

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 47 卷 第 1 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 47 No.1 Jan. 2021

交通部公路總局

中華民國 110 年 1 月 15 日



封 面 說 明

台20線146K-雲海

劉玫伶 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 47 卷 第 1 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

許 鈺 漳

社長

林 聰 利

總編輯

陳 敬 明

總幹事

李 崇 堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 黃三哲

蔡宗成 劉雅玲

何鴻文 陳松堂

薛讚添 陳營富

劉世桐 吳昭煌

李順成 謝哲雄

詹益祥 江金璋

邵厚潔 顏召宜

實務報導

中橫公路落石高風險區段之安全防護設計精進對策

.....呂正安、張程翔... (2)

台 18 線五彎仔大口徑集水井工程 (第 1 期) 紀要及探討

.....蔡衛勇、李俊儒、高振誠... (30)

中橫公路落石高風險區段之安全防護設計精進對策

呂正安¹、張程翔²

摘要

台8線中橫公路上谷關至德基路段，沿線多處為陡峭破碎邊坡，加之受921集集大地震影響，落石潛勢風險高。在地形受限及施工不易之情形下，如上邊坡節理發達又風化破碎之岩面，坡度達70~90度，且落石區前後受既有構造物包夾，防落石設計備受考驗；亦或者路寬狹窄、山壁為開鑿倒懸岩面，在坡面上風化嚴重之破碎岩層，其邊坡落石防護設計需兼顧施工可行性，難度甚高。而類似的山區公路防落石對策，除需周詳考量現場狀況及各防治工法處置功能上之限制外，更需考量作業人員的安全防護。本文以中橫公路上落石高風險區段之實務設計案例，分享因地制宜之落石防護精進對策，期能交流進而提升用路人安全。

關鍵字：破碎岩層、邊坡落石、防護設計

壹、前言

1.1 中橫公路西段地質概述

台 8 線俗稱中橫公路，由東勢端 0k 與台 3 線相接，至花蓮端 189k+750 與台 9 線相接，其中東勢經梨山地區至南投縣界大禹嶺隧道東口（112k）屬公路總局第二區養護工程處谷關工務段養護範圍，以東則為第四區養護工程處太魯閣工務段轄區。台 8 線西段屬雪山山脈，由地質構造面而言，本區域因造山運動產生武陵斷層、青山斷層等為由東向西逆衝的逆斷層，並有地層褶皺如光明橋複背斜、大坪頂複背斜與馬崙山複背斜，因地質構造複雜造成岩層節理發達、岩層破碎。在地層組成部分本區域由老而新主要可分成達見砂岩、佳陽層、四稜砂岩和水長流層四個岩性地層單位，地質構造圖詳圖 1。

中橫公路主要落石災害發生於谷關至德基路段，該路段地層組成為達見砂岩、四稜

¹ 交通部公路總局第二區養護工程處谷關工務段 段長

² 黎明工程顧問股份有限公司 工程師

砂岩和佳陽層，主要岩性如下：

1. 達見砂岩：岩性以白色厚層或塊狀的礫岩及粗粒砂岩為主，偶夾薄層板岩，整個層序由底部以礫岩為主間夾凝灰質砂岩，往上逐漸有粒度減小趨勢，最後在頂部出現砂岩間夾板岩。
2. 四稜砂岩：岩性為白色厚層粗粒砂岩，層序由下而上粒度和厚度漸減，板岩則有增多趨勢。
3. 佳陽層：岩性為黑色板岩間夾砂岩或粉砂岩。板岩風化後成為土壤，而其間所夾砂岩則成碎石，此地層分佈區域，邊坡問題為土石流和土壤滑動。
4. 達見砂岩與四稜砂岩導致邊坡問題原因類似，因岩層節理發達，因此其所分佈區域岩體破碎，導致邊坡問題是以節理不連續面為主因的破壞型式，如落石、岩體翻覆、楔形滑動和順向破壞。

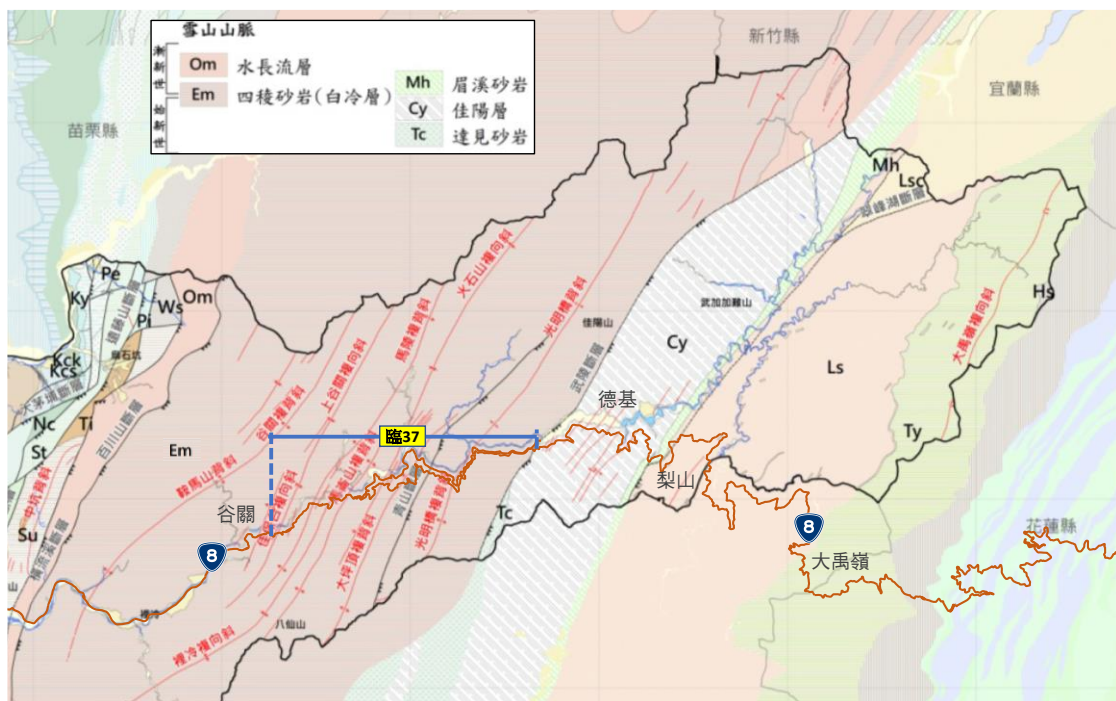


圖 1 台 8 線西段區域地質圖

1.2 中橫公路西段落石高風險區段之管制歷程

台 8 線中橫公路於民國 40 年代開墾期間，因施工技術有限，故大多以人工沿山腰闢路，造成岩盤側向解壓，又因地質構造與地層因素皆易產生邊坡問題。民國 88 年 921 集集大地震重創台 8 線約 37k+500 上谷關至 62k 德基路段，其後又遭遇民國 93 年敏督利等多起颱風侵襲，致該路段易落石且逢雨則崩塌阻斷率高，因而封閉通行。基於人道，民國 97 年公路總局投入復建，至民國 101 年定位為便道（編號為台 8 臨 37 線，俗稱中

橫便道) (詳圖 2), 並有條件開放大梨山居民、公務及救急救護等通行。通行期間採每天固定開放時段(3~7 時段, 夜間封閉), 並聘僱公路保全巡檢及擔任通行戒護工作, 惟若天候狀況不佳或因颱風、豪雨、地震、通行前巡查發現落石等因素, 即預警性封閉道路禁止通行。[1]

鑑於老弱就醫、學生返家仍有不便, 公路總局於 104 年至 107 年辦理中橫便道安全提升工程, 並循序推動不特定對象搭乘市區客運乙類大客車(俗稱市公車)通行中橫便道, 於 107 年 11 月 16 日正式開放首航, 讓歷年安全提升成果[2]能提供於大梨山地區老弱就醫就學之民眾, 及日後開放一般民眾搭乘公共運輸接駁更便利安全之道路。因安全及應變考量, 目前市公車(豐原客運 865 路)以每通行時段最高 5 部為限, 且排列於通行民車之末端, 由中衛車及後衛車戒護通行中橫便道。自開放以來, 於每年 2 月武陵櫻花季期間增班最多, 其餘大都維持每班 1 部情形。



圖 2 中橫公路上谷關至德基路段上線(台8)、下線(台8甲)及便道里程圖

1.3 中橫便道復建長期推動情形

自 88 年 921 地震後, 中橫公路谷關至德基段已陸續修復逾 20 年, 大梨山居民殷切企盼修復至 921 地震前之狀態, 恢復全時段雙向通行, 提供區域運輸安全可靠的聯外道

路，而非僅止於便道；本路段是 921 地震迄今唯一的管制路段，地方乃至全國民眾亦盼能強化公路抗災性，改善路段交通安全服務，早日開放一般民眾自駕通行。

然而，中橫公路上谷關至德基段是否需要復建，復建採目前下線強化或者恢復以前上、下線對開模式等，亦或其他可行方案，尚有待探討，尤其筆者曾親自花 5 天踏勘中橫青山上線[3]，隨後亦曾多次領隊帶交通部、公路總局及國內大型顧問公司踏勘[4]，如照片 1，探知上線多處大規模阻斷，復建有其挑戰及難度。

復建工程，尤其本路段之規模恐達百億以上規模，不僅要考慮復建路段本身工程技術是否可行、是否具有經濟效益等，另尚需考慮復建路段東端的梨山地區居民日常生活之交通需求，以及生態、環保、觀光遊憩等相關議題。且進一步需納入復建路段東、西兩端聚落之社會、經濟、交通等面向，分析本路段復建最佳模式。依實務經驗，執行程序為「可行性研究」、「工程規劃」、「環境影響評估」及「工程設計」等階段。目前於 107 年 5 月啟動可行性研究，而後續在環評議題上，應為較費時研究之重點，畢竟青山上線已逾二十年未予開發，勢必引發廣泛討論。



照片 1 交通部、公路總局、顧問公司等退休、資深、青壯工程司踏勘中橫青山上線

1.4 中橫便道中期安全提升策略

由上可知，公路總局持續推動中橫便道長期復建，惟推動尚需時日。有鑑於此，自 104 年~107 年，為期進一步強化中橫便道通行安全，針對中橫便道中存有安全疑慮之 22 處道路及邊坡，公路總局挹注工程總預算經費約 9 億元，辦理「中橫便道安全提升工作」，主要採明隧道、鋼便橋、防落石格柵、掛網噴漿等工法[5]。

中橫便道雖經公路總局搶通且持續強化安全，惟山高峻聳且地質脆弱，經費有限而安全強化受限，故落石事件雖已逐年減少，但難以完全杜絕，如 106 年 6 月 2 日及 108 年 5 月 18 日等兩次豪雨事件，即又重創中橫便道，如照片 2 所示[6]。其中後者雨量達 78mm/hr、153mm/3hrs、438mm/24hrs 之大豪雨等級，導致中橫便道達 17 處嚴重受損，更是近十幾年來僅次敏督利颱風、較海棠及莫拉克颱風等級還大之雨量（如表 1），可窺見公路受天候異常侵襲受損之情形，仍是常態。



(1) 台 8 臨 37 線 11.8k



(2) 台 8 臨 37 線 17.9k



(3) 台 8 臨 37 線 19.5k



(4) 台 8 臨 37 線 23.6k

照片 2 108 年 5 月 18 日豪雨重創台 8 臨 37 線多處路段情形

表 1 台 8 臨 37 線近年來颱風豪雨比較雨量表

事件	1HR	3HR	12HR	24HR	全歷程
93 年敏督利	93	/	/	/	/
94 年海棠	71	143	228.5	445	587
98 年莫拉克	41.5	111	342	515	770
106 年 0602 豪雨	31.5	60.5	196.5	298	298
108 年 0518 豪雨	78	153	346.5	438.5	524.5

因豪雨交相侵襲，造成坡面破碎路段受損致災，亦或明隧道兩端擴災，因而需因地制宜進行防護設計，以提升通行便道之安全。在長期復建尚需時日推動下，中期安全提升顯得重要，而如何進行有效安全設計，尤其是面對陡峭破碎坡面、既有隧道間如何增設落石防護，考驗設計功力。本文介紹在中橫便道上針對落石高風險區段，在地形受限及施工條件不易之條件下所進行之設計經驗分享，期能供交流精進，以提升山區公路用路人通行安全。

貳、台 8 線及臨 37 線落石高風險區段設計考量

2.1 工址分析

台 8 臨 37 線上谷關至德基沿線大都在崇山峻嶺間沿山邊開墾，歷年颱風豪雨致災、地震造成深層裂縫等交相侵襲，造成山區公路特殊現象：

1. 沿山關路路寬不足且轉彎半徑甚小
2. 開鑿出之倒懸坡面，且上邊坡陡峭，不易施作坡面設施
3. 不同時期致災點所作之防護設施產生不連續之狀況，其後遭逢豪雨攻擊，又造成新落石防護缺口，影響用路人安全。

養護本路段深具挑戰性，在持續施作安全提升工程中，仍需面臨新受災路段之搶修及研擬復建策略，因而設計功力及監造人力皆受考驗，一來需因地制宜採取了不同的防落石對策，再者，監造人員常需處理不同災害路段、不同類型之搶修及復建工程。為此，實有必要將邊坡落石防護案例及較特殊的既有結構間之新災點防護案例，分享供其他山區路段整治參考，以下為中橫公路及便道工程案例工址介紹。

一、台 8 臨 37 線 1k+803 路段

介於上谷關二號明隧道與馬陵二號隧道間，約有 17m 缺口未受保護。因該區域上邊坡有一處節理發達且風化破碎之岩面，坡度介於 70~90 度，近期常發生平均約 10~50cm 之岩塊由坡面垂直掉落，嚴重影響用路人員安全，如照片 3。曾於 108 年造成通行民車遭落石擊中情形，幸無人員傷亡。



照片 3 台 8 臨 37 線 1k+830 路段空拍及落石狀況

因上谷關二號明隧道（鋼構造）為台灣電力公司所施作，而馬陵二號隧道（開挖襯砌噴漿固結隧道）則為公路總局早期所作。前後構造物為不同年代與不同單位建造，因而未考慮整體性連接問題，故銜接段的防落石設計方案、施工方法、暴露在坡面下作業勞工之臨時防護等，係屬需周延考量因地制宜及安全可行。

二、台 8 臨 37 線 7k+900 路段

本路段上方為裸露岩面，坡度介於 60~70 度，其間坡面中央坡度較緩處堆積上方岩面風化掉落之破碎岩塊，碎石大小平均約 10~20cm，常不定時掉落造成路面及護欄損毀，造成落石防護缺口，影響用路人安全，且 108 年 5 月豪雨災害期間此路段亦嚴重受損，如照片 4。



(1) 台 8 臨 37 線 7k+900 路段空拍及現地情形



(2) 108 年 5 月 18 日豪雨致災情形

(3) 致災後搶修情形

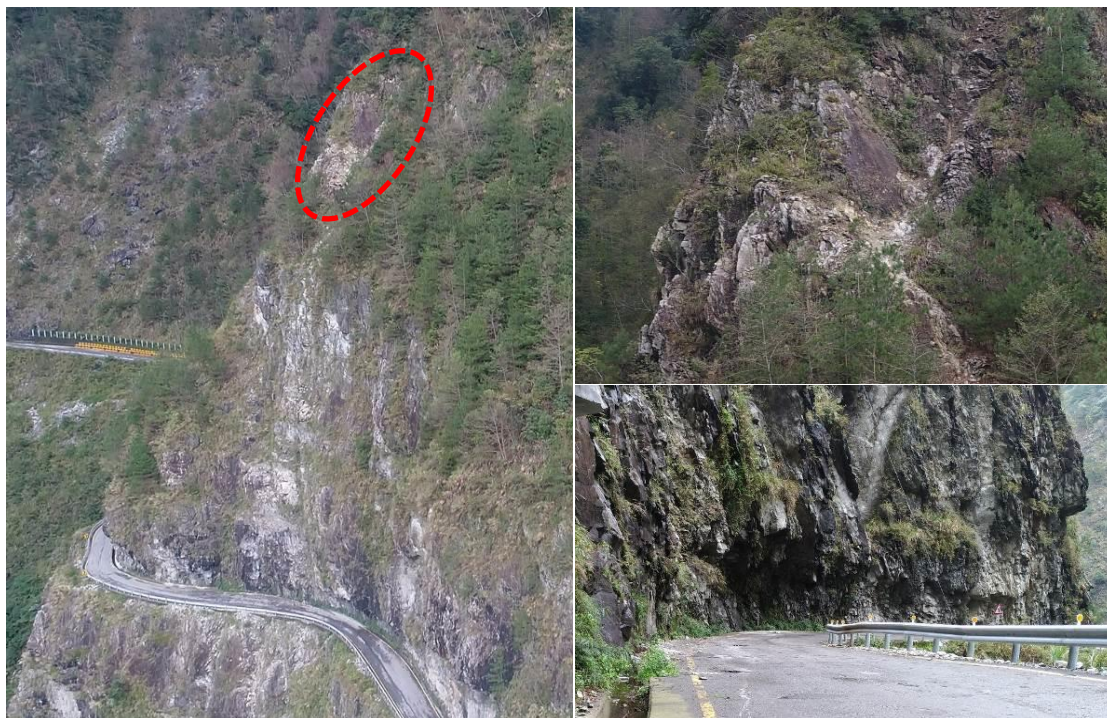
照片 4 台 8 臨 37 線 7k+900 路段易落石致災狀況

本路段前方約 100m 為道路轉彎處，其上邊坡為一蝕溝，在 107 年已完成新建明隧道，蝕溝堆積之土石經由雨水帶下後，可由明隧道頂無害通過。而本路段因路幅不足，又受限上、下邊坡陡峭，施作明隧道難度及經費皆高，故防落石設計方案係以現地施工可行性為主，且因路幅受限，應考量作業車械之站位及兼顧施工中供通行車隊安全通過之需求。

三、台 8 臨 37 線 16k+600 路段

本路段路幅狹窄，山壁為開鑿倒懸岩面，在坡面上方有明顯風化嚴重之破碎岩面，如照片 5。觀察發現，該區倒懸岩面坡度近乎垂直，且有與路面平行之節理，加之緊鄰

登仙溪河谷，致風化程度加劇，至一定程度則造成岩塊掉落，該路段落石大小平均約 10~60cm，因而道路上可見大小不一之被落石砸損痕跡，顯見潛在落石風險高，威脅用路人安全。



照片 5 台 8 臨 37 線 16k+600 路段易落石狀況圖

因路寬不足（最窄約 5m 寬）且坡面倒懸，要設計新作防落石設施不易。細部觀察下邊坡，其岩盤較為完整且外伸路面有支撐區域，故防落石設計方案係需同時考慮倒懸岩面及下邊坡堅實岩體，構思施工中符合有限作業空間、結構體可支撐在岩體上及妥善處理倒懸岩面之可行方案。

四、台 8 線 63k+400 路段

本路段位於台 8 臨 37 線德基端終點周邊，道路寬度約 8~10m，在坡面上方有崩塌區域已形成一條蝕溝，崩塌邊坡高約 350m，沖蝕溝兩側岩塊堆積層厚度達 6~11 公尺，逢雨坡面易形成土石流阻斷路面，如照片 6。本路段坡面堆積層中石塊大小差異極大，於 104 年發現坡面上有 600 噸巨石，直至接近路面時才將巨石打除並取消已設計完成鋼構明隧道，並另外成立專案解決該工區問題。



(1) 台 8 線 63k+400 路段空拍及現地情形



(2) 104 年 11 月 600 噸巨石停留邊坡



(3) 108 年 5 月 18 日豪雨致災情形

照片 6 台 8 線 63k+400 路段易落石狀況圖

本路段上邊坡原有設置防落石柵與落石防護網之落石防護設施，但隨著上邊坡崩塌區域的擴大與蝕溝的向源侵蝕，落石係以大量且集中的土石流動方式掩蓋落石防護設施與道路，且沖蝕下邊坡擋土牆基腳致基礎下鋼軌樁裸露。距離本路段 80m 處有一處相似的災點，係以 RC 背牆配合鋼結構體之明隧道，使土石由上方無害通過，將可作為本路段防護形式參考，再配合坡面條件調整細部設計。

2.2 落石防治基本原則

落石防治的目的在於保護通行人車及公路相關設施，免於遭受落石災害。防止落石災害的方法可分為「落石防治工程處置」與「交通管制」二大類；其中落石防治工程處置對策包括「主動式（預防）工程處置」與「被動式（防護）工程處置」，如圖 3 所示，交通管制對策可採區間禁止通行或管制通行。

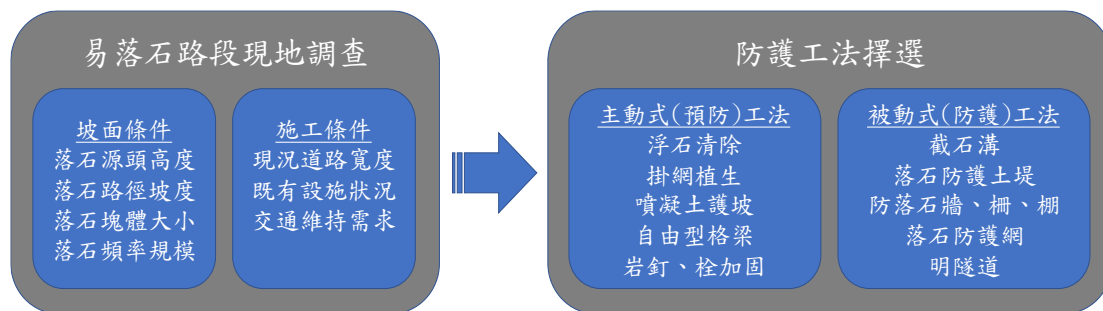


圖 3 落石防護工法概念圖

落石防治的基本原則須妥善應用落石坡面調查結果，周詳考量現場狀況及充分考量各防治工程處置功能上之限制後，再決定對策工法，且因地制宜併用組合多種工程處置，成效往往優於採用單一工程處置。

落石防護設施設計時，應考慮落石發生的坡面條件與施工條件。坡面條件通常包含：落石源頭高度、路徑坡度、塊體大小與發生頻率規模；施工條件則含：道路寬度、既有設施狀況與交維需要為基本考量。綜合坡面條件與施工條件後，再針對各種工法的特點、道路設施、交通狀況、對周遭環境的影響等，有效實施對策工法及其併用工法的組合。

2.3 防落石設計方案

一、坡面條件

四個工區坡面條件彙整如表 2，可見各工區所需要落石防護能力之能量規模潛勢，圖 4 則為日本道路協會「落石對策便覽」[9]內針對落石防護能量與對應之落石防護工法。以落石防護能量為準，案例中台 8 臨 37 線 7k+900 最大落石能量 180KJ，由圖 4 中可知對應可選之工法有：落石防護柵（含高能量吸收型）、落石防護棚、落石防護網（含高能量吸收型）、落石防護壁及明隧道等；另兩區因最大落石能量較高（台 8 臨 37 線 1k+803 為 400KJ、台 8 臨 37 線 16k+600 為 870KJ），較不適宜落石防護柵、落石防護棚、落石防護網等，尚可適用高能量吸收型落石防護柵、高能量吸收型落石防護網、落石防護土堤及明隧道等。台 8 線 63k+400 最大落石能量>5000 KJ，適用僅明隧道工法適用。

表 2 易落石路段案例坡面條件彙整表

里程	最大落石高度	坡面坡度	落石大小	最大落石能量	落石規模與潛勢
台 8 臨 37 線 1k+803	120m	70°~90°	10~50cm	400 KJ	嚴重風化區域零星掉落 有岩面風化掉落岩塊風險
台 8 臨 37 線 7k+900	250m	45°~65°	10~30cm	180 KJ	坡面風化嚴重易零星落石 無大規模崩落潛勢
台 8 臨 37 線 16k+600	150m	80°~90°	10~60cm	870 KJ	嚴重風化區域零星掉落 倒懸岩塊有風化掉落風險
台 8 線 63k+400	350m	45°~70°	10cm~6m	>5000 KJ	坡面崩塌區域為厚堆積層 降雨易形成土石流

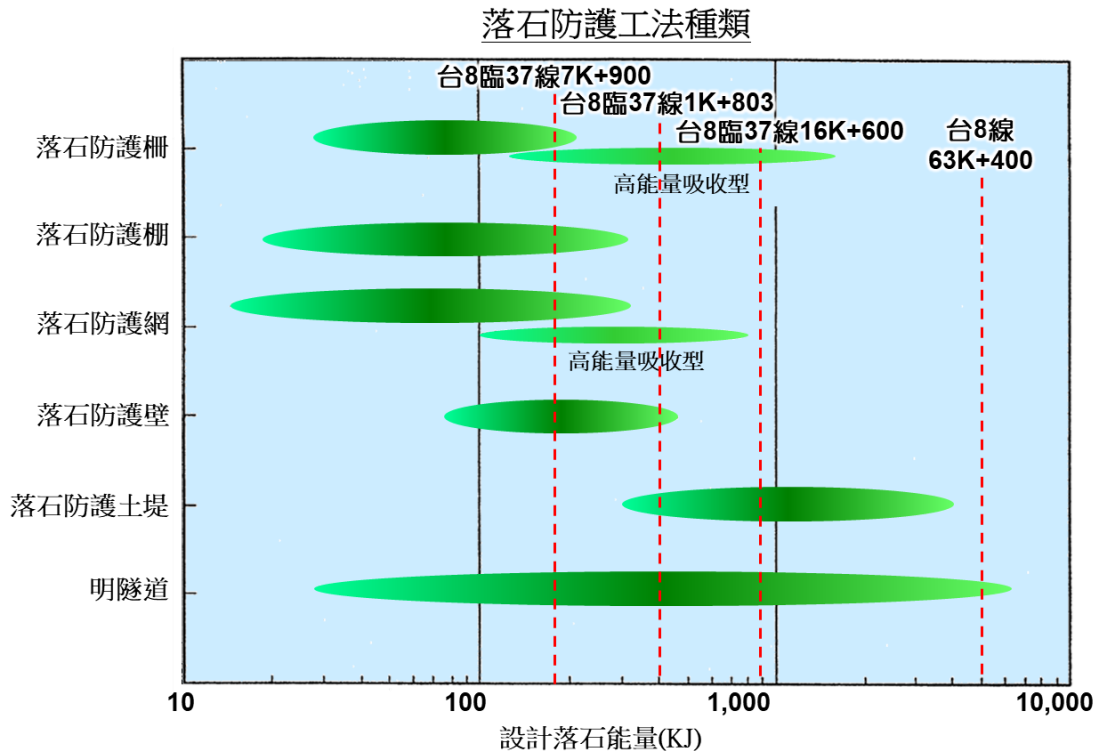


圖 4 落石防護能量與落石防護對照圖

二、施工條件

四個工區施工條件彙整如表 3，可見台 8 臨 37 線工區之瓶頸路寬皆小於 5m，諸如截石溝、落石防護土堤等需落石落淤空間之工法，皆不適用。而諸多落石防護工法中，以落石防護網於坡面施作時最不佔道路空間，而防落石柵所占路寬也僅於壁體寬度及人員作業空間，較適合於路寬不足之防落石區段進行改善，且可維持通車狀況下進行，對

交通衝擊較小。唯一般落石防護柵與落石防護網之防護能量約介於 200KJ~300KJ，而防護能量越高，則生產之廠商越少，且後續養護較不容易。

表 3 易落石路段案例施工條件彙整表

里程	瓶頸路寬	現況設施狀況	交通維持需求
台 8 臨 37 線 1k+803	4.6m	介於明隧道（路寬 4.6m）與隧道（路寬 8.0m）缺口，現況無防落石設施，道路上邊坡岩面接近垂直，下邊坡有擋土牆構造，靠河側護欄外有腹地。	梨山居民、施工車輛與中巴於規定時間管制通行
台 8 臨 37 線 7k+900	4.4m	現況無防落石設施，道路上邊坡岩面坡度約 65°，下邊坡坡度約 60°，靠山側及靠河側皆無腹地。	
台 8 臨 37 線 16k+600	4.3m	現況無防落石設施，道路上邊坡岩面倒懸，下邊坡坡度約 80°，靠河側護欄外有腹地。	
台 8 線 63k+400	8.0m	既有防落石設施已損壞，道路上邊坡有一明顯蝕溝產生，下邊坡有擋土牆構造，靠河側護欄外無腹地。	中橫便道外（距德基管制站約 1.5km）

綜合評析考量，台 8 臨 37 線 7k+900 路段最適合以落石防護柵及落石防護網之複合方式進行防護；台 8 線 63k+400 與台 8 臨 37 線 16k+600 路段由於落石防護能量需求較大，以明隧道方式防護較為恰當，而為維基本通行路寬需求，則需額外思索以工程手段克服路寬不足部分；台 8 臨 37 線 1k+803 落石防護能量（400KJ）介於上述工址之間，但考量本路段介於既有鋼構明隧道與馬陵 1 號隧道之間，以新建鋼構明隧道方式較具空間調整能力，且具結構延續性及可達到防護需求，且該路段下邊坡前已施作三截式擋土牆，可供明隧道支撐之用，故仍選擇設計明隧道。

三、安全防護精進對策

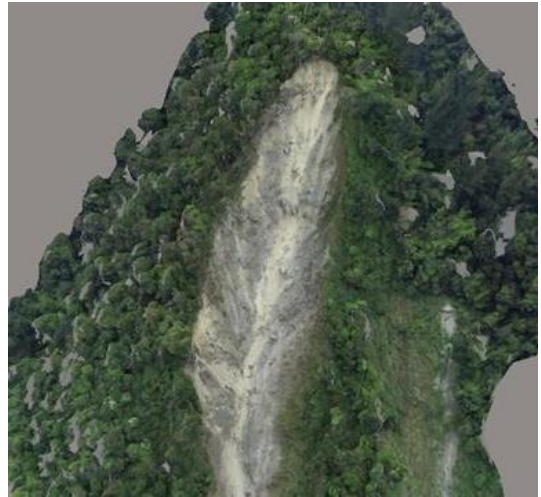
明隧道結構主要由基礎、柱及背牆、頂板及板上之消能材料所組成，設計上常以落石衝擊為控制設計力量。為提升結構體的安全防護性能，除了各部位結構配置需能抵抗規範所定之各式載重外，若採下拱型之頂板、增加頂板角度等，亦有助於提升頂板抗載重之效能及減少頂板常時承載之荷重，惟其施工難度常提高不少，尤其中橫便道內之組架空間、大型機具站立空間等，皆十分受限，設計時需謹慎考量。另同樣的頂板消能元件，如廢輪胎、植生包及鋪砂等，當其厚度增加時，亦能提升抗落石之安全防護，惟過厚的消能層有不易固定、增加頂板上側牆及端牆高度等問題，故應就落石衝擊能量妥為設計消能層之厚度（詳本文第肆部分）

另於易落石路段施工，施工人員及機具係直接觸暴露高落石風險中，故施工安全防護對策攸關勞工安全甚巨。為此，設計階段即應導入「預防」、「示警」、「攔阻」及「庇護」等四道安全防護策略[7]，說明如下：

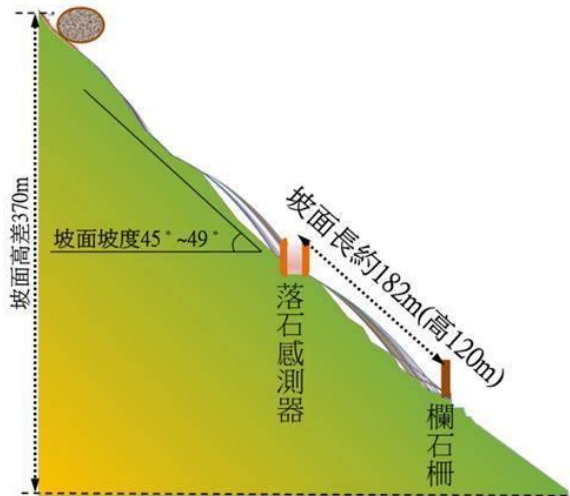
1. 預防：受惠現代科技進步，無人空拍機（UAV）在平價化與操作簡化後，已逐漸普及。由設計、施工至管養階段皆可以 UAV 巡檢肉眼不可及之邊坡狀況，以辨識破碎岩盤、浮石等落石熱點，並可由不同時期紀錄比對坡面變化以研擬處理對策，將風險降低。如台 8 臨 37 線 1k+803 工區，設計階段即透過 UAV 取得上邊坡破碎情況，設計在明隧道主體施工前將上方破碎岩盤區以噴凝土護坡處理，如照片 7（1）。又如台 8 線 63k+400 工區，其上邊坡為一侵蝕溝，施工期間透過 UAV 拍攝邊坡並建置 3D 模型，如照片 7（2），藉此比對坡面變化、即時掌握浮石是否鬆動位移，以利即時處理因應，減少落石危害。
2. 示警：在高落石危害之邊坡下施工，應配置邊坡監看人員專職監視邊坡是否有異狀，並攜帶哨笛等警示器，以及時示警施工人員閃避落石攻擊。若上邊坡為土石崩落類型，則可於適當高度處，安裝紅外線落石感測系統，當落石經過即觸發感測器，連動之警報閃燈及蜂鳴器在工區響起，提醒勞工迅速撤離工區、或於安全處緊急庇護。以台 8 線 63k+400 為例，在距工區上方 120 公尺高之邊坡設置告警設施，經落石彈跳分析，約可提供下方作業勞工 6 秒的黃金避難撤離時間，如照片 7（3）。
3. 攔阻：除進行預防與示警外，零星碎石由高處滾落仍可能造成傷亡，故需設置攔阻設施。在陡峭坡面可參考台 8 臨 37 線 7k+900，在坡面打設臨時防落石網，如照片 7（4）；若施工空間許可，可採如台 8 線 63k+400 工區方式，於上邊坡設置防落石柵及鋼板，以防止大部分落石飛越或穿過型鋼縫隙，如照片 7（5）。
4. 庇護：部分勞工可能深入工區而來不及撤離，故需依工序設置庇護空間，以供緊急避難，且應於工區顯眼處標明避難位置及加強避難演練。如基礎施工時，可於地梁間之空隙設置臨時庇護空間，如照片 7（6）。其內提供求生響笛、乾糧、飲用水及緊急聯繫單位電話號碼等，以利勞工求救及短期維生。



(1) 明隧道施工前處理邊坡浮石危害



(2) 以 3D 建模比對坡面變化



(3) 進行落石彈跳分析



(4) 設置臨時落石防護網



(5) 以型鋼及鋼板作為擋落石設施



(6) 設置適當的庇護空間供緊急避難

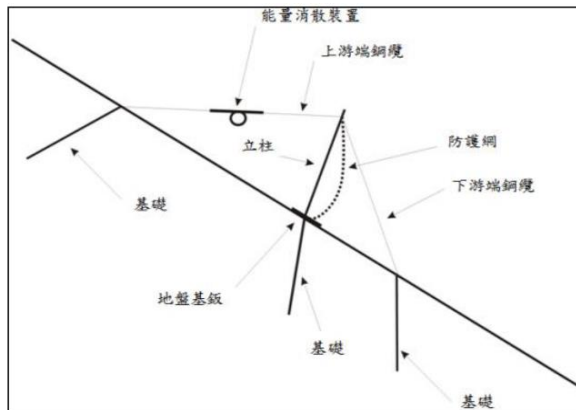
照片 7 明隧道施工中安全防護案例

參、台 8 臨 37 線之落石防護網設計案例

3.1 落石防護網構造功能

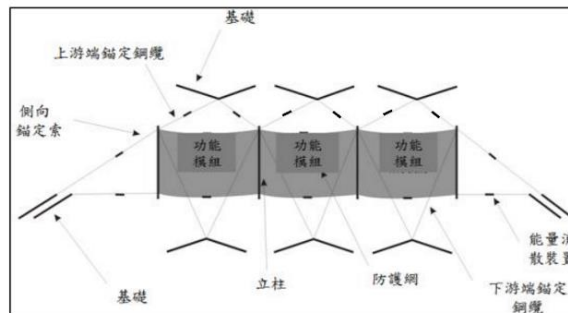
落石防護網設計國內並無相關規範，市面常見規格為符合 EOTA（歐洲技術認可組織）所訂之標準 ETAG 027 Falling rock protection kits（落石保護裝置）[8]，其中對於消能式落石防護網之防護系統配置如圖 5，主要構件含：

1. 攔截結構：立柱係錨定於中間基礎，防護網則固定於立柱上，主要承受落石的直接衝擊產生彈、塑性變形後，將應力傳遞到相連組件。
2. 支撐結構：上游端鋼纜錨定至邊坡上部基礎，鋼纜上或設有能量消散裝置；下游端鋼纜則錨定至邊坡下部基礎，用以將攔截結構豎立至預定攔截角度。
3. 固定結構：防護系統之界面需以側向錨定鋼索、基礎及水平索（含能量消散裝置），如圖 5（2）所示，作為在撞擊過程中將應力傳遞到基礎結構與將攔截結構保持在適當的位置。
4. 錨定基礎：ETAG 並未規範基礎之標準，一般基礎位置宜在堅實完整岩面或設置混凝土基礎座，以承受傳遞之衝擊力。



資料來源：ETAG 027, 2013

(1) 側面圖



資料來源：ETAG 027, 2013

(2) 立面圖

圖 5 消能式落石防護網側、立面圖

消能式落石防護網的構造中，僅有鋼立柱為該系統中唯一的剛性結構，其作用係使柔性防護網垂直地張掛在設計位置上。而防護網作為吸收撞擊能量的材料構件，其功能係藉由變形來消弭落石衝擊之能量；當衝擊能量超過連接防護網之消能限制時，外力能量會傳遞至銜接於防護網之支承鋼索、側向錨錠鋼索與主錨錠鋼索之消能元件上。此能量消散裝置元件為整體系統之第二道消能裝置，可吸收殘餘動能，通常其變形消能極限值與錨錠鋼索最大抗拉拔強度相當。防護網系統以柔性消能構造取代傳統剛性攔阻結構，配合消能阻尼裝置之系統設計，以達到攔阻落石之目的。

3.2 台 8 臨 37 線 7k+900 防落石網設計型式

台 8 臨 37 線設計上採用 2 種防落石網：消能式落石防護網，如照片 8（1），優點為將落石都攔阻於網上，不會對行人造成影響，常見防護能量等級可由約 100KJ 設計至 1,000KJ；另有一種為簾幕式落石防護網，如照片 8（2），差別係於下方開口並加長防護網，使被限制彈跳的落石沿坡面漸次滾下。因簾幕式落石防護網無法攔阻落石，通常應用於坡面下方有落淤空間，亦或下方須另設攔阻設施，雖相較一般消能式落石防護網使用限制較多，但優點為落石網不易累積落石，養護上相對容易。



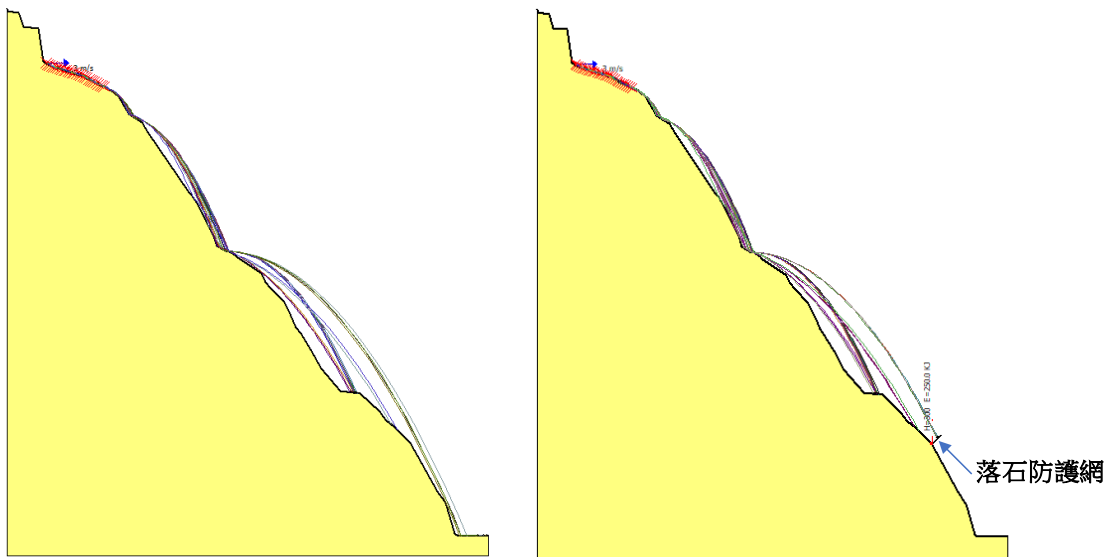
（1）落消能式落石防護網



（2）簾幕式落石防護網

照片 8 台 8 臨 37 線採用之落石防護網

由於台 8 臨 37 線 7k+900 路段上邊坡風化嚴重，常有零星落石，因邊坡緊臨道路，因而設計採用簾幕式落石防護網，搭配於下邊坡設置落石防護柵，作為攔阻沿消能網落下的石塊，達到日後清理較為簡便。其中防護網之能量需達前節所述本區最大落石能量 180KJ，故設計上採用 250KJ。另落石防護網設置的位置悠關坡面落石的捕捉率，故設計階段以落石路徑軟體分析落石防護網能攔阻落石之最佳位置，如圖 6。經分析結果，最適合位置為距通行路面上約 20m 處、設置 3m 高之落石防護網，設計成果如圖 7。



(1) 落石彈跳路徑模擬圖 (原始) (2) 落石彈跳路徑模擬圖 (加入攔阻網)

圖 6 設計階段以軟體分析落石彈跳路徑

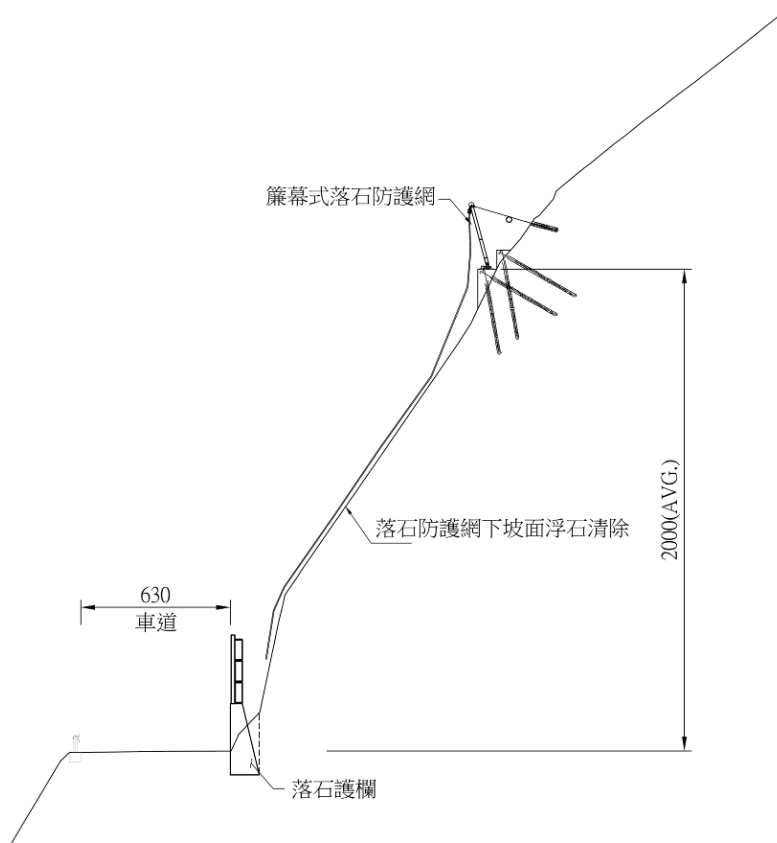


圖 7 台 8 臨 37 線 7k+900 路段落石防護網標準斷面圖

肆、明隧道設計案例

4.1 推估落石衝擊力

建明隧道主要係抵禦落石撞擊以防護用路人在其內安全通行，故如何合理計算落石衝擊力為設計明隧道之重點。根據交通部委託臺灣營建研究院編寫之「落石防護設計參考手冊」，建議落石衝擊力參考「落石對策便覽」（日本道路協會，2000），公式如下：

$$P = 2.108(m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot h^{3/5} \dots\dots\dots (式 1)$$

其中

P：落石之衝擊力（kN）、λ：雷曼係數、m：落石質量（t）、
g：重力加速度、h：落石修正高差（m）

由此公式可知落石衝擊力主要受落石現場條件（墜落高度、重量、大小）與緩衝層性質（材質、厚度）所影響，其中：

一、落石高度修正

落石現場條件包含落石墜落高度、落石重量、落石大小等。其中落石墜落高度，須再依以下公式修正：

$$h = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) h_0 \dots\dots\dots (式 2)$$

其中，h：落石修正高差（m） θ：落下坡面之平均斜度
h₀：落石與地面高差（m） μ：坡面之等值摩擦係數（參照表 4）

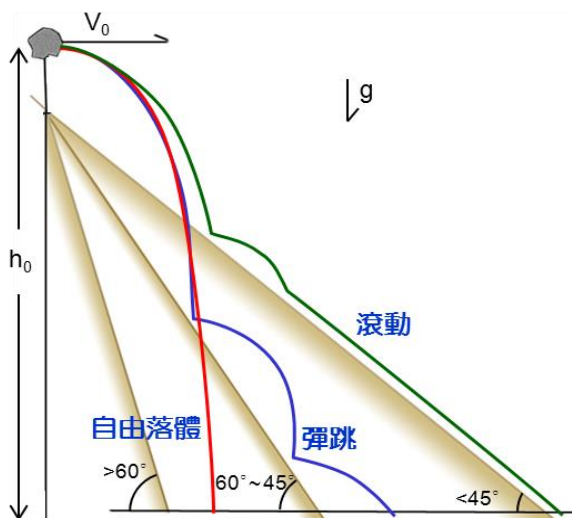
表 4 坡面等值摩擦係數表

分類	落石之種類	坡面之種類	μ
A	堅岩，圓球型	凹凸程度小，無樹木	0.05
B	軟岩，圓球型~不規則型	凹凸程度中~大，無樹木	0.15
C	土石型崖錐，圓球型~不規則型	凹凸程度小~中，無樹木	0.25
D	崖錐、巨礫型崖錐，不規則型	凹凸程度中~大，有樹木	0.35

資料來源：日本道路協會，2000

Ritchie（1963）提出各種岩坡落石運動型態與坡面角度之關係，如圖 8 所示，大致歸納為滾動、彈跳及自由落體等三種運動型態。以本文之台 8 臨 37 線 16k+600 路段而言：上邊坡平均坡度為 80°，現場坡面無植生且凹凸程度中等，故對應表 4 中 μ 取 0.15；

平均斜度 θ 取上述組合，再利用式 2 計算得修正高度 h 為原始高度 h_0 之 0.97 倍，即幾乎無折減。以上結果與 Ritchie (1963) 主張相符，即當坡度大於 60° 之邊坡，落石以自由落體方式為主。



[資料來源：1.Ritchie (1963) Evaluation of rockfall and its control]

圖 8 岩坡落石運動型式與坡面角度之關係

二、雷曼係數 (Lame Coefficient)

雷曼係數 (λ) 係取決於緩衝層材料可吸收能量之效果，當採用較軟弱之均質材料作為緩衝層，例如傳統的廢輪胎配合回填砂，其雷曼係數約介於 $1,000\sim 3,000\text{kN/m}^2$ ，若採用較堅硬的均質材料時， λ 則提高至 $5,000\sim 10,000\text{kN/m}^2$ 。

三、衝擊力增加係數

緩衝層係數主要由緩衝層厚度與落石直徑大小決定，示意如圖 9，相關公式如下所示，其中落石直徑 D 與緩衝層厚度 T 將影響 α 值 (如式 3)，若落石直徑 D 大於緩衝層厚度 T ，則衝擊力需放大 α 倍，故建議緩衝層厚度至少需等於設計防護等級之落石直徑。

$$\alpha = \sqrt{D/T} \quad (\alpha \text{ 需} \geq 1) \dots\dots\dots \text{(式 3)}$$

其中， T ：緩衝層厚度 (m)、 D ：落石直徑 (m)

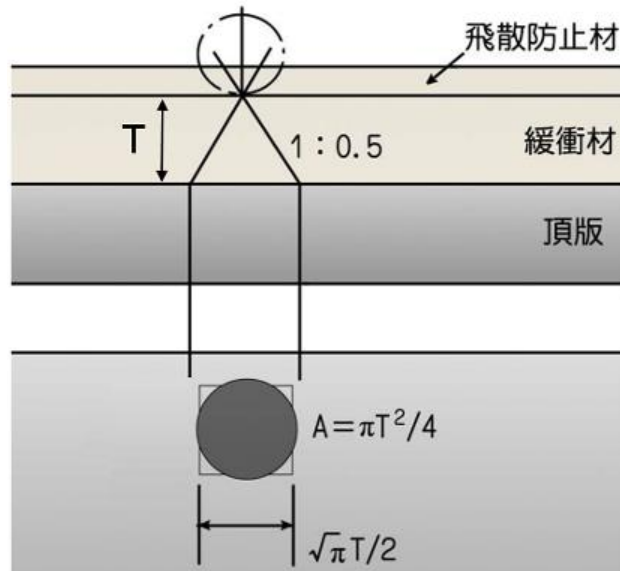


圖 9 明隧道緩衝層係數與其厚度及落石直徑關係示意圖

四、落石落點影響

根據「落石對策便覽」調查顯示，如圖 10 所示，過去坡面上之落石跳躍高度，絕大部分會介於 5m 之內。據此可知，當明隧道與坡面距離達一定長度以上時，衝擊力將會由落石經彈跳後第二次落下所造成。另「落石對策便覽」建議，落石第 1 落點為緩衝材時，落石衝擊力可折減為原衝擊力之 40%；若非緩衝材材質時，則折減為原衝擊力之 80%。台 8 臨 37 線 16k+600 路段因以自由落體方式落下，將不適用第 2 落下點之折減。

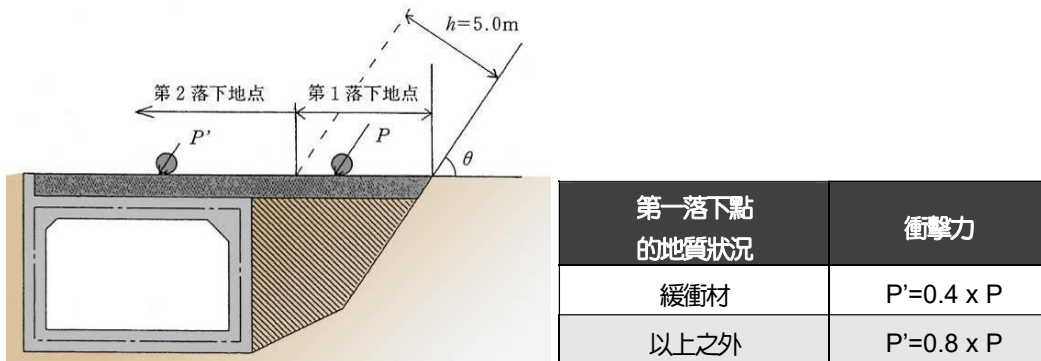


圖 10 第一落下點及是否設置緩衝材對衝擊力之影響示意圖

五、緩衝層厚度決定

經實際現場量測本工區落石直徑 (D) 最大約 0.6m，故明隧道頂板緩衝層厚度採用 0.6m 以上，以確保落石衝擊力分散傳遞及能量吸收效果。

4.2 明隧道頂板角度

明隧道頂板設計角度悠關崩落土層堆置量多寡，進而影響承載梁、柱等系統之受力

分配。探討三者之關係方能掌握明隧道受力分佈，進而合理設計結構體。羅佳明等人(2007) [11]為考量明隧道頂板斜度設計與其承載問題，藉由研究測試落石群分次墜落，對於不同斜度頂板進行衝擊力與靜載重模擬，以期作為後續頂板斜度設計之參考。由程式分析結果(如圖 11)可知，當頂板斜度增加時，其崩塌土石累積量會隨之減少，然而隨著頂板斜度的增加，其落石衝擊時之切向分力亦會隨之增加，將可能增加梁柱接合處的負擔，故建議考量崖錐堆積安息角，以合理設計頂板斜度。

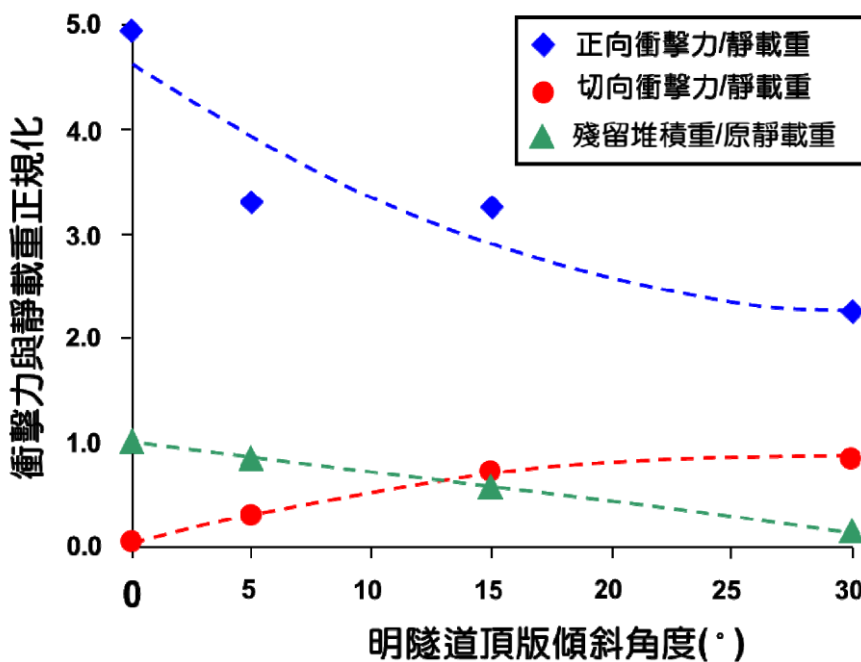


圖 11 明隧道頂板傾斜角度與衝擊力之關係圖

欲計算落石作用於頂板之垂直分力 $P'v$ 及水平分力 $P'h$ ，依據圖 12 中之落石落下角度與頂板角度等計算結果如下：

$$P'v = Pv \cdot \cos\beta + Ph \cdot \sin\beta \dots\dots\dots (式 4)$$

$$P'h = -Pv \cdot \sin\beta + Ph \cdot \cos\beta \dots\dots\dots (式 5)$$

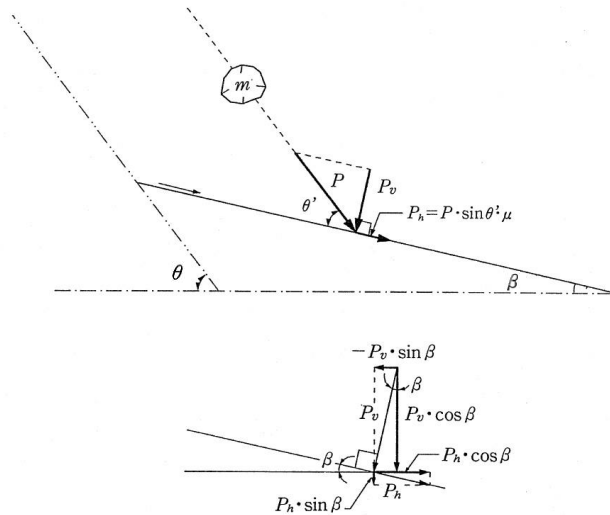


圖 12 落石衝擊力與落石角度及頂板角度之力量分佈圖

台 8 臨 37 線 16k+600 路段計算坡度約 80° ，頂板斜度採用 21° ，所得計算結果分別為 $P'_v=0.908P$ 、 $P'_h=-0.03P$ ，即落石對頂板造成之衝擊力約為原衝擊力之 90%；另本路段設計落石大小為 $0.6\text{m}\times 0.4\text{m}\times 0.3\text{m}$ 。綜合上述，本路段落石衝擊力彙整結果如表 5，再據以進行緩衝層厚度與主體結構斷面需求分析，如圖 13。

表 5 台 8 臨 37 線 16k+600 路段落石衝擊力推估表

落石大小	落石體積 V	落石重 W	斜度修正係數	雷曼係數 λ
$0.6*0.4*0.3\text{ m}^3$	0.072 m^3	1.8 kN	0.908	1000 kN/m^2
落石等效直徑 D	α 係數	修正落石高度 h	衝擊力 P	修正衝擊力 P'
0.52 m	1.00	146.03 m	100.24 tf	91.00 tf

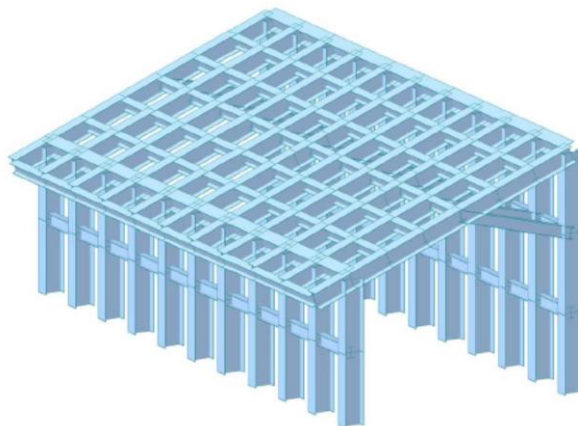
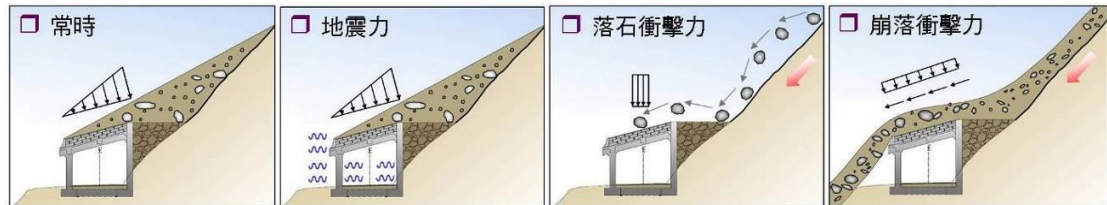


圖 13 台 8 臨 37 線 16k+600 路段明隧道結構分析模型圖

4.3 設計載重組合

新建明隧道主要承受本身自重及外力荷重，其中靜載重即由明隧道本身主結構材料重量及頂部緩衝重量所組成，外力則由土層、水、地震、落石、土砂崩落等造成，如圖 14 所示。設計明隧道即應詳加考量未來可能遭遇各種不同外力類型，進而針對各種不同載重組合予以分析、再進行主體結構設計。



資料來源：日本道路協會「落石對策便覽」，2000

圖 14 明隧道所受外力類型示意圖

欲進行載重組合分析，需將現地所具有之外力（活載重）區分為土壓力、水壓力、堆積土重量、落石衝擊力及地震力數種類型，再與靜載重作載重組合，如表 6 所示。設計時，需考量各類型載重併同發生之可能情形，予以組合後再進行明隧道結構分析，以全方位周延考量確保結構穩固。

表 6 明隧道遭遇各種載重組合一覽表

荷重種類 設計狀態	靜荷重	土壓	水壓	堆積土	落石	地震	崩落
常時※	○	○	●	●			
落石時※	○	○	●		○		
地震時※	○	○	●	●		○	
崩落時	○	○	●	●			○



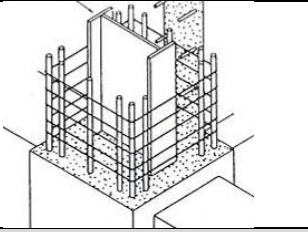

註：1. 「※」表示必須分析項目、2. 「○」表示分析時必須考慮之載重、3. 「●」表示依現場條件不同而需考慮之載重

4.4 防護構造型式選定

早期明隧道多以鋼筋混凝土為主，近年自然災害發生頻繁，為因應各種地質條件與災害類型，不同形式之明隧道孕育而生，主要分為：鋼筋混凝土構造、鋼結構造、SRC 構造與複合式構造（以鋼筋混凝土柱體結合鋼結構頂板為例），整理如表 7。以本文台 8 臨 37 線 1k+803 與 16k+600 兩工址而言，考量需配合現地環境、施工難度高及交通維持困難等條件，乃規劃採用結構較具變化（可因地制宜）、施工較具彈性（可吊裝組立）、前後環境諧調且工期較短之鋼結構明隧道型式。台 8 線 63k+400 工址須使蝕溝及大量崩

積土石由明隧道頂部通過，在常有水的環境下採用鋼筋混凝土結構相對於鋼結構較易維護，且 RC 結構抗壓强度高，在道路寬度許可的條件下可採用鋼筋混凝土結構明隧道型式。

表 7 各種明隧道結構型式比較表

結構型式	優勢	劣點	實際照片
鋼筋 混凝土 結構	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工難度低 2. 高強度構件 3. 成本較低 4. 耐火性較佳 5. 耐久性較佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加結構靜載重 2. 修改及拆除困難 3. 施工時間較長 4. 模板費用高 	
鋼結構	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鋼料強度高、自重低 2. 施工環境較不受限 3. 整體韌性高 4. 品質易控管、工期較短 5. 拆除後舊料價值較高 6. 頂板角度可提高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不耐高溫，需防火披覆 2. 耐蝕性差，需定期保養 3. 構件細長比大時易挫屈 	
SRC 結構	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工簡化 2. 整體韌性高 4. 耐火性、耐久性佳 5. 結構有效斷面縮小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 材料經費高 2. 需較高施工技術 	
複合式 結構	<ol style="list-style-type: none"> 1. 頂板角度可提高 2. 頂板跨距較長 3. 柱體為高強度構件 4. 頂板自重較低 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 頂板強度影響安全性 2. 鋼構部分需定期防銹 3. 頂板與柱體連接性差 4. 需施工機具進行吊裝 	

明隧道的成敗，基礎的型式居十分重要的關鍵。而山區公路在路基受限下，往往不能選擇大挖大填之基礎，否則超挖山壁恐另釀邊坡災害；基礎立於腹地有限的山壁中，若不幸基礎潰敗（俗稱敗腳），則整座明隧道可能傾倒、滑落或傾斜，欲修復不僅在施工條件上十分困難，經費也不費。

因此，本文所舉三案例雖採鋼結構或 RC 結構以符合現地條件，但三者基礎乃因地制宜、詳加考量下妥善配置，標準斷面圖 15：

1. 台 8 臨 37 線 1k+803 路段：因道路下邊坡已設置三節式擋土牆增加路寬，故可以直

接基礎搭配微型樁設置。

2. 台 8 臨 37 線 16k+600 路段：道路瓶頸段不足 5m，要設置明隧道僅能於下邊坡新增路基，故設計預力地錨擋土牆式基礎。
3. 台 8 線 63k+400 路段：道路寬度 8~10m，道路下方既有擋土牆已基礎出露，且未來道路需外加明隧道與土石載重，故加設地錨增加強度，並於擋土牆下方新設跌水工，以避免蝕溝造成基腳淘空。

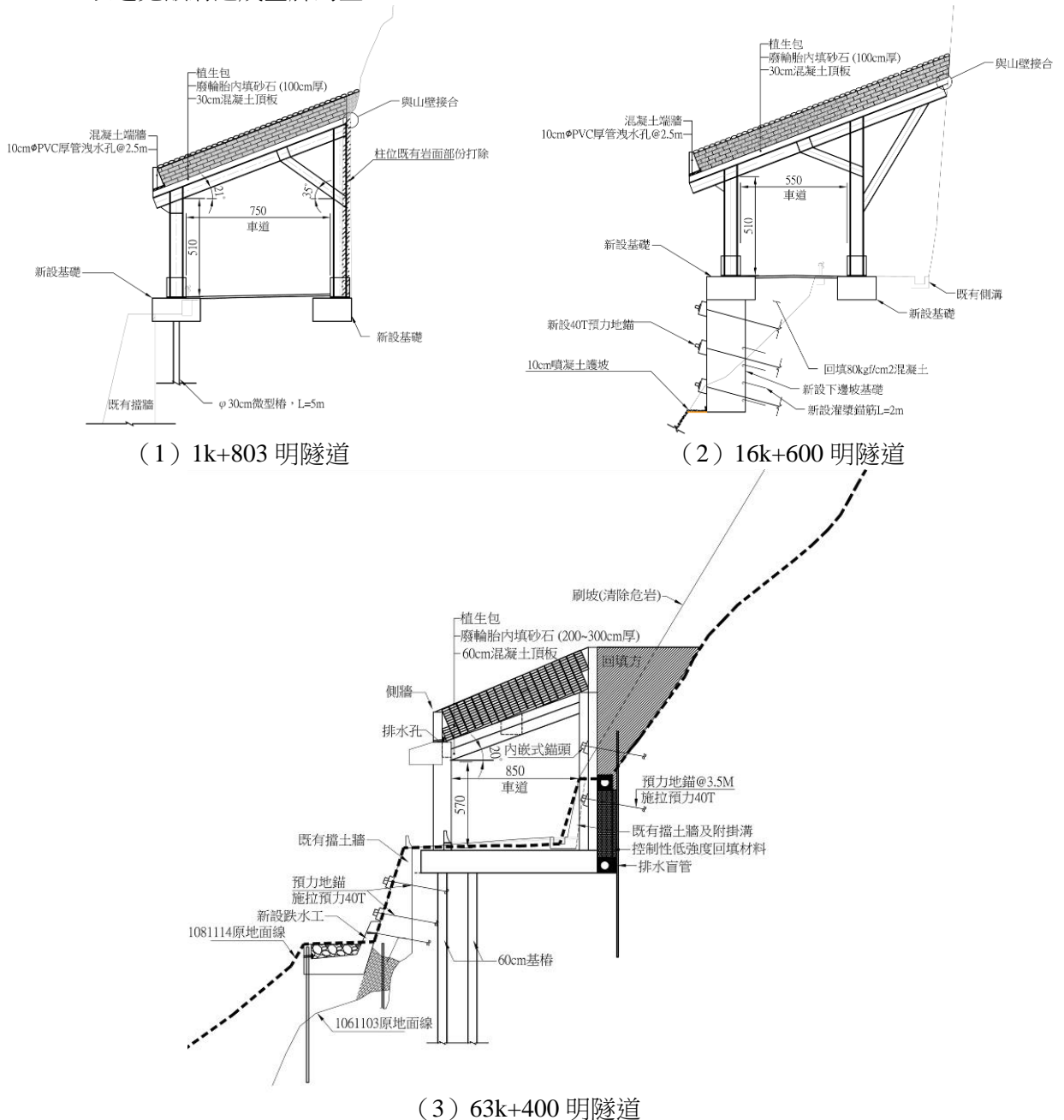


圖 15 台 8 臨 37 線 1k+803、16k+600 及台 8 線 63k+400 路段明隧道標準斷面圖

伍、結論與建議

山區公路難免面臨落石高風險之危害，如何設計合適之安全防護工程為公路養護重點，不僅亦悠關用路人通行安全，結構穩定與否亦對於日後養護工作，影響甚大。因地制宜擇合適工法，採防護網時，柱基宜避開落石區且應予以強化，採明隧道時，基礎宜避開地質條件不佳區且應用不同技術予以穩固。另建議設計單位應建立完整分析流程、周詳考慮各種載重組合，避免流於抄圖、變更眾多之情形；若山區公路應多方勘查平面配置、立面空間，避免柱位與前後既有結構無法順接、立柱上方需削山壁等情形，以求設計成果兼具合理性及施工性。

另日本道路協會「落石對策便覽」在 2000 年出版後，於 2017 年提出將防落石構造依要求性分為「性能 1」不破壞、「性能 2」可快速修復與「性能 3」允許非致命損害等三種等級，如表 8[10]。而國內類以設計多以不損壞（材料彈性範圍）為原則，建議可參考納入彈塑性設計，有益減少工程規模、降低開挖擾動層面，進而提升山區工程施工安全性。

表 8 「落石對策便覽」(2017 年) 有關道路地工結構要求性能分級表

〔道路土工構造物の要求性能〕	代表意義
性能 1：道路土工構造物が健全である，又は，道路土工構造物は損傷するが，当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能	性能 1：道路地工結構健全或道路地工結構損壞，但在道路地工結構存在的區域中不干擾道路功能的性能。
性能 2：道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり，当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが，すみやかに回復できる性能	性能 2：對道路地工結構的損壞是有限的，且會干擾存在道路地工結構的部分道路的某些功能，但可以快速恢復。
性能 3：道路土工構造物の損傷が，当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが，当該支障が致命的なものとならない性能	性能 3：道路地工結構的損壞會存在著干擾部分道路功能，但障礙並非致命。

參考文獻

1. 陳嘉盈、呂正安，「中橫公路復建工程設計及管理之經驗分享」，臺灣公路工程，第 44 卷，第 3 期，2-32 頁，2018 年 3 月。
2. 陳嘉盈、呂正安、盧勇廷，「中橫便道開放市區客運乙類大客車通行安全評估暨通

- 車整備分享」，臺灣公路工程，第 45 卷，第 3 期，2-29 頁，2019 年 3 月。
3. 陳嘉盈、呂正安，「臺 8 線中橫公路谷關至德基段震災後 20 年青山上線踏勘經驗分享」，臺灣公路工程，第 44 卷，第 12 期，2-22 頁，2018 年 12 月。
 4. 交通部公路總局第二區養護工程處，中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作（第 2 期）報告，2019 年。
 5. 交通部公路總局第二區養護工程處，台 8 臨 37 線（中橫便道）易致災路段復建工程委託設計成果，2015~2017 年。
 6. 交通部公路總局第二區養護工程處谷關工務段，中橫便道受 0518 及 0611 豪雨災害阻斷搶通恢復通車勘查記者會簡報，2019 年 7 月 9 日。
 7. 劉世桐、呂正安、嚴順然、張家榮，「高落石潛勢邊坡下施工之四道安全防護作為」，Engineers Times，第 1227 期，2020 年 6 月。
 8. European Organization for Technical Approvals，「ETAG 027 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of FALLING ROCK PROTECTION KITS」，EOTA，2007 年。
 9. 社團法人日本道路協會，「落石対策便覧」，2000 年。
 10. 社團法人日本道路協會，「落石対策便覧」，2017 年。
 11. 羅佳明、林銘郎、鄭富書、李宏輝、李國誠，「三維落石模擬於明隧道載重問題之應用」，第 6 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，2007 年。

台 18 線五彎仔大口徑集水井工程（第 1 期） 紀要及探討

蔡衛勇¹、李俊儒²、高振誠³

摘要

本工程地點位於台18線阿里山公路，路段道路里程數為42k+900~45k+500，由於該路段呈5個Z字型回頭彎，因此俗稱五彎仔。台18線是通往阿里山國家風景區以及玉山國家公園之重要觀光道路。自從民國71年9月30日阿里山公路正式開通以來，五彎仔每逢颱風或豪大雨時，經常造成公路沿線崩塌、滑動等災害。雖然持續於此公路進行邊坡整治與補強，邊坡仍有災害事件發生，造成公路總局第五區養護工程處（以下簡稱：五工處）養護負擔，同時也影響用路人行車安全。

92年6月26日更因山區連續豪大雨，造成45k+500處約150公尺路基流失，圖1所示，經五工處辦理搶修工程，既決定由崩塌坡頂開闢道路，恢復道路通行。災後為徹底解決本路段地滑問題，於93年5月~95年7月期間委託專業顧問辦理本地滑區調查、整治及安全評估等工作。其中第1期規劃排水工法，在地滑區佈設大口徑（ ϕ 4.5公尺）、深度45~50公尺之集水井（4口，W-1、W-6、W-7、W-8），並於井內不同深度打設扇形橫向集水管（70公尺），藉由井底排水管導排地滑區因雨汛期間所造成之上升地下水位，即以降低地下水位方式提高地滑區之邊坡穩定性，詳圖2所示。

關鍵字：地下水位、地滑、集水井

¹ 交通部公路總局第五區養護工程處 阿里山工務段 段長

² 交通部公路總局第五區養護工程處 斗南工務段 副段長

³ 青山工程顧問股份有限公司 大地部經理



圖 1 民國 92 年 6 月 26 日邊坡滑動

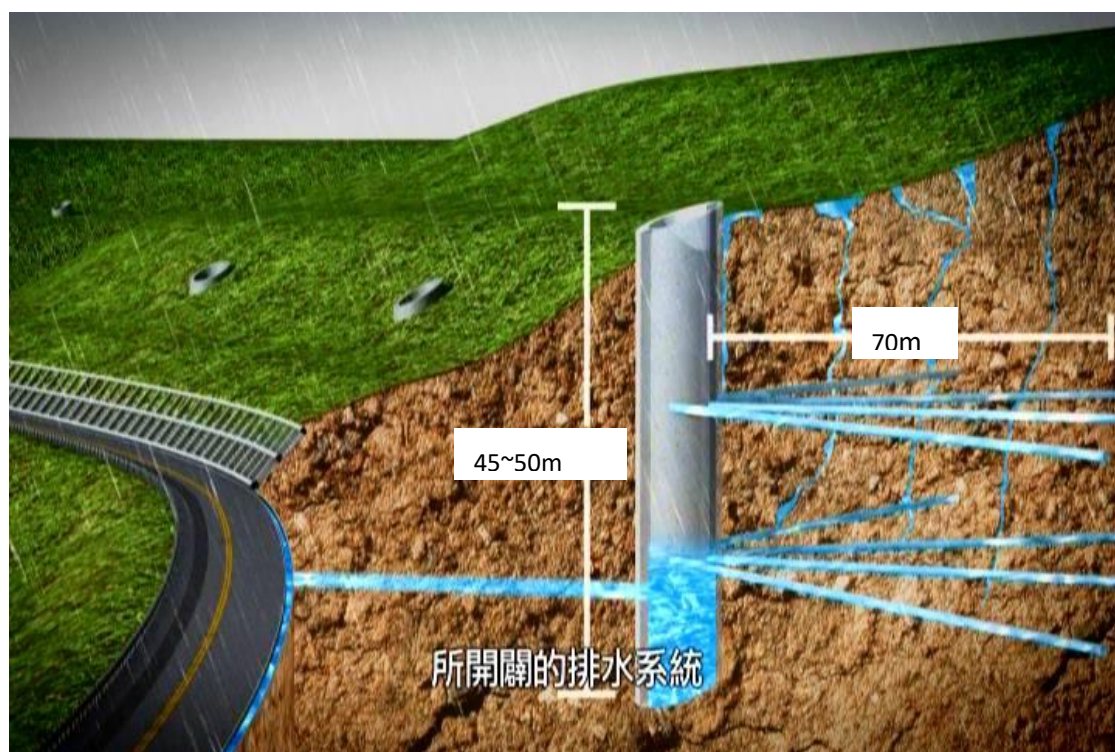


圖 2 排水工法-大口徑集水井

壹、前言

根據中央地質調查所（民國 88 年），五彎仔崩場地屬於西部麓山帶的一個舊地滑區，該區附近為一褶皺及斷層發達之地區。其基盤岩層為中新世南莊層，主要岩性為淡灰色砂岩、砂岩與頁岩互層、及深灰色頁岩等。基盤岩層之上，覆蓋著黃棕色或褐色風化岩塊或崩積土。地質十分破碎，且獺頭斷層及公田斷層等兩條斷層在地滑區之趾部附

近交會，因斷層常具有導水及阻水的特性，造成異常地下水的升降，故先天不良的地質條件，係本地滑區滑動的主要原因。

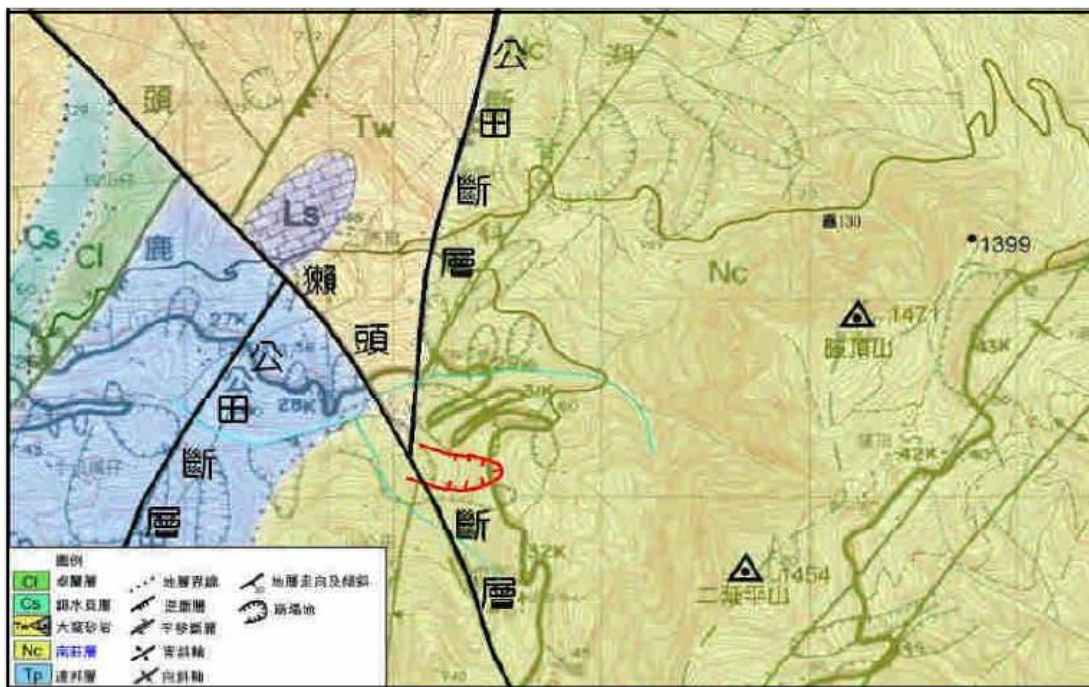


圖 3 五彎仔地區地質構造圖（中央地質調查所）

經五工處委託專業顧問辦理本地滑區調查結果，阿里山公路五彎仔地滑區呈現 8 個滑動塊體（N1~N8，其中 N2 最活潑），各滑動塊體滑動位移方向大都朝向坡址之南獨座溪及北獨座溪。當邊坡之坡趾向南獨座溪或北獨座溪滑動，其溪谷之沖刷、侵蝕作用明顯，將滑落趾部之土石帶走，使邊坡坡趾弱化，將呈現不穩定狀況。前述不利之地形條件，加上本地滑區規模盛大，根本無法大規模開發改變環境。據此為抑制五彎仔地滑區滑動，可先從排除災害誘因的雨水及地下水著手，亦即以排水工程有效導排地表水及地下水。

整治工程以水平排水管及集水井等地下水導排設施，希望能將地下水位控制於滑動面下方 5~10m 左右之設計控制水位(DWL)，並將邊坡之安全係數從 0.95 增加至 1.09，其分析結果詳圖 4（整治前）及圖 5（整治後）。

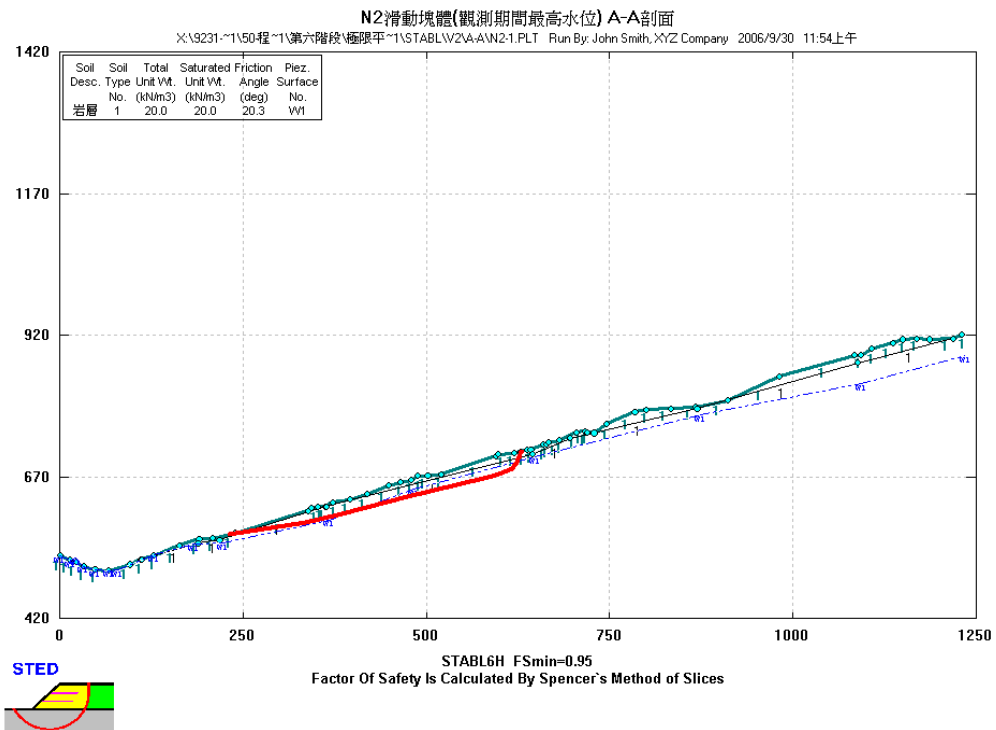


圖 4 五彎仔 N2 滑動塊體邊坡穩定分析-整治前

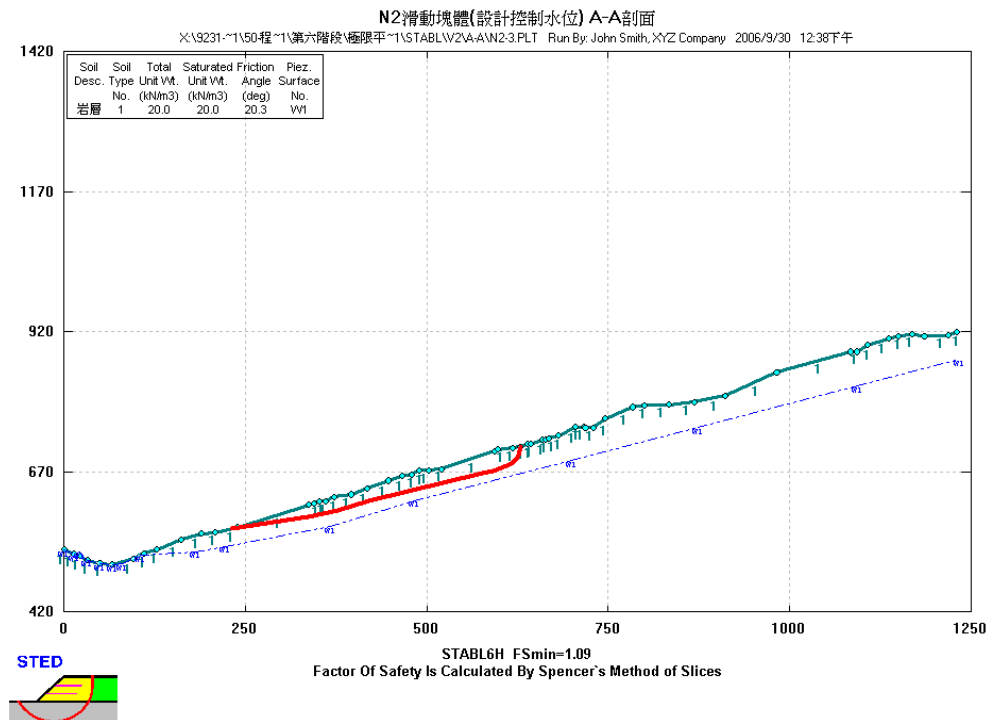


圖 5 五彎仔 N2 滑動塊體邊坡穩定分析-整治後

貳、邊坡地滑案例

2.1 雲林科技大學 (92 年)

民國 91 年 6 月 26 日，杜居巢於台 18 線五彎仔路段鑽孔 (編號 C-9) 並作傾斜監測，結果詳圖 6 所示；在地表下約 16 公尺處有一明顯滑動面，該處滑動面在民國 92 年 6 月 26 日發生滑動，造成道路路基流失。

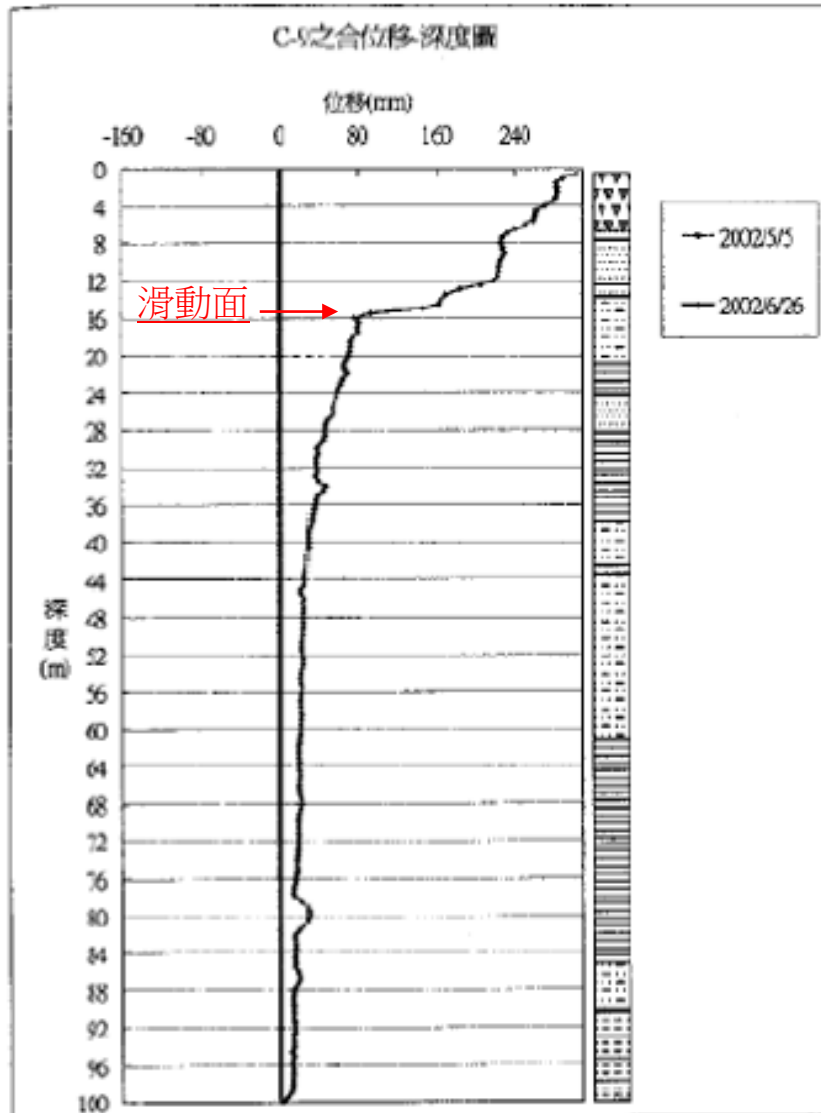


圖 6 鑽孔 (編號 C-9) 合位移及深度圖 (杜居巢)

2.2 日本龜の瀨地滑區 (西元 1962)

位於日本奈良縣及大阪府交接處，自明治 36 年 (西元 1903 年) 以來即有災害發生，

臺灣公路工程第 47 卷第 1 期-34

滑動面積約 94 公頃，滑動深度約 30~70m，JR 關西本線及國道 25 號經過坡趾，從昭和 37 年（西元 1962 年）開始，日本有關單位即進行詳細調查、規劃、設計及施工，共歷經約 30 年的時間，才使邊坡達到穩定狀況，主要施作集水井、大口徑抗滑樁（直徑 6.5m、深 100m）及 7 條排水廊道，整治成效良好，目前仍持續監測中，整治之設施照片及配置示意圖詳圖 7 所示。



圖 7 日本龜の瀨地滑區治理設施示意圖

2.3 臺灣梨山地滑區地滑區（92 年）

位於臺中縣梨山村一帶，於民國 79 年 4 月期間發生嚴重邊坡滑動，致使台 7 甲線道路中斷，整體滑動面積約 76 公頃，滑動深度約超過 40m，水土保持局於民國 80~82 年進行調查及規劃後，於民國 84~91 年分期施工，於主要滑動範圍施作 38 處橫向集水管、15 座集水井、及 2 條排水廊道，排水廊道地下水出水量不小，工程經費約新臺幣 11 億元，目前滑動現象已大幅減緩，仍持續監測追蹤中，設施照片及配置示意圖詳圖 8 所示。



圖 8 梨山地滑區治理設施示意圖

2.4 工研院能資所 (82 年)

水為大地工程最大的殺手，因此水對於邊坡穩定影響也相當的大，一方面可使坡體內的孔隙水壓升高，降低地質材料之剪力強度，另一方面因含水量增加而增加驅動力。故需於坡地體施作排水系統，其主要目的在於攔截地表水或地下水，並加以誘導排除，避免邊坡因水的影響而破壞，各項排水工法配置詳圖 9 所示。

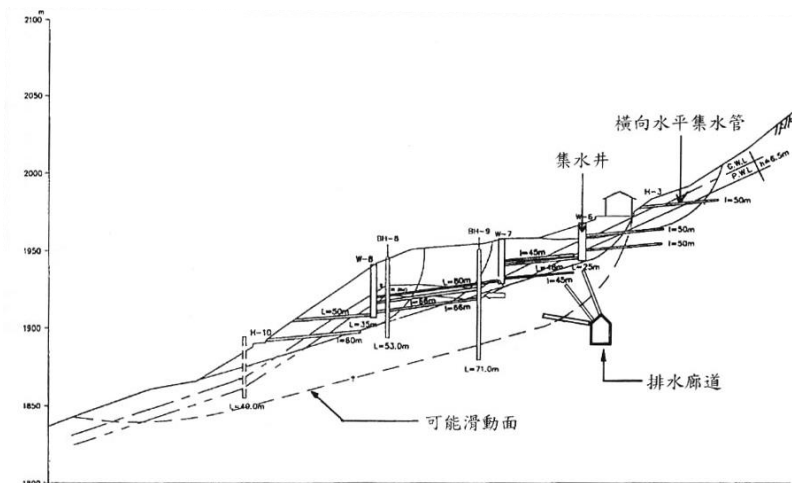


圖 9 地下水排水工法的運用示意圖

參、鋼襯鈹集水井設計

大口徑集水井目前廣泛應用於邊坡滑動治理領域，主要係利用井筒自身強度達到地層深處後，以水平排（集）水管排除或收集地層內地下水；常見之集水井構造型式則有鋼襯鈹及混凝土環片兩大類型。而本工程採鋼襯鈹型式，主要取之於施工性、襯鈹壁體透水性佳，亦可配合 H 型鋼（加強環、加勁條）達到加勁效果。另考量井筒結構與地下水接觸有腐蝕情形，在鋼襯鈹及外露鋼材均須作熱浸鍍鋅表面處理，達到 550g/m² 以上。希望工程完工後，長期作為抽排水或維護管理之進出通道。

鍍鋅鋼襯鈹集水井承受之土壤應力，採用考慮拱效應之 Terzaghi 公式，如公式（1）所示，井筒結構在地底同時承受軸向載重及彎曲載重，因此其行為類似擋土柱。從側向土壓力分析所得之彎矩及軸力，檢核鋼襯鈹及加強環強度是否符合安全規定。

$$P_1 = \left[\frac{12(3m-2)}{H^3} \times y^2 + \frac{6(3-4m)}{H^2} \times y \right] \times P_T \dots\dots\dots (1)$$

上式中 P_1 =側向土壓、 y =地表至某點深度、 m =側向土壓合力作用點之深度與 H 之比、 H =集水井深度、 P_T =總側向土壓力。

肆、大口徑集水井工程內容

本地滑區整治工程為「台 18 線 28.9K~31.5K（五彎仔）地滑區調查、整治規劃及安全評估」總結報告整治方案之延續工程，計畫於五彎仔地滑區以施設 4 座大口徑集水井（ ϕ 4.5 公尺，深度 45~50 公尺），並於井內鑽設扇形集水管方式收集地下水加以導排，藉由降低地下水位以提高邊坡穩定性。其主要工程內容如下表 1 所示，第 1 期大口徑集水井佈設位置詳圖 10 所示，集水井斷面水平集（排）水管示意圖詳圖 11：

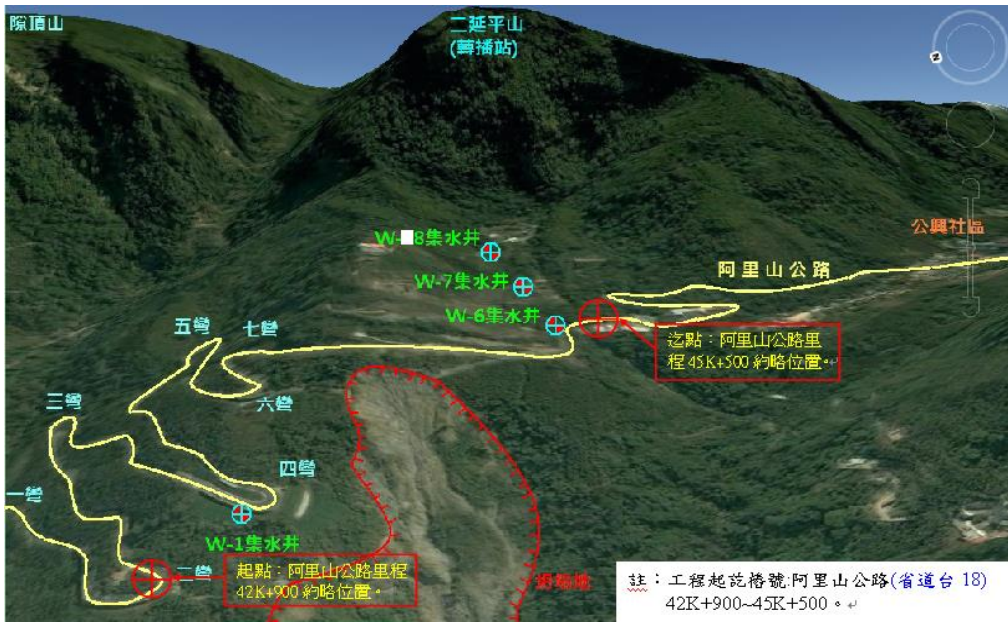


圖 10 集水井施工位置示意圖

表 1 五彎仔大口徑集水井工程主要項目表

地表排水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排除匯集地滑區內地表水之工程。 2. 跌水池、排水管、噴凝土溝或現地排水系統，導排大口徑集水井收集之地下水。
水平集水管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 收集淺層地下水之工程。 2. 井筒內適當位置鑽設 100mm 水平集水管，並藉由 125mm 水平排水管以重力方式排放至現有地表排水系統。 3. 水平集水管鑽設及安裝 109 支。
水平排水管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 導排淺層地下水之工程。 2. 井筒底適當位置鑽設 125mm 水平排水管，並藉由集水井井筒底之靜水池以重力方式排放至現有地表排水系統。 3. 水平集水管鑽設及安裝 8 支。
大口徑集水井	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排除深層地下水之工程。 2. 集水井之井筒 4 座直徑 4.5 公尺，深度 45~50 公尺，井筒材料為鋼襯板。 3. 井筒內適當位置鑽設 100mm 水平集水管，並藉由 125mm 水平排水管以重力方式排放至現有地表排水系統。
安全監測	<ol style="list-style-type: none"> 1. 集水井開挖施工前，應先安裝傾斜管，並建立初值做為集水井開挖施工期間之安全監測系統。
抽水井	<ol style="list-style-type: none"> 1. 集水井開挖施工時，應先安裝抽水井，以避免集水井開挖施工期間，可能產生之湧水現象，以確保施工之安全。

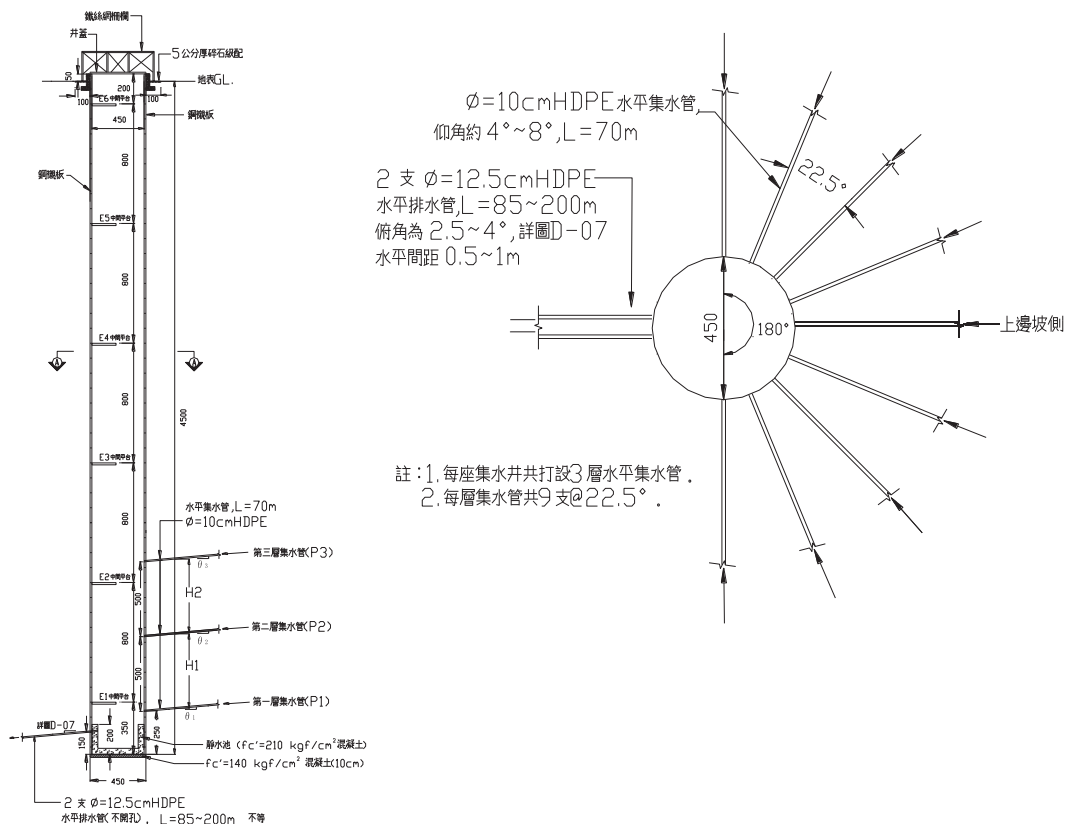


圖 11 集水井斷面及水平集（排）水管示意圖

伍、集水井施工順序及說明

集水井施工流程詳圖 12 所示，其各施工階段說明如下：

（一）開挖前設置安全監測儀器：

大口徑集水井開挖深度 45~50 公尺，超過理論規定 6 公尺，屬深開挖工程；為確保開挖施工安全為開挖安全觀測之首要任務。開挖災害前，通常會有許多徵兆，如鋼襯板或土壤的變形有異常的增加，地下水位亦有驟升現象，此時觀測系統能適時的提供預警，使得五工處工程司能在開挖過程中採取有效的因應對策，以阻止災害發生。因此集水井開挖前，必須依照圖說規定於集水井附近設置傾斜觀測管及水位觀測井，其設置位置詳圖 13 所示。

在監測儀器設置後，集水井安全監測執行情形，詳圖 14 所示，依規定之觀測頻率辦理，颱風豪雨、地震加強觀測頻率。將安全監測數據予以分析，從分析的結果決定繼續開挖或因應補強，其表 2 為集水井施工中安全監測管理值表。本工程於民國 101 年 7 月 31 日~101 年 8 月 3 日天秤颱風豪雨，從阿里山雨量觀測站 4 天累積降雨量 666mm。

W-8 集水井之監測儀器水位觀測管量測到水位變化 15.09m，地下水水位驟升。另傾斜觀測管變位量 0.93mm，雖未達到預警值，颱風過後仍在集水井井筒內施作補強，採十字型側向支撐加固，確保集水井施工安全，詳圖 15 所示。

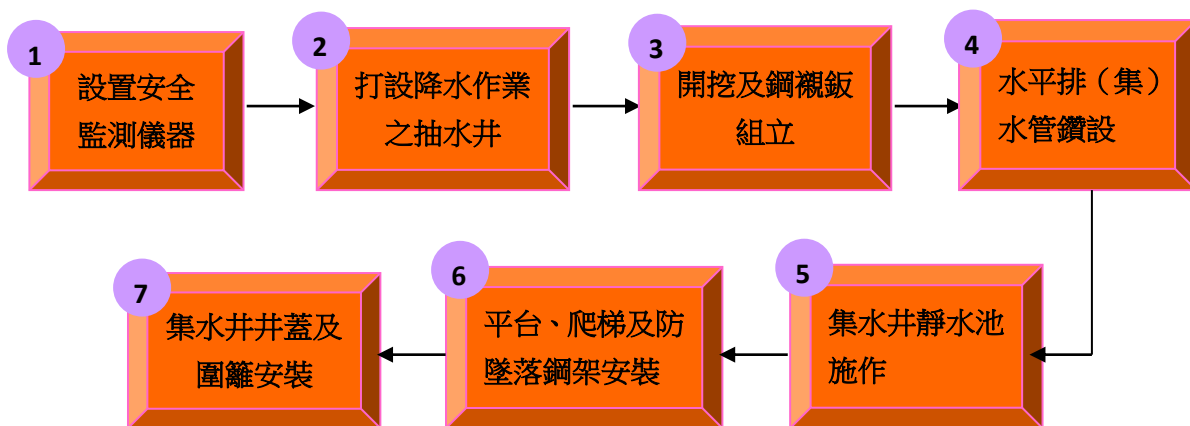


圖 12 集水井施工流程

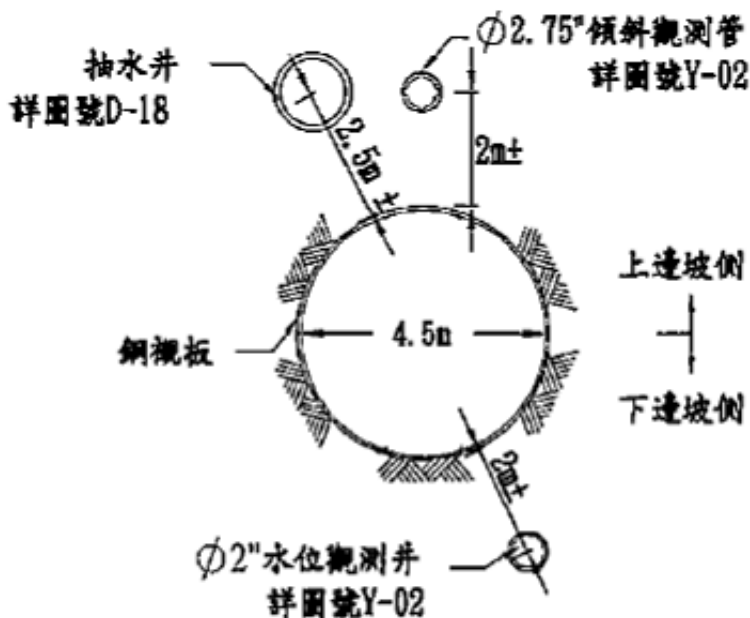


圖 13 監測儀器安裝位置示意圖



圖 14 集水井安全監測執行

表 2 集水井施工中安全監測管理值表

	預警值	警戒值	行動值
傾斜觀測管	5 mm / 5日	3 mm / 日	20 mm / 日
因應對策	1.正常施工與監測。 2.注意後續之變化。 3.施工單位應擬送補強計畫。	1.加強觀測。 2.召開檢討會議，研判安全性，尋找原因並研擬補救措施。	1.暫停施工。 2.人員機具均需撤離。

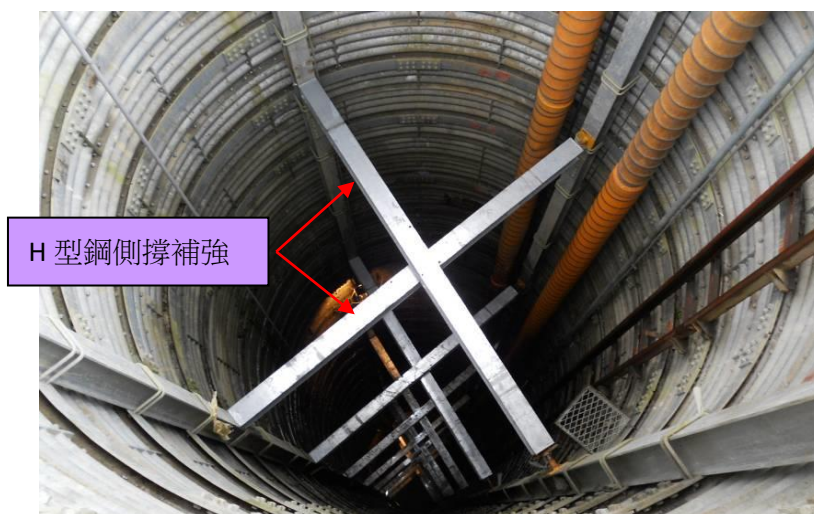


圖 15 十字型側向支撐加固

(二) 打設降水作業之抽水井：

五彎仔地滑區地質條件較差及地下水位高之情況下，集水井開挖壁面滲水容易引起壁面之突然坍落或出現砂湧現象，另開挖至地下水脈可能發生大量地下水湧進或湧水情況。惟考量井內開挖及主體工程作業中施工人員之安全，抽水井建井深度應大於集水井 10 公尺，有效抽降地下水，圖 16 抽水井試抽及維護情形。

本工程於 101 年 6 月 10 日~101 年 6 月 12 日因山區超大豪雨，阿里山雨量觀測站雨量資料顯示，3 天累積降雨量達 1,183mm；集水井工區附近天然蝕溝滿水斷面，詳圖 17 所示。超大豪雨下，W-6 井筒鋼襯板壁體約 6 公尺處即有滲水，地下水壓力無法消散。圖 18 所示為 0610 超大豪雨造成鋼襯板壁體滲水現況，可見開挖降水作業頗為重要。



圖 16 抽水井試抽及維護



圖 17 0610 超大豪雨現況 (0610~0612：3 天累積降雨量達 1,183mm)

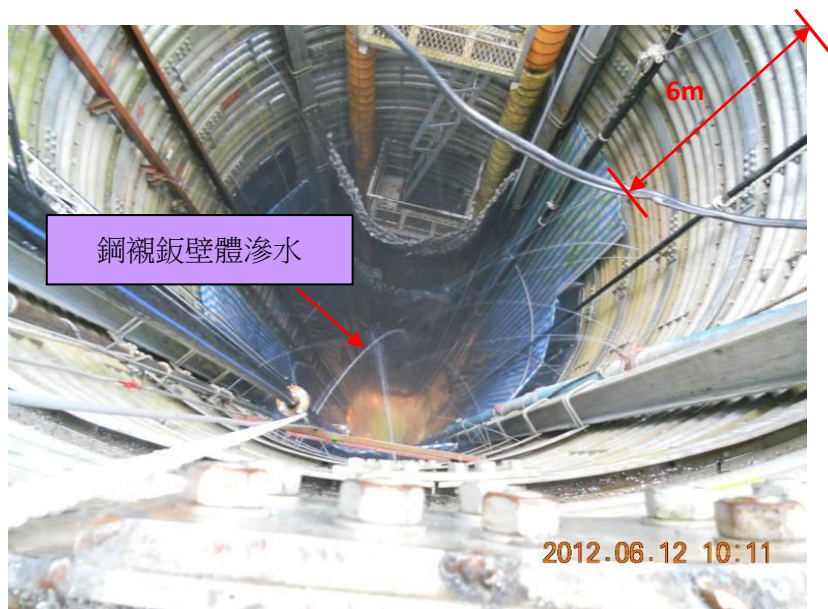


圖 18 鋼襯板壁體滲水現況 (0609 豪雨災害)

(三) 集水井開挖及鋼襯板組立作業：

大口徑集水井井筒材質由浪型鋼襯板組裝而成，組裝 1 圈鋼襯板需 9 片，鋼襯板高度 50 公分；其開挖方式為使用電動式破碎機輔助以人工挖掘，由上而下開挖。每隔 0.5~1 公尺深後，進行開挖壁面之修飾，不得超挖，並立即組立鋼襯板；每片鋼襯板間以螺栓隨即栓固，主要是確保鋼襯板間之水平方向連結密實。另垂直方向由 H 型鋼加強環及垂直加勁條固定緊實，圖 19 為集水井開挖及鋼襯板組立情形。另一方面在開挖過程中，為避免開挖孔壁抽心落盤，鋼襯板組立 0.5~2.0 公尺深完成後，隨即進行背填灌漿，不得閒置及超挖。反復施工開挖至設計深度 45 公尺或 50 公尺為止。



圖 19 集水井開挖及鋼襯板組立作業

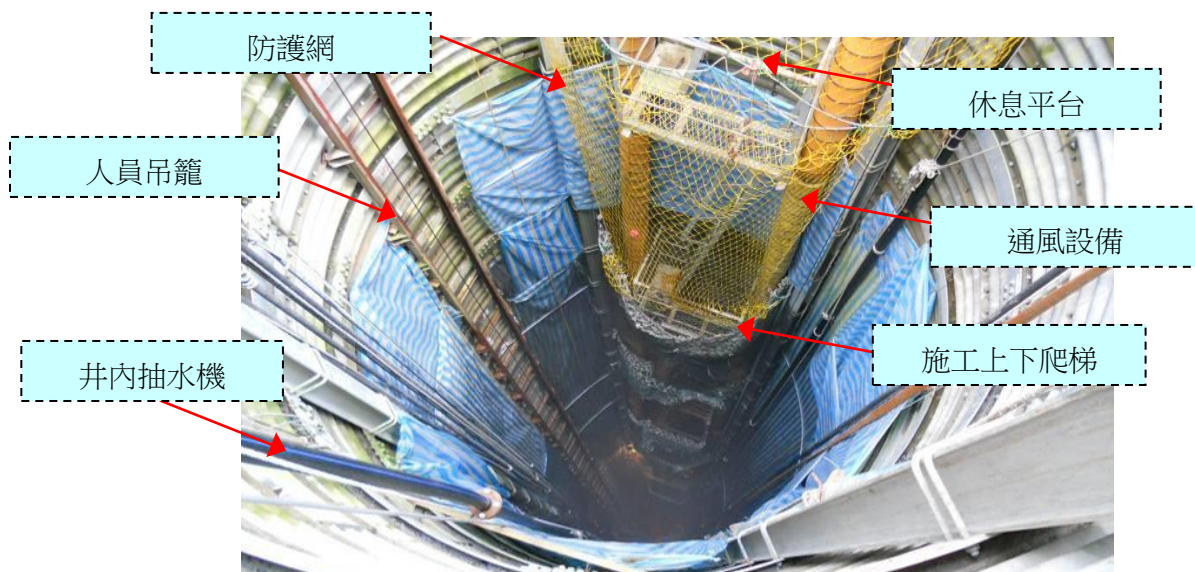


圖 20 集水井安全設施

集水井開挖過程屬於侷限空間作業場所，主要施工危害類型為溺水、墜落、缺氧及瓦斯毒氣。特別在開挖施工期間，井內施工爬梯應設置爬梯護欄及休息平台，施工人員上、下時應繫安全索及安全護具。另外，入井前及作業中應以送風及抽風機組輸入更換新鮮空氣至井內；作業環境測定須符合含氧量 18% 以上、硫化氫 10PPM 以下、一氧化碳 35PPM 以下及可燃性氣體 15% 以下；山區豪雨導致湧水可能，應備妥井內抽水機。詳圖 20 所示。

(四) 水平排(集)水管鑽設及安裝：

大口徑集水井開挖及鋼襯板組立完成後，即施作水平排(集)水管鑽設。水平排(集)水管為高密度聚乙烯 (HDPE) 原料製成，其物性要求為密度 0.93g/cm³ 以上、延伸率 195% 以上、及抗拉強度 160kg/cm² 以上，管材堅韌不易斷裂，且施工效率高；圖 21 所示為水平集(排)水管示意圖。

ψ125mm 水平排水管功能為重力方式有效排放集水井收集之地下水，可減少滑動塊體內孔隙水壓，提升地質材料之剪力強度。通常在集水井開挖完成後，將油壓推進型鑽堡需吊放入井筒，並將鑽堡基座穩固於施工平台，主要能避免排水管鑽設方向、角度產生誤差。圖 22 所示為鑽堡機具，在井內侷限空間作業須採分離式，故油壓系統與鑽頭基座須分離；放樣後調整施工平台高程即可鑽設。另外，ψ100mm 水平集水管功能為收集淺層地下水。水平集水管深度 70 公尺，採扇形方式，每層集水管佈設 9 支；方向則以打到水脈，能將地下水有效導出，匯集於大口徑集水井，圖 23 所示為 W-7 (P1-5) 水平集水管 55 公尺處打到水脈現況。

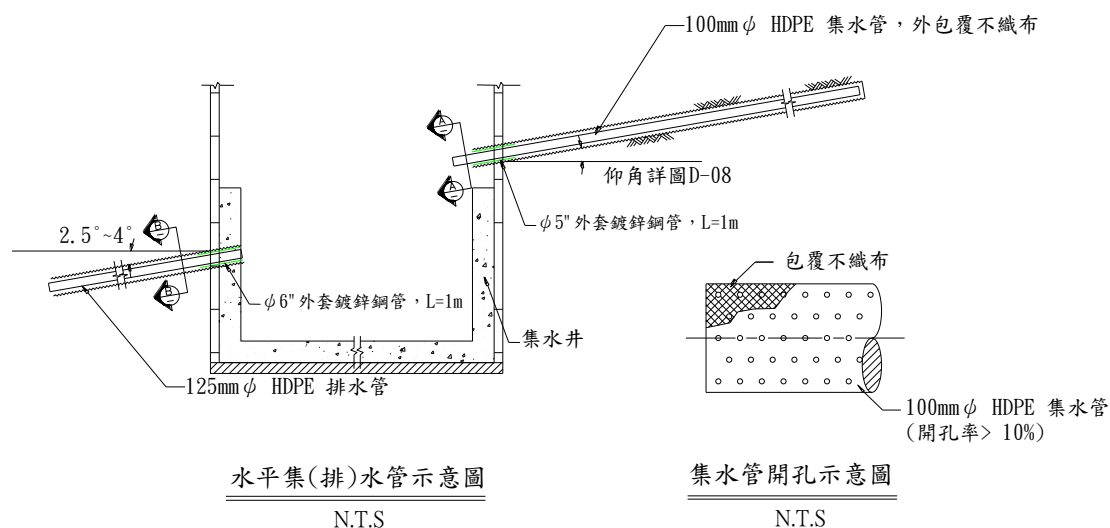


圖 21 水平集(排)水管示意圖

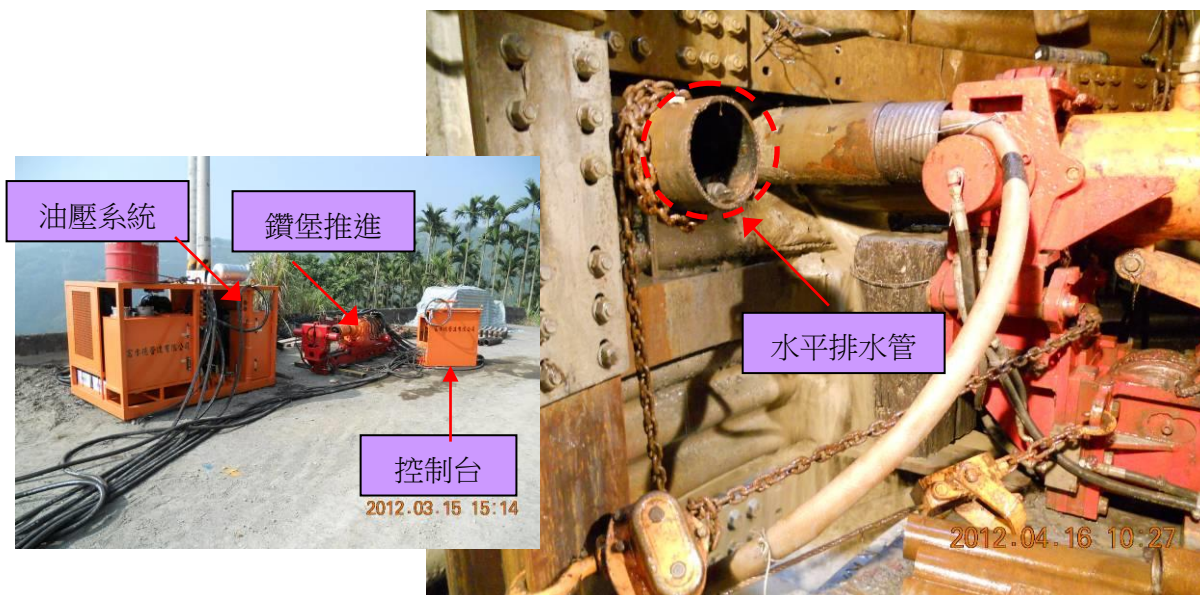


圖 22 油壓推進型鑽堡及排水管鑽設現況



圖 23 W-7 水平集水管打到水脈現況 (P1-5, 套管滿管)

(五) 集水井靜水池施作：

水平排(集)水管鑽設及安裝完成後，井筒底部需進行靜水池鋼筋彎紮及混凝土澆置，靜水池功能主要為蓄水及消能。集水管收集之地下水匯集於靜水池，當靜水池水位高程達到 1.5 公尺時，即藉由排水管自然重力方式排放地下水。圖 24 所示為靜水池完成後蓄水及消能現況。



圖 24 W-8 靜水池蓄水（消能）現況

（六）井筒平台、爬梯及防墜落鋼架安裝：

大口徑井筒內需設置平台、爬梯及防墜落鋼架，該安裝作業需俟水平排（集）水管鑽設完成後進行，由井底逐層施作。每層中間平台間距 8 公尺，安裝爬梯供人員使用。另設置防墜落鋼架，主要防止人員在爬梯攀爬過程中踩空墜落。圖 25 所示為井筒平台、爬梯及防墜落鋼架完成現況，能提供後續維護及調查使用。

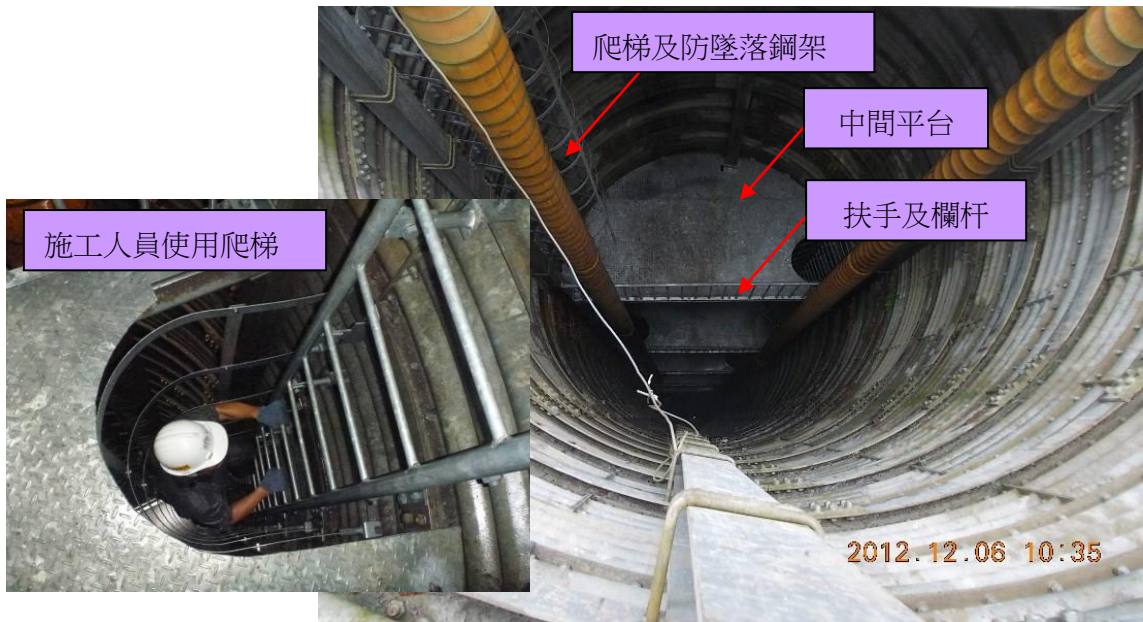


圖 25 W-7 井筒平台、爬梯及防墜落鋼架完成現況

(七) 集水井井蓋及圍籬安裝：

井筒內平台、爬梯及防墜落鋼架安裝完成後，進行井口頂蓋及鐵絲網柵欄安裝，本工程完工後仍需進行維護使用。井口頂蓋及鐵絲網柵欄功能為避免人員墜落、管制非施工人員進出。圖 26 所示為集水井井蓋及圍籬安裝完成現況。



圖 26 W-1 集水井井蓋及圍籬安裝完成現況

陸、工程施工困難

五彎仔地滑區崩積地層破碎、土層複雜，地底下無法預料之不利自然情況下。整治工程於民國 101 年 4 月 27 日~101 年 5 月 5 日，進行 W-7 集水井之水平排水管鑽設施作；因地質關係導致鑽套桿斷裂，緊急情況採用取管器救孔，終因孔壁落盤失敗。民國 101 年 5 月 6 日~101 年 5 月 26 日亦發生此情況，經研討水平排水管鑽設 200 公尺以上，鑽桿細長比過大，使鑽桿剛性變弱，在軟硬交錯破碎岩層中鑽設，易發生鑽套桿斷裂。

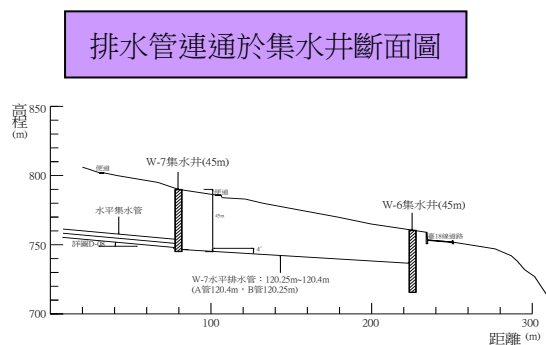


圖 27 W-7 水平排水管連通於 W-6 集水井現況（排水測試，已安裝彎管消能）

為克服地質條件差之施工困難，評估後決定將 W-7 水平排水管出水方位往 W-6 集水井打設，使 W-7 水平排水管連通於 W-6 集水井。鑽設長度約 120 公尺，要連通 W-6 集水井尚需克服鑽設偏差問題。於民國 101 年 10 月 3 日~101 年 11 月 18 日鑽設期間，歷經 5 次鑽設失敗所獲得之數據資料回饋，作為鑽設角度及方位修正依據，終究克服困難，完成水平排水管安裝，圖 27 所示為 W-7 水平排水管連通於 W-6 集水井現況，導排效果佳。

柒、結論與建議

大口徑集水井為五彎仔地滑區整治工程之一項，從集水井施工中反應出困難問題，主要有：

- (一) 地質破碎：地滑區位處於臺灣西部山麓帶之內褶皺衝斷帶之外緣，崩積層厚約 3 ~26 公尺不等，下伏之岩層為以砂岩及頁岩互層為主。岩層受到褶皺及斷層的作用，地層之走向及傾角相當不規則，岩層普遍受到剪切作用。錯綜複雜的不利地質條件，導致排水管鑽設總共失敗 7 次。
- (二) 地下水位上升快：地質破碎帶與地下水浮動之關係。由於斷層錯動的影響，造成地質破碎或夾帶剪裂泥，導致降雨時上邊坡因剪裂泥阻水而使地下水位上升較急劇（最多 20 公尺）。

台 18 線五彎仔施作 8 座大口徑集水井相繼已完成，經過觀測集水井之排水量與降雨量成正比，降雨期間每日流量可達上千噸，常時無雨期間亦有每日數十噸之水量，收集地下水導排效果好，並加以誘導排除，確實有成效並可降低邊坡因水而發生破壞的機會。

參考文獻

1. 阿里山公路沿線地質與山崩災害調查研究報告：經濟部中央地質調查所。
2. 台 18 線五彎仔地滑區調查、整治規劃及安全評估第三次報告：青山工程顧問有限公司。
3. 阿里山五彎仔地滑區現地監測簡報：張睦雄、杜居巢、邱奕峰（民國 92 年），國立雲林科技大學營建工程。
4. 龜の瀨地すべり對策事業：國土交通省近畿地方整備局及大和川河川事務所（2003）。
5. 梨山地區地層滑動整治計畫圖表與解說彙編：行政院農委會水土保持局（民國 92 年）。
6. 台 18 線五彎仔地滑區整治工程設計圖說：青山工程顧問有限公司。

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 110 年 1 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：社團法人中華民國領航弱勢族群創業暨就業發展協會

地 址：10859 臺北市萬華區西園路二段 261 巷 12 弄 44 號 1 樓

電 話：(02)8772-5566

中華民國 110 年 1 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN2004100003

定價新臺幣30元