	年運轉及維護成本	以建造工程費之3%為計算依據		391萬元		
益本比=2484.3萬元/1691.5萬元=1.47						

11-3-4 排水廊道臨時替代方案建議

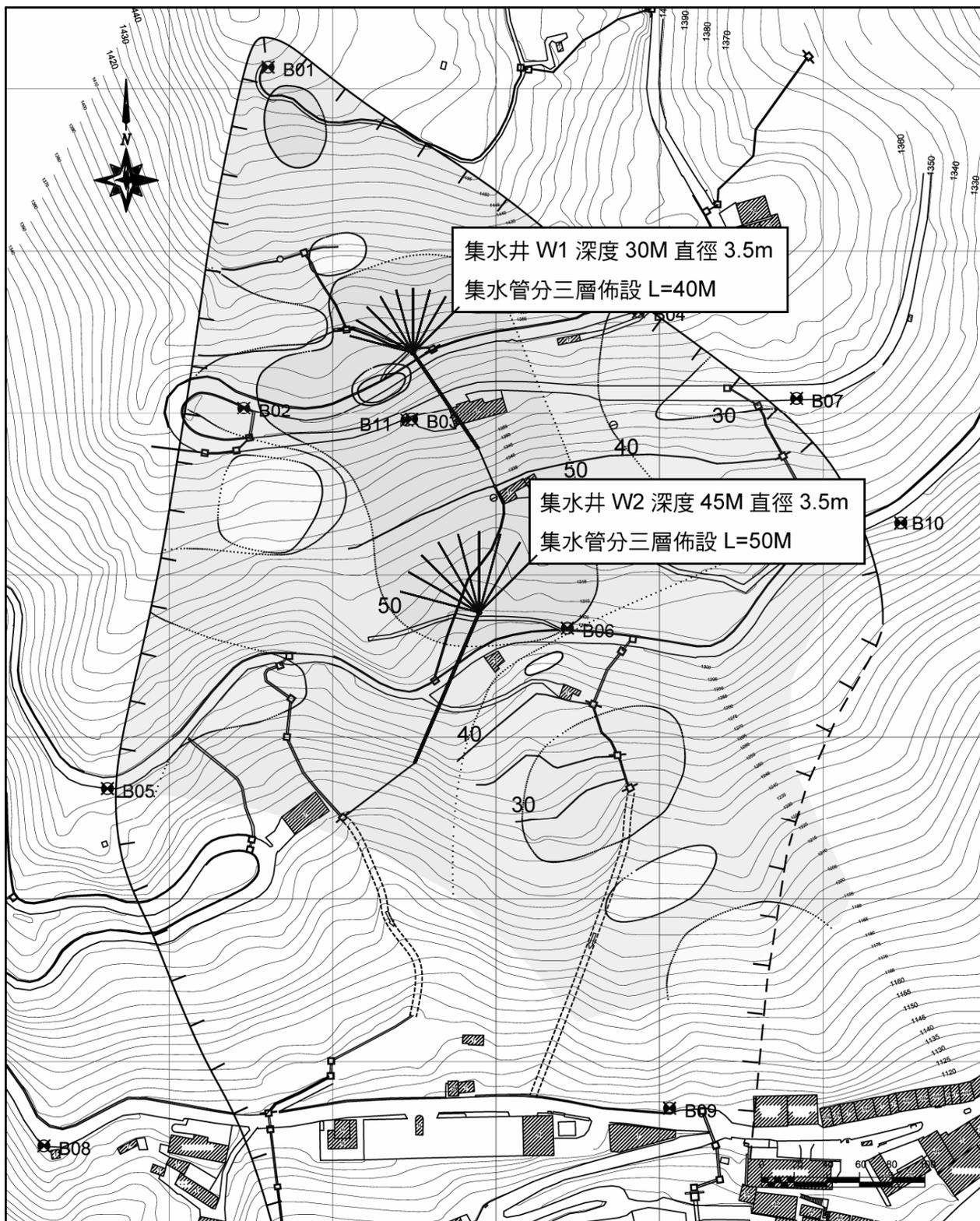
經初步規劃，本地滑邊坡排水廊道需要治理經費約為新台幣1億元左右，相關預算籌措及權責區分並非一時能加以解決，因此在預算問題尚未解決之前，建議參考前期規劃於本地滑邊坡重點位置設置集水井排除地下水，雖不致可收全面整治之功效，然在排水廊道動工之前，若遇緊急狀況，仍不失為一在有限預算內可臨時處置之替代方案。

前期規劃之集水井設置位置，主要根據地下水調查成果加以施設，為具體有效達到排水功能，規劃將集水井W1設置於滑動體頭部扇狀凹谷中央，以截流上方流入之地下水(圖11-3-10)。

除集水井W1以外，本地滑區屬狹長狀之滑動形狀，為有效降低全區地下水目的，另於地下水敏感區域再規劃集水井W2，以達到重點排除地下水之效果(圖11-3-10)。

集水井之設置深度考慮避免遭滑動面錯斷造成破壞，底部高程規劃於滑動面以上，分別為集水井W1深度30公尺，集水井W2深度45公尺。集水井口徑因集水井深度較深，採用3.5公尺直徑；井壁材料經本期計畫針對現地地層材料調查後發現岩體頗為破碎，因此本次規劃將修正前期建議之鋼襯板型式，改以混凝土井筒方式設計。

相關集水井佈置詳如圖11-3-10及圖11-3-11所示。



資料來源：民95年「台14線地滑地調查治理規劃工程」

圖 11-3-10 替代方案集水井工程平面佈置圖

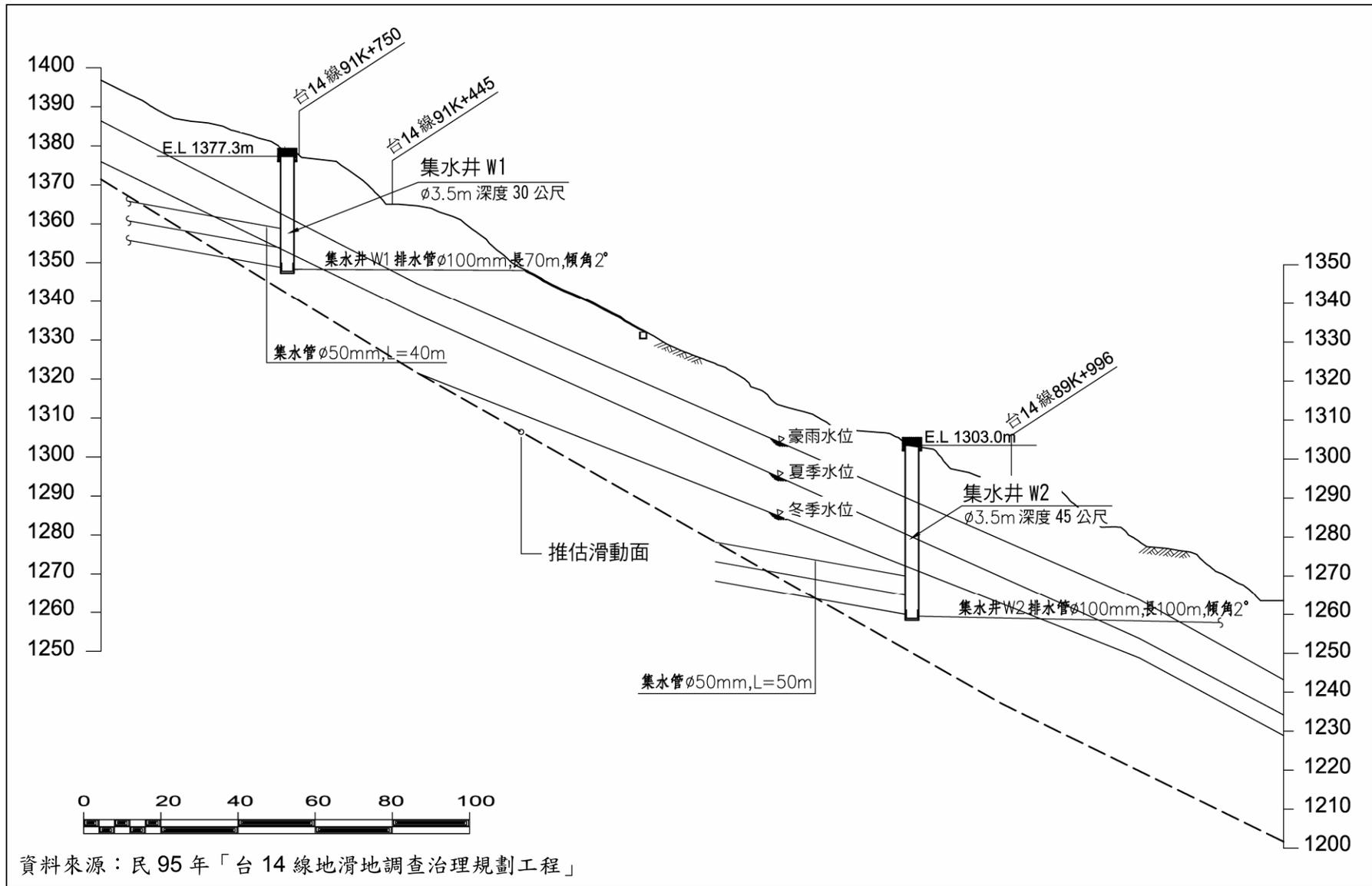


圖 11-3-11 替代方案集水井工程縱斷面圖

11-3-5 排水廊道先期規劃方案建議

在推動排水廊道工程之前，必須針對廊道沿線及工程需要之地質與地下水情況作必要的補充調查，初步擬定先期規劃方案包含廊道沿線的地質調查、廊道可能洞口段的淺覆蓋層調查、地下水的補充調查、基本的工程規劃與佈設等等，詳見表11-3-7所示。

表 11-3-7 排水廊道先期規劃工作項目表

工 程 項 目	說 明	單 位	數 量	單 價	總 價	備 註
一、基本資料補充調查與分析	包含過去規劃報告檢討	式	1.00	100,000	100,000	
二、廊道沿線地質鑽探調查	隧道沿線重點地質調查，每孔鑽深100m以上	公尺	300.00	4,000	1,200,000	
三、廊道洞口段地質鑽探調查	採斜孔或水平孔，調查洞口淺覆蓋段地質情形	公尺	200.00	5,000	1,000,000	
四、折射震測調查	針對廊道沿線及洞口段進行調查	公尺	1,500.00	800	1,200,000	
五、地電阻影像探測調查	針對重點地下水區域進行調查	公尺	1,000.00	600	600,000	
六、地下水補充調查	採地下水檢層、微流速儀或地下水追蹤調查等方式，補充調查地下水情形	式	1.00	400,000	400,000	
七、岩土材料力學試驗	辦理相關岩土材料力學試驗，提供數值分析依據	式	1.00	200,000	200,000	
八、工程規劃與評估		式	1.00	600,000	600,000	
八、審查及說明會相關費用		式	1.00		100,000	
九、包商稅雜	約12%	式	1.00		650,000	
合 計					6,050,000	
預算金額： 新台幣 陸佰零伍萬 元整						

第十二章 治理機關權責法令檢討

由上述檢討得知，本計畫邊坡主要保全對象有以下三項：

1. 霧社水庫使用壽命及保育目的。
2. 台14線公路之交通維持。
3. 廬山溫泉風景特定區的安全。

而這三項保全對象的權責相關單位包含水利單位、交通單位、地方政府、水土保持局等等，其各有專屬法規，各事業主管機關因目的事業及法源不同，基於機關本位主義，其間之不協調處是可能的。

為使後續治理工作順利推展，茲就水利法規、交通法規、地方自治法規等法令層面檢討各單位相關權責。

一、水庫集水區現況法令架構

廣義的集水區環境指水域及其外圍之陸域環境，亦即以流域為範圍，而與流域管理相關之法令涉及資源開發利用(含土地、礦產、森林、水資源)、集水區及資源保育(含水、土、林及生態)、河川管理、污染及公害處理、國有財產管理等，現況法規架構及其中央主管機關架構可示如圖12-1-1。

廣義的管理體系涉及台灣電力公司、交通部公路總局、經濟部水利署、農委會水土保持局、林務局、內政部營建署、原住民族委員會、環保署、地方縣(市)政府、退輔會等。

但本計畫係為水庫集水區流域內邊坡災害防治與管理，故其管理治理事業主要集中在水利、水保、地方政府及公路機關。該目的事業權責之法源依據為水利法、公路法、河川管理辦法、水土保持法、山坡地保育利用及農業管理等條例，詳見表12-1-1所示。

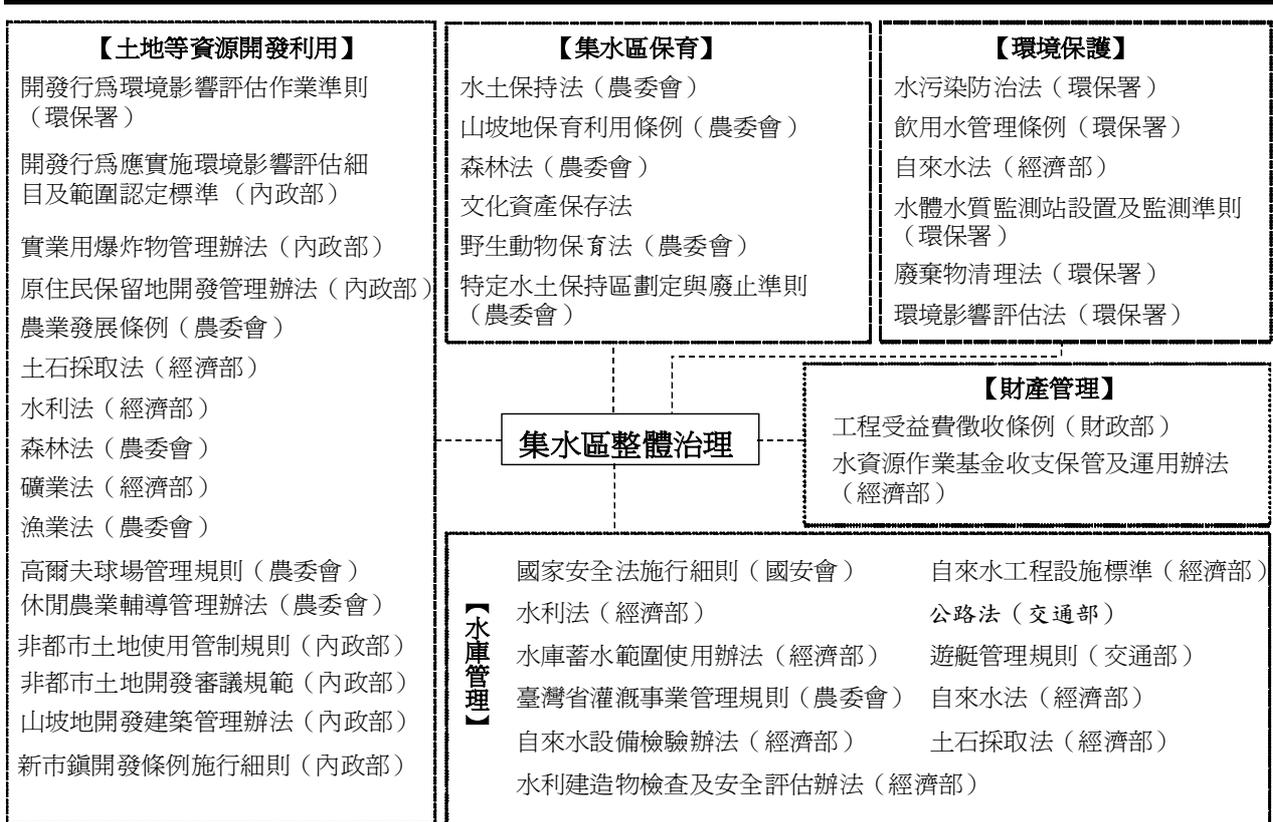


圖 12-1-1 相關法令及主管機關權責架構圖

二、相關單位權責說明

本計畫邊坡之管理與治理事涉許多政府機關權責，為協助計畫後續治理推動分工，茲整理各單位權責範圍如下：

(一)南投縣政府

廬山溫泉為南投縣重要觀光資源，並貢獻豐碩稅收予地方政府，而該溫泉即為本計畫邊坡之重要保全對象，本計畫邊坡亦完全涵蓋於南投縣政府劃定之「廬山風景特定區計畫」範圍內，依地方自治法第19條縣市政府自治事項辦理計畫邊坡之治理及管理工作。

(二)公路總局第二區養護工程處

本計畫邊坡屬霧社水庫集水區，而為區分各單位權責劃分，本計畫係依據水利署96年1月29日經授水字第09620200600號令訂定「水庫集水區治理權責分工暨有關事項處理原則」，辦理各項工作之劃分，其中台14線公路88K至91K路段於本計畫邊坡迂迴通過，依該辦法所述，有關道路水土保持部分：由道路主管機關依權責辦理（路權及上下邊坡不可分割之治理範圍）。

(三)水利署第四河川局

依前述辦法所述，在野溪治理方面河川界點以下河川，由經濟部水利署治理；本計畫邊坡趾部塔羅灣溪河川界點位於溫泉吊橋上游1公里處，因此本計畫河段屬水利署第四河川局管轄範圍，而該河段之治理攸關計畫邊坡趾部之穩定。

(四)水土保持局

依前述辦法所述，水庫集水區非屬水庫蓄水區、林班地、道路鄰近範圍之山坡地水土保持治理由水保局負責；水土保持局應依該治理權責分工原則辦理本計畫邊坡非屬道路鄰近範圍之山坡地水土保持工作。

(五)跨部會協調機制

如前所述，本計畫邊坡管轄權責機關，涵蓋地方政府、交通部公路總局、經濟部水利署、農委會水土保持局，依該治理權責分工原則所述，若治理工作需要跨部會協調之重大業務事項，提由水利署送「經濟部水資源協調會報」研議。

而水利署得於必要時，依水庫的規模大小及為解決特殊個案情形，邀集相關單位另行成立跨部會專責機制。

表 12-1-1 廬山地滑邊坡治理相關法規一覽表

事項	中央法律	中央命令	主管機關
集水區內農業之經營管理	農業發展條例	農業發展條例施行細則	農委會、縣(市)政府
山坡地開發利用	山坡地保育利用條例、農業發展條例	農業發展條例施行細則	經濟部、農委會、縣(市)政府
道路規劃、修護、養護	公路法	公路施行細則、公路用地使用規則	縣(市)政府 交通部公路總局
國有林之編定、經營管理	森林法	森林法施行細則、保安林經營準則	農委會、縣(市)政府
礦業權設定或其它開採行為	礦業法	土石採取規則	經濟部、農委會、縣(市)政府
水利行政事務	水利法、河川管理辦法、水庫蓄水庫範圍使用管理辦法	水利法施行細則	經濟部、縣(市)政府
野生動物保護	野生動物保育法	野生動物保育法	內政部、農委會
水污染防治	自來水法、飲用水管理條例、水污染防治法、自來水法施行細則	水污染防治法施行細則	環保署、經濟部、縣(市)政府
空氣污染防治	空氣污染防治法	空氣污染防治法施行細則	環保署、縣(市)政府
廢棄物清理	廢棄物清理法、環境影響評估法、廢棄物清理法施行細則、公共工程廢棄土處理要點	一般性開發行為環境影響評估作業準則	環保署、縣(市)政府
農藥管理	農業管理法	農業管理施行細則	農委會、縣(市)政府
土石採取	水土保持法、山坡地保育利用條例、環境影響評估法、河川管理規則、辦理土石採取管理注意事項、水庫蓄水範圍管理辦法	水土保持法施行細則、山坡地保育利用條例施行細則、各項開發之環境影響評估作業準則、土石採取規則	經濟部
防砂壩清淤	水土保持法、山坡地保育利用條例、森林法、水利法、河川管理規則、水庫蓄水範圍管理辦法	水土保持法施行細則、山坡地保育利用條例施行細則、各項開發之環境影響評估作業準則、保安林經營準則、加強山坡地水土保持要點	經濟部
環境影響評估	環境影響評估法	各項開發之環境影響評估作業準則	環保署、縣(市)政府

參考文獻

- 黎明工程顧問股份有限公司(2006),「台14線88K至91K地滑地治理調查規劃工程報告」,行政院農業委員會水土保持局第三工程所委託計畫。
- 國立台灣大學(2007),「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測(1/4)」,期中報告,中央地質調查所委託計畫。
- 中央地質調查所(2002),五萬分之一「霧社圖幅」。
- 張寶堂、焦中輝(1979),「廬山地熱區之地質」,礦冶;第23卷,第2期,第65-72頁。
- 羅偉、楊昭男、劉佳玫、郭人瑋(2007),「臺灣中央山脈能高越嶺路沿線岩石劈理形態之初步研究」,資源與環境學術研討會,花蓮。
- 黎明工程顧問股份有限公司(2006),「霧社水庫集水區治理調查規劃」,台灣電力公司委託計畫。
- Chigira, M. (1992) Long-term Gravitational deformation of rocks by mass rock creep: *Engineering Geology*, 32, 157-184.
- Nemcok, A.(1972) Gravitational slope deformation in high mountains: *Proc. 24th Int. Geol. Congr., Montreal, Sect., 13*, 132-142.
- Radbruch-Hall, D. (1978) Gravitational creep of rock masses on slopes. In: B. Voight (Editor), *Rockslides and Avalanches*, 1. Natural Phenomena. Elsevier, Amsterdam, 607-657.
- Ter-Stepanian, G. I. (1966) Types of depth creep of slopes in rock masses: *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mechanics. Lisbon., 2*, 157-160.
- Varnes, D. J. (1978) Slope movement types and processes: In *Landslides, Analysis and Control. Nat. Acad. Sci. Spec. Rep.*, 176, 11-35.
- Zischinsky, U. (1966) On the deformation of high slopes: *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mechanics. Lisbon., 2*, 179-185.