

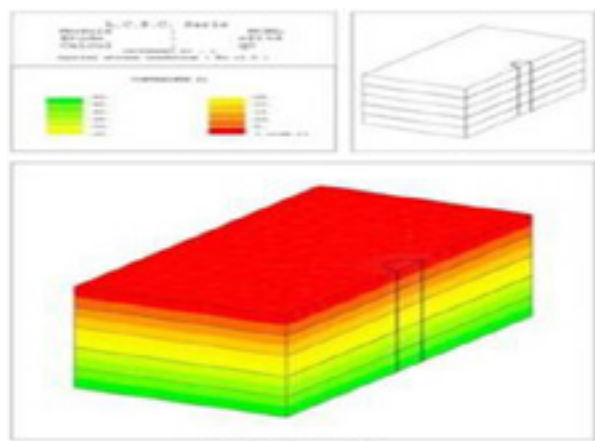
創新措施與精進作為

減噪防塵施工快~井式基礎工法精進案

一、提昇捷運井式基礎施工效率與改善工作環境

為提昇臺中捷運CJ920標之井式基礎施工效率與改善工作環境，藉由檢討該項工項整體施作流程(包含開挖、擋土壁體與結構體施工)，及過往工程施工經驗，得知施作流程中之開挖與擋土壁體施工成效，將顯著影響工期，且由於該工法之擋土壁體皆係採噴凝土方式施工，施工過程極易產生噪音與揚塵，造成工區周圍環境不佳，其影響因子亦恐將引發市民負面觀感與反彈聲浪，造成工程施工品質良窳、管線遷移、工作空間、期程控管等之不確定性因素增加。

鑒此，考量該工項施工成效，並為將其相關影響因子降至最低，本局中工處施工團隊開始著手積極研究檢討，朝依配合施工工區之地質條件，並憑藉過往捷運潛盾隧道之施作經驗，激盪出井式基礎工法精進案，改以標準化、規格化、系統化的場鑄混凝土套環擋土壁方式，來大幅提升施工效率與施工品質，亦可藉此將噪音與揚塵之不良影響因素降至最低，使整體施工環境、工程品質有了顯著改善，並符節能減碳之效，營造出一個優質、安全、高效率的施工環境，且該精進工法屬全國首創，未來可提供國內各施工團隊參考學習，實足以堪稱該項工法施作方式之創新表率。



有限原素法分析井基應力



井基擋土壁體

二、實施方法、過程及投入成本

查臺中捷運CJ920標工區之主要地質係為沖積層、礫石層，地下水位位於地表下2M-40M，經檢視該地盤屬自立性高、土壤液化低之地質。基於地質條件考量，故本標高架橋段之基礎型式設計為井式基礎（直徑5~8.5M、深度12~18M），該項基礎設計之施工優點與特性為可配合現地施工環境，另亦可採吊掛方式避免電力、電信等管線遷移，並壓縮道路施工所需路幅，可使整體交通影響程度降至最低。為求美觀，首次採全玻璃無邊框式的月臺門設計。

(一) 為本案實際內容與創新之處：

井式基礎工法施作流程一般可區分為開挖、擋土壁體與結構體施作三大階段，惟因該項工法尚依傳統施作方式，其擋土壁體係採環型鋼肋梁、鋼線網、噴凝土搭配施作，由於噴凝土緻密性略顯不佳，將致施工中之影響變數如滲水、坍塌、管湧等機率大幅提昇，增添施工困難性，且施工過程產生噪音與大量粉塵，皆易引發工區周圍市民負面觀感與反彈聲浪；為此，本處經邀集施工團隊進行檢討，並依人力、機具、材料、施工效率等多方面進行研議，憑藉過往捷運地下段之潛盾施工經驗啟發聯想，將原噴凝土壁體規劃調整為鋼套環搭配鋼線網之場鑄方式，製成標準化、規格化、系統化之場鑄混凝土套環，利用薄壁圓筒均勻受壓之力學原理，以鋼套環提供臨時擋土及灌漿內模，安裝鋼絲網後，再利用泵浦車將套環與開挖面間澆置背填混凝土，周而復始達預定深度，施工特性類似建築工程之逆打工法，此修正工法亦使施工工區之噪音與揚塵獲顯著解決，故該項創新工法獲得施工團隊一致共識，落實於現地施工，其工法屬全國工程界之首創，亦因此提供施工夥伴一個優質、安全、高效率的施工環境。

(二) 施工團隊經由現場試驗作業，積極突破所遭遇施工困難點，相關創新解決方案與策略簡述如下：

1. 滑動模板：原規劃採第一階段鋼模組模澆置混凝土後，往下開挖並銜接另一組鋼模環片進行第二階段作業，惟此作法原單一井基即需兩組鋼模環片，基於工進與成本考量，並經檢討後，在原規劃鋼模環片數量不變下，依據薄壁圓筒均勻受壓原理，改採單一鋼模環片滑模方式，則其施工品質仍可維持確保，亦可藉此大規模推展工作面，工作效率獲顯著提昇，實為革新性之創舉。
2. 上下設備：另由於井基數量甚多，施工人員上下頻繁，原規劃係採吊車供施工人員上下使用，現場施作後發現，由於吊車移動需耗時甚久，便利性、機動性皆甚為不佳，經檢討後，改於井基壁體設置樺頭，組合成可銜接式爬梯，不僅可依井基深度不同予以調整，另使用者則可更彈性使用，毋須受限於吊車遷移時間，並可大幅提昇施工效率。
3. 棧橋：本案另一棘手問題為施工空間之不足，本區段標之交維設置圍籬寬度為12M，然井基直徑有8.5M、6M、5M不等，又部分街廓將因井基施作導致工區內車行動線被截斷，工區之施工工率將嚴重受影響，為此經施工團隊檢討後，研擬出棧橋鋪設於已開挖井式基礎之井口，以增大工區內車行空間，避免圍籬拆遷與多階段交維調整之冗事，可增進工作效率與減少工程之直接成本。
4. 剪力樺：考量井式基礎鋼模所製混凝土套環壁體較原採噴凝土工法之完成面略顯光滑，為使混凝土套環壁體之磨擦力加大，故於每1.5米高之鋼模環片中留置孔洞，作為灌漿孔，並俟混凝土套環壁體施作完成後，原灌漿孔成為剪力樺，使結構體更具體有效結合，該一舉兩得作法獲施工團隊高度肯定。
5. 施工架：針對井式基礎之鋼筋綁紮，考量受限於既有井口空間環境，致使施工人員上下動線與鋼筋綁紮施作不易，現場施工人員之安全亦恐產生疑慮，於是

本局中工處施工團隊開始著手現場模擬研究，彙集巧思提出「變形金剛」方案，意即將施工架調整修正為展開可變式組合，此巧思不僅使施工人員作業空間大幅提昇，人員墜落風險亦大為降低，施工效率與施工安全皆獲明顯改善。

6. 澆置設備：另於混凝土套環背填澆置階段，原規劃係採混凝土壓送車施作，惟考量尚於夜間施作，在人口密集市區，混凝土壓送車之噪音恐影響市民安寧，故施工團隊經研議另採用重力加速度原理搭配大口徑之PVC管，來澆置施作背填混凝土，經現場實際量測，所產生之噪音音量均符環保法規，能有效減少民眾陳情事件。
7. 抽水井：考量臺中地盤地質自立性高之特點，針對地下水位之高程較高處，原設計係採人工擋土柱工法（俗稱「夫妻樁工法」之方式）辦理抽水井施工，惟經本處施工團隊考量整體施工之安全與效率，檢討後改採全套管施工工法來施作抽水井，此乃臺中地區首創之抽水井施作方式，其經驗回饋，對該工項之安全性及施工成效，具有相當突破性發展。

（三）過程各階段投入之預算、人力成本：

針對井式基礎工法精進案，為求其可行性，施工團隊於施作前即委請國內學者專家協助，就力學方面採用有限元素法予以分析，歸納出最符經濟成本之背填混凝土強度與厚度，量化出最佳設計成果；另並為驗證設計成果，在工區外覓得一處與工區相仿之地質，實地辦理試驗施作，針對試驗期間之經驗與成果，回饋檢討工程最初規劃之人力、機具、材料、設備、方法等要件，做為本案後續檢討精進之策略與方針；經粗估設計與現地實驗驗證總計耗時約2個月，現地試驗施工成本約計190萬元，本精進案縱然於工程初期投入大量之人力、物力、時間等成本，惟在後續工程現場施工時，均可具體達成減噪、防塵及高效率施工等預定成果，並有效增進周遭民眾對工程支持度與認同感，另就實質面而言，藉由科學化、數據化、效率化之改善方案，達成進度如期、品質如式、造價如度、安全無慮、環境如常之工程營建週期最終目標。

三、實際執行（未來預期）成效

（一）成本效益分析(5M)：

1. 人力(Man)：精進後之施工方法及程序為安裝鋼絲網→模板組立→混凝土澆置→下環施工循環，施工內容單純、人員專業需求門檻低，人力資源取得容易，且可因應工程階段需求調整投入人力資源，人力調整靈活度高，其與原井式基礎需噴凝土專業人力相比較，可節省約3至4成直接人力成本。
2. 機具(Machine)：此工法僅需一般常見機具及手工具即可施作，無需專業施工機具，可避免少數專業廠商聯合壟斷，哄抬價格，亦可在不易取得資源或偏遠地區順利進行，可節省約5成直接機具成本。

3. 物質(Material)：. 此場鑄混凝土套環所使用之鋼模可多次重覆翻用，減少原設計鋼筋梁留置基礎中無法回收使用鋼材，且工程完工後，鋼模鋼材得回收再利用，達環保節能減碳之功效。
4. 金錢(Money)：藉由此工法精進與改善，對於減噪防塵可達相當之功效，故相關安衛環保費用僅需就一般例行性作業來檢討辦理，與原先預期尚於市區採噴凝土施工，需耗費相當金額來辦理方才能符合環保要求，有截然不同的成果與方向，且具體大幅減少安衛環保直接費用支出，並有效減少民眾陳情案件。
5. 方法(Method)：井式基礎斷面小，採場鑄混凝土套環擋土壁所需作業空間小，在都市內或其他侷限狹隘工區，在基礎開挖施作時仍有空間可供施工機具通行，使工作面可全面開啟，相關資源可集中投入，縮短對周遭環境影響時間，且所需設備製作及動員所需時間短，可因應工程需求增加資源，對工進有明顯提昇，使整體工程進度不可抗力之影響因子大幅下降，減少與避免追趕工進所需耗費之間接成本。

(二) 單一基式基礎施工工率分析：

針對井式基礎之擋土壁體，由於原規劃採噴凝土作業其完成面自立性較差且單層需兩次披覆，故其施作時間約為場鑄混凝土套環之1倍，另坑口保護與鋼筋綁紮部分，因本施工團隊業已先行針對施工動線及綁紮方式預為研擬，預期可壓縮部分時程；整體而言，經採用精進後之場鑄混凝土套環壁體方式，本工項之施工時程已大幅縮減三分之一時間，且由於施工內容單純，人員專業需求門檻低，人力資源取得容易，倘須配合工進，亦可於短時間內大幅加開工作面，使工項之施工功率可以掌握，並符如期如質完工之預期。

施工工率概算 (井基L=12M為例)	原規劃噴凝土壁體	場鑄混凝土套環壁體
坑口保護措施	3	2
機械開挖與擋土壁支撐	開挖0.8M/次需15次 及15次噴凝土 以各項半天計需15天	開挖1.5M/次需8次 及8次背填凝土 以各項半天計算需8天
基礎PC打設	1	1
鋼筋綁紮	2	1
主結構凝土	1	1
回填	0.5	0.5
雜項	0.5	0.5
合計(天數)	23	14

(三) 內、外效益分析(QCDS)：

1. 品質(Quality)：針對精進後之場鑄混凝土套環與原噴凝土擋土壁體差異，即在於預拌混凝土與噴凝土兩者之差別，由於預拌混凝土之料源及品質皆較噴凝土容易控制，故其施工品質與成果，將使施工中之影響變數(滲水、坍落、管湧等)大幅降低，亦可避免原噴凝土工法產生之噪音與揚塵，減少或緩和市民之負面觀感與陳情案件。
2. 成本(Cost)：此工法精進與改善，縱然直接成本差異不大，惟對於施工中之人力、機械及安衛環保等間接費用，確可具體且有效節省約3至4成，另亦可避免專業分包商藉由捷運之工程量體規模大哄抬價格，維持自由市場穩定機制。
3. 進度(Delivery)：藉由井式基礎工法精進案，改以標準化、規格化、系統化的場鑄混凝土套環擋土壁方式，可於短時間內大幅加開工作面，壓縮該工項施工時程，對於施工團隊而言，所挪出爭取之時間，方得針對其它較困難或耗時之工項，有較充裕時間從容處理，減少因配合工進趕工之成本支出，並確保施工品質；另對於市民而言，可由工作面增加，感受捷運工程施工之推動，增進對市政建設之支持度與認同感。
4. 安全(Safety)：由於場鑄混凝土套環其緻密性、強度均較原噴凝土強度高，故使施工完成面之自立性與安全性佳，相關之不確定影響因子可大幅降低，提供施工夥伴們一個安全的施工環境，亦可避免道路坍塌、損鄰等民眾權益損害事件發生，確保整體施工安全。

四、總結

本案為國內首次於市區段工程大量採用井式基礎，經施工團隊事前積極檢討，並藉由計劃、實施、查核、處置(PDCA)之管理觀點，將相關困難歸納回饋尋找出解決方式，使整體施工環境、工程品質有了顯著改善，並營造出一個優質、安全、高效率的施工環境，開創出具革命性之新工法、新技術，使本局捷運團隊於工程界執牛耳之地位更顯名副其實。