

鐵路



RRB

鐵路改建工程局三十週年
工程實務論文集

鴻跡

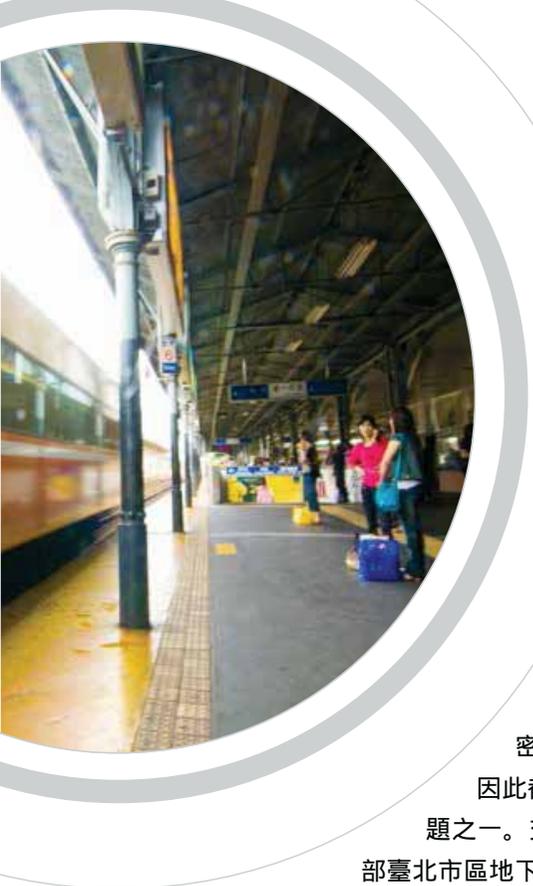


RRB



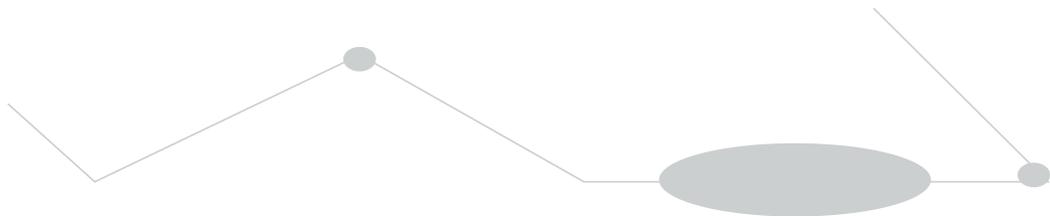
鐵路鴻跡

鐵路改建工程局
三十週年工程實務論文集



序 Preface

由於都會區發展迅速，高樓林立，人口激增，車輛爭道，縱貫鐵路穿越都會區中心，與櫛鄰的道路密集交錯，造成交通阻塞，影響市區交通及整體發展，因此都會區鐵路設施之改善，成為政府重大交通建設重要課題之一。交通部鐵路改建工程局自民國72年7月成立前身「交通部臺北市區地下鐵路工程處」，91年元月並易銜為「交通部鐵路改建工程局」以來，執行全臺都會區鐵路改善交通建設已屆30年，陸續完成「臺北車站地下化」、「松山專案」、「萬板專案」、「南港專案」、「臺南沙崙支線」、「臺鐵新竹六家支線」、「內灣支線改善」及「臺鐵林邊溪橋改建」等計畫，目前「花東鐵路電氣化暨瓶頸路段雙軌化」、「花東線車站服務效能提升」、「高雄及臺南鐵路地下化」、「臺中及員林鐵路高架化」及「基隆車站遷移」等工程也正如火如荼展開中。鐵路立體化之興建，使得都會區鐵路兩側區域重新縫合，促進都市整體開發，改善市容景觀及交通有很大的助益外，對提供便利、舒適的城際運輸環境，促進區域發展、城鄉交流，前景可期，同時對打造國際級都市及引領全國經濟的蓬勃發展深具指標性意義。



CONTENTS

1 擘劃 開創新局

- 臺灣鐵路改建工程現況與展望 / 行政院政務委員兼公共工程委員會主任委員許俊逸 8
- 臺北市區鐵路地下化建設回顧 - 鐵道與城市的對話
/ 臺鐵局周局長永暉、鐵工局工務組謝組長立德、秘書室代科長王雅南 25
- 鐵道工程規劃之趨勢 / 規劃組鄭佳邦 40
- 東部鐵路山岳隧道施工之回顧與傳承 / 東工處工務課薛課長文城 50
- 花東新車站運動 / 工務組何政道 66

2 挑戰 勇於突破

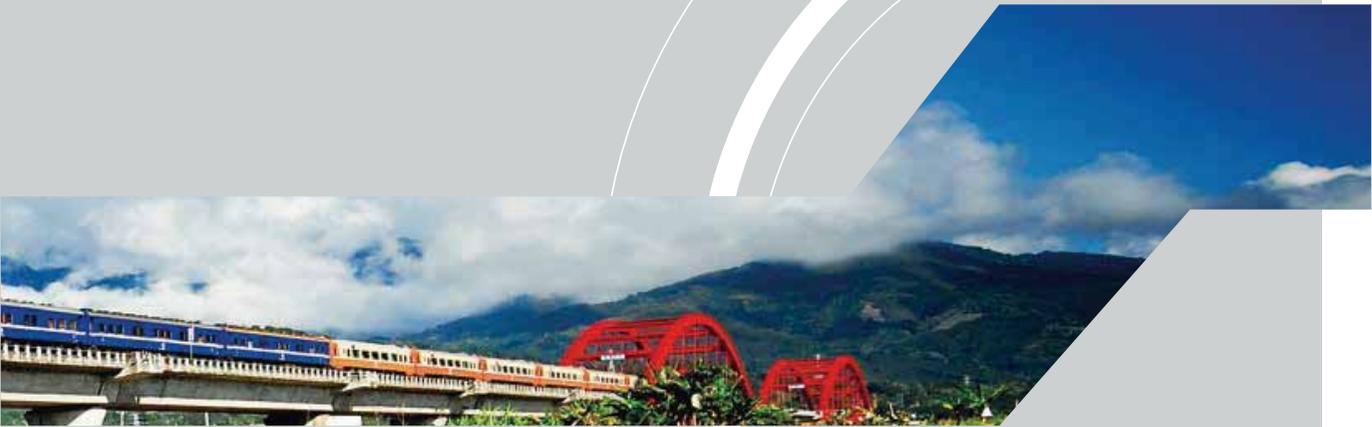
- 地下化車站及隧道逃生規劃 / 南工處電務隊溫隊長智翔 80
- 鄰近高雄捷運R11臨時站潛盾隧道之深開挖設計與施工 / 南工處工二段李岩峯 88
- 影像式平交道障礙物自動偵測裝置 / 機電組林育賢 101
- 新山里隧道施工規劃與礫岩開挖探討 / 東工處臺東工程段吳段長沐仁 109
- 新自強隧道沉泥段施工開挖探討 / 東工處工三段陳伯賢 117
- 彈性PC軌枕防振直結無道碴軌道之發展及應用 / 工務組蕭正堯 128
- 軌道之施工與切換作業 / 舖軌工程總隊陳德煥 137

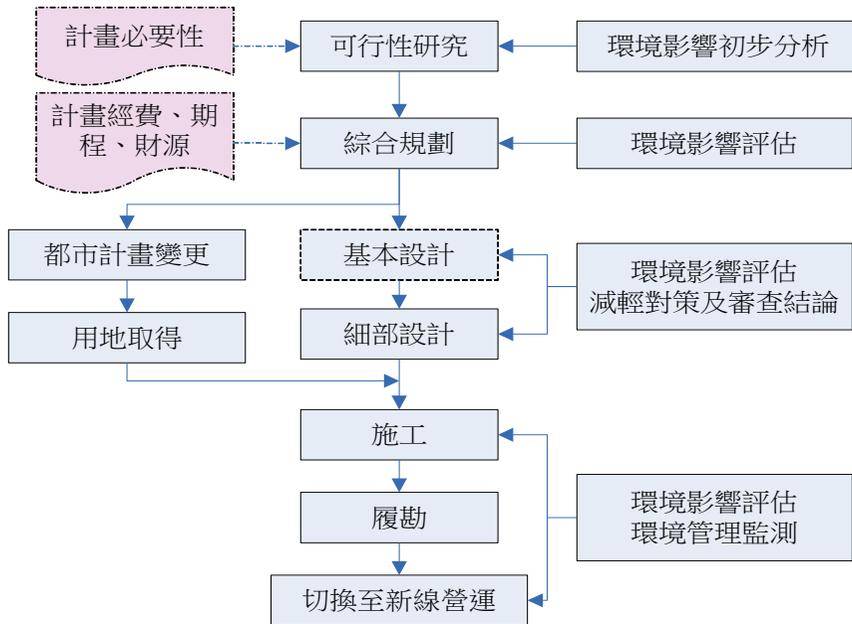


1

擘劃 開創新局

- 8 臺灣鐵路改建工程現況與展望
- 25 臺北市區鐵路地下化建設回顧 - 鐵道與城市的對話
- 40 鐵道工程規劃之趨勢
- 50 東部鐵路山岳隧道施工之回顧與傳承
- 66 花東新車站運動





鐵路建設計畫規劃推動程序示意圖

建設經費之一部分將來自於民間投資者。如民間參與不可行，則由公務預算額度、地方配合款或特種基金支應。而目前因應鐵路建設計畫推動高峰期，資金需求龐大，其中鐵路高架化或地下化工程對於都市縫合、經濟發展及土地開發具有顯著效益，但運輸本業收益卻十分有限，因此政府也邀集相關單位籌劃如何改善重大建設計畫之財務結構，具體估算都市更新及土地開發等財務效益，以外部效益內部化的方式，參考美國稅金增額融資（TIF）制度，挹注工程興建及營運維修新增成本，減輕政府財務負擔。

三、臺灣鐵路改建計畫概況

臺灣鐵路環繞全島，連結北中南東各個區域之重要城市，對於臺灣早期經濟成長及都市群聚發展貢獻極大。然而隨著時代演進，各類不同運輸工具如高速鐵路、捷運系統等次第加入臺灣西部公共運輸體系，對於整體運輸型態產生結構性的影響。

高速鐵路藉由快速穩定的特性，大量吸引長途且高經濟性商務旅次，使得臺鐵運輸市場必須轉以服務中短程旅次為主。次以捷運系統班次密集、站距短，對都會區通勤使用者而言極為便利，也使得各地方政府競相向中央提出計畫爭取興建。然而捷運建設經費龐大，都會區用地取得極為不易，故有臺鐵捷運化之議，將臺鐵於都會區增設車站，縮小班距，使能兼具都會捷運通動替代功能及城際軌道運輸無縫接駁效益。



次以鐵道運輸系統具有安全性高、快速、可靠、便利、低污染、省能等特性，已成為全球大眾運輸的主要發展趨勢。惟臺鐵長期以往路線設計最高時速僅120公里/小時，而相關設備自60年代電氣化後，在長年磨耗、機件老舊的情形下，故障頻生，使得準點率難以提高。以上種種，皆促使政府以整體運輸規劃角度，通盤檢視現有鐵路的條件，以提高運輸效率及服務品質為目標，在資源有限的前提下，現正逐步推動各項鐵路改建工程，希望逐漸以鐵道引導運輸行為，創造永續、綠色及人本的運輸環境。

目前交通部鐵路改建工程局執行中的改建計畫計25項，已核定15項，規劃階段3項，可行性研究7項，各計畫分布全島。各項工程之改善策略綜合說明如下，而各計畫多同時進行各項改善策略，以收綜效。

3.1 環島鐵路電氣化（動力一元化）

1970年代，臺灣對外貿易發展迅速，西部縱貫線鐵路是臺灣南北運輸的大動脈，在1972、1973年間，基隆及高雄南北兩大車站平均每天有一半以上的貨物受限於運輸能量，無法順利運出，旅客運輸也一票難求。當時採用蒸氣或柴油機車，牽引力不足，政府因此決定在當時「十大建設」項目中，納入「鐵路電氣化」工程，自1973年至1979年，將西部縱貫鐵路全面電氣化，臺北至高雄間行駛時間縮短50%，車次則因運輸能量提高而增加。以臺北車站為例，由原來每小時進出8次增加到12次，每10分鐘即可開出列車1班。對臺灣經濟發展產生了重大影響，是為臺灣鐵路電氣化之第1階段。

臺灣東部地區因受中央山脈阻隔，一直以來皆有後山之稱，故為平衡區域發展、改善東西間交通連結，於1992年至2003年進行臺鐵宜蘭線及北迴線的電氣化工程，此二者皆為「東部鐵路改善計畫」之一環，完成後明顯緩解了長期以來擁擠的北迴線交通，為電氣化的第2階段。

為達成環島電氣化的目標，目前第3階段執行中電氣化有關之專案包括：

1. 花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫

- A. 計畫全長155.46公里
- B. 所需經費約新臺幣275億元
- C. 預定2014年完工
- D. 全線電氣化外，並進行4瓶頸路段雙軌化、曲線改善及雙軌隧道4座工程，完成後列車時速可提升為130km / hr，大幅縮短旅行時間，並為未來提速至160km / hr打好基礎。



花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫示意圖



站以交通功能為主，第二代車站除基本交通功能外，同時著眼於車站特定區及周邊整體開發，最新的第三代車站功能則融入當地發展型態，擴大為全方位服務中心。換言之，早期車站係以「城」為主要構面，以聚集人員、移動人員為主，最新的車站規劃則納入「市」的商業交易行為構面，使得「車站城市」的未來趨勢更形明確，對於臺北市公共運輸發展實有莫大助益。

目前地方政府為消弭鐵路阻隔引起的發展障礙，提出鐵路立體化需求者益眾。此處擬藉由回顧臺北鐵路地下化的歷程，以縱觀鐵路地下化工程對於臺北都市意象的實質影響，於初期即能務實看待鐵路立體化工程所需投資的內外部成本，及相關衍生效益，併納入整體計畫統籌實施，是現階段相關主事者必須思考的主要課題，也才能重新開啟鐵路立體化工程後的都市發展新氣象。

ABSTRACT

By 1970s, the proliferation of railway crossings in Taipei could no longer be ignored. Eliminating the crossings along Zhonghua Road became an especially urgent task in the government's efforts to improve transportation in the city. On July 1, 1983, the Engineering Office of the Taipei Railway Underground Project (today the Railway Reconstruction Bureau, Ministry of Transportation and Communications) was established: a date that also marks the birth of the Taipei Railway Underground Project.

Twenty-eight years later, on August 31, 2011, the Taipei Railway Underground Project was finally completed at a cost of more than NT\$180.8 billion: 35 kilometers of track were laid, nine stations were renovated, three new stations were built, two marshalling yards and one freight yard were constructed, and 40 crossings were eliminated. This accomplishment pioneered new ground and presented a blueprint for the development of MRT systems for TRA in metropolitan areas across Taiwan. The first generation railway stations mostly focused on the traffic function, the structure of station building should meet engineering and government needs, such as Taipei Main Station. Then the second generation expended to integrate the development at the station districts, also concern about the other transportation mode as HSR, MRT and bus line, like the Banqiao and New Zuoying Station. The newest 3rd generation, ex. Nangang, Taichung and Kaohsiung Station, became the full service center of the city, and transfer to be landmark, commuter or recreational type depending on the local service needs.

關鍵字：鐵路地下化、臺北車站、都市縫合

Keywords : railway undergrounded, Taipei Main Station, city sewing up



This article tried to review the interaction between The Taipei Railway Underground Project and the Taipei City basing on time and space progressing. The Huashan 1914 Creative Park and the migration and reconstruction of Dr. Sun Yat-sen Memorial Park became the new memory to citizens. The Taipei Railway Underground Project revitalized Taipei and enhancing the happiness of its residents at last.

一、前言

大臺北都會區鐵路立體化計畫的誕生，源自民國60年代臺灣經濟快速成長，臺北市邁入都市開發的高度成長期。然而受到鐵路的實質阻隔，相關公共設施遲遲未跟上腳步，鐵路與道路密集平交，車輛壅塞、燃料消耗與空氣汙染，帶給都市居民難以承受的壓力。如何根除市區平交道障礙，成為當年政府迫在眉睫的交通改善議題。

為此，當時的交通部運輸計畫委員會（即交通部運輸研究所前身）於民國68年著手進行「臺北市區鐵路改善方案評估研究」，先後共提出47個方案，包括維持原狀、遷移郊外、改線跨越淡水河、原地高架及原地移入地下等，經過不斷的協商與辯論，逐步歸納為「高架」、「地下」及「繞道」等主要方案，而後基於鐵路設備壽年長達百年以上，必須視為永久性資本財貨，最終採取「鐵路地下化」為長久性的解決方案。

為執行鐵路地下化工程，民國72年交通部成立臺北市區地下鐵路工程處，主要任務即是將臺北鐵路全部予以地下化。隨著地下化工程次第完工，沿線的交通動線、生活型態與經濟活動也逐漸往臺北車站兩側移動。都市計畫也隨之採取全新的視野，臺北車站被重新定位為北部都會區運輸樞紐「中央車站」，南港車站與板橋車站成為輔助車站，再藉由四通八達的捷運路網，以共站或共構方式銜接臺鐵、高鐵及捷運3種軌道系統，將鐵路地下化帶動的都市重整予以計畫性的規範，將臺北市打造為充滿活力的綠色都市。

目前臺北車站前後站發展強度漸趨一致、板橋車站附近形成新都心、南港車站鄰近土地成為建商投資的熱點，種種發展漸如預期。如今臺北市政府以「不斷提升的城市：設計實現市民生活願景」為市政發展主軸，正突顯當初規劃之遠見與基礎建設之重要。本文特別作一回顧與剖析，以為其作一註解。

二、臺北市區鐵路地下化建設計畫概述

臺北市區鐵路地下化建設計畫共分為4期工程，第1期「臺北車站鐵路地下化工程」於72年7月動工，將臺北車站移入地下成為臺灣第1座地下車站，再將東側約5.3公里鐵路移入地下，使「松山專案」成為第2期的延續計畫。續往西沿著臺北最早發展也是最多古蹟的區域



「萬華」，至新北市的政經中心「板橋」，將此段15.3公里改建為地下鐵路，即為第3期「萬板專案」，最終以「南港專案」將松山至南港間最後一段市區平面鐵路地下後，歷時28年，工程經費新臺幣1,808億元，消除40處平交道的臺北市區鐵路地下化建設，於民國100年8月全線完工通車，並為日後的捷運系統預留了銜接機制。



臺北市區鐵路地下化設計畫區位示意圖

本計畫4期專案面對之施工課題

各不相同，解決方式也隨著技術創新而日益精進，以下說明各專案的施工歷程及技術特點，提供各界參考。

2.1 臺北車站鐵路地下化工程

當時地下鐵路在臺灣尚屬首創，基於臺北市地質條件不佳，又是緊鄰鐵路及大樓旁施工，工程界普遍缺乏施工經驗，因此施工引致鐵路行車受阻及鄰房損傷之風險甚高，對施工風險控制並無絕對把握，因此有部分人士對鐵路地下化方案持反對意見，故而決定先以臺北市交通最擁擠的華山-萬華間（包含臺北車站）做為先驅工程，72年7月動工，歷時6年於78年9月完工啟用。

此一先驅計畫工程範圍包括改建臺北車站成為我國第1座鐵路地下化車站，將華山至萬華間長4.4公里的鐵路移入地下，同時新建板橋客車場作為東部幹線列車的調度基地，以及新建南港貨站取代華山車場。

由於本項工程是臺灣第1次施作鐵路地下隧道，技術標準與要求又甚高，因此聘請德國鐵路顧問公司（DEC）協助辦理規劃作業及擔任施工期間總顧問。至於設計及施工，為了技術轉移及提升國內工程水準，則交由國內工程顧問公司及工程營造團隊辦理，藉由充分運用外籍顧問之經驗與學識，並經由各項技術研討與觀摩，引進國外先進技術，培育國人施工技術與經驗，有助於其後大眾捷運工程之推動。

臺北車站地下化不僅貫通了重慶南、北路與公園路，讓臺北市的西區交通動能明顯提升，舊有的華山車場原與臺北酒廠間以鐵路酒廠支線相連，也在除役之後，將騰空的土地配合臺北酒廠進行舊空間活化再利用，整併成為「華山創意文化園區」，提供藝文界交流與創作使用，作為我國文創產業的推廣基地。

此外，臺北車站地下3、4層亦與臺北捷運的臺北車站主體工程共構，為日後的臺北捷運路網，莫立了脈絡暢通的基礎。



臺鐵與高鐵隧道在臺北 - 松山區間為平行排列，過了松山車站後隧道位置開始變換，最後以高鐵隧道在上、臺鐵隧道在下方式上下重疊進入南港車站，再結合捷運板南線，讓南港車站成為一座三鐵共站的現代化轉運據點。捷運板南線為與文湖線銜接，須由南港車站南側潛行穿越臺、高鐵隧道至鐵路廊帶北側，再平行臺、高鐵隧道前進至南港展覽館站，三條隧道如何排列為互不牴觸，施工又不得影響地面營運中鐵路，為規劃設計之重點，最後定線為捷運由高鐵與臺鐵隧道間穿越而過，因工程複雜且具安全風險，為減少施工界面，捷運隧道亦由鐵工局代辦。

本計畫關鍵工程在於如何將南港專案與松山專案予以適當銜接，維持臺鐵營運行車不輟：施工當時臺北車站南側隧道已交付高鐵施工，臺鐵往東的列車必須由臺北車站北側隧道出發，但南港專案在松山北側隧道的引道段施工，而臺北 - 松山間兩座平行隧道間無法互通，使列車無法順行至松山車站。故經過審慎評估，決定敲除一段松山專案完成之隧道，將其改建為無任何中間支撐可容納4線軌道之隧道，使臺北車站北側發出的列車得以橫渡至南側隧道續行松山，反向亦同，另外臺北機廠每日進出之維修列車亦可不受影響，正常運作。

2.5 工程技術特點

臺北市區鐵路地下化是臺灣鐵路相關工程的首例，對於施工團隊而言，相當具有挑戰性，工程位於臺北鬧區，周遭商業活動頻繁，交通擁擠，沿線高樓林立並緊臨鐵路幹線，無論規劃及施工，均具有極大複雜性及困難性。工程全期必需維持縱貫鐵路正常營運，故需先完成部分周邊工程車站改善及臺北站等臨時設施，主體工程才能隨之進行。

由於臺北市鐵路地下化工程施工地點大多位於舊有鐵路路廊內，利用鐵路行車營運剩餘空間，結合路廊兩側相鄰巷道作為施工場地，以儘量不徵用民地為原則，地下隧道採用挖覆蓋工法施工，部分路段因新設隧道與既有路線過於靠近，施工空間已侵入鐵路行車最小淨空，必須利用夜間封鎖路線及切斷供電方可施工，施工人員皆須配合施工時間改變作息，晝伏夜出，經歷無數次颱風影響（尤其納莉颱風造成重大事件），鐵工局日以繼夜的努力，工程得以順利完成。

在鐵路地下化工程推動過程中，結合了產官學界的合作，也讓各領域皆有所獲，不僅培育出國內專業工程人員，也建立政府推動地下交通工程之信心。工作團隊以施工實務經驗出發，除引進國外特殊工法，也創造出許多適合臺灣特殊環境之工法，例如托底工法、抱枕工法、連續壁側挖工法、限高型連續壁、軌道支撐版等等，也憑藉著精密的規劃勇於向高風險挑戰，在有限工期下，殫精竭慮突破施工阻礙，因而達成了許多不可能之任務，例如在新店溪以圍堰工法施作河底隧道，當時因左岸堤防尚未完成，為了左岸居民防洪安全，選擇了最低的圍堰高度，預期圍堰區淹水機率極高，但在完善的防災計畫下，雖如預期發生淹水，卻未造成任何工程災變或人民生命財產損失，工程提前完工。

以南港專案而言，較之前3項專案更為精進，例如為了提升混凝土結構體的澆置品質，南港車站特別選用自充填混凝土，有別於其他專案所採用的水密性混凝土，澆置過程中無須震動與搗實，就能將混凝土完全填充至鋼筋間隙及模板各個角落，除有大量減少水泥用量的環保效益，也大幅提高了結構的耐久性；此外，南港 - 松山間的軌道型式特別採用無道碴彈性軌枕直結式道床，此一無道碴軌道系統除可降低維修保養成本，並由於具備防震效能，故能夠增加行車的穩定與舒適。



施工中維持營運

臺灣自民國60年代起，經濟蓬勃發展，高樓如雨後春筍般出現在臺北市區，伴隨大樓興建之地下室開挖，其開挖深度亦隨著大樓加高而加深，因而開啟大地工程發展契機，而鐵路地下化工程對大地工程之研究更有推波助浪之功，無論是地下隧道開挖深度或是長度都可說是一時之最，到了民國75年開始規劃臺北市捷運系統，對臺北盆地的地質及土壤工程性質展開全面性研究，隨著鑽探工作及工程進行，地質資料陸續增加，進而涵蓋整個臺北盆地，建立出南北向與東西向地質剖面，亦可算是鐵路地下化工程對大地工程研究所衍生的貢獻。

三、鐵路地下化後之臺北意象

城市意象關乎城市的競爭力，美國都市設計學家凱文·林區（Kevin Lynch）曾對城市做出定義：「城市是各種形式、真實的機能，與人們所賦於其上的理念及價值，共同組成的現象」，意即經由人性價值與城市實質空間架構的連接，綜合形成所謂的城市意象。本節以此定義作為基礎，重行檢視臺北市區鐵路地下化後的空間重整，及其帶動的人口移動、機能轉換以及生活品質變化，呈現現今臺北意象的轉變。

3.1 人口移動

臺北市區鐵路地下化計畫之地下車站計有板橋站（板橋區）、萬華站（萬華區）、臺北站（中山區、中正區）、松山站（松山區）、南港站（南港區）等。由總體面觀察鐵路地下化後之人口移動情形，配合民國87年行政區劃改制，以該年為基年，評估成長比率趨勢。

內湖區因內湖科技園區的崛起以及捷運文湖線通車，人口聚集情形最為明顯。其次為依序為板橋區人口成長比例6.74%、中山區4.15%、南港區3.05%及松山區0.84%，分別為板橋車站、臺北車站後站、南港車站及松山車站所在地，該等地區上濾（Filtering Up）現象明顯，市府及民間藉由老舊社區重整、騰空土地再利用、增加綠帶及公共設施等策略，使得居住品質

或土地管理機關分屬不同部會，利益關係者眾。雖協商極為困難費時，但以臺北鐵路地下化的經驗觀之，「整合」必須儘早，必須務實。雖然此項作業耗費之外部成本極高，但未來衍生的外部效益將由眾人共享，包含都市機能的整合、都市意象的提升等，當為指日可待。以民國85年通車的市民大道為例，施工時即透過預留匝道，臺北轉運站於民國98年營運啟用後即可順利無縫銜接，其前人之深識遠慮及未雨綢繆可為日後建設之作業參考。

目前為消弭鐵路阻隔引起的發展障礙，地方政府提出鐵路立體化需求者益眾，此處藉由本文回顧鐵路立體化工程所遭遇的困難，解決的策略以及配合引進的新技術等，並說明工程完工後，臺北地表意象變化、人口版圖遷移、都市空間重整、臺鐵運量消長以及車站機能變化等，以綜觀鐵路地下化工程對臺北都市意象的實質影響，從而驅動都市整體更新與再生，展現都市全新風貌，並期盼此一都市發展經驗能提供後續相關規劃設計者參考。

參考文獻

1. 潛龍騰行，交通部鐵路改建工程局，民國101年1月。
2. 臺北市區鐵路改建計畫評估研究，交通部運輸計劃委員會，民國68年7月。
3. 臺北市區鐵路地下化工程紀要，交通部臺北市區地下鐵路工程處，民國76年7月。
4. 中央車站與中央公園整體規劃設計案，臺北市政府都市發展局，民國95年9月。
5. 臺北車站特定專用區歷史發展新契機 - C1/D1聯合開發大樓與機場捷運臺北站之興建，捷運技術半年刊第36期，民國96年2月。
6. 臺北機廠遷建後土地開發策略規劃定案報告書，交通部臺灣鐵路管理局，民國100年5月。
7. 南港調車場土地開發策略規劃定案報告書（修正報告），交通部鐵路管理局，民國100年8月。
8. 跨域增值公共建設財務規劃方案（核定本），行政院，民國101年7月。



鐵道工程規劃之趨勢

摘要

- 一、 規劃新趨勢
 - 二、 規劃原則
 - 三、 規劃內容
 - 四、 比例尺
 - 五、 結論
- 參考文獻



規劃組副工程司 / 鄭佳邦

Associate Engineer / Cheng, Chia Pang

摘要

鐵路建設計畫為國家重大建設，其規劃應以國家永續經營發展為前提，規劃之願景應具宏觀視野，符合世界軌道發展趨勢；又因應當前社會的人口急遽高齡化、少子化的趨勢，社會環境兩性平等觀念的普及，以及弱勢團體積極參與社會活動，加上國際化、全球化之下，國外的商務、觀光旅客大幅增加的新環境，規劃時將整個路線、站區內外動線規劃納入整體人本規劃概念，創造車站安全、安心又舒適的環境，並依其特色成為商務中心、購物中心、社區中心、藝文中心等多元生活中心。

鐵路建設計畫作業流程大致分為可行性研究、綜合規劃、設計、施工、營運管理等階段。其中以綜合規劃階段，需決定長達十年之計畫經費期程等資源之確定，尤屬重要。參酌「行政院所屬各機關中長程計畫編審要點」及工程會「經費估算編列手冊」規定，鐵路建設計畫規劃階段需辦理之程序如下：

一、可行性研究（先期規劃）階段：

- （一）可行性研究應參酌該計畫之上位計畫，檢視政策目標，以及能否達成其預定功能與目的，內容應包括技術可行性、市場可行性、法律可行性、土地可行性、經濟可行性、財務可行性、環境可行性、管理可行性及初步財務規劃（含民間參與可行性）等。

關鍵字：可行性研究、綜合規劃、鐵路建設

- (二) 若由地方政府考慮地方發展爭取辦理鐵路建設，則舊市中心的再發展即為考量重點，故本階段之可行性研究，由地方政府依交通部所訂「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」辦理，並提出都市規劃構想。

本階段主要目標在於確認計畫經濟可行，上揭經濟可行性與初步財務規劃內容，應包括初步成本效益評估、合理估算之成本與收益概算明細財務計畫。

二、綜合規劃階段

- (一) 先期規劃報告經行政院核定後，得依預算程序辦理年度概算編列部分先期作業費，以辦理測量、地質探查等工程規劃與基本設計工作；同時，亦應依據「環境影響評估法」規定進行環境影響評估工作。
- (二) 依工程規劃結果及民意反映，擬訂綜合規劃報告(含民間參與可行性評估)。
- (三) 綜合規劃報告中應含詳細之選擇方案及替代方案之成本效益評估，並提供財源籌措及資金運用之財務計畫，綜整成建設計畫報核。
- (四) 至於工程經費編列部分，依「政府公共工程計畫與經費審議作業要點」規定，提出設計階段之必要圖說、建造經費之概算、基本資料表，故綜合規劃階段宜包含經費審議所需之基本設計工作。
- (五) 鐵路建設計畫按「政府公共建設計畫先期作業實施要點」等規定辦理年度預算作業。新興計畫納入預算前，應先評估民間參與之可行性。計畫若具自償性，應確實依據「促進民間參與公共建設法」等相關規定，加強財務規劃及進行民間參與可行性評估。
- (六) 本階段應選定路廊，用地範圍應予測量，依路權劃設原則確定，提出都市規劃草案供地方政府辦理都市計畫變更程序。地方政府考量地方發展而辦理建設計畫，則尚須依「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」規定，將變更都市計畫草案送地方政府都市計畫委員會審查。

一、規劃新趨勢

近年來我國公共建設需求殷切，惟政府預算成長有限，為避免公共建設財源不足造成計畫延宕，經建會已會同相關部會於99年8月成立「加速公共建設推動小組」，針對強化計畫審議，以及運用大眾運輸導向發展(Transit-Oriented Development, TOD)、租稅增額融資(Tax Increment Financing, TIF)、結合基金預算及民間參與等創新財務策略，研提具體可操作機制，期能擴大計畫財務效益，順利籌措公共建設計畫資金，加速各項公共建設。鐵路綜合規劃須新增考量議題如下：

二、規劃原則

2.1 規劃概要

綜合規劃其功能為定義針對各主要設施規劃明確之開發概念、設施量體規模、功能需求及設計摘要。綜合規劃中，亦應規劃各種系統計畫以滿足各設施之功能需求，同時建立可行之財務計畫。

綜合規劃工作內容概述如下，除納入公共工程全生命週期節能減碳概念，規劃設計均應採用符合環保、節能減碳概念之綠色工法、綠色材料、綠色設計，並應融入節能減碳觀念及再生能源之設置，上述「綠色內涵」原則不低於工程預算（不含土地、地上物補償及勞務採購等非工程經費）之10%。

另計畫推動若環評為重要影響因素，可參酌蘇花改推動，於規劃啟動時，成立專家諮詢小組，邀請景觀、生態、環保、機電、隧道、地質、防災等各領域專家及地方代表全程參與，以落實各方對計畫之建議，減輕環保之疑慮。

綜合規劃並須依「政府公共工程計畫與經費審議作業要點」第八點規定需提出基本設計階段之必要圖說、工程建造經費之概算、基本資料表等成果。

2.2 規劃期程與經費

鐵路工程之規劃設計事宜，應考量工程之地點、規模、特性以及地質條件等因素，訂定合理規劃設計期程，一般來說以18~30個月為合理期程。

綜合規劃經費依據「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第三章計費方法，並參酌建造費用百分比法第29條規定編列，依服務費用百分比上限參考為4.7%，而規劃經費佔其10%，覈實估算綜合規劃所需經費（另加地質調查、測量及環境影響評估所需費用），希冀能以充足經費詳實規劃。

三、規劃內容

綜合規劃目標為通過環評審查，報請行政院核定建設計畫，因此綜合規劃主要工作為：

3.1 基本資料蒐集

1. 計畫相關資料之補充、分析及評估。
2. 可行性研究成果之檢討及建議、需求調查、地質調查、環境調查、測量。



3.2 運輸需求預測

1. 運輸需求預測。
2. 鐵路運量分析及預測（年運量、尖峰運量等）。
3. 車站各設施之容量規劃。
4. 營運規劃。
5. 整合運輸規劃（含公共運輸發展計畫及地方無縫轉乘規劃）。

3.3 路線方案評估

1. 路線及車站方案評估、建議路線方案。
2. 車站開發構想。
3. 車站設施改善評估。

3.4 環境影響評估

為預防及減輕開發行為對環境造成不良影響，藉以達成環境保護之目的，進行一年四季環境包括生活環境、自然環境、社會環境及經濟、文化、生態等可能影響之程度及範圍，以科學、客觀、綜合之調查、預測、分析及評定，提出環境管理計畫，並公開說明及審查。

3.5 工程規劃

1. 規劃設計準則。
2. 設計速度、標準斷面、路線及車站方案研擬等。
3. 路線定線工程（包含臨時軌及永久軌道定線、車站站區軌道及月台配置規劃、軌道切換方案及平交道交通維持等）。
4. 含路基、大地、排水、結構、隧道、軌道、車站、維修廠站、電力、號誌、電信（訊）、平交道及立體化、環保及景觀工程、工程標準與系統評估等。
5. 軌道工程（包含軌道型式、站場軌道配置以及預留之隧引道及各階段臨時軌設置之檢討）。
6. 隧道及相關結構工程包含大地工程、隧道工程、地下車站結構系統、隧道引道結構型式、擋土支撐系統、隧道防水、安全監測及建物保護措施、現有橫交設施處理方式。
7. 新設車站開發構想。
8. 站區設施與系統之開發構想，包括大廳候車室、售票亭、旅客運輸系統、複合式商業設施、交通動線、車站所有IT系統等。

9. 車站建築方案研析（比較研究）、評估及規劃（包含車站建築構想、建築位置建議、空間需求及配置、車站建築及站區規劃、綠建築及公共藝術及場站周邊及聯外道路之改善構想），主要設施與設備之規劃圖製作。如配置圖、平面圖、立面圖及具代表性之剖面圖等草案構想。新設立或改建之車站需製作透視圖，作為計畫宣傳使用。
10. 相關建議計畫之配合（含都市計畫、聯絡道路、區域排水等配合）。
11. 機電工程（包含系統機電工程【電力、電車線、號誌、電訊、中央監控、隧道通風】、一般機電工程【給排水、消防、空調、電氣、弱電、電梯】、共同管溝、臨時機電工程、號誌工程【包含軌道號誌配置示意圖】）。
12. 若計畫包含長隧道，應包含隧道安全概念整合規劃，相關規劃需符合交通部頒訂之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」。

3.6 用地規劃

1. 依鐵工局規劃手冊原則劃設用地範圍。
2. 站區開發規劃。
3. 用地及拆遷補償。

用地取得及拆遷補償費包括用地取得費、地價調整費、拆遷補償及遷移費、拆遷補償及遷移費之調整費、辦理上述業務之作業費等五大項。並須提出都市計畫變更書圖草案，以提供地方政府據以辦理都市計畫變更。各項內容如下。

- (1) 用地取得費。
 - (2) 地價調整費。
- A. 拆遷補償及遷移費
- a. 建築物拆遷補償費。
 - b. 農林作物及魚類、畜禽補償遷移費。
 - c. 公共設施管線遷移費。
 - d. 其他相關費用。
- B. 建築物拆遷、農林作物及魚類、畜禽遷移費與公共設施管線遷移費、其他補償費等之調整，則按工程物價調整年率估算至執行年度之費用。
- C. 辦理上述業務之作業費切費用。包含地籍資料蒐集、地籍現況測量、召集地主說明興辦工程之目的與計畫、召開協議收購會議、辦理都計變更、地籍假分割、地上物查估、呈報徵收、徵收後之地方政府作業等。



3.7 經費概估

工程數量與工程經費估算（依工程會「公共建設工程經費估算編列手冊」估算原則及格式編列）。

3.8 效益分析

經濟效益評估（包含評估方法與基本假設、經濟成本與效益、經濟效益分析）內容須涵蓋可量化及不可量化效益、直接成本、社會成本、直接效益、社會效益、淨現值、益本比、內部報酬率及敏感性分析等。上述財務規畫及效益評估參照行政院經濟建設委員會最新出版之「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」編定。

3.9 財務計畫

1. 建立財務模型與基本假設（包含軌道運輸系統建設經費、營運成本、票價收入、附屬事業成本及收入、周邊土地開發成本及效益（結合大眾運輸導向發展TOD）、可挹注本計畫之工程受益費、稅金增額（TIF）或其他可貨幣化之外部效益金額等）。
2. 以分析性測試及敏感度分析評估計畫之財務可行性。
3. 評估並量化建設所需資金計畫經費（包含經費估算原則、經費概估，經費概估須依分類，以工程標分別估列）依據工程會編訂「公共工程經費編列手冊」分規劃設計、用地取得、工程建造費用（直接成本、間接工程費、工程預備費、物價指數調整費）、臺鐵收益、開發自償、地方政府收益（區分各縣市）、中央公務預算分擔原則、估算方式、分年經費需求、中央與地方分年經費等。
4. 財源籌措及財務策略（包含成立基金或專戶之經費來源、運用方式、一定範圍內之稅金增額融資效益、財務運用策略）。

3.10 其他

1. 民間參與可行性評估（包含民間參與公共建設方式、民間參與投資方案分析、評估結果）。
2. 在地住民意見（包含住民意見調查、公開說明會、住民意見綜整）。
3. 性別影響評估。
4. 配合工程（含經費概估）。
5. 其他研究課題（專題報告）。



五、結論

公共建設投資能振興經濟、擴大內需，平衡區域發展，建立區域特色經濟，帶動民間投資，促進就業，提升生產及文化生活環境品質，而鐵路工程尤為公共建設之領頭羊，建設計畫必須以創新思維之財務規劃方式，透過整合型開發計畫，從規劃面、土地面、基金面、審議面等多元面向，將外部效益內部化，提高計畫自償性、挹注公共建設經費及籌措未來營運財源，以達成減輕政府財政負擔。

5.1 以整合規劃方式提高計畫自償能力

整體規劃公共建設實施區域及周邊關聯發展機會及潛力發展地區，以落實外部效益內部化精神，提高計畫自償能力。

5.2 將建設計畫、土地規劃、財務規劃、時程規劃整合推動

為發揮整體規劃綜效，應將建設計畫、土地規劃及財務規劃依時程安排同時完成，以避免建設完成後，卻因周邊土地未開發、資金未到位、或無足夠使用公共建設人數，而造成公共建設使用無效率之情形。

5.3 規劃及推動應化被動為主動、兼顧投資與收益

將過去僅注重計畫本體範圍，未來應主動將周邊地區共同納入，除以政府公共建設投資帶動地方發展，也應兼顧以財務策略將周邊外部收益轉化為挹注建設經費。

5.4 將閒置或低度利用之公地參與開發，活化土地創造價值

檢討公共建設計畫周邊閒置或低度利用之公有土地，透過整體規劃及運用之方式，參與公共投資，以提高土地使用效率，創造計畫收益。

5.5 以長期的整合取代短期的規劃

將過去所推動之短期規劃方式，改變為長期整體規劃、分期分區建設，從整合性長期營運之觀點進行財務規劃，以避免公共建設無效率或不經濟之使用。

5.6 將衝突轉化為合作

將過去中央與地方、地方與地方間各別運作，產生之衝突競合現象，轉化為共同合作、共享資源。

5.7 運用跨領域之專業整合

運用財政、稅務、都市規劃、地政、公共建設工程等多向度的專業整合，提高計畫及財務可行性。

參考文獻

1. 「永續公共工程- 節能減碳政策白皮書」，行政院公共工程會，2008年。
2. 「鐵路工程規劃作業手冊」，交通部鐵路改建工程局，2010年9月。
3. 「跨域增值公共建設財務規劃方案」，行政院經濟建設委員會，2012年7月。
4. 「鐵路工程規劃原則-以北宜鐵為例」，邱士生、鄭佳邦，2012年8月。



東部鐵路山岳隧道施工之回顧與傳承

摘要

- 一、前言
 - 二、回顧東部鐵路山岳隧道工程
 - 三、案例探討
 - 四、傳承與展望
 - 五、結論
- 參考文獻

東工處工務課課長 / 薛文城
Section Chief / Hsueh, Wen-Cheng

摘要

臺灣地層年代輕，地質複雜多變，山岳隧道施工具有障礙多、風險高、工期長之特性，因此經常遭遇各種災變與困難，1970年代起，臺灣為因應經濟快速發展，政府陸續推動各期經濟建設計畫，鐵路交通建設由求安全進而求迅速、舒適與經濟性，使臺灣隧道工程之質與量皆大為進展。謹將東工處參與臺灣東部山岳隧道群包括北迴、南迴及北迴雙線鐵路之規劃、設計與施工，及目前辦理「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」，完成臺灣東部地區約逾百餘公里之鐵路山岳隧道，所獲取之經驗與教訓，彙整如何使工程順利進而提昇施工進度、新施工技術之引進、施工經驗之傳承、施工管理之效率提昇，做一回顧與探討。

一、前言

臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊衝擊推擠運動之交界帶上，地層年代輕，地質複雜多變，故於隧道工程施工因具有障礙多、風險高、工期長之特性，施工經常遭遇各種災變與困難，常為各項工程建設之主要要徑，所發生各種困難，常有賴地質處理技術予以克服。

本局東部工程處自1970年代起迄今參與臺灣東部山岳隧道群包括北迴、南迴及北迴雙線鐵路之規劃、設計與施工，接續辦理「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」，已陸續完成臺灣東部地區約逾百餘公里之鐵路山岳隧道。

本文綜整在隧道之施工過程中，遭遇地質構造及變化頻繁之地質環境，發生湧水、

關鍵字：山岳隧道、湧水、擠壓、抽心



北迴隧道工程施工期間，因遭遇包括施工方法和施工機具選擇及組合不當與地質調查資料不足、開挖面前方地質未能掌握致延誤工期且降低施工效率，以及傳統工法對地質變化頻繁缺乏應變彈性，致持續遭遇抽心、湧水、擠壓、地滑等各種災害，如「大約翰開挖機」因地質過軟則因重量甚大而下沉、抽心即將機械掩埋、地質太硬則不易前進、軟硬不一則造成蛇行之因素而受困；永春隧道南口於1978年娜拉颱風豪雨東澳北溪溪水暴漲深達10m以上，距南口250m處隧道左側牆長18m破裂被水擠出約1m損壞最為嚴重，另全長約524m部分側牆與仰拱均有裂縫及湧水，最大湧水150T/min；觀音隧道於1977年黛納颱風豪雨第三斜坑湧水量高達23T/min，仰拱9處龜裂，上半斷面崩塌22.6m，支保31組變形，導坑支保壓毀23組變形119組，機具不及撤出埋於坑內等災害，另加以缺乏有經驗工程人員及熟練技工與有效率施工機械、隧道通風、排水照明及動力設施未能充分考量，進出動線欠佳，環境條件惡劣、安衛知識不足常造成工安、以及缺乏合約與施工規範未能有效進行施工管理等難題，而使施工嚴重受阻。

其後特別委請日本隧道工程專家及施工廠商參與研討並提供諮詢與建議，經研商檢討決定變更機具組合、調整工法，並依補充地質調查結果修改路線，避開地質不良路段而大幅變更規劃路線，由海側往山側西移使隧道座數縮減並增加隧道長度以及滑動地層改以大明挖等方式因應，歷經6年之艱辛歲月始完成北迴鐵路。

2.2 南迴鐵路時期（1980-1992）

南迴鐵路為完成“臺灣鐵路環島計畫”之最後一段鐵路，北迴鐵路完成後全體施工人員移師至南臺灣繼續興建南迴鐵路，該鐵路路線西起屏東枋寮站，南行經加祿至枋山轉向東行入山，由枋野穿越中央山脈南端，由枋野橫貫中央山脈至古莊再折向北循東海岸山麓穿山越谷經大武、富山、瀧溪、多良、金崙、香蘭、太麻里、三和、知本、康樂至臺東新站與花東鐵路銜接，全長98.248 km，自1980年4月行政院核定南迴鐵路工程計畫，1980年7月1日正式動工，1992年12月竣工，歷時12年，總工程費新臺幣223.36億元，臺灣環島鐵路網歷經百年歲月終至完成。



隧道開挖機大約翰（Big John）



谷風大明挖完成

4. 公平合理之風險分擔原則

公平合理之契約條款，地質風險應由業主承擔，承包商則負擔合理之施工風險，使承包商不會因為災害而遭受不可負擔之損失，並可避免業主與承包商間，因爭議仲裁鑑定責任等緩慢之行政或司法程序，延誤處理時效，導致施工停頓而使災害持續擴大，造成需花費鉅額經費及更多時間，甚至形成難以處理之糾紛。

5. 隧道施工前後應加強地質調查

施工前利用地表探查、鑽探及地球物理震波探測等各種方法，儘可能先行瞭解地質情況，施工階段採用隧道內長距離水平鑽孔等先進地質調查與探測技術，研判可能遭遇之地質情況而預為準備，採取妥善因應措施。

6. 洞口位置選擇應減少破壞洞口地形

洞口工址之選擇，避免挖掘，破壞已屬穩定的坡地，回顧中央隧道西洞口，由於26m明挖段之開挖邊坡高約60m，持續坍方之落石導致該明挖段遲遲無法施工，經費時約8個月之處理始克服而進洞。上述案例仍殷鑑不遠，故因地制宜，洞門型式可考慮採用避免過度挖掘岩壁的突出型、竹割型、逆竹割型，或採洞門往外延伸、適度配合加勁擋土牆並回填覆蓋之方式施工，使進洞施工較為容易，且可富變化而顯得美觀。



中央隧道西口邊坡

7. 施工不宜因短隧道而疏忽

枋山四號隧道全長僅165m，底導坑貫通後仍遭邊坡滑動嚴重擠壓，經進行坡面整治後再進行隧道施工始完成。大竹三號隧道全長160m，亦因邊坡滑動造成擠壓災害，經緊急處理費時5年餘，利用各種方法始予以克服。

8. 採用勻滑爆破避免超挖

鑽孔開炸時週邊孔宜採用勻滑爆破之方式鑽孔、裝藥與使用爆速較低之炸藥，避免發生超炸造成過度擾動，使鬆動區域擴大而易於坍方，並可避免因超挖而增加噴凝土與襯砌混凝土數量而形成浪費。

9. 加強蒐集各種資訊及災害處理經驗

利用技術報導及研討會等加強蒐集與瞭解其他隧道施工所遭遇之各種困難情況與處理措施，並忠實地與他人分享隧道施工經驗，均有助於提昇面對困難情況時採用新技術、新觀念之處理應變能力。



10. 選擇體質健全、施工能力強之廠商

廠商財務健全、機具完備、管理優良、有妥善之後勤支援體系，機具性能優異並定期維修保養，工地儲存適量之支撐及補強用之材料，則於遭遇困難初期，其應變能力較佳，較能即時處理、掌握先機而避免因缺乏適當機具及待工待料致延誤時效，造成災害擴大而不可收拾。

2.3 東改計畫北迴鐵路雙線工程時期（1992-2004）

1992年南迴鐵路完工通車後，全體施工人員再度移師東臺灣執行東改計畫辦理北迴雙線工程，於北迴鐵路區段施做雙線，自蘇澳新站至花蓮新站全長80km，自1991年7月開始籌劃先期作業，1992年12月正式開工，2004年12月全部完成，其中隧道13座，單線9座計18.7km，雙線4座計15.2km，合計33.9km，佔全長42%。隧道工程經費約為新臺幣307億元，佔全部總工程經費新臺幣486億元約6成，為整個「東改計畫」最關鍵之區段，而其中又以隧道之施工為北迴雙線通車之關鍵工程。

北迴雙線隧道參與規劃與設計之工程人員除具有北迴、南迴鐵路所累積之隧道施工經驗與教訓外，並配合地質調查作業辦理隧道選線規劃與設計，期能將災害之可能性降至最低，以求順利完工。執行初期即依原計畫所定路線進行實地測量，經考量實際地形地質以及时空環境變遷等因素，並參考當年北迴鐵路施工經驗及國內外工程專家之建言等檢討結果，為確保施工安全，經實際測量勘察後於規劃選線階段將北迴線原規劃路線其中五個線段辦理較大幅度之路線變更，此變更區段在北迴雙線十三座隧道中即包含十座。

經由北、南迴鐵路興建，兩度從隧道施工遭遇連串困難而絞盡腦汁研擬解決克服方法的洗禮後，國內施工人員所累積的隧道施工經驗再搭配顧問公司地質調查等作業，已具備自行辦理選線規劃、設計與施工能力。所以於北迴雙線執行計畫中已充分考量地質與施工彈性，其施工方式均採新奧工法以鑽炸方式施工，並於合約內依據地質情況預估編列特殊處理施工項目，使行政程序較具彈性而增加遭遇困難時解決之應變能力。如新觀音隧道即規劃為10,307公尺長之雙線隧道結合了舊線之觀音、鼓音、谷風三座隧道以避開地質欠佳地段，新和平隧道選擇於海側較佳之片麻岩層內施工均順利完成。承辦廠商亦已累積相當之施工經驗，使施工效率及施工品質較以往北迴、南迴線隧道施工時有長足進步。其中新觀音隧道為目前臺灣已完工之最長鐵路隧道，依2003年7月之紀錄，為全世界已通車鐵路隧道長度排名第47。

惟新春隧道所遭遇之高壓湧水，就其最大水量 $80\text{m}^3/\text{min}$ ，最高水壓大於 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 長期平均 $30\text{m}^3/\text{min}$ 的湧水，可算是舉世隧道施工罕見的湧水案例。所幸立即成立之災害處理專案小組，歷經43個月，結合國內外直、間接參與的技術人員、廠商、學者、專家，包含設計、監造與施工等各方面，歷經70餘次勘察研討，最後決定改以繞道方式，

以避開高壓湧水地帶。同時藉由補充地質調查所得資料，廣徵世界各國隧道施工專業廠商研提各項解決方案，評估比較後決定自加拿大首次引進臺灣以熱瀝青灌漿阻水施工方法，使湧水問題獲得控制，經廠商日夜趕工，工程人員嚴格監測湧水，南北雙向開挖齊頭並進，終於逐步突破圓滿完成。

另針對以往遭遇抽心、湧水、落盤災害頻繁所累積之施工經驗，對山岳隧道施工特性更為瞭解，除以長大隧道取代當年許多短隧道之規劃，於北迴雙線隧道工法採用NATM鑽炸法。較諸北迴舊線隧道施工，對彈性應變能力、施工機具組合及施工觀念、施工效率與開炸及襯砌施工品質均較以往進步良多。

在歷經南北迴鐵路及東改計畫北迴雙線隧道工程，累計已完工之隧道長達103.7km，這端賴以往參與過之廠商與施工人員之團隊合作，藉由傳承團隊的經驗，對山岳隧道施工所可能遭遇困難之因應處理經驗，體會隧道工程應順天而為、謀定而後動的觀念，更加以持續加強研究與探討工程施工效率及水準與品質之提昇，對公共工程建設必將能做出更大之貢獻。

綜整北迴鐵路雙線隧道工程設計施工與預算編列臚列有下列幾項特色：

2.3.1 設計部份：

1. 洞口設計配合地貌減少明挖施工段

選線洞口選擇地質較佳區段以與坡面直交方式進入，洞門設計往外延伸，減少開挖已趨穩定之邊坡坡腳，並輔以各種支撐及地質改良等保護措施，如新和平、新武塔、新南澳



新和平隧道南口



新南澳隧道南口



新武塔隧道南口

隧道，後期更以水平管幕工法（Pipe Roof）進洞，避免破壞地形，節省邊坡整治保護費用，如新觀音隧道。

2. 規劃設置棄碴場妥善利用資源

規劃時配合隧道施工時程回填於就近之路基及站場，多餘碴料經多方覓尋於隧道群中央地段即南澳地區設置棄碴場，並與水利單位協調配合南澳地區水道治理計畫於臺9線澳尾溪之間由東改局提供堤防構造經費，完成後之低窪地提供工程碴料回填，完工後產生新生地，可謂雙贏策略，目前更由施工中之臺9線蘇花公路山區改善計畫南澳武塔段再予以利用該計畫隧道出碴填築路堤，可謂再創造更高效之利用。

3. 新線施工鄰近舊隧道設置監測系統確保安全

受既有站場位置及線形因素之限制，新永春、新南澳隧道北口、新蘇澳五號南口等，受既有站場位置及線形因素之限制，緊鄰舊隧道僅10餘m，為因施工影響舊隧道營運安全，於舊隧道內，設計按裝自動監測及警報系統，銜接於兩端車站，遇異常時適時應變提出預警。

4. 新舊隧道間規劃增設連絡坑

緊鄰舊線隧道之新設單線隧道，考量通車後，通風問題、道班維修、臨時緊急事故或逃生通道等需求，於新舊線間之大型避車洞處約每間隔600m增設一處橫向連絡坑，供通車後維修檢查通風及緊急逃生通道。施工期間為通風排氣通道，並提供施工機械運輸錯車與倒車之空間，而使隧道內工作環境、開挖效率大幅改善與提高。

5. 依岩體分類訂定超挖、多餘襯砌及超噴混凝土厚度

隧道開挖無可避免之超挖厚度需另以額外之襯砌與超噴噴混凝土填補，並給予計價，使廠商因可依各類地質檢測變形成果，檢討回饋而調整改進開挖技術，減少超挖，提昇爆破技術、施工品質，並大幅降低施工成本，而獲取最大之經濟效益。

2.3.2 合約預算部分：

1. 因應地質情況編列特殊處理施工項目

於契約內預為編列緊急處理施工項目，使業主及廠商在面對災害處理時能當機立斷採取因應措施，避免繁雜之行政流程延誤處理時效。

2. 聘請爆破技術顧問專責爆破技術指導及控制

於預算內編列爆破技術顧問專責隧道開挖爆破有關之技術指導及控制，並依開挖收方圖來檢討與分析並執行回饋修正設計等工作，以提昇隧道廠商爆破技術及避免過度擾動週邊地盤，並減少超挖、超襯、減少炸藥用量、減少支撐材料之使用而縮短循環時間，並降地環境影響之衝擊。

3. 隧道內地質探查採用T.S.P以利掌握未開挖地段地質

預算內編列有T.S.P工作項目，儘早瞭解開挖面後方之地質情況及可能遭遇之地質問題，並配合前進探查孔及水文試驗，預為採取適當對策因應，減少因未能掌握機先而引發之施工中災害。

2.3.3 施工部份：

1. 地質軟弱段採水平管幕工法以維開挖面穩定

在洞口設計及工法選擇時即審慎考量採用對施工安全、可靠性均甚為有效之水平管幕輔助工法，如新觀音隧道北口，在施工階段廠商採用義大利製造之隧道管幕專屬機PG-125施作，其成效非常良好。

2. 以垂直縫地工法補強洞口淺覆蓋層

考量隧道開挖時無法有效控制地層滑動，將影響現有鐵公路交通至鉅區段，如新觀音隧道南口，採用垂直縫地工法並輔以監測工作，順利安全通過特殊地質與地形區段。



新觀音隧道南口垂直縫地工法施工

3. 因應不同岩體類別，工法彈性選擇

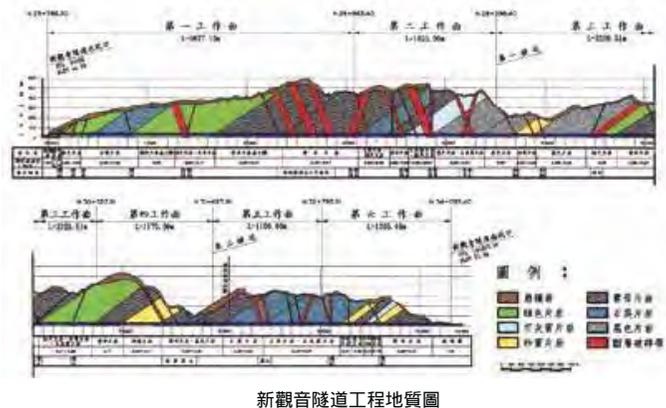
開挖時因應不同岩體類別，分別使用機械開挖與鑽炸工法開挖彈性運用，另配合周全的施工管理，以時段分班提昇施工效率，其施工進度仍可大幅提昇，達成安全、經濟、快速之隧道施工。

三、案例探討

3.1 新觀音隧道

北迴雙線新觀音隧道工程於1996年10月31日開工，2002年2月6日完工，工程經費預算為2,345,000,000元，結算為2,405,149,682元。工址北起武塔以南，跨南澳南溪支流沿樟樹山、南山及御恩山脈，經谷風穿越觀音海岸，南至漢本東北，其全長計10,307.1m，為臺灣目前最長之鐵路雙線隧道。施工區段分為北口、北橫坑北向、北橫坑南向、南橫坑北向、南橫坑南向及南口等6個工作面。

本工程原規劃線位於現有線之山側新建新觀音隧道（7,808m）及谷風隧道（2,445m），經考量原觀音隧道位置較靠海側，且處於海岸山與樟樹山交接段，受到擠壓，地質破碎，另谷風隧道位處滑動層，致當年北迴鐵路施工時曾歷盡滄桑，抽心、落盤、擠壓、湧水、地層滑動等災害不斷，故汲取上述原因及地質調查結果及以往隧道之設計、施工與管理經驗，乃將新規劃路線向內移，另行勘選新線連結原規劃之觀音隧道與谷風隧道為一座雙線新觀音隧道，全長達10,307.1m，藉以避開地質欠佳地段。路線經過區域地質主要為變質岩所構成之海岸山脈地形，地層屬大南澳片岩，其岩性主要由石墨片岩、矽質片岩、石英片岩及石灰質片岩所構成，唯岩層因歷經多次擠壓



新觀音隧道工程地質圖

及變質作用，產生斷層及剪裂帶甚多（原推估有45條，實際開挖為101條），不僅岩體破碎多變，於穿越觀音溪處有蘊含大量之地下水之可能。

有鑒於以往南、北迴鐵路隧道洞口施工經驗，常因地形、地質之條件惡劣與洞口明挖段開挖施工而造成洞門鄰近邊坡發生坡面崩壞或坍塌而使進洞作業困難，甚或花費大量時間與經費以處理邊坡保護，新觀音隧道洞口之處置，堪為整合各地形、地質條件等影響因子，並納入舊觀音隧道之施工經驗而獲致成功之案例，分述如後：

3.1.1 北口洞口段施工採用水平管幕工法

新觀音隧道北口屬滑動地層，隧道軸線與坡面成斜交型坡面，其通過地質全為堆積層且覆蓋層厚度約為20m～60m，頂拱薄弱形成拱作用應力差，週邊並有滑動帶及偏壓，在洞口設計及工法選擇及選用水平管幕工法作為洞口段施工之主要工法。



其施工方式係沿頂拱線外側以水平管幕鑽孔機具，鑽設一系列規則間距之鑽孔後插入鋼管再施予灌漿，以填充孔隙，使其在開挖線外形成一保護層，使頂拱開挖面因加勁補強後趨於穩定，然後才進行開挖工作，每次輪進12m，開挖9m，比傳統開挖縮短輪進距離或縮小開挖斷面分段開挖鑽灌之效率快，且擾動地層最小，其工法特性屬「先保護後開挖」之作用，有效維持開挖面穩定及保障施工人員與機具之安全。



新觀音隧道北口水平管幕工法

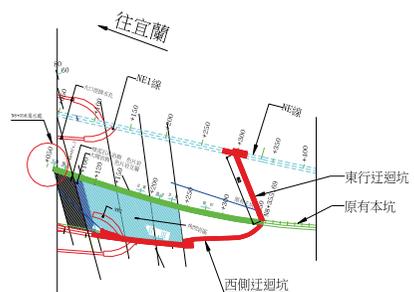
此工法施工成效非常良好，已作為爾後工法選擇之借鏡，目前此工法已陸續在其他隧道設計時被廣泛採用。

3.1.2 南口洞口段施工採用垂直縫地工法

新觀音隧道南洞口位置山側緊鄰蘇花公路，海側則與既有北迴鐵路平行且經研判可能為一廣域之滑動地形，其地質構成為崩積層及未固結之河床礫石。若隧道開挖時無法有效控制地層滑動，將影響既有鐵路交通至鉅。為此於規劃設計時除深入了解地形與地質外並研討有效因應地層滑動之對策工法，最後選擇採用垂直縫地工法並輔以監測作業作為輔助工法，經施作後順利安全通過此一特殊地質與地形區段，避免引起邊坡之崩塌。

3.2 新永春隧道

新永春隧道南口工作面，於1998年10月24日發生巨量湧水崩塌災變，湧水量曾高達80m³/min，累積崩塌土石22,000m³且持續湧水不斷，水量迄今仍持續維持25~30m³/min流量，實為國內外隧道工程罕見之災害案例。其後進行補充地質調查，長距離水平鑽探顯示湧水區段主要位於大理岩層，寬度自西側之70m向東側逐漸縮減並分為兩段，分別為15m與25m，此湧水帶具有高水量（最大約80m³/min）與高水壓（最大約50kg/cm²）之特性。而突破高壓湧水區段施工之輔助工法採排水隧道排水與灌漿阻水同時併行。首先鑽設大口徑排水管洩降隧道20m外之水壓，配合排水隧道排水，輔以熱瀝青灌漿於隧道近處（15m範圍內），有效阻隔地下水，提供開挖施工的基本條件。於開挖時以「遠排近灌」、「先撐後挖」、「隨挖隨襯」之理念，再考量相關處



新永春隧道南口西側迂迴坑示意圖

理措施，而終能於開挖施工時順利突破。熱瀝青灌漿工法為國內首度引用於交通隧道施工中遭遇巨量湧水處理，且處理相當成功之案例。

新永春隧道湧水災害處理之啟示分述如下：

1. 建立邊作邊設計之觀念

災害處理專案小組歷經70餘次會議研討，依據每一階段調查結果及所獲取資料研討決定下階段因應方案。充分發揮NATM隧道施工彈性應變需求，且在團隊合作及參與同仁努力及各級單位之支持始能順利完成。

2. 隧道施工宜順天而為

新永春隧道所遭遇之長期持續高壓湧水實為罕見，所為之解決方案均依補充地質調查所得資訊評估解決之可行性。本案選擇將西側迂迴坑作為永久排水坑，再將路線變更採東側迂迴坑，作為永久線即本於此。

3. 增加前進水平鑽探瞭解質情況可順利預為因應

高效率之水平鑽探對團隊確實瞭解開挖面前方地質情況而決定採取改線及降壓阻水等適當之預防措施頗具效益。

4. 需建立預防重於災害處理之觀念

因應地質條件預為改良地質以及控制變形而避免災害之發生可保持隧道施工穩定之進度之觀念需建立，新永春湧水災害處理參酌此種觀念獲致成效可供參考。

5. 採用新工法需有妥善之配套措施

新永春隧道湧水灌漿採用之熱瀝青灌漿工法為高壓高溫之作業為求確保安全對通風、動力需求、運輸動線、安全訓練、供料加溫等配套措施均需妥為規劃因應。評估本工法適合水庫防堵漏水或較為開放空間之地質改善，小規模工地不適合採用。優秀之作業團隊良好之合作默契及彈性之應變能力均甚為重要。

6. 宜選擇適應地質條件之工法

ITA1995年主席Prof. Einstein對隧道施工所下之註解為選擇適用地質情況之工法或者改良地質以適應所選擇之工法，由本工程所採取的解決方案與因措施充分印證了愛因斯坦教授之見解，實為隧道施工之最高指導原則。



新永春隧道長距離鑽孔與大口徑排水孔平面分佈圖



熱瀝青灌漿成效



四、傳承與展望

隧道工程具有不確定性、高風險性、時效性及複雜性而有別於一般的土木營建工程，除須慎選廠商外，需選擇最適合之工法、最有效率的機具且符合經濟效益的施工方式，再配合以週全的施工管理，始可圓滿達成。

4.1 提昇施工效率因應策略與配套機制

提昇施工效率因應策略與配套機制，綜整臚列如下
規劃設計：

1. 加強調查技術研發與引進。
2. 審慎規劃設計及合理妥善之分標措施。
3. 引進國際合作與加強技術交流吸收新知傳承經驗。
4. 彙整本土化之岩體分類系統研發最適宜支撐模式。
5. 建立防災觀念及配套地質改良機制。
6. 規劃設計融合自然景觀符合環保法規需求。
7. 資源回收再利用推廣永續經營觀念。
8. 加強監測系統檢測回饋修正，以邊做邊設計觀念，彈性選擇符合地質情況支撐系統。
9. 參考以往經驗結合岩石力學理論計算分析，達到經濟與安全目的。
10. 妥善規劃處理符合法令需求配套措施，施工用地、出碴棄土、廢流水排放、噪音公害防制等以免延宕工進。

發包契約：

1. 慎選優良專業廠商。
2. 彈性應變合約執行條款及合理計價機制。
3. 公平合理地質風險分擔機制以確認災害責任歸屬。
4. 建立評鑑機制配合優惠措施，以鼓勵績優廠商累積經驗及資源，提昇施工效率及競爭能力。
5. 建立具公信力爭議仲裁與司法體系，協助解決紛爭。

施工與管理

1. 配合E化執行優質施工管理，消除浮時縮短循環時間，定期進行機具維修，材料購置、進場與儲存控管強化後勤支援能力。
2. 重視專業技術及基層培養提供高素質人力。
3. 結合全球管理技術、人力、資金等有效組合提昇市場競爭力。
4. 加強支撐及防水防火材料研發，達到物美價廉實用的要求。
5. 加強地質改良技術及輔助工法研發運用。
6. 確實執行勞工安全衛生防護措施，以確保勞工生命安全。

7. 同意廠商依據本身既有優勢條件及經驗，提出替代方案，並於採行後公平分享利益。
8. 組織建立集設計、施工、自主品質要求目標一致之施工團隊。
9. 慎選符合地質條件之開挖工法或改良地質情況以符合選擇工法。
10. 建立快速反應災害危機緊急應變處理機制。
11. 考量鉗炸及機械開挖搭配，以取其彈性且快速優點。
12. 加強協調溝通解決遭遇問題，增加團隊執行力。

4.2 建立隧道營運維修管理機制

本局自東改計畫北迴鐵路雙線工程時期及有針對宜蘭線、北迴線鐵路之舊有隧道施作檢測及改善，以提升隧道使用之生命週期，由檢測中綜整隧道襯砌之異狀，目前國內隧道工程已由建設之高峰期，逐漸進入「中、老年期」的隧道比例隨之陸續昇高，營運中隧道安全檢測、評估、維護、延壽，已成為工程重要課題，亦將成為隧道工程未來之重點工作、



不同類型襯砌異狀

五、結論

隧道工程效率提昇有賴產、官、學相關隧道工程界，並結合環境保護共同努力，於對的時間選擇最佳方案與策略，提供正確執行方向，始有可能達成優質隧道工程。

參考文獻

1. 北迴鐵路工程處，北迴鐵路工程輯要，1980。
2. 南迴鐵路工程處，南迴鐵路工程輯要，1993。
3. 交通部鐵路改建工程局，東部鐵路改善計畫工程輯要，2005。
4. 傅子仁，提昇隧道工程效率之策略分析及案例探討，國立臺北科技大學土木與防災研究所，2004。
5. 傅子仁、薛文城，中華民國隧道協會臺灣營建研究院工程技術研討會論文集，『新永春隧道巨量湧水處理工程技術』，2003。
6. 中華民國隧道協會，臺灣隧道工程發展史及案例彙編，2009。
7. 薛文城、張本聖，地工技術第131期，2012年3月，第105-112頁。



花東新車站運動

摘要

- 一、前言
 - 二、計畫概述及設計理念
 - 三、新車站運動歷程
 - 四、獲獎
 - 五、結論
- 參考文獻



工務組技術員 / 何政道

Associate Technical Specialist / Ho, Cheng-Tao

摘要

「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」整體期程8年（98年 - 106年），是花東在地人士及國內外遊客矚目的重大建設計畫，主要為整建花東線新城站至臺東站間27個車站及週邊附屬設施。綜觀國內外，很難得有一系列的車站改建案，尤其是座落在花東天然風景如此美麗的地方，因此，我們以「花東新車站運動」來執行本計畫。「花東新車站運動」並不是將西部車站移置東部，而是以一個永續發展兼具多元文化內涵的精神來執行，創造令人感動與耳目一新的車站，達到「綠色建築、綠色運輸、綠色旅遊」之願景，使車站扮演「美好生活的連結者」之積極角色。

一、前言

隨著開放陸客來臺觀光及周二日政策的推行，帶動國內觀光產業蓬勃發展，尤其是花東地區更成為國際觀光景點。然而，現有花東線鐵路車站之場站老舊，設施不足，諸如月台、站場設備、嚮導指標、旅客進出動線、無障礙設施等，均不符新法令之規定，亦不能滿足旅客實際需求，在考量未來東部地區鐵路運輸、觀光需求及花東地區都市發展的前題下，如何在軟、硬體建設方面配合改善，以提升車站整體服務效能，重新

關鍵字：花東新車站運動、綠色建築、綠色運輸、綠色旅遊

詮釋車站功能與反應地方文化特色，強化鐵路觀光旅遊運輸功能，行政院遂於民國99年核定了「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」，該計畫是繼北迴線鐵路完工通車後，再次開啟東部鐵道史嶄新的一頁。不僅為新城站至臺東站等廿七個車站改頭換面、提升整體服務效能，搭配花東鐵路全線電氣化與瓶頸路段雙軌化工程之推動，更可縮短旅運時間、減少東西部落差，提升旅運品質，在花東地區整體觀光發展計畫及東部永續發展計畫下，帶動花東地區觀光產業和經濟的成長，為花東地區再創新局。

「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」之計畫範圍北起新城站南至臺東站，考量27個車站更新改建要能展現地方特色與理想，絕非一個建築師就可以承接的，故為使更多好建築師來共同參與，因此，本案細設服務之招標，採1個標案分A、B、C三項，分項複數決標來執行。此外，更邀請專業、公正之專家、學者共同組成評選委員會，包括：漢委員寶德、董委員萍、鄭委員晃二、喻委員肇青、蔡委員仁惠等5人，並採公開評選委員名單方式，以期提升參標者之作品水準，也由於評選委員的高標準，本案前後歷經三次招標才完成整個細設標招標作業。另為鼓勵有理想、有抱負的建築師參與評選，本局更頒發獎牌及獎勵金給評選優勝團隊。



「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」分標圖



評選委員與細設得標廠商合影

註：A項（新城站至平和站）- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 + 張樞建築師事務所
 B項（豐田站至玉里站）- 楊炳國建築師事務所 + 英商奧亞納工程顧問有限公司
 C項（東里站至台東站）- 中興工程顧問股份有限公司 + 大藏聯合建築師事務所 + 常式建築師事務所

二、計畫概述及設計理念

「花東新車站運動」希望各車站在設計上充分反映在地自然與文化的特色，融入當地城鄉風貌，並展現綠能環保車站的內涵，使新的車站成為都市再生及文化觀光發展的發電機。新車



站更循通用化設計原則，改善嚮導指標、符合性別平等空間設計、改善公廁及無障礙設施等，創造屬於符合任何人使用的車站環境空間。本計畫完成後，將可提供一適切的、功能良好，且符合經濟原則的車站設施以服務旅客，使旅客在安全、方便、舒適、美觀之車站環境旅行，各種服務空間完全地整合且不相互干擾，並新增「自行車服務」、「旅遊服務」、「農產品服務」、「網路e化服務」及「餐旅服務」等五大服務設施，藉



花東新車站運動宣導圖

由鐵路運輸服務之提昇，帶動東部地區觀光發展，達成跨業加值之目標。就花東地區而言，車站扮演的角色就是城鎮的門戶，亦即地標建築，因此，花東新車站並不只是建設交通上所需要的車站，同時也建設在地人生活上所需要的車站，亦需將周遭的生活、文化、藝術融入，進而成為當地居民重要的生活場域，並期許每個車站設計都能融入當地城鄉風貌，為花東地區老舊車站妝點嶄新的容顏，創造出為後山觀光加分的車站建築，用好的設計手法創造空間效果，達到具有高水準的設計案，並藉由鐵路運輸服務之提昇，期能帶動花東地區觀光發展示範性的宣示效果，共創花東觀光發展的新紀元。



99年6月17日花東新車站論壇

三、新車站運動歷程

3.1 論壇

就「花東新車站運動」的發展歷程而言，一開始為有效達成計畫效益並廣納建言，特於99年6月17日舉辦「車站改建效能提升、花東風貌再創新局」論壇，邀集地方民代及專家、學者參與，集思廣益將重點納入招標文件作為評選指標，並依論壇綜合意見訂定執行本計畫之宣言及設計目標。隨後遂以「花東新車站運動」為名，下鄉傾聽地方民眾對車站更新改善工程之建議與期許，並開闢「花東新車站運動」官網對話窗口，廣收各方建議，納入研討，並於99年8月28日、29日於臺東、花蓮召開二場座談會，匯集各方與會者之建議，作為後續細設之參考。

經過細設階段辦理多次地方座談會及各車站設計說明會，充分與地方民眾溝通、互相交流、修正構想後，終於確立花東新車站的設計方向，包括「八大推動宣言」及「七大設計目標」，分述如下：

1. 八大計畫推動宣言：

- (1) 改建車站提升效能
- (2) 強化鐵路服務設施
- (3) 結合地方文史特色
- (4) 導入綠色建築內涵
- (5) 優質樂活鐵馬故鄉
- (6) 形塑國際觀光門戶
- (7) 節能減碳永續發展
- (8) 花東風貌再創新局

2. 七大車站建築設計目標：

- (1) 汲取花東地方文史特色，融入車站建築設計。
- (2) 融合東部好山好水，建造永續經營綠建築。
- (3) 推展東部休閒觀光旅遊，建構兩鐵共乘環境。
- (4) 提昇鐵路服務品質，完成通用化、國際化、標準化的旅運設施。
- (5) 建置資訊及運輸無縫接駁服務，創造時間空間優勢。
- (6) 完備站區各項生活機能，打造社區民眾樂活休閒環境。
- (7) 營造車站成為旅遊入口門戶，提供多元服務，提昇休閒生活品質。

3.2 委託設計案招標

在透過前述論壇及地方說明會等公開方式，獲致專家學者及民眾對花東新車站的期許與願景後，我們更將其綜整納入招標文件中，作為評選依據。另為徵求更多有理想有熱誠的建築師來參與投標，遂採1個標案分項複數決標方式來執行，並於報章雜誌及各建築師公會廣布委託設計案招標訊息。此外，為求細設評選之超然立場，更邀請專業、公正之專家、學者共同組成評選委員會，包括：漢委員寶德、董委員萍、鄭委員晃二、喻委員肇青、蔡委員仁惠等5人，並以公開評選委員名單方式，期提升參標者之作品水準，也由於評選委員的高標準，本案前後歷經三次招標才完成整個細設招標作業。為鼓勵有理想、有抱負的建築師參與評選，本局更頒發獎牌及獎勵金給評選優勝團隊。

上述歷程與招標方式的突破，諸如：評選前公開評選委員名單、採複數決標模式、頒發獎牌及獎勵金給評選優勝並於建築師雜誌刊登招標公告等，皆為本局史無前例之創舉，其目的除宣示政府「要辦好」花東車站改建的決心，更希望用好的設計手法創造空間效果，達到具有高水準的設計案，創造出為後山觀光加分的車站建築，此外，並透過與地方充分互動及參與的過程，完成一個大家都滿意的成果。



3.3 成立「設計元素提供及諮詢委員會」

為使車站能夠具有地方特色，更成立由地方文史工作者、地方學校（大學）建築相關學者專家、觀光局、地方政府、臺灣鐵路管理局以及鐵路改建工程局代表組成之「設計元素提供及諮詢委員會」，就地方文史特色及原由、觀光區位及功能、地區需求及農特產等提供設計元素，協助設計者將地方文史特色、地區需求及農特產種類等，納入車站整體設計構思之中。在歷經三次設計元素提供及諮詢會議後，意見整合如下：

1. 一鄉一特色之車站設計，特色要有排他性，避免重複。
2. 族群特色，如原住民族群、客家、閩南移民族群等。
3. 車站空間功能明確化，納入「文創」因子，構思與地方文化創意產品及特色產品展售結合，增加車站特色、內涵。
4. 青山綠水、天海湛藍，融入色彩運用，考量車站之穿透性。
5. 具有國際視野之建築及最新之設施功能。
6. 設計者多與民眾接觸，增加民眾參與。
7. 車站設計者應有使命感，才能創造出好品質的特色車站。
8. 既有地方發展計畫及設施功能之整合。
9. 車站故事呈現連結，構成尋找故事的鐵路地圖。

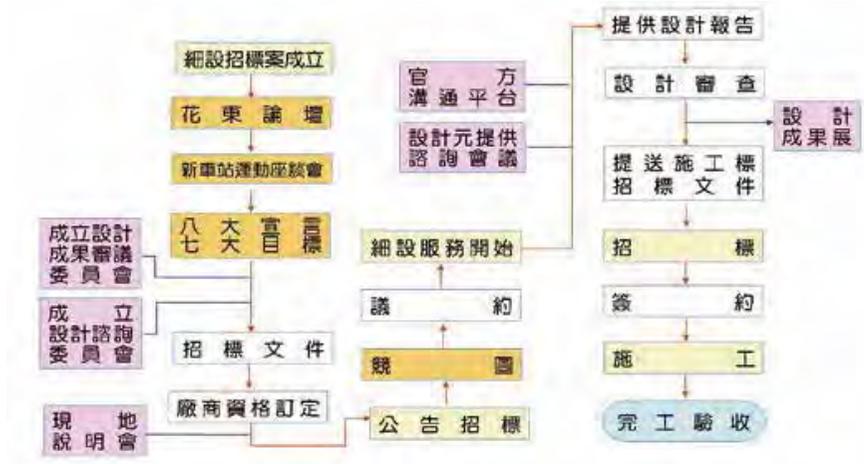
3.4 成立「設計成果審議委員會」

為求設計成果的追蹤與落實，並由評選委員如：漢寶德、董萍、鄭晃二、喻肇青、蔡仁惠、徐秀菊及陳錦忠等權威學者專家共同組成「設計成果審議委員會」，為細設階段的設計成果嚴格把關，希冀本計畫各車站設計都能融入當地城鄉風貌，創造出為後山觀光加分的車站建築，為花東地區老舊車站妝點嶄新的容顏。

委員會中各委員的共識均認為，車站設計並不是大張旗鼓的改建，也絕非花大錢就好，車站站體亦不應大而無當，而是因地制宜，小而美的減量設計反而是合乎花東地區實際需求與符合地方特色的好車站，而光有特色的車站也不一定是好車站，唯有好品質的車站才是好車站，並且應放手讓專業人員進來發揮專業效能，跳脫車站只是交通建設的功能。在歷經五次審查會議審議後，細設單位終將花東新車站運動及一鄉一特色之精神落實於車站的實質設計中。



「設計成果審議委員會」開會實況



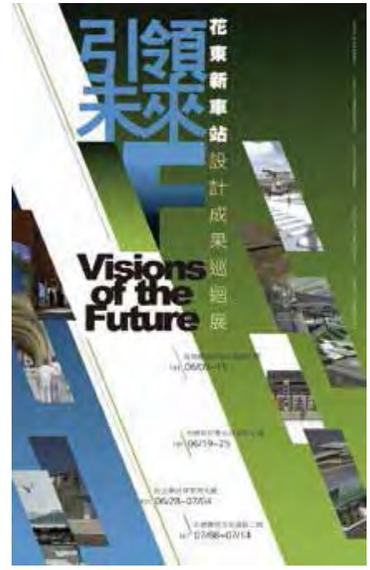
計畫執行機制流程圖

3.5 設計成果巡迴展

為使民眾了解花東地區鐵路車站實質改善內容及車站未來樣貌，特舉辦「設計成果巡迴展」，突破以往政府部門多做少說的作法，藉此雙向溝通機會讓民眾對交通建設有感，承蒙各界熱情參與、共襄盛舉。展覽自101年6月9日起，以臺東作為首展地點、依序至高雄、臺北和花蓮巡迴展出，四場次展出業於101年7月17日圓滿落幕，共計吸引3萬人次參觀。展前藉由多媒體的宣傳行銷，包括電視、廣播、網路、報章雜誌等，使百萬人間接得知「花東新車站運動」的具體作為，參觀民眾多持正面看法，讚許政府施政之用心，對本計畫表示肯定與支持，成效卓著。

成果巡迴展現場並對參觀民眾進行問卷調查，其目的在增進參觀民眾對新車站運動之參與，並了解其對車站設計之認同與否，總計收集問卷7407份，其中有效問卷為7321份，經針對問卷調查結果交叉分析，整理歸納主要重點，概述如下：

1. 九成民眾肯定一鄉一特色之車站設計：民眾普遍認同新車站以各站所在地特色作為辦理設計之原則。
2. 近九成民眾滿意綠建築設計理念：新車站採節能減碳之環保概念辦理設計獲得民眾認同，並反映時代精神。



設計成果巡迴展DM



設計成果巡迴展（臺東場次）



設計成果巡迴展（高雄場次）



設計成果巡迴展（臺北場次）



設計成果巡迴展（花蓮場次）

3. 花蓮新站及臺東新站分獲最喜愛車站：花蓮場、臺東場的受訪者分別對於當地新車站的設計感受強烈，分別為問卷票選最喜愛車站的第一名及第二名。
4. 現有花東車站硬體設備極需改進：有46%的受訪者認為應改進“旅運服務空間不足”問題。
5. 民眾認為新增「自行車服務」、「旅遊服務」、「農產品展售服務」、「網路e化服務」及「餐旅服務」等五項功能，皆可以提升服務效能。
6. 近七成民眾認為鐵路電氣化將節省旅行時間：尤以花蓮場、臺東場的受訪者更能體會鐵路電氣化帶來節省時間的好處。
7. 民眾普遍認同花東車站效能改善後能提高旅遊意願：九成的受訪者認同花東車站經過整體效能改善將提高民眾至花東旅遊的意願。
8. 花蓮站之設計更獲得超過60%當地民眾之喜愛，此數據遠高於整體參觀民眾（約3萬人）之平均喜愛度（47%）。
9. 另花蓮地區受訪者對於車站新增五項功能之認同度，亦分別高達80%至94%，認為可提高民眾至花東旅遊的意願。

3.6 「花東新車站運動」成效

為執行「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」而推動之新車站運動，雖因作業繁複耗費較長時間，然推動至今已具相當成效。尤以舉辦設計成果巡迴展，更是突破以往政府部門多做少說的作法，藉此雙向溝通機會讓民眾對交通建設有感，參觀民眾多持正面看法，讚許政府施政之用心，對本計畫表示肯定與支持，實可謂是「政府施政，民眾有感」的具體實踐。

「引領未來-花東新車站設計成果巡迴展」，其重點在呈現花東新車站運動所代表之綠色運輸、綠色建築、及綠色旅遊三大未來趨勢，使民眾了解本局辦理「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」之用心，匡正車站改建僅是「拉皮」之誤解。此外，透過巡迴展，民眾所直接反應的相關具體意見，更可作為本局其他計畫推動之參考，因為車站的完工並不代表新車站運動的結束，車站周圍土地的規劃與開發尚有待中央與地方的繼續合作與努力來完成，我們將一步步地有計畫地推動落實，創造令人感動與耳目一新的花東新車站。

綜整「花東新車站運動」所引領帶動的成效展現在下列三大面向：

1. 綠色運輸

鐵道發展是臺灣現代化的重要動力之一，它與產業文化、城市發展及人們的生活記憶都有密切關係。隨著後工業時代的來臨，鐵道不再只是鐵道，更承載了人們記憶、運送著地方情感、完成旅遊情懷和想像。將來花東新車站的整建完工再結合花東鐵路電氣化的雙重效益下，除了可以大幅縮短鐵路運輸時間，增加運輸的班次，亦可大幅提高客貨運輸能力。花東鐵路電氣化工程讓綠色運輸的推廣及區域經濟的發展上，皆大幅邁進一步。我們期許藉由「花東新車站運動」，能推動節能減碳及永續環境關懷，延伸鐵道所代表的意義，與未來綠色生活相連結。

2. 綠色建築

花東新車站在「綠建築」設計上採因地制宜的手法做最佳化設計，也就是將基地及建築本體的優勢條件最大化，我們所追求的是不需要花大錢，也不一味地設置太陽能發電板或昂貴的循環機等設施的「綠建築」，而是要用心設計，並充分運用地理條件及物理環境，以設計手法創造出自然對流、通風、採光、節能、減碳及低環境衝擊、高自然調和、美質適意的設計方案。花東新車站設計就是本此理念，符合永續工程、綠色建築的趨勢，導入綠建築概念，依循綠建築九大指標進行設計，並取得高等級的綠建築標章。



結合五大功能之鐵路運輸服務



3.綠色旅遊

花東新車站所加值的五大功能將引領綠色旅遊風潮，全面帶動花東地區觀光產業和經濟的成長。在配合政府低碳運輸政策下，我們企圖將綠色運具與觀光遊憩結合，積極推動自行車活動與低碳生態觀光。除藉由花東鐵路電氣化提升了鐵路整體的運輸效能，更搭配臺鐵所推出的綠色環保車廂，以及與車站整合在一起的自行車補給站，讓花東地區得天獨厚的自然資源，透過「捷運/火車、客運、自行車」的旅遊結合，為當地社區及自然生態帶來長期的環境、社會及經濟利益。就扣合區域性發展和都市定位的角度上來看，「花東新車站運動」將促使花東地區未來的轉型發展，藉由硬體的建設與改善、觀光資源及地方產業的融合，同時提升旅運服務品質和旅遊產品的多樣性，實踐永續發展的精神和多元文化的內涵。

四、獲獎

正因為對「新車站運動」永續理念的執著與用心，本計畫榮獲「100年國家永續發展行動計畫執行績優獎」，這是自93年本獎項開辦以來，交通部第一個也是目前唯一獲此殊榮之計畫，尤其在與中央及地方各機關眾多以環保、永續為主軸計畫之激烈競爭中，通過初選、複選、決選，最後脫穎而出，實屬難能可貴。



綠建築車站（新城車站）

本計畫為交通建設永續發展立下一個基礎。一以貫之，花東新車站不僅是單體建築，而是要有延伸性及擴散性，不要成為西部火車站的翻版，所以車站設計除與周圍環境互動並考慮各個面向與關係外，更為後續計畫預留空間和彈性。俟本計畫完成後車站功能提升及正面效益包括：



100年國家永續發展執行績優獎頒獎（吳院長與許局長）

4.1 車站功能提升效益

1. 自行車補給站：提供自行車租賃、休憩補給服務，便利民眾藉由鐵路運輸抵達東部旅遊。
2. 餐旅及農特產品展示服務：帶動地方農業及經濟發展。
3. 遊客中心設置：於具觀光景點之車站內由觀光局配合設置遊客中心，提供相關服務項目，進而提升沿線旅遊品質。
4. 友善的車站環境：將車站動線作整體規劃並改善各項軟、硬體設施達成真正的「無障礙環境」，並納入車站性別平等空間設計。





一鄉一特色車站 logo

5. 一鄉一特色：車站改建融合地方自然景色與人文風情，形塑車站成為當地的門戶建築，並以休閒、簡約與純樸為設計風格。
6. 綠建築車站：將車站設計導入綠建築概念，依循綠建築九大指標進行設計，爭取高等級之綠建築標章。

4.2 正面積極實質效益

1. 旅行時間與事故成本節省效益：縮短交通耗時，降低旅客於站場受傷及穿越鐵路之列車事故。
2. 永續發展建設效益：本計畫以國家建設永續發展為思維，發揮計畫最大效益，呈現綠能環保與節能及深層文化內涵的花東線第三代車站。
3. 落實節能減碳政策：行車成本節省效益、空氣及噪音污染成本節省，使臺灣邁向地球村「節能減碳」先進國家的領域，更落實打造自行車王國的美譽，藉此提升國際能見度。
4. 車站及周邊土地增值效益：以車站為中心之商圈逐一發展，對地方發展與沿線土地開發產生莫大助益。
5. 觀光社會效益：擴展花東線觀光旅次，配合旅遊服務產品規劃、兩鐵環保專車、郵輪式列車及自行車遊憩路網等，行銷臺灣環島觀光特色行程。



自行車補給站logo

五、結論

「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」各車站目前皆已完成細部設計，刻正辦理發包與施工作業，本局將秉持一貫的精神，如期、如質、如度完成本計畫，更以落實「花

東新車站運動」精神自詡，達到「車站改建效能提升、花東風貌再創新局」之目標。

花東新車站設計精神在於將地方的特色融入車站建築語彙中，透過「設計元素提供及諮詢委員會」的開放討論及參與設計過程，建築師在考量使用現況的基礎上，將地方的文化特色轉化為深層的思維，並運用節能減碳等綠建築手法，反映到車站的實質設計上。而「花東新車站運動」，更是繼北迴線鐵路完工通車後，再次開啟東部鐵道史嶄新的一頁。不僅為新城站至臺東站等廿七個車站改頭換面、提升整體服務效能；再加上花東全線電氣化與瓶頸路段雙軌化，更可縮旅運時間，全面帶動花東地區觀光產業和經濟的成長與發展。

參考文獻

- 1.交通部鐵路改建工程局，東部鐵路改善計畫工程輯要，2005。
- 2.交通部鐵路改建工程局，花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫綜合規劃，2008。
- 3.交通部鐵路改建工程局，花東線鐵路整體服務效能提升計畫綜合規劃，2010。
- 4.交通部鐵路改建工程局，「引領未來」花東新車站設計成果專輯，2012。
- 5.台灣世曦工程顧問股份有限公司及張樞建築師事務所，花東線鐵路整體服務效能提升計畫技術服務建議書，2010。
- 6.楊炳國建築師事務所及英商奧亞納工程顧問有限公司，花東線鐵路整體服務效能提升計畫技術服務建議書，2011。
- 7.中興工程顧問股份有限公司及大藏聯合建築師事務所與常式建築師事務所，花東線鐵路整體服務效能提升計畫技術服務建議書，2011。
- 8.中國工程師學會工程倫理委員會及交通部鐵路改建工程局，第31次重大工程建設績效研討會暨鐵路改建工程30周年工程技術研討會論文集，2013。



2

挑戰 勇於突破

- 80 地下化車站及隧道逃生規劃
- 88 鄰近高雄捷運R11臨時站潛盾隧道之深開挖設計與施工
- 101 影像式平交道障礙物自動偵測裝置
- 109 新山里隧道施工規劃與礫岩開挖探討
- 117 新自強隧道沉泥段施工開挖探討
- 128 彈性PC軌枕防振直結無道碴軌道之發展及應用
- 137 軌道之施工與切換作業



地下化車站及隧道逃生規劃

摘要

- 一、前言
 - 二、避難逃生路徑規劃
 - 三、煙控模擬檢討
 - 四、結論
- 參考文獻

南工處電務隊隊長 / 溫智翔
Engineer and Captain / Wen, Chih-Hsiang

摘要

因時代變遷都會區發展，將現有地面營運鐵路地下化，消除造成交通瓶頸之鐵路平交道，達到都市縫合，促進都市發展更新，為多年來鐵路交通建設努力目標。但鐵路地下化後大眾所使用為相對封閉的空間，若發生事故且管理處置不當，將易引起嚴重的人員傷亡，運輸安全的確保不僅代表生命財產的保障，亦代表國家形象。有鑑於此，本文針對鐵路地下化車站及隧道，探討如何提供旅客在有限時間內安全逃生的關鍵議題，並藉由計算流體力學CFD (Computational Fluid Dynamics) 模擬結果及過往經驗，進一步說明規劃設計方式，做為後續相關工程案例的參考。

一、前言

鐵路地下化可改善都市交通及市容，然地下車站及隧道屬相對封閉空間，發生事故時將使救援工作及人員逃生更形困難。在國外曾經發生數起地下車站及隧道火災案例，造成人員大量傷亡，舉世震驚：

1.1 亞塞拜然地鐵大火

1995年10月29日於亞塞拜然共和國 (Azerbaijan) 首府巴庫 (Baku)，一列五節車廂之列車，由Uldus站往Narimanov站行駛，每節車廂約載有250 300人。因列車機件故障，列車於地下隧道內發生嚴重火災，共造成289人死亡，265人受傷。

關鍵字：地下化車站、安全逃生、CFD模擬

1.2 美國舊金山灣地下捷運火災

美國舊金山與奧克蘭間的舊金山灣捷運系統（The Bay Area Rapid Transit, BART），1972年9月11日開始營運。於1979年1月17日，因先前列車的意外事故，使得行車路線上部設施受到損傷，但由於維修人員沒有澈底檢查與維修，突出不整的護板架導致後續行經該路段117次列車的接觸板組件因而損壞。損壞的組件再接觸到最後兩節車廂上的5000立方英尺空氣槽，產生電弧，導致儲氣槽燃燒，造成列車大火。共造成1位消防隊副隊長死亡，44位消防人員受傷。

1.3 倫敦King's Cross 地下車站火災

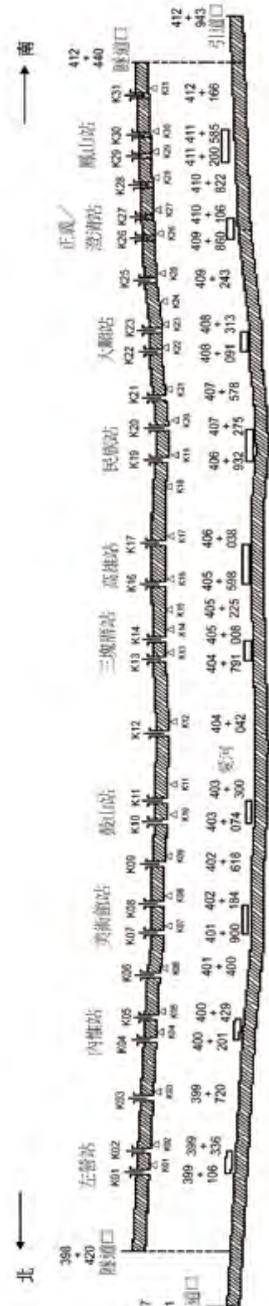
1987年11月18日，倫敦King's Cross地下車站因旅客抽煙亂丟火柴，未熄滅的火柴由電扶梯細縫掉落至電扶梯之齒輪溝槽，引燃電扶梯內油脂和碎屑，而引發火災，並因過遭易燃物助燃，火勢迅速擴展，共造成31人死亡，27人受傷。

由國外地下車站及隧道災害之災例可知，其密閉式結構與災害發展特性，關係到該空間內人員避難、應變救援等措施，如何建構完善的防火避難設施與硬體設備，以利事故發生時讓地下車站及隧道內人員能有系統地按現場災變情境，迅速且順利避難逃生，實為工程規劃設計時重要課題。

二、避難逃生路徑規劃

2.1 緊急出口配置原則

隧道發生緊急事故時，人員需經由緊急出口疏散，依據美國防火協會NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION（NFPA）之有軌列車及鐵路客運體系標準（Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems）NFPA 130規定，旅客在隧道中任何位置至緊急出口之距離，以每分鐘61公尺的行走速度乘上疏散時間6分鐘計算，不得大於381m。亦即兩座緊急出口距離不得大於762m，惟考量隧道上方地面用途及路權範圍等因素，彼此之間距可不相同，右圖為高雄都會區地下化車站、通風口及逃生口位置示意圖。



高雄都會區地下化車站、通風口及逃生口位置示意圖



2.2 通風口配置原則

為能提供地下車站及隧道內新鮮空氣，於車站月台兩端各設置一處通風口，做為車站進氣、排氣及減壓之用。另依據定線資料，相關之里程，藉由地鐵環境模擬（Subway Environmental Simulation, SES）程式模擬評估、配置隧道通風系統，並計算通風井面積、數量之需求，隧道氣流對地下車站空調系統負荷的影響，隧道溫度分布等。

SES程式是由柏誠公司（Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas Inc.）之工程人員所發展，並於BART、Montreal Metro、美國其他城市及我國捷運系統獲得驗證。模擬程式是以一維動態的方式進行雙向多軌之地下鐵環控系統模擬，主要包括4個互相關聯之副程式，簡述如下：

（一）列車性能副程式：

可連續地計算出列車的速度、加速度、位置及熱釋放的大小。

（二）空氣動力副程式：

根據上項計算之資料，計算在隧道、車站及通風井中的風速、風量及壓損。

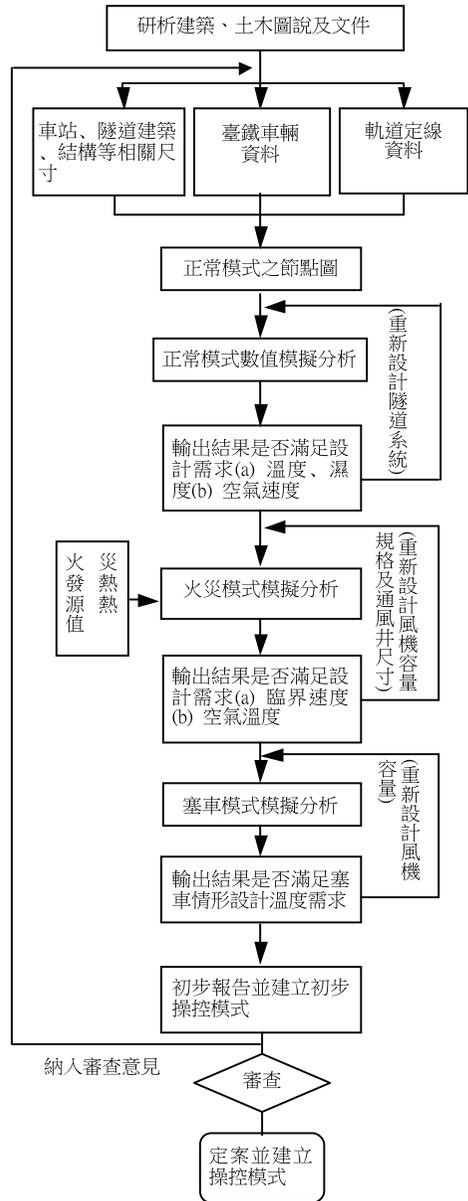
（三）溫/濕度副程式：

依據上開兩項副程式之計算結果，計算出整個系統的顯熱、潛熱及所有點的溫濕度。

（四）熱匯集/環境副程式

可用來計算長時間操作下，隧道內空氣與周圍土壤間傳導的熱量及達到車站設計條件所需之加熱或冷卻負荷。

地下鐵環境模擬（SES）工作流程示意圖，SES可計算尖峰時間在（1）正常運轉模



地下鐵環境模擬（SES）工作流程圖

式下，評估隧道系統的通風井數量、面積、坡度、曲率等配置，能否藉由列車活塞效應引進氣流，達到設計溫度、污染物濃度條件要求。（2）在緊急運轉模式下，確認可利用隧道通風系統各種運轉模式，當火警列車停於隧道規劃任一區域內時，該事故區段通過氣流超過臨界風，維持避難路徑的安全並建立隧道風機緊急運轉模式表。（3）在塞車運轉模式下，列車因故障停於隧道內，活塞效應消失，隧道溫度因列車設備運作將升高，計算是否可藉由隧道通風系統，維持臨時停車區段溫度低於40。

2.3 車站旅客避難路徑規劃原則

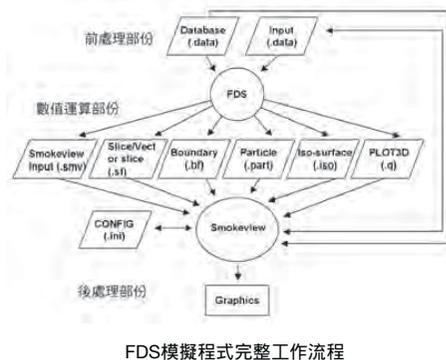
地下車站避難路徑，以符合NFPA130及交通部「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」第3.2.1條規定基準為先決條件，即自地下多層車站之最低層月台，必須在4分鐘內將乘客疏散至緊急逃生口，然後其上每增加一層得增加2分鐘之疏散時間，最後疏散至避難層或安全地點。

在避難路徑基本規劃完成後，可藉由Simulex等避難分析軟體進行避難時間及避難現象模擬計算或以NFPA 130等避難時間檢證方法，進行避難安全性能驗證，確認避難路徑符合規範要求。

三、煙控模擬檢討

所有車站或隧道防火避難設施及消防安全設備皆是為了『一旦災害發生人員可以順利安全避難逃生』之目的。其中煙控系統與避難系統設計，兩者有著密不可分的關係。煙控系統最主要的目的是維持車站或隧道內部使用者不受火災產生的濃煙所侵害而遭到危害，車站或隧道發生火災時，內部人員必須儘快安全的離開火場，此時煙控系統必須發揮其應有的功效，並確保其功能順暢，保持逃生路徑或是避難區域不受濃煙侵襲，讓人員順利安全避難。

為了確保地下車站及隧道能安全避難，規劃設計時先採用CFD進行地下車站及隧道火災流場模擬分析，以確認火災發生時防火避難設施與硬體設備可提供足夠的逃生路徑及時間。目前煙控系統模擬常採用之工具為美國國家標準和技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）所發表之火災動態模擬軟體（Fire Dynamics Simulator, FDS），進行地下各樓層的煙流模擬，分析火災發展模式，FDS模擬程式完整工作流程如圖。藉由三維環控模擬分析獲得不同火災情境之火場性質，如溫度分佈、CO濃度分佈、與能見度分佈等，藉以補助判定所規劃設計之車站及隧道煙控系統性能，滿足各種不同火災情境之安全需求。





3.1 CFD模擬分析之性能判定基準

CFD模擬分析結果，可做為火災煙控系統之性能判定。其判定基準主要依據NFPA 130建議，主要內容包括如下：

(一) 逃生空間溫度

火場溫度在數秒內允許最高溫為 60°C ，最初6分鐘允許暴露之平均溫度為 49°C 。人員在數秒內可通過火場，以 60°C 為判定基準。

(二) CO濃度

在數秒內允許之最高濃度為 $2,000\text{ppm}$ ，最初6分鐘暴露平均濃度不大於 $1,500\text{ppm}$ ，最初15分鐘暴露平均濃度不大於 800ppm ，其餘條件暴露平均濃度不大於 50ppm 。採濃度小於 $1,500\text{ppm}$ 為判定基準。

(三) 能見度

煙能見度要求，在有照明（ 80lux ）的避難標誌，能辨視的距離為 30m ，門及牆壁能辨視的距離為 10m 。採 10m 能見度為判定基準。

(四) 輻射熱強度

關於輻射熱 q'' （Radiation Heat Flux）部份，在數秒內允許暴露值最大為 $6,305\text{W/m}^2$ ，最初6分鐘允許暴露平均強度 $1,576\text{W/m}^2$ ，其餘條件之暴露平均強度為 946W/m^2 。NFPA 130內容顯示，人員經過火場時接受到最大輻射強度僅為數秒的時間，以 $6,305\text{W/m}^2$ 或 6.3kW/m^2 來考慮。亦即於避難路徑上，人員可承受之輻射熱強度值為 6.3kW/m^2 以下。

(五) 煙層底部

參酌先進國家之設計規範，目前將煙層底部訂於不得低於 1.8 公尺。

3.2 列車發生火災之CFD模擬應用案例

(一) 車站型式與簡易說明

車站等級：通勤車站。

構造型式：地下二層車站，共2股道。

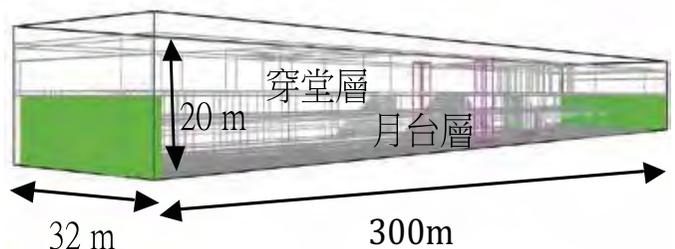
月台型式：2個側式月台。

出入口數量：

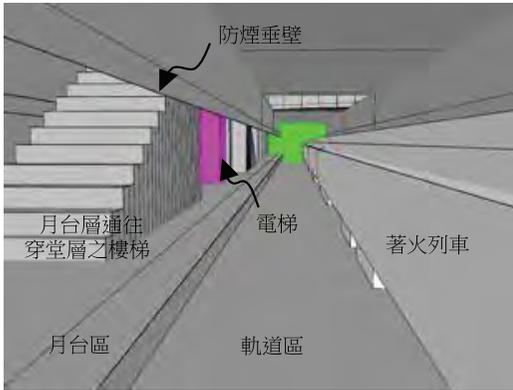
月台各設置2座旅客樓梯及逃生梯。

地面層設置1個出入口。

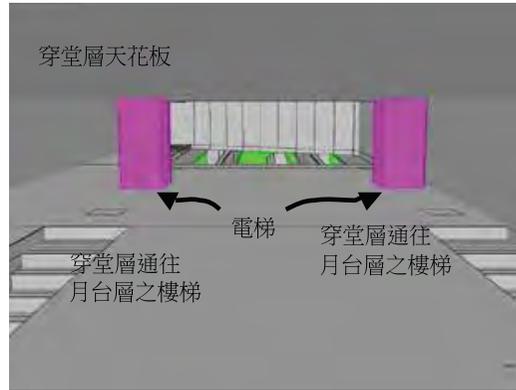
模擬模型示意如圖



月台層列車發生火災模型之尺寸圖



月台層之模擬模型

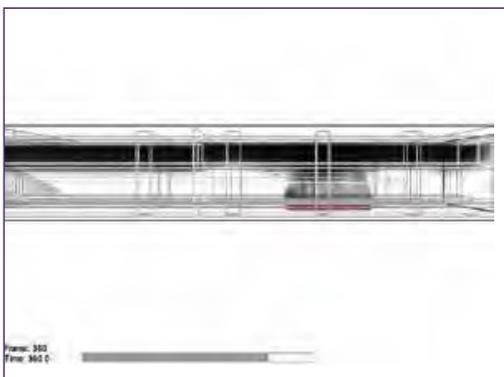


穿堂層之模擬模型

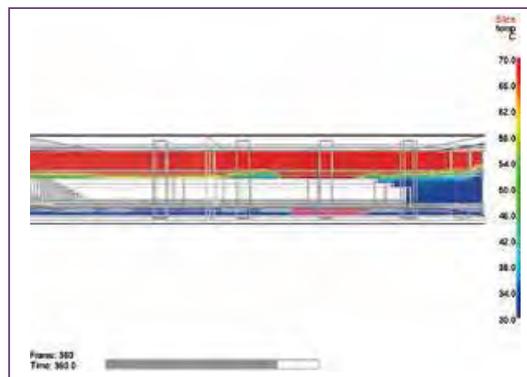
(二) 火災模擬情境

假設一列臺鐵的列車車頭發生火災，並停靠於車站月台層軌道側。火災規模為30MW，成長速度極快速（ULTRA-FAST），模擬時間為900秒。火災發生在車站站內，因此車站兩側隧道通風風機開啟，人員經由樓梯往穿堂層往安全地點避難。

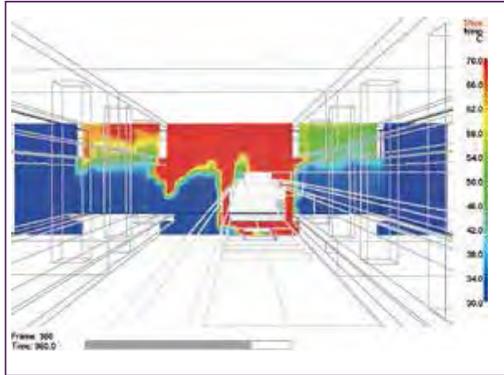
本應用案例為地下二層車站，依NFPA130規定，地下多層車站之最低層月台，必須在4分鐘內將乘客疏散至緊急逃生口，6分鐘內疏散至避難層或安全地點。模擬成果如表1所示，依據溫度、CO濃度、能見度與輻射熱強度等各項判定基準，逐項研判並確認人員避難路徑上能提供至少360秒安全逃生環境之時間，成果顯示符合疏散之時間需求。



列車車頭發生30 MW火災之煙層擴 (360秒)



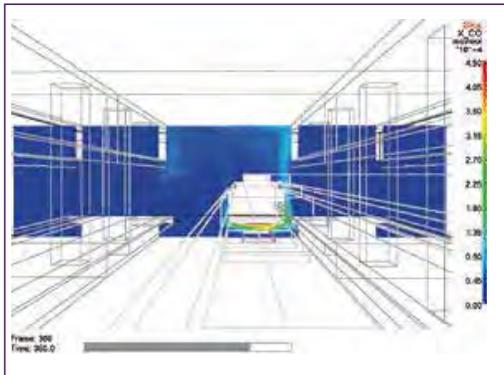
列車車頭發生30 MW火災之溫度分佈長向剖面圖 (360秒)



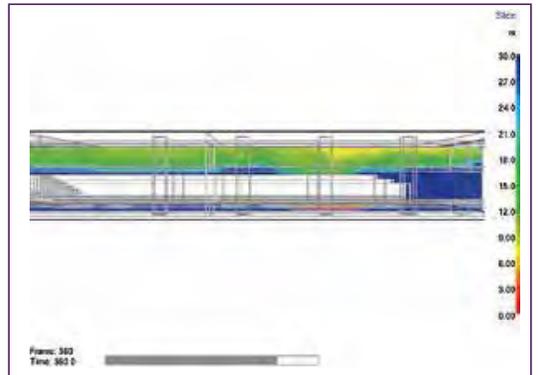
列車車頭發生30 MW火災之溫度分佈短向剖面圖 (360秒)



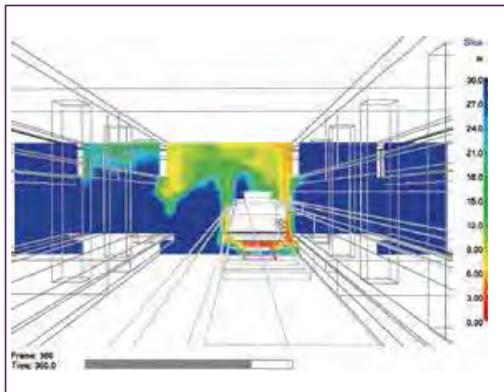
列車車頭發生30 MW火災之 CO濃度長向剖面圖 (360秒)



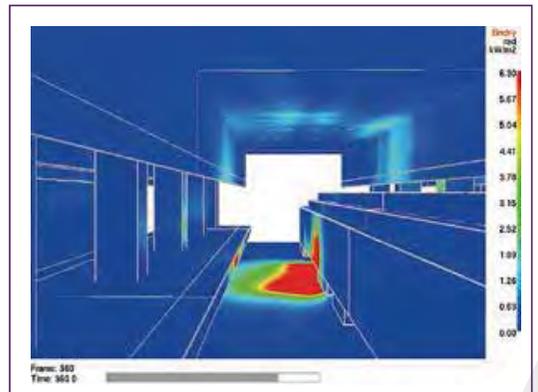
列車車頭發生30 MW火災之 CO濃度短向剖面圖 (360秒)



列車車頭發生30 MW 火災之能見度長向剖面圖 (360秒)



列車車頭發生30 MW 火災之能見度短向剖面圖 (360秒)



列車車頭發生30 MW火災之輻射熱強度分佈圖 (360秒)

火災煙控模擬成果

| 項目 | 判定基準 | 可提供安全環境之時間 |
|--------|-----------------------|------------|
| 逃生空間溫度 | < 60 | 360秒 |
| CO濃度 | <1500 pm | 360秒 |
| 能見度 | > 10 m | 360秒 |
| 輻射熱強度 | <6.3 W/m ² | 360秒 |

四、結論

本局於執行各鐵路地下化專案計畫，規劃設計時均利用各項模擬分析，確認相關防火避難設施與硬體設備符合相關法令及準則，並於通車啟用前，針對隧道通風性能及避難路徑安全性，引進國外先進試驗技術，執行地下車站及隧道全尺度煙控系統實驗量測，並將實際量測與原模擬分析數值，進行比對分析驗證，確保各項施工與系統整合能達到規劃設計目標，以降低地下車站及隧道營運風險。

火災發生時除硬體設施需發揮功能外，相關配套措施如通訊系統通報、旅客避難引導、隧道通風之緊急運轉模式等臨場處置，更是發揮設施功能或彌補設施不足的關鍵。如何藉由蒐集國內外地下車站或隧道火災事故之預防及避難策略，從中吸取應變處理之經驗，藉以持續檢討修正營運中或新建隧道與地下化車站整體安全概念，實為營運管理及工程單位需持續進行的重要課題。

參考文獻

1. 行政院公共安全管理白皮書，「鐵路隧道及地下場站安全管理」，行政院災害防救委員會，2004年。
2. 交通部「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，2008年7月。
3. 簡賢文，「大型地下空間緊急應變體系之建構-臺灣經驗」，第八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，2009年11月。
4. 黃國倫，「運行中的地下列車火災之煙塵擴散」，第八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，2009年11月。
5. 丁俊智，「CFD於捷運地下車站防災之應用」，第八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，2009年11月。
6. 交通部鐵路改建工程局，高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫綜合規劃報告，2010年12月。
7. 交通部鐵路改建工程局，高雄車站防災計畫定稿版，2012年5月。
8. 交通部鐵路改建工程局，高雄計畫SES-FDS模擬分析報告，2013年4月。
9. 交通部運輸政策白皮書，2013年6月。



鄰近高雄捷運R11臨時站潛盾隧道之深開挖設計與施工

摘要

- 一、前言
 - 二、深開挖規劃設計作業
 - 三、擋土壁及潛盾隧道變位量推估
 - 四、深開挖施工
 - 五、安全監測工程
 - 六、結論
- 參考文獻

南工處工二段副工程司 / 李岩峯
Associate Engineer / Lee, Yen-Feng

摘要

為改善西部縱貫鐵路對於高雄市區空間發展阻隔及交通環境，提昇高雄市區公共運輸及交通轉乘效能，行政院核定95年1月19日「臺鐵捷運化-高雄市區鐵路地下化計畫」，並規劃將高雄市區鐵路予以地下化並捷運化，其中包含高雄車站段地下化工程，該工程範圍則涵括既有臺鐵高雄火車站地下化及高雄捷運R11永久站主體結構施工。目前臺鐵高雄火車站下方有南北向之既有中博地下道及高雄捷運R11臨時站潛盾隧道等地下化結構物通過，上方則有既有中博高架橋及跨站天橋跨越，對於站體開挖施工作業極具風險且挑戰性。另高雄車站為臺鐵、高鐵及捷運三鐵共構車站，鐵工局代辦高雄市政府捷運工程局高雄捷運R11永久站主體結構工程，在高雄捷運R11臨時站改建為永久站過程中，站體結構開挖極為接近營運中之臨時潛盾隧道，最小相對距離約僅1.1公尺，故為避免影響營運及安全，除在設計階段時即針對施工可能產生的各種情況不斷的反覆模擬及考量，以有限元素法分析軟體（Plaxis）二維數值分析及配合Hardening-soil模式（HS）進行分析，且為符合高雄捷運禁限建法規的嚴格要求，擋土結構則採用連續壁配合地中壁之箱型結構體，以達最佳的支撐效果，並在施工階段進行各種地盤改良、隧道自動化儀器監測及定期巡檢，以確保營運中之潛盾隧道安全。

本文即針對高雄車站地下化共構的高雄捷運R11永久站深開挖設計及施工規劃中所面臨的關鍵議題探討，並藉由高雄捷運禁限建法規、潛盾隧道監測結果及過往施工經驗，進一步探討有效抑止連續壁體變位的地中壁設置之設計及施工方式。

關鍵字：潛盾隧道、地中壁、地下室開挖、Plaxis

一、前言

高雄市區鐵路地下化是市民期盼多年的重大建設，為了改善縱貫鐵路對高雄市造成的空間發展隔閡，及解決市區交通擁塞，民國82年起高雄市政府即積極向中央爭取市區鐵路地下化計畫，95年1月19日行政院正式核定「臺鐵捷運化—高雄市區鐵路地下化計畫」。

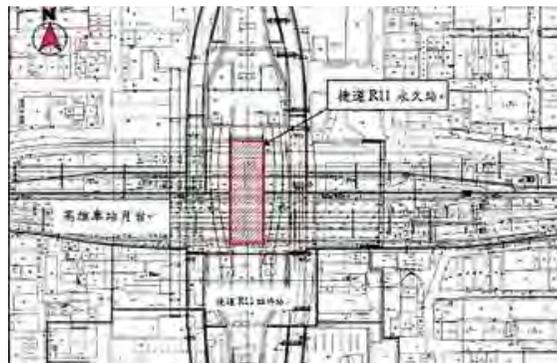
鐵路地下化工程範圍經一再檢討，初期地下化範圍僅限於高雄市區，縣市合併後，目前則納入左營計畫及鳳山計畫，鐵路地下化範圍擴及左營至鳳山，而高雄車站段工程範圍自高雄市哈爾濱街附近，止於大港街附近，全長1250公尺。

臺鐵高雄車站站體地下部分共分為四層，U1層主要提供旅客轉乘空間包含臺鐵、未來高鐵、高雄捷運、國道客運、公車、計程車及私人載具等，U2層為臺鐵月台，U3層為臺鐵與高雄捷運間轉換層，U4層則為R11永久站月台層。高雄車站地下化工程配合鐵路地下化通車營運分成數個施工區域及階段，首要階段為捷運R11永久站永久軌範圍內之結構主體工程開挖與施築。該結構主體為一長約95.6m、寬約23.5m，高程介於EL-

15.99m EL-27.44m之RC結構物。



高雄市區鐵路地下化計畫示意圖



R11永久站位置圖

二、深開挖規劃設計作業

考量車站整體施工工期及須同時維持臺鐵與捷運營運之需求及安全性，捷運R11永久站永久軌範圍內結構主體之擋土設施，設計時須嚴格地控制擋土設施變形量減至最小。以下將就深開挖規劃設計檢討高雄地區地質、高雄捷運禁限建法規、地中壁擋土結構變位模擬分析，說明如后。

2.1 高雄地區地質

依據以往案例，高雄地區地下室擋土開挖造成損鄰事件的主要原因為 $N \leq 4$ 與含水量 \geq 液性限度(LL)之軟弱黑色沈泥質砂(SM)，在擋土壁施工時造成包泥，後續開挖土砂流入開挖區，造成鄰房傾斜、龜裂與沈陷。如果能夠正確的模擬與評估地下擋土措施在各階段開挖過程



中的受力行為及相對之變形量，藉著這些假設慎選所使用之擋土壁、支撐材與施工次序以獲得施工安全。

「高雄市區鐵路地下化計畫」工址位於臺灣西南方，區域內除西南側鳳山丘陵地勢較高外，其餘均為地形平坦之沖積平原。就臺灣地質分區而言，「高雄市區鐵路地下化計畫」係位於西部麓山帶西南緣，出露之地層以更新世至全新世地層為主，包括現代沖積層、台地堆積層、嶺口礫岩、鳳山石灰岩、大社層及古亭坑層。主要之構造為旗山斷層、鳳山斷層及鳳山背斜等，這些斷層均未通過本工址。高雄車站段工程於規劃及細部設計階段計皆有進行地質調查與試驗工作，依鑽探成果彙整簡化地層參數資料如表所示，資料顯示地下水位高程建議採 $GWL=EL+2.5m$ ，地下水壓擬採線性靜態水壓分佈。如圖所示。

2.2 高雄捷運禁限建法規

高雄捷運先期路網完成建設後，許多工程或大樓興建時，都會因緊臨捷運設施，直接或間接地影響捷運設施安全性，為確保捷運設施安全，高雄市政府制定「高雄都會區大眾捷運禁限建範圍內列管案件管理作業要點」，其中有

| 層次 | 土層描述 | 厚度(m) | N 值 | γ_s t/m ³ | ω_s (%) | e_s | LL (%) | IP (%) | Cc/Cr | Su t/m ² | C t/m ² | ψ (°) | C' t/m ² | ψ' (°) | K cm/sec |
|-----|----------------|------------------|------|--------------------------------|-------------------|-------|-----------|-----------|-------|------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------|----------------|-----------------------|
| I | 回填土層 | 2.3-3.4(2.7) | - | 1.94 | 15.2 | - | - | - | -- | - | - | - | - | 30 | - |
| II | 灰色或棕黃色粉土質黏土層 | 2.1-3.5(2.8) | 8 | 1.97 | 27.2 | 0.80 | 41.8 | 19.8 | -- | 2.0 | - | - | 0 | 28 | - |
| III | 灰色粉土質砂夾粉土質黏土層 | 12.6-14.5(13.8) | 14 | 1.88 | 23.7 | 0.78 | - | - | -- | - | - | - | 0 | 30 | 5.76×10^{-5} |
| IV | 灰色粉土質黏土層或砂質粉土層 | 5.2-7.15(6.3) | 14 | 1.92 | 25.3 | 0.77 | 30.2 | 10.2 | -- | 4.0 | 4.0 | 27 | 0 | 30 | - |
| V | 灰色粉土質砂層 | 31.85-39.8(35.2) | 39 | 1.93 | 23.8 | 0.73 | - | - | -- | - | - | - | 0 | 35 | 4.55×10^{-5} |
| VI | 灰色粉土質黏土層 | 3.3-3.35(3.3) | 38 | 2.06 | 22.4 | 0.61 | 34.3 | 15.0 | -- | 13.0 | - | - | 0 | 31 | - |
| VII | 灰色泥岩 | - | >100 | 2.05 | 23.1 | 0.64 | - | - | -- | - | - | - | - | - | - |

註: L: γ_s 單位重, Cc 自然含水量, e_s 孔隙比, ψ 不排水剪力強度 (C/Cr): 凝聚力 (有/無), ψ (ψ'): 摩阻角 (有/無), K: 透水係數。

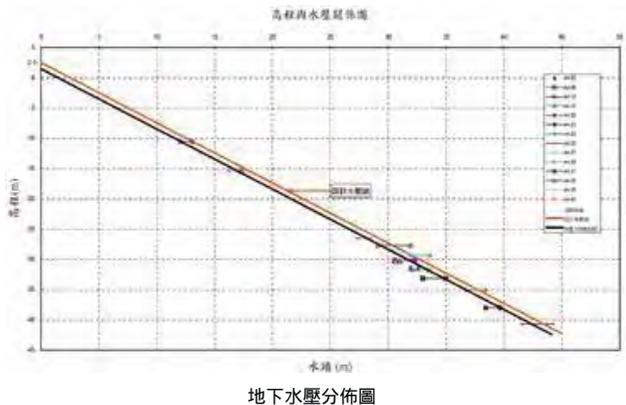
2. T : 表平均摩阻。

3. 參考值: 粉砂-粉砂, 鑽孔深度: EL_{10m} - EL_{20m} - EL_{30m} 。

4. 粉砂於 EL_{10m} - EL_{20m} 夾粉土質黏土, EL_{20m} - EL_{30m} 夾粉土質黏土。

5. 泥岩分佈深度 EL_{10m} - EL_{20m} 以下 (參考鑽孔粉砂)、分佈深度 EL_{20m} - EL_{30m} 以下 (參考鑽孔粉砂)。

簡化地層剖面及設計參數

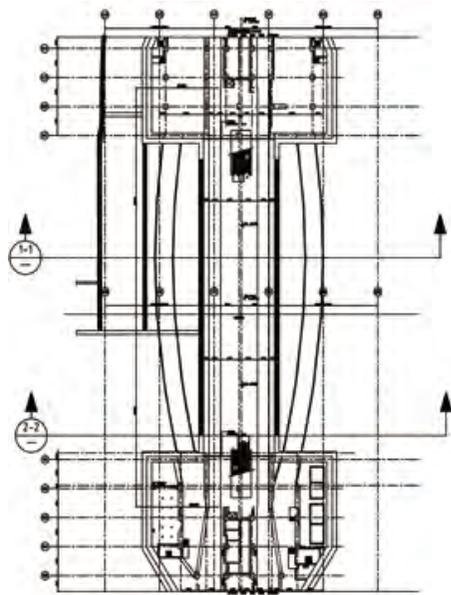


高雄都會區大眾捷運系統禁限建範圍地形圖 (紅線)

關明挖工程部份之列管案件，採分級規範界線管制。

依據「高雄都會區大眾捷運系統禁建限建範圍地形圖 - 紅線」顯示，本工址位於限建線範圍內。另依據「高雄都會區大眾捷運系統禁限建範圍內列管案件管理要點」繪製本工程之地下開挖施工對捷運工程安全影響程度分級規範界線圖，顯示R11永久車站影響程度歸屬為第I級區，而本工程最大開挖深度32.64m，故依規定須提出二維分析模式之捷運設施影響評估。

對於正在營運中的捷運潛盾隧道，當其上方或側方有地下開挖及結構物施工時，設計時即應評估施工作業是否會影響捷運營運及設施安全。而評估指標可依「大眾捷運系統兩側禁建限建範圍列管案件管理要點」，其中有關明挖工程之列管案件，則以分級規範界線彙整出近接施工程度及工程對策，如表所示。當評估結果無法滿足規定需求時，即需藉由工程技術來減少土壤位移，最常使用的方式不外乎為地質改良、地中壁設計、加強擋土支撐等。



分析剖面位置

近接程度及工程對策

| 近接程度 | | 工程對策 |
|------------|--|---|
| 分類 | 內容 | |
| 影響限制範圍 () | 新設結構物的施工對既設結構物會產生變形等有害的影響之範圍。 | 新設結構物的施工法必須考慮近接對策，應同時推估既設結構物之變形，再與其容許變形量比較，以檢討影響程度，原則上，應對既設結構物實施防護對策。又為確保施工安全，須對新設、既設、假設結構物及周邊地層實施計測管理。 |
| 可能影響範圍 () | 新設結構物的施工通常不致對既設結構物產生變形等有害的影響，但仍須考慮可能產生影響之範圍。 | 新設結構物的施工法應考慮近接對策，應同時推估既設結構物之變形量，再與其容許變形量比較，以檢討影響程度，視須要對既設結構物實施防護對策。又為確保施工安全，須對新設、既設、假設結構物及周邊地層實施計測管理。 |
| 不影響範圍 () | 新設結構物的施工不致對既設結構物產生變形等影響之範圍。 | 一般不須施予特別的工程對策。 |



2.3 地中壁擋土結構

地中壁對主體連續壁而言，具有支撐效應，所以對連續壁側向變位有極大之束制作用，而且與周圍土壤產生表面摩擦力，對於結構物基礎差異沈陷及解決結構物抗浮等方面，皆有不錯之效果。而地中壁依鄰近隧道所在位置，所形成的功能亦有所不同，主要可以分為1.隧道位於開挖面下方與2.隧道位於開挖面側邊；說明如下：

1. 隧道位於開挖面下方：地中壁具有減低擋土結構變形的機制，主要功能：

(1) 可藉由壁體摩擦及承載力束制土壤隆起，依據Xanthakos (1994) [8]建議地中壁之表面摩擦力及壁底承載力，可計入隆起的計算。抵抗隆起之安全係數F約為：

$$F = \frac{N_c \sigma_s [2(B+L)h / B(L+T) \alpha \sigma_s + q]}{H + q} \quad \text{式中 } \alpha = \frac{TB N_c \sigma_s}{B(L+T)}$$

h : 地中壁埋置於開挖面以下之深度。

B, L, T 分別為區隔內之淨寬、淨長及壁厚。

N_c : 支撐力因數，若 $B/L \geq 0, N_c = 7.5$

σ_s : 粘土不排水剪力強度

(2) 可藉由地中壁之分隔，減小開挖寬度。

(3) 地中壁可提供類似深梁或地中梁的勁度，可以有效的壓抑隧道上浮，亦可以侷限土壤側移。

2. 隧道位於開挖面側邊：地中壁可以形成一道很大勁度的支撐，以有效的支撐連續壁，減小壁體側向變形。

地中壁與擋土設施（連續壁）銜接處若設計為T型接頭時，則其垂直向位移幾乎可以視為不動。而當地中壁深度夠深，且超過隧道底緣時，亦可以有效的提供阻止隧道側移之功能。本案例高雄捷運R11永久站深開挖之擋土連續壁與地中壁接合型式係採用T型接合（T-shaped joint）；T型單元之優點：

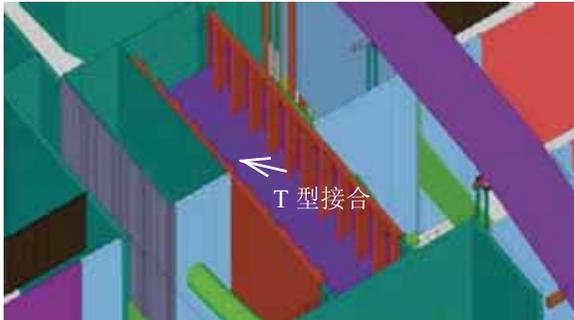
(1) 與主體連續壁一體成形，此法可避免分開施作時，造成主體連續壁與地中壁間殘餘土壤及淤泥夾層問題，有效抑制連續壁壁體側向位移變形量。

(2) 主體連續壁與地中壁間一體成形，提供極佳結構行為。

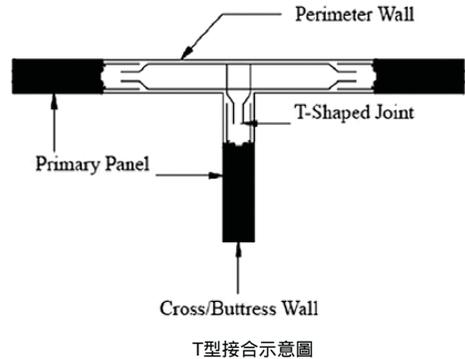
連續壁與地中壁T型接合如T型樑結構行為，一般具有增加主體連續壁軸力、剪力、彎矩等力學行為。T型單元施作之困難度：

(1) 單元分割與施工技術層次較高。

(2) T型槽溝穩定性較差，施工時程長，槽溝角隅處易坍塌或崩坍。若於挖掘階段發生崩坍，可能將挖掘機埋沒；若於混凝土澆置階段發生崩坍，將影響主體連續壁壁體結構之完整性與水密性。



地中壁與連續壁T型接合示意圖



T型接合示意圖

(摘自 Hsii-Sheng Hsieh, Yi-Chih Lu and Ting-Mei Lin, 2008)

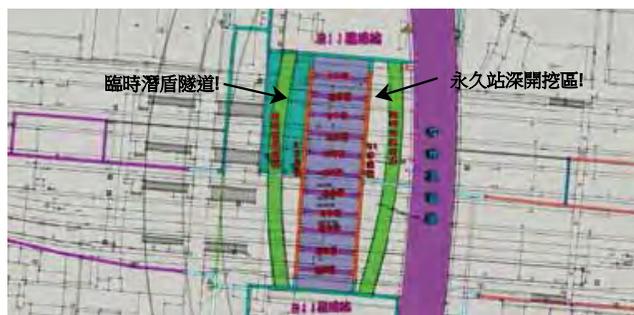
三、擋土壁及潛盾隧道變位量推估

開挖擋土分析模式眾多，在傳統設計中，都是運用『判斷』及『以往的經驗』選擇設計參數，並決定令人可接受之安全係數，據以進行設計。本案高雄捷運R11永久站深開挖以有限元素法進行模擬分析，並採地下開挖擋土結構分析軟體RIDO、PLAXIS 等一維、二維分析軟體，藉由一維數值分析軟體RIDO，分析於正常土壓部分（非緊鄰既設車站側）開挖所產生的壁體變形和連續壁受力情形，結果可作為二維分析比對。二維數值分析軟體PLAXIS，分析新設車站開挖及抽水對於既設車站結構體變位之影響，另外非緊鄰既設車站側所分析的壁體變形可與一維分析軟體進行比對，亦可分析地盤改良及潛盾隧道穿越所造成既設車站變位之影響。

本案高雄捷運R11永久站深開挖為能符合高雄捷運禁限建法規之潛盾隧道最大位移量 1 cm及徑向變位量 2cm之規定，對於二條潛盾隧道（上、下行）中間開挖區域設置地下壁，將開挖區分隔成12個區域。

使用二維PLAXIS程式第8.0版進行分析證明，分析前建立上述開挖區之地層、連續壁、捷運設施結構、開挖區支撐及結構體樓版等斷面尺寸及相關位置，並以初始應力僅考慮土體自重，連續壁及捷運設施等人造結構物均不計入，初始地下水水位設於高程EL+2.5m，臨時潛盾隧道已施作完成，R11永久車站及西側中博地下道之連續壁與地表超載（5 t/m²）等基本條件，依序進行R11永久站11階支撐12階之構築開挖支撐分析。

相關分析結果如下：



R11永久站深開挖區與既有臨時潛盾隧道相對位置平面示意圖



3.1 捷運R11永久站擋土壁變形預估

捷運R11永久站開挖採用連續壁作為擋土壁，經分析結果如表，顯示最大壁體變位於Section 1-1發生在拆除回撐階段；Section 2-2發生在第一階開挖階段。東側連續壁預估最大變位量約為1.24 cm (Section 2-2)；西側連續壁預估最大變位量約為1.25 cm (Section 2-2)。

3.2 R11臨時潛盾隧道位移量預估

R11臨時潛盾隧道位移量，分析結果如表所示，顯示東側臨時潛盾隧道最大水平位移量為0.76cm (Section 2-2)，最大垂直位移量為0.62cm (Section 1-1)；西側臨時潛盾隧道最大水平位移量為0.76cm (Section 2-2)，最大垂直位移量為0.57cm (Section 1-1)。其中最大水平及垂直位移量皆發生於拆除回撐階段。此一分析結果顯示，臨時潛盾隧道之水平及垂直位移量皆符合規範要求 (< 1cm)。臨時潛盾隧道與連續壁相對變位關係，如圖所示。

3.3 R11臨時潛盾隧道徑向變位量預估

R11臨時潛盾隧道徑向變位量，分析結果，顯示東側臨時潛盾隧道最大徑向變位量為0.41cm

R11永久站壁體最大變位量

| | Section 1-1 | | Section 2-2 | |
|-----|-------------|---------|-------------|---------|
| | 東側連續壁 | 西側連續壁 | 東側連續壁 | 西側連續壁 |
| 最大值 | 1.20 cm | 0.89 cm | 1.24 cm | 1.25 cm |

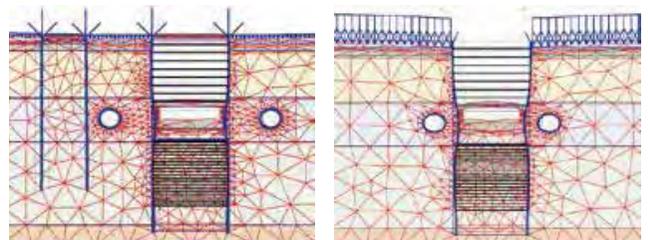
【註】正值代表壁體朝開挖區變形，負值反之。

R11臨時潛盾隧道最大位移量

| R11臨時潛盾隧道最大位移量 (Section 1-1) | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Section 1-1 | | | |
| | 東側臨時潛盾隧道 | | 西側臨時潛盾隧道 | |
| | 水平位移量 (h) | 垂直位移量 (v) | 水平位移量 (h) | 垂直位移量 (v) |
| 最大值 | -0.63 cm | -0.62 cm | 0.34 cm | -0.57 cm |
| 規範值 | 1cm | 1cm | 1cm | 1cm |

| R11臨時潛盾隧道最大位移量 (Section 2-2) | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Section 2-2 | | | |
| | 東側臨時潛盾隧道 | | 西側臨時潛盾隧道 | |
| | 水平位移量 (h) | 垂直位移量 (v) | 水平位移量 (h) | 垂直位移量 (v) |
| 最大值 | -0.76 cm | -0.45 cm | 0.76 cm | -0.46 cm |
| 規範值 | 1cm | 1cm | 1cm | 1cm |
| 分析結果 | OK | OK | OK | OK |
| 分析結果 | OK | OK | OK | OK |

【註】1.水平位移量正值代表臨時潛盾隧道朝東方位移，負值反之。
2.垂直位移量正值代表臨時潛盾隧道上浮，負值反之。



(Section 1-1) (Section 2-2)

臨時潛盾隧道與連續壁相對變位圖

(Section 2-2)；西側臨時潛盾隧道最大徑向變位量為0.41cm (Section 2-2)。此分析結果顯示，臨時潛盾隧道之徑向變位量符合規範要求 (< 2cm)。

經綜整工區及兩條臨時潛盾隧道位置後，審慎選取二個代表性分析剖面，採用二維有限元素

程式 (PLAXIS)，並依據地層狀況、結構尺寸與開挖支撐深度等，按開挖擋土計畫逐步模擬兩個代表性分析剖面之施工變化，綜合獲致以下結論：

1. R11永久站連續壁最大壁體變位於Section 1-1，發生在拆除回撐階段；Section 2-2發生於第一階開挖階段。東側連續壁預估最大變位量約為1.24 cm (Section 2-2)；西側連續壁預估最大變位量約為1.25 cm (Section 2-2)。
2. R11永久站東側臨時潛盾隧道最大水平位移量為0.76cm (Section 2-2)，最大垂直位移量為0.62cm (Section 1-1)；西側臨時潛盾隧道最大水平位移量為0.76cm (Section 2-2)，最大垂直位移量為0.57cm (Section 1-1)。另外，R11東側及西側臨時潛盾隧道最大徑向變位量皆為0.41cm (Section 2-2)。此一評估結果顯示捷運R11永久站開挖支撐，在採取高勁度連續壁及增加支撐層數到11層與配合11道地中壁下，預估能將施工影響降低到臨時潛盾隧道位移量小於規範要求之1公分範圍內，及徑向變位量小於規範要求之2公分。

四、深開挖施工

4.1 施工規劃

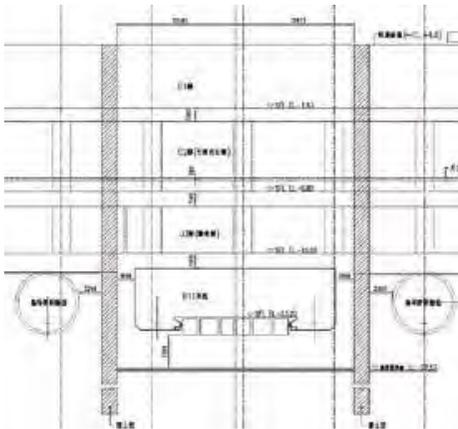
未來地下化高雄車站為目前國內最大規模地下化車站工程，在維持臺鐵及捷運營運、中博高架橋車行安全下，配合鐵路地下化通車營運分成數個施工區域，其中需先行完成R11永久站永久軌範圍內結構體 (U4層，第6區) 及高雄車站前站區 (U1層，第1區) 與捷運南端主體結構兩側 (U2層，第1、4區) 開挖及構築，俟捷運永久站軌道層完成後，臨時潛盾隧道軌道切換至永久站內，再廢除臨時潛盾隧道，以進行R11永久車站結構體兩側 (U1 U3層) 開挖及構築。

目前高雄捷運R11永久站深開挖施工作業刻正進行中，營運中臺鐵高雄車站位於高雄捷運R11永久站正上方，為配合臺鐵與捷運共構施工，須將現有高雄捷運R11臨時潛盾隧道改建至永久站體U4層內。

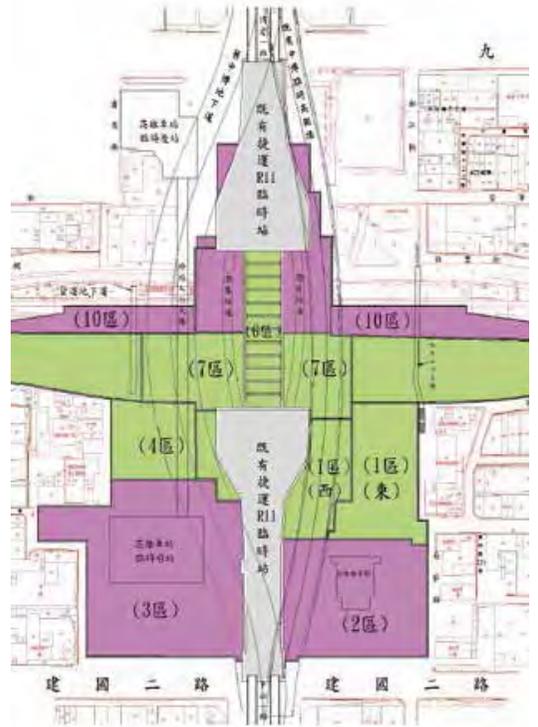
高雄車站地下化工程區分不同的施工階段，第一階段主要徑作業為高雄捷運R11車站永久站永久軌範圍內結構體 (U4層) 開挖工程。第一階段地下開挖前先以半逆打工法，於連續壁

R11臨時潛盾隧道徑向變位量

| R11臨時潛盾隧道徑向變位量 | | | | |
|----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Section 1-1 | | Section 2-2 | |
| | 東側隧道徑向變位量 | 西側隧道徑向變位量 | 東側隧道徑向變位量 | 西側隧道徑向變位量 |
| 最大值 | 0.33 cm | 0.27 cm | 0.41 cm | 0.41 cm |
| 規範值 | 2cm | 2cm | 2cm | 2cm |
| 分析結果 | OK | OK | OK | OK |



捷運R11永久站與潛盾隧道相對位置圖



高雄車站站區平面圖

頂構築厚1m之RC軌道板，並配合臺鐵臨時軌道切換至其軌道版上方營運區後，騰空原有鐵路廊進行第二階段開挖；第二階段則以順打工法施作，規劃12階段開挖並架設11層H型鋼水平支撐與一層回撐。由於本開挖工程緊鄰營運中高雄捷運R11臨時潛盾隧道，站體與隧道相對位置，目前施工承商依據本工程圖說及下列法規與評估資料已進行施工規劃，並就開挖施工對現有臨時潛盾隧道可能影響情形進行評估並提出施工計劃：

1. 大眾捷運系統兩側禁限建辦法。
2. 高雄都會區大眾捷運禁限建範圍內列管案件管理作業要點。
3. 細部設計階段「高雄計畫」ACL211標高雄車站臨時軌及擋土壁工程開挖施工對於R11臨時潛盾隧道之安全影響評估報告書（民國99年9月定稿本）。

4.2 工程特色

1. 兩側有正在營運使用的捷運潛盾隧道（最近處位於東南角僅約1.1公尺），為降低開挖階段對潛盾隧道的影響，故於東西兩道連續壁間設置了11道橫置連續壁（地中壁）。
2. 為使連續壁貫入不透水層，施工階段於每兩單元間進行地質鑽探，以確認連續壁施作深度，開挖前再進行降回水試驗，以確認連續壁的封閉性。
3. 連續壁施工階段即於兩條潛盾隧道內裝設收斂及沉陷測讀系統（4部全測站經緯儀，搭配各50處之收斂監測點與軌道沉陷點）與電子式桿式沉陷計自動記錄系統（共80

支)，做24小時之全自動監測作業，一直持續至開挖與結構施作完成。

4. 於潛盾隧道兩側，間距2~5公尺（包括北側營運中的3~5月台、9~15股道），各施做一排雙環塞灌漿埋管，共100支，做為各施工階段潛盾隧道保護之用
5. 本車站開挖深度達32.64公尺（11撐12挖），底板厚度3.84公尺，皆是高雄鐵路地下化計畫之最。

4.3 深開挖執行現況

高雄捷運R11永久站體位於臺鐵軌道里程約405K+820~860間，目前基地上方北半部為運行之臺鐵臨時軌道及月台，基地南半部為主要開挖施工區域。「高雄計畫」ACL211標工程施工包括捷運R11永久站體擋土壁及支承樁施築，北側臺鐵軌道支承版施作。ACL211標工程於101年12月15日交付ACL212標工程進行站體開挖及結構體構築工作，截至目前（102年9月）站體開挖已完成至第11階支撐，並進行第12階開挖，預定102年10月底完成開挖支撐作業。

受限於臺鐵營運工區動線，僅於基地第三月臺南側支撐間距最寬處設置一個工作井，作為南側材料機具吊放及出土坑，並於其南邊設置施工構台，做為橫置地中壁切除後，20噸混凝土塊吊出時，吊車站立之位置。為了增加吊料空間，基地北側R11捷運臨時站設置一個工作井（10mx8m），作為北側材料機具吊放及出土坑。



捷運R11永久站開挖現況空照圖

原則上第1階至第2階地面上採用大型挖土機PC-300/400垂直開挖及配合15至25部傾卸車載運，半逆打區地面下係採用小型挖土機及小型三角形履帶推土機，以續接方式開挖至規劃的出土口堆積；第3階至第5階地面上採用大型加長臂挖土機PC-400垂直開挖，及配合15至25部傾卸車載運，地面下係採用小型挖土機及小型三角形履帶推土機水平開挖；第6階至最終開挖面地面上採用伸縮油壓抓斗式挖土機垂直開挖，及配合15至25部傾卸車載運，地面下係採用小型挖土機及小型三角形履帶推土機水平開挖，除最後一階開挖外，每階段開挖深度限制在各階支撐中心位置處下方0.7~1.0m，由於開挖區內有11道地中壁，故於每階開挖先行施作中央廊道，以維持開挖區出土動線，並以無震動工法切割夾除開挖區內11道地中壁及南北兩側捷運臨時站既有連續壁。



捷運R11永久站開挖出土坑



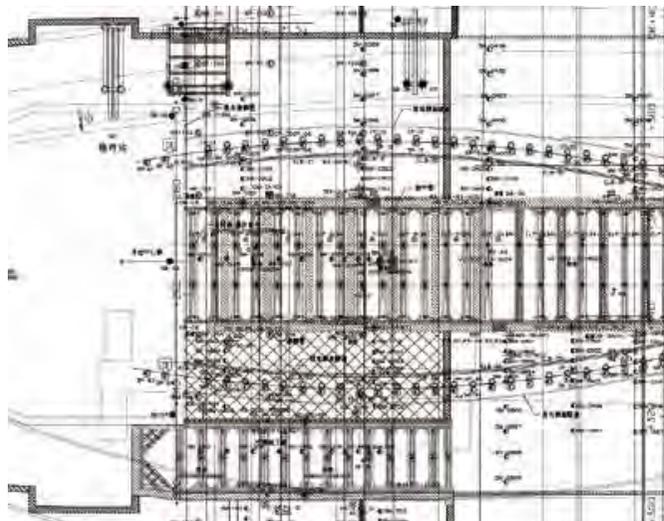
五、安全監測工程

本標工程為一大型之深開挖工程且鄰近高雄捷運潛盾隧道之施工（Neighboring Construction），為期鄰近施工區之既有建物（包括臺鐵、捷運、中博高架及鄰近建築物等）不受新建工程（R11永久站）所引致之地層變位影響，務必使該影響在施工過程中得以控制在預測範圍內，並於現場獲得可靠的監測成果做為後續施工管理。

本標工程依據細設規劃及高雄市政府捷運局禁限建審查會要求，加強對捷運隧道安全性之掌握。安全監測儀器依裝設位置區分為設置於地面上及潛盾隧道捷運設施兩大部分。地面上設置有沉陷點、土中傾度管、壁中傾度管、電子式水壓計、水位觀測井、豎管式水壓計、傾斜儀、鋼筋應力計、支撐應變計、中間柱隆起桿等；潛盾隧道捷運設施內為確保能即時掌握隧道變化情形，採用全自動監測系統，自動化作業系統透過無線傳輸方法（GPRS傳輸）擷取資料集錄器資料傳輸至中央監測中心，再以ADSL傳輸方式把資料傳送給相關使用單位。此外，亦可在遠端中央控制室內全天候接收所有監測資料及操控所有儀器設備設定，相關單位可即時連線觀察量測結果。

相關隧道內配置，包括有捷運設施軌道變位點、收斂監測點及電子式桿式沉陷計，潛盾隧道捷運設施監測儀器佈設位置。

R11永久站深開挖過程中因鄰近高雄市大眾運輸捷運系統，為立即觀測開挖施工時，潛盾隧道內之捷運營運中軌道變位情形，於捷運軌道旁裝設軌道變位點（SRV、SRH）之反光菱鏡，量測捷運軌道垂直與水平變位情形。



潛盾隧道捷運設施監測儀器佈設圖



量測軌道變位之全測站經緯儀



捷運設施軌道沉陷點



捷運設施收斂監測點

R11永久站深開挖工程進行時，隧道周圍將產生變形，應力重新分佈至穩定狀態。在多數情況下鄰近施工必須於隧道斷面上安裝收斂觀測點（CP），以監測隧道內空間之相對位移及穩定的情況，以確保潛盾隧道結構安全。

鄰近施工進行時，於潛盾隧道周圍將產生變形，導致隧道週遭地區地層之下陷，於隧道內沿軌道側裝設電子式桿式沉陷計，以監測隧道內部下陷與隆起之變化情形。

目前R11永久站開挖工作持續進行中，須架設11層支撐，本基地於連續壁施工階段迄今，鐵工局南工處每週會同高雄市政府捷運工程局、高雄捷運公司、監造單位中興工程顧問公司、施工承商榮工 / 亞翔高雄車站聯合承攬體施工處進行隧道巡檢工作，另有自動化儀器進行24小時監測，可隨時取得監測資料並加以研判分析，作為立即因應及處理，以確保潛盾隧道行車營運及潛盾隧道結構安全，目前相關監測數據仍在控制範圍，深開挖施工對於臨時潛盾隧道影響不大，捷運營運安全無虞。

六、結論

高雄車站地下化工程施工極具複雜及困難，除地面營運中臺鐵高雄車站、中博高架橋、站外人行天橋，地面下則有營運中捷運 R11 臨時站、舊中博地下道，施工階段皆須面臨，並逐一克服困難，其中R11深開挖施工則為本工程最為困難且要徑作業，在鐵工局南工處、細設顧問、監造單位及承包商等單位共同努力下，目前深開挖施工作業順利推展中。本文歸納設計及施工經驗如下：

1. 當潛盾隧道位於開挖區下方或側邊時，如藉由設置地中壁來減少土壤變形，其效果應較地質改良灌漿方式較佳，尤其在深厚且軟弱的粘土層，其效果應該較為明顯，可以減低工程風險。



2. 依目前實際施工情形回饋原設計分析，顯示地中壁減少土壤變形量，其中壁體表面摩擦及端部阻抗土壤彈性回脹，地中壁將開挖區分成數個區格，相當於減小開挖寬度，可減小彈性回脹量，並形成強大的支撐系統，有效的阻止擋土壁及隧道之側移，惟地中壁敲除作業所需時間較長，設計階段應詳細評估工期。
3. 在進行工程開挖施工之前，若能以數值分析結果做為現場施工監測之依據，與現場監測數據進行比對，不但可以於施工前先行瞭解每階段作業需要注意的細節，更可以提高深開挖施工之安全性。

參考文獻

1. 泰興工程顧問有限公司，「ACL211標高雄車站臨時軌及擋土壁工程-禁限建範圍內列管案件申請之相關報告書及圖面（定稿版）」，99年09月。
2. 泰興工程顧問有限公司，「ACL212標高雄車站段地下化（明挖覆蓋）工程-開挖施工對R11永久車站之安全影響評估（1版）」，101年11月。
3. 高雄市政府捷運工程局，「高雄捷運禁限建法規與案例」，100年05月。
4. 開通大地工程股份有限公司，「居富開發股份有限公司集合住宅大樓新建工程-禁限建範圍內列管案件申請之相關報告書及圖面」，99年12月。
5. 泰興工程顧問有限公司，「ACL212標高雄車站段地下化（明挖覆蓋）工程大地工程設計綜合報告（定稿版）」，101年09月。
6. Xanthakos, P.P., (1994), Slurry Wall As Structural Systems 2nd Edition McGraw-Hill, New York.
7. 沈茂松，「高雄地區擋土開挖損鄰事件的原因探討與對策研究」，土木水利第23卷第一期，民國85年05月，P.33~51。
8. 賴建名、潘台生，「高雄捷運R11臨時站大地工程特殊設計與施工」，中興工程季刊，第100期，2008年07月，第33-44頁。
9. Hsui-Sheng Hsieh, Yi-Chih Lu and Ting-Mei Lin. (2008). "EFFECTS OF JOINT DETAILS ON THE BEHAVIOR OF CROSS WALLS," Journal of GeoEngineering, Vol. 3, No. 2, pp. 55-60, August 2008.

影像式平交道障礙物自動偵測裝置

摘要

- 一、前言
 - 二、影像式平交道障礙物自動偵測裝置系統軟、硬體架構
 - 三、實際系統建置測試
 - 四、測試結果
 - 五、結論
 - 六、未來展望
- 參考文獻

機電組技術員 / 林育賢

Associate Technical Specialist / Lin, Yu-Hsien

摘要

鐵路平交道向來是鐵路安全防護的弱點，在鐵路意外事故中，平交道意外事故數量排名第二，平交道事故死亡人數佔總系統事故死亡人數比率高達72.5%。就國內平交道肇事原因分析，歷年來平交道事故大多為臺鐵局的無責任事故，95%以上皆由於公路駕駛人的違規行為或疏失所造成，在主要肇因方面，前三項依序分別為：（一）搶越或闖越平交道；（二）車輛熄火或卡在平交道；（三）未保持平交道淨空等，其中「用路人闖越」占平交道事故原因比例高達73.5%，顯見平交道事故的發生在人為因子上有很大關聯性。

一、前言

鑒於國內平交道事故頻傳，鐵路平交道對於行車安全影響甚鉅，惟臺鐵局現有平交道障礙物自動偵測裝置系採用紅外線阻斷偵測方式，其裝置價格昂貴（約新臺幣800萬元整），使其裝設比例偏低；依據JR東日本鐵道公司的資料，平交道加裝障礙物自動偵測器其事故發生率0.12（次/每百萬列車數）遠比沒有裝設偵測器的平交道事故發生率0.43（次/每百萬列車數）來得低，爰此可知障礙物自動偵測器得以有效降低平交道事故案件。

本局於101年已導入一研究開發案，以評估採用新型技術做為障礙物自動偵測之可行性。在進行深入數據量測與研析，並與現有臺鐵局使用之系統進行分析比較後，所量測之演算法效

關鍵字：平交道、障礙物自動偵測、影像偵測技術



能，已達預定目之標。本計畫並已建置實體系統為目標，目的為開發國人自有之鐵路平交道安全監控技術。

二、影像式平交道障礙物自動偵測裝置系統軟、硬體架構

本計畫主要是透過在平交道建置監視錄影器，偵測路人或者車輛是否有搶越或闖越平交道行為，或者是否有車輛熄火或卡在平交道，以及平交道是否有貨物掉落未保持淨空等資訊等。另外，為降低本系統之誤報率，系統中加入容錯機制，於平交道上架設多套監視設備，針對取得監視之畫面，做即時處理與傳送。

本系統主要技術如下：

1. 穩定可靠之協同式偵測移動物件及遺留物偵測技術。
2. 透過禁區設定、虛擬跨越線設定、偵測及追蹤通過平交道的人車，並即時通報行控中心或列車，及早應對避免可能的事故。
3. 適應不同天候光線場景之監控技術，以克服不同天氣光線之環境。

2.1 軟體架構

本障礙物自動偵測裝置軟體控制流程圖，其主要功能模組如下：

1. 偵測範圍設定模組

因受限於攝影機架設的空間限制，用來監控交通之攝影機多擺放於高處，透過一俯視角度來監控平交道，取得之影像，使用者需先針對影像上設定其所感興趣之平交道位置，並以一多邊形興趣區域表示。（紅線框區域）藍線框選區域則為警報區域，在紅框內偵測到的物體進入藍線框選區域便會發出警報。

本研究另針對特別容易造成反光的鐵軌附近區域，亦以軟體特別運算，消除反光造成的誤判，以降低誤報率。



平交道偵測範圍設定示意圖



偵測技術流程圖

2. 參數設定模組

本系統應用之場景含有許多變因（例如視角和光影變化），因此，演算法所使用的參數，也必須隨之對應，以確保其偵測效果。這些參數包含興趣區域邊界、火車偵測區域之敏感度、鐵軌附近區域反光消除參數、物件特徵敏感度及影像品質參數等等。

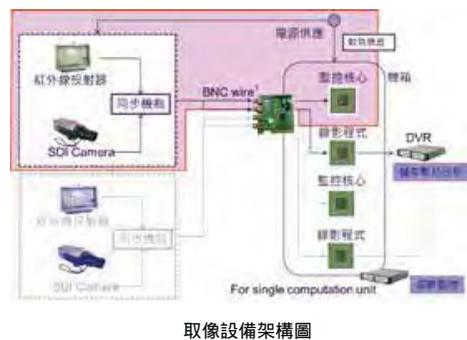
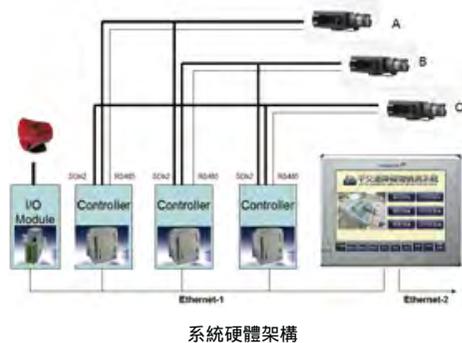
經由長時間的測試與驗證，我們可以針對天候、光線、時間等因子，歸納出數套參數設定，分別對應到白天、晚上、陰雨天、晴天等狀況。藉由天氣或時間的回饋資訊，加以切換並套用合適的參數設定。利用攝影機自動感應環境亮度，自動切換紅外線模式的功能，同步切換日夜間偵測參數，以達到自動化偵測的目的。

2.2 硬體架構

本系統係複式系統架構，以符合Fail-Safe（故障趨自安全）機制，採用多套攝影及辨識電腦主機等設備及相關同步系統，以提升實際應用之穩固性。複式硬體架構包含三套取像設備、三台監測主機、一部HMI人機介面操作主機及I/O警報訊號控制模組，各主機與模組間透過內部網路進行通訊與資料傳遞。

每套取像設備架構，包含高解析度（W1920*H1080像素）SDI攝影機、與SDI攝影機同步的紅外線投射器以及SDI四通道影像擷取卡。透過BNC訊號線傳送每秒15幀的高解析度影像至監測主機。監測主機可同時進行即時監控以及錄影功能。

每台監測主機連接兩套取像設備，該兩套設備之總合視角，須能涵蓋整個平交道範圍。每台監測主機同時分析兩套取像設備傳來的即時畫面，並分別產生對應的障礙物偵測結果。若同時有兩個以上的即時畫面（不同取像攝影機）偵測到障礙物，則立即發送訊號啟動I/O警報控制模組發出警報聲響，同時在HMI人機介面操作主機上也會顯示警報。如此在某一套取像設備或是某一台監測主機突然故障時，系統仍能保持正常運作。





使用者另可透過HMI人機介面操作主機進行攝影機與監控主機狀態檢查、偵測區域設定及偵測參數調整。HMI人機介面操作主機與三部監控主機之間以Shared Memory機制進行訊息傳遞與同步。

HMI人機介面亦會主動偵測監控主機狀態，如有故障訊息，會同步通知監控人員。

三、實際系統建置測試

本案於山佳國小前福德平交道，建置一實際系統測試，其系統配置如右圖所示。

三部取像攝影機分別架設在平交道限高門上，其攝影機視野涵蓋平交道中央淺藍色的警示區域。三部監測主機、HMI人機介面操作主機及相關網路設備皆安置於右側橘色控制箱內。

現場實測畫面，橢圓區域顯示偵測到的物件，橢圓中心之紅點，代表已發報對象。

(a) 攝影機日間偵測畫面、(b) 攝影機夜間偵測畫面。

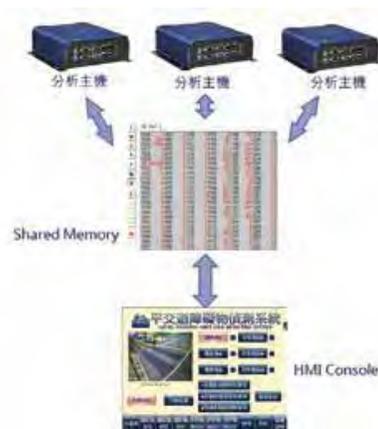
有關測試影像辨識系統於各種環境及氣候條件下之可靠度及安全度，系統驗證步驟如下：

1. 系統建置：

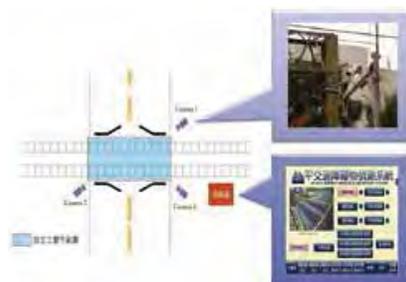
於戶外示範平交道裝設影像辨識系統以進行驗證。

2. 驗證方式：

於全天候環境下，開啟偵測功能，進行



分析主機與HMI主機連結架構



現場系統建置示意圖



(a) 攝影機日間偵測畫面



(b) 攝影機夜間偵測畫面

現場實測畫面

系統穩定性測試，以及偵測率及誤報率之測試。

3. 驗證項目：

物體闖越平交道測試。

物體停留平交道測試。

系統長時間運作穩定性測試。

4. 驗證目標：

偵測裝置演算法預期偵測率 99% 以上，誤報率 1% 以下。

系統於24小時全天能穩定持續之運作。

四、測試結果

在依據前述驗證步驟執行後，各項評估數據，歸納出下列3項主要數據，其物理意義列於說明如下：

1. 查準率：所有「偵測到有物件」信號中，確實有物件通過比率。
2. 查全率：所有「通過的物件」信號中，確實被偵測出的比率。
3. 誤報率：所有「偵測到有物件」信號中，卻沒有物件通過的比率。

經實際測試後，可分為上午、下午、夜晚，其相關測試數據如表所示：

其中，針對閃電對演算法造成的影響評估：閃電會對攝影機畫面造成快速且短暫的亮度變化，白天的亮度變化並不明顯，夜間的閃電情況可以肉眼明顯觀察出來，但其亮度變化，仍不足以使紅外線感應器切換為日間模式，爰此，閃電的亮度變化不至於對偵測演算法造成影響。另紅外線由日間模式切換為夜間模式的亮度與色彩變化，對偵測演算法的影響亦已驗證過，在切換前後偵測演算法皆能正常運作。

由前述實驗數據，目前在日夜間的部份，演算法的執行效能已達預期目標。由於對日間及夜間分

上午之評估結果

| 攝影機編號 | 查準率 (Precision rate) | 查全率 (Recall rate) | 誤報率 (False Alarm Rate) |
|--------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 99.8% | 98.4% | 0.2% |
| 2 | 98.6% | 98.9% | 1.4% |
| 3 | 98.2% | 98.9% | 1.8% |
| 1+2+3 voting | 100% | 96.3% | 0.0% |

下午之評估結果

| 攝影機編號 | 查準率 (Precision rate) | 查全率 (Recall rate) | 誤報率 (False Alarm Rate) |
|--------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 97.5% | 100% | 2.5% |
| 2 | 98.5% | 99.5% | 1.5% |
| 3 | 98.9% | 96.4% | 1.1% |
| 1+2+3 voting | 99.5% | 100% | 0.5% |

夜晚之評估結果

| 攝影機編號 | 查準率 (Precision rate) | 查全率 (Recall rate) | 誤報率 (False Alarm Rate) |
|--------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 99.0% | 99.1% | 1.0% |
| 2 | 98.6% | 99.4% | 1.4% |
| 3 | 97.7% | 98.8% | 2.3% |
| 1+2+3 voting | 100% | 98.3% | 0.0% |



正午強光造成畫面過亮

別設定最適合的偵測參數，因此偵測效果較佳。援此判斷，本研究所提出複式硬體架構同時利用三部攝影機進行偵測，不僅提高系統穩定度，更能降低誤報率達到0.18%。

雖本研究已達原預期演算法效能，惟離實際建置使用仍有一段努力的空間。仔細觀察發生誤報以及偵測失敗的部份，可以發現幾個問題：



夜間車輛大燈直射攝影機鏡頭

1. 日間陽光強烈造成畫面過亮，物體特徵點不易偵測。
2. 夜間車輛大燈直射攝影機鏡頭的局部強光，不只會遮蔽該物體本身，鏡頭的自動白平衡也會使周圍陰暗處物體的特徵點更不明顯。
3. 攝影鏡頭晃動對偵測演算法造成的影響。當火車接近或經過的振動或風吹都會造成攝影機發生晃動的情況，較強的晃動會誤認為火車接近而暫停發報，因此造成查全率下降，而微小的晃動則會誤認為移動物體，引此造成誤報率些微上升。

總體而言，本研究計畫之系統偵測效能達到正確率（查全率）高於99%，錯誤率（誤報率）低於1%，已達到預期的目標。未來仍持續收集資料、改進演算法，朝實際應用的目標前進。

五、結論

本研究可針對日夜間設定合適的偵測參數，讓系統自動切換，更進一步加強演算法偵測效能。

建置複式硬體架構，攝影機監視範圍可涵蓋整個平交道區域，同時增加系統容錯與備援機制，提高系統的穩定度，並降低誤報率。

實驗結果顯示，系統之正確率已達到99%，誤報率1%，未來希望繼續提高偵測準確率達99.97%以上，並可透過網路傳送平交道影像至列車上，提供司機員第一時間判斷平交道現況，以及整合現行平交道錄影系統，以降低平交道設備維護保養費用。未來還需制定統一硬體規範，以符合臺鐵各式平交道，朝實際應用繼續發展。

六、未來展望

1. 提高偵測準確率達99.97%以上

為繼續朝實際應用發展，演算法的準確率及穩定度仍應繼續精進。如成果說明與分析一章所提到造成誤判或偵測失敗的情況，針對這些情況修正或加強演算法，應能使偵測準確率更進一步提昇。

2. 併接臺鐵平交道系統測試

將臺鐵號誌系統之列車接近訊號及列車抵達訊號連接至系統。將本系統障礙物偵測結果輸出，並與臺鐵線有系統之紀錄互相比對。

3. 提昇系統整合度

可透過網路傳送平交道影像至列車上，提供司機員第一時間判斷平交道現況，以及整合現行平交道錄影系統，以降低平交道設備維護保養費用。

4. 長時間全天候系統穩定度測試

安全性是所有鐵路平交道系統的第一準則，為了能保證系統確實穩定運作，長時間且全天候的系統穩定度測試是必要的。未來應對各種天候造成的影響進行系統穩定度評估，如晴天、陰天、雨天、颱風、烈日曝曬等情況對系統的影響程度，以及長時間，如系統連續運作1個月或3個月以上是否有異常情況。在測試與評估之後擬定適當對策加以克服。

5. 制定統一硬體規範

針對本系統制定統一硬體規範，如攝影機數量、架設高度、攝影機視角、分析電腦規格、網路連接方式、現場線路配置等硬體與設置規範，以符合臺鐵各式平交道。

6. 平交道模擬測試

目前本系統已於樹林福德街平交道進行安裝與測試，為確定本系統能應用於各種平



交道，建議未來可針對其他不同型式的平交道安裝本系統進行測試，惟該平交道若已安裝雷射光阻斷感應偵測裝置，則較有利於比對及認證作業。

參考文獻

- 1.C. Harris and M. Stephens, " A Combined Corner and Edge Detector, " in Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, pp. 147-151, 1988.
- 2.陳明民，數位立體影像之理論探討與創作實驗之研究，國立嘉義大學碩士論文，2005年。
- 3.http://en.wikipedia.org/wiki/Connected-component_labeling
- 4.Alahi A et al., 2009, " Sparsity-driven People Localization Algorithm : Evaluation in Crowded Scenes Environment, " in Proceedings of the 12th IEEE International Workshops on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, Snowbird, UT, US : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1-8.
- 5.Research into obstacle detection at level crossings, http://www.rssb.co.uk/RESEARCH/Lists/DispForm_Custom.aspx?ID=117
- 6.孫伊廷，2010，《混合式編碼簿模型於監視系統應用》，國立清華大學電機工程學系碩士論文。
- 7.Antonini G and Thiran JP, 2006, " Counting Pedestrians in Video Sequences Using Trajectory Clustering, " IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 16, 1008-1020.
- 8.Hou YL and Pang GKH, 2011, " People Counting and Human Detection in a Challenging Situation, " IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Part A : System and Humans, 41, 24-33.
- 9.Kim K et al., 2005, " Real-Time Foreground-Background Segmentation Using Codebook Model, " Real-Time Imaging, 11, 172-185.

新山里隧道施工規劃與礫岩開挖探討

摘要

- 一、前言
 - 二、開挖洞口與鋼棧橋之施工規劃
 - 三、新山里隧道於卑南山礫岩開挖與支撐檢討
 - 四、結論
- 參考文獻

東工處臺東工程段段長 / 吳沐仁
Section Chief / Wu, Mu-Jen

摘要

政府為有效紓解臺灣花東線鐵路運量不足問題，並提昇東部地區整體運輸效能，乃積極推動「花東線鐵路電氣化暨瓶頸路段雙軌化計畫」。其中新山里隧道為計畫內最長隧道，亦為通車之重要指標。該隧道貫穿臺灣東部花東縱谷南端，隧道地質屬卑南山礫岩，為臺灣罕見之全礫石層隧道。隧道沿線緊鄰卑南溪溪谷，施工規劃需藉由河床高灘地施工便道銜接，因此施工之首要任務即需妥適規劃洞口位置與設置便道，以降低暴雨洪水對施工之衝擊；其次隧道於卑南山礫岩開挖過程中發現岩體受地下水滲透，膠結材料泡水軟化及TYPE 支撐岩柱打設時機、位置與基礎開挖方式影響岩體自立性與拱效應產生。本文即針對新山里隧道施工中面臨的關鍵議題做深入探討，藉由隧道監測結果及過往經驗，進一步說明施工處理方式，做為後續相關工程案例的參考。

一、前言

臺灣鐵路系統營運里程，截至2011年統計資料約為1105.4 km，其中雙線區間675.5 km，單線區間429.9 km，電化區間692.5 km，非電化區間412.9 km。「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫」為東部鐵路快捷化之重要一環，交通部已陸續完成臺鐵西幹線、



臺灣環島鐵路及花東電氣化工程位置圖

關鍵字：新山里隧道、礫岩開挖、隧道監測



新山里隧道位置圖



卑南山礫岩

宜蘭線及北迴線之電氣化工程，在獲得良好的經濟效益下，更進一步積極推動「花東線鐵路電氣化暨瓶頸路段雙軌化計畫」，以有效紓解花東線鐵路運量不足問題，提昇東部地區整體運輸效能，建構東部地區快捷、安全、綠色的鐵路大眾運輸系統。該計畫完工後，列車營運速度將由現行110km/hr提昇為130km/hr，不僅有效縮短行車時間，並且帶動花東地區觀光旅遊業之發展，未來結合「花東線鐵路整體服務效能提昇計畫」及「東部自行車路網計畫」，搭配郵輪列車及自行車補給轉運站，兼具兩鐵共GO之機能，充分符合東部永續發展計畫之交通政策目標。

花東線電氣化計畫主要工程有四座新建雙軌隧道，包含溪口、光復兩座河底隧道及自強、山里兩座山岳隧道。其中新山里隧道工程（以下簡稱本工程）全長5,300m，為計畫內最長隧道，亦為通車之重要指標。舊山里隧道為一單軌鐵路隧道，係由7個短隧道所組成，位於山里站及臺東站之間，貫穿卑南山台地之東緣。隧道沿線除洞口及淺覆蓋段，地質屬第四紀卑南山礫岩，以厚層礫岩層為主。為提升交通運量與行車速度，新山里隧道規劃為一雙軌鐵路隧道，向西側平行佈置，新、舊線隧道中心線間距約30m-40m。根據農委會水保局資料，舊山里隧道洞口及淺覆蓋段均座落於土石流潛勢溪流警戒範圍內，為降低隧道結構受土石流之影響，因此設計新隧道時將幾個隧道高程降低，並使連接成為一個長隧道。此外，新山里隧道段東側緊鄰卑南溪河床，倘若不另闢工作面，僅由隧道北口及南口兩處工作面施作，將無法滿足本計畫縮短工期、提前通車之目標。經審慎評估現地條件後，研判可沿卑南溪西岸高灘地闢建施工便道，增闢工作面，可有利於整體施工之調度。

二、開挖洞口與鋼棧橋之施工規劃

新山里隧道基於永久性安全考量，其平面線形佈設較舊隧道往西偏移（山側及溪流上游方向），並將多座隧道改設為一座長隧道，此舉降低了未來營運路線受野溪土石沖

刷之影響；然考量施工時程，在隧道中間開闢臨時工作面有其必要性及經濟性。新山里隧道原經過兩處野溪而有部分出露，設計時考量設置攔砂壩與固床工，以避免溪床受水流之侵蝕及沖刷，並同時保護下方穿越之隧道；原設計在兩處固床工位置規劃為可增加隧道開挖工作面之洞口，惟經檢討工期、野溪水位、開挖腹地及固床工結構施作等因素，故重新考量及調整施工程序，說明如后。

2.1 固床工與明挖覆蓋隧道施工時程重疊

以過溪段出露之隧道做為洞口在施工上有其便利性，亦即在明挖覆蓋隧道區段進行上下游排樁後，即可進行兩個工作面之隧道開挖。惟主隧道開挖工期長達30個月，若利用此一動線作為出入口，在前述隧道開挖期間此區段之過溪段隧道（明挖覆蓋隧道）及其上方之固床工結構均無法施作，需待主隧道完成後方能構築過溪段之結構；此外過溪段隧道開口與主隧道連通後，其於野溪上游之防護必須另外設置以防止溪水或土石流入主隧道，由於兩處野溪坡陡水急並常伴隨土石，施工期間之安全較難周全。

2.2 既有野溪改道或引流檢討

兩處既有野溪均為土石流潛勢溪流警戒區，非汛期期間流水約以管徑1m之RCP管兩支即可疏導，惟臺東地區每年四月至十月間常有豪雨或颱風，復以兩處野溪坡降甚大，瞬間水流常夾帶有2m 3m粒徑之土石，若僅藉由管材疏導水流則造成瞬間填塞之可能性甚大，因此兩處野溪之隧道或固床工施工以半半施工方式，以保留一半之河道斷面構築臨時堤，導引湍急溪水較為可行且安全。

2.3 兩處野溪工區之隧道開挖面設置考量

檢視兩處野溪河道水痕及植物於邊坡面之現況為判斷依據，橫坑或豎井洞口高程與主隧道連接高程差最小，且有足夠之施作平台為選擇重點，並以高於最高水位2m為設置原則。初步檢討主隧道路線上方設置豎井或斜坑之可能性，豎井部分，雖然高差在8m 10m左右設置上並無困難，惟施工設備與機械與原規劃落差甚大而予以排除，故最終以設置橫坑為主要方式。

2.4 施工便道及便橋施工規劃

原規劃兩處野溪工作面，即需於鄰近卑南溪（區段河寬約600m 1200m）開闢約6公里之便道串連各工區洞口，以連接兩處野溪工作面。為減少環境之影響，於局部路段設置鋼棧橋跨越高落差區段進入工區。由於卑南溪為臺東之主要溪流，便道以高灘地為佈設原則，並分別於便道上、中游設置臨時截水土堤各長約600m及1200m，土堤高則以低於該河段永久堤防頂高約1.5m為原則，主要考量為臨時土堤應於永久設施設計水位到達前潰堤，以確保主河道構造之安全性。施工便橋以主要設置於跨越原河道水流通過處銜接各工區之動線為主。卑南溪動床深度約8m，因此鋼棧橋支柱打設深度以動床深度再加3m或打設至岩盤為主，每跨最小跨度以水利單位規定不得低於6m為考量，實際施作以8m跨度為原則。

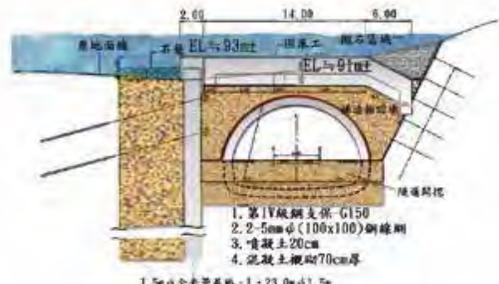


2.5 施工規劃佈設

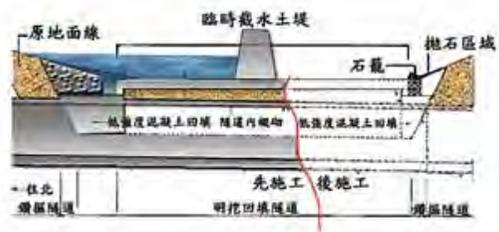
- A. 過溪段採半半施工方式構築隧道，並配合隧道完成後即構築固床工。原明挖覆蓋隧道，改採上半明挖並以鋼支保、噴凝土與鋼線網等支撐構件作為假隧道（頂蓋），其後覆蓋回填構築固床工以保護隧道結構，完成後再將溪水改道至另一側，同上方式施作隧道與固床工，隧道上半完成連通後由主隧道以隧挖方式開挖過溪段下半断面，整體開挖完成後以隧道型式施作混凝土襯砌。
- B. 增闢橫坑作為施工工作面，兩處野溪工區各設兩處橫坑，共4座橫坑，每座橫坑縱坡約2%~10%，長度則介於30m~110m之間。施工橫坑在後續應用上為提供隧道開挖、混凝土襯砌及後續軌道鋪設之進出動線，對於本工程縮減工期有相當之助益。
- C. 河床便道以利用卑南溪之高灘地為原則，並配合上、中游設置臨時土堤改變水流方向。於主便道通往各工區跨越主河道銜接各工區時則設置跨水路之鋼棧橋，連接各工區之野溪則以溪底為過水路面概念設置便道，儘量減少便道設置時之挖填方。整體而言，便道主要受臨時土堤於豪雨後沖毀重建影響較大（重建時間由發生豪雨至重建完成每次約20~30天），過水路之河床便道則因土石淤積於豪雨後，每次均有1~2天清淤復原之施工影響。

三、新山里隧道於卑南山礫岩開挖與支撐檢討

卑南山礫岩主要來自臺東縱谷西邊中央山脈變質岩區膠結不佳的礫石及砂、泥組成，礫石材料主要為變質砂岩、石英片岩、結晶石灰岩、變質基性火成岩等，礫石層內常夾有厚度不一之砂層，礫石直徑5cm~50cm不等，岩層的層理和淘選度不佳，礫石層中可見級配良好，而呈較緻密之組織，係屬軟岩且夾有裂隙，滲透係數k值透水試驗結果k值約 1.1×10^{-4} cm/s。礫岩的穩定性由於受膠結物影響甚大，應考慮開挖後岩體自立性與地下水之關係。依「PCCR岩體分類系統」屬D至D₁岩類。卑南山礫岩層因位於利吉層之上方，並受卑南山斷層、花東縱谷斷層影響，岩層中剪裂面多，平均50m~100m就有5cm~40cm厚之剪裂帶，造



半半施工橫斷面示意圖
(上半明挖支撐，下半隧道開挖)



半半施工縱斷面示意圖
(左半側隧道及固床工先行施工，右半側後行接續)

成礫岩層原來已膠結部份受到擾動而變鬆散，開挖時易產生局部抽坍。以下針對施工過程中所產生之現象及後續處理方式進行探討。



新山里隧道A工區過河段頂蓋工法施工情形

3.1 3D淨空監測變位置檢討

隧道沿線岩體大致可區分為D、D及D三類，相對應之開挖支撐設計應為TYPE TYPE 支撐，而洞口與淺覆蓋段增加支撐類型TYPE。3D淨空量測結果顯示，TYPE TYPE 三種支撐類別上半開挖之變位置多在25mm以下，洞台及仰拱（或基礎）開挖產生之最大累計變位置則分別增加至40mm 60mm區間；TYPE 支撐類別上半開挖之變位置則在25mm 40mm之間，洞台開挖再增加25mm 40mm，TYPE 支撐類別原設計並無仰拱開挖而為基礎開挖型式，最終之基礎開挖階段其變位置由25mm 50mm不等。

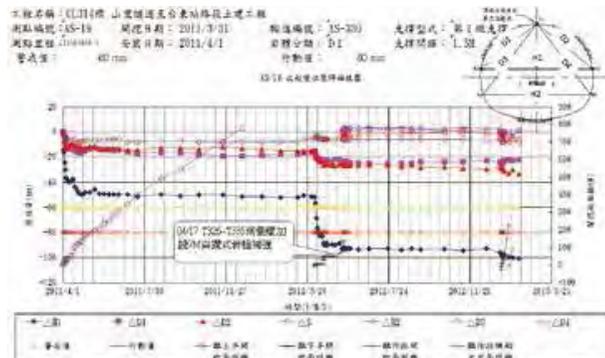
D 岩體中之計測岩栓於未設置仰拱區段隧道側壁位置量測最大載重達16.1噸，已達設計破壞載重，伸縮儀最大變位點位置亦於相同位置，開挖面變位向內變位約15mm，岩體鬆弛範圍約在4m 5m範圍，原使用3m岩栓打設深度未能超過鬆動範圍，後續調整設置仰拱區段最大測得10.1噸，未超過行動值11.2噸，伸縮儀變位顯示岩體鬆弛範圍在4m範圍內。

岩體分類與支撐等級關係表

| 岩體類別 | 分類標準 | 支撐等級 | 變形寬容量 (cm) |
|--------------|-----------------------------|------|------------|
| D 岩類 (卑南山礫岩) | 膠結程度極佳 (需以地質鎚用力敲方能將塊石或礫石敲落) | | 10 |
| | 膠結程度良好或尚可 (需以地質鎚方能將塊石或礫石敲落) | | 15 |
| | 膠結程度不佳或疏鬆 (以手即可將塊石或礫石剝落) | | 25 |
| 其他 | E 淺覆蓋加厚段 | | |

| 支撐等級 | I | II | III | IV |
|------|--------------------------------|---|--|--|
| 岩體類別 | D _I 卑南山礫岩 | D _{II} 卑南山礫岩 | D _{III} 卑南山礫岩 | E & D _{III} |
| 開挖順序 | | | | |
| 開挖順序 | 四階開挖(視需要) | 四階開挖(視需要) | 四階開挖(視需要) | 四階開挖(視需要) |
| 掘進長度 | 1.5-2.0(m) | 1.2-1.5(m) | 0.8-1.2(m) | 0.8-1.2(m) |
| 鋼筋噴漿 | caw: 12 | F & T1: 8(視需要) | F & T1: 12(視需要) | F & T1: 12(視需要) |
| 仰拱鋼筋 | 100 φ 1.5-2.0 | 125 φ 1.2-1.5 | 150 φ 0.8-1.2 | 150 φ 0.8-1.2 |
| 襯砌材料 | 視需要 | 視需要 caw: φ=25mm, 4m 1.2-1.5x1.2-1.5 | C: φ=25mm, 4m 1.0-1.5x0.8-1.2 W: φ=25mm, 6m 1.0-1.5x0.8-1.2 | C: φ=25mm, 4m 1.0-1.5x0.8-1.2 W: φ=25mm, 6m 1.0-1.5x0.8-1.2 |
| 頂拱換填 | - | C: 光禿鋼管, 32mm 32mm φ | C: 光禿鋼管, 32mm 或管基鋼管, 100mm | C: 光禿鋼管, 32mm 或管基鋼管, 100mm |
| 輔助工法 | 保留土心 臨時仰拱聯合 短台階開挖工法(視需要) | 側導坑開挖工法(GT-8114) 地下水池(GT-8128) 鋼支撐基腳加勁(GT-8132) | 側導坑開挖工法(GT-8114) 管基開挖工法(GT-8131) | 側導坑開挖工法(GT-8114) 管基開挖工法(GT-8131) |

新山里隧道主隧道開挖支撐等級

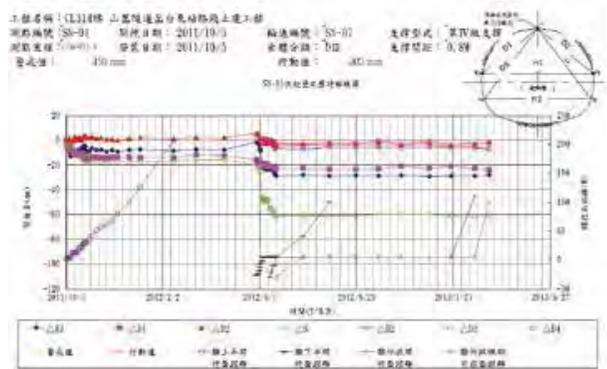


TYPE 支撐 (D) 3D淨空量測變位



3.2 開挖面產生局部抽坍及岩栓打設時機檢討

本工程隧道開挖長度約5300m，除北洞口往南之洞口段約30m及南洞口以北之南段隧道約600m，其餘地下水位均在隧道頂面以上；而南洞口以北之南段隧道600m地下水位則約略位於起拱線附近。隧道開挖時若遭遇礫岩層所夾之裂隙、厚度不一之砂岩以及膠結不佳材料，時常於開挖過程中產生局部之抽坍。此情況南段隧



TYPE 支撐 (D) 3D淨空量測變位

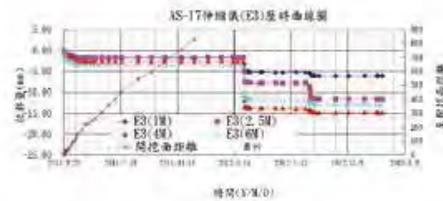
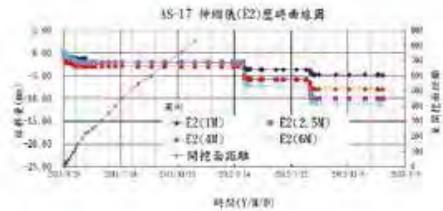
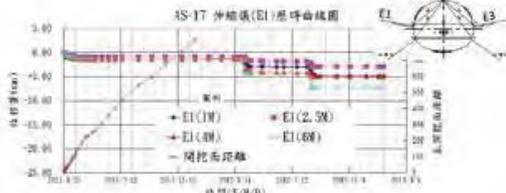
道較北段隧道為多，推判此區段一為地下水位較高有較大之地下水壓所引起，一為開挖面頂拱介於地下水之界限乃受水位變動影響，對應之礫岩膠結情況亦不佳；本工程支撐設計TYPE 與TYPE 均為視需要打設非預力岩栓，岩栓長度分別為3m及4m，TYPE 與TYPE 則於上半打設4m非預力岩栓，側壁則為6m非預力岩栓；岩栓施作過程中或完成後，常見原岩盤為乾燥情況而於岩栓位置產生滲水，推判乃鑽孔引致地下水導流或加速原礫岩滲透條件。

3.3 現場調整與補強措施

綜上所述，檢討隧道開挖後之變形行為、隧道支撐剛性與地盤圍束作用、岩體自立性（含整體開挖面或局部岩體）及地下水滲透影響，隧道開挖於施工過程中進行以下之調整：

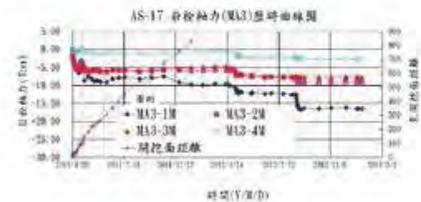
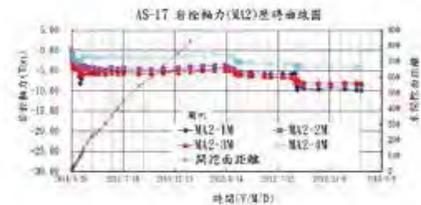
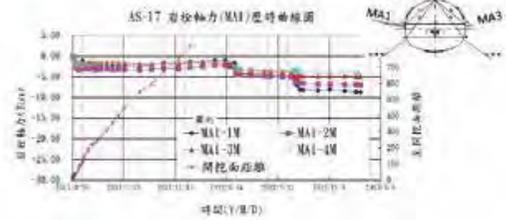
- A. D 岩體上半開挖採TYPE 支撐，下半以TYPE 支撐並以仰拱閉合：根據淨空變位量測顯示，TYPE TYPE 支撐剛性對開挖面所產生圍束作用均在容許範圍內，TYPE 支撐在上半開挖完成後其變位量也在預期範圍，後續台階與基礎開挖累計變位量則鄰近設計界限，推判TYPE 支撐對應之岩體D，在上半開挖完成後持續受地下水滲透影響，下半斷面岩體可能軟化情況其塑性區擴大，故後續開挖變位量反與其他岩體相當，因此根據岩體D 之監測結果，調整該類岩體後續尚未進行台階開挖之支撐為TYPE，並以可提供較佳拱效應之仰拱閉合斷面，取代原有條形基礎開挖斷面，此一調整由後續開挖監測結果顯示，淨空變位均可控制在設計容許範圍內。
- B. 岩栓打設原則建立：岩體D 在上半開挖時多為乾燥或微濕潤，且需以地質錘敲打方可剝落，在變位量測上也以起拱線之水平變位為主，因此岩栓打設以起拱線設置4支/每輪為原則，打設與否仍視其地下水與岩體裂隙之情況調整；在後續施工中由於下半開挖調整為支撐TYPE，故岩栓長度為4m。若後續施工累計變位量或變位速率超過警戒值，則以6m長岩栓作為補強，並輔以補強噴凝土以確保開挖之安全性。

工程名稱：CL 314標 山嵐隧道左側先導段成建工程
 圖則編號：AS-17
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11



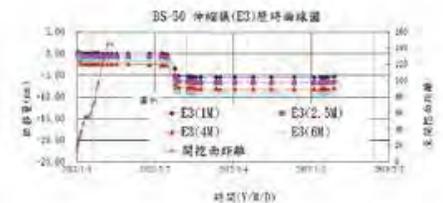
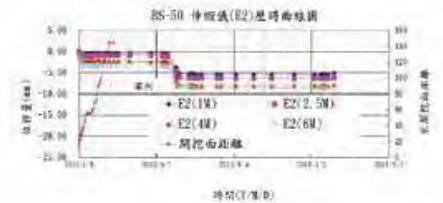
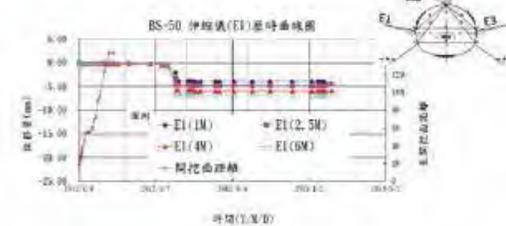
TYPE 支撐（無仰拱）伸縮儀變位

工程名稱：CL 314標 山嵐隧道左側先導段成建工程
 圖則編號：AS-17
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11



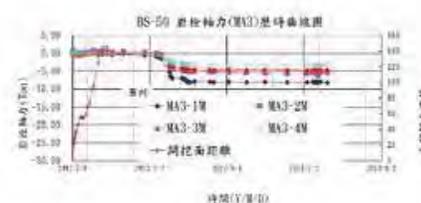
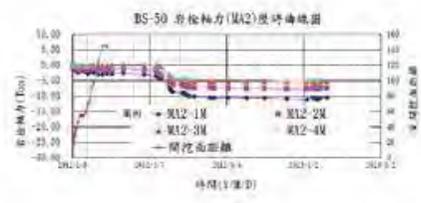
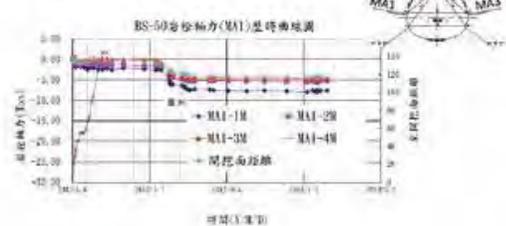
TYPE 支撐（無仰拱）計測岩栓軸力

工程名稱：CL 314標 山嵐隧道左側先導段成建工程
 圖則編號：BS-50
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11



TYPE 支撐（設置仰拱）伸縮儀變位

工程名稱：CL 314標 山嵐隧道左側先導段成建工程
 圖則編號：BS-50
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11
 圖則編號：SS-204
 圖則日期：2012/11



TYPE 支撐（設置仰拱）計測岩栓軸力

挑戰
 勇於突破



- C.開挖面抽坍防止對策：局部抽坍情況以膠結不佳或裂隙出現時伴隨地下水入滲為主，連續性抽坍情況以開挖後立即噴凝土封面為主要對策，局部坍落則以局部支撐鋼管打設為防止方式，岩體分類若為D 且地下水入滲較明顯，伴隨局部裂隙時則以打設管幕鋼管為確保開挖面自立性之主要對策。
- D.計測結果到達警戒與行動值之施工對策：本工程隧道開挖淨空變位置量測結果大多數極為典型，均有足夠之施工時間反應變位置量或變位速率超過之處理，主要處理方式為補噴凝土（加厚約4cm 8cm）及打設長岩栓（6m非預力岩栓或9m 12m之自鑽式岩栓），打設岩栓有可能加速地下水入滲，惟後續結果顯示打設長岩栓對岩體之圍束效應仍相對有效。

四、結論

東線鐵路電氣化計畫全長約166公里，原訂完工通車期限為7年，為早日改善當地交通與提供優質服務，並帶動花東地區旅遊，將通車目標縮短為5年。本工程為計畫內最長隧道，亦為通車之重要指標，在業主、設計、施工及監造等單位共同努力下，工進順利、品質良好。本文歸納各項施工經驗之要點如下：

- A. 本工程地質屬卑南山礫岩，岩體為軟岩性質，其膠結程度不一且含水量高，遇水易軟化風化剝落，隧道開挖期間雖造成8次抽坍，惟後續地質加固處理得宜，仍如期於預定時程全線貫通，且無人員損傷。
- B.本工程明挖覆蓋隧道位於野溪段，為考量汛期間施作安全，採上半斷面明挖下半鑽掘工法，以半半施工方式提高工作效率。
- C.本工程將多座短隧道予以連接為一座長隧道，可避離通過土石流潛勢溪谷引致之災害，提昇未來行車安全，減少營運階段管養作業，並可減輕工程開發對周遭環境之影響，充分落實永續工程之目標。
- D. 岩體上半開挖採TYPE 支撐，下半以TYPE 支撐並以仰拱閉合，施工中依計測資料回饋作彈性之調整，係因應多變礫石層隧道，且維護隧道施工中之人員安全。

參考文獻

1. 交通部鐵路改建工程局，東部鐵路改善計畫工程輯要，2005。
2. 交通部鐵路改建工程局，花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫綜合規劃，2008。
3. 許書銘，「花東鐵路整體服務效能提升之研析」，中興工程季刊，第106期，2010年1月，第53-62頁。
4. 許書銘，「花東線鐵路電氣化工程之執行與探討」，中興工程季刊，第110期，2011年1月，第103-110頁。
5. 薛文城、林敬智、許書銘、李民政，「花東線鐵路電氣化工程介紹」，大地工程技師期刊第3期，2011年。
6. 江玉村、林敬智、張克平、李民政，「花東線鐵路電氣化工程新山里隧道之設計與施工」，岩盤工程研討會，2012年10月。
7. 交通部鐵路改建工程局，CL314標山里隧道至臺東站路段土建工程計測報告，2013年2月。

新自強隧道沉泥段施工開挖探討

摘要

- 一、前言
 - 二、工程概要
 - 三、地質概要
 - 四、施工狀況
 - 五、沉泥段中導坑工法
 - 六、結論
- 參考文獻

東工處工三段技術員 / 陳伯賢
Associate Technical Specialist / Chen, Po-Hsien

摘要

東部地區既有聯外交通係以鐵、公路為主軸，惟目前往返花東線間之列車須在花蓮站更換動力車，致使既有系統之運能不足且效率不佳，往往無法滿足旅運需求，也難以帶動地方發展。緣此，政府在陸續完成臺鐵西幹線、宜蘭線及北迴線之電化工程，並獲致良好效益後，更進一步積極推動「花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化工程」，期能在維護花東縱谷區優美之自然生態環境、避免破壞本區得天獨厚觀光遊憩產業之前提下，建構快捷安全的鐵路運輸系統。其中新自強隧道為計畫內4座新建雙軌隧道之一，係屬山岳隧道，於既有自強隧道西側新建隧道。「CL212標自強隧道土建工程」位置橫跨花蓮縣瑞穗鄉、卓溪鄉及玉里鎮，路線全長約5,206公尺，主要為自強隧道及洞口前之路堤／塹構築，以及豐坪溪橋截彎取直北端路堤／塹構築；路堤／塹段總長約2,539公尺，自強隧道總長約2,667公尺，為單孔雙向隧道。隧道沿線岩盤屬中央山脈變質岩，以黑色片岩及綠色片岩為主，隧道中央穿越舞鶴台地的台地堆積層。隧道岩體有崙山層板岩、玉里層片岩、舞鶴礫岩及現地沖積層或階地堆積層。部分區域舞鶴礫岩與玉里層片岩／崙山層板岩間夾有古河道沉積物（含砂／礫層、沉泥層及碳化木層與流木）。本文即針對新自強隧道穿越古河道沉積物之所面臨困境，為尋求突破施工目前之處理方式。

一、前言

「花東線鐵路電氣化暨瓶頸路段雙軌化計畫」，東部鐵路快捷化：花東線鐵路電氣化後，除列車速度可由現行110km/hr提昇為130km/hr，大幅縮短行車時間。且因動力一元化，同時可一併解決目前往返臺北、臺東間之列車須在花蓮站更換動力車或旅客須在此乘換列車之不

關鍵字：新自強隧道、沉泥層、中導坑工法



便，改善目前列車停車待避問題，縮短運轉時間提升服務品質；同時達成臺鐵列車動力一元化，簡化車輛維修工作及列車靈活運用。鐵路綠色運輸下，可降低沿線空氣污染、CO₂排放及噪音污染，符合東部永續發展需求。促進花東觀光旅遊發展，紓解公路交通、減少私人運具進入花東，確保花東「好山好水」的觀光資源品質。鐵路電氣化完成後，東西部間來往雙向選擇，逐步發揮環島鐵路系統效益。平衡東西部鐵路建設標準，縮短東西部間交通距離，活絡東西部間經濟交流與發展。

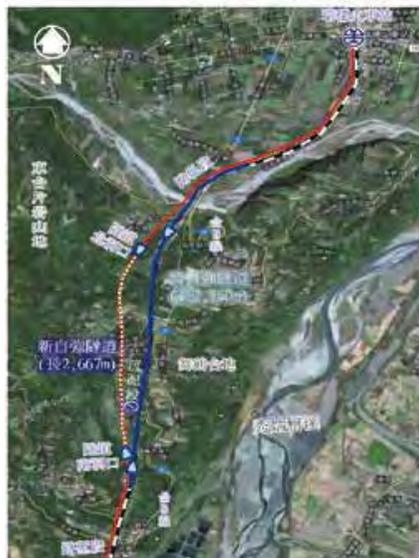
二、工程概要

花東線鐵路既有之溪口隧道、光復隧道自強隧道、山里1~7號隧道均為單軌隧道，花東線電氣化計畫基於曲線改善及未來花東鐵路雙軌電氣化長遠目標，4座新建隧道均改為雙軌隧道，以避免形成瓶頸區段，新建隧道依地形地質條件不同區分為鑽掘隧道及明挖覆蓋隧道。「CL212標自強隧道土建工程」包含新自強隧道（里程：67K+345~70K+012）段，及豐坪溪北端路堤段工程（里程：73K+460~75K+066）。其中新自強隧道工程（以下簡稱本工程）係屬山岳隧道，配合擴建雙軌於既有自強隧道西側新建隧道，隧挖鑽掘全長2,633m（里程：67K+349~69K+982）（未含洞口假隧道長度）。新自強隧道隧道貫穿舞鶴台地。

本工程鑽掘段隧道標準，為三心圓斷面，雙軌隧道，軌距4.0m，維修步道：淨寬0.8m，淨高2.2m，開挖斷面 99~106m²，襯砌厚度 30~45cm，配防裂鋼筋。開挖支撐則依據岩體性質、地下水、地質構造、大地應力、斷層破碎帶、覆土厚度、計測結果及其他岩體行為等因素，及岩體類別予以評定，各類型岩體開挖及支撐型式。



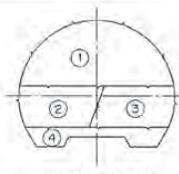
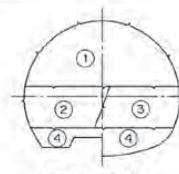
花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫



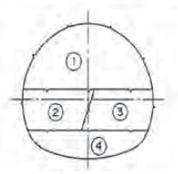
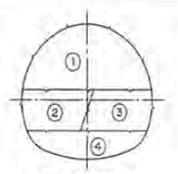
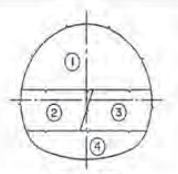
新自強隧道位置圖

三、地質概要

自強隧道通過舞鶴台地，該區域原屬紅葉溪與花蓮溪交會處之泛濫沖積平原，密布著埤湖與河道，後因斷層活動，地殼抬昇，使紅葉溪口沖積扇之礫石層掩蓋了原沖積平原，也形成了現今的舞鶴台地。依據設計階段及施工階段之地質調查成果顯示，本區域內之地層並非規則性延展，且沉積或堆積材料因區域不同而有明顯變化，其岩化程度與強度亦因前述變化而有較大差異；大體而言，地層層序由下而上、由老而新依序為「玉里層（片岩）」、「崙山層（板岩）」、「古崩積層」、「舞鶴礫岩與玉里層間之湖相/古河道沉積物（含粉土/砂/礫層、沉泥層及炭質沉積層並偶夾雜漂木）」、「舞鶴礫岩」及「現代沖積層與崩積層。隧道沿線地層層序分布，詳見隧道地層平縱剖面及自強隧道區域平面地質圖。新自強隧道由南往北之地層特性概述如下：

| 支撐等級 | I | II |
|-------------------|---|--|
| 岩體類別 | A II (崙山層/玉里層) | A IV (崙山層/玉里層) D II (舞鶴礫岩) |
| 開挖程序 |  四座開挖 (最穩定) |  四座開挖 (最穩定) |
| 軸線長度(m) | 1.5~2.0 | 1.2~1.5 |
| 鋼筋雜填土 (cm) | C & W 1:12 | C, W & I:16 F & T:16 (視需要) |
| 桁型鋼支撐 (H 型鋼支撐) | 桁型鋼支撐 G100 ϕ 1.5~2.0 (H 型鋼支撐 H100 ϕ 1.5~2.0) | 桁型鋼支撐 G125 ϕ 1.2~1.5 (H 型鋼支撐 H125 ϕ 1.2~1.5) |
| 岩柱 | 灌漿岩柱 C & W: ϕ 25 mm, 4m ϕ 1.5~2.0 x 1.5~2.0 | 灌漿岩柱 (A 岩類) 或自備式岩柱 (D 岩類) C & W: ϕ 25 mm, 4m ϕ 1.5~2.0 x 1.2~1.5 |
| 現供保護工 | — | C: 先撐鋼管, 32mm ϕ , L=2~3m (視需要) |

支撐等級表

| III | IV | V |
|---|--|--|
| A V (崙山層/玉里層) D II (舞鶴礫岩) | A VI (崙山層/玉里層) | C III (沉泥層) |
|  四座開挖 (最穩定) |  四座開挖 (最穩定) |  四座開挖 (最穩定) |
| 1.0~1.2 | 0.8~1.2 | 0.8~1.2 |
| C, W & I:16 F & T:16 (視需要) | C, W & I:20 F & T:12 (視需要) | C, W & I:24 F & T:12 (視需要) |
| 桁型鋼支撐 G125 ϕ 1.0~1.2 (H 型鋼支撐 H125 ϕ 1.0~1.2) | 桁型鋼支撐 G150 ϕ 0.8~1.2 (H 型鋼支撐 H150 ϕ 0.8~1.2) | 桁型鋼支撐 Z-G150 ϕ 0.8~1.2 (H 型鋼支撐 Z-H150 ϕ 0.8~1.2) |
| 灌漿岩柱 (A 岩類) 或自備式岩柱 (D 岩類) C: ϕ 25 mm, 4m ϕ 1.5~2.0 x 1.0~1.2 W: ϕ 25 mm, 6m ϕ 1.5~2.0 x 1.0~1.2 | 灌漿岩柱 C: ϕ 25 mm, 4m ϕ 1.0~1.5 x 0.8~1.2 W: ϕ 25 mm, 6m ϕ 1.0~1.5 x 0.8~1.2 | — |
| C: 先撐鋼管, 32mm ϕ , L=2~3m ϕ 0.3~0.5m x 0.8~1.2m | C: 先撐鋼管, 32mm ϕ , L=2~3m ϕ 0.3~0.5m x 0.8~1.2m | C: 先撐鋼管 (或圓灰管) 32mm ϕ , L=2~3m ϕ 0.3~0.5m x 0.8~1.2m |

支撐等級表



3.1 北洞口~里程67K+920：長約571M

本區段以崙山板岩為主，岩體多呈破碎，黃棕~棕褐色砂質板岩，輕至中度風化，劈理面及裂面多銹染且發達，傾角約呈 5° ~ 20° 向南傾斜，剪裂構造發達岩體破碎且富含剪裂泥岩層劈理成高角度。其上覆為岩屑堆積/礫石崩積所組成，其組成材料為塊/礫石夾棕黃色粗至細砂自立性差。局部並有滲水情形，滲水加上剪裂帶擾動之因素，易造成破碎鬆散之板岩岩塊或楔型岩塊坍塌。

3.2 里程67K+920~68K+440：長約520M

舞鶴礫岩與板岩界面段並夾雜古河道沉積物，岩覆約80~90公尺，舞鶴礫岩主要由礫石/塊石夾雜粗細不一之砂及粉砂所組成，呈輕至中度風化，粒徑大小不一最大可達1.5m以上交結較差以手可剝落，古河道沉積物上部為黃棕色砂土/粉土夾雜大小不一之岩塊/塊石或礫石材料，局部並有紅土化情形發生；下部則為黑灰色粉土層，膠結及自持性差。

3.3 里程68K+440~69K+000：長約560M

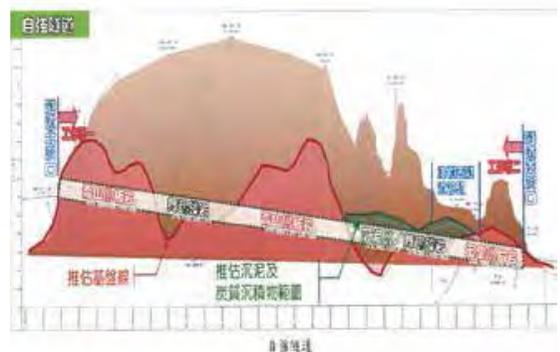
本區段主要由板岩所組成，輕至中度風化且受多道剪裂帶截切擾動，劈理面多銹染且發達，傾角約呈 5° ~ 20° 向南傾斜，局部區段因剪裂構造發達岩體破碎且富含剪裂泥岩層劈理成高角度。

3.4 里程69K+000~69K+758：長約758M

本區段沿線岩盤種類變化甚大，里程69K+000往南遭遇以沉泥層與粉砂為主之為固結沉積物（古河道沉積物），至里程69K+300將逐漸轉變為顆粒漸粗之砂層及礫石/塊石，繼續往南約至69K+560間再度遭遇古河道沉積物且顆粒轉細至沉泥並夾厚層之炭質沉積夾粉砂且帶有漂木。沉泥層，主要由未固結之湖相沉積之極細粒粉土及黏土所組成，並偶夾有厚度不一之碳質沉積物，層狀堆積，膠結緊密多呈無水狀態，具高塑性且透水性不佳，顆粒間之結合不良。

3.5 里程69K+758~南洞口：長約254M

本區段主要為玉里層之片岩所組成，本區段有多道大型剪裂帶且岩體嚴重剪裂破碎，因地質構造而產生嚴重偏壓問題但岩體自立性尚可。岩層傾角屬順向開挖面有岩塊滑動問題。南洞口中覆崩積層係由棕黃色粉砂質及砂質土夾岩塊及礫岩、片岩。



新自強隧道地層平縱剖面圖

四、施工狀況

新自強隧道於分為南北2工作面以新奧工法施工，原則上分成上下兩階機械式開挖，開挖遭遇軟弱地質時則配合採用輔助工法，以增加穩定性。南口隧道於2010年6月25日開挖進洞，於淺覆蓋段原設計明挖回填方式施工，承包商後來提出改採新奧工法（採第V級支撐形式）配合輔助工法順利挖掘通過。北洞口工作面則於2010年7月29日開挖進洞。截至2013年9月底止北洞上半開挖已完成1,241m（里程68K+588.5），開挖面進入崙山層板岩。南洞口工作面則因沉泥段隧道內嚴重擠壓變形情形，於69k+240後續開挖改採中導坑工法（縮小斷面法），中導坑工法開挖已完成39m（里程69K+203），目前為驗證中導坑工法成效，正進行後續中坑坑工法擴挖作業。

4.1 北洞口工作面特殊狀況

北洞口工作面於進入舞鶴礫岩與板岩界面段並夾雜古河道沉積物，開挖面頂拱主要出露岩性為古河道沉積物（砂／泥／礫石）為主，上覆舞樂礫岩，岩覆約80~90公尺，地下水量豐沛。地表發生2次大型坍陷。

2012年7月28日約12時30分於北口隧道里程68K+353~68K+358 中心線西側約5 公尺附近地表鄉道及緊鄰私有地發現坍陷直徑約6~7M深約12~15M之坑洞，經補強措施施作完後，並於坍陷範圍方圓10~20 公尺及鄰近住宅基礎面設置位移及沉陷觀測點進行觀測。

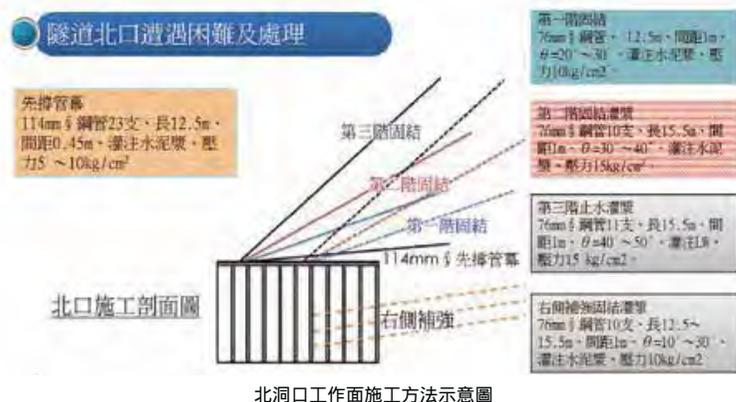
2012年8月28日約06時55 分，於北口隧道里程68K+390 處（公視舞鶴站機房圍牆西側）附近地表發現一坍陷直徑約9~10M深約10M之坑洞。本坍陷區段鄰近舞鶴台地之最高點，地表以下多屬舞鶴礫岩，陷落洞穴圍岩均屬舞鶴礫岩，惟膠結較差且含水量甚高，透水性亦佳；2次坍陷原因推估係因於北口隧道於2011年12月15日之大型抽坍區段（68K+338.2~68K+366.2）間接影響，本破壞區段僅於隧道內施作固結灌漿改良，改良範圍僅止於隧道開挖線以上6~9M處，復加連日豪大雨地表逕流水大量滲入已鬆弛之岩層（舞鶴礫岩）所致。經補強措施（地表陷落坑洞以140kg/cm² 混凝土快速回填），避免坍陷區域災害擴大。地表沉陷觀測及隧道內計測觀測點（S-052），目前為止已呈穩定狀態。後續並配合地表鑽探及地電阻探測等作業，辦理地層擾動區域地質改良。



北口隧道中心線西側約5M 附近地表坑洞



公共電視鐵塔圍牆地表陷落坑洞之現況



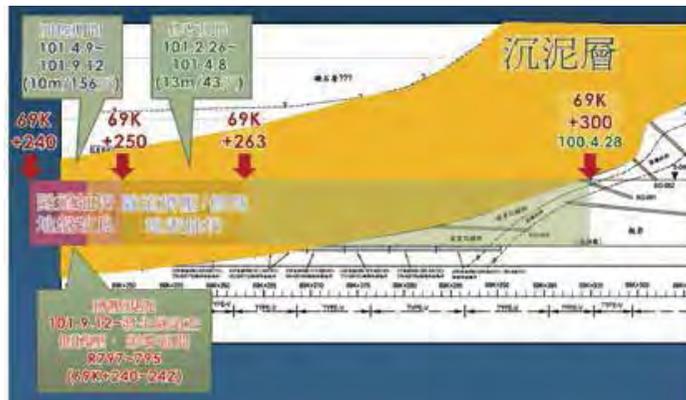
為通過本區段地層，隧道開挖前先行配合管幕和固結灌漿輔助施工，分大小循環灌漿改良：

- (1) 大循環（每5~6輪施作一次）
 1. 鏡面土心鑽設加勁岩栓並採壓力灌注水泥漿；
 2. 鑽設管幕鋼管，本階段分為單、雙數二期鑽灌；
 3. 鑽設固結灌漿鋼管，本階段以角度區分為二期鑽灌（ 30° 、 40° ）；
 4. LW止水灌漿；
 5. 注膠先撐鑽灌（每輪開挖前鑽設）；
 6. 輪進開挖2~3輪（視狀況輔以點狀止水PU化灌）
 7. 施作小循環。
- (2) 小循環（每2~3輪施作一次）
 1. 鏡面土心鑽設加勁岩栓並採壓力灌注水泥漿；
 2. 鑽設固結灌漿鋼管；
 3. LW止水灌漿；
 4. 注膠先撐鑽灌（每輪開挖前鑽設）
 - 輪進開挖2~3輪（視狀況輔以點狀止水PU化學灌漿）；
 5. 輪進開挖。

4.2 南洞口工作面特殊狀況

隧道於路線里程69k+340 至69k+000 路段預期遭遇沉泥（以下簡稱沉泥段），里程 STA.69K+300 (R734) 附近 開挖面頂拱出露沉泥層，並隨開挖方向逐漸 厚。主要出露岩性為灰褐色至黑灰色沉泥層夾舞鶴礫岩底層材料（砂 / 泥 / 礫石），中~高度風化，礫石材料多以次圓形之板岩礫石為主，不均勻分布在開挖面上，膠結程度及自持性不佳，下伏岩體則為沉泥層，主要由未固結之湖相沉積之極細粒粉土及黏土所組成，並偶夾有厚度不一之碳質沉積物，層狀堆積，膠結緊密多呈無水狀態，具高塑性且透水性不佳，顆粒間之結合不良。地下水方面為微潮~微滲水情形。南口工作面於2011年4月18日開挖至69k+300附近，開挖面頂拱出露沉泥，並沿開挖方向（北）逐漸增厚；2011年6月30日開挖至里程69k+250.8附近，隧道變形持續發生。並發生抽坍，自隧道頂拱向上發展25 m 至地表，地表可見明顯的陷落坑。隨後經採用地表明渠封底止水、地表固結灌漿、隧道內擠壓段固結灌漿與支撐修復等作業，配合地表鑽探與水平取心探查孔等查明地層分佈後，於2012年4月9 日恢復開挖支撐作業，自里程69k+251向北開挖，迄2012年9月12日完成至里程69k+246，期間共156日約完成10 m。

沉泥層自立性差，承載力不足難以成拱，開挖後所產生之變形致其自持及強度弱化，無法於岩體有效自立時間內完成，導致頂拱上方荷重增加，變形造成之微細裂縫致使局部地下水滲入，致部分沉泥產生液狀現象，液狀沉泥及大小不一之變質岩塊伴隨著地下水隨裂縫流入開挖面內，因而造成岩體發生破壞而抽坍。



沉泥段地質剖面

4.3 南洞口工作面沉泥段施工概述

(1) 里程69K+300.4 (R735) ~276.4 (R758)

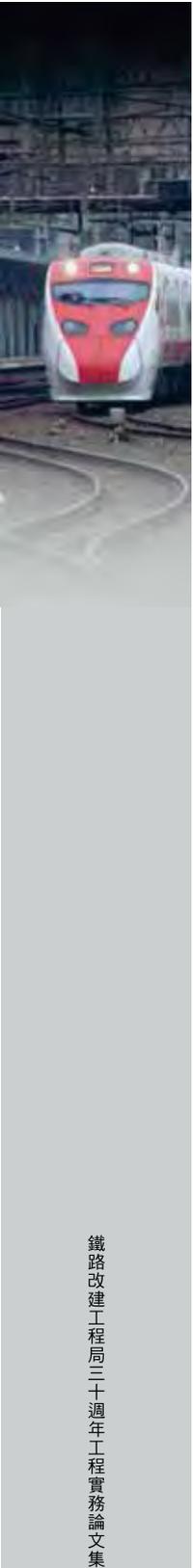
開挖時程：2011/4/18~2011/4/26；支撐工：G150*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、先撐管幕灌注聚氨脂樹脂3循環；補強工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：R731~R734發生噴凝土裂縫，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝S-047（69K+300）、S-048（69K+290）及S-049（69K+280）計3組副計測斷面；最大沉陷量依序分別為178mm（S1）、311mm（S3）及133mm（S1）；最大內空收斂依序分別為154mm（D2）、35mm（D2）及130mm（D2）；灌漿（地盤改良）：無

(2) 里程69K+276.4 (R758) ~268.6 (R766)

開挖時程：2011/5/1~2011/5/5；支撐工：G150*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、先撐管幕灌注聚氨脂樹脂1循環；補強工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱發生局部坍落，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝S-049A（69K+274）及S-050（69K+270）計2組副計測斷面；最大沉陷量依序分別為217mm（S1）、115mm（S3）；最大內空收斂依序分別為80mm（D2）、26mm（H1）；灌漿（地盤改良）：頂拱巨量沉陷封面停止開挖，地改（R759~R765）採6M+3M聚胺脂系灌漿，土心加勁改良，補強環撐（G125）R761~R763計2組。水泥漿系灌注。

(3) 里程69K+268.6 (R766) ~262.8 (R773)

開挖時程：2011/5/24~2011/5/28；支撐工：G200*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、先撐鋼管灌注聚氨脂；補強工：加噴



10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱發生局部坍塌，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計無副計測斷面；灌漿（地盤改良）：回填灌漿，水泥漿系灌注。

（4）里程69K+262.8（R773）~258.8（R777）

開挖時程：2011/6/8~2011/6/9；支撐工：G200*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、先撐管幕灌注聚氨酯樹脂、土心境面加勁低壓灌漿（12m*25支）；補強工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱發生大型坍塌，抽坍量約130M³，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝S-051（69K+260）計1組副計測斷面；最大沉陷量為450mm（S1）；最大內空收斂為260mm（D2）；灌漿（地盤改良）：回填灌漿，水泥漿系灌注（M3）。

（5）里程69K+258.8（R778）~250.8（R785）

開挖時程：2011/6/12~2011/6/15；支撐工：G200*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱（至R776，因土心留存R777~R785無法施作）、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、擴挖式先撐管幕灌注聚氨酯樹脂12M*29支（里程：69K+258.8~69K+246.8）；補強工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱發生抽坍，抽坍量約130M³，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝S-052（69K+252）計1組副計測斷面；灌漿（地盤改良）：處理時程至100/6/25，回填灌漿，水泥漿系灌注，固結灌漿（R774~R781）水泥計708包。土心加勁改良22孔*12M。自本輪起採先撐管幕鋼管（水泥漿系），R786~R795，計29支*12M。

（6）里程69K+251.8（R785）~69K+249.8（R786）

開挖時程：2011/6/26~2011/6/27；（6/28補強岩栓鑽設及灌漿孔鑽孔，支撐工：G200*2、24cm鋼纖噴凝土；輔助工法：臨時仰拱暫時無法施作、擴挖式加勁支保腳、支保腳加勁岩栓（6M）、先撐管幕灌注聚氨酯樹脂及水泥漿系管幕；補強工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽式補強岩栓（6M—左右側各2/3支、間距1M）；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱發生抽坍泥水滲出，局部抽坍噴凝土受壓破裂，採取上述之補強工處理，鋼纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝S-052（69K+252）計1組副計測斷面；最大沉陷量為116mm（S1）；最大內空收斂為27mm（D2）；灌漿（地盤改良）：回填灌漿，R783~R784水泥漿系灌注（6M*計20支）。抽坍背填完成後再行增設水泥漿系先撐管幕工法（3+12M*29支）、施作里程69K+249.8（R786）~69K+34.8（R800）。

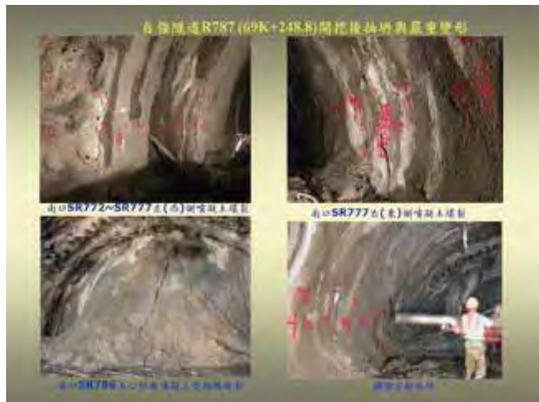
(7) 里程69K+248.8 (R787)

開挖時程：2011/7/3/ 09:00~16:00；
 (僅開挖及鑿除頂拱封面噴凝土費時7小時) 支撐工：G200*2、24cm鋼纖噴凝土；
 輔助工法：臨時仰拱、擴挖式加勁支保腳、
 支保腳加勁岩栓(6M)、先撐管幕灌注聚
 氨脂樹脂及水泥漿系管幕(雙層)；補強
 工：加噴10cm掛網鋼纖噴凝土、SN/自鑽
 式補強岩栓(6M—左右側各2/3支、間距
 1M)；本區段遭遇狀況：開挖面頂拱局部
 泥水滲出，大量變形噴凝土受壓破裂，鋼
 纖噴凝土封面；計測成果：本區段計安裝
 S-051及S-052(69K+252)計2組副計測斷
 面；最大沉陷量為562mm(S-051-S1)；
 最大內空收斂為370mm(S-051-D2)；灌
 漿(地盤改良)：R782~R785水泥漿系固
 結灌漿(6M*計25孔)。

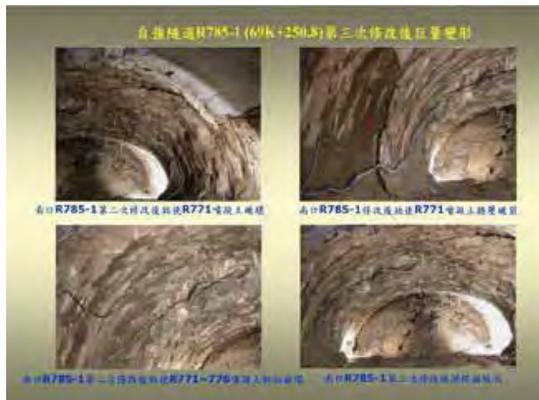
沉泥段施工遭遇障礙，於2011年9月
 29日起也多次邀請施工先進及專家召開
 施工諮詢會議，有洪如江教授、鄭文隆局
 長、隧道協會、日商清水建設、地工基金
 會等，並配合採行地表補充地質取心鑽探
 孔、支撐構件之鋼支保採H200型鋼、隧
 道內依設計圖作系統性灌漿，採用CB漿
 或LW漿、施作隧道頂拱上方6m範圍地質
 改良等措施。但其後並於此區段因斷面
 入侵變形而經多次隧道修挖停滯不前，
 2012年6月21日沉泥段工作檢討會議決
 議69K+246~240也同意採承商所提輔助
 工法進行開挖上半階段開挖，以水泥砂
 漿、聚胺酯樹脂(PU)為地質改良灌漿材
 料，7月中旬後：全面改採「聚胺酯樹脂
 (PU)」進行地質改良。



R785 (69K+250.8) 開挖後抽坍與變形



R787 (69K+248.8) 開挖後抽坍與嚴重變形



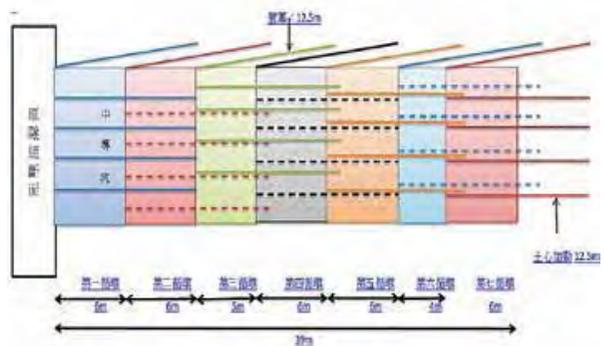
R785-1 (69K+250.8) 第三次修改後巨量變形



但69K+246~241區段，開挖隧道鏡面仍漏漿嚴重，隧道變形仍持續發展施作過程中發生8次抽坍無「灌漿一次、開挖多輪」之成效，灌漿效率及成效不良。PU灌漿占輔助工法經費比重約為88%顯不合宜。至2012年11月29日里程69K+242起改以中導坑工法施作止，此段沉泥段施工幾乎停滯不前。仍存在待解決諸多課題，如頂拱抽坍、鏡面突出、支保腳沉陷。此區段隧道抽坍與變形相片。

五、沉泥段中導坑工法

自強隧道南口（里程69k+239）之後續開挖方式，經綜合考量施工安全、工期及隧道協會之「CL212 自強隧道土建工程諮詢小組報告書」後，建議依隧道協會所提之stage2方案（LW自地表灌注/隧道內灌注）進行地盤改良，並同時結合stage3方案（縮小



中導坑施作示意圖

隧道開挖斷面) 進行施工。縮小隧道開挖斷面部分，參考日商清水營造於2012年10月12日參訪本工程後所提方案，採用「中導坑工法」輔以「前進面預加固（玻璃纖維岩栓 + 灌漿）」方式施工。

採納「中導坑工法」並尋求突破沉泥段障礙之理由在於，（1）避免隧道抽坍：中導坑之開挖面積較小，故具有較佳之穩定性，而隧道變形量亦可有效縮減，避免隧道抽坍。（2）進行前進地質探查：藉由中導坑之施工，可預為掌握前方地質條件並進行必要之處理，俾利後續主隧道之施工。（3）增加主隧道施工穩定性：中導坑之支撐系統具預加固作用，此對後續主隧道之開挖具正面助益，可有效控制隧道變形量及地表下陷量。（4）兼顧施工性：可採用現有施工機具進行開挖支撐作業，不需另行調派，可節省動員時間。

中導坑工法之開挖，施工順序如下：GFRP土心加勁 GFRP 先撐管幕 中導坑開挖6m（含仰拱閉合）。

第四循環及第五循環施作時，縮小中導坑斷面，淨寬由10.7m縮減為9m，淨高4.5m維持不變，原開挖機具因空間不足，以致施工作業困難，且常損壞隧道內計測儀器。更換小型開挖機具後，雖無作業空間不足問題，但小型機具因機械工率不足，以致每輪進施工時間過長，無法符合快挖快撐之施工理念，抽坍風險亦相對增加。

中導坑工法灌漿順序如下：土心加勁、76mm GFRP管、長12.5m、 $\theta=5^{\circ} 10^{\circ}$ 、間距1m交錯佈置、約32支、灌注矽酸鹽。先撐管幕、76mm GFRP管、長12.5m、

間距0.5m、二層交錯佈置、59支、灌注矽酸鹽。固結灌漿、76mm GFRP管與鋼管組合管、長7.5m、間距1.2m、 $=60^\circ$ 交錯佈置、約12支、灌注水泥漿及LW、壓力 $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

中導坑工法於2012年11月29日施工起至2013年7月4日止計完成7循環39m長。

六、結論

本工程隧道施工，於南北口2工面雖遭遇不同知地質障礙考驗，北洞口於通過古河道沉積物（砂／泥／礫石）區段，開挖全斷面進入崙山層板岩後，上半開挖施工進度約有50m／月。南洞口工作面仍於沉泥段持續採用中導坑工法，由中導坑1~7循環施做結果顯示，開挖前所做之矽酸鹽系先撐管幕及土心加勁灌漿發揮功效，可由開挖面土心仍呈穩定狀態獲得證實；惟由小規模抽坍顯示中導坑之穩定性仍有限，可再加強處理改善。評估中導坑工法施工應為可行。後續則應於每循環開挖長度、仰拱壁合時機、固結與止水灌漿、工地管理等方面著手進行必要之調整。於完成7循環中導坑開挖作業，將進行中導坑擴挖，以驗證並了解其擴挖之行為。

- 南口沉泥段後續擴挖作業施工順序將採以下作業（1）第8循環之中導坑鏡面預加固。（2）第3~6 循環之擴挖前環向固結灌漿。（3）第1~5 循環之上半斷面擴挖及臨時仰拱閉合。（4）擠壓變形區之修挖。（5）台階降挖及仰拱閉合。

上半斷面逐輪擴挖，逐輪拆除中導坑支保（含臨時仰拱閉合）後，上半台階約25~30m長，台階降挖2m，之後完成全斷面仰拱閉合。中導坑GFRP管幕，灌漿材料調整為灌注SRF及LW+水泥漿液，並提高灌漿壓力，增加灌漿量，以形成隧道外圍足夠之支撐厚度。及其餘各種輔助工法及支撐構建調整等。期能順利通過此沉泥段困難地質。

參考文獻

1. 交通部鐵路改建工程局，東部鐵路改善計畫工程輯要，2005。
2. 交通部鐵路改建工程局，花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫綜合規劃，2008。
3. 中興工程顧問股份有限公司，「花東鐵路電氣化新建工程」，委託監造及專業技術顧問服務服務建議書，2011年4月。
4. 中興工程顧問股份有限公司，「沉泥段中導坑工法第一 第七循環施工評估報告」，2013年8月。
5. CL212 自強隧道土建工程。
6. 中華民國隧道協會，「CL212自強隧道土建工程」諮詢小組報告書，2012年9月。
7. 交通部鐵路改建工程局，CL212標自強隧道土建工程計測月報，2010年8月~2013年6月。



彈性PC軌枕防振直結無道碴軌道之發展及應用

摘要

- 一、前言
 - 二、無道碴軌道設計
 - 三、無道碴軌道施工與養護
 - 四、結論
- 參考文獻

工務組副工程司 / 蕭正蔡
Associate Engineer / Hsiao, Cheng-Fen

摘要

傳統鐵路道碴式軌道，經列車長期運行與衝擊，易發生劣化損害，以致須經常投入人力、物力來維修，為減少軌道養護及維修成本，提升行車舒適性，研採安全、堅固、耐用、易維修及全生命週期成本較低的「省力化軌道結構」應為我國新建軌道與既有軌道更新的思考方向。

臺鐵目前無道碴軌道型式主要為「彈性基鈹軌道」及「彈性PC軌枕防振直結軌道」，其中以本局施作之「彈性PC軌枕防振直結軌道」應用最廣。該軌道型式係由台灣世曦工程顧問公司及臺灣軌道工程學會之協助改良研發而成。目前已完工啟用路段包括南港專案之汐止高架鐵路、汐止山岳隧道、南港及松山段隧道，以及沙崙計畫高架鐵路等路段，通車以來使用成效良好。因此後續辦理之其他計畫（如臺中、員林高架鐵路），軌道工程亦多採用此種軌道結構，除有利維修備料一致性，並具體落實本土化設計、產製及施工之目標。

一、前言

國父曾說：「苟無鐵道，運輸無術，工商皆廢，復何實業之可圖，故交通實業之母，鐵道又為交通之母」。開發資源、發展工商經濟及都市建設，都必須先建構完善之交通系統，才能推動。鐵路具有大量運輸、節省能源等優勢，為交通工程中極為重要

關鍵字：彈性基鈹軌道、彈性PC軌枕防振直結軌道

之一環。臺灣鐵路之發展，早期以貨運為主，近年來，客運需求逐漸提升，無論是長程之高（快）速鐵路，或是都會區域的捷運系統，軌道運輸皆為其主力。

近年來軌道建設多朝無道碴軌道發展，國內臺北捷運、高雄捷運及高鐵皆已採用無道碴軌道，本局亦請台灣世曦工程顧問公司協助於南港專案辦理無道碴軌道本土化研發及設計，該系統以東改計畫之「彈性軌枕直結軌道」為基礎，並參考日本常磐新線軌道設計，改良研發為本局所使用之「彈性PC軌枕防振直結軌道」，目前應用於高架鐵路、隧道等路段，通車以來使用成效良好；並於汐止高架鐵路完成後設置軌道監測系統，將監測成果回饋作為後續設計與施工改善之參考。本局接續辦理之各計畫，軌道工程亦採用此種軌道結構，除簡化臺鐵無道碴軌道之型式，並藉此累積經驗、持續改善軌道工程技術，以期提供臺鐵統一且具延續性發展功能之軌道工法。

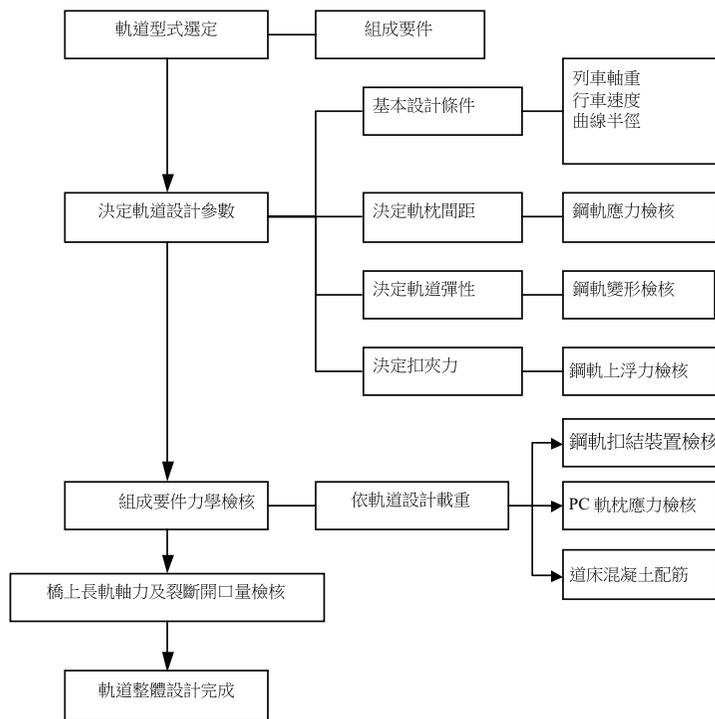
二、無道碴軌道型式

2.1 設計流程

彈性PC軌枕防振直結軌道之設計流程如右：

2.2 軌道型式選定

無道碴軌道之型式應兼顧工期易掌握、減少維修養護、備料一致性、有效降低噪音與振動、增進旅客乘車舒適性等目標，目前臺灣鐵路已使用之無道碴軌道型式有下列幾種：



彈性PC軌枕防振直結軌道設計流程圖

| 種類 | 版式軌道系統 | 彈性基扳軌道系統 | | | 彈性軌枕直結軌道系統 |
|----|---|---|---|---|--|
| 地點 | 山線南港溪橋 | 山線苗南隧道 | 彰化—追分間 | 曾文溪橋 | 北迴新線 |
| 照片 |  |  |  |  |  |



其中彈性軌枕防振直結軌道具有降低噪音、減少振動等優點，符合都會區軌道需求，成為高架鐵路採用之無道碴軌道型式。

彈性軌枕防振直結軌道之主要組成要件有下列六種：

1. 扣結裝置
2. PC軌枕
3. 彈性材
4. 混凝土框式道床
5. 吸音道碴
6. 間隔材

以下就組成要件及軌道調整機制說明其設計要點：

1. 扣結裝置

1-1扣結裝置可分為下列四項組件：

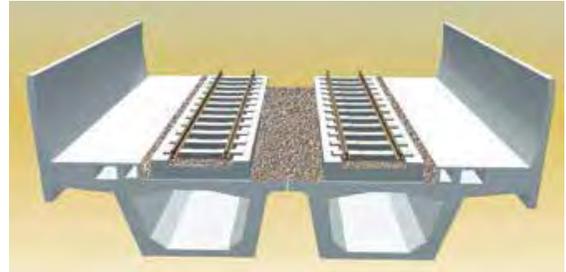
- (1) 鋼軌墊板：為單層鑄鐵板，需配合鋼軌調整平面傾斜度1：40。
- (2) 鋼軌墊片：高架鐵路配合橋上長軌軸力分析，依道床縱向阻力需求不同，分為無道碴長鉚軌段及無道碴非長鉚軌段兩種

型式，其中無道碴長鉚軌段墊片頂部膠結不銹鋼片，以降低摩擦阻力；於高架無道碴非長鉚軌段及隧道段之墊片頂部不需膠結不銹鋼片。

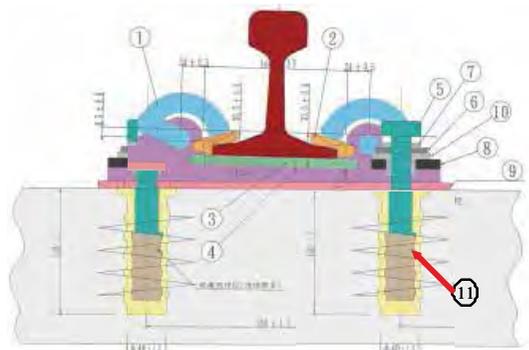
- (3) 彈性扣夾：高架鐵路無道碴長鉚軌段考慮溫差造成之橋上長軌效應，採用扣夾力較小之Pandrol - PR型扣夾，提供較小之縱向阻力，以降低橋上鋼軌軸力；於高架無道碴非長鉚軌段及隧道段則採用Pandrol - e型扣夾。
- (4) 錨碇螺栓：根據抗拉需求（軌道上浮力及橫向力），決定螺栓尺寸，由於螺栓與PC軌枕之間必須保持絕緣，故採用預埋膠套管。

1-2 扣件系統整體功能測試：

為應證鋼軌扣夾系統能達到預期之縱向阻力及橫向束制要求，本案特委請「中華民國軌道工程學會」於材料規範內定出扣件系統整體功能測試項目，包含：



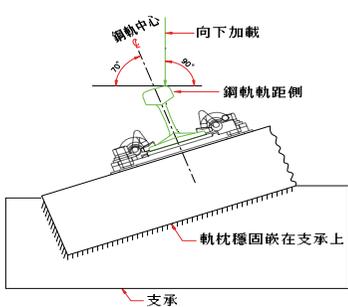
高架鐵路彈性軌枕防振直結軌道示意圖



- | | |
|------------|-----------|
| 1. e、PR型扣夾 | 7. 彈簧墊片 |
| 2. 尼龍絕緣座 | 8. 蓋板 |
| 3. 鋼軌墊片 | 9. 絕緣板 |
| 4. 鋼軌墊板 | 10. 絕緣套環 |
| 5. 錨碇螺栓 | 11. 預埋膠套管 |
| 6. 墊片 | |

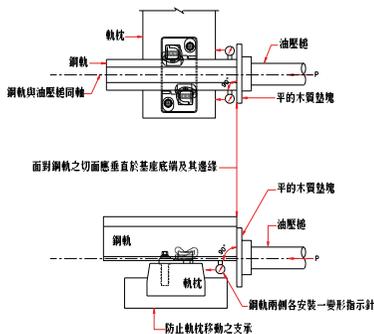
潘多爾 (Pandrol) 扣結裝置

(1) 鋼軌扣件反覆載重試驗：載重為向下加載（100仟牛頓以上）及卸載（0.5仟牛頓以下）交互作用，共作用至少1百萬週次，加載速率每分鐘不得超過 120週次。扣件系統內任何零件有目視的破損，將判定為失敗。



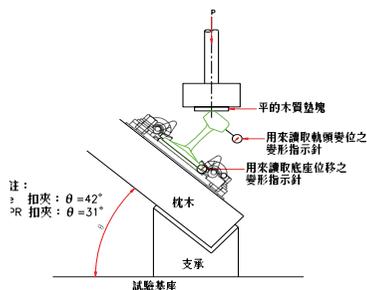
鋼軌扣件反覆載重試驗

(2) 鋼軌扣件系統縱向試驗：針對長鋁鋼軌區段之整組扣件，加載方式採逐量增加至載重3.5仟牛頓，於此載重下至少持續15分鐘，再逐量增加載重至滑移，滑移時載重不得超過5.5仟牛頓。

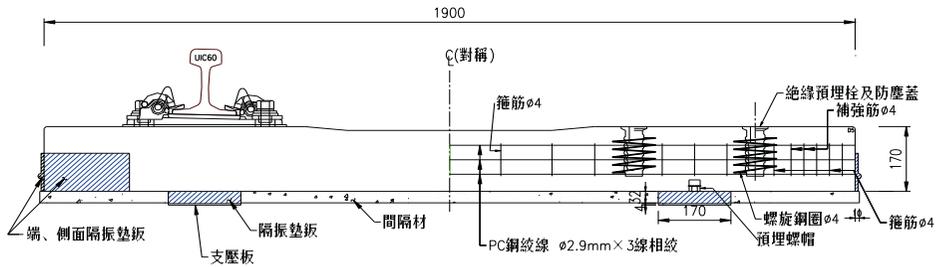


鋼軌扣件系統縱向試驗

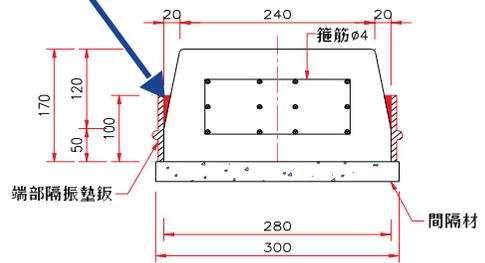
(3) 鋼軌扣件系統橫向試驗：以每分鐘不超過20仟牛頓加載速率直至載重達96仟牛頓止。鋼軌頭部橫向變位大於 5公厘時，則判定為失敗。



鋼軌扣件系統橫向試驗



可移除彈性楔



PC軌枕

2. PC軌枕

軌枕兩側及端部與框式道床間之彈性材及梯形軌枕兩側邊設置可移除之彈性楔，有利將來必要時可抬高軌枕進行抽換，設計考量在列車軸重及橫壓下，軌枕斷面合應力須無彎矩拉應力及剪力破壞。

3. 彈性材

若軌道垂直彈簧只位於鋼軌下（如彈性基鈹軌道），則發生鋼軌波狀磨耗頻率為道碴軌道之數倍，故不適宜於較高速之鐵路。故本案建議軌道型式之垂直彈性是由鋼軌墊片及PC軌枕下之彈性材所合成；並於軌枕兩側及端部與框式道床間佈設彈性材，亦即整根軌枕為三度空間彈性防振機制。為確保軌道之垂直彈性，不可完全束制住PC軌枕，故於梯形軌枕之兩側邊設置可移除之彈性楔，以防止澆灌框式道床混凝土時擠壓兩側彈性材，以致混凝土硬化後將PC軌枕箝制住，而影響軌道之垂直彈性，造成將來無法抬高軌枕進行抽換之缺點。

由於鐵路經過人口稠密之市區，減振與降噪為設計之必要考量，垂直向彈性材之彈簧常數採用下列數值：

鋼軌墊片 $K_p = 60 \text{tf/cm}$

軌枕彈性材 $K_c = 15 \text{tf/cm}$

軌道合成彈簧常數 $K_o = 1 / (1/K_p + 1/K_c) = 12 \text{tf/cm}$



道床混凝土鋼筋接地



框式道床橫向排水及框內排水



電纜管線通道

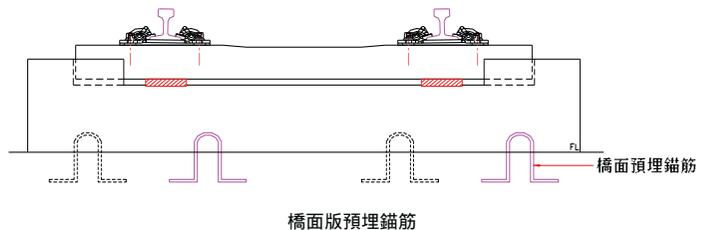


吸音道碴



4. 混凝土框式道床

- (1) 軌道版：考慮熱脹冷縮及乾縮乾變之效應，軌道版長9.95公尺，版塊之間設置5公分伸縮縫，並於軌道版正中間上方設置導裂縫。
- (2) 道床混凝土強度及配筋：混凝土強度採350 kgf/cm²，依據列車軸重及橫向力，設計框式道床鋼筋，並於道床與橋面版間預埋錨筋，以傳遞道床與橋梁間之界面剪力。
- (3) 鋼筋接地：配合供電系統接地，使接觸電位消除或減至最小，避免電車線斷裂落地時，造成人體觸電危險。
- (4) 橋面版橫向排水：每塊軌道版下方設置2支 125mmPVC管。
- (5) 道床混凝土框內排水：每根軌枕間設置1支 50mmPVC管。
- (6) 配合機電需求，預埋電纜管道。



5. 吸音道碴

於軌枕及框式道床周圍散佈吸音道碴，有效降低噪音。

6. 間隔材

軌枕下方除彈性材外皆需以間隔材包覆，間隔材材質一般採用合成橡膠海綿，其功用乃為避免吸音道碴侵入軌枕下方引致反力，造成軌枕破裂，此外，間隔材亦有控制道床混凝土澆置面高度的功能。



2.3 軌道調整機制：

考量曲線段軌距加寬量，無道碴軌道型式必須能有適當之調整機制。本案整體扣結裝置能有水平向及垂直向各15mm之調整容量，以因應未來養護維修調整之需。

水平向調整機制：鋼軌墊板螺栓滑槽孔可作左右調整15mm。

垂直向調整機制：利用鋼軌墊板下之尼龍絕緣板調整軌道高低，尼龍絕緣板計有3mm、5mm、7mm三種厚度，可組合提供高低調整使用。



鋼軌墊板螺栓滑槽孔



尼龍絕緣板

三、無道碴軌道施工與養護

3.1 軌道施工

無道碴軌道施工採TOP-DOWN方式，施工流程如下：



無道碴軌道施工流程



彈性PC軌枕抽換

3.2 軌道養護

1. 軌道幾何不整養護標準

靜態及動態之軌道幾何不整值，應符合交通部頒布之「1067公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」之規定。

軌道幾何不整容許標準（單位：公厘）

| 標準值種別 | | 平時養護標準值 | | | 緊急整修標準值 | | | 大修或更新後之標準值 | |
|-------|------|-----------|-----------|-----------|--|------------|------------|-------------------|---------|
| 容許標準值 | 路線等級 | 特甲級 甲線 | 乙級線 | 側線 | 特甲級 甲線 | 乙級線 | 側線 | 各等級路線相同 | |
| | | | | | | | | 一般區段 | 混凝土道床路段 |
| 不整之種別 | 軌距 | +10 (+7) | | | (1) 直線及半徑R600公尺以上20 (14) (2) R200公尺~R600公尺25 (19) (3) R200公尺未滿之曲線20 (14) | | | (+1) | (0) |
| | | -5 (-4) | | | | | | (-3) | (-3) |
| 水平 | | 11 (7) | 12 (8) | 13 (9) | 依平面性之整修值為基準 | | | (4) | (2) |
| 高低 | | 13 (7) | 14 (8) | 16 (9) | 23 (15) | 25 (17) | 27 (19) | (4) | (2) |
| 方向 | | 13 (7) | 14 (8) | 16 (9) | 23 (15) | 25 (17) | 27 (19) | (4) | (2) |
| 平面性 | | | | | 23 (18) 包括超高遞減量 | | | (4) (不包括超高遞減量) | |

附註：表內的數值係依高速軌道檢查車測出之動態不整，括弧內則表示靜態不整。

2. 軌枕及彈性材抽換

軌枕兩側及端部與框式道床間設置可移除之彈性楔及彈性材，有利將來軌枕之抽換。



四、結論

軌道是土建與系統機電及車輛間之重要介面，其系統之良窳直接影響列車營運之舒適與安全，為提升軌道效能，使其更具高安全性、低維修率、減振降噪等目標，本局新建軌道以採用無道碴軌道、無道碴道岔、長鉚鋼軌、鋼軌伸縮接頭等方式，突破傳統鐵路軌道結構。彈性PC軌枕防振直結軌道，其優點為可提供三度空間彈性防振機制，日後維修之方便性；另配合散佈吸音道碴，更可收噪音防治效果，本局將持續研發以臻完善。

參考文獻

1. 「1067公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，交通部，1997年12月。
2. 「鐵路橋梁設計規範與解說」，交通部，2004年。
3. 佐藤吉彥，「新軌道力學」，中國鐵道出版社，2001年11月。
4. 「無道碴軌道設計規範」，臺灣鐵路管理局，1999年。
5. 楊漢生，張正欣，「長鉚鋼軌與鐵路橋梁」，中華技術64期，2004年10月。
6. 楊漢生「臺鐵汐止高架無碴軌道設計與施工」96年兩岸交流研討會。

軌道之施工與切換作業

摘要

- 一、前言
 - 二、軌道之施工與切換作業
 - 三、結論
- 參考文獻

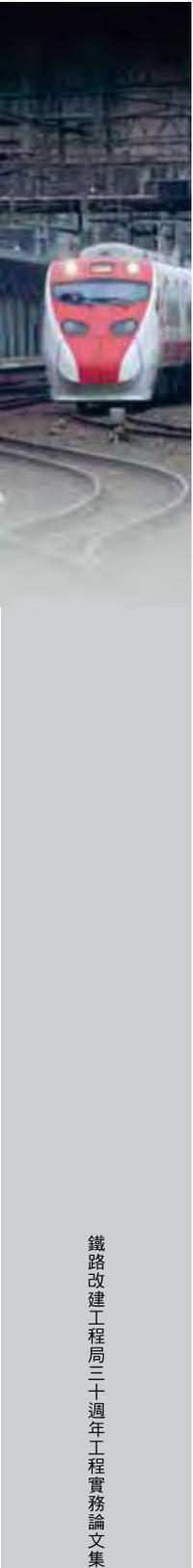
工務組舖軌工程總隊技術員 / 陳德煥
Associate Technical Specialist / Chen, De-Huan

摘要

本局於1983年成立迄今，已先後完成大臺北地區鐵路立體化工程、東部宜蘭雙軌電氣化及內灣、沙崙2條鐵路支線等專案計畫，刻正於臺中、員林、高屏及花東等地區進行立體化、捷運化及電氣化等工程，本文將介紹說明本局各項計畫中軌道之施工及軌道切換。

一、前言

軌道工程為鐵路建設極為重要之一環，早期軌道結構以鋼軌、木枕、道釘、道碴等主要材料組成，多以人力鋪設，後續養護工作，亦以人力辦理，在人工費用日益提昇，夜間養護時間有限下，原本採人工施作之方式已不符效益，近年對軌道施工中之軌框鋪設、卸碴及撥道等較粗重工作，已開始改以車輛、機具等輔佐施工，另外為提昇旅客乘車舒適度及提昇列車行車速度，逐漸進行軌道重軌化，本局辦理之改建工程，正線鋪設全面使用預力混凝土軌枕，鋼軌由50kg/m提昇為60kg/m，軌道結構大部份採無道碴軌道，客車場或車輛基地則仍採用道碴軌道。切換作業係為配合路線改建騰空地需要，於新設軌道完成後辦理切換使用，為使工作順利進行，除切換點需周延考量，相關土建、機電系統等配合工作均事先整合，另臺鐵局會議協商切換工作時程極為重要，稍有偏差除影響切換時程，亦影響隔日列車正常行駛，以本局南工處執行高雄計畫改建為例，從98年至100年止，配合改建需要執行計21次切換工作，其中15次切換在10個月內完成，切換工作井然有序，均如期如時完成，其原因在於切換進度管控、工作協調安排及切換指揮等前置準備工作，均確實掌控，本文就軌道施工及切換作業兩部份逐一說明。



二、軌道之施工與切換作業：

2.1 軌道施工

結構型式由木枕道碴式演進為PC枕道碴式軌道，近年則多以鋪設UIC60無道碴式軌道為趨勢，軌道結構系統可分為道床、扣件及鋼軌等3項系統，茲就道碴及無道碴軌道等2項主要施工作業流程、軌道組成元件及演進過程等概述如後：

1. 道碴軌道：道碴軌道係於路基面與軌枕間鋪設碎石，利用道碴顆粒之破碎面提供彈性及阻力，軌道結構以道碴、軌枕、鋼軌、扣件系統等構築而成。

軌道為列車行駛之重要媒介，惟路基品質優劣更為提供列車行駛穩定及安全之重要因素，土建軌道路基交付，除需確認路基夯實度及高度是否達要求，另軌道淨空、周邊排水設施均需於鋪設前再次確認，以免軌道鋪設後再拆除重新施作，影響軌道鋪設之整體性。前述作業完成，同時備料及準備工作亦相當繁雜，除鋪設前軌道路線測量定位確認，相關材料儲放亦需考量，就軌道材料而言，除扣夾、墊片等材料為小型材料易於搬運，其他道岔、鋼軌、預力軌枕及道碴等材料均為重型物品，工程進行時如需移動，所需耗費機具及人力甚多，為免影響軌道工進，相關材料進場時程及堆置地點需於施工前考量，以避免後續鋪軌工作進行時重覆搬移，以下就軌道組成元件及後續施工流程逐一說明：

- (1) 鋼軌系統：分為鋼軌、伸縮接頭、異型鋼軌及道岔等。本局早期從鋪設37kg鋼軌型式，隨車輛性能提昇及重軌化考量，鋼軌型式逐步改為50N及UIC60兩種鋼軌型式，道岔亦由關節式銲接岔心改為彈性尖軌式錳鋼岔心。
- (2) 道床系統：道床系統由道床及軌枕組成，早期主要為木枕及道碴，後來以PC枕取代木枕藉以提昇道床穩定性減少養護，近年來則以鋪設混凝土道床的無道碴式軌道為主。
- (3) 扣件系統：扣件系統是連結道床與鋼軌的主要構件，是材料項目最多，不同項目亦是最多，本文依不同道床分述如下：
 - 甲、注油木枕：鋼軌墊板、道釘、魚尾板、絕緣魚尾板及防爬器等。
 - 乙、預力混凝土軌枕：鋼軌扣夾 Rail Clip、絕緣座 Insulating Elements、鋼軌墊片 Rail Pad、鋼肩 Shoulder 等。
- (4) 道碴軌道鋪設作業流程：
 - 甲、路基移交：由土建工程施工單位於路基工程完竣後，邀集機電、鋪軌等相關單位辦理路基點交，確認軌道下方設施是否完竣及障礙物是否清除。
 - 乙、軌道中心樁座標位置放樣：軌道（含道岔）鋪設前，依定線圖辦理軌道中心放樣工作，除做為鋪軌依據亦可辦理材料堆放地點參考，尤以調車場基地軌道鋪設，其基地面積較大，材料佈放及軌道動線均需依軌道位置詳加考量，以免材料二次搬運及影響材料進出運送。



障礙物影響鋪軌作業



材料堆置集中管理

丙、底碴鋪設及夯實：鋪設前，先於路基上方鋪設底層石碴並以夯實機夯實，前項作業完成後續辦理後續作業。

丁、軌框組立：軌枕之排列間距，依臺鐵「工務規章」及交通部「1067公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」規定辦理。軌框組立完成，續以軌道卸碴車輛進行頂面石碴鋪設，並以挖土機、手提人工小型砸道機砸道等設備進行初步砸道及起道工作。

戊、進碴及砸道工作：前項以人工砸道工作完成後，再以綜合砸道車進行砸道、起道等工作以求軌道完整。

己、軌道調整及定位：鋪定後，進行軌道不整值量測及微調作業。

庚、配合其他作業（如號誌、電力）施作調整及安裝工作。

2. 無道碴軌道：指軌道道床以鋼筋混凝土澆注而成，並依設計需求設置適當之彈性材結構，以作為承載及傳遞列車荷重之軌道構造者；其路基點交較不同於道碴軌道，路基為鋼筋混凝土，點交前土建需完成相關周邊設施，材料囤放管控亦優於道碴軌道，軌枕可依工程進度進料；至於功能性部份，無道碴軌道可增加軌道結構、有效降低維護頻率及維修成本且有效降低噪音與震動，提昇旅客乘車舒適度等功能，本局使用型式主要為彈性枕木型無道碴軌道，主要組成元件：扣結裝置、PC軌枕、彈性材、混凝土框式道床、吸音道碴及間隔材等，以下就無道碴軌道之施工流程及其系統元件說明：

(1) 鋼軌系統：鋼軌鋪設新建工程多採UIC 60鋼軌辦理鋪設，將鋼軌銲為長銲鋼軌，並依軌道線形需要設置鋼軌伸縮接頭，另配合號誌需求接頭以夾膠絕緣接頭方式辦理。

(2) 道床系統：預力混凝土軌枕、彈性材及框式混凝土道床、吸音道碴。

(3) 扣件系統：鋼軌扣結裝置（彈性扣夾、鋼軌墊板、鋼軌墊片、尼龍絕緣座、絕緣板、六角螺栓等）。

(4) 無道碴軌道作業流程：

甲、路基點交：無道碴軌道路基、電纜線槽等周邊設施應於點交前完成，再辦理點交。

乙、鋪定前中心及高程確認：依土建交付之軌道路基，辦理定線放樣並確認周邊結構之



寬度及高度是否影響軌道淨空。

丙、銲接場設置與佈署：鋼軌銲接需有足夠長度之場所方能辦理銲軌工作，設置時應考量軌道鋪設地點，以便於長銲鋼軌後續拖運，以就近工地現場為宜。

丁、鋼軌銲接：鋼軌銲接方法以電阻火花銲接法（Flash butt welding）為主、瓦斯壓接法（Gas pressure welding）為輔。熱劑銲接適

用於銲接連續長銲鋼軌之處以及道岔區域。

戊、銲軌：依鋼軌銲接圖，將定尺鋼軌（25M）銲接為長銲鋼軌（125M以上），經由加工研磨後，將銲口予以編入編號、銲接日期，並委託公證單位辦理銲口之超音波（UT）及磁粉探傷（MT）檢測試驗完成後，得辦理後續拖運及鋪設工作，長銲鋼軌拖運除依編號拖運佈署，並應以輔助工具拖運，以免造成鋼軌損傷。

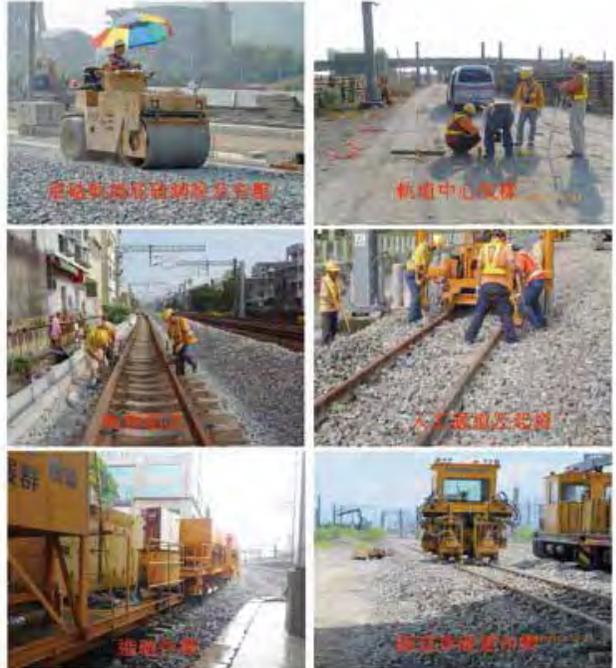
己、軌枕及鋼軌組裝：鋼軌鋪定應依「鋼軌鋪定溫度範圍表」辦理，並將鋼軌溫度、氣溫等詳實紀錄，以供後續鋼軌養護參考，軌枕則依設計圖說間距佈放，並將扣結配件與軌枕結合後，進行軌框組立工作。

庚、軌框上提與線形調整：軌框組立完成後，架設水平支撐及千斤頂等設施，將軌框起高後，以軌道測量車檢測水平、超高不整值並做初步線形調整。

辛、鋼筋、預埋管及模板組立：軌框工作完成後，進行排水及機電預埋管件埋設、鋼筋及模板組立等工作。

壬、澆置前檢測工作：前述工作完成，清理現場、鋼軌、軌枕面防護及澆置前檢測工作，完成後才可辦理混凝土澆置作業。

癸、混凝土澆置：混凝土儘量以夜間辦理澆置作業並注意軌溫控制。



道碴軌道鋪設流程

2.2 切換作業

軌道切換係為騰空地辦理後續永久軌鋪設需要，所進行新舊股道銜接作業，常於現有股道旁鋪設軌道線路並於鋪定完成後，利用臺鐵局夜間養護時間帶，進行新路線與舊線路間之撥接作業。切換工作需於排定時限內完成，為切換進行能順遂完成，其切換



長銲鋼軌施工作業流程



軌道切換作業流程

前置作業工作安排、進度管控等需詳加計畫，期能降低切換進行中不確定因素之風險，以維持鐵路正常營運，切換工作及時間排定後，除特殊因素外，即使遇天候不佳情形，工作人員均不畏風雨全力執行，以期順利完成切換工作，以下就切換作業及應注意事項概略說明：

1. 工作協調：由軌道、電力、號誌及電務等設施組成之軌道切換工作，各單位應就切換需配合事項、作業時程等，於切換進行前先辦理工作協商，並依切換難易度排定時程需求，以利後續與臺鐵局協商切換時程。
2. 會議協商：依內部協商完成後，邀集臺鐵局運、工、機、電各單位，就擬定切換日期及時程，討論彼此工作內容及界面，擬訂施工順序、進場流程、軌道慢行及申請斷電封鎖等作業事項研討。
3. 現場確認：測量單位依切換位置，進行中心樁、控制樁及高程放樣工作，由工務部門再邀集臺鐵局及相關單位就現場配合工作，如石碴數量、挖土機、砸道機及其他維修車輛進出等逐一確認。
4. 慢行標誌設置：依切換前，對於撥接之路線設立慢行標誌，以便辦理軌道切換前置作業，慢行標誌俟切換完成，列車通行穩定後恢復列車行駛速限。
5. 勤前教育：成立切換指揮中心，由切換工作總指揮召集各單位負責人，就切換工作內容、危害因子告知、緊急應變處理及相關順序流程確認，俾利工作順利完成。
6. 切換工作：依電報申請斷電、封鎖工作完成後，施工單位依切換工作安排進行切換，進行中除派員瞭望，各單位應注意完成時間點，並於完成後即與指揮中心回報，以便進度掌控。
7. 試運轉作業：前揭各項切換工作完成後，切換現場淨空並解除斷電封鎖申請，並依臺鐵局拍發之試運轉電報，進行軌道、電力、號誌等設施測試工作，依試運轉完成核發啟用電報，完成軌道切換工作。

三、結論

軌道工程，無論工程經費或施工規模均低於土建工程，惟軌道品質良窳為列車行駛安全性與舒適度的關鍵，現階段軌道設計在乘車舒適度、提昇速度及降低養護成本考量下，以鋪設無道碴軌道方式為主，並將其扣件及彈性材料逐漸改良，施工方法則期能由目前較多人工鋪設逐步朝向機械化自動鋪設方式辦理。軌道路線改善部份，則依環境條件因素適度調整，儘量提高路線曲線半徑，以提昇車速及乘車舒適度，並藉達成全臺一日生活圈目標。

參考文獻

1. 「1067公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」，交通部，1997年。
2. 「1067公厘鐵路長焊鋼軌鋪定及養護規範」，交通部，2002年。
3. 財團法人中華顧問工程司38週年司慶「中華技術」精選論文特刊，財團法人中華顧問工程司，2007年。
4. 「極限切換」，交通部鐵路改建工程局南部工程處，2012年。



3

創新 精益求精

- 146 抱枕工法
- 154 橋梁托底工程
- 158 自充填混凝土於鐵路工程之應用
- 168 鐵路高架橋梁創新工法-複合式H型鋼橋墩柱設計施工
- 173 自強隧道替代方案電車線導電軌系統施工技術探討
- 180 現代軌道測量技術之發展
- 190 高架車站機電工程之節能設計



抱枕工法

摘要

- 一、前言
 - 二、規劃方案及施工步驟
 - 三、特殊工程及結構施工
 - 四、結論
- 參考文獻



中工處工二段工程員 / 高超伸
Junior Engineer / Kao, Chao-Shan

摘要

本局興建之樹林客車場肩負著北迴及花東線地區車輛始發站功能，85年啟用後，每日平交道列車次多達350餘班次，尖峰時間平均每5分鐘1班，造成該地區交通嚴重擁塞，為解決交通擁擠問題，91年交通部決定將八德路平交道改建為立體化之地下道，並採用特殊工程梁抱枕托底技術施工，是當時臺灣所施作抱枕工法最長跨度（36公尺），興建過程難度頗高，同時配合水利局併同興建壓力箱涵施工，與本工程地下道結構成立體疊置。

鐵路抱枕托底技術施工有關文獻記錄相當有限，因此撰寫本文希望將本工法詳細記載，並請工程先進指正以作為改進參考。

一、前言

本局於民國85年度將現有板橋客車場搬遷至樹林客車場，為同時解決平交道交通問題，因此於樹林市八德路平交道配合興建立體化地下道工程，其範圍自備前街復興路交叉口西側起，沿備前街以地下方式穿越中山路、縱貫鐵路、鎮前街後止於八德路東榮街



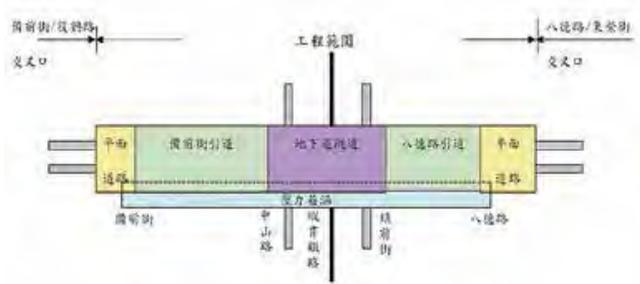
樹林市八德路平交道立體化及壓力箱涵工程完工實景圖



樹林市八德路平交道立體化及壓力箱涵工程模擬圖

交叉口，長度約350公尺。包括平面道路約53公尺，地下段及引道段約297公尺。地下道配置雙向四車道、機慢車道及人行道，引道段佈設雙向四車道並於兩側各加設一線平面道路及人行道。施工時程共計36個月（自93年12月 96年11月止）。

臺北縣水利局主辦「塔寮坑溪排水改善實施計畫」的坡內坑溝分洪工程，為避免將來平交道立體化施工完成時再施築壓力箱涵工程之困難度過大及施工經費暴增，經協議將壓力箱涵與平交道公路立體化工程合併施工以減少工程困難度及降低施工費用，採用與本工程地下道結構上下疊置之設計方案配合施工如圖4總長度約330公尺。



樹林市八德路平交道公路立體化及壓力箱涵平面示意圖



樹林市八德路平交道公路立體化及壓力箱涵剖面示意圖

二、規劃方案及施工步驟

2.1 基地現況條件

八德路平交道位處臺鐵樹林車站與樹林客車場之間，隨著客車場之啟用每日行經該處平交道之鐵路車次達300 350班次，平交道阻斷穿越平交道之車輛往來交通，尤以尖峰時段之影響更甚，經實地於尖峰時段量測平交道柵欄降下及升起時間，統計遮斷時間詳如下頁表所示。

表中顯示於7：00 8：00之上午尖峰時段裡，柵欄遮斷時間高達21分40秒；而17：00 18：00之下午尖峰時段，柵欄遮斷時間更達22分15秒，均使得跨越平交道交通之可通行時間大為縮減，進而影響平交道之交通流量。

2.2 地質條件

2.2.1 區域地質

就地質而言本區域位於山子腳地塊與大漢溪的接壤地帶，所出露之地層由老至新分別為中新世之木山層、大寮層、石底層、南港層及現代之沖積層。主要的地質構造有山子腳背斜及大菁坑斷層，山子腳地塊屬倒轉之背斜構造，本區域位於背斜構造的東北翼地區，大菁坑斷層以西北-東南方向延伸，與本工址距離約500公尺，顯示本斷層無活動跡象。



樹林市八德路平交道柵欄尖峰時段之遮斷時間統計表

| 時段 | 時 | 降下時間 | | 升起時間 | | 遮斷時間 | | 累計時間 | | 時段 | 時 | 降下時間 | | 升起時間 | | 遮斷時間 | | 累計時間 | |
|--------------|---|------|----|------|----|------|----|------|----|--------------|---|------|----|------|----|------|----|------|----|
| | | 分 | 秒 | 分 | 秒 | 分 | 秒 | 分 | 秒 | | | 分 | 秒 | 分 | 秒 | 分 | 秒 | 分 | 秒 |
| 上午 尖 峰 | 7 | 2 | 50 | 5 | 45 | 2 | 55 | 2 | 55 | 下午 尖 峰 | 5 | 1 | 20 | 2 | 25 | 1 | 05 | 1 | 05 |
| | | 13 | 20 | 14 | 35 | 1 | 15 | 4 | 10 | | | 8 | 55 | 11 | 00 | 2 | 05 | 3 | 10 |
| | | 15 | 10 | 16 | 30 | 1 | 20 | 5 | 30 | | | 13 | 00 | 14 | 00 | 1 | 00 | 4 | 10 |
| | | 19 | 30 | 21 | 10 | 1 | 40 | 7 | 10 | | | 18 | 05 | 20 | 45 | 2 | 40 | 6 | 50 |
| | | 23 | 50 | 25 | 30 | 1 | 40 | 8 | 50 | | | 21 | 05 | 22 | 20 | 1 | 15 | 8 | 05 |
| | | 30 | 25 | 31 | 55 | 1 | 30 | 10 | 20 | | | 23 | 55 | 26 | 35 | 2 | 40 | 10 | 45 |
| | | 32 | 25 | 35 | 10 | 2 | 45 | 13 | 05 | | | 30 | 05 | 31 | 05 | 1 | 00 | 11 | 45 |
| | | 37 | 50 | 39 | 30 | 1 | 40 | 14 | 45 | | | 31 | 25 | 33 | 00 | 1 | 35 | 13 | 20 |
| | | 40 | 40 | 41 | 50 | 1 | 10 | 15 | 55 | | | 34 | 20 | 35 | 50 | 1 | 30 | 14 | 50 |
| | | 44 | 30 | 47 | 40 | 3 | 10 | 19 | 05 | | | 40 | 20 | 43 | 05 | 2 | 45 | 17 | 35 |
| | | 51 | 20 | 52 | 25 | 1 | 05 | 20 | 10 | | | 49 | 15 | 50 | 30 | 1 | 15 | 18 | 50 |
| | | 58 | 30 | 0 | 00 | 1 | 30 | 21 | 40 | | | 52 | 35 | 54 | 20 | 1 | 45 | 20 | 35 |
| | | | | | | | | | | | | 58 | 10 | 59 | 50 | 1 | 40 | 22 | 15 |

2.2.2 地層分佈

由目前之地質鑽探資料顯示，工程應用之深度內仍屬於現代沖積層，研判基地地層約可分為五個層次，分別如下：

鑽探試驗結果及相關學理經驗公式計算簡化土層參數表

| 深度 (m) | 土壤分類 (USCS) | 單位重 (t/m ³) | N | C/C' (t/m ²) | / (deg.) |
|-------------|-------------|-------------------------|------|--------------------------|----------|
| 0.0-1.75 | SF | 2.10 | 20 | -/0.0 | -/30.0 |
| 1.75-3.00 | SM | 1.82 | 3 | -/0.0 | -/27.0 |
| 3.00-14.55 | GP/GM | 2.20 | > 50 | -/0.0 | -/40.0 |
| 14.55-23.80 | SM | 1.90 | 20 | -/0.0 | -/33.0 |
| 23.80-25.00 | SP/GM | 2.20 | > 50 | -/0.0 | -/40.0 |

1. 深度位於地表下0~1.75m為表土回填層。
2. 深度位於地表下1.75~3.0m為棕黃色及疏鬆粉土質砂，單位重約為1.82t/m³，標準貫入試驗N值約為3。
3. 棕黃至棕灰色卵礫石層：深度位於地表下3.0~14.55m，單位重約為2.20t/m³，標準貫入試驗N值大於50。
4. 灰色中等緊密粉土質砂間夾卵礫石層：深度位於地表下14.55~23.8m，於施鑽的過程中曾遭遇腐木。單位重約為1.90t/m³，標準貫入試驗N值約為20。
5. 灰色卵礫石層：深度位於地表下23.8~25m，單位重約為2.20t/m³，標準貫入試驗N值大於50。

2.2.3 地下水位

地下水位變化不大，根據鑽探資料地下水位約位於地表下11公尺左右。

2.3 規劃方案

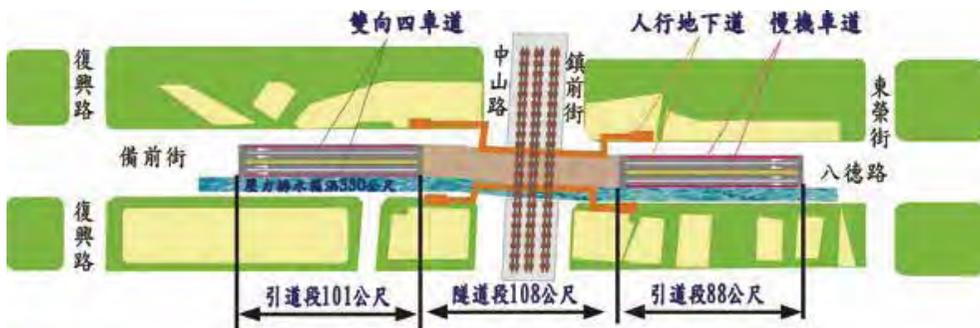
2.3.1 結構

本工程隧道段及引道段結構採用明挖覆蓋系統，基本上頂版、中間層樓版及底版等皆為平版結構，支承於兩道外牆或中間牆柱上。本工程之結構細部設計，全長約330公尺，其工程範圍分為隧道段及引道段結構。另代辦新北市政府水利局主辦之坡內坑溝分洪工程之壓力排水箱涵工程（寬7.8公尺高5.5公尺長330公尺）。因為該地下道東北側沿線緊鄰著臺電69KV電纜管涵及西南側現有排水箱涵，為避開管涵及箱涵，因此地下道結構線型略成S型分佈。

2.3.2 地工

本工程之基礎形式於引道段及箱涵段主要為筏式基礎，至於施工過程中針對鐵道部分之托底主要採用樁基礎。本工程將採用之開挖擋土工法有下列3種，其特性如下：

1. 斜坡式開挖：本工程開挖深度在2公尺範圍內之區域，以本工法進行施作；例如在車道引道段結構物四周有相當空間無需設置擋土壁即可直接進行開挖，並於斜坡坡面上則視需要以噴凝土或帆布覆蓋以保護坡面。本工法主要優點為成本低、施工容易，缺點是在都會區因用地問題，無法進行較深的開挖。
2. 主樁橫板條工法：本工程中於引道段之淺開挖部分、箱涵段鐵道托底穿越路段、壓力箱涵與地下道間高差較小之路段及出入口部份，均採用鋼軌樁橫板條工法；至於壓力箱涵與地下道間高差較大之路段，及壓力箱涵兩端施工標介面路段均採用H型鋼樁橫板條工法。但由於H型鋼樁在本地質礫石層貫入過程中產生較大的噪音及震動，因此改採用引孔方式以減輕噪音並確保貫入深度能符合設計需求。
3. 場鑄排樁工法：本工程地下道於引道段之深開挖部分及鐵道托底穿越路段以外之箱涵段，均採用直徑1M全套管基樁工法做為主要擋土壁。至於壓力箱涵側則於西側與鄰房交界之全區段均採用預疊排樁工法作為主要擋土壁。



地下道引道段、隧道段及壓力排水箱涵平面配置圖



2.3.3 特殊工程梁鐵道托底工程配置

工程梁的跨距分別為8.56m+10.1m+10.7m合計29.36 m，工程梁材質為I型鋼，每段長度6公尺，全長為36公尺。施作四排基樁分別做為臨時橋墩及基礎，排樁頂部以帽梁連結以平均承受工程梁下傳之荷重。每排基樁共3~4支，除了西南端兩側基樁以機械全套管基樁施作，其餘基樁均以人工挖掘方式施作，數量分別為直徑1.2m人工挖掘樁7支、1.6m人工挖掘樁6支及直徑1.2m全套管樁2支。

三、特殊工程梁及結構施工

3.1 鐵道支撐系統施工順序

鐵道支撐系統係採用特殊工程梁架設工法（抱枕工法），鐵道支撐系統主要由基樁及托樑支承，地下道主體最大開挖深度約9.65公尺，壓力箱涵之最大開挖深度約12.45公尺，分階進行開挖工法，並配合工程樑與地下道支撐工程進行開挖，鐵道支撐系統之施工順序分成六個主要階段說明如下。

第一階段：工程樑組裝架設與平交道號誌遷移

1. 調查試挖並保護遷移管線及設置電車線桿、及相關警報號誌，完成後遷移工程範圍內之電桿及相關警報號誌。
2. 中山路於PM 11:00封閉（車輛需繞道通行）、平交道封閉，並派員指揮交通。
3. 利用夜間斷電封鎖後進行石碴清除、軌道切除（36m）作業，施工時間約2小時。
4. 組立完成之工程樑（含平行軌道、枕木及特殊覆蓋版）搬運至鐵道旁堆料場待命。
5. 拆除工程樑36m預定位置處之平交道瀝青混凝土路面及軌道橡膠合成板之施工空間之開挖（一次開挖）。
6. 完成開挖後立即進行吊裝工程樑並予以調整高程。
7. 工程樑軌面高差整平並與行車道路間平整接續，以利通行。高壓電線及號誌復原復電，鐵路系統回覆正常營運狀態。
8. 延續上列步驟，直到東正線、西正線、小運轉線等三軌工程樑完成架設為止。且每段工程樑架設完成後平交道需有足夠空間可開放給平面道路車輛之通行；36m工程樑一次吊放完成之施工時程概估需7小時。

第二階段：支承樁、樁帽及帽梁施築

1. 拆除基樁預定位置處之平交道瀝青混凝土路面及軌道橡膠合成板、軌道版，進行支承樁帽梁及樁施工空間之開挖（一次開挖）。
2. 緊鄰鐵路之基樁徑1.2公尺（7支）及樁徑1.6公尺（6支）支承樁施築採人工挖掘，其鋼套管係分段續接；另外遠離鐵路之樁徑1.2公尺（2支）則採用全套管基樁施作。
3. 組立基樁之鋼筋及澆築樁身混凝土。

4. 各組支撐樁帽梁型鋼組合與安置，支撐樁帽之紮筋，組模與澆築混凝土，或樁帽頂填塞無收縮砂漿。
5. 工程梁兩端之開挖坑應予回填至適當高程。

第三階段：擋土排樁施築、開挖及設置支撐

1. 施築擋土排樁，然後開挖並進行支撐樁之連結。
2. 繼續進行開挖及設置支撐，達地下道最後開挖面。
3. 繼續進行開挖及設置支撐，達壓力箱涵最後開挖面。

第四階段：施築壓力箱涵與地下道結構體

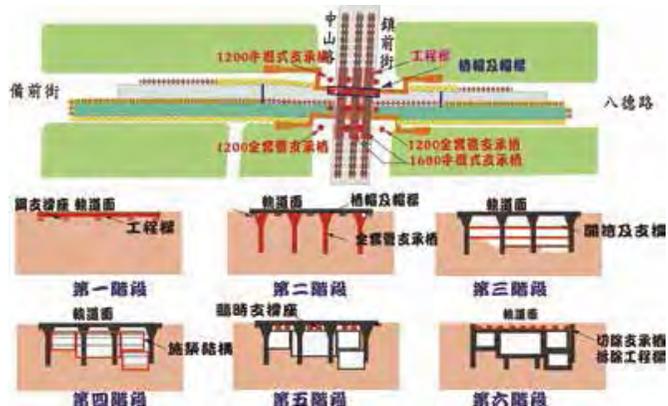
1. 紮筋、組模、澆築壓力箱涵結構體至第三層支撐下方，待結構體達足夠強度，拆除第三層支撐。
2. 紮筋、組模、澆築鐵路下方壓力箱涵與地下道結構體至快車道版面。
3. 紮筋、組模、澆築鐵路下方壓力箱涵與地下道結構體至第二層支撐下方，待結構體達足夠強度後拆除第二層支撐。
4. 紮筋、組模、澆築鐵路下方地下道結構體至第一層支撐下方，待結構體達足夠強度後，架設回撐拆除第一層支撐，壓力箱涵上方應配合地下道結構施築進行回填作業。
5. 紮筋、組模、澆築鐵路下方地下道結構體至頂版面，待結構體達足夠強度，拆除回撐（頂版於支撐樁處保留不澆築），壓力箱涵上方應配合地下道結構施築進行回填作業。

第五階段：完成壓力箱涵與地下道主體工程

1. 頂版上部除支撐樁位置外，鋪設防水膜。
2. 於地下道頂版上設置工程梁之支承點。
3. 拆除及撤除工程梁支撐樁。
4. 底版中間樁切除處理。
5. 地下道頂版保留處之組模、混凝土澆築並鋪設防水膜。

第六階段：地下道完工通車及鐵路系統復原

1. 回填挖方處，移除工程梁及工程梁支承點。
2. 軌道復舊及號誌設施移除。
3. 進行地下道內附屬工程，如照明設備之裝設、路面之鋪設等。地下道完工通車。



特殊工程梁鐵道托底工程施工步驟示意圖（抱枕工法）



1. 平交道實景



2. 平交道實景



3. 軌道下方人工挖掘基樁施作



4. 工程梁先行於週邊假組立



5. 工程梁假組立完成



6. 拆除軌道版及準備吊裝工程梁



7. 工程梁吊裝及軌道鋪設完成



8. 工程梁下方拖底橫梁吊放定位



9. 基樁頂施築拖座



10. 檢測高程及安裝墊片整平



11. 工程梁完成



12. 地下道開挖

樹林市八德地下道工程梁施工照片

四、結論

本工程將平交道改為車行地下道確實有效改善當地交通問題，同時本次所採用特殊工程梁（抱枕工法）為鐵路工程特有技術，係沿襲日本鐵路經驗所發展出來之技術，本工程為目前國內一次吊裝最長垮距（36m）之案例，歸納施工心得如下：

1. 工程梁施作時為避免軌道下陷，除以監測儀器加強監測，應準備足量之道碴以供緊急回填使用，如有異狀應加強支撐系統。由於平交道需提供一般車輛通行，故施工期間施工廠商應派員看守平交道，另於尖峰時間應有交通警察指揮交通。
2. 軌道間所施作之人工挖掘基樁，施工時間皆於白天進行，因此利用夜間先行降挖1.5m，使得開挖基礎施工面從軌道下方1.5m開始施作，惟施工面上方仍有列車通過，仍存在風險因子，為避免任何突發狀況發生，人工挖掘時間可調整至夜間路線斷電封鎖後施工較為安全。
3. 本工程於夜間吊裝工程梁時間約7小時，因此必須請臺鐵運務配合調整路線於夜間10點後進行單軌運行，利用連續3天，每天夜間22時起展開現場各項作業，前置作業約需3小時（包括拆除平交道橡膠版、接續清運石碴、軌道切除等），接續進行主作業約3小時（包括工程梁吊裝、軌道銜接、整平作業等），最後作業為軌道線型調整及試車作業，因試車所需時間較長，亦需各單位人員配合才得以順利完成。
4. 本工程除工程梁架設外，配合地下道及壓力箱涵結構施作，施工中須維持八德路雙向車道正常運行，故須配合工程進行分9階段改道，另鐵路平交道採半半施工，增加了作業之困難度，有賴地方與主辦機關共同努力下得以順利完工。

參考文獻

1. 泰興工程顧問股份有限公司（2003）-代辦樹林市八德路平交道立體化工程細部設計服務書。
2. 泰興工程顧問股份有限公司（2003）-水利局壓力箱涵合併施工工程細部設計服務書。
3. 泰興工程顧問股份有限公司（2003）-樹林市八德路平交道柵欄尖峰時段之遮斷時間統計表。
4. 欣揚探勘公司（2003）-代辦樹林市八德路平交道立體化工程補充地質探及試驗報告書。
5. 交通部鐵路改建工程局第十工程段施工照片資料高超伸（2003）。

橋梁托底工程

摘要

- 一、托底工法施工步驟
 - 二、結論
- 參考文獻

南工區隊長 / 廖達義 南工區工程司 / 楊郭超 工務組工程司 / 黃士銘
Captain / Liao, Da-Yi Engineer / Yang, Guo-Chao Engineer / Huang, Shih-Ming

摘要

本局於都會區執行鐵路地下化工程，難免遇到橫跨鐵路之橋梁，由於該等跨越鐵路之高架橋多屬重要交通幹道，施工期間不得中斷橋上交通，因此必需採用保留橋梁上部結構，改變下部結構之托底工法，以調整該橋墩基礎，使得橋墩基礎所承載之荷重轉換至隧道連續壁上（托底連續壁深度達礫岩層或岩盤之承載層）以確保橋梁結構安全。

對於妨礙鐵路隧道施工之高架橋採托底工法處理，托底工法施工細節視各橋梁與地下隧道之關係位置及影響程度而不同，其工法大同小異，本論文謹以萬板專案之漢生陸橋及南港專案之東新陸橋兩施工案例來介紹托底工法。

一、托底工法施工步驟

1.1 萬板專案漢生陸橋托底工程

1. 位於托底工程範圍之橋側人行陸橋樓梯改建。
2. 施作橋墩附近施工圍籬。
3. 遷移施工範圍內管線設施（必要時管線改至橋側之管線架上）。
4. 裝設監測系統於施作托底橋墩之帽梁上，並設立監測中心。
5. 施工範圍周遭建物保護。
6. 橋下施工範圍內配合橋下淨高，原地面降挖整地，並施築承載托底荷重之連續壁（深達礫石層）或基樁。
7. 敲除連續壁頂或基樁頂劣質混凝土，施築暫撐鋼架下方之混凝土基座或帽梁。



敲除托底連續壁頂部劣質混凝土，並施築暫撐鋼架下方RC基座

8. 吊裝及組合暫撐鋼架於基座（或帽梁）上，並圍束原有墩柱。
9. 架設千斤頂於暫撐鋼架頂部與橋墩帽梁底間，並墊入填隙塊（Shim Block）。
10. 全程監測作業開始。
11. 操作千斤頂，轉移橋荷重至暫撐鋼架。
12. 敲除原橋墩部分墩柱及基腳（保留原柱筋以便日後搭接）。
13. 暫撐狀態下速施築托底版及復舊墩柱（新舊墩柱接頭灌注不收縮水泥漿）。
14. 托底版養護屆齡並獲取樣試體抗壓合格始撤除暫撐鋼架及千斤頂等設備。
15. 轉移橋梁荷重至托底版（實則傳遞至連續壁來承擔）。
16. 持續監測數天無異狀後撤除監測中心。
17. 可進行托底版下方土方開挖工作並以人工監測。



吊裝橋墩暫撐之鋼架



架設墩帽下緣與暫撐鋼架間隙之千斤頂、墊塊並裝設監測儀器

1.2 南港專案東新陸橋托底工程

1. 北側橋墩

(1) 管線遷移及整地工程

北側托底工程係以北側連續壁作為托底版之支承，部分連續壁於橋墩之帽梁下方施工，施工淨高最小處僅約4.0公尺，施工前必須降挖4公尺。該處之地下公共管線眾多，不僅影響連續壁施工，且因地面降挖後將引致管線裸露在地面上，影響施工動線，故必需採高架方式臨遷附掛於東新橋兩側，其中重力流污水管則遷移至降挖區域外。

(2) 建物拆除及復建

部分北側連續壁受制於橋墩及帽梁之阻隔，必須運用隧道開挖區外作為施工場地，拆除橋下建物作為施工場地及交通維持用地。另外，影響施工之兩座人行陸橋，則採半半施工方式，先拆除一側之人行陸橋，完成該側之連續壁後予以復建，再以相同方式施築另一側之連續壁。

(3) 施築北側連續壁

部分連續壁緊貼著原有樁帽邊緣配置，與現有橋墩或基樁相當接近，施工前於橋墩及橋面或其他必要地點安裝監測儀器，施築連續壁時，採用限高型機具及限高鋼筋籠施工。



敲除原橋墩部分墩柱及基腳



托底版澆築



(4) 施築托底板

P6（北側）托底板，係以三邊支承於北側連續壁上，施作托底板部分之連續壁頂部劣質混凝土需敲除，敲除完成後清除混凝土並開挖至托底板下，施築托底板結構體與原橋墩基礎版銜接處以埋設剪力鋼筋相結合。

(5) 施築承載牆

當托底板養生達規範要求後，於托底板上與橋墩帽樑間施築承載牆，牆頂與舊橋墩帽樑之接縫則以無縮收水泥漿密合。

2. 南側橋墩

(1) 管線遷移及整地工程

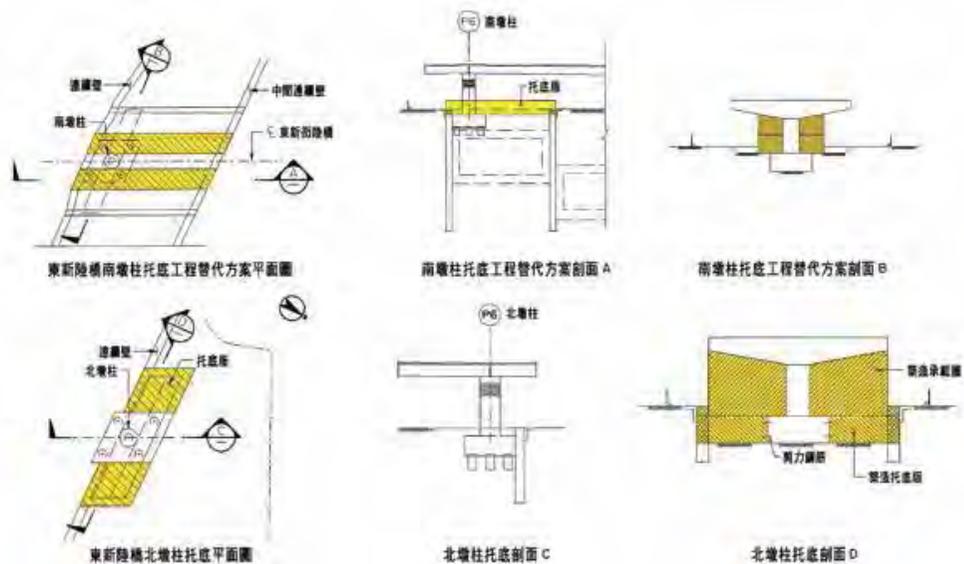
南側托底工程以南側連續壁及中間連續壁作為托底板之支承。南側連續壁避開橋墩之帽樑配置，橋下淨高最小處僅約6公尺，施工前必須降挖至少2公尺。該處之地下管線遷移附掛於東新橋兩側，重力流污水管遷移出降挖區域外。

(2) 施築南側連續壁

南側連續壁之施工方法及要點與北側連續壁相同，施工前均需降挖，並採限高型機具及多節短型鋼筋籠施工。

(3) 施築托底梁

東新橋P6南墩柱（含基礎及基樁）位於高鐵隧道施工範圍內，為利該區段高鐵隧道能於臺鐵隧道通車後即可接續施工，必須移除橋墩下部結構，故採用托底工法，於橋墩南側



南港專案東新橋托底工程示意圖



南墩柱托底施工

先施作連續壁，再利用南側與中間連續壁作為支承，將兩支托底梁設置於橋墩帽梁下方，將橋梁上方荷重轉移至南側及中間側連續壁，再配合隧道開挖工進再將橋墩及基樁敲除，並接續施作高鐵隧道主體結構。

3. 南、北側橋墩托底之差異

簡言之P6南橋墩係配合隧道南側連續壁之配置，而將托底板（梁）橫跨隧道連續壁與兩隧道之中間連續壁上；而P6北橋墩之托底板（梁）直接跨在連續壁上，以達到減體減量及節省工程費用之目的。



東新橋原貌（未托底前）

二、結論

本局自臺北市區鐵路地下化工程即開始運用橋梁托底工法，來解決橋梁墩柱（含基樁）與新設地下隧道位置衝突，並於施工期間維持現有公路橋梁交通，多年來歷經松山、萬板及南港等計畫執行，托底工法的運用在本局可謂一項相當成熟且安全可靠的工法，鐵路地下化隧道施工得以克服困難，如期、如質地順利完成，績效良好。



南墩柱托底完成

參考文獻

- 楊郭超，萬華及板橋地區鐵路地下化工程萬板紀要第四輯，2005。



自充填混凝土於鐵路工程之應用

摘要

- 一、前言
 - 二、自充填混凝土之特性
 - 三、南港車站採用自充填混凝土之經驗
 - 四、結論
- 參考文獻



工務組工程司 / 黃士銘
Engineer / Huang, Shih-Ming

摘要

自充填混凝土 (Self-Compacting Concrete, 簡稱SCC) 係指具有「澆置過程不須施加任何震動搗實, 完全藉由自身之充填性能填充至鋼筋間隙及模板之各角落」能力之混凝土, 藉由其流動性佳之特性, 可完全充填至狹小空間, 即使鋼筋緊密排列、搗實困難等情況, 皆能緊密充填, 避免產生蜂窩、冷縫, 達到工程品質之需求並提高結構體之耐久性。

國立臺灣科技大學自民國78年起即從事自充填混凝土之相關研究, 國內外亦有許多使用自充填混凝土成功之案例, 惟92年以前, 國內大型公共工程尚無使用自充填混凝土之經驗。鑑於該材料有環保減碳、提高工作度與耐久性等效益, 交通部鐵路改建工程局於南港車站地下化土建及機電工程嘗試大量使用自充填混凝土, 為確保其工程品質, 並委託中華顧問工程司與臺灣科技大學營建系黃兆龍教授進行專案計畫, 經由材料管制、製程管制與成品管制, 經過PDCA (計畫-執行-檢核-修正) 的程序演練, 建立標準作業程序 (SOP), 以期能減少人為操作誤差, 並提升品質穩定性。

南港車案地下化土建及機電工程於100年8月完工, 經由相關品管手段之施行, 相關查驗結果均顯示本工程採用自充填混凝土之抗壓強度均能達到設計強度品質, 且超過設計值約30~50%, 經由超音波速與表面電阻值的量測, 顯示內部緻密性高。

此外, 因自充填混凝土使用卜作嵐材料 (50%膠結料量), 可減少水泥用量, 降低環境污染; 而水泥強度效益達30psi / kg / m³以上, 更可降低材料成本。經由南港車站工程採用自充填混凝土之案例, 已可充分顯現自充填混凝土之正面效益。

關鍵字：自充填混凝土、綠建築、節能減碳、南港車站工程

一、前言

隨著臺北都會區之高度發展，鐵路平交道已成為都市發展之阻隔，並嚴重影響道路運輸之順暢，因此行政院於民國72年7月1日正式成立「交通部臺北市區地下鐵路工程處」，開始進行臺北市區鐵路地下化作業之規劃與執行，二十多年來，逐步完成了萬華 - 華山段（臺北車站鐵路地下化工程）、華山 - 松山段（鐵路地下化東延松山工程，簡稱松山專案）、萬華 - 板橋段（萬華板橋地區鐵路地下化工程，簡稱萬板專案）、及七堵 - 松山段（臺北市區鐵路地下化東延南港工程，簡稱南港專案）之鐵路改建工程，因成效卓著，於民國91年1月1日，地鐵處更名為「交通部鐵路改建工程局」，業務亦拓展至全國之鐵路改建工程。

臺北市區之鐵路地下化工程皆採用明挖覆蓋深開挖工法，主體結構構築於地下，四周圍繞著地下水壓力，因此防水效能向來都是鐵路地下化工程的重點考量項目。

早期鐵路改建工程之隧道防水方式係採用一般混凝土，並包覆防水材料以達到防水之目的，然而此方式之防水效果並不理想，因為混凝土之使用年限遠高於防水材料之使用年限，且防水材料逾使用年限後，修補或替換之費用高昂，因此之後的鐵路改建工程嘗試採用水密性混凝土施作，以加強混凝土本身之防水效能，但水密性混凝土之防水效能因施工品質之參差不齊，仍須輔以防水材料方能確保防水效能。

後因「萬板專案」303標民生路至漢生東路段隧道工程P16逃生口，臺、高鐵連通道頂版上方為縣民大道，覆土層僅70餘公分厚，公共管線須預埋於該頂版內，由於管類複雜、管束密集，以一般傳統混凝土澆置該頂版不僅工作性差，且不易維持結構設計品質，因此交通部鐵路改建工程局首次嘗試採用高性能混凝土（High Performance Concrete，簡稱HPC）施作，因高性能混凝土具高流動性，其工作性良好，充填性與緻密性佳，防水效能亦佳，且因製程嚴謹及用水量與水泥用量減少，可提昇混凝土強度及結構體耐久性。

民國92年「南港專案」中最重要的工程「南港車站地下化土建及機電工程」開始進行，該工程之總工程費達新臺幣一百餘億元，本工程首次嘗試採用自充填混凝土SCC，數量約40萬立方公尺，因自充填混凝土（SCC）製程要求較一般混凝土嚴格許多，因此施作過程委託中華顧問工程司與臺灣科技大學營建系黃兆龍教授進行專案計畫，藉其對自充填混凝土（SCC）豐富的工程應用與施作經驗，合作進行本專案自充填混凝土品質管制與保證（QC & QA）計畫，以確保工程之品質。本次採用自充填混凝土在公共工程中可說是相當有前瞻性的決定，之後的驗證也相當成功。

因自充填混凝土具免搗實、高流動性、自充填性等優點，可提升工程品質，且因使用之水泥較一般混凝土少約50%，具有環境保護之效益。在獲取「南港專案」之成功經驗後，臺南、左營、高雄等鐵路地下化工程，乃至於臺中、屏北高架化工程等鐵路改建計畫，均已開始使用自充填混凝土。



二、自充填混凝土之特性

2.1 自充填混凝土介紹

傳統鋼筋混凝土工程遭遇的最大問題即是因澆置過程中材料析離、震動搗實不良，或因鋼筋排列間距小而阻礙混凝土流動等情形，而造成孔洞、蜂窩等現象。因此近年來在產官學界的共同研發下，自充填混凝土應運而生，所謂自充填混凝土（Self-Compacting Concrete，簡稱SCC），係指具有「澆置過程不須施加任何震動搗實，藉由自身之充填性能，能完全填充至鋼筋間隙及模板各角落」特性之混凝土，其流動性高之自充填性能，可使過去某些搗實困難之混凝土結構體，達成工程品質需求，並可提高耐久性，若將自充填混凝土使用於清水混凝土結構，拆模後之混凝土表面更為細緻美觀。

自充填混凝土（SCC）具有高流動、抗析離、自充填、免搗實與不需任何震動之特質，能同時滿足優良耐久性、安全性、工作性、經濟性、環保性。但有別於一般傳統混凝土，因其水泥用量已大幅減少，品質之控管更為重要，從材料產出至現場澆置之過程中，若稍有材料配比上之出入，將造成品質之大幅波動。為嚴格控管自充填混凝土之品質，南港車站地下化土建及機電工程於現場第1次混凝土澆置前6個月，即針對品質管制、配合設計、材料試驗、運送澆置及車站地下化工程特性等條件，進行多次驗證，以期能經達到原設計之品質要求。

此外，由於自充填混凝土（SCC）因大量減少水泥用量，對於碳排放量之減少有非常大的助益，符合京都議定書所訂定節能減碳與保護環境之宗旨，在綠建築、節能減碳等環保意識日益重要的今日，自充填混凝土所具備綠色材料概念之特點，亦讓這項材料與工法日益重要。

2.2 自充填混凝土之優缺點

以下就自充填混凝土主要之優缺點綜整如下：

優點

1. 因生產一公斤之水泥即排放一公斤之二氧化碳（CO₂），而自充填混凝土較一般混

凝土減少水泥用量約一半，除能降低混凝土成本外，亦可減緩地球溫度上昇之「溫室效應」，確保生態環境，可視為「綠色混凝土」。此外自充填混凝土使用卜作嵐之材料，除減少水化熱、減少溫度裂縫，因卜作嵐材料中之爐石、飛灰等乃為工業生產時所衍生之工業副產品（廢料），故可降低環境污染，符合環保需求。

2. 因自充填混凝土之水泥用量減少，可降低水化熱，減少收縮及潛變量。另因自充填混凝土使用飛灰、爐石等卜作嵐材料，將有較佳之工作度，能充填顯微孔隙、改善骨材及漿體之界面、增加鍵結強度及緻密性。此外使用卜作嵐材料亦能增加晚期強度，因採水膠比（W/C+P）設計，可減少用水量，亦有助於耐久性能。因此自充填混凝土同時提高了工作性與耐久性之效能。
3. 因自充填混凝土免振動搗實，可節省施工人力與機具之成本，並可確保不會因人員施工技能之差異而影響混凝土品質。

缺點

1. 自充填混凝土之拌合時間較長，將影響產能（或工期），因而造成澆置時間過長，應考量作業人員及品管人員之排班，避免超時影響施工品質。
2. 自充填混凝土對模板、泵送管密合度之要求較高，相關作業時間較長；另自充填混凝土初凝時間較長，亦將延後表面粉光時間。
3. 因使用爐石故具較高之稠度，施工時表面鑲飾以人工搬剷較困難。

2.3 自充填混凝土與一般混凝土之比較

自充填混凝土與一般混凝土之比較表

| 種類類目 | 一般混凝土 | 自充填混凝土 | 比較說明 |
|------|-------------------------|-----------------------------|--|
| 設計強度 | 350kg / cm ² | 350kg / cm ² | 以28天fc'=350 kg / cm ² 對應比較。 |
| 坍度 | 15 ± 3.8cm | ----- (無坍度，採坍流度55 70 cm) | 一般混凝土視結構物位置或特殊需求，坍度多為15 ± 3.8cm。而自充填混凝土並無坍度可量測，改以量測坍流度，並有良好之工作度，且無需震動。 |
| 水泥 | 450.0kg | 230.0kg | 自充填混凝土之水泥量減少，故可： 1. 降低混凝土成本。 2. 減少收縮及潛變量。 3. 水化熱低，減少混凝土龜裂。 |
| 用水量 | 202.5kg | 150.0kg | 自充填混凝土之水泥量減少，故可較佳之耐久性。 |
| 水灰比 | 0.45 | 0.65 | 自充填混凝土之水灰比，可大幅提升。 |
| 水膠比 | ----- | 0.36 | |
| 飛灰 | ----- (報核同意後可少量使用) | 110.0kg | 自充填混凝土使用飛灰可得： 1. 較佳之工作度。 2. 增加晚期強度。 3. 降低水化熱，減少混凝土龜裂。 |
| 爐石 | ----- | 110.0kg | 自充填混凝土使用爐石粉，增加黏稠度，工作度較佳。 |
| 藥劑 | ----- | 6.3kg | 採用高性能減水劑。 |
| 細粒料 | 815.0kg | 848.0kg | 自充填混凝土可得較佳之緻密體積堆積，而減少空隙，因而減少混凝土各項弊病。 |
| 粗粒料 | 882.0kg | 878.0kg | |



南港車站地下化工程透視圖

三、南港車站採用自充填混凝土之經驗

3.1 南港車站地下化土建及機電工程簡介

南港車站位在臺北市南港區，介於臺鐵汐科站與松山站之間，為北部地區鐵路地下化最北邊的地下車站，也是南港專案內最主要的建築工程。南港車站為大臺北地區繼臺北車站與板橋車站後，第3座臺、高鐵共構，並與臺北捷運藍線連通之車站，目前正以BOT方式興建共構之開發大樓，未來將整合旅館、辦公室、商業賣場、立體停車場等功能，為一多目標使用之建築，預期將會帶動週邊商業活動之發展，形成大臺北地區的另一個都心。

南港車站地下化土建及機電工程自92年9月12日開工，100年8月31日完工，契約金額約140億元，車站基地面積約6.7公頃，建築面積約2.1公頃，樓地板面積約283,000平方公尺，為數棟高度不同，地下連通之大樓群，已啟用區域最高之建築高度為67公尺，地上14層，地下3層（不含共構大樓），未來共構大樓將興建至地上30層，建築高度139.3公尺，本工程開挖深度為26.5公尺，土方開挖量約155萬立方公尺，使用鋼筋約76,000公噸，鋼骨約69,000公噸，混凝土約45萬立方公尺。該工程分為二階段施工，第一階段於97年9月21日啟用，臺鐵松山、南港段自該日起移至地下新站營運，第二階段則施作原地面臨時軌位置之相關工程，全部工程於100年8月31日完工。

3.2 邀請臺灣科技大學團隊進行SCC專案計畫

國內已有許多使用自充填混凝土成功之案例，包含高雄85大樓、臺北101大樓、中台禪寺等。鑑於自充填混凝土有環保減碳、提高工作度與耐久性等效益，本局於南港車站地下化土建及機電工程首次嘗試大量使用自充填混凝土，為確保工程品質，另委託中華顧問工程司與臺灣科技大學營建系黃兆龍教授進行專案計畫，經由材料管制、製程管制與成品管制，經過PDCA（計畫-執行-檢核-修正）的程序演練，建立標準作業程序（SOP），以期能減少人為操作誤差，並提升品質穩定性。



南港車站地下化工程完工相片

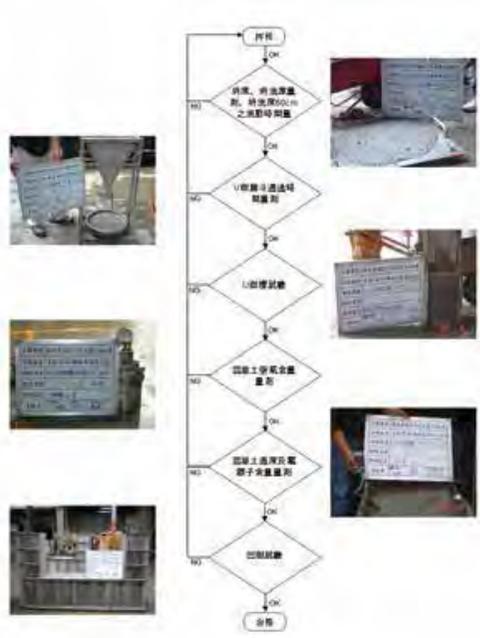
臺灣科技大學團隊執行之專案計畫主要任務為獨立協助監督自充填混凝土作業與成效評估，相關工作可分為初期資料查核與定期查核。

初期資料查核包含：

1. 生產材料查核。
2. 配比驗證。
3. 試拌成效評估（坍/流度、U及V型試驗）。
4. 均勻性、穩定性查核。
5. 凹型試驗測試。
6. 實作團隊整合驗證（依最佳化施工建議）。
7. 品質分析。
8. 施工方法建議。

定期查核項目包含：

1. 不定期抽樣。
2. 資料分析。
3. 結構品質分析。



南港車站地下化工程SCC驗證流程圖

3.3 施工規範之修訂與品質與施工計畫書之審核

南港車站地下化土建及機電工程之主體工程均使用自充填混凝土，數量約40萬立方公尺，為本局首次採用低水量、低水泥量及多料粒之自充填混凝土，本案由材料選用、配比設計、施工、完工等各階段均納入品質管理、品質保證之制度，以確保混凝土品質均勻穩定，並達成預期之工程性能。



本工程自充填混凝土之專案計畫於計劃初期先進行施工規範之審核，經專家團隊建議修改為具耐久性考量之混凝土配比，條件如下：

- A. 水灰比 (w/c) 0.42，以防止水泥水化產生自體收縮。
- B. 水膠比 (w/cm) 0.40，以達到整體品質所需之強度品質。
- C. 總用水量 (拌和水+液態化學摻料) 160kg/m³，以防止泌水析離。
- D. 水固比 (w/s) 0.07，以確保體積穩定性，減少長期乾裂產生，確保長期品質。

此外，原規範中對SCC 的性能要求均為模型試驗，為了模擬SCC 實際澆置狀況，並觀察其流動及填充行為，特建議增加凹型及混凝土均勻性試驗以及方型模與原型試驗。

南港車站地下化工程自充填混凝土配比

| 配比編號 | 參數 | | | | 配比 (kg / m ³) | | | | | | |
|----------------|------|------|-------|---------|---------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| | w/c | w/cm | w/8 | p/b (%) | 水泥 | 飛灰 | 爐石 | 砂 | 石 | 水 | SP |
| 350-R1-Type II | 0.72 | 0.37 | 0.076 | 49 | 230 | 130 | 90 | 896 | 822 | 159 | 6.3 |
| 350-R2-Type II | 0.72 | 0.37 | 0.076 | 49 | 230 | 130 | 90 | 862 | 857 | 159 | 6.0 |
| 350-R3-Type I | 0.72 | 0.37 | 0.076 | 49 | 230 | 130 | 90 | 812 | 910 | 159 | 5.7 |
| 280-R2-Type II | 0.83 | 0.41 | 0.076 | 50 | 200 | 120 | 80 | 910 | 855 | 159 | 5.8 |
| 280-R2-Type I | 0.83 | 0.41 | 0.076 | 50 | 200 | 120 | 80 | 910 | 855 | 159 | 5.8 |
| 280-R3-Type I | 0.83 | 0.41 | 0.076 | 50 | 200 | 120 | 80 | 853 | 915 | 160 | 5.5 |

3.4 材料品質管制

各項材料的品質對混凝土的品質影響甚鉅，因此對於混凝土的各項材料（砂、石、水泥、爐石 等）均應有制度化之檢驗流程。混凝土組成材料之品質管制應由材料供應商主動且自主地進行，定期檢測品質及繪製XR圖，提送所有材料取得之憑證及料源證明，於驗廠前先接受審核，並於施工期間不定時接受隨機查核。

3.5 製程品質管制與配比驗證

混凝土組成材料複雜，為確保成品之均勻性與穩定性，須透過配比審查與試拌，確認所採用之配比可達到設計之要求。混凝土品管人員至少應有丙級混凝土技術士證照，或經2個月之教育訓練，以確保人力基因素質之提昇，並透過相關認證、養成習慣，以保證成效。工程施作前3個月，混凝土供應商需將其相關配比設計及試拌紀錄送審，以利配比查核及核定作業。配比審核及試拌作業完成後，即須進行混凝土供應商之驗廠及配比廠拌作業，以驗證正式量產時混凝土之相關性質，並同時進行混凝土之均勻性及穩定性試驗，以確保混凝土之性質。且於驗廠及廠拌作業核定後，混凝土供應商仍須每日進行相關廠拌作業，記錄相關數據，包括混凝土工作性、流動時間、溫度、強度，以及拌和

南港車站地下化工程SCC廠拌紀錄

機之電流值等，並製作相關統計圖表，並建立資料庫，確保日後混凝土量產之品質穩定性，以及確認材料供應商之「產質」與「產能」能配合工程施工之進行與確保施工品質。

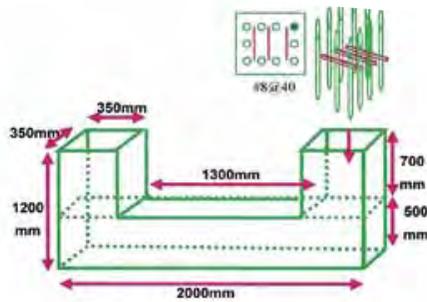
3.6 成品品質管制與凹型試驗

南港車站地下化土建與機電工程主體結構皆採用自充填混凝土，數量約40萬立方公尺，自充填混凝土的品質對於整體車站工程之品質有絕對之影響。自充填混凝土屬於特殊混凝土，施工時若水量控制不當，析離、泌水、蜂窩等現象即會發生，對於結構品質影響甚大。因此澆置前必須反覆測試及模擬，才能準確掌控成品品質。一般大型工程若欲瞭解混凝土流動行為，可進行凹型試驗，此試驗類似日本的U型試驗，將尺寸放大至與實際結構相似，亦可稱之為原型之U型試驗。為模擬實際鋼筋排列影響混凝土流動之情況，試驗模型在模端及底部排置同尺

南港車站地下化工程SCC凹型試驗結果

| 試驗項目 | 設計強度 $fc' = 350 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | 設計強度 $fc' = 280 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | |
|--------------------|----------------------------------|------|----------------|------|------|---------------|------|------|----------------------------------|------|---------------|------|----------------|--|
| | 350-R1-Type II | | 350-R2-Type II | | | 350-R1-Type I | | | 280-R2-Type II | | 280-R2-Type I | | 280-R3-Type II | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 坍流度 (mm) | 700 | 700 | 635 | 700 | 660 | 645 | 655 | 675 | 600 | 660 | 655 | 650 | 640 | |
| 坍流度50mm之流動時間 (sec) | 6.4 | 10.0 | 5.0 | 8.0 | 9.6 | 7.4 | 9.4 | 7.3 | 11.7 | 10.1 | 8.7 | 5.1 | 8.0 | |
| U型槽試 (mm) | 340 | 34.0 | 330 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | |
| V型漏斗通過時間 (sec) | 10.5 | 10.1 | 9.8 | 11.9 | 12.0 | 12.6 | 15.6 | 12.7 | 13.2 | 12.3 | 10.1 | 10.2 | 11.4 | |
| 凹型試驗高程差 | 65 | 35 | - | 0 | 25 | 110 | 0 | 32 | 150 | 0 | 0 | 0 | 223 | |

備註：紅色粗斜字體表示不合規範者



凹型試驗試體尺寸



凹型試驗澆置情形

寸含彎鉤之鋼筋，經由實際澆置，觀察自充填混凝土實際流動與擠升的行為。並檢視配比是否合宜，混凝土是否均勻一致，有無析離、泌水等現象等。此項試驗可以得到上升 h 之時間、高度，以及擠升情況等資訊，另透過凹型試驗所得之硬固試體，在不同部位上鑽心取樣，亦可瞭解混凝土之強度性質，並可得知自充填混凝土是否於運送、澆置、擠升過程產生析離、泌漿、材料不均質等情形，並經試驗加以量化。自充填混凝土在進行凹型試驗前，必須先通過試驗室相關性能測試，包含坍度、坍流度、坍流度達50cm之流動時間、V型漏斗通過時間、間隙通過（U型槽）、混凝土空氣含量、混凝土溫度及氯離子含量等，而本工程針對各試驗室測試項目，亦訂立相關標準作業程序。

除凹型試驗外，為確認輸送與澆置作業是否能滿足品質要求，現場混凝土澆置時，抽樣製作試體，現場進行坍度、氯離子等測試，於試體經過28天養護後再進行抗壓試驗，進一步確保混凝土之品質。此外，對於現場澆置作業有疑慮處，另可以鑽心試驗及非破壞性檢測等方式，再確認成品品質之穩定及均勻與否。

3.7 南港車站地下化土建及機電工程使用自充填混凝土之成效分析

1. 本工程自充填混凝土配比為達設計強度且考量耐久性與體積穩定性問題，故採用低水泥量（ $200 \sim 230\text{kg/m}^3$ ）與低用水量（ 160kg/m^3 ）設計，且限定水灰比（0.72~0.83）大於0.42，水膠比（0.37~0.41）約在0.4，水固比（ 0.076 ）約在0.07。經抗壓試驗，266天齡期之平均抗壓強度達 479kgf/cm^2 ，另經非破壞性試驗檢測，356天齡期之超音波速達 4300m/s ，356天齡期之表面電阻更高達 $210\text{K}\Omega\cdot\text{cm}$ ，顯示混凝土內部緻密性佳，長期品質良好，耐久性優良。
2. 本工程增加了凹型試驗與原型模擬試驗，可先讓材料供應商、施工廠商等參與人員瞭解自充填混凝土與一般混凝土不同的流動狀況、擠升行為與實際澆置情形，並可建立標準作業程序，確保實際施工時之動作皆能正確無誤。
3. 本工程自充填混凝土之設計、拌和、測試與施工等作業，經過反覆整合與改善後，工程施工技術明顯提升，不但穩定達到要求之強度品質，甚至高出約30~50%。
4. 根據自充填混凝土品質管制圖結果，混凝土抗壓強度之變異係數值仍偏高（大於5%），表示混凝土穩定性仍有大幅精進的空間，此項目將是未來相關工程可改進之重點。

5. 本工程自充填混凝土使用回收工業副產品及廢棄物（卜作嵐材料：飛灰及爐石粉），除減少水泥使用量外，並減少工業廢料達2.7萬 m^3 以上，減少之環境污染量相當於11座標準游泳池體積。此外，本工程水泥強度效益達30psi/kg/ m^3 以上，高過傳統混凝土10psi/kg/ m^3 約3倍以上，不但可節省工程材料成本約1.4億元，提升經濟性，且因採用大量卜作嵐材料（50%），降低工程 CO_2 排放量約5.6萬噸，相當於150萬棵樹1年可吸收的 CO_2 量，兼具生態性及耐久性，為工程節能減碳之範例，亦為綠設計之典範。



南港車站地下結構施工情形

四、結論

南港車站地下化土建及機電工程為本局首次採用低水量、低水泥量及多粒料之自充填混凝土之案例，且因澆置數量約40萬立方公尺，規模龐大，因此材料管制、製程管制乃至於成品管制等均須仰賴團隊合作，落實各環節之管理，藉由PDCA（計畫-執行-檢核-修正）全面整合，才能有效達成確保混凝土品質之目標。

本工程委託之研究團隊在工程施工期間，協助落實品質管制（QC）與品質保證（QA）工作，包含規範及施工計畫書之審核、材料選擇之查核、配比之審核及試拌、驗廠及廠拌、凹型及原型模擬測試、混凝土之產製、澆置及養護、混凝土結構之品質驗證、教育訓練及技術移轉，並建立相關作業之標準作業程序（SOP），對於未來採用自充填混凝土之相關工程，可提供寶貴的經驗，以及完整的標準作業程序。

由於氣候變遷，節能減碳之議題於這些年益發成為重要議題，而自充填混凝土具有減少水泥用量的特性，可降低環境污染，未來應可大量應用於公共工程。

參考文獻

1. 黃兆龍，高性能混凝土設計與應用，研討會，1999。
2. 黃兆龍，混凝土性質與行為，詹氏書局，2002。
3. 黃兆龍，高性能混凝土理論與實務，詹氏書局，2003。
4. 陳聰榮，許志雄，自充填混凝土應用在南港車站新建工程之成效評估，中華技術，2005。
5. 黃兆龍（計畫主持人），南港車站地下化土建及機電工程委託施工監造服務SCC新型製程研析及實務應用服務期末報告，交通部鐵路改建工程局，2008。



鐵路高架橋梁創新工法-複合式H型鋼橋墩柱設計施工

摘要

- 一、H型鋼複合橋墩功能
- 二、性能試驗結果
- 三、現場施工概述
- 四、結論

工管組正工程司 / 李有義 中工處工五段副工程司 / 林光興
Engineer / Lee, Yu-Yi Associate Engineer / Lin, Kuang-Hsin

摘要

為增進橋柱的耐震能力及配合國內營建自動化之推動，同時兼顧工程施工安全與環境之保護，係橋梁工程後續設計的重點與目標，對於橋梁工程之耐震設計也帶來了新的挑戰，「臺中計畫-CCL431豐原至頭家厝段鐵路高架工程」於國內首次採用H型鋼複合式橋墩施作（P929~P944、計16墩），期降低橋墩主筋組立風險，避免危及緊鄰營運中鐵路系統。

鑑此，交通部鐵路改建工程局中部工程處，遂於臺中區的鐵路高架化工程採用H型鋼複合式橋墩，本工法首創於國內鐵路高架橋工程使用，為了解H型鋼複合橋墩性能設計，業委託國家地震工程研究中心執行該H型鋼複合式橋柱之性能試驗。H型鋼複合橋柱設計相關的施作工法及作業流程皆缺乏實際工程經驗，該試驗橋柱施作前除與承商進行多次工法模擬及討論外，施工期間亦需對所面臨的組立盲點及問題逐一克服，故本次橋柱試體製作經驗實屬難得，應可做為日後實際工程執行及相關橋型設計之參考。為確認該複合式橋墩之設計更臻完善，爰依據「臺中鐵路高架計畫」監造契約內之「監造工作說明書」規定，洽請設計顧問台灣世曦顧問公司及監造單位中興工程顧問公司協同國家地震工程研究中心執行先行辦理該複合式橋柱之性能試驗，以驗證相關設計參數是否符合耐震設計需求。

一、H型鋼複合橋墩功能

為驗證鐵路橋梁複合橋墩之耐震性能，惟因受限於地震工程研究中心實驗室試驗能量，橋墩耐震性能試驗採縮尺試驗，縮尺比例為0.6。本性能試驗建置了兩支縮尺橋柱，一是H型鋼與混凝土複合式橋墩設計，另一是傳統鋼筋混凝土橋墩斷面設計。藉由這兩支縮尺橋柱試驗，再將試驗結果相互比對，期能深入了解H型鋼複合式橋墩設計之耐震性能，以回饋日後同型式橋墩設計，作為國內橋梁興建工程之重要參考資料。



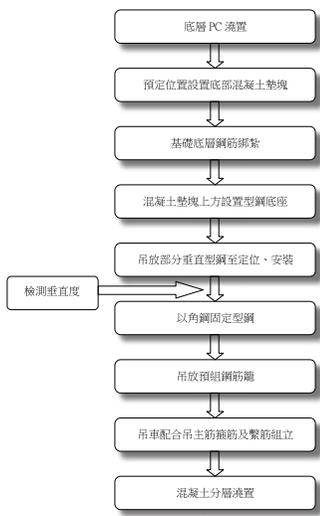
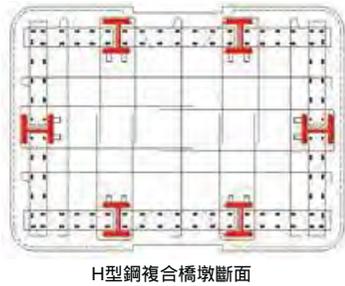
二、性能試驗結果

綜整實驗結果比較，可得以下三點結論：

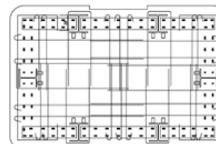
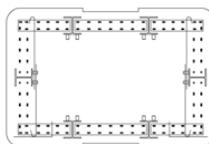
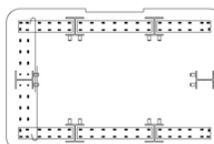
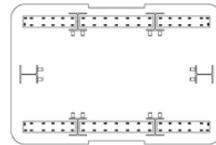
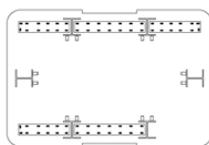
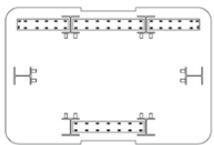
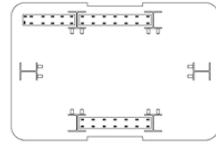
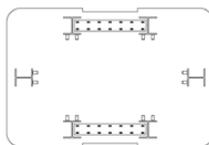
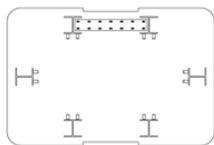
1. 採用H型鋼作主筋支撐之H型鋼複合橋墩除可降低橋墩主筋組立風險，其亦擁有極佳耐震性能，故該設計對於工安需求高之橋墩為不錯的之選擇。
2. H型鋼複合橋墩之混凝土保護層厚，故建議採適當處理，如配置鐵點焊鋼絲網以降低保護層，避免保護層混凝土過早剝離。
3. H型鋼複合橋墩之圍束配置可避免傳統矩形橋柱直線箍筋容易向外鼓起而降低圍束效果之缺點。

三、現場施工概述

「臺中計畫-CCL431豐原至頭家厝段鐵路高架工程」複合式橋墩鋼材配置型式，橋墩內配置6支H型鋼之設計型式適用於柱高11.0 14.2m之TYPE M橋墩，橋墩編號由P929 P944施作H型鋼複合橋墩，共計16墩，如下表。



H型鋼複合橋墩立面圖



H型鋼複合橋墩預組鋼筋籠吊放施工流程

表1 CCL431標 H型鋼複合橋墩施作表

| 基礎編號 | 墩柱型式 | 基礎編號 | 墩柱型式 |
|------|------|------|------|
| P929 | M2 | P937 | M3 |
| P930 | M6 | P938 | M3 |
| P931 | M6 | P939 | M3 |
| P932 | M6 | P940 | M3 |
| P933 | M3 | P941 | M3 |
| P934 | M3 | P942 | M3 |
| P935 | M3 | P943 | M3 |
| P936 | M3 | P944 | M3 |

表2 CCL431標 H型鋼複合橋墩施工機具與設備表

| 機具名稱 | 單位 | 數量 | 型式 | 備註 |
|-----------|----|----|-------|----------------|
| 發電機 (可電焊) | 部 | 2 | | 5500W |
| 移動式起重機 | 台 | 1 | 25噸級 | 揚重作業 |
| 柴油發電機 | 台 | 1 | 60KW | 固定式臨時電 |
| 汽油發電機 | 台 | 2 | 5000W | 移動式臨時電 |
| 柴油工程車 | 台 | 1 | 3.8噸 | 後勤作業 |
| 光波測距經緯儀 | 台 | 1 | | 測量放樣 |
| 水準儀 | 台 | 1 | | 測量放樣 |
| 吊卡貨車 | 台 | 1 | | 鋼筋搬移機具 材料搬移 |



型鋼基座樣品



型鋼鋼柱樣品



鋼筋籠樣品綁紮及組裝



底側混凝土墊塊施作



吊放預組鋼筋籠



鋼筋及H型鋼接合組立完成



混凝土澆置

H型鋼複合橋墩施工

施工前規劃：

1. 審查施工計畫及施工圖。
2. 吊裝規劃及問題研討。
3. 鋼筋籠製作及綁紮問題點研討。
4. 製作樣品模型模擬。

現場施工檢討：

1. 本次預組鋼筋籠均於現場製作電焊，惟受限於場地作業空間有限，增加吊裝搬運時間，鄰近施工區尚有較大施工腹地，將可增進施工效率。
2. 型鋼及底座工廠加工完成，現場吊裝鎖固作業迅速。
3. 型鋼及鋼筋籠組合剛性（未灌漿前）優於一般傳統墩柱，較不會受外力搖晃（風力、地震力）較安全。
4. 鋼筋籠於加工場預組完成，至現場僅需吊裝固定，對於安全性及工期均較優。



四、結論

採用H型鋼作主筋支撐之H型鋼複合橋墩除可降低橋墩主筋組立風險，其亦擁有極佳耐震性能，故該設計對於工安需求高之橋墩為不錯的之選擇，H型鋼複合橋墩之混凝土保護層厚，故建議採適當處理，如配置點焊鋼絲網以降低保護層，避免保護層混凝土過早剝離，H型鋼複合橋墩之圍束配置可避免傳統矩形橋柱直線箍筋容易向外鼓起而降低圍束效果之缺點。本工法經現場實際施工，並適時配合檢討施工方式，作為後續H型鋼橋柱設計之參考。

鐵路高架橋梁H型鋼複合式橋墩經性能試驗驗證及現場實際施工結果，該創新工法之推動確有其效益，可避免橋墩鋼筋組立倒塌並降低鄰軌施工感電意外，亦確保鐵路行車營運安全及提升橋墩施工效率。



自強隧道替代方案電車線 導電軌系統施工技術探討

摘要

- 一、前言
 - 二、電車線導電軌系統簡介
 - 三、自強隧道導電軌系統施工集錦
 - 四、結論
- 參考文獻

機電組 / 洪哲恒

Engineering Assistant / Hung, Che-kai

摘要

新自強隧道全長約 2667 公尺，土建工程自 99 年開工，毗鄰臺鐵舊自強隧道，路線穿越舞鶴礫岩、崙山版岩段、淺覆蓋層及 300 公尺長之沉泥層，地質複雜，本工程於隧道開挖期間因地質變異致工進嚴重受阻；本局為達成花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫於 102 年 12 月底完工之目標，經檢測臺鐵舊有之自強隧道僅有少數地段電氣淨空顯有不足，為避免破壞土壤結構及維持臺鐵局列車營運，歷經審慎評估卒採用不必開挖結構及適合靜空較小之導電軌系統。

一、前言

政府為有效解決北迴鐵路運輸擁擠，同時改善花東線鐵路路線標準，以提供便捷之運輸路網，提昇鐵路服務品質，並落實政府產業東移政策，達成城鄉均衡發展，經研議「東部鐵路改善計



東部鐵路改善計畫範圍示意圖



畫」報奉行政院八十年一月三十日臺八十交字第四二九 號函核定，並於93年12月陸續完成宜蘭線鐵路電氣化、北迴線鐵路擴建雙軌並予電氣化、基隆及八堵至臺東間路線重軌化、基隆及八堵至臺東間號誌自動化 等工程。花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫，經行政院核定為「振興經濟擴大公共建設投資計畫」，為東部鐵路快捷化之重要一環，在政府陸續完成臺鐵西幹線、宜蘭線及北迴線之電化工程，獲致良好之效益下，更進一步積極推動花東線鐵路之電氣化工程，冀望促進花東觀光旅遊發展，紓解公路交通、減少私人運具，並加速東部經濟開發，平衡東西部鐵路建設標準，縮短東西部間交通距離，藉以活絡東西部間經濟交流與發展。

二、電車線導電軌系統簡介

電車線系統主要功能為供給電力機車行駛之電源，電力機車藉由集電弓與電車線持續接觸將電力吸取下來，並經電力機車內部電力轉換系統供給馬達運轉所需電力，因車輛大都處於行駛狀態，因此集電弓與電車線之動態接觸特性攸關電力供應之品質，傳統式電車線系統係將電車線架空並交叉重疊接續，而導電軌系統（空心鋁合金）軌道採架空方式，以排列接續方式安裝，且軌道本身已有支撐力故不需如傳統式電車線系統須另加張力於軌道及電車線上。

2.1 導電軌的沿革（history of the conductor rail）

使用導電軌來解決電氣化的各項問題，起源於隧道內在電氣化時遭遇到淨空不足的限制而開發的產品，很快的在其他領域的電氣化也適合採用本產品，例如鐵路調車場的電氣化，配合移動式導電軌，貨櫃碼頭移動式橋樑等都適用。導電軌應用於鐵路運輸電氣化已經不是新產品，早在美國巴爾地摩市的鐵路電氣化時已先被採用，只不過外觀上稍有些微不同而已。後續許多公司接受此一嶄新的觀念，早在1984年就開始開發完成到推廣的階段。如今，導電軌的安裝使用已經超過150KM的軌道，雖有成就，但各家公司仍繼續研發相關的零組件以及安裝的各項步驟，期待有更先進的產品問世。



北宜線導電軌



站場導電軌



站場共構導電軌

2.2 導電軌系統的一般說明 (general desiption of the -conductor rail system)

傳統接觸線是嵌入導電軌而被夾住；導電軌先以分段製造後運送至現場，再使用連接頭 (interlocking joint) 連接起來；導電軌是用鉸鏈或滑動支持架與絕緣礙子 (insu-lator) 吊住；為能承受溫度的變化，在相當長度的導電軌間分別裝有伸縮接頭 (expansion joint)；在兩個伸縮接頭的之間的區段裝有中點錨錠 (midpoint anchor) 作以為穩定之用。從傳統的接觸線 (contact wire) 到導電軌的轉換點有轉換軌 (transition bar) 的設置以及接觸線錨錠軌 (anchoring- bar) 和終端錨錠 (endpoint anchor)。

主要零件之規範 (Spcification of main components)

接觸線被導電軌的底部鉗形夾緣夾住，這樣就有一定程度的撓性 (flexibility)；在斷面圖較低的兩邊有肋狀凸緣 (rib) 設計，為使接觸線裝入導電軌時，具簡易操作安裝需要的設計，接觸線插入裝置 (insertion device) 的滾輪在肋狀凸緣的上面滾過去，當底邊的溝槽 (groove) 被滾輪撐開以打開導電軌的鉗形夾緣，以便插入接觸線。導電軌是鋁合金製造，每支長度12公尺。



導電軌斷面圖

銅鋁的接觸傳導須建立在毫無電解質的情況才能防止腐蝕。為了實際的需要，下列防蝕措施是有必要的。每根12公尺長的導電軌鑽有四個洩水孔在底邊，以防止有凝結水的積存而形成不溶解氣或是侵蝕性的物質在裡面。當安裝接觸線時是須稍加潤滑油脂 (用油泵打)；油脂也有防護效果，以及允許電流在銅鋁間流動，那是因為這種油脂含有高成份的導電物質—鋅在油裡面。



銅 / 鋁腐蝕性之防護

位於隧道口的地方和漏水的區域，導電軌是需要使用塑膠保護罩 (plasticcover) 做保護，保護罩每支的長度5公尺，每公尺0.84公斤，它對導電軌的弛度 (sag) 不會造成影響。當然，這個保護罩可切成較短，以便安裝時的方便，而不須另加固定配件；由於這保護罩緊繞住導電軌的外表，因此它不適合用在有支持架的區段，因為所有的零件都凸出斷面的外表。



塑膠防護罩

連接頭用在導電軌的每組接頭，這種合金接頭與導電軌相同，所有的物理特性亦相符，有大的電氣接觸面常常造成實際安裝上令人不滿意的結果，因此這接頭備有4個凸緣 (rib) 在邊上，支持導電軌兩邊的體側翼。



連接頭



伸縮接頭 (expansion joint) , 是安裝在接觸線中心, 補償因溫度變化在縱線方向產生的脹縮, 使相當長度的導電軌能自由伸縮, 車輛通過時不致斷電。伸縮接頭有有兩根平行的接觸線, 被運用在兩個各半的裝置上, 依次與兩段相接的導電軌連結在一起, 兩部份在縱線方向的最大伸縮距離是500mm, 而電流是用薄片銅帶來連接導電使電流通行無阻。

中點錨錠 (midpoint anchor) 的安裝是在兩個伸縮接頭 (expansion joint) 中間的地方, 用以穩定加諸於導電軌區段內之各種力量。如果是有外面架空線產生張力呈現於接觸線的地方, 這就稱為終端錨錠 (en- dpoint anchor) 而不是中點錨錠 (midpoint anchor)。

終端錨錠 (endpoint anchor) 的作用是承受接觸線進入導電軌的張力並將其引導到土木結構體, 也就是說除轉換段以外, 隧道口上方的接觸線在導電軌裡面不會承受到張力。主吊線通常是錨錠在隧道口的上方。

在接觸線進入導電軌的張力傳送是用夾力來完成, 而此夾力存在於接觸線和導電軌的斷面側向間。

在傳統電車線與導電軌間的交接點, 要安裝轉換軌 (transition bar), 這個裝置是為確保傳統電車線和導電軌兩者間的不同硬度得以逐漸平衡, 這種平衡作用是在轉換軌 (transition bar) 的斷面分成六個階段, 逐漸消除因不同硬度所產生的應力, 恢復原有夾力, 同樣有6個M10的追加螺栓從側向切掉的部份用塑膠保護罩 (plastic cover) 蓋住以避免水份的侵入。接觸線必須在直線區域進入轉換軌, 且避免對轉換軌產生側向力。

導電軌段的電力連接 (從主吊線接到導電軌、開關吊線或導電軌平行跳接等等) 要使用導電軌饋電夾 (feeder clamp) 這種特殊端子夾適用並固定在導電軌斷面的上部兩根銅絞線每根最粗 150mm 導電軌饋電夾是用鋁合金製造, 所以與銅線端子連接時, 必須與夾子一起使用雙金屬墊片支持架



中點錨錠



終端錨錠



轉換軌



饋線夾

(hinged Support) 允許相當長度的導電軌在溫度變化所產生的伸縮得以縱向移動；這支持架含下列零件：

落臂架：為了讓導電軌支持架錨錠在隧道的拱頂上。
絞鏈托架：連結到落臂架上，可同時當做絞鏈及大略高度之調整。

絕緣礙子：25KV (insulator 25KV)

固定托架：利用平行移動固定托架上的旋轉頭，在允許的範圍內可得到所需之偏位，某些安裝時產生的誤差也可以得到補償。

旋轉頭：可配合接觸線高度的要求來做導電軌最後的調整及當做絞鏈的功能。

接地裝置是為了提供導電軌安全的維護工作裝置；導電軌系統依臺鐵現有接地棒型式計設。導電軌固定托架前端設有 16mm 連接桿可提供接地棒吊掛作為接地之用。



支持架



接地裝置

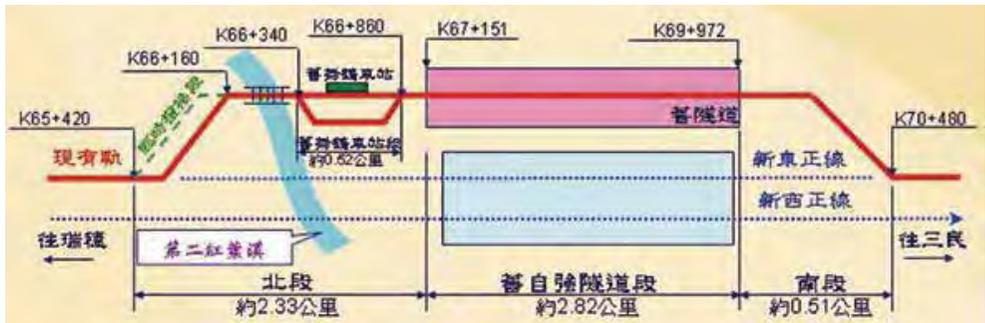
三、自強隧道導電軌系統施工集錦

3.1 自強隧道替代方案工程簡介

「自強隧道電化替代方案」係以舊自強隧道替代新自強隧道電化通車，北起65K+620南至70K+310，其中自強隧道長約2.8公里，平面段長約1.9公里，配合東工處辦理瑞穗-三民間第二次切換後軌道線形，進行電化施工，並由本局5個工程總隊（電力、號誌、電務、軌道、測量）自辦施工。

北段：K 6 5 + 4 2 0 至 K67+151，全長約2.33公里（含臨時撥接段0.74公里），加計舊舞鶴雙軌段0.52公里，電化路線約2.85公里。舊自強隧道：K67+151至K69+972，全長約2.82公里，南段：K69+972至K70+480，全長約0.51公里。





3.2 自強隧道導電軌施工流程暨照片集錦



四、結論

自強隧道導電軌工程以材料採購方式完成備料後，交由本局電力總隊著手進行施工安裝：由於本局創建距今並無導電軌的相關施工經驗，於施工階段中，本局機電總隊同仁更是細心、謹慎的注意每一環節，舉凡零配件之組裝、各項組件安裝更是一再的確認；不容許絲毫錯誤發生，也因為本局同仁都深負達成任務之決心與不驅不饒之精神，勇敢面對各項挑戰與困難，卒使本工程得以順利進行，達成使命，並為本局完成之新建工程歷史上成功增添一筆。

參考文獻

1. Furrer+Frey導電軌原廠型錄。
2. 陳智淵，台灣世曦工程顧問公司「電車線系統設計暨評估報告」，100年1月7日。
3. 自強隧道導電軌安裝計畫書，合勝電氣工程有限公司。
4. 交通部鐵路改建工程局，花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化計畫綜合規劃報告。
5. 交通部鐵路改建工程局，東部鐵路改善計畫工程輯要。

現代軌道測量技術之發展

摘要

- 一、前言
 - 二、軌道測量作業項目
 - 三、軌道測量技術之發展及應用
 - 四、整合式軌道測量模式之應用
 - 五、結論
- 參考文獻



測量工程總隊技術員 / 張文權

Associate Technical Specialist / Chang, Wen-Chuan

摘要

隨著軌道車輛速度提升及乘客對於舒適度之要求，軌道鋪設工程精確度亦隨之提高，而軌道鋪設之精確度則有賴於精確的軌道測量。隨著電腦、光學及機械科技之進步，使得測量儀器於自動化、電腦化及數值化有著大幅度進化，連帶測量模式亦得到改進，各種整合式軌道測量模式將取代傳統軌道測量作業，以達到省時、省力及高精度之要求。

一、前言

因新式儀器之改進如全測站經緯儀，使得控制測量及軌道相關測量模式亦隨之改進，在控制測量方面：多餘觀測數大量增加進而提升其控制點精度；在軌道測量方面：整合式軌道測量模式之引進，不管新設軌道之施工測量放樣，軌道定位及軌道幾何性檢驗上或舊有軌道中心位置、軌面高程、軌距、超高及周邊附屬設施之測量等均有大幅度之進化，與傳統軌道測量作業相較，其速度更快、精度更好且效率更高。

二、軌道測量作業項目

軌道鋪設及幾何性檢驗測量、現有軌道中心位置及軌面高程測量及現有軌道周邊設施與斷面測量，與上述相關之測量工作均屬於軌道測量作業項目，可概分為以下幾項：

2.1 控制測量

新設軌道應以規劃測量及土建結構同系列使用之控制系統為補設之依據及來源，進行沿線之控制點補設，不可自行新設控制系統以避免與土建結構產生介面誤差，導致結

構物與軌道產生淨空或基地高度差等介面問題，控制測量為日後各種軌道測量之基準，須小心從事確保精度，提升後續施工之品質。

2.2 軌道鋪設施工測量

1. 軌框鋪設：鋪設軌道需進行軌道中心、道岔位置及軌面高程放樣，做為施放軌框及道岔之依據。
2. 軌道定位：當軌框調整趨近於定位時須進行軌道中心及軌面高程之最終定位使其合於規範值。

2.3 軌道鋪設幾何性檢驗

軌道完成後需進行幾何性檢驗，確定其是否合於規範要求，傳統之檢驗方式是以鋼絲或水線量測固定間距點之差值進行較差，其施測點間相對關係無法施測絕對位置，新式軌道車可施測其絕對位置後化算成相對幾何關係，做為判斷依據。

2.4 現有軌道中心及軌面高程測量

為改線切換或修整線形等目地進行現有軌道之施測，傳統測量方式軌距以軌距尺或米尺直接量測，軌道中心位置則以點架設於施測里程處軌道中心施測，軌面高程及超高則以水準尺直接施測同里程處之鋼軌面高程並進行超高計算。

2.5 軌道周邊設施淨空與斷面測量

施測軌道周邊設施淨空或斷面做為改線或設置其它設施之依據，傳統測量方式以法線方向點位架設儀器進行單點之位置測量或斷面測量，軌道車則以架設於車上之雷射測距儀施測。

三、軌道測量技術之發展及應用

近年來因微電子學及電腦科技日新月異，使得傳統光學機械式儀器產生重大之變革，測量儀器已由光學機械式轉變成全自動之電子式，其整體構造可以描述成具有測量功能之微電腦，典型代表為全測站經緯儀及電子水準儀。



全測站經緯儀



電子水準儀



肇因於測量儀器之進步使得測量方法亦有相對之改變，不論在控制測量、施工測量及地形測量上皆有重大改進。傳統測量方法侷限於儀器功能及人力條件無法取得大量之多餘觀測數，現受惠於儀器之電子化、數位化及自動化可以取得大量之多餘觀測數，提高測量成果精度。在軌道測量方面由於軌道車之引進搭配新式全測站經緯儀，組合成一整合式之軌道量測系統，其與傳統測量模式有極大之變化，今將新式儀器之功能、測量模式改變及軌道車之原理、應用做一概略介紹。

3.1 儀器之進化

傳統儀器均為光學機械式，新式儀器則為電子式，今將後者分為全測站經緯儀及電子水準儀併將其新增之功能條列說明如下：

1. 全測站經緯儀

1. 內含處理器可依設定運算及執行程式。
2. 具有伺服馬達可依所設定功能自動旋轉，無須人為操作轉動。
3. 可自動搜索及追蹤目標稜鏡並照準，無須人為操作。
4. 內含記憶體亦可外接記憶卡，可自動儲存觀測資料及預先輸入所須資料。
5. 有紅外線及雷射兩套測距系統可以無須反射稜鏡即可測距。
6. 配備電子水準氣泡及雷射對點器，加快定心定平速度及方便隧道內操作。

2. 電子水準儀

1. 內含處理器可依設定運算及執行程式。
2. 配備電子水準氣泡及補償器方便定平操作及提高觀測精度。
3. 具成像比對功能，可自動讀數條碼尺無須人工讀數減少誤差機率。
4. 同一次觀測可多次讀數後進行平均並可當場計算讀數中誤差。
5. 可現場自行計算水準線點間閉合差。

3.2 測量模式之改進

因應新式儀器，原有測量方式不論在控制測量、施工測量及地形測量等方面均有長足之進步，今就軌道測量相關之控制測量及軌道施工測量部分加以說明。

1. 平面控制測量

傳統控制測量尤其應用在施工上之控制測量，限於光學儀器之操作、測距能力、施測經費及人力幾乎皆以導線方式施作，導線具有快速、節省人力及計算簡易等優點，但導線若長度過長或節點過多，雖其精度指標達到規範要求，但其點間相對精度並不如數據所呈現一般，若其間發生觀測角度相消問題更難以察覺，而施工中途若發生點位遭破壞、遺失等，勢必要重測改算將影響前後點位及施工精度。軌道施工有其先天上之地形限制，軌道走向多為長帶狀區域且路線幾乎為直線或大半徑線形，趨近直線型導線其精度較差，將

其應用在高精度要求之軌道施工上，將可能產生前後點位精度不一致無法銜接之問題。

因全測站經緯儀可自動搜索目標稜鏡，且可自動進行多測回、多方向角度及距離同時觀測並紀錄，其施測速度快精度高，故可進行網形控制測量。於施工現場佈設可多方向通視之密集控制點，並以全測站經緯儀進行多方向觀測後將其連測成一網形，如此其多餘觀測數量，誤差分布平均且點位精度較為一致，應用於高精度之軌道施工測量將不致產生點位無法連貫之問題。

2. 高程控制測量

傳統高程控制測量以光學儀器人工讀數數字水準尺易產生讀數或記錄錯誤等問題，且傳統水準測量需施行往返測以進行平差及檢核。以新式電子水準儀進行水準觀測，因其自動讀數及記錄可避免人為誤差，於後續計算之方便性及觀測精度之提升均比傳統儀器優良，且其可對同一觀測對象作多次觀測後取平均值，若於持尺時增加水準尺架輔助水準尺之定平，單趟之觀測其精度將不下於往返測，單趟施測、自動觀測及紀錄可節省甚多之人力及時間。但電子水準儀因其為條碼成像比對後進行讀數之原理，故於較為陰暗區域或光線不足之隧道內將可能無法讀數，此為其缺點，而全測站經緯儀因其對準目標之應用原理不同無此問題。

3. 軌道施工測量

傳統軌道施工測量以放樣軌道中心及軌面高程作為鋪設軌道之依據，而傳統光學儀器放樣軌道中心均將經緯儀架設於已知之控制點上進行放樣作業，以導線佈設之控制點其精度較差且密度不足只能以一後視方向作為放樣之方位依據，且須以人工進行後視及前視放樣方位設定操作，故會產生較大之誤差，以全測站經緯儀進行放樣作業，不需以人工進行對後視方位及前視方位之操作，且其有程式可現場由儀器進行後方交會之自由測站計算，以網形方式建立之控制點精度一致，不管以控制點直接進行放樣或以自由測站方式進行均可得較佳成果，若所佈設之控制點密度足夠，以多後視方向進行後方交會之自由測站方式進行放樣，因其誤差較平均可提高放樣點位精度，自由測站另一優點可自行選擇測站所在，較不受限於現場通視及場地影響。

以上所述皆因儀器進化導致各種測量模式之改進。

3.3 整合式軌道量測模式—軌道車

軌道車為應用於軌道測量之專屬車輛，其可搭配全測站經緯儀進行新設軌道之施工、現有軌道之收測及新設軌道幾何性檢查，若加裝雷射測距儀可施測鐵路周邊之附屬設施與軌道中心之相對關係，於隧道可進行隧道斷面掃描其與傳統之軌道測量相較具有速度快、人力少及多功能性等優點，如右圖。



組裝完成之軌道車



1. 軌道車之構造

完整軌道車主要由軌道車框架、電腦及全測站經緯儀（附無線電傳輸裝置）所組成，軌道車框架具有三個輪子支撐軌道車於軌道上行走並具有剎車裝置，框架上有電池、軌距量測裝置、稜鏡、無線電傳輸裝置及雷射測距儀（此為可替換裝置，無需使用時可以置換），電池提供所需電力，軌距量測裝置可測量軌道車所在位置之軌距，稜鏡供全測站經緯儀追蹤施測，無線電傳輸裝置作為資料傳輸用，雷射測距儀則進行周邊設施或隧道斷面施測，電腦可附掛於框架上，接收軌道車傳來之資料以既定之程式進行計算並顯示成果，全測站經緯儀則施測軌道車上稜鏡 3D 座標並由所附之無線電傳輸裝置將資料傳送至軌道車框架上之電腦。

2. 軌道車原理

軌道車於施測前應進行框架幾何尺寸之校正，測定各部件間之幾何尺寸參數供化算用，軌道車進行施測時將全測站經緯儀整置完成後，自動追蹤施測框架上稜鏡之 3D 座標並將資料透過無線電傳輸裝置傳輸至電腦，再由電腦上之程式及框架之幾何尺寸參數，計算出軌道車所在位置之軌道中心座標及軌面高程，此成果可直接顯示亦可透過程式與設計值進行各種較差計算或程式內含之功能計算並可即時顯示成果。

3. 軌道車應用

（1）軌道鋪設定位調整

以軌道車進行軌道鋪設定位調整前，需將軌道設計線形資料預先輸入電腦程式中，傳統軌道施工測量因軌道精度要求高，故須於短距離內（2.5至5公尺甚或更短）施放一點位做為其施工依據，待其軌框初步定位後再行放樣點位或施測現有軌道比對設計值後進行軌道定位調整，需重複此作業值至軌道定位符合規範為止，而若以軌道車施行則因其以全測站經緯儀自動追蹤施測速度快且可由電腦即時顯示與設計線形差值後現場進行調整，同一點位可重複施測調整，直至符合規範值，相較傳統人工施測及計算方式易出錯且速度慢不可同日而語。

（2）軌道鋪設幾何性檢驗

以軌道車施測完成之軌道幾何諸元，後與設計值進行比較求出其差值並計算出點間相對關係是否合於規範值。

（3）現有軌道線形測量

軌道車可施測既有之軌道線形作為改線或軌道線形修正用，軌道車可停駐於軌道上任何所需施測點位，且其軌距、超高、軌道中心及軌面高程等資料一次施測完成無須多次分別施測。

(4) 軌道淨空檢查與斷面收方

軌道車加裝雷射測距儀可施測軌道旁設施之單點位置距離軌道中心距離，亦可進行斷面測量並繪圖作為改線及淨空評估之參考。

四、整合式軌道測量模式之應用

整合式軌道測量模式即軌道車，可應用於各種軌道測量，本局主要業務為新建軌道，今以軌道車進行新建軌道之靜態幾何性檢查為例說明軌道車之應用。

傳統軌道幾何性檢查是採用人工與簡單量具進行檢查，其工作方法既費時、費力，精度亦不佳，難以滿足實際需求。而利用軌道車對新建軌道進行靜態幾何性檢查是擷取軌道完成後實測值與設計值之差值後進行軌道幾何不整之數據化計算以此研判是否合於規範值。

軌道幾何不整包括有五項：一、軌距；二、水平；三、高低；四、方向；五、平面性，其定義及容許標準可參閱「鐵路修建養護規則」（95年2月27日修正）及「交通技術標準規範鐵路類 工務部 1067公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」（交通部86年12月頒定）內容。今將各項簡單解釋及以軌道車施測方法說明如下：

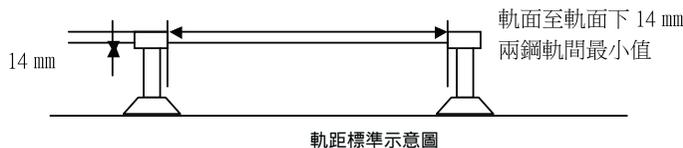
4.1 軌距

軌距之量測為兩鋼軌面下十四公厘處之最短距離，軌道車則以所附之感測桿量測軌距，與設計軌距進行相較差。

4.2 水平

水平量測係指軌道同一橫斷面左右兩鋼軌之高度差，其量測位置係指兩鋼軌面連線與鋼軌內緣立線之交點，量測其間高度差，直線段區域其值應為零，曲線段則外軌加計超高度，其外軌應高於內軌。

軌道車則以實測軌道中心計算出法線方向兩軌軌面內緣高程進行較差，所得之值應與設計超高度相符，該值與設計超高度進行相較差。

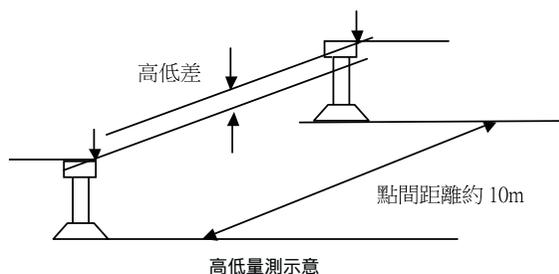




4.3 高低 (高低量測)

高低量測係指軌道之同一鋼軌縱向高程之平整性，軌面所稱之高程量測位置如水平所示，高低以低軌/左軌為量測標的，以十米為一量測區段，量測其間之檢測高低差與設計高低差之較差量。

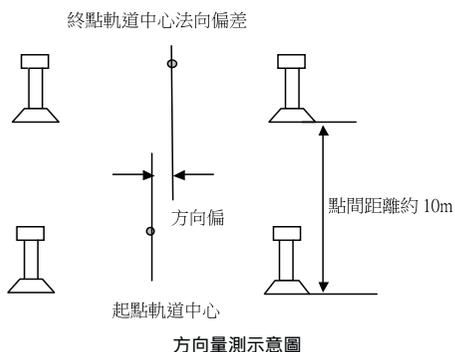
軌道車則以實測軌道中心計算出低軌（直線段採左軌）軌面內緣高程為計算基礎，取里程差約十米左右之兩點進行高低差計算，該值應與同位置之設計高低差進行較差。



4.4 方向 (方向量測)

方向量測係指軌道縱向平面之平順性，由於曲線段軌距加寬實施於內軌，故方向以外軌/左軌或中心（與外軌/左邊距533.5mm）為量測標的，以十米為一量測區段，量測其間之檢測偏距與設計偏距之較差量。

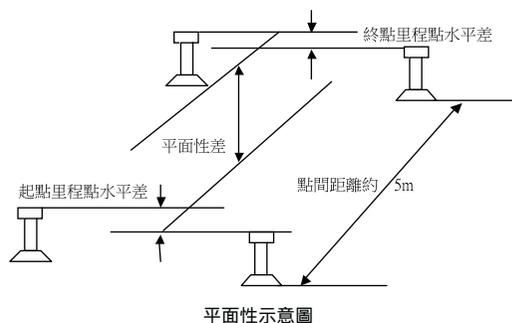
軌道車則以實測軌道中心計算，取里程差約十米左右之兩點進行方向差計算，該值應與同位置之設計方向差進行方向相較差。



4.5 平面性

平面性係檢驗軌道扭曲情況，該值之實現係為再計算值，即係指兩點間平面之水平較差之差值，即水平二次差，若該兩段水平差為同向差（同正負），則平面性影響性小；若該兩段水平差為反向差（一正一負），則平面性影響性大，如上圖所示。

軌道車則取里程差五米左右之軌道橫切面水平差，計算水平差之較差以平面性差稱之，該值應與同位置之設計平面性差進行平面性相較差。



4.6 實際範例

以一無道碴軌道鋪設案例說明；幾何不整檢查作業分三階段進行：一、軌框組立調整完成、二、無道碴軌道澆置完成、三、最終細部調整完成。每一階段均以上述五項檢驗項目為基準，每個過程測量紀錄必須詳實記錄，所得到的成果均需達到施工規範之要求，才能施作下一步驟的工作，今以一檢查實例說明如下：

1. 軌距

說明：1. 誤差 = (實測軌距 - 標準軌距)，單位：mm。

2. 表示：較大的誤差以「+」，較小的誤差以「-」表示。

3. 靜態檢測標準值：0mm -3mm為合格。

軌距量測誤差值表

| 里程 | 實測軌距 (m) | 標準軌距 (m) | 誤差 (mm) | 表示 | 檢驗 |
|-------------|----------|----------|---------|----|----|
| 12K+633.580 | 1.069 | 1.070 | -1 | - | 合格 |
| 12K+643.620 | 1.068 | 1.070 | -2 | - | 合格 |
| 12K+654.568 | 1.067 | 1.069 | -2 | - | 合格 |
| 12K+664.548 | 1.067 | 1.068 | -1 | - | 合格 |

2. 水平

說明：1. 誤差 = (外軌較差 - 內軌較差)，單位：mm。

2. 表示：外軌較高 (誤差為+) 以「+」，較低的誤差以「-」表示。

3. 靜態檢測標準值：2mm為合格。

水平量測較差值表

| 里程 | 內軌較差 (mm) | 外軌較差 (mm) | 水平差 (mm) | 表示 | 檢驗 |
|-------------|-----------|-----------|----------|----|----|
| 12K+108.143 | 0.5 | 0.3 | -0.2 | - | 合格 |
| 12K+112.440 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | - | 合格 |
| 12K+116.189 | 0.8 | 0.0 | -0.8 | - | 合格 |
| 12K+119.959 | 0.5 | -0.3 | -0.8 | - | 合格 |

3. 高低

說明：1. 誤差 = (末端內軌較差 - 前端內軌較差)，單位：mm。

2. 表示：末端較高 (誤差為+) 以「+」，較低的誤差以「-」表示。

3. 靜態檢測標準值：2mm為合格。

4. 抽驗點間距離採10M為原則，採5M為一抽測點，形成對抽點對。



高低量測較差值表

| 里程 | 內軌較差 (mm) | 點間距離 (m) | 高低差 (mm) | 表示 | 檢核 |
|-------------|-----------|----------|----------|----|----|
| 12K+016.264 | 0.1 | | | | |
| 12K+027.610 | -0.3 | 11.350 | -0.4 | - | 合格 |
| 12K+039.971 | 0.7 | 12.360 | 1.0 | + | 合格 |
| 12K+052.438 | 0.1 | 12.470 | -0.6 | - | 合格 |
| 12K+064.309 | 0.1 | 11.870 | 0.0 | | 合格 |

4. 方向

說明：1.誤差=(末端軌道中心偏差 - 前端軌道中心偏差)，單位：mm。

2.表示：向外側(左邊/外側) 偏移以「+」，向內側(右邊/內側) 偏移以「-」表示。

3.靜態檢測標準值：2mm為合格。

4.抽驗點間距離採10M為原則，採5M為一抽測點，形成對抽點對。

方向量測較差值表

| 里程 | 軌道中心較差 (mm) | 距離 (m) | 方向 (mm) | 表示 | 檢核 |
|-------------|-------------|--------|---------|----|----|
| 11K+947.577 | 0.4 | | | | |
| 11K+958.207 | 1.0 | 10.630 | 0.6 | - | 合格 |
| 11K+970.688 | -0.3 | 12.481 | -1.3 | + | 合格 |
| 11K+981.960 | 0.1 | 11.272 | 0.4 | - | 合格 |

5. 平面性

說明：1.誤差=(末端軌道中心偏差 - 前端軌道中心偏差)，單位：mm。

2.表示：向右邊軌道扭曲時以「+」，向左扭曲時以「-」表示。

3.靜態檢測標準值：4mm為合格。

4.抽驗點間距離採5M為原則。

平面性量測較差值表

| 里程 | 水平差 (mm) | 點間距離 (m) | 平面性 (mm) | 表示 | 檢核 |
|-------------|----------|----------|----------|----|----|
| 12K+099.964 | -0.5 | | | | |
| 12K+104.279 | -0.7 | 4.315 | -0.2 | - | 合格 |
| 12K+108.143 | -0.2 | 3.864 | 0.5 | + | 合格 |
| 12K+112.440 | -0.1 | 4.297 | 0.1 | + | 合格 |
| 12K+116.189 | -0.8 | 3.749 | -0.7 | - | 合格 |
| 12K+119.959 | -0.8 | 3.770 | 0.0 | | 合格 |

五、結論

科技發展日新月異，新式測量儀器之出現導致測量方法、模式之轉變。而其結合軌道車之應用更使得現代之軌道測量產生革命性改變，朝向自動化、電腦化、數值化及高精度方向邁進，進而提升施工品質、強化完成之軌道線形幾何結構，朝完美之設計線形驅近，使得火車行駛更為平順、安靜，旅客亦可享受更優質、舒適的火車之旅。

參考文獻

- 1.交通部令頒之鐵路修建養護規則。臺北市，1997/12。
- 2.中華顧問工程司，「臺北市區鐵路地下化東延南港工程 新五堵隧道至北二高車站及永久軌軌道工程施工規範」，臺北市，2004/05。
- 3.沈聰益，軌道工程路工定線測量，臺北縣，2003/07。
- 4.黃培毓，無道碴軌道施工測量實務，臺北市，2004/07。
- 5.黃培毓，無道碴軌道幾何不整檢驗，臺北市，2005.09/12。
- 6.交通部鐵路改建工程局標準作業程序--測量篇，臺北縣，2005/07。
- 7.鄭國雄、張思，軌道工程，大中國圖書，臺北市，2002/03二版。
- 8.交通技術標準規範之1067mm軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範。臺北市，2002/11。
- 9.臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序。臺北市，1997/07。
- 10.交通部鐵路改建工程局標準作業程序—軌道篇，臺北縣，2005.07。
- 11.交通部令頒之鐵路路線測量規則。臺北市，2006/11。



高架車站機電工程之 節能設計

摘要

- 一、前言
 - 二、機電工程之節能設計
 - 三、成果分析及檢討
 - 四、結論
- 參考文獻



機電組工程司 / 董振金
Engineer / Doong, Jenn-Jin

摘要

鐵路運輸的效能在世界工業發展國家中都佔有一席之地，自工業化時代以來，因為交通運輸的革新，不斷增加的人口及人類活動引起全球溫室氣體排放增加，私人運具的大量擴張，亦造成了地球資源的耗損與生態環境的破壞，而氣候的變遷導致地球溫室效應的擴散，人類開始思考減少能源的損耗與降低溫室氣體排放量。因此，為減緩地球暖化的危機，全球方興未艾掀起一連串的綠色環保運動。所謂綠色包含以下特質；1. 降低能源的使用、2. 降低溫室氣體的排放、3. 重複再利用、4. 降低對環境的負擔，如降低有毒物、輻射線等。5. 與自然共存，降低人為干擾。

「節能減碳」目前已是全球性問題，過去十餘年來，臺灣的溫室氣體排放，其成長速率幾是世界之冠，二〇一六年的溫室氣體排放量係一九九〇年時二點四倍，除了颱風、豪雨、乾旱，以及日漸加劇的高溫效應等大地反撲的威脅之外，而產業型態以外銷為導向的臺灣，還將因環境議題面臨國際社會的重大壓力，並有可能在全球的氣候新經濟中慘遭淘汰。行政院奉 總統指示，成立「行政院節能減碳推動會」，以綜整目前各級機關相關節能減碳計畫，結合相關部會規劃我國「國家節能減碳總計畫」，訂定國家節能減碳總目標，加速落實各部門節能減碳策略措施並實踐分年目標，藉由政策全面引導低碳經濟發展，並形塑節能減碳社會。

一、前言

依照行政院公共工程委員會98.12.15工程技字第09800527130號函說明，依行政院經濟建設委員會98年11月24日所召開之「研商立法院針對『振興經濟擴大公共建設投資計畫』未見相關綠色能源經費事宜」會議結論，自99年度開始，綠色能源產品使用經費所佔比例以6%為下限目標，因此，本局特配合政策進行檢討，其中以「臺中都會區鐵路高架捷運化計畫」為例，說明節能設計情形，並提出檢討說明，以達到「振興經濟擴大公共建設投資計畫」工程經費6%為原則。

二、機電工程之節能設計

2.1 照明系統之利用與檢討

1. 車站區部分景觀區、停車場部分的戶外夜間照明，景觀燈因考量綠色能源設計理念，改採LED景觀燈，較一般複金屬燈及高壓鈉燈，壽命長可達3萬 5萬小時，並節省電能及費用，有關各類道路照明燈具效能比較詳如表所示。
2. 消防系統設計出口指示燈、避難方向指示燈、緊急照明燈採LED節能燈具，省電耗電量小、低電量低電流即可啟動，耐用壽命超長更耐用，降低燈源的損耗率及營運維修成本。
3. 月台之列車到站指示燈採LED節能燈具，省電耗電量小，耐用壽命長，亦可降低營運維修成本。
4. 其中花東線鐵路整體服務效能提升計畫瑞穗站LED燈設置：一般室內照明採LED燈、LED緊急照明及LED列車到站警示燈。基隆計畫基隆車站LED燈設置：公共區採LED嵌燈、戶外區採LED路燈、景觀燈、月台區採LED日光燈、LED緊急照明燈及LED列車到站警示燈。臺中計畫各車站LED燈設置：公共區採LED洗牆燈（間接照明）、戶外區採LED路燈、景觀燈、LED緊急照明燈及LED列車到站警示燈。



LED出口指示燈



LED月台列車到站指示燈



LED景觀燈



各類道路照明燈具效能比較

| 項次 | 照明種類 效能比較 | 140W LED路燈 | 400W 高壓水銀燈 | 400W 高壓鈉氣燈 | 400W 高壓 複金屬燈 | 備註 |
|----|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 光源 使用壽命 | 50000 hr | 12000 hr | 12000 hr | 15000 hr | 燈泡使用壽命 |
| 2 | 光源效率 | 55 lm/W | 55 lm/W | 120 lm/W | 95 lm/W | 燈泡全光束與W數 比值 |
| 3 | 驅動電源 效率 | 97% | 89% | 93% | 93% | 驅動器或安定器之 效率 |
| 4 | 燈具效率 | 85% | 50% | 50% | 50% | 光源經過燈具後之 效率 |
| 5 | 燈具 發光效率 | 45.3 lm/W | 24.5 lm/W | 55.8 lm/W | 44.2 lm/W | 項次2 × (項次3 × 項次4) |

2.2 太陽能、風力、沼氣之利用及空調節能與檢討

1. 太陽能之利用（一）：車站屋頂、月台雨棚或建築物外牆採太陽光電系統，發電系統規劃為市電並聯型；其發電用途為供應日間車站部分用電，以減少市電供應需求，但不適用於車站緊急迴路，因夜間、市電停電則無法供電之特性。

其中花東線鐵路整體服務效能提升計畫瑞穗站太陽能設置：採多晶矽、膠合玻璃透光型太陽電池模組，透光型多晶太陽電池模組，總容量：31.68kWp（220W × 144片），建築一體型（BIPV），設置於月台雨棚屋頂。基隆計畫基隆車站太陽能設置：採薄膜型太陽能，建築一體型（BIPV），設置於南、北側出入口屋頂。臺中計畫各車站太陽能設置：採晶矽之建築一體型（BIPV）及PV兩種型式，設置於月台雨棚屋頂。



太陽光電系統



太陽能熱水系統

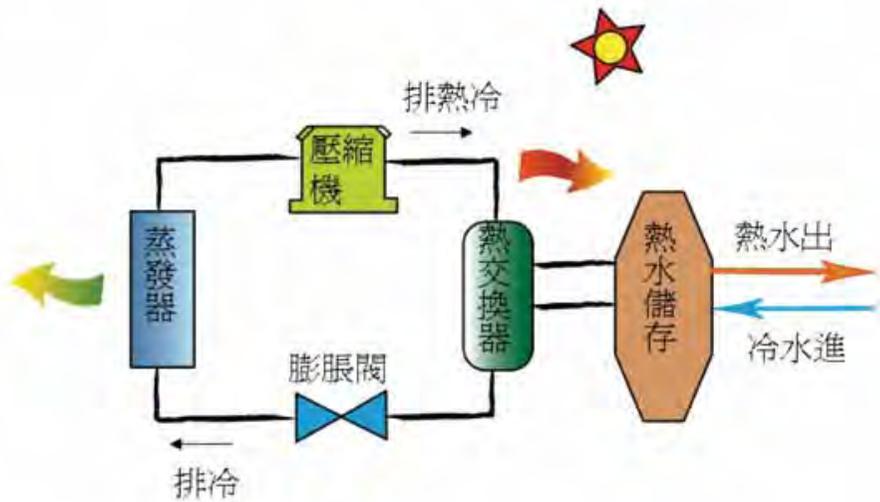
2. 太陽能之利用（二）：太陽能熱水器：臺灣緯度分佈於北緯 22° 25.2° 位置（臺北 25° 、臺中 24° 、臺南 23° ），夏至時太陽直射北迴歸線；冬至時太陽偏南，統計資料顯示機台朝南傾斜角度 20° 25° ，對冬天及全年平均收集太陽能最有利，但因為臺鐵雨棚為由北至南延伸，面向東和西，機台安裝如無建築搭配無法朝南及傾斜角度 20° 25° ，會降低太陽能熱水器效能，在夜間及日照不足情況下使用仍需用電加熱，且需設置於屋頂平台效果較佳，在經檢討臺中車站之造型空間考量並無相關空間位置，則不考慮設置。
3. 風力發電之利用：臺中計畫各車站均位於人口密集之都會區，風場不佳風速及風能受限，不如沿海地區風速及風能較佳，周邊空間不足不利於設置大型風力發電機組，而車站區部份景觀區及停車場部份的夜間照明，使用市電並聯型採太陽能+風力發電複合式照明燈，因考量風力發電機組另有夜間噪音及後續使用單位維護成本的問題，則不考慮設置風力發電機。



風力發電系統

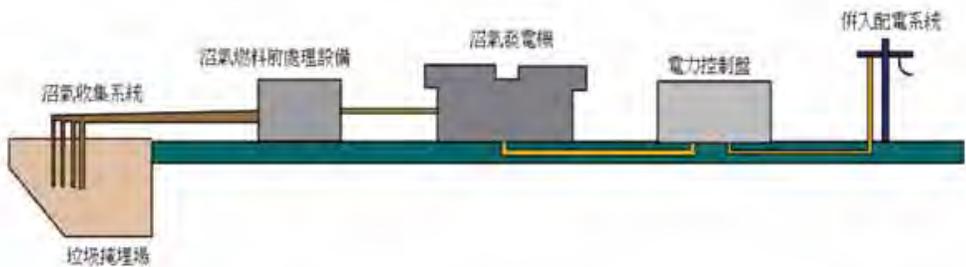


太陽能+風力發電複合式照明燈



熱泵原理

4. 沼氣發電之利用：沼氣的組成是50%的甲烷、50%的二氧化碳及微量的其它有機化合物，是一產自廢棄物的空氣污染物，其主要由垃圾有機物質分解產生或畜牧業之廢棄物及有機廢水及有機工業廢水等，國內可產生沼氣回收發電案例為垃圾掩埋場或養豬業等對環境會產生破壞者，經檢討並不適用於本工程案例。
5. 熱泵節能：車站熱水採熱泵系統供應，由熱泵實際應用案例之測試證實，熱泵若在合理規劃運作下，熱泵加熱性能係數COP都可大於3以上，若能積極取代傳統電力、瓦斯、柴油熱水鍋爐加熱系統，可節省用戶可觀的能源及運轉費用達1/2以上。



沼氣發電系統流程

2.3 綠色能源設置分析比較：

| 設置方式 | (月台雨棚,屋頂設置)太陽能光電系統 | (車站景觀區設置)LED光源之照明燈 | (車站盥洗室設置)太陽能熱水器 | (車站盥洗室設置)熱泵熱水器 | 1.車站設置大型風力發電機組 2.太陽能+風力發電複合式照明燈 | 車站設置沼氣發電系統 |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|--|---|
| 設置類型 | 市電併聯(不含蓄電池) | 市電 | 太陽能+電熱輔助器(電熱管) | 空氣源熱泵 | 1.本工程各車站均位於人口密集之都會區,風場不佳風速及風能受限,不如沿海地區風速及風能較佳,周邊空間不足不利於設置大型風力發電機組。 2.太陽能+風力發電複合式照明燈,風力發電機組另有夜間噪音及後續使用單位維護成本的問題。 | 沼氣之組成為甲烷,國內設置為垃圾掩埋場或養豬場,經檢討本工程不適用沼氣發電系統之條件。 |
| 供電方式 | 白天供電,夜間由市電供電(無法儲能) | 日夜間均可使用 | 日照不足時,自動於設定時間內檢測水溫,自動加熱補足熱水 | 自動加熱補足熱水 | | |
| 設置成本 | 1KW 50萬 | 1支 10萬 | 30萬/儲水量300公升(5人使用) | 500公升(8人使用) | | |
| 總造價成本 | 64,125萬(1,282kw) | 1100萬(110支) | 約60萬(實際金額依配管長度) | 約80萬(實際金額依配管長度) | | |
| 使用平均壽命 | 20年 | 1支 15(年)(燈具) | 15年(集熱板3年保固) | 8年 | | |
| 耗材汰換及維護費用(20年) | 32,062萬 | 275萬 | 12萬(每半年清洗集熱板及水路水垢) | 60萬 | | |
| 機房空間 | 有需求 | 無需求 | 須無遮蔭,日照佳場所 | 通風良好場所 | | |
| 配管配線 | 複雜 | 單純 | 配管配線較長 | 配管配線較長 | | |
| 成本 | 高 | 低 | 較電熱水器高 | 較電熱水器高 | | |
| 維修難易 | 難 | 易 | 較電熱水器難 | 易 | | |
| 停電 | 無法供電 | 無法供電 | 僅能靠太陽能加熱(冬天時熱水溫度低) | 無法供應熱水 | | |
| 設置與否 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 |

註1：太陽能光電系統設置成本1KW 50萬，包含太陽能光電板模組、直流/交流轉換器(PV-INV)、支架及相關機電管線等。

註2：LED光源之複合照明燈1支 10萬，包含燈桿、LED燈具及相關機電管線等。

註3：太陽能熱水器1組 60萬，包含泵、儲水筒及熱水管(保溫)。

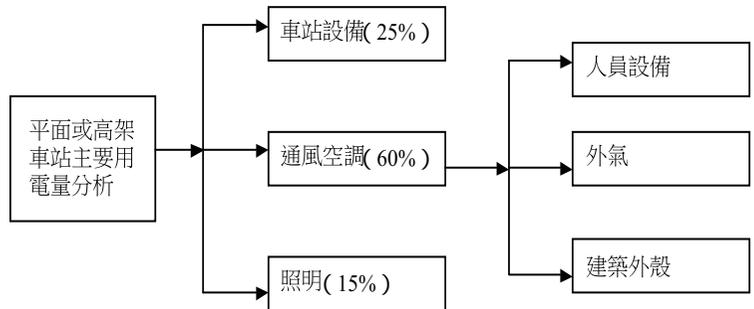
註4：熱泵熱水器1組 80萬，包含熱泵、儲水筒、水泵及熱水管(保溫)。

註5：依99.8.16修正之臺灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點辦理。



而一般平面（或高架）車站主要採傳統建築，各站建築特性不同，部分未能適當規範外殼隔熱及遮陽，加上未考慮利用自然通風及設備老舊性能不佳等相關因素，易造成用電偏高，因而造就出較不

舒適環境或高耗能低效率之既有車站建築。然而，一般平面（或高架）車站與地下場站主要耗電量型態不同，改善策略不盡相同，依其特質改善提升。因此，一般平面（或高架）既有車站建築節能效能提升，以融合車站景觀環境、提高設備節能效率、自然通風及降低建築外殼耗能為主，建造永續經營綠建築，使既有建築物朝向更生態、節能、減廢、健康的方向前進，更有助於鐵路運輸之永續發展及具現代化節能特色之車站。



一般平面（高架）車站耗電量概算百分比

三、成果分析及檢討

臺中都會區鐵路高架捷運化計畫綠色能源會議審議意見：本計畫綠色內涵設置值得肯定，惟6%綠色能源設置不足，依本次會議專家建議，太陽光電、小型風機、LED燈具、太陽能熱水系統等皆有增設空間，請依建議納入設置考量，要求本計畫綠色能源設置以達到「振興經濟擴大公共建設投資計畫」工程經費6%為原則。主辦單位說明本計畫案編列年度特別預算屬「振興經濟擴大公共建設投資計畫」工程經費合計為82.6億元；其中綠色能源工程經費約66,815萬元，綠能佔比約8.09%，符合6%下限原則。

3.1 太陽光電綠能設置

1. 審議意見：建議以併聯型為主，某些緊急用電需求部份，則可依整體緊急用電規劃考量混合型；有關BIPV採用薄膜太陽光電模組，需要再評估其整體效益。主辦單位說明：目前已採市電併聯方式規劃，本計劃在緊急供電系統已依消防法規規劃設計有足夠緊急發電機組容量，因考量避免增加日後營運之蓄電池組維護保養及汰換問題。目前太陽能光板型式是配合建築物特性及採光條件，規劃有晶矽之BIPV及PV兩種型式，而晶矽太陽電池為目前國內主流材料，採購較無困難及日後維護管理可獲充份支援，建議本項暫採晶矽規劃，日後再依國內產業狀況再檢討。
2. 審議意見：可增設空間：隔音牆、邊坡、週邊空地、車站屋頂、行人天橋側邊。主辦單位說明：在考量建築整體造型及避免影響都市景觀，儘可能在多處檢討設有太陽能光電板，若要在邊坡、週邊空地等再另增設光電板，將讓整個都市交通轉運車站變成

太陽能光電發電場所，影響都市景觀及綠地休閒空間之整體規劃，不符合市府及民眾對新車站之期待願景。

3.2 風力發電綠能設置

1. 審議意見：建議列入小型風機之設置，包括可採用與PV結合之風光互補型路燈，各建築主體屋頂亦可設置；另採用垂直軸小型風機，可避開噪音問題。主辦單位說明：因本場址於建築物林立擁擠之都會區，若景觀路燈採小型風機系統，其場址之風場條件並不像空曠地方佳，且噪音將影響進出車站及附近使用其他運具之旅運人潮之不佳感受，建議本項目前暫不考慮；本工程建築型態為車站且場址為都會區之交通轉運點，在屋頂設置小型風機因其發電量不大，但卻對都市景觀及日後維護保養影響甚鉅，除供象徵性意義或示範外，以乎不具太大效益。
2. 審議意見：可增設空間：隔音牆、邊坡、週邊空地、車站屋頂。主辦單位說明：若在邊坡、週邊空地等設置風力發電機，將讓整個都市交通轉運車站變成風力發電場所，影響都市景觀及綠地休閒空間之整體規劃，不符合市府及民眾對新車站之期待願景。

3.3 LED照明綠能設置

1. 審議意見：LED燈具使用於站區照明具節能效益，建議本案建築照明廣泛採用LED為燈源，以替代T5燈具。建議於10個站中選擇1個車站作LED照明示範應用，並整合太陽光電PV系統。主辦單位說明：經濟部在99.11.18僅公布「輕鋼架天花板T-Bar嵌入型發光二極體燈具」CNS標準，各家廠商對於其他型式LED照明燈具並無合適之CNS可遵循且製造標準也不一致。另目前之公共工程室內照明並無大量使用之先例，建議在LED室內照明燈具產品發展尚未真正成熟之前，不宜採用。本案已於景觀工程、消防系統指示燈、避難方向指示燈、列車到站指示燈及列車資訊設備配合使用LED燈具。
2. 審議意見：可增設空間：戶外停車場選用LED路燈，並作智慧控制。主辦單位說明：本工程已在景觀工程、戶外停車場配合選用LED燈具，並有智慧控制。

3.4 太陽能熱水系統綠能設置

1. 審議意見：建議於臺中車站內之商場建築加裝太陽能熱水系統；又所擬裝設之熱泵，可考慮利用臺中車站所附中央空調主機之散熱為熱源，俾發揮本計畫廢熱利用之效益。主辦單位說明：經檢討臺中各計畫目前規劃熱水需求量甚少，僅提供一間值班員工盥洗使用，商場之使用型態目前規劃不需提供熱水需求，且該盥洗室不在空調機房附近，若採用中央空調主機兼熱回收機型，在考慮機組及配管費用，其效益並不適合本工程使用。

四、結論

為期達到低耗能低營運維修成本之車站設計理念，首先採用自然材料作為輔助建材，景觀設計上除必要之人工鋪面外，盡最大可能強化綠化面積，戶外空間運用植草土丘，強化保水與



調節微氣候功能。其次，改善策略以建築手法引入自然「光、風、水、綠」。「光」指車站強化開放式設計，加強自然採光，運用白天晝光規劃照明；「風」係車站採開放式設計，注重自然通風，強化車站室內空氣品質與降低耗能，維持節能及旅客健康舒適；「水」指雨水回收系統作為澆灌主要水源；而「綠」即為篩選基地適生植栽，綠化建築硬體設施。最後，運用節能技術與手法及再生能源選用，諸如：空調、電梯電扶梯、照明等之節能設計，對建築構造物採減量設計，以及選用明亮、色淺及熱吸收率低之建材或雙層斜屋頂，使建築物外牆得以兼顧省能、反射與隔熱之多重目的，降低建築外殼耗能，屋頂設置太陽能熱水器或太陽能光電版。既有車站因受先天基地及本身上的條件限制，雖較難達成與良好設計新設車站建築物之標準，然而，節能減碳設計是因應國際減碳共識與趨勢，車站永續發展及節能減碳的考量納入可行性評估、規劃、設計、施工、維護管等每一個環節，都需要在車站整建或新建工程中納入節能減碳的實質作為。包括：

1. 綠色環境：資源最佳利用、自然採光、自然通風、重力排水、減少原生態衝擊（生態工法）。
2. 綠色工法：低耗能、減少廢棄物、施工自動化、土石方平衡及再利用。
3. 綠色材料：綠建材、綠色環保產品及設備（以國產LED應用產品、太陽光電系統為重點）。

另在節能減碳之設計構想上，依各車站特性條件，強化再生能源之利用，如太陽能與風能等綠色能源就是具有環境效益的再生能源。效能提升車站之設計，需在符合經濟效益的條件下，考量再生能源利用之可行性，例如使用太陽能、風力發電結合LED光源之複合照明燈及太陽能熱水器等。

4.1 本局節約水電費用之具體措施：

1. 省電措施：
 - (1) 通風空調系統：採用高效率主機、泵及風機設備、變頻控制系統、廢熱回收設備。
 - (2) 照明系統：採用LED出口標示燈、LED避難方向指示燈、LED緊急照明燈、螢光燈具及高功率電子安定器，對於控制則採用二線式控制方式。
 - (3) 電梯、電扶梯：採用變頻控制，電扶梯規劃為以旅客感測運轉之方式進行節能措施，電梯則規劃待機節能功能。
2. 節水措施：
 - (1) 衛生器具採用省水及環保標章。
 - (2) 規劃雨水回收再利用。
3. 全部車站均需取得綠建築證書，另符合振興經濟擴大公共建設特別條例者，則需通過綠色能源設計規定。

4.2 四省專案節水省電辦理情形：

車站節能減碳具體措施

| 車站名稱 整體作法 | 基隆車站 (100年 發包) | 潭子車站 (101年發 包) | 臺南車站 (設計中) | 南臺南車站 (設計中) | 備註 | |
|--------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------|------------------------|---|
| 具體措施 | 節能標章 | | | | 燈具採用節能標章產品。 | |
| | 省水標章 | | | | 衛生器具採用省水標章產品。 | |
| | 環保標章 | | | | 燈具及衛生器具皆具環保標章。 | |
| | 綠建築規劃設計 | (銅級) | (合格級) | (合格級) | (合格級) | 應取得綠建築候選證書及綠建築標章。 |
| | 太陽光電系統 | | | x | x | 臺南及南臺南車站不適用振興經濟擴大公共建設特別條例；且為地下車站無適當及足夠面積建置具經濟價值太陽光發電系統。 |
| 省電 | 能源管理監控系統 | | | | | |
| | 消防標示設備採LED | | | | 採用LED光源之出口標示燈及避難方向指示燈。 | |
| | 高效率燈管 | | | | 採用T5及複金屬燈具。 | |
| | 變頻電梯 | | | | 皆設計變頻電梯。 | |
| | 照明空調分區管理 | | | | 照明使用二線式管理；空調依負荷需求分區規劃。 | |
| | 提高冰水出水溫度 | | x(分離式冷氣) | | | 冰水出口溫度由7 提高至9 。 |
| | 加裝隔熱材 | | | | | |
| 空調送風送水變流量 | | x(分離式冷氣) | | | 使用變頻控制。 | |
| 省水 | 省水標章 | | | | 衛生設備皆具省水標章。 | |
| | 雨水回收 | | | | x | 南臺南車站地上建築物僅有出入口1處且上方以後將增建不適合收集雨水。 |
| | 綠建築水資源指標 | | | | | 符合綠建築水資源指標。 |

註：1. 表示規劃設計具有此設備或功能性。
2. x 表示規劃設計不具有此設備或功能性。

參考文獻

- 交通部鐵路改建工程局「臺中都會區鐵路高架捷運化工程」綠色能源檢討說明書，2010年12月。
- 交通部鐵路改建工程局既有車站建築節能改善策略與效益-以「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」為例，2011年8月。