

# 中 | 華 | 技 | 術 | 141

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2024. 1. 31 出版

## 營建施工安全之 管理與創新



台北郵局許可證  
台北字第3758號

專訪人物／

交通部鐵道局局長楊正君

勞動部職安署南區職業安全衛生中心主任許峯源



鐵路高架化於臨軌作業安全精進創新作為—以嘉義鐵路高架化工程為例  
以關聯式資料庫建立專案時程風險整合式管理系統—以高雄捷運岡山路  
竹延伸線第三階段(RK2)為例

營建施工品質及安全管理之精進作為(以國道8號耐震補強工程為例)

智慧城市的舞台—世界客家博覽會世界館之統包工程營建管理經驗分享

土地開發工程施工安全之創新科技及應用—以臺中市烏日新竹地區區段

徵收工程第三標為例



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製





營建施工安全之  
管理與創新

# CONTENTS

中華技術 141

## 目錄

### 專輯前言

### 1 | 人物專訪

8. 訪交通部鐵道局局長楊正君談「營建施工安全之管理與創新」...  
.....整理：周高生·攝影：詹朝陽

18. 訪勞動部職安署南區職業安全衛生中心主任許峯源談「營建四化」與「科技防災」在營造業施工安全管理之探討.....  
.....整理：陳主文·攝影：詹朝陽

### 2 | 工程論著

26. 鄰近既有鐵路與結構物地下開挖引致之地盤反應.....  
.....洪瀾、柯永彥、李德河、吳建宏



發行人 盧維屏  
發行所 財團法人中華顧問工程司  
地址 台北市辛亥路二段185號28樓  
電話 (02)8732-5567  
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組  
總召集人 施義芳  
副總召集人 廖學瑞  
141期召集人 蕭秋安  
141期審查委員 陳志鴻、莊明哲、鄧建華、林聰能  
黃金田

總編輯 張鈺輝  
副總編輯 李志宏  
執行編輯 袁雅玲  
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨、許舜雅  
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司  
地址 台北市內湖區陽光街323號  
電話 (02)8797-3567  
網址 <http://www.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



### 3 | 專題報導

44. 鐵路高架化於臨軌作業安全精進創新作為—以嘉義鐵路高架化工程為例.....

..... 劉中仁、梁協勝、蘇兆輝、宋瑞君、翁崇期

60. 以關聯式資料庫建立專案時程風險整合式管理系統—以高雄捷運岡山路竹延伸線第二階段(RK2)為例.....

..... 莊明哲、陳懿佐、江明珊、鍾增煌、程怡嘉、戴郁芸

80. 營建施工品質及安全管理之精進作為(以國道8號耐震補強工程為例).....

..... 熊德維、潘小珍、莊明哲、謝政璋、林建志、黃永輝、魏子洋

94. 智慧城市的舞台—世界客家博覽會世界館之統包工程營建管理經驗分享...

..... 呂紹霖、趙士德、林聰能、李晏平、王昶閱

106. 土地開發工程施工安全之創新科技及應用—以臺中市烏日竹地區區段徵收工程第三標為例.....

..... 王耀德、沈雲龍、劉雅容

116. 臨軌深開挖擋土工法補強案例探析—以臺南鐵路地下化工程之連續壁補強為例.....

..... 吳宇宙、廖敏松、何財慶、方至楷、洪建華

140. 市區內跨越鐵路設施拆除之安全維護—以臺南鐵路地下化工程之開元、東門陸橋為例.....

..... 馬良俊、廖敏松、沈仕傑、洪紹璋、吳晉安



162. T3多功能大樓施工中機捷潛盾隧道之保護及隧道內安全監測管控探討.....

..... 黃金田、宋建宏、蕭永偉、賴志昇

188. 蘇花改觀音隧道施工安全管理與防災對策研究.....

..... 黃金田、周高生、吳慶輝

### 編後語



# 專輯前言

營建業雖為傳統產業，但也是各項科技技術工業的基礎建設，台灣營建產業目前大部分還是以勞力密集為主，勞力來源面臨高齡化、少子化，疫情衝擊後對營建人力來源更是短缺，營建施工安全管理，是施工管理者運用經濟、法律、行政、技術等手段，對人、物、環境等管理對象施加影響和控制，排除不安全因素，以達到安全生產目的的活動。要做到施工安全首先就必須辨識工程所存在之風險，減少或降低高風險作業，避免工程發生危害因子，降低人員危害更是目前營建業所需特別注意之課題。營建工程施工過程以創新思維、工法、技術、材料方式來取代傳統做法，除可以有效降低人力需求，並可減少人工作業疏忽所造成風險，高科技時代的來臨帶來很多生活型態的改變，營建工程隨著時代改變，不應該還是勞力密集產業，應改積極導入科技創新產品，使營建產業升級，注重安全，提升產業競爭力。

營建施工安全是工程順利完工的保證，也是營建產業競爭力的來源，勞動部推動金安獎，就是為了激勵優良工程落實安全衛生管理，提升施工安全文化。本公司歷年來極力爭取金安獎，就是體認這個安全施工文化的重要性，落實本公司職業安全政策，以人為本，致力維護職業安全衛生、履行職業安全衛生法規與落實風險評估作業，以達「零職災、永健康」的目標。

政府投資前瞻基礎建設計畫，其中包含安全便捷的軌道運輸系統等重大建設計畫，國內的各工程建設必須用心深入檢討營建工程施工流程，從而提升營建技術水準，從基本去檢討安全施工方式。本公司廣泛參與國內公共工程建設，近期更是參與不少鐵道工程，為了安全建設鐵道工程，本公司蒐集各項鐵路高架及地下工程經驗，借鏡北迴線太魯閣號列車出軌事故經驗，全力投入施工安全預防與改善作為。本期主要內容係以鐵路臨軌施工相關經驗分享，提供各方先進參考。

本期中華技術以「營建施工安全之管理與創新」為主題，鐵道工程臨軌施工的複雜度及風險相當高，因此專訪鐵道局楊正君局長，以推動鐵路施工安全為主軸，在「安全」和「品質」的前提下，分享近年來推動科技創新作為的心得，以及對設計、監造的期許，以提高鐵道施工與運輸之安全性。同時也專訪職安署南區職業安全衛生中心許峯源主任，暢談有關營建五化『設計標準化、構件預鑄化、施工機械化、人員專業化及減災科技化』，許主任對施工營造技術的期許，希望顧問公司應從工程規劃設計階段就要將營建五化(尤其是科技化)納入考量，於施工階段落實，並以降低工安事件發生率為終極目標。

本期中華技術計有九篇專題報導，以施工安全及風險管理為主軸，以本公司目前及曾經監造施工之大型工程標案為案例，綜整提出相關專題如下：

「**鐵路高架化於臨軌作業安全精進創新作為**」：本文以嘉義市鐵路高架施工為例，說明臨軌工程須考量諸多工程不利因素，於維持既有鐵路列車持續營運情況下，同時面臨工區狹長且周遭住家稠密，土地徵收不易等因素，藉由精進創新作為輔以科技化產品，從施工面、管理面，達到減輕工程之危害。

「**以關聯式資料庫建立專案時程風險整合式管理系統**」：本文以高雄捷運岡山路竹延伸線第二階段工程為實證案例，說明如何進行施工階段整合式風險與時程管理，利用 Microsoft Access(以下簡稱Access)之外部資料庫連結功能，直接讀取P6程式中資料庫，將其資訊系統調整資料結構，使其能夠有效儲存和紀錄風險與時程管理，提供有效的風險資訊傳遞和溝通，並利用資訊與溝通技術智能化特性進行資訊化管理，可作為進一步建置風險評估數據模型，利用機器學習及AI技術，將工作項目自動分配風險因子，達成風險評估智能化目標，利用上列資訊化工具執行專案管理與監造作業，提升風險管理、時程管理作業效率並節省技術人力資源。



# 專輯前言

「營建施工品質及安全管理之精進作為」：以國道8號耐震補強工程為例，該工程係因規範修訂致原橋耐震能力不足，採用最新耐震設計(2019)理念，採調整支承系統及增樁擴基的方式補強，施工團隊研發「橋梁變位全自動監測系統」，由傳統人工監測，提升至自動傳輸位移警示監測系統(警戒資訊IoT即時傳輸)，除保障用路人之行車安全，更確保施工環境安全，導入先進遙測技術，結合空間大數據建置「國土安全監測平台」，透過長期性的監測及資訊整合分析，達到平時趨吉避凶、災時逢凶化吉，防範災害於未然，成功提升國家防災技術量能。

「智慧城市的舞台--世界客家博覽會世界館統包工程營建管理經驗分享」：配合業主桃園市政府推動舉辦國際級的「世界客家博覽會」要求，從統包發包到施工於18個月內完成，其中6個月辦理規劃設計，實際施工工期為12個月，期間遭遇Covid-19疫情，營建市場正值原物料缺乏、工人匱缺之時期，說明如何透過進度管理手段，積極配合業主，督導統包商從設計端開始到施工端進行趨趕，順利如期完成。

「土地開發工程施工安全之創新科技及應用」：本文以「臺中市烏日前竹地區區段徵收工程第三標」為例，說明如何在大面積開闢工區範圍內，執行工程施工安全性和工作環境的品質管控，工地現場結合人臉辨識系統，告知作業勞工每日施工項目之危害，並且透過科技監控物聯網系統，針對局限空間高風險作業，建立AI自動監控電子化科技產品輔助人員監控死角，致力達成零災害、零事故的目標。

「臨軌深開挖擋土工法補強案例探析」：以台南鐵路地下化工程之連續壁補強為例，深入探討地下工程連續壁施工，在面臨橫交鐵路之平交道、既有橫跨鐵路之高架橋、穿越鐵路之地下道，及自來水、汙水、電力等大型無法採臨時遷移處理之重要民生維生管線，如何在臨軌施工不影響鐵路營

運，兼顧民生設施原使用功能狀況下所採用之補強工法，順利完成深開挖基礎施工。

「市區內跨越鐵路設施拆除之安全維護」：以臺南鐵路地下化工程之開元、東門陸橋為例，因拆除作業特性屬跨軌段高風險作業，本文介紹監造及廠商如何辦理施工安全風險評估，辨識潛在之危害類型，再經由危害分析，研判可能產生之施工危害項目、危害來源、主要影響，擬訂危害預防之減輕措施方案，妥善規劃作業流程，以降低本施工風險，使工程順利進行，達到「零事故」之目標。

「T3多功能大樓施工中機捷潛盾隧道之保護及隧道內安全監測管控探討」：第三航廈主體航廈建築結構體採地下3層、地面3樓之鋼構及鋼筋混凝土結構，施工中結構下方同時存在營運中機場捷運，本文說明地下結構施工如何避免影響捷運正常運行，如何透過即時安全監測與工法改善，確保捷運運行安全無虞。

「蘇花改觀音隧道施工安全管理與防災對策研究」：本文係以蘇花公路改善工程觀音隧道施工期間，穿越樟樹山斷層、觀音斷層及其破碎帶，開挖面將會遭遇湧水坍方等施工安全問題，為降低施工風險需進行高風險作業項目管制，採用預先探查，預擬風險應變作為及遭遇抽坍湧水處置方式，使長隧道施工經驗得以傳承，以期做為日後相關隧道施工參考。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style. The signature appears to be "蕭秋安" (Xiao Qiuan). The signature is positioned to the right of the printed name "副總經理".

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪交通部鐵道局局長

楊正君

談

營建施工安全之  
管理與創新

整理：周高生 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

楊正君局長畢業於國立交通大學交通運輸研究所碩士，工程生涯從交通部高速鐵路工程籌備處幫工程司開始，歷任高速鐵路工程局科長、組長、主任秘書、副局長，於民國107年接任鐵道局副局長，並於民國112年9月升任鐵道局局長，在近年國內鐵道工程發展，楊局長扮演了關鍵角色。本刊很榮幸於民國112年11月29日專訪楊局長，與我們暢談他對於營建施工安全，尤其是臨軌鐵路安全維護的看法及經驗分享。

## 貳、訪談紀要

問：鐵道局（含鐵工局時代）及臺鐵局在鐵路工程方面原本的分工為何？在2021年4月臺鐵太魯閣號重大行車事故後，又有哪方面的變革？

答：本局過往主要辦理鐵路立體化、電氣化及雙軌化等改建及新建工程，工程完工及驗收後，經臺鐵局聯合檢查通過及履勘作業後，完成財產移交等程序，交付臺鐵局營運。

而在110年4月2日太魯閣事件後，本局因應交通部政策，代辦臺鐵局邊坡、橋梁、隧道及車站等新建工程項目計24項，兩局分工為本局辦理工程之設計與施工，臺鐵局辦理計畫(或工程)核定前之可行性研究、綜合規劃(環評)等核定事宜，本局各工程分局積極參與

臺鐵規劃階段審查作業，後續接辦設計施工階段，亦將加強施工安全防護設施及工程管理工作，並據以編列發包工程款及發包施工與監造，共同維護鐵路行車安全。

問：在歷經臺鐵太魯閣號重大行車事故後，鐵路臨軌施工安全儼然已成為外界關切焦點。鐵道局過往對新建工程計畫之安全執行不遺餘力，近年更積極推動門禁管制、電子輔助瞭望員、電子圍籬等科技創新作為，能否分享相關推動經驗及心得？

答：「安全」是本局辦理鐵道工程的基本要求，也是本局所有行動及決策的最高準則，為



維護鐵路行車安全，本局積極導入諸多科技創新作為，就是希望藉由這些輔助措施協助現場落實臨軌安全要求。

### 一、發展施工安全管理系統APP

本局工程大部分緊鄰鐵路或在營運路線上施工，相關風險較高之施工項目均於夜間斷電、封鎖後進行施工，並於完成後派員巡檢，為提升施工安全及工程查驗訊息即時傳遞效能，本局開發建置「施工安全管理系統APP」，供施工團隊使用。該系統可讓本局各級管理單位隨時上網掌握施工狀況，除提升工程品質及施工安全，並節省作業時間。

### 二、建置電子化門禁管制(QR code或人臉辨識系統)

為落實施工區域人員及機具進出工區之門禁管理，本局全面要求所轄施工標於施工區出入口建立門禁管制系統(QR code或人臉辨識系統)，經由保全崗哨掃描進入工區人員張貼於安全帽上之QR code或人臉辨識，以確認進入人員是否受過相關職安衛訓練、鐵路電化安全教育訓練、投保勞工保險等資料，符合進場資格，始同意其進入工區，可就施工人員出入狀況進行自動化、資訊化管制，並即時統計合格之進、出場人數，強化施工安全管理資訊化能力。



(左1)陳志鴻資深協理 (左2)蕭秋安副總經理

### 三、設置電子圍籬及電子輔助瞭望員

為臨軌施工安全，由本局及各工程分局所轄臨軌工程標案，集思廣益發想創新作為，如電子圍籬及電子輔助瞭望員等，後續並特別制定「電子圍籬施工規範」及「電子輔助瞭望員系統施工規範」，係經整合臺鐵局及本局意見，主要適用於本局臨軌工程，強化臨軌工區安全措施，並考量各工區特性不盡相同，為切合各工區使用及管理，前述規範作為設置電子



(中左)廖學瑞總經理 (中右)楊正君局長 (右2)何泰源副總經理 (右1)歐文爵協理

圍籬及電子輔助瞭望員系統之參考，各臨軌工程可視工區特性差異檢討加強。

### 1、電子圍籬

係利用架設於工地旁之偵測器，倘有異物越過電子圍籬進入鐵路列車營運空間，偵測器即會發出警示聲響、警示燈號或其他警示方式通知工區人員。主要形式有：拉線式電子圍籬、紅外線電子圍籬、AI辨識電子圍籬，亦有採2種形式併用。

### 2、電子輔助瞭望員系統

將偵測器設置於施工區域前後兩端，當偵測到列車靠近施工區域即發出警示聲響、警示燈號或其他警示方式，通知現場瞭望員、工區內施工人員及工程司指定之其他人員，以提前告警方式，提升施工及鐵路營運安全。以下列舉本局3個標案不同形式相同概念之施作方式。



### (1) CH01標鳳鳴臨時站工程

於工區前後設置毫米波雷達及雷射閘門，並輔以工區現場通報音效之電子輔助瞭望員。

### (2) C212標臺南車站地下化工程

於工程起點架設主動式紅外線傳動裝置，當列車車首通過裝置同時啟動前方廣播喇叭，待列車車尾通過裝置則停止廣播喇叭。

### (3) C611標嘉義計畫鐵路高架橋及橋下平面道路工程

除設置固定式之紅外線偵測電子輔助瞭望員，亦與高雄科技大學鐵道技術中心合作，於該工程興業工區設置定向性可移動式之電子輔助瞭望員。

問：請問您接任局長後，對於後續鐵路施工安全推動是否有更精進想法及期許？

答：本人任職副局長任內就曾指出「鐵道局」是以「鐵道計畫全生命週期」的觀點，並列鐵道建設、營運監理、場站開發、軌道產業為4大願景及業務主軸，未來仍秉持這個理念組建鐵道國家隊，扮演策略引導及資源整合的角色。在鐵道建設方面將持續朝淨零排放、永續經營方向辦理，鐵道局在「安全」和「品質」

的前提下針對各項鐵道建設計畫進行全盤審議，朝系統規格化以形成市場規模，鼓勵國內相關產業發展，如此，更可顯著提升後續維護管理品質，亦即從設計、建造至維運各階段，提高鐵道施工與運輸之安全性。

於擔任局長後，也積極導入工程安全管理系統，於112年9月15日簽署之「安全衛生政策」，闡明「安全」是本局辦理鐵道工程的基本要求，沒有安全我們所有的努力都將化為烏有。本局工程相關決策與行動都應以安全為最高指導原則，並實施有效的安全管理作為。

目前本局已設置「工程安全管理委員會」，由本人為召集人，並邀請鐵路工程、安全管理及職業安全衛生之專家學者為外部委員，以協助本局能落實風險辨識、危害預防，透過PDCA管理循環持續改進，以達成「零災害、零事故」的目標。

問：鐵道局近年對於各新建工程計畫執行人力（業主及監造）編列已出現不對等情況，以三級品管的角度檢視，已有別於一般工程慣例，使得現場安衛及品管工作執行，執行層面業務異常沉重，造成任務推廣無法有效進行。局長對於顧問公司在設計及監造服務部分，能否給予建議及期許，以利顧問公司爾後更精進。



鐵道局對新建工程計畫之安全執行不遺餘力，近年更積極推動門禁管制、電子輔助瞭望員、電子圍籬等科技創新作為。

1  
人物專訪



答：本人自上任後即赴各分局舉行業務座談，也確實瞭解各新建工程計畫執行人力之問題，目前已指示在建工程應朝分輕重緩急方向計畫，有系統的訂定管理作為，高風險項目應用高強度管理，非高風險項目則回歸三級品管制度，回歸各級之權責及責任，以避免角色混淆及減少同仁負擔。臨軌工程作業目前維持高強度管理措施，但其施作工項是否實屬高風險作業，刻由本局會同各工程分局進一步檢討及進行危害辨識中，以期制定責任明確且更系統化之管理作業程序，俾利工程人力有效運用，減少工作負擔。

面對營造市場環境的改變，缺工缺料對於公共工程造成衝擊，特別對於鐵路工程施工作業具高風險性，目前已配合行政院公共工程委員會提倡公共工程朝自動化及預鑄化目標，刻正與委託工程顧問研議採用自動化及預鑄化規劃設計參考指引，以提供設計單位作為預鑄化設計之依據，並於後續嘉義市區鐵路高架化延伸民雄等新興計畫，將要求設計團隊致力導入預鑄工法等作為，希解決其營造人力不足問題。

至於監造部分，因應鐵道工程常需夜間施工，且臨軌風險高，安全管理要求多，其施工限制及困難度遠較一般工程為高，且配合臨軌安全管理強度及實際投入監造人力資源，與一

般工程之三級品管工作量差異大，後續將朝配合實際需求編列合理費用，以利現場執行。

問：對於臨軌工程安全部分增列許多管制及施工規定。隨著辦法制定後，後續對運安的期許為何？此外，以目前重大軌道工程設計及施工皆屬於臨軌作業安全議題範疇內，在考量用地交付成本及降低拆遷社會輿論部分，如何於運安及用地交付取得一個平衡點？

答：為預防本局工程影響臺鐵行車運轉之事故事件重複發生，本局業以安全管理手段全面盤點鐵路工程各項施工風險、危害因子，嚴謹釐訂各項控制措施，並透過各類檢查機制滾動檢討執行績效，原有規定不足部分再予以改善補強。

從施工避免影響鐵路機構營運及行車安全角度考量，臨軌工程施工範圍距鐵路機構現行營運軌道應有足夠之安全距離，但勢必衍生用地問題，未來將朝向制定準則從可行性研究及綜規階段即進行評估檢討。然從維護民眾財產權益角度而言，儘量減少拆遷才不致引發民怨甚至抗爭。兩者之間似有衝突，仍需審慎評估取得平衡。

1

人物專訪



楊正君局長在訪談中表示，臨軌工程施作工項是否實屬高風險作業，刻由本局會同各工程分局進一步檢討及進行危害辨識中，以期制定責任明確且更系統化之管理作業程序，俾利工程人力有效運用，減少工作負擔。



目前主要仍以工程面向著眼，如導入鐵路法規之安全管理系統(SMS)，係在以往已建立之安全基礎上，推動危害辨識並透過分析及管理，系統化分辨危害及建立控管措施，以強化臨軌施工安全，降低對鐵路行車運轉之風險。後續本局建立危害之資料訊息，日後可回饋至規劃、設計及施工階段納入評估及引用，以有效降低風險。

**問：**臺鐵已於113年正式公司化，鐵道局同時身為國內鐵道工程單位及監理單位，對於如何整合臺鐵及鐵道局既有資源以落實鐵路安全，是否有因應對策及執行方針？

**答：**為提升行車安全及促進國營鐵路永續經營，依據「鐵路法」法源，鐵道局為臺鐵局監理單位，專責執行辦理鐵路監理作業。隨著臺鐵局已於113年正式公司化並定期提報營運安全計畫給交通部核定，其組織設置北中南東共4個安全管理委員會，設置協調中心將成為地方營運處指揮鏈，臺鐵內部可加強地方上的整合及決策效率。

本局在高鐵局時代配合交通部組織改造，於100年授權成立鐵路營運監理小組，透過台灣高鐵監理業務，逐步建置磨合完整鐵路監理

制度，以鐵路運輸行車安全與服務之監督為目標，累積監理業務運作經驗，並積極培養鐵路監理人力及能力。有台灣高鐵監理的經驗，相信臺鐵局透過組織改革後，首要目標仍是以運輸安全為首要任務。

汲取過去經驗，營運監理方面，仍持續精進標準作業程序(SOP)，目前本局亦加強招聘與培訓鐵路監理檢查員，目前已有29名受



(左1)林聰能協理 (左2)陳志鴻資深協理 (左3)蕭秋安副總經理

訓合格並上線檢查，提升軌道運輸安全，而為加強鐵路安全監理實務執行，整合既有各單位資源，縮短橫向及縱向聯繫時間，提高工作效率，增設異物入侵告警系統，強化異常通報能力，避免工安事故，以落實鐵路營運安全。

## 後記

承蒙楊局長於百忙之中撥冗接受本刊專

訪，並言簡意賅地道出鐵路最重要的三條線：空中的電車線、地面的軌道線及地下的電纜線，於施工期間務必維持三條線的正常運作。訪談中楊局長自信地侃侃而談，可以深切感受楊局長對於鐵道臨軌安全落實之決心及明確的未來執行方針，以及勇於面對挑戰且務實解決問題的精神，相信是這樣的特質讓楊局長能帶領國內鐵道在「安全」前提下，讓業務蓬勃發展再創新頁。



(左4)廖學瑞總經理 (中)楊正君局長 (右4)何泰源副總經理 (右3)歐文爵協理 (右2)周高生業務經理 (右1)廖敏松副理



訪勞動部職安署南區職業安全衛生中心主任

# 許峯源

談

「營建四化」與「科技防災」  
在營造業施工安全管理之探討

整理：陳主文 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

許峯源主任於碩士班係主修土木工程，歷任勞動部職業安全衛生署南區職業安全衛生中心技正、科長、簡任技正、副所長及高雄市勞檢處處長，在勞動檢查界服務逾30年，學經歷豐富完整。

營造業在各國都是具有高度職業災害風險的產業，為有效降低營造工程職災發生，政府積極推動「營建四化」，主要包含「設計標準化」、「構件預鑄化」、「施工機械化」、「人員專業化」。藉由推廣「營造業四化」，訓練施工從業人員將標準化作業導入工作場所，以促進工作環境安全，減少進行高風險作業衍生之危害。除此之外，許主任亦強調，隨著科技發展日新月異，職安署除「營建四化」外，今年新增宣導「減災科技化」，將「營建四化」進一步提升為「營建五化」，透過IoT物聯概念、AI辨識科技等防災技術，有效降低傳統管理人力，提高施工安全管理工作的質與量，提升災害防止管理效率。

## 貳、訪談紀要

問：有關營造業近十幾年來出現長時間缺工、機械設備短缺等現象，人員流動率高，缺乏安全素養，致工安事件發生率提高，我們應如何因應此問題？

答：因近來公共工程量體多，車輛系營建機械明顯短缺調度不易，然若等待年限較新的營建機械又會延誤工進，致營造業陷入兩難。往往會因進度考量而不得不接受較老舊性能不佳之營建機械，導致施工風險提高。

近期南部某工程施工廠商亦曾因外派起重機之吊臂金屬疲勞，肇生事故。為避免類似情事再發生，現場執行吊掛作業前，事業單位

應落實協議組織安全管理，特別針對車輛、機械落實進場管制及作業前檢點，並確認一機三證，針對起重機使用年限已超過25年者，也需確認是否每年辦理定期檢查等，以避免因機械構件老化，釀致災禍。

職安署為避免傳統工程因天候因素、技術人力不足及通用性車輛系營建機械不足，於105年開始積極推行營造業四化，辦理各項推廣及研討會，藉由工程主辦機關、產業界及學術界之共同參與，期望透過研討會共同合作探討風險評估對於工程防災之影響，以及預鑄構件工法於工程之應用，經由金安獎優良工程案例之相關技術分享與施行作為，搭配職業安全衛生專業領域的知識和經驗，產生加乘效果，綜合中央與地方縱、橫向人力及資源，精進職



業安全衛生作為，提高工程施工職業安全。

問：職安署近幾年積極推行營造業四化(設計標準化、構件預鑄化、施工機械化、人員專業化)，許主任對於推廣成效有何看法？

答：本署推行營建四化，主要在於推廣預鑄(預製)工法，近幾年來南部地區無論是在建築工程或土木工程皆有所見，其中重大橋梁工程中，如高雄港聯外高架道路工程、東西向快速公路高雄潮州線工程及111年10月底完工通車之金門大橋等工程，皆有採用預鑄節塊吊裝工法；另如台南市麻豆工業區市地重劃工程，施工廠商將傳統場鑄排水箱涵(H<2.0M)改為預鑄排水箱涵吊裝施工，除了可協助改善安全衛生設施，保障作業人員安全，提升中小工地安全衛生水準，降低職業災害發生之外，亦可有效降低對當地交通之衝擊，並減少傳統場鑄工法因天候因素及技術人力不足的影響。

一般而言，承攬廠商對於工程所採用工法之選擇，考慮因素不外乎降低成本及如期完工。因預鑄工法於廠內製作，不受天候及外在因素之影響，於現場僅需吊運、定位、安裝，即可完成作業，有效縮短施工工期。施工作業人員可將作業步驟標準化，減少繁雜的工序項



(左1)陳主文計畫經理 (左2)李芯茹監造工程師

目及施工介面相衝的情形。另因機械化作業導入工作場所，採用特殊機械安排吊放及組裝工作即可施作，大幅降低營造人力需求。

近年來，無論是主辦機關設計源頭規劃或施工廠商施工規劃，採RC或鋼構之預鑄(預製)工法成效極佳，透過預鑄構件模組化，簡化製造流程，週期性施工，品質穩定提高施工效率，工期易於掌控，配合廠製安全源頭管理及現場機械化吊裝施工，降低施工風險及管理成本，可有效減少工人暴露於危險環境的時間及



(左3)楊尚仁監造工程師 (中左)張曜洲技術經理 (中右)蕭秋安副總經理 (右)許峯源主任

頻率，降低工程意外發生機率。

問：對於職安署今年所提「減災科技化」有何看法？主辦機關或事業單位應如何推廣並落實「營建五化」？

答：勞動部為有效降低營造工程職災，致力推廣各項減災策略，包括「科技監控」及「科技防災」。目前已有許多工程將「科技監控」

運用在施工安全管理，如「臺南市區鐵路地下化工程」及「嘉義市區鐵路高架化工程」等。112年7月勞動部辦理全國同步勞檢重大公共工程中，勞動部許銘春部長提到，利用無人機空拍執行安全衛生監視，透過自動化風力的監測，避免吊掛風險的災害。除此之外，亦有許多鐵道工程，在圍籬上安裝紅外線監控系統，透過紅外線監測軌道安全，避免外物入侵軌道，影響運安。

主辦機關若能藉由科技監控的概念，延伸



運用到科技防災，要求設計單位於設計階段依風險評估成果詳實編列預算及安全設施規範，供施工階段落實執行，例如「工地即時監控系統」(CCTV)，結合手機APP軟體，可隨時雲端掌握工地狀況，安全無死角。尤其近年來氣候異常，颱風及豪雨常侵襲臺灣，汛期期間透過CCTV即時影像回報系統，可於第一時間預防及排除災害事件，透過防災管理智慧化、緊急應變主動化達成防範未然之目標。另無人飛行載具(UAV)空拍，有助於觀察測繪既有建物及地形地貌，可快速準確掌握與紀錄現況資訊，廣泛應用空拍技術於規劃設計、施工監造、緊急災害搶救等業務。

另貴公司(台灣世曦)所開發之機械狗，可用於局限空間作業環境監測與結構物之檢視，如排水箱涵內、汙水管道內、隧道通風隔板上方之通風空間等，於勞工作業前可針對環境(CO、O<sub>2</sub>等)進行檢測，降低發生工安的機率，也可減少勞工進入局限空間作業之需求。

此外在建築結構、隧道結構工程中，為瞭解各項設備安裝之空間需求及變位情形，可透過光達(LiDAR, Light Detection And Ranging)結合BIM技術，以雷射光進行高密度的三維形貌掃描，執行3D空間檢視、尺寸量測、衝突檢查、空間配置研擬，或輔助變位監測，以創新科技迅速提供空間資訊，協助工程能夠順利執行。

因此，若能擴大「防災科技」的運用，從工程規劃設計階段進行風險評估時，即將「營建五化」納入考量，詳實編列預算及製作安全設計圖說及規範，於施工階段落實辦理，並以降低工安事件發生率為終極目標，做好風險控管，一定可以大幅減少營造工程職災發生率。



台灣世曦所開發之機械狗，在台南耐震補強工程中，幫助工程人員監測結構物之安全。

**問：鐵路沿線施工風險高，如何利用科技防災技術降低施工風險、提高施工安全管理績效？**

**答：**針對鐵路工程之臨軌施工需求，可應用CCTV監視系統、紅外線監測及AI影像辨識等科技防災，透過科技監控，即時辨識軌道上是否有異物侵入或營建機具物料侵入軌道淨空，防止工程災害發生。

1

人物專訪



許峰源主任在訪談中表示，機械狗用於局限空間作業環境之監測與結構物之檢視，可降低發生工安的機率，協助工程順利執行。



因電化鐵路沿線施工風險極高，除施工機具應與送電中之電車線保持足夠之安全距離外，可於適當高度設置自動感應警示設施（如雷射掃描器等），當誤入感電範圍到達一定程度時，現場應有閃燈及蜂鳴器提醒施工人員。也可於感電危害安全範圍，設置紅外線或拉線式電子感應系統，如工程機具或人員進入警戒範圍，即可連結告警設備（蜂鳴器聲響或閃光），並即時發送通知訊息，啟動緊急應變處置程序。安裝之設施，亦應每日測試，確認功能正常。

電子感應智慧監控系統(AI)具備追蹤告警機制及主動式訊息通知，可提供現場人員即時取得各階通報對象之連絡人資訊或應變處理之應注意事項，追蹤回傳緊急事故之地址及位置，並能結合CCTV系統快速回報事件之現況影像，精確判斷緊急應變處置方式。

又或是在營造工程中，總會有一些無法透過人為判斷方式發現的隱藏危害，如沉陷量，若只沉陷1~2公分，難以透過目視的方式發現，但若使用LiDAR空間掃描科技監控或光纖變為監控技術，便可即時偵測到此微小的沉陷量，有效率地發現軌道變位或傾斜等異常狀況，讓施工人員能在第一時間提出相對應的校正措施及因應對策。利用先進的技術，對於數據的收集、處理與共享，使得軌道工程不論行

車安全、人員監控與工作場所安全管理都有革新與升級，有效提高鐵路工程的安全管理品質與效率。

問：公共工程施工安全三級管理中，監造單位應擔任何種角色？是否主辦機關應於契約編列專責人力，來進行施工安全管理？

答：工程監造單位人員身處第一線作業現場，針對工程各分項作業風險進行評估分析，應能於第一時間掌握作業場所潛在危害狀況，即時要求施工廠商作適當之處置，防範災害之發生。另監造人員應有深刻體會，營造工地之安全狀況皆與自身安全息息相關，應隨時用心要求施工廠商落實施工安全衛生管理，提高工地之安全狀況，即可有效確保所有共同作業人員之安全。



編列專責監造安衛管理人力辦理工程監造安全

然公共工程委託監造技服契約多採建造百分比法計算服務費，尤其地方縣市政府委託監



(中)許峯源主任 (右3)蕭秋安副總經理 (右2)陳主文計畫經理 (右1)楊尚仁監造工程師  
(左1)李芯茹監造工程師 (左2)楊晟豪計畫副理 (左3)張曜洲技術經理

造之工程，常因工程規模較小，契約常未明訂監造職安管理專責人力，相關監造人力除不足外，派駐人員亦多未規定須接受專業職業安全教育訓練或取得相關證照，缺乏專業安衛知識及危害辨識能力，造成施工作業中，無法有效進行安全監造。

有鑒於此，為強化事業單位安全衛生設施及健全工作場所防災作為，應於工程契約或技服契約內，訂定相關人員之證照要求，例如職業安全衛生管理員或營造業職業安全衛生業務主管等證照，並編列專責監造安衛管理人力辦理工程監造安全，方能執行宣導、輔導、檢查等多元策略工作，適時指導事業單位改善安全

衛生設施，以達到防止職業災害發生之目的。

## 後記

承蒙許主任於百忙中撥冗接受專訪，在訪談過程中，我們可深切地感受到主任對職業安全衛生管理的熱忱與重視。針對如何提升施工安全管理績效，也有甚多具體構想與創新之思維，尤其特別闡述營造業第五化「減災科技化」，為後續需大力推廣的減災策略。藉由本次專訪，我們從中學習甚多科技防災知識及職業安全管理手法，唯有隨時精進職場安全衛生設施，確保作業環境安全，方能防止職業災害發生，確保勞工與廠商之權益。

# 鄰近既有鐵路與結構物地下開挖引致之地盤反應

## Ground Response Induced by Deep Excavation Adjacent to Existing Railway and Structures

**關鍵字(Key Words)：**鐵路地下化(Tainan Urban District Railway Underground Project)、明挖覆蓋(Open Cut and Cover Tunnelling)、PLAXIS、地盤微振量測(Ground Vibration Measurement)、透地雷達(Ground Penetration Radar, GPR)

國立成功大學／土木工程系／教授／洪瀞 (Hung, Ching) ❶

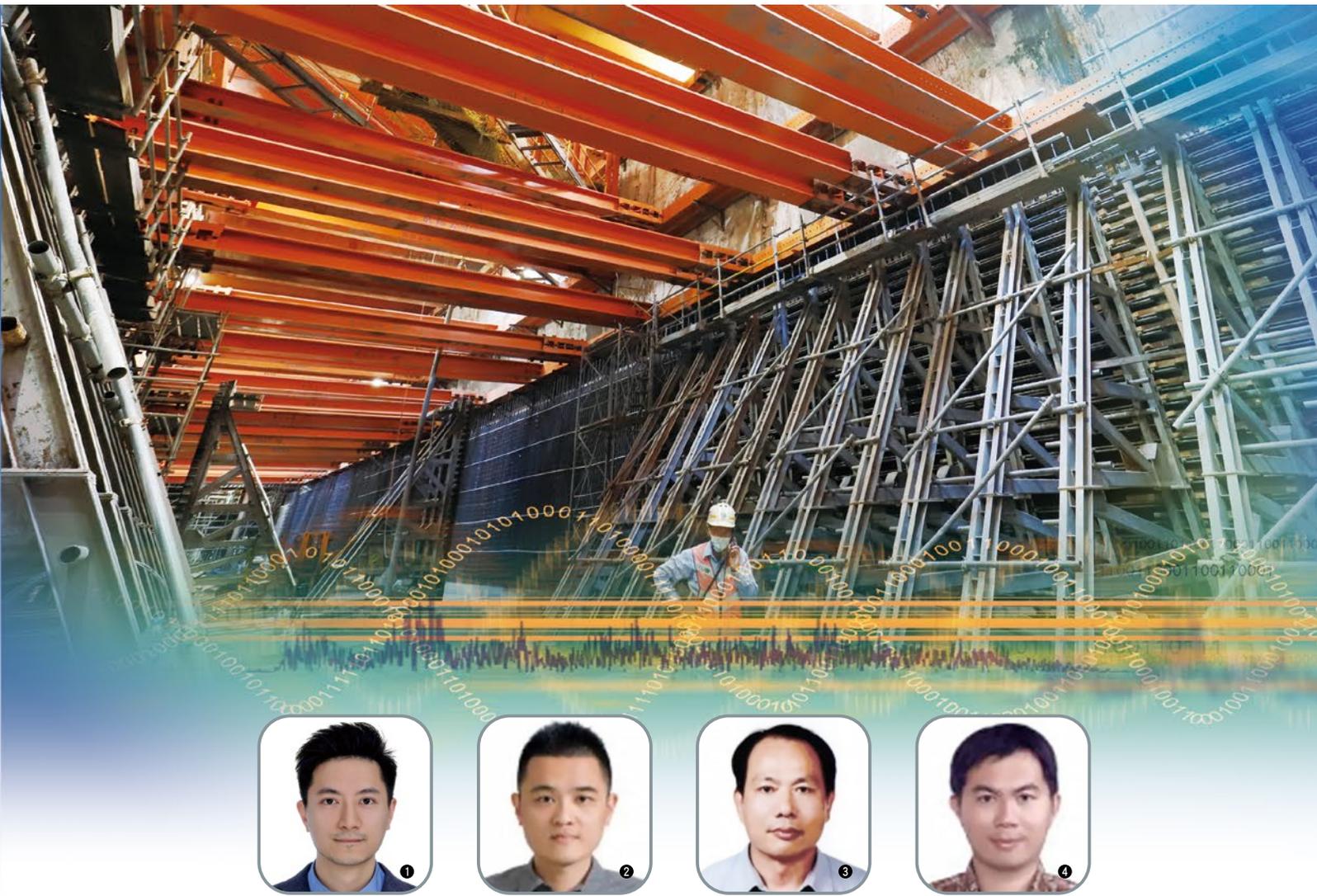
國立成功大學／土木工程系／副教授／柯永彥 (Ko, Yung-Yen) ❷

國立成功大學／土木工程系／名譽教授／李德河 (Lee, Der-her) ❸

國立成功大學／土木工程系／特聘教授兼總務長／吳建宏 (Wu, Jian-Hong) ❹

### 摘要

臺南市區鐵路地下化工程全長8.23km，路線位於現有臺鐵軌道東側並與之平行，全線地下隧道均採用明挖覆蓋方式搭配連續壁支撐系統進行施工。鑒於工程路線穿越市區，且鄰近現有鐵路在施工期間需維持行車運轉，開挖工程可能對周邊結構和鐵路列車行車安全帶來風險。本研究結合相關專業領域之專家，並整合數值模擬方法、地盤振動量測與地下淘空探測儀器與技術，對鐵路地下化施工對鄰近的結構或設施之影響進行系統性之探討，旨在輔助確保臺南市區鐵路地下化施工的安全性。研究結果顯示，(1) 數值模擬結果與監測相符，可合理掌握開挖對連續壁支撐系統之影響，且鄰近建築物超載對開挖區的影響甚微；(2) 環境微振量測結果顯示，連續壁施工與開挖對結構-地盤系統的振動特性未造成明顯變化，且未遭遇開挖面失穩現象；(3) 連續壁與開挖溝溝對列車引致振動的傳遞存在一定影響，但不至於影響地盤-軌道系統的穩定性；(4) 透地雷達定期探測顯示某道路鋪面龜裂的原因及變化過程，並能有效展現地層狀態，是一實用的非破壞檢測手段。



## Abstract

The Tainan Urban District Railway Underground Project has an 8.23 km-long route located at the east of the existing railway track and parallel to it. The cut and cover tunnelling method together with the bracing system using diaphragm walls as the main retaining structure is adopted for the construction of the underground tunnel. The route of this project passes through the urban area, and the adjacent existing railway maintains operation during the project period. Thus, the excavation works may pose risks to adjacent structures and the passing trains if these critical issues are inadequately considered. By gathering experts in relevant professional fields and integrating numerical simulation methods, ground vibration measurement and underground void detection instruments and techniques, this study systematically investigated on the impact of underground railway construction on adjacent structures or facilities. The results are expected to be helpful in ensuring the safety of this underground railway project. The research findings indicate that (1) the numerical simulation results aligned well with the monitoring data, allowing for a reasonable understanding of the impact of excavation on the retaining walls, with minimal influence from nearby building overloading on the excavation area; (2) ground vibration measurements show that the construction of the retaining walls and excavation have not significantly altered the vibration characteristics of the soil-structure system, and there has been no occurrence of instability; (3) the transmission of vibrations induced by trains is affected to some extent by the retaining wall and excavation trench, but it does not compromise the stability of the ground-track system; (4) ground-penetrating radar surveys reveal the causes and process of cracking in a certain road pavement, effectively demonstrating the condition of the subsurface and serving as a practical non-destructive testing method.

## 壹、前言

臺南市區鐵路地下化工程計畫範圍北起臺南市大橋車站南端，南至大林路平交道以南約0.6km，全長8.23km均採明挖覆蓋方式施作地下隧道，開挖時以連續壁做為開挖支撐系統。本工程具有下列特點：

- 一、臺南市區地層主要為粉土層，其工程性質有別於砂土與黏土。
- 二、規劃路線經過市區，施工與營運對沿線鄰產將可能造成影響。
- 三、規劃路線鄰近既有鐵路軌道，其與開挖支撐連續壁系統距離最近僅3m左右，且工程進行期間均維持行車運轉，故既有軌道系統將與開挖支撐系統產生互制效應，開挖工程造成之地盤變形對列車行車安全可能造成衝擊，運行中列車之往復載重對開挖穩定亦可能有所影響。

若在進行開挖分析與設計時未充分考慮上述特點，工程進行時將具有一定之風險。因此，有必要針對此一工程將面臨的區域地質特性、人為環境、施工配置及軌道系統特性，配合施工時之開挖監測，進行系統性之研究，以充分評估涉及安全的問題。

本研究之目的為引進數值模擬、地盤微振(Microtremor)量測與地下洶空探測儀器與技術，配合臺南市區鐵路地下化工程之施工監測系統，掌握施工過程對周遭及軌道系統之影響，以提升施工安全及降低鄰損。內容主要包括：(1)軌道-土壤-支撐系統互制模擬分析、(2)現地地盤微振量測分析，與(3)地下孔洞探測及現地監測數據判釋，所得成果相互比對之後，可用以評估列車行車安全，預判施工沿線代表性斷面之潛在破壞行為，藉此回饋至設計與施工監測配置，提供施

工紛爭之判釋參考，降低對環境衝擊與減少居民抗爭因子，並減少施工對營運之干擾。本研究將有助於工程順利推展，並可成為後續都會區軌道地下化工程之重要參考。

## 貳、研究內容與方法

### 一、以PLAXIS有限元素法分析進行深開挖安定性檢核

使用PLAXIS有限元素法軟體，整合結構支撐開挖分析模型，使用開挖區之土壤非線性特性建立三維有限元素模型；數值模型範圍將涵蓋開挖結構支撐系統及鄰近建物與土層，根據開挖區之土壤特性建立有限元素模型，並根據開挖工程之步驟建立開挖分析過程。對各典型支撐系統及周圍土層將以三維非線性數值分析，以求得各構件之受力、土層變形分佈及鄰近結構物基礎受力與變形等資訊，整合考慮對運行軌道及周圍建物之影響，訂定各不同危害程度之預警值，推估各階段工區之標的建物所可能受到之災害損傷與安全狀態，並結合施工期間之監測資料進行判讀與評估，以利施工風險之控管與預防。

### 二、以地盤振動特性量測與分析進行開挖影響評估

若基於整體性之考量，鐵路地下化工址之列車、軌道、地盤、擋土支撐、甚至是鄰近建築物等子系統事實上構成了一個大型系統，此系統甚為複雜，且各子系統均會交互影響，但其內部性質與邊界條件若改變，均會展現於系統之外在行為。如此一來，只要觀察系統在外在作用下之反應，並據以識別系統之特性，便能有效掌握系統之變化或損傷。例如，利用橋梁上構在環境微振與車行載重下之振動反應，可展現橋柱損傷與基礎弱化之程度(柯永彥等

人，2011; Ko et al. 2015) [1][2]。針對列車-軌道-地盤-擋土支撐互制系統，最便於觀察之動態反應為地盤振動，亦即動態能量傳入系統後於地表面所呈現出來之振動反應，其有助於判別子系統之狀態是否發生變化。例如，軌道若產生局部沉陷，將使列車通過時產生衝擊，使列車-軌道子系統產生異常振動；擋土連續壁體開裂或水平支撐弱化，將導致地盤-擋土支撐互制系統之勁度降低，以上均可能改變地盤振動之振幅與頻率特性。因此，若能及時觀察到地盤振動特性之變化，將有助於盡早掌握可能影響列車行車安全之異常現象。

### 三、以透地雷達進行地盤淘空檢測

由於深開挖時，倘若有支撐不足或地盤變形過大時，均有可能產生地盤淘空。當地盤產生淘空時，不但會影響地盤水平方向的應力傳遞，更可能危害淘空區上方地表人、車、住家。當地盤產生淘空時，地盤趨於疏鬆，導致淘空區域範圍內的電磁特性亦有所不同，因此可利用透地雷達來探測，進而瞭解施工區域範圍附近地盤穩定性的變動。且由於透地雷達具有解析度較高，但探測深度有限的限制，因此透地雷達的淘空檢測深度約在地表~地下4.5m為主。

## 參、研究工具與分析理論

### 一、數值模擬工具：PLAXIS與土壤組成律模型

PLAXIS 程式的組成主要有四大部分，分別是：輸入(INPUT)、計算(CALCULATIONS)、輸出(OUT)及曲線繪製(CURVES)，以下就以四個組成部分簡略說明：

#### (一) 輸入(INPUT)

最初的輸入程序中，使用者可將所要計算的工程案例或試驗分析等問題建立有限元素模型，並設定材料性質和邊界條件。對於建立的幾何模型可以進行自動劃分網格，且提供兩種形式：6節點三角形單元、15節點三角形單元形式，一般情況下6節點三角形單元即可滿足精度要求，若對精度要求較高的話則可採用15節點三角形單元，計算上也相對較耗時。

#### (二) 計算(CALCULATIONS)

建構好有限元素模型後，繼續進行有限元素計算。在計算過程中，使用者可以選擇所需的計算類型，確定計算所需參數。PLAXIS程式的計算類型共分三類：塑性計算、壓密計算、 $\Phi - c$ 折減(安全係數計算)及動力計算。在實際的工程中，會把工程項目分成幾個項目階段施工，PLAXIS也與此相似，將計算程序分成幾個計算階段來進行(Staged Construction)功能，比如在某個時間啟動一個特定荷載、模擬一個施工階段、引入一個壓密時段或計算安全係數等。另外，在運算過程中，PLAXIS程式動態顯示提示資訊，可一邊看到主要參數的變化訊息。

#### (三) 輸出(OUT)

在計算成果輸出過程，可以很直接的瞭解所計算問題變形後的位移、應力、應變、塑性區、最危險滑弧(穩定問題)、滲流場(滲流問題)等狀態。在輸出時可根據需要來進行選擇。另外，還有一些結構物的內力圖，如樁和地工織物等，都可以直接的輸出，讓使用者對所計算的問題可以用圖形來判讀。

#### (四) 曲線繪製(CURVES)

將計算完的結果，繪製出某點的應力、

應變、位移、孔隙水壓力、安全係數及應力路徑，隨時間及荷載的變化情況。因此，更能有效方便針對一些重要的位置進行深入的研究。

PLAXIS軟體本身內建常見的土壤組成律模型如：莫爾－庫倫模型(Mohr-Coulomb Model)、硬化土壤模型(Hardening Soil Model)、土壤小應變模型(Hardening Soil with Small-strain stiffness Model)和軟土模型(Soft Soil Model)等，土壤組成律模型理論與公式如PLAXIS手冊[3]。相關驗證及模擬案例模擬設定如章節肆之一。

## 二、地盤振動量測與分析方法

對於一土壤-結構互制系統而言，結構體之振動能反映系統本身特性與邊界條件之變化，故相當適合用來評估地工結構之損傷狀態或承載土體之弱化狀態。即便是本研究所關注由列車、軌道、地盤、開挖面、擋土支撐、以及鄰近結構所構成之大型複雜系統，仍可套用此概念，由自然或人為之動態能量於系統不同位置所激發之振動，均有助於反映子系統之狀態變化。其中，又以可直接於地表量測之地盤振動最易被利用。

本研究所關注之地盤振動來源主要有兩種，其一為環境微振(Microtremor)，其為環境中自然及人為作用產生之能量所振盪疊加形成，涵

蓋各種頻率範圍，常被應用於結構系統識別與地盤振動特性判釋[2][4](Ko et al. 2015; 柯永彥等人, 2020)。至於在橋梁或軌道安全及環境影響評估相關議題，車輛或列車通行則為其所受最主要之振源，如(柯永彥等人, 2011; Chen et al. 2011) [1] [5]，故在此便採用列車通行之移動載重與機械運轉等動態效應做為另一振源。需注意的是，環境微振屬寬頻振動，其所激發地盤振動反應之頻譜，較能有效展現地盤本身(包含與地盤互制之子系統)特性，但其時空變異性大，施測與分析時需特別注意；列車通行振動常受列車本身車體構造與機械特性影響，較難有效反映地盤系統整體特性，但其可直接反映軌道子系統可能之缺陷(如扭曲、沉陷等)。

本研究用來量測振動設備如圖1所示，主要為PCB公司之393B04加速規，其在0.06Hz至450 Hz範圍頻率響應偏差在5%內，適用於地盤微量測；另搭配NI公司之NI-9234資料擷取器與NI cDAQ-9191無線機箱，將可進行無線量測，降低現場儀器佈設之難度。振動量測係於夜間進行，此時周圍環境較為安靜時，以降低具特定頻率特性之人為活動影響；每次均記錄多筆延時10分鐘之歷時記錄，無列車通過時段視為環境微振，而在過程中如恰遇列車通過，則同步記錄通過當下時間、行車方向與車型，該時段便可代表列車所引致之振動。



圖1 地盤振動量測設備之(一)加速規及(二)資料擷取器與無線機箱

利用結構振動反應推求系統特性參數之相關分析技術多元且成熟，可概分為輸入-輸出(input-output，即激發源-系統反應)與唯輸出(output-only)等兩類。其中，前者較能精確識別系統特性，但較適用於經縝密規劃之室內試驗；若輸入值難以確實觀測，如環境微振、車行振動等情況，則以後者較適用。當振源為環境微振時，其常假設其為頻率域功率譜密度函數為常數之高斯白噪(Gaussian White Noise)，如此便可直接由輸出反應之頻率特性來研判系統特性；即便是不滿足高斯白噪假設之寬頻振源，藉由不同情境之比較，輸出反應仍有助於判釋系統特性。

為了能直覺地觀察振動反應之頻率特性，常將歷時訊號轉換至頻率域。傅立葉轉換(Fourier Transform)為各領域廣泛利用之頻譜分析法，其基本原理係假設所有訊號均能表示成許多具有不同頻率、振幅與相角之正弦波之組合，則透過傅立葉轉換式：

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt$$

便可根據時間域訊號 $x(t)$ ，求得其於頻率域所對應之傅氏譜 $X(f)$ 。

對於寬頻振動，由於人體或結構對於頻率特性之微小變化並不敏感，為了有效呈現頻率特性變化之影響，常使用1/3倍頻帶頻譜(one-third-octave-banded spectra)，計算各個頻帶所涵蓋振動量之均方根值(Root Mean Square, RMS)  $\sigma_{oct}$ ，作為該頻帶之振動量代表值，如下式所示：

$$\sigma_{oct}(f_c^i) = \sqrt{\int_{f_l^i}^{f_u^i} S(f) df}$$

其中， $f_u^i$ 與 $f_l^i$ 分別為第 $i$ 頻帶之上限與下限頻率，在1/3倍頻帶頻譜中， $f_u^i = 2^{1/3} f_c^i$ ； $f_c^i$ 為第 $i$ 頻帶之中心頻率， $f_c^i = \sqrt{f_l^i \cdot f_u^i}$ ； $S(f)$ 為單邊功率頻譜密度函數(Power Spectrum Density Function, PSD)， $S(f) = \frac{1}{T_p} |X(f)|^2$ 。另外，為

便於比較，1/3倍頻帶頻譜之振動量常以dB值呈現：

$$L(\text{dB}) = 20 \cdot \log \frac{\sigma_{oct}(f_c^i)}{\sigma_0}$$

其中， $\sigma_0$ 為參考加速度，本研究根據ISO 1683，取 $\sigma_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$ 。

### 三、透地雷達原理與設備

透地雷達探測技術其原理與反射震測法(Reflection Seismic Method)類似，主要是利用本身發射出高頻率電磁波的反射回波訊號所形成之圖像來探測物體之所在，此外，因透地雷達採用了寬頻短脈衝和高採樣率，故比起其它的地球物理探測法具有更高的解析能力，可對於地層特徵做更詳細的描繪。由既有文獻可知，透地雷達在古蹟遺址(張均仰，2004)[6]、地下管線坑洞(羅經書，1998)[7]與河床湖底地形探測(經濟部水利署，2013)[8]等方面的應用均有相當不錯的表現。

透地雷達法的檢測基本原理是藉由天線中線圈不斷激發固定能量頻率之電磁波，藉由置於地面上之天線接收反射回來之訊號，透過地下不同材料之介電常數差異而造成反射波訊號來得知物體所在位置(Daniels, 2004)[9]，並儲存於主機中，隨著拖曳天線可獲得整個剖面之訊號，最後再利用軟體做訊號分析，分析判別受測體之特性。故其主要組成包括收發訊號的天線、信號記錄器及分析系統，其反射電磁波亦可採電腦顯色分析，顯示受測物體不同材料的排列狀態，其探測原理如圖2所示。

雷達波頻率可隨天線調整，其天線之中心頻率約介在16MHz~2600MHz間，根據現地條件情況可替換不同頻率天線，正常情況下，高頻率天線探測深度淺，但解析度較高，低頻率天線探測深度深，其解析度較低。而透地雷達的優點有操作快速、即時影像顯示，同時又不破

壞地表及目標物，故為目前最廣泛運用的非破壞檢測方法之一。

本研究使用之透地雷達儀器採用美國地球物理探測設備公司(Geophysical Survey Systems, Inc., GSSI)公司所製造之SIR-20透地雷達系統(Geophysical Survey Systems, Inc., 2014)，組成系統設備主要可分為筆記型電腦、主機(MF-20 Mainframe)、天線(Antenna)、測距輪(Survey Wheel)、纜線(Cable)、拖曳桿(含打點器)、電源等設備，如圖3所示。

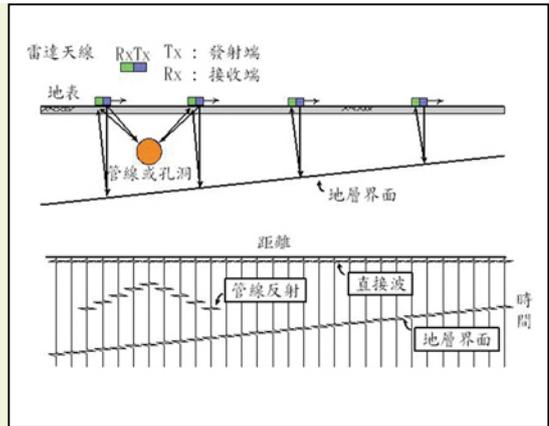
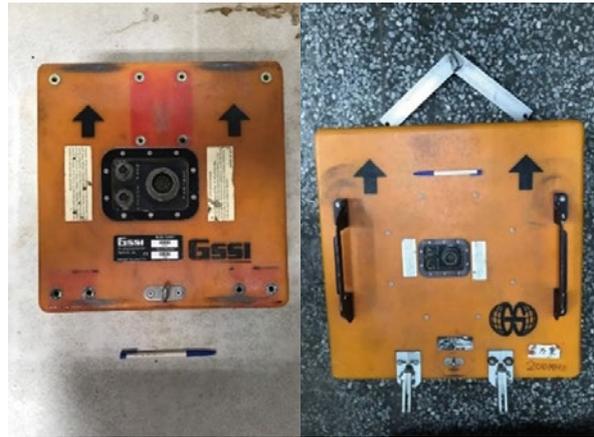


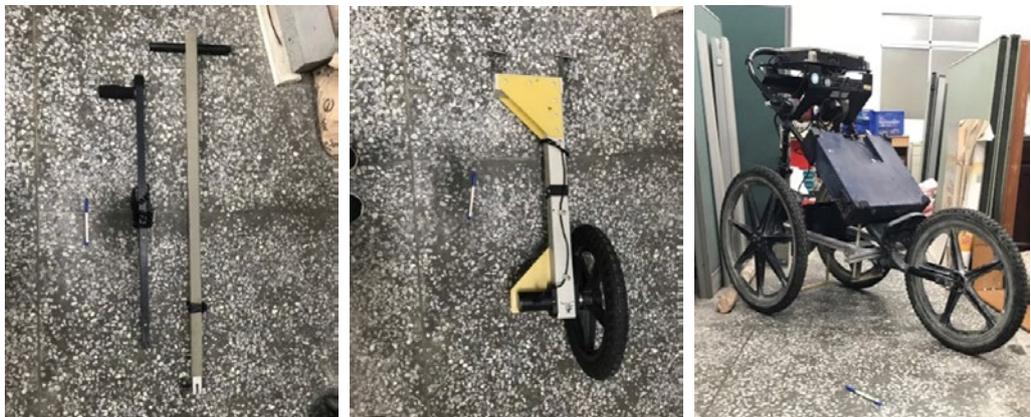
圖2 透地雷達探測原理示意圖



(一) 透地雷達控制紀錄器



(二) 400MHz天線(左)及200MHz天線(右)



(三) 拉桿(左)、測距輪(中)、及測距車(右)

圖3 本研究透地雷達設備分別，(一) 透地雷達控制紀錄器 (二) 400MHz天線及200MHz天線及 (三) 拉桿、測距輪、及測距車

## 肆、研究成果

### 一、PLAXIS深開挖模擬結果與開挖安定性

在進行深層挖掘的模擬之前，首先驗證土壤的力學性質和強度是否與現地取樣的室內實驗結果一致。相關驗證以粉土質砂三軸壓密不排水試驗比較Plaxis模擬為例，如圖4。

根據交通部鐵路改建工程局(2011)[10]，本研究開挖範圍可視為一狹長矩形基地，開挖範圍分為三個區段，分別為A1區(UK 356+320至UK 356+460)；A2區(UK 356+460至UK 356+600)；A3區(UK 356+600至UK 356+840)，如圖5。此開挖範圍涵蓋4組鑽孔

(DH-04~DH-07)，本研究採用較靠近開挖區及鄰近建築物位置的DH-06鑽探結果，土壤總共分為6層，其中含3層砂土層、2層粉土質黏土層，1層泥岩。

因本研究欲探討既有鄰近結構物的超載對開挖行為的影響，故建置全尺度三維模型，並考量鄰房載重。考量開挖區A1北側UK356+185至UK356+320區間已完成連續壁結構，故取已完成連續壁位置向外10倍最大開挖深度(150m)作為模型邊界，而在東側考量實際鄰房延伸距離，取自最外側鄰房向外10倍最大開挖深度(150m)作為模型邊界，底部邊界亦假設最深處為堅硬泥岩層，取深度至50m為底部邊界範圍，邊界條件側向設置滾支承允許垂直向位移及變形

模型底部設定絞支承不允許轉動及位移，整體模型尺寸(X, Y, Z)為544m × 955m × 50m，如圖6圖7。詳細開挖工序模擬、鄰房載重及2D與3D Plaxis(考量單元及鄰房載重)深開挖模擬使用之土層參數如蔡智承(2021)[11]。

A-A'以及B-B'斷面開挖監測與數值模擬於第五階開挖時的比對結果如圖8所示。可以觀察到，二維與三維單元模擬最大壁體變位階明顯大於監測值，三維全模模擬結果則相當貼近，其原因推斷為當A-A'斷面所在之A1區第五階開挖開始前，在其南側的A2區隧道底板結構已完成，具有一定強度可以抑制A1區(A-A'斷面)開挖所導致之壁體變形。由結果可得知，三維模擬能考量到其他開挖區已建構之結構體所提供之強度，在需考慮分區施工條件下，相較於二維模擬能有更好的結果。三維模擬結果可以更符合實際監測結果。

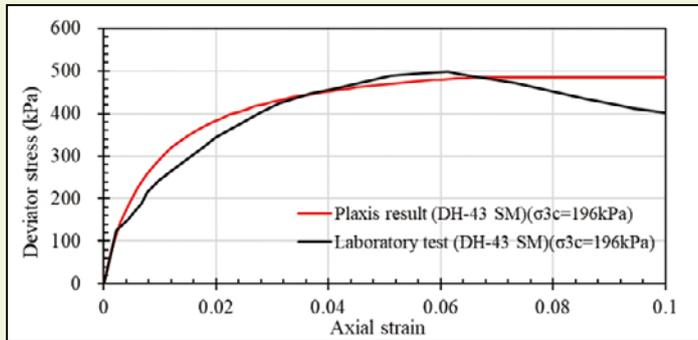


圖4 三軸壓密不排水試驗與Plaxis模擬結果

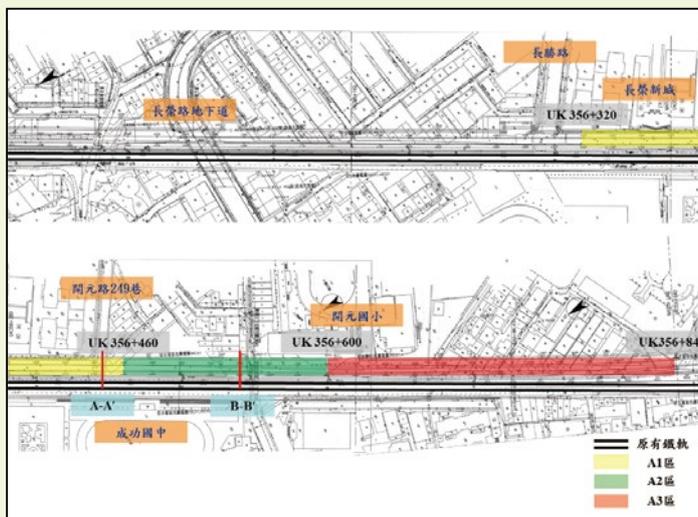


圖5 工區開挖區(A1、A2、A3)及分析模型斷面A-A' & B-B'

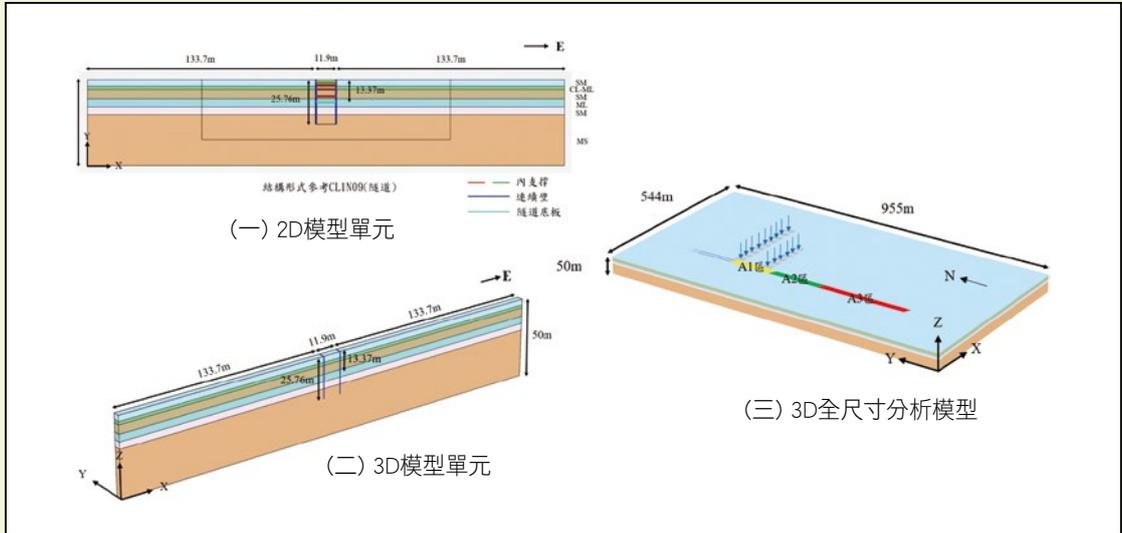


圖6 有限元素模擬設置：(一) 2D模型單元；(二) 3D模型單元；(三) 3D全尺寸分析模型含開挖區(A1、A2、A3)

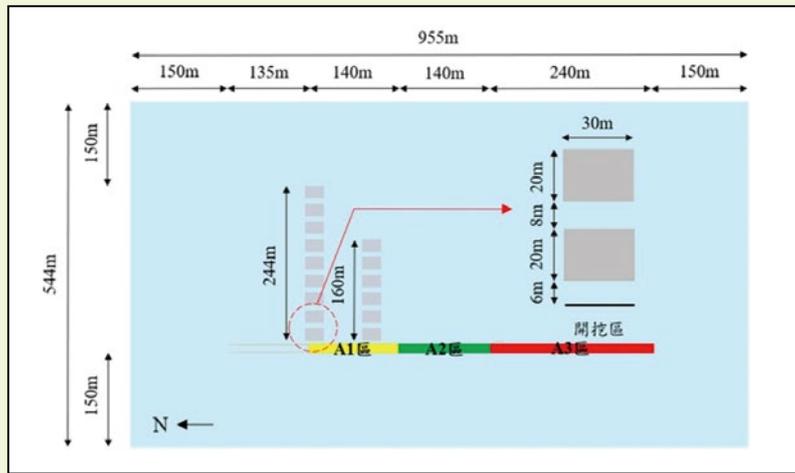


圖7 實際建築物幾何位置

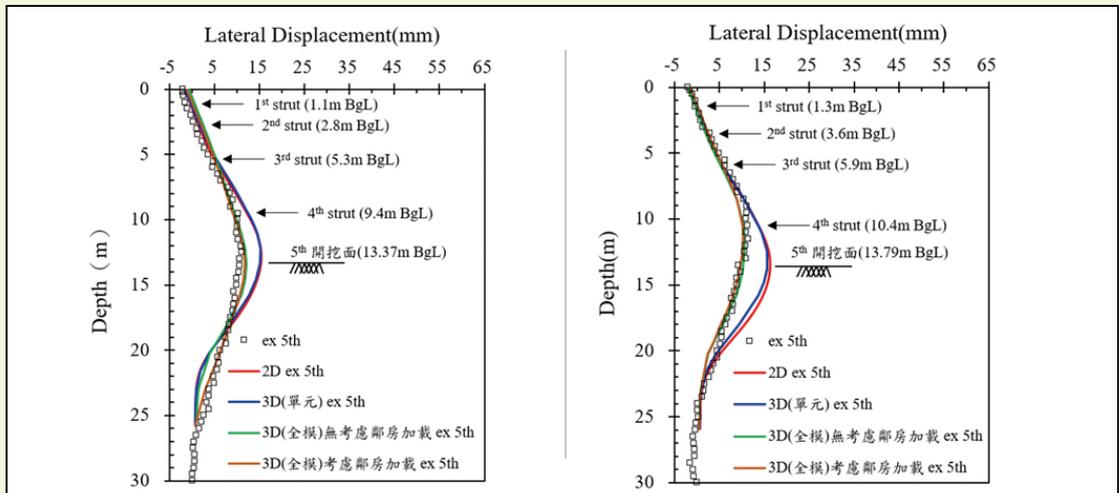


圖8 開挖監測與數值模擬比對結果，分析斷面：左圖A-A'；右圖B-B'

此外，三維模擬B-B'斷面所在位置距第五階開挖區域邊界UK356+550，僅有10m，角隅效應下導致其模擬擋土壁體側向變位量比假設無斷面無限延伸的二維及三維單元模型模擬還要小，這點和自A-A'斷面得到之結論一致。

從結果顯示，考量鄰房載重與否對於最大壁體變位量及發生位置差異不大，整體變位曲線亦無明顯差異。其原因研判為鄰房基礎結構筏式基礎，屬連續基礎版形式，其載重傳遞應力位於更深層土壤，載重效應所增加擋土壁體側向位移從而轉移至更深層的位置。另外，亦可觀察到，B-B'斷面受鄰房載重影響程度相對A-A'斷面來的低，其原因研判為鄰房載重區域距離B-B'斷面較遠，約為110m。

## 二、深開挖各施工階段地盤振動特性

本研究擇定臺南市北區長勝路鄰近鐵路地下化工區之路段進行地盤振動量測，惟因現場條件限制，加速規係固定於接近住宅大樓之道

路鋪面，測點位置如圖9所示，主要量測方向為X向(水平橫向，即垂直於行車向)與Z向(垂直向)，本文將聚焦於最接近工區之測點(Pt.1)所得量測資料。研究執行過程中，分別於數個深開挖之不同施工階段施測，包括：深開挖施工前、連續壁完成後、長勝路口部分開挖(至第二層)、以及長勝路口開挖近完成(至第五層)。

首先，以施工前之量測為例，圖10為某筆延時為50秒之環境微振歷時，並由當中取20秒進行傅立葉轉換後繪出傅氏譜(頻率範圍0~50 Hz，以排除住宅抽水馬達60Hz振動之影響)，各測點振動主要分布在20Hz以下之範圍；進一步將傅氏譜進行平滑化後可明顯看出X向與Z向振動之顯著頻率範圍大致均落在11~14Hz之間。值得注意的是，此結果較一般地盤微振顯著頻率為高，原因可能為道路鋪面之勁度，與鄰近住宅大樓地下室與地盤互制效應之影響，使整體系統勁度較純土質地盤為高，故呈現出較高之顯著頻率。

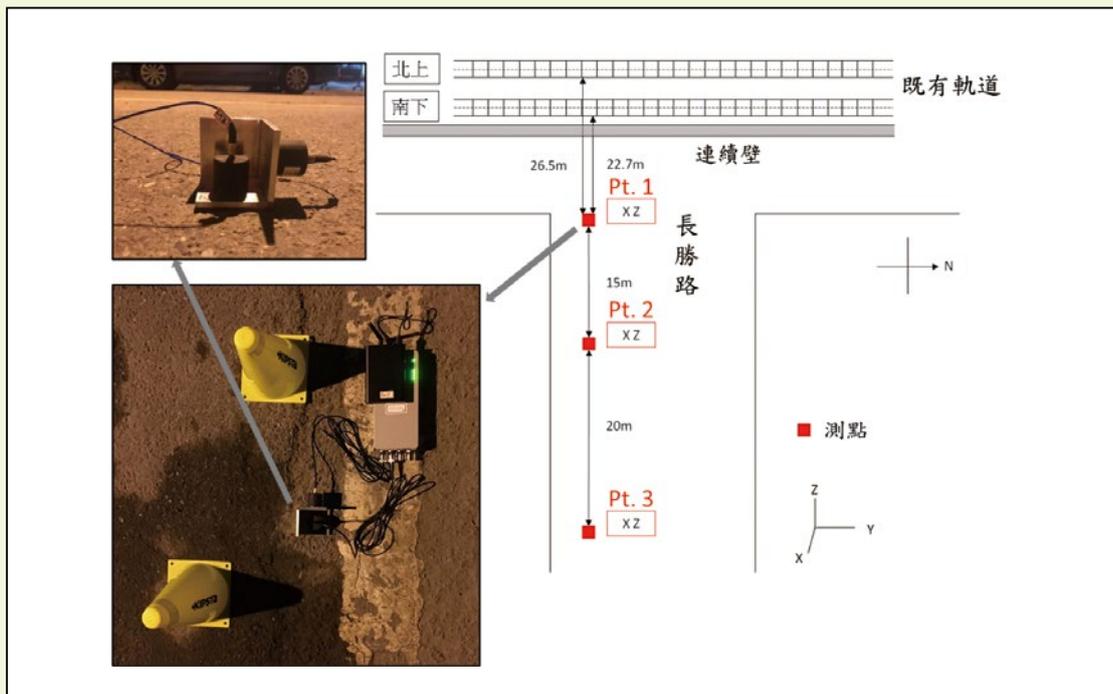


圖9 地盤振動量測配置圖

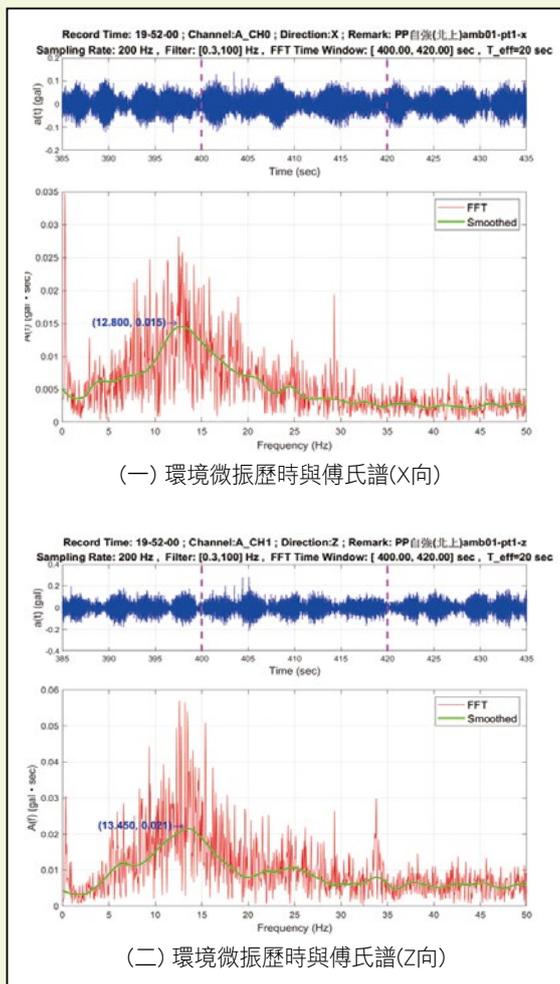


圖10 施工前環境微振歷時與傅氏譜  
(一)X向圖示及(二)Z向圖示

圖11則為某列南下推拉式(PP)自強號所造成之地盤振動歷時與傅氏譜，另因列車振動特性較為複雜，亦納入1/3倍頻帶頻譜，並擴大頻譜之頻率範圍至0~100Hz。由列車通過所造成之X向與Z向振動均明顯大於環境微振，其中，X向振動顯著頻率分布於16Hz~20Hz及40Hz之間，Z向振動則分布於8Hz~10Hz及20Hz之間，較環境微振之特性為複雜。

接著，針對不同施工階段之環境微振，比較其平滑化傅氏譜，如圖12所示，可發現連續壁完成後X向振動頻譜尖峰轉為較平緩，且整體振幅上升，但大致上顯著頻率相較於施工前並無明顯變化；Z向振動特徵頻率亦大致不變，維

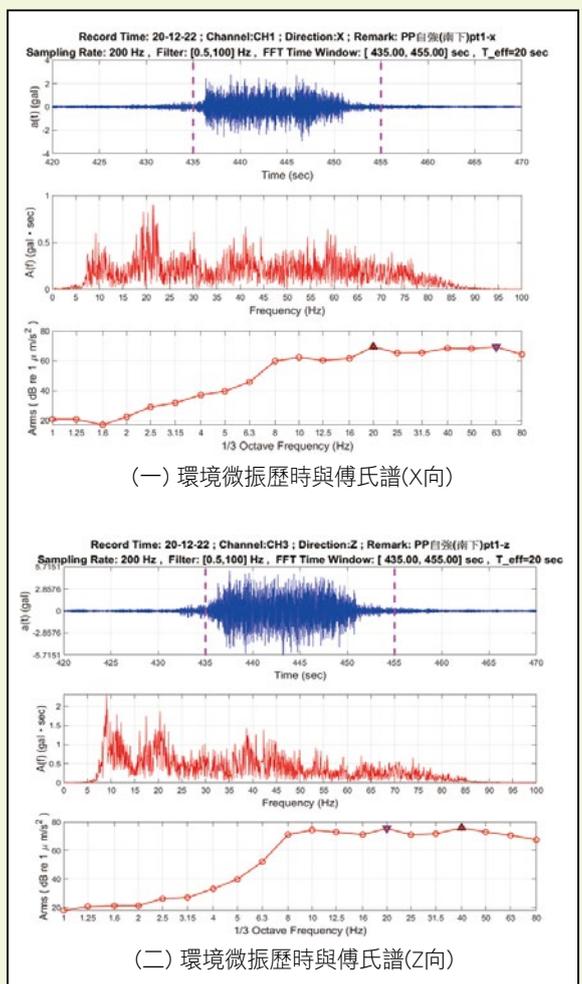


圖11 施工前列車通行振動(南下PP自強)歷時與傅氏譜  
(一)X向圖示及(二)Z向圖示

持在11~14Hz附近。以上結果顯示在連續壁完成後，整體地盤系統特性並未有明顯改變；X向振動頻譜之變化則可能與連續壁對振動傳遞之影響有關，將於後續以列車通行振動之比較進一步討論。至於開挖後之X向振動頻譜亦較施工前平緩且整體振幅大，相較連續壁完成後之變化則有限，至開挖近完成時受到較多低頻振動(~3Hz以下)之影響；Z向振動特徵頻率亦未較施工前或連續壁完成後有明顯變化，惟至開挖近完成時亦受些許低頻振動之影響。

綜合以上，於本計畫執行期間，即便歷經連續壁施作與不同階段之開挖，整體地盤系統之特性並無顯著改變，代表地盤勁度並未受到

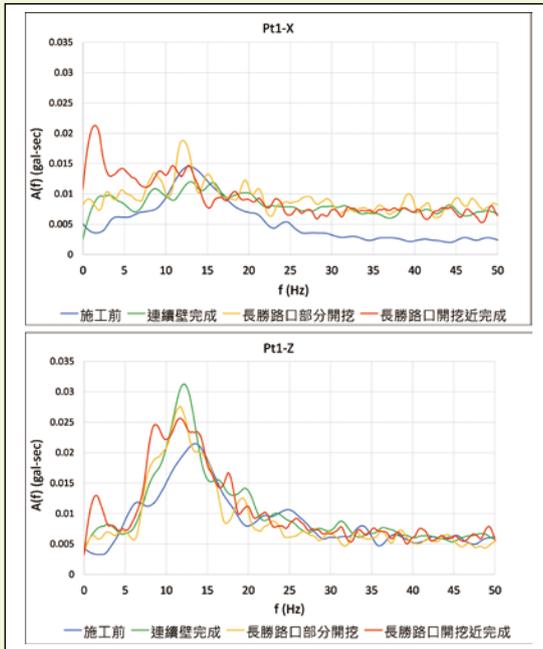


圖12 各施工階段環境微振平滑化頻譜比較圖  
上圖：X向圖示；下圖：Z向圖示

明顯影響，與本工程施作過程中並未遭遇壁體變位過大、支撐失效甚至開挖面失穩等重大缺失之情況相符。

在列車通行振動方面，因列車振動特性複雜，故採用1/3倍頻帶頻譜來比較各施工階段之列車通行振動特性變化，以PP自強號南下班次為例，如圖13所示，振動特性改變以5Hz-8Hz為界，在連續壁完成後，較該頻率範圍低之各頻帶振幅上升，但較其高之頻段則振幅降低。值得注意的是，雖然在各施工階段之量測中涵蓋了數種不同車型，且車速有所差異，但幾乎每一車型通過所引致振動特性於連續壁完成後之變化均如前所述。因量測位置與列車軌道恰在連續壁之兩側，前述變化可能來自於連續壁對不同頻率含量之振動產生不同之影響，其對高頻振動有隔絕效果，但對低頻振動則可能有放大之效果。

至長勝路口部分開挖後，於低於5Hz-8Hz之各頻帶振幅略為下降，大致介於施工前與連

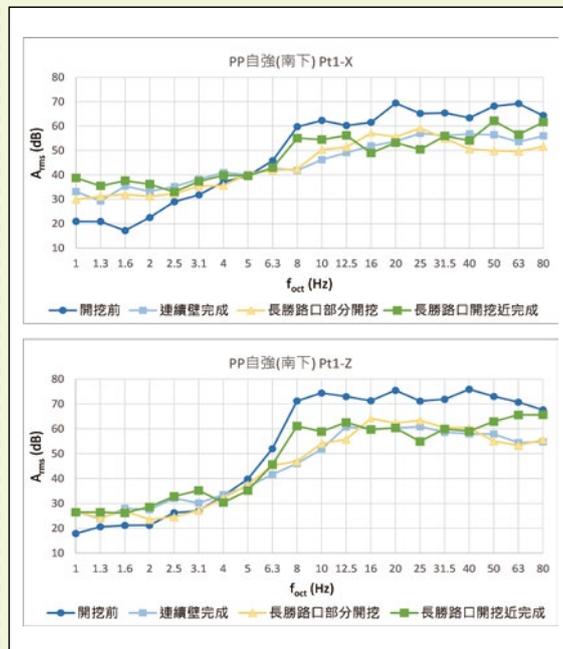


圖13 各施工階段列車通行振動1/3倍頻帶頻譜比較圖  
上圖：X向圖示；下圖：Z向圖示

續壁完成後之情況間，但較高頻段之振幅則相差不大。前述現象之原因可能是開挖形成之開口槽溝對低頻振動之阻隔效應較地下連續壁明顯，尤其是槽溝恰好位在波傳路徑上時(即長勝路口進行開挖後)；但由於連續壁已有效阻隔高頻振動，故後續開挖對高頻振動影響並不顯著。然而，在長勝路口開挖近完成時，低於5Hz-8Hz之各頻帶振幅並未較前一階段下降，甚至略呈上升之趨勢，此可能與前文提到開挖近完成時低頻處之背景振動較明顯之影響，因此造成此階段即便槽溝較深，並未呈現出進一步之隔絕低頻振動效果。

值得一提的是，連續壁與開挖槽溝對振動之隔絕效應，可能與前述X向環境微振頻譜尖峰轉平緩且振幅上升有關，由於長勝路周邊為住宅區，有較多人為活動造成之寬頻振動源，其X向分量可能在連續壁完成後受其隔絕難以向西散逸，因此造成前述環境微振特性之變化。

### 三、透地雷達地盤淘空檢測成果

2019年11月在某社區西側道路上發現龜裂現象(圖14)，長度約17m，推測是因為鐵路地下化施作導溝及連續壁時，鬆動某社區及鐵路地下化雙方連續壁之間，亦即道路下方之土壤，加上交通部中央氣象局台南市氣象站雨量資料中顯示2019年6月至9月的雨季降雨入滲(圖15)



圖14 鋪面龜裂位置圖

軟化道路下方土層，另外透地雷達探測結果顯示此段發生裂縫區域的道路混凝土鋪面中並無鋪設鋼筋(圖16(一))，無法支撐鋪面之混凝土重，所以裂縫平行於連續壁生成，以下將龜裂區域之透地雷達探測所得每月份資料來說明地層的變化。

在每個月影像圖中，以白色圓框圈示意地層受擾動區域之擴張，在2019年6月及7月影像圖中(圖16(一)及(二))，水平位置3.5至8.2m、10至11.5m及12.5至13.7m由地表下0.25至1.1m之間有較鬆散的土壤，經歷雨季後，到了2019年10月(圖16(三))測線中原本深度1.1m未擾動土層之連續反射消失了，改變成深度1.5m才有未擾動土層之連續反射，三個區域較鬆散的土壤之邊界也從深度1.0m下降至1.5m，隨之維持在深度1.5m沒有改變，直到2020年2月(16(四)~16(七))又下降至1.6m，2020年3月(圖16(八))進行龜裂修補後，下方鬆散的區域縮小，被漿體滲入填滿，到目前2020年6月(圖17-19)都沒有再度發生地層明顯受到擾動的情形。

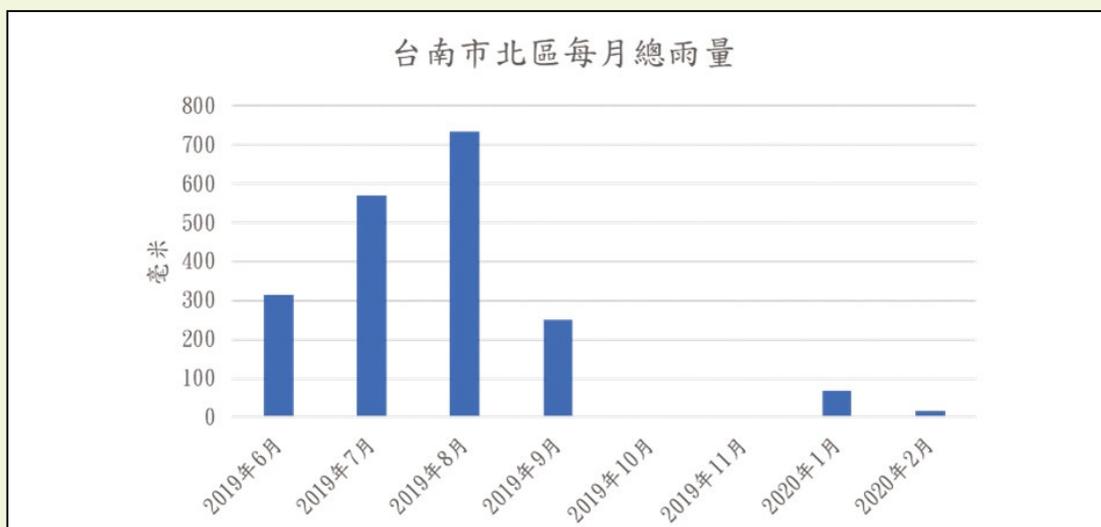
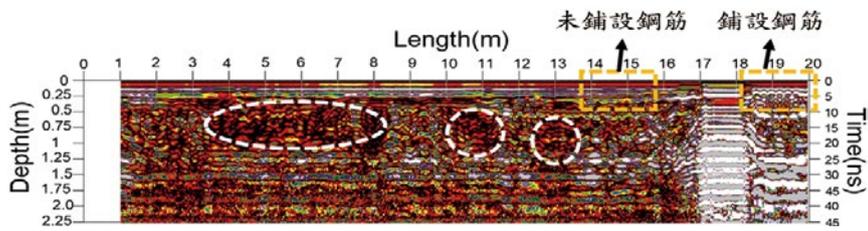
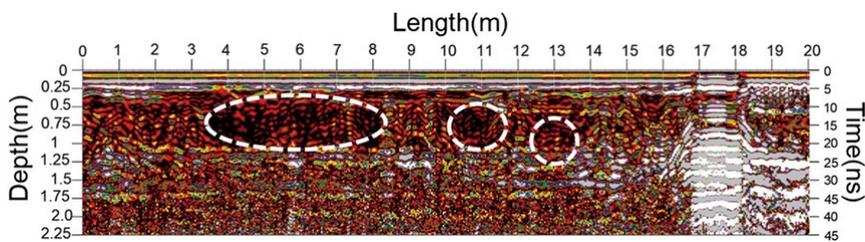


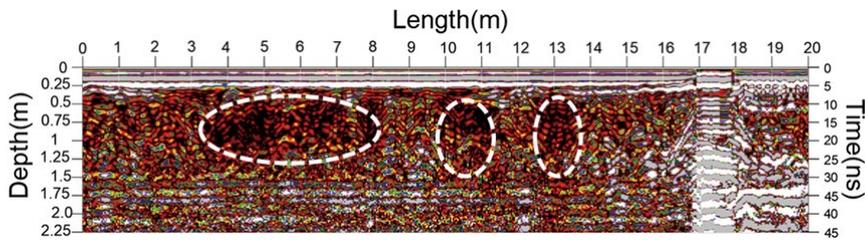
圖15 台南市北區每月總雨量圖



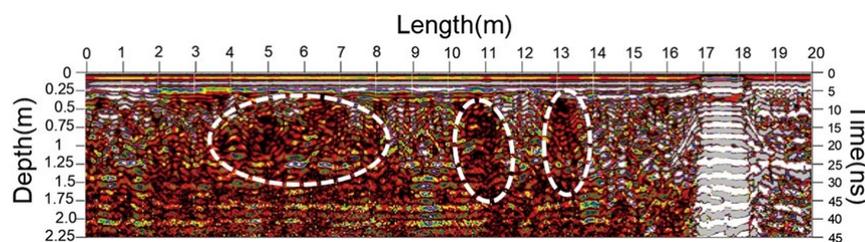
(一) 2019年6月



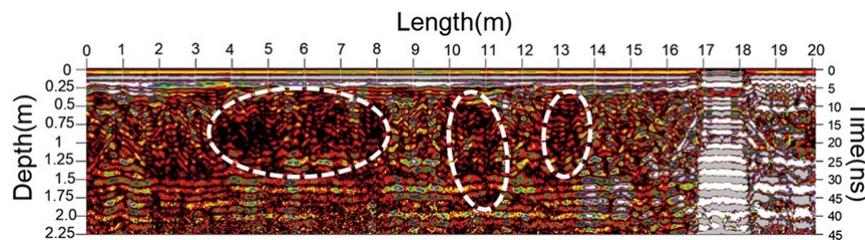
(二) 2019年7月



(三) 2019年10月

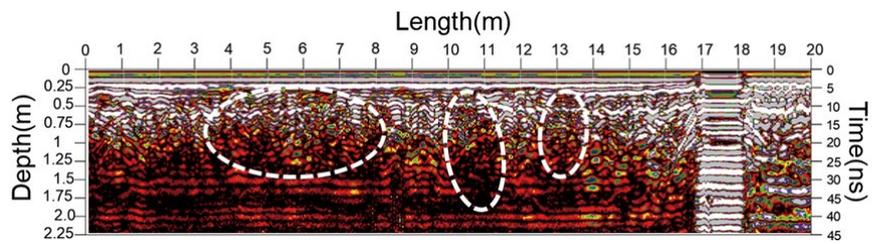


(四) 2019年11月

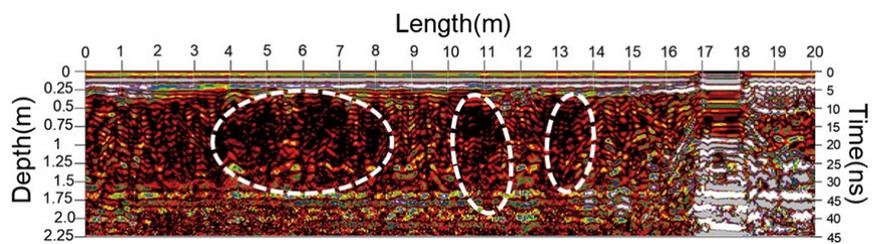


(五) 2019年12月

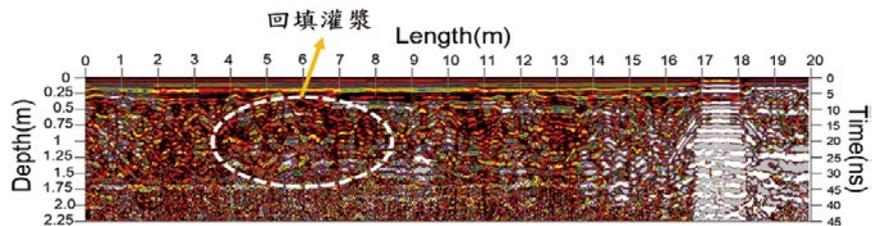
圖16未完，請接下頁↓



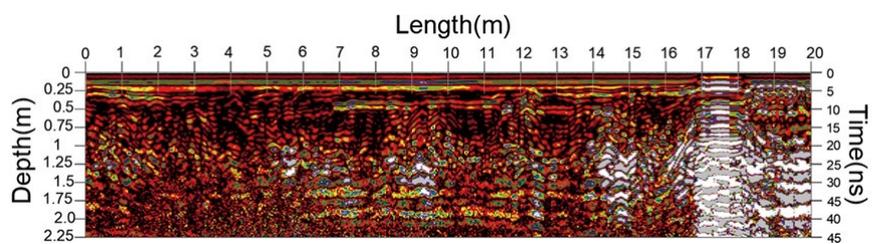
(六) 2020年1月



(七) 2020年2月



(八) 2020年3月



(九) 2020年4月

圖16 透地雷達測線(3)前半段之400MHz影像圖

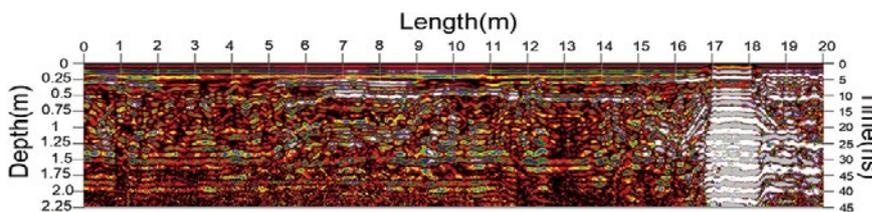


圖17 2020年4月(UK356+320-460一階開挖)透地雷達測線(3)前半段之400MHz影像圖

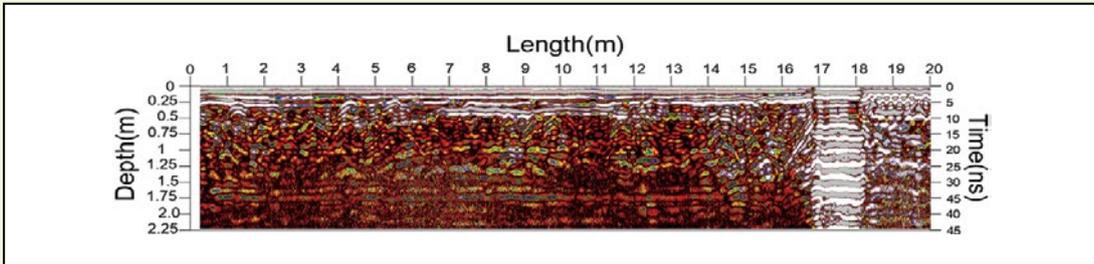


圖18 2020年5月(UK356+320-460二階開挖)透地雷達測線(3)前半段之400MHz影像圖

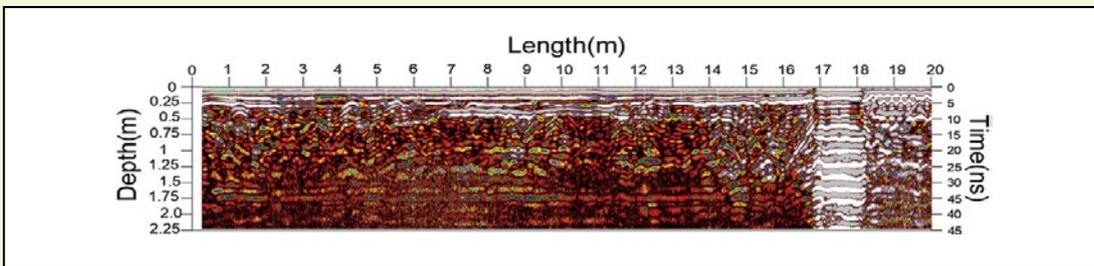


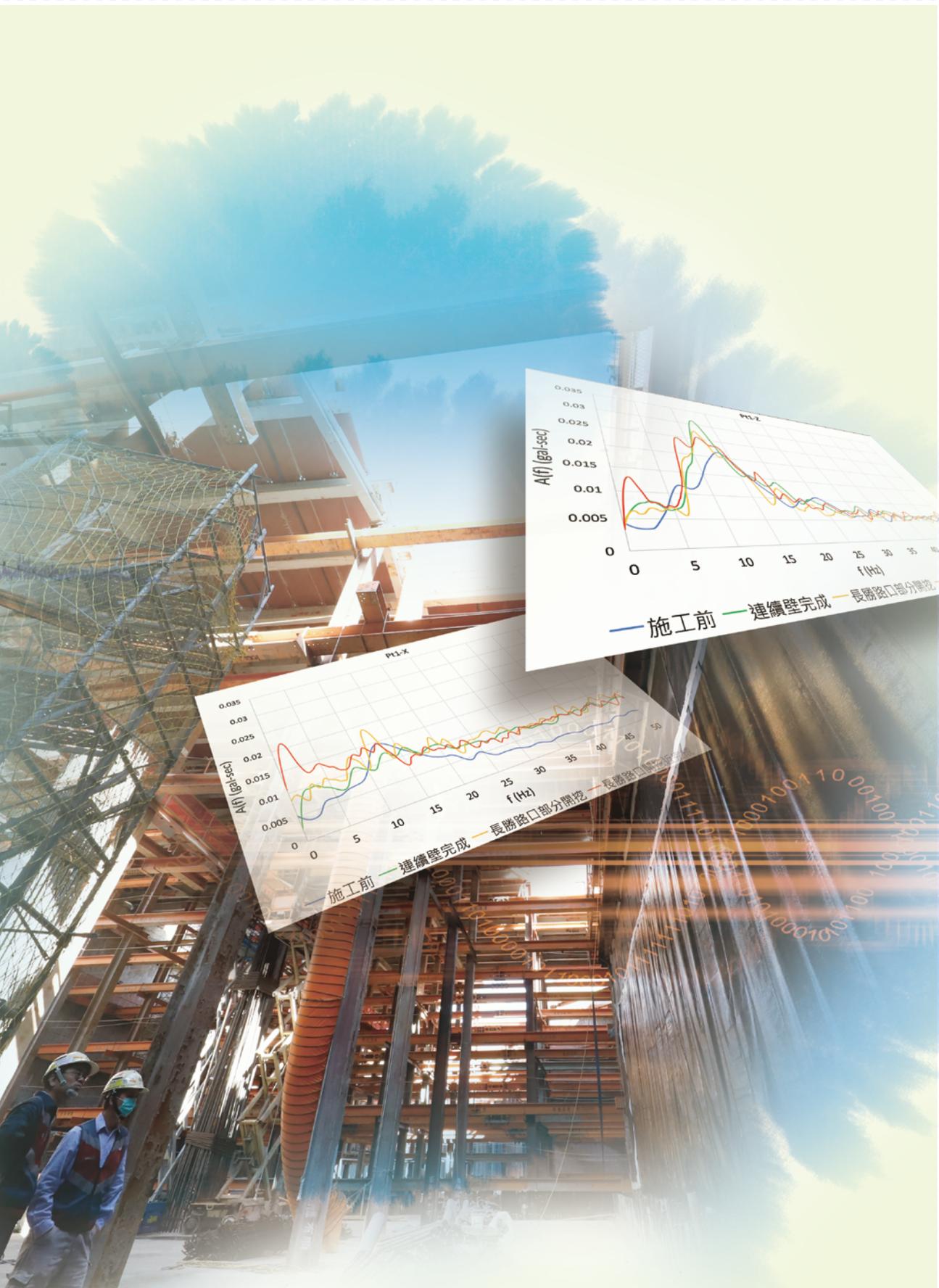
圖19 2020年6月(UK356+320-460三階開挖)透地雷達測線(3)前半段之400MHz影像圖

## 結論

- 一、本研究使用實際監測所得壁體變位增量及支撐軸力來驗證PLAXIS數值模擬結果，可以看出第三階開挖完成階段之後，三維模擬結果與監測結果之變位趨勢相當吻合，表示本研究所建置有限元素模型、土壤參數、結構參數與施工工序模擬，以及對監測資料之詮釋，可合理掌握實際擋土壁體的變形趨勢。
- 二、考量緊鄰建築物超載對於開挖區產生的影響，模擬結果顯示考量鄰房加載與否，對於最大壁體變位量影響相對不顯著，對於擋土壁體側向變形的影響則在開挖面以下約7m處開始明顯增加。
- 三、針對開挖工區旁緊鄰結構之道路鋪面，於施工前、連續壁完成後與開挖後進行環境微振量測，結果顯示顯著頻率均維持在11-14Hz附近，代表連續壁施作與開挖對結構-地盤系統之振動特性並未造成明顯變化，與本工程並未遭遇開挖面失穩現象相符。
- 四、連續壁與開挖槽溝對列車引致振動之傳遞存在相當程度影響；其中，連續壁對5Hz-8Hz以上之較高頻振動有隔絕效果，但對較低頻振動則可能有放大之效果，開挖後低頻振幅則較連續壁完成後下降；惟上述振動傳遞特性變化並不至於影響地盤-軌道系統之穩定性。
- 五、由透地雷達定期探測結果可以明顯看出某道路鋪面發生明顯龜裂的原因及過程變化，包括初期之土層擾動，當擾動向下擴大深度後就產生道路龜裂的現象，並於鋪面龜裂改善及地層灌漿工程後便未再發現土層擾動現象。至於透地雷達影像未發現明顯土層擾動現象之區域，現地地表亦未出現鋪面龜裂等變化。以上均顯示透地雷達能有效展現地層狀態，為一實用之非破壞檢測手段。

## 參考文獻

1. 柯永彥，張為光，陳正興 (2011)，“橋墩基礎裸露對橋梁結構振動反應之影響”，中國土木水利工程學刊，第23卷，第1期，103-110頁。(EI)
2. Ko, Y.Y., Chang, W.K., Liu, K.Y., Hung, H.H., Chang, K.C. (2015), “Damage Evaluation for RC Bridge Piers Using Vibration Measurement”, Advances in Structural Engineering, Vol. 18, No. 9, pp. 1501-1515.
3. Plaxis 2D, 2019, Reference Manual, Plaxis BV, Amsterdam, the Netherlands.
4. 柯永彥，黃彥植，高津 (2020)，“基於振動之重力式擋土牆性能評估技術初探”，中國土木水利工程學刊，第32卷，第8期，755-765頁。
5. Chen, C.H., Huang, T.C., Ko, Y.Y. (2011) “In-Situ Ground Vibration Tests in Southern Taiwan Science Park,” Journal of Vibration and Control, Vol. 17, No. 8, pp. 1211-1234.
6. 張均仰(2004)，”透地雷達於古蹟探測之應用”，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南，台灣。
7. 羅經書(1998)，”透地雷達應用於管線與地層調查之研究”，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南，台灣。
8. 經濟部水利署(2013)，”蘭陽溪水系(羅東溪及宜蘭河)堤防安全性評估分析研究計畫成果報告書”，經濟部水利署第一河川局。
9. Daniels, D.J. (2004), Ground Penetrating Radar 2nd, IEE Radar, Sonar and Navigation Series 15 (Ed.). The Institution of Electrical Engineers, London.
10. 交通部鐵路改建工程局(2011)，”台南市區鐵路地下化計畫工程設計暨配合工作服務補充地質調查工作成果報告”
11. 蔡智丞(2021)，”深開挖二維與三維模擬—以臺南鐵路地下化鄰近建物段為例”，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南，台灣。



2  
工程論著

# 鐵路高架化於臨軌作業安全精進創新作為——以嘉義鐵路高架化工程為例

關鍵詞(Key Words)：鐵路高架化(Elevated Railway)、預組鋼筋籠(Precast Steel Cage)、AI電子圍籬(AI Electronic Monitoring)、電子輔助瞭望員(Electronically Assisted Lookout)、BIM建築資訊模型(Building Information Modeling)

交通部鐵道局／中部工程分局／第一工務段／段長／劉中仁 (Liu, Chung-Jen) ❶

交通部鐵道局／中部工程分局／第六工務段／段長／梁協勝 (Liang, Sie-Sheng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／計畫經理／蘇兆輝 (Su, Chao-Hui) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／宋瑞君 (Song, Rui-Jun) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／翁崇期 (Weng, Chung-Chi) ❺



## 摘要

隨著都市日趨發展，貫穿都市的鐵路逐漸成為阻礙，為了縫合嘉義東西區以利市區整體發展，鐵路高架化或地下化為必然趨勢。臨軌工程屬於高風險工項，基於預防重於治療之概念，只要在臨軌施工時能精進施工方式，提升管理手段，即可防範鐵路發生重大意外，避免社會因而付出巨大成本。本文以嘉義鐵路高架化工程(下稱本工程)為例，探討嘉義鐵路高架計畫中，如何藉由精進創新作為，從施工層面及管理層面上，達到防範工程危害發生。



## The Elevated railways safety improvement and innovation in near-track operations - taking Elevated Railway Project at the Urban Area of Chiayi as an example

### Abstract

Railways across the Chiayi City gradually become an obstacle with the development of cities. In order to combine the whole development of the east and the west of Chiayi City, the Elevated Railway or Railway Underground is bound to become the tendency. Despite of near-track construction is the high-risk project, however, we can avoid a major accident occurred on the railway while improving construction methods during near-track construction.

The article takes the Chiayi Railway elevated project as an example, by improving innovation through two levels: construction and management, to reduce the hazards.

## 壹、前言

鐵路建設為國家之重大交通設施，對於民生、國防、經濟等諸多領域，有無法忽視的影響。因此我國重要都市經常伴隨鐵路系統一同發展、進步。然而平面鐵道宛如一把利刃，將都市一分为二，前站繁華與後站冷清常形成強烈對比，亦嚴重影響都市均衡發展，因此市區鐵路高架化或地下化，在都市之發展上有其必要性。

嘉義鐵路高架化計畫工程(以下簡稱本工程)，全長10.9公里(鐵路里程K293+100至K304+000)，北起牛稠溪以北，南至嘉義縣水上鄉水頭村，工程內容包括：鐵路高架工程、高架車站工程(嘉北站及嘉義站二處)、新建嘉義(水上)車輛基地、新設之北回歸線站及相關配合工程，主體橋樑工程全長8.2公里，在橋梁施工工法上，分別採用逐跨場撐工法、懸臂工法及中路式(跨陸橋)工法等，整體計畫預計在117年通車啟用。其施作範圍詳圖1。

## 貳、臨軌施工風險概述

臨軌工程需考量以下諸多工程不利因素，包括：

- 一、需於同時維持既有鐵路列車持續營運情況下施工。
- 二、工區狹長且周遭住家稠密。
- 三、土地徵收不易。

多數高架或地下工程範圍緊鄰營運軌道旁，不僅要保持施工順利，也須維護列車行車安全。工區內之施工空間寬度常僅能容納一台機具操作或車輛行駛，稍有不慎將危及列車營運安全。實務上，臨軌施工之安全管理，為該計畫最重要之課題。

本工程屬「單跨橋梁之橋墩跨距在七十五公尺以上或多跨橋梁之橋墩跨距在五十公尺以

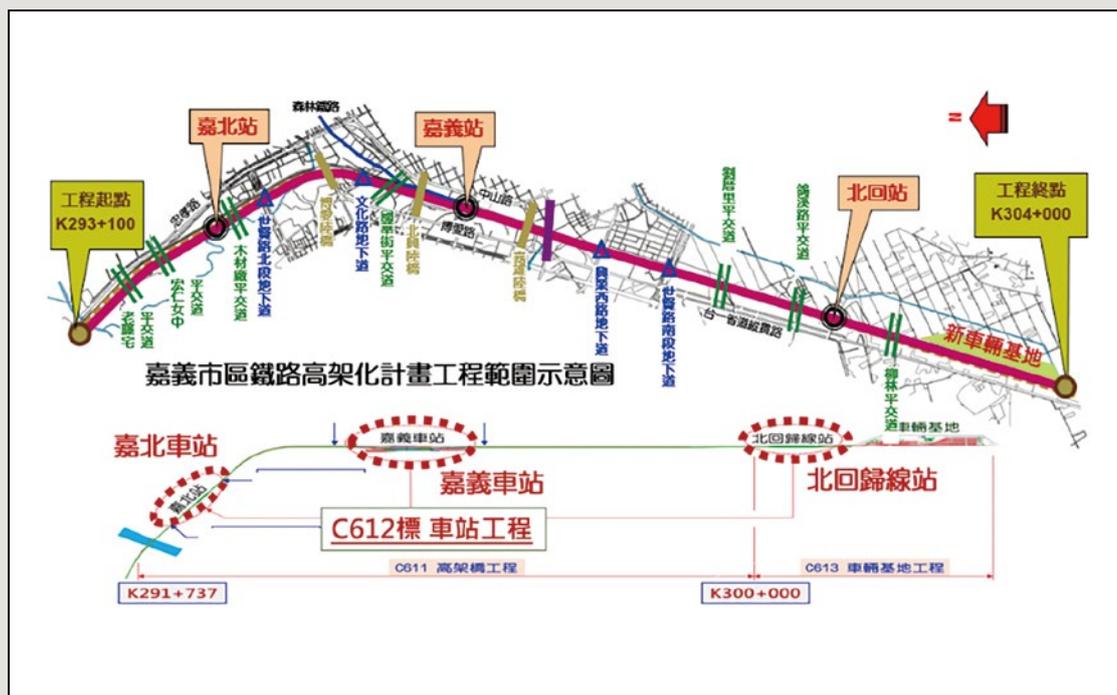


圖1 嘉義鐵路高架化計畫施作區域示意圖

上之橋梁工程。」及「工程中模板支撐高度七公尺以上，且面積達三百三十平方公尺以上者。」之丁類危險性工作場所，施工計畫須經勞動檢查單位審查同意後，方能施工。另因全線施工距離既有軌道中心僅2.16~14.37公尺不等，且其中有6公里長之箱型梁橋，施作範圍距離軌道中心小於3公尺。依據交通部鐵道局頒布之「鐵路沿線施工安全作業標準」，施工廠商之人員、車輛、機械、器具、材料等，嚴禁侵入鐵路建築界限(距最近軌道中心1.9公尺)。上述施作範圍雖未入侵鐵路建築界限，惟因工程緊鄰鐵路旁施工，部分橋梁基礎開挖時，亦會影響電力桿基礎的穩定性。此外，箱型梁橋緊鄰25kv高壓電力電車線，施工時亦容易發生感電危害。因此，隨著每次施工工項不同將相對產生不同風險，故需預先研擬相對應之安全精進作為，以降低意外發生。緊臨軌道施工情形詳見圖2。

## 參、安全精進創新作為

為確實避免發生施工危害，交通部鐵道局、設計單位、監造單位與施工廠商應用各領域之知識與智慧，提出諸多預防措施，降低鐵路工程之風險。本文將預防措施分為1.施工層面及2.管理層面此二方面，以嘉鐵計畫實際執行之安全精進創新作為，分享予後續鐵路工程參考。

### 一、施工層面

#### (一) 墩柱預組鋼筋籠工法

高架橋墩柱因土地利用及徵收問題，往往只能緊鄰營運鐵路旁施工，以傳統墩柱施工方式，現場墩柱鋼筋因綁紮時間冗長，勞工處在感電、墜落等高風險施工環境之時間增長。為兼顧軌道運輸安全及降低施工風險，本工程橋梁墩柱鋼筋採用預組施工方式，箍筋架先於鋼筋工廠加工，以6~7層箍筋為單位，再以繫筋點焊至箍筋上，其所有搭接處、角隅處皆以點



圖2 鐵路高架化工程緊臨軌旁施工使工程難度增加

焊固定，並載運至工區以分塊吊掛組裝方式施工，再於現場將主筋逐一穿過各區塊，即可完成墩柱鋼筋綁紮作業(圖3)。



(1) 工廠預組鋼筋籠及鋼筋籠組立樣架



(2) 墩柱鋼筋籠現場吊放、組裝



(3) 墩柱主筋綁紮

圖3 墩柱鋼筋綁紮作業

### (二) 墩柱鋼模特製化

為配合設計功能需要，本工程橋梁墩柱有五種類型，全部採用模組化鋼模施作，鋼模以一米高為一單位，三個單位組合為一昇層，再

使用螺栓鎖固，以發泡填縫劑填塞接合處，整體鋼模穩固且不易漏漿。此外墩柱鋼模也規劃有外圍施工步道，減少搭架組模時間，提升安全等級(圖4)。



圖4 利用模組化鋼模降低組模及設置上下設備時間

### (三) 軌道沉陷監測

緊鄰營運中鐵道施工，尤應注意施工過程中，是否對鄰近既有設施(包括軌道路基、號誌、纜線等)造成影響。本工程不但要注意工區內施工人員之安全，同時更需顧慮列車之行車安全。在列車高速行駛下，軌道發生沉陷或位移，皆可能造成重大公共危險，故施工中軌道沉陷監測亦為相當重要課題。

傳統軌道監測常將觀測點設置於既有軌道之軌枕上，先埋設沉陷釘，再運用水準儀定期量測高程(如圖5所示)，以確認軌道是否沉陷。此工法至少需2人作業，由一人進入軌道區域，手持箱尺放置於沉陷釘上，供觀測者觀測。又因軌道白天需維持列車營運，為確保列車營運及工作人員安全，工作人員必須利用夜間列車停駛期間，完成斷電封鎖後方得進入軌道區域量測，常無法滿足全時段或緊急狀況下所需之即時觀測。

本工程軌道沉陷監測係於半阻隔施工圍籬外側，架設全測站經緯儀，觀測預先佈設於鐵軌

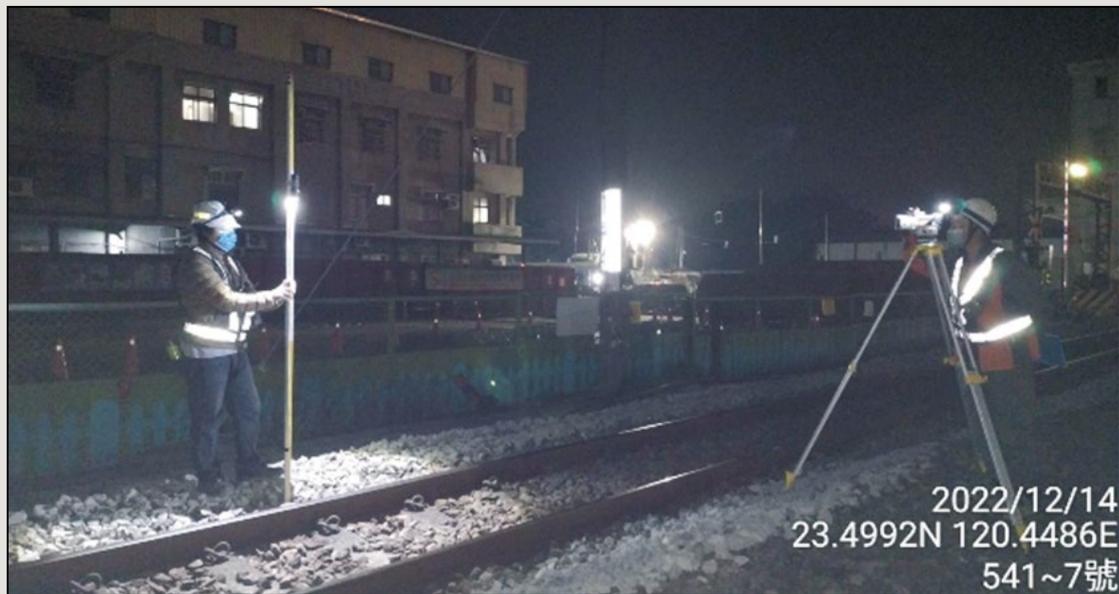


圖5 夜間使用軌道沉陷釘進行軌道沉陷觀測作業

上之菱鏡貼片，以監測不同時間之高程差。在符合設計原意下，達成與水準儀觀測沉陷釘工法同樣之監測效果，如圖6所示。採用全測站經緯儀觀測法，可於任何時間進行軌道沉陷監測，如遇突發狀況或是其他緊急需求，可立即進場觀測，如圖7所示。安全性上因可於軌道外監測軌道沉陷狀況，可避免監測人員進入軌道，提升監測時之安全性，且不必夜間進行軌道監測作業，使監測人員可於視線較佳情況下量測，提升觀測正確性及降低觀測誤差頻率。

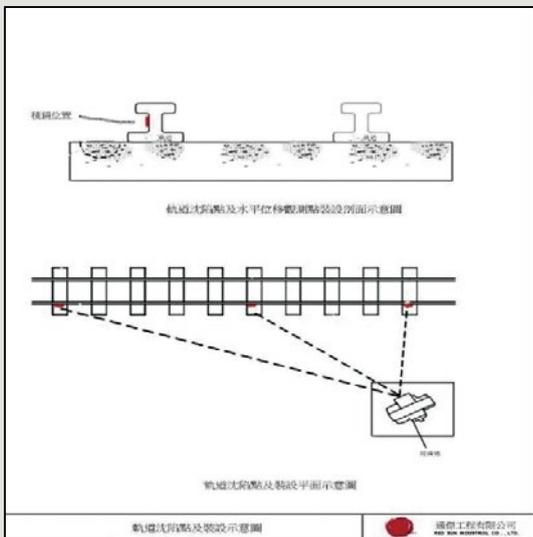


圖6 全測站經緯儀測量示意圖



圖7 於圍籬外以經緯儀量測軌道沉陷量

(四) 臨軌側安全防護設施施作-鋼板樁不拔、高壓噴射樁地盤改良

1. 臨軌側距軌道中心5m內鋼板樁不拔

為確保軌道營運安全，除透過上述第(三)項方法，定期監測軌道沉陷狀況外，亦可藉由臨軌側安全防護設施施作，增添營運軌道另一道保障。本工程需於現有軌道旁進行高架橋基礎開挖施工，因高架橋橋墩基礎距離既有營運軌道相當近，原設計橋墩基礎施作時，係採鋼板樁作為擋土支撐，以避免營運軌道下方鋪設之道碴流失，俟橋墩基礎完成後，再進行鋼板樁拔除(圖8)。



圖8 臨軌鋼板樁打設，避免軌道下道碴流失

於109年起，考量臨軌側鋼板樁拔除時，無法避免擾動造成軌道沉陷影響列車營運，經研商後，擬定橋墩基礎與臨時軌中心距離小於5m之鋼板樁，採取鋼板樁暫不拔除之安全措施。

## 2. 臨軌側高壓噴射樁施作

本工程嘉義車站地下層施工需施作之連續壁，位於既有嘉義車站營運軌道(第4股道，第2月台)旁，為確保連續壁施作期間不致造成軌道路基流失軌道下陷，影響營運安全，故於營運軌道旁，施作高壓噴射樁進行現地地盤改良，加強軌道基礎穩

定性，讓連續壁工程施工時，不致抽坍下陷影響行車安全，如圖9所示。



圖9 嘉義車站軌道旁高壓噴射樁作業

## (五) 連續壁施作

本工程係於既有嘉義車站範圍內，闢建嘉義高架車站(圖10、圖11)。嘉義高架車站包括新建地下2層、地上4層(包含月台層)之龐大結構物，因其施工範圍被包圍在營運正線與調車線之間，如何確保相關軌道及設施正常運作與安全，更加重要。

新建嘉義車站基礎施工採用連續壁作為擋土設施。於連續壁施工前，因緊臨軌道以及地下水水位較高影響，故規劃先行於鄰軌側施作高

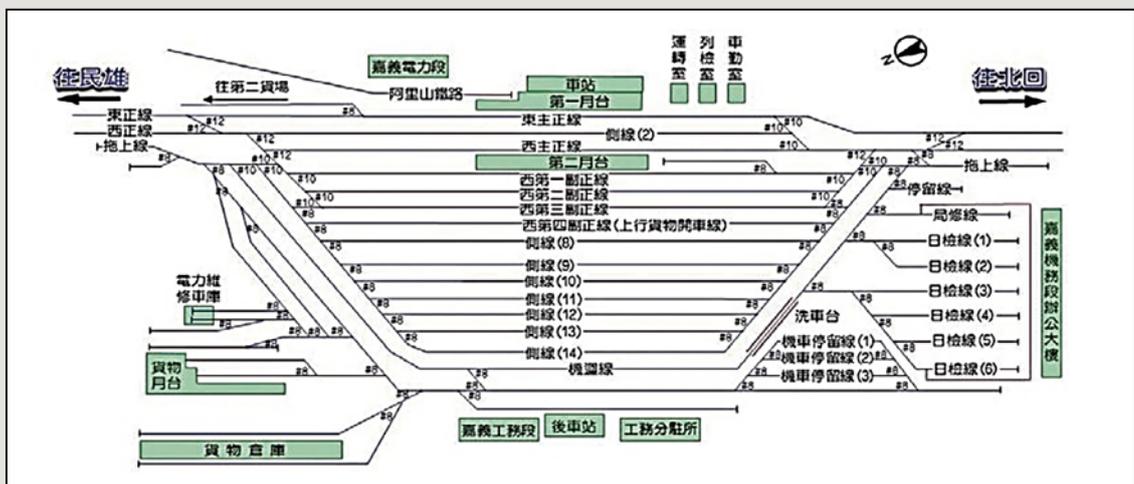


圖10 原嘉義車站軌道配置示意圖

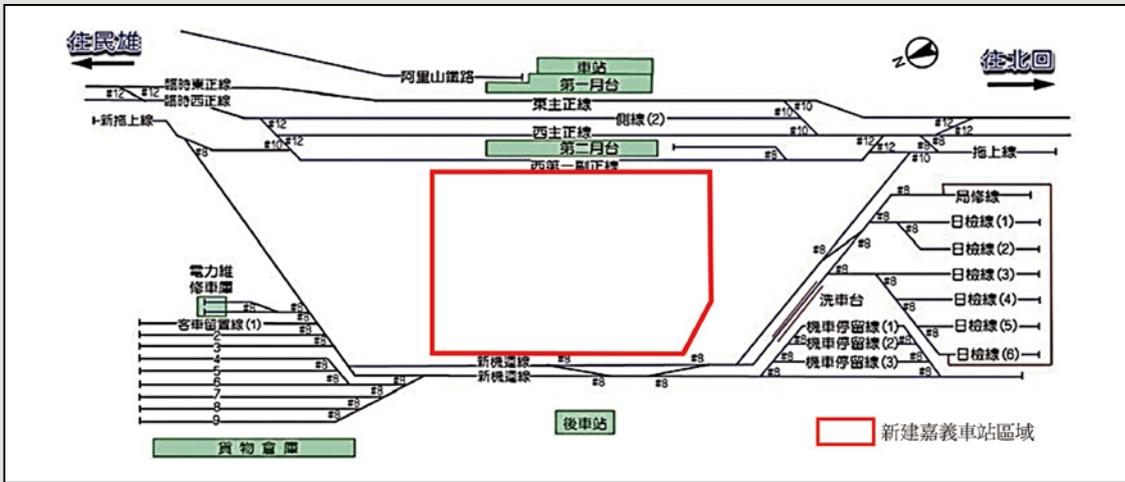


圖11 新建嘉義高架車站與現有營運軌道相對位置示意圖

壓噴射樁(參考(四)-2)，對既有軌道做了第一道防護措施，亦利於後續連續壁導溝開挖時，有效防止軌道側石碴滑落。高壓噴射樁施作完成後，便開始施作導溝工程，透過連續壁導溝，可有效控制施作連續壁時所使用的工程水流

向，避免短時間內過量用水導致工區泥濘、地基不穩，相關施工步驟及相對位置如圖12、圖13所示。

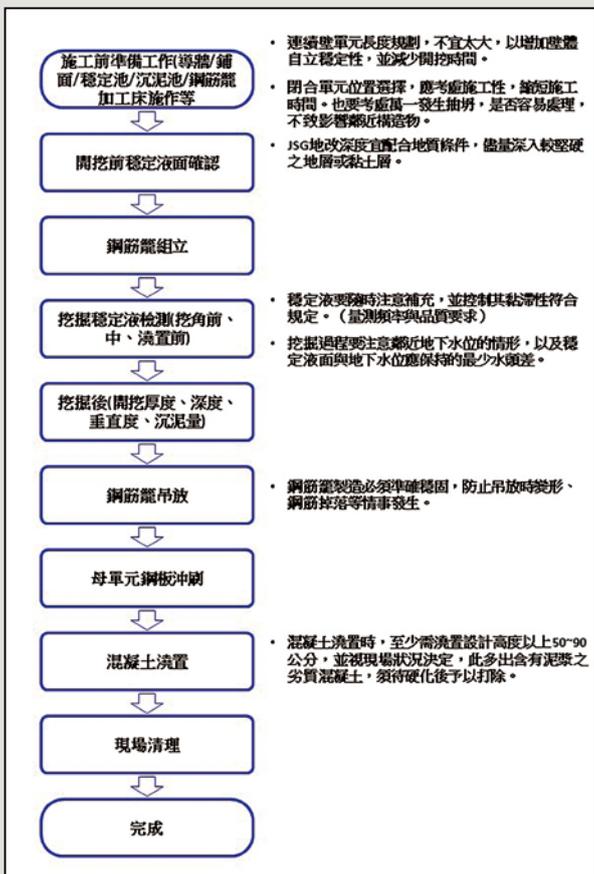


圖12 連續壁施工步驟



圖13 連續壁、營運軌道及高壓噴射樁相對位置

結束導溝施作後，連續壁工程準備作業大致完成，後續步驟中，在鋼筋籠組立步驟，透過預埋PVC塑膠管、鋼筋應變計、傾度管等預埋件方式，運用PVC塑膠管進行連續壁完整性

試驗，檢驗連續壁有無裂縫、破洞等施作不良情形；透過定期監測鋼筋應變計、傾度管等儀器，了解施作完成連續壁所保護之營運軌道，是否產生土地塌陷(圖14)。在連續壁挖掘步驟

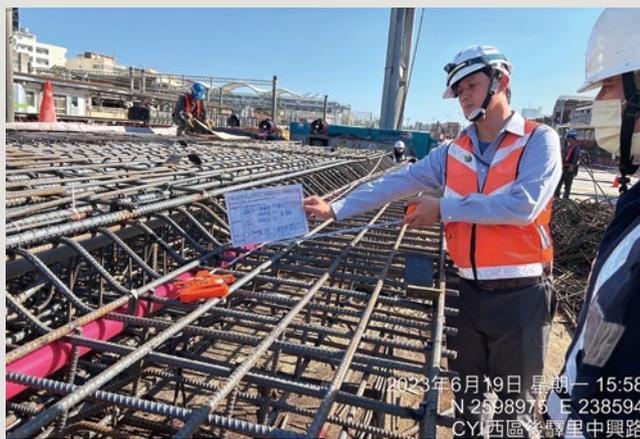


圖14 連續壁傾度管(紅管)埋設

中，將持續澆注穩定液，確保挖掘過程中壁體不致崩塌，挖掘完成後，藉由超音波測定儀，確認是否坍孔、垂直度不足現象(圖15)。於鋼筋籠吊放步驟，於鋼筋籠上先行綁好牽引繩，穩定控制吊放過程中之鋼筋籠；藉由於組立好之鋼筋籠上包上帆布與阻隔擋板，使連續壁灌漿時較不易受到掉落土石產生壁體內包泥等連續壁澆置不良狀況(圖16)，藉著以上精進作為，提升連續壁施作品質，對鄰軌安全防護有更進一步之保障。

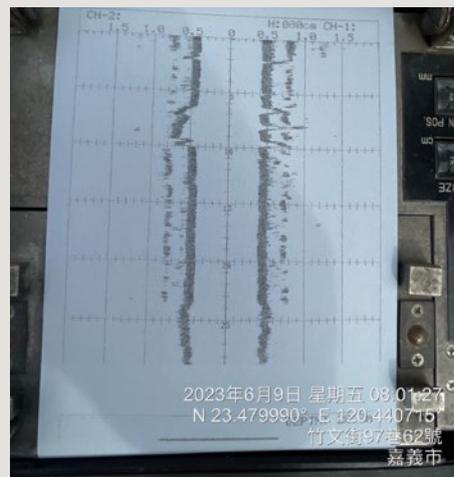
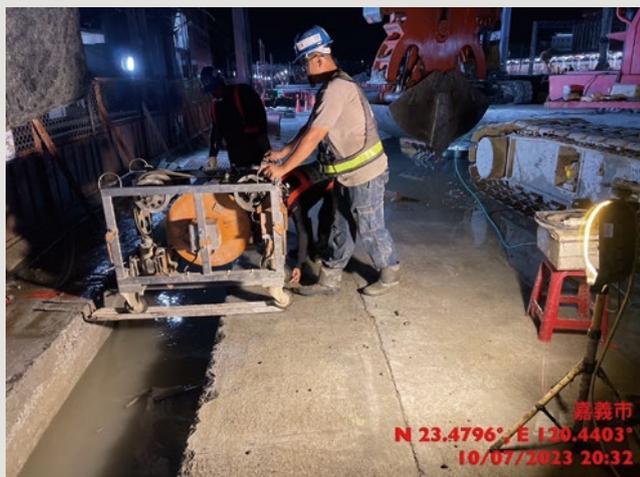


圖15 連續壁超音波檢測(圖左)及檢測結果(圖右)



圖16 鋼筋籠包覆帆布、阻隔擋板

## 二、管理層面

### (一) 夜間臨軌作業

每一次的鐵路施工事故意外，皆可能帶來巨大社會成本的損失。本工程考量列車營運安全，規定距離鐵道中心小於2.3公尺或相鄰電車線作業，採取夜間斷電封鎖(晚間12點至隔日4點)，若有影響營運軌之事件時可即時於夜間處理，減少白天處理可能影響營運之風險。

舉凡臨軌側懸臂工作車吊掛組拆、懸臂工作車推車、箱型梁場撐模板推移、箱型梁場撐型鋼組拆及臨軌側永久護欄吊掛等作業，皆採取夜間施工，施工前先行與行車室確認斷電封鎖是否啟動，現場以電流檢測器量測電車線電流，如圖17-1，而大型機具皆須牽引接地線至匯流排，並量測施工區域照度符合規定後，如圖17-2，才可開始臨軌施工作業，且須全程監看錄影，如圖17-3，於安全會議上檢討作業流程，針對風險之施工適當調整工序，使標準作業流程更臻完善。



圖17-1 量測電車線電流



圖17-2 量測施工區域照度

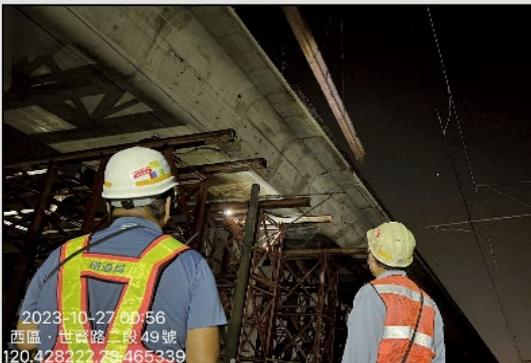


圖17-3 臨軌全程監看錄影

## (二) 每日施工後巡檢

有鑑於110年案例，下班後仍有人員獨自進入工區內施工，於作業時無配戴相關安全措施，造成意外發生。為了防止類似事件，本工程於每日收工後，業主、監造及承商於各施工地點巡檢，確保工區無人施工，同時於大門檢查確實上鎖如圖18-1，並巡視營運軌道是否淨空，以維列車正常營運與工區安全，如圖18-2。



圖18-1 確認工區大門關閉



圖18-2 收工巡檢確認軌道淨空

## (三) 臨軌側AI電子圍籬

避免施工機具物料人員入侵臺鐵列車軌道範圍，造成列車行駛營運風險，本工程原先設置之紅外線電子圍籬，易受限施工環境及天候等多項因素之影響，未能提供全面性保護功能。考量紅外線電子圍籬異常時，仍可確保異物無入侵軌道風險，故採用攝影機影像辨識系

統之AI電子圍籬(圖19)，設置於臨軌側圍籬旁，24小時全程監看，若偵測到人或車、機具、異物接近或入侵軌道情形，現場將即時啟動警示燈及蜂鳴器，並推播Line群組通知，主控室亦出現警報訊息及影像記錄(圖20)。



圖19 AI電子圍籬

(四) 嘉北車站非付費區樓梯代替新建鋼樓梯方案

本工程C612標既有嘉北車站，因新建高架橋緊鄰既有列車營運軌道，致橋梁墩柱與既有嘉北車站往第二月台樓梯結構衝突，如圖21-1所示。考量前述結構衝突情形，原設計預計新建一座鋼樓梯，取代原有車站樓梯，再進行原有樓梯拆除作業，以先建後拆概念，解決施工過程中車站人行動線問題，如圖21-2。

原設計於現有月台上新建跨站天橋基礎，易致月台乘客進出動線受阻，且施工時亦有緊鄰電車線造成感電等風險之疑慮，經鐵道局、監造團隊與施工團隊重新研討後，利用既有空間重新規劃既有車站之人行動線，並於人行動

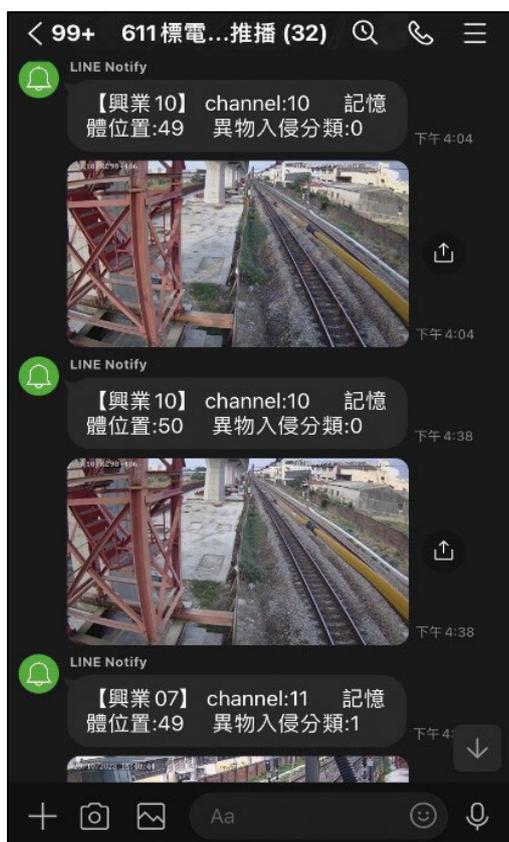


圖20 AI電子圍籬監測群組



圖21-1 橋基與臺北車站樓梯衝突

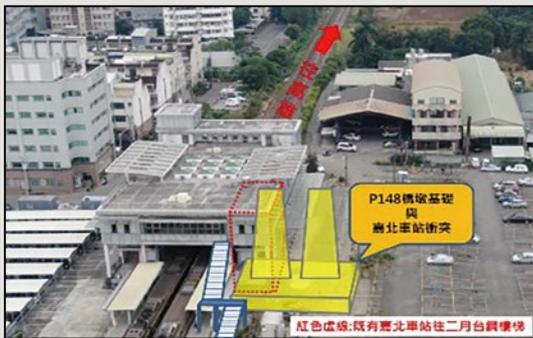


圖21-2 新建鋼樓梯取代原有樓梯

線上設置動線指標等輔助措施，指引車站乘客順利入站，俾取消新建鋼樓梯節省公帑，符合設計原意並降低施工風險，如圖22所示。

(五)單向型電子輔助瞭望員與緊急按鈕

因應法規於各施工區域起迄點設置瞭望員，以無線對講機方式通知施工人員暫停施工，但執行中有時受到外單位訊號影響或通訊不良，致未即時通知到現場施工人員，影響司機員之判斷，嚴重時亦會影響鐵路營運(111年10月22日發生臺鐵局司機員通報打樁機疑似施工入侵路線淨空驚擾事件)。

為提昇及強化現有電子輔助瞭望員設備(紅外線遮斷式)線傳訊號功能，使施工人員有提早閃避及防護之預警機制，於劉厝里平交道(圖23)

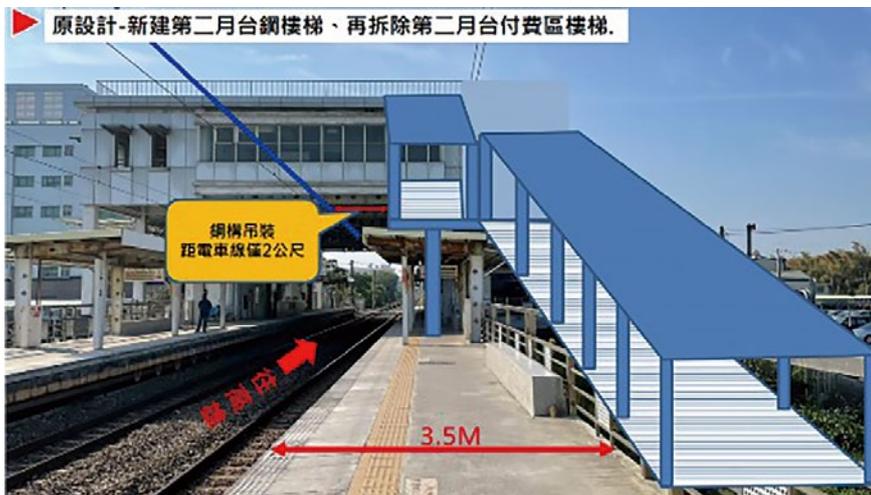
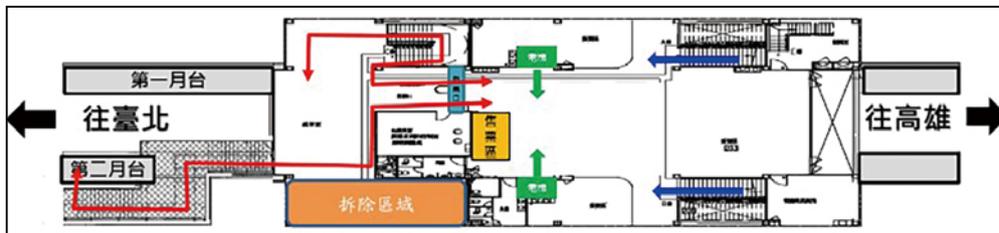


圖22 (1)原設計方案示意圖



圖22 (2)取代方案示意圖



圖23 單向型電子輔助瞭望員之感應器(劉厝里平交道)(垂楊陸橋下)

及垂楊陸橋處(圖23)使用”單向型電子輔助瞭望員”之感應器，待列車經過時會即時傳輸之廣播收發器(圖24)，使施工人員注意列車動向，降低現有電子瞭望員及人力通訊不良風險。若有物體飛落或有影響列車情形發生，現場人員可擊按緊急按鈕(與平交道緊急按鈕相同，圖25)，則可即時通知臺鐵局，使列車司機員提早煞車，將損害降至最低。

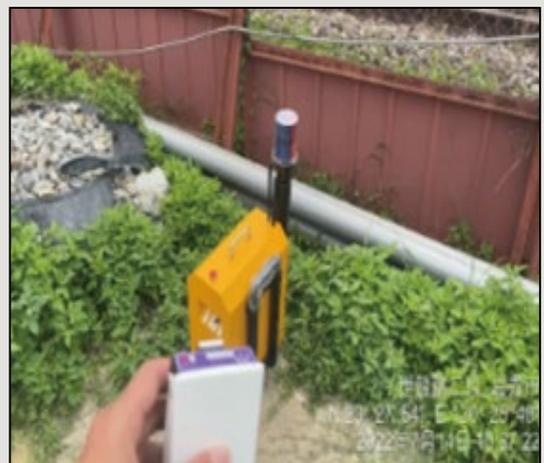


圖24 廣播收發器及隨身接收器



圖25 現場設置之緊急按鈕

#### (六)建築資訊模型BIM應用

建築資訊模型(下簡稱BIM)，可將其視為參數化之3D幾何模型。現地施工條件、工期等與工程相關之參數，均可同時建置於此工程模型中，再藉由組合這些參數後，自動計算出查詢者所需要的準確資訊，如平面圖、3D圖、4D工程排程模擬等。

透過BIM之應用，可將本工程不同階段，無論是施工規劃、施工中，或是後續營運維護等工作，在預算額度下，以最短的時間，完成最優質的設施，充分發揮BIM技術之效益。同時亦有益於各項工程施作前，有效檢核其臨軌施工安全性，進而從最初規劃階段有效避免高風險之工作。

本工程里程K294+013至K294+133處，預計興建嘉北高架車站，在透過BIM檢核下，研判新建站體將與現地編號2/294、4/294、6/294總共3座電力桿(圖26標示紅色部分)有距離過近問題，故於車站工程開始施作前，業主、監造及施工團隊便可先行擬定變更方案，調整成採用月台型式懸臂組方式，增加電氣淨空，又以設置2TC電桿方式取代既有西線電桿(含錨錠)，確實避免現場人員需於接近高壓電情形下施工。本工程預計施作北回歸線車站區域，從BIM模擬結果，檢核出後續車站之月台雨棚，與既有電桿、新設電桿產生衝突(圖27，電桿為紅色部分)。如同上述嘉北高架車站，考量雨棚施作時

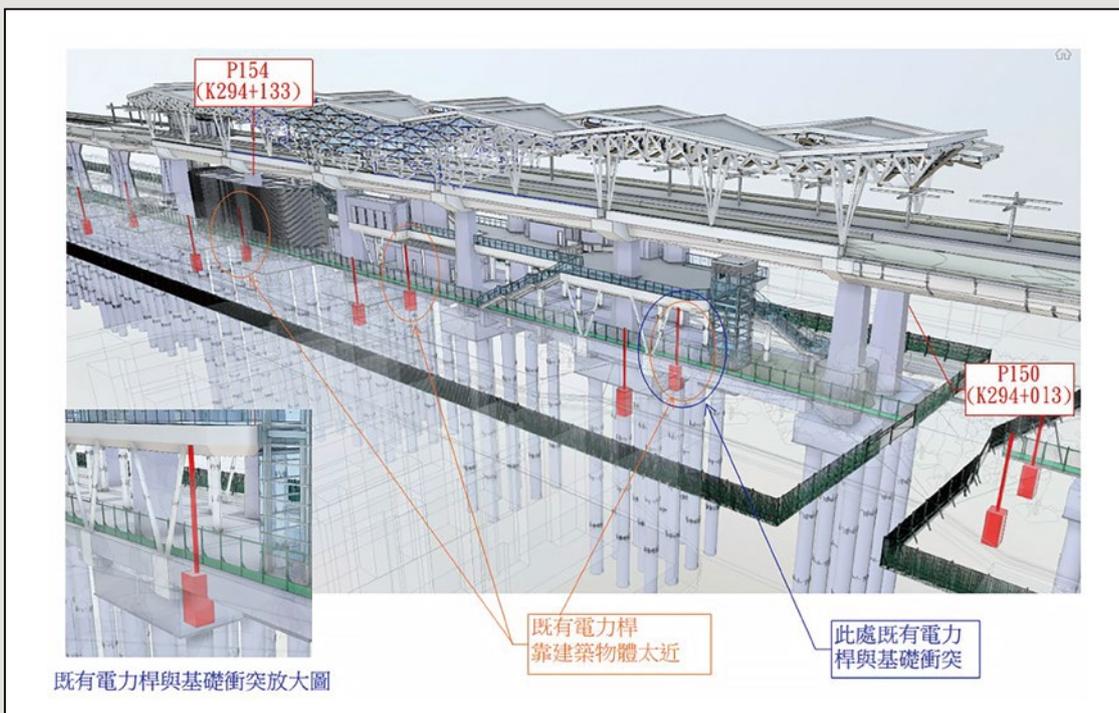


圖26 BIM現場結構物模擬情形

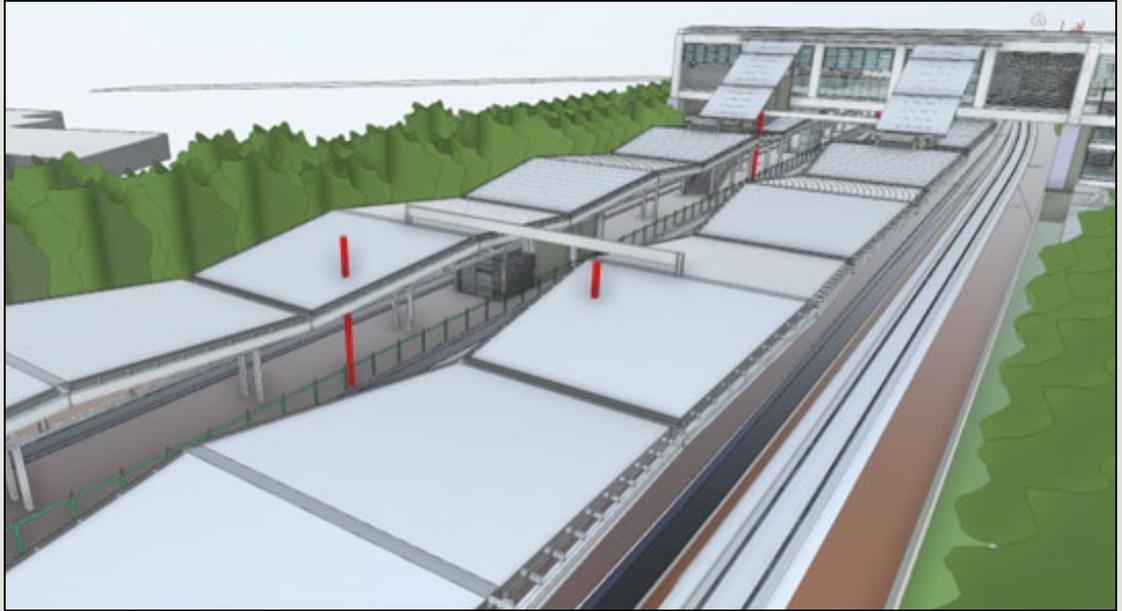


圖27 北回歸線車站雨棚與電桿衝突

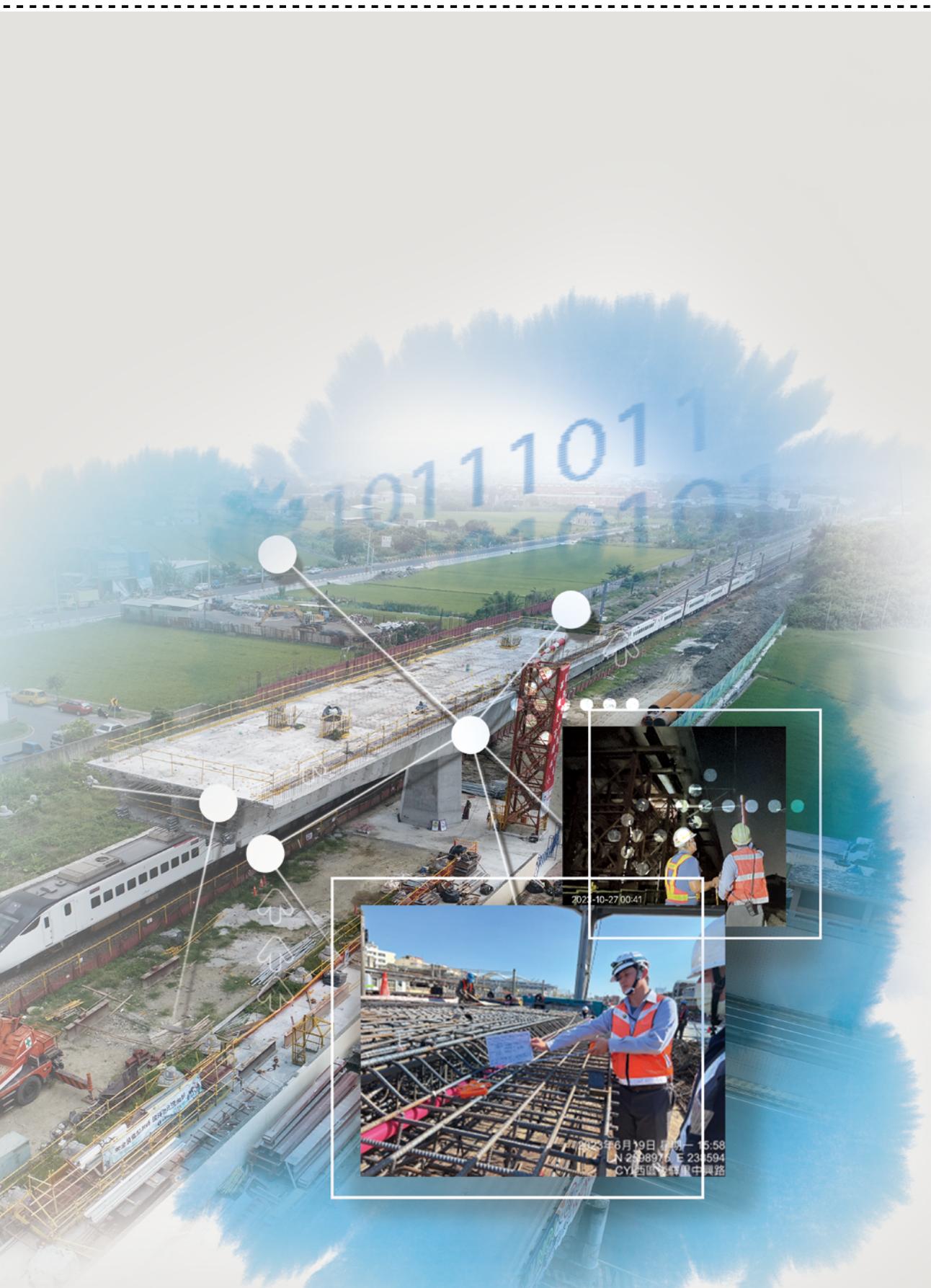
將與電桿過近，產生極大之感電危害，故於相關計畫書、施工圖提送前，便事先採取釋疑、設計變更，徹底消除感電風險。

### 結語

孫子兵法十三篇之軍爭第七：「金鼓旌旗者，所以一人之耳目也。人既專一，則勇者不得獨進，怯者不得獨退。」，團隊若對目標有共識，則一同朝目標前進，個人就不會有踰矩行為。鐵路工程施工環境多為緊鄰營運中電氣化軌道之狹長工區，嘉義鐵路高架計畫工作面已全面展開，每一處皆緊鄰營運軌施工，對於執行本計畫的工程師而言，稍有不慎都可能造成嚴重公共危險，因此臨軌施工安全需要靠全體參與計畫的人員共同努力，而非僅安衛工程師之責任。全體參與工程人員皆需全程警戒列車營運安全及現場施工安全，唯有將安全深植每位人員心中，才能確保臨軌工程施工安全。

### 參考文獻

1. 郭林堯、彭知行、簡學義、吳宣欣、李明勳，「嶄新嘉義之心-嘉義鐵路高架工程」，中華技術131期，臺北(2021)。
2. 交通部鐵路改建工程局「嘉義市區鐵路高架化計畫環境影響說明書」，行政院環保署99.11.26環署綜字第0990105312號函。
3. 交通部鐵道局「鐵路沿線施工安全作業標準」及「鐵路沿線施工安全須知」。
4. 交通部臺灣鐵路管理局「交通部臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序」，鐵工局107年5月18日鐵工規字第1070005382號函。



# 3

## 專題報導

# 以關聯式資料庫建立專案時程風險整合式管理系統——以高雄捷運岡山路竹延伸線第二階段(RK2)為例

關鍵詞(Key Words)：進度管理(Schedule Management)、風險管理(Risk Management)、關聯式資料庫(Relational Database)

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／資深協理／莊明哲 (Cuang, Ming Che) ❶  
 國立高雄科技大學／營建工程系／副教授／陳懿佐 (Chen Yih-Tzoo) ❷  
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／高捷專案／專案協理／江明珊 (Jiang, Ming-Shan) ❸  
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／計畫經理／鍾增煌 (Cung, Tseng-Huang) ❹  
 國立高雄科技大學／營建工程系／研究生／程怡嘉 (Cheng, Yi-Jia) ❺  
 國立高雄科技大學／營建工程系／研究生／戴郁芸 (Dai, Yu-Yun) ❻



## 摘要

在專案管理實務上，時間與風險管理系統經常被視為兩個獨立的管理架構，本研究以關聯式資料庫為核心，對風險與時間管理計畫進行整合，並以高雄捷運岡山路竹延伸線第二階段(RK2)作為實證計畫，將統包商之P6預定時程表、風險評估的詳細資訊進行關聯式資料庫建置，並優化資料庫結構，發展友善使用者界面，協助專案主辦機關、專管單位、監造單位及統包商即時取得關鍵時程與風險管理資訊，在第一時間做出正確決策，利用資訊化工具執行專案管理與監造作業，提升風險管理、時程管理作業效率，並節省技術人力資源。



## Integrating Time and Risk Management System by Relational Database (Taking RK2 as an example)

### Abstract

Time and risk management systems are often regarded as two separate management frameworks in project management practices. This study employs a relational database as the core to integrate risk and time management plans, providing an empirical investigation through its application in the second phase of the Kaohsiung Metro Gang Shan Lu Zhu Extension Line (RK2) project. The relational database is established by correlating the general contractor's P6 scheduled timetable and detailed information from the risk assessment plan. Additionally, the database structure is optimized, and a user-friendly interface is developed to assist the project's sponsoring organization, PCM, supervisory units, and general contractors in obtaining crucial schedule and risk management information in real-time. This enables accurate decision-making at the earliest opportunity, employing informational tools to execute project management and supervisory tasks, thereby enhancing the efficiency of risk management and scheduling operations while conserving technical human resources.

3

專題報導

## 壹、前言

基於高雄多項的大型捷運工程計畫正持續展開，大型專案對於時程管理與風險管理的管理系統需求將大幅增加，本研究以整合式專案管理和控制為目標，期能提高專案成功概率和交付價值，減少重複工作並提高效率，並能及時應對執行過程的變化和風險，確保專案順利完成。這除了需要專案經理及團隊具備良好的專案管理技能外，如何利用資訊化工具協助專案團隊進行溝通、協調也是關鍵因素。本研究將以統包商基準時程網圖，從最下層的作業項目納入風險管理的方式，帶出整合施工進度及風險管控並行的新管理模式。

## 貳、系統架構

本研究以岡山路竹延伸線第二階段(以下簡稱RK2)作為研究實證計畫，將統包商施工階段

之預定時程表、風險評估計畫的資料，依據整合式資料庫架構進行詳細資料建置，並在建置過程優化資料庫結構，包含資料欄位更新、資料關聯性更新及自動化連結Oracle P6(以下簡稱P6)；自動化連結P6之功能，讓風險資訊同時也能具備時間的屬性；本研究係利用Microsoft Access(以下簡稱Access)之外部資料庫連結功能，直接讀取P6程式中資料庫(以SQLite為來源)，省去額外轉檔之步驟，同時避免繁冗程序產生錯誤。(如圖1)

本研究針對專案管理中時程與風險資訊屬性，建立了一個專屬的資料庫結構圖，該結構圖也將基於RK2統包商的P6基準時程表和風險評估成果，進行資料標準化。這個資料庫結構圖包含了不同資料表之間的連結，以建立資料之間的關聯性。這些關聯性定義了表格之間的關係類型，如一對一、一對多或多對多關係。

為了確保資料的完整性和唯一性，本研究

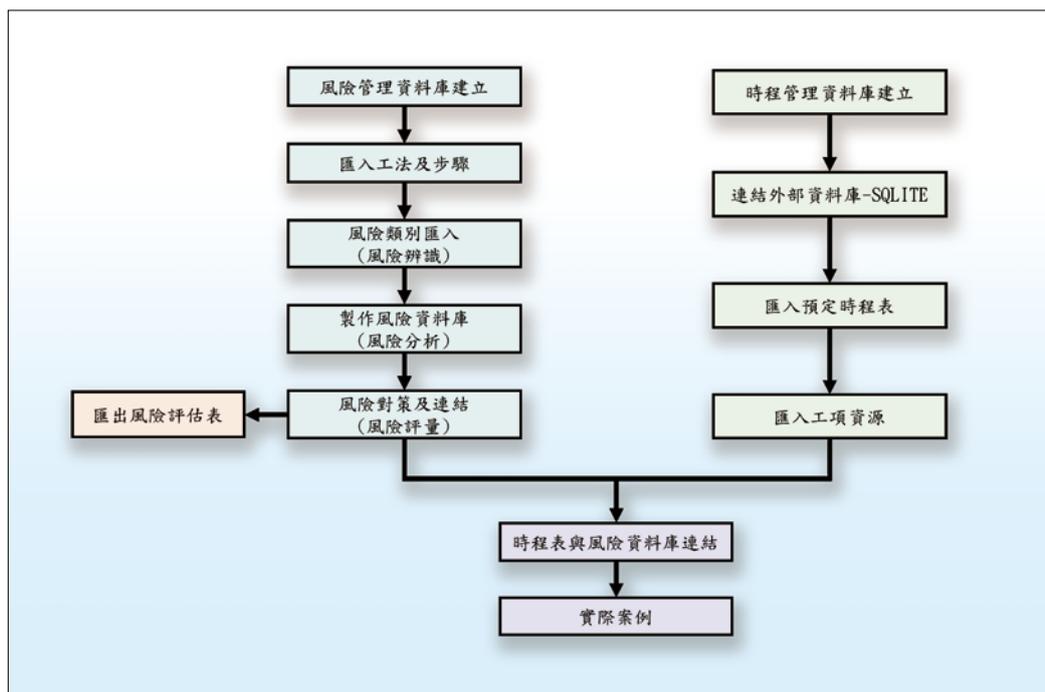


圖1 風險時程管理系統操作流程圖

在基本資料表中設置了主鍵，主鍵在資料庫中是用於識別資料表中的每一筆資料的唯一性，並確保每筆資料的完整性。而外鍵則是用來參照另一個資料表中的主鍵，以建立資料表之間的關聯性。透過外鍵的使用，確保了本研究資料的一致性和相互關聯性。

透過這些重要元素的組合和定義，本研究能夠建立一個良好的資料庫結構，有效地管理和組織專案資料。(如圖2藍色部分)

在資料庫中，中間表（也稱為連接表或交叉表）是用於連接兩個或多個資料表的一種特殊類型的資料表。它不需要在單個表中重複儲存大量相同的內容，僅儲存兩個(或兩個以上)資料表的關係性資訊，因中間表會將連接資料表之間的欄位同時設定為主鍵，故可在資料表之

間創建一個多對多關係。具體來說，中間表可以用於以下情況：

### 一、建立多對多關係

如果兩個資料表之間存在多對多的關係，那麼可以使用一個中間表來儲存這些關係，(如圖3紅框部分)。一個作業會對應到許多風險，而一個風險亦會對應多個作業，使用中間表來管理它們之間的關係，中間表可以將這些作業與風險關聯起來。

### 二、提高查詢效率

中間表可以優化查詢的效率。例如，如果要查詢一個包含大量記錄的資料表，而且查詢條件是與另一個資料表相關聯的，那麼可以使用一

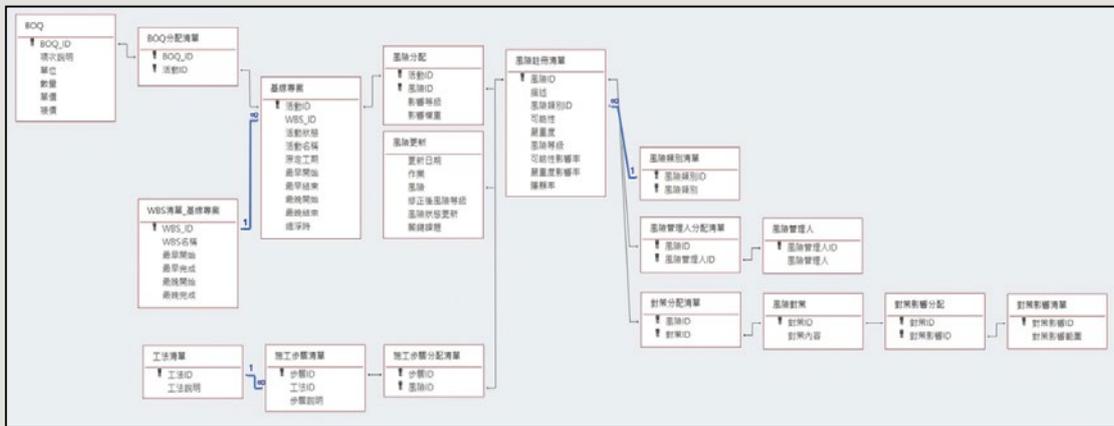


圖2 資料庫結構圖 (一對多關係)

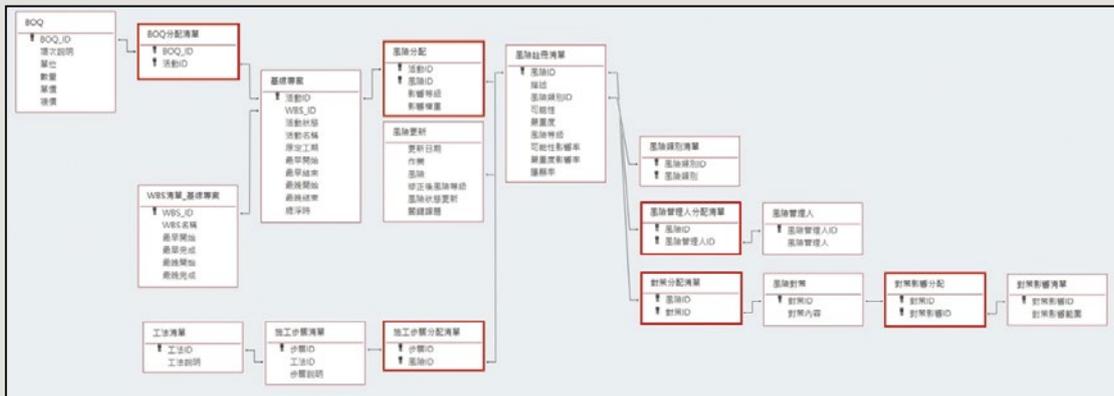


圖3 資料庫中間表(多對多關係)

個中間表來儲存這些關係，可以有效減少資料查詢時間，大幅提升資料檢索/查詢的效率。

### 三、管理數據

中間表可以用於管理資料。例如，如果有一個需要進行頻繁更新的表，而且這個表與其他表之間存在複雜的關係，那麼可以使用中間表來管理這些關係，並減少對原始資料的影響。

在完成風險資料庫建置後，因為資料庫欄位及關聯性連結的更新，可以直接在Access的各式表單中，對已匯入的工法、步驟、風險註冊清單、風險對策、預訂時程表連結等資訊及關聯進行局部調整，並可利用Visual Basic for Application(VBA)自動產出更新後的風險評估表。未來也可利用目前的風險資料庫套用至新的工程專案，對於經驗的傳承及計畫起始的風險評估產生助益。系統架構圖如圖4，風險及時程資料庫建置流程如圖5。

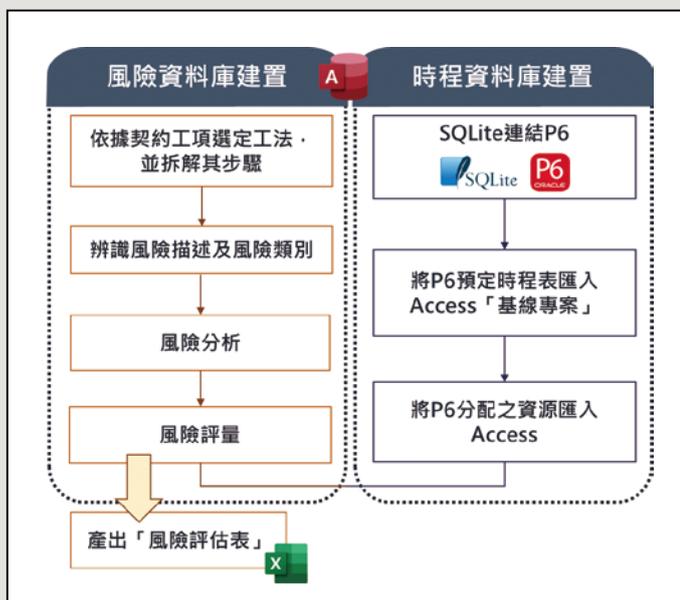


圖5 風險及時程資料庫建置流程

### 參、P6時程資料庫匯入及讀取

本研究架構的關鍵技術之一，為直接將P6的預設之一的SQLite資料庫，利用ODBC（Open Database Connectivity，開放資料庫連結）匯

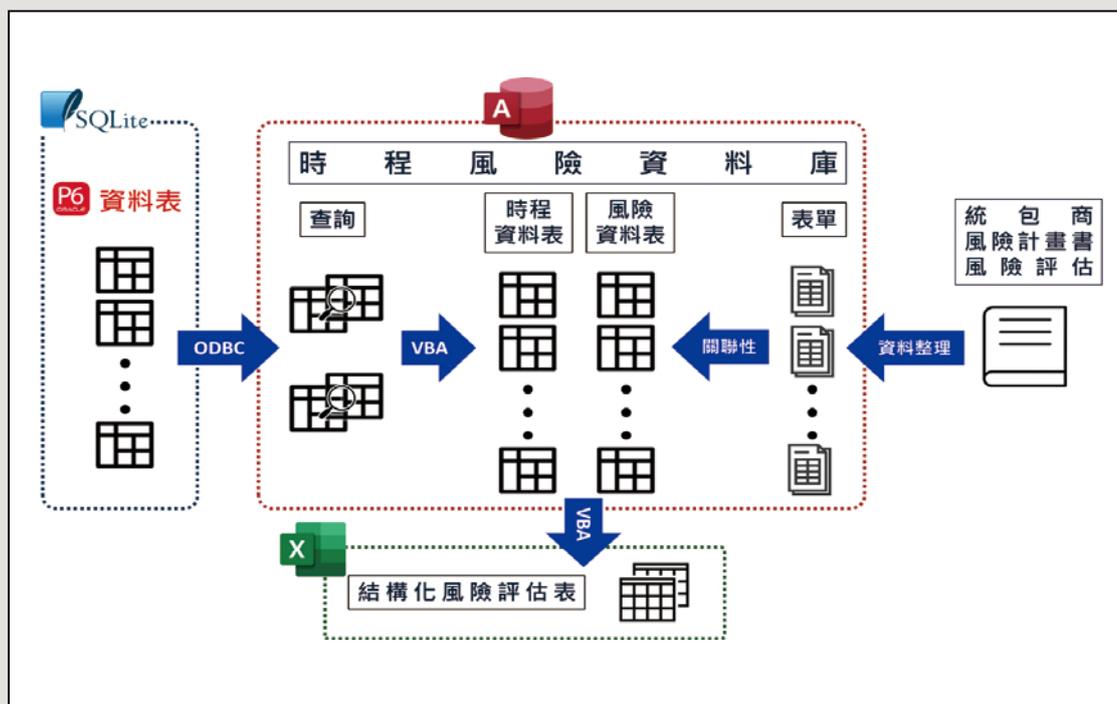
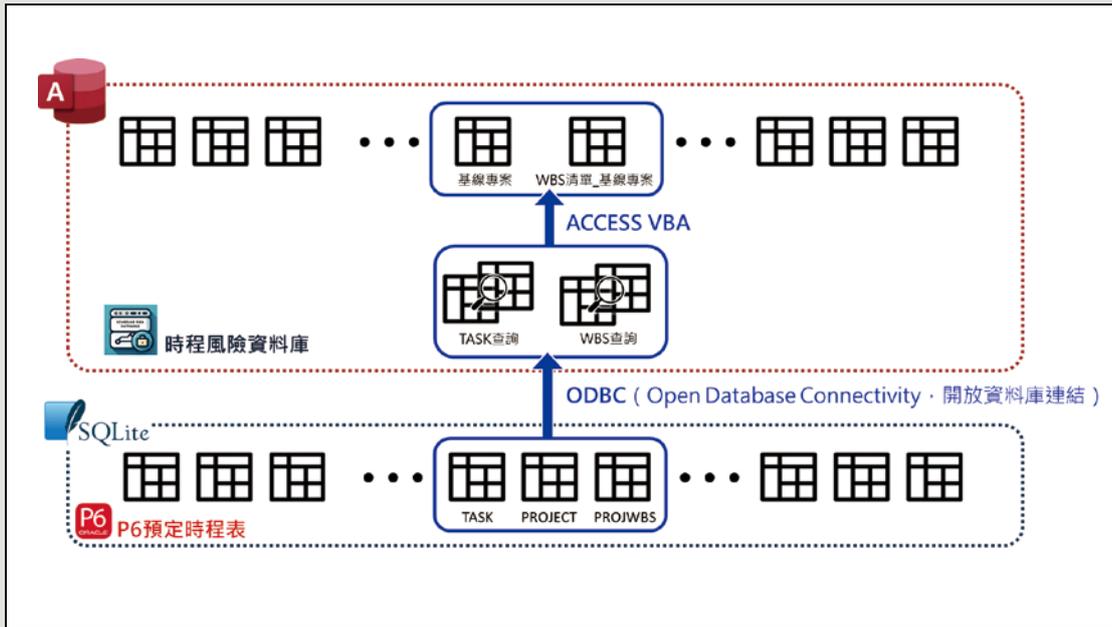


圖4 本研究系統架構圖

入Access資料庫中，再利用「查詢」功能及於Access開發VBA程式碼將時程資訊載入時程風險資料庫，P6時程資料庫匯入時程風險資料庫流程如圖6。

NAME、OD、ES、EF、LS、LF、TF)的資訊可從「TASK」、「PROJECT」、「PROJWBS」三個資料表以相互之關聯性讀取，故本研究於Access建立兩個查詢「TASK查詢」、「WBS查詢」作



\*SQLite是一款輕量級、嵌入式的關聯式資料庫，不需要伺服器並可跨多個操作系統運行。

圖6 P6時程資料庫匯入時程風險資料庫流程圖

而P6軟體擁有的時程管理、風險管理、成本管理等功能，其完整資料表有125個，經本研究探討其關聯性資料庫架構，與時程有關的欄位(TASK ID、TASK NAME、WBS ID、WBS

為重建P6欄位的方法。「TASK查詢」設定之資料關聯圖如圖7，「WBS查詢」設定之資料關聯圖如圖8，該查詢所代表的SQL Command如下：

TASK查詢之SQL Command：

```
SELECT
    TASK.TASK_ID,
    TASK.TASK_CODE,
    TASK.TASK_NAME,
    Int([TOTAL_FLOAT_HR_CNT]/8) AS TTF,
    Int([REMAIN_DRTN_HR_CNT]/8) AS OD,
    WBS查詢.WBS,
    PROJECT.PROJ_SHORT_NAME,
    Format([EARLY_START_DATE],"yyyy-mm-dd") AS ES,
    Format([EARLY_END_DATE],"yyyy-mm-dd") AS EF,
```

```

Format([LATE_START_DATE],"yyyy-mm-dd") AS LS,
Format([LATE_END_DATE],"yyyy-mm-dd") AS LF,
TASK.WBS_ID,
Format([PROJECT].[LAST_RECALC_DATE],"yyyy-mm-dd") AS 更新日期,
TASK.STATUS_CODE,
Format([ACT_START_DATE],"yyyy-mm-dd") AS A_S,
Format([ACT_END_DATE],"yyyy-mm-dd") AS A_F,
Int([REMAIN_DRTN_HR_CNT]/8) AS RD
FROM
(PROJECT INNER JOIN TASK ON PROJECT.[PROJ_ID] = TASK.[PROJ_ID])
INNER JOIN WBS查詢 ON (TASK.WBS_ID = WBS查詢.WBS_ID) AND (PROJECT.PROJ_ID =
WBS查詢.PROJ_ID)
WHERE
(((PROJECT.PROJ_SHORT_NAME)="修訂二版-1024"));

```

WBS查詢之SQL Command :

```

SELECT
PROJECT.PROJ_SHORT_NAME,
PROJWBS.PROJ_ID,
PROJWBS.WBS_ID,
PROJWBS.WBS_NAME,

IIf([WBS2]=""," ",IIf([PROJWBS_5]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT
NAME],[PROJWBS_5]![WBS_SHORT_NAME],"")) AS WBS1,

IIf([WBS3]=""," ",IIf([PROJWBS_4]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT
NAME],[PROJWBS_4]![WBS_SHORT_NAME],"")) AS WBS2,

IIf([WBS4]=""," ",IIf([PROJWBS_3]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT
NAME],[PROJWBS_3]![WBS_SHORT_NAME],"")) AS WBS3,

IIf([WBS5]=""," ",IIf([PROJWBS_2]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT
NAME],[PROJWBS_2]![WBS_SHORT_NAME],"")) AS WBS4,

IIf([WBS6]=""," ",IIf([PROJWBS_1]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT
NAME],[PROJWBS_1]![WBS_SHORT_NAME],"")) AS WBS5,

IIf([PROJWBS]![WBS_SHORT_NAME]<>[PROJ_SHORT_NAME],[PROJWBS]![WBS_SHORT
NAME],"") AS WBS6,

```

```

IIf([WBS1]<>"",[WBS1] & ".","") &
IIf([WBS2]<>"",[WBS2] & ".","") &
IIf([WBS3]<>"",[WBS3] & ".","") &
IIf([WBS4]<>"",[WBS4] & ".","") &
IIf([WBS5]<>"",[WBS5] & ".","") &
IIf([WBS6]<>"",[WBS6],"") AS WBS

```

FROM

```

((((PROJWBS LEFT JOIN PROJWBS AS PROJWBS_1 ON PROJWBS.PARENT_WBS_ID =
PROJWBS_1.WBS_ID)
LEFT JOIN PROJWBS AS PROJWBS_2 ON PROJWBS_1.PARENT_WBS_ID = PROJWBS_2.
WBS_ID)
LEFT JOIN PROJWBS AS PROJWBS_3 ON PROJWBS_2.PARENT_WBS_ID = PROJWBS_3.
WBS_ID)
INNER JOIN PROJECT ON PROJWBS.PROJ_ID = PROJECT.PROJ_ID)
LEFT JOIN (PROJWBS AS PROJWBS_4 LEFT JOIN PROJWBS AS PROJWBS_5 ON
PROJWBS_4.PARENT_WBS_ID = PROJWBS_5.WBS_ID)
ON PROJWBS_3.PARENT_WBS_ID = PROJWBS_4.WBS_ID

```

WHERE

```

(((PROJECT.PROJ_SHORT_NAME)="修訂二版-1024"));

```

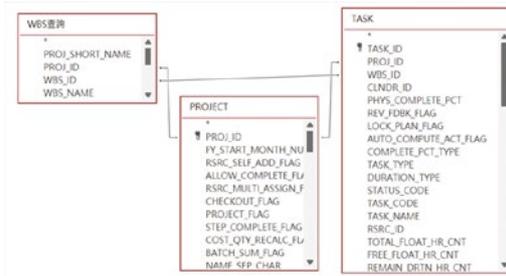


圖7 「TASK查詢」設定之資料關聯圖

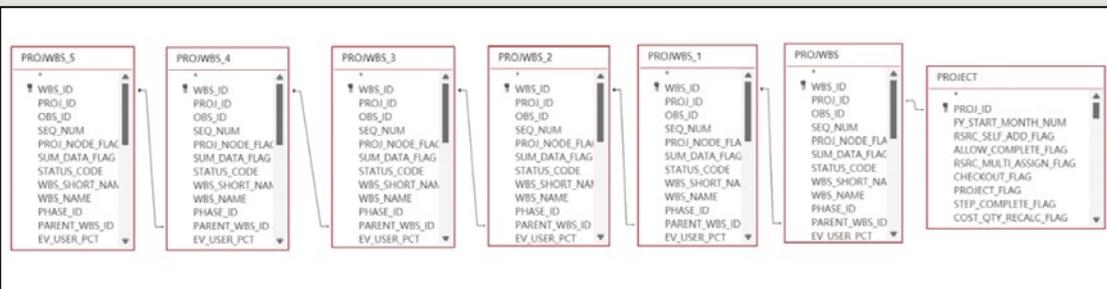


圖8 「WBS查詢」設定之資料關聯圖

本研究時程資訊匯入Access的方式，與傳統須以手動方式將P6時程資訊轉換成MS Excel檔案後進行匯入不同，除可即時讀取最新時程資訊外，未來亦可反向寫入SQLite資料庫中，可達成與P6軟體雙向互動之可能。

## 肆、風險資料建置

本研究按照營造工程風險評估技術指引的標準，將風險分為辨識、分析和評量階段，以確定標準化詞彙，並確保每個潛在危害和危害對策都以一致的方式描述和呈現。最後，根據標準化的結果及參考風險技術指引評估表，建置風險資料庫，並協助識別具有高風險的危害及相應的對策，風險資料建置流程如圖9。

於現有專案的執行，也能夠在新同性質專案中沿用相同架構，可有效縮短計畫起始階段之時程，更有利於工程經驗之傳承。

## 二、風險辨識

在風險辨識階段，透過參考營造工程風險評估技術指引，能夠確保作業之風險類別並可確實辨識，採用與其他專案之一致方式進行風險分類，同時提供一個可比較和可應用的基準。在Access當中建立風險類別資料表，並於後續流程中，與風險註冊清單建立其關聯性。

## 三、風險分析

風險分析的核心在基於對風險發生可能



圖9 風險資料建置流程圖

## 一、工程內容

首先依據契約作業彙整工法清單，再進一步拆解各工法所需之步驟。將工法及其相應的步驟建置於Access資料表中，並設定關聯性。透過建立關聯性，能夠清楚地了解每個工法、步驟之間的相互關係。這樣的資料管理方式有助

性和嚴重度進行評估，利用風險矩陣 (Risk matrix) (如圖10)推算風險值並評估風險等級。通過將可能性和嚴重度的分類對應到風險矩陣中的區域，本研究可以獲得每個風險的風險值，進而評估其風險等級。

在進行風險分析時，在資料表中輸入各個

風險等級		可能性			
		P1	P2	P3	P4
嚴重度	S1	R1	R2	R2	R3
	S2	R2	R2	R3	R3
	S3	R2	R3	R3	R4
	S4	R3	R3	R4	R5

圖10 「WBS查詢」設定之資料關聯圖

風險的可能性、嚴重度和風險等級。通過這些輸入，Access將自動計算可能性影響率、嚴重度影響率和曝險值(如圖11)。本研究以程式使Access能夠自動執行這些計算，節省時間並提高準確

接下來的幾個If函式根據可能性的值返回相應的風險等級。每個If函式都檢查可能性的值，如果符合條件，返回相應的風險等級。最終，根據嚴重度和可能性的值，這段函式會返

風險ID	描述	風險類別ID	可能性	嚴重度	風險等級	可能性影響率	嚴重度影響率	曝險率
R10-1	鋼梁電焊作業造成感電	I-11	P3	S2	R3	0.2	0.3	0.06
R10-2	鋼梁電焊作業造成物體飛(掉)落	I-4	P3	S2	R3	0.2	0.3	0.06
R10-3	鋼梁電焊作業造成人員墜落	I-7	P3	S2	R3	0.2	0.3	0.06
R11-1	拆解過程發生構件飛落	I-14	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R11-1	構件於吊掛過程飛落	I-14	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R12-1	拆解過程發生外模倒塌墜落	I-15	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R12-2	拆解過程發生外模倒塌墜落	I-16	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R13-1	拆解過程發生構件墜落	I-16	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R13-1	拆解過程發生構件墜落	I-18	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R14-1	支撐架發生倒塌	I-3	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R15-1	支撐架組、拆作業，人員墜落	I-1	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R16-1	吊掛作業，造成物體飛落	I-1	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R17-1	開挖作業發生機具車輛翻落	I-3	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R17-2	開挖作業發生材料飛落	I-7	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R17-3	開挖作業發生人員跌落	I-12	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R18-1	橫跨高壓電用掛及高架作業，發生感電危害	I-2	P2	S2	R2	0.6	0.3	0.18
R19-1	電焊機、熔接切割發生爆炸、火災危害	I-8	P2	S2	R2	0.6	0.3	0.18
R20-1	移動式起重機翻覆	I-1	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03

圖11 「WBS查詢」設定之資料關聯圖

性。在研究過程中，本研究深入研究和評估了這些函式的使用方法和撰寫方式。透過這些努力，本研究能夠更有效地利用Access的計算功能，提升研究的效率和成果。這些評估指標能夠提供更全面的風險程度和潛在影響的了解。

由於每個專案的風險矩陣皆會有變動，因此當有新的專案放入系統中的風險註冊清單時，需改變其風險等級、可能性影響率、嚴重度影響率計算式。以下介紹各函式，並說明當

回一個代表風險等級的字串。

未來新的專案起始導入本系統時，應將S1、P1、R1更改為該專案之風險矩陣相應文字。

如若需修改此函式，在「風險註冊清單」的設計檢視中，更改“風險等級”欄位中的運算式(如圖12、13)。

新的專案導入時，應該更改哪些值。

(一) 風險等級

在風險等級函式中，第一個Choose函式根據嚴重度的值返回一個數字，代表風險等級。如果嚴重度是"S1"，往第1列進行篩選；如果是"S2"，往第2列進行篩選；如果是"S3"，往第3列進行篩選；如果是"S4"，往第4列進行篩選；否則為0。

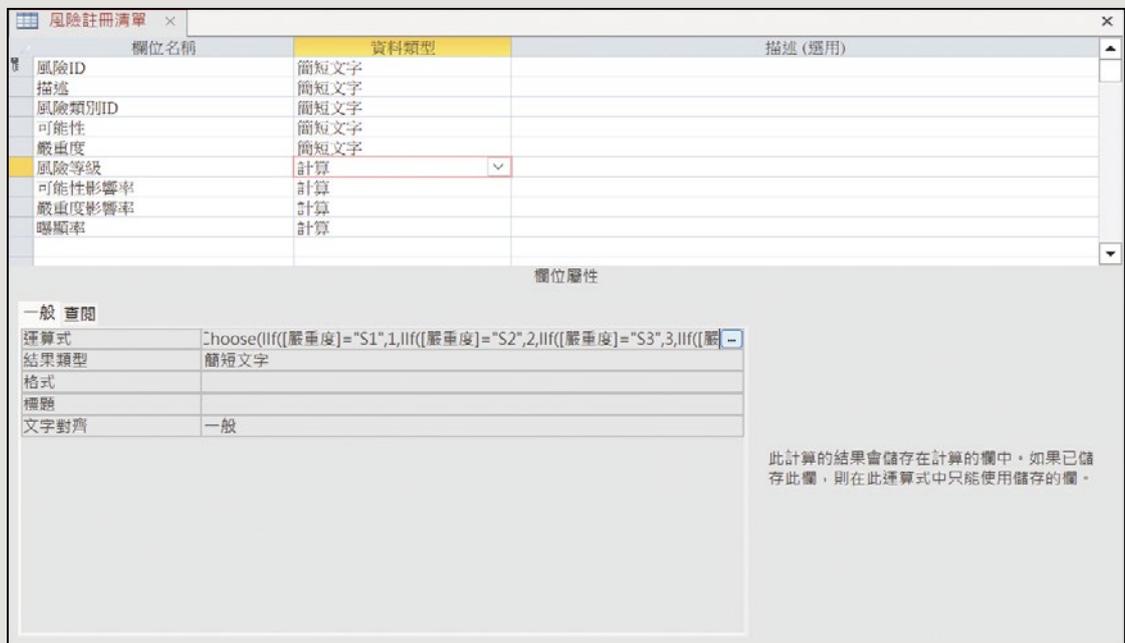


圖12 風險註冊清單-設計檢視

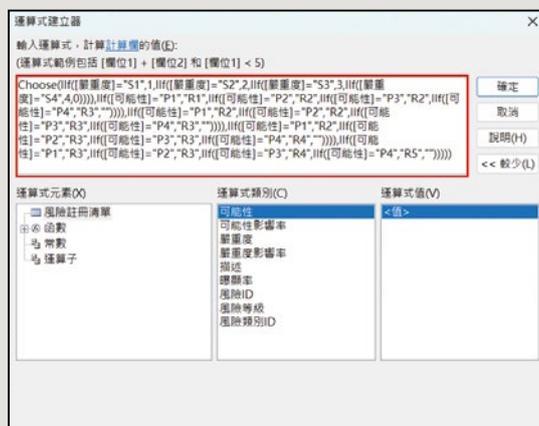


圖13 風險等級函數式

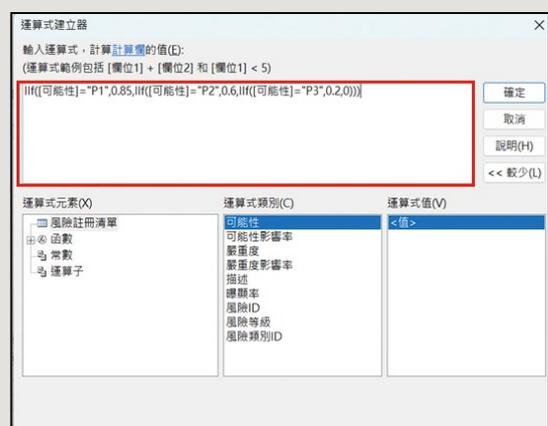


圖14 可能性影響率函式

## (二) 可能性影響率

可能性影響率函式(如圖14)，新專案的需求可能會導致機率有所不同，須將其中的P1、P2...對應的數字根據新專案進行調整。

如若需修改此函式，在「風險註冊清單」的設計檢視中，更改“可能性影響率”欄位中的運算式。(如圖15)

## (三) 嚴重度影響率

嚴重度影響率函式(如圖16)，新專案的需求可能會導致數字有所不同，須將其中的S1、S2...對應的數字根據新專案進行調整。

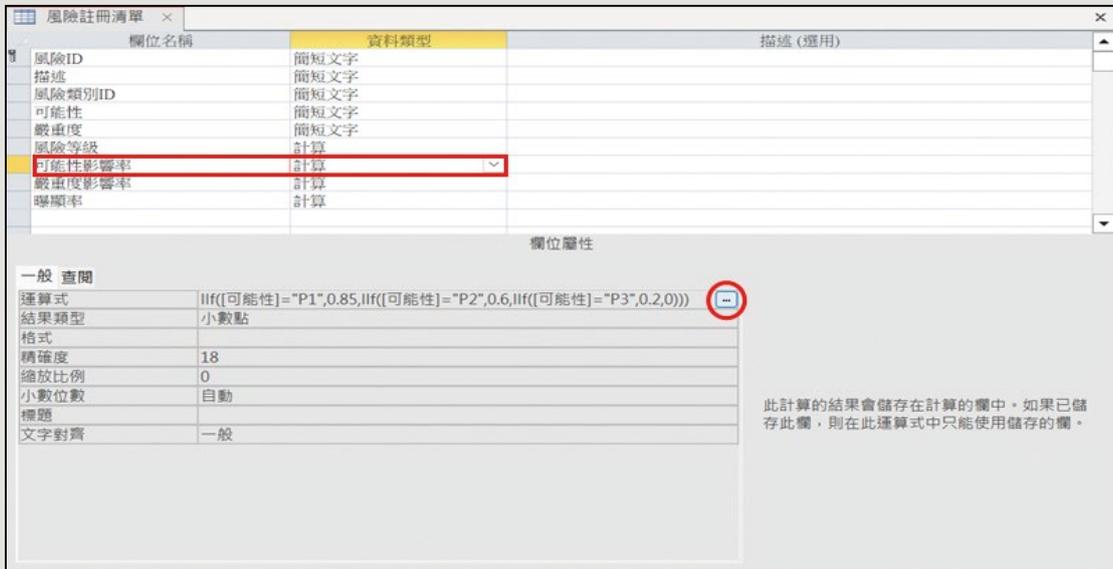


圖15 風險註冊清單-設計檢視



圖16 嚴重度影響率函式

如需修改此函式，在「風險註冊清單」的設計檢視中，更改“嚴重度影響率”欄位中的運算式。(如圖17)

#### (四) 風險評量

依據工程風險評估技術手冊的指引，針對專案將面對的風險，需要制定相應的風險緩解對策。考慮到風險因子和風險對策之間存在多對多的關係，在資料庫中建立了一個名為“對策

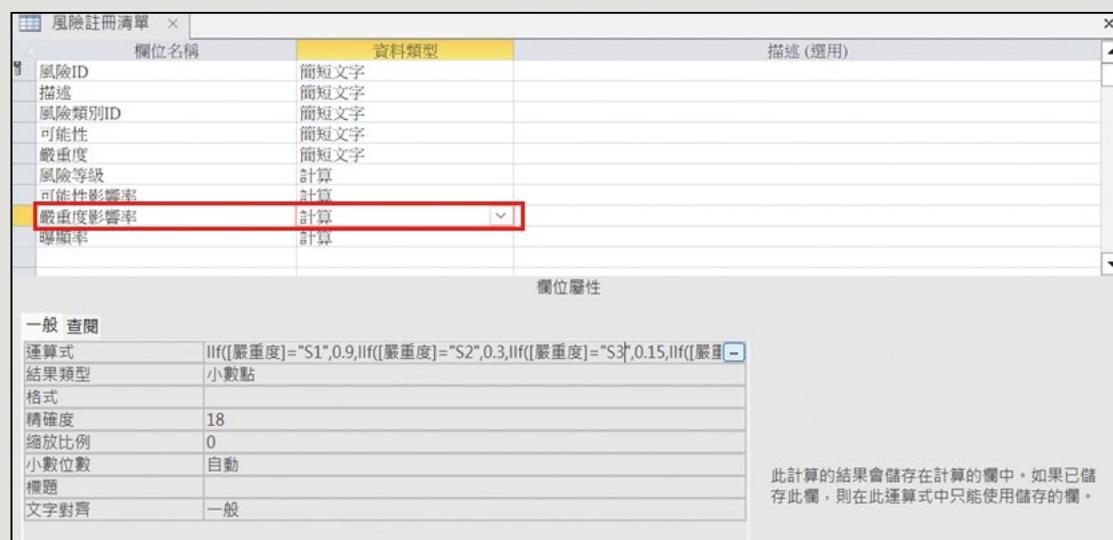


圖17 風險註冊清單-設計檢視

分配清單"的中間表(如圖 18)，將不同的風險因子與相應的風險對策進行關聯。透過這種關聯性以連結風險因子和風險對策。

(五) 風險評估表

本研究製作之風險評估表包含了工法、作

業步驟、危害類型以及風險描述的辨識。同時，分析了可能性、嚴重度、曝險值，以及風險等級等評估指標。為了應對這些風險狀況，研究團隊也將相對應的風險對策分配給風險。透過VBA程式執行，能夠從Access資料庫中直接產出結構化的風險評估表(如圖 19、20)。因為評估表的自動化生成，當專案有更新或新的專案開始進行時，評估表也能夠及時地進行更新並重新產出，確保風險評估的準確性。

一對多 (風險ID) (對策ID)		多對一 (風險ID) (對策ID)	
風險ID	對策ID	風險ID	對策ID
R10-1	E-1	R17-2	A-1
R10-1	E-2	R17-2	A-2
R10-1	E-3	R26-1	B-1
R10-1	E-4	R27-1	B-2
R10-1	E-5	R8-1	C-1
R10-2	S-5	R8-2	C-1
R10-3	S-2	R25-1	C-2
R1-1	T-1	R25-2	C-2
R11-1	M-13	R10-1	E-1
R1-2	T-1	R21-1	E-1
R12-1	M-13	R10-1	E-2
R12-1	S-6	R19-1	E-2
R12-2	T-1	R10-1	E-3
R1-3	M-1	R18-1	E-3
R13-1	S-6	R10-1	E-4
R14-1	M-10	R18-1	E-4
R14-1	M-11	R21-1	E-4
R15-1	S-1	R10-1	E-5
R15-1	S-2	R21-1	E-5
R15-1	S-5	R19-1	E-6
R16-1	M-1	R9-2	L-2
R16-1	M-13	R1-3	M-1
R16-1	M-2	R16-1	M-1
R16-1	M-8	R14-1	M-10

圖 18 對策分配清單

執行VBA

複製到基線專案

複製到更新專案

預定進度(Access)

實際進度(Access)

預定進度(曝顯值)(Access)

實際進度(曝顯值)(Access)

複製到WBS(基線專案)

預定進度(Excel)

實際進度(Excel)

預定進度(曝顯值)(Excel)

產出風險評估表

圖 19 Access執行風險評估表

作業內容		風險辨識		風險分析				風險評量	風險處理			
編號	作業步驟	危害類型	風險狀況	可能性	嚴重度	曝顯率	風險等級	可否接受	風險對策	負責人	執行成果摘要	成果確認
Md-01	鋼箱梁吊裝工法											
SP-01-01	臨路進行施工	交通事故	臨道路範圍，易發生交通事故之危害。	P3	S3	0.03	R3		T-1. 依據核定交雜計畫佈設交雜設施及派任義交指揮			
		被撞防止	臨道路範圍，易發生被撞、衝撞之危害。	P3	S3	0.03	R3		T-1. 依據核定交雜計畫佈設交雜設施及派任義交指揮			
		物體飛落	臨道路範圍，易發生物體飛落之危害。	P3	S3	0.03	R3		M-1. 確認吊掛作業是否符合規範			
SP-01-02	大跨距高曲度鋼箱梁吊裝	倒塌崩塌	大跨距曲型橋鋼箱梁倒塌	P2	S2	0.18	R2		M-2. 吊掛作業前確認吊距、荷重是否符合機具之性能並加載荷重機 M-4. 移動式起重機高依規定操作 M-6. 作業人員應遵守機械設備操作原則 M-7. 吊掛機械實施一機三證檢查			
		物體飛落	超過額定荷重造成鋼箱梁掉落	P2	S2	0.18	R2		M-2. 吊掛作業前確認吊距、荷重是否符合機具之性能並加載荷重機 M-6. 作業人員應遵守機械設備操作原則 M-7. 吊掛機械實施一機三證檢查			
SP-01-03	鋼箱梁電焊作業	感電之虞	鋼箱電焊作業造成感電	P2	S2	0.18	R2		E-1. 作業前應檢查電線絕緣被破壞或老化之設施並使用漏電斷路器 E-2. 電焊機應有自動防止電擊裝置 E-3. 與台電單位協調高壓電線部分 E-4. 高壓電線作業進行時，應保持規定距離及加裝絕緣用防護設備 E-5. 相關電器設備應接地及漏電斷路器			
		物體飛落	鋼箱電焊作業造成物體飛(掉)落	P3	S2	0.06	R3		S-5. 檢查其設備是否符合職業安全衛生設施規則			
		墜落之虞	鋼箱電焊作業造成人員墜落	P3	S2	0.06	R3		S-2. 作業前檢視作業人員安全設備是否合格			
		電焊機、熔接切割發生爆炸、火災爆炸	電焊機、熔接切割發生爆炸、火災爆炸	P2	S2	0.18	R2		E-2. 電焊機應有自動防止電擊裝置 E-6. 電器設備使用需符合安全規定			

圖20 Access產出之風險評估表

## 伍、MS Access表單說明

本研究於Access資料庫中建置主表單及多個子表單(如:工法清單、施工步驟清單、對策分配清單、基線專案...等)，這些表單能夠提供清晰的視覺化介面，透過主表單與子表單的結

構，進一步加強了作業、風險及風險對策等之間的關聯性。使用者能夠輕鬆地對風險和資源進行評估和分析，能夠更加直觀地了解作業、風險和資源之間的關係。

圖21為「風險註冊清單」表單，此表單提

風險註冊清單

上一筆
新增
刪除
儲存
尋找
下一筆
退出系統

風險ID:

描述:

風險類別ID:

可能性:

可能性影響率:

曝顯率:

風險等級:

嚴重度:

嚴重度影響率:

對策分配清單
風險管理人分配清單
工法清單
施工步驟清單
風險類別清單
基線專案

對策ID	對策內容
E-1	作業前應檢查電線絕緣被破壞或老化之設施並使用漏電斷路器
E-2	電焊機應有自動防止電擊裝置
E-3	與台電單位協調高壓電線部分
E-4	高壓電線作業進行時，應保持規定距離及加裝絕緣用防護設備
E-5	相關電器設備應接地及漏電斷路器
*	

記錄: 1 | 5 之 1
無篩選條件 搜尋

圖21 風險註冊清單

3 專題報導

No.141 | January, 2024 | 73

供了每個風險的基本資訊，在表單中可做新增及修改風險資料，新增風險判斷完該風險可能性及嚴重度後，可能性影響率、嚴重度影響率及曝險率將自動計算。紅色框為風險註冊清單的子表單，下方表單中同樣可做新增及修改，儲存後資料將會自動關聯到相應的資料表中。

圖22為「對策分配清單」透過下方子表單，可以查看該風險的對策分配情況。使用者可由此子表單中新增資料，例如：新的對策或工法等資訊，將其關聯到相應的資料表。

圖23為「工法清單」子表單，此子表單可

對策ID	對策內容
E-1	作業前應檢查電線絕緣被破壞或老化之設施並使用漏電斷路器
E-2	電焊機應有自動防止電擊裝置
E-3	與台電單位協調高壓電線部分
E-4	高壓電線作業進行時，應保持規定距離及加裝絕緣防護設備
E-5	相關電器設備應設接地及漏電斷路器
*	

圖22 對策分配清單

工法ID	工法說明
Md 01	鋼箱型梁吊裝工法
*	

圖23 工法清單子表單

查看該風險對應的工法。可在此做新增或修改的動作，以上動作完成後資料將會自動關聯到相應的資料表中。

關施工步驟，可透過下方欄位，完成後資料將會自動關聯到相應的資料表中。

圖24為「施工步驟」子表單，可以查看該風險所對應的步驟。如需新增或修改此風險相

圖25為「基線專案」子表單，在此可查看該風險所對應的活動。影響等級欄位中可選擇該風險對該活動的影響，本研究將等級分為最高、

**風險註冊清單**

風險ID: R10-1  
 描述: 鋼梁電焊作業造成感電  
 風險類別ID: I-2  
 風險等級: R2  
 可能性: P2  
 嚴重度: S2  
 可能性影響率: 0.6  
 嚴重度影響率: 0.3  
 曝顯率: 0.18

步驟ID	步驟說明
SP-01-03	鋼箱梁電焊作業

圖24 施工步驟子表單

**風險註冊清單**

風險ID: R10-1  
 描述: 鋼梁電焊作業造成感電  
 風險類別ID: I-2  
 風險等級: R2  
 可能性: P2  
 嚴重度: S2  
 可能性影響率: 0.6  
 嚴重度影響率: 0.3  
 曝顯率: 0.18

活動ID	活動名稱	影響等級	影響權重
CW01W2BSB010	P0109~P0112鋼箱梁吊裝	中	50.00%
CW01W2BSB025	P0138~P0139鋼箱梁吊裝	中	50.00%
CW01W2BSB040	P0201~P0202鋼箱梁吊裝	中	50.00%
CW01W2BSB055	P0204~P0207鋼箱梁吊裝	中	50.00%
CW01W2BSB070	P0207~P0210鋼箱梁吊裝	中	50.00%
CW02W2DS3010	RK3車站站體鋼構工程	中	50.00%
CW02W2DS4010	RK4車站站體鋼構工程	中	50.00%
CW03W2DS5010	RK5車站站體鋼構工程	中	50.00%
CW03W2DS6010	RK6車站站體鋼構工程	中	50.00%
CW05ANCUT020	高架橋路綫段水電纜線絕緣及導通測試	中	50.00%
TK01T1A00010	RK1車站~P0112軌道鋪設	中	50.00%
TK01T1A00020	P0112~P0125軌道鋪設	中	50.00%
TK01T1A00030	P0125~RK2車站(含RK2車站)軌道鋪設	中	50.00%
TK01T1A00040	RK2車站~P0210軌道鋪設	中	50.00%

圖25 基線專案子表單

高、中、低。而影響權重將隨著影響等級更新：最高為100%、高:75%、中:50%、低:25%。

## 陸、實際案例

本研究導入RK2高雄捷運岡山路竹延伸線實際案例來更具體地說明流程。依據統包商資料與風險評估技術指引之要求進行風險分類，並將風險對策與風險連結，確保資料結構完整及關聯性正確，採取了以下的方法。首先，本研究彙整了專案使用相關的工法，這些工法是根據統包商在實際施工中使用的的方法和流程而定義的。

### 一、工程內容

拆解每個工法，將其細分為相應的步驟。這些步驟描述了執行工法所需的具體操作和程序。本研究將這些工法和步驟建置於Access資料表中，以便管理和查詢相關資訊。(如圖26)

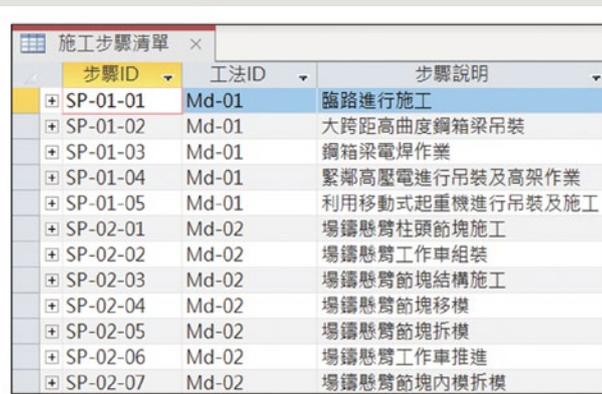
### 二、風險辨識

為能將風險情境描述標準化，本研究根據統包商被核定的風險管理計畫進一步拆解其風險描述。然而，風險管理計畫中這些風險描述過於冗長，導致資料庫呈現複雜的狀態。這種情況將影響在資料庫中有效管理風險資訊的能力。也由於風險描述過長，本研究無法清晰地了解每個風險相應的對策和類別。

為了解決這個問題，需要對風險描述進行更明確的標準化處理。這樣可以確保每個風險描述僅與單一的對策和類別相關聯。例如：臨道路範圍在省道台一線，易發生被撞、衝撞、交通事故，以及物體飛落之危害。本研究將它拆解為臨道路範圍，易發生被撞、衝撞之危害及臨道

路範圍，易發生物體飛落之危害。(如圖27)

透過這樣的處理方式，將其與相應的對策和類別關聯起來，有助於提升風險管理的準確性和效率。



步驟ID	工法ID	步驟說明
SP-01-01	Md-01	臨路進行施工
SP-01-02	Md-01	大跨距高曲度鋼箱梁吊裝
SP-01-03	Md-01	鋼箱梁電焊作業
SP-01-04	Md-01	緊鄰高壓電進行吊裝及高架作業
SP-01-05	Md-01	利用移動式起重機進行吊裝及施工
SP-02-01	Md-02	場鑄懸臂柱頭節塊施工
SP-02-02	Md-02	場鑄懸臂工作車組裝
SP-02-03	Md-02	場鑄懸臂節塊結構施工
SP-02-04	Md-02	場鑄懸臂節塊移模
SP-02-05	Md-02	場鑄懸臂節塊拆模
SP-02-06	Md-02	場鑄懸臂工作車推進
SP-02-07	Md-02	場鑄懸臂節塊內模拆模

圖26 施工步驟清單



風險ID	描述	風險類別ID
R10-1	鋼梁電焊作業造成感電	I-2
R10-2	鋼梁電焊作業造成物體飛(掉落)	I-7
R10-3	鋼梁電焊作業造成人員墜落	I-1
R1-1	臨道路範圍，易發生交通事故之危害，	I-11
R11-1	構材於吊掛過程飛落	I-7
R1-2	臨道路範圍，易發生被撞、衝撞之危害，	I-4
R12-1	拆解過程發生構件飛落	I-7
R12-2	拆解過程發生外模倒塌墜落	I-3
R1-3	臨道路範圍，易發生物體飛落之危害，	I-7
R13-1	拆解過程發生構墩撞損	I-4
R14-1	支撐架發生倒塌	I-3
R15-1	支撐架組、拆作業，人員墜落	I-1
R16-1	吊掛作業，造成物體飛落	I-7
R17-1	開挖作業發生機車翻落	I-18
R17-2	開挖作業發生材料飛落	I-7

圖27 風險描述

### 三、風險分析

在風險分析當中製作了風險註冊清單(如圖28)連結風險描述與風險對策，其中的可能性、嚴重度和風險等級的欄位是根據統包商核定的風險管理計畫進行參考。本次拆解，繼承風險管理計畫未拆解的風險分析成果，因此不同的風險狀況具有相同的可能性、嚴重度和風險等級，後續可依需求進行調整。

風險ID	描述	風險類別ID	可能性	嚴重度	風險等級	可能性影響率	嚴重度影響率	曝險率
R10-1	鋼梁電焊作業造成感電	I-2	P2	S2	R2	0.6	0.3	0.18
R10-2	鋼梁電焊作業造成物體飛(掉)落	I-7	P3	S2	R3	0.2	0.3	0.06
R10-3	鋼梁電焊作業造成人員墜落	I-1	P3	S2	R3	0.2	0.3	0.06
R1-1	隧道路範圍，易發生交通事故之危害。	I-11	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R11-1	構材於吊掛過程飛落	I-7	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R1-2	隧道路範圍，易發生碰撞、衝撞之危害。	I-4	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R12-1	拆解過程發生構件飛落	I-7	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R12-2	拆解過程發生外構倒塌墜落	I-3	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R1-3	隧道路範圍，易發生物體飛落之危害。	I-7	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R13-1	拆解過程發生機噐撞損	I-4	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R14-1	支撐架發生倒塌	I-3	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R15-1	支撐架組、拆作業，人員墜落	I-1	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R16-1	吊掛作業，造成物體飛落	I-7	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03
R17-1	開挖作業發生機噐車輛翻落	I-18	P3	S3	R3	0.2	0.15	0.03

圖28 風險註冊清單

#### 四、風險辨識

根據統包商核定的風險管理計畫，本研究團隊拆解其相應的風險對策(如圖29)，並在Access當中建立資料表。根據風險分析技術指引及承商核定的風險管理計畫，本研究每項風險皆已被評估為可接受風險。

#### 五、風險評估表

以上步驟完成後，匯出之風險評估表(如圖30)。

#### 柒、未來發展方向

本研究已達成將P6基準時程表及風險管理計畫的風險評估成果，整合至「時程風險資料庫」，提供可行的資訊技術解決方案，已可供

對策ID	對策內容
A-1	材料堆置區域應與開挖區域保持距離
A-2	材料堆置不得過高或平衡不良
B-1	於溪流、河川附近作業時，需研擬防汛計畫、設置適當的安全防護及救生設備
B-2	於溪流、河川附近作業時，相關作業人員應受安全防護訓練及逃生演練
C-1	施工前確認鬆降模作業順序、步驟、方法及速度
C-2	拆模前確認混凝土到達強度
E-1	作業前應檢查電線絕緣被破壞或老化之設施並使用漏電斷路器
E-2	電焊機應有自動防止電擊裝置
E-3	與台電單位協調高壓電線部分
E-4	高壓電線作業進行時，應保持規定距離及加裝絕緣用防護設備
E-5	相關電器設備應設接地及漏電斷路器

圖29 風險對策清單

編號	作業內容	風險辨識	風險分析				風險可接受	風險對策	負責人	執行成果摘要	成果確認
			可能性	嚴重度	風險值	風險等級					
M-01	鋼箱梁安裝工法										
SP-01-01	臨路進行施工	交通事故	P3	S3	0.03	R3	T-1.依據核定交際計畫佈設交際設施及派任義交指揮				
		機械碰撞防止危害、物體飛落	P3	S3	0.03	R3	T-1.依據核定交際計畫佈設交際設施及派任義交指揮				
SP-01-02	大跨距高曲度鋼箱梁安裝	側翻前傾	P2	S2	0.18	R2	M-2.吊掛作業前確認吊距、荷重是否符合機具之性能並加載荷重塊 M-4.移動式起重機需依規定操作 M-6.作業人員應遵守機械設備操作原則 M-7.吊掛機械實施一機三證檢查				
		物體飛落	P2	S2	0.18	R2	M-2.吊掛作業前確認吊距、荷重是否符合機具之性能並加載荷重塊 M-6.作業人員應遵守機械設備操作原則 M-7.吊掛機械實施一機三證檢查				
SP-01-03	鋼箱梁電焊作業	感電之虞	P2	S2	0.18	R2	E-1.作業前應檢查電線絕緣被破壞或老化之設施並使用漏電斷路器 E-2.電焊機應有自動防止電擊裝置 E-3.與台電單位協調高壓電線部分 E-4.高壓電線作業進行時，應保持規定距離及加裝絕緣用防護設備 E-5.相關電器設備應設接地及漏電斷路器				
		物體飛落	P3	S2	0.06	R3	S-5.檢查其設備是否符合職業安全衛生設施規則				
		墜落之虞	P3	S2	0.06	R3	S-2.作業前檢視作業人員安全設備是否合格				
		火災爆炸	P2	S2	0.18	R2	E-2.電焊機應有自動防止電擊裝置 E-6.電器設備使用需符合安全規定				

圖30 風險評估表

未來大型專案如黃線和小港林園線的時程、風險管理使用。同時，也可以依據各專案需求調整資料庫架構並做客製化調整，為中小型工程提供支援，提升標案推廣優勢並收集更廣泛的風險資料。

研發團隊將與執行團隊持續討論，於Access開發用於專案風險與時程整合之管理表單，並利用MS Power BI以視覺化方式產出風險圖表，提供早期預警管理資訊。同時，將風險預警資訊放置雲端(MS Azure SQL Database)，利用AppSheet的直觀介面和配置功能，以行動裝置即時檢視時程管理及風險管理之決策資訊。

## 結語

本研究以RK2工程為實證案例進行施工階段整合式風險與時程管理，規劃資料結構並建置資訊系統，使其能夠有效儲存和記錄風險與時程管理，提供有效的風險資訊傳遞和溝通，並利用資訊與溝通技術(Information and Communication Technology, ICT)的智能化特性進行資訊化管理。

在未來，當風險資料庫中的風險因子數量達到大數據級別時，將可進一步建置風險評估數據模型，利用機器學習及AI技術，將工作項目自動分配風險因子，達成風險評估智能化目標。

## 參考文獻

1. 行政院公共工程委員會，「施工綱要規範第01103章」。

2. 行政院公共工程委員會，公共工程施工進度管理作業參考要項，2016。

3. 中華顧問工程司，「詳細時程製作手冊」，高雄捷運股份有限公司，高雄市，2003。

4. 中華顧問工程司，「高雄都會區大眾捷運系統紅橘線路網建設案風險管理計畫」，高雄市: 高雄捷運公司，2002。

5. 勞動部職業安全衛生署，「營造工程施工風險評估技術指引解說手冊」，2020。

6. 蔡茂生，「營造工程風險評估技術指引修訂解說」，2021。

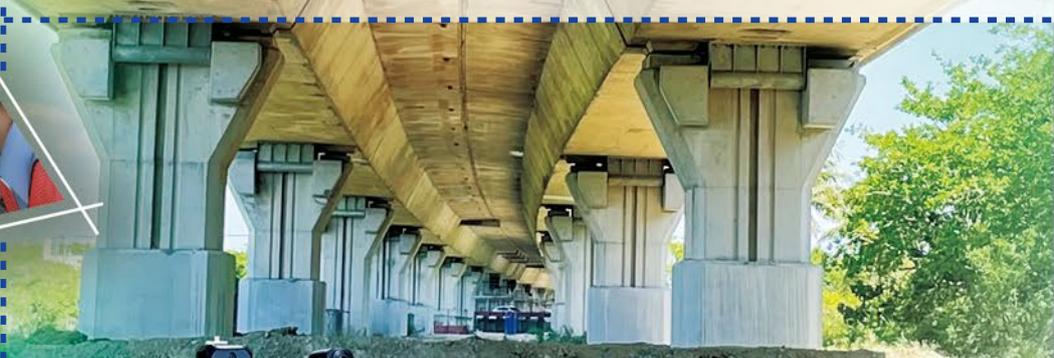


3 專題報導

# 營建施工品質及安全 管理之精進作為 (以國道8號耐震補 強工程為例)

關鍵詞(Key Words)：補強(Retrofitting)、鉛心橡膠支承(Lead-Rubber Bearing)、鋼管樁  
(Cast-in-Steel-Shell piles)

- 交通部高速公路局第二新建工程分局／分局長／熊德維 (Hsiung, Te-Wei) ❶  
交通部高速公路局第二新建工程分局／第三工務所／主任／潘小珍 (Pan, Hsiao-Chen) ❷  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／資深協理／莊明哲 (Chuang, Ming-Che) ❸  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／經理／謝政璋 (Hsieh, Cheng-Chang) ❹  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／計畫經理／林建志 (Lin, Chien-Chih) ❺  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／監造主任／黃永輝 (Huang, Yong-Hui) ❻  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／主辦工程師／魏子洋 (Wei, Tzu-Yang) ❼



## 摘要

台灣地狹人稠地形起伏變化大，綿密的交通路網已成為經濟發展及區域聯繫之必需，橋梁功能的維持更是確保經濟活動及交通運轉主要關鍵，考量台灣位處環太平洋地震帶，1999年921集集大地震、2016年0206美濃大地震、2019年南方澳大橋無預警斷落意外，均造成重大經濟和人民生命及財產損失，尤其集集大地震造成許多橋梁損毀、交通運輸中斷，救援資訊、人力、物品無法及時運送，顯見全台橋梁安全維護仍有精進提升的空間。隨著耐震規範與施工技術與時俱進，高公局及台灣世曦公司執行橋梁耐震補強工程已累積一定程度執行成果，本案(國道後續路段橋梁耐震補強第M81標-國8全線暨國3新化段)有幸榮獲112年優良工程金安獎及金質獎的肯定，藉由施工品質及安全管理精進作為實務分享，期能在資源有限與成本效益的考量下，使用經濟合理之費用使得國道橋梁達到耐震安全的標準，冀望為後續國道橋梁相關補強作業，貢獻心力。



## Improvements in construction quality and safety management (taking the bridge seismic retrofit project of National Highway No. 8 as an example)

### Abstract

Due to Taiwan's narrow and densely populated terrain with significant topographical variations, a dense transportation network has become essential for economic development and regional connectivity. The maintenance of bridge functionality is crucial to ensure the smooth operation of economic activities and transportation. Owing to Taiwan's location in the Circum-Pacific Belt, major earthquakes like the 1999 Chi-Chi Earthquake, the 0206 Meinong Earthquake in 2016, and the unexpected collapse of the Nanfang'ao Bridge in 2019 resulted in significant economic losses and risks to human lives and property. In particular, the Chi-Chi Earthquake caused extensive bridge damage and transportation disruptions, hampering the timely delivery of rescue information, manpower, and goods. This highlights the need for continued improvement in bridge safety maintenance throughout Taiwan. With the advancement of seismic standards and construction techniques, the Freeway Bureau, MOTC and CECI Taiwan have achieved significant progress in implementing bridge seismic retrofit projects. In the case of the M81 section of the National Freeway No. 8 and the National Freeway No. 3 Xinhua section seismic retrofit project, it was honoured to receive the recognition through the 112th Excellent Construction Golden Safety Award and the Gold Quality Award. By sharing practical experiences in improving construction quality and safety management, the goal is to use cost-effective means within limited resources to ensure that the national highway bridges meet seismic safety standards. We hope that this effort will contribute to future highway bridge retrofit operations and enhance their overall safety.

## 壹、前言

國道8號於1988年完工通車，全橋為東西向，主線里程自1k+622至14k+617(詳圖1)，全長12,995公尺，為標準跨徑40公尺之PC箱形橋梁，因規範變革致原橋耐震能力不足(規範演進史，圖2)，透過「中度地震不壞、設計地震可

修、最大考量地震不倒」耐震設計(2019)理念設計及施工，採調整支承系統及增樁擴基的方式補強後，改變整體結構型式，成功滿足現行耐震規範需求，相關創新應用成果(更換鉛心橡膠支承、鋼管樁工法、科技守護)，如后述，提供後續橋梁耐震評估及補強工法之施工參考。



圖1 國8工區平面圖

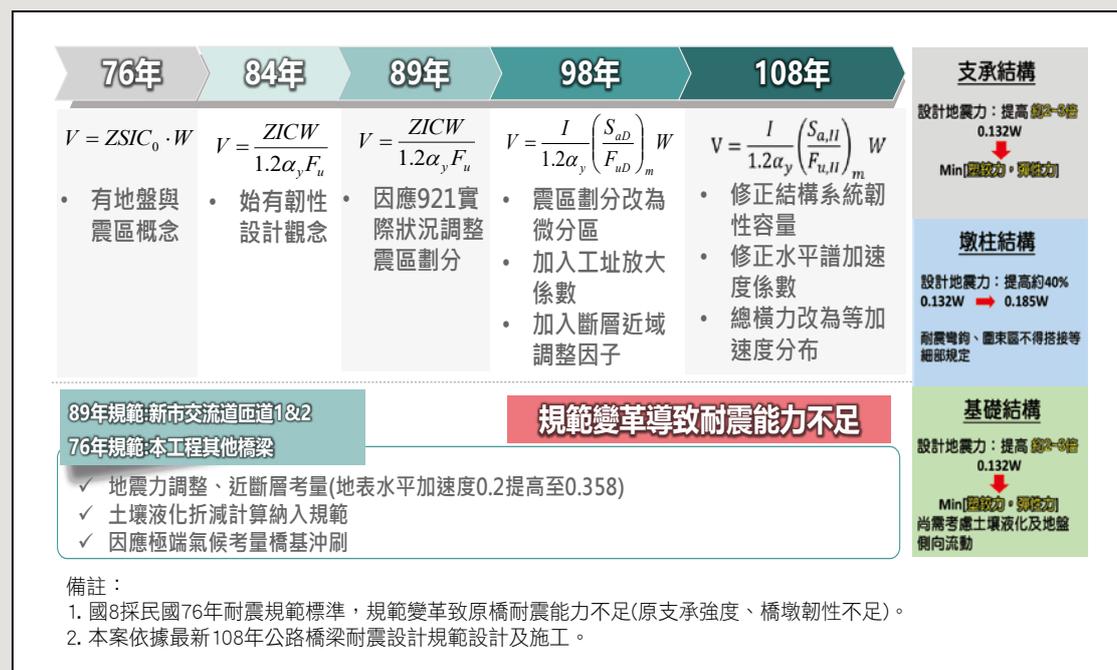


圖2 台灣耐震規範演進史

## 貳、更換鉛心橡膠支承

依據「公路橋梁耐震規範」國道橋梁補強標準，以再服務年限50年為原則，補強工程費在經濟效益考量下，以不超過同型式橋梁新建工程費之45%；以耐震性能為基準的橋梁補強，首重系統補強之隔震(鉛心橡膠)支承更換，隔震裝置需具備垂直向，能完全承受結構垂直載重，提供適當水平柔性勁度以及自復位能力，利用隔震裝置水平向柔性勁度低，延長結構系統震動週期，且藉遲滯阻尼能減少因週期延長增加之位移反應，大地震時降低上構慣性力及加速度反應，進而降低下構耐震施工需求。揆諸國內隔震橋梁，多採鉛心橡膠支承墊(Lead-Rubber Bearing, LRB)，為積層橡膠與多層鋼板加上高純度鉛心組合而成，鉛心屬低降伏性金屬，受震時降伏產生遲滯消能行為，且鉛心具有再晶化能力，受震後能自我恢復不因反覆變形而破壞，除可增加結構系統阻尼及延長橋梁基本震動週期以降低地震力效益外，亦可達均勻分散各橋墩地震力的功能。

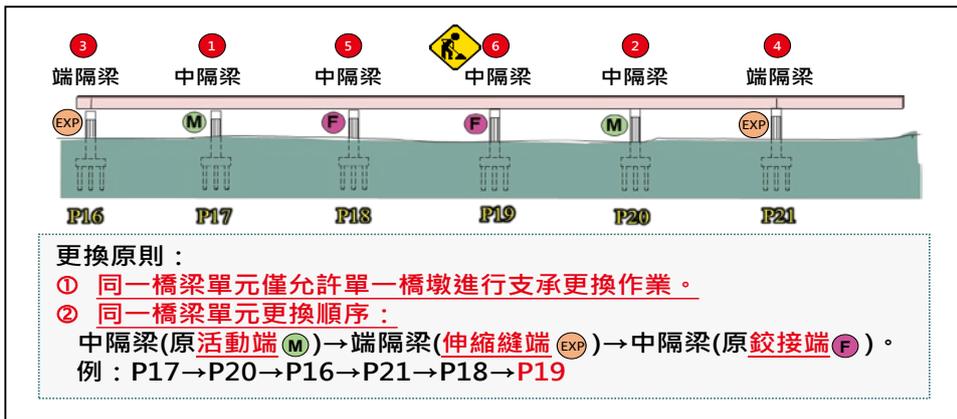
### 一、更換鉛心橡膠支承之施工品質及安全管理作為

國8(1k-4k)上構補強墩數226墩，更換LRB達244組，主因為工址地表加速度及震區劃分改變導致老舊橋梁耐震能力不足，既有結構檢核已無法滿足現行耐震需求，再加上橋下限高(不足6m)、用地等因素，經系統評估優選更換LRB作為模組化工法。鉛心橡膠支承相對於盤式支承有較小之水平勁度、阻尼比高，可達「延遲地震震動週期、增加橋梁阻尼係數」進而衰減橋梁在地震中最大加速度，增加使用壽命，相關LRB施工品質、安全管理作為，說明如下(圖3)。

(一) 鉛心橡膠支承在進場前須進行成品尺寸檢查、原型測試、實體測試及性能保證測

試，確保各項試驗數值符合新頒耐震規範需求。

- (二) 頂升規劃採分段頂升進行(每段頂升1.5mm，分3段)，同步垂直加壓且上升量不得大於5mm(頂升監測)，頂升作業時間60分鐘，頂升設備(千斤頂)採偶數配置，避免產生偏心旋轉，每加壓100噸量測頂升高度，避免過度抬升橋梁受損。
- (三) 頂升完成後，辦理既有盤支拆除，過程中應注意粉塵對人員之危害，且在臨路側鋪設防塵網，以維行車安全。
- (四) 鉛支吊裝及定位測量傾斜度(許可差 $\pm 0.003\text{rad}$ ， $\pm 0.17^\circ$ )，循序安裝支承。
- (五) 進行鉛支調整座無收縮水泥砂漿澆注(灌漿管、出漿口)，屆齡期強度移除頂升設備。
- (六) 施工過程中，為避免突逢地震增加頂升落橋風險，LRB更換工序為，先做活動端、伸縮縫，最後才可進行鉸接端支承更換，且同一單元不得同時進行多個支承更換作業。
- (七) 地震發生時(震度4級以上)，團隊共同研議監測作為，建立地震後即時檢查機制(率定警戒值、行動值)，同步成立國道督管巡檢(由督工所、技服、監造、廠商組成)，透過電子測距輔以測量圖形模組化，達到操作容易與落實安全監測。
- (八) LRB施工時，必須避免交通中斷，減小封路衝擊，常有穿著衣服改衣服之感，此為補強工程與新建工程最大差異之處；施工過程，團隊成功研發5G-IoT自動連續監測(簡訊秒傳)，保障用路人行車安全，體現科技管理，即時掌握橋梁健康狀態。



**橋梁變位全自動監測系統**

建置鉛心橡膠支承更換作業階段，高速公路橋梁垂直變位及水平位移自動監測系統

- 保障用路人之行車安全
- 確保施工環境之安全，施工人員安心施工

監測項目	時機	頻率	警戒值	動作	行動值	動作
垂直變位	頂昇完成	每周一次	3mm	加強穩定	5mm	加壓頂昇
水平位移	頂昇完成	每周一次	6mm	加強穩定	12mm	研討處置方式



圖3 鉛心橡膠支承之施工品質及安全管理作為

## 參、鋼管樁工法

橋梁下部結構耐震補強作業，常須配合既有結構評估施工方式，圍限橋下空間，本工程採低淨空(H=6M~8M)小口徑樁機施作(樁徑610mm)，內灌混凝土鋼管樁工法(Cast-in-Steel-Shell piles)，簡稱CISS piles，因此孕育而生，此種工法係於樁頭10M範圍內設置鋼筋籠，形成鋼管鋼筋混凝土的複合斷面，除可有效增加樁載彎

矩容量外，亦可提供低淨空樁機足夠迴轉空間；鋼管樁施工相較於全套管基樁具有低噪音、減少開挖範圍與縮短工期等特性，有效減低因傳統基樁施工所造成的土方暫置與鄰損問題，儼然已成近年來橋梁耐震補強的新興工法。

### 一、鋼管樁施工品質及安全管理作為(圖4)

(一) 鋼管樁儲存地基須堅實而平坦，不可有沉

**鋼管樁**  
D:  $\phi$  610 mm  
t: 12.7 mm  
鋼管銲縫

- 鋼管樁尺寸，單支 4-6M
- 總長 25-30M
- 低淨空探振動打入式，適用地質軟弱工址

⇨ 樁身不得塗油，以免降低樁身摩擦力

- 鋼管樁夾具經主任技師檢算、監造技師複查
- 現場辦理動態測試，符合安全需求

⇨ 圖、說、做一致

鋼管樁 教具實做 1

鋼管樁 教具實做 2

鋼管樁 教具實做 3

鋼管樁 教具實做 4

重要表單目錄加入QR-Code管理快速查找

當施工人員誤入機具作業半徑範圍內，系統立即發出警響，提醒機具操作者暫停動作，警示誤入人員盡速離開

11/2/5/11

圖4 鋼管樁工法之施工品質及安全管理作為

陷現象，避免樁身變形，必要時得加裝變形防止設備；鋼管樁吊運、裝卸、堆置時，樁身不得遭受振動，以免損及樁身。

- (二) 樁身不可塗油或漆等潤滑材料，施作時不得採預鑽孔或沖水方式(均會降低樁身摩擦力)。
- (三) 打設過程不得中途停頓，以免因土壤與樁身密接而造成施做困難。
- (四) 許可差：垂直度 $\leq 1/100$ ；樁位 $\leq$ 樁徑 $1/4$ 或10cm。
- (五) 施工抽查需嚴謹執行並留存紀錄，內容應包括樁號、位置、設備概述、樁尺度、型式、長度(表單採E化儲存雲端，製作QR-Code方便工程人員查找與管理)。
- (六) 鋼管樁機配置自動警示系統，人員誤入機具作業半徑範圍內，系統立即發出聲響，提醒機具操作者暫停動作，警示誤入人員盡速離開；本項精進管理作為，今(112)年獲多位委員嘉許，透過安裝在機具上的感知器與搭配聲音警示，降低視覺盲區，提升工作者安全監控的目的。
- (七) 國道技師團(由督工所、技服、監造、廠商組成)主動製作鋼管樁教具、錄製教材影片、充分溝通，有效強化提升新進工班技能(客製化)，成效優異。

### 肆、科技守護

近年來各地天災頻繁，全球氣候與環境改變使得降雨強度、分布與過去之特性相異，而台灣正好位於板塊邊界，造成活躍的造山與斷層活

動，地質相對破碎，而強降雨、地震、崩塌、地層下陷等問題持續考驗著交通建設、國道橋梁、坡地等各項設施的安全性；本案秉持「科技守護」理念，深入國8每一角落，為南科生活家園的便捷與舒適，擴大幸福文明的視野，提升社會經濟發展與整體競爭力；同時，接地氣深耕台南、服務人群，體現傾聽大自然的聲音，與大地對話，創造人與土地的和諧永續。

#### 一、採用國土安全監測平台-整合防災資源及變位監測，提供全面安全資訊

國8耐震補強工程導入整備防、避、減災及復建工程技術，運用國土安全監測平台(圖5)整合國內各專業技術，自2017年起，快篩沿線50餘座橋梁之耐震性能風險分級，優先針對地震、洪水常損壞道路關鍵節點之國8橋梁，搭配LiDAR/InSAR與光學影像等遙測技術比對，掌握受損橋梁基本資訊(斷層、地質、環境、土壤液化)，協助維管單位迅速研判適當救災、復舊對策，有效回饋補強工程之專業技術支援，成功驗證橋梁與坡地等關鍵基礎設施之位移變化趨勢。

國土安全監測平台可快速篩選橋梁與周邊地盤長期地表形變，操作者可在系統中將地圖移動到台灣的任一點位進行點選，擷取周圍地表變位歷史紀錄，無論是液化潛勢或是InSAR變形圖皆一覽無遺；此外，系統亦已整合國8的地質鑽探、地震颱風、特殊救災資源(如水下切割工、大型抽水機)等，一站式定期監測健康狀態，提供機關安全防護判斷，並榮獲2020年國家新型專利的肯定。

#### 二、採用PMIS專案管理平台—建構國8透明及效率的工程產業環境

因應創新經濟與全球化競爭發展，運用數位科技推動營建產業升級轉型已成趨勢，揆諸



備註：

InSAR知識科普

- 干涉合成孔徑雷達(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)
- 透過衛星觀測地表變化量，根據地表與衛星間距離的改變所造成雷達回波相位的差異，以同一地區、同軌道、不同時間之多幅雷達影像進行干涉，再經由相位回復取得地表變化量(衛星觀測頻率1次/雙週)。
- 優點：精度高(mm)、範圍廣闊(50KM以上)、快速篩選老舊危險橋梁、成本低。
- 依據2017年1月-2023年7月之多期影像變形歷線圖，國8橋面與周圍地表，變形速率相似，無明顯變化趨勢，地形變位15.6mm/年<注意值24mm，屬季節性熱漲冷縮，趨勢正常。

圖5 國8國土安全監測平台執行成果

國8全生命週期各階段所需管理資訊眾多，憑藉5G網路及資訊技術之優勢，導入PMIS簡易、快速、明確、可行之資料蒐集介面，使高公局、監造、廠商能各盡其責、各盡其力共同營造有利系統互通及資料共享之整體環境，並透過管理資訊整合與價值再利用進而衍生更多創新工程服務，加乘發揮工程管理電子化應用之整體效益(詳表1)。

本案落實公共工程工地管理資訊化，實際用於「進度管理」、「計畫書送審管制」、「預警提醒」及「工作報告」，例如運用即時監控搭配行動裝置，透過標示問題同步系統追蹤，有效掌握現況資訊(同時留置紀錄以利追溯)，成功驗證PMIS專案管理系統(圖6)，促進工程資訊更緊密連結、彙整與更快速分流應用，有效提升執行效率，促成營建產業整體再升級之綜效。

表1 國8之PMIS整體效益

項次	項目	要點說明
1	工程全生命週期	開工 計畫組織建構及專案開立、啟動PMIS平台架設，選定主要操作人員受訓。
		施工 a.即時顯示現地資訊(工地戰情室)，簡易操作快速更新。 b.PMIS平台包含「即時進度、文件管理(日報與圖說)、工作管理(會議與影像)、協同作業(列管專案與涉外單位事項)、施工紀錄(變更、估驗、品管、職安等)」管理平台。
		竣工 竣工資料統整匯出，快速彙整。
		維管 a.PMIS資料目錄為樹狀結構，可匯出所有文件，封裝為實體檔案的竣工資料，移交維管單位使用。 b.可採離線查詢系統，檔案移轉安裝至維管單位自備電腦環境(無縫接軌)，方便管理。
2	維護人力	a.PMIS是由既有表報擷取資料，均屬各參與方原應保存資料，只是換成集中平台，維護人力1人/月。 b.另可視計畫規模及資訊需求，配置作業管理人力。
3	意見管理	PMIS設有線上問題反映機制，使用者可隨時將遭遇問題或回饋建議，線上發送管理人員處理回應，作為系統調校優化的參考。
4	儲存容量	a.PMIS上傳量無限制，下載量平均為50G，符合一般計畫需求。 b.若有超量需求，可循序擴充。
5	分權管理	PMIS訂有權限管理機制，可依權限設定資料檔案，系統會記錄留存資料更動的人員與時間。



圖6 PMIS營建施工安全與管理

### 三、採用人工智能載具輔助工地安全管理-機器人局限空間應用

勞動部職業安全衛生署統計指出台灣重大職業災害引起傷病、失能或死亡人次最高的行業為土木營建業，自2004~2022年綜合統計土建業常見的重大職災分別為局限空間、墜落滾落、物體倒(崩)塌、感電、物體飛落等。前車之鑑，本工程對於工地管理、安全事件預防與避免皆是戰戰兢兢面對，畢竟每一個重大職業災害的背後，都代表著一處工地環境之人員疏失、不安全行為、危險狀態所造成的傷害與遺憾；透過他案隱含的災害訊息，採科技管理，歸納工程特性、作業環境差異及安全意識等多元複雜成因模式，列舉局限空間示範人工智能載具輔助工地安全管理，達到科技守護國8，橋安、路安、人平安。

隨著智慧科技時代來臨，數位技術結合營建產業，工地安全管理推展至新的高度儼然成形，加上近年COVID-19疫情因素，營建業正面臨設計、監造、施工人才世代交替、人力不足及流動情況加劇，既有專業人員分身乏術等情形，國8工程團隊亟思，在人力資源有限情境下如何藉由現行數位科技、資訊技術應用導入，提高營建業職業安全衛生管理方法以強化管理

作業，提供先進措施來施行危害預防、執行安全防護，終於，AI機器人(世曦1號)局限空間應用，悄然萌芽而生。

綜觀工地危險預防仰賴專業人員及監視系統，進行施工現場檢查、監控及事後檢討，但國8工地往往有不同工種的人員(植筋、水刀、銲接、鉛支、鋼構吊裝等)來來去去，受限專業工安及監控人力有限，盤點現行多以監視系統監控工地(搭載人臉辨識)，並導入感測器蒐集工地資訊，再透過人工智慧相關技術進行影像辨識與分析代替人員監看，雖以自動化輔助取代傳統人力，惟工地安全風險仍有強化空間(存在盲區)。由於國8橋梁耐震補強工程常需進出箱梁施工(管線遷移、植筋鑽孔)，依職業安全衛生設施規則，「勞工從事局限空間作業前，應確認該局限空間有無可能引起勞工缺氧、中毒、感電、塌陷及火災、爆炸等危害」；爰此，工程團隊採用全自動機器人(世曦1號)搭載氣體偵測器及360°廣角鏡頭進入箱梁場域巡檢(詳圖7)，遙控偵測確認氧氣濃度(18%以上)、一氧化碳(35ppm以下)、危害物質濃度(硫化氫10ppm以下)，確保施工人員進入局限空間安全無虞，現場經機器人分層分區實作結果，成效良好(工程效益，詳表2)。

表2 全自動機器人(世曦1號)工程效益

項次	項目	工程效益
1	操作時機	a.新開工作面先由機器人偵測局限空間氣體(環境偵測)，安全無虞後，人員再進場。 b.屬箱室內尚無偵測設備前的作業前巡視(提升安全管理)。
2	預警監看	a.可自動識別障礙物，達事先預警效果。 b.低機身可觀測低視角，搭載LED自動感光(亮度佳)，可辨識箱室管線，即時傳輸。
3	確認環境	a.可快速安全的確認工作環境。 b.以數位紀錄(360° 影片/相片，5G/WIFI)即時傳輸至手機監看，提升作業效率。



世曦1號



施工前  
場域巡檢

自動  
偵測

安全  
效率



圖資調閱行動查核

1. 結合個人行動裝置進行走動式管理。
2. 配合局限空間特性進行工地巡檢，即時上傳巡檢現場照片。

監造單位現場監控  
工地現場巡檢

360影片/相片輸出  
5G/WIFI 回傳至PMIS資訊平台

序次	縮圖	檔名	大小	日期	標註	相片說明	上傳/刪除
1		IMG_20230523_105859_00_002(1).jpg	10.020	2023-05-23	特偵護	IMG_20230523_105859_00_002(1).jpg	刪除 編輯
2		IMG_0849.jpg	2.940	2023-05-23	特偵護	IMG_0849.jpg	刪除 編輯

圖7 國8之人工智能科技應用

#### 四、其他精進作為

日本厚生勞動省每5年會公布一次營造業減災策略計畫，指出「只要運用一些小技巧，使營造場所的危險源與安全措施可視化，就能有效預防職災事故」，提倡預防事故從小技巧做起，鼓勵事業單位將工作場所的危險源可視化，提高安全措施的防範能力，展現亮眼減災成效。

鑒於工程發展趨勢，顏色管理是提高營造業職業安全衛生管理能力的有效方法，具有極

高的發展潛力，本文(國8橋梁耐震補強)分享3項工地的成功應用作為(圖8)，共同促進台灣營造業職業安全衛生管理能力。

##### (一) 顏色管理

工地安全措施加入顏色管理，提升施工人員安全辨識能力，本項色彩管理自推行以來，讓實際作業的工作者直觀地感受到儲放位置，顯眼性高，獲得協力廠商、設備供應商的肯定與支持，展現出亮眼的管理成效。

### 國8安全看的見 (安全可視化)

**色彩管理 安全辨識**

- ✓ 規劃安全色彩種類及管制作為
- ✓ 安全措施加入顏色管理
- ✓ 提升施工人員安全辨識能力



安全帽分色管理  
職安工程師-紅色、現場工程師-白色  
協力廠商-藍色、外籍移工-黃色

### 安全看的見

<p style="font-size: small; color: green;">氣體貯存區分色管理</p> 	<p style="font-size: small; color: green;">工區分色交通錐管理</p> 
<p style="font-size: small; color: red;">人員安全帽分色管理</p> 	<p style="font-size: small; color: blue;">吊掛用具上色(每季更換)管理</p> 

### 國8施工安全與管理之利器(一般上下設備與可滑動護籠爬梯組成)

<p style="font-size: small;">人員行走</p> 	<p style="font-size: small;">醫療及物料吊掛</p> 	<p style="font-size: small;">專利申請書</p> 	<p style="font-size: small;">期刊投稿</p> 
<p style="font-size: small;">2023/4/15</p>		<p style="font-size: small;">2023/04/11</p>	

(優) 移設、拆卸、組裝僅需1日

(優) 可滑式護籠調整、快速定位

(優) 人、機、料及醫療相同運輸路線

圖8 精進作為

1. 氣體貯存區規劃安全色彩種類，率定綠色為氧氣、黃色為空瓶、紅色為乙炔。
2. 交通錐安全色彩，率定綠色為人員走道、黃色為物料區、紅色為施工區。
3. 安全帽安全色彩，率定藍色為協力廠商、黃色為外籍移工、紅色為職安工程師、白色為現場工程師。

## (二) 專利上下設備

工區創新的上下設備，榮獲2022年國家新型專利的肯定，是進度與安全兼顧的利器，一梯多用，具有「拆卸移設組裝僅需1日、可滑式護籠調整，快速定位、即時救援」的優點，為緊急搶救災使用，如搭配局限空間內之三角吊架可將受傷人員迅速帶離。

## 結語

- 一、國8橋梁耐震補強工程是交通、科技、智能防災與國道美學的展現，其管理策略、設計理念、監造品質、施工技能、複合材料使用、隔減震技術等經驗，均有助於臺灣後續橋梁工程技術的增進與提升。
- 二、本工程國道技師團成功研發「橋梁變位全自動監測系統」，由傳統人工監測，提升至自動傳輸位移警示監測系統(警戒資訊IoT即時傳輸)，除保障用路人之行車安全，更確保施工環境安全，團隊真的揪甘心。
- 三、本案工程團隊導入先進遙測技術，結合空間大數據建置「國土安全監測平台」，透過長期性的監測及資訊整合分析，達到平時趨吉避凶、災時逢凶化吉，防範災害於

未然，一同守護國人的安全，善盡社會責任，成功提升國家防災技術量能。

四、工程團隊努力的汗水，成長了豐碩的果實，主辦機關、顧問公司、營造廠三位一體，持續維持道安、推動多項精進作為，品質的盡心付出、安全的貼心作為，台南安定區的民眾都看在心裡，藉本文給辛苦的工程人員，讚美喝采。

## 致謝

本文承蒙交通部高速公路局第二新建工程分局與第三工務所之指導及支持，謹致謝意。

## 參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2023)，中華技術第138期，空間技術與跨域創新。
2. 勞動部職安署(2023)，淺談日本的安全可視化運動。
3. 交通部高速公路局(2021)，橋梁耐震補強設計注意事項。
4. 勞動部職安署(2020)，數位科技在臺灣營造業職業安全衛生管理的應用。
5. 交通部高速公路局(2018)，橋梁耐震補強設計及維護管理手冊。
6. 陳韋丞(2018)，國道橋梁應用隔減震支承系統耐震補強之案例分析與探討，台北：第14屆結構工程研討會。



3

專題報導

# 智慧城市的舞台—— 世界客家博覽會世界館之統包工程營 建管理經驗分享

關鍵詞(Key Words)：世界客家博覽會(World Hakka Expo)、世界館(World Pavilion)、智慧城市(Smart City)

桃園市政府新建工程處/處長／呂紹霖 (Lu, Shao-Lin) ❶

桃園市政府新建工程處/副總工程司/趙士德 (Chao, Shih-Te) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／協理／林聰能 (Lin, Cong-Neng) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／副理／李晏平 (Lee, Yan-Ping) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／正工程師／王昶閔 (Wang, Chang-Miin) ❺



## 摘要

桃園市政府規劃於民國112年舉辦國際級的「世界客家博覽會」，作為世界各地推動客家文化成果與經驗的交流平台。從統包發包到施工僅18個月，期間遭遇Covid-19疫情，營建市場正值原物料缺乏、工人匱缺之時期，故工程進度之掌握為世界館執行營建管理過程中遭遇之最大挑戰。

透過進度管理手段，積極配合業主，督導統包商從設計端開始到施工端進行攢趕，使本工程不負業主期望，順利如期完成。



## The stage of smart city - experience sharing on the construction and management of the world pavilion of the World Hakka Expo

### Abstract

The Taoyuan City Government planned to hold an international-level "World Hakka Exposition" in the 2023 year as an exchange platform for promoting Hakka cultural achievements and experiences around the world. In order to accomplish that exhibition in August, it only spent 18 months from the contract work agreement to the construction completion. At the same time, unfortunately, lack of raw materials and a shortage of labors caused by the Covid-19 pandemic. The project progress control was obviously become the biggest challenge.

Through the progress management method, CECI Engineering Consultants teams actively cooperated with the City Government and supervised the turnkey contractors from the design end to the construction end, so that this project will be completed smoothly and on schedule, to live up the owner's expectations.

3

專題報導

## 壹、前言

### 一、政策構想

桃園市政府為推動客家文藝復興新浪潮，展現臺灣文化價值與軟實力，規劃於民國112年舉辦國際級的「世界客家博覽會」，作為世界各地推動客家成果與經驗的交流平台，並藉此向國際宣揚臺灣客家多元亮點與國際客家文化軸心定位，定錨臺灣為「全球客家新都」。

藉由世界客家博覽會建立臺灣成為世界客家文化中心，連結傳統與現代，打造世界客家交流的平臺，以推廣客家文化品牌精神，提升臺灣國際形象，展現臺灣客家資產的精緻性、多元性、創新性。

期許行銷臺灣客庄之美，讓世界旅客走進來，藉以催生客家地方創生與產業經濟創造，創造臺灣客家文化、生活型態的深度體驗。

### 二、願景目標

透過博覽會匯流全球客家族群，共創城市參與及光榮感，凝聚推動臺灣客家精神永續發展的力量，充實臺灣多元文化內涵，創造文化觀光效益。

配合市府政策，於「亞洲·矽谷創新研發中心」一期工程基地先行興建物聯網（IoT）展廳獨棟建築物，以期「世界客家博覽會」活動展覽期間，作為主場館（世界館）使用，展期結束後延續作為推廣新創、青創事業之物聯網（IoT）展廳（公益設施空間），提升工程效益。

### 三、未來發展願景

（一）成為世界客家文化交流平台

配合桃園市政府規劃於民國112年舉辦國際級的「世界客家博覽會」，作為世界各地推動客家文化成果與經驗的交流平台，透過世界客家博覽會建立臺灣成為世界客家文化中心。

（二）創造周邊效益

「世界客家博覽會」場址周邊的桃園國際會展中心即將完工，善用機場捷運A19桃園體育園區捷運站的交通便利性，透過舉辦博覽會活動，爭取國際觀光注目焦點，共創城市參與及光榮感，創造文化觀光效益。

（三）建立青創空間

運用「亞洲·矽谷創新研發中心」開發基地，先行興建物聯網（IoT）展廳獨棟建築物，於「世界客家博覽會」展期間，作為主場館（世界館）使用，展期結束後華麗轉身作為推廣新創、青創事業之物聯網（IoT）展廳（公益設施空間）。

（四）連結科技及整合在地產業

因應桃園亞洲矽谷計畫連結全球先進科技研發能量，帶動國內科技與技術進步，促進國際人才交流，發揮臺灣製造優勢，連結矽谷潛力企業，整合在地產業聚落的優勢，形成物聯網與大數據產業創新群聚基地。

## 貳、工程概述

### 一、基地位置

世界客家博覽會基地位於桃園市中壢區，東鄰民權路四段、西鄰領航北路一段、南鄰文康路，鄰近機場捷運A19站及桃園國際棒球場，且緊鄰桃園高鐵站（機場捷運A18站），基地周

邊位置及基地內建築物配置如圖1及圖2所示。基地地號為中壢區青芝段 159-4地號，法定建蔽率60%，設計建蔽率為50.33%，法定容積率360%，設計容積率為96.08%，基地面積合計約為3,960.53平方公尺。

## 二、工程規模

世界客家博覽會世界館為配合活動展覽期程，在工程期程之限制下，採用綠建材-鋼構造，以加快主體結構之施工進度，為地上四層



圖1 基地周邊位置圖



圖2 基地內建築物配置圖

建物，其中一樓及三樓為挑空空間，供世界客家博覽會展覽使用。室內四層樓使用空間分別為一樓展示廳(包含:消防機房、廁所、哺乳室等)、二樓機房設備室(包括:空調機房、電氣室、電信室)，三樓挑空無柱展示空間(包含:廁所)、四樓辦公室、空調機房及監控室、屋頂層機械室，各樓層使用分配如圖3所示。

### 參、整體設計構想

世界館雖緣以世界客家博覽會所用，但為了避免一次性工程效益，促成永續及落實循環經濟觀念，後續將併於「亞洲·矽谷創新研發中心」新建工程，為了與智慧城市接軌，並保留展覽期間周邊空間最大化，在先前規劃設計上，需經整體考量，說明如下：

#### 一、主展區廊帶串聯

作為世界客家博覽會主展區場館之一，世界館展場外為半開放式展演空間，配合世界館採取開放式設計，可由戶外展示區動線串聯進入世界館，如圖4所示。

#### 二、接軌後續矽谷新建工程

世界客家博覽會結束後，世界館為永久建築物，未來將納入與鄰近的「亞洲·矽谷創新研發中心」一起使用，為配合研發中心的智慧規模，早以銅級智慧建築標章納入目標，並在規劃設計階段保留較大之彈性空間。

#### 三、連接會展中心

世界館比僅隔領航北路之桃園會展中心興建工程提早完工，肩負著串聯之重責大任，故預留未來桃園會展中心對接之空橋通道，未來空橋將跨越領航北路，串接起桃園會展中心與研發中心，作為互通之廊道，空橋示意如圖5所示，為此，在設計上，預留之空橋通道高程也配合亞洲矽谷創新研發中心與桃園會展中心，以便日後施作上能順利連接。

#### 肆、執行遭遇之挑戰及解決方案

配合國際性活動展覽期程，世界館從統包發包到施工僅18個月，其中6個月辦理規劃設



圖3 世界客家博覽會世界館工程規模示意圖

計，實際施工為12個月，期間遭遇Covid-19疫情，營建市場正值原物料缺乏、工人匱缺之時期，故工程進度之掌握為世界館執行營建管理過程中遭遇之最大挑戰，為世界客家博覽會順利展演，在進度管理上，本專管暨監造團隊提出因應對策，相關做法說明如下：

### 一、預審走在前，細設分階段執行

為配合112年8月世界客家博覽會實施展覽，從統包決標開始，積極管控本案工程進度，自申請建照及提送都審作業進行多方協調，擬訂預審先行策略，提前推演都設審議狀

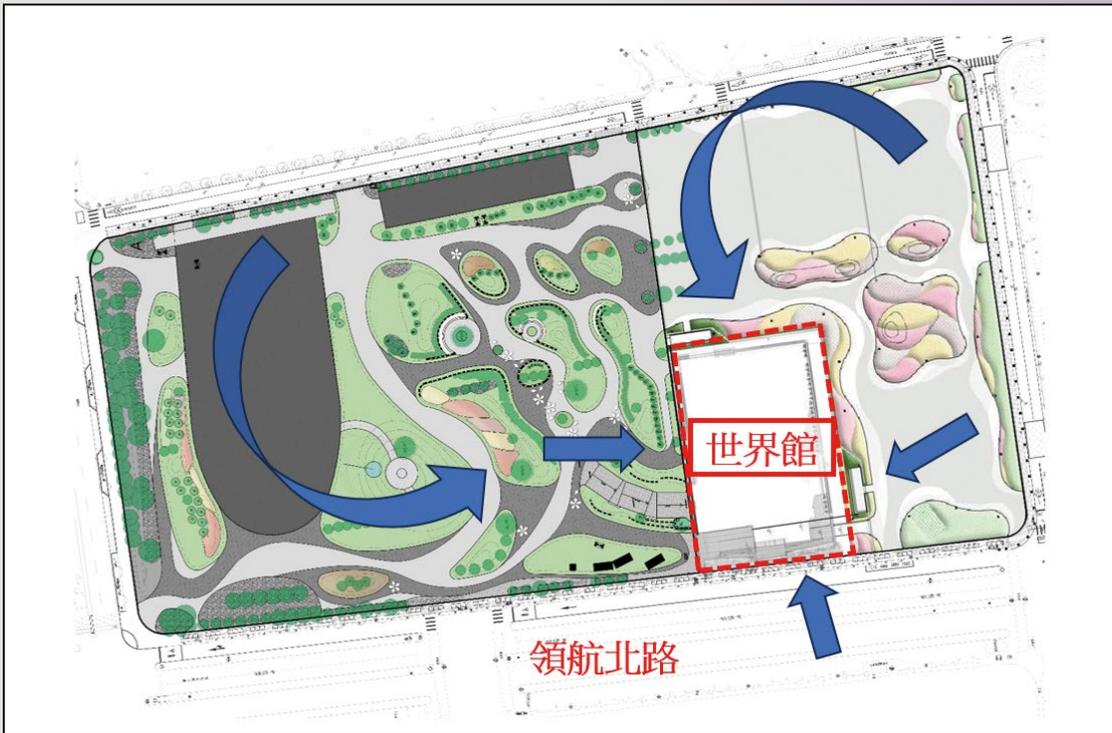


圖4 戶外動線串聯示意圖

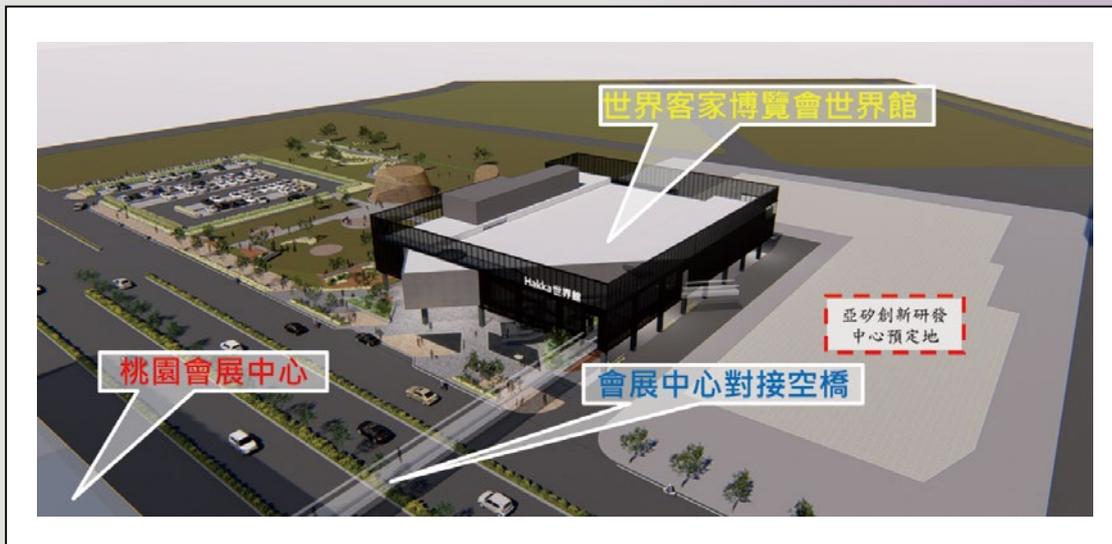


圖5 空橋預留示意圖

況，督促推動相關建照申請程序先行作業，及預先排定統包規劃設計進度及檢核里程碑，如圖6所示。

## 二、攢趕工進之規劃-結構形式

本案為鋼結構工程，正逢國內營建環境缺工缺料時期，為能保證鋼構材料供料無虞，並配合主題展區挑空空間，符合攢趕在112年3月31日前完工，於施工規劃上採普遍較容易取得之鋼構制式尺寸型式RH柱40\*40為主，並將相關

設備、機房集中設置，以利三、四樓呈現無柱展覽空間規劃，如圖7所示，實際組立情形如圖8、圖9鋼結構組立。

在本公司專管(監造)團隊，積極配合業主，督導統包商設計部分進行攢趕，先行完成基礎部分之細部設計，使本工程不負業主期望，順利進行開工典禮及實質開工，本公司廖學瑞總經理率專管(監造)團隊參加111年5月10日世界客家博覽會世界館開工典禮，共襄盛舉，如圖10所示。

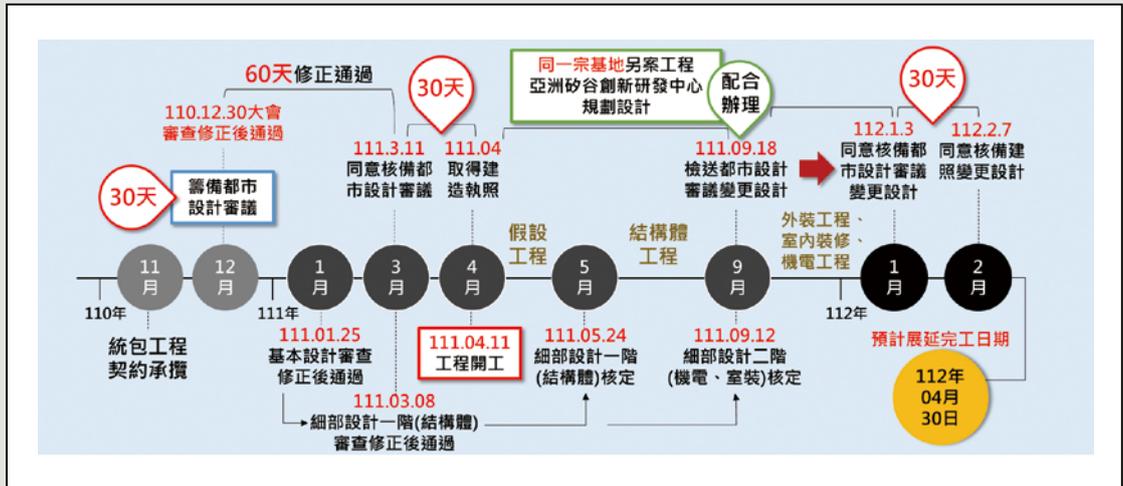


圖6 統包規劃設計進度流程

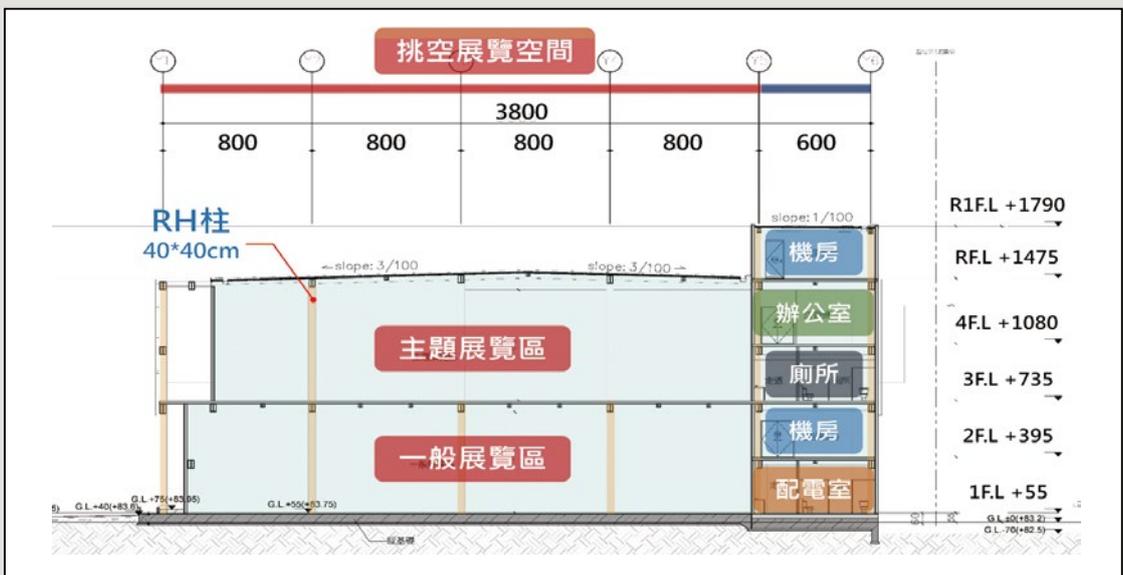


圖7 展覽空間示意圖



圖8 鋼構柱組立



圖9 鋼結構組立



圖10 世界館開工典禮

### 三、攬趕工進之規劃-外牆模組化

為加速工程進行，外牆材料施工採模組化組裝，四周可同時進行組裝，減少界面衝突，且單一尺寸便於安裝，節省製造期程，以達到組裝快速。牆面系統採外牆系統鋼板，並搭配60k岩棉，最外層外牆裝飾材使用金屬擴張網，以120公分為一個單元分割，一片一片組裝鎖固，如圖11所示，現場實際安裝完成如圖12、圖13所示。

### 伍、效益分析

作為112年國際級的「世界客家博覽會」主展館，透過博覽會創造文化觀光效益，完成階段性任務後，將與未來「亞洲·矽谷創新研發中心」一起作為連結全球先進科技研發能量，整合在地產業聚落的先驅，讓臺灣邁向物聯網與大數據產業創新群聚基地。

本案在只有12個月施工期程下，達成的目



圖11 模組化外牆組裝示意圖



圖12 外牆擴張網骨架組立

標可分為階段性目標及未來願景目標，及其預期成效，詳細說明如下：

### 一、階段性目標—世界客家博覽會

配合市府政策規劃，作為112年國際級的

「世界客家博覽會」主展館，館內挑空的展示空間，象徵全球視野，更以此作為背景，以展現客家多元文化為核心，呈現客家文化「融和」兼容並蓄，藉此匯集全球客家人，創造齊聚感，凝聚臺灣客家軟實力，並透過博覽會創造文化觀光效益，世界館完工場景如圖14所示。



圖13 外牆模組化組立



圖14 世界館完工場景

世界客家博覽會

本公司專管(監造)團隊受邀參加112年8月15日「世界客家博覽會」開幕典禮，共同見證為2023世界客家博覽會揭開序幕，如圖15。

## 二、未來願景目標-亞矽創新研發中心

本案位處桃園市，而桃園市擁有桃園國際機場、高鐵、機場捷運等重要交通運輸，遠至國際機場串聯亞洲五大城市，到高鐵連結全臺，近至機場捷運連接雙北，得天獨厚的地理

優勢，造就了亞洲·矽谷計畫，創新研發中心未來概念示意如圖16所示。

## 三、預期效益

本案為一棟地上四層之鋼構建築物，總樓板面積約4,477平方公尺，在規劃設計初期，配合戶外開放空間，為使人流可由戶外區域串聯進入世界館，串起周邊土地使用，達到活化周邊空間之效益，藉由世界客家博覽會為期兩個



圖15 世界客家博覽會開幕典禮



圖16 亞洲矽谷創新研發中心概念示意圖

月的展期，創造參觀人數共逾1,100萬人次，平均每天近18萬人次到過世界館。

世界客家博覽會展期結束後，保留戶外空間，與未來即將完成之桃園會展中心及兒童美術館串起整個綠廊帶，導入綠色生活，創造優質環境，進而改變城市現有樣貌。

世界館後續將納入鄰近的「亞洲·矽谷創新研發中心」，配合研發中心，預計規劃建置智慧化系統，應用大數據(Big Data)、物聯網(IoT)、雲端服務(Cloud Computing)等趨勢科技，發展循環經濟(Circular Economy)創新服務，以智慧科技優化周邊治理與經營能力，打造便捷樂活的生活環境，提升當地生活圈的幸福感受，創造經濟與科技雙贏並接軌國際。

## 結語

世界客家博覽會世界館(IoT展廳)統包工程案為配合國際級展覽及串接後續亞矽創新研發中心，有著承先啟後的使命感，本案從發包到

施工僅18個月，6個月的規劃設計，實際施工為12個月，完工時程儼然增加專案管理及監造的工作挑戰，藉由每週進度管控會議，定期與統包商滾動式調整施工界面，與監造單位溝通協調相關施工項目，業主協調配合，順利如期如質完工。

本工程已完成階段性展覽目標，後續將配合「亞洲·矽谷創新研發中心」工程，持續朝向智慧城市目標前進，接軌國際，並與桃園市民生活結合，與市府各項業務的智慧治理共同推動，翻轉城市既定之樣貌，為智慧城市的舞台上華麗的一幕。

## 參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「2023世界客家博覽會世界館(IoT展廳)統包工程」金品獎簡報(2023)。
2. 客家委員會，「世界客家博覽會及客家政策推動成效」(2023)。



圖17 世界館外觀照

# 土地開發工程施工安全之創新科技及應用——以臺中市烏日前竹地區區段徵收工程第三標為例

關鍵詞(Key Words)：智能系統(Intelligent Technologies)、工程安全(Project Safety)、減災(Disaster Reduction)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／副理／王耀德 (Wang, Yao-Te) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／正工程師／沈雲龍 (Shen, Yun-Lung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／工程師／劉雅容 (Liu, Ya-Jung) ❸



## 摘要

「臺中市烏日竹地區區段徵收工程第三標」為提高工程施工安全性和工作環境的品質，引入了創新科技及智能技術，如智能勤前教育廊道，結合人臉辨識系統告知作業勞工每日施工項目之危害，並且透過科技監控物聯網系統，針對局限空間高風險作業建立AI自動監控電子化科技產品，輔助人員監控死角，達到科技減災之目的。

此外，考慮到近年來極端氣候的增加，工程也建置了環境危害監控系統自動上傳熱指數及處置方式，並通報周知作業勞工。結合上述科技產品的輔助，有效提升整體工程安全。



## Innovative technology and application of construction safety in land development projects - taking the third bid for the expropriation project in the Qianzhu, Wuri District, Taichung City as an example

### Abstract

In order to improve the safety of the project and the quality of the working environment, the "Third Bid for the Expropriation Project in the Wuri Qianzhu Area of Taichung City" has introduced innovative and intelligent technologies, such as intelligent diligent education corridors, combined with a facial recognition system to inform operating workers The hazards of daily construction projects, and through the technological monitoring Internet of Things system, AI automatic monitoring electronic technology products are established for high-risk operations in confined spaces to assist personnel in monitoring blind spots to achieve the purpose of technological disaster reduction.

In addition, taking into account the increase in extreme weather in recent years, the project has also established an environmental hazard monitoring system to automatically upload heat index and disposal methods and notify working workers. Combining the above-mentioned with the assistance of technological products, the overall project safety can be effectively improved.

3

專題報導

## 壹、前言

營建工程一直以來都是一個充滿風險的作業場所，其中最大的風險來自於人為的不安全行為，導致了許多的工程事故，這些事故不僅對作業人員造成了嚴重傷害，也對工程品質和進度造成了負面影響。因此，施工安全管理一直是營建工程首要關注議題之一。

為了因應施工安全的問題，營造業一直都在積極尋求創新科技的方法，來減少施工上外在(環境)及內在(人員)造成的危害。這些創新的科技不僅提升了工程效率，同時更有效地保護作業人員的安全。現今，我們正積極透過創新科技和智慧系統的應用，致力達成零災害、零事故的目標，也更期望未來能創造更為安全的工作環境。

本文將介紹「臺中市烏日前竹地區區段徵收工程第三標」(以下稱「本案」)所應用的創新科技，以示範如何改進施工安全，降低風險，提高效率，來確保每位作業人員都能在安全的環境下工作。

## 貳、工程簡介

### 一、計畫概述

烏日前竹地區位於原臺中縣市都市計畫交界帶，土地無法整體規劃妥善利用，致使土地違規使用情形嚴重及都市景觀混亂無序。又本區南鄰早溪排水有潛在之天然災害危險，因此臺中市烏日前竹地區區段徵收工程配合經濟部水利署第三河川分署辦理之早溪排水整治工程(截彎取直)，有效整合區內土地資源、建構完善道路系統、促進都市發展、創造區域經濟發展及就業，並以韌性城市之理念進行規劃設計與建設，打造人本、生態及宜居的新興社區(詳圖1及圖2)。

### 二、工程概述

臺中市烏日前竹地區區段徵收工程共計有四標，其中第三標，係配合早溪排水整治工程，進行整體規劃。工程範圍南北最長約600M，東西向最長約850M，施工面積26.71公頃。全區之主要工程包括整地工程、道路工



圖1 計畫位置圖

程、排水工程、污水工程、自來水工程、共同  
 管道工程、照明工程、號誌工程、公園景觀等 (詳圖3及圖4)。



圖2 計畫特色

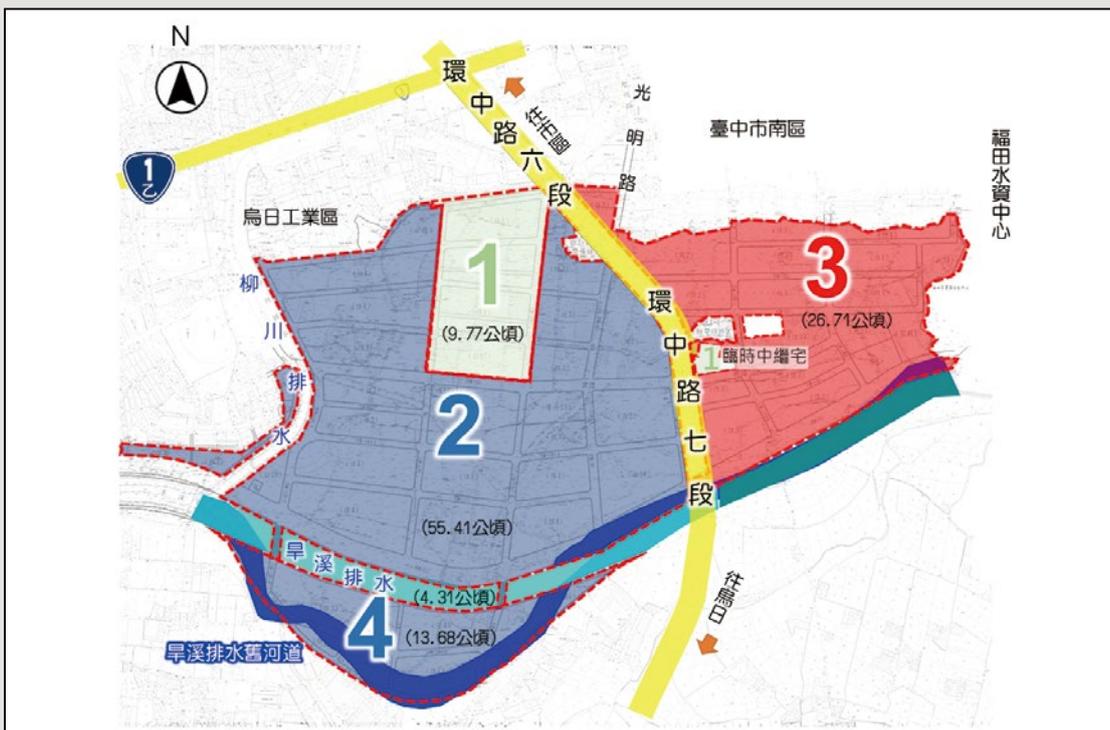


圖3 臺中市烏日前竹地區區段徵收工程分標圖



圖4 本案工程位置及計畫道路圖

### 參、創新科技減災實務應用

依據臺中市勞動檢查處指出，營造業的作業場所常常具有複雜多變的特性，工區環境時常有諸如挖土機、壓路機、鏟土機、打樁機、混凝土泵送車等車輛系營建機械，這些機械器具常使作業人員面臨被撞或物體飛落之危害。

為了有效防止人為的管理疏失導致工安意外，目前市面上已經出現許多智慧科技來輔助工地安全管理。以本案為例，考量到工區範圍較大，管理上也增添了困難性，同時需要因應複雜工種作業，因此引入了多項智能技術來輔助管理工地，讓施工管理者可以快速掌握工地實際情況，並避免作業人員誤入高風險警戒區域，從而有效防止作業人員發生職業災害。

#### 一、規劃智能門禁及資訊危害告知

土地開發工程幅員遼闊且處處具有高風險性的作業環境，因此人員管制是確保工地安全重要的一部分，施工單位必須嚴格控管進出的人員，來降低職災風險，預防意外事故的發生。而傳統的人員進出管制方法容易受到偽造和與他人共用進出證件的風險，因此近年來，人臉辨識技術在營建工程中也逐漸地被廣泛應用。本案也引用了這項科技來設置智能門禁，以人車分道來管制，也包含了檢查作業人員的防護具穿戴有無完善、體溫量測及酒精濃度量測，並且辨別不同工種之作業人員來分類進行勤前教育，達到施工前危害告知。表1為傳統人員管制與智能科技人員管制優缺點比較：

表1 傳統與智能科技人員進出管制優缺點比較表

	傳統人員進出管制	智能科技人員進出管制
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.無需科技設備，成本較低。</li> <li>2.方法簡單且易於實施，不需要特殊的培訓。</li> <li>3.不需要收集或儲存個人生物特徵資料，減少了個資問題。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可以自動辨識進出人員，減少對人力的依賴，節省了時間和成本。</li> <li>2.提高安全性，因使用生物特徵識別個人，較難造假。</li> <li>3.系統可以精確記錄進出人員，並提供即時監控。</li> </ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.通行證容易被偽造</li> <li>2.無法即時監控，難以快速應對安全問題。</li> <li>3.常需要較多的人力，尤其在大型工地，這可能增加人工成本。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.設置人臉辨識系統需要投入相對較高的資金。</li> <li>2.收集和儲存個人資料可能引發個資問題。</li> <li>3.人臉辨識系統在特定環境下，如強烈的陽光、低光環境或不同的角度下，可能存在失敗的風險。</li> </ol>

總結來說，智能科技人員進出管制(詳圖5及圖6)提供了更高效的自動化和安全性，但也需要投入較多的成本，而傳統方法可能成本較

低，但不如智能科技安全且方便。

## 二、建置熱危害物聯網通報機制

近年來氣候異常，全球年均溫屢創新高，台灣夏季氣溫也持續創新高，為了預防高氣溫環境引起的熱危害，勞動部職安署在108年度1月公告「高氣溫戶外作業勞工熱危害預防指引」，並建置「戶外作業熱危害預防行動資訊網」連結氣象資料，即時提供當地熱危害風險等級。土地開發工程具有無遮陰施工之特性，因此本案特別針對高氣溫戶外作業熱危害預防建置了一套通報機制，於工區現場設置電子看板(詳圖7)，透過智能環境危害物聯網系統自動



圖5 智能門禁功能



圖6 本案智能門禁應用情形



圖7 本案熱指數電子看板設置



圖8 本案熱指數APP即時通報情形

通報熱指數，並連接手機APP每隔一小時通知作業人員熱危害等級，此外也包含了提醒作業人員補充水份及電解質，有效提升熱危害預防管理(詳圖8)。

### 三、廣泛使用車輛機具智能視野輔助設備

大客車、大貨車等大型車輛經常因轉彎時內輪差視野死角，而造成事故。依據交通部統計平均每年大型車車禍約達1,500件，事故主因就是內輪差視野死角，因此交通部特別修法要求，至109年1月1日起，大型車應裝設符合規定的行車視野輔助系統或以下任一裝置：

- (一) 左右兩側視野鏡頭及可顯示車身兩側影像之車內螢幕。
- (二) 於車輛右側裝設一個外部近側視鏡並於車輛右前側裝設雷達警示系統。
- (三) 可顯示車輛四周影像之環景顯示系統。

土地開發工程中最常使用之大型車輛為混凝土預拌車及總重量20公噸以上之運土拖車，本案為了避免前開車輛因視線受阻而導致碰撞

事故，因此在工程契約特別約定前開兩者車輛必須也安裝行車視野輔助系統，以確保相關作業人員之安全。另外，挖土機亦為土地開發工程最常見之車輛系營建機械，比照大型車裝設行車視野輔助系統之概念，本案挖土機亦予以加裝(詳圖9)，大大減少露天作業人員之危害。

### 四、建立與實施電子圍籬科技減災

本案屬於土地開發工程，而該工區之廣闊是其特色之一，但也因此使得人員管理變得相對複雜。工區面積達26.71公頃，且毗鄰旱溪，增加了未經授權人員進入工區的風險。因此，為了加強安全控管，本案引入了電子圍籬科技。透過感應器和監控系統(詳圖10)，此技術在工地周邊建立了虛擬安全圍籬，以阻止未經授權者進入，同時及時警示工作人員和管理人員潛在的危險。這項科技不僅提供即時警報，更能在事故發生前辨識潛在風險。

透過電子圍籬，工地管理者可以監控人員進出、材料運輸和機械操作。當任何人或物體進入不應進入的區域，系統立即發出警報(詳圖11)，並迅速通知相關人員，防止潛在的意外事件。更重要的是，這些系統能整合智能監視和分



圖9 運土拖車及挖土機安裝輔助視野設備情形

## 智能電子圍籬監控廣播

1. 移動式電子圍籬場域設定監控
2. 人員越界自動廣播及APP 推播
3. 監控個人裝備穿戴狀況 推播



圖10 智能電子圍籬監控廣播功能



圖11 人員闖入APP即時通報情形

析功能，提供寶貴的數據。透過分析進出人員和活動，管理人員能更好地了解工地的運作，進行改進和預防措施。這樣的智慧資訊使得預測和避免事故變得更加容易。總體而言，電子圍籬科技使營建工程大幅提高了安全標準，減少了事故發生的機會，並使管理更有效率。

## 五、局限空間運用智能科技防災系統

根據職業安全衛生設施規則第19-1條，所謂局限空間，係指內部無法以充分且適當之自然通風，來維持內部清淨之可呼吸性空氣，非供勞工在其內部從事經常性作業，且勞工進出受限制之空間。從以上定義可得知局限空間的空氣條件不佳，無法自然通風，因此可能含有有害物質或缺氧，需要透過強制通風來保持空氣流通，並搭配監測儀器以確保空氣及有害物濃度在安全範圍內，以確保作業人員的安全。本案項目中支管洞道為局限空間作業，也是本案中的高風險作業。針對支管洞道這種局限空間作業，本案運用智能科技方法來補強傳統方法上的不足。在防止災害方面，傳統局限空間作業採取的是人工登記進出管制及使用手持四用氣體偵測器來測量濃度等方式。然而本案運用了智能技術和方法，以進一步強化防範災害的措施。其中包括人臉辨識進出管制、自動濃度測定及警示系統(詳圖12)、智能生命感知手環(詳圖13)，以及固定式攝影機等裝置(詳圖14)。



圖12 本案局限空間人臉辨識進出管制、自動濃度測定及警示系統設置情形



圖13 本案局限空間作業人員配戴智能生命感知手環



圖14 本案局限空間固定式攝影機裝置

這些創新技術的應用帶來了更全面、更智能的安全措施。人臉辨識技術確保了只有經過授權的人員可以進入特定區域，減少了潛在的風險。自動濃度測定和警示系統能夠及時探測有害氣體濃度並發出警報，以便即早採取必要的安全措施。而智能生命感知手環則可迅速檢測人員的生命跡象，隨時提供緊急救援所需的資訊。固定式攝影機的設置也能提供全面的監控，有助於監視人員，從而更方便了解局限空間內工作情況。這些措施不僅提高了工作場所的安全性，還為作業人員的健康和生命安全提供了更為全面的保障。

## 結語

「臺中市烏日前竹地區區段徵收工程第三標」藉由其卓越的創新科技與智能系統應用，榮獲第十七屆優良工程金安獎工程類優等殊榮。在工程實施過程中，本案充分運用智能科技，不僅提高了工程效率，更有效地強化了對作業人員的安全保障。透過智能門禁、熱危害物聯網通報、駕駛視野輔助設備、電子圍籬科技，以及局限空間智能科技防災系統的應用，每一項技術均在提升工地安全管理的同時，增進了對於潛在危險的敏銳度和預防能力。這些創新科技不僅提供了即時的警報和監控，更在事故發生前辨識潛在風險，使得預測和避免事故變得更加容易，也為作業人員的健康和生命安全提供了更為全面的保障。

工程人員透過持續地發想、創新及應用科技，能為營建工程的職業安全衛生注入更積極、安全的動力，以實現零災害、零事故的目標。期望這樣的智能應用在未來能成為工程上的標配，為所有相關人員帶來更安全、更優質的工作環境，實現營建五化中的「管理智慧化」。

## 參考文獻

1. 臺中市烏日前竹地區區段徵收工程工程設計階段施工風險評估報告

2. 臺中市烏日前竹地區區段徵收工程第三標  
金安獎參賽相關資料

3. 勞動部勞動及職業安全衛生研究所[https://  
www.ilosh.gov.tw/](https://www.ilosh.gov.tw/)

4. 臺中市勞動檢查處[https://www.doli.taichung.  
gov.tw/](https://www.doli.taichung.gov.tw/)



# 臨軌深開挖擋土工法 補強案例探析——以臺 南鐵路地下化工程之 連續壁補強為例

關鍵詞(Key Words)：連續壁(Diaphragm Walls)、特殊單元(Special Units)、雙環塞(Double-Packer Grouting Methods)、連續壁管障(The Underground Obstacle Pipeline in a Diaphragm Wall)、托軌梁(The Supporting-Rail Beam)、抱枕工法(The Supporting Rail Operation)、鋼管微型樁(Micro Steel Pipe Piles)

交通部鐵道局／南部工程分局／第五工務段／段長／吳宇宙 (Wu, Yu-Chou) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／副理兼計畫經理／廖敏松 (Liao, Miin-Song) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／監造主任／何財慶 (Ho, Tsai-Ching) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／正工程師／方至楷 (Fang, Chih-Kai) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／洪建華 (Hung, Chien-Hua) ❺

## 摘要

本標第二工區隧道段施工範圍內，因遇台電161kV特高壓地下管線且無法遷移，並與臨軌側連續壁斜交形成一長度達3.4M之連續壁挖掘障礙，雖團隊採特殊工法施築該段地下連續壁，然因該連續壁為長度9.3M公單元，經歷5天施工，終因天候因素及管障因素，仍未能順利抓掘清除管線下方土體，無法進行連續壁鋼筋籠投入橫移作業，基於臺鐵營運安全考量下，僅完成該管障單元(998公單元)南側擋土連續壁壁體(約4.9M)，而留下一未閉合區(約4.4M)，影響本標該區間隧道土方開挖暨結構等施工推展。

為解決此地下結構擋土壁體未閉合問題，研擬及處理方案，並藉由本文介紹說明。



## The discussion of the retrofit method of the deeply excavated and supported foundations adjacent to railway areas - Case study of the retrofitted diaphragm walls in the Tainan Railway Underground Project.

### Abstract

Due to the underground obstacle pipeline of Taipower 161kV high voltage electricity within the construction scope of the tunnel section in the second work area, it was relocated difficultly, and intersects diagonally with the diaphragm wall on the side of the track to form a pipeline obstacle with a length of 3.4M. In the beginning, the 9.3m long male units of diaphragm wall has discussed with team members to figure out this difficulty engineering problem by using construction method. However, corroding to the weather and oversized underground obstacle pipeline, it took 5 working days and soil under pipeline was still not usefully to be excavated and cleared, and steel cages of diaphragm wall could not be put into guide line by lateral movement. Based on the safety considerations of the Taiwan Railways operation, part of the retaining diaphragm wall(about 4.9M) on the south side of the pipe obstacle unit (998M) was only completed, and this unclosed retaining wall sections(about 4.4M) will affect the progress of subsequent tunnel earth excavation and structural construction in this area.

In order to solve the problem of the underground structure's retaining wall not being closed, the solved plan and current situation of this case will be introduced in this article.

## 壹、前言

臺南市區鐵路地下化計畫屬臺鐵捷運化暨立體化改建計畫，其計畫里程北起UK355+300，南至UK363+530，全長8.23公里，完工後，可消除9處平交道、8處地下道、3處陸橋及2處箱涵，也排除了鐵路兩側發展阻礙，及改善鐵路行車產生之噪音、振動等環境公害問題，提升都市土地利用及經濟活動力。南鐵計畫全線共分為四個土建標，本案為「C214標南臺南站路段地下化工程」，全長3.215公里，共劃分為6個工區，主施工項目包含隧、引道結構，並設有南臺南通勤站一座，全線採用挖覆蓋工法。

鐵路地下化工程之興建，其困難在於需維持既有鐵路營運，並應於施工過程對市民生活品質影響降至最低，因此現有橫交鐵路平交道、既有橫跨鐵路高架橋、穿越鐵路地下道，自來水、污水及電力等大型維生管線均無法採臨時遷移處理，因此如何在不影響使用功能下順利施工，實為市區鐵路地下化工程之一大挑戰。

## 貳、地下擋土壁體未閉合之因應處理案例

### 一、地下化工程遭遇重要民生管線之處理模式

地下化工程施工經常遭遇自來水、台電、瓦斯、中華電信及區域排水箱涵等民生管線，對於工程推展形成阻礙，於工程開挖前，需先與管路(線)單位進行討論後續處理方式，其可能採行方式包含永久遷移、臨時遷移等方式，惟如無法遷移，或在遷移困難等情形下，於一定管障尺寸前提下，可採連續壁特殊單元來進行地下壁體施工，並於結構開挖時，再搭配現地管線吊掛保護作業，俾確保施工安全。

本標於進行地下擋土壁體(連續壁)施工時，於工區內多處地點遭遇前開民生管線，並均藉由遷移、連續壁特殊單元暨吊掛方式等組合方式來排除施工障礙，惟於第二工區UK360+800處遭遇台電特高壓地下管線，該管線屬台電嘉南供電區營運處所轄之地下電纜管道，其影響範圍極廣，經評估，如採遷移方式辦理，從用地徵收、與臺灣鐵路管理局協商、設計及施工等過程，恐將耗時數年，且所需經費極高。該管道外徑約1.5M，管頂約於基地地面下方4M，無法採遷移方式排除，其與連續壁施工走向斜交而形成一長度3.4M之管線障礙(詳圖1、圖2)，團隊採連續壁特殊工法，於110年8月14日開始連續壁單元抓掘，歷時5天，然因天候因素(110年奧麥斯颱風警報)及管障影響範圍過大，致管線下方無法抓掘，未能完整抓掘清除管線下方

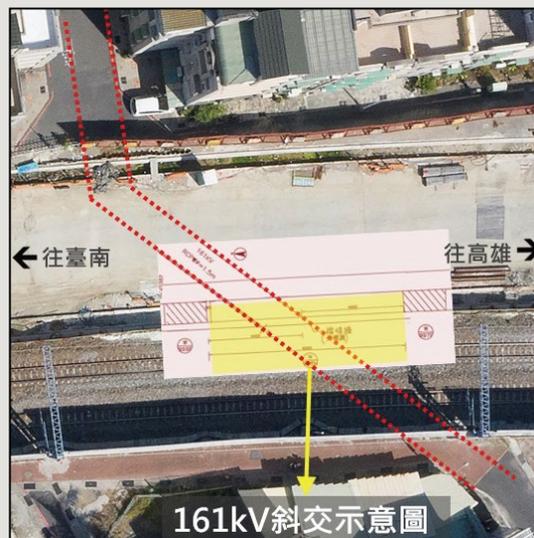


圖1 161kV台電特高壓管線與臨軌連續壁之斜交示意圖

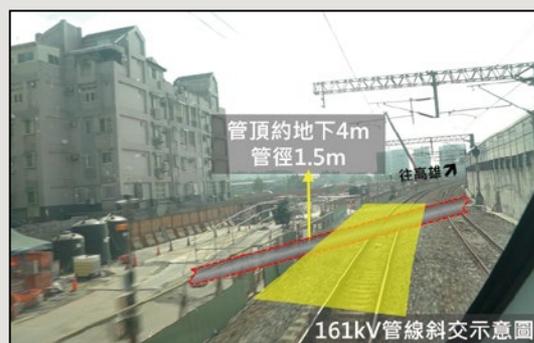


圖2 161kV台電特高壓管線與臨軌連續壁之斜交示意圖

土體，及進行連續壁鋼筋籠投入橫移作業，考量臺鐵營運安全優先前提下，經工程團隊開會檢討，決議就已完成抓掘部份，先行吊裝鋼筋籠並澆置混凝土，完成該管障單元(998M)南側部份擋土連續壁壁體(約4.9M)，暫留一未閉合區間(約4.4M) (詳圖3)，後續為解決本案壁體未閉合課題，本團隊就該連續壁未閉合區間之地質狀況、地下水位及現地條件研擬開挖前補強方案，並經工程團隊及邀請專家學者多次討論，最終採取鋼管微型樁、開挖區封底灌漿、軌道

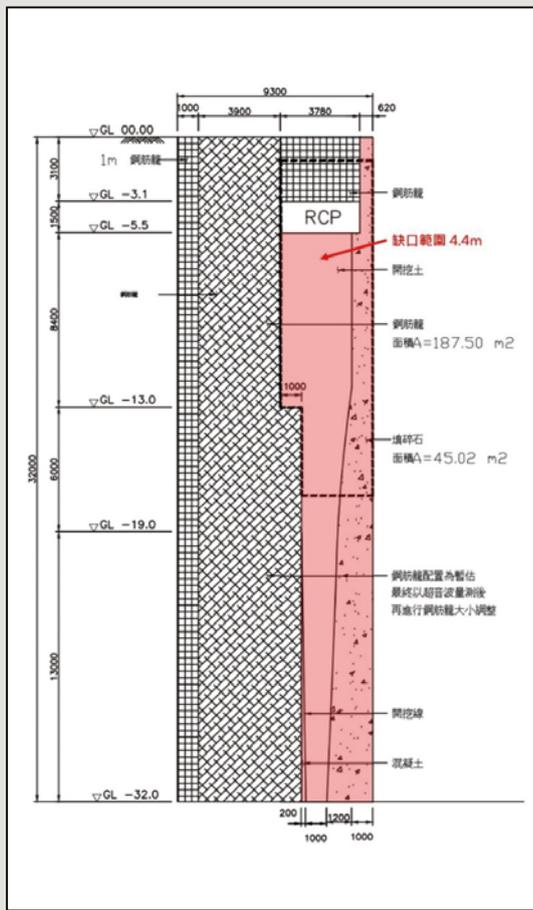


圖3 998公單元連續壁未閉合單元剖面圖

區雙環塞固結灌漿、軌道區抱枕工法、設置軌道側緊急排水井及開挖過程進行逆築連續壁等複合法，順利完成後續施工，因此以本標結構開挖前之補強方案為例來進行案例說明及分享。

## 二、地下結構擋土壁體未閉合處理方案

因該連續壁擋土壁體未完全閉合，為確保後續開挖施工安全，就土層分布、各層土壤參數、地下水位、連續壁施工紀錄(含深導溝施工階段之保護措施)及後續開挖深度(詳圖4、表1、表2及圖3)及施工過程可能遭遇風險來進行分析檢討，並考慮開挖過程中，如遇連續壁壁體開挖崩坍，該如何避免臺鐵軌道沉陷，及爭取搶修時間等，納入評估，以確保臺鐵營運安全。

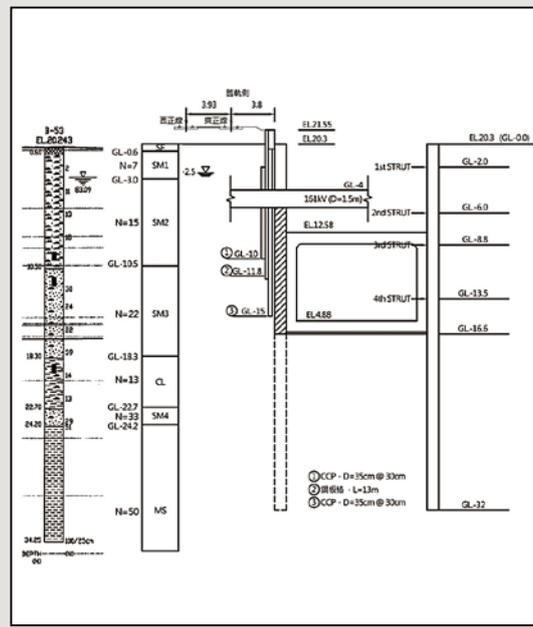


圖4 地下水位、土層分布暨結構剖面對照圖

表1 風險評估暨因應策對照表

項次	施工風險與危害	因應對策
1	缺乏擋土壁、缺口滲水、伴隨砂湧及鐵道路基淘空	逆築牆、止水固結灌漿、微型樁
2	連續壁貫入深度不足、擋土壁內擠及開挖區砂湧	封底灌漿
3	大豪雨沖刷路基、軌道下陷	托軌工法

表2 簡化土層參數表

地層	土層深度	土壤分類	平均N值	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	$c'$ (t/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (deg.)	$S_u$ (t/m <sup>2</sup> )
1	0.6	SF	8	1.92	0.5	30.00	-
2	3.0	SM1	7	1.90	0.5	29.00	-
3	10.5	SM2	15	1.93	0.0	31.00	-
4	18.3	SM3	22	1.97	0.0	32.00	-
5	22.7	CL	13	1.86	0.0	27.00	6.30
6	24.2	SM4	33	1.97	0.0	33.00	-
7	50.0	MS	50	2.07	0.0	32.00	18.00

(一) 補強評估暨施工風險考量說明

1. 擋土壁體施作風險

該區間連續壁於開挖時，將於降挖過程中，進行逆築擋土壁體，每次施作高度控制1.0~1.5m，因該段開挖過程並無擋土阻隔，易因地下水及土砂滲流至工區，而造成臺鐵臨軌路基淘空風險，因此提出因應措施如下：

- (1) 開挖前，於該區間外側施築微型樁，並採內置鋼管，提昇勁度，確保保護效果。
- (2) 再於其外側施作雙環塞低壓灌漿，增加外側土層強度及降低滲透性，同時固結軌道下方土體，降低軌道路基下陷風險。
- (3) 開挖階段，隨開挖面逐階降挖1.0~1.5m並立即施作逆築連續壁，以確保開挖安全及阻隔地下土砂及水流入工區。

2. 壁體貫入深度不足風險

原設計連續壁深度GL.32m，逆築連續壁僅施作至開挖面下約1.0m，約GL.-17.6m，可能因貫入深度不足，導致該範

圍擋土壁體內擠及砂湧，故除上述於開挖外側進行地盤改良外，開挖前，於開挖面底部下方施築封底灌漿，除降低開挖面砂湧風險外，亦可增加開挖底部土體所提供之被動土壓力，提高開挖面穩定性。

3. 軌道路基沉陷風險

除上述開挖前補強方案外，亦考量結構開挖階段，如仍發生擋土壁體缺口滲流而致臺鐵軌道路基流失下陷情形，仍能維持臺鐵列車安全通行，亦將軌道區抱枕工法納入補強作為。

(二) 整體補強規劃暨施工順序

針對上開施工方案進行風險評估及分析，並歷經多次研議檢討及修正，最終擬制整體補強執行方案及步驟，區分為4工法並分階段施工，說明如下表(詳表3)

1. 微型樁工法

- (1) 微型樁係一種小口徑之鑽掘樁，口徑介於100mm至300mm間，樁體主要藉由壓力灌注之水泥(砂)漿或細石混凝土與加勁材所組成，依據勁度需求，加勁材

表3 整體補強方案執行暨工法對照表

施工階段	施工工法	內容概述
開挖前	微型樁工法(1)	於連續壁導溝內側與外側施作18支鋼管微型樁，樁徑20CM、深度GL.-1~-20.1。增加擋土勁度及開挖側壁止水效果。
	雙環塞工法(2)	區分為二部份進行，針對開挖面底部及軌道區下方進行封底地盤改良及開挖側壁外側之固結止水灌漿，降低開挖面砂湧及開挖側壁滲水風險。
	托軌工法(3)	使用鋼梁托固既有軌，確保開挖過程，如遇突發狀況致軌道路基下陷時，仍能確保臺鐵列車安全通行。
開挖中	逆築連續壁(4)	於降挖過程，配合擋土支撐，由上往下逐階施築連續壁未閉合缺口。

可為鋼筋、鋼棒、鋼管或型鋼等，其主要特點為施工機具小，適合狹窄施工區域、對土層適應性強、施工振動及噪音小、佈樁靈活性高、承載力高及對土層擾動小，常用於基礎補強或托底、邊坡穩定、地下隧道開挖及鄰房保護等。

- (2) 於單元未閉合區間北側佈設18孔微型樁，包含導溝外側11孔，內側7孔；樁徑為200mm、樁心間距@200mm、深度為GL.-1m~-20.1m，內置直徑100mm鋼管，灌注210kgf/cm<sup>2</sup>水泥砂漿，相關配置詳圖5，水泥砂漿配比詳表4，及施工流程詳圖6。

表4 水泥砂漿配比表

材料名稱	配比使用量(kg/m <sup>3</sup> )
水泥	600
細砂	940
水	378

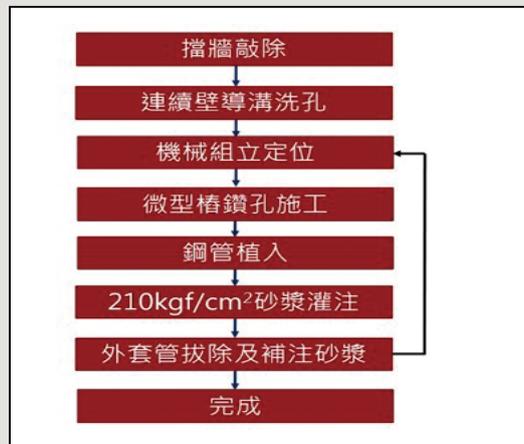


圖6 鋼管微型樁施工流程圖

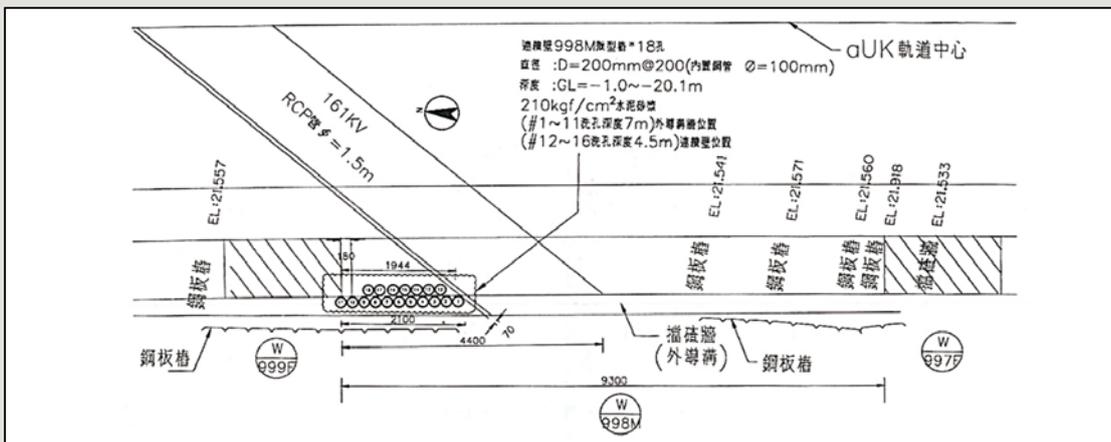


圖5 連續壁998公單元施築微型樁之平面配置圖

## 2. 雙環塞工法-開挖區封底灌漿

(1) 依據未閉合區間地質鑽探報告之地質狀況及地下水位(約在GL.-2.5m, 詳圖4、表2), 並衡酌隧道結構底部高程及本次施工補強範圍, 制定地盤改良長、寬分別為18.2m、11.9m, 深度達GL.-25.2m(隧道底板結構下8.6m), 於其間佈設孔數186孔(基本配置孔距1.2m, 列

距1.04m, 採梅花式佈孔), 預計改良總體積為1,862.59m<sup>3</sup>, 佈孔前先查證地下161kV台電走向及深度, 俾確認相鄰佈孔鑽孔角度, 以避免於施工過程中, 損及台電管路, 及確認後續地盤改良預計成效。(詳圖7-圖10)

(2) 因改良範圍灌漿成效與改良成果之均質性, 須符合開挖地層需求, 並確保提昇

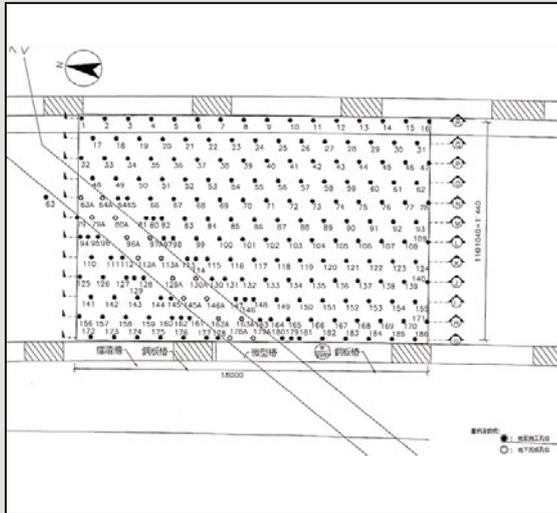


圖7 開挖區改良範圍孔位配置圖

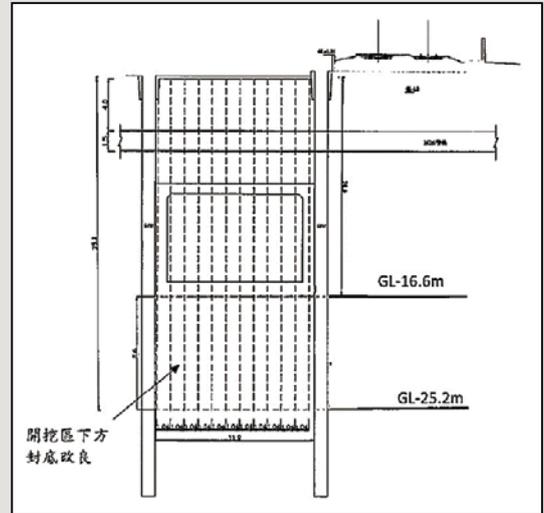


圖8 開挖區底部改良範圍剖面示意圖

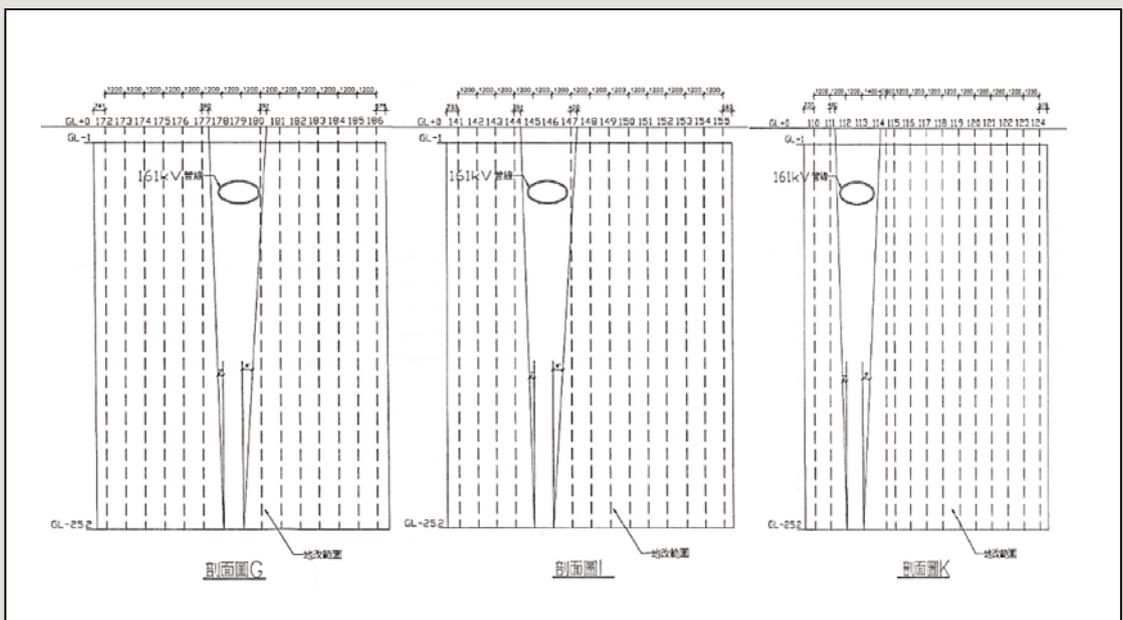


圖9 開挖區改良管位剖面示意圖(1)

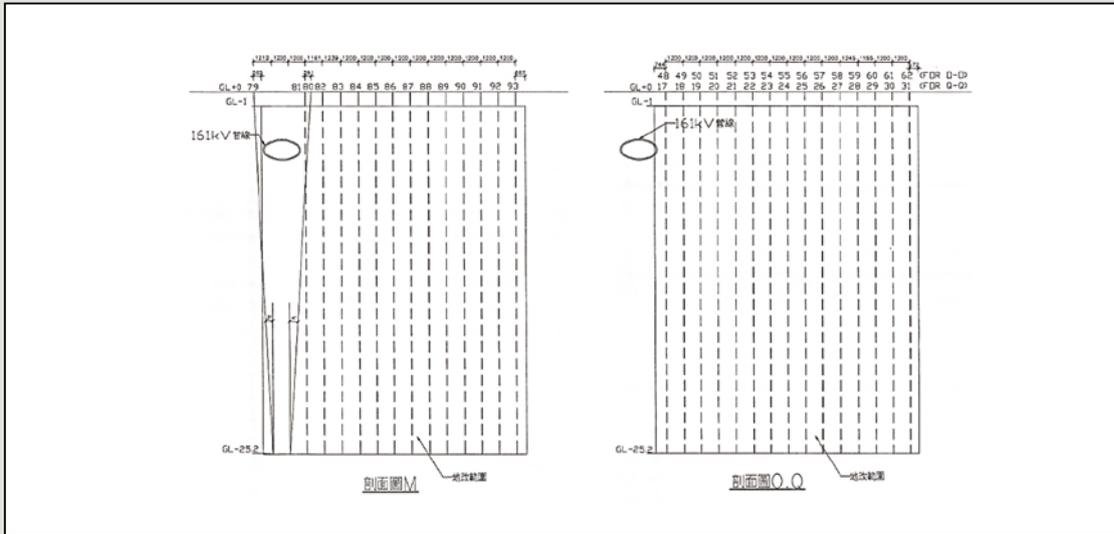


圖10 開挖區改良管位剖面示意圖(2)

地層滲透係數與強度，滿足施工目的及  
現地施工條件等前題，於目前土層地盤

改良工法，經評估優缺點等綜合分析(詳  
表5)，研議採用雙環塞工法。

表5 工法選用比較表

項目	淺層灌漿工法	雙環塞灌漿工法	高壓噴射灌漿工法	二重管複合式灌漿工法
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.灌漿機組較小，設備機組可快速動員。</li> <li>2.施工過程使用手持型衝擊式鑽孔，鑽孔斷面小可降低地層擾動。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.採用導管內施作，可依需求分層灌注。</li> <li>2.鑽孔採鑽堡施工，改良深度較不受限制。</li> <li>3.同一位置可灌注不同種類之灌漿材料，可依改良目的選用漿材。</li> <li>4.可同時多孔灌漿孔進行灌注，壓縮工作工期。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.鑽孔機具採傳統鑽機，尋商容易。</li> <li>2.適用深度範圍較大。</li> <li>3.採高壓噴射置換改良土體，整體强度高。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.採用二重管進行鑽孔與灌注施作，可依需求分層灌注，並可採順級或逆級工法。</li> <li>2.可隨意調整鑽桿深度，確保地質弱面之灌注反壓皆滿足終灌條件。</li> <li>3.同一位置可灌注不同種類之灌漿材料，可依改良目的選用漿材。</li> </ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.手持型衝擊式鑽孔並埋設管材，受限鑽孔能量，改良深度無法過深。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.施工過程使用鑽堡衝擊式鑽孔，鑽孔斷面大，對地層擾動大。</li> <li>2.於地下水位下水平鑽孔時，較具施工風險。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.不適用於淺層灌漿，容易因為灌注壓力過大導致隆起。</li> <li>2.不適用於水平地盤改良，於施工過程產生之排泥清除不易。</li> <li>3.不適用於受破壞過地層。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.不適用於淺層灌漿。</li> <li>2.若遭遇礫石層，則旋轉式鑽孔不易，需鑽堡輔助鑽孔，增加功率。</li> </ol>
適用範圍	淺層地盤孔洞疏鬆改良 (GL+0~GL-3.0)	淺層地盤滲透灌注改良 (GL-2.0以下)	深層地盤置換改良 (GL-2.0以下)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.深層地盤置換改良 (GL -2.0以下)</li> <li>2.水平地盤滲透改良 (地下水位以下)</li> </ol>
結論	開挖區地改	選用		-
	軌道區地改	選用		選用

(3) 另因灌漿材料係為增加地盤止水性及加固性，經評估各灌漿材料優缺點(詳表6)，開挖區下方封底改良低壓雙環塞灌

漿採用一次CB漿材進行土體加固，並使用二次化學漿材來降低土層滲透係數。

表6 灌漿材料選用比較表

材料	聚胺酯樹脂	水泥漿	CB漿 (水泥漿+皂土液)	LW漿 (水泥漿+水玻璃液)	矽酸鈉化學漿 (水玻璃液+反應劑)
優點	1.材料凝結時間快，可避免灌漿材料於地盤中逸失，確保灌漿成效。 2.早期強度佳，灌注後可立即開挖施工，漿液無須養護。 3.材料硬化成型後，具壓縮強度，可吸收載重物反覆性震動或載重，而避免改良材破，耐久性佳。	1.地盤改良價格較便宜。 2.材料容易取得。 3.材料凝結後具強度。	1.地盤改良價格較便宜。 2.材料容易取得。	1.材料凝結時間快，可避免灌漿材料於地盤中逸失，確保灌漿成效。 2.材料容易取得。 3.灌注機具普遍，尋商容易。 4.適用於土層較大孔洞填充灌漿。 5.漿材具強度，適用於土體強度提昇目的。	1.材料凝結時間快，可避免灌漿材料於地盤中逸失，確保灌漿成效。 2.漿材反應時間快，可作為水平鑽孔出水時緊急應變之漿材。 3.適用於土層滲透灌漿。
缺點	1.於土層滲透性不佳，但可適用於部份土層壓密灌注。 2.材料單價高。	1.凝結時間長，漿液溢流無法控制。 2.養護時間長，不利施工。	1.凝結時間長，漿液溢流無法控制。 2.養護時間長，不利施工。 3.漿材強度較低。	於土層中滲透效果不佳。	灌漿設備較特殊，需使用耐酸域型泵浦。
結論	開挖區地改		雙環塞灌漿一次灌漿選用		雙環塞灌漿二次灌漿選用
	軌道區地改		雙環塞灌漿一次灌漿選用		雙環塞灌漿二次灌漿及二重管灌漿選用

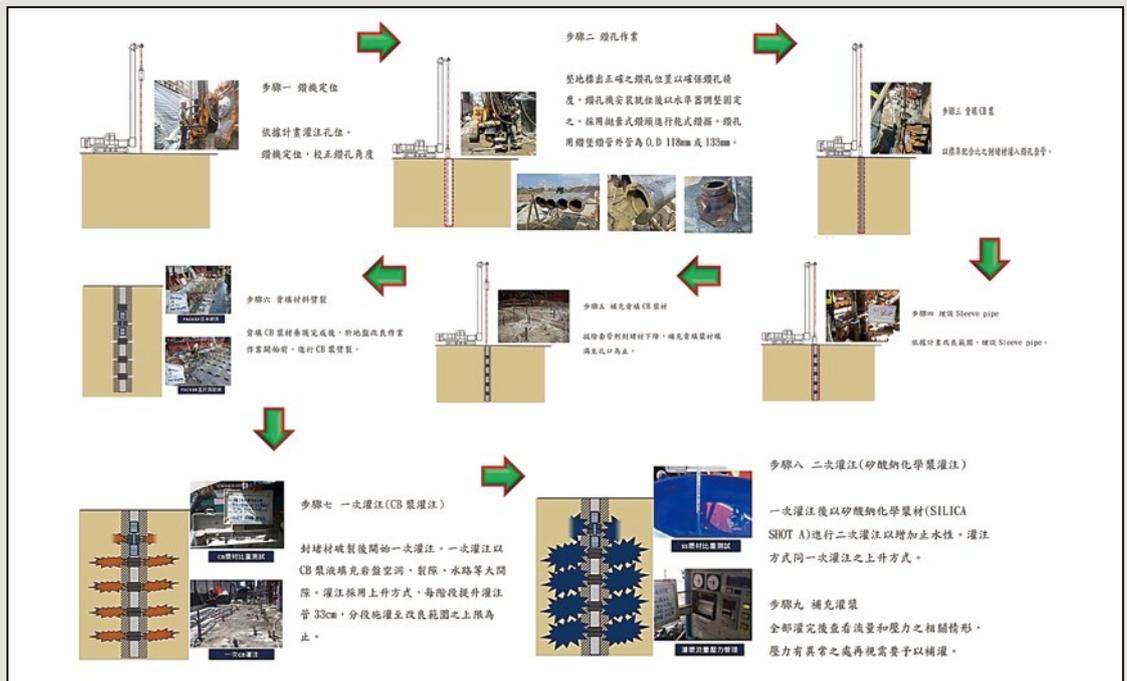


圖11 雙環塞施工流程圖

- (4) 雙環塞灌漿工法採逆階灌漿法施灌，從孔底向孔口灌漿，每階段提升灌注管33cm，分階段灌注至沖水上限為止；另為達收斂成效判斷，採劈距法跳孔施工；封底灌漿鑽孔口徑為118mm，採PVC管做為灌漿預埋管，灌注時採 $\phi 50 \pm \text{mm}$ 馬歇爾管，分階灌注時有上、下二橡膠封塞確保漿材於指定高程灌注(橡膠封塞間距為33cm)，施工步驟流程詳如附圖11。
- (5) 考量本次補強範圍地質狀況為粉土質砂層為主，以灌注率35%計算。灌漿管理方式為鑽孔背填CB漿，以回填滿馬歇爾管周圍為原則，一次CB漿灌漿係為均勻地層，故以定量為原則；另二次化學

灌漿以止水為目的，故以壓力管控為原則，若該階灌漿量達設定標準，而壓力未達灌注初始壓力+0.5kg/cm<sup>2</sup>，則待全部孔位各位階灌漿完成後再補灌該階，目的係為預防孔隙率設定失真，造成灌漿量不足，影響灌漿成效。若灌漿壓力大於20kgf/cm<sup>2</sup>則停止灌漿，以避免破壞改良完成地層。灌漿參數設定表、一次CB漿配比表及矽酸鈉化學漿配比，詳表7、8及9。

- (6) 為確認該區間地盤改良成效，本案於改良區間取6孔(取樣試驗率約3%)進行透水試驗，改良後透水係數為 $K \leq 10\text{-}5\text{cm}/\text{sec}$ 。透水試驗取樣分佈、測試區間及試驗流程詳圖12、13及14。

表7 灌漿參數設定表

灌漿工法		雙環塞工法
灌漿方式		1徑式( 1 SHOT)
灌漿階段長		Step=0.33m
灌注速率		Q=6-12L/min
硬化時間	CB漿	-
	矽酸鈉化學漿	GT=約6小時-24小時
灌漿管理		流量壓力管理測定裝置
灌漿材料	一次灌漿材	CB漿
	二次灌漿材	矽酸鈉化學漿

表8 一次灌漿材CB漿配比表

材料	比重	主要配比		配比範圍	
		重量(kg)	體積(L)	重量(kg)	體積(L)
水泥	3.15	200	63	150-250	48-79
皂土	2.2	50	23	40-65	18-30
水	1.0	914	914	934-891	934-891
小計		1164	1000	1124-1206	1000
比重		1.164		1.124-1.206	

表9 二次灌漿材矽酸鈉化學漿配比表

材料	主要配比	配比範圍
SILICA SHOT A主劑	187L	180-190 L
SILICA SHOT A反應劑	30L	25-35 L
水	783L	775-795 L
小計	1000L	1000L
比重	1.078	1.067~1.089
PH	2~3	2~3

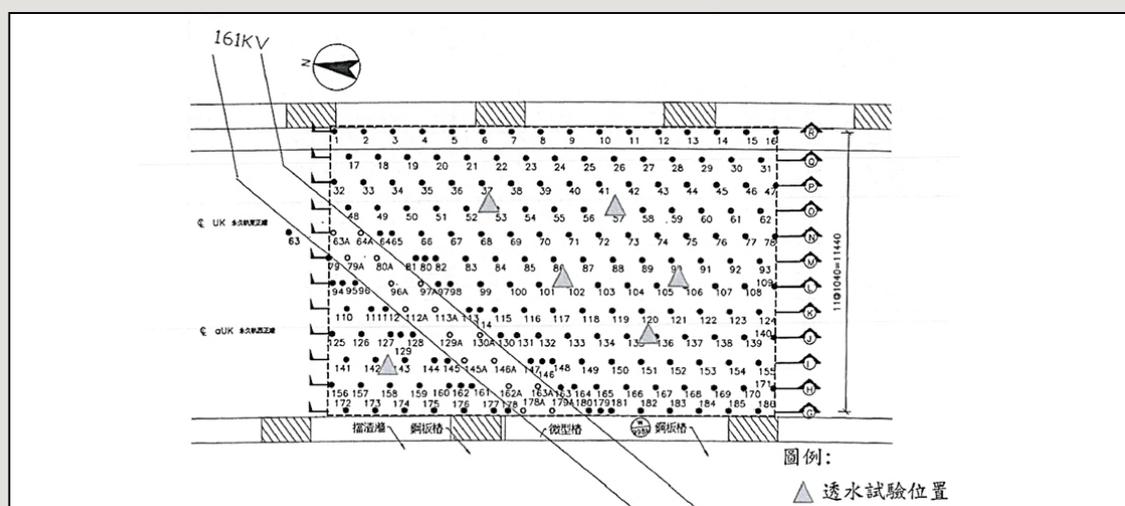


圖12 透水試驗位置分佈圖

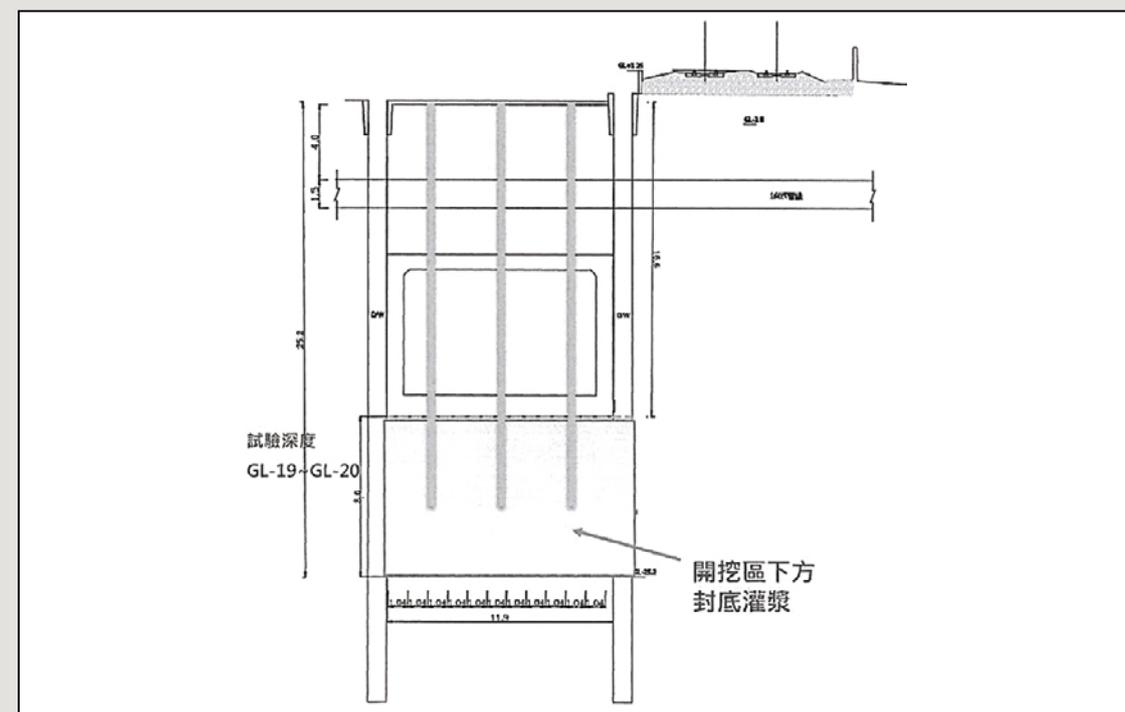
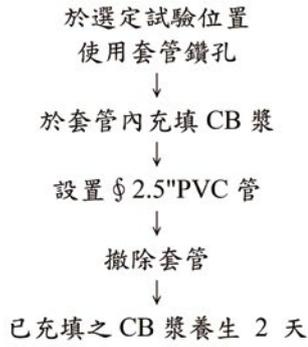


圖13 透水試驗測試區間示意圖

透水試驗施工流程

(1). 透水試驗管預埋作業



(2). 透水試驗實施作業

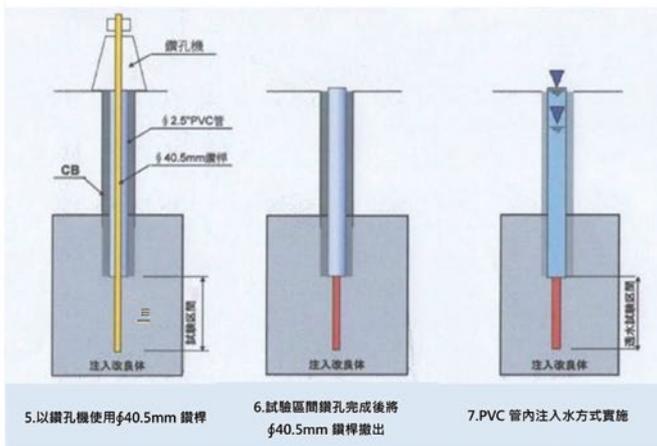
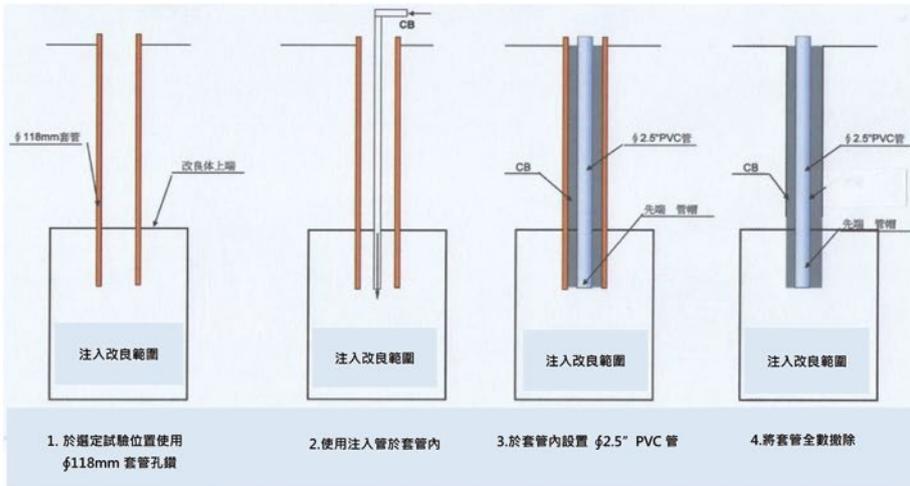


圖 14 透水試驗流程圖

3. 雙環塞工法-軌道區固結止水灌漿

(1) 軌道區固結止水灌漿，因係於臺鐵營運既有軌施工，地質及地下水位等條件略

同於開挖區封底灌漿，但應就既有軌電力線(詳圖15)、臨軌側既有障礙物(詳圖16)及施工條件等，增納施工風險評估條件(詳表10)。



圖15 軌道地改區之施工環境

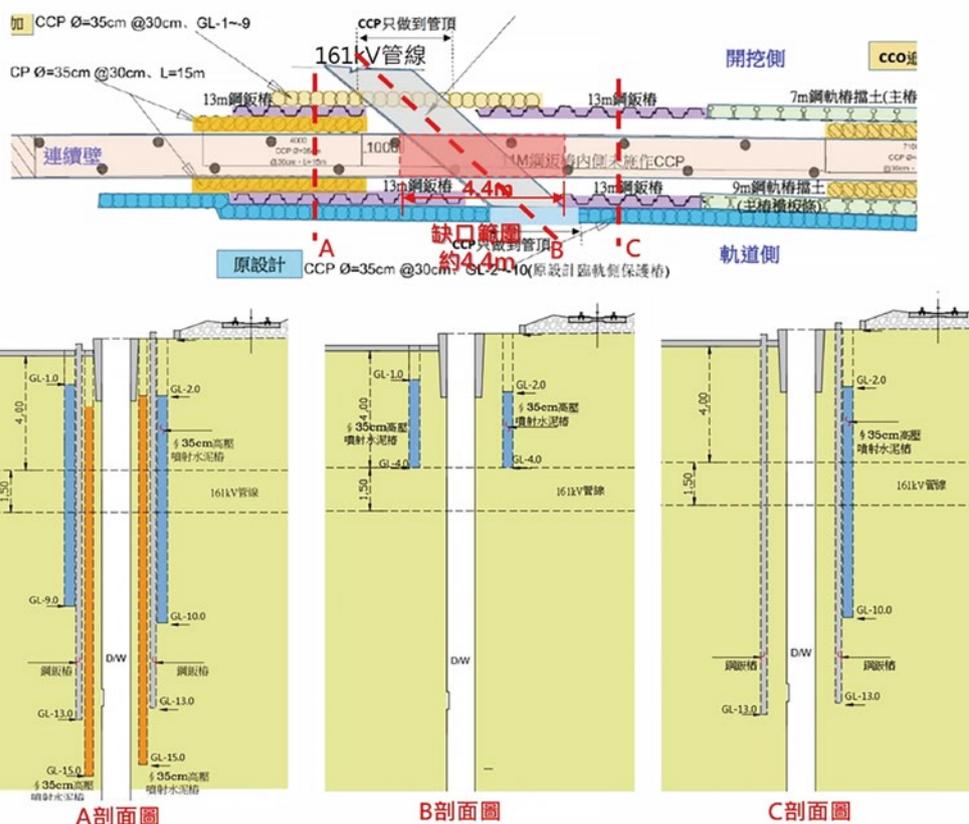


圖16 臨軌側既有障礙物示意圖

表10 增納軌區施工限制條件施工風險評估及處理對策表

限制條件	障礙類型	綜合處理對策
上方障礙	施工區域為臺鐵營運中東正線區域，上方電力纜線距軌道高約僅4.5M，鑽孔作業有感電風險	1.軌區施工全程採申請夜間區間斷封鎖施工，並派員警戒，避免臺鐵工程車誤入施工區；協調專業協力廠商增派員人，俾因應長期夜間施工輪派。 2.調派小型鑽孔作業機具，限縮機具作業高度；另鑽孔過程採用拋棄式鑽頭，捨棄傳統水壓式或氣壓式鑽孔，減少對軌道路基擾動程度。 3.於開挖先行試挖確認台電管線走向邊緣，並先行放樣並試鑽，確認邊際；另施工全程洽請台電人員協助監看指導。 4.先行收測軌道、軌枕等既有設施，再行套繪及檢討孔位佈置。 5.為因應臨軌側擋地下障礙致施工不易因素，故於該位置增設18孔二重管灌漿工法進行收斂，提昇邊緣止水效果。
下方障礙	1.因前998M連續壁施工前，於鄰軌側所設保護樁、鋼板樁等形成障礙，鑽孔時需避開地下設施。 2.台電16kV管道隱閉於軌道路基下，無法先開挖確認管路邊際線。 3.灌漿佈孔需納入既有軌道及軌枕等配置，增加佈管難度。	
施工空間暨時間	施工區域與臺鐵營運軌重疊，需進行夜間區間斷電封鎖期間施工，每日可作業時間短，所需工期長。	
其它	1.夜間施工，因緊鄰房區，需考量施工噪音防制。 2.鑽孔施工對軌道路基擾動程度考量。	

(2) 依上，選定軌道區補強範圍內佈設雙環塞孔數105孔(基本配置孔距1.2m，列距1.04m，採梅花式佈孔)及二重管孔數18孔(編號1'~16'(含9'a及10'a);詳附圖17)，預計改良總體積為1,912m<sup>3</sup>，(詳

表11)，佈孔前仍需查證該地下16kV台電走向及深度，俾確認相鄰佈孔鑽孔角度，除避免於施工過程中損及台電管路外，並可確認後續地盤改良能達預計成效。(詳圖18)

表11 軌道區地盤改良數量表

施工位置	工法	鑽孔數量			地盤改良總體積			
		孔數(孔)	深度(m/孔)	總深度(m)	長(m)	寬(m)	高(m)	總計(m <sup>3</sup> )
軌道區固結止水改良	雙環塞	105	21.35	2049.46	18.2	5.5	19.1	1,912
	二重管	18	20.10	329.69				
總計				2379.15				

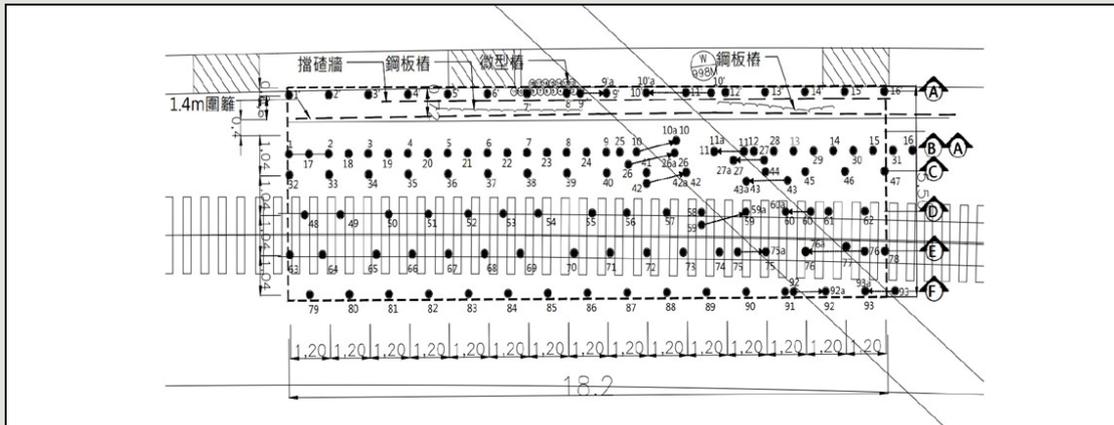


圖17 軌道區地盤改良佈孔配置圖

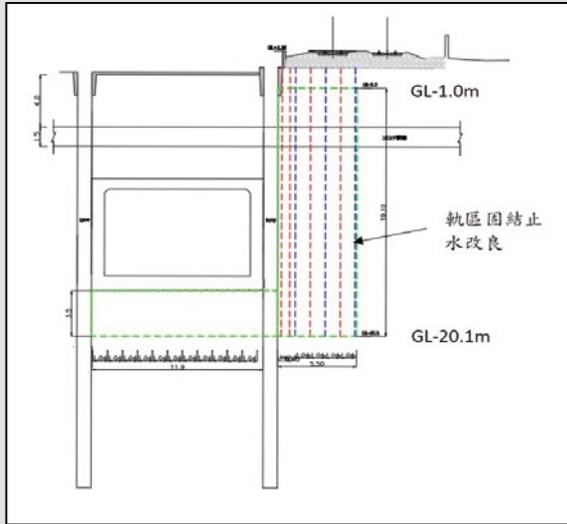


圖18 軌道區地盤改良佈管改良範圍剖面圖

(3) 軌道區灌漿工法擇定之優缺點比較詳表5，灌漿材料選用詳表6；灌漿參數設定表、CB漿配比表及矽酸鈉化學漿配比，同表7、8及9；另軌道區雙環塞工法之外管採鋼製馬歇爾管，灌漿後保留於土

層中，藉由改良漿液使鋼管與原土層提供複合加勁效果，另亦可提供開挖階段作為緊急搶修補灌之用。

(4) 軌道區灌漿工法之灌注率亦以35%計算，灌漿管理方式同開挖區封底灌漿。

(5) 因應臨軌施工圍籬暨擋渣牆間之地下障礙多且鑽堡機具施工不易，故所增設之18孔二重管灌注工法，鑽孔作業採用42mm孔徑，孔距為1.2m，鑽孔列距為距導溝10cm-20cm來進行鑽孔，遇台電161kV管線處，則採斜鑽方式進行鑽設，鑽桿每次下桿前，需使用角度尺確認角度，佈孔位置詳圖17所示1'~16' (含9'a及10'a)，二重管工法施工流程及步驟，詳附圖19，灌漿參數設定及漿材配比，詳附表12及表13。

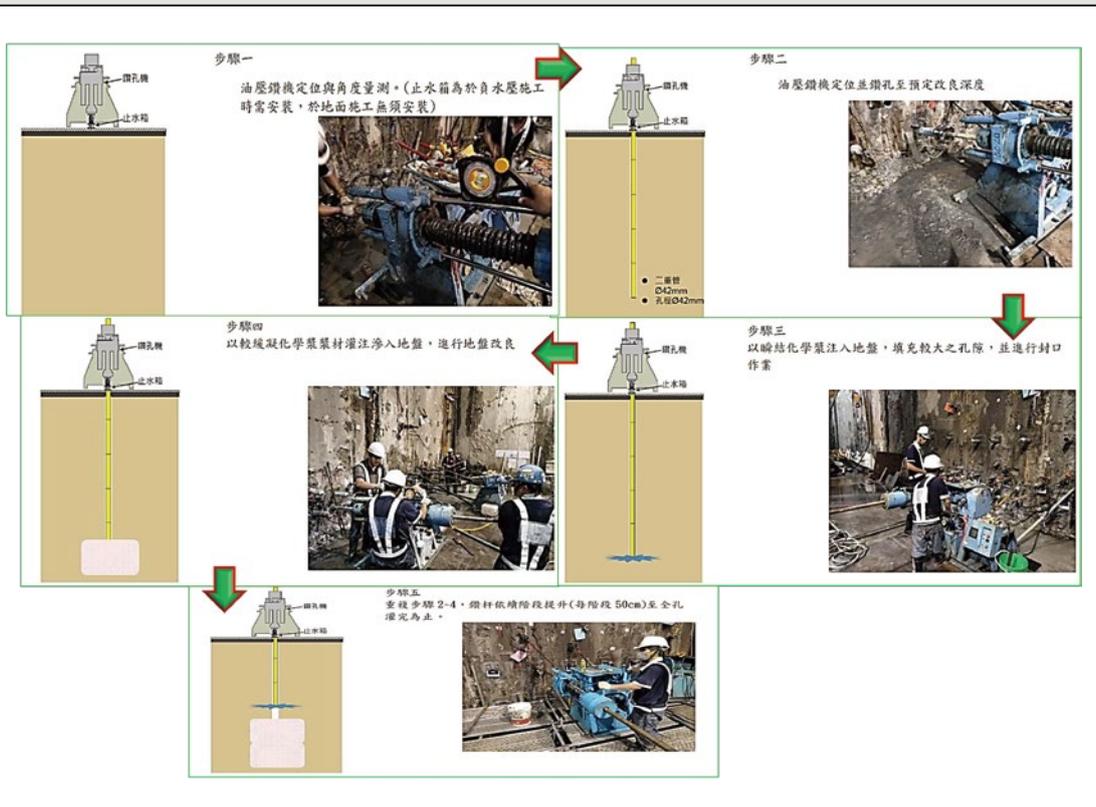


圖19 二重管工法施工步驟示意圖

表12 二重管工法灌漿參數設定表

灌漿工法		二重管複合灌漿工法
灌漿方式		2徑式( 2 SHOT )
灌漿階段長		Step=0.5m
灌注速率		Q=12-20 L/min
硬化時間	瞬凝漿液 (矽酸鈉化學漿)	5-8 sec.
	緩凝漿液 (矽酸鈉化學漿)	10-30 sec.(視狀況調整)
灌漿管理		a.第一期孔位定量灌漿，第二期灌漿孔位灌漿壓力須符合P終壓 > 初壓+2kg/cm <sup>2</sup> 。 b.地面溢漿 c.軌道高程變位 ≤5 mm
灌漿材料	瞬凝漿材	10%，瞬凝32L/step，總灌注量約為19,840 L
	緩凝漿材	25%，緩凝80L/step，總灌注量約為49,600 L
	總計	35%，總灌注量約為69,440 L

表13 二重管工法灌漿材配比表

項目	主劑(L)	反應劑(L)	水(L)	小計(L)
SS瞬凝	85	12	303	400
SS緩凝	51	12	337	400

備註：膠凝時間視氣溫水質地質等因素進行調整。

(6) 該軌道區之雙環塞工法暨二重管工法等施工作業，因位於臺鐵營運軌區間，無法於日間施工，故採申請夜間區間斷電

封鎖後，始進行施工，每日夜間施工時間，詳附表14，惟仍需視每日臺鐵末班車通過暨實際完成區間斷電封鎖，始得

表14 夜間軌區區間斷電封鎖施工預計施工表

作業項目	開始時間	完成時間	歷時
人員、機具確認、定位、職前教育訓練、危害告知及鐵路沿線作業注意事項			
確定路線斷電封鎖時間及電車線接地作業			
確定路線封鎖後機具進入軌區			
鑽機定位及垂直度校正			
鑽孔至預定深度			
移設機具至下一孔位			
鑽機定位及垂直度校正			
鑽孔至預定深度			
地改施工人員及機具撤離軌區			
檢查軌道線形及道碴、接地棒拆除			
檢查確認後，鐵道局申請解除路線封鎖及復電			
解除封鎖及復電			
備註： 1.本時間表為預定排程，實際施工時間以臺鐵斷電封鎖完成時間為主 2.所有施工人員及機具撤離軌區後，於工區現地待命，直至首班車通過，確認正常後始離場			

展開；另軌道區雙環塞工法，因於軌道施工，為降低對軌道路基擾動，故採拋棄式鑽頭(詳附圖20)進行乾鑽；另施工機具周遭亦需設置適當噪音防制設施(詳附圖21)，俾抑制施工噪音，避免引起居民抗議。

(7) 為確認該區間地盤改良成效，本案於改良區間取4孔(取樣試驗率約3%)進行透水試驗，改良後透水係數為 $K \leq 10\text{-}5\text{cm/sec}$ ；另取2孔進行壓力測試，驗證孔壓力需大於相鄰孔壓力，始需符合評估需求。透水試驗取樣分佈、測試區間及試驗流程，詳圖22、23及24。



圖20 雙環塞工法鑽桿及拋棄式鑽頭



圖21 雙環塞施工噪音防制措施

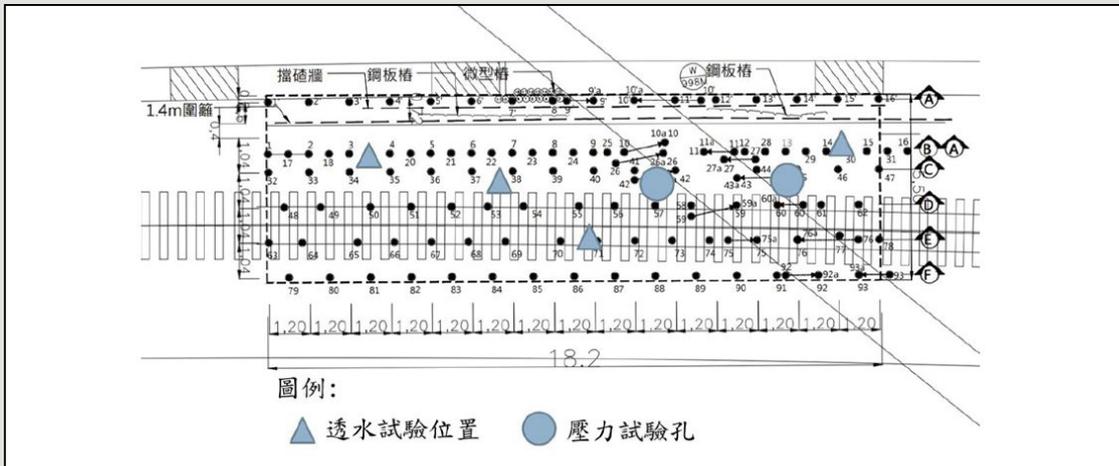


圖22 透水試驗及壓力試驗取樣位置分佈圖

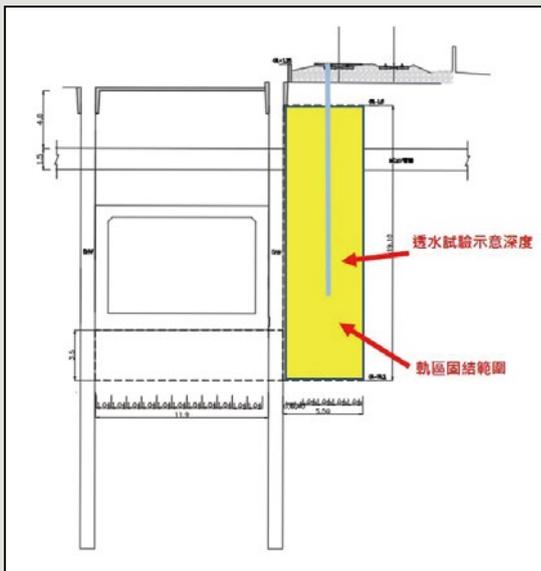


圖23 透水試驗測試區間示意圖

#### 4. 托軌工程梁工法(抱枕工法)

考量擋土壁體未閉合現況、軌道區地改補強範圍及接續逐階開挖施工等因素，經評估採用抱枕工法來降低風險，現場係採用由H580x600x20x38型鋼組成之加勁型托軌工程縱梁，長度17m，並設置4處承壓板作為托軌工程梁支承。施工階段主要分為4個階段(詳附圖24)，分述如下：

- (1) 前置階段：包含臨軌側圍籬移除及擋碴修整、施工平台暨夜間照明設置、施工路段之軌道既有設施調查及協調移置、預切軌道、告示牌設立、軌道區灌漿管埋設、鋼製承壓板置入、托軌梁橫移型鋼置入及東西正線間擋碴板設置。
- (2) 第一階段：托軌工程梁預組、托軌工程梁切換前之檢查及試推。
- (3) 第二階段：托軌工程梁切換置入(包含既有軌拆除、托軌工程梁橫移置入、軌道銜接暨線形調整、整補道碴及試運轉等)，該階段作業需於夜間斷電封鎖之時間內完成(詳附表15)，故執行前需與臺鐵局運、工、機、電等相關單位密切協調及溝通，俾維施工及臺鐵營運安全。
- (4) 第三階段：待完成隧道開挖及結構等施工，並經共同會勘確認安全狀態，方可進行托軌工程梁拆除及軌道復舊。
5. 開挖階段之逆築連續壁
  - (1) 於開挖前補強作業完成後，因應接續結構開挖施工，搭配支撐系統架設作業，

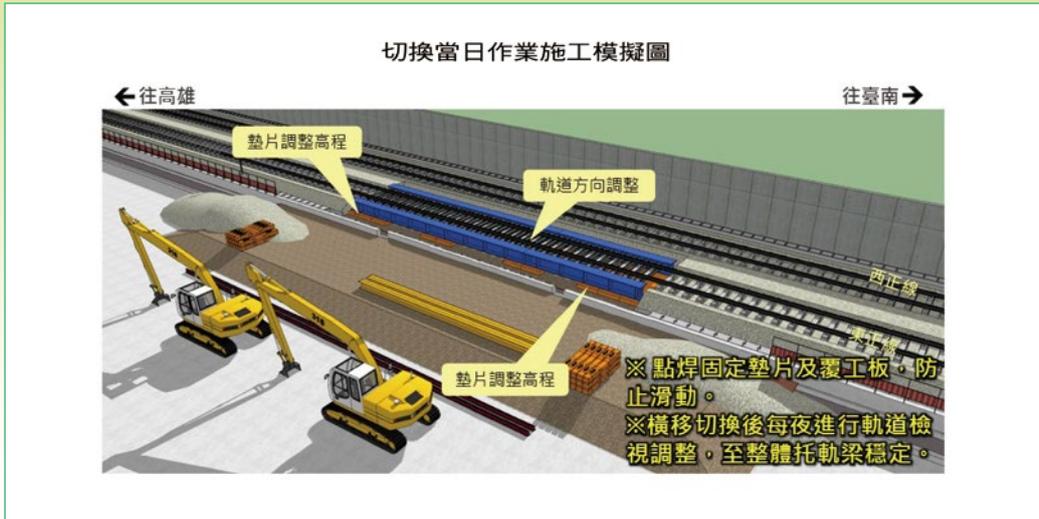
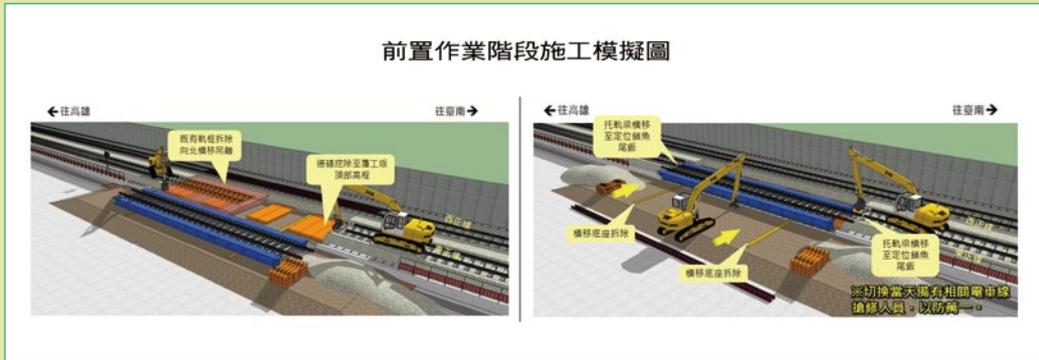
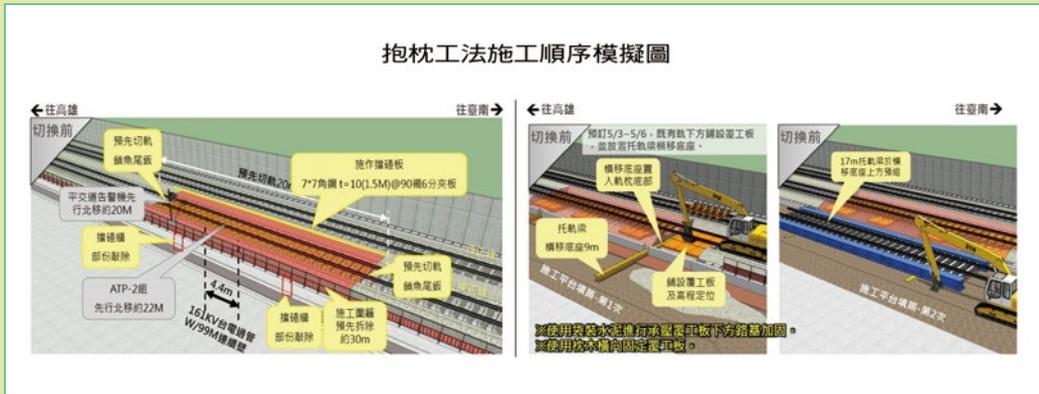


圖24 軌道抱枕施工程序模擬圖

表 15 托軌工程梁切換施工時程管控表

細部工項作業時間	歷時	開始時間	完成時間	實際完成
東正線路線封鎖及電車線斷電申請	15分	23:05	23:20	23:20
確定路線封鎖後，原軌道魚尾鉸拆除	10	23:20	23:30	23:42
軌框拆除移吊離	45	23:30	00:15	23:44
道渣挖除與開挖至承壓板頂部高程	60	00:15	01:15	00:40
西正線封鎖斷電(00:20-04:40)	15	00:20	00:35	00:20
橫移托軌工程梁至預定位置 位置及方向高程校正、接軌、承壓板及鋼 襯板銲接、滑軌移除	105	01:15	03:00	02:50
托軌工程梁南、北端補渣及線形調整	30	03:00	03:30	03:00
托軌工程梁南、北端補渣、砸道、臨時連 軌線、機具撤離及電車線檢查	40分	03:30	04:10	03:23
計軸重置	30分	04:10	04:40	03:50
東西正線電車線復電、西正解除封鎖	15分	04:25	04:40	04:17
試運轉	35分	04:40	05:15	05:05
東正線解除封鎖	15	05:15	05:30	05:05

將未閉合擋土壁體由上自下劃分為12階（詳附圖25），每階高度介於1.2m-1.8m間，並視現地開挖狀況進行調整，每階採當日開挖後，立即完成鋼筋綁紮及混凝土澆置作業，俾確保安全。

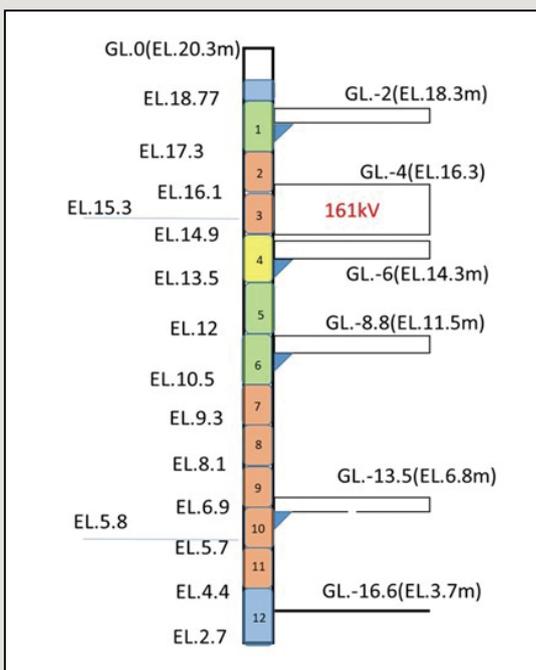


圖25 逆築連續壁階層劃分示意圖

(2) 連續壁鋼筋施工，主筋採續接器續接，水平鋼筋採植筋及銲接等方式續接。

#### 6. 補強施工過程監測及注意事項

(1) 有關地盤改良施工，因屬重要及日後隱蔽施工，故除施工及監造團隊全力以赴外，更應慎選施工品質及專業度高之協力廠商，俾確保整體地改品質。

(2) 本次地盤改良執行，均自地表進行鑽孔埋管進行，因此執行前，應就地下障礙物、設施及管線(含台電161kV管線)之位置、深度等詳加調查、套繪及試挖，謹慎進行研判確認，並商請管線主管單位協同監看，俾確保施工過程不會衍生誤損事故。

(3) 本次施工區域包含鄰近軌道及直接於軌道區進行施工，故施工前，應充份了解施工現地可能存在風險(如感電、侵入軌道淨空及軌道路基沉陷等)，事先擬定



托軌梁變位情形，適時回饋臺鐵工務段人員及會同入場調整。

(5) 開挖過程應加強了解該區間開挖過程中，各階支撐受力及擋土壁(連續壁)外側地下水位變化情形，俾於進行下階降挖及施築逆築連續壁前調整，本案開挖施工過程，逢112年降雨頻仍時期，經檢視各階支撐應變計之變位並無異常情形(詳圖28)，另因水位變化(詳圖29)，故團隊於各階逆築連續壁前，均於該

未閉合處先行探挖確認無異常出水情形後，始續行作業。

### (三) 結構開挖前補強方案執行成效暨現況

1. 本次封底灌漿區經透水試驗檢測結果，透水係數分別為 $2.21 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 、 $5.92 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 、 $2.49 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 、 $5.69 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 、 $1.63 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 及 $5.08 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ ，另軌道區固結止水灌漿區經透水試驗檢測結果，透水係數

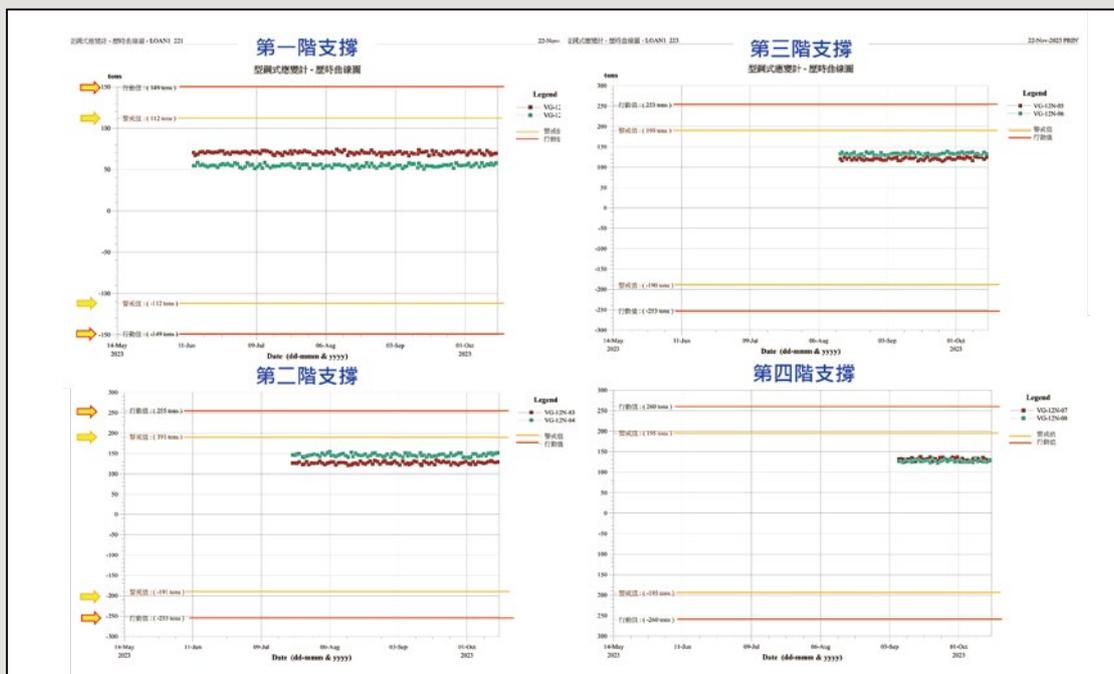


圖28 998公單元補強區間之支撐應變監測趨勢圖

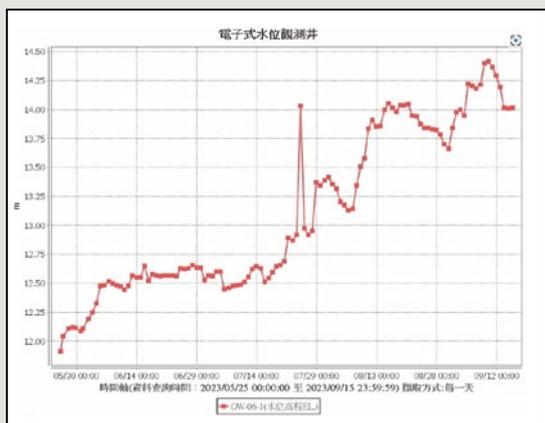


圖29 998公單元補強區間之外側水位變化監測趨勢圖

分別為 $2.19 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 、 $2.33 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 、 $1.00 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 及 $1.82 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ ，試驗結果均符合透水係數 $K < 10^{-5} \text{cm/sec}$ 要求；另軌道區所進行壓力驗證孔壓力亦均大於相鄰孔壓力。(圖30)

2. 本案於施工開挖階段進行逐階逆築連續壁施工時，過程中，未閉合壁體位置經人工清除土層過程，土層均保持良好自立性及無滲水帶砂等情形(圖31)，開挖

底部亦呈現穩定狀態，無特殊隆起或湧砂現象，顯示本次開挖前之地盤改良有達成預期成效。

3. 本案自展開鋼管微型樁至完成末階開挖暨逆築連續壁構築完，共耗時17.5個月，各分項補強施工歷程，詳附表16，並於112年12月下旬移除托軌工程梁。



開挖區地盤改良透水試驗



軌道區地盤改良透水試驗



軌道區地盤改良透水試驗

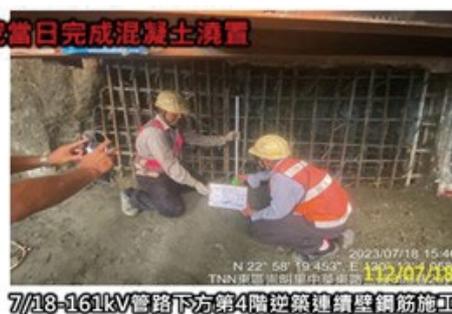


軌道區地盤改良壓力試驗

圖30 開挖區暨軌道區透水及壓力試驗過程紀錄照片



7/18-161kV管路下方第4階逆築連續壁開挖面



7/18-161kV管路下方第4階逆築連續壁鋼筋施工



8/8-161kV管路下方第6階逆築連續壁開挖面



8/8-161kV管路下方第6階逆築連續壁鋼筋施工

圖31 逆築連續壁構築過程紀錄照片

表16 開挖前各分項補強施工歷程表

施工階段	施工工法	111年										112年									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
開挖前	微型樁工法	■																			
	雙環塞工法-開挖區封底灌漿		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	雙環塞工法-軌道區固結止水灌漿								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	托軌工法																		■	■	
開挖中	逆築連續壁(含開挖支撐及161kV吊掛)																		■	■	

### 結語

本案施工團隊通力合作，期間亦經交通部鐵道局南部工程分局、臺灣鐵路管理局及台灣電力股份有限公司嘉南供電區營運處等各級長官協助及指導，已順利完成該區間補強、隧道結構開挖支撐暨結構底板等施工階段，團隊將持續謹慎施工及掌控進度推展，克服緊鄰鐵路與民房等施工腹地狹小暨淨高等條件限制，確保無工安或運安等事故，俾如期如質完成台南市區鐵路地下化計畫目標。

### 參考文獻

1. C214標南台南站路段地下化工程工程設計報告書
2. 日本灌漿協會之藥液注入工程設計資料(平成5年)
3. C214標-161kV管線下方連續壁998M單元補強設計評估計算書

4. C214標-連續壁998M單元開挖前補強計劃(微型樁工法)
5. C214標-連續壁998M單元開挖前補強計劃(雙環塞工法-開挖區封底灌漿)
6. C214標-連續壁998M單元開挖前補強計劃(雙環塞工法-軌區固結止水灌漿)
7. C214標-連續壁998M單元開挖前補強計劃(抱枕工法)

# 市區內跨越鐵路設施拆除之安全維護—以臺南鐵路地下化工程之開元、東門陸橋為例

關鍵詞(Key Words)：開元陸橋(Kaiyuan Viaduct)、東門陸橋(Dongmen Viaduct)、跨越現行鐵路(Crossing Existing Railways)、吊掛作業(Hoisting Operations)

交通部鐵道局／南部工程分局第三工務段／段長／馬良俊 (Ma, Liang-Chun) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／副理／廖敏松 (Liao, Miin-Song) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／計畫工程師／沈仕傑 (Shen, Shi-Jie) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／洪紹璋 (Hung, Shao-Wei) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／吳晉安 (Wu, Chin-An) ❺



## 摘要

臺南市區鐵路地下化工程全長8,230公尺，共有9處橫交平交道、8處地下道及3處陸橋，其中開元陸橋及東門陸橋分別為臺南市北區及東區重要交通動線，均由東西向跨越現行鐵路及地下化工程隧道位置，必須先將與地下化工程抵觸部分移除後，方能進行地下連續壁之施工，其中跨軌段之橋梁拆除尤屬高風險作業，本案以開元陸橋及東門陸橋為例，說明拆橋施工應注意之高風險事項。



## Safety management of Urban Railway Overpass Structure Demolition - Illustrated by the Example of Kaiyuan and Dongmen Viaducts in Tainan Railway Underground Project

### Abstract

The Tainan City railway underground project spans a total length of 8230 meters, encompassing 9 level crossings, 8 underpasses, and 3 viaducts. The Kaiyuan and Dongmen Viaducts, situated in the north district and east district of Tainan City, respectively, serve as crucial traffic arteries, spanning east to west over existing railways and the tunnels of the underground engineering project. Before commencing the construction of the underground continuous walls, it is imperative to remove sections conflicting with the underground engineering. The dismantling of viaduct segments crossing the railway poses a particularly high-risk operation. Using the Kaiyuan and Dongmen Viaducts as examples, this case study elucidates the planning for viaduct dismantling and highlights considerations for high-risk aspects.

3

專題報導

## 壹、前言

開元陸橋長度330公尺，跨越既有鐵路上方。其中P8、P9兩處橋墩位於地下化工程範圍內，P7至P8橋面則跨越既有行車鐵路上方，均必須移除後，再行施作地下連續壁工程。開元陸橋拆除屬「C211標臺南北段地下化工程」契約工作內容，其拆除分為兩部分，分別為「一般段拆除(北門路段與開元路段)」及「跨軌段拆除(P7至P8)」。於設計規劃階段評估，因該橋拆除後已無腹地恢復橋梁結構，故將開元陸橋規劃為全數拆除，後續俟鐵路下地後設置為平面道路。另考量避免影響鐵路行車安全，跨軌段P7至P8之橋面板及I型梁，必須利用夜間斷電封鎖後拆除吊離。由於跨距長達28m，單支梁

重最大達43t，加上夜間吊運，時間空間受限，均增加開元陸橋跨軌段拆除之危險性。跨軌段拆除後，再陸續拆除一般段。另考量北門路段緊鄰台南二中，拆除期間遭逢大學學科測驗及暑期輔導，期間需暫停敲除作業。施工前已積極與校方協調，並律定各項配合作業時間點，嚴加控管每日拆除進度，亦順利於開學前拆除完成，未影響學生開學上課。開元路段緊鄰鄰房，施工前亦加強向里長及里民說明，每戶派發宣傳單，強調拆橋後的環境願景，獲得沿線居民支持。對於鄰房保護及居民出入，亦有妥適規劃與溝通協調。施工期間廠商亦增加監看人員，避免造成鄰損；相關位置及拆除前現況，詳圖1及圖2。

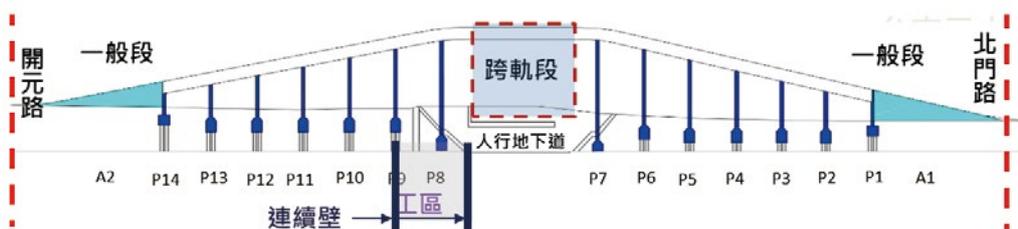


圖1 開元陸橋位置關係圖



圖2 開元陸橋拆除作業施工前現況

東門陸橋拆除改建屬「C213 標林森站路段地下化工程」契約工項，該橋P6橋墩基礎與地下隧道衝突，且橋墩基礎邊緣距既有東正線僅約3m，結構複雜，無法提供連續壁必要之施工空間。依據101年9月6日「鐵路地下化東門陸橋施工方案」專案報告會議結論，本拆除重建案業經工作小組、專案小組多次研商，並奉市長指示再次舉行專案報告，又經與會單位多方考量施工經費、工期及外部社會成本，充分討論形成共識，咸認採「局部拆除改建」為最佳可行方案。故將P6橋墩及P5-P7橋面拆除後施作地下連續壁，連續壁施作完成後再以鋼橋墩及鋼梁重建，恢復原有橋梁通行。期間封閉交通，辦理交維改道影響共8個月，橋梁拆除及復舊過程則均屬跨軌段高風險施工作業。東門陸橋相關位置詳圖3。

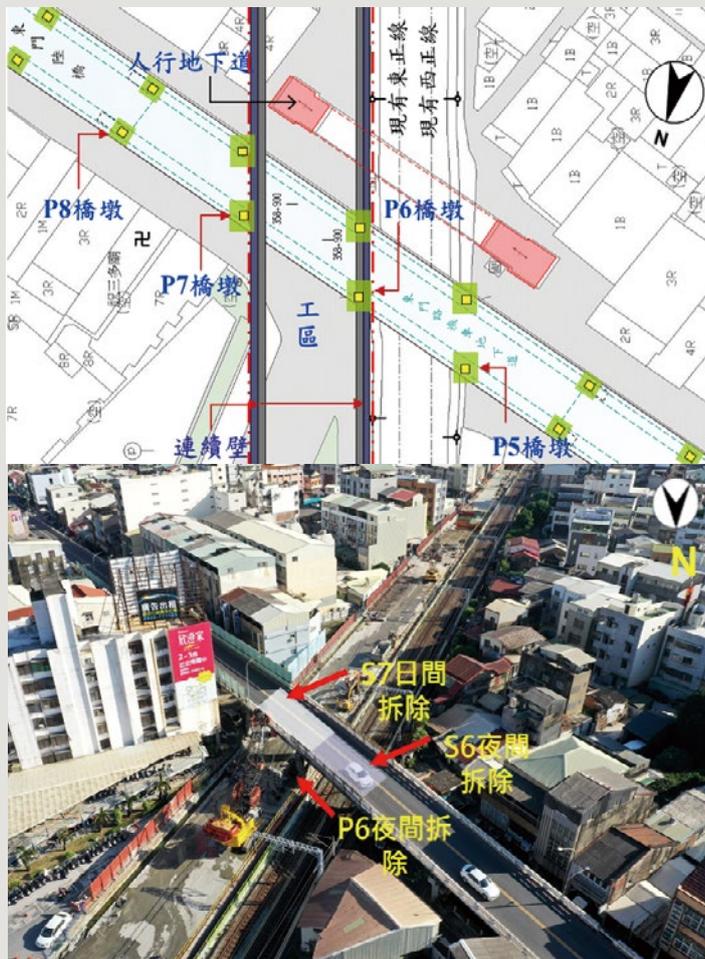


圖3 東門陸橋位置關係圖

## 貳、施工風險評估與因應對策

開元陸橋與東門陸橋拆除作業特性，均屬跨軌段高風險作業，須確實辦理施工安全風險評估，評估各項作業風險等級、辨識潛在之危害類型，再經由危害分析，研判可能產生之施工危害項目、危害來源、主要影響，擬訂危害預防之減輕方案，採管控流程、停留點檢查、設置降險措施，以降低本施工風險，使工程順利進行，達到「零事故」之目標。經多次召開高風險檢討會議，相關風險評估依發生機率、嚴重度等級辦理，以風險等級之分級辦理因應措施；當風險等級判定在「高度風險」為不可接受風險，需擬訂降低風險之控制措施，將其風險等級降低至「高度風險」以下；當風險等級判定在「中度風險」與「低度風險」之間，為可接受風險，亦需提出對策改善；以上說明如表1、2。經評估拆橋作業高風險危害類型有人員墜落、物體飛落、感電、被撞、影響列車行駛，施工作業前須落實工作環境設施檢查、機具車輛進場重點檢查、勤前教育、瞭望員監視，而吊車吊掛作業於軌道空間上方，亦

表1 風險等級之分級基準

發生機率 嚴重度	P3(3)	P2(2)	P1(1)
S3(3)	3(9)	3(6)	2(3)
S2(2)	3(6)	2(4)	1(2)
S1(1)	2(3)	1(2)	1(1)

表2 風險評分因應辦理原則

風險評分	風險等級	因應對策
3 (6-9)	高度風險 (不可接受風險)	1.立即檢討現有保護措施之完整性或進行改善方案或加強應變能力 2.優先執行進一步評估後，決定是否改善
2 (3-4)	中度風險 (可接受風險)	暫時無須採取風險降低設施，但須確保現有防護措施之有效性
1 (1-2)	低度風險 (可接受風險)	可接受，以現有方式監控

有損害電車線及倒塌危害，吊掛前確認吊掛之重量，並依吊掛荷重表對應的吊臂長度，確認施工機具之重量符合起重機之額定荷重，及過負荷預防裝置可正常啟用，吊掛過程責任工程師及吊掛指揮手全程於現場監督。相關風險評估結果如表3、4。

另跨軌段施工為特殊作業，須依據臺鐵局相關規定辦理，且不能影響日間鐵路營運，故針對軌道區域額外擬定相關精進措施，如下：

- 一、鐵路沿線施工，對行車或施工人員皆有安全顧慮，作業前先將相關資料提送監造單位確認，再向工程段(隊)提出申請電車線斷電或路線封鎖(隔斷)或列車慢行，經臺鐵局同意後施工。
- 二、確實辦理勤前教育與危害辨識；夜間斷電封鎖施工及監工人員應確認斷電、接地及路線封鎖(隔斷)區間及時段。(詳圖4、5)
- 三、橋護欄先行咬除，跨軌段護欄外側增設高度1.5m之鋼管護網，防護碎塊噴濺。(詳圖6、7)
- 四、跨軌段採夜間封鎖斷電切割吊運方式施作，上部結構切割作業前，主吊線包覆保護套，避免切割或吊運過程損傷電車線系統。(詳圖8、9)

表3 陸橋拆除作業風險等級評估

作業名稱			危害辨識與後果	現有防護設施	風險評量 嚴重度 可能性 風險等級			處理風險或 機會之措施	預估處理後的 風險嚴重度 可能性 風險等級		
分項 工程	作業 項目	作業 程序	危害可能造成 後果之情境	工程控制	嚴重 度	可能 性	風險 等級		嚴重 度	可能 性	風險 等級
陸橋 拆除 工程	結構 拆除 (夜)	吊掛	跨鐵路橋面板 吊掛時混凝土 渣飛落砸傷施 工人員	夜間斷電封鎖及作業區下方 管制 作業前檢查吊具且噴上當月 吊具檢查顏色 主吊線安裝絕緣保護套避免 電車線上方鑽孔破碎 作業主管全程監視	S3	P2	3	1.設置警戒區域及 專人管制監督 2.吊車能量、位 置、吊具及鋼索 檢點 3.落實執行鐵道局 施工安全管制 app系統機制 4.設移動式CCTV	S3	P1	2
	拆除 作業 (夜)	吊掛	高空工作車操 作員攀爬出車 外造成墜落	安全帶確實鉤掛機具鉤環上 作業主管全程監視	S3	P1	2				
	運輸 作業 (夜)	運棄	人員遭移動營 建機具撞擊	設置迴旋半徑警示 設置操作半徑警戒區禁止人 員進入 道路作業設置義交	S3	P1	2				
	拆除 作業 (夜)	設施 拆除	橋面護欄拆除 時不慎掉落砸 傷人員	設置吊掛警示區、防滑舌 片，過捲揚預防裝置 設置警戒區域禁止人員經過	S3	P1	2				
	切割 或拆 除作 業(夜)	設施 拆除	切割或拆除作 業未依程序未 設置防墜措施 人員墜落	人員勾掛背負式安全帶 安全帶確實鉤掛機具鉤環上 設置安全母索 收工後確實檢查開口欄 開口處設置護欄	S3	P1	2				

表4 陸橋拆除作業風險控制措施

危害因子	可能之風險狀況描述	控制措施
	共通部分	1.勤前教育、危害告知;2.瞭望員、電子輔助瞭望員 3.施工圍籬、電子圍籬;4.作業主管全程監督
影響臺鐵行車安全	1.未經核准就進入作業 2.作業照明不佳、設備故障 3.未依規定時間完成作業延誤列車開車;列車通過路線不穩定	1.1.作業前依規定申請立案及申辦區間斷電封鎖。 1.2.經工程司或監造確認完成區間斷電封鎖及接地，始進入軌道區施工。 2.1.設置充足照明設施且作業前實施檢查。 3.1.每日施工撤收時，並檢視軌區無虞，檢視第一班列車通過狀況，確保鐵路營運安全。
物體飛落	1.未採2點吊掛及物料未確實網綁固定 2.吊鉤未有防滑舌片，及吊具有扭曲變形、腐蝕、斷股等造成吊掛之斷裂	1.1.吊掛作業物料確實網綁固定，且採2點吊掛及設置輔助繩。 2.1.作業前檢查吊具且噴上當日吊具檢查顏色。 2.2.派員管制作業區，嚴禁吊舉物經由人員上方或人員經過吊舉物下方
感電	1.未經確認完成封鎖斷電及電車線接地作業，人員進入軌區作業	1.1.臺鐵行車調度室指示完成封鎖斷電及電車線接地作業後，經工程司或監造確認，始得進入軌區作業。
墜落	1.高空作業車操作員攀爬出車外造成墜落 2.開口護欄未復原造成人員墜落	1.1.穿戴背負式安全帶並勾掛於高空作業車。 2.1.收工後確實檢查開口護欄復原情況。 2.2.確實要求使用安全帶並勾掛於防墜器或穩固處。
撞擊	1.人員遭移動機具撞擊 2.運輸車輛與民眾車輛發生碰撞交通事故	1.1.機具操作手與協同人員間聯繫要明確及統一手勢。 1.2.作業區域設置警示措施。 2.1.出入口處設置義交指揮管制。 2.2.車輛方向警示燈開啟。

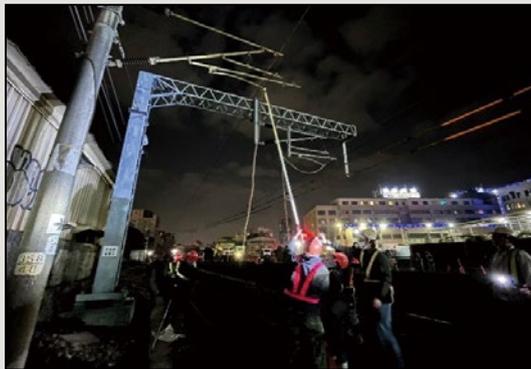


圖4 電車線接地



圖5 斷電封鎖-驗電



圖6 護欄咬碎作業增設鋼管護網

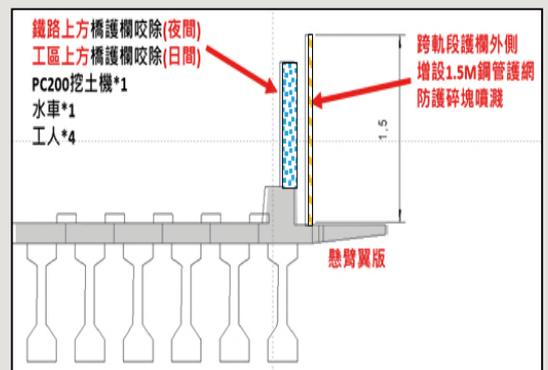


圖7 增設鋼管護網示意圖

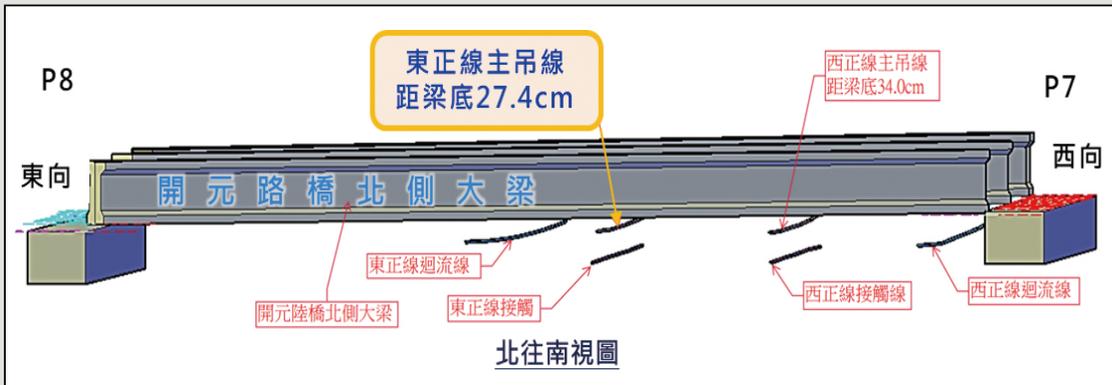


圖8 主吊線與I型梁相對位置圖



圖9 主吊線增設黃色保護套



圖10 開元陸橋吊運

五、切割作業期間，妥善管制非施工人員進入，作業範圍前、後方5m 範圍內除必要之工作人員外一律不得進入；切割作業進行時，作業區與非作業區以警示帶或交通錐等設施加以區隔，並設置警告標示以維持施工安全。

六、跨軌段採夜間封鎖斷電切割及吊運方式施工，避免影響鐵路營運安全。(詳圖10)

七、切割吊運過程於軌道上鋪設帆布收集碎塊及汙水，防止汙染軌道。(詳圖11)



圖11 軌道鋪設帆布保護

八、夜間吊掛作業指派電車線維修人員現場待命，一旦電車線損害事故發生時立即停止施工進行搶救作業。

九、吊掛作業使用之安卡錨栓、吊環、鋼索等設備，應再檢點確認符合規格，以避免吊掛搬運時發生危害。(詳圖12)

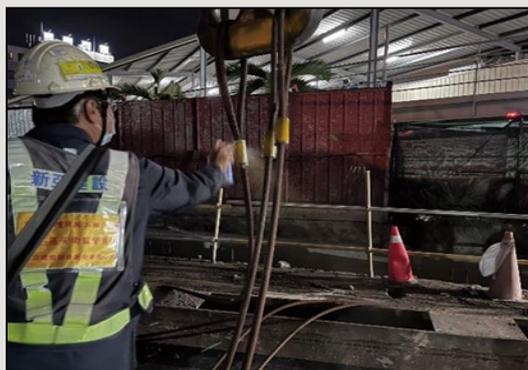


圖12 鋼索檢點確認

十、吊離局部橋面板後之缺口，於端部退縮 3m-5m，佈設紐澤西護欄或鋼管護欄，以作為有效封閉區隔，避免人、車擅闖而不慎掉落既有軌道或工區地面。

十一、成立緊急應變小組，因應各種突發狀況。(詳圖13)

軌段拆除」採切割吊放工法，該工法為低噪音、無震動的低公害解體工法。每日夜間吊掛作業亦律定時間管制表，詳如表6。主要施工配置機具及設備，詳如表7。於「一般段拆除」採就地打除工法，以加速完成拆除。事前亦多次召開公開說明會、律定打除時間，將影響居民時間降至最低。現場亦須配合灑水、設置防塵網及出入口清洗設備等相關措施，並於拆除過

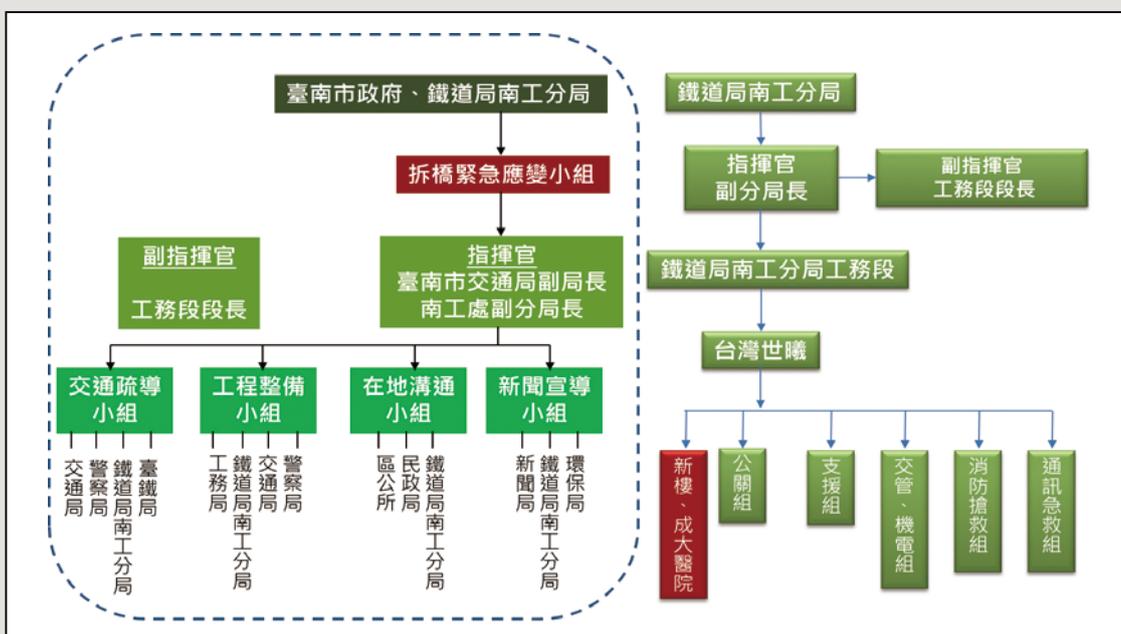


圖13 陸橋拆除作業應變組織

### 參、施工計畫與執行成果

開元陸橋拆除前先行調查相關結構量體，以制定拆除計畫，調查結果、詳如表5；於「跨

程中，考量安全及環境保護優先之原則下，以資源再利用角度進行拆除，提高廢棄物減量及資源再利用之價值。

表5 開元陸橋量體調查結果

開元陸橋		
橋面	長330m	橋寬(含護欄)13m
構造	上部-混凝土預力梁橋面板	下部-鋼筋混凝土墩柱
墩柱及跨數	墩柱14處	橋面14跨、引道2處
預力梁數量	跨軌段17支	非跨軌段98支
拆除數量	AC刨除209m <sup>3</sup>	混凝土大廚4260m <sup>3</sup>
復舊	AC933m <sup>3</sup>	碎石級配1306m <sup>3</sup>

表6 夜間拆除吊掛作業時間管制表

項次	施工項目	工作時間起迄	工作時間	單位/人數	機具/數量
1	勤前教育及危害告知	23:00-23:30	30min	CEC/全員	
2	機具及照明設備整備	23:30-24:00	30min	CEC/全員	
3	封鎖斷電	00:00-00:30	30min	工三段/1人 CECI/1人	
4	吊掛纜線安裝	00:30-01:00	30min	CEC/全員	45T吊車/2台 高空作業車/1台
5	預力樑吊運移除	01:00-03:50第一支： 01:00-01:50 第二支：01:50-02:40 第三支：02:40-03:30 (03:30-03:50為緩衝時間，如因 工作延誤致03:20前尚未完成第二 支預力樑吊運工作，則暫停當日 第三支吊樑作業)	170min	CEC/全員	120T (130T) 吊車/1台 200T (500T) 吊車/1台 45T吊車/2台 運樑車/3台 高空作業車/1台
6	場地清理、電車線沖 洗及人員巡檢	03:50-04:15	25min	工三段/1人 CECI/1人 CEC/6人	水車/1台
7	解除封鎖	04:10-04:30	20min	工三段/1人 CECI/1人	解除封鎖

表7 開元陸橋拆除作業主要機具及設備表

項次	設備類別	單位	數量	備註
1	500T吊車	台	1	吊離切割RC構造物
2	200T吊車	台	1	吊離切割RC構造物
3	130T吊車	台	1	吊離切割RC構造物
4	120T吊車	台	1	吊離切割RC構造物
5	破碎機/破壞剪/大鋼牙/挖斗機	台	8	破碎既有結構物
6	43T伸縮聯結車	台	5	運裝切割後RC構造物
7	25T框卸式卡車	台	2	裝運破碎B5類混凝土塊
8	灑水車	台	2	機械打除抑止揚塵
9	圓盤切割機切割深度40cm35hp	台	4	橋面板切割
10	鏈鋸切割DS WS15 3*400V	台	2	懸臂版、護欄、人行陸橋切割

跨軌段拆除作業，依序切除橋面兩側翼板、橋面板、隔梁及吊梁孔，夜間切割時，需注意下方電車線及軌道之保護。切割後須立即以角鋼假固定，避免節塊掉落。經考量切割後之量體大小、重量及計算吊車吊升荷重、迴轉半徑，本案配置120噸~500噸吊車，並規劃確認吊車站位，以確保翼板節塊及I梁吊離之安全。北側9支I梁須以運梁車經由開元陸橋運至工區內之裂解區，南側8支I梁則直接吊放至裂解區，並於日間另行裂解後回收運離。整體拆橋作業流程及施工情形詳如圖14。其安全考量重點如下：

### 一、跨軌段懸臂板切割吊離（詳圖15、16）

- (一) 分割尺寸、分割時臨時托架支撐、吊具形式。
- (二) 以高空作業車於板下，先以三腳架固定於I型樑上，作為懸臂板的臨時支撐。
- (三) 懸臂板鏈鋸切割分為4節塊，每一節塊4m，以25噸吊車配合吊離。



圖 14 開元陸橋拆除作業流程及施工情形

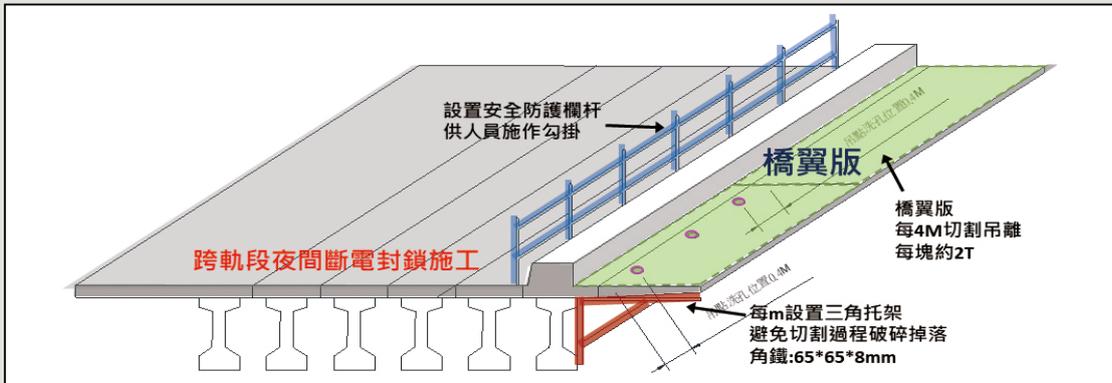


圖 15 跨軌段懸臂板切割及安全措施示意

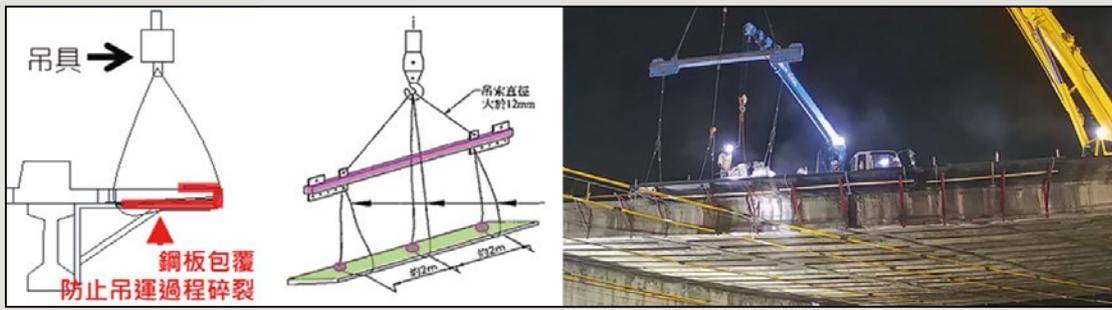


圖 16 跨軌段懸臂板切割吊離

## 二、跨軌段橋面板切割及預力樑吊離 (詳圖 17、18、19、20)

(一) 橋面板及中隔梁切割後，以角鋼固定，避免預力梁倒塌。

(二) 吊梁時使用之鋼纜繩規格檢算確認。

(三) 運梁車開上橋面板載運預力梁時，橋面之荷重評估。

(四) 吊車於橋面吊梁時，站立橋面適當位置及橋面之荷重評估。

(五) 28m預力梁吊掛作業，吊車能量計算及迴轉半徑檢核。

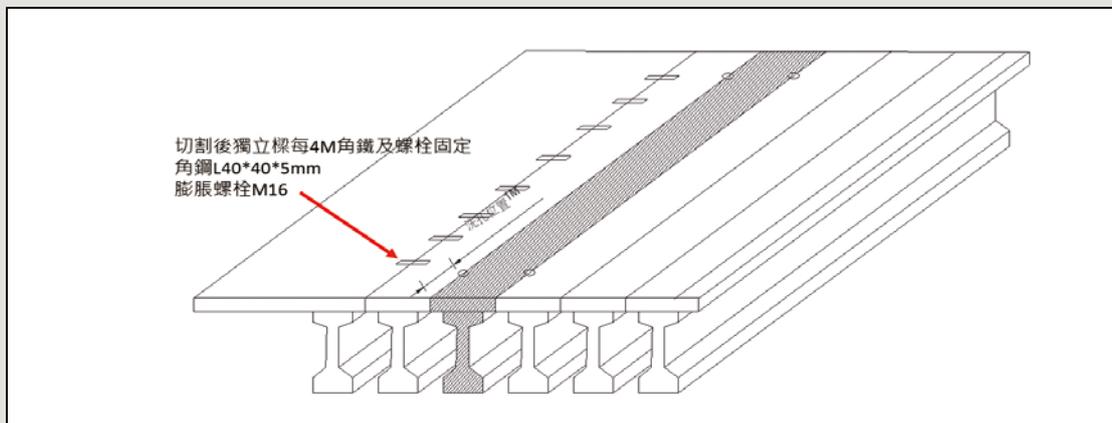


圖 17 跨軌段橋面板及隔梁切割示意圖

吊離28m主孔橋預力I梁，1側吊索需求拉力載重為18.3tf。

鋼索使用B級強度

(1) 鋼索與垂直向夾角約20度，保守以30度計算

$$V = 18.3/2 = 9.2 \text{ tf}$$

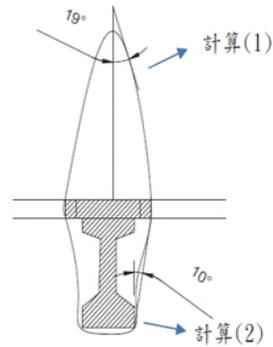
$$T = 9.2/\cos 30 = 10.6 \text{ tf}$$

$$\text{故鋼索斷裂荷重} = 6 * 10.6 = 63.4 \text{ tf (FS=6)}$$

考量為重複使用舊品

$$\text{鋼索斷裂荷重} = 63.4/0.8 = 79.2 \text{ tf}$$

由廠商規格表，故鋼索尺寸直徑需大於 36mm



(2) 考量I梁下翼部分，鋼索為水平的部分

鋼索為2力桿，水平鋼索不會有產生剪力的情況

用途：起重機、管運車機械

鋼纜	直徑				拉斷強度				單位重量 (參考用)
	外層單線徑				鍍鋅	不鍍鋅			
	Fi(29)	WS(36)	WS(41)	SeS(37)		G級	A級	B級	
mm	mm	mm	mm	mm	150Kg/mm <sup>2</sup>	165Kg/mm <sup>2</sup>	180Kg/mm <sup>2</sup>	190Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/m
33.5	1.94	1.91	1.71	1.81	65.4	71.8	76.5	80.6	4.95
34	1.96	1.94	1.73	1.84	67.6	74.0	78.7	82.9	5.11
35	2.00	2.02	1.81	1.92	73.3	80.6	85.8	90.5	5.57
36	2.05	2.05	1.84	1.94	75.8	82.9	88.2	92.8	5.73
37	2.10	2.14	1.91	2.02	81.9	89.2	95.8	101	6.21
38	2.19	2.16	1.94	2.05	84.5	92.1	98.5	103	6.38
40	2.30	2.28	2.04	2.16	93.2	102	109	115	7.06

圖18 鋼索尺寸計算

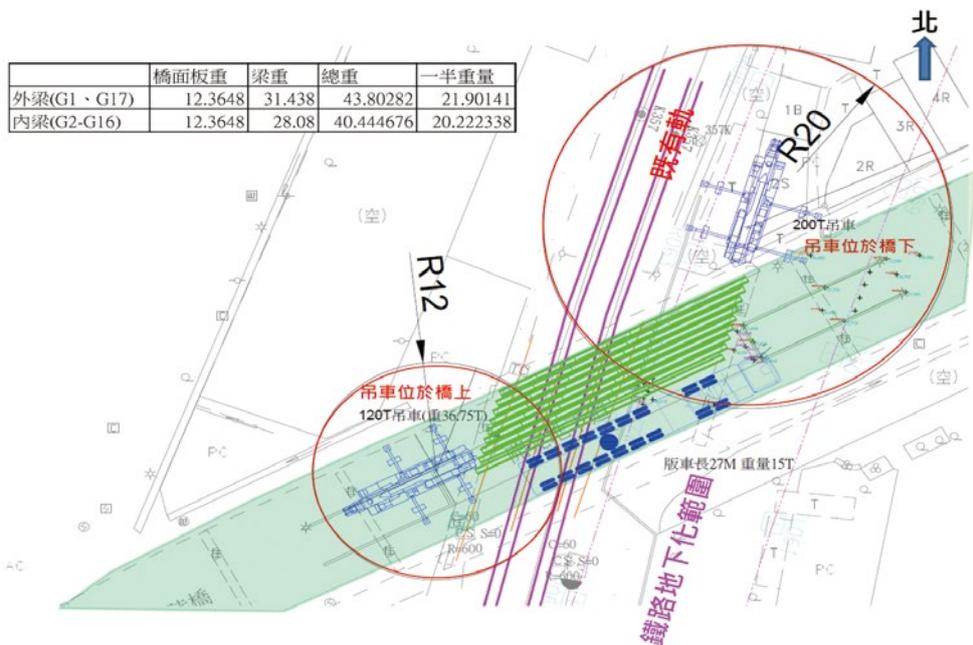


圖19 北側9支梁拆除-吊車(120T+200T)配置及梁車裝載

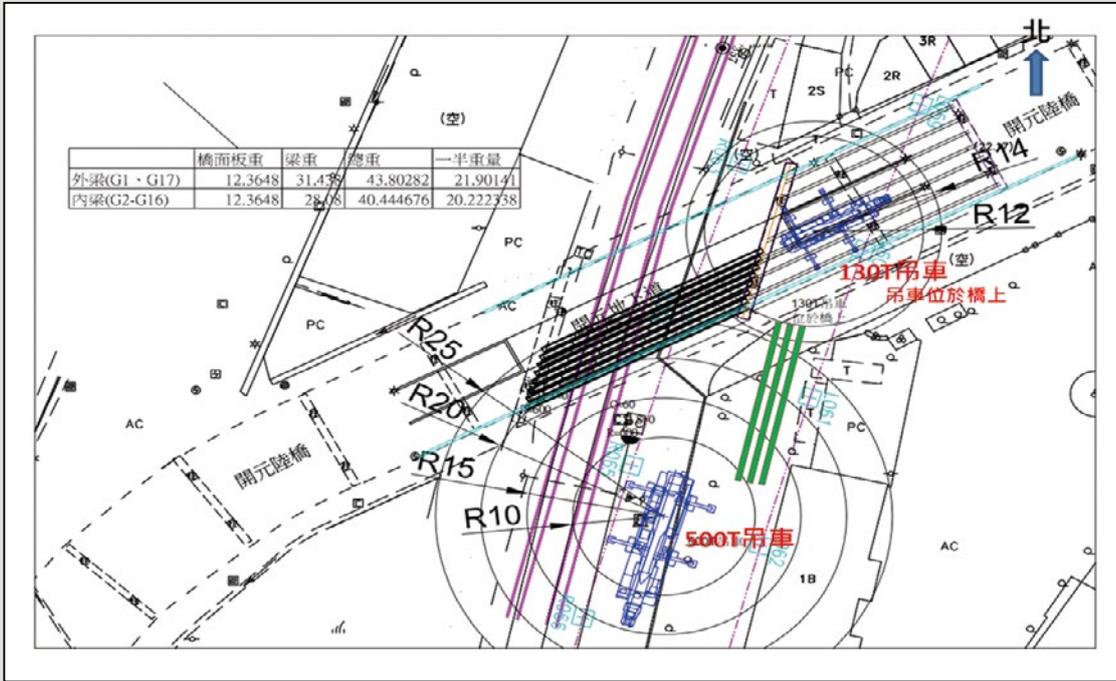


圖20 南側8支梁拆除-吊車(130T+500T)配置

東門陸橋拆除作業亦經計算檢核機具能量，且因安全考量，拉高機具規格，以提高作業安全係數。主要施工配置機具及設備詳如表8，其拆除範圍為S6及S7跨橋梁，內容包括需拆除橋護欄、橋面板及大梁。每一跨包含兩側護欄、橋面板及11支大梁。初期以盤鋸工法沿大

梁平行方向切割橋面板，再以鉸孔搭配鏈鋸方式切除隔梁，再將11支大梁各別吊離。其中外側大梁需連同橋護欄一起吊離。切割順序為先切除S7跨橋面板(日間施工)，再於軌道區道碴上鋪設帆布，防止泥水汙染道碴，並切除S6跨橋面板(利用夜間斷電封鎖施工)。每支大梁切割後

表8 東門陸橋拆除作業主要機具及設備表

項次	設備類別	單位	數量	備註
1	200T吊車	台	1	吊離切割RC構造物
2	高空作業車	台	1	配合梁下作業
3	拖板車	台	1	運裝切割後RC構造物
4	吊卡車	台	1	緊急應變備用
5	鏈鋸切割機	台	2	陸橋切割
6	盤鋸切割機	台	2	陸橋切割
7	鉸孔機	台	2	陸橋切割
8	電動破碎機	台	1	破碎既有結構物
9	機械破碎機	輛	1	破碎既有結構物
10	發電機	組	1	供機具電能

即與相鄰大梁分離，故需於橋面板上方採角鋼假固定，防止大梁翻覆。待全部切割作業完成後，再逐支將大梁吊運至拖板車後運離工地。順序為先吊離S7跨大梁，再吊離S6跨大梁，詳如圖21、22。於現場執行時，切割作業所需時

間與預估時間相符，吊裝作業則因吊車能量足夠及操作手經驗豐富，吊裝拆除時間均能較預估時程提早，每晚較預估增加1-2個吊掛次數。實際執行局部拆除改建作業流程及施工情形詳如圖23，吊車配置位置詳如圖24、25。

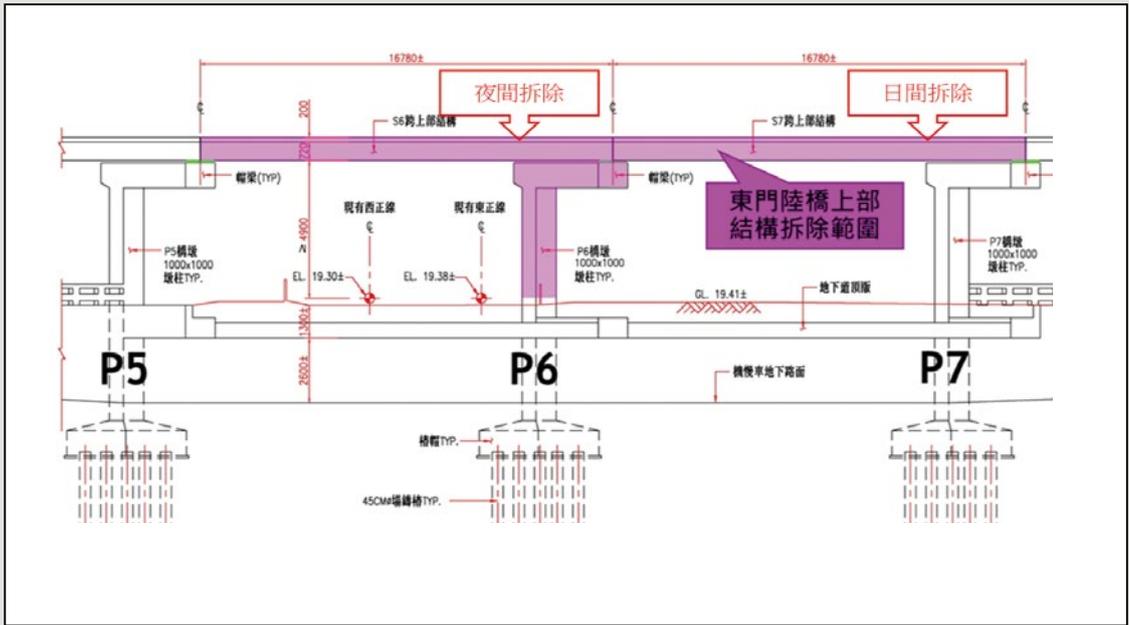


圖21 東門陸橋拆除範圍剖面示意圖

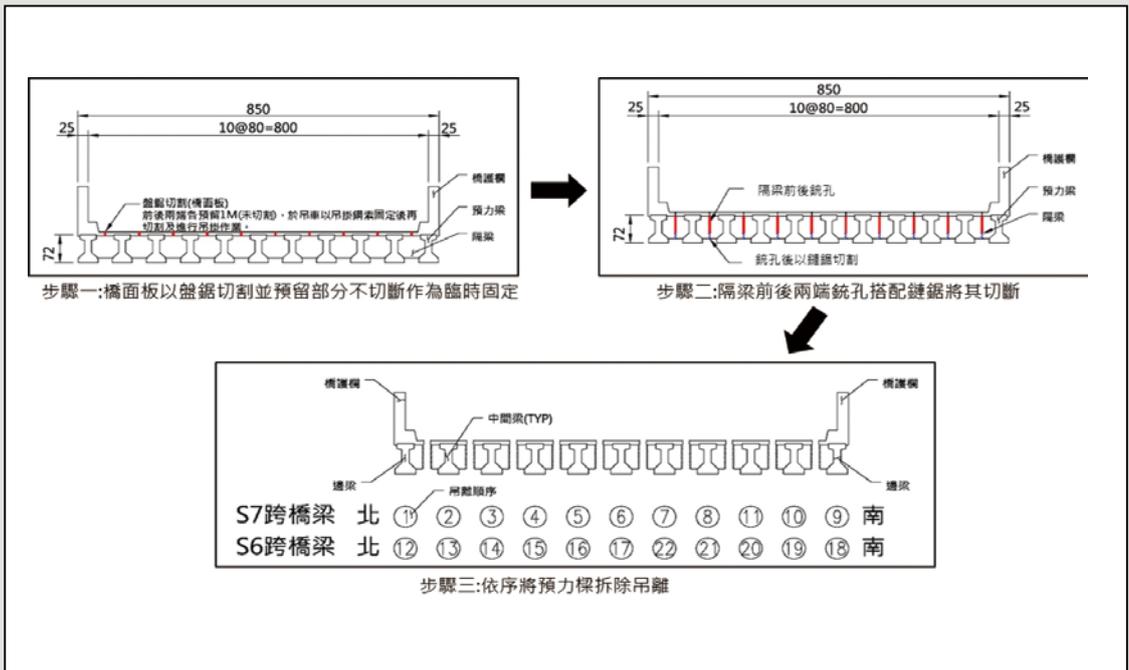


圖22 東門陸橋切割拆除步驟說明圖



圖23 東門陸橋局部拆除改建作業流程及施工情形

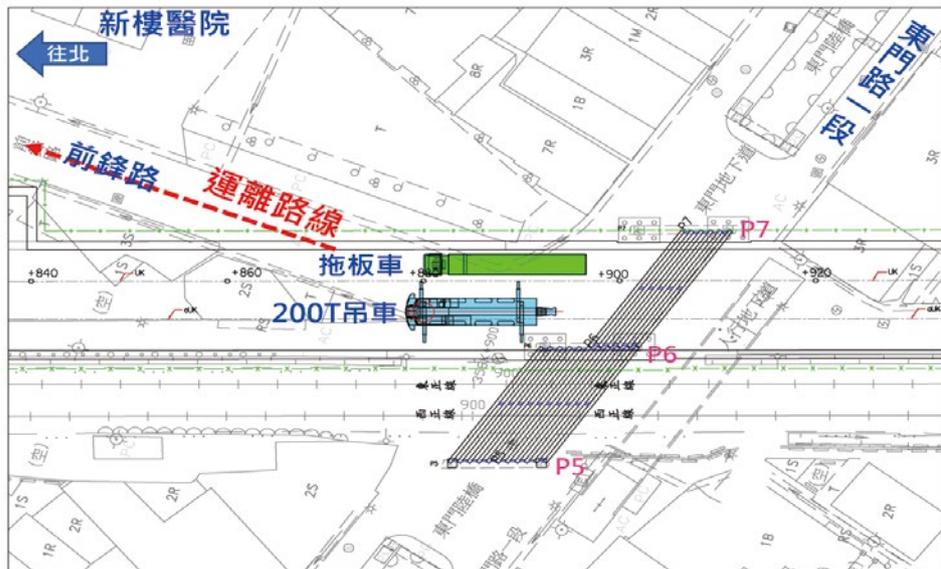


圖24 日間工區內S7大梁拆除-吊車(200T)配置

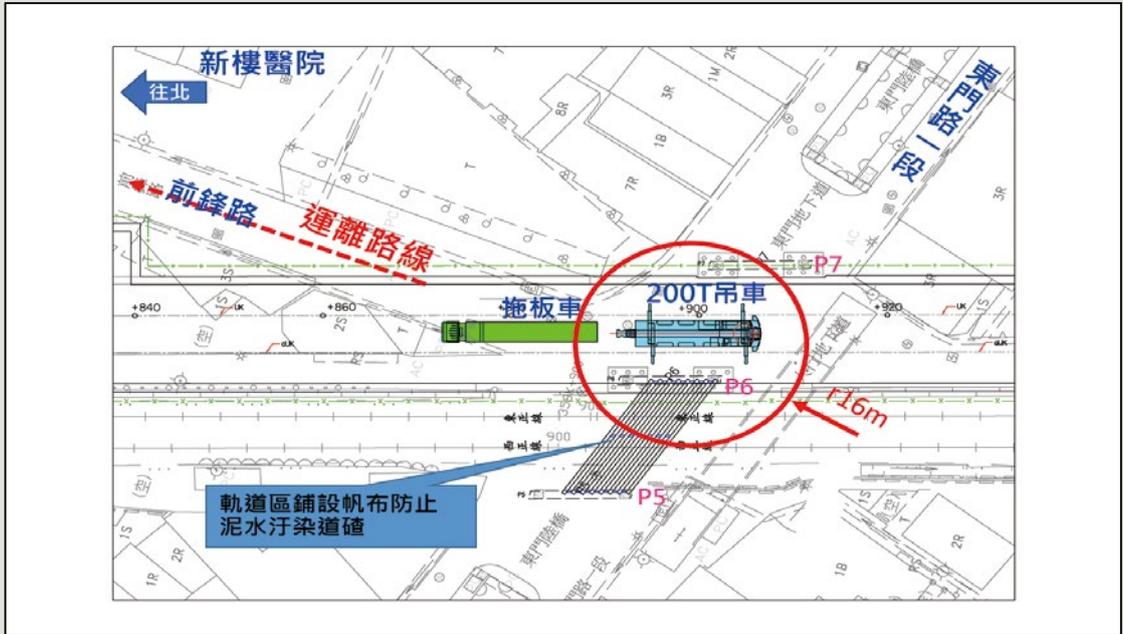


圖25 夜間跨軌段S6大梁拆除-吊車(200T)配置

開元陸橋拆除與東門陸橋局部拆除改建，均經由妥善安全規劃，並針對各施工步驟精確評估與控管風險，方能順利安全執行，且均較原訂計畫提早完成，其實際執行時程詳如表9、10。

### 肆、風險管理回饋與建議

開元陸橋跨越鐵路銜接東側之開元路及西側之北門路，為市區跨鐵路之主要幹道，亦

表9 開元陸橋拆除作業預定與實際時程表

項次	施作項目	預定開始	預定完成	預定工期 (90天)	112/7					112/8					112/9					112/10				
		實際開始	實際完成	實際工期 (75天)	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10
1	前置作業 (6天)	112/7/5	112/7/10	6	[Orange bar]																			
		112/7/5	112/7/10	6	[Green bar]																			
2	跨軌段夜間拆除 (30天)	112/7/11	112/8/9	30	[Orange bar]																			
		112/7/11	112/8/6	27	[Green bar]																			
3	北門路側日間拆除 (20天)	112/8/14	112/9/2	20	[Orange bar]																			
		112/8/14	112/8/30	17	[Green bar]																			
4	開元路側日間拆除 (34天)	112/9/3	112/10/6	34	[Orange bar]																			
		112/8/31	112/9/24	25	[Green bar]																			

跨軌段  
原定112/8/9拆除完成  
實際112/8/6拆除完成  
超前3日

112/8/6至8/14，將陸橋型樑解裂運送及場地清理。

一般段  
原定112/10/6拆除完成  
實際112/9/24拆除完成  
超前14日

完成拆除並通車

表10 東門陸橋拆除作業預定與實際時程表

項次	施作項目	預定開始	預定完成	預定工期	111/12/28-112/1/12																		
					實際開始	實際完成	實際工期	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1	東門陸橋橋上附設物拆除及AC路面刨除	111/12/28				111/12/30	3	28	29	30											
		111/12/28	111/12/30	3	28	29	30																
2	東門陸橋S7橋面板切割及鑽洗吊掛孔	111/12/31	112/1/3	4																			
		111/12/31	112/1/3	4																			
3	東門陸橋S6橋面板切割及鑽洗吊掛孔	112/1/4 (夜)	112/1/5 (夜)	2																			
		112/1/4 (夜)	112/1/5 (夜)	2																			
4	東門陸橋S7預力梁拆除吊運	112/1/6	112/1/8	3																			
		112/1/5	112/1/5	1																			
5	東門陸橋S6預力梁拆除吊運及P6橋墩拆除吊運	112/1/9 (夜)	112/1/12 (夜)	4																			
		112/1/6 (夜)	112/1/7 (夜)	2																			

為台20線之重要道路。而東門陸橋銜接東側東門路及西側北門路、民權路、府前路、大同路圓環，為182線主要幹道。當陸橋封閉時，在交通方面需妥善規劃替代道路，以疏散上下班尖峰車流。交通維持為市府與用路人最關心之課題，相關說明會與宣導至為重要。開元陸橋與東門陸橋之拆除，均辦理多場說明會，加上廣播及電視托播、製作宣導影片、宣傳車宣傳等多項措施，方能順利封閉並進場施作如期完成。

而跨軌段夜間拆除作業，施工區域跨越既有鐵路路線，需特別注意感電、撞擊、墜落、物體飛落等高風險危害因子，及避免影響鐵路行車安全。跨越既有鐵路吊掛拆除預力梁，需特別確認橋面、I梁及隔梁，均務必切割完整，

以避免吊離時，因切割不完整而無法吊移，影響拆除作業，甚至發生吊掛作業失敗所造成之重大危害。另亦須謹慎計算機具功率及規劃機具位置，本次拆除作業為確保吊掛安全，已提高作業安全係數，以最安全方式拆除及吊掛。拆除吊裝過程亦須精確指揮與配合，其中開元陸橋更以500T吊車辦理吊梁作業，大大增加吊掛安全，如圖26、27、28。

與民眾間之溝通協調，也是拆除作業能順利完成之重要因素，藉由合理之交維改道路線規劃及施工安全風險控管等各項議題，透過溝通協調及相關單位之協助配合，方能如期順利完成。藉由此次實作過程，本文綜整相關經驗心得及重點注意事項，可供爾後類似施工作業參考。相關管理重點與回饋建議，彙整如表11。

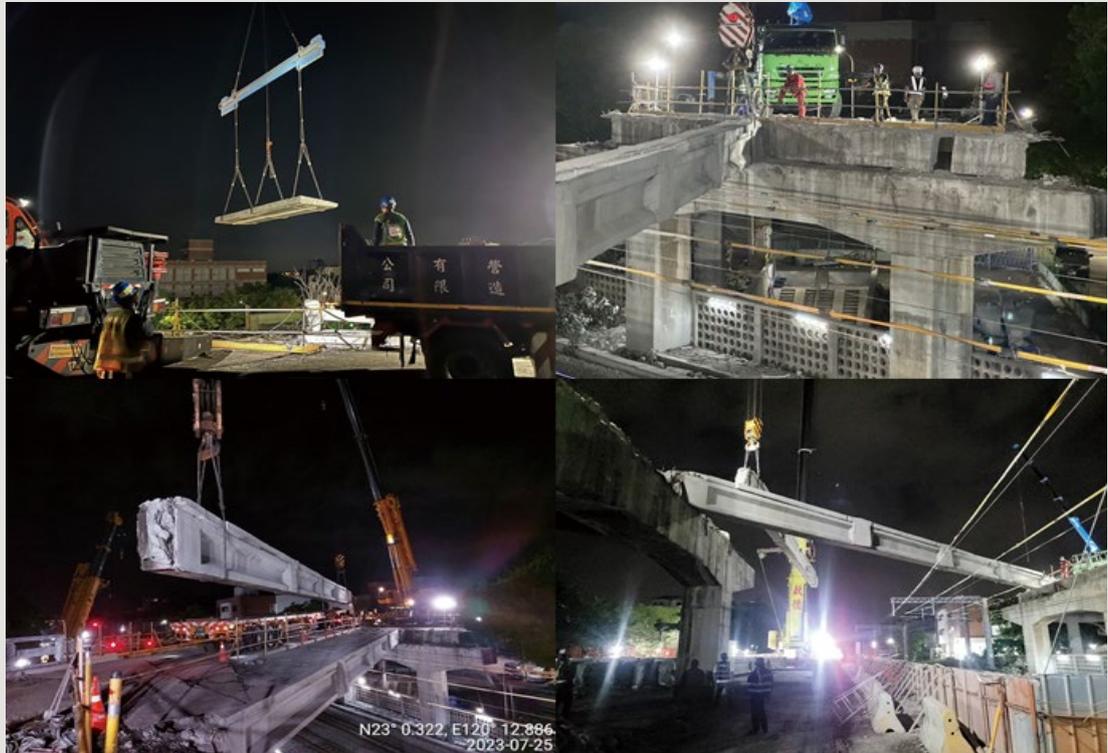


圖26 開元陸橋夜間拆除吊掛作業

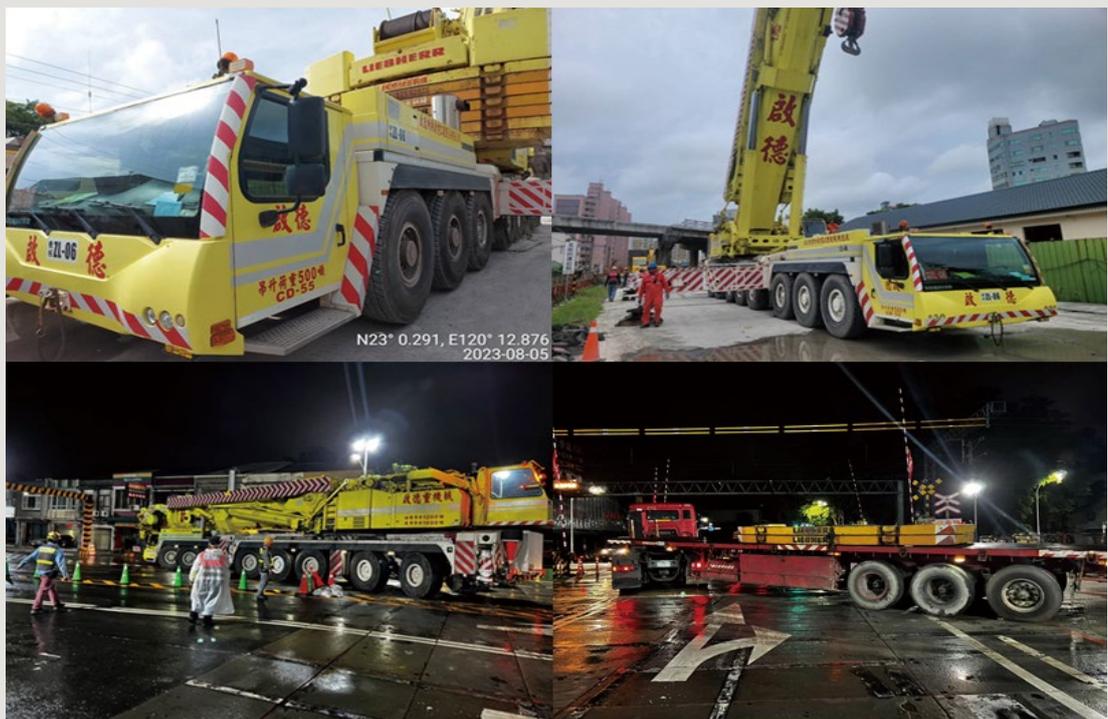


圖27 開元陸橋拆除作業500T吊車

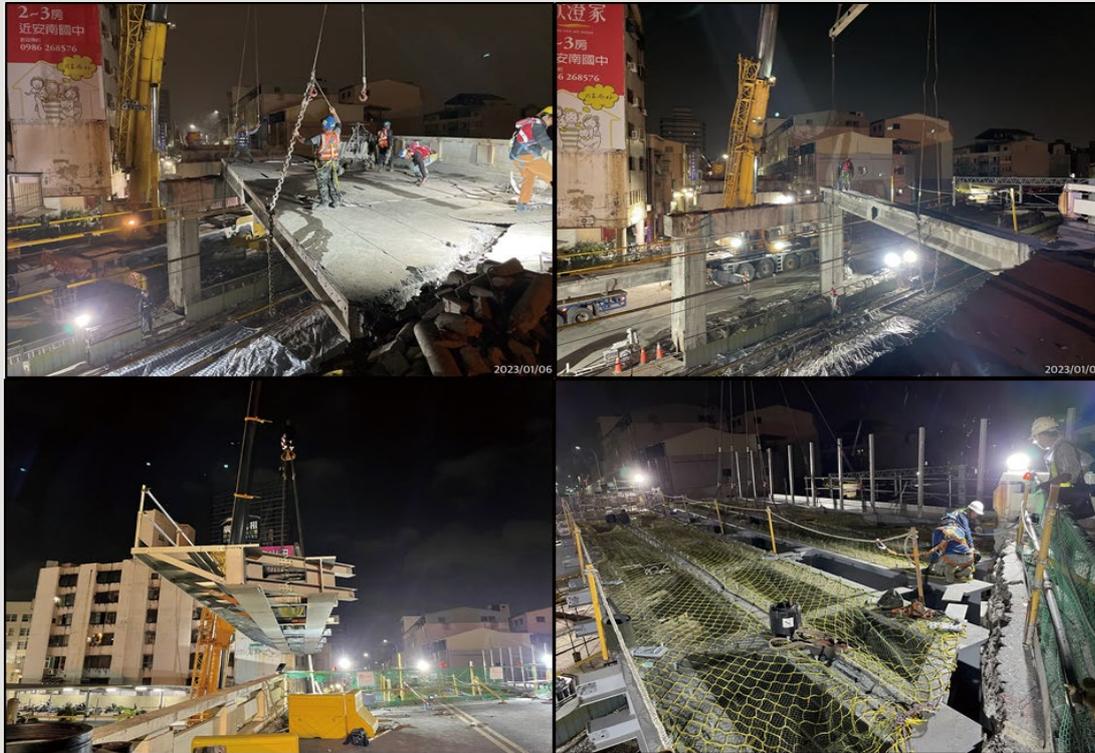


圖28 東門陸橋夜間拆除及改建吊裝作業

表11 陸橋拆除作業管理重點回饋與建議

議題	考量重點	控管方式	建議
交通維持	替代道路 改道範圍 交通流量 義交配置 宣傳宣導	1.辦理交維計畫 2.辦理公開說明會	交維計畫細節應優先與市府承辦人員檢討確認，俾提請市府召開正式審查會議。建議請專業交通工程公司規劃辦理，其專業人員於辦理過程中，隨時可與市府承辦人員討論協調。
在地協調	噪音影響 居門進出方式 替代停車位置	1.拜訪周遭各里里長 2.向區公所專案說明 3.向相關警消單位說明	公開說明會召開前，應先向地方區、里長說明，俾其可先向其里民說明。
影響鐵路 施工風險	切割作業防護	1.正確的切割位置 2.預計分離的各部位必須完全切割分離 3.吊梁孔之孔徑須足夠	切割位置不正確或切割未完整分離，於夜間吊梁時將會無法吊起，增加施工風險；而吊梁孔徑不足，將導致鋼索無法順利穿越，影響吊梁作業；夜間作業時間非常寶貴，應排除所有不必要之延遲因素，切割作業完成後，應指派專人加強檢查，確認切割的正確性與完整性。
	吊掛作業配置	1.施工空間正確測量 2.拆除量體調查 3.吊梁順序規劃 4.吊車配置及迴轉半徑檢核 5.吊索荷重檢核 6.吊梁時間設定 7.備用機具動員 8.緊急應變	施工場地影響機具佈設及動線，無論橋上、橋下，整體立體空間，以及與既有鐵路設施相對位置，均應確實掌握，方能規劃出符合現場之施工方案。拆除量體的尺寸與重量，影響吊車之配置，吊車能量與吊索荷重，應經由專業技師檢核確認，而備用吊車及緊急事件應變，亦應於施工前沙盤推演模擬，以便萬無一失。
	運梁路線規劃	1.路線調查 2.運梁車尺寸確認 3.沿線義交指揮	運梁路線確實調查，尤其應注意沿線道路品質、是否有架空線、轉彎半徑是否足夠，並搭配義交交管指揮，確保運梁車順利通行。

## 結語

鐵路地下化工程屬高風險工程，現場施工人員及工程師均需具備相當經驗及警覺性，倘有事故發生時，亦要有即時危機處理能力，消弭災害發生或減低其嚴重性。於拆橋作業施工前，需協請臺鐵局運、工、機、電相關單位派員協助，臺鐵臺南電力段確認有足夠備品，臺鐵高雄工務段派員於施工期間協助巡查養護。另鐵路沿線作業如發生事故影響鐵路行車，將可能導致民眾的生命安全及鉅額的金錢損失，故工程人員須有妥善的施工安全規劃、工程施工經驗、危害辨識及危機應變能力。本次拆橋作業均秉持上述原則辦理，嚴選相關施工廠商及工程人員，妥善規劃作業流程，順利完成拆橋作業，以利後續地下化工程施作。目前東門陸橋已按原訂交維計畫重建後恢復通行，而開元陸橋亦符合當地橋下居民的期待，圓滿地將具42年歷史的開元陸橋全數拆除，進入一個新的里程碑。

## 參考文獻

1. 交通部鐵道局「鐵路沿線施工安全作業標準」及「鐵路沿線施工安全須知」。
2. 勞動部「起重升降機具安全規則-第五章 起重吊掛作業安全管理」。
3. C211標臺南北段地下化工程「開元陸橋拆除施工計畫」及「安衛風險評估計畫」。
4. C213標林森站路段地下化工程「東門陸橋局部拆除改建施工計畫」及「施工安全措施計畫」。





# 3

## 專題報導

# T3多功能大樓施工中機捷潛盾隧道之保護及隧道內安全監測管控探討

關鍵詞(Key Words)：全套管鑽掘基樁(Full Case Concrete Bored Pile)、全自動監測儀器(Automatic Monitoring Instruments)、祛水工程(Dewatering System)、角變位(Angular Displacement)、變位量(Angular Displacement)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃機T3專案／資深協理／黃金田 (Huang, Jin-Tian) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃機T3專案／專案協理／宋建宏 (Song, Jian-Hong) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃機T3專案／專案主任／蕭永偉 (Hsiao, Yung-Wei) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃機T3專案／正工程師／賴志昇 (Lai, Chih-Sheng) ❹

## 摘要

本工程「臺灣桃園國際機場第三航站區主體航廈土建工程(TP6A標)」多功能大樓新建工程案(MFB)於110年6月1日開工，建築結構體採地下3層至地面3樓之鋼構及鋼筋混凝土施作，其柱線(63)~(83)工區範圍開挖及結構體建造加載時，勢必對下方機場捷運明挖覆蓋隧道段及兩條潛盾隧道段產生影響，故本公司規劃設計三列潛盾隧道保護基樁，將MFB大樓載重直接傳遞至樁底地盤承載，現場施作則採預引孔之低震動全套管鑽掘工法，使基樁鑽掘衝擊降至最低；並於工區內設置排水井及水位觀測井等儀器，嚴格控制施工期間地下水位，以增加抗浮安全係數；更於隧道內外佈設捷運安全監測全自動監測儀器，施工階段全程加密自動監測，並5分鐘回傳頻率，使監造工程師可即時掌握捷運軌道沉陷之歷時曲線，確保捷運安全無虞之最高原則下進行工程施工。本文以TP6A-MFB全套管基樁施工為案例，說明自動化監測值及施工下陷(或上抬)安全管理之結果經驗供參。



## Discussion on the Protection of the Airport MRT Shield Tunnel during the Construction of T3 MFB and Safety Monitoring Control in the Tunnel

### Abstract

The Multiple Functional Building (MFB) Construction of this project "Civil and Architecture Construction Tender for Terminal Building, Taiwan Taoyuan International Airport Terminal 3 Area" was started on June 1, 2021, and which building structures will be constructed by SC and SRC with 3-storeyed underground floors and 3-storeyed above-ground floors. For what more, when excavating the construction scope of Column Line (63) ~ (83) and the building structure load increase, the cut-and-cover tunnel section and the two shield tunnel sections of Airport MRT below the scope will must be affected. Therefore, CECI hereby plan and design three full case concrete bored piles for the shield tunnel to directly transfer the load of MFB building to the base of the piles, moreover, for the construction method executed on site, it will be a low-vibration full casing drilling of the pre-lead holes to minimize the impact of foundation pile drilling. In addition, the devices such as dewatering well and observation well will be installed in the work field, so as to strictly control the groundwater level during the construction period and increase the safety factor of anti-buoyancy. Apart from the said plans, the fully automatic monitoring instruments for the MRT safety monitoring shall also be installed the internal and external of tunnel, and the automatic monitoring is encrypted with a frequency of 5-minute reporting during the entire construction period, so that the engineers of Construction Supervision Unit can instantly follow the previous curve of the subsidence situation for the MRT tracks in real time, and ensure the construction will be carried out under the highest principles that performed the MRT safely. Besides, this discussion is taking the construction of TP6A-MFB fully-cased foundation piles as a case to express the results of automated monitoring values and the construction safety management for the subsidence (or uplift) for reference.

3

專題報導

## 壹、前言

有關桃園機場第三航廈主體工程，是因既有桃園機場設施與航廈容量不足，並為增加亞太地區機場群競爭等緣由而規劃興建，完工後將是國家門戶，攸關機場本身、桃園市及臺灣整體發展，必為臺灣招商引資，活絡桃園航空城區域，帶動臺灣經濟產業及就業市場等正向成長貢獻。

本案多功能大樓(MFB)位處第三航廈及第二航廈之間，建物下方有捷運A14車站及捷運潛盾隧道營運中，詳圖1-圖3所示，其保護基樁採全套管鑽掘施作，過程如何減少鑽掘衝擊力，及每組樁機台額外載重下，造成沉陷量是一項工程課題；MFB位處全區域最低窪處，如何有效導排地表水及抽排地下水，減少上浮力亦是另一項工程考驗；期間同時進行開挖工程、工地拆除、施工便道遷移及物料堆置等，而影響監測值變化，那如何正確研判自動監測值，不超過管理值，亦為本案施工安全管理重要議題。

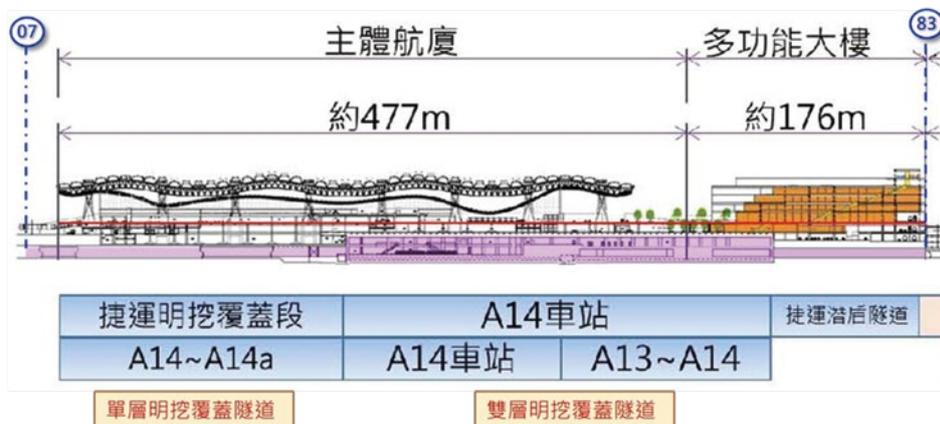
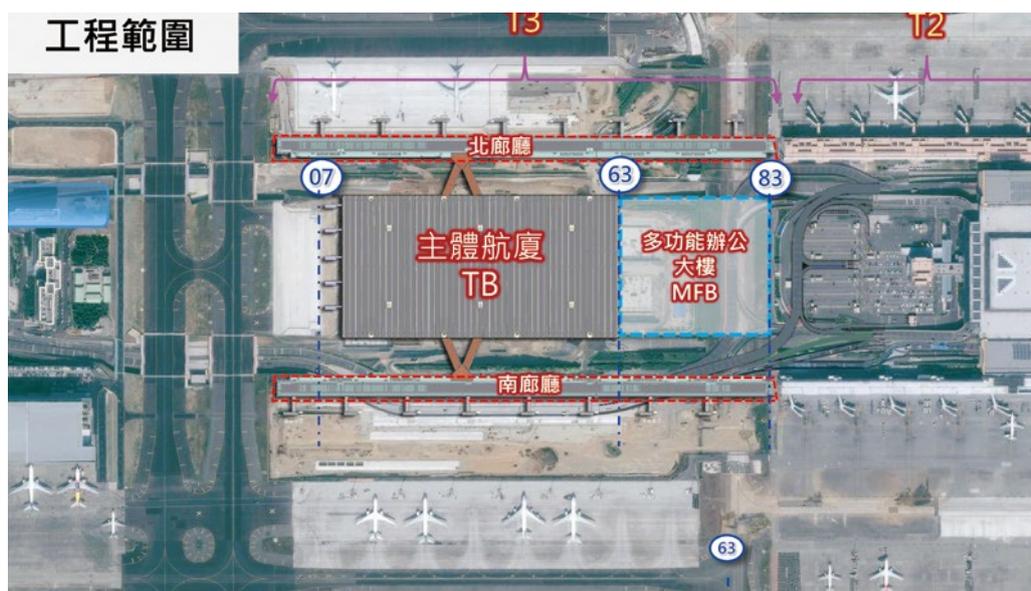


圖1 MFB多功能大樓工程範圍示意圖

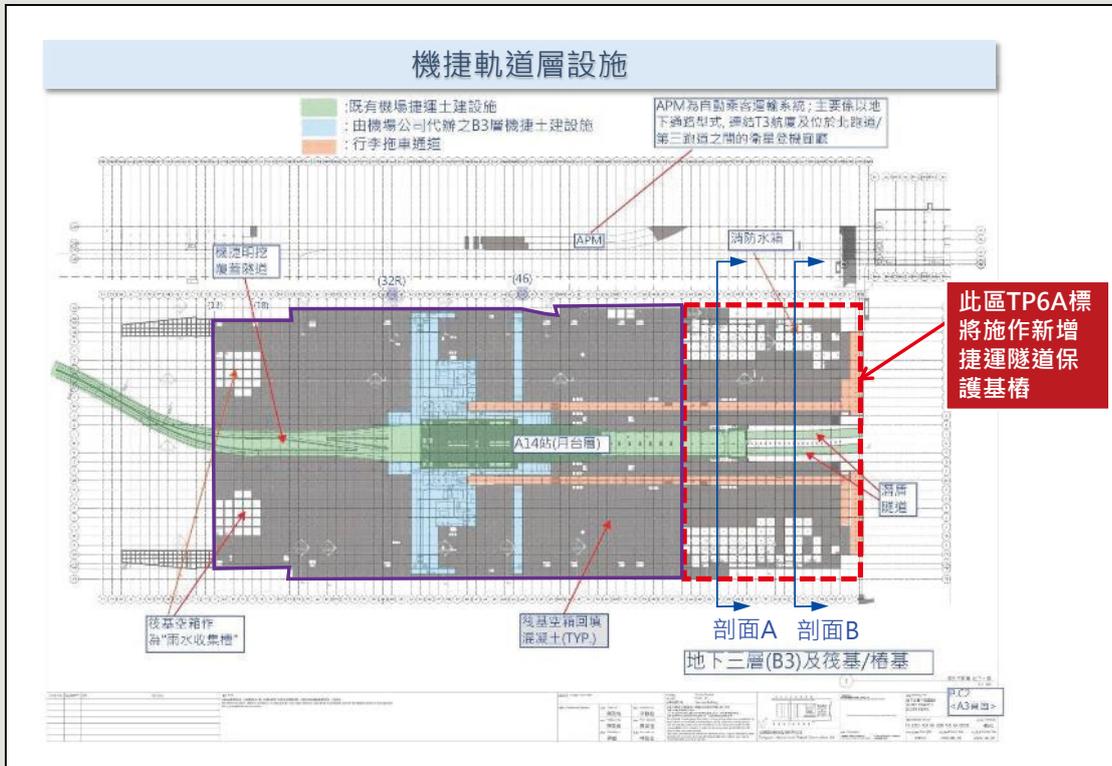


圖2 MFB多功能大樓機捷明挖段及潛盾段平面示意圖

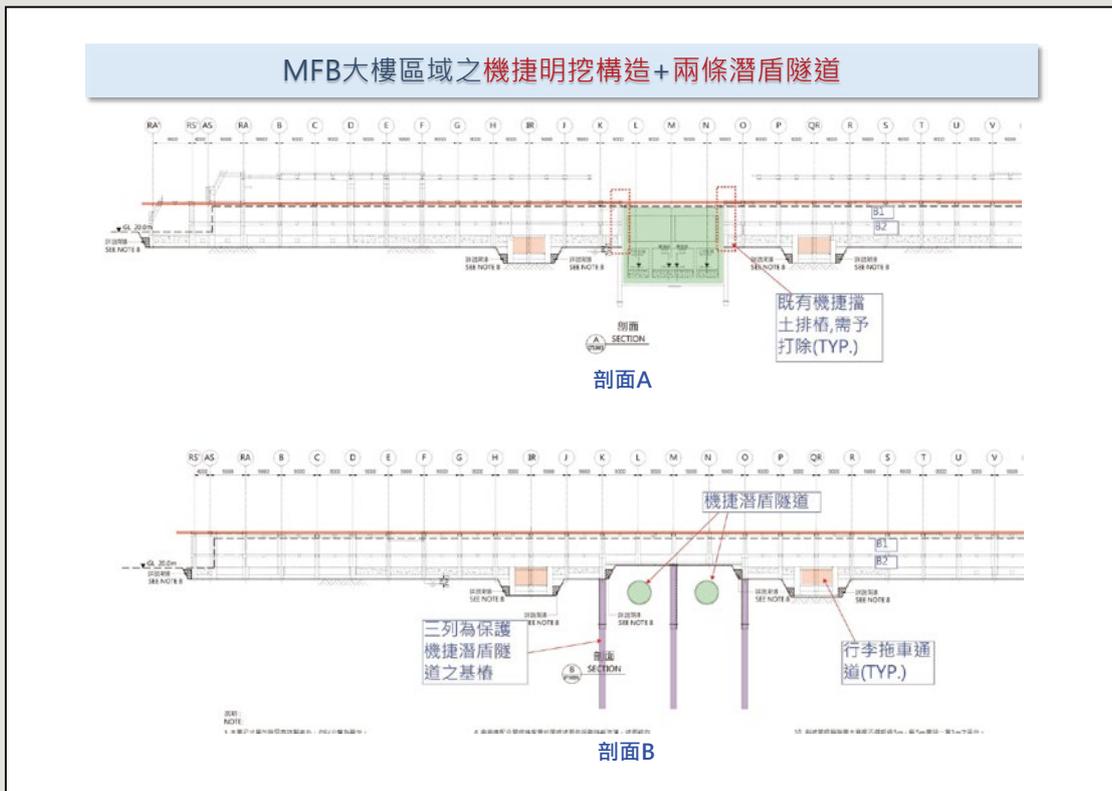


圖3 MFB多功能大樓機捷明挖段及潛盾段剖面示意圖

## 貳、工程概況

### 一、工程概述

本案多功能大樓(MFB) 工區中央有2條上下行潛盾隧道，隧道頂高程約EL.16.8m，隧道底高程約EL.10.7m，結構高達6.1m，其保護基樁採全套管鑽掘施作，共計90支基樁(直徑D:1.5m)，樁長約40.05m~43.85m之間，如含空打段深長約7.0m~10.0m，每支施作長度約50m左右。本案於潛盾段處打設3排保護基樁，分別在K/M/O-line上，約70支基樁，並由3組基樁基台工班陸續進場施作，第1支基樁始於110年11月22日施作，第70支基樁於111年3月26日完成，詳如圖4-圖8所示。

另關於開挖(含拆除)工程，於110年9月16日在捷運限建範圍外開始降挖，且毗鄰捷運建

設施工計畫110年10月26日已獲桃園市政府同意備查，將持續分區、分塊平均開挖，使開挖行為對捷運隧道衝擊最小，詳如圖9-圖10所示。

本案毗鄰捷運建設施工依據大眾捷運系統兩側禁建限建辦法、桃園市辦理大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件管理及審核基準，及桃園市辦理大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件協調作業要點等辦理，已獲桃園市政府核准之三階段安全評估報告，詳如圖11所示；110年7月13日由桃園市土木技師公會開始進行本案施工前鄰房鑑定實地勘驗，110年10月21日公會出具鑑定報告，捷運建物鑑定內容於第四冊，詳列127處既有裂縫…等建物現況紀錄，供施工階段比對，詳如圖12所示；另檢附基樁及開挖施工前之各項會議照片紀錄供參，詳如圖13所示。

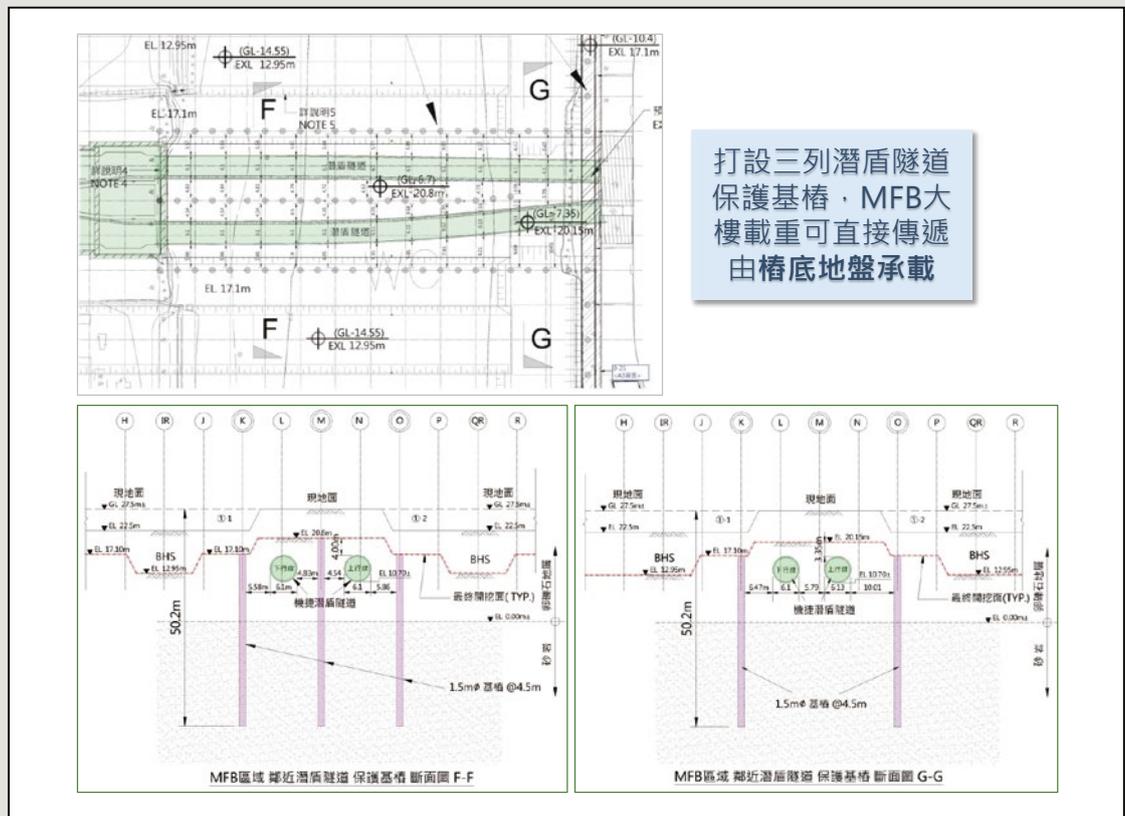


圖4 MFB多功能大樓潛盾段保護基樁平剖面示意圖

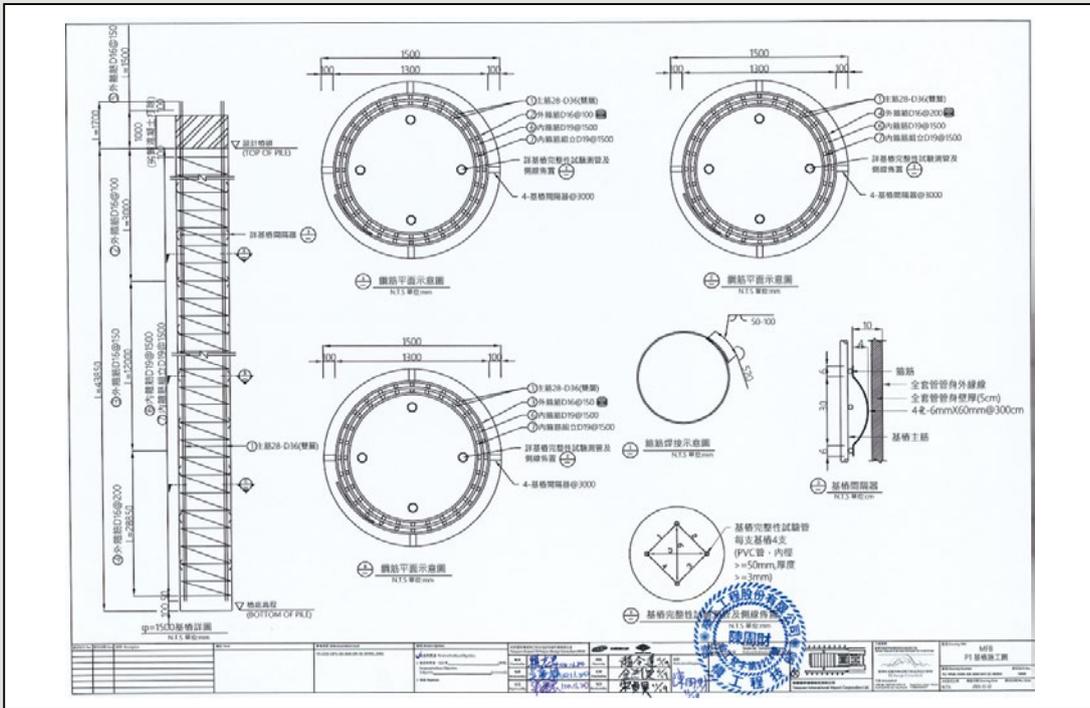


圖5 保護基樁(P1)鋼筋籠施工圖

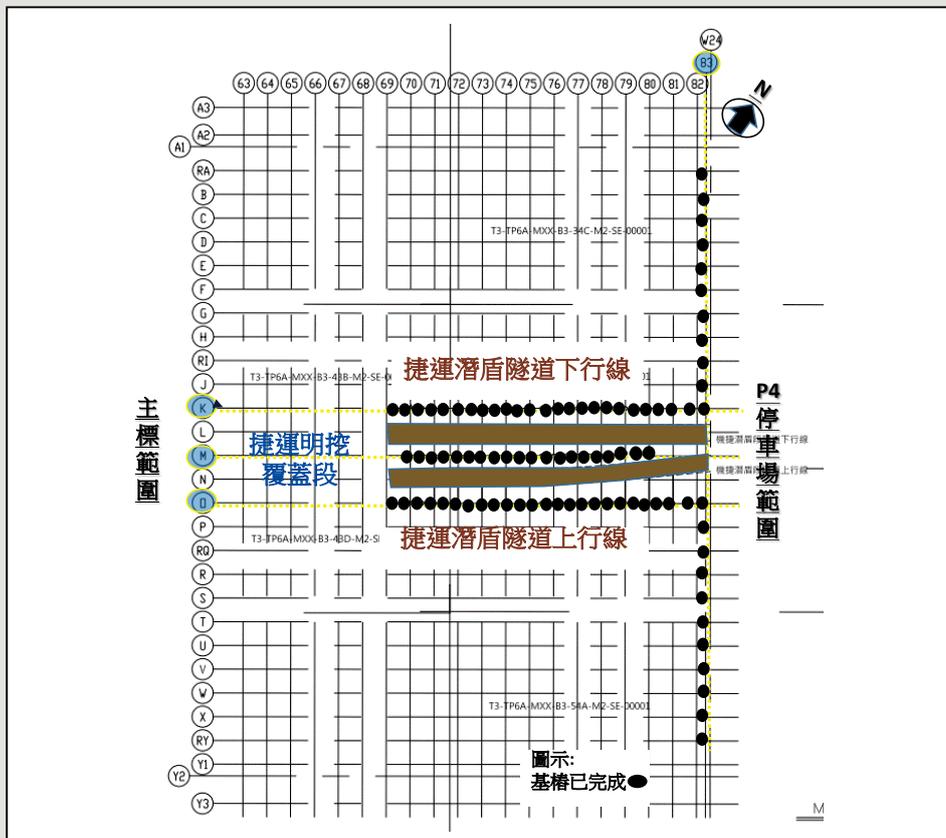


圖6 MFB多功能大樓全區90支基樁配置示意圖

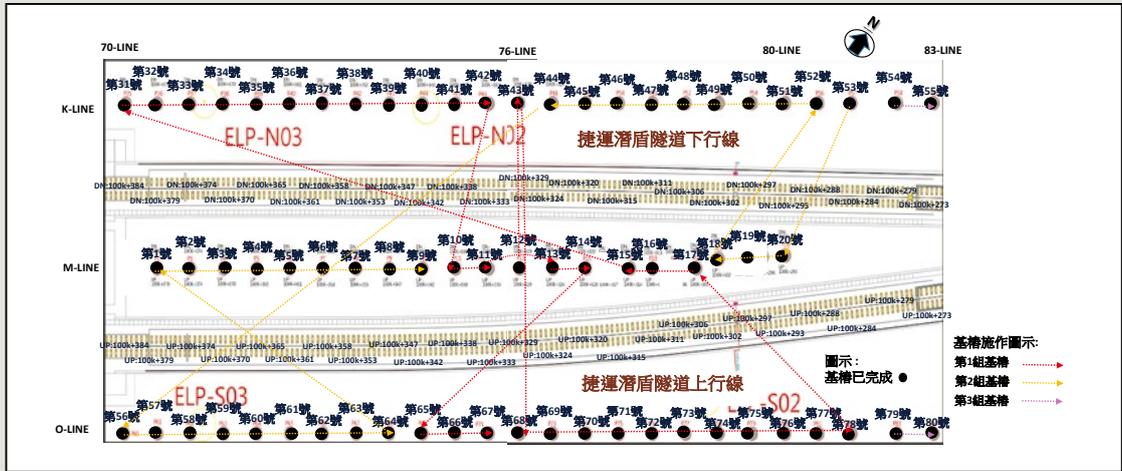


圖7 MFB多功能大樓潛盾段70支基樁配置及工序示意圖(含編號及里程)



圖8 3組基樁基台工班機具及物件等進場照片紀錄

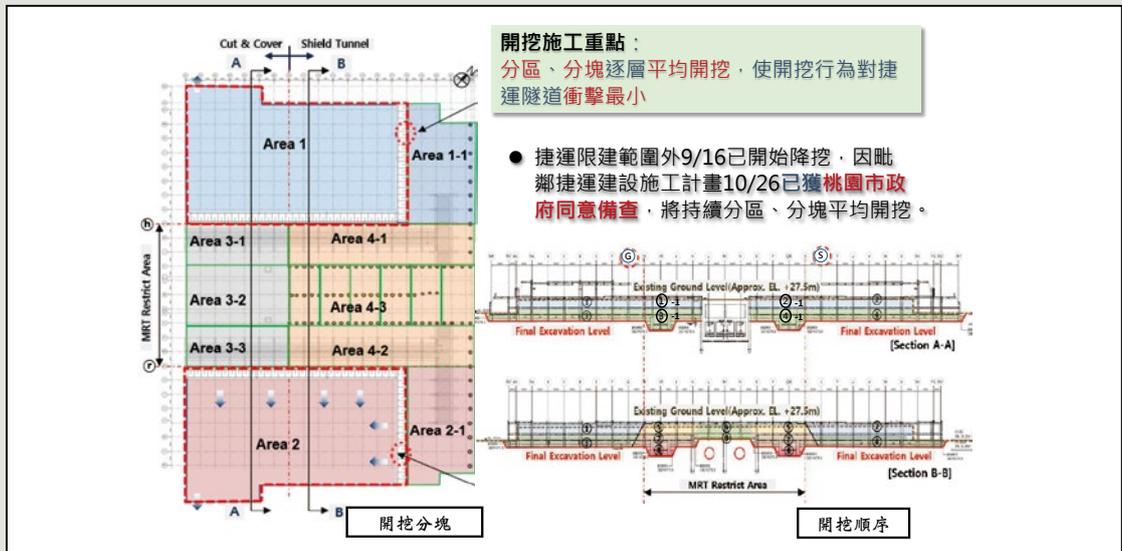


圖9 MFB多功能大樓開挖(含拆除)工程

## 毗鄰捷運建設施工依據

- 開挖施工計畫經第3方公正單位審查通過，已於110年10月26日獲桃園市政府同意備查

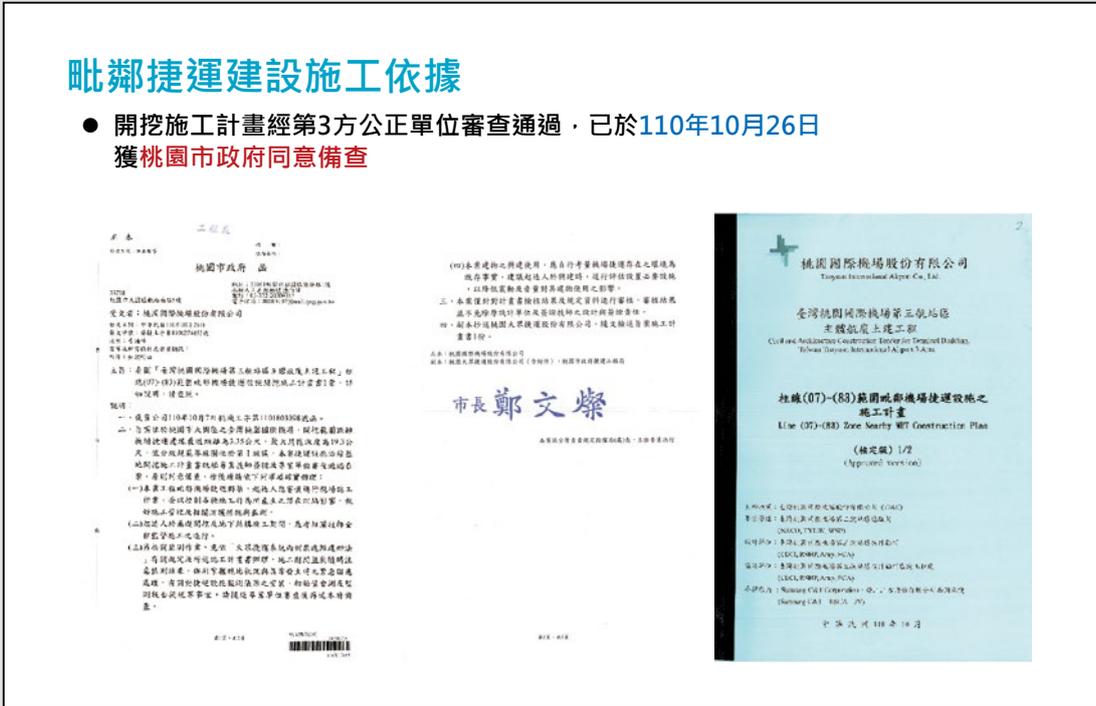


圖10 毗鄰捷運建設施工依據辦況

## 大眾捷運系統兩側禁建限建辦法

- 大眾捷運系統兩側禁建限建辦法
- 桃園市辦理大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件管理及審核基準
- 桃園市辦理大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件協調作業要點
- 已獲桃園市政府核准之三階段安全評估報告：
  - 106年 T3航站區施工對機捷設施之安全影響評估報告(第一階段)
  - 107年 T3航站區施工對機捷設施之安全影響評估報告(第二階段)
  - 107年 T3航站區施工對機捷設施之安全影響評估報告(第三階段)



圖11 毗鄰捷運建設施工依據辦況

## 低衝擊、嚴監控之施工要點

委請技師公會完成**施工前鄰房鑑定報告書**

- 由桃園市土木技師公會於110年7月13日開始進行本案**施工前鄰房鑑定**實地勘驗，110年10月21日公會出具鑑定報告，捷運建物鑑定內容於第四冊，詳列127處既有裂縫、...等建物現況紀錄，供施工階段比對

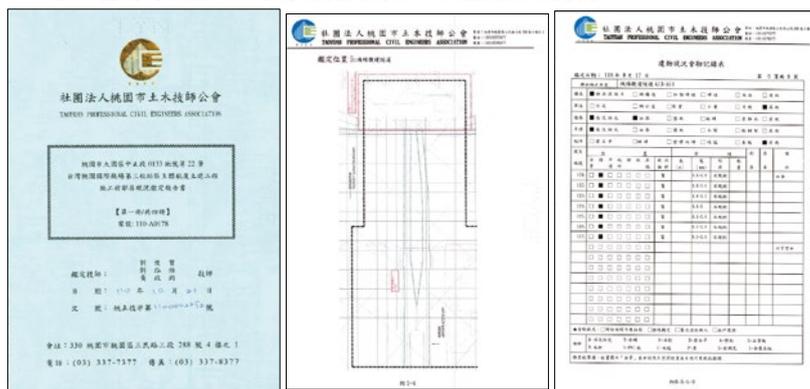


圖12 施工前鄰房鑑定報告書辦況



圖13 基樁及開挖施工前之各項次會議照片紀錄

## 二、地層及水文

工址位於桃園市之西北隅，地形上係屬桃園台地之西緣，地勢大致平緩，地表高程約EL.22m~29m範圍。地層屬更新世之桃園層，桃園層岩性由礫石和上覆約1~2m厚之紅土組成，而礫石主要由矽質砂岩組成，粒徑約在10至30公分之間，膠結及充填物為泥砂，礫石之淘選甚差，大小不一之圓形礫石零亂相混，厚度約25~

30公尺，詳如圖14所示。其下伏之岩層則屬大南灣層，此大南灣層岩性為未固結粉質砂岩，膠結疏鬆，岩體強度遇水即弱化。山腳斷層為本計畫鄰近區域最主要之地質構造，距離約19公里，依據經濟部中央地質調查所出版之五十萬分之一台灣活動斷層分布圖及說明書(2010)，係屬第二類活動斷層，無須考慮區域近斷層效應。

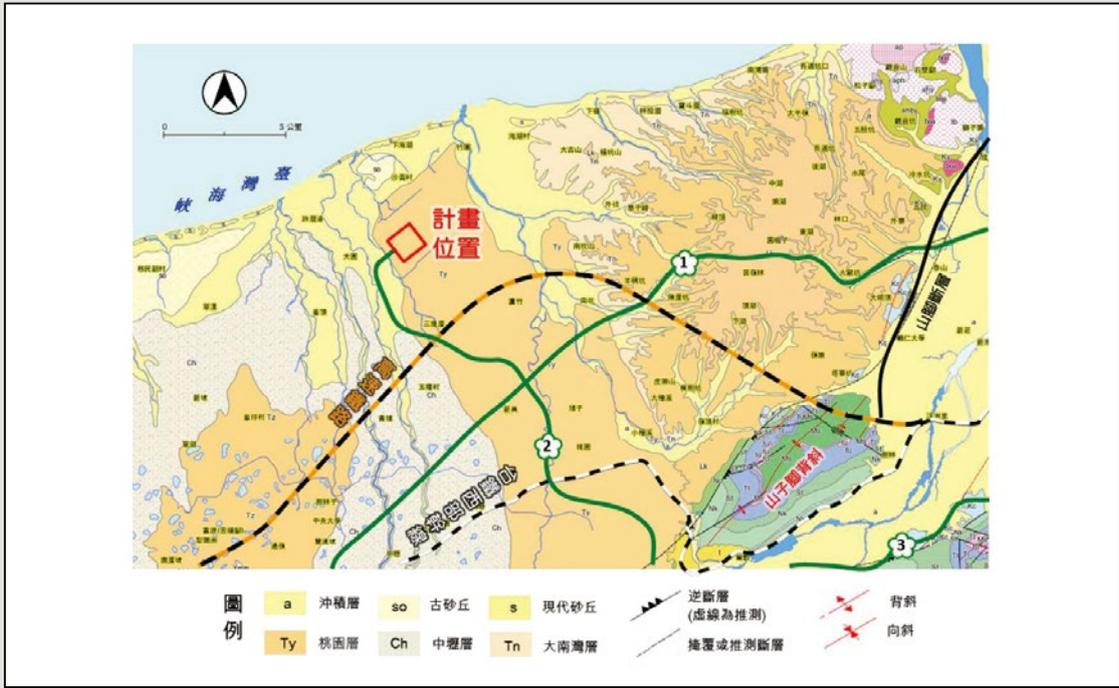


圖14 本工址計畫位置區域地質圖

依補充地質鑽探埋設地下水位觀測井所知，MFB工區範圍內地下水位西側約EL.20.0~21.0m之間；東側約EL.18.0~19.0m之間，且未發現存在壓力水層，詳如圖15所示。

### 三、監測儀器設置觀測

依據臺灣桃園國際機場第三航站區委託機場捷運安全監測服務所知，佈設「捷運安全監測」全自動監測儀器區分為隧道內監測結構裂

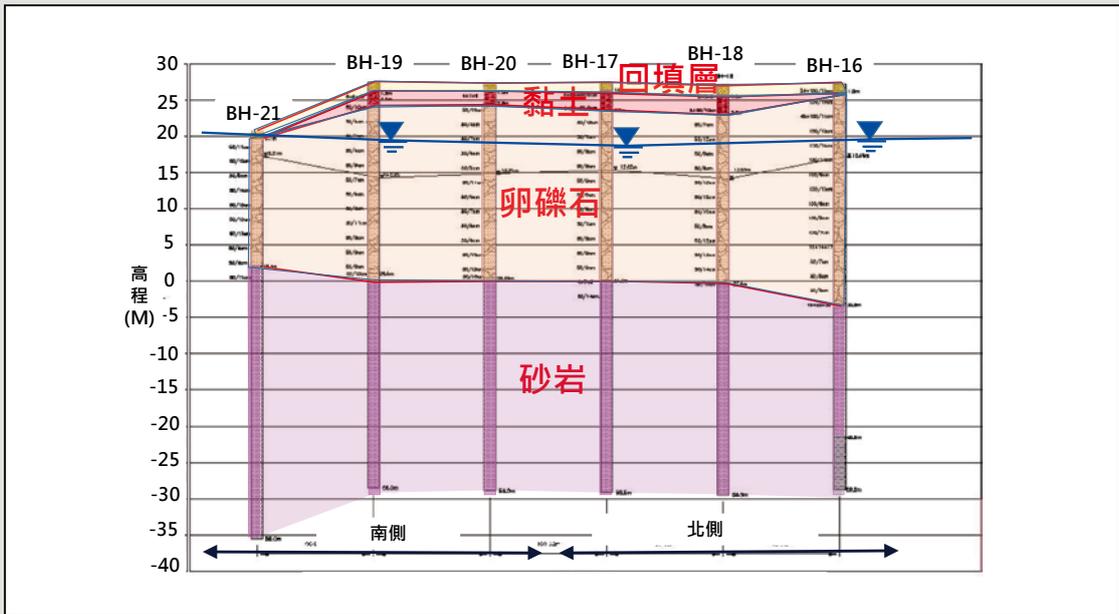


圖15 MFB多功能大樓地質(含地下水位)分佈圖

縫、結構/軌道變位、隧道內空變位及結構傾斜等觀測；隧道外監測地下水水位及工區降水等觀測，詳如圖16所示；有關機捷設施監測管理值與管理機制，其工區基樁施作警戒管理值，主要採軌道沉陷之垂直或水平總位移量於車站潛盾隧道段為變位量超過3mm，且角變量超過

2.5m/5m者；另地下水水位採捷運抗浮安全係數1.07對應之水位高程減1m即可符合，詳如圖17所示；關於監測異常通報流程，如超過警戒值，TIAC業方將發送書面黃色警戒單告知T3監造及承商，並清查現地情況，提出施工計畫之警戒對策及安全評估報告，另通知捷運主管機

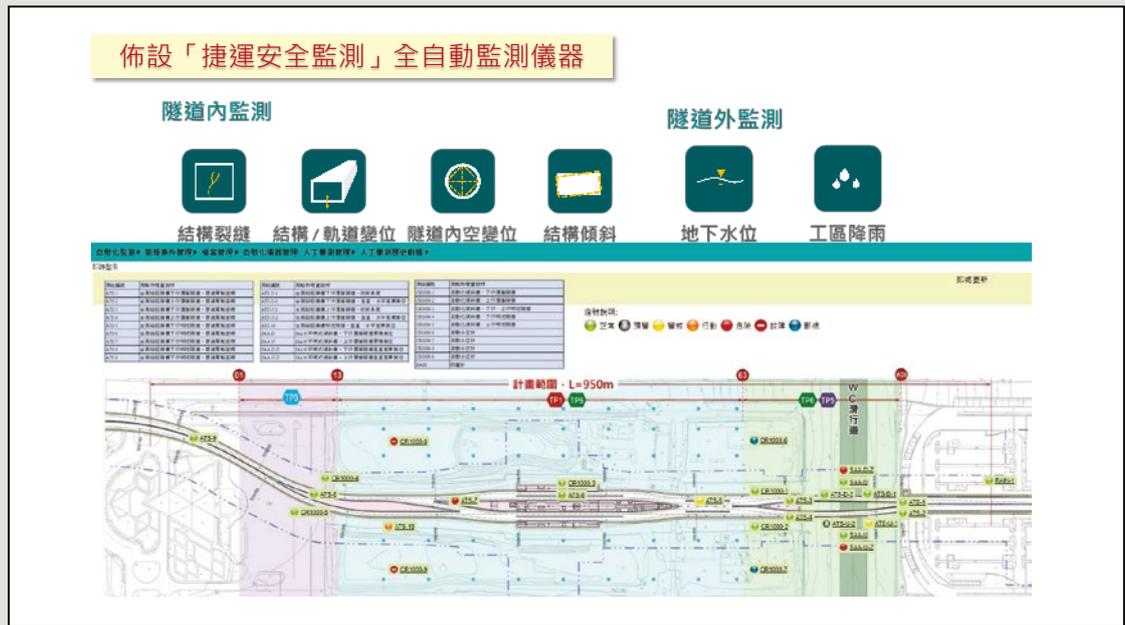


圖16 臺灣桃園國際機場第三航站區委託機場捷運安全監測服務

### 機捷設施監測管理值與管理機制

監測項目	監測儀器	監測管理值				
		軸序	警戒值	行動值	危險值	
捷運設施	結構裂縫	CG/CM	III	肉眼看得見之裂縫	0.25mm	0.3mm
	結構沉陷	ATS/PM	III	14mm	21mm	31mm
	結構傾斜	ETI	III	0.8/1000	0.9/1000	1/1000
	隧道內空變位	ATS/PM	III	5mm	10mm	20mm
	軌道沉陷	ATS/PM	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>垂直或水平總位移量於車站及明挖覆蓋隧道段為5mm；潛盾隧道段為3mm及5m內有2.5mm之垂直或側向扭曲。</li> <li>垂直或水平總位移量於車站及明挖覆蓋隧道段為9mm；潛盾隧道段為5mm及5m內有2.7mm之垂直或側向扭曲。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>垂直或水平總位移量10mm及5m內有3mm之垂直或側向扭曲。</li> </ul>	
地下水	ELP	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>捷運抗浮安全係數1.07對應之水位高程減1m。</li> <li>捷運抗浮安全係數1.07對應之水位高程。</li> </ul>	-	-	

備註  
1. 各階段分標範圍：I:第一階段(柱線13~63)、II:第二階段(柱線1~13)、III:第三階段(柱線13~W24)

圖17 機捷設施監測管理值與管理機制說明

關，副知營運機構辦理，詳如圖18所示；捷運潛盾隧道毗鄰區施工階段將全程加密自動監測回傳頻率至5分鐘以內，使監造工程師(及承商

工程師)可即時掌握捷運軌道沉陷之歷時曲線，確保在捷運安全無虞之最高原則下進行工程施工，詳如圖19所示。

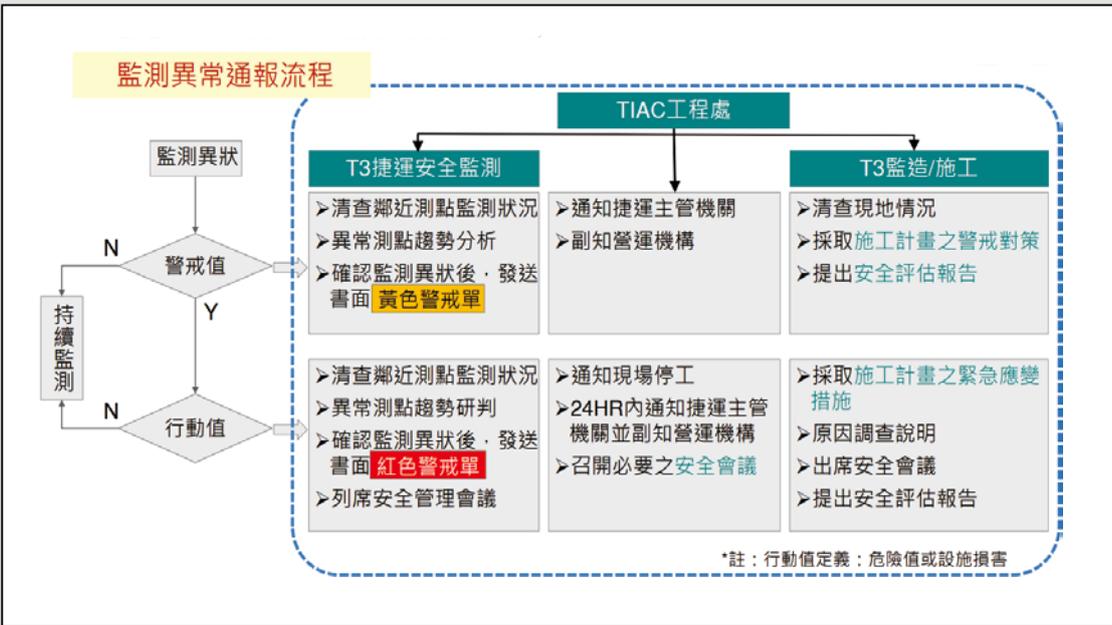


圖18 監測異常通報流程示意圖

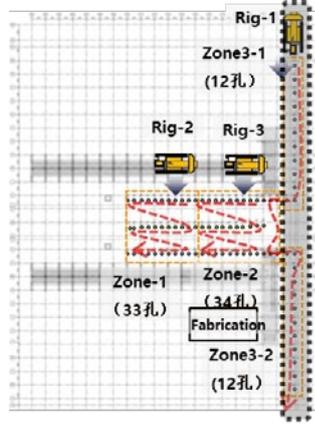
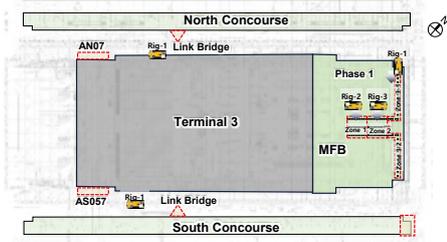
於捷運潛盾隧道毗鄰區施工階段將全程**加密自動監測回傳頻率至5分鐘以內**，使監造工程師可即時掌握捷運軌道沉陷之歷時曲線，確保在捷運安全無虞之**最高原則**下進行工程施工。



圖19 捷運安全監測資料示意圖



**基樁施工重點：**  
採全套管搖管鑽機，搭配樁位鑽堡機進行預引孔方式施工，使基樁鑽掘衝擊降至最低



- 先以較慢之工率搭配即時監控試作首支基樁(約5工作天)，確認工法一切合宜後方以正常工率，依現況由三個工作面施作基樁工程。

圖22 基樁施作示意圖

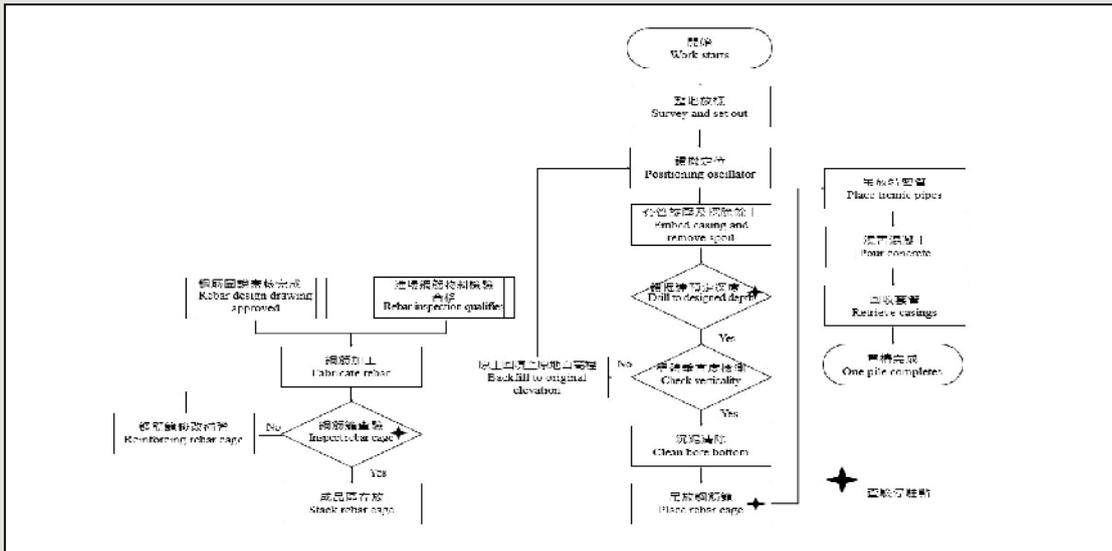


圖23 基樁施作步驟示意圖



圖24 基樁施作工序照片示意圖(1)



基台移至樁定位處



外套管打設至預定位置作業



鑽掘土石作業



鑽掘機挖掘作業



套管深度及垂直度檢查



鋼筋籠吊放



鋼筋籠監造查驗



鋼筋籠吊放

圖25 基樁施作工序照片示意圖 (2)



澆置作業(1)



澆置作業(2)



澆置基樁頂檢查



基樁完整度試驗



基樁劣質混凝土敲除



外套管及機具保養



工班勤前教育及工具箱會議



基樁試樁試驗

圖26 基樁施作工序照片示意圖 (3)



澆置前混凝土一級取樣試驗



澆置前混凝土二級取樣試驗



澆置前混凝土三級取樣試驗



混凝土試體抗壓試驗符合



鋼筋籠物料暫置



鋼筋物料二級取樣



鋼筋物料二級試驗符合規定

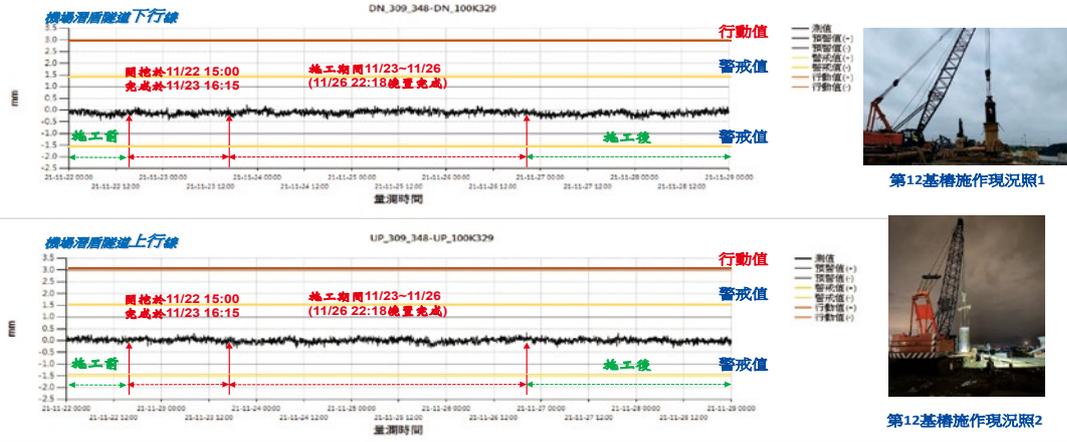


建立品管line群組即時聯繫

圖27 基樁施作工序照片示意圖 (4)

TP6A工程施工概況 MFB 第12號基樁監測

第1支基樁(第1組機-第1支樁)



MFB全管管基樁工程之監測管控表(1/3)										
基樁-施作順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
基樁-編號/位置	12(M/76)	43(K/76)	68(O/76+4.5)	69(O/76+4.5)	53(K/81)	70(O/77)	20(O+1.403/80)	71(O/77+4.5)	19(O+1.403/80+4.5)	18(O+1.033/79)
基樁-總組/樁數	第1組/第1支	第1組/第2支	第1組/第3支	第1組/第4支	第2組/第1支	第1組/第5支	第2組/第2支	第1組/第6支	第2組/第3支	第2組/第4支
控樁-開始時間	110.11.22 15:00	110.11.27 10:00	110.12.02 08:13	110.12.05 09:40	110.12.06 15:45	110.12.10 08:16	110.12.09 08:09	110.12.14 08:25	110.12.14 08:25	110.12.16 16:01
控樁-結束時間	110.11.23 16:15	110.11.29 16:20	110.12.03 16:28	110.12.08 21:00	110.12.07 21:37	110.12.11 18:16	110.12.11 18:06	110.12.14 18:19	110.12.14 18:19	110.12.17 18:19
施工-完成時間	110.11.22 22:18	110.12.01 16:48	110.12.04 17:25	110.12.09 16:27	110.12.08 21:54	110.12.13 15:30	110.12.13 16:10	110.12.15 15:55	110.12.15 18:17	110.12.18 18:24
滑層離地監測位置	DN100K+329 UP100K+329	DN100K+329	UP100K+329	UP100K+324	DN100K+284	UP100K+320	DN100K+293 UP100K+293	UP100K+315	DN100K+297 UP100K+297	DN100K+302 UP100K+302
監測情形	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)	無異樣 (未超過±0.8mm, 無發生即時警報)	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)				
基樁-施作順序	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
基樁-編號/位置	72(O/77)	52(O/78+4.5)	73(O/78+4.5)	51(K/80)	74(O/78)	50(K/79+4.5)	75(O/79+4.5)	49(K/79)	76(O/80)	48(K/78+4.5)
基樁-總組/樁數	第1組/第7支	第2組/第5支	第1組/第8支	第2組/第6支	第1組/第9支	第2組/第7支	第1組/第10支	第2組/第8支	第1組/第11支	第2組/第9支
控樁-開始時間	110.12.18 12:07	110.12.20 08:17	110.12.22 09:26	110.12.22 20:00	110.12.24 08:32	110.12.24 16:38	110.12.27 08:10	110.12.28 08:10	110.12.29 08:16	110.12.30 08:16
控樁-結束時間	110.12.20 16:08	110.12.21 18:00	110.12.22 21:24	110.12.23 18:30	110.12.24 16:55	110.12.25 16:59	110.12.27 19:21	110.12.28 16:10	110.12.30 15:30	110.12.31 16:15
施工-完成時間	110.12.21 16:45	110.12.22 18:27	110.12.23 16:55	110.12.24 16:33	110.12.25 16:57	110.12.27 16:50	110.12.28 16:00	110.12.29 16:30	110.12.31 16:30	111.01.05 16:15
滑層離地監測位置	UP100K+311	DN100K+288	UP100K+306	DN100K+288	UP100K+302	DN100K+297	UP100K+297	UP100K+302	UP100K+293	UP100K+306
監測情形	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)									
基樁-施作順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
基樁-編號/位置	77(O/80+4.5)	47(K/78)	78(O/81)	46(K/77+4.5)	45(K/77)	17(O/78+4.5)	16(O/78)	44(K/76+4.5)	15(M/77+4.5)	56(O/70)
基樁-總組/樁數	第1組/第12支	第2組/第10支	第1組/第13支	第2組/第11支	第2組/第12支	第1組/第14支	第1組/第15支	第2組/第13支	第1組/第16支	第2組/第14支
控樁-開始時間	111.01.05 08:00	111.01.04 07:30	111.01.05 07:50	111.01.05 08:30	111.01.08 07:30	111.01.07 07:30	111.01.10 08:00	111.01.10 16:30	111.01.11 08:25	111.01.17 15:30
控樁-結束時間	111.01.07 17:15	111.01.05 15:47	111.01.05 16:29	111.01.06 21:29	111.01.08 16:45	111.01.07 17:30	111.01.10 16:04	111.01.11 17:00	111.01.13 17:00	111.01.18 17:30
施工-完成時間	111.01.04 16:48	111.01.05 16:33	111.01.06 16:09	111.01.07 16:01	111.01.10 15:44	111.01.08 17:54	111.01.11 17:16	111.01.12 16:30	111.01.14 17:30	111.01.19 16:40
滑層離地監測位置	UP100K+285	DN100K+311	UP100K+284	UP100K+315	UP100K+320	DN100K+308	DN100K+311	UP100K+324	DN100K+315	UP100K+384
監測情形	無異樣 (未超過±0.5mm, 無發生即時警報)									

圖30 基樁施作順序及監測管理紀錄表(1)

製作時間:111.03.08 10:00										
基準-施作順序	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
基準-編號/位置	31(K/70)	57(O/70+4.5)	32(K/70+4.5)	58(O/71)	33(K/71)	59(O/71+4.5)	34(K/71+4.5)	35(K/72)	60(O/72)	23(O/82+2.1)
基準-組數/施作段	第1組/第17支	第2組/第15支	第1組/第18支	第2組/第16支	第1組/第19支	第2組/第17支	第1組/第20支	第1組/第21支	第2組/第18支	第3組/第1支
挖護-開始時間	111.01.17 13:30	111.01.20 08:30	111.01.20 08:40	111.01.24 08:30	111.01.24 08:30	111.01.26 08:30	111.01.26 08:30	111.02.07 10:00	111.02.08 10:00	111.02.09 09:00
挖護-結束時間	111.01.18 15:30	111.01.21 20:40	111.01.21 15:40	111.01.24 17:30	111.01.24 17:30	111.01.26 17:30	111.01.26 17:30	111.02.08 15:30	111.02.08 17:30	111.02.10 10:00
澆置-完成時間	111.01.19 19:30	111.01.22 15:45	111.01.22 17:25	111.01.25 17:00	111.01.25 17:00	111.01.27 17:00	111.01.27 16:30	111.02.09 16:37	111.02.10 15:30	111.02.11 17:00
潛層監測監測位置	DN:100k+384	UP:100k+370	DN:100k+379	UP:100k+374	DN:100k+374	UP:100k+370	DN:100k+370	DN:100k+365	UP:100k+365	-
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									
基準-施作順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
基準-編號/位置	36(K/72+4.5)	61(O/72+4.5)	37(K/73)	24(D/82+2.1)	62(O/73)	38(K/73+4.5)	25(B/82+2.1)	63(O/73+4.5)	39(K/74)	26(B/82+2.1)
基準-組數/施作段	第1組/第22支	第2組/第19支	第3組/第23支	第3組/第2支	第2組/第20支	第1組/第24支	第3組/第3支	第2組/第21支	第1組/第25支	第3組/第4支
挖護-開始時間	111.02.10 08:00	111.02.11 08:00	111.02.12 08:00	111.02.12 08:00	111.02.14 12:00	111.02.15 08:00	111.02.15 18:00	111.02.18 08:00	111.02.17 07:30	111.02.17 07:30
挖護-結束時間	111.02.10 16:10	111.02.11 15:10	111.02.12 18:20	111.02.12 16:30	111.02.16 15:00	111.02.15 21:00	111.02.15 17:00	111.02.18 15:30	111.02.17 15:30	111.02.17 16:30
澆置-完成時間	111.02.11 16:10	111.02.12 16:20	111.02.14 15:00	111.02.14 16:00	111.02.17 16:40	111.02.16 15:30	111.02.16 16:30	111.02.19 16:30	111.02.18 15:30	111.02.18 16:30
潛層監測監測位置	DN:100k+361	UP:100k+361	DN:100k+358	DN:100k+284	UP:100k+358	DN:100k+353	DN:100k+284	UP:100k+353	DN:100k+347	DN:100k+281
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									
基準-施作順序	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
基準-編號/位置	64(O/74)	40(K/74+4.5)	21(RA/82+2.1)	10(M/74+4.5)	41(K/75)	22(B/82+2.1)	20(M/71)	42(K/75+4.5)	27(G/82+2.1)	10(M/75)
基準-組數/施作段	第2組/第22支	第1組/第26支	第3組/第5支	第2組/第23支	第1組/第27支	第2組/第6支	第2組/第24支	第3組/第28支	第1組/第29支	第3組/第2支
挖護-開始時間	111.02.21 08:30	111.02.19 08:30	111.02.19 08:30	111.02.23 08:30	111.02.23 08:30	111.02.25 08:30	111.03.01 08:30	111.02.28 08:30	111.02.28 12:30	111.03.02 08:00
挖護-結束時間	111.02.22 16:30	111.02.22 16:15	111.02.22 16:15	111.02.25 17:00	111.02.25 17:00	111.02.25 17:30	111.03.02 15:40	111.02.28 17:00	111.03.01 17:00	111.03.02 15:40
澆置-完成時間	111.02.24 14:30	111.02.24 15:10	111.02.24 16:30	111.02.28 16:25	111.02.28 16:45	111.02.28 17:00	111.03.03 16:00	111.03.01 16:15	111.03.01 16:15	111.03.03 16:00
潛層監測監測位置	UP:100k+347	DN:100k+342	DN:100k+284	UP:100k+379	DN:100k+338	DN:100k+284	UP:100k+374	DN:100k+333	DN:100k+284	UP:100k+342
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									

圖31 基樁施作順序及監測管理紀錄表(2)

製作時間:111.05.10 09:00										
基準-施作順序	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
基準-編號/位置	28(B/82+2.1)	11(O/75+4.5)	30(M/71+4.5)	54(K81+6.175)	13(M/76+4.5)	40(M/72)	55(K82+2.1)	14(M/77)	5(M/72+4.5)	30(K82+2.1)
基準-組數/施作段	第3組/第8支	第1組/第30支	第2組/第25支	第3組/第9支	第1組/第31支	第2組/第26支	第3組/第10支	第1組/第32支	第2組/第27支	第3組/第11支
挖護-開始時間	111.03.03 08:30	111.03.04 08:30	111.03.04 08:30	111.03.07 08:10	111.03.07 08:10	111.03.09 08:00	111.03.09 08:00	111.03.09 08:00	111.03.11 08:00	111.03.11 08:00
挖護-結束時間	111.03.03 19:30	111.03.04 17:00	111.03.07 18:20	111.03.07 15:10	111.03.07 18:20	111.03.09 21:00	111.03.09 15:30	111.03.09 17:30	111.03.11 17:00	111.03.11 17:00
澆置-完成時間	111.03.04 16:00	111.03.05 16:10	111.03.08 15:00	111.03.08 16:00	111.03.08 17:00	111.03.10 16:00	111.03.10 17:00	111.03.10 17:00	111.03.12 16:00	111.03.12 15:30
潛層監測監測位置	DN:100k+276	UP:100k+253	UP:100k+370	DN:100k+280	UP:100k+324	UP:100k+365	DN:100k+276	UP:100k+320	UP:100k+361	DN:100k+276
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									
基準-施作順序	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
基準-編號/位置	65(O/74)	29(K82+2.1)	60(M/73)	66(M/73+4.5)	70(M/73)	67(O/74)	80(M/74)	79(O81+6.175)	90(M/74+4.5)	80(K82+2.1)
基準-組數/施作段	第1組/第33支	第3組/第12支	第2組/第28支	第1組/第34支	第2組/第29支	第1組/第35支	第2組/第30支	第3組/第13支	第2組/第31支	第3組/第4支
挖護-開始時間	111.03.11 08:00	111.03.14 08:00	111.03.14 08:00	111.03.15 08:00	111.03.17 08:00	111.03.17 08:00	111.03.21 07:00	111.03.21 07:00	111.03.24 07:00	111.03.25 08:00
挖護-結束時間	111.03.13 16:00	111.03.14 16:00	111.03.15 16:45	111.03.15 17:00	111.03.18 15:30	111.03.17 17:40	111.03.22 17:00	111.03.23 16:00	111.03.24 16:00	111.03.25 16:00
澆置-完成時間	111.03.14 15:00	111.03.15 15:00	111.03.16 16:45	111.03.16 15:30	111.03.19 17:30	111.03.18 15:00	111.03.23 17:00	111.03.24 17:00	111.03.24 16:00	111.03.26 16:00
潛層監測監測位置	UP:100k+342	DN:100k+276	UP:100k+358	UP:100k+358	UP:100k+353	UP:100k+333	UP:100k+347	UP:100k+280	UP:100k+342	UP:100k+276
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									
基準-施作順序	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
基準-編號/位置	81(R82+2.1)	82(R82+2.1)	83(R82+2.1)	84(S82+2.1)	85(T82+2.1)	86(U82+2.1)	87(V82+2.1)	88(W82+2.1)	89(X82+2.1)	90(Y82+2.1)
基準-組數/施作段	第3組/第15支	第3組/第16支	第3組/第17支	第3組/第18支	第3組/第19支	第3組/第20支	第3組/第21支	第3組/第22支	第3組/第23支	第3組/第24支
挖護-開始時間	111.03.29 08:00	111.03.31 07:00	111.04.06 07:30	111.04.06 07:30	111.04.11 07:30	111.04.13 07:30	111.04.18 07:30	111.04.22 07:30	111.04.27 07:30	111.05.03 12:30
挖護-結束時間	111.03.29 17:00	111.03.31 17:00	111.04.06 17:30	111.04.06 17:00	111.04.11 17:00	111.04.13 17:00	111.04.18 17:00	111.04.22 16:30	111.04.27 17:00	111.05.03 21:30
澆置-完成時間	111.03.30 16:40	111.04.01 18:00	111.04.07 17:30	111.04.07 17:00	111.04.12 16:00	111.04.15 17:00	111.04.21 16:00	111.04.23 17:00	111.04.29 17:00	111.05.04 16:30
潛層監測監測位置	UP:100k+276									
監測情形	無異樣 (未達±0.5mm, 無發生即時警報)									

圖32 基樁施作順序及監測管理紀錄表(3)

警戒值；該里程最大負值變位量-7.26mm，相對應角變量+0.1mm/5m，亦未達警戒值；該里程最大正值角變量+2.43mm/5m，相對應變位量-0.75mm/5m，也未達警戒值，故基樁施作期間上行線皆未達警戒管理值，期間符合規定要求。詳如圖33-圖34所示。整體變位量曲線趨勢為上抬至下沉，再上抬發生過程。

警戒值；該里程最大負值變位量-7.68mm，

相對應角變量+0.13mm/5m，亦未達警戒值；該里程最大正值角變量+2.43mm/5m，相對應變位量-0.75mm/5m，也未達警戒值，故基樁施作期間上行線皆未達警戒管理值，期間符合規定要求。詳如圖33-圖34所示。整體變位量曲線趨勢為上抬至下沉，再上抬發生過程。

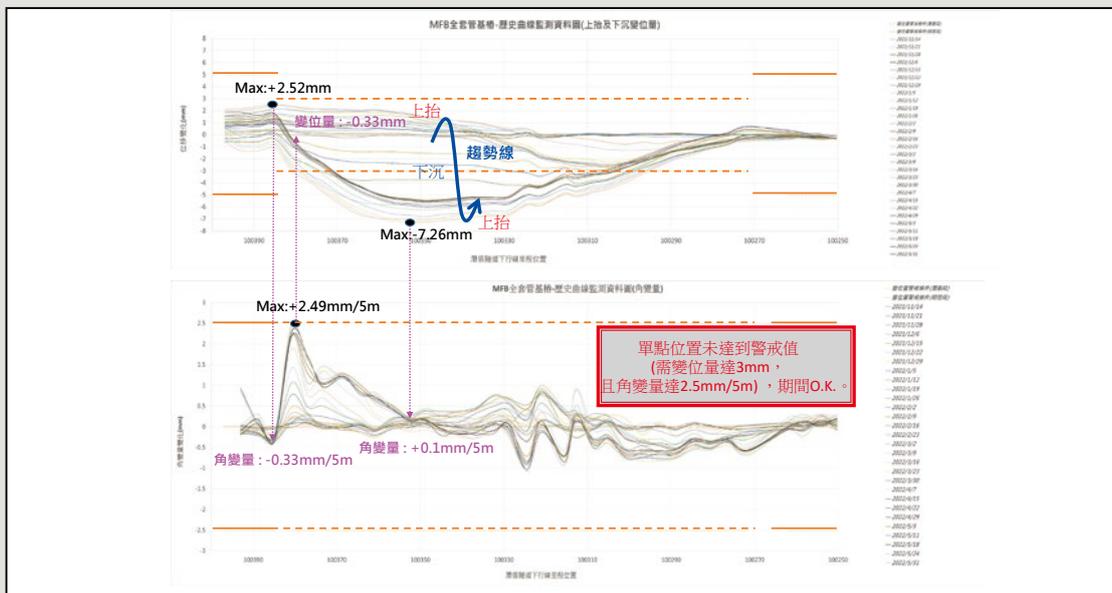


圖33 潛盾段下行線歷時曲線變位量及角變量圖示

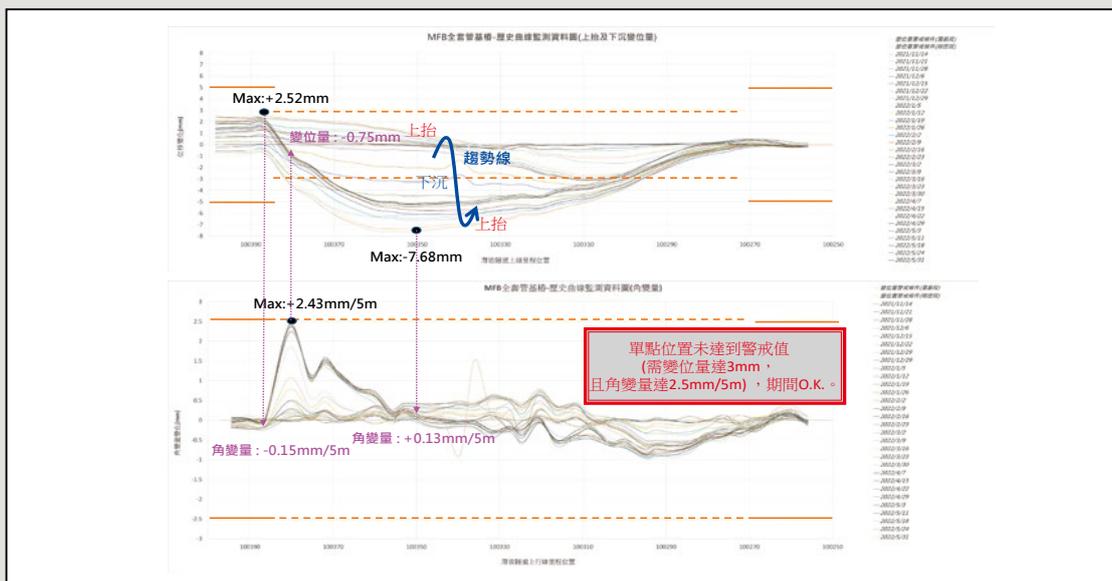


圖34 潛盾段上行線歷時曲線變位量及角變量圖示

## 二、地下水位及抽水工程影響

經查機場捷運安全監測服務之24小時累積雨量計，所得基樁施作時期，單日累積雨量計未超過60mm，詳如圖35所示，另查施作期間北南水位觀測井歷時曲線圖得知，水位於EL.10.0m-EL.20.0m範圍上下起伏，是為全工區最低窪雨水匯集處及抽水井持續抽水運作等因

素造成，詳如圖36所示。經評估MFB工區計劃將地下水持續控制在BHS隧道下面，則潛盾隧道抗浮安全係數高達 $FS=5.88$ ，遠大於規範值 $FS=1.07$ ，故工區抽水工程將嚴格管控，以確保潛盾隧道抗浮能力安全無虞，詳如圖37所示，惟期間抽水及地下水位降低過程，現場地下水水位由EL.20.0m降至EL.10.0m趨勢辦理，經計算地下水位於EL+20.15m時，抗浮能力約為

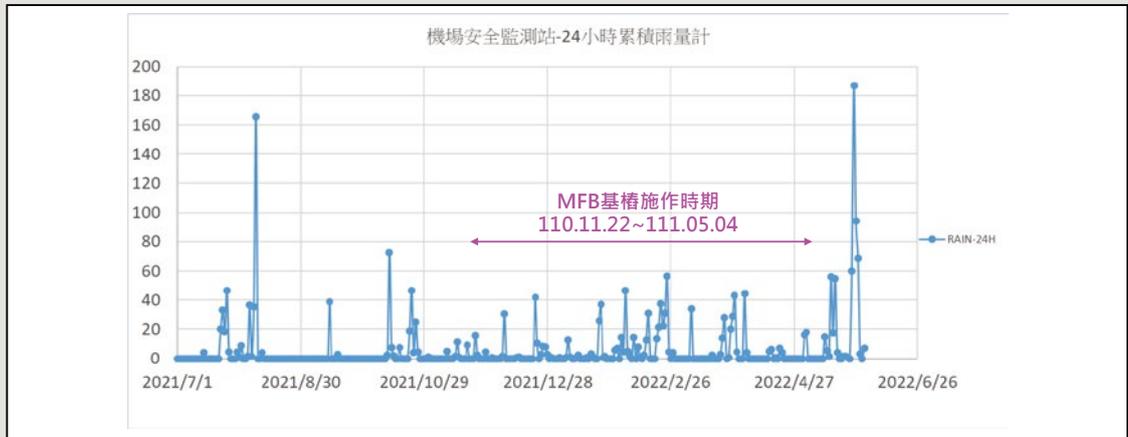


圖35 MFB工區之24小時累積雨量計

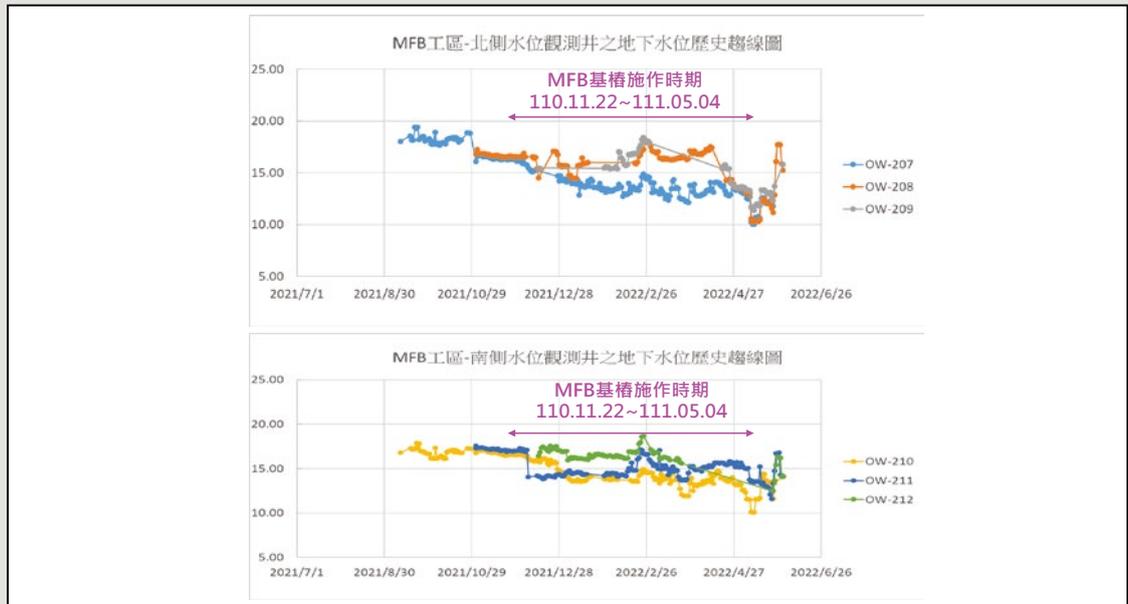


圖36 MFB工區之北及南測地下水水位歷時曲線圖

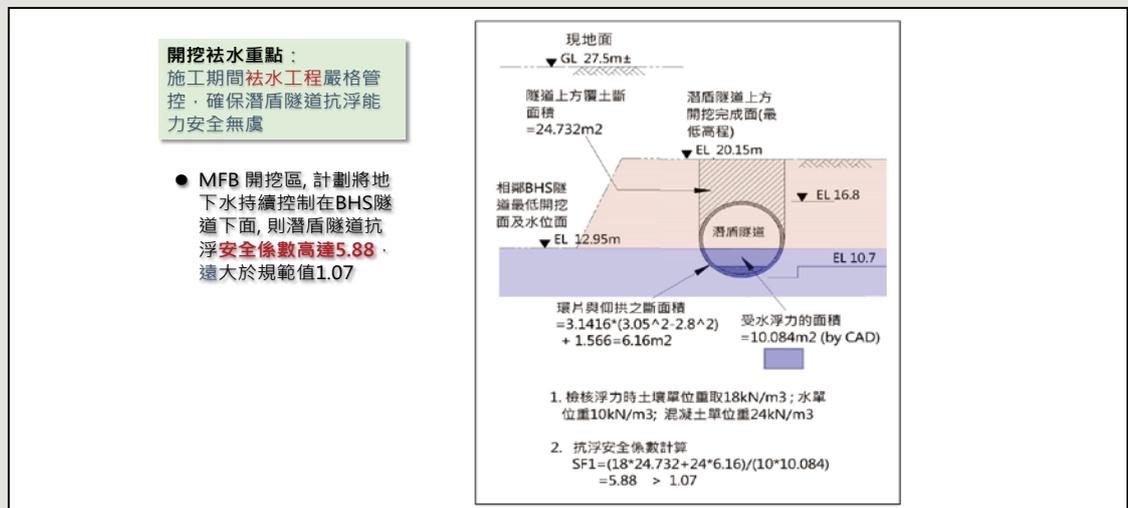


圖37 MFB工區之祛水井上浮力檢討

FS=1.433；地下水位於EL+17.26m時，抗浮能力約為FS=1.967，故現況皆符合抗浮能力安全FS=1.07以上規定。

## 肆、施工安全及監測管理之探討

### 一、保護基樁及開挖回填工程

關於MFB多功能大樓工區從開工前期的鑽探調查、物理地球探測調查、既有管線調查、機場舊剛性跑道破攪碎、祛水井及水位計裝設、監測儀器安裝等、至基樁打設、開挖護坡工程、結構工程及施工便道整修各項目下，已說明本工程龐大性及複雜性。

依前章所述潛盾段下行線(與上行線)歷時曲線變位量及角變量所知，各里程處皆尚未到達警戒值，亦符合管理值要求內，惟變位量之物理意義才是本案需抽絲剝繭探討的，故將潛盾段下行線(與上行線)歷時曲線變位量，依時間分110年11月~12月、111年1月、2月、3月、4月、5月份，共6時段探討；並依載重情況分基樁基台施作加壓、開挖解壓及回填加壓考量，以各里程及各時期之歷時曲線變化量呈現了解，詳如圖38-圖43所示。

MFB多功能大樓明挖覆蓋段是屬剛性構造物，潛盾隧道段是屬柔性構造物，整體變位量的變化性以後者較為明顯。查看MFB全套管基樁110年11月14日至110年12月31日潛盾段下行線歷時曲線變位量監測資料圖所知，約110年12月初開挖解壓情形，造成100K+400m~100K+320m範圍有上抬趨勢，最大值為+2.52mm；分別2組基樁工班及機台進場施作(每組工班機台約350~400t加載)，明顯於100K+320m~100K+270m範圍有下沉趨勢，最大值為-1.15mm，詳如圖38所示。另看MFB全套管基樁111年01月01日至111年01月31日潛盾段下行線歷時曲線變位

量監測資料圖所知，約110年12月底回填加壓作業，改善100K+400m~100K+320m範圍有下沉趨勢，最大值為+1.68mm；2組基樁工班及機台接續施作，於100K+320m~100K+270m範圍有下沉趨勢，最大值變為-2.63mm，詳如圖38所示。查知MFB全套管基樁111年02月01日至111年02月28日潛盾段下行線歷時曲線變位量監測資料圖所知，約2組基樁工班及機台接續施作，100K+390m~100K+310m範圍有再下沉趨勢，最大值為-1.50mm，詳如圖39所示。查知MFB全套管基樁111年03月01日至111年03月31日潛盾段下行線歷時曲線變位量監測資料圖所知，約3組基樁工班及機台接續施作，100K+400m~100K+250m範圍有整體下沉趨勢，約100K+350m、100K+308m及100K+270m各里程最大值分別為-7.26mm、4.40mm、-0.17mm，詳如圖39所示。查知MFB全套管基樁111年04月01日至111年04月30日潛盾段下行線歷時曲線變位量監測資料圖所知，於潛盾段70支基樁完成後，接續開挖北側(西端)MRT上方及旁側土方解壓，造成100K+400m~100K+290m範圍有上抬趨勢，最大值為-5.85mm，詳如圖40所示。續查知MFB全套管基樁111年05月01日至111年05月31日潛盾段下行線歷時曲線變位量監測資料圖所知，接續開挖北側(東端)MRT上方及旁側土方解壓，影響100K+370m~100K+260m範圍有上抬趨勢，最大值為-5.49mm，詳如圖40所示。

綜上所述，基樁機具施作期間加載及土方回填加載行為，實屬將監測值變小(變負)之下沉現象；土方開挖解壓行為，實屬將監測值變大(變正)之上抬現象，在未考量水位上浮及土壤行為下，加載下沉及解壓上抬，是本案MFB多功能大樓潛盾隧道段施工安全及監造管理之重要準則。另潛盾段上行線歷時曲線變位量探討說明，詳如圖41-圖43所示。在由本案隧道一等水準測量數據所知，上下線沉陷點曲線圖是近似相同的，詳如圖44-圖45所示。

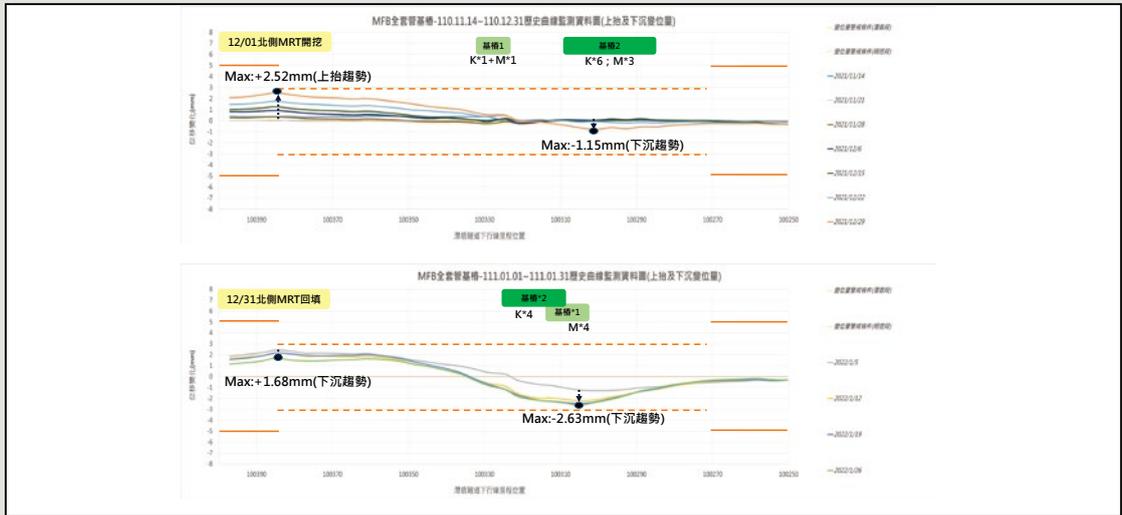


圖38 110.11.14~111.01.31 下行線歷時曲線變位置示意圖

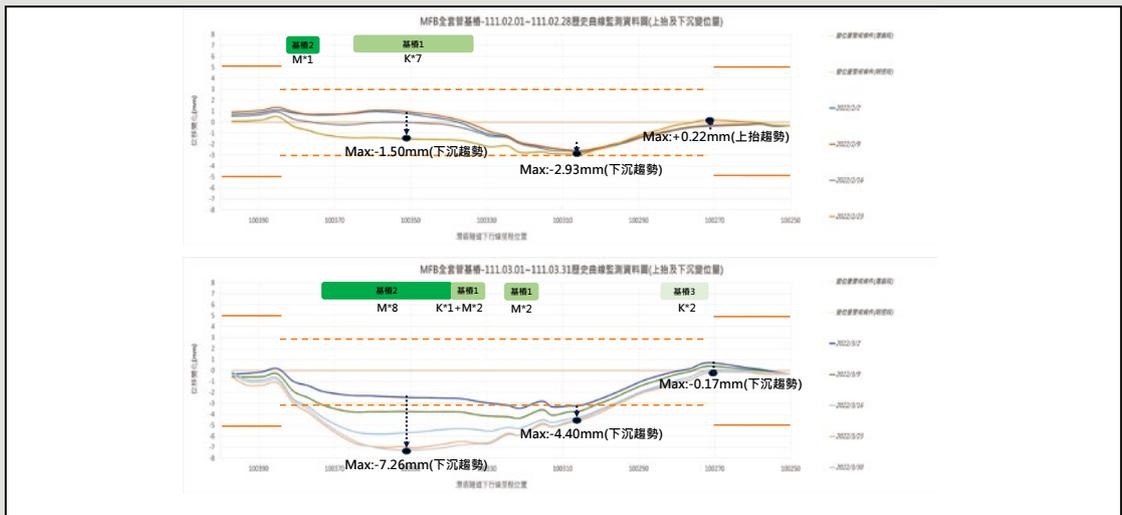


圖39 111.02.01~111.03.31 下行線歷時曲線變位置示意圖

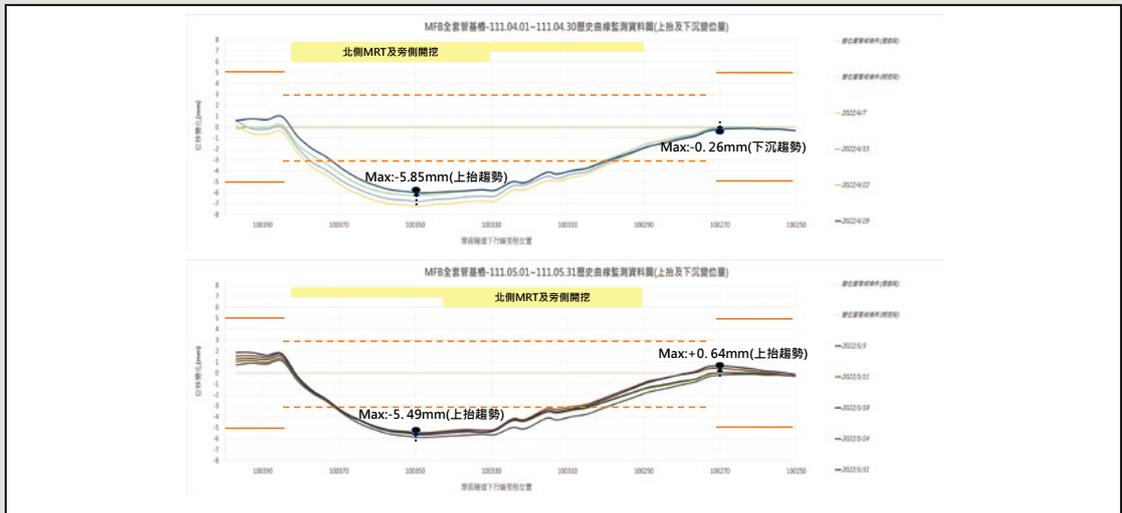


圖40 111.04.01~111.05.31 下行線歷時曲線變位置示意圖

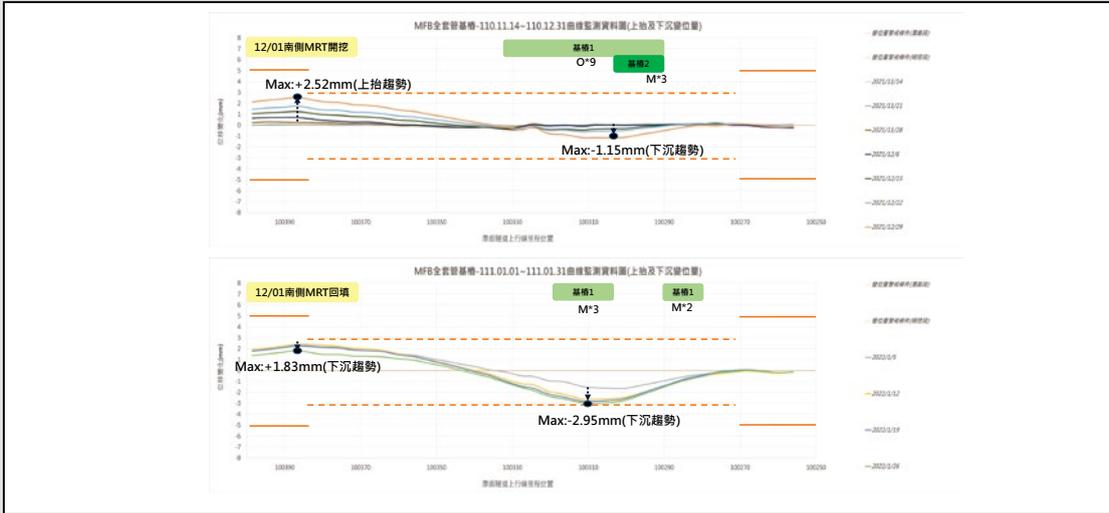


圖41 110.11.14~111.01.31 上行線歷時曲線變位量示意圖

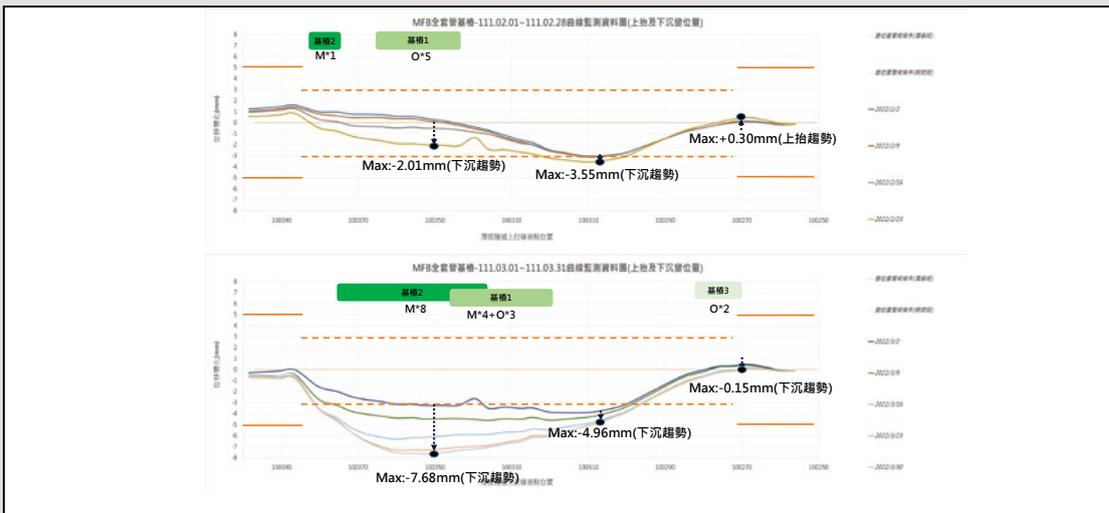


圖42 111.02.01~111.03.31 上行線歷時曲線變位量示意圖

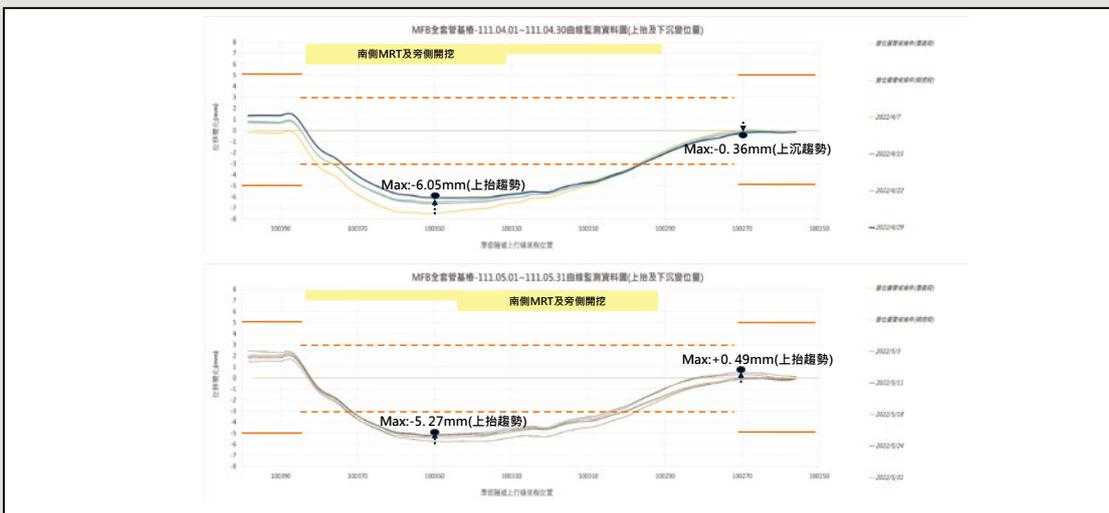


圖43 111.04.01~111.05.31 上行線歷時曲線變位量示意圖



捷運潛盾段現況



隧道一等水準測量



隧道一等水準測量



結構軌道變位儀器



全測站總緯儀器



菱鏡儀器

圖44 隧道一等水準測量及儀器維護巡檢

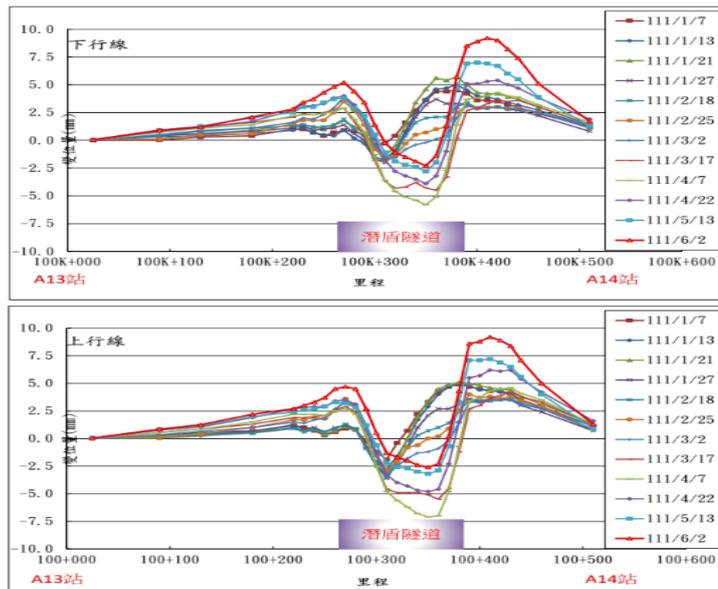


圖45 隧道一等水準測量上下行線沉陷觀測點變位圖

## 二、地下水位觀測及祛水工程

依前章所述潛盾段下行線歷時曲線變位量所知，分別採100k+276m、100k+349m及100k+380m各里程之每階段日期的變位量，繪製成變位量曲線圖，詳如圖46所示。獲知100k+276m里程之變位量曲線是微小上下起伏；100k+349m里程之變位量曲線是從12月中，最大變位量達+2.35mm，約3月初變位量近+0.00mm，約3月底變位量達-2.99mm，約5月

底變位量達-0.33mm；100k+380m里程之變位量曲線是從12月中，最大變位量達+1.53mm，約2月中變位量近+0.00mm，約3月底變位量達-7.27mm，約5月底變位量達-5.63mm。

由上知悉100k+349m及100k+380m里程變位量曲線是基樁施作及開挖回填行為造成，100k+276m里程變位量曲線僅是微小上下起伏，較無受加載及解壓影響，故採此里程變位量來解讀地下水位及祛水作業的關聯性，詳如

圖47所示。經日累積雨量計所知，下雨量越大與地下水位高程成正比；依地下水位下降所知，地下水位下降與抽水井抽水功率成正比，再對比變位量得出，110年12月初水位上升，變位量有上抬趨勢；110年12月底水位下降，變位量有下沉趨勢；111年2月中水位上升，變位量亦有上抬趨勢；111年3月中水位下降及基樁施作，變位量有明顯下沉趨勢；111年4月中水位遽降及開挖施作，因有效力增加及解壓相抵，故變位量平衡變化起伏甚小情形發生。

綜上所述，抽水井抽水行為，使土壤有效應力增加，實屬將監測值變小(變負)之下沉現象；地下水位上升行為，實屬將監測值變大(變正)之上抬現象，雖非加壓及解壓行為影響變位量大，仍是本案MFB多功能大樓潛盾隧道段施工安全及監造管理之重要準則。另潛盾段上行線歷時曲線變位量延伸探討說明，詳如圖46及圖48所示。



圖46 110.11.14~111.05.31 下上行線各里程歷時曲線變位量示意圖

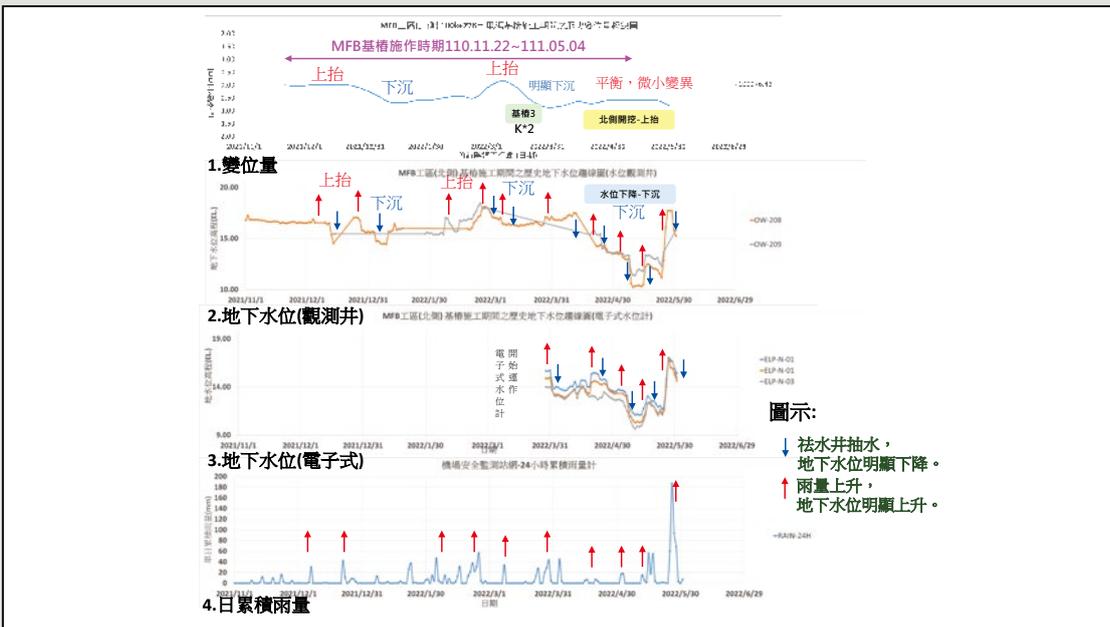


圖47 下行線歷時變位量、地下水位及日累積雨量趨勢線示意圖

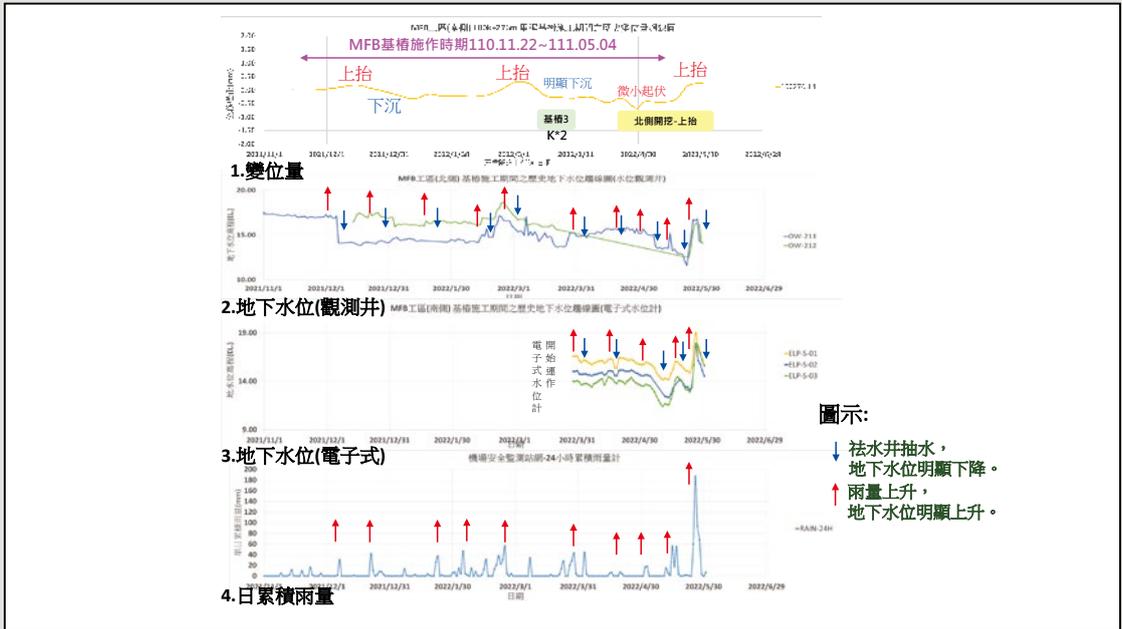


圖48 上行線歷時變位量、地下水位及日累積雨量趨勢線示意圖

## 結語

- 一、MFB多功能大樓範圍原則採「分區、分塊逐層平均開挖」，使開挖行為對捷運隧道衝擊最小。
- 二、施工全程採加密自動監測值回傳頻率至5分鐘以內，使監造工程師(及承商工程師)可即時掌握捷運軌道沉陷之歷時曲線，確保在捷運安全無虞之最高原則下進行工程施工。
- 三、捷運潛盾隧道保護基樁施作，採預引孔之低震動全套管鑽掘工法，使基樁鑽掘衝擊降至最低。
- 四、採機場捷運安全監測服務之潛盾段施工加強監測系統平台得知，保護基樁施工過程中，監測數據無異樣，未超過警戒管理值，故符合規定要求佐證的參考。
- 五、保護基樁施工期間變位量曲線變化趨勢，

整體為上抬至下沉，再上抬發生過程，其下行線最大變位量-7.26mm，相對應角變量+0.1mm/5m，及最大正值角變量+2.49mm/5m，相對應變位量-0.33mm/5m，皆未超過警戒管理值；另上行線最大變位量-7.68mm，相對應角變量+0.13mm/5m，及最大正值角變量+2.43mm/5m，相對應變位量-0.75mm/5m，皆未超過警戒管理值(單點位置達到警戒值，需變位量達3mm，且角變量達2.5mm/5m)，皆符合規定。

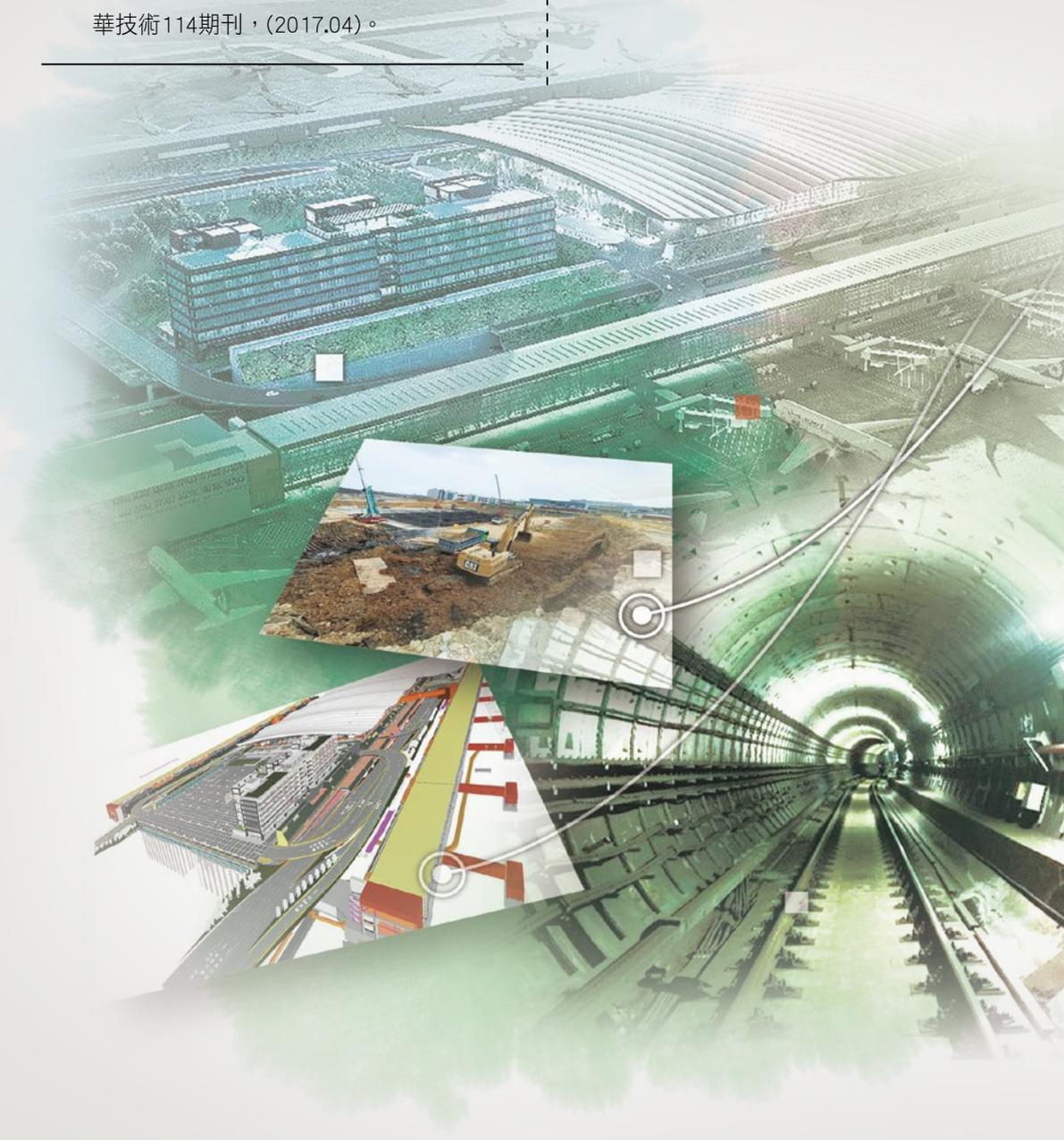
六、施工期間地下水位嚴格控制，MFB區域原則採EL+12.95以下1m，使抗浮安全係數達FS=5.88以上；目前現場地下水位階段性由EL.20.0m降至EL.10.0m趨勢施作，皆亦符合抗浮能力安全FS=1.07規定。

七、經由本案歷時變位量所知，基樁機具施作期間加載、土方回填加載及祛水井抽水使土壤有效應力增加等，實屬將監測值變小

(變負)之下沉現象；土方開挖解壓及地下水位上升，屬實將監測值變大(變正)之上抬現象，是本案MFB多功能大樓潛盾隧道段施工安全及監造管理之後續重要判斷準則及經驗分享供參。

## 參考文獻

1. 魏雲魯、林柏鋒、張廷營、林明儀，「閱讀國門-來去桃園國際機場第三航廈」，中華技術114期刊，(2017.04)。
2. 陳文欣、吳文隆、陳聰海、張嘉興及林俊良「高雄-五甲-高雄345kV地下電纜線路潛盾洞道工程設計與施工」，中華技術93期刊，(2012.01)。
3. 伍勝園、李懷谷、夏恆仁、周永川及鄧勝益，「過河段軟弱地盤之樁柱式鐵路橋樑基礎設計與施工案例」，中華技術93期刊，(2012.01)。



# 蘇花改觀音隧道 施工安全管理與 防災對策研究

關鍵詞(Key Words)：蘇花公路改善工程(The Su-Hua Highway Improvement Project)、南澳至和平(Nan'ao to Heping Section)、隧道(Tunnel)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃園機場T3專案／資深協理／黃金田 (Huang, Jin-Tien) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／業務經理／周高生 (Chou, Kao-Sheng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃園機場T3專案／工務所主任／吳慶輝 (Wu, Ching-Hui) ❸



## 安全管理

## 摘要

蘇花改計畫針對路段災損阻斷及交通肇事頻率高之路段進行改善，採雙向雙車道規劃為原則。其中蘇花改南澳至和平段工程共20公里，主要係改善易坍方阻斷路段，重要關鍵路段—觀音及谷風隧道佔12.6公里，主要岩性為片岩及大理岩，沿線存在許多小型斷層破碎帶以及沿葉理發育之剪裂帶，影響整體工程完工時程，其中觀音隧道長達7.9公里，施工過程中推動零工安，故對隧道施工管理與防災對策研究更彰顯其重要性。使長隧道施工經驗得以傳承，以期做為日後相關隧道施工參考為研究本工程之主要動機與目的。



## Study on Construction Management and Disaster Prevention Countermeasures of Guanyin Tunnel in Su-Hua Highway

### Abstract

The Su-Hua Highway plans to improve the road sections for disaster blockage and high-frequency traffic accidents, and adopt the two-way two-lane plan as the primary cross section.

Among them, the section from Nan'ao to Heping Section has a total area of 20 kilometers, mainly to improve the easily collapsed section. The important key sections are Guanyin and Gufong Tunnel, which is 12.6 kilometers. The main lithology is schist and marble, and there are many small fault fracture zones along the tunnel route, and the shear zone similar to the development of the leaf, affecting the overall project completion time.

The Guanyin tunnel in the section is 7.9 kilometers long, which promotes safety and zero disasters during the construction process. Therefore, the research on tunnel construction management and disaster prevention strategy is more important. The experience of the long tunnel construction can be passed on. Thus, the main motivation and purpose of the study are to be expected as a reference for future tunnel construction.

## 壹、前言

蘇花改計畫推動係以安全可靠服務為基礎目標，改善工程先行推動蘇澳至東澳、南澳至和平及和中至大清水等三個路段(詳圖1)。改善總長度為38.8公里。

蘇花改計畫要徑工程最長之觀音隧道與相鄰之谷風隧道間，由60公尺長之鼓音橋(詳圖2)將兩座隧道連結成相當於12.6公里的長隧道，完工後將是國內僅次於雪山隧道之第二長公路隧道，為整體計畫之關鍵工程。本路段係變質岩區，地質複雜且多變，施工困難度高，其中關鍵的觀音與谷風隧道工程於2011年11月開工，施工期間利用舊北迴隧道開挖橫坑打設至主線，以增加工作面縮短施工工期，目前觀音隧

道(詳圖3)施工已完成施工並通車使用，期將施工過程管理經驗與防災對策研究提供分享，作為日後類似隧道施工時之參考，使隧道施工技术得以提昇並防止職災發生為主要目標。

## 貳、隧道施工設計地質調查

依據台灣世曦工程顧問(股)公司設計單位所提供武塔至谷風隧道的地質狀況圖一斷層破碎帶及剪裂帶與湧水路段皆為施工困難區域(詳圖4)，參考設計階段調查成果，觀音隧道路段將遭遇觀音斷層(詳圖5-6)、樟樹山斷層等地質弱帶，故隧道施工時列為高風險作業項目，需預先擬定處理流程，小心施工通過。



圖1 蘇花改工程範圍



圖2 谷風觀音隧道間鼓音橋施工時空拍照



圖3 觀音隧道北洞口施工完成時空拍照

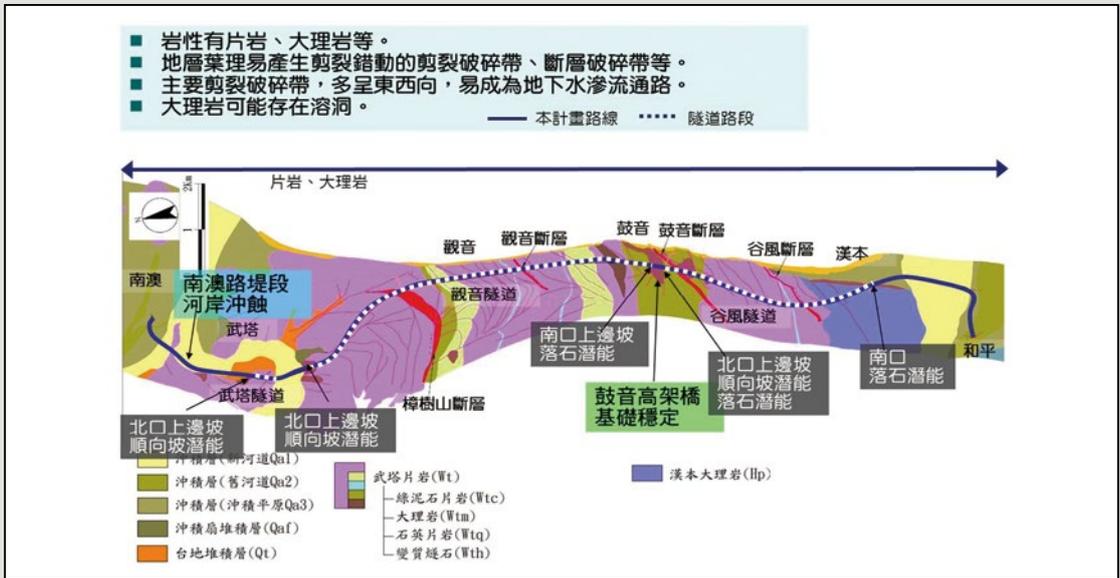


圖4 武塔至谷風隧道地質狀況圖



圖5 現場近似觀音斷層地質光滑面



圖6 現場近似觀音斷層地質光滑面

### 參、隧道施工安全管理機制

基於全方位的思考，本案之規劃設計採隧

道高風險與環保兼顧，施工並以「安全、永續、環保」為目標，造就本計畫多方面工程特色。以下針對施工階段觀音隧道施工管理，提供下列工程特色供後續類似隧道施工管理參考：

#### 一、隧道高風險管控及施工

本標路線需穿越樟樹山斷層、觀音斷層及其破碎帶，開挖面將會遭遇湧水坍方等問題，為降低施工風險需進行高風險作業項目管制。經提報高風險施工計畫書與業主召開管制會議討論隧道施工中安全，斷層區請承商施作RIP地電阻、TSP隧道內震測探查及施作長距離不取岩心探查，高風險管控期間請承商準備好高風險備品，監造單位配合承商進行管控及備品檢查，以利工地遭遇危害時使用。

觀音隧道B2標施工高風險管控計有：

- (一) 北上線4k+060、南下線4k+150跨越東改鐵路隧道淨距約31m。
- (二) 北上線7k+440、南下線7k+415穿過東改鐵路北橫坑淨距約2m。

(三) 經過樟樹山(4k+232~4k+592)及觀音斷層(7k+630~7k+700)之施工階段。

(四) 北上線里程6k+100出水量達1300l/min(詳圖7)。

(五) 南下線里程6k+158~6k+190通過湧水破碎帶。

(六) 北上線里程約3k+652.2出水量大於1800l/min。

(七) 新增7k+890通風管道豎井施工(詳圖8)等。以上均順利通過完成才解除管制。



圖7 北上線6k+100出水量達1300l/min



圖8 7k+890通風管道豎井防水膜施工

二、利用舊有台鐵北迴鐵路觀音隧道開闢橫坑，加快上半開挖速率及運輸

將舊北迴鐵路觀音隧道改善為混凝土隧道運輸便道，並增加四個擴挖段與設置紅綠燈及秒數燈管制運輸及人員車輛通行，利用台鐵舊北迴觀音隧道開闢施工橫坑(詳圖9)至主隧道後，增加隧道工作面同時施工。有別一般隧道僅能雙向開挖，本標利用施工橫坑打設至主線，由車行聯絡道延伸到南下線可多處工作面同時施工，加速隧道上半施工貫通，使工作面有效展開，加快隧道開挖完成速率，以利隧道可提早貫通。



圖9 舊北迴7k+572橫坑打設施工

三、重視環境保護及做好觀音北口崩積層邊坡格樑、地錨保護及監測施工

(一) 觀音隧道北口邊坡用地，先進行大樹移植，對植物生態環境保護先行，再進行邊坡修整格樑、地錨保護工程，再植生覆蓋。

(二) 觀音隧道北口屬崩積層，故先行試錨確認後進行邊坡格樑、地錨保護，並作隧道監測儀器設置及監測，為保障施工期間隧道洞口安全。若監測超過警戒值，立即開會研討因應解決對策。

(三) 掌握施工過程中颱風豪雨或地震可能造成的邊坡滑動、主體結構變化、土壤中變化、地表沉陷、水位變化與地錨錨碇荷重變化等安全監測系統觀測工作，以利日後

進行施工安全分析。

#### 四、推行隧道全能作業班與輪進檢討-管控隧道炸藥使用、運輸與鑽炸施工

為提升隧道開挖效率，推行隧道全能作業班，並由工程處舉辦實務教育訓練，使開挖及支撐作業工作均由同一工班執行，嚴格管控炸藥庫及炸藥運輸，使用經由礦務局專業受訓合格之火藥庫管理員及爆破專業人員執行，俾利隧道開炸作業順利執行，及進行輪進檢討掌握隧道開挖進度。

#### 五、隧道開挖面之前進地質探查作業及地質師評估

由地質師依地質開挖面實際施工情形(詳圖10)及不取心探查資料研判，提出地質風險評估建議，提醒工班施工時注意將面臨之施工風險，增加施工安全保護措施，確保施工輪進開挖時施工人員安全。



圖10 監造及承包商地質師現場評估

#### 六、隧道施工山形圖及預定工作面排程及每週施工進度檢討會

利用隧道施工山形圖及貫通時程管制表配合承商所掌握的人、機、料充分支配運用，排出各工作面預定工期及週進度與月進度，採

PDCA方式每週由業主主持經費檢討、進度會議及監造月施工檢討會討論輪進執行情形，管控承商施工至完成目標。若承商現有人、機、料無法達成目標，則請承商提出改善措施並追蹤檢討，排出下兩週預定進度以利執行管控。

#### 七、為求施工進度及品質符合規範要求及如期完工，監造單位透過下列方式，加強控管施工進度

- (一) 工程監造資訊管理系統資料登錄及透過即時影像掌握工地現況。
- (二) 按日填寫公共工程監造報表及按月提送監造月報。
- (三) 每晚上傳當日隧道施工現況及施工通報。
- (四) 監造隧道地質及計測成果評估。
- (五) 施工階段查驗與監督及每月召開施工檢討會。
- (六) 督促承商提出趕工計畫並確實執行。
- (七) 進度落後時檢討並研提改善方案。
- (八) 配合辦理變更設計及業主指示事項。
- (九) 辦理計畫書、計算書審查及工期展延審查與建議等事項。
- (十) 配合業主舉行雙週施工進度檢討會，監造簡報提建議事項，催促承商施工進度提升。
- (十一) 由主任電話追蹤承商工區負責工程師施工進度及要求監造工程師查看現場施工進度及隧道安衛檢查，督促承商改善確認完成進度，再要求承商後續施工至完成目標。

## 八、新增5k+342施工橫坑工作面，加速主線隧道上半部貫通（詳圖11-12）

觀音隧道利用舊北迴通道進行施工橫坑打設及承商新增5k+342施工橫坑工作面，主線提早處理高風險樟樹山斷層區，以縮短主線隧道貫通期程。



圖11 觀音隧道北上線全線貫通時相片



圖12 觀音隧道全線(南下線)貫通前相片

## 肆、隧道施工遭遇困難解決與處理

### 一、觀音隧道上半開挖遭遇較大湧水及抽坍施工案例

由設計單位提出B區觀音隧道旁沿線的鐵路隧道重要施工災害紀錄位置(詳圖13)，監造單位除要求承商依設計圖說與規範，施工時特別管控執行，並參考觀音隧道沿線的鐵路隧道重要施工災害所遭遇地質弱帶與湧水較大的施工案例，由承商地質師於業主檢討會議時提出地質現況(舉例詳圖14-15)，評估剪裂破碎帶發展趨勢，並由監造地質師提出建議施工方式，再由現場執行施工。順利解決觀音隧道遭遇到湧水及變質區隧道施工困難(詳圖16-17)，落實隧道高風險執行，順利通過地質弱帶，於2016年5月3日完成全線隧道貫通。

### 二、7k+890通風管道因施工抽坍辦理變更線形施工案例

(一) 7k+890通風管道於2017年3月29日進行第1m輪開挖作業時，因遭遇地質構造(片理急折帶)岩體本身局部破碎夾泥影響，造成頂拱抽坍。

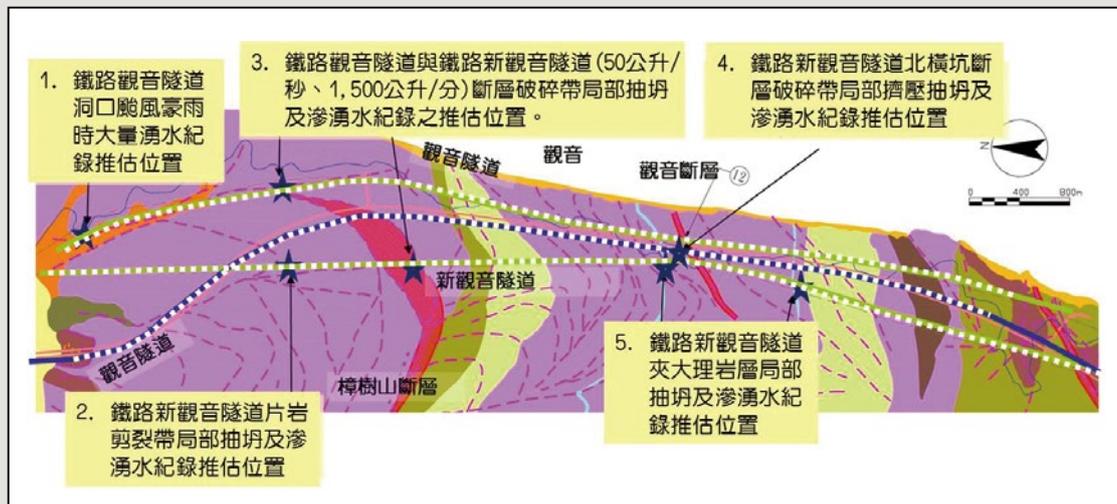


圖13 設計單位整理B區觀音隧道旁沿線的鐵路隧道重要施工災害紀錄位置



圖14 7k+602.5黑色片岩偶夾石英脈



圖15 7k+612.1開挖面鑽堡機預裂孔鑽設



圖16 隧道湧水出水止漏施工

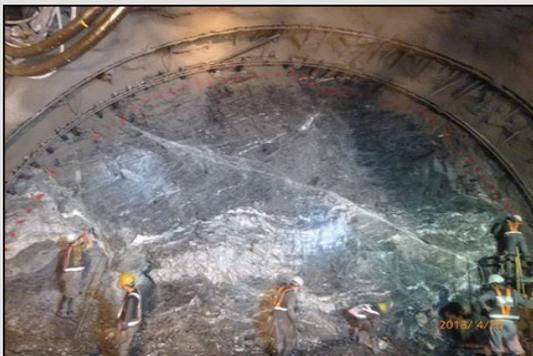


圖17 7k+752變質岩抽坍前地質狀況

(二) 由處長召開討論會及現勘研議後，建議由承商擬訂隧道開挖線形調整，經監造及設計審查後避開與中斜坑原有結構交叉共構方式，以避免可能抽坍之風險，俾利施工安全。

(三) 既有斜橫坑上方，恰巧上方地質不佳造成抽坍(詳圖18-19)，故變更設計往北移設地質較佳且可與運輸動線錯開，使人員避開在隧道施工中下方穿越之危害風險，且可順利安全施工(詳圖20-21)。



圖18 7k+890通風管道施工正常



圖19 7k+890通風管道3/29抽坍



圖20 7k+890通風管道向北轉彎施工



圖21 7k+890通風管道施工完成

### 三、隧道貫通完成後，後續施工項目問題處理及解決

#### (一) 車行聯絡道與輔助機房與通風機房皆複雜斷面襯砌施工(詳圖22)

因隧道開挖完成後，需進行襯砌施工，若承商準備的鋼模套數與斷面不同及施工順序，會直接影響到隧道施工進度，故承商需事先規劃製造及檢查完成，俾利能配合工地襯砌施工時程如期完成。



圖22 7k+572通風機房襯砌施工

#### (二) 緊急停車彎&輔助機房襯砌施工

因施工至隧道交叉段會有介面及拆鋼模施工順序問題，故建議繪製鋼模分模圖及規劃施工時程，使襯砌岩柱頭處理及噴凝土岩面處理或入侵修改先完成，不織物與防水膜鋪設完成後，依襯砌鋼筋綁紮、機電配管與鋼模組裝及襯砌澆置時間安排各分模施工時間，管控至預定期程完成進度。緊急停車彎&輔助機房交叉段

配合隧道主線施作完成後，施作下方穿越箱涵。

#### (三) 通風隔板施工

蘇花改B段隧道於通風隔板每350m處預留排煙風門位置，並於隧道近洞口處各設置3組噴流式風機預留口，施工時模板原可採3m(詳圖23)及12m兩種，最後承商採3m鋼模，不受地形限制方便組拆移設，增加套數方式量產施工，使通風隔板可快速施工完成，提早交付機電標安裝設備施工。



圖23 6k+800通風隔板多處同時施工

(四) 襯砌後續施工完成後，輔助機房建築結構、水泥粉光、集滲導水版、機電基座及地坪環氧樹脂施工與牆面油漆依順序施工完成，即交付機電標進場施工。

#### (五) 隧道仰拱回填後續施工工項順序

觀音隧道襯砌施工後，開始施作仰拱回填，視隧道底部出水狀況增設施工中排水管(詳圖24)實施重力流方式進行導排水，回填至第7



圖24 7k+572施工中排水管出水頭現狀

層施作集水井完成，回填至第11層施作路基排水、回填至第12層進行路基檢測及修面，後續進行級配料填築，最後完成AC鋪築施工。

#### (六) 隧道AC鋪築及標線施工

AC鋪築施工前需進行線形高程控制討論會(詳圖25)，現場控制器檢測合格後，控制AC鋪築施工高程及橫坡變化點，分層鋪設滾壓夯實完成，再進行交通工程標線及標記施工(詳圖26)。監造辦理AC試驗及試體厚度鑽心與平坦度試驗，公路總局材試所進行IRI試驗(詳圖27)。



圖25 AC鋪築施工前線形高程控制討論會

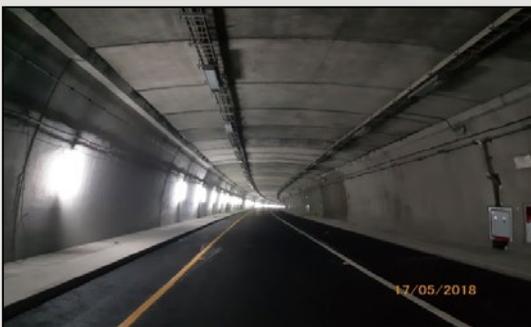


圖26 觀音隧道AC標線及標記完成



圖27 南下線路堤段材試所IRI試驗

觀音隧道B2標路面IRI(國際糙度指標)平整度試驗結果平均值1.58(小於1.89)，符合公路總局新鋪路面平整度一般省道設計速率超過40km/hr獎勵標準，路面達到平順要求，完工後本工程榮獲交通部評定110年金路獎傑出工程類第三名。

## 伍、隧道安全防災對策研究

### 一、蘇花改觀音隧道長度7.9公里屬丁類危險工作場所

經危評分兩階段審查(詳圖28)，通過後執行，監造要求承商依危評承諾事項辦理施工事宜。



圖28 北職進行隧道丁類危評審查

### 二、觀音隧道北口崩積層邊坡

辦理計測及格框岩錨施工保護與入洞管幕保護施工(詳圖29)，使隧道開挖能安全無虞順利進行輪進施工。



圖29 格框岩錨施工及入洞管幕施工

### 三、隧道設備進場由安衛工程師進行設備及施工架符合職安法規規定查驗

#### (一) 施工中隧道內通風、排水、空氣品質與電力系統建置

施工階段為維持隧道內通風、排水、空氣品質與電力，必須設置相關設備，如施工中的通風排氣所設置抽排風機及排水處理所設置排水溝與污水處理設備，臨開挖面隧道內空氣品質所增設固定式有害氣體偵測器輔助原有手持式氣體偵測器，以確保空氣品質符合相關法令之規定。另量水堰配置係管控及量測隧道開挖面出水量是否小於停工機制規定。以上相關設施請承商定期維護。監造主任及安衛工程師作總體抽查，若有不合格處即責成承商改善至合格。

#### (二) 隧道開挖面之前進地質探查作業及隧道地質預測及預報執行模式

隧道施工參考設計成果製作「地質風險管制圖」並進行地質預判，蒐集舊北迴觀音隧道開挖資料，並適時進行TSP(震波探測)或RIP(地電阻影像)探查，其主要目的皆為預先掌握隧道開挖之前進地質狀況。隧道地質經前進探查及預測分析後，製作隧道地質風險評估，地質師可以在遭遇潛在困難路段前即提出預警，讓現場施工人員有充裕的時間應對潛在困難路段。

### 四、隧道施工檢驗停留點監造進行安衛設施查驗

落實監造每週總體檢及業主假日主管巡查製作訪視紀錄，施工缺失請承商改善上傳後，避免類似缺失重複再發生。

### 五、隧道緊急通報及處理機制及施工災害緊急應變演習與防汛檢查

### 六、隧道施工高風險管控執行、檢查與防災

(一) 除監造主任會同安衛工程師每週進行施工品質及安全衛生總體檢外，亦會同北職辦理稽查及隧道勞安觀摩(詳圖30-31)，使每個人注重品質及工安，確保施工安全。



圖30 與北職辦理隧道勞安觀摩(一)



圖31 與北職辦理隧道勞安觀摩(二)

(二) 監造工程師辦理施工抽查及安衛查驗停留點執行與配合工具箱會議勞安宣導(日、夜班)，告知今日施工區危害及注意自身安全。

### 七、危險作業項目許可申請資料上傳資訊平台

承商安衛每日上傳表單，置於網站經監造點閱許可後，以利業主及北區職業安全衛生中心上網查閱每日危險作業管制項目，讓安衛工程師可進行高危險項目之加強檢查。

## 八、隧道施工通道內人車進出管制-RFID與號誌系統

施工通道人車採號誌及RFID管控(詳圖32)，並強化防災作為。施工中採用無線射頻辨識技術(Radio Frequency Identification, 簡稱RFID)，利用無線通訊技術以無線電訊號識別特定目標，人車進入隧道後立即由RFID偵測及定位，以管控隧道施工時人車通行，並強化防災作為。



圖32 公路總局勞安觀摩RFID介紹

隧道施工中通風設備、排水、電力設備、紅綠燈、車輛限高架、污水處理設備、火藥庫設置、施工安衛總體檢、防災演練與北職成立安全伙伴至現場指導等，降低職災發生的風險，皆為安全施工考量的防災對策措施。

## 十、隧道施工高風險管控執行降低災害風險

高風險管控依各階段施工作業內容(詳圖33)可能遭受之風險，擬定各項風險評估及對策舉



圖33 通風管道西豎井襯砌鋼模組裝

## 九、隧道施工中通風、排水、空氣品質、電力設置與安衛特色

例(詳表1)持續管控於施作順利完成後提報解除管制。

表1 7k+890通風管道開挖風險因應防災對策表

7k+890 通風管道開挖風險因應防災對策		
主要風險項目	人、機、料上下搬運之墜落、滾落	通風管道開挖造成之既有隧道破壞
主要風險危害	預防墜落、滾落	既有隧道補強及監測
風險因應對策	1.人員使用安全帶，設置捲揚式防墜器或安全母索供安全帶鉤掛 2.材料運輸吊桶設計具防傾覆功能 3.採用具聯絡警示功能之設施，選任指揮聯絡人員 4.出碴集運料時，豎井及斜坑下方淨空	中斜坑、舊北迴觀音隧道、7k+890通風機房隧道在通風管道開挖影響範圍內之區段： 1.先進行補強岩栓打設及地盤改良固結灌漿，再進行通風管道開挖 2.增設計測斷面，監測已完成之隧道支撐是否產生異常變位
管制作業流程	前	1.風險評估及因應對策研擬 2.高風險管制計畫核定 3.施工備品進場 4.提報高風險開工管制至工程處核備
	中	1.定期檢查施工備品 2.由計測及目視巡檢，檢視隧道是否有異常變形或破壞 3.加強安衛措施
	後	1.確認高風險因子業已消弭 2.提報高風險解除管制至工程處核備

## 十一、地震通報及汛期防災抽查

監造針對地震通報、汛期防災抽查，確保安全。

### 結論與建議

蘇花改觀音隧道開挖克服觀音與樟樹山斷層之挑戰全力以赴，同時兼顧最好的施工品質及施工安全環境，穩紮穩打藉由高風險施工管控，針對地質弱帶建立施工因應與處理機制。對於非預期狀況現場預先進行前進探查工作，地質師在遭遇潛在困難路段前提出預警與防災措施設置與對策研究，讓施工人員有充裕時間應對潛在困難路段，謹慎通過斷層帶或湧水路段，完成隧道貫通。

本文將山岳隧道遭遇變質岩提供觀音隧道施工安全管理及防災對策施工經驗分享，讓後續類似隧道施工時參考。隧道開挖完成後規劃襯砌、通風隔板、路基排水及級配填築至路面施工完成，亦需妥善規劃縮短工時，在配合執行高風險防災對策，謹慎通過高風險路段，達成工程零職災目標。在重視安全第一與生命無價的前提下，我們已順利完成蘇花改工程，提供東部民眾一條安全回家的路。

### 參考文獻

1. 交通部公路總局臺9線蘇花公路改善計畫工程規劃報告，2011年。
2. 交通部公路總局臺9線蘇花公路山區路段改善計畫設計畫，2010年。

3. 中華民國隧道協會隧道全能作業班作業理念訓練課程教材，2012年4月。
4. 夏明勝、邵厚潔、周允文、吳慶輝--蘇花改觀音及谷風隧道施工管理機制-中國工程師學會會刊-2013年12月-工程Vol.86 No.6。
5. 周允文、吳慶輝、郭育安--蘇花改觀音隧道遭遇地質弱帶施工案例探討中華技術2014年10月份第104期。
6. 邵厚潔、黃金田、吳慶輝、郭育安--蘇花改觀音隧道遭遇變質岩地質弱帶處理及施工管理機制探討-中國土木工程學會隧道及地下工程分會2016年8月11日-2016年第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會。
7. 黃金田、吳慶輝、郭育安--淺談蘇花改觀音隧道遭遇地質弱帶類型-交通部公路總局蘇花公路改善工程處2016年9月8日-第3屆蘇花改工程技術論壇論文集。



# 安全管理

3

專題報導

# 稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目/作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977).

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973).

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).



# 編後語

營建產業在未來要兼顧人力、成本、安全及品質的狀況下，應積極邁向系統化、自動化、安全友善環境的方向，才能解決目前營建業困境。營建施工安全為工程的基本要求，也是最高準則，為確實提高工程之施工安全，應本於「源頭管理」之方針，於營建工程「規劃設計」階段即將「施工安全衛生」相關事項納入考量。隨著時代的進步，科技創新的引進導入也應與時俱進，透過AIoT科技防災技術，有效降低人力需求，提高施工安全的質與量。安全管理的手段要從工程初期的風險辨識，分析管理工程風險，傳遞風險到施工階段，落實風險管理作為，循環檢討風險產生之可能，及早預防，以達到降低風險、消除風險的目的。

本期中華技術著重在營建施工安全之管理與創新，以鐵路臨軌施工為主軸，加上科技創新技術的運用，發展出不同於一般傳統營建施工管理手法。

眾所皆知鐵路臨軌施工複雜且工安風險高，為呼應本期專刊的核心重點，特別專訪交通部鐵道局楊正君局長及勞動部職安署南區職安衛中心許峯源主任，在此特別感謝兩位長官在百忙之中接受本次專訪。楊局長提點鐵路施工安全看法及理念，一語中的且具體可行；許主任對施工安全的期許，是希望顧問公司應從工程規劃設計階段就要將營建四化納入考量，於施工階段落實，也特別說明營建業第五化一減災科技化，為未來減災策略推廣的重點。

## 附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 財團法人中華顧問工程司  
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓  
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN  
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>



# 夢想和幸福

## 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，  
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，  
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，  
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號  
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568  
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw