深開挖隧道工程受橫交道路、管線影響之施工法探析

關鍵詞：鐵路地下化、明挖覆蓋、連續壁

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／業務經理／陳志鴻 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／副理／江明珊 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／工務所主任／廖敏松 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／計畫工程師／簡城宗 ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／正工程師／王玉璋 ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄辦事處／工程師／陳慶華 ❻

摘 要 ABSTRACT

為消弭都市發展差異縫合都市節理，及提供更為舒適美化之環境，高雄鐵路地下化工程自2009年，分高雄、左營、鳳山三個計畫推動，採明挖覆蓋工法將原縱貫高雄市區之鐵路改至地下。於明挖覆蓋工法施工時，會遇到原有橫交鐵路之平交道、維生管線、及高架橋梁等既有設施，如何在不影響原使用功能，並讓工程順利施工，由設計及施工團隊研採特殊之施工對策，本文將就此進行介紹說明。

壹、前言

高雄市區鐵路地下化計畫為臺鐵捷運化暨立體化改建計畫，實際上執行分為高雄計畫、左營計畫以及鳳山計畫，可消除7處平交道及16處立體交叉路口，也可消除鐵路沿線兩側地區發展之阻礙，改善鐵路行車所產生之噪音、振動等環境公害問題，提升都市土地利用及經濟活動力。本計畫範圍北起高雄市左營區新左營車站，南達高雄市鳳山區大智陸橋，施工路段總長度約15.37公里，總經費715.82億元，本計畫已於2009年6月26日動工興建，預定2017年底達成地下化通車目標，計畫範圍詳圖1。

鐵路地下化工程之興建，除維持既有鐵路之營運，施工過程需將對市民生活品質影響降至最低，以免招致民怨反彈，因此如現有橫交鐵路之平交道、既有橫跨鐵路之高架橋、穿越鐵路之地下道，暨自來水、汙水、電力等大型無法採臨時遷移處理之重要民生維生管線等，如何在不影響原使用功能狀況下順利施工，實為市區鐵路地下化工程施作一大挑戰。一般而論，對於上述施工問題，規設階段常見處理方式如下：

圖1 高雄鐵路地下化全區範圍圖

一、重要民生管線：地下化施工過程對於橫交牴觸管線，原則均與管線單位協調採臨時遷移方式辦理，但對於部分重要管線，因影響民眾範圍廣泛且遷移耗時，則採連續壁特殊單元方式施做，於開挖時採吊掛保護。

二、既有橫越鐵路之高架橋或地下道設施：為穿越既有橋梁進行地下化隧道作業，對於既有橋梁基礎常採托底補強或採用管冪工法進行施工，而在橋面投影面積下方之連續壁作業，因受高度限制(視橋面高度不等)則採用限高型機具搭配降挖方式施作。

三、現有平交道：為不影響既有交通車流，原則採用半半改道分階段施工辦理。

本文就高雄市區鐵路地下化計畫執行過程，彙整施工遭遇案例，謹提供爾後遭遇類似狀況之參考，相關內容說明如后。

貳、重要民生管線牴觸因應－連續壁特殊單元施工

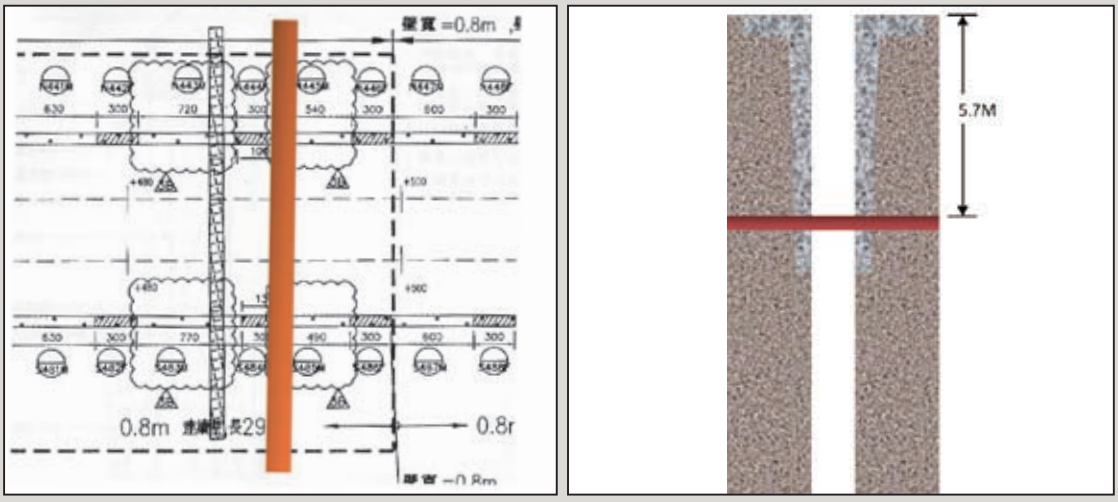
目前公共工程在既有道路上施工常需面臨既設管線群之障礙，常見處理方式是進行管線遷移。但依公共工程委員會統計資料所作之報告指出，管線遷移是繼用地取得外造成公共工程延誤之第二大主因。為確保工程不致因管線遷移延宕而影響工進，如何運用擋土壁特殊之施作方式以減少管線遷移(特別是耗時且難以遷移之重要民生管線)，宜在規劃設計階段預作考量，以免影響工進。

連續壁特殊單元與一般型不同之處，主要為導溝施作型式不同，因需處理既有管線保護，故一般大多採鋼板樁等擋土措施施作深導溝，原則施作導溝深度約需於管線下1公尺，另配合管線埋設深度，其連續壁單元分割及鋼筋籠設置型式亦有所不同，以下將以高雄鐵路地下化兩案例進行對照說明。

一、背景說明

(一) 鳳山計畫臺鐵隧道UK410＋485：本里程有一Φ800mm RCP污水幹管橫越工區，深度位於地面下GL＝-5.7公尺，採推進工法完成(詳圖2)，因污水納排影響範圍廣，遷移難度甚高，故採連續壁特殊單元施工方式，完成後始可進行後續隧道開挖作業。

(二) 左營計畫臺鐵隧道UK399＋576：本



平面圖　　縱斷面圖

圖 2 污水管線分布圖

里程與華榮路下方之高雄市水利局轄管口徑ψ1650mm RCP污水幹管(外徑2m)橫交，該污水幹管係以推管施作，屬鐵路西側集污區排向東側市區之幹管，埋深達8～10公尺，位置詳圖３。

二、深導溝施作方式

為避免壁體崩落，連續壁導溝需施作至管線下方，配合管線深度及地質條件等問題，現場採用的施作方式說明如下。

(一) 以鋼板樁施作深導溝位於地下5～6公尺之污水管，地質條件為粉土質黏土，地下水位於地表下4公尺，深導溝之擋土措施係採打設鋼板樁及架設擋土型鋼支撐(詳圖４)，為避免開挖過程中有地下水滲入及外側沉陷疑慮，另於鋼板樁外側施作§400mm之CCP地改樁(詳圖５)進行止水補強。於開挖至管線接近深度，則以人工進行清理管線周邊餘土，並預製補強鋼製環片予以包覆補強。接續進行深導溝開挖、管線保護、深導溝牆施作。

其中深導溝牆深約7公尺，分三階段進行昇層澆置混凝土，並設置無筋地中壁，每昇層完成拆模後輔以木樁即進行部分回填砂，以減少外側發生沉陷。並預留鋼線由導溝頂繞至管底，以作為連續壁施工鋼筋籠吊放。

(二) 以連續壁施作深導溝位於華榮路下方之口徑ψ1650mm RCP污水幹管(外徑2m)橫交，於施工前辦理地電阻探測該管之位置，確認其深度約地下8-10公尺深處(詳圖６)。該處地表下5～20公尺主要以未固結之粉土質砂為主，地下水位分布在地表下2～3公尺。經評估在此高地下水位及砂層地質之工址

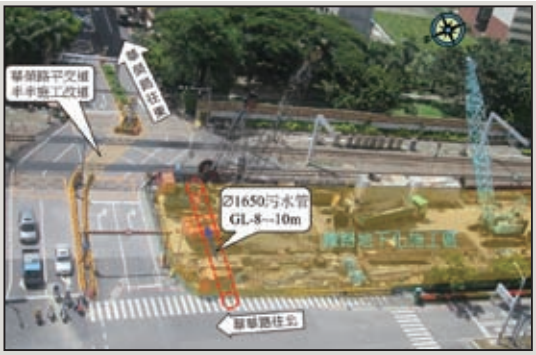


圖３ 華榮路ψ1650mm污水管位置

圖４ 擋土牆施打段

圖５ 地改樁施作

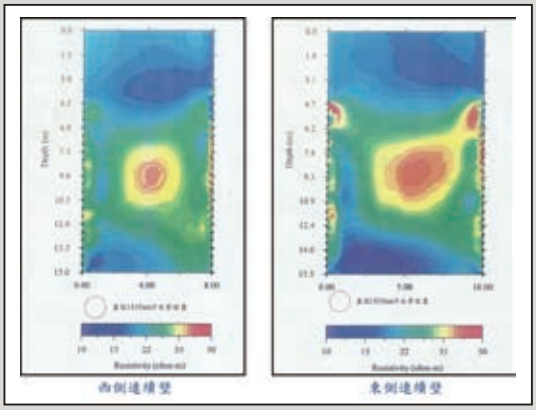


圖６ 地下污水管地電阻探查成果

條件下，倘採用擋土樁配合內支撐降挖，輔以地質改良及點井降水，逐層施築厚50公分、深超過10公尺及內淨寬1.05公尺之內外深導溝壁，施工時程較久、風險較高；兼此處位於半半施工交維之華榮路口，亦有交維限期完成之時程壓力。爰檢討以壁式深導溝(或稱壁式導牆)施作，即內外深導溝壁均以連續壁施築，除可縮短工進外，亦可將槽溝保護深入污水管下，提高主連續壁施工安全。

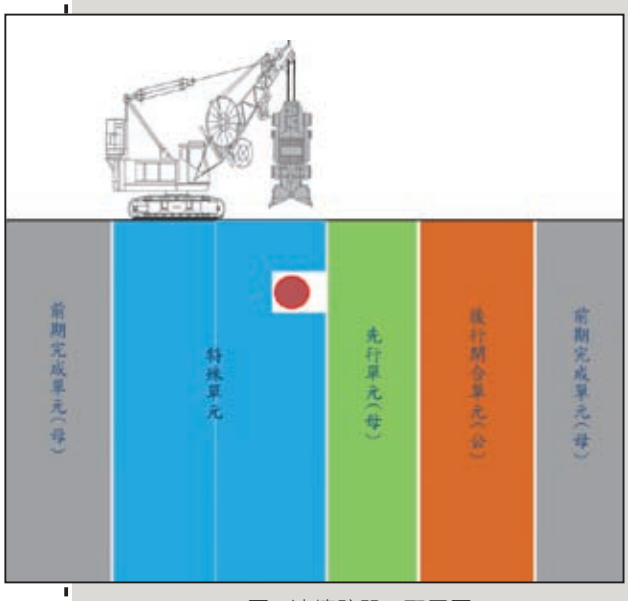


圖7 連續壁單元配置圖

三、連續壁特殊單元施作

(一) 壁體挖掘：連續壁挖掘機具為垂直上下，期間不能有障礙物阻擋，遇到管線時即採取特殊型連續壁抓斗進行抓掘管下土方。另為配合鋼筋籠吊放需要牽引移動需依工法作業空間調整開挖長度，較一般型連續壁寬(4～6公尺)。

(二) 鋼筋籠吊放：鋼筋籠吊放為克服吊入管下的問題都採鋼索遷引，而鋼筋籠製作則依不同規劃，考量可採管上、管下組合方式或一體成型等。

以下將以不同吊放鋼筋籠規則配置案例說明：

1. 鳳山計畫臺鐵隧道UK410＋485：本案為利特殊單元鋼筋籠有適當吊放平移空間，依據事先探管確認之管線位置及高程，規劃單元配置，可分為先行單元、特殊單元及後行閉合單元，經規劃後將前期完成後預留約15公尺範圍之單元配置，詳圖7，其中特殊單元寬度為7公

圖8 特製L型釘耙

圖9 鋼筋籠切割

尺，施工過程係先將3公尺寬之先行單元(母單元)施作完成，接下來進行特殊單元(7公尺寬之雙公單元併接)，其管線下方土方清理係以L型釘耙將餘土扒落底部(詳圖8)，再以標準抓斗將其挖除，接續進行兩側端版清理後，吊放特殊型單元鋼筋籠(4.3公尺)及一般型鋼筋籠(3公尺)。

本案特殊型鋼筋籠採上下一體成型先不考慮施作完整鋼筋籠，以利吊放安

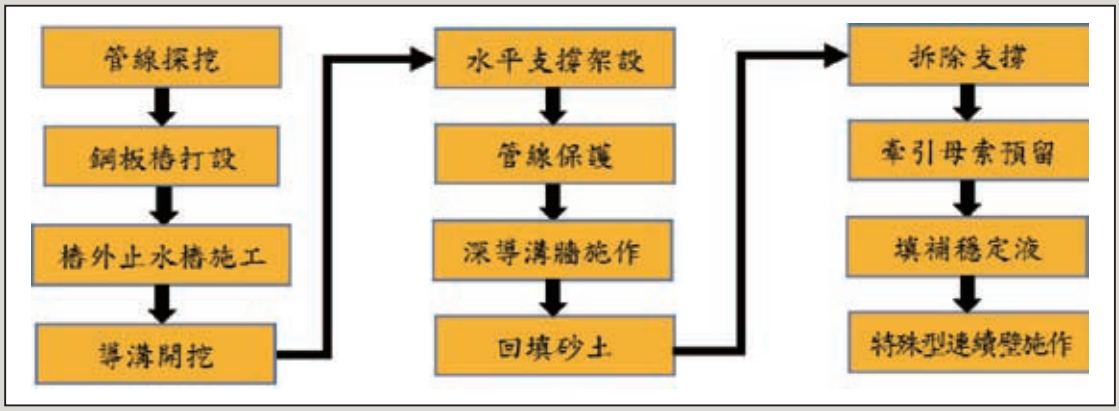


圖10 特殊單元連續壁施工流程圖

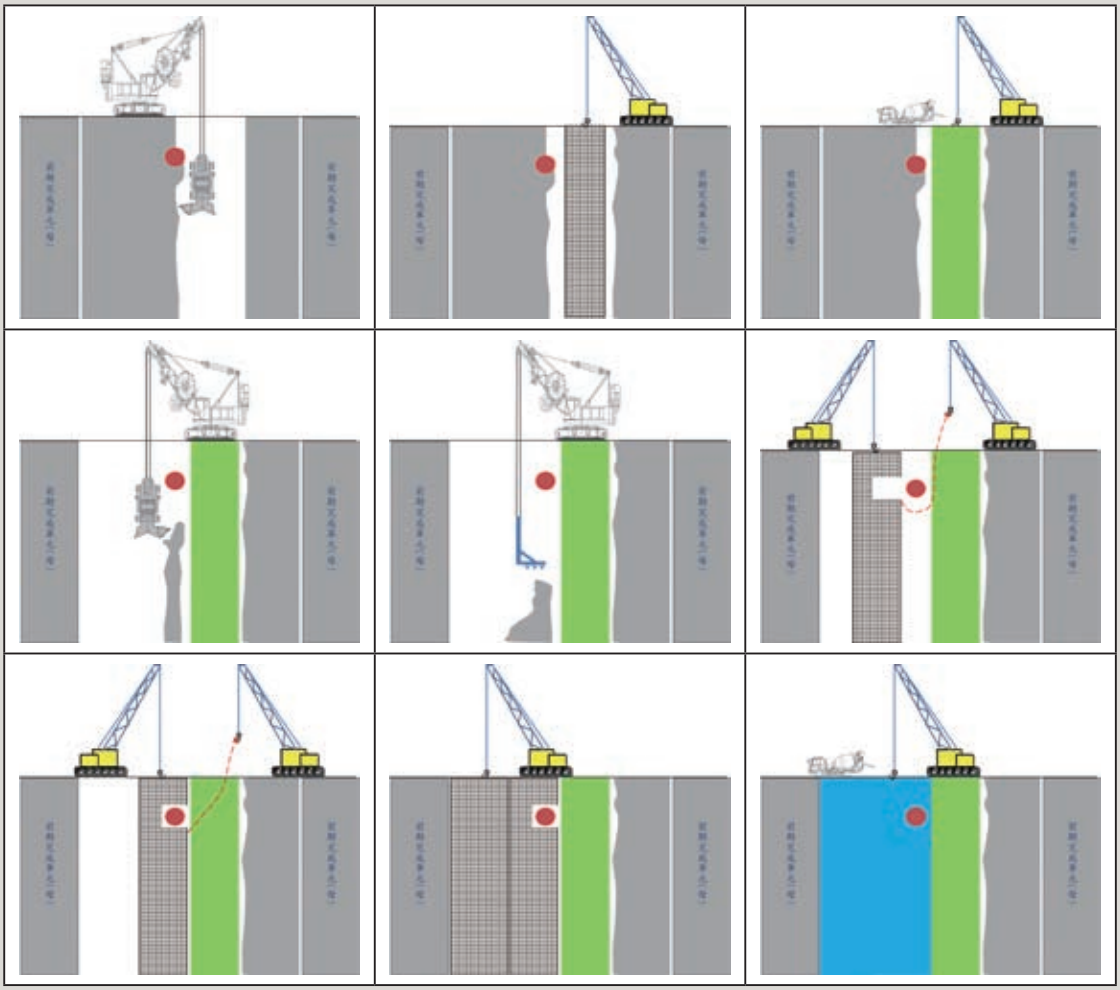


圖11 UK410＋485污水管連續壁特殊單元施作說明

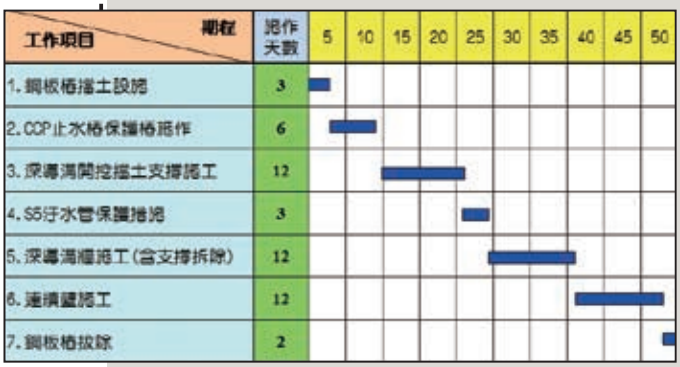


圖12 UK410＋485污水管連續壁特殊單元施工時程

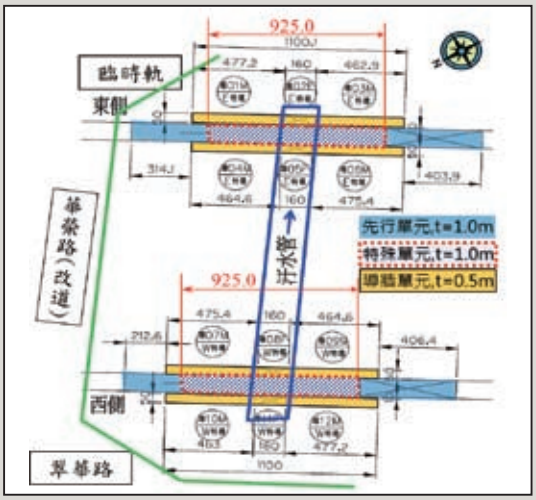


圖13 華榮路污水管連續壁特殊單元及壁式導溝單元規劃

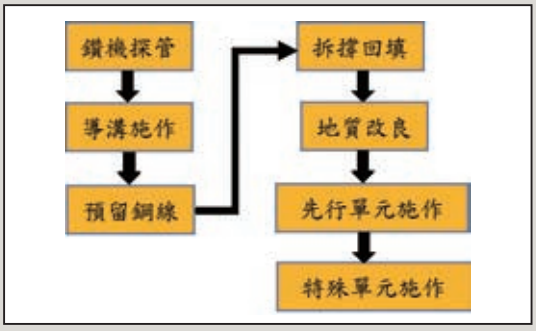


圖14 華榮路污水管連續壁特殊單元施工流程

全，待吊放至預訂工作位置進行鋼筋切割作業(詳圖9)，故管線高程、位置需精準掌握；於吊放至預定位置後與預留之牽引母索一端固定，再下放至設計高程，母索另一端以另一台吊車緩拉，將鋼筋籠牽引平移穿過管線至標示位置，最後固定吊耳並進行特密管澆置混凝土作業。相關施工流程及說明(詳圖10、圖11)。

進行連續壁特殊單元之施作雖可解決部分難以遷移之管線，可省卻管線遷移之費用，但其施工工率低、費用高，以本案例而言，單一特殊型連續壁單元施作須3天，因本施作工區鄰近軌道，事前之擋土支撐、開挖作業、管線保護、深導溝逐層施作等工進推動工率低，致鋼板樁打設起至最後一塊閉合單元完成，共計50日，施工時程詳圖12，惟若採管線遷移方式，耗費之時間、人力、成本更甚。

2. 左營計畫臺鐵隧道UK399＋576：本案由於華榮路污水管位地下8～10公尺過深，採用連續壁工法施作壁式導牆，以克服工址屬高地下水位之砂質地盤之深導溝施作風險，復因污水管外徑達2公尺，管底土方無法由一般MASAGO正常挖掘，須由管線兩側先挖掘之空間，側移MASAGO半半挖掘，並輔以側式反斗耙除及特殊高壓水流清洗管頂、管側及管底餘土；又配合連續壁廠商抓斗寬達3.6公尺，現場整體連續壁施工單元規劃詳圖13。東西側特殊單元寬達9.25公尺，自定位抓掘至澆置完成連續施作不間斷，預估需3天2夜；由於施工歷程較久，現場施工需特別注意坍孔風險，整體施工流程詳圖14、15。

其中鋼筋籠吊放亦為施工重點，本案特殊單元寬度達9.25公尺，因此鋼筋籠規劃分為四個單元，利用導引繩索將鋼索拉至另側，將管線下方鋼筋籠單元側拉定位，再吊放管線左右兩側鋼筋籠，最後吊放管線上方鋼筋籠後進行特密管澆置混凝土，施工過程照片詳圖16。

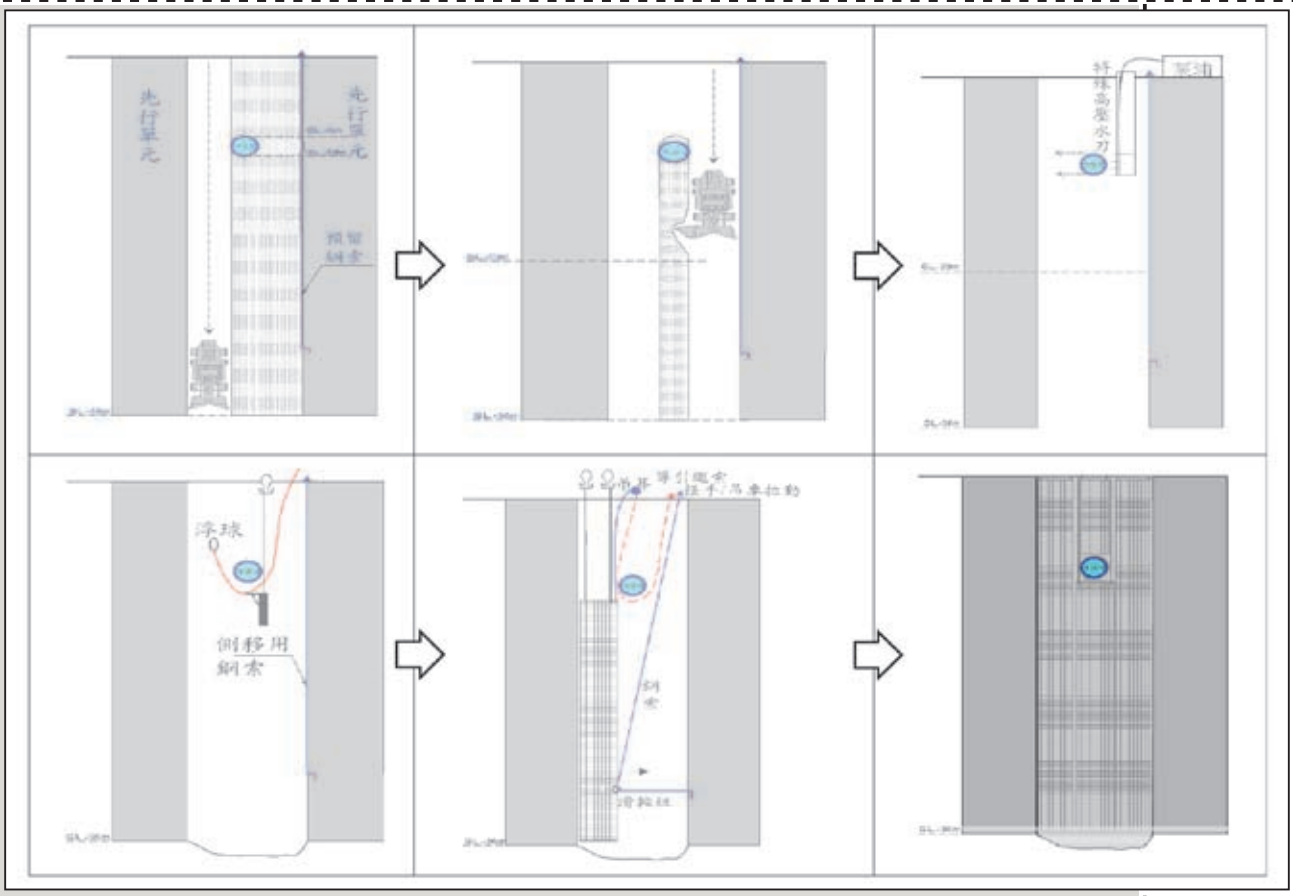


圖15 華榮路污水管連續壁特殊單元施工說明圖示

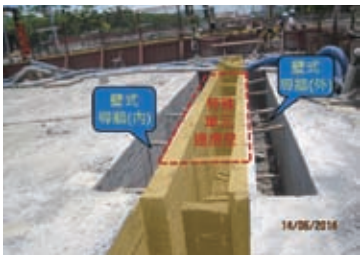
		
先行單元及壁式導牆(t＝0.5m)導溝	壁式導牆(t＝0.5m)採用ICOS挖掘(義大利Impresadi Costruzione Opere Specializzate公司)	連續壁特殊單元(t＝1.0m)挖掘
管下餘土以反斗側耙方式刮除	管周餘土以高壓水槍(50-100kg/cm²)沖洗	污水管開挖後及吊掛保護實況

圖16 華榮路污水管連續壁特殊單元施工照片

工作項目 \ 期程(日)	施作天數	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
1. 整地、台電管線固定保護	10																											
2. 壁式導溝之導溝鋼面施作	6																											
3. 壁式導溝(東西側各4公2母單元)施作	10																											
4. 主連續壁體範圍內導溝敲除	2																											
5. 地質改良	8																											
6. 先行單元(東、西側各2母單元)	8																											
7. 特殊單元(東、西側各1公單元)	10																											

圖17 華榮路污水管連續壁特殊單元施作時程

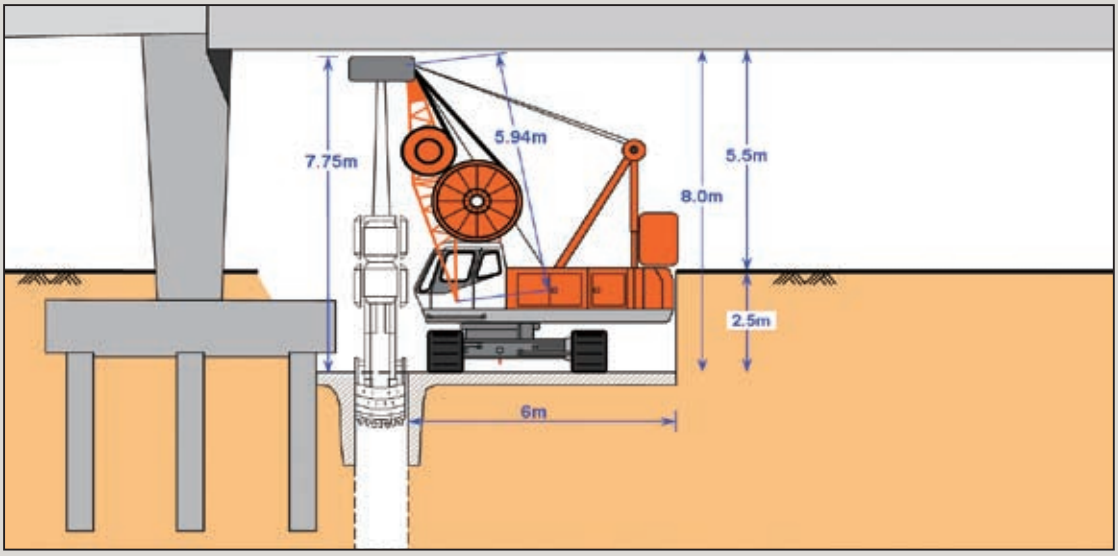


圖18 限高工區淨寬

本特殊單元連續壁依前述步驟完成施作後，即分階段進行降挖支撐並逐階敲除侵入隧道結構淨空之內導溝壁，兼檢視其壁體之完整性。至管頂及管下與連續壁接縫滲水處則施作封艙並加強止水灌漿，後續併配合吊掛保護污水管，終於順利完成本處臺鐵隧道降挖、支撐及結構體施工，本案例施工時程詳圖17。

本文二種案例之工法選擇端視現況需求及連續壁廠商的工作安排，其中最重要的是如何確保壁體土方清除完全，以及管底下的鋼筋能正確定位，另壁體開挖寬度亦為考量的重點，太寬則穩定度不佳，太窄則工作性不佳，經筆者查閱數個案例壁體原則以不超過10m為度。

參、限高型連續壁施工

於部分橋梁下方連續壁作業，施作期間需維持橋梁通行，惟連續壁受限現場高度不足，故需將鋼筋籠分割為較短的小單元吊放後以鋼筋續接器接續，其工時較傳統型大幅增加，而橋下作業之特殊型連續壁機具需具備最小高度需求為8公尺，而一般橋下高度約僅5公尺，淨空不足，因此橋梁下方連續壁作業需再配合降挖施工(詳圖18)。

一、機具調整

為因應基地限高限寬條件本案採用BLK-a抓掘機，配合修改機具包含桁架長度、吊車後端配重移除以符合限寬需求、油管及吊索輪軸後移、電力系統修改等。

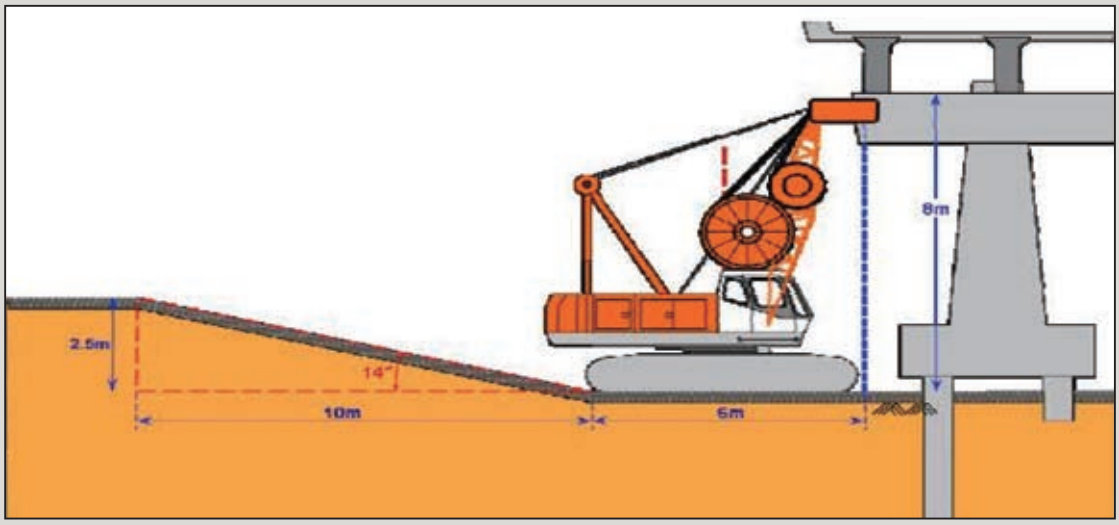


圖19 降挖斜坡剖面圖

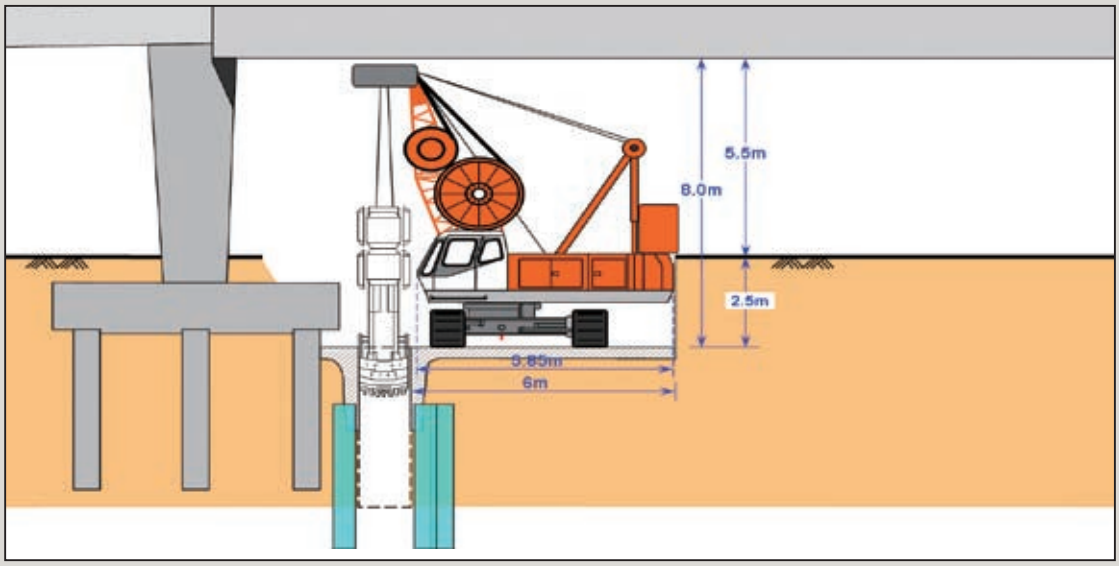


圖20 地盤改良樁施作圖

二、假設工程

為限高型連續壁受橋梁下淨空影響需配合降挖且受橋下空間限制，因此事先規劃相當重要，例如橋下機具作業空間應考量機具挖取土及吊放鋼筋籠吊車空間，降挖段運輸動線為安全考量起見，其坡度應有所限制避免坡度過陡，造成吊運鋼筋籠過程中發生傾覆等，均應於施工前評估周詳。

(一) 工區降挖及斜坡

1. 構築斜坡供機具進出。
2. 限高區各向東西側延伸6公尺為平面段，作為機具作業動線。
3. 配合降挖深度，斜坡坡度保持在20°以下，可供鋼筋籠吊運過程，不致發生危險(詳圖19)。

(二) 導溝內外側地質改良

限高型單元因施工難度高、時程冗長且重型機具緊貼抓掘之槽溝，為減少壁體坍孔情形，於導溝內外側下方施作地盤改良樁(JSG樁徑ψ50cm@40cm、改良深度H=-1.5m～-20m)，以利工程順利進行(詳圖20)，

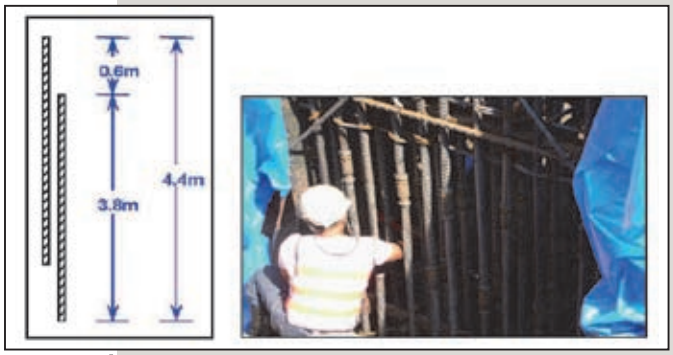


圖21 鋼筋籠製作

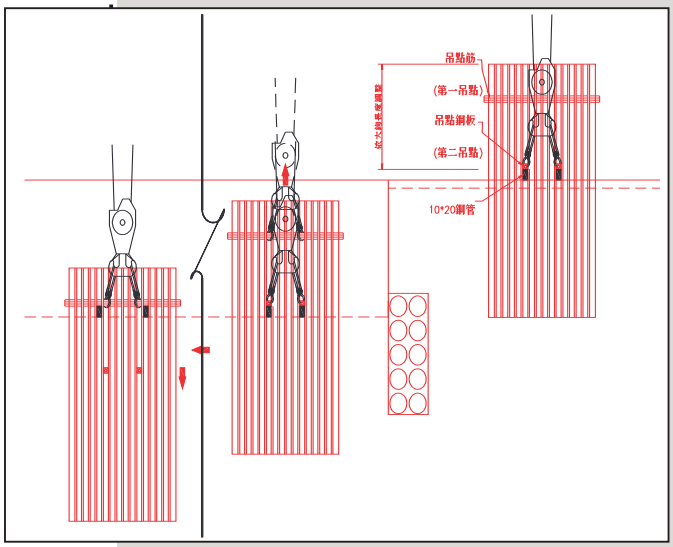


圖22 鋼筋籠吊放

表1 限高型連續壁施作工率一覽表

型式	壁厚(M)	壁深(M)	單元長度(M)	單元數	工率(日/單元)	天數(日)
母單元	120	43	2	7	4	28
公單元	120	43	4.2	6	4	24
公母單元	120	43	5.945	1	5	5
總計						57

備註說明：限高型連續壁之公、母單元長度規劃均較一般型為短。

另如地質軟弱，建議亦可於導溝施作設置隔艙作為補強，設置位置原則設於公單元中間，間隔則視公母單元規劃寬度而定。

(三) 棄土處理

連續壁挖掘作業時，因BLK-a抓掘機無法迴轉，棄土採小型剷土機搬運至棄土桶後外運。

三、鋼筋籠製作、吊放及搭接

(一) 鋼筋籠製作

本區段連續壁型式壁厚1.2公尺、設計深度45公尺，降挖後鋼筋籠實際長度為42.5公尺。鋼筋籠加工場地因運輸動線考量，一般設置於降挖區外，以利鋼筋加工作業及運輸，另由於施工高度之限制，鋼筋籠續接若採焊接續接方式，則焊接時間過長及搭接鋼筋使用過量與搭接處將密不透空，故限高單元鋼筋籠全採機械式續接器續接，本案鋼筋籠依工地現況分為11節10搭施作，每節鋼筋籠主筋為3.8公尺，由於錯位60公分，故每節總長度為4.4公尺(詳圖21)。

(二) 鋼筋籠吊放

鋼筋籠於工區西側製作完成後，利用副吊將每節鋼筋籠逐一吊至限高區，限高區內採用怪手或使用改良型70噸吊車作為吊放鋼筋籠的機具，70噸吊車在吊放時需依序由第二吊點轉換為第一吊點，如此可以增加鋼筋長度並減少搭接次數，此種施工方式雖較為繁複，但可有效降低施工時間及風險(詳圖22)。

四、施工工率說明

限高型連續壁施工程序與一般連續壁施作差異不大，主要差別在於開挖階段受場地限制，開挖速率較慢，另在於鋼筋籠吊放階段亦受橋梁淨高限制，無法一次吊放，需分節吊放並採鋼筋續接器鎖固；連續壁施作過程為避免坍孔崩落，原則均24小時連續施作完成，依本案例而言，每單元均需4～5天方可完成，詳如表1，因此施工期間如何控制穩定液品質及濃度，維持壁體穩定至為重要。

肆、既有橫跨鐵路高架橋因應－托底工法

鐵路與市區重要幹道橫交處，因交通量考量常採高架橋梁跨越通行，橋梁基礎係屬於用基樁承載的深基礎，現地下化工程必須穿越該橋梁，當遇到原有樁基礎，此時常應用「托底工法」，所謂托底工法簡言之為置換原有結構體之舊基礎，在不影響到橋梁運輸功能與安全下，置換該橋之樁基礎，改成托底板跨座在隧道二側的擋土壁上等基礎形式支承。

【案例說明一】

高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫之臺鐵隧道於貫穿大順陸橋位置，里程約UK408＋379，與既有大順陸橋南側橋墩及基樁衝突(詳圖23、24)，為維持陸橋原有功能，採安全性佳之托底工法；其工法過程係先於大順陸橋下施作限高型連續壁，於連續壁上方施作臨時托底鋼架基座，並配合千斤頂架設暫撐鋼架，將橋梁載重轉移至暫撐鋼架後打除既有橋梁基礎及墩柱，

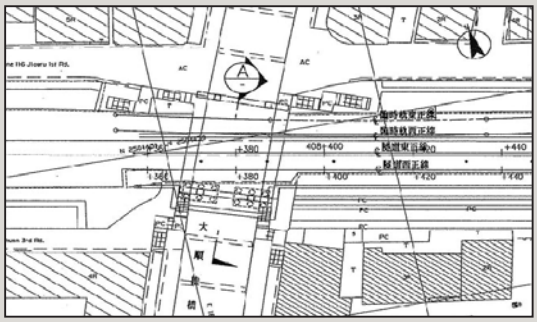


圖23 大順陸橋平面圖

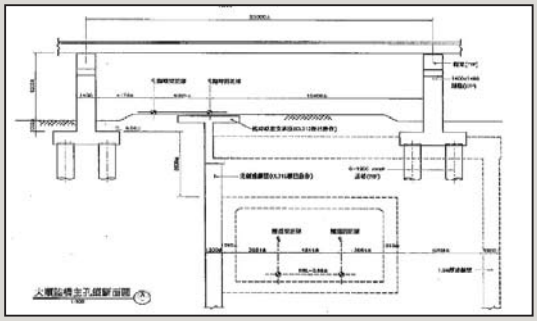


圖24 大順陸橋縱斷面圖

再施作托底板並銜接墩柱，最後將橋梁載重轉移至托底板後拆除暫撐鋼架。

大順陸橋托底主要施工步驟分為5階段，分述如后：

一、階段1施工順序(詳圖25)

(一) 工區南側交維改道，架設橋墩托底施工圍籬。

(二) 工區整地，施作鋼板樁擋土設施。

(三) 橋下降挖3.8公尺，確保淨高9公尺之限高型連續壁施工空間。

(四) 橋下降挖區施作限高型連續壁，深度為45公尺，寬度1.2公尺。

二、階段2施工順序(詳圖26)

施作橋墩東西側連續壁上方臨時托底鋼架<BH920*1200>基座，以承載橋梁靜載重及活載重(如表2)。

表2 橋墩設計條件表

橋墩設計	原設計評估(T)	備註
靜載重	1255	垂直向
活載重	212	垂直向

三、階段3施工順序(詳圖27)

(一) 暫撐鋼架組立、吊裝，螺栓鎖固及銲接補強。

(二) 架設千斤頂(使用4組300T千斤頂及4組200T千斤頂)於帽梁與鋼架間，並作千斤頂防側移補強，施加預壓力頂升，使部分載重轉移至暫撐鋼架。

(三) 暫撐鋼架之千斤頂荷重達預定應力時(經結構技師檢核，分階段加壓至荷重45%)，即進行舊有橋墩基礎敲除，並保留搭接主筋。

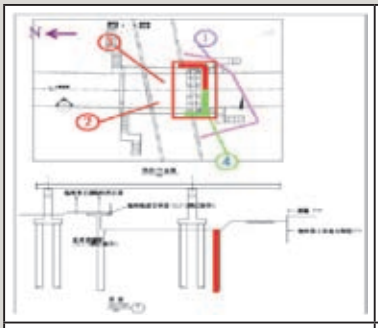


圖25 階段1施工順序圖

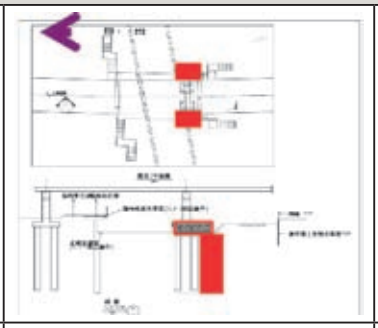


圖26 階段2施工順序圖

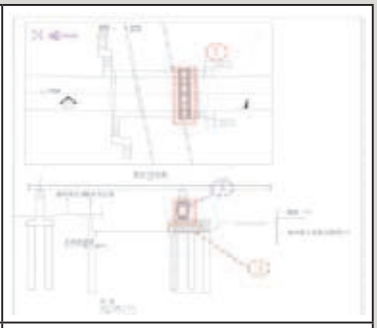
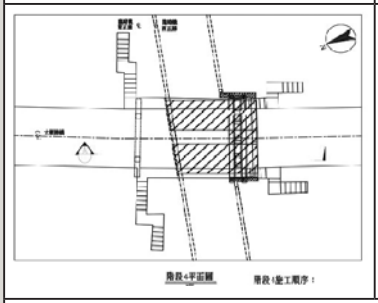


圖27 階段3施工順序圖



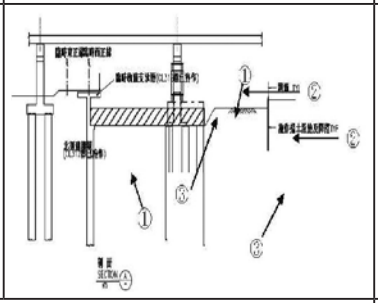


圖28 階段4施工順序圖

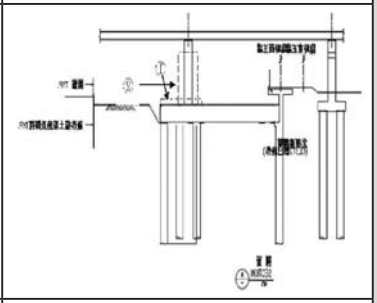


圖29 階段5施工順序圖

圖30 大順陸橋托底工程暫撐架全貌

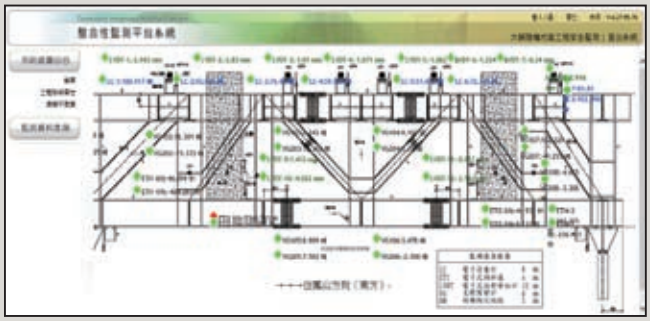


圖31 大順陸橋托底工程安全監測系統圖

四、階段4施工順序(詳圖28)

(一) 施築托底板(尺寸：寬8公尺*長18～21公尺*高2公尺)，並預留與墩柱之搭接主筋。

(二) 暫撐鋼架與托底板間組立載重移轉支撐鋼柱及千斤頂。

(三) 千斤頂施加預壓力頂升，使部分橋梁載重由支撐鋼柱傳遞至托底板。

五、階段5施工順序(詳圖29)

(一) 綁紮續接段墩柱圍束筋，並以壓力灌漿澆灌混凝土續接墩柱。

(二) 橋墩混凝土達到設計強度後，放鬆千斤頂使載重轉由完工之橋柱承載，並拆除暫撐鋼架。

本工法施工重點主要在於橋梁載重傳遞轉移至暫撐鋼架或托底板是否順利，因此載重傳遞過程監控至為重要，依本案例而言，為掌握托底施工過程中，暫撐鋼架與既有橋墩變化情形，於暫撐鋼架架設完成(詳圖30)至千斤頂施加預力前，配合托底工程裝設自動化監測儀器及人工輔助量測觀測點並建立初始值，透過監測平台系統(詳圖31)，可由電腦或智慧型手機藉由網路即時

工作項目 \ 順序(日)	施作天數	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
1. 擋土設施及降挖	30																					
2. 限高連續壁施作	35																					
3. 托底鋼架基座施作	15																					
4. 暫撐鋼架組立、吊裝、補強及頂升	60																					
5. 舊有橋墩基礎敲除	15																					
6. 施築托底板並將部分載重傳遞至托底板	35																					
7. 續接段墩柱施作	10																					

圖32 大順陸橋托底各階段施作時程

圖33 大中路高架橋橋墩與左營計畫之臺鐵隧道引道段衝突位置

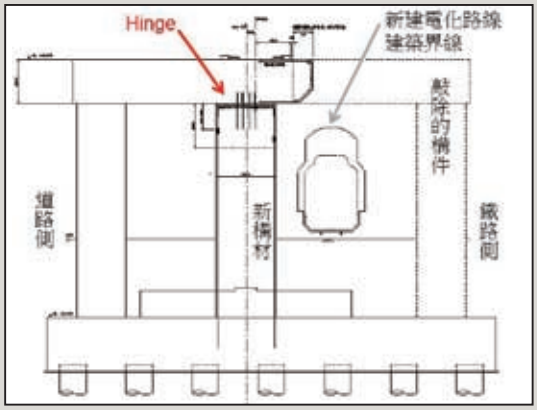


圖34 大中路高架橋換柱剖面圖

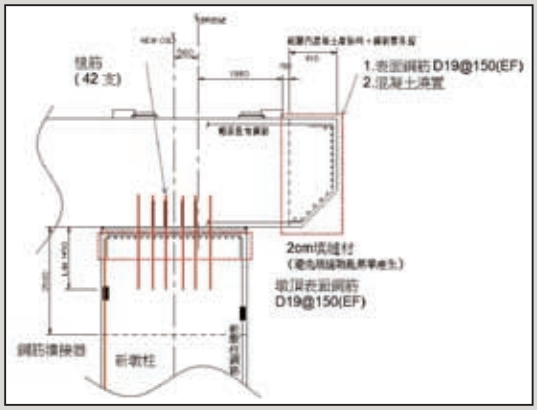


圖35 大中路高架橋換柱細部詳圖

圖36 大中路高架橋換柱完成全貌

了解相關荷重及變位情形，如有超標情形，需立即檢討原因，並採取緊急應變措施。本案例施作過程約需210天，各階段施作天數詳圖32。

【案例說明二】

高雄鐵路地下化左營計畫之臺鐵隧道於出土引道段(里程約UK397＋820)與國道8號大中路快速道路F匝道(高鐵左營車站連絡道)之門架式橋墩PF01相衝突，並且與洲仔洋圳灌排水路重疊(詳圖33)，為維持匝道橋原有功能，採安全性佳之換柱工法，於原基礎上新增墩柱以支承匝道橋。

由匝道橋竣工圖可知PF01橋墩基礎頂比引道底版深，故PF01之樁基礎不會與臺鐵隧道引道段衝突，原有的樁基礎可保留。經設計單位依現場評估採保留門架式橋墩之西邊墩柱(道路側)，並將新墩柱與既有帽梁以hinge方式銜接(詳圖34～35)，俟新墩柱完成後再將東側帽梁及墩柱切割及敲除，以利臺鐵隧道引道段施工(詳圖36)，本案例施工時程詳圖37。

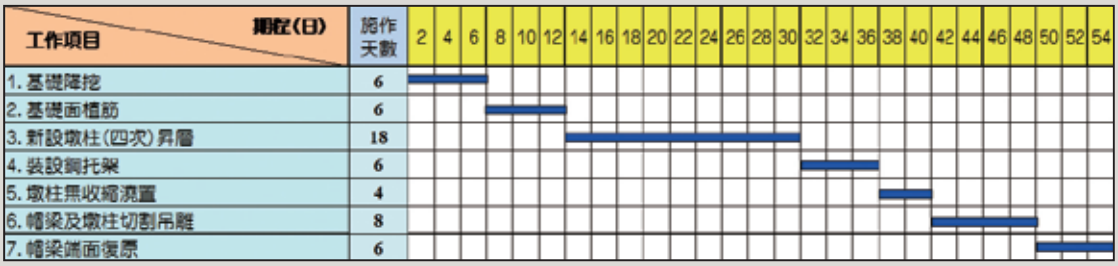


圖37 大中路高架橋換柱施工時程

伍、鐵路平交道交通維持

鐵路地下化重要效益其一即為消弭平交道以縫合都市之裂痕，惟平交道處因施工階段不得妨礙鐵路運輸及阻斷橫交之都市幹道通行，故成為瓶頸點。雖施工單位欲將施工階段對平交道之影響降至最低，然緊鄰平交道之車站(或隧道)結構體施作前必須先完成擋土設施(如：連續壁、中間樁…)及覆蓋板系統，此類作業為地面施工，勢必影響與平交道橫交之都市幹道通行。

因需維持都市幹道順暢通行，於進行擋土設施及覆蓋板系統施作階段則採用「半半施工」作為解決方案。於臨鐵路平交道進行半半施工與一般市區道路不同處，以高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫之正義路平交道半半施工為例，簡述如后。

一、鳳山計畫之正義路平交道(里程約UK409＋920)位於都市開發較早區域，平行鐵路之周邊道路為寬度6公尺以下之巷道，並無足夠縱深可提供道路轉向。

二、正義路為高雄與鳳山地區銜接交通幹道之一，平交道過往車輛交通量甚大，因此為維持民眾車輛通行使用，採用半半施工，分三階段進行交維並於交維期間完成道路範圍之連續壁及覆蓋板後，始得進行下一

圖38 正義路平交道原貌

圖39 第一階段交維

圖40 第二階段交維

圖41 復舊完成

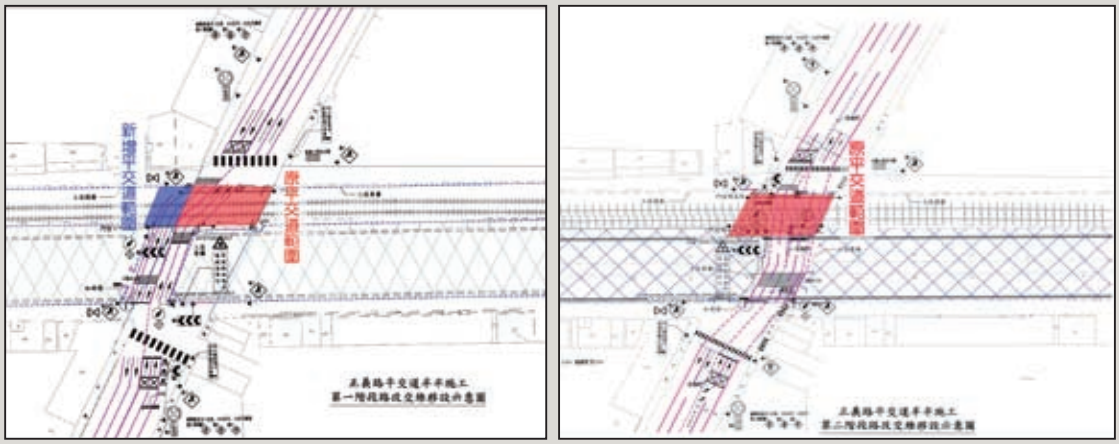


圖42 平交道半半施工交維移設圖

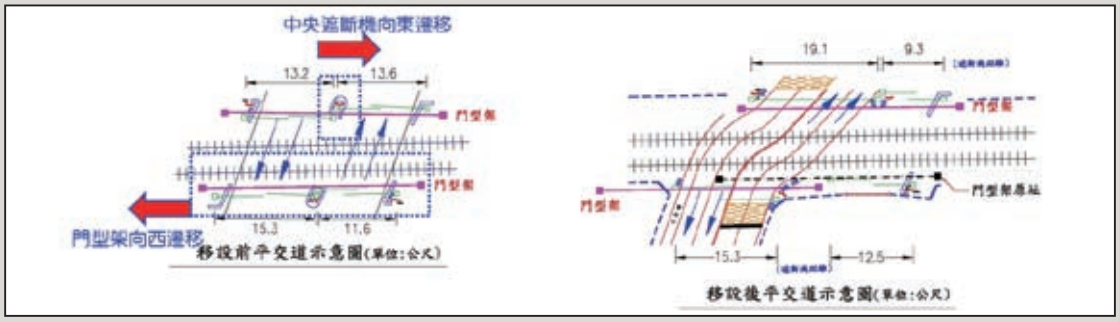


圖43 平交道第一階段設施移設示意圖

階段交維。前兩階段主要配合半半施工進行改道，第三次則進行道路復舊作業，各階段施工現況詳圖38～41。

三、本案例於施工前依照現況提報交維改道計畫送高雄市道路交通安全督導會報綜合管考小組(簡稱管考小組)進行審議，奉核後配合改道交維設置(詳圖42)；另因平交道範圍不足以提供半半施工所需，為維持既有車行路寬需新增平交道範圍(於切換前安裝額外平交道版)，以提供車輛改道所需。

四、本案例於交維各階段移設為避免影響民眾白天通行，均於事前妥善規劃，利用一晚時間進行移設(原則為晚間十時至次日上午八時)，當晚工作重點說明如下：

(一) 與幹道正交之平交道臺鐵設施，通常設有平交道告警機、遮斷機、門型限高架及平交道相關標誌、號誌等，該設施往往與鐵路系統連動，需於列車停駛期間才能進行移設，本案於各階段設施移設前均邀集臺鐵運、工、機、電等相關單位辦理會勘確認移設位置及時程，於移設前先完成纜線預埋，並將涉及影響臺鐵營運外設施先行移設完成；於移設當晚，配合臺鐵斷電封鎖時間進行，但因列車僅能於凌晨01：00至04：00停駛，施工時間相對緊迫，且必須於列車復駛前完成設備復原(詳圖43)。

(二) 於交維當晚除臺鐵設施移設外(詳圖44～45)，尚有道路改道瀝青混凝土刨鋪及標線繪製作業(詳圖46～47)，以正義路平交道第一階段為例，當晚各

工項遷移時程及交維分階段完成時程詳圖48及表3。

表3 正義路半半施工各階段交維完成時間一覽表

項目	完成時間	使用天數
第一階段交維	103年06月30日	65
第二階段交維	103年09月04日	53
復舊完成	103年10月27日	合計118天

圖44 門型架移設

圖45 遮斷機移設

圖46 遷移後瀝青混凝土鋪設

圖47 道路標線劃設

(三) 另平交道處有電壓25,000伏特之電車線，施工前需完成斷電封鎖申請及接地作業，吊車及其他起重機具於施作中必須特別注意不能傷及電車線。

五、除交維改道移設作業需特別慎重外，管線遷移亦列為重點，因一般管線包含自來水、電力、電信、污排水等大多利用既有

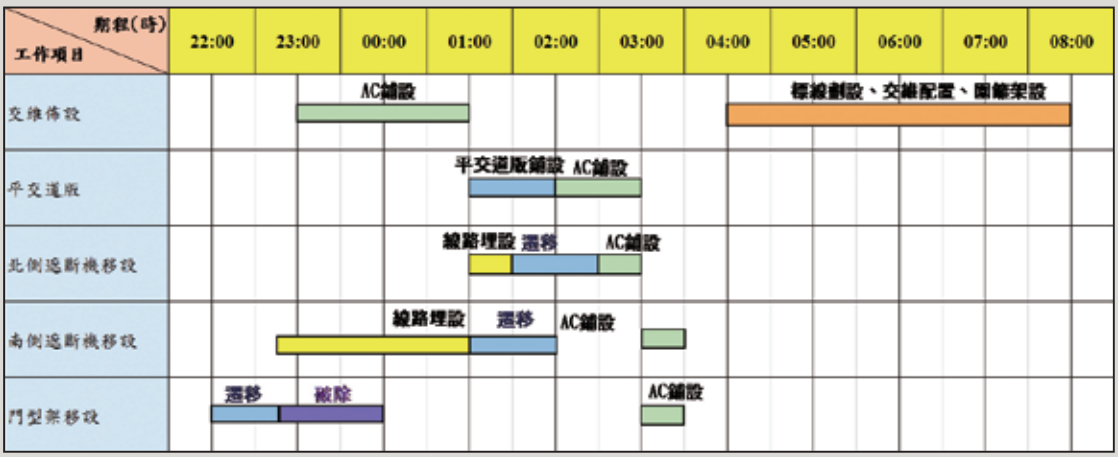


圖48 正義路平交道第一階段遷移時程

道路穿越平交道，依本案例於正義路上即有電力、電信、軍訊(軍方通訊使用)及排水、污水等諸多管線通過，因此於半半施工前即先辦理會勘研擬管線保護方式，一般常用有吊掛保護及臨時管線遷移方式，惟交維執行通常有限期完成壓力，管遷過程容易與擋土措施施工動線牴觸，建議施工規劃階段應考量管遷時程變數，並應於事前進行試挖作業，以充分掌握管線確實位置。

六、另市區道路除平交道外，常有車行地下道穿越軌道，高雄鐵路地下化於左營計畫臺鐵隧道橫交中華一路之左營地下道(里程約UK400＋098～129)即於由軌道下方穿越(詳圖49)。由於中華一路為市區重要幹線，交維改道衝擊甚大，且工期較長，因此採用管冪工法因應。管冪工法或稱管幕工法(Pipes Roof Method，PRM)，主要將圓形鋼管利用反力設備，逐支鑽掘推入土體內；鋼管與鋼管側間以公母榫連結(詳圖50)。數支鋼管締結組成形如「排笛」之鋼管排面；進而構成橫斷面為冂或口字型之鋼管圍冪，以抵抗周圍土壓，並保護鐵路隧道箱涵結構開挖時的頂拱及側邊，再配合臨時支撐進行分階段開挖及結構施作，管冪施工流程及推進順序詳圖51、52。惟此案例目前因進行當中遭遇非可預期之橋梁基樁影響致尚未完成。

陸、結語

鐵路地下化考量施工難易度、用地取得、風險評估及成本預算等綜合考量採用明挖覆蓋工法，雖工法單純且發展已相當成熟，惟作業地點位於都市化人口稠密區，如何克服橫交管線、既有道路橋梁，兼降低影響民眾程度，需要施工團隊事先妥善規劃及確切執行方可達成。

圖49 臺鐵隧道穿越左營地下道(中華一路)平面配置圖

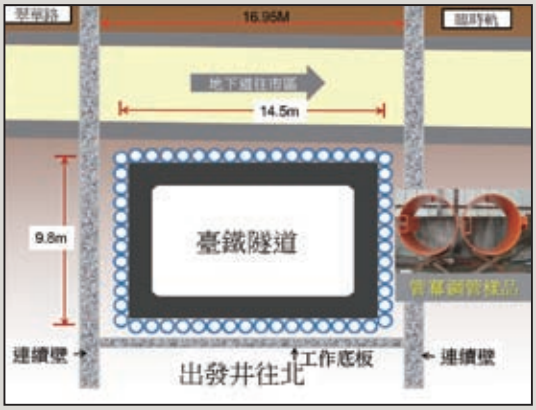


圖50 管冪工法剖面配置圖

圖51 管冪整體施工流程

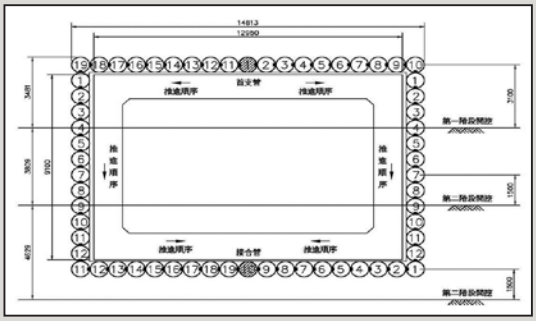


圖52 管冪鋼管推進順序

本文彙整高雄鐵路地下化相關案例監造經驗，謹列出下列建議提供先進參考。

一、對於橫交牴觸管線原則朝臨遷方式辦理，惟依實際經驗，與管線單位協調工作冗長，建議於開工初期即應請承商完整調查且提前協調。

二、連續壁施工引進國內多年，雖已是成熟安全工法，但針對特殊單元事先仍應審慎評估，尤其於鐵路側施作，應搭配淺層地改不可省卻。土體掘削過程對於管線保護，鋼筋籠吊放需配合穿綁鋼索以利拖拉定位，及施工過程隨時監測穩定液品質等，均應全程保持高度警戒狀態，慎思凡事豫則立，不豫則廢。

三、以左營計畫華榮路ψ1650mm RCP污水幹管為例，因污水管較深，無法施作深導溝，改以連續壁施作壁式導牆，亦無法以人工下至管線週邊完成保護措施。因此施工期間於管線週邊預留較大空間，如何開挖不損及管線，管周餘土消除及鋼筋籠吊放定位等，僅能以超音波及施工人員加以研判，因此現場作業人員專業素質為重要關鍵。

四、限高連續壁施作，其降挖高度需視協力廠商機具而定，配合降挖兩側動線，開挖機具配置、鋼筋籠運輸動線，務必事先規劃並與協力廠商現場確認。

五、因限高高度限制，鋼筋籠無法一次吊放，需使用鋼筋續接器予以分段續接。作業時間通常需配合施作深度而分2～5個工作天不等，因此施工期間如何控制穩定液品質及濃度，維持壁體穩定至為重要。

六、於托底施工時，既有橋梁墩柱進行切割，其橋梁該跨重量透過千斤頂系統傳遞穩定暫撐架之應力轉換過程，建議應設置妥善監測系統隨時監控。

七、平交道進行半半施工時，因需配合遷移臺鐵設施(含平交道告警機、遮斷機、門型限高架、鐵路標誌及號誌、平交道板，以及鐵路監視系統等)，建議應提前與臺鐵運、工、機、電各單位協商遷移位置及時程，另配合臺鐵營運需於斷電時間移設(原則為凌晨一點至四點)，建議應由熟悉臺鐵設備具備移設經驗協力廠商進行移設，方可利用一晚順利完成；另建議於提送交通維持計畫時應考量管遷所需時程，並應於施工前進行試挖作業，以充分掌握管線確實位置。

八、經彙整本文各施工案例，僅實際施工期程即需50～210天不等，對於鐵路地下化工程工期影響甚鉅，此尚不包含事前規劃及備料時程，建議開工前期應進行現場調查確認，避免現況不符，致無法按原規劃進行而延宕工進。

參考文獻

1. 交通部鐵路改建工程局，高雄鐵路地下化各計畫設計圖及施工規範，2009~2014年。
2. 交通部鐵路改建工程局，高雄鐵路地下化各計畫施工綱要計畫書，2009~2014年。
3. 交通部鐵路改建工程局，高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫C411標整體交通維持計畫，2013年。
4. 交通部鐵路改建工程局首頁(網址http://www.rrb.gov.tw)。

KATO