

靠近曙光

卻離家最遠的那九年

台 9 線 南 迴 公 路 拓 寬 改 善 後 續 計 畫 紀 錄 專 輯

公 路 總 局 西 濱 南 工 處



目錄

序	5
大事紀	6

Preface

黎明的光，越照越明	11
-----------	----

Chapter 1

順勢而起、倚海併行 | 香蘭—金崙

1.1 香蘭-金崙	16
1.2 懸崖旁的拓寬工程	18
半半施工無阻交通	20
拓寬過程的挑戰	23
1.3 全台最美的高架橋	27
# 去做就對了	35
# 磅礮的通車典禮	36

Chapter 2

乘風追海、隨坡築路 | 金崙—大島

2.1 金崙-大島	38
2.2 為山麓繫安全腰帶	42
擋土牆施作流程	44
擋土牆施作困難及對策	44
2.3 光影裝飾的隧道	45
明隧道拓寬流程	47
2.4 修直拓寬的橋梁	48
2.5 海側棧橋築構拓寬	54
棧橋拓寬流程	55
棧橋施作的困難及對策	56
# 對家最長的思念	58

Chapter 3

藏橋於林、穿山建隧 | 安朔—草埔

3.1 安朔-草埔	61
3.2 盤臥於林中的巨龍	66
3.3 安朔高架橋下構工法	67
跨河段樁基礎	68
# 崇山綠林中的新道路	72
山谷段井式基礎與竹削工法	73
# 有人，才有可能	76
高墩柱施工	89
3.4 安朔高架橋上構工法	92
# 山不轉路轉，境不轉心轉	94
懸臂工法	95
支撐先進工法	100
場鑄逐跨工法	103



3.5 草埔森永隧道	106
新奧工法	107
# 「棄械逃亡」與「雞婆條款」	114
# 科技為後盾的山頂洞人	115
隧道湧水事件	123
# 克服難關使隧道與岩壁共存	126
隧道抽坍事件	130
# 人生不設限	132



Chapter 4

防崩阻泥、穩土護路 | 護坡工程

4.1 H型鋼擋土支撐	138
4.2 格框植草	140
4.3 岩錨牆	142
4.4 排樁	144
# 應變能力的考驗	146
4.5 邊坡災害控管	147

Chapter 5

雕樑畫棟、綠意綿延 | 景觀美化

5.1 融入土地的美學	152
5.2 默默守護的一片綠意	158

Chapter 6

白水鑑心、無微不至 | 環境監測

6.1 空氣品質監測	161
6.2 噪音振動監測	161
6.3 水質監測	162
6.4 交通監測	163
6.5 生態監測	164
6.6 文化資產遺址試掘調查	169

Chapter 7

低碳建設、環境永續 | 碳足跡盤查

7.1 盤查起源	176
7.2 盤查輔導過程	177
7.3 盤查成效	178

Chapter 8

移山倒海、風華再現 | 養灘計畫

8.1 消失的海岸線	180
8.2 廢土再利用	182
8.3 綿延1.2公里的沙灘	186
# 精衛填海	188

Chapter 9

安不忘危、感控防災 | 隧道安全

9.1 用高科技做好完全的防護	190
9.2 萬無一失的避難設施	195
9.3 用智慧掌握交通	196
# 保持樂觀沒有難關	199

Chapter 10

前程似錦、乘風暢行 | 全線通車

結束是為了新的開始	202
獲獎紀錄	206
圖表目錄	206
參考文獻	207

序

《靠近曙光，卻離家最遠的那9年》有別於傳統的散文小品或工程技術書籍，由具有工程背景的專業紀錄團隊撰寫，藉由工程技術的探討及人物訪談，將工法、管理、環保等各個層面的策略和各階段的亮點，以及工程人員的心路歷程，透過照片紀錄輔以說明，字裡行間還原了那九年真實的情境，並描繪出計畫中艱鉅的挑戰、應變歷程與不為人知的細膩故事。這不僅是道路建設與人文的紀實，對於不同專業和學習者也能有深入參考的價值，即使是從未參與本工程的一般民眾，相信也能透過這本書體會工程的不易及艱辛。

書中這一群築路人，從西部的繁華城市離鄉背井來到了臺東原鄉，遇山鑿隧、遇水搭橋，目標是構築一條如蜿蜒巨龍般，藏橋於林且環境友善的安全回家道路。然而，除了工程技術的不易，工作環境更是一大挑戰，他們要在20層樓高的空中抵抗強風、克服高空作業的心理壓力構築橋墩；在波濤洶湧的海邊，與瞬息萬變的天候和潮汐之間爭取空檔拓寬道路；或於幾公里深的隧道工地內忍受溼悶與塵土，引燃爆材、開鑿隧道。他們用智慧、毅力及耐力突破無數的困難險境，只為了一個共同的目標：完

成台9線南迴公路拓寬改善後續計畫。

「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」是公路總局為了解決東部地區長年出現主要道路中斷，以及道路蜿蜒曲折不易行駛的交通困境，透過截彎取直、新闢道路或拓寬改善的原則規劃建設。開放通車後不僅能大幅縮短30分鐘的行車時間，更提升了整體行車舒適度，對於區域產業運輸與活絡沿線觀光經濟助益甚巨。此項計畫的竣工，除了提供安全便捷的交通，也提升了東部地區救災與醫療的效率與品質。

西濱南工處從規劃、設計、施工至完工，以9年的時間完成了這項計畫，在眾多慢跑愛好者攜家帶眷的見證下，於通車營運前的馬拉松慢跑活動，將圓滿的工程成果展現於眾人眼前時，我們透過許多洋溢的笑容與讚嘆聲得到鼓勵；通車典禮時揭露了工程幕後英雄勇敢堅毅、克服困難的工作情形，獲得在場不斷的掌聲與感謝，我想參與的同仁們都感到與有榮焉；當行政院長親自駕車穿越長達4.6公里的草埔森永隧道，不只為「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」畫下完美的句點，也成為東部地區邁向康莊大道的起點。

公路總局西濱南工處 處長 江金璋
中華民國一〇九年五月

大事紀

100

- 4/1 台9線南迴公路沿線環頸雉研究計畫開工
- 7/27 「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」奉行政院核定「原則同意」

101

- 4/1 香蘭-金崙 407K+264 - 408K+140標開工

102

- 4/1 金崙大橋-多良高架橋開工
- 7/8 台9線南迴計畫第1次環境差異分析報告經行政院環境保護署環境影響評估審查委員會第240次會議決議審核修正通過
- 7/10 草埔森永隧道暨台9線南迴公路養灘工程開工
- 8/2 台9線南迴公路破足跡盤查輔導及查證服務工作啟始會議(草埔森永隧道)
- 8/16 金崙-大鳥 417K+715 - 426K+000標開工
- 8/20 香蘭-金崙 409K+900 - 412K+350標開工
- 9/10 台9線南迴計畫第1次環境差異分析報告定稿本經行政院環保署同意備查
- 9/14 台9線南迴公路破足跡盤查輔導及查證服務工作啟始會議
(金崙-大鳥417K+715 - 426K+000標)
- 9/20 香蘭-金崙 407K+264 - 408K+140標竣工並開放通車

- 3/12 台9線南迴計畫第2次環境差異分析報告經行政院環境保護署環境影響評估審查委員會第257次會議決議審核修正通過
- 4/18 台9線南迴計畫第2次環境差異分析報告定稿本經行政院環保署同意備查
- 5/5 寶茂III遺址中研院進場試掘作業
- 5/9 安朔高架橋工程開工
- 6/3 草埔森永隧道北口隧道破鏡
- 7/15 香蘭-金崙 408K+140 - 409K+900 標開工
- 7/29 台9線南迴公路破足跡盤查輔導及查證服務工作啟始會議(安朔高架橋)
- 12/20 台9線南迴公路安朔至草埔 榮獲103年度交通工程環評考核第一名



- 1/5 金崙-大鳥 426K+000 - 432K+832標開工
- 1/28 台9線南迴計畫第3次環境差異分析報告經行政院環境保護署環境影響評估審查委員會第278次會議決議審核修正通過
- 2/10 台9線南迴公路破足跡盤查輔導及查證服務工作啟始會議
(金崙-大鳥426K+000 - 432K+832 標)
- 3/4 台9線南迴計畫第3次環境差異分析報告定稿本經行政院環保署同意備查
- 4/7 金崙-大鳥 BX 標開工
- 7/7 台9線南迴公路養灘工程竣工
- 7/17 金崙-大鳥 BZ 監測標開工
- 7/28 寶茂III遺址搶救完成


大事紀

105

- 3/28 台9線南迴公路破足跡盤查輔導及查證服務工作啟始會議(C3-EM機電標及C3-T交控標)
- 7/12 草埔森永隧道北上線「南口-豎井」連通典禮
- 8/25 艾利颱風
- 9/13 莫蘭蒂颱風
- 9/16 馬勒卡颱風
- 9/26 梅姬颱風
- 10/9 艾利颱風外圍環流(連續颱風造成多處路面沉陷、擋土牆開裂及邊坡大面積坍塌)
- 10/11 連續豪雨災害
- 10/15 香蘭-金崙 409K+900 - 412K+350 後續標開工
- 10/19 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A5 草埔檢查站及警察廳舍開工
- 12/21 金崙大橋-多良高架橋榮獲105年度金質獎佳作

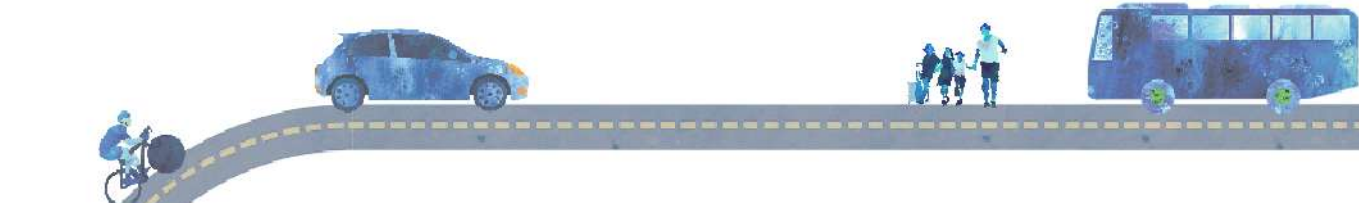
106

- 1/26 金崙-大鳥 417K+715 - 426K+000 標開放通車
- 3/1 多良海側橋改善工程及安朔-草埔C3-EM機電標開工
- 3/6 金崙-大鳥 417K+715 - 426K+000標竣工
- 3/25 草埔森永隧道南下線「南口-豎井」連通典禮
- 4/17 金崙大橋合龍典禮
- 5/1 安朔-草埔C3-T交控標開工
- 5/19 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A1 交控中心及A2 消防分隊開工
- 7/10 台9線南迴公路沿線環頸雉研究計畫完成(100年4月-106年3月)
- 9/5 台9線南迴公路金崙-大鳥 426K+000 - 432K+832 標破足跡查證聲明書授證典禮
- 9/21 草埔森永隧道標榮獲106年度金安獎優等獎
- 10/15 金崙大橋-多良高架橋開放通車
- 12/9 香蘭-金崙 409K+900 - 412K+350 災修標開工
- 12/22 多良海側橋改善工程竣工
- 12/30 金崙大橋-多良高架橋竣工



107

- 3/16 安朔-草埔0K+000 - 11K+006 建築標A3 北洞口機房開工
- 3/25 草埔森永隧道北上線「北口-豎井」連通典禮
- 4/9 安朔高架橋合龍典禮
- 5/18 草埔森永隧道南下線全線貫通典禮
- 6/5 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A5 草埔檢查站及警察廳舍竣工
- 7/15 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A4豎井機房開工
- 9/6 香蘭-金崙 408K+140 - 409K+900 標鋼橋上梁儀式
- 9/9 安朔高架橋工程竣工
- 11/1 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A2消防分隊竣工
- 11/15 香蘭-金崙 408K+140 - 409K+900 標竣工並開放通車
- 12/18 草埔森永隧道榮獲107年度金質獎土木類特優獎項
- 12/21 金崙-大鳥 BX 標竣工



108

- 1/26 香蘭-金崙 408K+140 - 409K+900 標邊坡保護工程開工
- 3/19 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006建築標A1交控中心竣工
- 6/15 安朔-草埔 0K+000 - 11K+006 建築標A3北洞口機房竣工
- 7/1 香蘭-金崙409K+900 - 412K+350 後續標開放通車
- 8/14 安朔高架橋破足跡查證聲明書授證典禮
- 10/4 香蘭-金崙409K+900 - 412K+350 後續標竣工
- 10/30 金崙-大鳥 426K+000 - 432K+832 標開放通車
- 12/1 香蘭-金崙 409K+900 - 412K+350 災修標竣工
- 12/1 慶祝台9線南迴公路全線通車馬拉松賽
- 12/23 台9線南迴公路全線通車



Preface

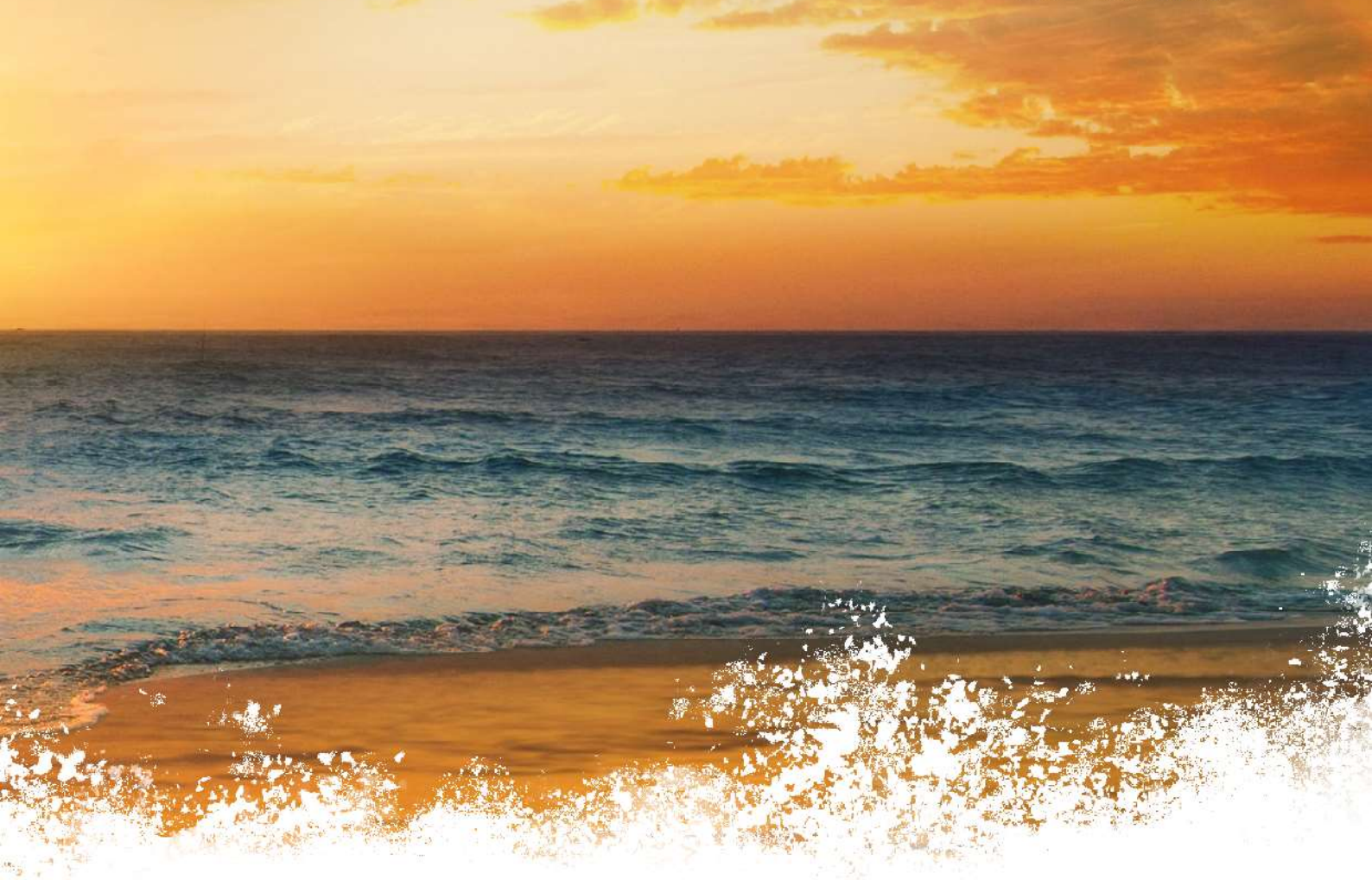
黎明的光越照越明

跨年迎新完美句點，莫過於此地迎曙光。



瑟 縮著肩膀，眯縫中遠眺澄紅的太陽，日光緩緩灑落，將朦朧的海平線越照越明；微顫的雙唇呼出微微的寒氣，靜靜地聆聽手機另一端的親密問候，恍若對方就在身旁般的祥和。過去這些年，元旦撼動人心的景象、感動無數的晨曦，在這裡不過是某一群人的日常，他們在最靠近曙光的地方，佇立在臺東的台9線南迴公路上。

台9線南迴公路的一側是壯麗山林，另一面是一望無際的太平洋，順著這條公路行駛，除了可以感受被山林擁抱入懷的愉悅安穩，還可以享受與太平洋並肩而行的快意舒暢。然而這條花東與高屏地區的交通要道，經年受限於地形的屏障，道路蜿蜒、坡度起伏，車程的直線距離很短，卻因為要繞



行而顯得很遠；部分路段只有單線道通行，會車禮讓時常發生回堵，造成行車不便；公路也因長期受颱風豪雨侵襲、邊坡風化崩落及地滑下陷的影響，導致交通中斷、車輛耗損以及人員傷亡。依照公路總局楓港及台東工務段的統計資料，單單民國91年至98年，每年平均阻斷11次，阻斷天數約15日，嚴重影響了用路人的安全與東部區域的產業運輸及經濟發展。

公路總局於民國100年至108年，耗資227億

4,875萬，興建「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」。這個計畫一旦實現，可以使往來的駕駛和旅客，在流暢且安穩的行進間，享受風景、音樂與平安旅途帶來的美好感受，不需要擔憂道路坍方中斷，也不再需要因為塞車而推後抵達的時間。九年以來將香蘭至金崙、金崙至大鳥，以及安朔至草埔三個路段，以新建橋梁、道路拓寬、截彎取直、隧道開挖……等方式，讓這條連結台灣東西部的要徑重啟更新，蛻變成一條安全、穩定回家的優勝美道，提升

區域運輸系統功能以及服務品質，遊客也可以來到這個台灣的後花園，白天欣賞壯闊的山海美景，晚上看著燦爛星空，泡泡露天溫泉，進而帶動沿線的觀光與經濟發展，可謂一舉數得。

每日清晨的第一道曙光，照耀著一群有相同目標的築路人，有迎難而上的鋼筋學徒，也有熟諳地質學的爆破專家；這裡有擅於電玩的宅男工程師，共事的是酷愛極限運動的理科漢子；認真而開朗的生態保育正妹，為了環境監測數據，與擁有十八般武藝、使命必達的超級公務員分析數據。他們放下父母、家人與親情，在離家最遠的此地聚集，以曙光為起點，用熱情、執著澆灌理想，每天一點一滴的認真往前，擁抱孤獨、挑戰艱難，貢獻他們的專業與青春。這本書記錄了「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」背後不為人知的智慧、技術、管理、犧牲、汗水與態度。就算未曾到過臺東、無法了解生硬的土木工程，或不曾挑戰大自然的浩瀚，透過這本書，也將感受東台灣每天的第一道曙光，如何紀錄這一群平凡人非常不平凡的時光。

照0-02 臺東海岸線景色



Chapter 1

順勢而起倚海並行

依山傍海從容前行，秀麗風光盡收眼底。



臺東縣位於台灣的東南角，由於高聳的中央山脈屏障，而保留了一片未被過度開發，也沒有被工業化污染的好山好水，而被稱做「台灣的後花園」。台9線南迴公路是臺東地區往南前往西部地區唯一的交通要道，也是東西部之間各項民生物

1.1 香蘭-金崙



圖1-01 香蘭-金崙施工位置圖

資運送的命脈，順著臺東縣太麻里鄉的香蘭村，一路向南行駛至金崙村，只見道路一側是懸崖陡坡，另一側則是壯闊的太平洋，沿著高低起伏山勢所興建的舊台9線，只能緊鄰著高聳的山壁構築，大大小小的髮夾彎加上高低起伏的地勢，常有視線上的死角，除了讓行車速率在翻山越嶺之下無法有效提升之外，還經常發生在僅有的兩線道上逆向超車，或是大卡車過彎時的車速過快，

而導致車輛翻覆甚至人員傷亡等意外事故；遇到颱風、豪雨時，沿途可見崩落的土石以及四處斷裂的護欄，嚴重影響道路安全及用路人權益。此外，行經南迴公路金崙路段，必須穿越南北向各只有一個車道的金崙村

落，以致連續假期或春節期間回堵幾公里的車流，成為返鄉旅途的特殊風景，除了造成旅客的不便，也影響在地的生活品質、產業運輸以及區域經濟的長遠發展。



照1-01 台9線南迴路段濱海景色



照1-02 台9線南迴路段依山傍海

為了徹底解決香蘭到金崙路段車道不足和道路線型不佳等問題，「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」規劃將雙向都只有單車道的公路，向海側拓寬為南北雙向三至四車道，以紓解逢年過節返鄉、旅遊的車流量，並改善蜿蜒山路可能帶來的行車風險，行車過程也能更為舒適與安全。此計畫完成後，回家的路途不再遙遠，到東海岸旅行也無需長途跋涉，用路人不僅可



照1-03 香蘭金崙段沿高聳山壁迂迴而行

以在天然險景裡安全順暢通行，還能同時欣賞壯麗的自然風光。一群築路人不約而同來到這個離曙光最近，卻離家最遠的地方，不畏豔陽風雨，抱持筭路藍縷、胼手胝足的精神鋪橋造路，完成這項艱鉅又偉大的使命。

1.2 懸崖旁的拓寬工程

香蘭至大鳥路段的公路依附著山形而建，只見一側是高聳的山壁，另一旁則是蔚藍海景，遊客駕駛時，可以將眼前的大塊風光一片片拼進腦海裡，成為一幅美麗的回憶拼圖。然而，如此依山傍海的路段對於台灣世曦香蘭至大鳥段監造經理張曜洲來說，卻有著極大的隱憂。張曜洲表示：「香蘭至大鳥路段採取往海側拓寬的設計，但每年只要是由南太平洋形成的颶

風，幾乎都會侵襲臺東地區，當風災來襲，疾風一吹，道路上下邊坡的土石就會像被掀落的拼圖般，一塊一塊崩落、坍塌」。

為了克服險峻的地形條件，公路總局採取興建構台、便橋或便道的方式，往海側拓寬為三車道，而經常發生邊坡坍塌與落石的山谷路段，則採用預力混凝土箱型梁橋、鋼箱梁橋及鋼板梁橋，直接跨越高風險區域的方式施作，除了



照1-04 道路改善前金崙街逢連續假期街道塞車情形

避免損害脆弱地質，也能維護施工安全。過程中必須在將近20層樓高度差的下邊坡，搭設臨時便道讓拓寬工程得以順利進行。現在回想起當時的景況，仍然令張曜洲感到餘悸猶存。

路段共有香金1至8號橋，以及金崙大橋共9座橋樑。在金崙大橋與多良高架橋之間，構築防浪牆並佈設消波塊，減輕海浪侵蝕的力量，讓公路不再受到長浪或颱風暴雨的侵襲與危害，進而維持道路行駛的安全及穩定性。

東濱營造負責人張簡士暉有近40年的時間，投身於高雄、屏東、臺東等地的道路和橋梁工程，面對香蘭至金崙路段高架橋的搭建，他表示：「不論是地形或地質都很多變難測，所以在施工過程需要靈活變通，順應環境切換不同

的方法來達成目標。」他認為工程的興建不僅要兼具品質與安全，更需要征戰經驗豐富的老將，來應付複雜多變的地形。

張簡士暉表示：「一般的高架路段需要搭建便橋，讓工程機具和施工人員透過便橋於橋墩進行爬高及吊掛作業。不過這個路段的一側臨近海岸，另一側是起伏的高山，便橋如果建在海岸會距離公路太遠，搭建在崎嶇的山上又耗時難行。」當他發現這個兩難的問題後，便積極思考變通對策，他認為鋼便橋的使用時效長，主要用於工區內的交通；鋼構台可用來承載機具施工，適用於短期性的假設工程。為了對抗施工中因地質造成的阻礙和複雜性，經權衡決定採用單價較低的構台施工，雖然使用周期較短，但因為構台的拆解機動性高，使得工程得

照1-05 香金2號橋構台搭設實景





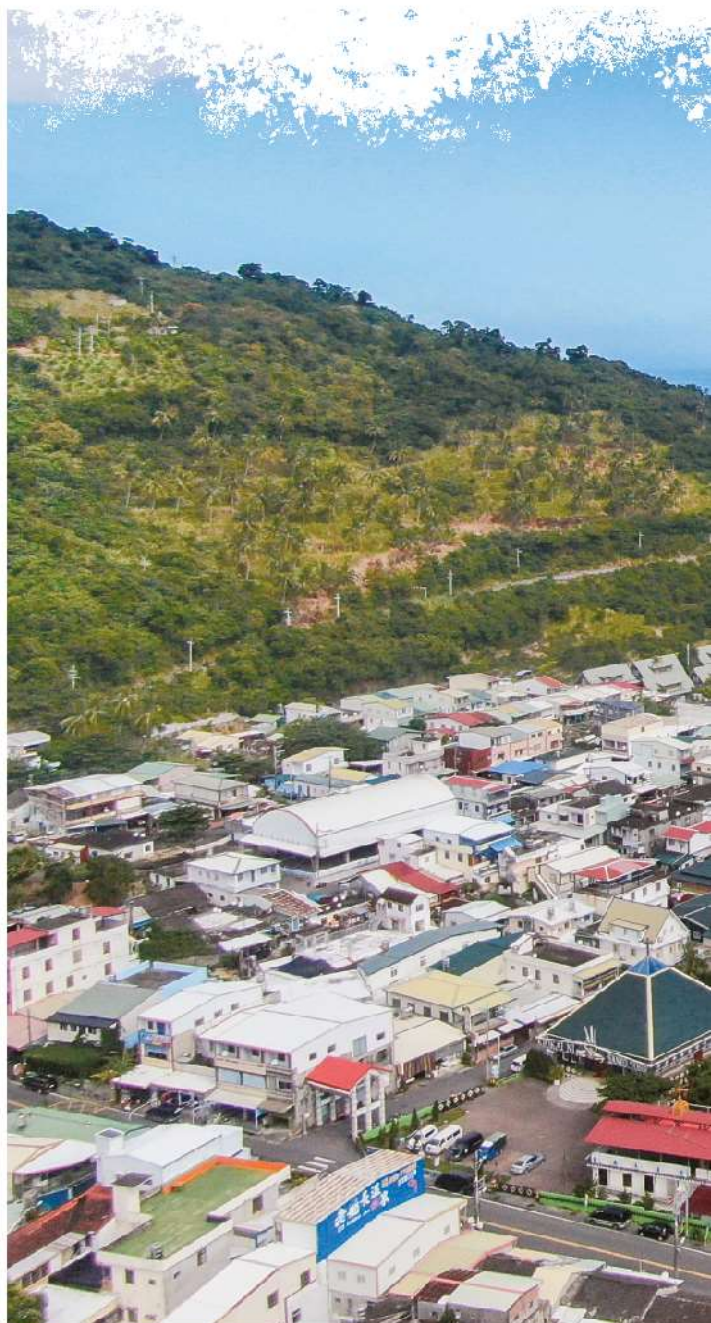
照1-06 香金2號橋鋼箱梁吊裝作業

以順利推展，還能省下許多便橋鋼料的租用成本。

沿著海岸線新建的金崙大橋跨越金崙溪，將公路線型以「外環道截彎取直」的方式達到車輛分流，其實在工程動工前，公路總局曾在當地進行民意調查，讓居民自己決定，希望新路線按照舊台9線的路線，穿過熱鬧的金崙村，還是以外環道的形式通過，結果村民們毫無疑義，一致決定要興建外環道。一般人的思維是只有通過村子，有車潮才會帶來人潮與錢潮，但或許是過去發生太多小孩子出門玩被車撞到，或是在家門口出車禍的慘痛經驗，讓他們寧願做出這樣的決定。金崙大橋通車後，車輛不再川流於金崙村內，紓解連續假期及春節期間大量的車潮，促進行駛效率，提升交通運能之外，也維護了當地居民的生活品質。

1.2.1 半半施工無阻交通

不論是既有台9線的道路拓寬，或是截彎取直改善道路線型，由於施工路段本身的寬度就有限，而一邊是山坡另一側是海岸線，在不能破壞山坡地的情況下，就只能朝海側施工。然而，拓寬改善過程中，既有公路僅有南北雙向各1車道，這條路又是聯絡東



順勢而起倚海並行



照1-07 「外環道截彎取直」避免車流繞行至金崙村內



西部的唯一幹道，在舊台9線僅有的雙線道限制下，必須劃分出施工動線，同時交錯車流，施工期間的交通維持就成為一大考驗。台灣世曦香蘭至大烏段監造經理張曜洲表示：「我從事土木工程已經超過25年，同時面對這樣繁忙的交通流量和高風險地形的雙重挑戰，仍然是較為罕見的狀況。」特別是在吊梁的時候。曾經在半夜十二點到二點半封路施工，中間通車一個小時後，再從三點半到六點進行第二階段的封路，這樣的過程無法避免，只能盡力縮短時間，像是第一次的吊梁工程為期兩個禮拜，第二次則縮減為一個禮拜.....在設計、規畫、施工等各個階段，無不竭盡所能追求完善。

為了確保施工期間的交通品質，將工程分為兩階段施作的方式稱為「半半施工」。

第一階段先進行海側施工，待拓寬完成後，讓行駛在舊有台9線的車輛，改道行駛在第一階段拓寬的新路面，隨即封閉舊有台9線，繼續進行第二階段施工，盡量維護用路人的權益。施工過程中，都會以交通號誌搭配人工旗手的方式來引導用路人，使往來車輛能夠安全順暢的行駛，待第二階段完成拓寬改善後，便開放全線通車。

臺東舉辦熱氣球活動或金針花季時，在既要施工又要保持交通順暢的情況下，免不了需要實施單向管制，但旅遊旺季期間光是等待通過，就得要一、兩個小時以上。某天一輛遊覽車不耐等候，油門一加就想往前衝，交通維持人員深怕對向車同時過來，在無處可避的情況下會發生憾事，心裡一急就一個箭步衝上去，用肉身擋在遊覽車前面，這件事後來登上了當地的媒體頭條，許多人也在網路上嘉許這位工作人員，但對公路總局而言這真的是危險行為，因而在此次事件後召開檢討改善會議，也不斷加強安全觀念的訓練。



照1-08 半半施工

工程人員在施作過程中，除了要留意施工期間公路的行車安全，與施工動線的布設之外，也要不斷設法減輕道路拓寬施工對用路人的影響。曾經發生必須將病患緊急送到臺東馬偕，因為車子無法通行，工程團隊事前透過無線電聯繫，讓救護人員在封路的另一頭等候，人一接到便由救護車送醫。前後雖然花不到幾分鐘，卻是團隊透過事前完整規畫以及無數次演練的成果。

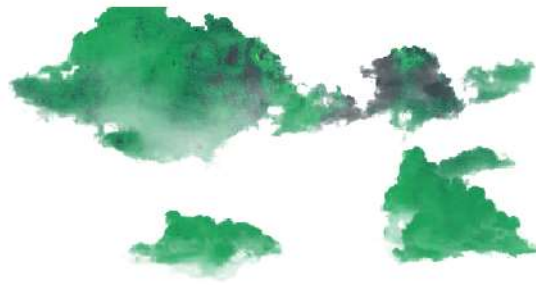
1.2.2 拓寬過程的挑戰

香蘭路段的一側是緊鄰太平洋的懸崖，一側是高聳的山坡，地形險惡且腹地狹隘，西濱南工處第七工務段段長高得成初到此地勘查時，放眼望去是漫山遍野的綠林，往下一瞧，看見了深不可測的山谷以及山間小溪，「那畫面滿驚人的，在看不到橋梁立足之地的情況下，你很難想像要怎麼在山谷溪流中蓋出一座橋梁。」高得成苦笑著說。但他們心裏明白，施工時緊鄰峭壁的有限路基，加上旁邊又有大浪不時侵襲，說是高難度的工程挑戰絕不為過，但截彎取直是必須全力以赴達成的使命。

此區的地質也是一大挑戰，雖然施工前都會先進行地質探勘，了解這邊的地質結構，可是專家也說，這個區域的變異性實在太大，破碎的岩層地質不穩定，或有可能是之前從上面坍塌下來的岩層，即使僅相隔50公尺，地質就可能完全不一樣，而每次颱風豪雨



照1-09 第一階段先進行海側拓寬工程



照 1-10 多良高架橋構築防浪牆並佈設消波塊



照 1-11 多良高架橋施工過程



照 1-12 香金2號橋截彎取直通車現況



照 1-13 香金1號橋截彎取直通車現況



照 1-14 香金1至2號橋通車實景



照 1-15 香金4號橋完工通車實景

來襲，土石坍塌的情況更是屢見不鮮。因此，拓寬過程除了要考慮邊坡的保護與穩定、作業空間之於施工的可行性，以及施工安全這些因素外，興建在臨海邊坡或灘地的工程，得面對長浪或溪水暴漲對施工進度的影響，在陡峭邊坡或深谷新建橋梁時，還必須克服地形限制對施工構台搭設的影響，並且解決人員、機具、材料進出動線……等種種難題。102年天兔颱風來襲，好不容易做好的施工便道，還有一些器具、設備，綁好的鋼筋，都因此遭受風災襲擊，損失嚴重。台灣世曦香蘭至大烏段監造經理張曜洲表示，105年8月至10月連續颱風侵襲臺東地區，導致10月上旬發生台9南迴多處邊坡滑動、落石不斷，道路的上邊坡及下邊坡也產生路面下滑以及土石崩塌，光是搶修回復成原先的狀況，就耗費了7、8天的時間，拓寬工程無疑是項艱鉅的挑戰！

香金2號橋

香金2號橋是構築在南迴公路髮夾彎山谷內的橋梁，採跨越山谷、縮減彎道的設計。西濱南工處第七工務段段長高得成表示，工程所在位置倚山臨海，除了要在大約有100公尺高度差的地方工作，施工人員必須先開山闢地，深入陡峭的地形，整修原有邊坡後施作便道，才能進行下構的基礎及橋墩工程。在陡峭地形上施工，除了必須隨時注意邊坡狀況，避免坍塌的危險之外，還要將七層樓高的施工構台（20公尺），架設在高低起伏的地形上，整個過程可以說是臨深履薄，每一步驟都讓施工人員膽戰心驚，也還是必須逐一去克服完成。好不容易完

成橋梁的下構，挑戰卻緊接而來。

香金2號橋的鋼箱梁必須在深谷野溪地形進行吊裝及運輸，然而山谷地表距離橋面高度達13層樓（40公尺）的位置，是要施作橋面的地方，該如何將橋面鋼箱梁吊裝上去，又是另一項需要克服的困難。高得成表示，當時由監造單位多次會同工程主辦、設計及承包商現場勘查與討論後，評估在進行橋面鋼箱梁吊裝之前，必須先搭建約5層樓高（最高達16公尺）的構台，才能方便吊車施工，搭建過程中，還需留意邊坡可能因土石鬆散、坍塌，而造成構台變位的現象，因此必須打深構台立柱，將立柱埋入地表下深度5公尺以上，以確保施工構台堅定穩固，再將型鋼立柱以接榫的方式，接合至構台的規劃高度。在施工過程同時以連接板補強接榫處，並派專人監測施工構台沉陷與變位，完成施工構台搭設後，再進行構件的細部檢查，確保每一個環節都安全無虞後才能進場施工，使香金2號橋的鋼箱梁吊裝作業得以順利進行。高得成回想過程的每一個步驟，還是覺得相當具有挑戰性，如今完工通車，行經香金2號橋時，心中都充滿著無比的欣慰。

香金4號橋

為因應香蘭至金崙拓寬路段沿線之山壁陡峭險峻地形，並考量施工時的可行性、安全性及維持交通需求，拓寬改善設計主要採取於臨海側興建橋梁的方式規劃。其中香金4號橋需於海側陡坡施築橋梁基礎、橋墩及上部結構鋼板梁吊裝等作業。由於香金4號橋就興建在陡峭的邊

坡上，而當地破碎的岩層地質不穩，每次颱風豪雨來，土石坍塌的情況不斷重複上演，甚至曾發生一個禮拜內就坍方二、三次的情形。因此，不論採用哪一種工法，都必須面對施工空間受限、開挖後的邊坡穩定，以及擋土支撐等議題。香金4號橋的橋墩位置臨近既有台9線，施工前必須先完成台9線保護工、擋土排樁或H型鋼樁，以維護公路行車安全，橋墩也因此採用不需動用到大型機具的井式基礎，開挖範圍只比井式基礎的結構略大，將邊坡擾動範圍降至最小。香金4號橋的上部結構為鋼板梁橋，為了解決鋼梁吊裝施工空間不足，不得不採取封閉台9線的方式施工，於此同時還要考慮救護車與貨運的需求，在封閉中間短暫開放，救護車也採接駁方式進行醫療救援，又為了降低對既有的台9線交通造成衝擊，鋼梁吊裝作業只有在夜間、凌晨或平日交通流量較少的時段，採分日、分次的方式進行。但同時，若有救護車或相關運輸需求，亦需短暫開放，以接駁方式進行，在原有基礎上既要拓寬道路，又要維持原來交通狀況，施工挑戰性極高，香金4號橋在克服重重困難與挑戰之下，才得以圓滿完成。

多良高架橋

由於山側就是南迴鐵路隧道，為了不破壞原有山壁或大幅開挖邊坡，以兼顧自然環境，多良高架橋仍以向海側拓寬的方式施工，在臨海側新設與原路線雙向分離，且高程較低的單向雙車道橋梁，延續金崙大橋以四車道的方式，規劃長達1.361公里的多良高架橋。橋身採45公尺的跨徑，與等斷面預力混凝土箱形梁橋型，



並採用支撐先進工法，避免施工期間影響公路交通。為了克服多良高架橋平面線型的變化(R值1500)，支撐先進工作車採用固定式彎曲後鼻梁，克服過彎困難並完成所有支撐先進工法橋梁，且因鄰近台9線下邊坡施工，支撐托架採山側短邊、海側長邊之不等長設計，橫梁及底模採可下掀式機制，減少對邊坡的擾動與破壞。

不論是既有台9線的道路拓寬，或是截彎取直改善道路線型，工程人員在施工前經過各單位無數次的開會檢討，工程單位竭盡所能克服所有難題，找出最佳施工方案，讓道路拓寬改善的施工過程，仍能保持既有台9線行車順暢。面對複雜及高低變化的地形，新建橋梁需因地制宜，減少對自然環境的破壞，依工地現況即時採取必要措施，遭遇困難立即研商解決方案，加速變更程序及工作進度的推展。



照1-16 多良高架橋

1.3 全台最美的高架橋

位於太平洋西岸及中央山脈大武山的台9線，穿越金崙村路段，為了避免原路拓寬的方式，造成大量民房拆遷引起民怨，而採取外環道截彎取直，並依據當地的景觀資源，將橫跨金崙溪出海口的金崙大橋設計為橋長1.315公里，最高處達40公尺（13層樓高），成為臺東新的地標景觀橋。外環4線道的設計，除了紓解逢年過節的車潮，也可提昇金崙在地村民的生活品質及行車舒適性。

降低環境及景觀的影響

金崙高架橋的梁底高程以200年防洪頻率需求進行規劃，懸臂段採90至125公尺的大跨徑設計，可避免阻礙自然景觀，並縮減橋梁結構量體，讓金崙大橋成為臺東縣的特色地標。公路總局也將金崙大橋下方的這片土地，和農委會林業試驗所合作栽種各式林木，從定砂的馬鞍藤、林投樹，到長成後可綠蔭成林的棋盤腳、水黃皮.....等等，除了具有固沙、防風的實用價值，其動人景致也能帶動區域之觀光發展。



SCC高性能自充填混凝土

橋墩採用自充填混凝土，除減少高空搗實作業，降低爆模的施工風險之外，同時兼具節能減碳的效果，本路段總計約減少5,313公噸的水泥用量，以及4,543公噸的二氧化碳排放，在改善當地交通的同時，仍致力維護無染的環境。

橋梁單元模組化施工

金崙大橋周遭景觀優美、視野遼闊，為了儘可能不阻礙視野，而設計為大跨徑的景觀橋。而大跨徑的設計，除了降低對環境的影響，也能避免河流沖刷。金崙溪河川治理線內的長跨徑橋梁採懸臂工法，其餘中跨徑橋梁都採用場撐工法施工，金崙溪以南的山區路段，則以原路線拓寬的方式進行。



濱海路段防蝕設計

位處濱海地區的結構物，容易受到海風及富含鹽份的飛砂侵蝕，為了避免結構物受到鹽蝕，而減損使用年限甚至損壞，造成道路行車安全之隱憂。金崙大橋跨金崙溪出海口區域，橋梁下部結構長年與海水接觸，鹽害影響將更為嚴重，因此在中段橋梁採用以下的防蝕對策：

1. 第二型卜特蘭低鹼水泥，最大水灰比(水膠比)0.4。
2. 橋墩、帽梁及樁帽採用抗壓強度 f_c' 值較普通混凝土高兩倍以上，並嚴禁使用含海砂之材料與海水拌合。
3. 箱形梁 $f_c' \geq 20 \text{ kg/cm}^2$ 預力混凝土。
4. 橋墩混凝土保護層之厚度主筋10.0公分，箍筋、繫筋及螺旋筋為8.5公分，樁帽及基樁10.0公分。
5. 預力箱型梁橋採全橋壓應力設計，避免張應力產生裂縫而影響防蝕功能。
6. 採用鍍鋅鋼筋防鏽。

在組模和澆置前會先沖水去除表面不必要的物質，遇到汛期，動輒捲起的滔天巨浪，不僅時常摧毀緊鄰海側的施工便道，也會影響相關機具材料的品質；只要被海水拍打過的地方，不管是建材、鋼筋或是機具，都會反覆用水沖洗乾淨。

全方位考量墩位配置

配合金崙溪出海口北高南低的地形變化，橋面與地面高差自 40 公尺逐漸降低至 5 公尺左右，因應橋高之漸變，橋梁配置採長跨徑及中等跨徑，使橋高與跨徑呈現同步漸縮，增添橋梁的藝術之美。

照1-17 金崙村180° 環景，原需穿越社區之車輛現可直行金崙大橋



照1-18 金崙大橋完工實景



照1-19 金崙大橋通車後，鄰近村落的交通更加順暢



提高混凝土強度，降低結構量體

大跨度的預力橋，自重往往佔總重量的七至八成，採用高強度混凝土來降低自重的效益非常可觀。因此基於「節能減碳」縮小橋梁尺寸的理念，墩柱結構混凝土的設計強度採 350kgf/cm^2 ，箱型梁結構混凝土設計強度採 20kgf/cm^2 ，除了可以滿足材料的高強度及耐久性外，也具有足夠的握裹能力，來達到鋼筋混凝土之要求。



照1-20 金崙大橋施工過程



天候挑戰

由於橋高的最高處有40幾公尺，施工人員等於要到十幾層樓高的地方作業，而大型設備，也得先拆成幾十個構件，再分次分批吊掛上去，然而有時候瞬間陣風的風速感覺就像颱風，必須立即停工，否則會非常危險。正因吊掛時的重心本來就比較不穩，如果吊掛物品是重量高達三噸的鋼絞線，在強風吹拂下的危險性

順勢而起倚海並行

就更高，尤其吊掛作業通常都是一組人通力進行，只要有個閃失，都可能發生無法挽回的後果。遇到汛期或是颱風，河水常在瞬間從幾公尺的河道，轉眼間擴展成2、30公尺寬；面臨突發性豪雨、颱風或長浪來襲.....等狀況時，常常需要一波接著一波，迅速將人員及機械撤離，除了時時都必須處於高度警戒狀態之外，也嚴重影響施工安全及進度。



照1-21 溪水暴漲侵襲施工中的金崙大橋

場撐工法施工區域位於河道與海岸交會處，經過「風險管理評估」後，決定採用船型架來降低場撐面積，並且運用兩端已完成的基礎來提供安全承載，有效防止場撐架遭洪水侵襲淘空倒塌。

每跨場撐唯一落墩的支撐架，以構台方式灌入地表下8到9公尺的深度將其穩固，以防場撐架遭洪水侵襲掏空倒塌。金崙河中段的9跨場撐箱型梁，歷經104年的蘇迪勒、天鵝、杜鵑等颱風侵襲，仍然屹立不搖，順利在各種天候挑戰下完工。



照1-22 金崙大橋緊鄰海岸

搶救寶茂III文化遺址

金崙大橋在開挖至橋墩P3及P4時，意外發現先民的遺跡，因而在第一時間立即停工封鎖現場，等候專家學者的挖掘確認。同時，施工單位也即時應變，配合調整金崙高架橋工程的施作順序，並在主辦機關、監造等相關部門合作下，順利完成保安林地解編與寶茂III遺址搶救的使命。

勞工安全防護

本工程工地點緊臨東部海岸線，因天候劇烈多變，除颱風侵襲、受東北季風影響，易有強陣風及長浪發生，經常造成便道損毀，除了造成工程進度延宕，也可能危及施工人員安全。為維護施工人員的安全，工地除配置動力救生艇、臨水監視人員、風向袋、風速計，及水位警報器外，也於金崙溪出海河口處加設攔截索及救生圈，加強人員落水防護措施。

克服限制確保品質

懸臂工法的混凝土澆置與節塊撓度控制，因應東部地區資源缺乏，混凝土壓送車臂長不足等因素，需改用固定式泵浦，以接管方式將混凝土壓送至橋面上。為使懸臂節塊有良好的澆置品質，連結至橋面板上之管線要保持水平，壓送混凝土之粗細粒料才不會因高程差而分離。在懸臂工作車達到定位後，模板的後緣對齊前一節塊，前緣則根據圖面上之座標與高程檢測調整，高程根據拱度做修正，澆注前要再檢查工作車的位置與水準。懸臂工作車推進後對各結構物之連接部分與懸臂之兩側都要測量，且測量值與計算值要兩相比較，再決定是否須進行調整。在謹慎與細緻的工法之下，克服資源限制，盡力確保品質。

順勢而起倚海並行



照1-23 寶茂川遺址搶救



照1-24 金崙車站與金崙大橋



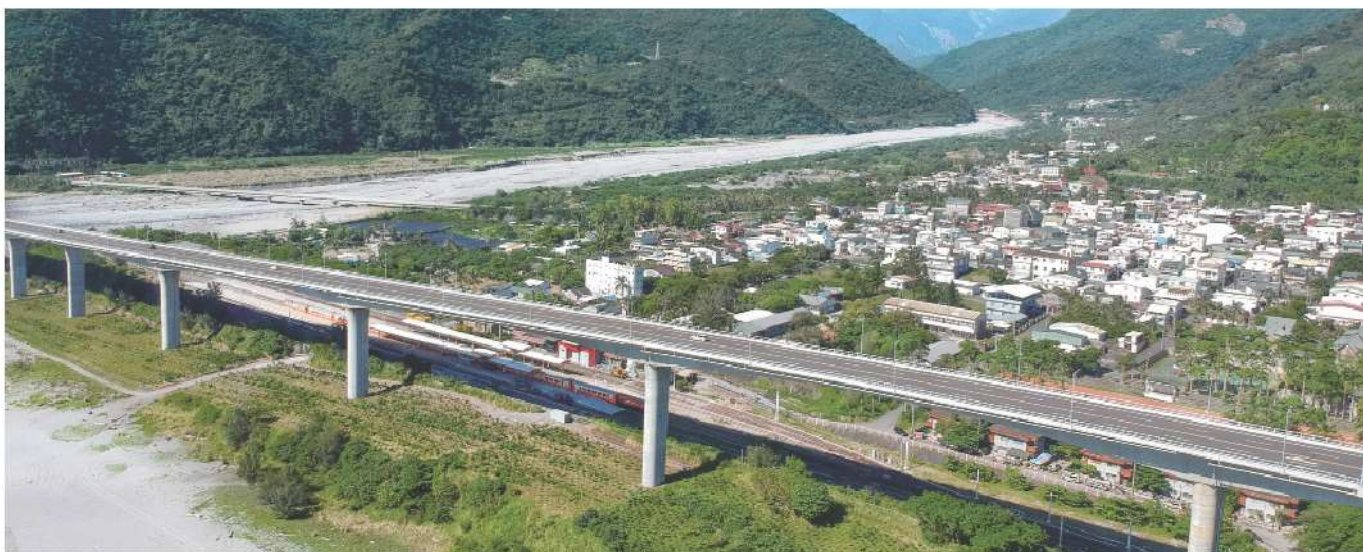
照1-27 遊客可搭乘火車或駕車至金崙



照1-25 金崙車站



照1-26 夜空下金崙大橋與自然景觀相互輝映



照1-28 金崙大橋紓解車流提昇觀光效益

完工效益

多良高架橋及金崙大橋大幅提高了公路的抗災與抗洪能力，提供當地居民一條安全回家的路之外，也避開原本崎嶇的山路與金崙街道，提高行車的舒適性及安全性，讓行車旅程縮短順暢，進而達到節能減碳的作用。過去年節期間，金崙街道塞車情形屢見不鮮，除了降低遊客出遊興致，也影響當地居民的生活品質。台9線金崙大橋及多良高架橋通車後，北上線增加為2個車道，能有效紓解連續假期，多良車站週遭車流壅塞之現象，除了降低對金崙村落交通的衝擊之外，更由南往北串聯起多良火車站、金崙溫泉、洛神花田及金針山等著名風景遊憩區，整合沿線景點並增加易達性，帶動當地觀光產業的發展。車輛行駛在金崙大橋上，4線道筆直又寬廣，輔以橋梁90至125公尺大跨徑設計，可毫無阻礙欣賞橋下無限延伸的綠意，與左手邊一望無際的湛藍海景相襯，美景盡收眼底。鄰近的金崙溫泉，是民眾冬天泡湯首選地點，金崙大橋的通車，不只讓屏東至臺東往來更加方便，提升交通效率及安全，壯闊的山海景觀也讓行車成為一種舒暢享受。



藍天太陽高掛，青山綠水環繞，仰望能欣賞老鷹盤旋的英姿，遠眺能欣賞粼粼閃耀的太平洋，讓人不由自主放下疲憊與煩憂，身心都感到無比的舒暢。有別於城市的喧囂忙碌，「明亮、愜意、好風景」是香蘭至大鳥段的工程人員們，初來臺東縣大鳥村時的第一印象。

雖有海風燕鷗在側，這群工程人員卻心有鴻鵠，深知離鄉背井的目的是為了完成台9南迴改善工程，也因為這個革命情感，工程團隊就好像一個大家庭，彼此之間互相支援、扶持。然而，思鄉之情在時光流轉中油然而生，加上工地地域較為偏遠，缺乏便利的交通與生活機能，也沒有其他休閒娛樂，時常一下班就窩在宿舍，聽著海浪與樹枝搖動的聲響度過漫長夜晚，生活越來越單調乏味。隨著工程快馬加鞭進行，高得成察覺到同仁越來越苦悶，上班時也鮮少看見大家的笑容，高得成想著：「公路人就跟著公路走吧！」身為主管的他便在工務段扮演起大家長的角色，熱絡工作時的氣氛，提振團隊士氣或於休閒時帶大家去探索東部之美，像是到大鳥部落走走，了解「大鳥」這個地名的命名由來與傳說，認識排灣族豐富的風土民情，也安排球類或健走接近大自然等休閒

去做就對了！

訪談西濱南工處
第七工務段
段長
高
得成

活動，讓同仁在下班時間可以放鬆身心，釋放忙碌工作所帶來的壓力，重新充電再出發，工作上的表現隨之漸入佳境。

高得成回想起他進入公路總局，從第五區工程處水上工務段的基層工程人員做起，歷經西濱南工處考工到現今的段長，算算時間已達35年之久。過程中不但要圓滿完成長官交付任務、與當地居民溝通協調，也要不斷想辦法讓同仁維持高度的工作熱忱，以及24小時待命並排除接二連三的工程難題，真的非常不容易，高得成相信沒有完成不了的任務，只怕無心的人，所以一路秉持著「唯有快樂工作，才能讓工作效益倍增」的理念，讓自己保有對工作的熱情，也感染給周遭的同仁。這段期間與大家相處時就像朋友，也像兄弟，更像家人，時而彼此互開玩笑，也共同在挫折中尋找解決方法，久而久之就建立起革命情感，在彼此融洽的相處下，默契也越來越好，即使施工過程曾多次遭遇難關與瓶頸，大家團結一條心，就沒有完成不了的任務。秉持互相成長並保持彈性的管理理念，高得成特別能感受到同仁融洽相處的氛圍與正面的回饋，對高得成來說，「只要去做就對了」便是完成任務的最佳祕訣。

通車典禮對參與工程的人員而言，就如同喬遷之喜之於一般民眾，希望可以分享這份喜悅給各路好友，一同聚集在大螢幕前觀賞工程紀錄片、回顧艱辛歷程、邀請貴賓致詞勉勵、一同將千百位工程人的階段性句點，轉換為數以萬計用路人的起點。對局外人而言，這熱鬧的一兩個時辰，或許只是一場官方活動，但對於幕後的工程人員而言，它可是多少年前的一張白紙、一通電話、一場會議，一點一滴發展至完整的規劃、設計、建造到完工的過程，經歷多少人事更迭，才得以將最初的構想草圖，延續成浩如煙海的篇章，積沙成塔的成果。想像眾人聚集在全台最美高架橋：金崙大橋上歡慶通車，昂首闊步在至高處，眺望碧海藍天的情景該有多完美？然而，這樣的場景卻沒有上演……

時任高南工程處的副處長蘇文崎，個性開朗且穩重，在學生時代就經常擔任領導人物且擅於管理。任職西濱南工處副處長時，參與「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」的設計和興建，轉任高南工程處的副處長後，繼續推動相關業務，6年期間做出無數的決策，也排解不少困難與麻煩，對於台9大小事可說是瞭如指掌。回憶起民國106年10月14日，金崙大橋通車典禮的前夕，工程處已將幾個月來籌辦的事項、請柬和回覆名單底定、工程處和承包商的各項作業

磅礴的通車典禮

訪談時任高南工

程處 副處長

蘇
文崎

也準備就緒，當晚蘇文崎便與幾位工作人員進駐臺東知本的民宿。從旁人的角度來看，萬事俱備且身處於絕美海景的臺東，是不是應該帶領工作夥伴到海邊吹吹風，甚至忙裡偷閒去泡個知本溫泉，慰勞大家一下？

當晚，他們不在海邊，也沒去泡溫泉，蘇文崎平靜的待在知本民宿，面對民宿外的另一個世界。海邊吹來的不是沁涼微風，而是風急浪高都不足以形容的狂風，鞭炮般的轟隆巨響充斥著整個民宿，如同炸彈般的暴雨，直撲而來！此起彼落的巨響中，蘇文崎屏息關注著電視新聞的雨勢報導，以及是否傳來停班停課的消息，同時回想當初安排住宿時勘查環境的畫面，思考著部分同仁寄宿的另一幢民宿，是否有被土石流沖刷的危險？當下各種可能的連鎖效應，該如何有系統的應對？疾風驟雨、分秒必爭，就在隔日停班的消息一經確認，蘇文崎立刻陳報上級機關，宣布取消隔日的通車典禮，一邊安排同仁轉進備案的旅館，同時分頭聯繫各界貴賓和作業廠商，直至所有人員平安、作業完成時已是半夜三點。原本準備就緒的平靜夜晚，瞬間成了緊急應變的特殊行動，這個強風暴雨的夜晚，雖然使諸多準備付之一炬，眾人殷切的期待落空，但不為人知的那一夜，不就是整個工程團隊，在突發壓力下，臨危不亂最真實的寫照？



Chapter 2

乘風追海隨坡築路

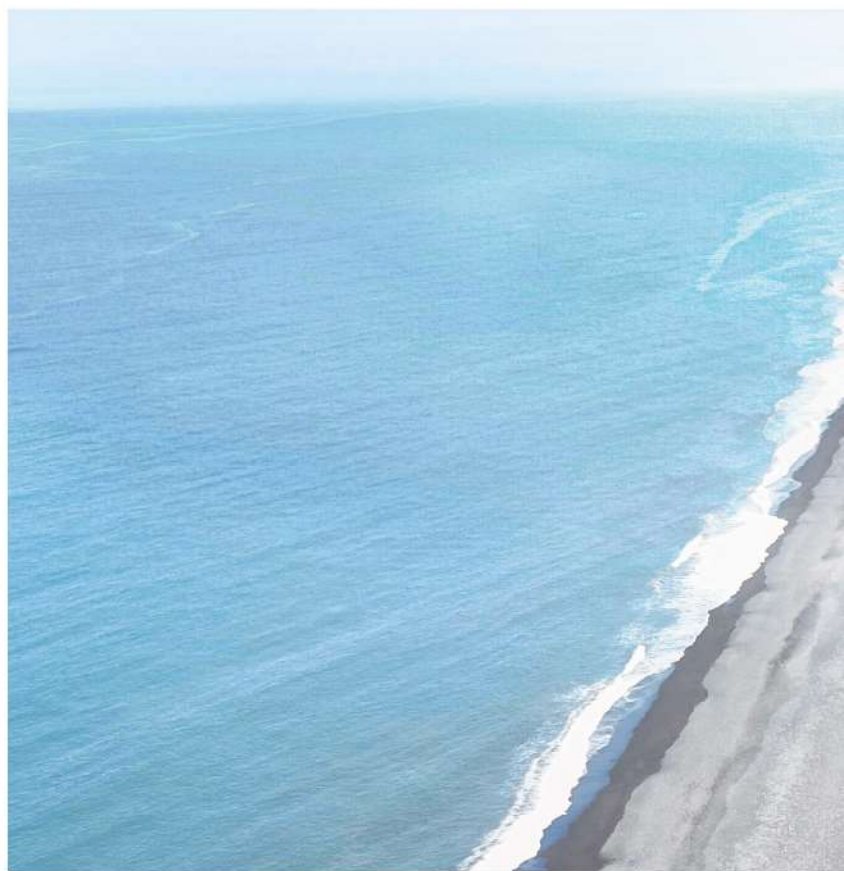
尋方設法突破難關，山海景致原色重現。

2.1 金崙-大鳥

進入金崙至大鳥路段，工程起點就位在坐擁無敵海景，有台灣最美火車站之稱的多良火車站南側。沿途經過多良段、大溪段、大竹段與加津林段，地勢由高



圖2-01 金崙-大鳥施工位置圖



照2-01 台9線好似山麓間的腰帶

處漸漸趨於平緩，太平洋的無垠海景盡收眼底，直至大鳥段地勢才逐漸攀升。台9線就好似山麓間的腰帶，一側順著坡體輪廓的弧度蜿蜒，另一側則彷彿鑲嵌在太平洋的邊緣。

金崙至大鳥段的整體工程是沿著既有的台9線向海側拓寬，路面較蜿蜒之處以新建橋梁的方式截彎取直，但這樣青山碧海的絕美環境，卻是施工時的艱難挑

戰，讓施工團隊傷透腦筋。除了在拓寬過程必須克服長浪侵襲，地形起伏變化也讓拓寬條件更顯侷限，必須步步為營，採用非常的方法使道路拓寬。

多良段及大竹段

多良段因跨越瀧溪及布拉布拉溪，而分別施作瀧橋及多良橋，兩座橋都採取兩階段施工，第一階段施築拓寬新建部分，第二階段則是將既



照2-02 截彎取直的新大島橋使道路不再崎嶇

有橋梁敲除後再新建橋梁，上構採用預力I型梁型式。大竹路段常因大雨造成落石坍方或交通中斷，工程設計以既有的大溪明隧道新設一座北上線明隧道，以確保用路人之行車安全。南、北兩端也將象徵原住民精神的太陽圖騰，以混凝土原色簡樸呈現，將在地文化自然融入山海景致，凸顯當地觀光特色。

完工後可使多良、大溪及大竹等鄉鎮間，交通



照2-03 大竹高橋土方暫置場



照2-04 金崙至大鳥拓寬路段

往來更加便捷與安全，滿足當地居民的交通、就業及求學需求，並改善橋梁老舊問題，確保颱風汛期間之行車安全。同時，藉由整合沿線旅遊景點，吸引更多遊客前來，促進區域之觀光發展進而活絡當地經濟。

大竹高橋土方暫置場

金崙至大鳥之各項工程的土石方經調配計算後，發現回填土方有缺土的情形，因此將安朔至草埔間開挖隧道所產生的土石方資源，供應各工程調配運用。在臺東縣太麻里鄉與大武鄉交界處，規劃大竹高橋土石方暫置場，做為土石方暫置以及交換利用的中繼站，以利資源物盡其用。

加津林段及大鳥段

加津林段包含：富山橋、加津林橋及新加津林橋，富山橋上構採用預力混凝土I型梁型式，保留既有橋梁，在既有橋梁旁新建拓寬部分之橋梁。加津林橋上構採用預力混凝土雙孔式箱型梁，並採場鑄逐跨工法施作，以利多個工作面施作。

新加津林橋為雙車道分離橋，於海側新建北上側新橋；上構採用預力混凝土箱型梁型式（單孔），並採懸臂工法施作，現況路面則改為南下側通行，而其餘路段則以防浪牆形式進行道路拓寬。

大鳥段原本道路有兩處連續彎道的半徑較小，因而將此段線形予以截彎取直，改為較大半徑曲線，並設置四車道的新大鳥橋，上構採用鋼箱梁型式。往南海側面臨陡坡，不適合以擋土牆方式拓寬，而採雙車道棧橋方式拓寬，棧橋段長度約500公尺，於坡面趨緩高差不大處，仍採擋土牆方式進行拓寬。

乘風追海隨坡築路



照2-05 既有多良橋海側橋拆除



照2-10 預力梁吊梁



照2-06 全套管基樁施作



照2-11 橋面板澆置



照2-07 A1橋台施作



照2-12 橋欄杆安裝



照2-08 預力梁施作



照2-13 瀝青混凝土鋪築



照2-09 帽梁施作



照2-14 加津林路段完工通車

拓寬工程完成後，用路人再也不必為落石與長浪而膽戰心驚，無論是行車的便利性與安全性都將大幅提升，沿途的壯闊海景也能盡收眼底。改善地方交通並提升民眾旅遊意願，進而促進當地的觀光發展。

2.2 為山麓繫安全腰帶

台9線南迴公路沿著海岸線興建，延線依傍著巍峨高山並與迤邐的太平洋相望。在這樣的條件下，除了巨浪沖刷公路增加崩塌危機，產生道路行駛時的隱憂之外，颱風和豪雨也容易導致邊坡的土石抵擋不住侵襲而崩落，滾滾而下的土石洪流時常阻斷道路，造成公路損壞，也危及用路人的安全。

本工程於多良段、大溪段、大竹段及加津林段臨近海岸線，在往海側拓寬道路的過程中，為了減輕海浪暴潮與大浪沖蝕對路基造成衝擊，而採取迴波半重力式擋土牆(防浪牆)的結構型式。另考量海浪對基礎之淘刷，而採用樁基礎或直接基礎配合消波塊，以減緩自然侵蝕並確保道路安全。

大鳥段所經路段之地勢較高，雖無海浪衝擊問題，但因地形陡峭，也只適合採用懸臂式擋土牆，基礎部分則依擋土牆高度，採直接基礎或樁基礎，避免採自然邊坡拓寬的填方方式處理。

擋土牆型式

此工程主要採用迴波半重力式基樁擋土牆(防浪牆)，以及懸臂式基樁擋土牆的方式施作。基於道路安全考量，施設臨時擋土支撐做為開挖時的安全保護。施工規劃時以平均約20公尺的小單元開挖，以維護道路及施工安全。

「迴波半重力式擋土牆(防浪牆)」係於擋土牆內設計鋼筋，減少混凝土用量，來增加其強度。由於工程的防浪牆設計於海側，距離海岸甚近，時常會遭受長浪侵襲，因此在牆頂以圓弧式收尾來消能，減輕長浪衝擊力量，並能有效的避免浪花濺

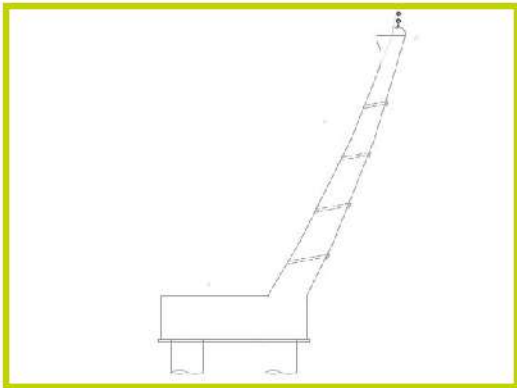


圖2-02 防浪牆示意



照2-15 大烏段擋土牆懸臂板施工

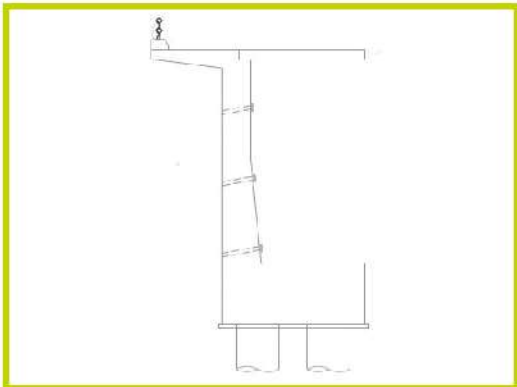


圖2-03 懸臂式基樁擋土牆示意



照2-16 防浪牆頂圓弧造型收尾處鋼筋綁紮

上路面。

「懸臂式基樁擋土牆」由牆面板和底板兩部分組成，利用懸臂梁的原理，以鋼筋混凝土抵抗側向土壓力。它主要靠牆踵懸臂以上的土，所承受的重力來維持穩定性，懸臂的拉應力則是由鋼筋來承受。由於大烏段的地勢陡峭，公路路幅受限，需避免大量開挖坡面，而本型式的擋土牆牆身幾乎呈現垂直狀態，能增加道



照2-17 防浪牆基礎模板施工

筋、模板施工並澆置混凝土，基礎施作完成後，再進行牆身及牆頂圓弧收尾之鋼筋、模板施工並澆置混凝土，最後拆模養護便大功告成。懸臂式擋土牆與防浪牆施作不同，僅於牆頂取消圓弧收尾，進行懸臂板施作。

2.2.2 擋土牆施作困難及對策

擋土牆施作的困難，不在於技術無法達成，而是在克服地形限制及天氣海象時，所面臨的種種挑戰。多良段、大溪段、大竹段及加津林段緊鄰海岸線，常有長浪來襲沖毀施工便道，衝擊尚未完成之擋土牆結構，甚至危及人員安全及機具，因此施工人員需要更加謹慎留意氣象動態與潮汐變化，依天候安排施作順序，趁天候良好時，儘速將擋土牆的基礎完成，除了避免因浪襲導致前功盡棄，也能確保施工人員與機具的安全。

路的使用面積，另於坡頂設計懸挑板，藉此增長路幅寬度。

2.2.1 擋土牆施作流程

以擋土牆來防止高邊坡的土體坍塌並加固，可讓公路免於被土石破壞並延展公路使用年限，是工程施作中重要的一環。本工程防浪牆施作流程分為基樁、基礎、牆身及牆頂上圓弧收尾。先從基樁施作，進行基礎開挖、基礎鋼

照2-18 防浪牆完工景



大鳥段因道路距離海平面有7、80公尺的高度，加上下邊波非常陡峭，使得施工腹地不足，機具及人員施作空間受限，因此在擋土牆施作前必須先構築施工便道，以利機具、人員進場施作。打設型鋼的過程，如因擾動路面造成既有的台9線產生裂縫或是下陷時，就必須立即停止作業，儘速修復路面，維護用路人的行車安全，待便道構築完成才可以進行擋土牆施工。

擋土牆能加固土坡或石坡，也能防止水土侵蝕並防止土石崩落，讓山坡地更加穩固。然而，施工過程可能造成道路沉陷，以及載運開挖土方時的交通維持等種種細節，都要時刻留意並即時應變修正。透過周詳的規劃與監測，以及嚴謹的施工流程，讓用路人可以在天然險景裡安全順暢通行，公路也得以發揮它的運輸功能，延長使用年限且不易受到天災所破壞。

2.3 光影裝飾的隧道

強風一吹，碎石滾落；長浪一打，道路便全然浸溼。落石及長浪，是大溪明隧道一帶經常發生的自然災害。因為上邊坡地質脆弱，若遭遇颱風、地震和地層自然風化，就會引發落石災害，除了造成交通中斷並損害道路，更造成行車上的隱憂，此外，東北季風引起的長浪，往往造成路面沖刷侵蝕。工程團隊為了防止邊坡坍塌，考量以上種種天然災害的影響，將既有隧道向北延長18公尺，提供2車道讓南下車輛使用，並於臨海側另新建一座單孔2車道的明隧道，提供北上車輛使用。新設明隧道與既有明隧道，均採透空式設計的梁柱系統。基礎部分考量既有消波塊不易吊離，故採用直接基礎配合消波塊之設置，另於臨海側設置深基礎擋土牆，以防止海浪掏刷，確保明隧道結構安全並延長公路的使用壽命。

照2-19 擋土牆施作緊鄰太平洋



靠近曙光卻離家最遠的那9年



照2-20 明隧道地梁組模



照2-24 明隧道頂板養護



照2-21 明隧道頂板組模



照2-25 明隧道柱鋼筋綁紮



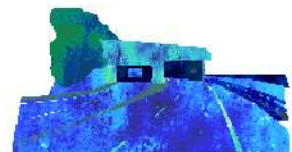
照2-22 明隧道頂板澆置



照2-26 造型模板外觀



照2-23 明隧道支撐架搭設





照2-27 明隧道拓寬完工



照2-28 明隧道完工通車實景

2.3.1 明隧道拓寬流程

明隧道拓寬從底板、地梁、柱、梁及頂板，都是依循紮筋、組模、澆注混凝土，最後拆模養治的施工流程。明隧道的主體結構完成後，工程人員便開始進行頂板側牆外觀造型的施作及頂板保護工與防水膜施作。考量該路段因地質脆弱及颱風、地震、風化的影響常有落石崩落，容易造成大溪明隧道頂板損壞，故於頂板

鋪築廢棄輪胎及細沙，來減緩落石的衝擊力，以延長隧道使用年限並確保行車安全。在明隧道的立面造型上，特別結合了東部的原鄉文化，使用具曙光意象的太陽圖騰，並利用明隧道位於東海岸視野開闊無垠的地理特性，於鄰東海岸側的外部開口與柱列設計上，營造出光影序列的景觀效果。穿梭在光影交錯的隧道中，除了欣賞海景、光影漸變之美，也能同時感受聚落的人文之美。

2.4 修直拓寬的橋梁

金崙至大鳥路段為斷崖海岸地形且多橫交水理，幾座緊鄰海岸線的橋梁，包括多良橋、瀧橋、富山橋、加津林橋、新加津林橋，以及大鳥橋和棧橋，都需要考量加強老舊橋梁的穩定及行車安全性，在防止海浪淘刷、耐震等抗災功能的需求下進行整修或拓寬。

富山橋、多良橋與瀧橋

現有雙車道排水橋中，富山橋的現況良好尚可利用，故將舊橋予以保留，並於舊橋海側新建雙車道橋梁，大幅提升行車順暢度及效率。

多良橋與瀧橋為老舊橋梁，配合拓寬工程予以全橋改建，三座橋皆採用與原有構造相同的橋梁結構，以預鑄預力I型梁型式吊裝，配合場鑄橋面板施工，並補強抗災效果，以提高使用安全性和橋梁壽命。

照2-29 富山橋通車實景

乘風追海隨坡築路



照2-30 富山橋橋墩基礎鋼筋綁架



照2-31 富山橋橋台模板組立



照2-32 富山橋帽梁支撐組立



照2-33 富山橋預鑄梁吊放



照2-34 多良海側橋完工景

加津林橋與新加津林橋

加津林橋臨近加津林溪的出海口，本工程將老舊道路改建為四車道橋梁並微調線形，橋長則配合西側鐵路加長，並增大橋梁跨徑以維持河道通暢，避免束縮加津林溪下游河道影響自然生態；將橋面抬高並將道路往海側調整，採預力混凝土雙孔箱型梁型式，以場撐施工法施作。

加津林段南端路線漸入高坡段，下邊坡為 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之陡峭地形，且原路寬僅有8.1公尺，因此採雙車道分離橋的方式予以拓寬，將原有道路修改車道標線後作為南下使用。另於海側構築雙車道分離橋供北上使用，以預力混凝土箱型梁型式，採懸臂施工法施作。

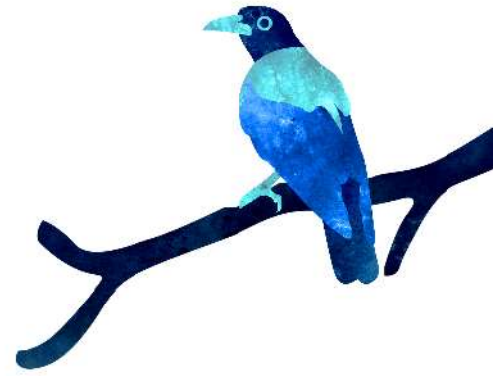
值得一提的是，興建新橋的施工作業區有數棵木麻黃，這種植物的特色是抗風、耐旱且耐鹽，適合做為海岸防風林，工程團隊便選擇保留木麻黃，以抵抗海風侵蝕。遠遠望去，木麻黃有松樹的挺拔姿態，盛開時，黃綠相間的美麗景致，成為本路段的建造特色之一。



乘風追海隨坡築路



照2-35 瀨橋完工景



照2-36 加津林橋完工實景





照2-37 新加津林橋完工實景

新大鳥橋與棧橋

大鳥段原有道路線形不佳，於高坡路段有兩處連續彎道，因此將此路段第一個彎道曲率之半徑放大為 $R=120$ ，改為以截彎取直之較大半徑曲線，並設置四車道成為新大鳥橋，以提升道路順暢性、行車效率及舒適度。橋梁上構採用鋼箱梁型式，第二個彎道曲率半徑放大為 $R=90$ ，採棧橋構造方式，橋面板採用場鑄混凝土型式，後續沿著既有台9線拓寬500公尺。



照2-38 大鳥段將兩個連續彎道截彎取直





照2-39 香蘭至大鳥段預力梁吊梁

長浪侵襲的挑戰

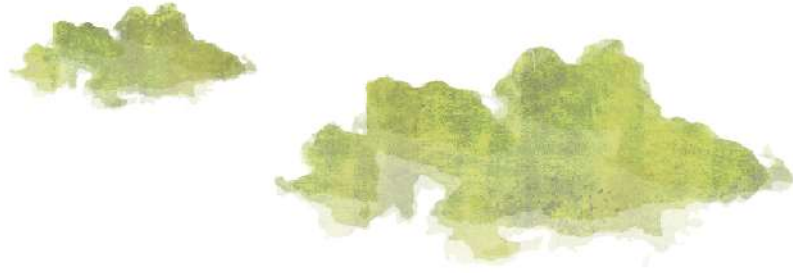
臺東幾乎是每年颱風首當其衝的地區，強勁的風浪洶湧上岸，使公路旁的邊坡土石坍塌掩蓋路面，造成路面損壞，路基也因強浪侵襲而受損，危及用路安全。然而，香蘭至大鳥路段的工程，在夏季要面對颱風來襲，冬季還必須克服因東北季風伴隨而來的長浪威脅，對施工過程無疑是一項項艱鉅的挑戰。台灣世曦香蘭至大鳥段監造經理張曜洲回想起天然災害對工程的影響時，仍對當時的畫面感到震撼。

香蘭至大鳥路段是往海側拓寬的工程，施作時相當靠近海岸線，張曜洲指出：「多良路段距離海岸線只有咫尺，也是受海浪侵襲較為嚴重的區段。」工區緊臨海岸，沒有多餘的腹地，在颱風及東北季風期間，太平洋的長浪如猛獸般突擊工區時，大型機具無法在第一時間撤離，就只能先撤離施工人員，將機具留在原地。張曜洲說：「我們所搭設好的施工便道也可能會被風浪沖毀，等到可以施工時，還要花時間重新恢復工作場域。」天然災害使得現場變得一片狼藉，

受強風揚起的海浪及海砂如洪水猛獸吞沒機具，導致無法施工，這樣的狀況反覆發生，造成工程進度延宕，也考驗著工程人員的智慧。

張曜洲心想，不能放任風浪肆虐工地延誤工程，必須盡快想出對策。透過開會討論，集思廣益決定利用既有的消波塊，移動設置為臨時防波堤，再打設突出式的銅板樁作為兩道防線，加緊完成擋土牆結構物的施作。透過這樣的趕工策略，來阻擋並減弱海浪對工地的影響，才得以克服天然災害的考驗，繼續邁向下一個挑戰。





2.5 海側棧橋築構拓寬

大鳥段棧橋區位處高坡段，高程約50至70公尺，脆弱的地質加上臨海側的下邊坡陡峭，棧橋施工的位置腹地不足，只能往山側削山進行山側坡面保護工程。正因施工各個環節要面對的問題複雜繁多，加上施工排程非常緊湊，一旦延誤就會影響到後續棧橋海側的施工，導致整體施工相當複雜。**台灣世曦香蘭至大鳥段監造工程師紀有政表示：「我們每天收工後都要召開會議，討論各個界面施工的順序，以及是否有達到既定的排程，某個工作環節遇到問題，大家會一起討論，同心克服施工上的困難。」**即使是夜半時分，工程團隊仍時刻緊盯狀況，保持待命狀態，若因降雨導致路面掏刷造成路面裂縫或下陷，就要立刻趕往現場了解狀況，並通知承包商處理，絲毫不敢大意。

棧橋搭建結構主要分為樁徑1.2公尺的全套管基樁、樁柱、縱橫梁及橋面板等作業。趕工期間，施工團隊在忙錄一整天之後，即使疲累仍滿懷責任感，晚上還要接著加班灌漿，一起將擬定的工項完成後，大家才互道再見。**紀有政微笑著說：「我雖然拖著疲憊的身軀要騎車回宿舍，但心情卻是相當快樂的。不要排斥工作環境，適應環境、離開舒適圈，才能看見不一樣的生命色彩。」**隨著工程團隊來到臺東的紀有政，平

衡工作與親情的方式，就是利用假日搭火車回到雲林探望家人，收假日的下半天到高雄陪伴女友，再搭最後一班火車回到大武。隨著工程進入下一個階段，紀有政也邁入人生的另一個階段，將交往多年的女友順利娶回家，並且成為父親。**「做工程就是要到處跑，真的很感謝妻子對我的包容和支持！若不是因為工作，我應該不會有機會居住在這裡，了解特有的原住民文化，融入當地的生活，也結交許多熱情的朋友，讓我的心胸變得更加開闊。」**這段艱辛的工程時光，對他來說，不僅是克服挑戰、達成任務的成就感，還豐富了人生的經歷。

工程團隊秉持施工安全性及效率的原則下，經由各單位的合作努力，終於排除萬難，完成大鳥段棧橋的海側拓寬工程。



照2-40 新大島橋及棧橋



照2-42 挖土機在有限的空間下開挖



照2-41 打設型鋼保護既有台9線



照2-43 棧橋基樁施作

2.5.1 棧橋拓寬流程

倚靠著既有的台9線往海側拓寬，下部結構採全套管基樁，並延伸樁柱連接縱橫梁以及橋面板型式施作。該區域地質脆弱、邊坡陡峭及腹地狹小，且需維持既有台9線的用路人安全，困難度可想而知。

因此在施作前要先打設型鋼及海側擋土型鋼，來保護既有的台9線，接著施作地錨進行擋土保護，並整地至設計高程，待基樁開挖完成後，進行墩柱的施作及澆置，並在墩柱與墩柱間設置擋土壁，再進行縱橫梁、橋面板鋼筋及模板的施工與澆置，即完成棧橋結構物。





照2-44 以棧橋方式拓寬為四線道

2.5.2 棧橋施作的困難及對策

遠眺一望無際的太平洋，側看高低起伏的山脈，令人心曠神怡，彷彿立刻進入東南亞海島的度假模式，整個心情都放鬆了起來。不過誰能料想的到，在這片迷人的風景下進行道路拓寬工程，竟是如此艱困與危險。一道道海浪湧進，濺起朵朵白花的美景，對工程團隊來說，卻如同一道道難關撲打上來，撲在身上的不是沁涼、暢快，反而有如石塊般沉重。

西濱南工處第七工務段段長高得成嚴肅的表示：「總長500公尺的大鳥棧橋段工程，是我心中最沉重的大石，我們一絲一毫都不敢鬆懈。」既有的台9線車道不足，團隊在維持台9線交通順暢的同時，還必須克服在陡峭地勢施工的難題，大鳥棧橋南向300公尺路段的臨海腹地不足，使得施工人員的作業空間受限，再往下一探，20層樓高差下便是一望無際的太平洋及洶湧的海浪環伺，一不留意，可能會跌落，瞬間被無垠的大海所吞沒。在技術與心理壓力之下，安穩並順

利的施工，實在是非常險峻的挑戰。

緊臨海岸線，又面臨地勢陡峭及腹地不足的地形限制，需要有足夠空間容納大型機具及施工人員，又必須維持既有台9線的交通流暢度，工作動線相對擁擠，施作過程顯得格外艱鉅。因此施工團隊召開多次會議，不斷的集思廣益及商討對策，最終擬定便道構築施工方式，並依棧橋施工區域，訂定各工項的施作排程，利用施工區域間的空檔，以交錯重疊的方式施作，巧妙疏通擁擠的施工場域。

「路是人走出來的。」高得成堅定的說。為確保斷崖峭壁上的施工人員和用路人的安全無虞，工程團隊在下邊坡打設型鋼及海側擋土型鋼來保護既有台9線，由於本



照2-45 棧橋與邊坡完工



照2-46 棧橋海側擋土型鋼鑽掘引孔



照2-47 棧橋橋面板混凝土澆置作業

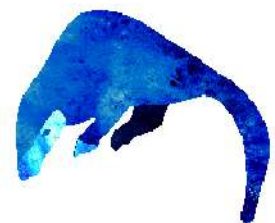
區域的地質非常堅硬，直接打設無法達到H型鋼有效深度，因此特別採用輔助工法，以氣錘或螺旋鑽杆先行將欲打設之處引孔，再打設H型鋼，最後施拉預力地錨來保護既有台9線，以確保用路人的安全。

若地勢太過陡峻，就必須於海側打設H型鋼，必要時輔以鋼索對拉及打設雙層H型鋼，防止回填土方流失，以確保施工人員安全。在趕趕情況下，同時出動6部大型鑽掘機，配合打樁機小心翼翼的施作，一個不留神機具就會滑落，影響工程進度，甚至危及人員安全，工程團隊戰戰兢兢，絲毫不敢大意。面臨艱困的地勢與極端的氣候，最辛苦的就是施工人員，為了順利推進工程進度，他們日夜不間斷的輪班施作，白天在刺眼的烈日下揮汗施工，夜晚則在月光及浪潮聲的伴隨下孤獨的築路。就這樣日復一

日，完成型鋼打設並回填土方，才得以逐步擴增小小的施工空間，開闢了臨時車輛動線，並克服種種困難，完成棧橋結構物的興建，讓工程繼續往前邁進，一步步推進目標。

高得成說：「要等到工程結束，才能真的放下心中的大石。這個路段的危險程度，以及所有人的甘苦，都不是一般人可以想像或感受的，真的很敬佩這群弟兄一路走來的勇氣。」

伴隨著徐徐海風，在這條平坦寬敞的公路上愜意行駛時，心中對這群幕後英雄充滿了無盡的感謝。



對家最長的思念！

「仔細算算，執行
香蘭至大烏段的監造

任務也快六年了。」張曜洲數算這
段時光時，流露出難以置信的神情。如
今回過頭看，六年的時光恍如昨日、轉瞬
即過，這段時間，他對家庭的滿心歉疚卻
很長，長得再一個六年也追不上。

對張曜洲來說，監督工程是對工作的負責也是
對社會的責任，秉持這樣的工作態度，他一刻
也不敢鬆懈。每一天都必須前往工地了解各方
面的工作狀況，確認設備及材料，好讓工程的
各個環節都確實相扣不出錯，以免延宕工時或
危及團隊生命財產安全。就算下了班，也不能
完全休息，電話一來便要即刻處理，經常是全
天候待命，即便是不在工地的時間，也是在開
會處理工程內容中度過。

訪談台灣世曦香蘭

至大烏段監

造經理

張

曜洲

「雖然離家工作對我們

來說是常態，但還是會掛

念父母、妻子和孩子。」張曜洲苦

笑著說。繁忙的工作使他無法時常回

家，也沒有辦法好好看顧家中事務，張曜

洲相當感謝妻子，一直以來在背後默默支

持著他，成為他最堅強信任的後盾。工程結

束之後，張曜洲最想做的就是好好陪伴家人，

帶家人來走走，看看這片大海，感受他與團隊

克服艱難，以血汗打造的榮耀成果。

靠近曙光，卻離家最遠的這六年，為台灣東部

建造了一條安全便捷的道路，張曜洲的內心對

團隊的每一位成員充滿感謝，也想給當初參與

工程的自己一點鼓勵，能有這麼一次經歷，讓

他感到與有榮焉。



Chapter 3

藏橋於林穿山達隧

蠻山野嶺幹勁沖天，乘風轉舵馳騁山林。

靠近曙光卻離家最遠的那9年



60 照0-01 安朔高架路段鳥瞰



3.1 安朔-草埔

「阿朗壹」是排灣族對安朔村的舊稱，有廣大事物逐漸縮小之意。其位於安朔溪下游沖積平原，為台灣東西部往來交通必經之地。本區朝東臨海有一寬闊的長石灘，另一面則是台灣本島為數不多的原始森林。原台9線南迴公路，於臺東縣達仁鄉安朔溪河口處，由臨海岸線往西進入山區，穿越中央山脈南端的脊梁。這段山路的海拔雖然不到2,000公尺，但順應山勢開闢，導致路段蜿蜒起伏，雙向各僅有單一車道，除了行駛時的舒適性及順暢度不佳以外，行車風險也相對提高。一旦遇到風災、地震等外力或天災，除了道路嚴重受損，其搶災維護會更為困難。因此，公路總局採用新闢「安朔高架橋」及「草埔森永隧道」，以兼顧生態和交通為目標，藉由穿山越嶺、截彎取直的方式，調整改善本路段的車行路線，致力完成安全順暢的道路。



圖0-01 安朔-草埔工程位置圖

安朔高架橋工程，北起臺東縣達仁鄉安朔村，台9線與安朔路交叉口，往南沿著安朔溪與五福谷溪交會口處，跨域安朔溪後，沿著蜿蜒的五福谷溪河谷坡地，往西南連接草埔森永隧道北口端，全長6.3公里。其沿線為蓊鬱的山谷，蘊含珍貴豐富的森林、動物資源，因此採中大跨徑高架橋的設置，力求減少橋墩數量以避免影響自然環境。由於路線延著河谷而行，必須跨越各種地形，有些橋墩座落在山坡高處、有些則在溪谷邊或兩者之間，因此橋梁的結構形式與工法，採「藏橋於林」友善環境的施工理念，順應地形及道路線型，分別採用：「場鑄逐跨工法」、「支撐先進工法」，以及「懸臂工法」等不同的工法施作。為減少落墩數量而採用單柱設計，橋墩結構則配合高度及減少自重的考量下，多採用橢圓冠軍杯造型的中空柱及實心柱，以兼顧優美外觀並具高耐震的特性。

橋梁基礎型式，則考量上構荷重、地質以及地形施工條件，在滿足基礎承載需求，並考量邊坡穩定性，以及減少對環境衝擊，維護自然生態的要求下，分別採用直接基礎、樁基礎與井式基礎。在臨河口區地形較平坦處，基礎形式則依照承載深度，和有無被河流沖刷的可能性，而選擇「直接基礎」或「樁式基礎」；在斜坡和溪谷段，則採用「井式基礎」，減少開挖面積，以及落墩所造成的環境影響。為了縮減山坡地的開發範圍，井式基礎的井口，採用竹削護基工法，顧名思義就是如同削砍竹子般，做出一個空心的環形切面，中間空心處就是井式基礎的位置。



照0-02 安朔高架橋下五福谷溪河谷

藏橋於林穿山建隧



照0-03 竹削護基工法運用在斜坡上的承載力佳且對環境友善



照0-04 行駛在安朔高架橋體驗穿山越嶺的暢快

在道路的鋪面設計上採用多孔隙瀝青混凝土，一方面能降低行車噪音，減少對山林生物的影響，再者它的排水性也很好。藉由鋪面的多孔隙將水往道路緣側的排水系統排放，減少輪胎濺起的水霧以保持行車時的視線及能見度，道路不溼滑更能確保行車安全。工程團隊秉持「藏橋於林」的理念，在群山中開闢了一條兼顧生態與交通的安朔高架橋，行經此路段時不妨打開車窗，深啜一口山間的芬芳空氣，徜徉於山林懷抱，體驗穿山越嶺的愜意暢快！



靠近曙光卻離家最遠的那9年

草埔森永隧道貫通中央山脈，銜接屏東縣獅子鄉與臺東縣達仁鄉兩地，為國內第五長的隧道。採雙孔分離、雙向兩車道的型式，以新奧工法鑽炸施工，並於隧道中間設置豎井，有利於逃生消防及運送建材設備。草埔森永隧道興建時非常困難，主要是地層剪裂



的破碎帶多、地質變化難以預測、岩體強度低、自立時間短、遇水時岩盤容易弱化、水壓及大量湧水等多重狀況，讓工程的挑戰性提高。工程團隊先以地球物理探測技術進行探查，確認安全無虞後才能開挖，施作過程採兩班制，連續24小時施工，在團隊艱辛努力、克服重重挑戰之下，終於在107年5月18日完成全線貫通。

64照0-05 採24小時全能工班施作

藏橋於林穿山建隧

有鑑於長隧道火燒車，容易引發嚴重人員傷亡，消防上特別引進最新的「縱流+點排式」抽風系統，以及水霧消防系統，能快速排除煙霧並即時降低隧道溫度及施救困難度，進而提升國內隧道安全的防護。

在環境保護方面，工程將開挖產出之土石，於同計畫的各段工程進行交換利用後，將剩餘的土石用於「大武漁港南側」附近海岸進行人工養灘，除了有保護並減緩海岸線侵蝕之效，還能維護公路安全。另一方面，還可以減少從其



照0-06 安朔高架橋橋墩基礎因應地形採不同施工工法



照0-07 安朔高架橋往山中流暢延伸

他地方運來土方的建設成本，可說是物盡其用。本工程除了執行依奉核同意之環境影響評估外，在施工期間另辦理「環境監測」、「生態調查」、「稀有原生植物保護移植」等措施；而針對山坡地施工，則於「水土保持計畫」奉核同意後執行，另引進碳足跡盤查，將相關的碳排放成果作為國內工程設計參考，有利於節能減碳的推展。

西濱南工處副處長陳保展在工程開始不久時，承接了這項艱鉅的任務，他回想當時的情景說：「前輩把230幾億這麼大的工程規劃出來後，我雖然已經把所有的圖說搞清楚、訂出未來的方向，但對於地質、天候條件、地下水位.....等很多的條件無法全盤掌握，當下還是覺得千頭萬緒。」很難想像要如何在一大片未開墾的山林間，興建長達11.1公里的高架橋及隧道，即使書面功課儘可能都做足了，但陳保展第一次到工地視察的時候，心裏還是感到非常的震撼，當時整個工區都在施工，顯得相當的凌亂。他一邊思考要如何管理這麼大的工地，面對這麼大片的山林裡要進駐很多機具材料，還要保護自然環境與原生生態，同時於工程開發與生態保育之間取得平衡等限制感到相當沉重，但想到當地的生活條件非常的不好，醫療資源更是相當欠缺，基於工程專業而來的勇氣，讓陳保展帶領著整個團隊抱著筭路藍縷，以啟山林的精神，一路披荊斬棘，勇往直前。



3.2 盤臥於林中的巨龍

安朔高架橋共分為16個單元，第1至15單元為合併段，採雙箱式預力混凝土箱型梁，第16單元為分離段；南北向橋梁的結構各自獨立，採單箱式預力混凝土箱型梁。橋梁線形宛如巨龍般，盤臥在山巒疊嶂間與草木相隨，巧妙的融入大地風情中。雙向四車道的最大坡度為4%，曲率半徑大而弧度流暢，行經於此，得以享受群山間暢快馳騁的舒適感。

西濱南工處第六工務段段長黃品嘉表示，南迴公路除了是屏東與臺東往來的民生道路外，也是一條相當美麗宜人的景觀道路，在監督工程之餘，便會到處走走，感受這片別於喧囂城市的山光水色。在這段艱辛的築路時光中，除了在工地與團隊齊力解決、一同奮鬥的點滴外，人與人之間的交流是他最難忘的回憶。

在工程進行前、中期，有時需與當地居民說明或溝通，而有接觸當地原住民的機會。過程中，黃品嘉感受到原住民樂觀、開朗的性格，無形中也感染了他們的性情，此外，當地居民取得一些山珍野味時，也會熱情邀請他們作客，共享美食鮮味，也經常介紹當地景點、風土民情，例如：參與部落活動、欣賞落日的絕佳地點、聆聽草埔國小合唱團的天籟美聲，品嚐在地金針花美食.....讓這群外地的築路人感受到濃濃的溫情，而這群築路人也以真情回報。由於當地的學校就位於南迴公路上，附近車多車速也快，讓孩子們一走出校門就容易發生危險，施工單位看到學生，不只會幫忙載送上下



照0-08 安朔高架橋完工景

學，還會協助維持學校的環境衛生，親自動手打掃。

西濱南工處副處長陳保展表示，工程施作期間也有敦親睦鄰，協助解決當地居民的生活所需。由於偏遠地區的生活用水多取自於山泉水，而隧道開挖過程使水脈產生變化，當地居民因此找不到水源，公路總局便協助建立簡易自來水廠，並且跟雙流國家森林遊樂區接洽，找到一片自然重力排出來的水源地，從水源地裝設水管，抽水到自來水廠後，再接管線分送給各個住戶，不但化解了當下的用水危機，也同時解決每年旱季來臨時，當地四個部落民生用水不足的問題。這個舉動得到當地居民相當大的迴響。築路，不僅串連起兩地的交通，也將人與人之間的情誼串聯在每一哩路中。

3.3 安朔高架橋下構工法

日光緩緩灑落，宛如巨龍般蜿蜒的安朔高架橋，在蓊鬱的森林、山谷間閃耀光芒。安朔高架橋沿著安朔溪、順著周圍群山而建，地形較為複雜且限制較多。工程團隊在高架橋下構基礎選擇上，為了不與樹爭地，以減少山林破壞、積極生態保育為原則，採「藏橋於林」為設計理念，分別在跨河段及山谷段地形，規劃出相對應的基礎施作方式，打造交通與生態兼具的高架橋，在杳無人煙的荒野中，為回鄉提供一條安全便捷的道路。

3.3.1 跨河段樁基礎

安朔高架橋利用河谷上空的開放性空間建構橋梁開路，臨河結構則盡量避免落墩於溪流行水區域，以避免影響河流行水及自然生態。因此

它的設計主要是沿著河谷邊坡落墩，不過又衍生了另一個問題：山坡地為水土保持區，邊坡開挖橋梁的基礎，如採用一般基礎結構，則需大興土木開挖坡地並構築擋土牆，以確保基礎穩定的落在斜坡上，但又與環境保護的理念相

	直接基礎	井式基礎	全套管基樁
直徑或邊長	12~20 公尺	6~15 公尺	1.5~2 公尺
地下水影響	必須配合抽水	必須配合抽水	較無影響，樁帽施工仍需配合抽水
適用地質	砂、礫石及岩層	礫石及岩層	岩盤強度較高時較不易施工，其餘地層均適用
適用地形 水文條件	平坦地形，承載層深6公尺內且施工環境許可，無沖刷之虞。	不利於大型機具施作之陡坡，承載層深度於30公尺以內或施工環境受限者適用，但需避免置於河床，抗沖刷深度較淺之處。	平坦地，承載層深度可達30公尺以上，可設置於河床抗沖刷。

表0-01 基礎型式一覽表

照0-09 全套管基樁步驟1：整地放樣並依設計圖設定基樁位置



違背，公路總局因而依照基礎座落於平地、河床、河階地或邊坡之地形，選用合適的基礎型式，基本上分為三種類型（表3-01）。

樁基礎施作流程

安朔高架橋在跨越安朔溪及五福股溪交會處，落墩於河川行水區、地勢較平坦的低谷，雖然看似比在坡地上穩定，但如果溪水暴漲，滾滾洪流的衝擊力尤為強大，會將基礎表面的覆土

冲刷流失，影響基礎承载力，因此優先考慮樁基礎設計，增加基樁對於墩柱的承载力。

安朔高架橋基樁採用全套管式鑽掘施工，鑽掘套管本身也可成為防止土層坍塌的保護措施。利用搖管器將套管轉壓入土層，之後取出套管內的土石，重覆鑽掘取土至設計深度後，吊入鋼筋籠及特密管後，透過特密管進行混凝土澆置，並同時依澆置深度逐節拔出套管，混凝土澆灌完成時套管也完全拔出，便完成樁基礎。



照0-12 全套管基樁步驟4：以超音波檢測儀器檢測基樁垂直度



照0-10 全套管基樁步驟2：將搖管機定位在預定開挖的樁位上



照0-13 全套管基樁步驟5：紀錄紙顯示孔徑、方向偏差值及深度



照0-11 全套管基樁步驟3：搖管機定位後進行鑽掘作業



照0-14 全套管基樁步驟6：取出管內土石



照0-15 全套管基樁步驟7：鋼筋籠吊放



照0-16 全套管基樁步驟8：特密管吊放



照0-17 全套管基樁步驟9：透過特密管澆置混凝土



照0-18 全套管基樁步驟10：鋼套管逐節拔出

基樁施作的困難與對策

地表下或山壁內實際是什麼樣的岩層或土質，其實無法準確預測，當全套管基樁遇到不利的地質條件，會嚴重影響工程進度，比較困難的地質狀況有兩種：

一、遇到卵礫石層

施作第一節套管時便容易產生套管偏離中心，或於澆置階段起管時，造成套管變形。此外，在掘土過程中也常因抓斗設備損傷，導致抓土量不足。

二、岩盤地層

遇到岩盤地層時，全套管要先配置衝擊錘進行

岩盤破壞，才能進入開挖作業，此過程會造成鑽掘設備損壞，需不斷更換設備而影響施工進度。

面對以上兩種地質狀況時，施工團隊會準備兩組設備，一組施工時另一組同時進行修護。在第一節套管定位前，先以挖掘機將卵礫石清除後，再回填定位施作，就可以避免影響工期及基樁位移等狀況，加上使用套管能保護孔壁，施工時也不易坍孔，在跨河段的地形下，全套管基樁可說是既安全，又能有效控管工時的好工法。

照0-19 安朔高架路段蜿蜒於山巒之間，下部結構座落溪谷河床地



名作家魯迅作品《故鄉》中經典名句「希望是本無所謂有，無所謂無的。」鼓勵身處困境者：「路是人走出來的。」不過，誰先走？眼見那片蠻山野嶺，怎麼走？

根基營造在投標安朔至草埔路段的工程前，以Google地圖規劃幾條不存在的路線，由總經理率隊前往現場勘查。「一片荒蕪，讓人感受到最原始的山林樣貌！」是施義隆對安朔至草埔路段的第一印象。黃土石礫上的新腳印，就這麼跟著導航方位，穿越了潺潺溪流和無盡的樹林，「每走幾步就覺得自己好像發現了新大陸。」他苦笑著表示，兩次勘查都用上整整兩天的時間，在地形障礙中迷途迂迴，不過，這些碰壁的探索，卻讓他們的腦海，逐漸從各個角度浮現出這條尚未存在的路線。

「最重要的是應變能力！在土木工程中，身經百戰才能隨機應變。」他回憶起安朔高架橋進行下構工程時，下游廠商嚴重低估施工成本，造成下部結構的施工進度延誤，眼看就要拖累未來上部結構施工，若紙上談兵，可依契約施壓催趕，但如果發展到更換廠商，廠商的財務不但會雪上加霜，還可能使落後的進度停滯不前！他們決定應變，以提前動用保留款支付下游廠商，並由工地保證以監督付款方式，確保廠商款項，才得以讓廠商增加人手繼續施工，避免更多的延宕，並結束一場虛驚。

崇山綠林中的新道路

訪談根基營造安朔高架橋工地

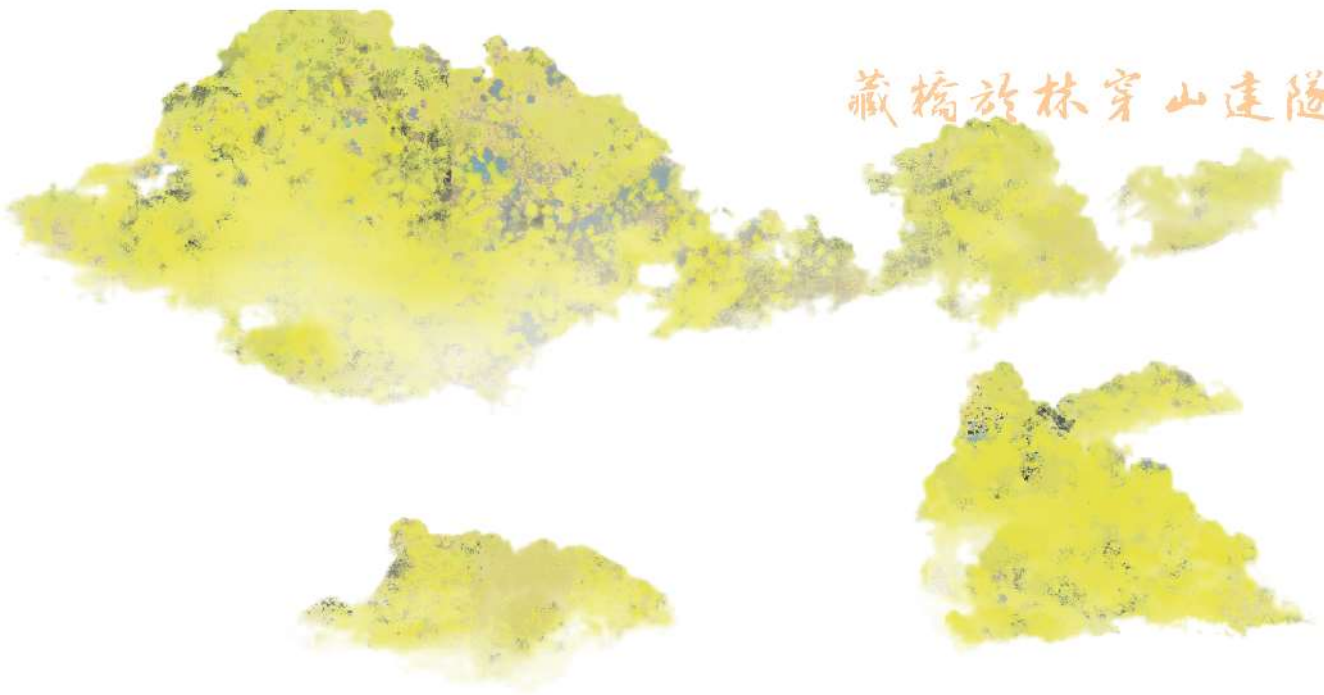
主任
施
義隆

安朔高架橋蜿蜒於溪谷、山林間，當地地質複雜脆弱，斜坡又陡峭，如果採用傳統工法，除了施工困難外，還會破壞當地自然環境。因此，將位於斜坡的基礎工程改以竹削工法，一來不需要大型機具，二來還可以大

幅降低對環境的干擾，一舉解決時間、人力、機具、破壞等問題。此外，在當地易碎的地質條件下，每一個井基深度都不同，不僅要確保橋墩穩固，也必須考量湧水或塌陷的問題，調整井基開挖深度。在部分高橋墩、中大跨徑橋梁段，也以模組化的預組鋼筋籠施工，讓每昇層減省幾個工作天來縮短工期，也等同減少人員在高空曝險的時間，甚至在工期緊迫的尖峰期，啟用24部懸臂工作車同時推動，這些都是團隊根據現場需求所做的應變。

施義隆初到臺東時對一切感到陌生，期間蒙受邱慶蘭、高秋玉、張小雲等當地代表的照顧，談起印象最深的工作夥伴，「郭原榮！」施義隆立刻說出這個名字，並笑著說：「郭原榮是我們在當地招募的原住民副主任工程師，他的個性就如同大家對原住民朋友的印象一般，熱情、大方、好相處。」所幸有這位同仁從旁協助，讓他們的工作順利許多，留下了難忘的回憶。

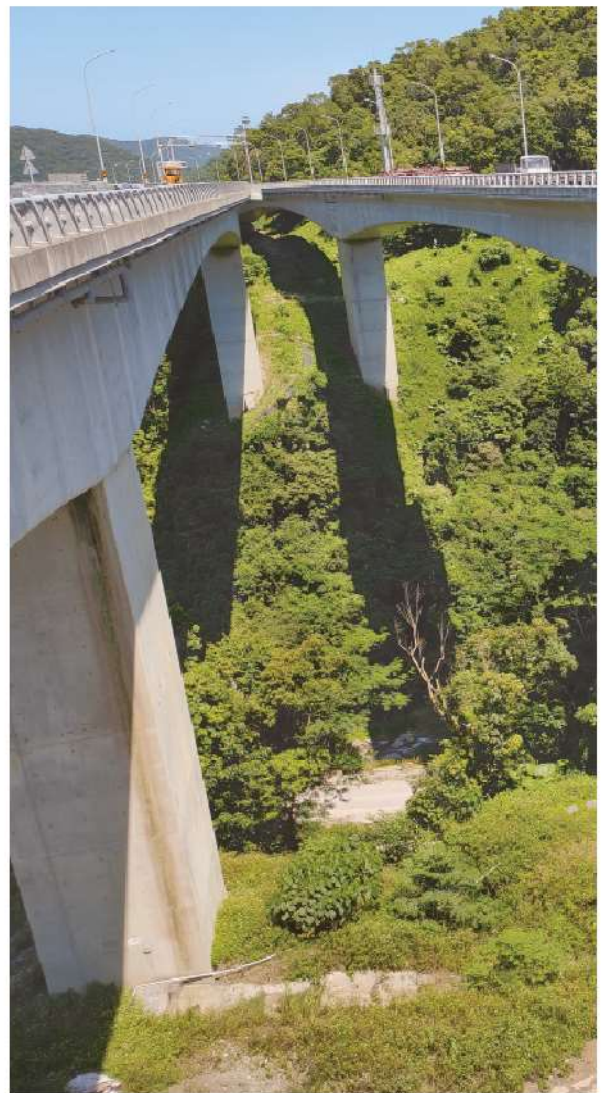
「希望是本無所謂有，無所謂無的。這正如地上的路，其實地上本沒有路，走的人多了，也便成了路。」探勘時的零星腳布，如今建了一條原本沒有的路，讓更多人得以向前邁進。



3.3.2 山谷段井式基礎與竹削工法

清風徐徐，日光灑落，行駛在順暢穩定的道路上，感受迎面而來自然的氣息。層巒疊嶂的山脈蒼鬱蒼翠，對用路人而言，彷彿是一場視覺的美之饗宴。安朔高架橋的建設路線會經過中央山脈原始林地，將橋梁提高到一定的高度，避開山谷間起伏多變的地形，徹底改善了舊台9線南迴路段遇山則繞、遇谷也得繞的遷就，行車安全的舒適度及順暢度也因此提升。不過高架橋的橋墩，還是得座落在低處的安朔溪畔，而安朔溪流域的地形起伏大，施工難度及挑戰相當艱鉅。

傳統落墩於邊坡上的橋梁，在構築基礎時，通常要先使用噴凝土或格梁將邊坡固定，再以鋼板樁或預壘樁等擋土方式，進行基礎施工使其穩固。其缺點在於坡面的工作面積較大，會大舉破壞山坡地，影響自然生態而且人力和費用都比較高，更何況本區山勢多變陡峭，超過 45° 、 60° 的坡面比比皆是，採用傳統工法實非上策。經衡量山坡斜度、地質條件、地下水位高度、基本基礎承载力需求等因素，就施工性、安全性、經濟性及縮短工期等評估規劃，並將避免坡地滑動、保護環境景觀，減少開挖面積等等，列入山谷段



照0-20 竹削工法施作之井式基礎，解決開挖距離太近的問題。



照0-21 座落於斜坡之基礎採用竹削工法

照0-22 低谷仰望高架橋



橋梁基礎設計原則，最終選擇採用竹削護基工法搭配井式基礎施作，雙管齊下以達到橋墩基礎開挖最小化並減少落墩對自然生態的衝擊。

竹削工法

「竹削」顧名思義，有如一個快刀斜砍的竹子，砍削之後的圓形切面厚度，就是混凝土圓環的位置，空心的竹子底下就是垂直下伸的井式基礎，猶如一座橋墩，座落於一截被砍削的巨型竹子裡，直直的插入土中。簡單的說，就是在斜坡上先剷除一個三角的體積，建造一個斜面的垂直管體，並逐步往管體下挖出井式基礎，不需要大量開挖也無需建置擋土牆，還能節省噴凝土的使用量，與開挖邊坡的人力及機械成本，不僅工期縮短，環保減碳，還能把對環境的衝擊確實的降到最小。「竹削工法」的名稱來自與竹子斜切斷面相似的外型，與傳統式邊坡保護相比，具有五項優勢：

1. 竹削工法不需要施作擋土牆與樁的支撐架。
2. 沒有重大物件需要運送，施工的機具比較小而輕便。
3. 開挖面小且地錨、岩栓的數量也少，容易施工。
4. 圓圈形狀的擋土措施，可以承受較大的土壓。
5. 坡地不會產生破壞景觀的人工坡。

因此橋墩基礎座落於坡地高差大的地形，相當適合使用竹削工法。竹削護基工法的主要結構物由上環形梁、岩栓錨筋、噴凝土壁體、斜向補強筋、鋼筋、底座環形梁所組成，詳細施作流程如下：

1. **先進行基地整理及岩栓施作：**整理竹削作業區的雜草、樹木及土壤，並施作岩栓鞏固土壤。
2. **施作上環形梁結構體：**依上環形梁位置進行岩栓鑽設、鋼筋綁紮及模版組立，再進行噴凝土施作上環形梁結構體。
3. **第一次向下開挖及岩栓施作：**沿上環形梁內側垂直向下開挖並施噴凝土穩定，再施作自鑽式岩栓。
4. **施作竹削結構壁體：**於垂直開挖面鋪設鋼線網後，再施噴厚噴凝土完成竹削壁體。
5. **逐階開挖：**至井筒開挖面，重複開挖、噴凝土、施作岩栓、鋪設鋼線網等步驟至井筒開挖面。
6. **施築底座環形梁：**竹削壁體完成至井筒開挖面後，進行底部整理，沿著井筒基礎外緣組立底座環形梁鋼筋，並澆置混凝土完成底座環形梁結構體，竹削護基結構體完成。



照0-23 竹削護基工法可以保護墩柱基礎



照0-24 上環形梁鋼筋綁紮組立



照0-25 竹削第二階段開挖與噴凝土作業

有人，才有可能

自在而安全的馳騁於山林之間，愜意地享受自然的懷抱，這樣的體會是由一群幕後英雄一點一滴所成就而成的。安朔至草埔路段的工程中，因包含安朔高架橋及草埔森永隧道兩大艱鉅工程，工程執行經費約有134億元，佔了整個西濱南工處約49%的經費，可說是業務繁重的工務段。其中有5個重要的工程標案，執行金額約119億元，更是佔了工務段大部分的業務量，讓每位同仁都肩負吃重的工作。

在重重挑戰與困難之下，工程團隊必須在地勢陡峭之地搭建橋梁、開挖山地、鑿通隧道，克服湧水、抽坍等問題，最終完成通車使命。以開鑿隧道為例，工程人員除了必須克服高溫昏暗的工作環境所帶來的不舒適感，更要隨時繃緊神經，加強注意施工當下的每分每秒，一有疏忽，不僅影響工程進度，甚至危及生命安全。宛如瀑布般的湧水從岩層中以千軍萬馬之勢傾瀉而下，出水量最多一分鐘竟然可以高達27公噸，瞬間就能掩蓋所有的機具，摧毀積累

訪談西濱南工處第六工務

段 段長

黃

品嘉

至今的工程進度，更別說是寶貴的性命。這個任務，說是以命拚搏也不為過。然而，機具建材、工程進度再怎麼重要，也比不上工程人員的安全。當抽坍、湧水一來，最重要的就是迅速撤離，維護人員安全，只有人員安全，工程才有完成的可能。

隧道標、橋梁標、建築標、機電標以及交控標工程之間環環相扣，這5標工程都必須順利的完工，才能構成通車的條件。在此共識之下，工程人員培養出戰友般的合作默契，彼此互相效力、成為精神上的支持，因此在黃品嘉心中每位同仁都是不可或缺的一員「**如果沒有那群好戰友，工務段無法順利完成這些艱難的任務。**」黃品嘉微笑著說。

再先進的工法、再困難的狀況、再嚴謹的進度，都需要眾多工程人員執行、解決和共同合作達成，有了他們的種種付出，工程才有了可能，得以圓滿竣工。

藏橋於林穿山建隧



照0-26 上環形梁底部噴凝土



照0-28 上環形梁打設岩栓及灌漿



照0-27 上環形梁牆身噴凝土



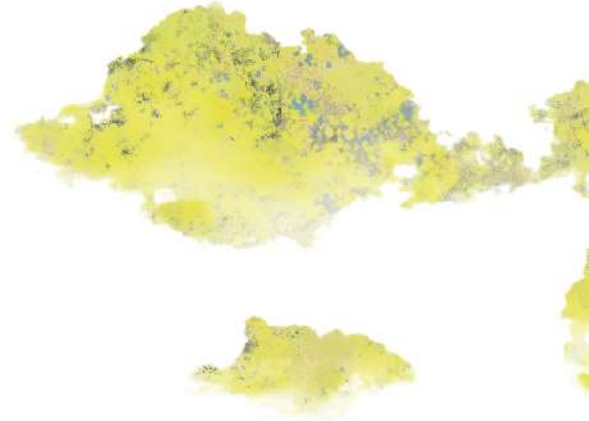
照0-29 垂直向下開挖



照0-30 施築底座環形梁



照0-31 完成底座環形梁結構，準備井基輪道開挖



竹削護基工法的困難及對策

竹削護基工法面對的第一個難題，就是在陡峭不平的斜坡上，要做另一個也是斜的切面，這個切面又必須是平整的。由於視覺的不平衡，極容易造成身體協調上的失衡，因此施工人員在施工前的測量、定位、放樣等工作都具危險性，攀爬斜坡的安全保護措施必須嚴格執行，絕不能掉以輕心。此外，邊坡角度大，就容易因為大雨沖刷而位移。施作過程中，工程人員會持續監測邊坡的穩定性，並增加自鑽式岩栓的打設數量，以及縮短岩栓間距，來達到增加邊坡岩盤的支撐力，解決竹削工法施作時，面對邊坡位移的困難。民國105年夏，颱風所挾帶的豪雨和土石流，造成P67N和P67S的邊坡滑動。颱風過後立刻進行修復，並蒐集相關觀測數據，分析其穩固性進而採取因應措施。經確認雖有山坡滑動情形，但未影響下部井式基礎，遂於邊坡施作臨時水保措施後繼續施工。

雖然竹削護基工法可以減少橋墩基礎的邊坡開挖範圍，避免開挖引發坡地滑動。不過仍需要對山坡的斜度、高度、地質，以及是否曾經發生坍塌等變數進行事先評估。若坡地的安全係數符合標準，坡面的植生狀況良好且抓地面積大，上下邊坡都未發生崩塌或沖蝕位移，就可以採用竹削護基工法，來維持地形樣貌，降低邊坡崩塌的可能性。除此之外，也具有縮短施工期程以及節省工程經費與維護成本低等多重效益，充分展現綠色內涵，成為目前最具生態保育的友善環境工法。

井式基礎

為了降低對環境之衝擊，並將對生態的影響減少到最低，安朔高架橋位於山坡地落墩之基礎形式，經分析評估後，決定採用開挖面積較小且不須大型機具的井式基礎做為下部結構，可降低邊坡擾動範圍，維持既有邊坡穩定。由於開挖範圍縮小，可使施工對周遭環境景觀生態之衝擊降至最低。井式基礎的開挖面積較群樁基礎和直接基礎小，施工上輔以竹削護基達成有效而穩定的支撐力，以降低對臨近坡地之破壞，維護自然生態環境。

井式基礎是在開挖期間，藉由鋼襯板、襯砌、支堡及噴凝土等措施保持井壁的穩定，再於開挖完成的井中，施築基礎結構的工法，因採用小型機具施工、基礎面積小、開挖容易及工法可順應地形等特點，是施工空間侷限的工程所常選擇的基礎型式。



藏橋於林穿山建隧



照0-32 井基環梁鋼筋組立



照0-33 井基環梁混凝土澆置



照0-34 安朔溪流域彩色石礫

靠近曙光卻離家最遠的那9年



照0-35 井基開挖並架設支堡及鋼線網



照0-36 噴凝土進行壁面保護



照0-38 井基板鋼筋組立作業



照0-39 井基板混凝土澆置



照0-41 井基頂板墩柱鋼筋綁架



照0-42 井基準備封頂及澆置混凝土作業



照0-37 井基混凝土封底



照0-40 井基中空土石方回填



照0-43 井基完成回填復舊

井式基礎的施作流程

井式基礎開挖工法，就好比從地表向下逐步挖掘一口井，井就是基礎的範圍，最終以鋼筋混凝土逐層填滿，成為一個實心的巨型混凝土圓桶，做為橋墩的基礎。

井式基礎的施工流程為：先為地表洞口施作保護措施，依設計的深度逐步向下開挖，每挖1至1.5公尺的單位深度，就要進行開挖壁面的保護，將坑內的壁體，以混凝土進行強化，或設置必要的支撐保護措施，如：鋼襯板、掛網、噴凝土、岩柱、鋼支保等，才不會邊挖邊塌，越挖越大。重覆前述深度單位(工程上稱為一輪進)，開挖向下直到目標深度，再從底部向上，依序逐層綁鋼筋並澆置混凝土至基礎目標尺寸，實際步驟如下：

1. 施工整地及測量。
2. 井基環梁鋼筋模板組立，在竹削護基的底環梁處施作1.2公尺高的井口護欄，避免人員及物料墜落。
3. 以每輪進為1至1.5公尺開挖，開挖至輪進深度後，以鋼線網、噴凝土、鋼支保等作業進行壁面穩定及保護，若地質狀況不佳，可再以自鑽式岩柱或前進鋼管增加支撐力。
4. 重覆步驟3直到開挖達預定高程後，即可組立井式基礎的底板鋼筋與澆置作業，依序完成壁體結構昇層施作。
5. 開挖到達預定高程後，可進行井式基礎底板鋼筋



組立、澆置作業，依序完成壁體結構昇層施作。

6. 進行中空土石方回填。
7. 完成井基頂板墩柱鋼筋綁紮及混凝土澆置作業。
8. 井基完成回填復舊即可。

採用井式基礎並配合竹削工法，兩者皆符合生態工程，可有效達到迴避、減輕及增益之三大原則，降低工程對生態環境的衝擊，符合友善環境之理念。

湧水抽坍的震撼教育

河床第一層由粗顆粒組成，飽含水分，稱為「含水層」；再往下是由黏土組成的阻水層，而伏流水就是在阻水層之上，與河水相通的含水層。旱季時，儘管地表水乾涸了，依然會有水在河床底下流動，這就是「伏流水」。

由於橋墩位置鄰近五福谷溪沿岸，伏流水增加，水文狀況變化大，導致井式基礎開挖施工過程屢屢遭遇地下水湧水問題。汨汨水流，像

噴湧而出的洪水猛獸，瞬間就將已挖好數公尺的井基淹沒。因此，處理基礎開挖地下水湧水問題，成為工程首要面對的挑戰，然而，擁有使命必達，以完成工程為目標的施工團隊，在不斷集思廣益下想出「透水環梁工法」，讓地下水湧水問題得以迎刃而解，並藉由安朔高架橋墩柱編號P14的井式基礎湧水抽坍事件來說明：

安朔高架橋為了藏橋於林，規劃沿著五福谷溪搭建，因此當五福谷溪的地下水位高漲時，工程的地下水位也隨之高漲。103年10月，P14井式基礎以輪進長度1公尺為單位正式開挖，起初的開挖過程還算順



照0-44 井內湧水快速淹至深達1層樓的高度



照0-45 井基內再次發生大量湧水情形

利，但開挖至第10輪進時，壁體的湧水量急速增大，當下只能立即將施工人員撤離。在很短的時間內，井裡的積水高度就已經達到3公尺，相當於一層樓這麼高。工程團隊為了安全，經緊急會議討論之後，研判可能是結構位置接近溪流，加上降雨使得地下水水位的高度超出預期，因此決定暫緩P14基礎的開挖作業，並於做好保護措施後封閉該施工區，等過了每年5月至11月的汛期雨季再行處理。

工程團隊於汛期過後，持續觀測鄰近五福谷溪及井內的水位變化，至104年2月，五福谷的溪水與井內積水都已經下降，10公尺深的井內積水標示水位在地下9公尺處，顯示地下水位已降



照0-46 井基內部發生土石抽坍的現象

到僅剩下1公尺，便繼續進行P14的開挖作業。有了前車之鑑，工程團隊縮減開挖輪進為1/2輪進(0.5公尺)的方式，來縮短壁體保護施作間隔，儘速封閉地下水滲入，謹慎地推進，然而卻在第14.5輪(約14.5公尺)時再次發生大量湧水情形，同時井內壁體出現坍孔現象！

工程團隊經過密集討論後，決定採取「背填灌漿」的方式，先以混凝土將壁體底部四周封閉，並以水泥漿在井基壁體外側進行壓力灌漿，以固結開挖面周邊土壤，藉此改善坍孔現象。補救工程完工後，恢復為輪進長度1公尺的方式前進開挖，此時已是104年5月，開挖持續推進至第18輪進(約18公尺)，又在開挖面邊緣遇



照0-47 井基外側出現地面坍塌



照0-48 井基外側出現地面坍塌

到巨大的石塊，不僅如此，開挖面也再度發生坍塌現象，並引發井基外鄰溪側的地面發生掏空，而將開挖作業再次中止，並針對周邊掏空區域立即採取土方回填，避免引發更大問題。

104年6月的會議決議，將井內先回填0.2公尺以穩定開挖面，並以水泥及水玻璃混合再加強背填灌漿，進行地質改良後，湧水量及抽坍狀況已減少，後續再恢復採1/2輪進的方式開挖，並且增加支撐鋼管、自鑽式岩柱以加固開挖面解決抽坍問題，直到完成開挖作業。由於當時只能不斷的抽水，即使井基周圍的土壤都開始下陷了，但那時所有的學者專家勘查後，都建議繼續抽水並往下開挖，直到挖到18.5公尺深時，井內大量湧水的現象依然沒有絲毫改善，每分鐘的湧水量卻已經高達13.5噸，影響後續的鋼筋、模板組立、混凝土澆置等作業，工程團隊勢必得想出一個辦法，否則湧水將嚴重影響到混凝土的品質，最終導致用路人的人身安全受威脅，這是以最高品質為標準的公路總局，絕對無法允許與容忍的！

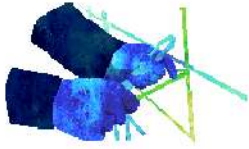
根據以往工程經驗所採用過的止水工法都用盡了，還是無法克服井內大量湧水。**西濱南工處副處長陳保展**回想當時的狀況時表示：「橋梁段井基在施作的時候，因為地質太過破碎，讓鑽掘過程非常困難，很多學者專家前來勘查，都搖頭表示沒有辦法克服，甚至開始讓我動搖自己到底有沒有能力解決。」

當時這座直徑14公尺的井基裡，放了3台150匹馬力、3台30匹馬力，以及其他抽水機，井

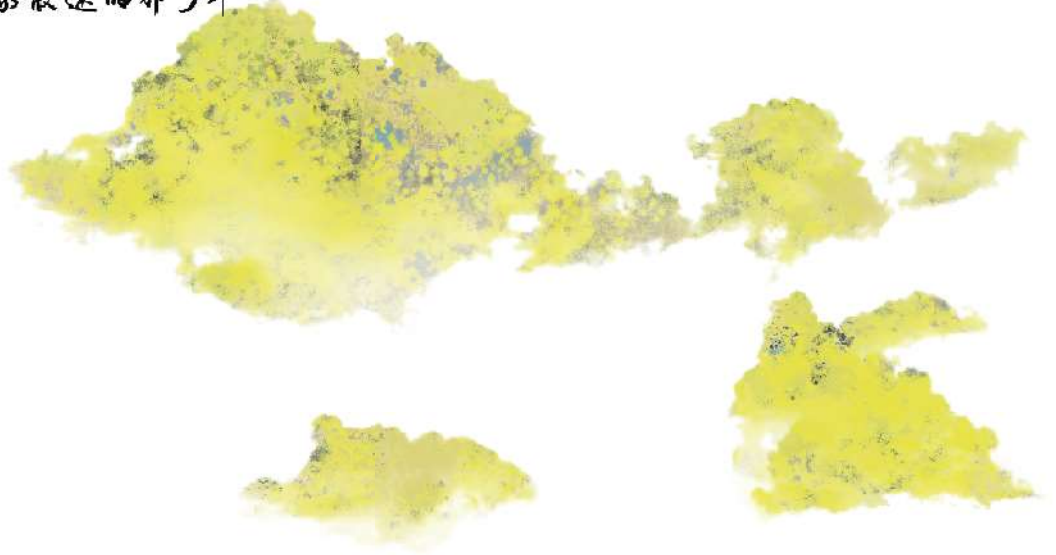
基裡幾乎已沒有多餘的空間，而同時啟動10幾台抽水機不斷的抽水也還是抽不乾，陳保展依照他多年的工程經驗判斷，井基已經深達18.5公尺，目前狀況若無法繼續開挖，但它的承载力是足夠的話，那井基就開挖至18.5公尺深就好。**當陳保展有這個想法後立刻請世曦進行縝密的計算，「他們也非常有行動力，隔天早上就告訴我，18.5公尺深可以通過承载力的要求，所以我立刻裁示不再繼續往下施作，並且用CLSM (Controlled-Low-Strength-Materials, 控制性低強度回填材料) 回填周圍下陷的區域。」**根基營造事後表示，如果當時沒有做這個決定，繼續向下開挖那1.5公尺，不但技術上很難做到外，公司和公路總局也要各自多花一千多萬才有可能達成。經驗的累積與專業的判斷，讓陳保展當時能做出勇敢的決定，讓工程順利的完成之外，也為公家與廠商省下約兩千萬的工程經費。

當時P12到P14這一區在施作時，是地下水位最高的時候，陳保展決定在18.5公尺深的地方，再往下挖50公分並且放置透水管。當地下水湧上來時會先流進透水管，再在透水管上開個口，不斷用抽水馬達把水抽出去，同時開始施作基礎的混凝土，最後再將透水管用混凝土蓋掉，等到井基封底，水進不來就可以繼續興建橋墩，而這種對抗井內大量湧水的應對方案就是「透水環梁工法」。





照0-49 井式基礎施工完成



透水環梁工法

井基內湧水的現象，發生在基礎結構施工過程，除了會影響鋼筋模板的組立作業，在混凝土澆置過程，也會因湧水滲入而降低混凝土強度，並引發混凝土粒料分離，形成結構內不規則滲水線，並造成夾層冷縫及孔洞。若在澆置過程中使用抽水設備，又將導致水泥被抽離，不論選擇哪種方式，都會嚴重影響混凝土的品質；若設置臨時集水井或以特密管澆置，在基礎版時尚可採用，但後續敲除劣質混凝土的過程極為費時費工，當地下水位線上升，在壁體施工時出現壁面滲水，也無法採用前述澆置方案；若增設排水管導水，模板需配合開孔，但因工程採用系統模板，因此當每次出水位置不同時便難以配合。經過多重比較，最終決定在井內設置透水環溝，並於壁面設置導水板，應該是降低地下水對施工影響，最為可行的方案。

透水環梁施作流程

「透水環梁」是在井基底板開挖完成面周邊，向下加挖一個集水環溝，並填入級配及覆蓋不織布，形成一條導水盲溝，引導地下水流入該導溝後，再於導溝內將水抽離，藉此維持施工作業面為無水狀況，以利工程進行，詳細施作流程如下：

1. 透環溝放樣後，於井基底板開挖面周邊，下挖一條深50公分、寬100公分的導溝，再架設鋼支堡及噴凝土，完成環形導溝外的

照0-50 井基透水環梁尺寸測量







照0-51 模板組立以4公尺為一個昇層

3.3.3 高墩柱施工

安朔至草埔一帶緊鄰陡峭山坡，加上地形變化大，施工團隊得以作業施工的空間有限，因而選擇興築高架橋，搭配高性能混凝土的方式向上創造空間，高墩柱工法是為了解決環境地形限制應運而生的工法。

在完成墩柱主筋綁紮後，架上4公尺的模組，接著澆置混凝土，每次往上升層4公尺，之後再度組模澆置，直到指定高度完成。工程團隊在挑戰高墩柱施工技術的同時，也力求在工程安全上作出更周延的選擇，採用預組式柱筋、高性能混凝土搭配中空柱的創新設計，除了能減少墩柱自重與水泥的用量，使橋墩更輕盈及環保減碳，也能增加施工安全性。

預組縮短工時

安朔高架橋採用預組墩柱鋼筋籠的方式，預先將鋼筋籠、全數箍筋及繫筋於加工廠製作完成，相較於傳統施工流程，平均一個昇層可以縮減兩天的工時，有助工程進度的推展效率。

提昇施工安全性

根基營造安朔高架橋工地主任施義隆表示，安朔高架橋的墩柱總共有72支，多採高墩柱工法施作，最高的墩柱約有21層樓高(65公尺)，超過35公尺的高墩柱有13支，還有最高達57.8公尺的空心墩柱，如果連同底下30幾公尺的基礎深度都算進去的話，整體高度有30幾層樓高。

墩柱大多座落於山腰上，光是上下工地，就必須耗費不少力氣及時間，高聳的施工環境對工程人員的心理及技術是一大挑戰，就算是一般人爬30層樓都非常累了，更何況這些工人還要扛著沉重的鋼筋。層層爬升的施工環境風險也極高，山谷的強風威脅著工程人員的安全，動線不足也讓工程面臨高度的挑戰，施工時必須步步為營，包括人員站立的位置、吊器材的角度等都需格外小心，一不留意，就有可能造成後悔莫及的工安意外，所以更需周全的安全防護措施及計畫。因此，除了事前的安全教育訓練，也預先模擬潛在危害因素，並擬定處理對策，以提高施作的安全性，公

施工項目/天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
施工架組立及樣架吊放	■	■																
主筋續接			■	■	■													
4公尺施工架及繫筋						■	■											
模板組立								■	■									
混凝土澆置										■								
養護											■							
4公尺施工架及繫筋												■	■					
模板組立														■	■			
混凝土澆置																■		
養護																	■	
上下設備組立																		■

表0-02 傳統施工方式採18天為一周期，平均1昇層需9天。反橘色項目為傳統式與預組式之差異

施工項目/天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
施工架組立及樣架吊放	■	■												
主筋續接			■	■	■									
模板組立						■	■							
混凝土澆置								■						
養護									■					
模板組立										■	■			
混凝土澆置												■		
養護													■	
上下設備組立														■

90表0-03 預組式施工採14天為一周期，平均1昇層需7天。

潛在危害因素	處理對策
<p>工程人員位於墩柱的昇層高度施工，有可能因施工失慎、安全措施不良等因素，導致人員墜落傷亡。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工作場所設置護欄、安全網、警告標誌，使用合格的上下設備，護籠爬梯及防墜器等。 2. 裝設安全欄杆母索，且工程人員必須穿戴背負式安全帶。
<p>工程人員在墩柱昇層高度施工，可能因施工不慎，導致手上的工具或配件從施工平台掉落。</p>	<p>在施工平台設置15公分寬的踢腳板，以防止物體飛落。</p>
<p>在墩柱與井基頂板組立鋼筋時，鋼筋樣架高度約有12公尺高，如果遇到重心移位或側向力作用，在沒有斜向支撐的情況下，會有傾倒的疑慮。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加樣架承载力：將基礎底部厚度提高20公分，並放置點焊鋼絲網增加承载力，以預防鋼筋過重導致基礎下陷，造成鋼筋傾倒。 2. 加強固定鋼索：將鋼索固定於井基環梁壁體上，並採用預埋或化學植筋，可避免彎鉤鋼筋變形。

表0-04 高墩柱工法勞工安全困難與對策

路總局也不斷與施工單位討論改進，讓施工過程儘可能模組化。

望著雄偉高聳墩柱的同時，想像著施工人員在高空墩柱上步步為營，盛夏辛勤揮汗施作、冬日忍受刻骨寒風的畫面，敬佩之情不禁油然而生。





3.4 安朔高架橋上構工法

為克服地形限制並兼顧生態與交通，安朔高架橋全線採大跨徑的設計可減少水中落墩，以降低開挖對環境的破壞，高架橋型式則能克服在險峻山谷中施工的阻礙。安朔高架橋的上部結構，施作時採用最多的是「懸臂工法」，多應用於下方無法設置支撐之跨河道，其次為「支撐先進工法」，其餘地面較為平坦之處則採用「場鑄逐跨工法」。





照0-52 施工中的安朔高架橋上部結構 93

山不轉路轉，境不轉心轉

台9線南迴

公路安朔

到草埔段，途經蜿蜒溪谷、蒼鬱山林，為了降低工程對自然生態的影響，規劃以穿山越水搭配截彎取直的方式，來調整改善此路段的車行路線，打造交通與環境兼具的高架橋，然而，施工過程卻困難重重。

由於施工路線延著河谷而行，沿途跨越各種地形，有些橋墩座落在山坡高處、有些則在溪谷邊或兩者之間，為考量邊坡穩定性及降低對環境的干擾，而採用井式基礎沿著山壁邊坡落墩。沈仕傑憶起P67井基開挖至20公尺時，偵測到環梁出現滑動情形，為了改善狀況，工程人員立即以施打岩栓及控管施作順序等方式，才得以順利完成。在斜坡上施作時，若坡度在45°以下會比較容易克服，然而P67的雙孔井基卻是60°至65°以上之陡坡，工程人員即使克服了高空作業的心理挑戰，然而坡度過陡實在難以抵達，如今回想起施工過程的種種艱難，沈仕傑仍然感到印象深刻。

由於橋梁落墩位置多須橫跨溪流，施工鋼便橋時常需穿溪越谷，沿山勢盤旋才能抵達落墩處，而便橋搭建完成後，還必須視實際狀況做很多的調整，例如：要通往構台的便橋為6公尺寬，到了轉角就會變成12公尺的構台，又轉角

訪談台灣世曦安朔至

草埔隧道段

監造副理

沈仕傑

處構台

多為髮夾

彎，必須改為18公尺寬否則施工車輛無法迴轉。此外，由於施工地點位於山崖，施工便橋時常必須配合地形繞很遠再繞回來，就像P45的位置太高，所以便道必須先前往P47，再往回興建至P45，就像古人說「山不轉，路轉」的真實景況，難怪沈仕傑強調「便橋和構台的選線與設置，都在考驗工程人員的智慧」。

興建過程除了必須克服環境限制、調整施工計畫並突破施工障礙以外，控管進度及維持團隊順暢運作也非常重要。由於地處偏遠人力難求，在有限的資源下，不能因為哪個工程支付的工資高，工班就先進行哪個工項，例如：柱頭梁若沒完成，工作車就沒辦法安裝，進而影響懸臂的作業，管理者必須確實掌握整體狀況，站在宏觀的角度協調解決工班的工作順序，讓安朔高架橋的施作、興建建築物、隧道開挖等同時在進行的工程能依序順利推展。

即使再周全嚴謹的工程計畫，也一定會面臨意料之外的困難及挑戰，對於沈仕傑而言「山不轉，路轉；境不轉，心轉」，全力以赴，以達使命，便是他與工程團隊堅持不懈的信念與目標。



照0-53 懸臂工法向橋墩兩側以左右對稱的方式推進施作節塊

3.4.1 懸臂工法

懸臂工法是在已完成的橋梁結構上，利用錨碇系統固定鋼構桁架工作車及懸吊式模板系統，並配置施工過程需要的預力，將高架作業逐節循環推進。懸臂工法在節塊橋面上作業，除了工作車以外，無須架設任何支撐，對於交通繁忙的市區，或是深山河谷、環境脆弱、空間不足等無法於地面架設支撐的地區相當適用。其具有施工不受地形限制、減少橋梁墩柱、現場支撐使用數量及降低對周遭環境干擾的優點。懸臂工法就像害怕壓死草木動物的溫柔巨人們，站著展開雙臂彼此搭在一起，成為一條連結點與點之間的橋梁。

懸臂工法的優點

安朔高架橋沿線經過陡峭之山坡地，屬於水土保持區且多為低度開發的原始林地，是生物棲息的環境敏感區。為了減少開挖對山坡地之破壞及保護動、植物棲息地，採最大跨境達150公尺的設計以減少落墩數量，降低對環境的影響。而大跨徑橋梁又以「懸臂工法預力箱型梁橋」的造價較為經濟，國內的施工技術也成熟。此外，混凝土結構橋梁的耐久及耐候性佳，後續維護管理上也會比較簡便。



照0-54 懸臂工法：柱頭節塊支撐架組立



照0-55 懸臂工法：柱頭節塊底腹板外模組立

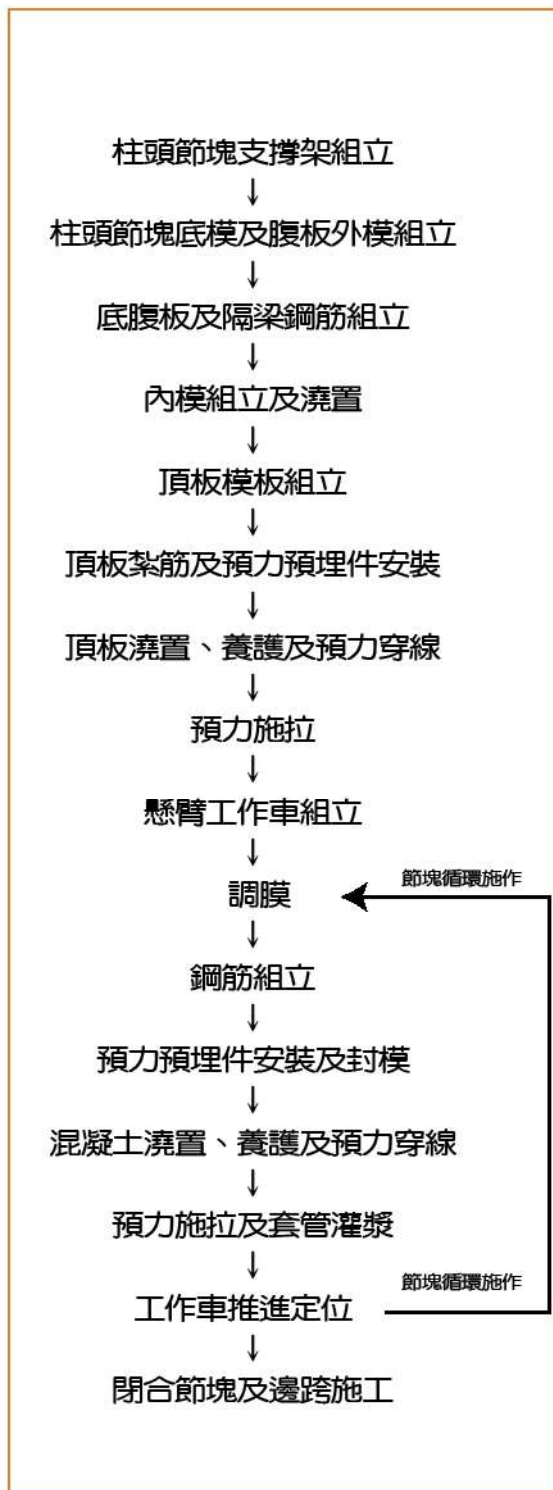


表0-05 懸臂工法的施工流程



藏橋於林穿山建隧



照0-56 懸臂工法：柱頭節塊底腹板鋼筋組立



照0-58 懸臂工法：柱頭節塊頂板鋼筋組立及預埋件安裝



照0-59 懸臂工法：柱頭節塊頂板澆置及養護



照0-57 懸臂工法：柱頭節塊底腹板澆置



照0-60 懸臂工法：預力套管安裝⁹⁷



照0-61 懸臂工法：柱頭節塊預力施拉

懸臂工法的困難

懸臂工法在施作柱頭節塊及邊跨節塊時，較常採用場撐或托架式支撐系統，安朔高架橋採高橋墩的設計，使用場稱支撐架的細長比和量體會過大，故於設計時就規畫使用托架式支撐系統。並配合縮短橋面邊跨節塊的長度；考量拆除托架系統時，人員須於高處作業暴險，為降低風險，而將邊跨節塊修正為工作車直接施作。



照0-62 懸臂工法：懸臂工作車組立



照0-63 懸臂工法：懸臂節塊澆置



照0-64 懸臂工法：閉合節塊及邊跨節塊澆置





3.4.2 支撐先進工法

在施工完成的兩座橋柱之間，架設活動式的支撐鋼架以及系統模板，並於該跨模板的上方，配置鋼筋及預力鋼腱，於混凝土澆置、養護並施以預力之後，再將整跨支撐鋼架以及模板推移至下一跨，重複前一跨步驟逐漸推進，直到全部完成為止。簡而言之，是把做好的節塊留在原地，模組向前推進的工法。

支撐先進工法的優點

支撐先進工作車可以預先於工廠內製造生產，縮短實際在工地施工的時間，因而節省工程經費並縮短工期。再者，已完成面可作為機具、材料與人員之運輸通道，降低對地面之衝擊與污染。此外，支撐先進工法因機械化、自動化程度高，易於掌控工程進度與品質，施工時可選擇較少車流的時段，且施工過程可間歇性停工及施工，較不會影響原有道路之交通路況。因此，不論在景觀性、環保性、施工性、經濟性、安全性及時程掌握上都優於傳統工法。



照0-65 支撐先進工法：托架、支撐架搭設



照0-66 支撐先進工法：大梁組立、吊裝



照0-67 支撐先進工法：外模調整及支承處底模組立完成

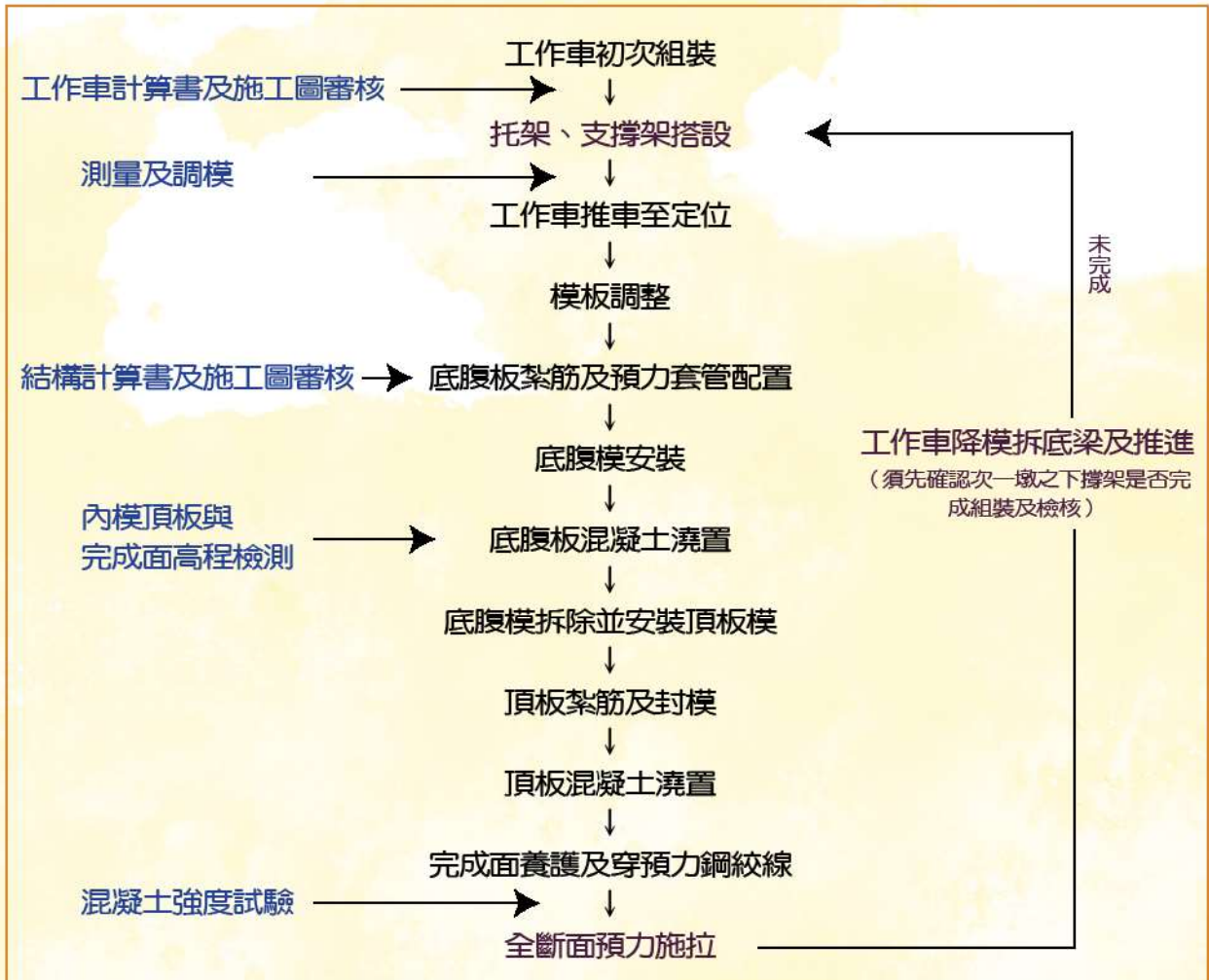
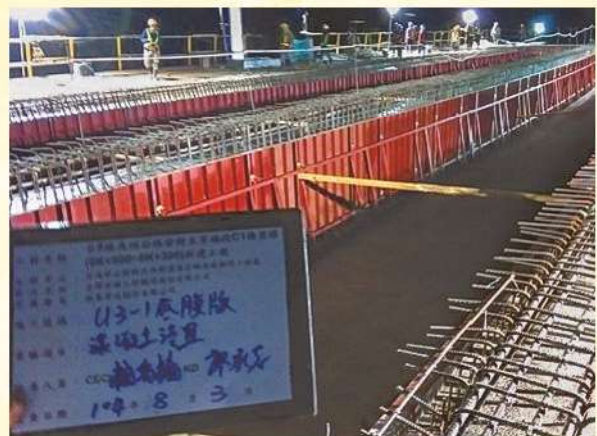


表0-06 支撐先進工法的施工流程



照0-68 支撐先進工法：底腹板紮筋、組模完成



照0-69 支撐先進工法：底腹板澆置完成



照0-70 支撐先進工法：頂板鋼筋綁紮



照0-73 支撐先進工法：主梁下降脫模



照0-71 支撐先進工法：頂板混凝土澆置



照0-74 支撐先進工法：鋼架推進定位結合後，循環施作至橋面



照0-72 支撐先進工法：預力施拉、套管灌漿

支撐先進的小麻煩

對自然環境以最小面積開發，以減少對環境干擾為設計原則，支撐先進工法便是此原則下的不二首選。但因工作車托架斷面較大，偶遇托架抵觸山壁的情形，這時就必須將山壁抵觸的部位打除，略以修坡維護以後，才能繼續工作車的推進作業。



照0-75 完成場撐逐跨是最普遍的橋梁工法

3.4.3 場鑄逐跨工法

「場鑄逐跨工法」又名「就地支撐工法」或「場撐」，是混凝土橋梁最早開始使用，也是最普遍的傳統工法。由於不需要使用特殊之機械設備，也無複雜之施工技術，必要時還可同時開展多個工作面，適合在地面平坦，可穩定架設支撐的地方施作。而安朔高架橋起點的腹地大，墩柱高度相對較低，因而採用工法純熟、較為經濟且施工又方便的場鑄逐跨工法施作。





照0-76 安朔高架橋路面鋪築多孔隙瀝青

傳統的場鑄逐跨工法施作流程

在橋墩完成後，於橋墩之間先組立支撐架，接著組立底腹板的模板，綁紮鋼筋、預力套管配置穿線之後，組立內腹模板，接著澆置底腹板的混凝土，拆除內腹模板後，再組立頂部模板、綁紮鋼筋、澆置頂板混凝土並養護混凝土，接著針對全斷面施拉預力，推進下一跨進循環施作直至竣工。由於工程團隊對於場鑄逐跨工法的施作流程非常純熟，設計時也已將可預測的

藏橋於林穿山建隧

困難全數考量進去，因此在實際施作時，並未遭遇任何施工上的困難。

公路總局以保護自然生態資源為首要考量，打

造兼具「交通」與「生態」的安朔高架橋，在興建上部結構時，採用了「懸臂工法」、「支撐先進工法」以及「場鑄逐跨工法」，其中「懸臂工法」與「支撐先進工法」為自動化工



照0-77 安朔高架橋路面工程



照0-78 安朔高架橋路面鋪築完成

法，節省了人力支出之外，也讓整體的構築效率提升不少，同時也達到節能減碳的成效。在上構完成後，安朔高架橋路面以多孔隙瀝青鋪築，其排水性佳，可避免鋪面形成水膜，而大幅降低水霧飛濺以及避免行車打滑現象，進而提高行車安全性；多孔隙瀝青鋪面也能減輕山林中行車的噪音，讓用路人盡情感受自然的天籟之音，公路總局在追逐進步開發的同時，也兼顧與大自然之間的共榮共存。

3.5 草埔森永隧道

草埔森永隧道位於安朔高架橋末端，西南起屏東縣獅子鄉草埔村，東北至臺東縣達仁鄉，貫通中央山脈，銜接屏東縣與臺東縣兩地之交通。若不是有隧道開挖經驗的人，很難想像如何在半山腰興建一座隧道。互助營造草埔森永隧道工地主任鄭敬伶依然記得，第一次來勘查路線時，衛星定位在山谷中斷了訊號，完全派不上用場，一行人就只能憑出發前對定位地圖的印象，繼續沿著溪水前行，車子一路往山裡開不到10分鐘，就沒有路可以繼續通行，大家只好下車改以步行的方式繼續探路，直到再也無法再往前了，大家便抬頭望向遠遠的山腰處，用手指著說：「北洞口應該

就是那裡了。」若要到達實際位置，得從山谷裡溯溪而上約兩公里，再向上爬2、30層樓高(60-80公尺)才能抵達，而南洞口的下方是50公尺深，約17層樓高的溪谷，要在陡峭的山壁上開鑿洞口，根本無立足之處。一般開挖工班習慣偏遠的工作，距離再遠、位置再高，位置再偏僻都難不倒這群人，他們習慣與山林為伍，日以繼夜的默默耕耘，但開挖結束後，偏遠地區的工班招募、材料供應等都將會是陸續要面對的大問題，站在路的盡頭，看著

草埔



遠方的山壁，想著這些即將面對的挑戰，鄭敬伶深深吸了口氣。

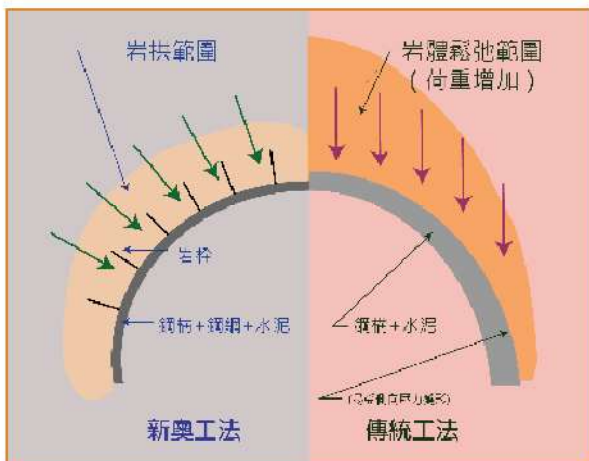
草埔森永隧道全長約4.6公里，是全台第5長的隧道，亦是國內首座跨越兩大板塊的隧道。車道為雙孔單向設計，採用新奧工法鑽炸式開挖，是現今山岳隧道常用的工法，除了對周圍岩體擾動較低，施工方式彈性且具整體之經濟性之外，還可以縮短工期並強化隧道結構。為提升用路安全，隧道設計時特別導入世界先進國家最新的防災與綠能理念，提升運輸服務的同時也兼顧了永續發展。

3.5.1. 新奧工法

「轟轟！碰！」震耳欲聾的聲響從隧道裡傳出，土塵瀰漫阻礙了視線，每一步都須格外小心謹慎。每一次開挖，炸藥轟隆，落石崩塌，煙塵喧囂，都讓人感到驚心動魄！

工程團隊以新奧工法 (New Austrian Tunnel Method, NATM) 開挖草埔森永隧道，利用岩石本身有自持能力的特性，所形成的岩體拱效應並容許適量之變形，配合使用鋼支保、噴凝土以及岩柱等半剛性支撐，使開挖周圍的岩體因為應力重新分配而達到新的平衡狀態，持續將監測數據回饋給設計與施工。在開挖隧道的過程中，除了使用適當的工法，施工團隊對於地質判斷的能力與控制爆破的技術相當重要。

草埔森永隧道位於東部變質岩區域，含板岩、硬頁岩夾帶砂岩，地質構造複雜且破碎。隧道開挖時，最擔憂的便是施工人員的安全，而新奧工法對於周圍岩體擾動較少，且強調「配合開挖面之地質狀況及監測成果，彈性調整施工」，故適用於這樣的地質。相較於傳統工法，新奧工法可以善加運用岩石本身的壓力和重量，來解決岩體鬆弛、隧道變形的問題，發揮最佳的支撐平衡，形成施工人員及隧道結構安全性的雙重保障。



豎井

豎井是由地面挖掘至隧道預定位置及深度的垂直工作井，長隧道工程中具有舉足輕重的功能。隧道開挖過程中，人員可以藉由豎井進、換氣、運送人力、吊掛機具等建材設備，方便工程進行。此外，草埔森永隧道在開挖過程出現嚴重的湧水，位於隧道中段的豎井成為重要的抽水與排水口，若是發生火災，亦可導入最新防災科技，快速排除煙霧及降低隧道溫度，可以說是隧道工程的關鍵通道，兼具消防、通



圖0-04 豎井位置

風、逃生等實用功能。

豎井施作流程

草埔森永隧道的豎井距離北口2.6公里，距南口2公里，約略位於隧道中段。草埔森永隧道的豎井採用沉降工法施作，由豎井頂部逐階往下開挖，並架設支撐確保岩壁穩定性，避免坍塌。挖至設計的豎井底部之後，藉由橫坑及連絡通道的連通，在南下線及北上線隧道往南口及北口的方向增闢4處工作面，以提昇整體工程進度及效率，再由豎井底部往上施作防水層及豎井襯砌，完成整體豎井的施作。

在暗無天日的隧道中，豎井對工程人員來說便是唯一的天光，彷彿一盞明燈引領團隊穩定的推進工程，完工後豎井便成為營運階段的通風排煙管道，不論在哪一個階段，豎井都扮演著不可或缺的靈魂角色。

藏橋於林穿山建隧



照0-79 草埔森永隧道的豎井內徑9公尺，深達112公尺



照0-80 豎井井口開挖



照0-81 豎井橫坑頂拱鋼筋綁紮



照0-82 豎井坑底集水井模板組立



照0-83 豎井鋼樓梯組裝作業

圖0-06 碳查成果與隧道發生異常狀況比對。(資料來源模糊。x-axis=distance; y-axis=elevation)

隧道內震波探測

(Tunnel Seismic Prediction-TSP)

隧道內震波探測是在隧道開挖前埋設適量的炸藥，對隧道前進方向以及其周邊岩盤，以炸藥震波回傳的反射訊號得知岩盤強度，進而判斷地質弱帶及變化特性，經風險評估後做為隧道開挖參考，說是團隊開挖前的偵測兵，一點都不為過。前置作業約5至9小時，探測工作僅約2到3小時即可完成，可以說是方便、快速又有果效的探測系統，本工程在施工程以此法，至少進行了19次以上的探測作業。

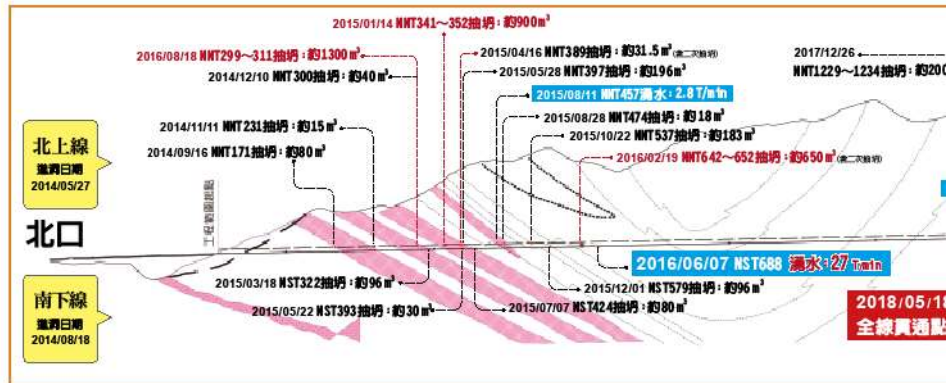
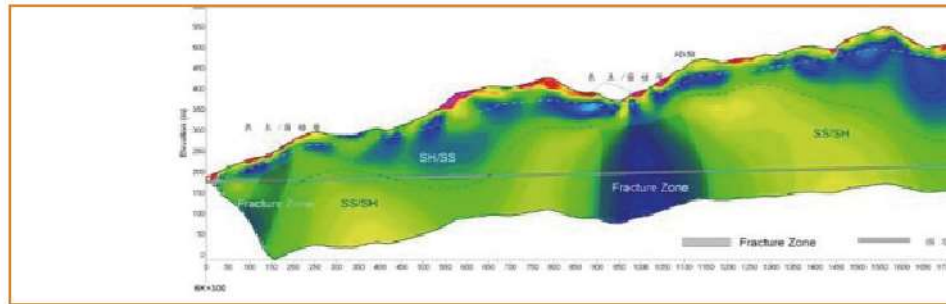
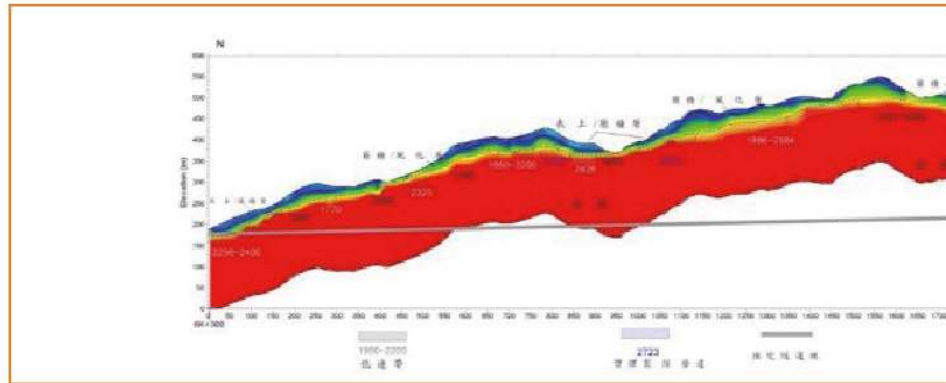
施測震源採用高爆速炸藥，並搭配瞬發電氣雷管；施測使用之炸藥量可視地質狀況做適當調整，搭配高感度受波器以接收開挖面

前方所傳回之反射訊號，在震測資料清晰度及岩體強度成果之研判標準中，可具備完整、均一、優良之評估基礎。在現場預備作業完整的情況下，對於現場施工的影響很小，不阻礙施工進度。3日內即可得知隧道受測位置之震波探測成果報告，對於評估隧道岩體強度變化及測定岩體彈性模數特性，具有便捷、有效、完整之參考。

地電阻影像剖面探測

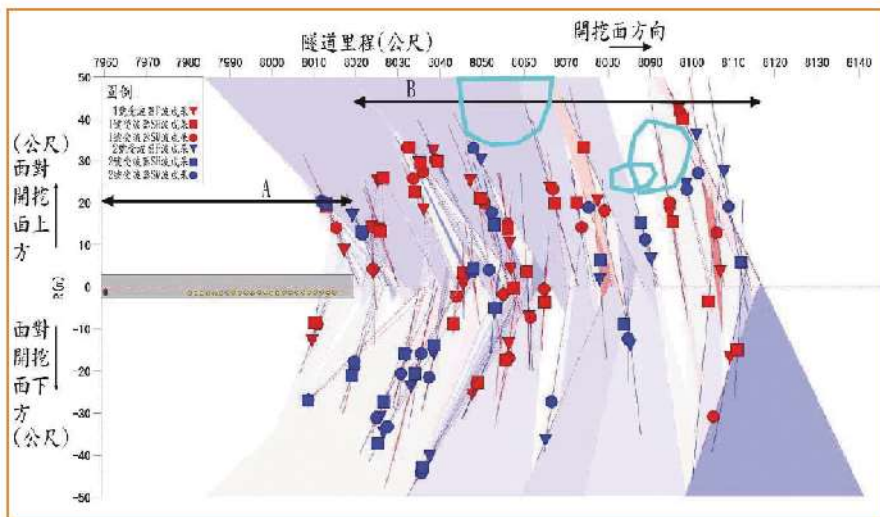
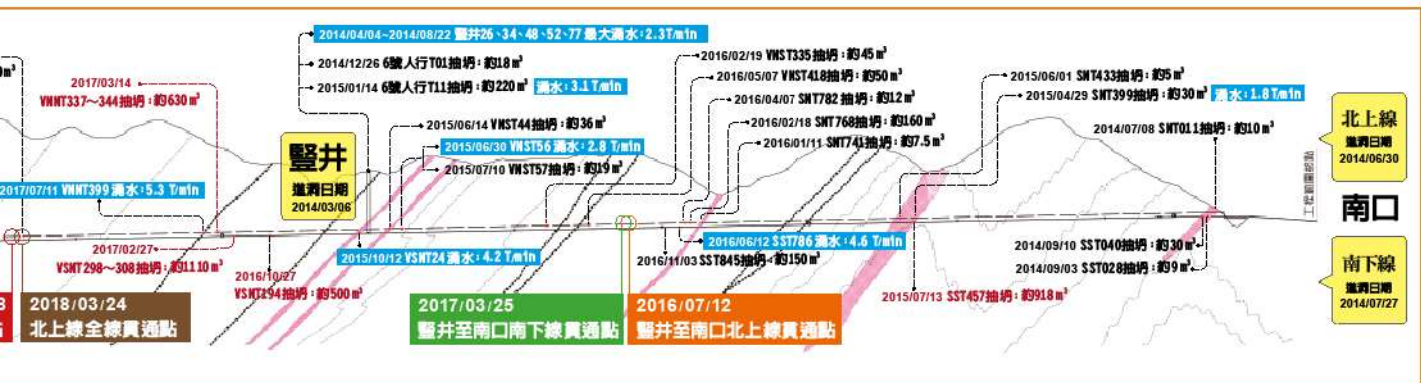
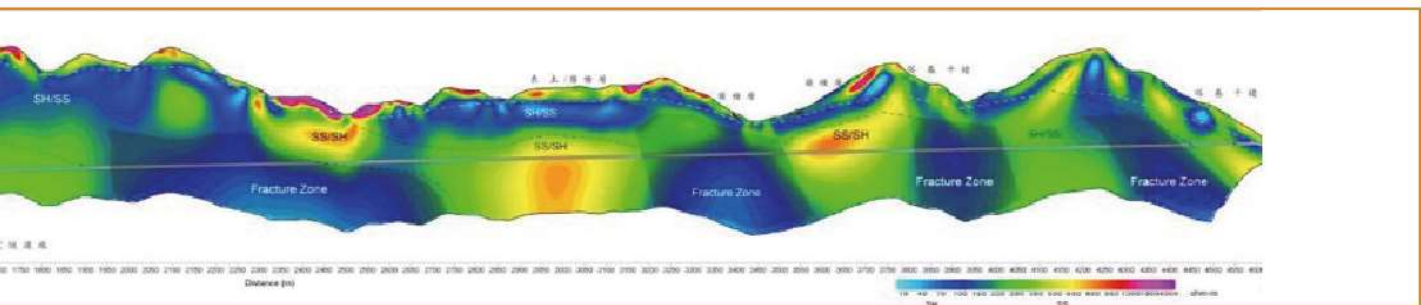
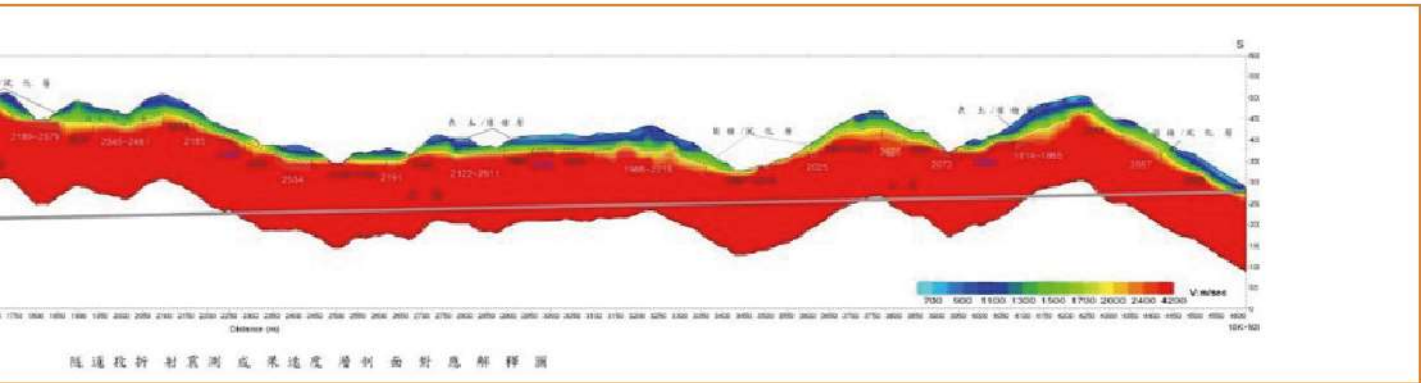
(Electrical Resistivity Image Profiling-RIP)

地層中複雜的岩石、水脈構造會造成電性差異，尤其是水對於導電率相當敏感，地電阻影像剖面探測便是將電極插入地表後，藉由計算視電阻係數，推估地層含水情形及地下水分布概況，此系統適合探測含水及地層問題，對於評估隧道施工的影響範圍相當有幫助。



藏橋於林穿山建隧

上：草埔森永隧道內震波探測能高的區域。中：草埔森永隧道地電阻影像剖面探測圖，深藍色為滲湧水潛勢能高的區域。下：抽坍位置。



照0-84 地質採樣特寫

圖0-05 TSP 震波探測成果圖

靠近曙光卻離家最遠的那9年



照0-85 地電阻影像施測：電探與資料集錄



照0-88 地電阻影像施測：資料集錄



照0-86 地電阻影像施測：測線佈設



照0-89 地電阻影像施測：資料集錄2



112照0-87 地電阻影像施測：測線佈設



照0-90 地電阻影像施測：測線佈設



圖0-07 光達拼接圖

探勘

對於隧道工程來說，地質狀況及地下水分布是影響開挖順利的主要因素，因此在深不可測的隧道中，開挖前、中期的探勘作業扮演了極為重要的角色，提前偵察各種資訊，作為後續擬定施工計畫之參考。透過事先掌握地質構造思考對策，降低工程進行中的困難並確保人員安全，採用地球物理探測技術，更可以提高調查精確度。

折射震測法

折射震測法是利用爆材擊地並於地表下產生人造震波，震波在大地傳播時，因地下岩層彈性及密度的變化，造成震波傳遞速度有快慢之別，而於物理性變化界面處產生折射現象。

地層的電阻率與地層組成礦物、顆粒度大小、組織以及地層之含水量皆與鹽度有關。其中又以地層的顆粒度大小、含水量及水的鹽度關係較重要。因此可用地層的電阻率來研判地層的岩性、含水量及含鹽度，或探測地層內的異常構造，以利施工計畫的擬定。

運用LiDAR進行3D岩體監測

傳統斷面計測只能藉由收斂儀及伸縮儀得到單點之2D變形。本工程引進LiDar技術進行長距離3D全斷面測量，所得之3D點雲資料可用於施工收方及圍岩變位監控。

「棄械逃亡」與「雞婆條款」

訪談西濱南工

處副處
長
陳
保
展

地處偏遠、交通不便及物資缺乏，工程三不五時遇到瓶頸，上有不測風雲，下有湧水危機，前方還有步步進逼的進度期限，這裡的晨曦哪裡是寧靜的？比較像一只反覆倒數計時的鬧鐘，每一天從清晨就開始疲勞轟炸！直到精疲力竭的隔日清晨，無止境的再來一次！如果工程人員只看眼前的景象和身處的條件，頂上再有豔陽高照，內心也必定是愁雲慘霧，心志全無。

時任西濱南工處副處長的陳保展，前往工地時有很大機率是去解決困難，工程中有困難的地方，通常也意味著是比較危險的場域，家人總是擔心他的安全。一抵達工地現場，果然有排山倒海的大小問題夾道歡迎，不過，他在聆聽狀況、分析問題之前，總是和大家先閒話家常兩句，了解團隊的心理素質，並於用餐或休息時間了解個別狀況，以人優先、不分你我。問題棘手，對每個人而言都是麻煩；陳保展的家人擔心他的安危，所有工程人員的家人必然也擔心前線的狀況。曾經有一位外籍勞工因工作時發生意外，導致雙腳被迫截肢，陳保展前去探望時，看著外籍勞工失去雙腳躺在床上無法自理，需要同鄉在一旁照顧，他一手拿著保險理賠金，一邊痛哭著說他以後要怎麼生活？「我看到他離家這麼遠來賺錢養家，卻為了別的國家的建設而變成殘廢，真的非常難過，當下忍不住就掉下眼淚，因此我非常看重勞工安全

這一塊，不分誰是誰，不再讓意外發生！」陳保展沉重的說。

「棄械逃亡」和「雞婆條款」不久便成為勞安規定外的新主張。「棄械逃亡」適用於施工過程發生崩塌或危險，隧道內的機具即便價值不斐，也不可因挽救設備而失去保護自己的時機，人員絕對不可以受到任何傷害。「雞婆條款」則是要求工地每個人都是勞安人員，看到有危險就要彼此提醒，極有可能因為你的一句提醒、一個動作而挽救了一條生命，甚至是一個家庭。如果在高架路段發生墜落的不幸，還能找得到，但如果在隧道內遭掩埋是找不到屍體的，即使團隊肩負通車使命，工程進度極為重要，但在陳保展心中，規定是死的，「人」永遠是最重要的，要落實就要讓所有人都認同你的理念。抽坍發生的時候人要跑都很困難，更何況還發生了7、80次，每次一發生抽坍，陳保展第一個想到的一定是「人有沒有怎麼樣？」這條4.6公里長的隧道現在已經通車，「曾經有機具被埋過，卻沒有任何人員喪命，這是我相當慶幸的。」陳保展自豪的說。回憶起那段艱辛的時光，一路走來困難、挑戰不斷，因為有團隊的並肩作戰，才迎來令人讚嘆佩服的成果，不可諱言，「以人為本」帶來的強大凝聚力和向心力，正是任務成功的關鍵。

科技為後盾的山頂洞人

「地質」是隧道規劃時重要的考量因素，也是施工過程最大的風險因子，因此在隧道及大地工程中，地質師佔有極為崇隆之地位。草埔森永隧道工程為求謹慎，更進一步對地質師訂下「三專」的要求，也就是「專業」：具有地質、大地技術的專業認定，例如：應用地質技師，以及「專職」：在開挖評估期間，需專職進行隧道岩體分類與開挖支撐類型評估作業，不得兼任品管、安衛及施工主辦工程師等其他職務，而「專任」則是在這個專案職務上，不得兼任像是蘇花改等其他專案之地質師。

劉振維在職涯的25年間，負責監造的隧道累計長度達13公里，相當於雪山隧道的長度，即使擁有如此豐富的經驗，還被同儕戲稱為「山頂洞人(caveman)」，劉振維仍然嚴肅的表示，規畫設計階段透過野外踏勘、鑽探及室內地工試驗所取得的資料，大概只能提供整體隧道20%的資訊，差異處理對策就只能憑藉地質師的經驗與專業判斷，成熟冷靜的應變。但面對極破碎脆弱地盤，且有可能抽坍的開挖面，「就算

訪談台灣世曦安
朔至草埔隧
道段地
質師
劉
振維

已經用最
高的設計規
格進行支撐補強，還是會眼睜睜的
看著岩塊在你眼皮下崩落，雖然隧道
工程的不確定性很高，參與的人都能接受
可能會發生抽坍、湧水狀況，但如果處理
過程重覆致災，地質師的專業就會遭到質
疑。」劉振維無奈的表示。隧道於103年至
105年發生近40次大小規模不一之抽坍、擠壓裂
縫等異常狀況後，透過3D掃描技術導入，配合
具體變位警示及預先支撐補強措施，已大幅抑
制抽坍災害發生，僅於106年至108年每年各發
生一次，搭配嚴格的安衛計畫與專業訓練，讓
草埔森永隧道在施作過程都沒有人員損傷，實
在是不幸中之大幸。

從事隧道工作就像演出驚悚的特技片卻沒有替
身演員一般，過程高潮迭起且充滿驚嘆，卻從
不知道劇本的下一頁會上演什麼樣的劇情。劉
振維半開玩笑的說：「能做路工就別做橋梁，
能做橋工則勿碰隧道，如果有後進想從事隧道
工程，一定要保有堅定的心志，才能在不見天
日的隧道中預見光明。」

導入3D數值分析技術

主隧道擴大段之開挖，鄰近6號人行連絡道與橫坑交叉段開挖，屬三度空間與二次擾動之開挖行為，因而委託顧問公司針對本區段進行3D數值分析，以掌握隧道圍岩收斂行為及支撐系統之穩定性，確保施工過程安全無虞。

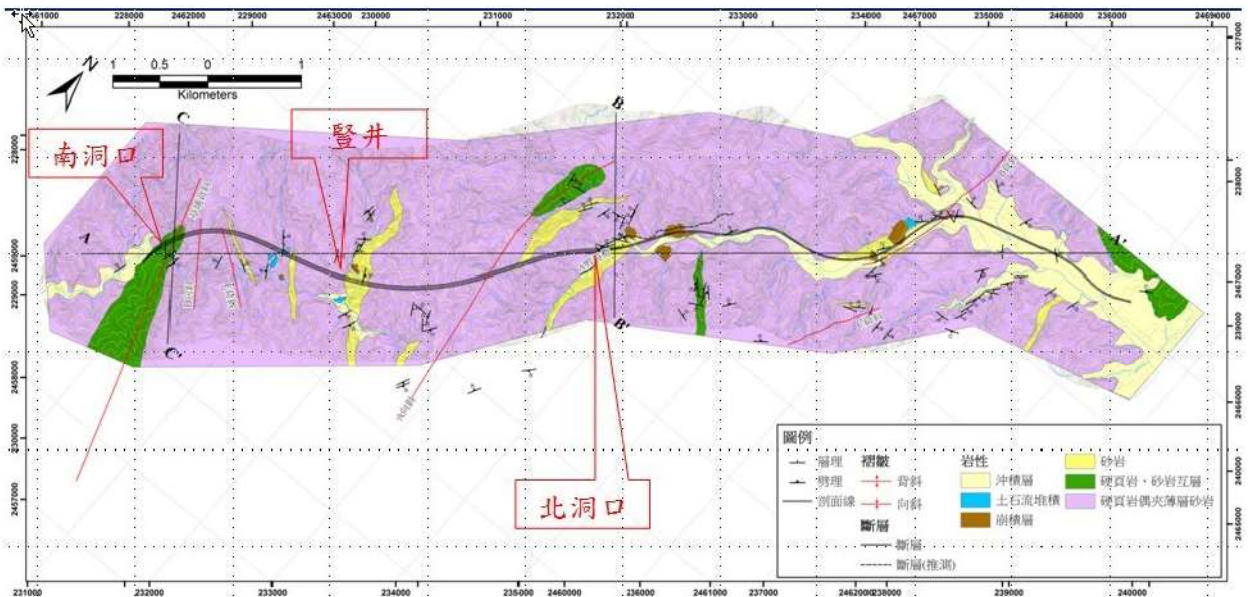


圖0-08 地質平面圖

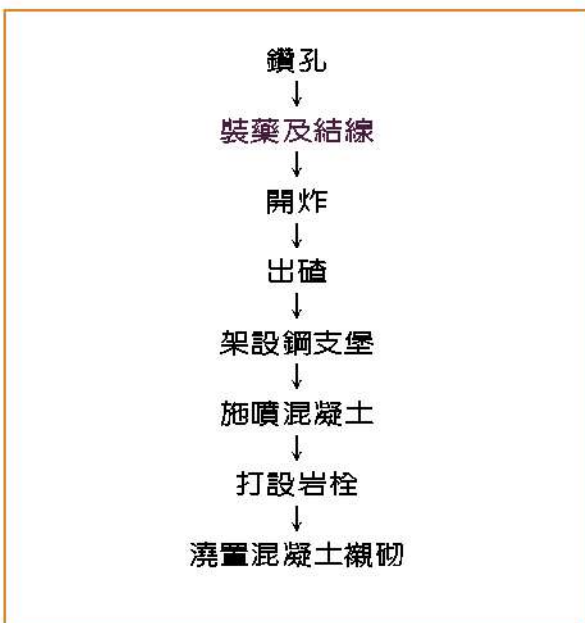


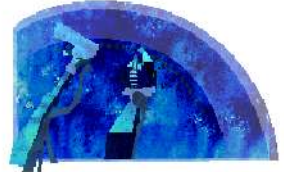
表0-07 新奧工法流程

新奧工法施作流程

新奧工法的施工流程，主要以準備作業、鑽炸開挖、出碴、清浮石及修挖、支撐作業、澆置混凝土襯砌為一個輪進，逐一推進將隧道貫通。

新奧工法的開挖方式有鑽孔開炸與機械開挖，工程團隊在草埔森永隧道開挖前，評估地質主要以板岩及硬頁岩為主，偶夾砂岩，在地質複雜的情況下，決定使用鑽炸式開挖，依據岩層狀況，埋設適當的火藥劑量開炸，方便掌握開

挖深度，也能讓隧道工程達到穩定施工及人員安全通過的訴求。由於開挖面之地質變異性大，若遭遇軟弱地盤，可能引發開挖面失穩及修挖之需要，則採用鑽孔開炸與機械開挖合併施作之彈性措施。鑽炸隧道為施工中最危險的步驟，須嚴密監控、適當掩護並作好各項警示措施後才可引爆，其施作流程如下：



照0-91 南口北上T235炸孔鑽孔，預備裝填炸藥



照0-92 北口南下線第43輪裝填炸藥，預備隧道鑽炸作業

靠近曙光卻離家最遠的那9年

1. **測量**：隧道外的基準點測量及隧道內測量，確保隧道開挖得以在設計路線上進行。
2. **鑽孔**：經測量後利用鑽孔機鑽掘炸孔，進行布孔設計。
3. **裝藥及結線**：於鑽孔中埋設炸藥，確定電雷管的結線及發爆器的性能均無問題。
4. **開炸**：藉由爆炸快速釋放的膨脹力以及氣壓等衝擊岩體，使土石破裂。

隧道開炸後，先採用通風設備排除隧道中的煙塵，待視線足夠清晰後，人員才可進入隧道檢查開炸區域有無裸露面浮石、龜裂等狀況，再進行清除及修挖措施，完成後即可將開炸的土方碴料，透過輪型車載運或吊桶捲揚等運輸方式運離。



照0-93 流通煙塵後，工程人員入隧道執行出渣作業

出渣作業完成後，將鋼線網鋪設於四周岩壁上，接著架設鋼支保，提供隧道拱形的立即支撐，這與噴凝土及岩栓可構成隧道的整體支撐系統。鋪設鋼線網後噴漿，可以鋼纖維噴凝土施噴組成支撐系統取代，以提升施工效率，有利推進工程進度。鋼纖維噴凝土具備良好的抗彎、抗拉、抗剪的功能，於隧道四周岩壁形成一層薄殼狀圓拱，對穩定岩盤相當有幫助，得以確保隧道穩固及人員安全。



照0-94 將土石運出隧道



照0-95 鋪設鋼線網



照0-96 北口北上線台階支保組立



照0-97 南口南下線第86輪噴凝土施工



照0-98 南口南下線第96輪噴凝土施工

照0-100 北口南下SB176~187岩栓鑽設作業



只有鋼支保及噴凝土還無法達到完善的支撐，必須打設岩栓，將容易滑動的岩體與外圍的岩塊串在一起，運用岩體本身來承受岩石應力，形成岩石拱效應，達到加強鞏固的效果。

等到噴凝土、支堡及岩栓等支撐系統所形成的外襯砌穩固隧道結構後，再澆置混凝土襯砌（一般稱為內襯砌），採用自動化襯砌鋼模施工，可以提高工作效率效能、加強防水及美觀的功能。



照0-99 北口北上線台階開挖岩栓施作





照0-102 南口北上線頂拱混凝土澆置



照0-101 北口南下明挖段襯砌鋼筋綁架

靠近曙光卻離家最遠的那9年

新奧工法以借力使力的方式鞏固隧道，相較於傳統工法更能兼顧隧道本體及施工人員的安全，搭配鑽炸式的開挖方式，可以提高工程效率，讓隧道工程更經濟、可靠與安全。



3.5.2 隧道湧水事件

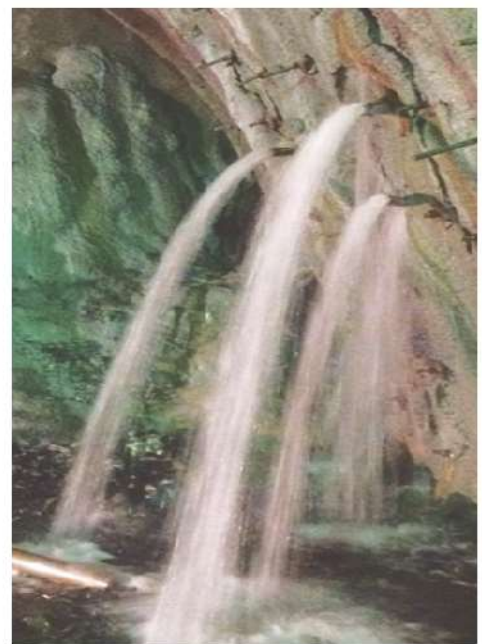
根據地質調查結果，本路線岩性以硬頁岩為主，穿夾不同厚度的砂岩層，形成不同比例的岩性組合。由於岩體強度低、自立時間短等地質因素，再加上岩盤遇水弱化、水壓力變化、地下水等各種影響，導致在隧道開挖過程中，工程團隊多次面臨湧水與抽坍的危機，讓整個工程進度窒礙難行甚至危及人員安全。在密閉狹窄，燈光微弱又煙塵瀰漫的隧道中，面對突如其來的災變，如何發揮危機處理能力去應對與補救？細部流程又是如何執行？



照0-103 北口南下線開挖時出現驚人的大量湧水

隧道開挖過程中，湧水往往是工程人員最不樂見也最為棘手的狀況。台灣世曦安朔至草埔段監造經理廖嘉安，回想起105年春節時的美濃地震仍記憶猶新。當他們進入隧道檢視震後狀況時，發現草埔森永隧道因受地震影響，已有多處裂縫，且裂縫還持續有增加、變深的狀況。為了防止情況更趨惡化，廖嘉安與同仁們便採用固結灌漿來加固補強，才讓隧道變位情形穩定下來，促使工程順利推進。然而，同年6月卻爆發隧道大湧水的狀況，令所有人都始料未及。

雖然工程人員對於抽坍及湧水的發生已做好心理準備，但民國105年發生的那場大湧水，現在想起來還是讓人餘悸猶存！最大的一次湧水事件發生



照0-104 排水洩壓



照0-105 大量湧水

在民國105年6月8日於北口南下線第688輪（里程7K+200.5）。當天工程團隊一如往常的在沙塵瀰漫的隧道中施工，憑藉著工地安全帽上的照明與機具燈光，一刻一鏗的前進時，岩壁開始冒出幾道小水流，空氣中似乎正醞釀著一股不安的氣息。一瞬間，水流逐漸增大，他們心想：「不會吧！」的同時就驚見大量的地下水「嘩—嘩—嘩—」湧出，一波波凶猛的湧水以雷霆萬鈞之勢奔騰而出，旋即吞沒了現場機具，所有人在顛簸泥濘的現場拔腿狂奔，說是一場生死逃離之戰也不為過，危急情形可說是生死一瞬間。雖然在開挖過程中，湧水狀況已經不是第一次發生，但這次的湧水量高達每分鐘27噸，相當於每1.5個小時就能灌滿一座標準游泳

池，是台灣隧道工程史的前三大湧水狀況，這驚人水量湧入隧道的同時，彷彿也啟動了工程人員心中的緊急應變開關。

互助營造草埔森永隧道工地主任鄭敬伶無奈的表示：「挖掘隧道時，常面臨突如其來的危急狀況，處在最前線的坑夫，常常是最不願意撤退、停工的人。」坑夫在潮溼悶熱，伸手不見五指的環境下工作，渾身充滿了泥濘和髒污，隧道內的一切又充滿太多未知數，若不是有經濟上的考量，少有人會願意從事這樣辛苦又危險的工作。然而，施工當天只要遇到湧水，工程就必須暫停，這對坑夫來說就意味著收入銳減，擔心坑夫會不顧危險，執意不撤離。因

此，隧道中一有風吹草動，工程師都必須確實掌握，隨時緊盯現場確保作業安全。鄭敬伶嚴肅的表示：「每天最少有50人在隧道中工作，最多時高達340人，這340條生命也代表著340個家庭，每天面對的壓力真的很大。」即使有工程進度的壓力，但所有人員的安全是首要考量，每次施工時的戰戰兢兢、全神貫注，不僅是穩固工程品質，更守護了所有同仁的安全。

西濱南工處副處長陳保展回想著當時狀況，沉重的表示：「坦白說，每次進隧道前，我都會浮現進去就有出不來的可能。」當時陳保展正在臺北開會，接到第688輪大量湧水的通知時，沒等會議結束就急忙從臺北趕到臺東，抵達現場時得知隧道內除了湧水之外也有落石，「我



照0-106 大範圍抽坍

照0-107 湧水及排水洩壓



當下只有一個念頭：如果不進去找原因根本解決不了問題，這也是我從臺北趕過來的目的。」由於情況相當相當的危急，當下陳保展根本沒時間考慮自己的生命安危，就第一個衝進現場查看，「當下真的被眼前的畫面所撼動，只見隧道破了一個大洞，水不斷從洞中湧出來，那麼驚人的水量是從來沒有看過的，豎井以北的水位，即使最淺的地方都有一個人高，最深的地方有5公尺至兩層樓這麼高，整個隧道都被水灌滿沒辦法靠近，上方不時掉下落石，耳裡充滿著磅礮的水聲，真有一種正在走向死亡，拼上自己的生命來解決問題的感覺。」



克服難關使隧道與岩壁共存

草埔森永

隧道的岩層多為硬頁岩，這種地質很容易破碎，一遇到水卻又會形成泥團，如硬化的黏土。隧道開挖過程常會遇到突如其來的湧水，以驚人的氣勢向外噴湧而出，連帶將周遭的泥石，甚至是已做好的部分工程沖毀，這就是工程人員口中所謂的抽坍。**「隧道工程中，最讓人忐忑不安的就是隧道抽坍和湧水了。」**黃品嘉說。而開挖過程中遭遇36次的抽坍及湧水事件，也影響了草埔森永隧道的工程進度。

雖然工程人員對於抽坍及湧水的發生已有些心理準備，但民國105年發生的那場大湧水，現在想起來還是讓人餘悸猶存！黃品嘉當下快速協同各單位開會討論，研擬出「遠排近灌」的對策，**「就是在距離遠的湧水區設置排水管，讓水壓慢慢下降；近一點的湧水處，便在岩壁灌漿來解決湧水狀況。」**擬定對策後待隧道狀況穩定，全員馬上進入隧道，踩著泥濘進行排水及補強隧道結構的措施，才讓湧水危機解除。

訪談西濱南工處

第六工務段

段長

黃

品嘉

時間推

近到107年10月25日這天，他們遭遇了草埔森永隧道開工以來最大的抽坍事件。開挖工程進行到一半時，在第一線的工程人員赫見眼前細碎的土石如細流般緩緩落下，便提高警覺心要大家趕緊撤退，過了幾秒，土石便大規模崩落，瞬間隧道中揚起大量沙塵，任何人都不敢接近開挖面，深怕土石又會再次坍陷。人員撤離後，黃品嘉與相關單位共同決議，等土石暫停崩落後就立即進行修復工作，讓抽坍面穩定下來，而為了不讓抽坍範圍再次擴大，接著採用管幕工法及灌漿來補強隧道結構，確認穩固後才繼續往前推進。**「最大湧水事件發生，使得工程延遲了3個月才繼續推進；最大的抽坍事件，則讓工程延遲了4個月。」**黃品嘉感慨的說。

這些始料未及的狀況足以讓我們淺淺的體會，築路人除了具備專業知識與技術外，更需時時提高工作警覺，並與時間賽跑所肩負的重責大任。

近灌遠排

「明明前一天開挖面還直挺挺的，怎麼今天就滾滾湧水？」鄭敬伶表示在隧道開挖過程中，遭遇多次湧水及抽坍挫折，但慶幸的是即使在挫折中，整個施工團隊不論設計、監造、業主都很願意投入心力共同解決問題。當時一發生湧水狀況，施工人員馬上與設計團隊進行討論，並且請教具有處理湧水經驗的專家後，判斷出隧道北端口位在海岸山脈末端，地質相對破碎不穩定且多摺皺構造，利於匯集地下水，此外，在隧道NS688開挖面後方的西北向破碎帶可能屬湧水通道，才會發生如此大量湧水。

當時顧問公司提議興建一座5公里長、造價高達5億元的引水隧道，或許能夠將湧水引出來。而倘若引水隧道的確可以解決湧水問題，隧道一旦完工還得把引水隧道填補起來，無法帶來其他的效益，因此陳保

展堅決反對這個提議。幾經思考之後，陳保展要求顧問公司和承包商在出水口周圍以三種角度埋設6支管：正20°埋設2支30公分的管、水平0°埋設2支、水平負20°埋設2支管，觀察各個角度的出水狀況。原先大家猜測水會由正20°管（也就是上方的管路）流下來，結果卻出乎意料的從下方管湧上來，由此推測湧水的來源是較低處的水包，幾經分析之後，工程團隊決定以「遠排近灌」作為主要對策。

主要處理對策決定後，一等到出水量相對穩定，工程團隊便刻不容緩的穿上雨衣涉水進入隧道中，逆水前進的步伐顯得緩慢，卻十分堅定。正是這股不畏艱難的意志與勇氣，團隊靠著安全帽上微弱的光亮，在一片泥濘、滿目瘡痍的現場，把握時間以「遠排近灌」的方式，進行坑道補強及排水，在距離較遠的湧水區施打30至50公尺的排水管，用來洩降開挖面後方的水壓，系統排水管發揮作用後，出水量開始下降，從每分鐘27噸開始降到15噸，再降到5噸、3噸，這兩管水足足流了一個月，直到水不再湧出，接著再將較

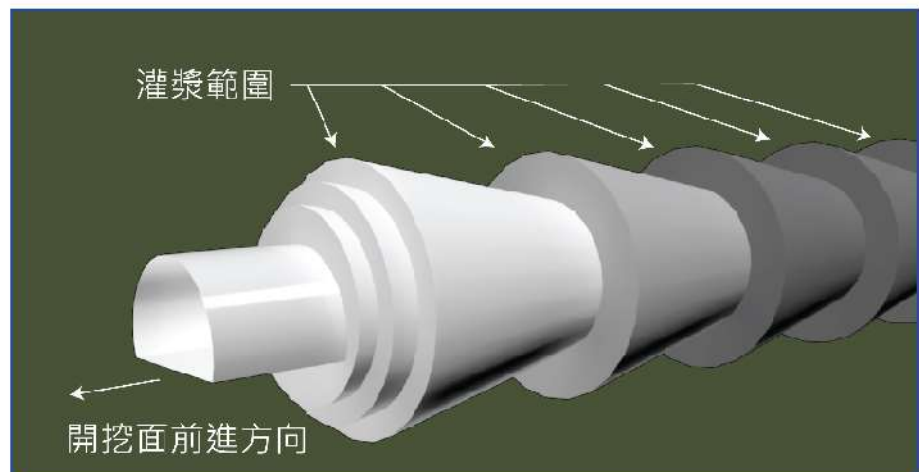


圖0-09 遠排近灌之錐體灌漿3D示意（無比例） 127

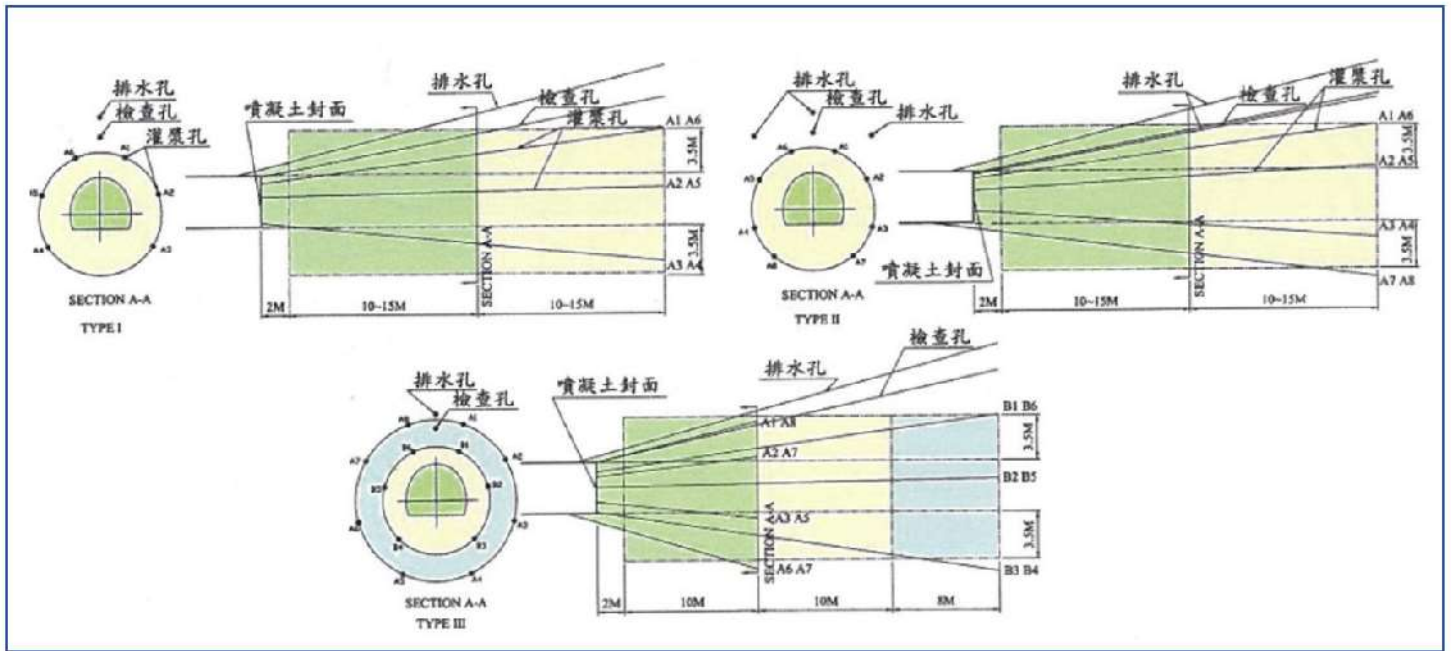


圖0-10 遠排近灌之灌漿孔及排水孔佈置示意

近的出水點施作固結灌漿，解決岩壁湧水狀況。這個方法花費不到20萬就把問題解決，為公家省下5、6億元，陳保展表示：「當時我認為不需要興建引水隧道，而採用埋管找出水源頭的方式，有很多人反對。他們覺得花錢就能解決的事為什麼不做？但我的專業告訴我，解決問題的方案不會只有一種，一定能用工程技術來克服，所以即使反對的聲音很多，我仍然在艱難的情況下說服大家先用我的方法，若不奏效再考量其他方案。」

公路總局以「遠排近灌」的策略優先進行導、排水，再依需要進行阻水及地盤補強，歷經將近兩個月的時間，在8月3日水量已降至每分鐘4.5噸，工程團隊仍然分秒不敢懈怠，持續日以繼夜的搶救，終於在第三個月，順利解決湧水困難，通過異常湧水區域。廖嘉安敬佩的表示：「隧道開挖的領班和老闆都是工程的幕後英雄。」他們整天待在暗無天日、高溫潮溼的工作環境中，與危險和恐懼拚搏，如此艱困的隧道工程，是一般人不願從事的工作。即便危險艱辛，他們

仍一路堅持不曾懈怠，這樣堅毅的工作態度與使命必達的責任感讓他由衷的佩服。

「工程人員的宿命就是解決別人解決不了的問題」，陳保展說。即使感覺倦怠、意志消沉甚至恐懼的時候，只要一想到「一定要讓用路人平平安安回家」的目標，就能抱持這一絲的信念，激勵自己勇敢去面對與承擔。回憶那段艱辛的工程時光，信念，就是他克服職業倦怠的恐懼感及突破考驗時的能量來源。這些始料未及的狀況足以讓我們體會，築路人除了具備專業知識與技術外，更需要敏銳的觀察力，時時提高工作警覺，才能因應層出不窮的危機與難關。他們以智慧、勇氣及毅力度過艱辛的築路時光，為我們穿山越嶺，打開道路另一端的風景與光明。

藏橋於林穿山建隧



照0-108 南口南下線第86輪噴凝土施工



照0-109 南口北上線底梁查驗



照0-110 豎井VNS量水堰量測



照0-111 北口汙水廠清淤



照0-112 採24小時全能工班施工



3.5.3 隧道抽坍事件

「隧道工程中，最讓人忐忑不安的就是隧道抽坍和湧水了。」西濱南工處第六工務段段長黃品嘉說。抽坍是隧道工程的噩夢，小則影響工程進度，大則能瞬間掩埋機具，甚至威脅到施工人員的性命，不可不謹慎以對。草埔森永隧道開工以來，總計發生過37次大大小小的抽坍，其中又以107年10月25日第18次的抽坍最為嚴重。

昏暗的隧道中，嗡嗡作響的鑽掘機器，震得腳下直發麻，不間斷的震動聲麻痺耳膜，也震撼所有人的心志，這裡是二十四小時連續開挖的隧道現場。空氣中瀰漫著砂石、灰塵、泥水的氣味，高溫潮溼的環境考驗著工程人員的耐心及毅力，但所有人仍拖著疲憊的身軀，強打著精神維持高度專注，操作鑽掘的機器，殷切期盼著貫通隧道另一端的時刻。黃品嘉在工程界充滿豐富的實戰經驗，之前參與過多種不同型式的橋梁工程，這次擔任隧道工程的監造督導，與同仁一起在隧道中努力。黃品嘉表示，草埔森永隧道是他第一次接觸隧道工程，與橋梁工程相比，隧道是另一種領域的挑戰，因此

特別感到興致勃勃。對他來說，隧道中最棘手的便是地質的複雜性，草埔森永隧道內多是較為脆弱的硬頁岩，容易遇水就崩解，雖然事前已先進行隧道內震波探測、地電阻影像剖面探測，與全斷面光達掃描現場施作等多種地質監測，但也只能用點狀的調查，不可能全面性的做調查，所以有可能在這個點的旁邊，地質就已經有了變化，隨時都有可能發生湧水、抽坍及各種突發意外。

開挖的過程中土石飛濺是很正常的事，一開始工程人員也不以為意，然而這天，開挖面裂縫滾下的碎石，以一種肉眼幾乎察覺不到的細微變化，一點一滴地增加，換作是一般人可能渾然不覺，但是累積了數十年豐富經驗的工程人員，憑著敏銳的感官與判斷，立刻感覺到事情不對勁了。沒多久，緩緩落下的薄沙開始加快速度落下，大量的地下水也沿著岩縫洶湧而出，空氣中散發「山雨欲來風滿樓」大事不妙的氣息，第一線的工程人員趕緊高聲大喊：「所有人快撤退！」工程團隊手忙腳亂地撤退，從開挖機具跳出去，用盡全力在顛簸泥濘的隧道中奔跑，嗶嗶剝剝的噪音如交響樂一樣不絕於耳，撼動人心，土石瞬間如天花板塌下來一



照0-113 草埔森永隧道抽坍景象

般，掩埋了停在原地的機具，眾人不斷撤離直到抽坍現象氣力放盡，現場狀況穩定下來，大家才敢鬆一口氣。回頭望去，工程現場一片狼藉、滿目瘡痍，若不是撤離得早，被埋在隧道的就是他們了。

該次的坍方量達3,995立方公尺，重達5,600噸，居草埔森永隧道工程抽坍量之冠。經過開挖地質資料比對，發現此區域為岩性交界面，不同岩體界面可能產生阻水層，經由多次開挖擾動，使得岩體解壓、地下水壓增加，造成周圍大地應力分布改變，而影響地下水的通路與壓力失衡，導致地下水的滲流壓力大於岩體材料強度，而造成裂隙，地下水大量沖蝕周圍軟

弱岩盤，造成抽坍孔洞擴大，以致整體岩盤鬆動呈漸進式坍落。

了解抽坍原因，在坍落狀況穩定之後，工程團隊便以搶修、修復及加固的方式為處理對策加緊趕工。先進行抽坍區兩側土心封固，再鞏固周遭未坍塌區，以固結灌漿、施打岩柱的方式完成地質改良，以避免搶修過程中災害擴大。後續則以系統性多單元管幕環狀遮罩，進行頂拱抽坍區支撐殼施作，輔以固結灌漿及支撐岩柱，進行空洞填補及支撐拱效應建立，最後配合計測及全斷面光達掃描監測變位來確認修復成果。

人生不設限

在濕度、溫度、噪音飆高的隧道工地裡，開鑿岩壁所噴發的灰石，瞬間飽和了整個隧道。趨近於零的能見度前，卻隱約可看見一道嬌小的身影，穿梭在眾多工程師之間，此景就文字畫面而言，或者從隧道坑工的視角看上去，都顯得相當違和。工程的艱辛對她而言是成長和挑戰，不過對於身處隧道盡頭施工的坑夫，浮上心頭的卻是隧道工程的忌諱——女性禁入。草埔森永隧道的工地主任鄭敬伶跨越了限制，她是台灣隧道工程史上第一位女性工地主任。

互助營造打破「女性不能進隧道」的禁忌，在草埔施工處的周文吉處長驟逝後，拔擢隧道工程規劃和管控的鄭敬伶接任工地主任一職。有不少高風險行業忌諱任用女性，工地就是其中之一，尤其在隧道工程。鄭敬伶回憶第一次巡視隧道工程時，面對坑夫的無奈：「妳可不可以不要進來隧道——」她感到難堪。不料次日現場就發生抽坍，她立即成為忌諱的最佳認證。鄭敬伶面對埋怨或指責時，雖然感到委屈和沮喪，仍然不斷地告訴自己：「進出工地是職責，工地會不會發生問題與性別無關，況且有時候自己在隧道時，工程很順利。」勇敢地走出控訴，在艱難的條件中逐漸建立信心。鄭敬

訪談互助營造草埔

森永隧道工

地主任

鄭

敬伶

伶謙虛的表示：「我不是女強人型的，挑起這個工作覺得很艱辛。」回想工程的艱辛及對女性的刻板印象：「整個工程都讓我覺得太有挑戰性了！但人的潛力是被激發出來的，設限、猶豫都是沒有意義的。」

土木工程所涉及的專業很廣，管理不同專業和突發狀況相當複雜。築路過程中，施工人員會因抽坍、湧水、工程進度延後等因素而士氣低落，帶領眾人解決難題和突破困境，是管理者應該發揮的基本工作；工程進入後期階段，除了隧道前端開挖會持續進行以外，機電、交控、土木等工班也相繼進入隧道施工，有時候隧道前端還在開炸，卻因為後端的施工造成相互干擾，不時多個突發狀況使得情況倍加複雜，更需要管理者進一步做出許多關鍵決策。

鄭敬伶說：「工地的安衛主任也是位女性，每天騎著野狼機車跑遍工地，管理眾多勞工、原住民勞工和泰勞的安全和生活，我由衷佩服她。」因著她們勇敢地跨過限制，不斷的更新與擴張，最終帶領施工人員完成，這條全台第五長的隧道，也讓她們的人生更精彩。

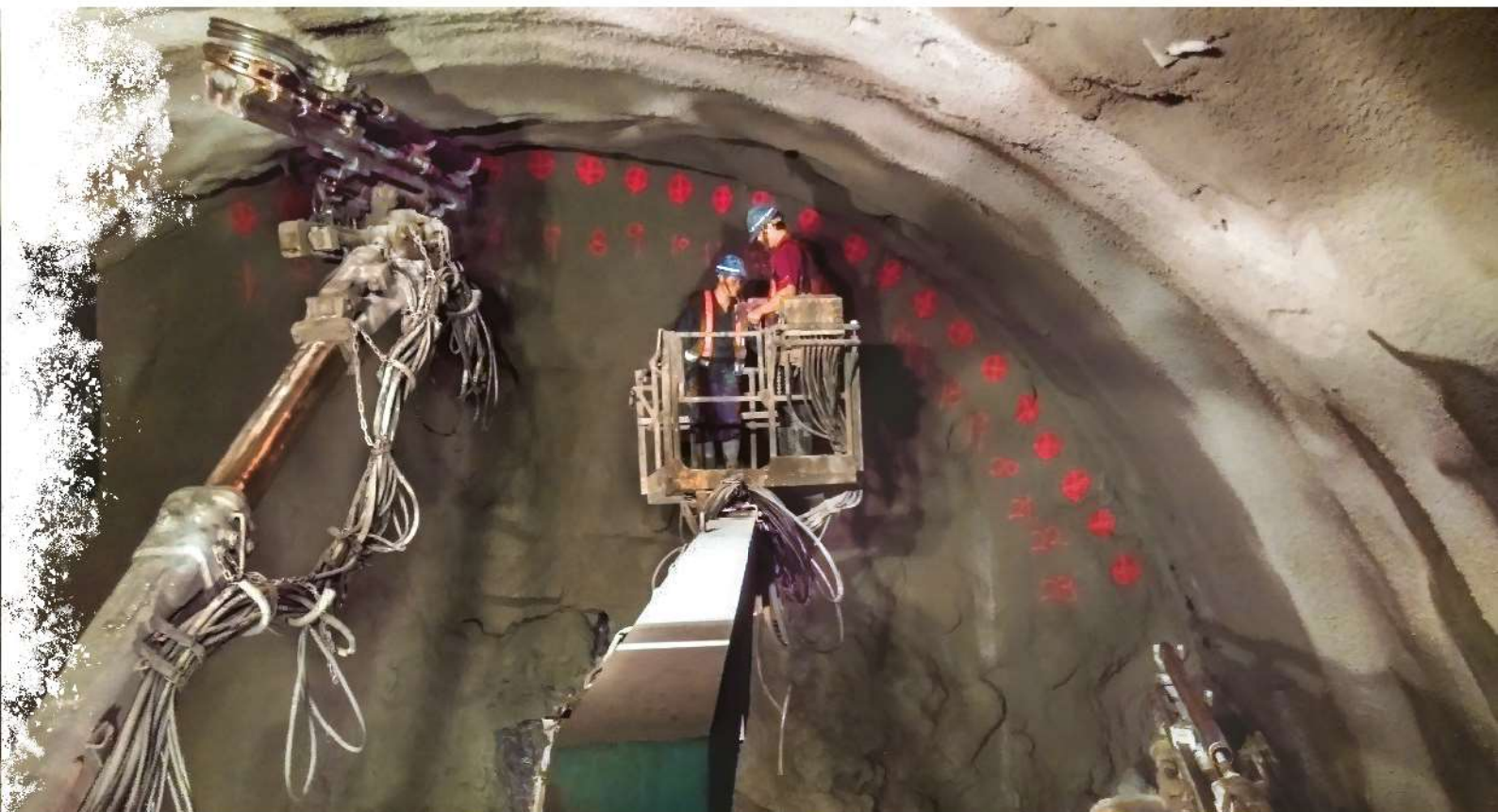
管幕工法

管幕工法係因隧道內遭遇軟弱岩層無法正常開挖，而發展出在隧道中先支撐後開挖之高效率、高安全性的施工方法。針對地質構造變異性高的草埔森永隧道，使用抗彎矩與剪力性能佳的管幕工法以確保支撐效果，除了讓隧道構造更穩定，並能提升施工效率外，也能提高工程人員施作時的安全。

管幕工法主要以支撐鋼管抵抗周圍土壓，保護隧道開挖過程中頂拱的穩定，施作流程如下：

管幕工法施作流程

1. 採用隧道管幕機推進，於隧道頂拱區域鑽設水平孔。
2. 埋設先撐鋼管並施以灌漿封孔，可達固結、止水效果。
3. 使隧道頂拱形成管幕，強化傘狀保護環。
4. 輔以鋼支保、岩柱、鋼線網、噴凝土等支撐作業。
5. 完成管幕鞏固。



草埔森永隧道的開挖是採24小時全能工班進行，所有工程人員必須日夜輪班，身為監造的鄭敬伶也不例外。她回想起當時開鑿的辛苦情形，感嘆地說：「雖然大家很熱烈的在討論一例一休、工時、休假等問題，但我們這行業似乎只能把這些放一邊。」她認為這不只是工作更是一份責任，甚至是為國為民的使命感，特別在這塊土地上，很多辛勤工作的人即使遇到颱風天、夜半都還必須堅守崗位，不是因為薪水而是為了責任。土木工程人員也是如此，為了人民生活、地方區域發展，肩負使命，竭盡所能地付出心力。

在暗無天日、潮溼悶熱的隧道中開鑿，是世界上最危險的工作之一，即使身穿防護配備、身上備有安全設施，面對無法準確預測的地質變化與突然其來的意外威脅，每一個開挖流程



照0-115 北口北上抽坍處管幕單數孔打設

都戰戰兢兢，不敢輕忽。在歷經湧水、坍塌等各種難關及挑戰，工程團隊憑藉著過人的意志力及智慧一一克服，完成任務。鄭敬伶感性的說：「隧道貫通本來就是預期會完成的工程進度，但過程實在太過艱辛，當隧道貫通的那一刻，我真的忍不住掉下眼淚。」坑道中的每一刻一鑿，都要靠著工程人員無比強大的使命感和堅毅的耐心與勇氣，才能一步步向前推進。在日以繼夜的奮鬥下，總算映入隧道另一端的光，完成一條快速安全回家的路。

照0-116 北上線全線貫通典禮





Chapter 4

防崩阻泥穩土護路

排山擋土道在人為，穩土定基確保於行。

靠近曙光卻離家最遠的那9年





照0-01 台9南迴路段海側下坡擋土護坡實景

台9線南迴公路緊鄰聳立的山勢，這樣的地形環境雖然巍峨壯麗，卻也成為不定時炸彈，隨時都有可能在公路上引爆，波及道路及行車安全。尤其東部地區時常遭受颱風侵襲、大雨威脅、長浪拍打以及季風勁吹，使得地質脆弱的邊坡容易出現落石，增添道路受損的隱憂。當大風呼嘯，住在臺東的居民便開始擔心，行經唯一的聯外道路時，會不會有碎石從天而降；當天空傾下大雨，工程人員也開始耽慮，南迴公路會不會因為裸露邊坡上的土石鬆落，導致邊坡坍塌、土石覆蓋車道，阻斷通行甚至損害公路結構，危及用路人行車安全。

公路總局肩負著保護公路交通安全的使命，在周全的設想及完善的規畫之下，以施作H型鋼、格框護坡、岩錨牆、排樁等邊坡保護措施，防止公路構造不會因落石、長浪等災害影響，進而維護行車安全，也能延長公路使用壽命。透過南迴公路的拓寬改善，打造一條兼具安全、順暢、舒適的道路，讓回家、出遊更為安心便利，也期盼活絡區域經濟發展。



照0-02 H型鋼擋土支撐



4.1 H型鋼擋土支撐

擋土牆基礎開挖及井式基礎開挖時，主要以H型鋼及預力地錨作為開挖之臨時擋土支撐，除非會影響既有台9線之行車安全或其他施工考量，原則上應於施工完畢時，將型鋼樁予以拔除。

擋土支撐H型鋼樁保留，乃因施工期間採便橋或便道的方式施工，若有開闢施工便道，原則上應以回填土方的方式，恢復原本的地形及地貌。工程所經地層位於第四紀沖積層及中新世廬山層，沖積層由砂、泥及礫石所組成，廬山層則為硬頁岩、板岩及千枚岩為主，地質較為複雜多變，施工期間需輔以大型鑽掘機具進行預鑽孔作業。



防崩阻泥穩土護路



照0-03 H型鋼打設





照0-04 格框鋪設菱型網及鋼筋



照0-05 格框錨筋打設



4.2 格框植草

沒有大崩塌發生的地方，通常是在邊坡上施噴混凝土來防止基岩風化剝落，雖然在大面積的邊坡，以這種簡便的方式便能達到穩固的效果，但也破壞了原先蕪鬱的山景，影響自然生態。隨著環境保護意識越來越強烈，護坡工程也開始朝兼顧生態的方向思考，力求將對環境的干擾降至最小。

「格框植草護坡」就是可以增加植生，使邊坡恢復綠化外貌，同時穩固道路邊坡的護坡方式。

施作格框植草護坡時，工程人員有如好萊塢電影中的英雄人物——蜘蛛人般，穿戴安全護具後，矯捷的在坡面鋪設菱形網與鋼筋，接著打設錨筋並

灌漿加強固定，再進行格框噴漿、噴植草種作業。幾天後，格框內便會生長出綠意盎然的小草，就像縫綴在邊坡上的綠色地毯，與蒼翠山巒相映成趣。

格框植草護坡，可以防止雨水直接沖刷坡面，減少水土流失，降低落石機率，再搭配植生綠化，讓護坡工程除了有穩定邊坡的實用功能，還兼具生態景觀的效果。

防崩阻泥後土護路



照0-06 格框植草可保護坡面也能綠化環境



照0-07 格框噴漿



照0-08 海側邊坡植草

照0-09 開挖後進行表面噴漿固定牆面



照0-10 第二層向下開挖預留基礎位置



4.3 岩錨牆

邊坡淺層覆蓋風化表土經常從土岩交界面產生滑動，必須藉由岩柱來穩定坡面，防止下滑。岩柱為防止邊坡滑動的主要工法，將設計拉力從特定方向，穿過結構物至邊坡岩盤內部，讓結構物與邊坡岩盤結為一體，藉以提高結構物或邊坡之安全性。岩柱通常以斜角裝設於地層中，與擋土結構結合以保持邊坡之穩定。以岩錨牆搭配地錨的方式，透過地錨的拉力，將滑動面下的土體牢牢抓住，如同力大無窮的巨人，緊緊握住土壤，絲毫不放鬆。接著在上方裝設防落石網，做好萬全的防護，以避免邊坡土石滾落公路，確保行車與用路人的安全。

岩錨牆施作前要先削坡減緩坡度，目的為削減滑坡體積，進而降低下滑力。接著進行格框施工並打設型鋼後，再進行基礎開挖。開挖後的坡面會先噴漿保護，接著施作岩錨牆基礎，並於牆身綁紮鋼筋，以及預埋排水管，與地錨鑽採用之PVC管，之後進行牆身灌漿，再施作地錨及牆面水平排水管，最後在型鋼裸露處設置防落石網，就完成岩錨牆護坡工程。



防崩阻泥穩土護路

照0-11 岩栓穩定坡面



照0-12 岩錨牆完工



照0-13 鋼筋綁紮後預埋PVC管



照0-14 岩錨牆地錨打設

4.4 排樁

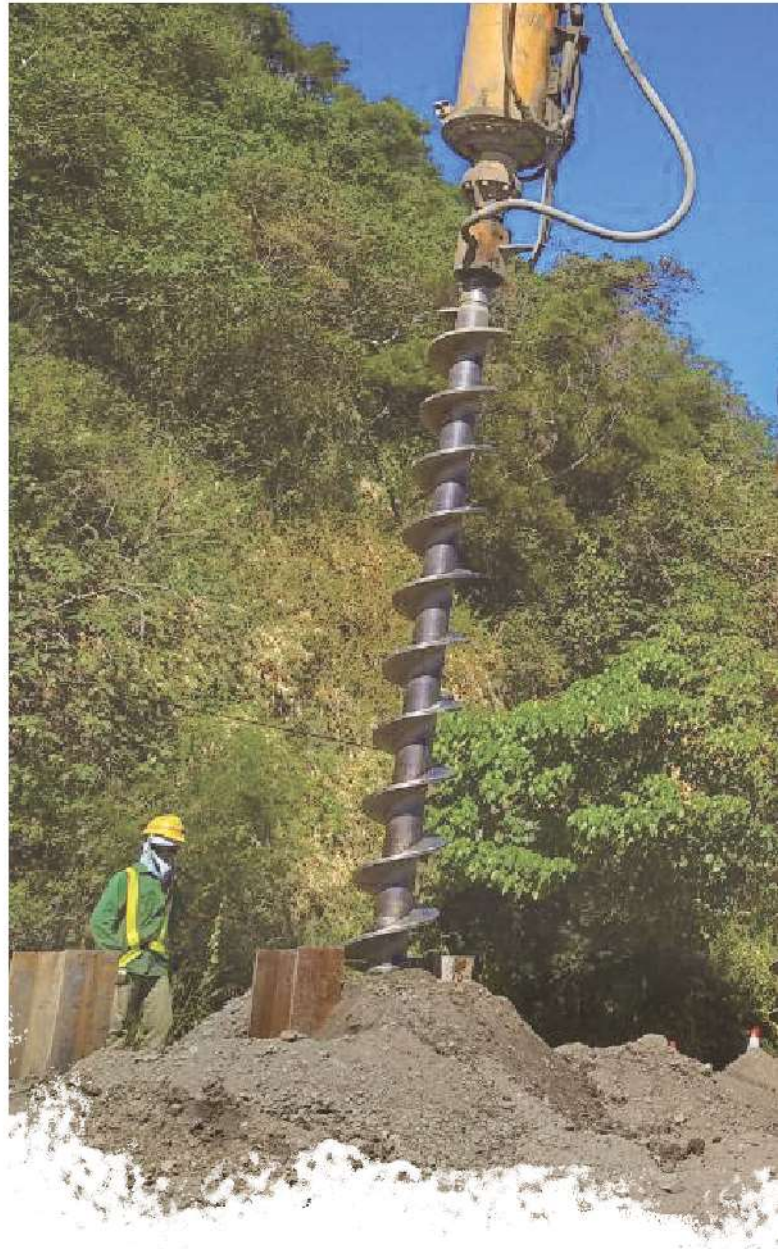
當邊坡坡面較為陡峻時，使用型鋼擋土護坡仍然會有安全上的疑慮，在考量保護用路人及工程人員的安全下，公路總局選擇使用「排樁」的方式施作，其抗滑能力來自於周圍土體的抵抗能力，以及土體與排樁的力學互制行為，以達到如同擋土牆般的穩固效果。

擋土排樁如因地層條件較差，或遇到崩積層的地層較厚時，則需採用薄套管下至不會坍塌之深度，而下套管則需仰賴震動機將套管壓至適當深度，接著進行鑽掘施工。鑽掘順序需採跳樁施工，以免已完成澆置的樁體於未凝結時因土層解壓而產生裂縫及破壞。接續以超音波檢測儀或紅外線垂測儀檢測鑽孔垂直度是否符合標準。一般怪手改裝之鑽掘機垂直度在1/100至1/150，其它鑽掘機則為1/150至1/200。

鑽孔後需先灌漿再吊放H型鋼樁，灌漿材如為混凝土時，需採用特密管進行混凝土澆置，並於灌漿完成7天之後再進行排樁頂開挖，以利樁頭打除。將排樁頂清潔完成後即進行兩側模組，以利安裝型鋼式護欄。完成檢查後，進行結構開挖及預力地錨打設施工，即完成臨時性邊坡保護工程。



照O-15 放置套管及持續引孔



防崩阻泥穩土護路



照0-16 置入型鋼



照0-17 放入型鋼後，進行地錨打設



照0-18 機具定位引孔，準備放置套管 145

應變能力的考驗

訪談林同棧工
程顧問公
司專案
副理
林
冠甫

十多年前還是學生的林冠甫，曾騎著摩托車環島旅行，印象中有些路段幾乎是沿著懸崖邊前進，而單車道的設計也造成不時有跟車及超車的狀況。「那時覺得南迴很危險又難走，應該要改善路況才對，沒想到現在的我，竟然有幸能參與這項改善計畫。」林冠甫微笑的說著，眼中還散發出光芒。民國100年接下南迴改善的設計工作後，林冠甫開始大量的研讀資料，並與負責結構、路工、交通、水利、大地、景觀以及工務等專業的同儕，一起至現場踏勘、交換意見，並搭配鑽探、測量人員進行地質勘查及地形測量，與水利同仁收集金崙溪相關治理計畫及沿岸海象歷年觀測結果等，作為整體設計的依據。

即使在設計之初就對工程做出最縝密的規畫，可是每當豪雨、地震、颱風過後，原有的地形樣貌又會隨之改變。民國105年10月尼伯特颱風帶來的連日豪雨，導致台9線因地下水水位上漲造成岩層滑動，沿途多個路段的落石不斷，甚至出現道路坍方，而直接影響到當時正在進行的擋土牆工程，還曾出現一週內遭遇三次土石坍滑的情況，讓施工人員傷透了腦筋。林冠甫表

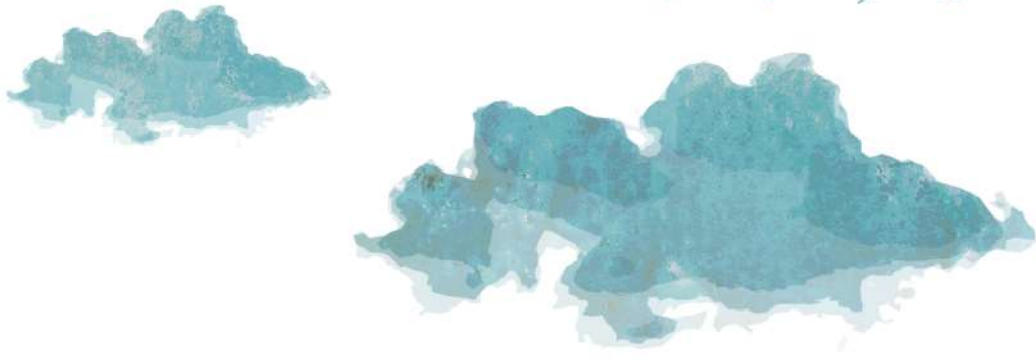
示：「每當天災來襲就會有工班反應，可不可以調整一下設計。」為了

掌握台9線潛在的不安定因素，林冠甫增設地質鑽孔以充分分析邊坡滑動趨勢，重新檢視擋土牆的穩定性，以增設止滑排樁的方式穩定滑動面，並於相關路段增設監測儀器，以利觀察災修後的情況。在合情合理的範圍內，適度變更設計使其更加順應自然條件，使工程可以順利的進行。

在進行每一次的專案設計時，林冠甫都時刻提醒著自己要「以人為本」，不應有專業的傲慢，並且挑戰自己從不同的面向去思考各種可能性，因為答案絕對不會只有一種。

他也想把自己多年來的經驗，分享傳承給未來的規劃設計人員：「設計、監造與施工單位從來不是站在對立面，任何一方都非常重要，缺一不可！彼此有共同的目標，加上充份的溝通與合作，才能讓工程順利又有效率的完成。」

十多年後的林冠甫站在參與規劃的金崙大橋上，望著這片海天一色、撼動人心的美景，有種年少時夢想成真的成就感。



4.5 邊坡災害控管

台9線南迴公路沿線多處高路堤及高邊坡處，容易因颱風挾帶豪雨或地震等天然災害致使土石崩落，導致交通中斷。因此，台9線施工中進行了上下邊坡路段調查評估與監測計畫，掌握具有潛在不穩定邊坡地層之變化情況，並針對易致災路段進行空載光達掃瞄製作0.5公尺高解析網格數值高程模型，並同時執行航空攝影製作15公分解析度正射影像，再依所蒐集之歷年航照圖進行易致災路段比對，分析計畫測區長期之變遷特性，並建置互動式3D公路管理系統以釐定後續處理規則方案，執行項目如下：

1. 台9線401K~476K：空載光達掃瞄。
2. 台9線407K~460K：歷年航照與高解析度衛星影像資料蒐集。
3. 台9線407K~439K：歷史災害資料蒐集、其他相關單位歷史致災資料蒐集、易致災路段影響範圍模擬與劃定、易致災路段現地調查、易致災路段後續處置規劃、工程圖資套疊。

計畫測區以及空載掃瞄範圍涵蓋臺東縣以及屏東縣地區，地勢起伏自東側達仁海平面爬升至壽卡（海拔約500公尺），續向西行經丹路至屏東楓港海平面。所涵蓋地區多為台9線單一路段可及，大部分地區人員不易到達，故本計畫使用空載光達技術執行施測範圍掃瞄，建置易致災路段規劃所需之基礎資訊，包含：光達點雲、正射影像、DEM/DSM等成果，並結合所蒐集之工程圖資與其他相關資料，彙整於3D GIS平台Skyline中，提供後續劃定或評估之依據。



照0-19 空載光達掃瞄成果



照0-20 空載光達掃瞄成果

移動方式		移動物質		
		基岩 (bedrock)	工程土壤	
			岩屑	土壤
墜落 (fall)		落石 (rockfall)	岩屑崩滑 (debris slide)	
傾翻 (topple)				
滑動 (slide)	平滑 (translational)	岩體滑動 (rock slide)		
	旋滑 (rotational)			
流動 (flow)		土石流 (debris flow)		

表0-01 山崩分類表 (Varnes (1978) ; 中央地質調查所, 2006)

公路邊坡災害類型

計畫區域內之公路邊坡災害，依據地形上的空間分布，可概略分為上邊坡與下邊坡兩區位。上邊坡災害主要分為山崩與土石流災害，根據中央地質調查所(2006)之定義，山崩災害可細分為落石、岩屑崩滑與岩體滑動三類。

計畫路段多緊鄰邊坡構築，颱風、地震期間易因鄰近道路之邊坡發生土砂災害，影響本計畫路段之行車安全。根據所蒐集之歷史災害資料與遙測影像判釋成果顯示，計畫區域以岩屑崩滑為主(62%)，土石流(17%)及落石(16%)次之。

易致災路段調查

若以災害發生機制而言，本計畫之邊坡破壞行為具有複合型災害特性，進一步以2005至2015年歷史致災資料之點位與時間，依岩屑崩滑與土石流災害類型進行分類，並以里程樁號為基準繪製災害發生次數圖分析，結果說明不論岩屑崩滑或土石流災害之發生頻率或點位，大溪至大武段(425K-435K)皆高於本計畫其他路段。

437K+250之岩體滑動冠部陷落崩崖形貌圖潤較不明顯；腹部具多階體堆，次崩崖形貌清楚可見；趾部有岩屑崩滑之痕跡。經無人載具進行空拍驗證後，此區之形貌與山崩微地形判釋成



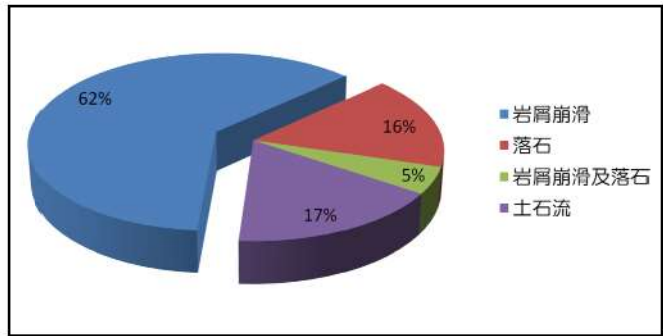


表0-02 各歷史災害類型統計圖餅圖

果相符，滑體之冠部與側邊界明顯，緊鄰道路側則有一新鮮之淺層岩屑崩滑發生，有關注之必要性。

具岩體滑動高潛勢之斜坡單元者，因存有較高活動之可能性，考慮其岩體滑動之破壞性，故直接提升HML3A（已施作GIS之災害潛勢3級：HM=災害潛勢圖；L3=狀況分級；AB=有無施作GIS）與HML2B（未施作GIS之災害潛勢2級）之潛勢至高潛勢。而考量整治工程對於邊坡之加固作用，針對HML3A 與HML2B 中高潛勢區位根據現場護坡狀況進行調查，結果顯示共有5處邊坡除趾部設置擋土牆設施外，另有邊坡分階工程、地錨加勁穩固、噴漿整治等硬體工程，故針對此5處點位降低潛勢等級。

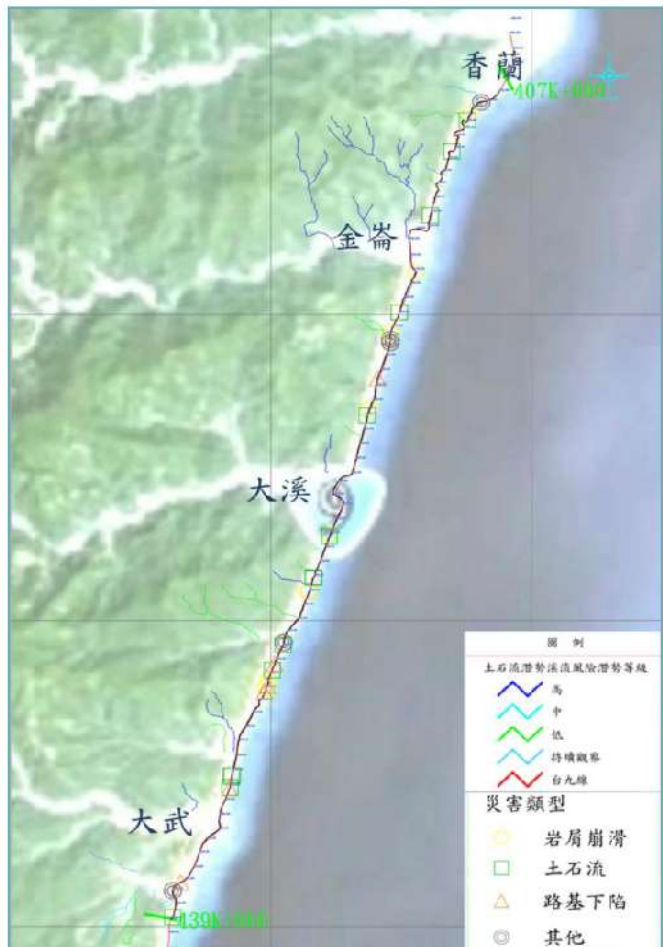
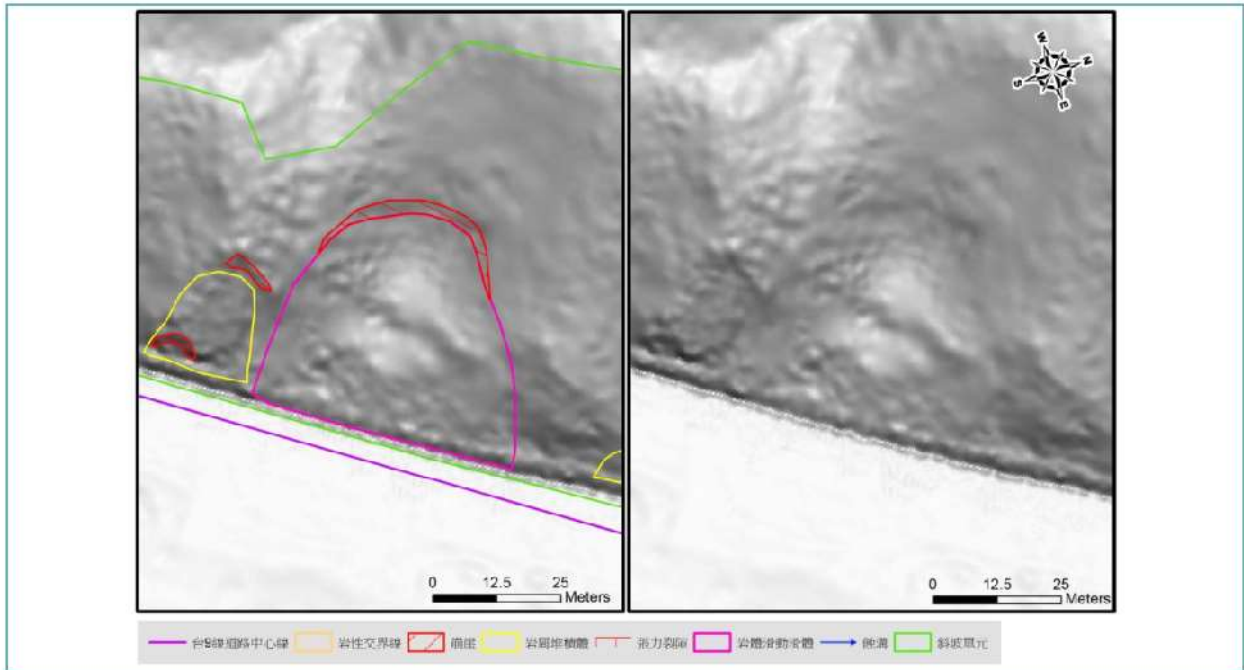


圖0-01 台9 線計畫區災害點位分布與發生次數圖



照0-21 台9線437K+250 道路側上邊坡之高潛勢岩體滑動形貌



照0-22 台9線437K+250 無人載具側拍驗證



Chapter 5

雕樑畫棟綠意綿延

原鄉風貌飛閣洞天，海風呼嘯綠意綿延。



5.1 融入土地的美學

沿著海岸線行駛在南迴公路上，海天一色的太平洋與蓊鬱山脈相互輝映，山海交融的景致令人心曠神怡，忘卻煩擾。驅車向南進入山區，映入眼簾的是青翠的群山環繞，彷彿引領我們前往秘境，一探自然幽境的瑰寶，清澈的溪流、層巒疊翠的壯闊風光更是台灣西海岸所無法比擬的美景。沿途可以看到公路總局在景觀營造與維護方面的用心，讓自然景觀毫無遮蔽，巧妙映入行駛視野，將高架橋龐大的結構量體，以柔和線形自然融入環境，營造出現代工程與自然美景並存的和諧之美。

讓公路與海景自然融合

藉由台9線自然蜿蜒曲線與高差地形的特性，完美結合東海岸宜人景色，打造觀光與交通兼具的道路。除了綿延的海岸風光，比鄰的蒼翠山巒也讓用路人在順暢行駛的過程中，同時來一場賞心悅目的感官之旅，紓解旅途過程的疲勞。

此外，山中的巨龍—安朔高架橋長達4.6公里，順著五福谷溪的河谷地形蜿蜒而上，採「友善環境」的理念進行路線設計，



照0-01 台9南迴濱海環場全景



以高橋墩及中大跨徑高架橋的設置，力求降低橋墩數量，減少破壞自然生態景觀及地貌變化，並展現藏橋於林的視覺美感。從遠處而望，安朔高架橋宛如一條巨龍般，盤臥在山巒疊嶂間，展現壯闊的視覺驚豔。當用路人舒適地穿山越嶺之際，還能居高臨下的感受群山環繞的磅礴雄偉及悠遊山林的馳騁快意。



照0-02 在海天一色的台9南迴上乘風而行 153

靠近曙光卻離家最遠的那9年



金崙大橋入口意象

金崙舊地名「軒仔崙」是由Kanalung，排灣族語的「雞母珠」所音譯，雞母珠可串珠做為裝飾或傳統服飾，因當地盛產這種植物，故以此命名。日據時期Kana寫成日文漢字的「金」，而lung「崙」仍保留，金崙這個地名就此而生。

琉璃珠是排灣族的貴族，視為傳家與婚聘中不可或缺的寶物，也代表持有者的身分與地位。琉璃珠的每一種圖騰都各自代表不同的意義，名為「眼睛之珠」的琉璃珠，代表祖靈守護和責任。行駛在最美麗高架



照0-04 台9南迴公路線型

橋之上，首先映入眼簾的，是以雞母珠、金針花及琉璃珠之排灣族元素作為入口意象，守護金崙大橋與往來的用路人，並且搭配當地盛產的金針花，展現在地特色與觀光亮點。

橋名柱以曙光為構想，題有「雲現日光」四個字，象徵溫暖的金色光芒從遙遠的海平面緩緩升起，穿透雲層，灑落大地，展現日出東方的雄心壯志，以「希望」作為一天的開始。



照0-05 金崙大橋晨曦時分實景





照0-06 大溪明隧道



照0-07 使用排灣族的太陽圖騰，融入在地文化

大溪明隧道

一路向南行駛至大溪明隧道，望著隧道壁面的太陽出海圖騰，感受曙光升起帶來的希望及活力，同時透過光線明暗呈現自然景致的獨特變化，讓用路人感受優美的海岸風光。進入明隧道後，公路總局刻意設計架空隧道壁體，藉由光線與碧藍海岸相互輝映，營造出寧靜與祥和的氛圍，讓抵擋上邊坡土石的水泥結構，不再只是生硬的水泥結構，而是蘊含著人文意涵及光影美學的藝術品。





照0-08 以嵌燈維持山林的完整性



照0-09 使用間接照明避免影響生態

安朔高架橋間接照明

位於山林裡的安朔高架橋，有別於一般燈桿式的公路照明，而是採用嵌燈，作為夜間の間接照明，如同提著燈的小精靈，細心照亮前方的路。除了能避免路燈照射範圍超出路面，打擾動物作息、影響山林生態。另一方面，也能避免照明燈桿立柱，破壞山景的完整性，讓用路人得以安全享受暢遊山林，雄偉的山林風光也能盡收眼底。



照0-10 安朔高架橋下的彩色礫石 157



5.2 默默守護的一片綠意

金崙高架橋下有一整片的國土保安林，它們隨風搖曳，如堅強士兵守衛海岸線的身影，展現獨特風姿。在這片2公頃的綠意盎然背後，是公路總局默默守護台灣的心意。

很少有人願意在海邊種樹，因為臨海環境的惡劣，除了夏季的烈日與冬日強勁的東北季風外，海邊土壤受到海水的長期浸潤，使得鹽份含量非常高，要找到在這樣嚴苛環境仍能堅毅



照0-11 保安林棲地復育範圍

成長的樹種，並且完成復育，顯然是件吃力不討好的工作。

「我們不能因為現實條件不好就自我設限，只要不放棄的做，投入到一定程度的時候，就會看到成果。」於是公路總局與農業委員會林業試驗所進行了第一次的跨域合作。在不斷的開會、評估、試驗之下，團隊在金崙大橋P1-P7的橋墩下，栽植超過萬株的「台灣原生海岸樹種」，包含：棋盤腳、瓊崖海棠、台灣海棗、土沉香、草海桐等，以植苗、直播相間的方式種植，

並大量栽植馬鞍藤以及濱刀豆等定砂植物做為保護海岸地之用。海岸林不只能防止海岸侵蝕，也能降低風量，並透過樹枝及樹葉過濾、攔截鹽分與沙塵，若有颱風大雨來襲形成大浪，海岸林還能削弱海浪的動能，防止洶湧浪潮打上岸邊，進而保護公路，它們就像是駐守前線的士兵，抵禦外來力量的侵襲。透過它們保水、防風、定砂的功用，守護這片海岸，也讓公路的壽命能更加綿長。

在眾人的努力下，原本因橋梁施工遭受破壞，以致毫無生氣，一片枯黃的海邊漸漸綠蔭成林，展露出蓬勃生機，達到保育及復育海岸資源、防制海岸災害或破壞，以及守護台灣美麗海岸景觀的成效。

行駛在南迴公路時，除了能享受無敵海景的悠閒，望向窗外，也能看到公路總局化身為綠手指，為用路人打造兼具生態和交通雙重優勢的公路。無論是公路選線時的用心，或是利用公路隙地、路堤段、邊坡的空間設計休憩景觀，進行植栽綠美化等工程，除了能加強水土保持，也使得公路建設更添柔性與綠意盎然。



照0-12 保安林棲地復育成效



Chapter 6

白水鑑心無微不至

飛禽走獸因木生姿，精心呵護環境資源。



照0-01 環頸雉公鳥艷麗的身影



照0-02 調查人員以無線電發報器追蹤環頸雉活動

6.1 空氣品質監測

臺東地區的固定污染源少，加上中央山脈的屏障且面對太平洋，氣流的擴散條件佳，讓臺東的空氣品質可說是全台首屈一指。為了避免大型工程的興建過程，影響當地空氣品質，工程人員分別在安朔國小、草埔國小、丹路國小等地安排監測：PM10、PM2.5、TSP、SO₂、落塵量、風向、風速等多達十幾種項目。此外，秉持著「友善環境」的理念，在開發過程中，也要時時維護環境品質，工程團隊在工地開挖面及車輛經常行駛的路線，定期灑水以減少揚塵等諸多用心的作為，讓歷年來各項監測成果，都能符合空氣品質的標準。

6.2 噪音振動監測

什麼樣的噪音會讓人感到難受？施工機具的聲音一定免不了的榜上有名。環境噪音與震動問題越來越受到重視，公路建設以「人」、「生態」為考量，在建設工程的同時，也致力將對當地環境與居民的干擾降至最低。因此，公路總局在安朔國小、草埔國小、雙流、丹路國小、棄土道路敏感點等地，進行環境噪音、振動、營建噪音等項目之監測，確保施工不影響居民生活品質。施作草埔森永隧道時，使用低噪音型送風機，以及低噪音、低污染型電動鑽堡機，並在地質條件允許之情況下，採用振動式或鑽掘的打樁法取代錘擊式打樁法，以雙管齊下的方式大幅降低噪音振動，使歷年來的噪音振動監測結果，均符合環評背景調查值。



照0-03 安朔國小監測空氣品質



照0-04 草埔國小監測空氣品質



照0-05 噪音震動監測情形



6.3 水質監測



照0-06 地面水質監測樣本

地面水質監測

水是生命的泉源，萬物受其滋養而生長。因此，建設工程的同時，維持乾淨的水源，避免水質遭受汙染，顯得格外重要。為了更進一步判斷地面水的汙染程度，並加以維護，而於安朔橋、草埔橋、雙流二號橋、上牡丹橋、楓港溪橋等地興建地面水質監測站。採樣檢測包括：水溫、氫離子濃度指數、總磷、大腸桿菌、重金屬等20多項指標，並於施工期間，在工區週邊妥善設置截流溝。工區內的排水設施，固定2周清理一次，以防止泥砂流出。多年監測下來，對照河川汙染程度指標質的差異不大，顯示本工程未對地面水質造成明顯的影響。

放流水質監測

生物與溪流具有依存關係，關乎生態環境是否生機蓬勃。為防止工程影響當地溪流水質，而定期於豎井工區及北洞口進行：水溫、化學需氧量、氫離子濃度指數、大腸桿菌、重金屬等20多個項目，進行放流水質檢測。以環評背景調查值及歷年測值相比較，皆無異常狀況發生。

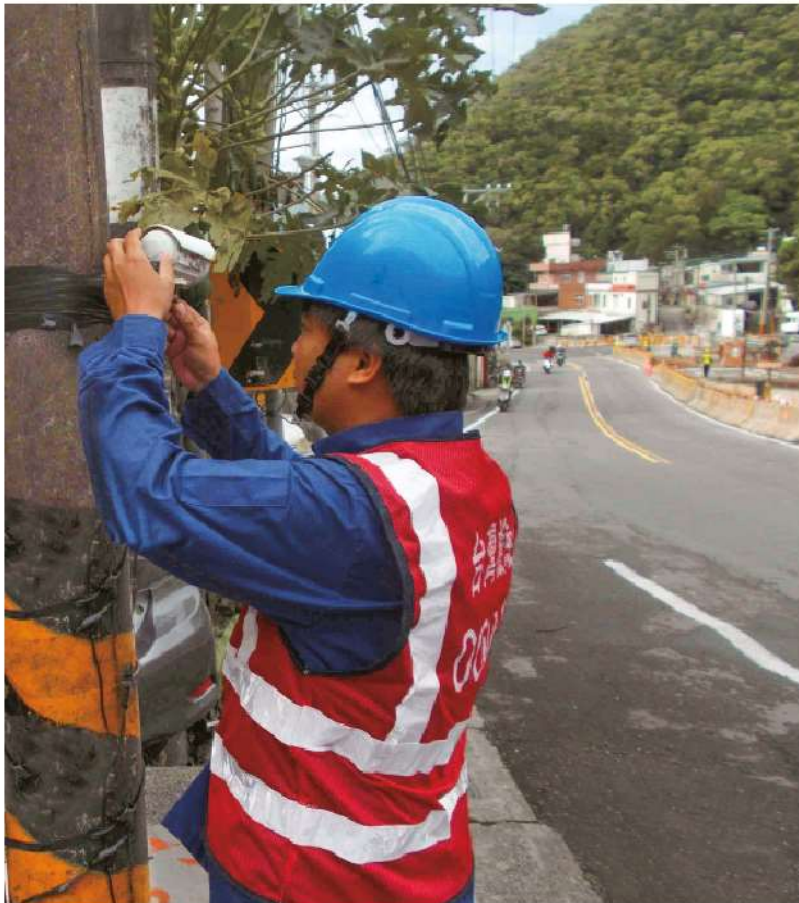


照0-07 放流水質監測採樣



6.4 交通監測

維護用路人權益及守護道路安全，是工程團隊所秉持的一貫目標。然而工程進行中，難免需要進行車輛改道，為此，工程團隊致力維持良好的交通狀況，於道路束縮處設立相關標誌、標線及警示燈，提醒用路人注意行車安全，並且在施工區域與重要路段之出入口派員指揮交通，以增加會車時的行車安全及降低事故發生機率。同時，為了確保道路服務水準在施工期間不受影響，而在新香蘭活動中心、大鳥檢查哨管制站、安朔台9與台26路口等地點，監測平日與假日的交通流量、延滯、服務水準等項目。監測結果之道路服務水準皆屬A級，每小時平均時速 ≥ 60 公里的自由流動車流，透過上述作為確保工程進行的同時，也能保持順暢的交通。



照0-08 交通流量監測作業





照0-09 領角鴞

6.5 生態監測

由於楓港溪及安朔溪流域，為國內少見之保育類動物及稀有動植物豐富區，因此工程團隊以「友善環境」為理念，依循迴避、縮小、減輕及棲地補償等原則，研擬生態保育之因應對策。工程位置及施工方法首先考量迴避生態保全對象或重要棲地等高度敏感區域，其次則盡量縮小影響範圍、減輕永久性負面效應，並針對受工程干擾的環境，積極研擬原地或異地補償等策略，以減少對環境的衝擊。透過此原則，保護生態環境，並進行生態監測，以了解歷季物種數量的變化。為了減少工程對森林和溪流棲地的破壞與影響，在工程前、中、後期也有相關的因應作為：

陸域生態監測

安朔至草埔路段沿線的森林與溪流環境，孕育多種保育類動物及稀有植物，富含蓬勃生機。為了讓工程成為這片豐富生態的好鄰居，彼此和諧共

存，公路總局每一季都會在隧道段以外之計畫路段兩側，約200公尺之範圍，進行陸域生態監測。過程中發現不少保育類及特有種動植物，像是環頸雉、赤腹鷹、台灣山羌、小葉樟、交力坪鐵色等。透過定期

環境監測	工程執行中	工程執行後
<ul style="list-style-type: none"> • 路線勘查。 • 棲地現勘。 • 採24小時紅外線攝影觀察生物路徑。 • 自動相機裝設。 • 進行大樹及稀有植物之標示確認，以此調整、移植，以迴避大量的生態資源。 • 潛勢小苗施工前先行移植，保護原生苗木，落實保留在地物種多樣性。 	<ul style="list-style-type: none"> • 於森林及溪流路段設置施工便道、棧橋及生物通道，減少工程路線對於生態環境的干擾。 • 採用大跨徑工法，落墩位置迴避生物動線。 • 以竹削護基及井基礎減少開挖面積。 	<ul style="list-style-type: none"> • 施工完成後復原補償棲地。 • 降低營運階段光和噪音等人為干擾。

表0-01 工程前、中、後期之生態監測策略

照0-10 台灣野牡丹藤移植過程



照0-11 台灣野牡丹藤



的生態監測，民眾也能更認識這片優美豐富的山林景象。

在工程建設之外，公路總局對於植物保育也相當重視，為台灣植物的多樣性貢獻心力。監測人員在安朔至草埔路段發現2株台灣野牡丹藤、1株南仁鐵色、1株倒卵葉楠及1株小

葉樟，共5株稀有植物，公路總局於103年9月2日及105年4月28日分別將台灣野牡丹藤及倒卵葉楠與小葉樟，移植到臺東縣政府所提供的臺東森林公園內大草原及苗圃這兩個地點，進行稀有植物移植，目前的生長狀況良好。



照0-12 黃腹琉璃



照0-13 食蛇龜 165

環頸雉生態

台灣共有3種保育類雉雞，分別是分布於中、高海拔的台灣帝雉、藍腹鵝及低海拔的環頸雉。帝雉與藍腹鵝皆為台灣特有種，環頸雉(學名*Phasianus colchicus formosanus*)由於棲地和人類生活區域最相近，故有「草地明珠」之稱，又因叫聲嘹亮且是台灣特有種，而有「啼雞」、「台灣雉」的別稱，是雉科鳥類中受威脅最高的種類，也因此被列入珍貴稀有保育類。早年其豔麗的身影遍布全台，然而近年因土地利用轉變、開發，分布區域已大為減少，並受到如：道路致死、外來種雜交、棲地破碎、農藥濫用與人為獵捕等衝擊，面臨生存危機。

公路總局在執行台9線南迴公路拓寬改善後續計畫時，為了回應環評過程受到關切的環頸雉保育課題，進行長期研究計畫，以瞭解其生態特性並研擬保育對策。超過7年以上的時間，在工程沿線進行棲地分析、品系鑑定、影響釐清等調查，結果顯示沿線環頸雉屬台灣原生種，僅分布在工程以北的香蘭地區，與工程位置並未重疊。香蘭以南地區適合環頸雉棲息的草地、農田或河床環境零星、狹小孤立，不易支持其族群生長繁衍。整理歷年香蘭環頸雉調查記錄的個體數，亦維持一定數量，故根據上述結果評估，拓寬改善工程對環頸雉生態的影響有限。



白水鑑心無微不至

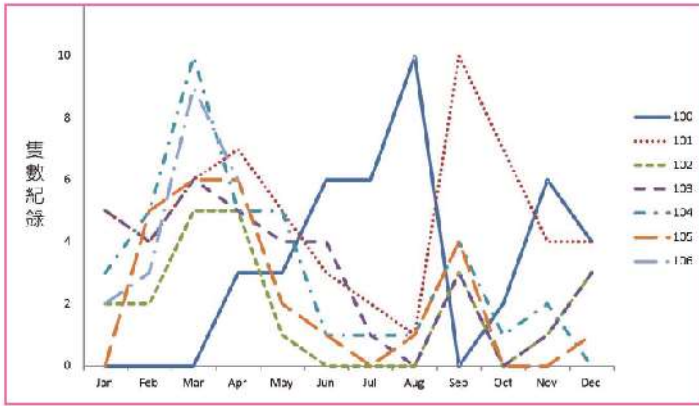


表0-02 香蘭地區歷年環頸雉族群調查數量



照0-14 在香蘭地區觀察到的環頸雉公鳥



照0-15 調查人員正在進行水域生態監測 167



這次寶貴的執行經驗，可以做為未來在工程規劃設計，甚至於更早的可行性階段，進行生態課題資料之蒐集與研究方面的參考。同時配合可行性研究、規劃、設計等階段工作，提早研擬如：迴避敏感棲地、縮小工程量體、減輕施作影響等方案，期許以更縝密、周全的態度在各個工程階段、施工環節，為生態保護盡一分心力。

水域生態監測

水域生態測站為：安朔溪至安朔橋、楓港溪至

前、後不致影響水域生態，採取了以下作為：

1. 過水路面架設棧橋，以減少擾動河床底質，降低水質污染。
2. 於棧橋與路面交界處設置防護網，防止蟹類移動到行車路線。
3. 以迴避潭區棲地方式，提供水域生物棲息空間。
4. 縮小施工便道行駛路線範圍，以淤積高灘地為主，可以減少對生物的干擾及直接行駛河床機會。
5. 維持河床溪底的自然底質，以不破壞、不改變、不斷流為原則。

6. 施工期間，地表開挖或土方處置皆須採取適當防護措施，廢棄物也須妥善處理並疏導或隔離河道，以免污染水域生態環境。



雙流橋、楓港溪至巴士墨段橋等地點。在監測過程中，發現不少特有種水域生物，像是：粗首馬口鱖、台灣鬚鱖、台灣石魚賓、白痣珈蟕等等，為了確保工程執行

圖0-01 各項監測作業作業地點



照0-16 金崙P3寶茂遺址搶救作業

6.6 文化資產遺址試掘調查

民國102年進行環境影響評估調查時，發現金崙車站至北側軒子崙山南側的低位河階地，可採集到較為零星、細碎的夾砂陶片，當下工程人員立即停工，封鎖現場。經專家初步判斷屬於寶茂III遺址，公路總局因而在同年底，委託中央研究院歷史語言研究所，針對可能有史前文化遺址存在的P2至P5墩柱基礎進行考古試掘調查。考古試掘工作於民國103年5月間進行，結果在P3墩柱之TP13探坑，發現史前文化層及建築結構現象，文化層中出土零星打製石器、史前時期陶片、近代硬陶片及瓷器片等，其餘各坑只發現近

代擾亂或無遺物出土。專家一連串的發掘確定後，仍完整保留原遺址現場，除了工程建設之外，也兼顧到人文歷史的研究及保護。

安朔至草埔路段距離古樓部落及土坂部落各為36公里及18公里以上。經過監測確認，不論隧道或橋梁工程，都只有發現純淨的紅土層，或岩塊與紅土混雜的二次堆積，工程範圍內均未發現任何古蹟或遺址相關的遺留，確認無急迫性搶救需求，才繼續進行工程的施作。



照0-18 金崙P4寶茂遺址搶救作業



照0-17 寶茂遺址試掘



照0-19 TP13探坑出土文物

出現史前文化遺址現象的P3墩柱基礎，於民國104年底由高南區工程處，委託臺東縣政府文化處辦理搶救發掘作業，而P2、P4、P5三個墩柱基礎則交由施工單位開始進行施工，並由工程顧問公司執行監測工作。

進行施工中監測的P4墩柱，於民國104年在P4基座的西南角，連續出現兩具人骨遺留，兩具人骨都直接埋在沙層中，周圍無任何葬具遺留，

且人骨都沾附著青銅器與鐵器的痕跡，種種跡象顯示應非現代的墓葬，而可能是史前文化的遺留。為避免P4墩位範圍內可能存在的史前墓葬被破壞，高南區工程處決定將P4再交由臺東縣政府進行搶救發掘，並持續到同年7月，完成所有的田野發掘工作。拓寬改善工程意外發現了先民活動的遺跡，也像拼圖一般串連了不同世代人類的足跡。



Chapter 7

低碳建設環境永續

簡網捷端高效減碳，分享數據友善地球。



每個人在食、衣、住、行方面都會產生碳排放量，積少成多即會影響地球環境。身為地球公民，維護並珍愛環境資源，是每個人責無旁貸的義務，我們能透過自身的選擇，如：自備餐具、搭乘大眾交通運輸工具、簡約消費等，達到低碳的生活。同樣的，大型的工程建設也可以透過事先規劃設計，並在工程進行中盤查、計算碳排放量，以實際的行動來愛護地球，碳足跡 (Carbon footprint) 係指一項活動 (Activity) 或產品的生命週期過程，直接與間接產生的二氧化碳排放量，為提供碳足跡計算一致性的做法。

節能減碳至今已經與日常生活密不可分，也是世界潮流及各國政府政策目標，公路總局於101年開始發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標。做為未來我國工程設計規劃之減碳考量依據。「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」即於此架構與機制下，將「節能減碳、永續發展」納入可行性評估、規畫、設計、施工、維護管理等每一個



環節，透過各項計畫擬定、建材工法使用等方面，落實節能減碳的理念。

減碳具體作為

工程團隊運用低碳工程設計、低碳工法、低碳工程材料等減碳的綠色工法，來提升減碳成效：

(一) 低碳工程設計：

1. 檢討隧道長度及豎井深度

隧道路線設計長度經過檢討後，將原規劃長

度由5公里縮短為4.6公里，豎井深度也由原規劃之140公尺縮短為110公尺，以減少土方開挖量。

2. 土石方回收再利用

將土石或營建廢棄物視為資源的角度來看，如果能在工址現地減量，並在工區內妥善處理、再利用，不但能減少運輸所消耗的能量，減少二氧化碳排放，對於環境保育與公共安全亦有正面助益。

為了符合節能減碳、資源利用、環境保育及永續發展之目標，公路總局積極落實土石方

多元利用，將隧道開挖後的土方，分別運用在隧道仰拱回填、填築路堤以及東部海岸人工養灘，以達到土石方回收再利用、減少載運土石的成本排放。

3.減緩隧道縱坡

車輛在隧道內行駛，若遇到坡度較大的路段，容易造成引擎負荷大，排放較多廢氣，隧道內的溫度也會隨之升高，增加隧道通風機電系統的負擔。考量這些因素後，在工程設計上，決定將隧道內縱坡由原規劃階段的3.0%調降為2.0%，可有效減少汽車排放廢氣量。

(二) 低破工法：

1.營建自動化工法

採用自動化施工方式或是高效率的機具設備，不但能提高施工速率，節省經費，亦能減少施工過程中所排放之二氧化碳。在安朔高架橋的工法選擇上，採用懸臂及支撐先進工法，運用工作車推進達到營建施工自動化，減少機具的碳排放。

2.竹削工法與井式基礎

安朔高架橋下構採用竹削工法與井式基礎，可以讓邊坡開挖面積最小化，減少混凝土及鋼筋使用量，進而降低碳排放。



照0-02 隧道出土運用於人工養灘





照0-01 運用營建自動化來減低碳排放



照0-03 安朔高架橋墩柱使用自充填混凝土減少二氧化碳排放量



照0-04 彙集檢討施工碳排放數據



(三) 使用低碳工程材料：

1. 自充填混凝土

依據經濟部能源委員會「能源查核管理輔導計畫」，生產1公噸水泥將排放409.57公斤的二氧化碳，相較於爐石、飛灰等水泥替代材料每生產1公噸僅排放68.3公斤（爐石研磨之耗能）與0公斤（飛灰無須研磨）的二氧化碳。安朔高架橋及金崙高架橋的下構使用自充填混凝土，以爐石、飛灰替代水泥用量，產製優質耐久混凝土，同時減少二氧化碳排放量。

2. 提高襯砌混凝土強度

襯砌混凝土強度由 $245\text{kg}/\text{cm}^2$ 提高至 $280\text{kg}/\text{cm}^2$ 可減少襯砌厚度，減少材料、開挖量及土石方運送，達到隧道節能減碳。



照0-05 減少鋼筋混凝土用量的低碳工法

7.1 盤查起源

面對溫室效應及氣候變遷所帶來的衝擊，各國無不以減排溫室氣體做為施政目標，從「地球高峰會議」至「京都議定書」等國際決議，可看出各國積極推動各項減碳措施及政策，行政院也於民國97年頒布「永續公共工程—節能減碳政策白皮書」積極參與地球減碳作為。公路總局身為地球公民，從民國101年開始發展「工程碳管理架構與機制」，以工程生命週期之碳管理為目標，做為未來我國工程設計與規劃減碳考量的依據。「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」基於此架構，並依據ISO 14067或PAS 2050，全生命週期產品碳足跡規範，以及行政院環保署於103年所頒布之基礎建設碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)，在工程施工期程，進行分標段、分年度之實質盤查工作，並於工程竣工時，將數據資料充足且完整的碳足跡盤查報告，向合格的驗證機構提出查驗申請，並取得碳足跡聲明證書。

公共建設是國家發展的基石，因此，其規劃必須具有前瞻性、整體性、永續性。公路總局心繫著生態保育及環境永續發展，便於「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」的設計階段，規劃了低碳的工程型式，並盤查這整座工程的碳足跡，為樹立工程碳管理標竿而努力，最終還是期望依據實際盤查結果，瞭解生命週期之整體碳排放量，並建立本土化之碳足跡計算參數資料庫，提供未來橋梁或隧道工程之規劃參考，為工程全面減碳的目標而努力。





照0-06 聚集檢討施工碳排放數據



照0-08 記錄混凝土拌合場的碳排放量



照0-07 記錄施工過程的碳排放量

7.2 盤查輔導過程

工地現場盤查輔導工作是碳足跡盤查計畫的核心。承包商必須先制定完善的盤查表單，並且依據實際施工活動數據紀錄，包含施工碳管理日誌及施工碳管理登錄表。

盤查輔導作業流程，先由承包商將活動數據蒐集彙整，並將單據表單建檔後，上傳到碳管理資訊平台，再由盤查單位進行碳足跡量化。接著，透過承包商及

監造單位的內部查核、書面資料及現場查核，確保資料的正確性，最後將所盤查的活動數據，與碳排放係數相乘後成為排放清冊，就可以知道碳排放量。

盤查困難

在「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」之前，台灣沒有任何道路工程之碳足跡盤查案例可供參考，本次執行碳足跡盤查，可說是公路總局在道路工程碳足跡盤查的先鋒部隊。工程團隊在盤查過程中，積極與主辦機關、施工廠商、材料供應商密切配合，以建置本土碳足跡盤查作業程序，及碳足跡計算參數資料庫。執行過程中最常遭遇的困難，在於不易蒐集工程活動數據，例如：各種施工機具所耗費的能源統計、建築機電的材料細項繁多、碳盤查表單的文件整理及統計，都相當耗時與複雜，多虧相關部門同心協助，讓資料建置的過程更為順利且完善，有助於日後其他工程參考。



照0-09 安朔高架橋工程獲得碳足跡查證聲明書授證

7.3 盤查成效

經過設計階段的減碳效益評估、工程現場的落實執行，以及嚴謹的盤查作業，台9線南迴公路多良至大竹段拓寬工程，經盤查總共減少1,560噸二氧化碳的排放，相當於約4座大安森林公園一整年的碳吸收量，為東部地區的公路工程，取得工程碳足跡查證聲明書的首例代表。



照0-10 多良至大竹段工程獲得碳足跡查證聲明書授證

草埔森永隧道以積極減碳作為，減少約30,700噸二氧化碳，相當於79座大安森林公園全年的碳吸收量。由這些豐碩的成效顯示，工程辦理全生命週期碳盤查，能夠成功落實「環境共生」的設計理念，達成「友善環境、永續發展」的目標。

安朔高架橋截彎取直後，大幅縮短該路段行車距離及時間，進而減少車輛的油耗成本及碳排放量。依目標年車流量估計，每年約可節省340萬公升汽油，並減少約10,500噸二氧化碳排放，相當於27座大安森林公園全年的碳吸收量。



照0-11 安朔高架橋工程之碳足跡查證聲明書



Chapter 8

移山倒海風華再現

波濤拍岸千鈞一髮，築堤攔海養灘護路。



8.1 消失的海岸線

臺東縣大武漁港南測的海岸，每到颱風與東北季風的季節，便常遭受海浪與季風的侵襲，在不敵大風吹拂與大浪沖刷之下，海岸線每年以1.7到2公尺的速度向陸地方向不斷退縮，原本海岸邊的防風林也消失不見，即使公路總局每年置放大量的消波塊依舊徒勞無功。風大時，海浪時常打上路面，造成道路溼滑、視線不清，為了避免影響行車安全，颱風期間靠海側2車道都要封閉；大浪逼近時，部分路段的路基被沖刷掏空，每年平均3次會因此造成交通阻斷，除了讓民眾行車時膽戰心驚，也妨礙用路人權益。對抗海浪侵蝕及強風吹襲，成為公路總局在拓寬南迴公路時，必須面對的課題。



照0-01 養灘工程完工實景

草埔森永隧道在開挖過程，約產出100萬立方公尺的剩餘土方，為了將隧道開挖出來的土方做最有效的運用，達到「物盡其用」，「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」特別規畫在南迴公路438.5km~441.5km，大武漁港的南側，利用隧道出碴土方進行人工養灘工程。透過此舉，不僅讓資源獲得最有效的利用並節省成本，也可以避免該路段的路基繼續流失，使多年來遭受侵蝕的海岸，重現臺東大武沿海昔日美麗的濱海景觀，讓這條臺東縣通往高屏地區的唯一公路，更加堅固與安全。



圖0-01 大武漁港人工養灘場址位置圖 181



8.2 廢土再利用

人工養灘是以人為的方式將砂石堆置於受侵蝕的海灘，或於海岸前建構人工海灘，提供適當寬度的沙灘做為海浪侵襲時的緩衝帶，像是抵抗海浪的前線士兵，消滅波浪運動能量，以防止海岸侵蝕，讓沙灘恢復生機。海岸的侵蝕起因於沙源供應的減少，此現象可透過人工養灘獲得改善，並達到保護海岸的效果，因此，在侵蝕的海岸堆放灘料，並定期補充的工法就稱為「人工養灘」，為海岸防蝕工法之一種。

「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」在103年1月於大武漁港南側，正式執行人工養灘計畫。透過詳細的空氣品質、噪音振動、海域水質、海域生態、波流、懸浮濃度擴散等監測，確保工程不會危害環境，並在施工過程密切注意，若與當初計畫有不同現象便立即修正，以免對生態造成不可挽回的傷害。經由長期的監測結果顯示，都沒顯示任何超出法規的異常情形。



照0-02 大武漁港南側海岸Google衛星圖 (2005.6)



照0-03 大武漁港南側海岸Google衛星圖 (2013.7) 防風林消失

移山倒海風華再現



照0-04 吊排15噸的消波塊



照0-05 填築150公尺的堤心石



照0-06 施作過程伴隨著海水的衝擊



人工養灘的過程

「台9線南迴公路拓寬改善後續計畫」進行環境影響評估時，環評委員建議將草埔森永隧道開挖產生的土石，運送至東海岸填海造地，除了可讓後退的海岸再次重現，也可避免該路段路基繼續流失，提升道路安全和耐久性。施作過程中，海潮一波波湧上，衝擊力量非同小可，工程團隊最擔憂的便是天然災害的侵擾。遭逢颱風季節及東北季風期間施作突堤時，要回填的堤心石常會受到海浪的沖刷侵襲，影響養灘作業。遇到這種作業困難時，施工單位便加大突堤的填築範圍，抵禦海水沖刷及天候的影響，在大家協力同心的努力下，終於創造出約1.2公里長、4.8公頃的海埔新生地。



照0-07 北突堤修坡



照0-08 北離岸堤左側推進

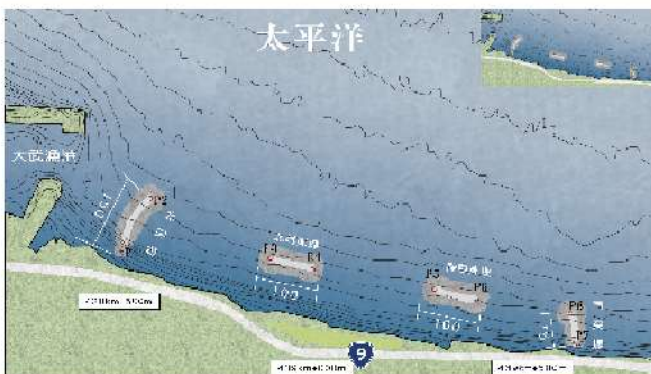
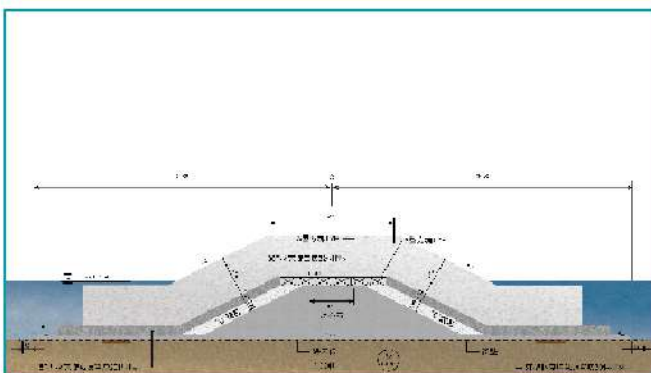


圖0-03 養灘工程突堤平面圖



照0-09 消波塊拋放



184 圖0-02 突堤標準斷面圖



照0-10 北離岸堤消波塊吊排



照0-11 海浪撲打下拋放南突堤之堤心石



照0-12 南突堤心石填築施工便道



照0-13 養灘-消坡塊施作



照0-14 北突堤吊排完成





照0-15 南側養灘成果

8.3 綿延1.2公里的沙灘

「不見的沙灘回來了！」

這是居民驚見工程成效後吐露的心聲！

大武漁港南側海岸以人工養灘此種生態工法，讓消失16年的沙灘再次重現，不僅恢復海岸線的生氣、也讓施工產生的土方達到「物盡其用」。此外，突堤及離岸的完工也保護了沙灘，鞏固道路安全及耐久性。

民國103年中度颱風麥德姆來襲時未產生淘刷現象，

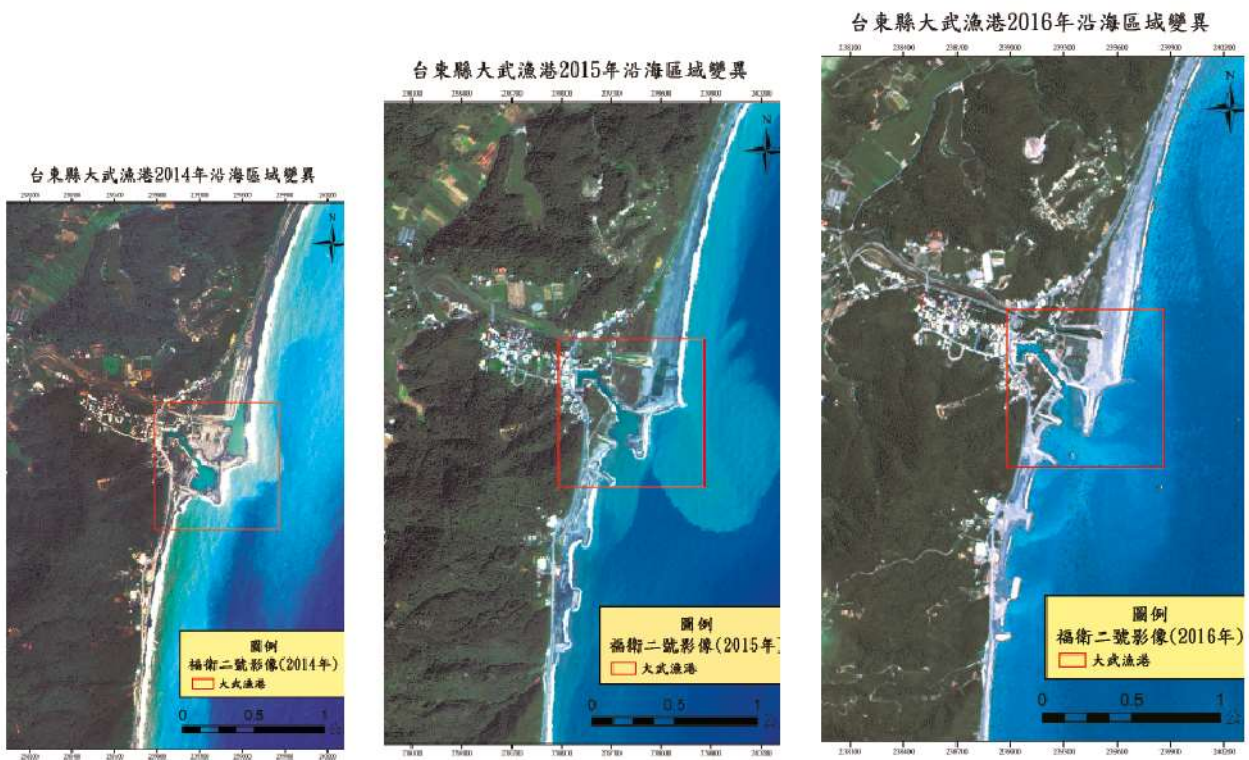
證明人工養灘禁得起風雨的考驗，確實保障居民生命財產及行車安全。然而，人工養灘屬於柔性工法，所以養灘在東部多變的海象條件作用下，難以永遠保持恆一剖面，更需大家用心定期地加以維護，才能保有美麗的濱海景觀，讓海岸生機更加綿延。



移山倒海風華再現



照0-16 北側養灘成果



精衛填海

訪談時任高南

工程處副

處長

蘇

文崎

公路總局進行台9線南迴公路拓寬改善後續計畫評估時，注意到每年解決颱風沖刷海岸線的成效有限，海岸線若繼續退縮，在南迴公路拓寬改道完成以後，退縮的海岸終究會侵蝕到公路腳下的土方或基礎，損及公路的使用。另一方面，興建草埔森永隧道預計會開鑿出大約100萬立方公尺的多餘土石方。一邊的海岸土石流失，另一邊的開山隧道挖出多餘土石，此一多一少之間有沒有截長補短的方法，將隧道的土方就近「養灘」補土？於是，公路總局第三養護工程處便委託中山大學與日本的學術單位，共同研究出有別於以往單純防止掏刷的保護方式，改以興建2道突堤和4座離岸堤，降緩海浪進入沙灘的能量。

天色未必長藍，太平洋的海浪卻未曾停歇，尤其當東北季風來襲時，3到5公尺高的海浪不分晝夜、日復一日地撲打海岸，如此不利的條件，應該如何養灘、構築突堤？在眾多專業工程師的集思廣益和沙盤推演下，克服了機具和人員受長浪襲捲的風險。但是，還沒來得及慶幸搶灘成功，眼下剛剛堆填的土石立刻就被摧毀！更令人無法置信的是施工便道也被沖得片甲不回，猶如在絕境中補上臨門一腳。

不可能的任務令人感到挫折，卻留下除錯的學習模式。

高南工程處副處長蘇文崎排除了行不通的選項：施工便橋有成本的考量，海域的深度也過淺，又無法固定船隻做為平台，也沒有替代養灘的方案。

在長期觀測潮水後，決定與大自然爭取零碎的時間，以精衛填海的精神，利用退潮空檔趕工興築岸堤，潮水上升便收工撤離，如此一點點聚土成堤；海底施工要由潛水夫下海將不織布固定，當水溫很低時，人員在施作上非常吃力，而夏天焚風來襲時，氣溫高達38°到40°，大自然的運行使施工人員辛苦萬分；隧道產出的土石方需要配合環評的限制，避開上下班時間或週末運送，交錯的限制增加施工的困難。

蘇文崎回想起漫長的過程中夾雜著各種難關與艱辛時，感到榮幸能和眾多工程人員一起甘苦患難，在挑戰來臨時發揮創意、研究和不懈努力，最終克服困難、完成使命。

愛迪生曾說：「沒有一種具有真正價值的東西，可以不經過艱苦辛勤的勞動而得。」即使在養灘計畫的過程遇到許多的挑戰，**蘇文崎仍樂觀的表示：「保持一顆學習的心，使自己不斷的成長；每當完成一件困難的工作後會發現，你已準備好迎接下一個挑戰。」**



Chapter 9

安不忘危 感控防災

科技通訊即時應變，防堵攔災悠遊向前。



9.1 用高科技做好完全的防護

隧道就像是任意門，讓阻隔的兩地互通有無；穿梭其間，讓通勤的車程不再漫長。然而，隧道雖然帶來了便利，它的幽暗、封閉也相對使危險性增加，隧道內的溫度、通風、電力等任何一個環節出錯，都可能釀成嚴重災害，即使是發生一起小車禍，都有可能因車流堵塞影響救援。因此，長達4.6公里的甲級隧道——草埔森永隧道於規劃設計時，便特別重視安全防護措施。

隧道安全防護設施包括：消防、通風及空調、電力及照明、消防與火警偵側、監控、監視與廣播系統，以及交控這七種系統設備，為隧道壽命及行車安全增添保障。當中設置有高規格的安全逃生設計與防護設施，消防及通風系統也使用高科技的防災工程，當火警意外發生時，能把握黃金救援時刻，快速排除隧道內的煙霧，並降低現場溫度，以縮短後續的救災時間，提升救災應變效率。





照0-01 水霧設備自動閥



照0-02 模擬隧道火災之演練



照0-03 水霧消防系統噴灑測試

消防系統

(一)、水霧消防系統：

隧道內每5公尺就設置一組水霧噴頭，再以每50公尺為區間，設置水霧滅火分區的高規格設計，可以透過隧道光纖偵溫系統自動啟動，或現場人員人工啟動。藉由水霧功能達到控制火勢、冷卻、降溫，營造可搶救的環境，避免火勢擴大造成更大危害。

(二)、消防栓箱：

草埔森永隧道內每隔50公尺設置一組消防栓箱，其中第一個消防栓，設於隧道口25公尺處。消防栓箱內備有：消防栓、滅火器、緊急電源插座及手動報警裝置，以利緊急應變使用。



照0-04 消防箱封板檢修



照0-05 隧道噴流式風機施工



照0-06 隧道噴流式風機施工



照0-07 消防管路施作情形

複合式點排通風系統

在通風空調方面，草埔森永隧道使用新科技「複合式點排通風系統」，在隧道上方之通風管道安裝6台噴流式排煙系統，並於隧道進、出口區的通風機段各安裝6台縱流式通風系統，來達到維持隧道內空氣品質與能見度之效果，維持行車安全及品質。複合式點排通風系統的啟動時機如下：

(一)、正常模式：

僅啟動噴流式風機，採時序控制。

(二)、塞車模式：

偵測到隧道內的一氧化碳、煙塵及氮氧化物之

濃度，超過安全設定值時會啟動通風系統，由上方管道將廢氣吸入後，再由隧道機房排出。

(三)、緊急模式：

隧道內每350公尺設置一道排煙口，每組排煙口有4道風門。火災發生時，開啟隧道上方的防火排煙風門，讓煙流能快速被吸入通風管道內，再透過豎井機房軸流風機排至戶外，並將新鮮空氣由隧道口引入，避免濃煙阻礙用路人逃生。當火災發生在隧道入口500公尺之後，噴流式風機將往隧道送風，並開啟下游處的第一個排煙風門進行排煙；若火災發生在出隧道前500公尺，則噴流式風機會將隧道氣流以縱流方式排出隧道外。

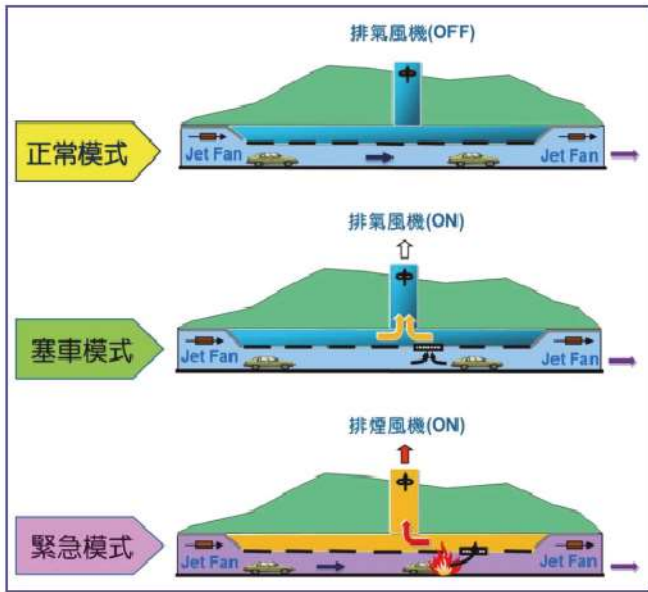


圖0-01 正常、塞車與緊急通風排煙模式



照0-08 隧道照明燈具檢修

電力及照明設備

草埔森永隧道座落於人煙稀少的地方，當地電線設備本來就不多，為了確保隧道內的電力無虞，而採用雙迴路電力系統來因應基本的電力需求與備援用途。若備用電力也中斷，則豎井機房內安裝的兩部1,600仟瓦的緊急柴油發電機，可做為意外停電時，提供隧道排煙、緊急照明等重要設備的電力需求，持續滿載供電8小時。

隧道內、外的光線反差很大，可能會讓用路人瞬間視線模糊，影響行車安全。基本照明能依



照0-09 消防管路施作情形

「輝度計」所偵測到的照度對比，在入口處、漸變區、出口處等區域，提供不同的照明亮度，提供用路人舒適又安全的光源。

消防與火警偵測系統

透過火警探測器偵測或用路人手動按鈕通報，火警受信總機會將火災訊息及位置等訊息，通報隧道監控系統，有助於即時展開緊急應變行動。

監控系統

隧道營運單位可透過電腦顯示器及大型螢幕，掌握隧道系統的運轉狀況，藉由光纖網路，從各子系統監控站將各項設施的運轉狀況，即時上傳到安朔交控中心，以利即時應變處置。





照0-11 CCTV影像調整



照0-10 安朔交控中心設備測試



照0-12 草埔森永隧道北上車道管制號誌(LCS)支架安裝施工作業

監視及廣播系統

隧道內的狀況都在監控系統下無所遁形，以利安控中心全面掌握，並即時處置突發狀況。發生緊急事故時，可以立即播送路況訊息，提供用路人採取應變逃生措施，對用路人而言，車流量及車速等訊息，亦有助於行車時參考。

交控系統

緊急事故發生時，可以藉由資訊可變標誌系統、限速可變標誌系統，以及車道管制號誌，告知用路人應如何配合，將事故影響控制到最小。

9.2 萬無一失的避難設施

隧道內規劃完善的避難安全設施，有助於提升行車安全及順暢。當行駛過程中發生緊急狀況，民眾或相關人員可藉此進行安全避難及疏散，以提高應變性並達成運輸安全服務。

草埔森永隧道的安全避難設施包括：

1. 人行連絡通道：每間隔350公尺設置1座人行連絡道，發生緊急事故時，人員可經由這10座人行連絡道，通往隧道另一側進行避難或疏散。
2. 車行連絡道：每間隔1,400公尺設置一處車行連絡道，共設有3座，緊急事故時車輛可藉由這3座車行連絡通道進行疏散，也可供人員避難疏散使用。
3. 緊急停車彎：車行連絡通道的另一側設置緊急停車彎，提供車輛故障、緊急停車或避車時停靠，維護行車安全及順暢。
4. 隧道口迴轉道：隧道洞口前的路堤段或橋梁段所設置的迴轉道，可於發生緊急事故時提供車輛調頭疏散，以免阻礙交通造成塞車。



照0-13 人行聯絡道



照0-14 緊急停車彎

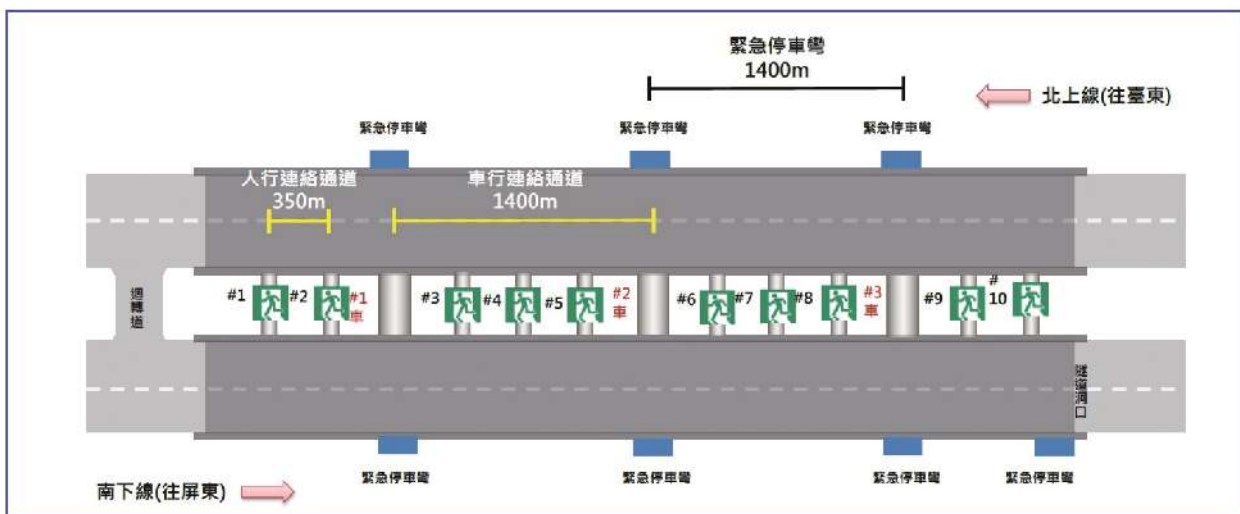


圖0-02 隧道安全避難設施示意圖



照0-15 安朔交控中心

9.3 用智慧掌握交通

安朔交控中心位於臺東縣達仁鄉，台9線南下443.5K處，負責安朔至草埔路段的交通管理、路況監控、交控及機電操控等。透過導入「事件反應偵測系統 (IID)」及監視器緊盯路況，一旦發生火災、壅塞、事故或車道阻斷等事件時，經由IID自動分析判讀，疑似異常或事故地點的影像，就會傳回安朔交控中心，以利後續進行車流導引、疏導用路人、初期滅火、災情勘查回報，及緊急狀況時的遠端應變運作。交控中心藉由科技及人工智慧，在第一時間掌握路段事件，以達到有效控制、維持路段順暢，此為整體防救災計畫的行動中樞。

交控中心平日任務為例行性及經常性的養護與管理工作，進行隧道設施、設備巡視抽檢。遇緊急災害事件時須與地方之消防單位、警察單位與交通管理單位合作，以迅速有效的排除狀況，恢復正常運作，為隧道安全帶來更多的保障。



照0-16 隧道洞口迴轉道

隧道內事件自動偵測系統

過去透過遠端螢幕監控，發現隧道路面出現不明物體時，通常需親自抵達現場查看才能完全掌握狀況。草埔森永隧道則是採用精密的監測系統，隨時密切注意路況，再搭配23套軟體，結合電腦及人工智慧運算分析即時資訊，全面掌控隧道內的大小事，只要隧道內出現任何的狀況，安朔交控中心就可以在最短的時間內應變，守護隧道安全。

1、停等

當車輛於偵測區域內停留超過系統設定時間，且車輛大小占畫面長寬各達8%以上，系統會在發生後10秒內提出警告。

2、行人偵測

行人若於隧道內的人行步道連續行走60公尺，且人體大小占畫面長寬各達8%以上面



積，系統會於狀況發生後10秒內提出警告。

3、散落物

當有散落物出現在偵測區域內超過系統設定時間，且散落物的大小占畫面長寬各達8%以上，其色差24bit(RGB)差異值達到450萬以上之色階時，系統會於事件發生後10秒內提出警告。



圖0-03 系統提出車輛停等警告



圖0-04 系統偵測到行人並提出警告



圖0-05 系統偵測到散落物並提出警告

4、逆行車輛

車輛於偵測區域內連續逆向行駛80公尺，且車輛大小占畫面長寬各達8%以上，其色差24bit RGB差異值達到450萬以上之色階時，系統會於事件發生後10秒內提出警告。

5、能見度（煙霧）偵測

煙霧大小占畫面50%以上，或路面道路標線之能見度連續低於設定值時，系統會在事件發生後60秒內提出警告。



圖0-06 系統偵測到散落物並提出警告



圖0-07 系統偵測能見度低於設定值並提出警告

保持樂觀沒有難關

訪談台灣世曦安
朔至草埔段
監造經理
廖
嘉安

達爾文曾說：「樂觀是希望的明燈，它指引著你從危險峽谷中步向坦途，使你得到新的生命、新的希望，支持著你的理想永不泯滅。」在充滿艱辛、挑戰的交通工程裡，難免會有感到挫折、無力的時候，這時，支持著所有工程人員不斷向前邁進，堅守信念、使命的關鍵，莫過於「樂觀」二字。

「隨時保持樂觀」廖嘉安語氣沉穩、笑容堅定的分享他的人生哲學，這樣淡定微笑的背後，是幾十年工程經歷所累積、無數難關所錘鍊而出的自信。回想初來乍到時，這裡是個連自強號都不願意停靠的地方。交通不便、地處偏遠、生活機能不足，這樣的環境總讓人一開始難以適應，主管還安慰他，如果有其他適合的人選，就會把他調回公司，坐在辦公室裡做工程設計的工作。廖經理莞爾一笑表示：「沒想到這個人七年來都沒有出現！」

由於工區的地質破碎且含水量豐富，在隧道開挖與橋梁的井式基礎階段曾遭遇36次的隧道抽坍，以及湧水量超乎預期的情形，在在打破廖嘉安在隧道監造的紀錄。回想起大大小小的抽坍事件及各種突發意外，廖嘉安從心跳加速到沉著指示現場：「開挖後採用的支撐要保守、岩栓的效果也要打折。」他的心性與應變能力不斷的提升。數年光陰轉瞬而過，廖嘉安謙虛的表示：「其實回過頭看，能參與國家這麼重要的工程是我的榮幸，也是人生彌足珍貴的閱歷。」即使已經累積這麼多的實務經驗，但七年來面臨的每一次難關與挑戰，過程無不艱辛最終仍然使命必達，成為廖嘉安不斷超越自己的成長養分，這也讓他更加確信「隨時保持樂觀，就沒有過不了的難關」，廖嘉安期許所有工作人員在遇到挫折或挑戰時，不要陷入自怨自憐，適時調整心態，必定能看見雨過天晴後，那片動人的陽光。



照0-17 台9線草埔森永隧道榮獲106年度金安獎優等獎



照0-18 草埔森永隧道榮獲107年度金質獎土木類特優獎項




照0-19 台9線草埔森永隧道通車前第1次安全諮詢會議



照0-20 台9線草埔森永隧道通車前第2次安全諮詢會議



照0-21 台9線草埔森永隧道通車前第4次安全諮詢會議後合影



Chapter 10

前程似錦乘風暢行

一日千里南迴花東，煥然一新快樂前行。



108年12月1日，晨曦微微亮著，空氣中瀰漫著雨後的清新，在安朔至草埔路段上，展開了一場空前絕後的路跑活動，就像是為台9線南迴公路全線通車，提前舉辦的慶生會。七千多名跑者呼吸著山林間沁涼的空氣，奔跑在藏橋於林的安朔高架橋上，一面揮汗享受運動的暢快；一面欣賞連綿的瑰麗山川，再一鼓作氣的衝進隧道，奔向前方光亮處。隨著跑者的腳步安全且踏實地前進，台灣的交通也隨之開啟了新的一頁。



照0-01 這場路跑像是歡慶台9線南迴公路全線通車的慶典

前程似錦乘風揚行



照0-02 台9線南迴海側路段與海景



照0-03 僅此一次的南迴公路路跑活動

照0-04 七千多位跑友邊跑邊驚嘆沿途的景致





煥然一新快樂前行

照0-06 台9線南迴公路拓寬改善後續計畫完工通車



照0-05 台9南迴公路路跑圓滿落幕



「是什麼原因想讓你來參加這次路跑活動？」

「因為一生只能跑這一次啊！」這樣的體驗對跑友們來說彌足珍貴。

若問起築路人：「是什麼原因讓你想參與這次的工程？」「因為，一生就只有這麼一次機會啊！」這會是每位築路人心底的聲音。

有許多參與此計畫的幕後人物和故事，未能被編撰於此書。在靠近曙光的這九年，他們在各種壓力與考驗之下，不曾削減使命必達的毅

力；在突破每一個難關之後，總是正面迎接下一個待解的難題。他們的故事不盡相同，不過這些工程的淬鍊與經驗，已經成為他們共同的歷史，也會傳承給更多的人。台9線南迴公路拓寬改善後續計畫的完成，確實拉近了臺東與屏東兩地的距離，大幅改善了交通安全、提升救災醫療品質並帶動地方觀光經濟。築路人將暫別這群山林和海洋，繼續踩著穩健的腳步，邁向下一個標竿直跑，前方的道路，也將如同黎明的光，越照越明。

獲獎紀錄

- 102年 交通部環評追蹤考核第2名
- 103年 103年度交通工程環評考核第一名 (安朔至草埔段)
- 103年 屏東環保貢獻獎
- 104年 台東環保優良獎
- 105年 台東環保優良獎
- 105年 105年度金質獎佳作 (金崙大橋)
- 106年 106年度金安獎優等獎 (草埔森永隧道)
- 106年 交通部環評追蹤考核第2名
- 107年 107年度金質獎土木類特優獎 (草埔森永隧道)
- 108年 安朔高架橋路段碳足跡查證證明書接證

照片目錄

照0-01 臺東海岸日出景色	13
照0-02 臺東海岸線景色	14
照1-02 台9線南迴路段依山傍海	17
照1-01 台9線南迴路段沿海景色	17
照1-03 奇蘭金崙段沿高聳山壁迂回而行	18
照1-04 道路改善前金崙街道塞車情形	18
照1-05 香金2號橋橋台指設費景	19
照1-06 香金2號橋鋼筋架吊裝作業	20
照1-07 「外環道截彎取直」	21
照1-08 半半施工	22
照1-09 第一階段先行海側拓寬工程	23
照1-10 多良高架橋橋墩防浪牆消波塊	24
照1-11 多良高架橋施工過程	24
照1-12 香金2號橋截彎取直通車現況	24
照1-13 香金1號橋截彎取直通車現況	24
照1-14 香金1至2號橋通車費景	24
照1-15 香金4號橋完工通車費景	24
照1-16 多良高架橋	27
照1-17 金崙村180°環景	29
照1-19 金崙大橋通車村落交通順暢	30
照1-18 金崙大橋完工費景	30
照1-20 金崙大橋施工過程	30
照1-21 溪水暴漲侵襲施工中的金崙大橋	31
照1-22 金崙大橋緊鄰海岸	31
照1-23 寶茂山遺址搶救	33
照1-25 金崙車站	33
照1-24 金崙車站與金崙大橋	33
照1-27 遊客可搭乘火車或駕車至金崙	33
照1-26 夜空中金崙大橋	33
照1-28 金崙大橋紓解車流提昇觀光效益	34
照2-01 台9線好似山巒間的腰帶	38
照2-02 截彎取直的新大島橋	39
照2-03 大竹高橋土方暫置場	40
照2-04 金崙至大島拓寬路段	40
照2-05 既有多良橋海側橋拆除	41
照2-06 全套管基樁施作	41
照2-07 A1橋台施作	41
照2-08 預力架施作	41
照2-09 帽梁施作	41
照2-10 預力架吊梁	41
照2-11 橋面板澆置	41
照2-12 橋欄杆安裝	41
照2-13 瀝青混凝土鋪築	41
照2-14 加津林路段完工通車	42
照2-15 大島段擋土牆懸臂板施工	43
照2-16 防浪牆牆頂鋼筋綁紮	43
照2-17 防浪牆基礎模板施工	44
照2-18 防浪牆完工景	44
照2-19 擋土牆施作緊鄰太平洋	45
照2-20 明隧道地梁組模	46
照2-21 明隧道頂板組模	46
照2-22 明隧道頂板澆置	46
照2-23 明隧道支撐架組設	46
照2-24 明隧道頂板養護	46
照2-25 明隧道柱鋼筋綁紮	46
照2-26 造型模板外觀	46
照2-27 明隧道拓寬完工	47
照2-28 明隧道完工通車費景	47
照2-29 富山橋通車費景	48
照2-30 富山橋橋墩基礎鋼筋綁紮	49
照2-31 富山橋橋台模板組立	49
照2-32 富山橋帽梁支撐組立	49

照2-33 富山橋預埋梁吊放	49
照2-34 多良海側橋完工景	50
照2-35 瀨橋完工景	51
照2-36 加津林橋完工費景	51
照2-37 新加津林橋完工費景	52
照2-38 大島段將兩個連續彎道截彎取直	52
照2-39 瀨橋施作完成	53
照2-40 新大島橋及橋樑	55
照2-41 打設型鋼保護既有台9線	55
照2-42 挖土機在有限的空間下開挖	55
照2-43 橋樑橋樑施作	55
照2-44 以橋樑方式拓寬為四線道	56
照2-45 橋樑與邊坡完工	57
照2-46 橋樑海側道土型鋼管擴引孔	57
照2-47 橋樑橋面澆置	57
照3-01 安朔高架路段鳥瞰	60
照3-02 安朔高架橋下五福谷溪河谷	62
照3-04 行駛在安朔高架橋上	63
照3-03 竹削護基工法運用在斜坡上	63
照3-05 採24小時全龍工班施作	64
照3-06 安朔高架橋橋墩基礎工法	65
照3-07 安朔高架橋在山中流暢延伸	65
照3-08 安朔高架橋完工景	67
照3-09 全套管基樁1：整地放樣	68
照3-10 全套管基樁2：搖管機定位	69
照3-11 全套管基樁3：鑽掘作業	69
照3-12 全套管基樁4：超音波檢測	69
照3-13 全套管基樁5：紀錄紙	69
照3-14 全套管基樁6：取出管內土石	69
照3-16 全套管基樁8：特密管吊放	70
照3-17 全套管基樁9：澆置混凝土	70
照3-18 全套管基樁10：鋼管管拔出	70
照3-15 全套管基樁7：鋼筋籠吊放	70
照3-19 安朔高架橋下部結構	71
照3-20 竹削工法施作	73
照3-21 座落於斜坡之竹削工法	74
照3-22 低空仰望高架橋	74
照3-23 竹削護基工法可以保護墩柱基礎	75
照3-24 上環形鋼筋綁紮組立	75
照3-25 竹削第二階段開挖與噴霧土作業	75
照3-26 上環形梁底部噴霧土	77
照3-27 上環形梁牆身噴霧土	77
照3-30 施築底座環形梁	77
照3-28 上環形梁打設岩柱及灌漿	77
照3-29 垂直向下開挖	77
照3-31 底座環形梁	77
照3-32 井基礎梁鋼筋組立	79
照3-34 安朔溪流域彩色石礫	79
照3-33 井基礎梁澆置	79
照3-35 井基礎開挖並架設支撐及鋼線網	80
照3-36 噴霧土進行壁面保護	80
照3-38 井基礎板鋼筋組立作業	80
照3-39 井基礎板澆置	80
照3-41 井基礎板墩柱鋼筋綁紮	80
照3-42 井基礎備頂及澆置混凝土作業	81
照3-37 井基礎澆置封底	81
照3-40 井基礎中空土方回填	81
照3-43 井基礎完成回填復舊	81
照3-44 井內湧水快	82
照3-45 井基內再次發生大量湧水情形	83
照3-46 井基內部發生土石抽坍的現象	83
照3-47 井基外側出現地面坍塌	83
照3-48 井基外側出現地面坍塌	83
照3-49 井式基礎施工完成	85
照3-50 井基透水環梁尺寸測量	86
照3-51 模板組立以4公尺為一個層層	89
照3-52 施工中的安朔高架橋上部結構	93
照3-53 懸臂工法推進	95
照3-54 懸臂工法：支撐架組立	96
照3-55 懸臂工法：底腹板外模組立	96
照3-56 懸臂工法：底腹板鋼筋組立	97
照3-57 懸臂工法：底腹板澆置	97
照3-58 懸臂工法：預埋件安裝	97
照3-59 懸臂工法：澆置及養護	97
照3-60 懸臂工法：預力套管安裝	97
照3-61 懸臂工法：預力架立	98
照3-62 懸臂工法：工作車組立	98
照3-63 懸臂工法：懸臂節塊澆置	98
照3-64 懸臂工法：閉合節塊澆置	99
照3-65 支撐先進：托架、支撐架架設	100
照3-66 支撐先進：大梁組立	100
照3-67 支撐先進：外模調整	100
照3-68 支撐先進：底腹板澆置	101
照3-69 支撐先進：底腹板澆置	101

照3-70 支撐先進：頂板鋼筋綁紮	102
照3-71 支撐先進：頂板澆置	102
照3-72 支撐先進：預力架拉、養管灌漿	102
照3-73 支撐先進：主梁下降除模	102
照3-74 支撐先進：鋼架推進	102
照3-75 場邊逐跨工法	103
照3-76 安朔高架橋多孔隙瀝青	104
照3-77 安朔高架橋路面工程	105
照3-78 安朔高架橋路面鋪築	105
照3-79 草埔森永隧道的豎井	109
照3-80 豎井井口開挖	109
照3-81 豎井橫坑頂拱鋼筋綁紮	109
照3-82 豎井坑底集水井模板組立	109
照3-83 豎井鋼架架設組裝	109
照3-84 地質探測特寫	111
照3-85 電探與資料集錄	112
照3-86 地電阻影象測線佈設	112
照3-87 地電阻影象測線佈設	112
照3-88 地電阻影象資料集錄	112
照3-89 地電阻影象資料集錄2	112
照3-90 地電阻影象測線佈設	112
照3-91 南口北上T235穿孔鑽孔	117
照3-92 北口南下線第43輪填填作藥	117
照3-93 出渣作業	118
照3-94 土石運出隧道	118
照3-95 鋪設鋼線網	119
照3-96 北口北上線台階支撐組立	119
照3-97 南口南下線第86輪噴霧土施工	119
照3-98 南口南下線第96輪噴霧土施工	120
照3-99 北口北上線台階開挖岩柱施作	120
照3-100 岩柱鑽設作業	120
照3-101 明挖段襯砌鋼筋綁紮	121
照3-102 頂拱澆置	121
照3-103 驚人的大量湧水	123
照3-104 排水洩壓	123
照3-105 大量湧水	124
照3-106 大範圍抽坍	125
照3-107 湧水及排水洩壓	125
照3-108 南口南下線第86輪噴霧土施工	129
照3-109 南口北上線大梁架設	129
照3-110 豎井V型量水堰量測	129
照3-111 北口汙水廠清淤	129
照3-112 採24小時全龍工班施作	129
照3-113 草埔森永隧道抽坍景象	131
照3-114 北口南下線T624管電打設	133
照3-115 抽坍處管電打設	134
照3-116 北上線全線貫通典禮	134
照4-01 海測下埔壩土護坡費景	137
照4-02 H型鋼擋土支撐	138
照4-03 H型鋼打設	139
照4-04 格框鋪設裝型網及鋼筋	140
照4-05 格框鋼筋打設	140
照4-06 格框植草	141
照4-07 格框噴漿	141
照4-08 海測邊坡植草	141
照4-10 第二層向下開挖預留基礎位置	142
照4-09 開挖後進行表面噴漿固定牆面	142
照4-11 岩柱穩定坡面	143
照4-12 岩柱澆置	143
照4-13 鋼筋綁紮後預埋岩PVC管	143
照4-14 岩柱牆地鋪打設	143
照4-15 放置套管及持續引孔	144
照4-16 置入型鋼	145
照4-17 放入型鋼後，進行地錨打設	145
照4-18 機具定位引孔，準備放置套管	145
照4-19 空載光面帶插成果	147
照4-20 空載光面帶插成果	147
照4-21 高潛剪岩鑽機滑動形貌	150
照4-22 無人載具側拍驗證	150
照5-01 台9南迴濱海環場全景	153
照5-02 在海天一色的台9南迴	153
照5-03 金崙大橋的入口意象	154
照5-04 台9南迴公路線型	155
照5-05 金崙大橋晨曦時分費景	155
照5-07 排灣族的太陽图腾	156
照5-06 大溪明隧道	156
照5-08 以嵌燈柱對山林的完整性	157
照5-09 使用間接照明避免影響生態	157
照5-10 安朔高架橋下的彩色礫石	157
照5-11 保安林棲地復育範圍	158
照5-11 保安林棲地復育成效	158
照6-01 環雅類公鳥鸚鵡的身影	160

照6-02 追蹤預推活動	160
照6-03 安朔國小監測空氣品質	161
照6-04 草埔國小監測空氣品質	161
照6-05 噪音震動監測情形	161
照6-06 地面水質監測採樣	162
照6-07 放流水質監測採樣	162
照6-08 交通流量監測作業	163
照6-09 領角鴉	164
照6-10 台灣野牡丹藤移植過程	165
照6-11 台灣野牡丹藤	165
照6-12 黃腹琉璃	165
照6-13 食蛇龜	165
照6-15 水域生態監測	167
照6-14 環頸雉公鳥	167
照6-16 金崙P3寶茂遺址搶救作業	169
照6-19 TP13探坑出土文物	170
照6-17 寶茂川遺址試掘	170
照6-18 金崙P4寶茂遺址搶救作業	170
照7-02 隧道出土運用於人工養雞	174
照7-01 運用會建自動化來減低碳排放	175
照7-04 碳排放數據	175
照7-03 安朔高架橋墩柱	175
照7-05 低碳工法	176
照7-06 聚集檢討施工碳排放數據	177
照7-07 記錄施工過程的碳排放量	177
照7-08 記錄混凝土拌合場的碳排放量	177
照7-09 碳足跡查證聲明書接證	178
照7-10 碳足跡查證聲明書接證	178
照7-11 碳足跡查證聲明書	178
照8-01 養雞工程完工實景	181
照8-02 大武漁港南側海岸衛星圖1	182
照8-03 大武漁港南側海岸衛星圖2	182
照8-05 填築150公尺的堤心石	183
照8-06 施作過程伴隨著海水的衝擊	183
照8-04 吊排15噸的消波塊	183
照8-07 北突堤修坡	184
照8-08 北離岸堤左側推進	184
照8-09 消波塊拋放	184
照8-10 北離岸堤消波塊吊排	184
照8-12 南突堤心石填築施工(便道)	185
照8-14 北突堤吊排完成	185
照8-11 海浪撲打下拋放南突堤之堤心石	185
照8-13 養雞-消波塊施作	185
照8-15 南側養雞成果	186
照8-16 北側養雞成果	187
照9-01 水霧設備自動開	191
照9-02 模擬隧道火災之演練	191
照9-03 水霧消防系統噴灑測試	191
照9-04 消防箱封板檢修	191
照9-05 隧道噴流式風機施工	192
照9-06 隧道噴流式風機施工	192
照9-07 消防管路施作情形	192
照9-08 隧道照明燈具檢修	193
照9-09 消防管路施作情形	193
照9-11 CCTV影像調整	194
照9-12 草埔森永隧道管制號誌	194
照9-10 安朔交控中心設備測試	194
照9-13 人行聯絡道	195
照9-14 緊急停車警	195
照9-15 安朔交控中心	196
照9-16 隧道洞口迴轉道	196
照9-17 草埔森永隧道榮獲金安獎	200
照9-19 草埔森永隧道安全諮詢1	200
照9-18 草埔森永隧道榮獲金質獎	200
照9-20 草埔森永隧道安全諮詢2	200
照9-21 草埔森永隧道安全諮詢4	200
照10-01 台9線南迴公路全線通車路跑	202
照10-03 僅此一次的南迴公路路跑活動	203
照10-02 台9線南迴海側路跑與海景	203
照10-04 七千多位跑友	203
照10-05 台9南迴公路路跑圓滿落幕	204
照10-06 完工通車	204

表目錄

表3-01 基礎型式一覽表	68
表3-02 傳統施工方式周期	90
表3-03 預組式施工周期	90
表3-04 高墩柱工法勞工安全困難與對策	91

表3-05 懸臂工法的施工流程	96
表3-06 支撐先進工法的施工流程	101
表3-07 新奧工法流程	116
表4-01 山崩分類表	148
表4-02 各歷史災害類型統計圖餅圖	149
表6-01 生態監測策略	164
表6-02 環頸雉族群調查數量	167

圖目錄

圖1-01 香蘭-金崙施工位置圖	16
圖1-01 香蘭-金崙施工位置圖	16
圖2-01 金崙-大島施工位置圖	38
圖2-03 防浪牆示意	43
圖2-02 懸臂式基樁擋土牆示意	43
圖3-01 安朔-草埔工程位置圖	61
圖3-02 井式基礎透水環斷面圖	87
圖3-03 新奧工法與傳統工法差異	108
圖3-04 豎井位置	108
圖3-05 TSP震波探測成果圖	111
圖3-06 碳查成果與異常狀況比對	113
圖3-07 光達拼接圖	113
圖3-08 地質平面圖	116
圖3-09 遠排近灌之體積灌護示意	127
圖3-10 灌漿孔及排水孔佈置示意	128
圖4-01 災害點位分布與發生次數圖	149
圖6-01 各項監測作業作業地點	168
圖8-01 大武漁港人工養雞場址位置圖	181
圖8-03 養雞工程突堤平面圖	184
圖8-02 突堤標準斷面圖	184
圖9-01 正常、塞車與緊急模式	193
圖9-02 隧道安全避難設施示意圖	195
圖9-03 系統提出車輛停車警告	197
圖9-04 系統偵測1	197
圖9-05 系統偵測2	197
圖9-06 系統偵測3	198
圖9-07 系統偵測4	198

參考文獻

王豐仁、林崇賢(2014): 隧道施工地質調查-以東澳隧道為例。第一屆蘇花改工程技術論壇論文集。臺北市。

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所(2002): 新奧工法。檢自<https://www.ilosh.gov.tw/media/2821/f1402386456138.pdf>

交通部公路總局第三區養護工程處(2010): 台9線南迴公路拓寬改善後續計畫環境影響說明書。

交通部公路總局(2011): 台9線南迴公路拓寬改善後續計畫建設計畫。

交通部公路總局第三區養護工程處(2013): 全套管基樁施工計畫書。台9線412K+350~415K+500間拓寬改善工程(舊樁號426K+680~430K+100)。

交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處(2013): 下部結構施工計畫書。台9線412K+350~415K+500間拓寬改善工程(舊樁號426K+680~430K+100)。

交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處(2014): 場址鑽探與場址工法施工計畫書。台9線412K+350~415K+500間拓寬改善工程(舊樁號426K+680~430K+100)。

交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處(2014): 就地澆置逐跨場址工法施工計畫書。台9線412K+350~415K+500間拓寬改善工程(舊樁號426K+680~430K+100)。

交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處(2014): 自充填混凝土施工計畫書。台9線412K+350~415K+500間拓寬改善工程(舊樁號426K+680~430K+100)。

交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處(2015)

: 基礎及墩柱施工計畫書。台9線南迴公路安朔至草埔段C1橋樑標(0K+000~6K+300)新建工程。

交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處(2016): 台9線安朔草埔段隧道北口南下線7k+200.5湧水事故檢討報告。

交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處(2018): 風險評估報告。台9線408K+140~409K+900(A2-1標)拓寬改善工程(舊樁號412K+840~424K+160)(A2-1標)避坡保護工程。

交通部公路總局(2019): 台9線南迴公路拓寬改善後續計畫草埔隧道事故暨整體防救災應變計畫核定本。

交通部公路總局東西向快速公路高南區工程處: 擋土牆施工計畫書。台9線409K+900~412K+350(舊樁號424K+160~426K+680)間拓寬改善工程(A2-2標)

陳保展、陳志鴻、廖嘉安、沈仕傑、賴再倫、康家銘(2017): 井式基礎施工遭遇大量湧水之影響及解決方案-以台9線南迴拓寬改善工程安朔橋樑標為例。中華技術期刊, 116, 174-183。

基樁工程施工方法簡介: 全套管基樁施工工法。檢自http://www.geotech.org.tw/uploads/JOURNAL-CORRECT_PAGE/5-%E5%85%A8%E5%A5%97%E7%A8%A1%E5%9F%8A%E6%A8%81%E6%96%B-D%E5%B7%A5%E5%B7%A5%E6%B3%95.pdf

楊嘉慧、黃樹輝(2009): 隧道為什麼不會被山壓垮?。科學人雜誌, 086。

葉誌新、吳俊龍、管長青(2010): 橋墩基礎邊坡開挖最小化之施工方法。中華技術期刊, 87(2), 72-82。

隧道管駕工法: 檢自<http://www.continental-engineering.com/TechnicalDetail.php?id=244>

藍維基、蘇文崎、林志權、周坤賢、陳正勳(2015): 台9線南迴公路安朔草埔段隧道工程特殊考量及施工挑戰。中華技術期刊, 105(2), 84-97。

蘇花公路改善工程處: 工程技術百科-隧道篇。檢自<https://suhua.tbh.gov.tw/SubPages/%E5%B7%A5%E7%A8%B8%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%99%BE%E7%A7%691.html>

馮紫良、章曾煥(2015): 新奧法設計施工與管理。中國建築工業出版社。

Hanson, H., & Larson, M. (Eds.). (2001). Coastal Dynamics '01: proceedings of the Fourth Conference on Coastal Dynamics. Reston, VA: ASCE.

靠近曙光，卻離家最遠的那九年：台9線南迴公路拓寬改善後續計畫紀錄專輯

- 發行人 江金璋
- 指導委員 江金璋、陳保展、朱育正、溫宏發
- 審查委員 陳素華、許玉琴、艾澤雄、謝文得、蔡進賢、蔡欣志、林立繁、吳萬聰、沈佳蓉、李怡慧、
蘇美齡、洪敏博、王富生、林秀珍、張方賓、董瑜、高得成、王梅因、吳政基、吳士雄、
紀有政、張財耀、顏俊銘、王冠傑
- 總企劃 滇景圖像多媒體有限公司
- 總編輯 程一軒
- 主編 王人儀
- 設計美編 滇景圖像多媒體有限公司
- 內容核對 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處
台灣世曦工程顧問股份有限公司
根基營造股份有限公司
- 影像授權 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處
台灣世曦工程顧問股份有限公司
亞新工程顧問股份有限公司
根基營造股份有限公司
光順營造股份有限公司
滇景圖像多媒體有限公司
- 出版單位 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處
- 地址 61363 嘉義縣朴子市朴子七路29號5樓
- 電話 (05) 362-8111
- 出版日期 中華民國 109 年 6 月初版
- 定價 新台幣 600 元
- I S B N 978-986-531-167-4
- G P N 1010900894
- 展售門市 國家書店松江門市
104 臺北市松江路209 號1 樓 Tel:02-25180207 www.govbooks.com.tw
五南文化廣場
40043 臺中市綠川東街32 號3 樓 Tel:04-22210237 www.wunan.com.tw

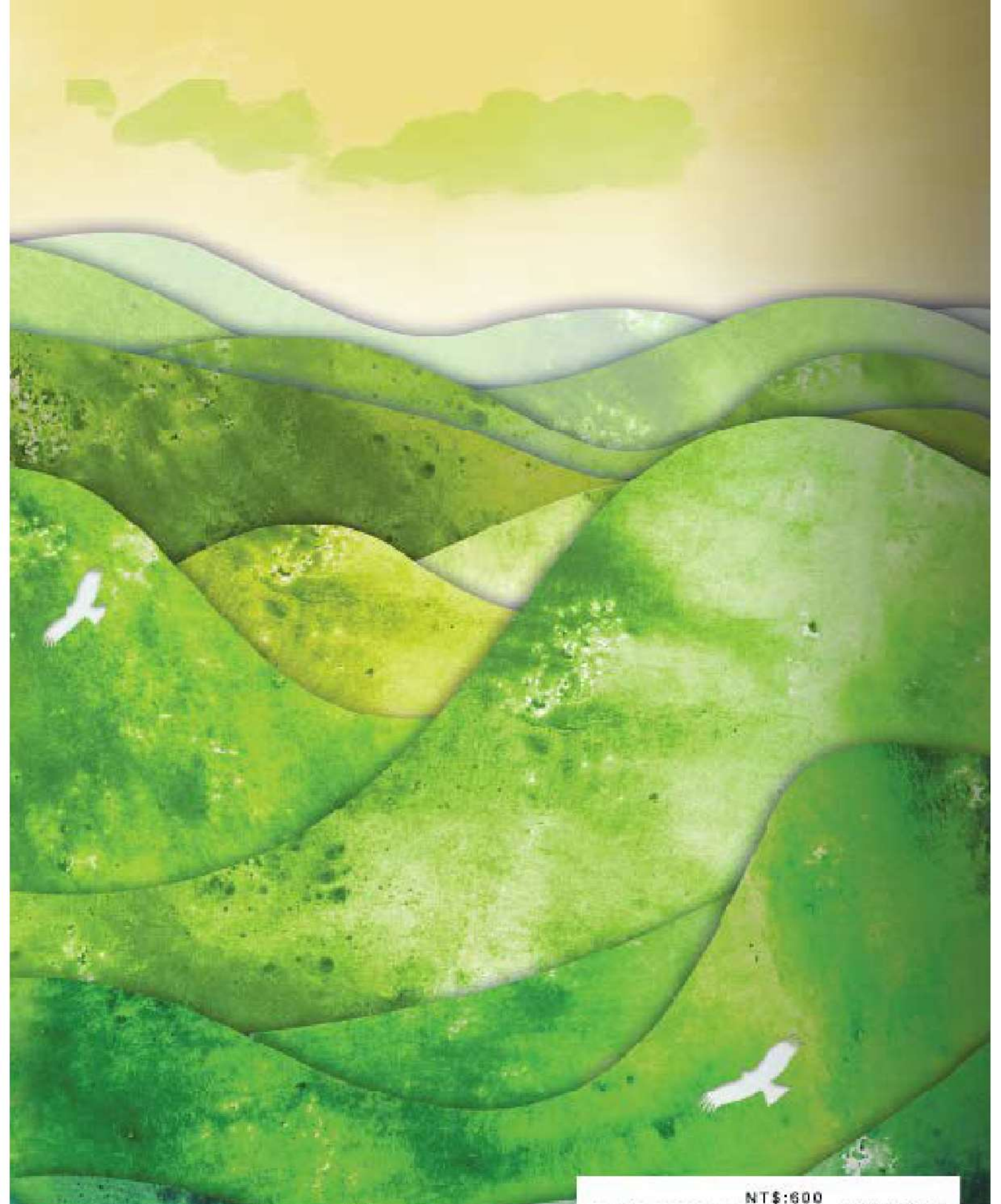
國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

靠近曙光，卻離家最遠的那九年：台9線南迴公路拓寬改善後續計畫紀錄專輯 / 程一軒總編輯。-- 初版。-- 嘉義縣朴子市：交通部公路總局西部濱南工處，民109.06
面；公分
ISBN 978-986-531-167-4(平裝附數位影音光碟)

1.公路工程 2.橋樑工程 3.隧道工程 4.營建管理

442.1

109009026



台9線南迴公路拓寬改善後續計畫紀錄專輯

NT\$:600

ISBN 978-986-531-167-4



GPN:1010900894 (平裝附數位影音光碟)