打造高雄新天地—過愛河鐵路隧道圍堰施工

關鍵詞：鐵路地下化工程、圍堰、潛盾工法、風險管理

交通部鐵路改建工程局／南部工程處／處長／彭家德 ❶
交通部鐵路改建工程局／南部工程處／段長／夏恒仁 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／地工部／協理／李順敏 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／地工部／副理／周永川 ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／地工部／副理／陳聰海 ❺

摘 要 ABSTRACT

臺灣過河段之隧道施工常採用圍堰或潛盾工法，圍堰工法具有施工快、經費低的優點，但因需長期縮減河道通水斷面常造成水位壅升等問題；潛盾工法則具施工便利性、對環境衝擊小，惟需考量結構上浮、線形銜接及壁龕擴大空間等問題，致工法研選需針對個案條件與需求審慎評估；高雄鐵路地下化工程需穿越寬約75m愛河河道，因愛河為高雄市區主要之排水河川，不僅河岸兩側人口稠密、鄰房密集且腹地狹小，加以新建之臺鐵隧道與既有愛河鐵路橋相衝突，故如何兼顧施工確保列車正常營運、避免水位壅升造成地區局部淹水及減少河中開挖施工風險等，均為攸關工程成敗之重要課題。本文將以臨時鐵路橋之免開挖基礎施工與過愛河段隧道圍堰河道版施工為例，就阻礙通水、沉陷管控、開挖安全等項目進行風險管理及減災策略說明，以提供各界參考。

壹、前言

高雄市鐵路地下化工程穿越愛河，由於河道兩側人口稠密腹地狹小，使得新建鐵路隧道用地與既有愛河鐵路橋衝突，故需於既有鐵路橋北側先行施作臨時鐵路橋，將列車切換至臨時鐵路橋營運後，方得拆除既有鐵路橋及進行過河段鐵路隧道施工。受限於愛河前後鐵路臨時軌用地取得與維持現有鐵路營運需求等因素，造成臨時鐵路橋緊鄰現有營運中之鐵路橋梁，因此如何確保施工階段鐵路營運安全、符合水利主管機關河中作業要求、提供觀光遊艇與工程維護船通行、不阻礙河道排洪功能及降低環境衝擊等之影響，均須縝密考量。

貳、工程概況

一、工程概述

「高雄計畫」西段工程細部設計技術服務(DL01標)案，本計畫工程範圍為永久軌里程UK400+040 ~ UK405+450之間，即起自高雄市中華一路，南行迄至哈爾濱街附近，其東側與高雄車站路段工程為界，全長約5,410m，詳如圖1所示。本計畫規劃於內惟、美術館、鼓山、三塊厝附近新建四處台鐵捷運化通勤車站。

二、地層及水文

本工程路段主要位於仁愛河流域之沖積層上，地表地層以未固結之粉土質砂及粉土質黏土互層組成，並覆蓋在古亭坑層之灰色砂質泥岩層上，岩盤分布深度由北向南緩降，從中華

圖1 本計畫工程路線

路與翠華路口約在地表下60m，至九如大橋穿越愛河一帶降至地表下75m左右，再由西向東緩慢抬升，至高雄火車站一帶，約在地表下65m左右。未固結之沖積土層於鼓山區地表以黏土層為主，過愛河往西之路段，地表則均為砂層。高雄都會區之沖積土層，除了粉土質砂和粉土質黏土互層之規則性變化外，其分布之層次及厚度並無明顯之土層分層可供地層對比，從地層剖面中常可發現地層尖滅情形。沿線地下水位高，分佈於地表下2~3m，河中段橋墩之常水位(N.W.L)約在EL.0.0m，高水位(H.W.L)則約在EL.1.33m。

三、愛河現況

愛河原名高雄川，發源於高雄縣仁武鄉附近與高雄市北端之半屏山於新庄仔路會合後，形成主流蜿蜒向西南流伸，貫穿高雄市中心精華區後流入高雄港，集水面積約62平方公里，排水路幹線長度約12公里，近年來區內人口高度成長，早與鄰近市鎮結合成新型態之大都會區，沿岸附近藝文建設及觀光遊憩資源相當豐富，景緻浪漫兼具都會型態，為南臺灣著名水域。

參、過愛河段臨時軌工程

受限於愛河前後鄰房密集，臨時軌及永久

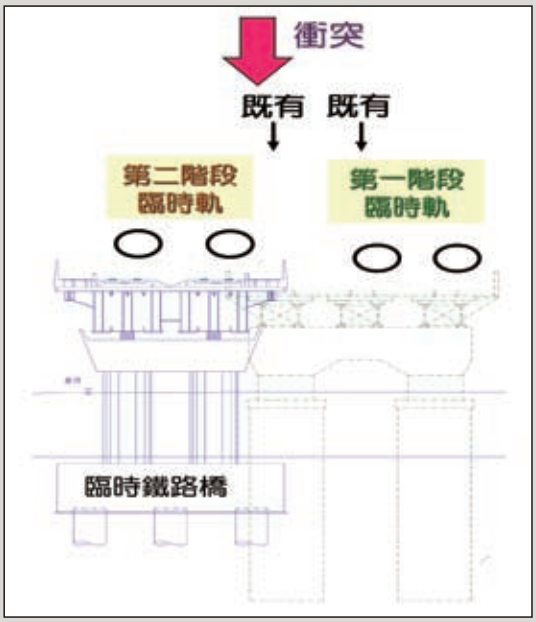


圖 2 過愛河段臨時軌切換規劃

軌用地取得困難，且永久軌範圍與舊鐵路橋範圍部分重疊，故臨時軌需分二階段辦理，以克服用地不足及減少住戶拆遷之問題。原既有鐵路橋存有三股道(東正線、西正線及小運轉線)，於2008年11月西臨港線停駛後，進行小運轉線部分老舊軌道及枕木之替換更新，第一階段臨時軌則利用原既有鐵路橋之西正線及小運轉線，先將西正線切換至小運轉線運轉，再將東正線切換至西正線，待完成既有東正線鋼梁拆除，即進行新設臨時鐵路橋工程。

新設臨時鐵路橋完成後，再辦理由舊鐵路橋切換至新設之臨時鐵路橋之第二階段臨時軌道切換作業，切換完成後，可進行舊鐵路橋拆除及永久軌臺鐵隧道之施工，如圖2。

肆、臨時鐵路橋設計與施工

一、施工風險與工法評估

過愛河段之臨時鐵路橋及臺鐵隧道施工，均存有高度風險。於臨時鐵路橋部分，由於鄰

近既有鐵路施工，除機具不能侵入鐵路行車淨空、需與電車線保持安全距離，以確保火車行車與施工機具人員安全外，因河中鐵路橋基樁施工緊鄰舊鐵路橋，舊鐵橋之沉箱式基礎淺(直徑4m深度12m)，甚易因施工過程中土層的擾動，而造成舊基礎沉陷或橋墩傾斜而導致軌道變形，影響行車安全。

傳統河中施工採圍堰工法施築橋墩基樁及樁帽，常因縮減河川通水斷面、阻礙水流導致河水位抬升，甚而造成區域淹水問題。愛河坡度平緩，加以本工址鄰近出海口，屬感潮型河段，過往於汛期常有水位滿堤甚至淹水情況發生，故避免淹水風險、減少民怨及對舊鐵橋之影響為設計階段工法選擇時重要考量，經檢討後決定採全套管基樁配合樁柱式橋墩基礎(如表1)之免橋墩基礎開挖方式，可有效降低河中施工風險並確保舊鐵路橋營運安全。

二、臨時鐵路橋設計

臨時鐵路橋梁底部高程須高於既有鐵路橋橋墩帽梁頂，礙於路線縱坡限制，橋梁結構體高度須限制於1.85m以下，針對各階段之施工條件檢討，上部結構之橋梁配置採於河中設2座橋墩之3跨連續鋼箱型梁R.C橋面版橋進行設計，橋梁長度約81m(跨度為25m+28m+28m=81m，見圖3)，橋寬為10.5m。

既有鐵路橋橋墩因與新設臨時鐵路橋橋墩距離甚近，既有鐵路橋橋墩之沉箱基礎貫入河床深度僅約8m，為避免既有橋墩因新設橋墩施工時遭受擾動而發生變位，新設臨時鐵路橋橋墩採用3支2.5m直徑之全套管基樁施工，將全套管基樁上部增加鋼套管包覆並向上延伸至梁下之帽梁以作為橋墩柱(見圖4)，此型式橋墩無須施築基礎版，可避免河中開挖，對既有鐵路橋

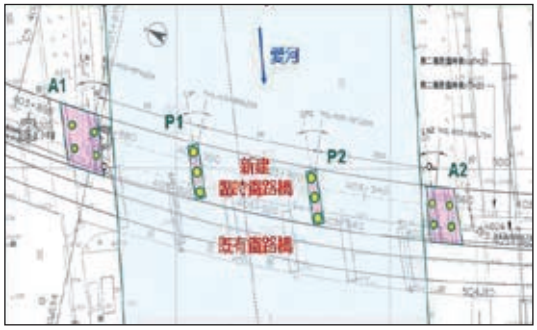


圖3 臨時鐵路橋平面圖

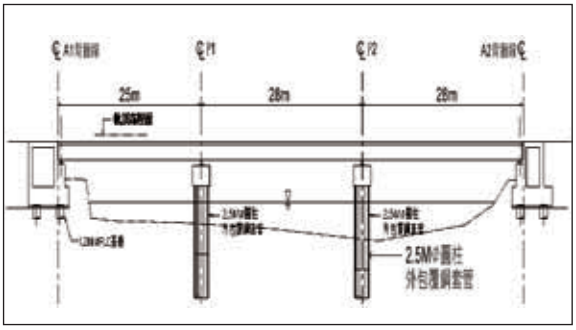


圖4 臨時鐵路橋立面圖

表1 橋墩採圍堰與樁柱式基礎施工法比較

工法名稱	圍堰工法	樁柱式基礎工法
工法說明	・先於河中構築圍堰，再於圍堰上施作橋墩基礎、開挖施築樁帽與橋墩	・於河中構築便橋及構台，再於構台上施作橋墩基礎
橋墩施作方式	・圍堰內進行擋土開挖，再施築樁帽與橋墩	・增加外套管，將橋墩直接坐落於基樁上，形成樁柱式基礎
工程特性	・與陸上施工相近，施工技術嫻熟 ・河中圍堰阻礙通水斷面，淹水風險較高 ・圍堰施工須主管機關同意	・機具於構台上施工，動線要謹慎規劃 ・全套管工法施作基樁及橋墩，施工擾動小
舊鐵路橋影響	・圍堰緊鄰舊鐵路橋，施工困難度高 ・圍堰荷重及橋墩基礎開挖易造成舊鐵路橋沉箱基礎沉陷及傾斜	・構台基礎深，施工機具載重不影響舊鐵路橋基礎 ・全套管工法施作基樁及橋墩，對沉箱基礎擾動小

橋墩影響可降至最低，並確保施工中鐵路營運之安全。因橋墩施工係直接於河面之施工構台施作，無須施作圍堰，對水利防洪影響最小，亦可縮短工期，節省假設工程費用。

三、臨時鐵路橋施工

臨時鐵路橋緊鄰舊鐵路橋施工，其下部結構因位於河中，規劃於施工構台上施工。施工便橋及構台基礎採壓入工法將H型鋼樁貫入承載良好之地層，可降低施工機具及施工擾動對舊鐵橋基礎造成不良影響。

臨時鐵路橋橋墩基礎為直徑2.5m深度50m基樁，考量緊鄰之舊鐵路橋仍有列車營運，為減少大口徑基樁施工對地層之擾動，降低對沉箱基礎影響，採用全套管工法施工。

為確保臨時鐵路橋施工過程中(如圖5)，舊鐵路橋安全，舊鐵路橋規劃裝設自動監測系統，並定期巡檢施工管控。

四、臨時鐵路橋基礎施工之影響研判

施工前於舊鐵橋橋墩與鋼梁佈設之監測儀器，包括有傾斜計、鋼梁上佈設連續軌道傾斜儀(瞭解鋼梁變形)、軌道沉陷點等，以追蹤管控施工對舊鐵路橋之影響。

初期於河中設置臨時施工鋼便橋，作為施工機具與材料進出動線，施工中由監測瞭解於H型鋼支柱打設時，會擠壓河中軟弱土層並於河床出現明顯之漏斗狀沉陷，尤其當打設靠近舊鐵橋橋墩區域時，橋墩上之監測儀器顯現有擠壓傾斜之現象；另在橋墩柱施作完成後要拔除

(1)便橋及構台打設　(2)全套管基樁施工

(3)鋼梁吊放　(4)鐵路橋完工

圖5 臨時鐵路橋施工

便橋之鋼支柱時，發現安裝於舊墩柱上之傾斜儀有較明顯傾斜變化，據此，乃決定將鄰近舊橋墩鋼構支柱不移除，而採切除後壓入河床下方式處理，以免影響舊橋墩安全。

彙總樁柱式基礎與橋梁施工期間之監測數據及研判結果如下：

(一) 由連續軌道傾斜儀量得之傾角變化，可推估舊鐵橋鋼梁每2m之變形趨勢(圖6)，顯示P5橋墩附近軌道沉陷較大約達23mm。

(二) 由佈設於軌枕上之沉陷觀測點，主要位於P2~P5橋墩間，所量得之軌道變形趨勢(圖7)與鋼梁上之連續軌道傾斜儀量測所得結果吻合，最大變位在P5橋墩附近約有22mm。

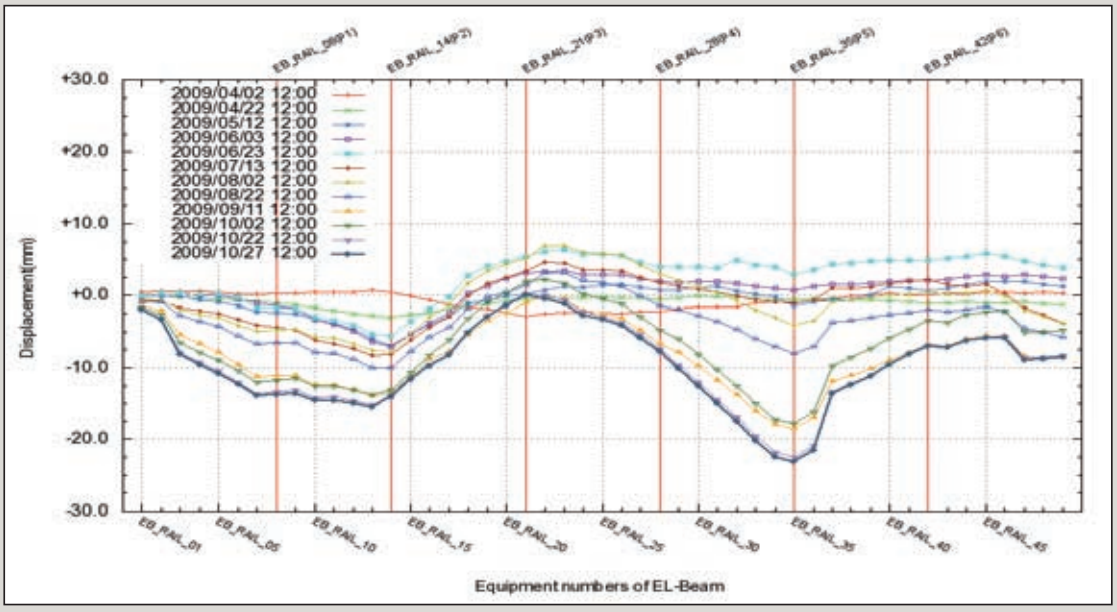


圖6 軌道傾斜儀量測鐵橋鋼梁變形量曲線

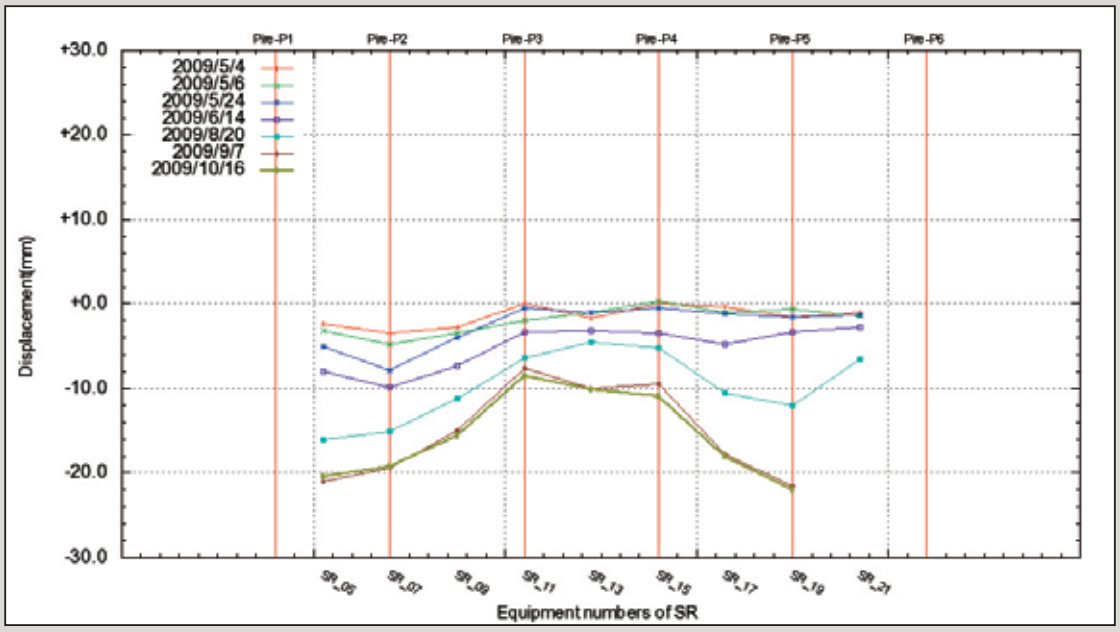


圖7 舊鐵橋鋼軌沉陷點變形曲線

綜整上述結果，由於新橋橋墩距舊橋墩甚近(僅約4.7~6.3m)，河床中土層對施工擾動與震動影響敏感，透過監測掌控適時調整施工進尺與水壓，使得施工對舊橋墩所造成之沉陷影響，大致還能控制在管理值內。至於P5橋墩附近軌道沉陷雖達23mm，經檢視軌道現況(舊鐵橋為木枕軌道)，軌道每公尺之差異沉陷量最大約8mm。雖然無立即危險，但仍以檢修固定鬆動道釘與木枕墊片，調整軌面高程之方式處理，以確保鐵路行車安全(圖8)。

伍、過愛河段臺鐵隧道設計與施工

一、施工風險與工法評估

過愛河段臺鐵隧道目前正施工中(迄至102.7已完成二階段圍堰)，所採圍堰工法為傳統常採用之過河段開挖方式，具施工快、經費低的優點，但因圍堰工法將縮減河道通水斷面，較不利於狹窄河道施工，加以2006年6月12日愛河與鼓山運河交界處曾發生淹水情況，圍堰分區及其對水流影響需詳予檢討。細設階段依據工址現況、愛河水文資料及周遭環境，檢討並彙整各種可能施工法之優劣點及相關課題如表2，經綜合評估，圍堰工法及潛盾工法同屬較佳方案，惟圍堰工法須經地方水利主管機關同意；潛盾工法於費用及技術性上雖較佳，但須將施作範圍延伸為鼓山站至三塊厝站路段全線採用。經綜合考量施工期程、淨空、禁限建法規尚未頒訂、與高雄站軌道高程配合未定及高雄計畫延伸至左營等因素，過愛河段採圍堰工法設計施工。

圖8 臨時鐵路橋完工現況

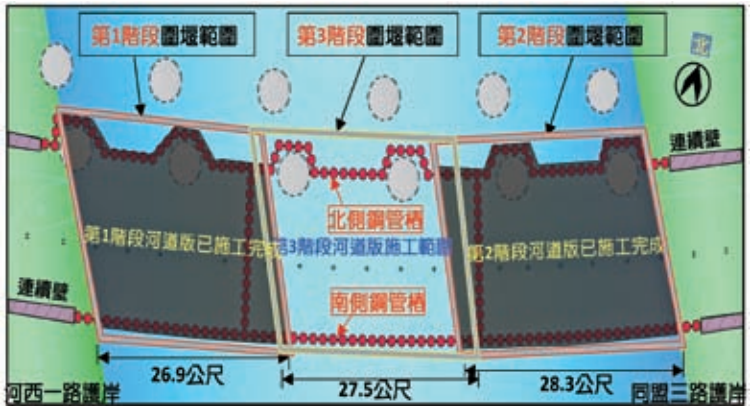
為縮短圍堰阻水期程，圍堰內僅先施作河道版，再從河西一路或同盟三路隧道開挖區進行河道版下方之開挖工作，並進行後續臺鐵隧道結構施築作業。施工階段經與水利主管機關協調，獲同意於非汛期採三階段圍堰分式施工，圍堰施工方式與斷面如圖9。

二、水理分析

圍堰工法之施工(包括雙層鋼板樁、地盤改良、河道版等)，僅限於每年之非汛期間(每年11月~次年4月)分階段施作，經以Surface-water Modeling System (SMS)version 8.0二維水流模式，採用5年頻率流量進行水理分析，本工程三階段圍堰河道版施工，以第三階段圍堰施工影響較顯著，分析結果顯示臨時鐵路橋斷面之平均水位壅高約13cm，圍堰附近之平均水位壅高約16cm，局部最大壅高約25cm，滿足經濟部水利署「跨河建造物設置審核要點」第七點規定：「二維水理演算分析結果，其墩前壅高不得超過該河段出水高之百分之二十六」規定；鐵路地下化完工後，因既有鐵路橋已拆除，河中僅保留臨時鐵路橋兩座橋墩，大量降低阻水

表2 過河段施工法比較[1]

工法	工法示意圖	評估內容	工程費（億元）	工期（月）	評比
圍堰工法		・阻礙通水斷面，河中施工需經主管機關核准 ・可利用鋼管排樁抵抗結構之上浮力 ・設置固床工以保護隧道結構 ・施工法較簡單 ・鋼管樁施工快	2.72	47	佳
潛盾工法		・需配合調整軌道線形及縱坡，並對既有鐵路橋進行保護補強 ・愛河沿岸既有版樁護岸需預先拔昇處理 ・愛河段覆土不足，需進行地盤改良處理 ・完全不阻礙通水斷面，無需新建臨時軌鐵路橋，可保留既有鐵路橋及鄰屋 ・臺灣大斷面潛盾施工經驗尚少，需設聯絡通道銜接緊急出入口，建議延伸到鼓山站至三塊厝站路段全線採用。	2.19	39	佳
推管工法		・需擴大隧道結構斷面、管冪施作範圍，以因應過河段之曲線段施工 ・於水平鋼管內灌注混凝土，可抵抗結構上浮力 ・設置固床工以保護隧道結構 ・管冪鋼管精度控制困難，止水要求困難	4.47	48	次佳
沉埋管工法		・預鑄沉埋箱涵可利用綠廊設置預鑄廠或乾船塢；也可利用鐵道載運 ・為確保隧道結構之止水性，需先沉埋臨時箱涵，再於內部施作永久箱涵 ・需設置固床工以保護隧道結構 ・河道水深不足、臺灣施工實績少	2.48	40	不適宜



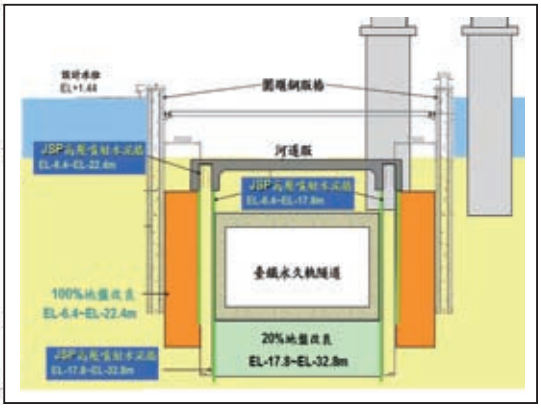


圖9 三階段圍堰平面與斷面圖

面積，經採重現期10年洪水量作為模擬分析條件，在臨時鐵路橋橋墩附近，其水位較現況水位尚降低約6cm。[2]

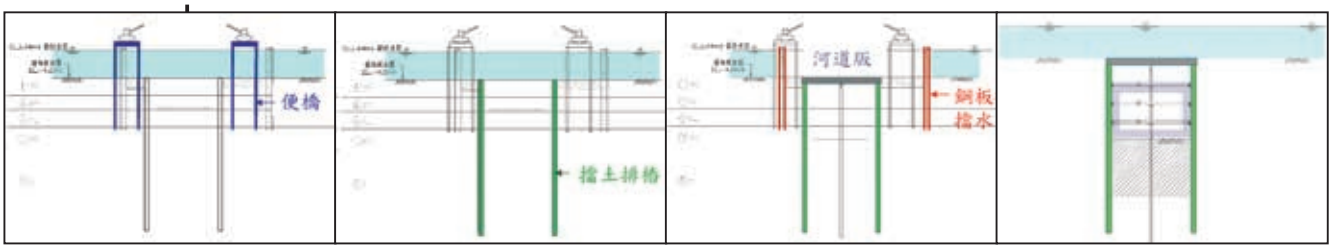
另配合愛河溯航計畫之鐵路橋下淨空檢討結果，觀光船行船淨高需求(2.2m)+施工中局部最高壅水(0.25m)＜設計淨高(3.42m)，尚符合溯航計畫淨高需求。

三、圍堰施工與開挖支撐檢討

施工前主辦機關再與水利主管機關協商，獲同意採三階段圍堰方式施工。

河中圍堰開挖除須滿足深開挖之安全性外，如何降低圍堰施工對愛河影響為考量重點，本工程採取措施如下：(1)三階段圍堰：為減少圍堰施工對愛河通水斷面的影響，經評估利用非汛期採三階段分期施工，可大幅降低河中施工風險；(2)設置河道版：為縮短河中作業期程，圍堰於河道版施築完成即予拆除，二層鋼版樁間回填黏性材料，配合內支撐系統，減少河道版開挖過程中鋼版樁之變位，確保擋土壁止水性；(3)半逆打方式施築隧道結構：河道版施築完成後，再從河西一路或同盟三路進行河道版下方之開挖施工，以半逆打方式進行臺鐵隧道施築作業。經綜整過愛河段隧道之施工步驟及程序說明如圖10所示。

本工程於2011年11月至2012年4月施作第一階段圍堰及河道版，2012年11月至2013年4月施作第二階段圍堰及河道版，均已順利完工，施工過程如圖11。2012年11月開始進行第一階段河道版下方隧道開挖作業，目前正進行



(1)既有愛河鐵路橋拆除　(2)擋土排樁工程　(3)圍堰及河道版工程　(4)河道版下方臺鐵隧道工程

圖10 過河段臺鐵隧道施工步驟示意圖

(1)圍堰鋼板樁　(2)河道版開挖　(3)河道版鋼筋綁紮　(4)河道版完成

圖11 過河段河道版施工

(1)河道版　(2)隧道開挖支撐(一)　(3)隧道開挖支撐(二)　(4)隧道底版鋼筋綁紮

圖12 過河段河道版下開挖支撐

底版施築如圖12。

四、減災策略與施工中應變處理

過愛河段臺鐵隧道受限於有限寬度之河道中進行施工，擋土開挖作業需佔用河道寬度，故僅能於非汛期施作，汛期河道不能進行任何施工作業，因此過河段施工期程控管為完成本工程之關鍵。為降低汛期對本工程工期影響，先以分階段圍堰明挖方式，利用非汛期於隧道上方施作河道版，河道版將與鋼管排樁互相連結，作為隧道開挖時擋土防護設施，待河道版完成後，由陸地側之明挖段分層往河道下方開挖、架設擋土支撐及構築隧道結構，此階段因屬於河床下隧道開挖作業，擋土鋼管樁與支撐變形之控制，地下水之排除與防漏是主要重點。

參考既往案例之失效模式與效應分析FEMA作法，經由各種可能風險因子、嚴重度與風險指數評析，找出優先矯正順位、探究失效偵測措施之合宜性以解決問題。針對風險優先指數高而應列為加強管控項目，查核重點包括：圍堰主體、圍堰阻礙通水、河中隧道開挖等作業因子，必須於設計及施工階段，研擬妥善對策並加強品質管理，以確保河中施工安全。

細設階段針對本工程過河段圍堰施工之特性，諸如：隧道開挖階段湧水、湧砂、築島圍堰導致愛河滿溢、工址淹水波及鄰近工區、深開挖引致支撐破壞等情況，研擬減災策略及配合作業如表3所示，並將高風險施工項目納入災害登記冊，以期降低工程風險、確保施工安全。

河中圍堰工程係屬施工技術層次與風險較

表3 本工程減災策略及配合作業[3]

問題點	肇因	減災策略	配合作業
圍堰導致愛河滿溢	河中圍堰縮減通水斷面，影響水流	・河水位監測 ・平台船施工 ・三階段圍堰 ・河中作業於非汛期施工	・採自動監測系統掌握河面水位 ・以平台船替代施工便道，不阻礙水流 ・三階段施作軌道板，縮短河中圍堰期程 ・經水理分析三階段圍堰水位壅升符合規定
擋土壁體坍孔	擋土壁體選擇不當或施工不慎	・雙層鋼板樁圍堰 ・鋼管樁替代連續壁、排樁	・圍堰擋土採雙層鋼板樁配合內填黏土材料，確保安全性及止水性 ・永久隧道採植入式鋼管樁替代連續壁、排樁擋土，避免軟弱地層中擋土壁開挖時坍孔
隧道開挖階段湧水、湧砂	擋土壁體包泥或不連續，導致壁體水密性不良	・鋼管樁替代排樁 ・增設止水樁 ・預留灌漿管	・採公母續接方式之鋼管樁替代排樁，確保樁體連續性 ・樁間施作止水樁，確保壁體止水性 ・預留灌漿管以利漏水時可立即進行止水補灌
全線開挖工區淹水	過河段如發生湧水意外，將波及鄰近開挖工區	・封牆連續壁 ・土堤	・過河段兩端施作封牆連續壁或預留土堤阻隔水流，侷限淹水範圍
永久隧道開挖破壞	河水壅升導致水壓增加、支撐系統破壞	・地盤改良 ・半逆打工法 ・監測系統 ・緊急應變措施	・開挖面下進行地盤改良，增加被動區土壤穩定性 ・採半逆打工法施工，增加擋土開挖之安全性 ・佈設完整監測系統，確實掌握工地現況 ・自動化河面水位監測系統

高之土建工程，工程執行中需謹慎審視各階段之潛在工程課題，以進行災害防制與因應改善對策。鐵路改建工程之施工技術規範「第02261章 圍堰」[4]中，規定於圍堰工程施工期間，須執行工程審驗與施工查核作業，以達成有效控制施工品質之目的。相關圍堰施工查核作業建議項目及內容，經整理如表4所示。

圍堰工程之施作應依水利法及河川管理規則之相關規定辦理，在不違反水利法規以及河防安全下，河底疏浚以排放至河床凹洞為原則，依施工之時機及目的可區分為：

(一) 配合圍堰填築維持河道行水斷面之疏浚：包括圍堰填築之行水斷面疏浚工作，以排放至導流區內以利河水流通順暢。

(二) 迴淤清除疏浚：包括河中主體結構築造期間，已疏浚完成河道行水斷面平時之維護或暴雨、颱風過後迴淤之再疏浚。

(三) 圍堰之移除疏浚：包含河中主體結構完成後，圍堰移除及疏浚工作。

五、圍堰施工之影響研判

因新設之臨時鐵路橋橋墩基礎為3支直徑2.5m之全套管基樁，深度達50m，已貫入承載良好之地層。圍堰施工之影響尚小，惟橋墩仍位於施工影響範圍內，列車撥軌後改至臨時鐵路橋營運，故仍須將其列為主要之監測對象。

圍堰施工前於臨時鐵路橋橋墩與橋面版佈設有傾斜計、反光稜鏡、軌道沉陷點、軌道車等監測儀器，此外，於河岸設置自動化河面水位監測系統，以隨時掌握愛河水位狀況。依監測成果顯示(圖13)，圍堰河道版施工期間臨時鐵路橋橋墩最大傾斜量僅28秒，發生在圍堰鋼板樁打設時，最大軌道沉陷量約2mm；河道版下方臺鐵隧道開挖期間傾斜量幾無變化，最大軌道沉陷量約1 mm。顯示圍堰開挖對深基礎臨時鐵路橋影響小，顯現本工程於河中段原設計規劃所採用之半逆打工法施工，確實能有效降低對臨時鐵路橋影響。

表4 圍堰施工查核重點

查核階段	查核項目及內容
行政程序	・施工前提送書面說明，報請主管機關核准後方得開工 ・開工前應會同業主、水利主管機關等單位至現場會勘，並將開工日期報請主管機關備查
機具材料運送	・施工材料以隨到隨用為原則，存量以三日內所需用量為限 ・工作場所均設在河川堤防以外
圍堰作業	・隨時做好保護工作，以防止施工中之沖刷 ・施工中需遵守相關環保及水利法規，以維護環境及河防安全 ・妥善規劃防洪應變計畫，隨時注意氣象及河水位變化
擋土開挖作業	・臨時棧橋不得阻礙水流 ・相鄰鋼管樁應確實密接 ・樁間地盤改良灌漿，確保壁體止水性 ・即挖即撐，減少壁體變位
安全措施	・緊急時能迅速警告人員退避之緊急信號 ・岸上、水上聯合作業時之通訊設備 ・水中作業時應有安全索及信號索

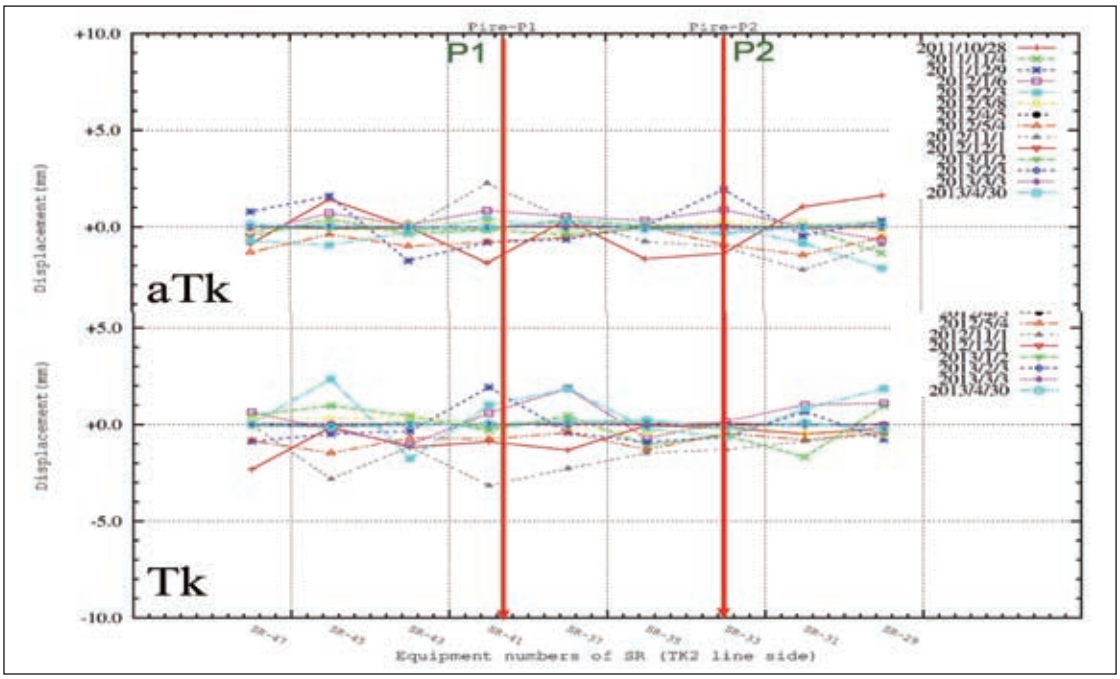


圖13 臨時鐵路橋鋼軌沉陷點變形曲線

陸、結語

臨時鐵路橋施築階段，因採樁柱式橋墩，免除圍堰開挖橋墩基礎，而於軟弱河床中採用全套管施工，其對土層擾動小，由實際量得監測數據顯示，施工期間原舊鐵路橋橋墩傾斜量，於鋼橋吊裝與橋面施工期間變化加大，於P5橋墩柱變化顯著，其餘則尚能保持在施工管控範圍內。由此顯見，以全套管配合墩柱外包覆鋼套管方式施作橋墩柱，確實達到縮短河中施作橋墩柱之時間，並且將對土層擾動控制在較小範圍內，減輕施工對鄰近結構影響。

過愛河段臺鐵隧道採三階段圍堰工法並利用非汛期間施工，工程配合採用鋼管樁擋土並增設止水樁規劃圍堰、施作河道版等措施，可提高擋土壁體止水性、減少施工阻礙通水斷面，並避免施工時發生開挖區湧水、河水滿溢等風險，目前已完成兩階段圍堰及河道板施工，第一塊河道板下方已採半逆打方式開挖並施築底板完成。提供本過河段工程施工之評估過程、沉陷管控與防止河水滲漏等減災策略，以為各界參考。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2008），「高雄計畫西段工程細部設計技術服務(DL01標)-大地工程設計報告」。

2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2008），「高雄計畫西段工程細部設計技術服務(DL01標)- 價值工程研析報告書」。

3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2008），「高雄計畫西段工程細部設計技術服務(DL01標)- 水理分析報告」。

4. 世久營造探勘工程股份有限公司（2011），「CL114標過愛河段圍堰施工計畫書」。

5. 世久營造探勘工程股份有限公司（2012），「鐵路地下化愛河三階段圍堰之河道水理模擬分析」。