

森林鐵路23K橋梁工程設計與施工紀實

文/圖 沈宜慶 ■ 林務局嘉義林區管理處鐵路課技正

一、前言

阿里山森林鐵路樟腦寮路段里程在23k處，於97年10月受連續豪雨影響，23K+400路段下邊坡發生大規模滑動，路基破損長度約70m，98年8月又再遭遇莫拉克風災，破損長度擴大至105m，為有效解決此路段先天不良容易崩塌之問題並克服施工困難、地質不佳之狀況，規劃採用RC橋梁之施工方式，自99年6月14日開工，並在100年8月30日竣工，總工程經費約為9千萬元。

二、災害的發生原因

本工程所在區域之地形先天上較易受破壞，樟腦寮地形大體呈西高東低之勢，區內之水系主要由北向南流之牛稠溪上游野溪，於非雨季期間，溪水呈乾涸現象，豪雨期間水流量頗大。本崩塌區兩側為兩條沖蝕溝，其崩塌趾部部分位於野溪轉彎段之攻擊岸且接近鐵路路基下方。受邊坡滑動影響，上方土石崩落溪底，災害時河段大小岩塊及土石堆積。

依據附近樟腦寮站之雨量觀測資料，近9年來(2000-2008)，年平均雨量約3,668mm，較台灣地區年平均雨量約2,400mm為高，其較大降雨主要受颱風過境所影響。降雨期主要集中在5-9月，97年之年累積雨量高達4,918mm，其中97年9月月累積雨量更高達2,004mm，9月14日辛樂克颱風過境，單日累積雨量高達624mm，而崩塌區阿里山森林鐵路23k+350m處於97年10月9日發現裂縫，10月13日發生第一次崩塌，98年8月6日莫拉克颱風來襲，連續四日降雨量達1,792mm，尤其98年8月7日單日降雨量高達639mm，造成崩塌範圍擴大。

三、本工程之重要性及設計說明

98年莫拉克颱風侵襲造成森林鐵路災害後，經本處現勘結果，全線大小災害計421處，須辦理發包災害地點275處，為森林鐵路有史以來遭遇最大之天然災害。本處為儘速修復行駛路線，依照修復地點之工程施工順序考量，共



工程範圍立體模型



莫拉克風災後路基崩塌擴大照片

分為17件工程辦理，總計復建經費達10億元，進行期程共分為三階段，說明如下：

(一)第一階段

- 1.先行搶修祝山支線復建工程及嘉義至竹崎間路線養護工作，分別於99年6月19日及99年12月19日復駛祝山線及嘉義至竹崎平地線。
- 2.同時辦理多林(49k+780)、屏遮那(60k+500)、二萬坪(66k+950)、36k+066及47k+365等5處大崩場地點之調查及復建工法評估作業，並於100年4月完成地質鑽探調查及工法規劃。

(二)第二階段

於99年3月開始辦理本線災害搶修復建工程，先進行鐵路可通行路段及公路工程車可到達鐵路地點等範圍之修復工程，已於100年8月完成竹崎至奮起湖間修復工程，森林鐵路23k橋梁工程為本階段最艱鉅之樞紐工程。

(三)第三階段

目前持續辦理本線奮起湖以上路段災害搶修復建工程，包括多林及屏遮那地區兩處大型崩場地，經地質調查鑽探及專家學者建議採用隧道工程復建，費用高達5億餘元，預計第3階段工程於102年底完成，達到全線通車之目標。

本工程為第二階段工程中施工難度最高之工程，困難點包括地質狀況複雜，崩積土層深厚並夾雜剪裂帶，雨季時午後時常降下大雨或伴隨濃霧、地下伏流水十分充沛，大量湧水由坡面流出，坡面十分不穩定並時有落石崩落，又因位處山區，工區下方並為牛稠溪上游野溪，聯外道路狹窄，施工便道開設十分困難，重型機械受限地形無法到達工地現場等，故綜合考量下決定採用橋梁工法，橋梁基樁採用人工挖掘方式來克服種種之困難。

由於森林鐵路具有的歷史、觀光價值，依實用、堅固、安全、多用途方向設計，在經深入評估後，依據設施重要性、危害度、保全對象、災害擴大風險因應決採用橋梁方式來重建本路段，本工程為第二階段最後完成之工程，於100年8月30日完工後，森林火車工程列車已可由嘉義通行至奮起湖，配合未來政策補充之人力訓練完成後，重新體驗由嘉義搭乘森林列車至奮起湖之樂趣將指日可待。

本案橋梁總長度為135m，依構造型式又可區分為RC橋、預力梁橋、簡支鋼構工型橋、鋼拱橋等。但考慮地形的限制與地質條件，大型施工機具進入困難，無法採用吊裝方式來完成橋梁的施作，最後採用RC橋梁的構造型式，共分九跨，每跨15m。上部結構為RC梁，下部結構墩柱採單墩柱。

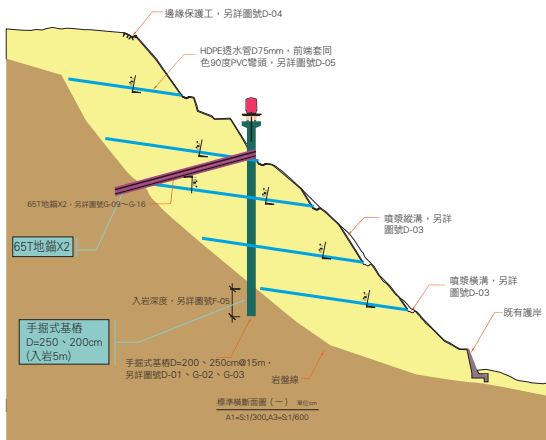


表1 墩柱容許覆土崩塌高度表

編號	設計高度(m)	容許覆土坍塌(m)	設計容許高度(m)
A1	0	15	15
P1	5	10	15
P2	7	8	15
P3	17	3	20
P4	17	3	20
P5	17	3	20
P6	12	3	15
P7	7	3	10
P8	2	2	4
A2	0	2	2

由於墩柱與基樁為同一根，在地表面以上為墩柱，地表面以下為基樁，並以地錨固定在地表面。為求設計上較保守起見，墩柱設計高度作一假設，在日後若邊坡發生再次崩塌，可容許基樁覆土坍塌，依地質鑽探岩盤線位置及再崩潰可能高度研判，分析覆土坍塌之容許高度。

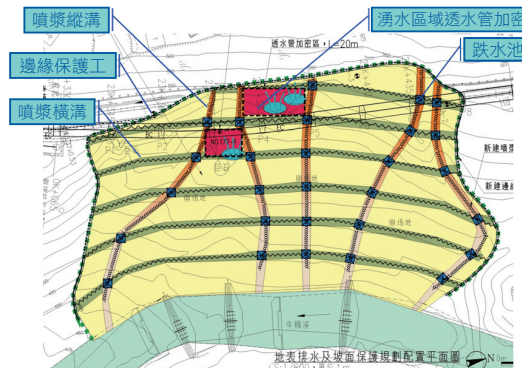
3.手掘樁採用

評估以橋梁跨越崩塌路段，其橋墩基礎採用「手掘式」基樁，手掘式基樁與鑽掘式基樁原理相近，差別為鑽掘方式一為機械一為人工，其優點如下：

- (1)人工鑽掘可同時作業，雖然人工鑽掘每日進尺平均約1.0-1.5m，一支基樁約需30-60日施作，但各橋墩基樁可同時施作，可大幅降低工期。
- (2)不用闢設便道供大型機具進場，降低邊坡開挖防護與穩定干擾。

4.區域地表排水

樟腦寮地區地表排水缺乏整體有系統規劃，豪大雨時地表水四處亂竄造成崩塌坡面之沖蝕與惡化，為減少地表水入滲之可能，規劃以噴漿縱橫溝系統導排地表逕流水，崩塌邊坡區域則採透水管將岩體深度地下水導出。區域地表排水示意圖詳圖。



地表排水及坡面保護配置示意圖

四、工程施工

本工程於99年6月14日開始施作，至100年8月30日竣工。主要的施工項目如下：

(一)基樁的施工

編號	A1	P1	P2	P3	P4
直徑	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
長度	58m	49m	43m	30m	25m
編號	P5	P6	P7	P8	A2
直徑	2.5m	2.0m	2.0m	2.0m	2.0m
長度	20m	18m	14m	12m	10m

基樁是本工程非常重要的施工項目，其中編號A1基樁直徑2.5m施作長度為58m，創下目前國內最深的手掘基樁紀錄。

在施工過程中，由於是採人工挖掘，可以克服大型機具無法進入之地形障礙，但同時也因為是人工作業，必須考慮人的體能限制與安全顧慮。相關的檢討如下：

●開挖時來自上坡面是否會有土石滾落，而危及開挖中的人員？

→主要在上坡面進行坡面保護與排水導引，並在洞口設置安全防護網。

●是否存在地下水？在開挖時流入，增加作業的困難與危險。

→除在洞內進行抽水作業外，在洞旁另鑽設大口徑抽水井以降低地下水位。

●開挖時之採光、通風之要求，在空氣品質之確保上尤其重要。

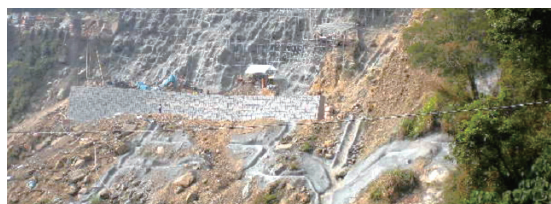
→依人體需求計算經由送風管打入來自外面新鮮的空氣，並在開挖作業前進行氧氣及有毒氣體之偵測，以確保安全。

●開挖時遭遇颱風、豪雨、地震之應變處理。

→裝設安全監測系統，進行日常及降雨時之



崩塌邊坡莫拉克風災期間滲水照片



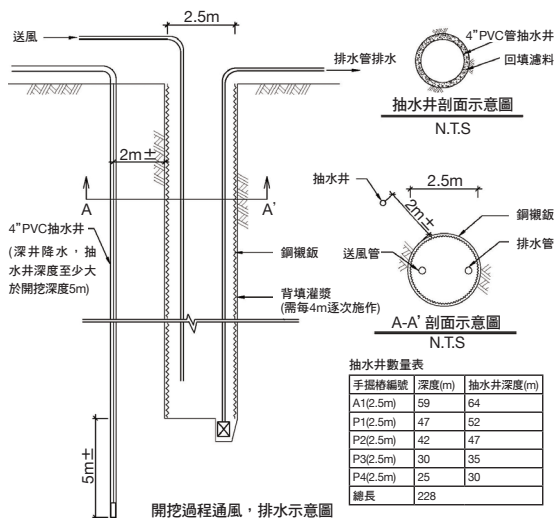
崩塌坡面保護與排水工程完成照片

監測，以掌握預先之警示。

→設置加強環及事先備妥十字型側向支撐，必要時立刻安裝補強開挖井之結構安全。

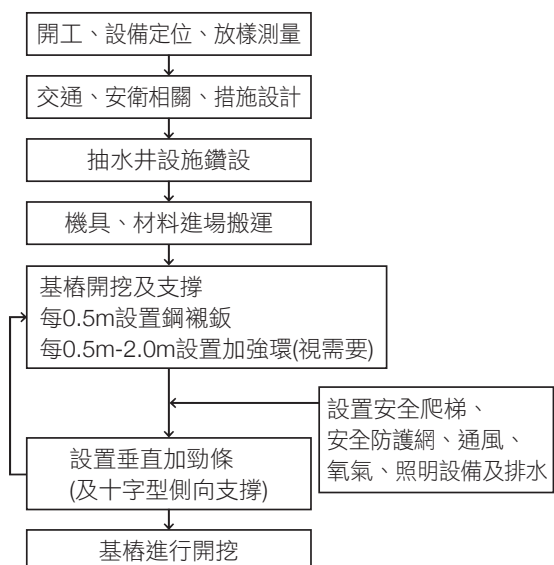
基樁作業的相關要項與流程說明如下：

1.基樁施工流程：



※進入局限空間內時須使用四用氣體偵測器檢驗，氧氣偵測低於18%狀態時，禁止人員進入，須通風換氣至氧氣達18%以上方可進入施工。

2.通風、排水示意圖：

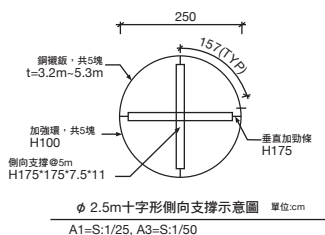
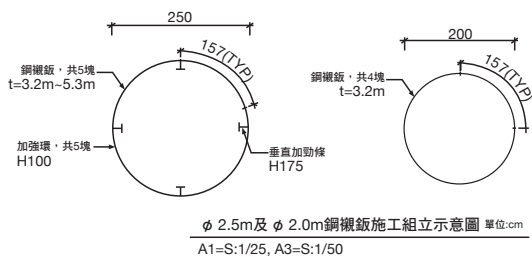


3.安全監測系統

基樁施工安全監測系統管理職表

	警戒值	行動值
傾斜觀測管	3mm/日	3mm/日
因應對策	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.人員機具均需撤散

- 觀測頻率：基樁開挖階段每3日1次，兩季時必須採取每日觀測，直至永久RC澆置完。
 - 如到達警戒值，承包商須主動提出因應對策，並需增加觀測頻率，每日至少1次。
 - 基樁混凝土澆置完成後，每2週觀測1次，直至竣工日為止。
 - 每次監測成果須於次日，將監測成果觀測數據，以書面或電子郵件，送至監造單位及甲方。
 - 施工期間每月以書面月觀測報告，竣工後提送觀測成果總報告，報告需由大地、土木等相關技師簽證
- 4.鋼襯板與加強環：



手掘樁開挖支撐係統一覽表

深度(m)	項目	鋼襯板厚 (mm)	加強環尺寸 (mm)	加強環垂直 間距(mm)
0-20		3.2	H100*100*6*8	2.0
20-40		4.5	H100*100*6*8	1.0
40-60		5.3	H100*100*6*8	0.5

註：1.施工期間依開挖施工安全監測結果，必要時得加設時自行側向支撐(採H175*175*7.5*11)垂直間距約5m，以確保施工安全。
2.φ2.0m手掘樁，施挖深度未超過20m，不須加設加強環。

五、結論

山區災害常因受限地形及交通等因素限制，無法使用大型機具進場修復，本案係為克服上述困難點，進而發展出以施工流籠為主，施作人工手掘樁及RC橋梁結構的施作方式，並創下多項工程特色：

- 工程中採用之手掘式基樁深入土體中，確保插入岩盤5m以上，基樁直徑2.5m施作最深深深度為58m，已創下目前國內最深的手掘基樁紀錄。
- 樁墩一體，可容許邊坡若進一步崩塌在10m內時不危及橋梁安全。
- 橋台與橋梁同結構形式，若崩塌往橋梁兩側擴大，橋梁具可延伸擴充性，而不必重建橋梁。

本工程施作難度雖高但能有效防止災害損失，並可提供國內其他山區災害類似案例參考，藉此機會感謝林務局及嘉義林管處長官及同仁鼎力支持，以及第一線設計監造單位松陽工程顧問有限公司及宜德營造有限公司參與人員之用心投入，才能完成此一艱鉅之任務。⚠

森林鐵路23K橋梁工程之施工照片



1 基樁位置放樣爆破鑽孔炸藥放置



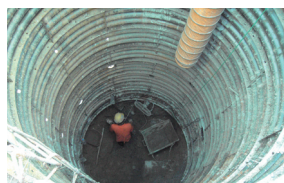
2 基樁位置爆破鑽孔炸藥放置



3 基樁爆破開挖



4 基樁人工開挖鋼襯板組立



5 基樁人工開挖及鋼襯組立



6 基樁十字型支撐安裝



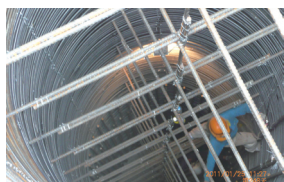
7 基樁內通風及安全措施



8 嘉義林區管理處楊處長(現為林務局副局長)基樁深度視查



9 嘉義林區管理處基樁深度查驗



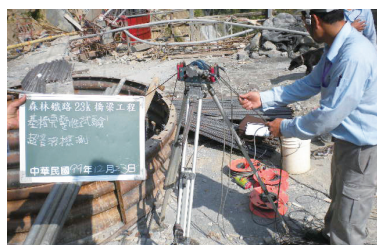
10 基樁鋼筋組立



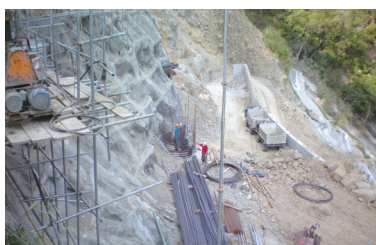
11 基樁完整性試驗PVC管



12 基樁混凝土澆置



13 基樁完整性試驗



14 橋墩鋼筋組立



15 橋墩鋼筋鋼模組立



16 橋梁橋墩鋼模折模



17 橋墩混凝土澆置



18 帽梁鋼筋鋼模組立

森林鐵路23K橋梁工程之施工照(續)



19 橋梁帽樑混凝土澆置



20 盤式支撐安裝



21 橋面板支撐架



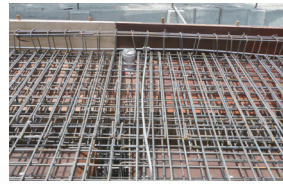
22 橋面板模板組立



23 橋面板模板組立



24 橋面板鋼筋模板組立



25 橋面板鋼筋組立



26 橋面板鋼筋模板完成



27 橋梁伸縮縫安裝



28 橋面板澆置



29 橋面板澆置



30 橋面板養護



31 橋梁道碴鋪設



32 橋梁枕木鋼軌及欄杆鋪設



33 鐵路橋梁完成



34 橋梁載重試驗



35 竣工試車



36 竣工試車