臨海側井式基礎施工案例探討—以台9線南迴拓寬改善工程多良高架橋為例

關鍵詞：多良高架橋、井式基礎、堅硬岩盤、地下湧水

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／技術經理／張曜洲 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9線南迴監造專案／專案副理／潘永真 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9線南迴監造專案／正工程師／吳士雄 ❸

摘 要 ABSTRACT

台9線南迴公路為花東與高屏地區主要運輸幹道，隨著近年來經濟成長及休閒旅遊風氣興盛，車輛急遽增加，原有道路規劃標準、道路線形、縱坡及路寬等均無法負荷現今之交通流量，且行駛速率常受大型車影響，不當超車行為更是威脅交通安全，在在顯示台9線南迴公路拓寬改善工程之必要性。

本文除概略說明本工程多良高架橋設計背景及工法選擇外，主要將針對該橋下部結構井式基礎施工過程遭遇堅硬岩盤、地下湧水及潮汐海水滲流等困境處理過程及其解決對策之成效進行探討，期有助日後進行類似工程施工時之借鏡及精進作為之參考。

壹、前言

台9線南迴公路海側邊坡施築橋梁基礎，除須考量邊坡保護、作業空間及施工安全等因素外，臨海側長浪侵襲及颱風威脅亦是施工期間的防範重點(圖1)。

傳統橋梁結構位於邊坡上之基礎開挖，多採噴凝土或格梁護坡再配合鋼板(軌)樁或預壘樁等開挖擋土方式，然傳統工法所需處理之邊坡面積較大，除工程費用較高外，亦嚴重破壞工址週遭環境生態。

台9線南迴公路拓寬改善工程施工路段沿線地層以板岩崩積層為主，邊坡坡度約為25°～50°。由於工址坡度較陡，橋梁基礎若採傳統工法，除施工困難外，亦將嚴重破壞環境景觀。本工程多良高架橋橋墩採用井式基礎開挖工法，施工時不需大型機具，適用於作業空間受限的陡峭邊坡；並可降低邊坡擾動範圍，維持既有邊坡穩定，由於開挖範圍縮小，使施工對周遭環境景觀生態之衝擊降至最低(圖2)。

圖1 多良高架橋施工前邊坡現況

圖2 多良高架橋施工減少對環境破壞

圖3 多良高架橋井式基礎示意圖

貳、環境背景及工法選擇

台9線南迴公路拓寬改善工程橋梁橋址在經過台9線南迴公路山坡地情況下，其橋墩基礎施作時通常需面臨土方開挖後邊坡穩定處理及擋土支撐等議題。不論採用何種工法皆有坡度及高度限制、需要大量土方開挖作業及破壞當地生態景觀等缺點；而有關開挖擋土支撐方式，傳統工法皆採自然邊坡開挖、鋼板(軌)樁擋土或型鋼樁擋土等方式，各工法皆可能有適用土層限制、開挖範圍大、作業空間受限或是工期長、費用高等缺點。

井式基礎開挖工法施工方式，係先於原有邊坡表面整平後施作洞口保護工，再逐層開挖並施作掛網噴凝土壁體至PC底，完成基礎PC混凝土澆置作業，開始進行井式基礎鋼筋綁紮、內模組立及混凝土澆置等作業。本工法開挖範圍僅需較井式基礎結構略大，可將邊坡擾動範圍降至最小，施工時不需大型機具，適用於作業空間受限的陡峭邊坡，可提供橋梁工程於陡峭邊坡基礎開挖時的解決方案(圖3)。

參、井式基礎施工

台9線南迴公路拓寬改善工程多良高架橋全長1.361公里，上部結構採用支撐先進及逐跨場撐工法，下部結構橋墩基礎採用井式基礎，橋墩數共計30墩，井式基礎尺寸為直徑6M深度12M，採中空填土方式設計，最大開挖深度達22M。

一、施工步驟

有關多良高架橋井式基礎開挖工法之施工步驟概述如后(圖4)：

(一) 基地整理：首先清除洞口保護工預定位置處之雜草、樹木等地上物，並適度整平。

(二) 施作地面上之洞口保護工：於整地後先進行井式基礎環梁放樣、開挖、鋪設鋼線網及安裝桁型鋼肋，然後進行環梁噴凝土施工；再進行洞口保護工放樣及鋼筋模板組立作業，接著澆置混凝土完成洞口保護工結構體。

(三) 施作壁體：沿洞口保護工內側垂直向下開挖約1m，於垂直開挖面表面鋪設鋼線網、架設桁型鋼肋及施打垂直補強筋後，再以強度210kg/cm^{2}噴凝土施築15cm厚之擋土壁體。

(四) 重複步驟(三)直至井式基礎PC底面，進行25cm厚PC混凝土(280kg/cm^2)澆置作業。

(五) 於井式基礎封底頂部中央設置集水坑，裝設抽排水設備，將內部積水及壁體滲流排出，以利施工。

(六) 施作井式基礎結構及橋墩，完成多良高架橋橋梁下部結構。

二、施工管理重點

(一) 洞口保護工

洞口保護工施工前需視邊坡地形打設H型鋼樁擋土支撐，部分地形雜亂或臨近台9線邊坡處，在進行洞口保護施工前，除打

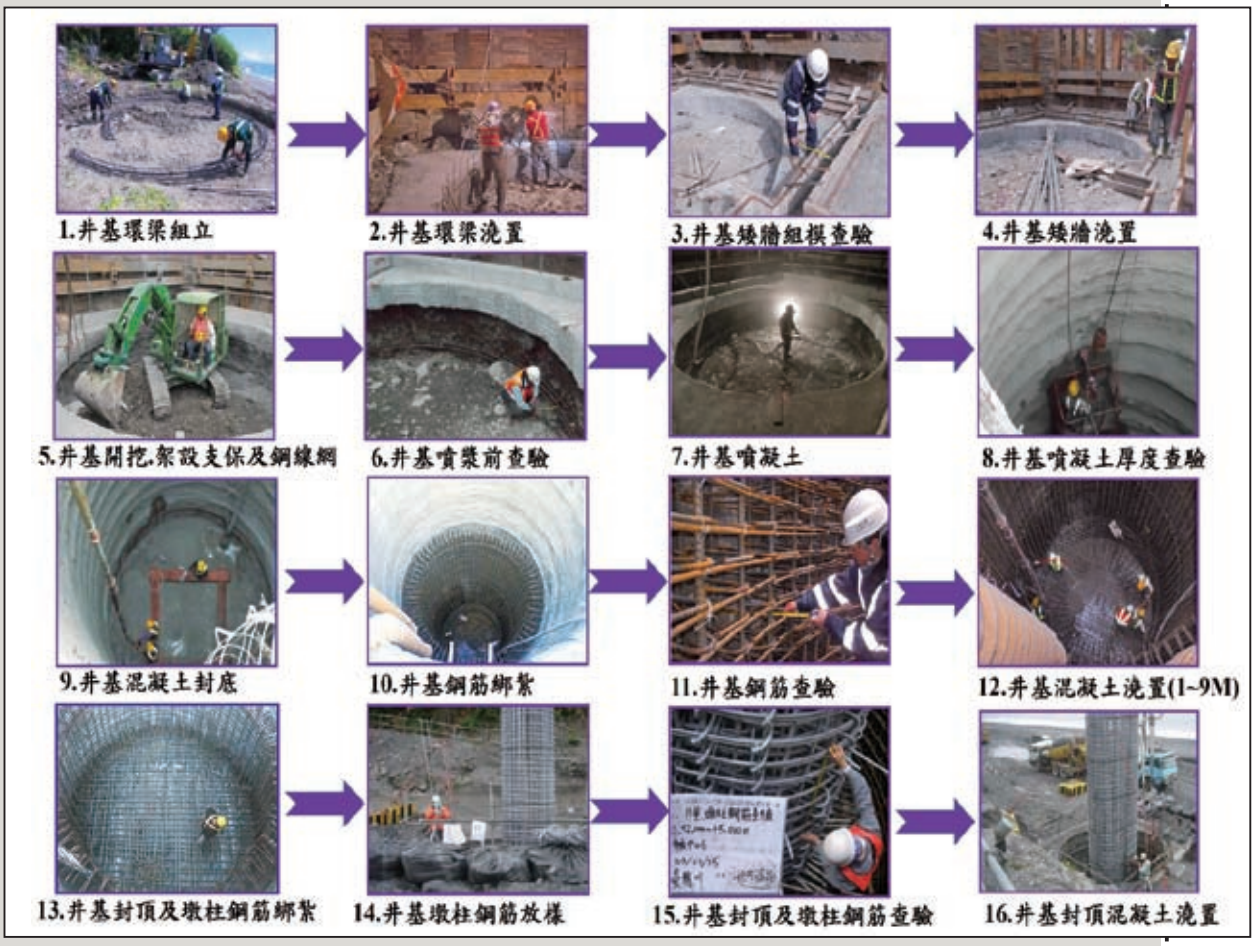

圖4 井式基礎施工步驟流程圖

設H型鋼樁擋土支撐外，亦需進行掛網噴凝土作業以穩定邊坡，避免井式基礎開挖期間邊坡土石崩落，危及台9線用路人及施工人員安全，故洞口保護工施工前須確認邊坡臨時性穩定措施完成後，方可進行後續開挖及整地作業。

(二) 井式基礎壁體

井式基礎壁體開挖時，需於噴凝土施作前裝置洩水孔，以降低未來井式基礎壁體因地下水所造成之側壓力，洩水孔之配置應視土壤透水性而定，通常以設置在低處為原則。

壁體噴凝土主要提供開挖表面穩定保護之用，噴凝土施作時須避免鋼線網及鋼筋後方壁體產生空隙，確保壁體及保護層之厚度；另外若工址屬破碎地層或發生湧水等現象，則需視個案狀況分別處理。

(三) 井式基礎開挖壁體垂直度量測作業

因多良高架橋井式基礎最大開挖深度達22M，故開挖前須於洞口保護工頂部安裝垂球線固定板，於井式基礎開挖期間，每M進行開挖壁體垂直度及井式基礎尺寸量測作業，避免超挖及結構偏心。

(四) 井式基礎封底

井式基礎封底頂部須設置集水坑及抽水設備，確保井式基礎內無大量積水影響鋼筋綁紮及內模組立，混凝土澆注前需將積水排除。

圖5 井式基礎設置抽風換氣設備

圖6 井式基礎開挖過程遭遇堅硬岩塊

(五) 井式基礎開挖安全管理

洞口保護工完成後，隨即於洞口四周設置安全欄杆防止墜落，井內設置護籠爬梯並附掛防墜器；為維護施工人員安全，承包商依照勞工安全衛生設施規則第12章通風及換氣相關規定，於井式基礎內設置抽排風機強制換氣(圖5)，人員進入前須檢測井基內氧氣及有害氣體濃度，缺氧作業主管應在場隨時監控；作業人員均需配備無線通信設備，以利井式基礎內部施工人員對外聯繫。

肆、井式基礎施工遭遇困難及解決對策

多良高架橋井式基礎施工初期即遭遇堅硬岩盤、地下湧水及潮汐海水滲流等困難，以下針對井式基礎施工過程各項遭遇困難及解決對策分別說明。

一、井式基礎開挖遭遇堅硬岩盤

依據多良高架橋地質鑽探資料顯示，該路段沿線附近共進行地質鑽探15孔，深度22M～30M，總鑽探深度共442M。沿線地層主要為崩積層覆蓋於板岩上，地下水位絕大部分位於井式基礎底部以下。本工程施工初期進行橋墩P4、P6、P9及P10井式基礎開挖過程，發現地質狀況多屬堅硬完整岩層(圖6)，經會同設計單位現場勘查結果，考量岩層地質條件優於井基混凝土結構，評估可減少井式基礎入岩深度。

經檢核考量井式基礎設計尺寸有結構穩定性的限制，無法將深度尺寸大幅縮減，且縮短後部分鋼筋仍需適度增加。綜合評估結果，因井式基礎深度縮減尺寸有限，無法藉以縮短井式基礎挖掘時間，提高工率，且鋼筋需重新設計補強，用量亦需增加，無法達到提高工率節省經費之目的。

經檢討，以施工初期工率分析，井式基礎挖掘1M深度所需時間4小時，鋪設壁面鋼線網、架設桁型鋼肋、施打垂直補強筋及噴凝土等作業時間4小時，每M井式基礎挖掘作業共計需約8小時，故一般正常工時情況下1天僅能挖掘1M。為加速工進推展，井式基礎施工改為24小時輪班方式作業，並增加1組挖掘工班進場，經以上述方式提升挖掘工率後，順利克服井式基礎開挖遭遇堅硬岩盤困境。

二、井式基礎開挖遭遇地下湧水及潮汐海水滲流

依現場開挖結果分析，井基開挖過程地下水已有大量湧入開挖區域情形，一般抽排水方

圖7 井式基礎開挖過程壁體海水滲流

圖8 井式基礎底板牆身實心灌注

式無法將地下水維持在開挖面下1M範圍內，即便採取強制抽水仍無法應付開挖壁體滲入之地下水。

因井式基礎挖掘受地下水湧入影響(圖7)，需採取適當井式基礎底部灌漿及壁體止水措施，為避免造成井式基礎混凝土澆置過程地下水滲入影響施工品質，故檢討井式基礎鋼筋應改採鍍鋅鋼筋。

經檢討：

(一) 井式基礎施工開挖時遭遇地下水，造成開挖壁面滲水，於水壓大且岩層較破碎位置時，以水柱方式噴出，其施工困難應屬開挖壁面噴凝土無法噴附影響最大，若配合適當措施導出壁面滲水，噴凝土即可噴附於開挖壁體，不需進行額外止水措施。依逐階開挖，配合抽排水，儘可能將滲水導排至集水坑再抽掉，逐階施做襯砌壁面，應可逐階止水。惟若壁體滲流量過大時，應考量將井式基礎由中空型式改為實心灌注方式施作，藉由實心灌注混凝土消弭壁體滲流量過大時對結構安全之影響。

(二) 本工程混凝土係採用TYPE II抗中度硫酸鹽水泥，適用於抗鹽蝕、海灣、臨海、海中構造物。

(三) 依港灣構造物設計基準第三篇工程材料所述，海水中對鋼材之腐蝕速率以在飛沫帶最快，而於海底面下腐蝕速率相較是最慢。本工程金崙高架橋與多良高架橋於海(水)中路段僅墩柱部分採用熱浸鍍鋅鋼筋，上構與基礎均未需採用熱浸鍍鋅鋼筋，故施工過程鋼筋接觸海水，應屬短期現象，結構完成後鋼筋為混凝土完整包覆同時阻絕空氣不會有向內部鏽蝕現象。

(四) 多良高架橋井式基礎於海水中施工已就結構混凝土、鋼筋品質及未來耐久性做完整設計考量，故井式基礎內部及外部皆已符合海中環境之設計要求，不至於影響結構安全。

(五) 另井式基礎PC面灌漿對後續井式基礎鋼筋綁紮、集中抽排水及人員施工確有助益及需求。

(六) 井式基礎應於混凝土澆置前以清水沖洗鋼筋以避免鹽份附著，維護施工品質。

上述井式基礎開挖遭遇地下湧水及潮汐海水滲流困境，經與業主、設計單位及承包商多

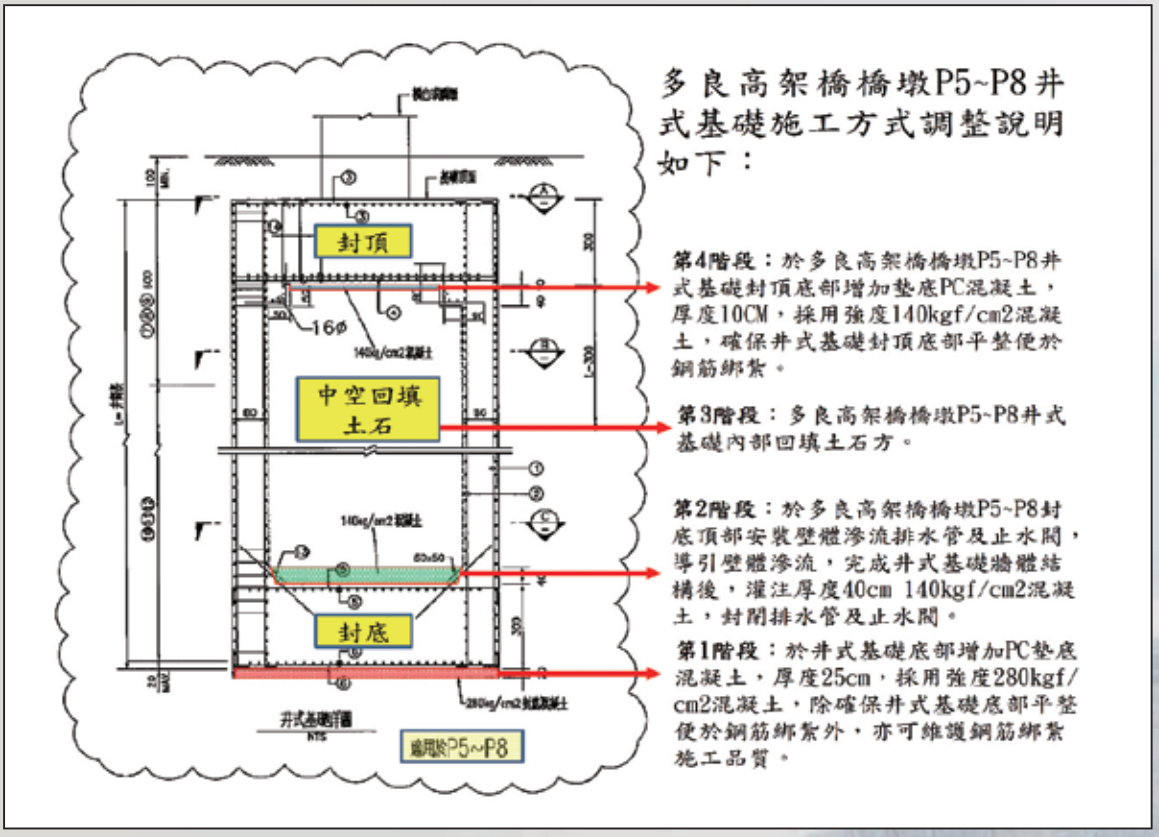

圖9 多良高架橋橋墩P5～P8壁體滲流解決對策示意圖

次檢討結果，為加速井式基礎施工工率，避免地下湧水及潮汐海水滲流壁體影響後續施工及結構品質，井式基礎由中空填土改以實心灌注混凝土方式施工(圖8)，節省井式基礎內部模板組立時間及費用，符合業主避免工進延宕及維護結構安全期望。

三、井式基礎(P5～P8)壁體滲流解決對策

多良高架橋井式基礎P5～P8間，施工初期未採取變更實心灌注混凝土方式施作，為維護施工品質，於施作牆體結構前先行於井式基礎“封底”頂部裝設壁體滲流排水管，以利壁體滲流藉由排水管排放至井式基礎中央集水坑內，利用抽排水設備保持井式基礎內無積水，俟井式基礎牆體結構施作完成，並確認井式基礎內部無積水或滲流情形時，澆置40cm厚140kg/cm²混凝土將止水閥及排水管封閉，以利井式基礎中空部位土石回填作業(圖9)。

伍、分享與建議

台9線南迴公路拓寬改善工程多良高架橋井式基礎施工過程，雖遭遇堅硬岩盤、地下湧水及潮汐海水滲流等困境，經過業主、設計單位、監造單位及承包商共同研商及檢討，相關施工困難均已逐一克服，以下將就後續規劃設計及施工前評估，提出幾點建議：

一、設計階段之地質及水文調查應確實及完整，以預知地下水或海水湧入狀況，於契約內預先擬訂因應對策及標準作業程序，相關工作經費及工期編排應詳盡，以利監

造單位監督承包商事前規劃是否合理。

二、井式基礎施工過程隨時會有不同變化及突發狀況，現場人員應隨時監測壁體開挖情形，遇有緊急狀況需立即採取應變作為。

三、橋梁井式基礎之直徑尺寸，需考量開挖機具及人員進出所需作業空間。

四、橋梁井式基礎需因地制宜，位處臨海側井式基礎需考量施工進出動線，是否會遭遇長浪侵襲，邊坡穩定措施符合現況需求。

五、橋梁井式基礎局限空間挖掘作業施工安全需隨時注意，而上下護籠爬梯、防墜器、夜間照明、無線電對講機及通風換氣設備等井式基礎所需安衛措施及數量，需詳加考量，並量化於契約內。安衛工程師需確實執行勞工安全衛生檢查事項，加強勞安管理、教育訓練及危害告知，維護施工人員作業安全。

陸、結論

目前台9線南迴拓寬改善工程正如火如荼的展開，因改善路段位於海岸及山區，施工環境險峻，過程中常受長浪及颱風豪雨侵襲，如何克服及解決各項施工障礙，如期如質完工，對現場施工人員而言，將會是重要的課題及挑戰；井式基礎開挖工法除避免大量土方開挖與邊坡破壞作業外，亦可將邊坡土壤擾動範圍降至最低，施工時不需大型機械及特殊施工技術，特別適用於陡峭邊坡或施工空間受限區域，具有維持原有地貌、降低邊坡崩塌可能、節省工程經費、縮短施工期間等顯著效益；因此就景觀性、環保性、施工性、經濟性、工期性及安全性等皆優於傳統開挖工法。本文藉井式基礎施工中所遭遇的各項困難及解決方案，提供後續施工規劃參考，期望在類似的環境條件下，順利推展工進，節省相關經費及研討時程。

目前多良高架橋下部結構工程已全數完成，持續趲趕上部結構箱型梁；本工程係國內少數延海岸線構築高架橋之施工案例，除難度較高外，施工前亦需詳細評估邊坡穩定各項措施是否符合現地需求，期許工程施工與破壞環境生態不再畫上等號，共存共榮。

參考文獻

1. 交通部公路總局施工說明書技術規定第03050章混凝土基本材料及施工方法。
2. 勞工安全衛生設施規則 第十二章第三節。
3. 台9線412K＋350～415K＋500間拓寬改善工程多良高架橋井式基礎各項施工疑義會勘、會議紀錄及變更設計文件。