

地工技術

井式基礎工法應用於卵礫石層 之精進方案案例介紹

林保宏 鄭旭成
逢甲大學土木工程學系

摘要

本文係以「台中捷運CJ920區段標工程」之井式基礎為個案研究案例，為國內首次於都會區大規模採用井式基礎施工之實務案例，針對井式基礎於都會區施工因人口稠密、用地受限等環境因素干擾等問題，研究探討適合台中都會地區卵礫石層地質之井式基礎施工方法，並檢討現今傳統井式基礎職安、環保缺失，分析改進及防止對策，以期井式基礎在卵礫石等自立性佳地質條件下，具減少施工噪音與揚塵之環境優點並提升施工安全性的施工方式，能廣為一般民間或公共工程所採用。

關鍵字：井式基礎、噪音、揚塵、卵礫石層。

Case Study on Enhancement Scheme for Well Foundation Construction Method in the Gravel Formation

Pao-Hung Lin Hsu-Cheng Cheng
Feng Chia University, Department of Civil Engineering

Abstract

This article discusses The Rapid Transit System of Taichung City at the CJ920 Section, considered as the first project adopting a large-scale well foundation method in Taiwan. The project focused on the densely population and limited space of the metropolitan environment conditions. The well foundation built on gravel layer of the central Taichung area was also developed to scrutinize safety improvement on the traditional well foundation method and environment pollution prevention. The well foundation method applied on fine gravel layer sites could reduce acoustic noise, dust pollution and increase construction safety. Therefore, this method could be widely used in the metropolitan area by the civil and public projects.

Key Words : well foundation, noise, dust, gravel layer.

一、前言

臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線CJ920區段標G3至G9站區段標工程，全長約8.064公里，座落於台中市文心、北屯、松竹路段等人口稠密都會區，全線皆為高架橋及G3、G4、G5、G6、G7、G8、G8a、G9等八座高架車站。本工程井式基礎計315支，總計

深度達5506m，依井口直徑尺寸不同區分5m、6m、8.5m三種型式，施工數量繁多，為國內首次於都會區大規模採用井式基礎施工之實務案例，且部份用地尚未交付及管線、地下水、工址狹隘等因素等干擾，井式基礎施工為工程主要施工要徑。

本文係依台中捷運CJ920區段標井式基礎工程之施工經驗，檢討現今井式基礎及祛水鑿井施工方式，因地質條件僅適合於卵礫石等

自立性佳條件，考量安全、環保(噪音、揚塵)疑慮、功率提升及品質常見缺失，尋求改進及防止對策，提供適合市區及工區狹隘且井式基礎數量較多等條件之井式基礎施工方式。

二、工程地層分佈與特性

本文之施工工程案例計畫路線沿線主要為台中盆地，其地層主要由旱溪、柳川、梅川、麻園頭溪、筏子溪及旱溪等各大溪流沖積而成之沖積扇聯合形成之沖積平原，多為卵礫石為主之現代沖積層所組成，其地質特性主要為灰色卵礫石夾粗中砂，礫石粒徑多在3~30公分，且偶有較大尺寸之巨石分佈，N值多在90~100以上；局部夾灰色砂質粉土與細砂互層，N值則多在15~50之間該區卵礫石含量高且石質堅硬，排列緊密及異向性，具高透水性，地下水位多在地表下1.15~15m之間。

本文案例工程以規劃階段之地質調查報告及鐵路改建工程局「臺中都會區鐵路高架捷運化計畫」(鐵路改建工程局，2006)之調查成果研判，本工程所在之地層主要可分成三個層次，由上而下分別為回填層、粉土質砂層，以及卵礫石層，各層次之物理性質如表一所示。

中盆地之地下水位高程一般在地表下十m之內，由於台中盆地地質為卵礫石層所組成的，卵礫石層孔隙率大，其滲透性高，是為良好之透水層，也因此基礎開挖之前，應先偵測地下水位，再抽取地下水，降低其地下水位。根據高速鐵路苗栗-臺中段地質鑽探與試驗報告(財團法人中華顧問工程司，1998)以現地抽水試驗求得之透水係數K值約介於 8.7×10^{-1} 至 1.96×10^{-4} cm/sec。

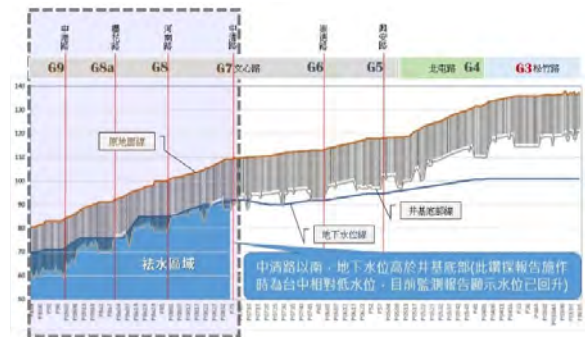
三、台中捷運井式基礎工法案例介紹

「臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線CJ920區段標G3至G9站工程」為本文研

究案例，其車站、橋梁基礎，因應台中地區特有之卵礫石層地質條件及為減少基礎施工對市區地下管線干擾等因素，其基礎型式採用井式基礎設計。

考量工期緊迫及為減少井式基礎施工中之不確定性因素，如滲水、坍塌及其他可能發生之影響施工變數，以過往傳統井式基礎施工經驗，其井式基礎之擋土保護工以採噴凝土為主要施工方式，惟於市區人口稠密處進行井式基礎保護工施工所產生之噪音、揚塵，造成周遭環境污染等影響因子，恐將引發市民負面觀感及反彈聲浪，使施工之不確定因素大幅增加，進而影響工程進度。

另於設計補充地質調查資料顯示(詳圖一)，本文案例於G7車站(即中清路)以南路段，其地下水位皆高於井式基礎底高程，基於井式基礎施工需求，故該路段需進行大量排水至井式基礎底高程以下，其抽排水之功率、配置、點井設置及安全觀測配置亦須詳加考量。本文個案井式基礎混凝土套環其原理為利用薄壁圓筒均勻受壓之力學原理，規劃之混凝土套環鋼模分為兩種型式:頂部環梁鋼模、下部鋼環模，第一種型式用於地面~GL.-2.5m之頂部環梁鋼模(即設計井基頂至地表間的回填層)，其作用除抵抗土壤側壓力及灌漿壓力外，另可兼做井口保護設施使用；第二種型式用於GL.-2.5m~井基底部之下部鋼環模(即設計樁長)，其作用則主要為抵抗井式開挖時基礎土壤側壓力及灌漿壓力。



圖一 地下水位分佈圖

表一 簡化地層參數表

編號	土層深度(m)	土層分佈種類	Su (tf/m ²)	γt (tf/m ³)	qu (kgf/cm ²)	N Value	C' (tf/m ²)	φ' (deg.)
1	0.0~1.13	回填層(瀝青、級配)	-	2.0	-	-	-	30
2	1.13~2.80	粉土質砂層	-	2.01	0.876	13	-	30
3	2.80~40.0	卵礫石層	-	2.10	-	>100	0	35.4

於第一階段(頂環:屬空掘段,即設計樁頂至地表間的回填層)開挖2.5m深,將預先製作可分解之內鋼套筒,在開挖孔內組裝,此鋼套筒可提供臨時之擋土及灌漿之內模,再將鋼套筒與土面間澆注滿混凝土,俟其強度達到結構計算要求初期強度,再開挖下一階段(設計樁長段),以每一循環開挖深度1.5m,安裝鋼絲網後,再將鋼套筒與土面間澆注滿280kgf/cm²混凝土,內鋼套筒於混凝土套環達到預定強度得以支撐側向土壓力後,即可拆模,如此以每環1.5m輪進週而復始循環施作至設計深度。其施作特性類似建築之逆打功法。為防止開挖可能造成周圍地盤移動或變形,必須考量必要之安全措施,因此整體的安全架構不僅須考慮在土壓、水壓的作用後,而且對減少擋土架構的變形也應特別加以考量。開挖階段採用內鋼套筒之擋土系統,於混凝土套環澆置完成並達到預計強度後,以混凝土套環做為開挖之擋土系統。

井式基礎精進工法施工流程簡單來講是將頂環完成後,逐步完成每一套環,直到井底部,再澆置PC,於鋼筋綁紮完成後澆置第一階段井式基礎RC1(井式基礎底部至墩柱鋼筋底之結構部位),立墩柱鋼筋完成澆置RC2(墩柱鋼筋底至井式基礎頂部之結構部位),最後回填覆土層。井式基礎精進工法施工流程詳圖二。



圖二 井式基礎精進工法施工流程圖

3.1 井式基礎精進工法施工步驟說明(遠揚營造工程股份有限公司, 2013a)

1. 施工前準備: 施工前依設計圖進行現場放樣並在地上做記號或輔助點; 材料進場時應先檢查規格尺寸及是否有變形損壞等。

2. 施作流程

(1) 本工程井式基礎以機械式開挖, 為避免開挖時因土面崩落造成意外, 故於第一階段開挖時(地面~GL-2.5 m), 利用機具將組立完成之外鋼套環吊放並定位完成後, 先行背填灌漿並俟混凝土達到強度後, 再進行下一階段開挖。

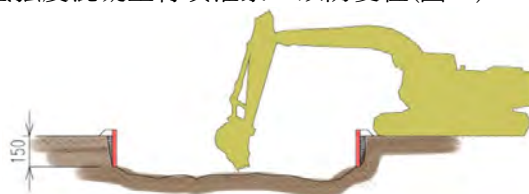
(2) 開挖時, 需擋土支撐作業主管及侷限空間作業主管在場監督, 方可作業。

(3) 開挖時嚴禁作業人員進入挖土機作業半徑, 並需做好人員管制。

(4) 施工標準程序(a)至(i)如下:

(a) 井式基礎位置測量放樣: 施作前先於現場放樣井式基礎施工位置, 放樣完成後在井式基礎範圍外約1m處施作安全護欄。

(b) 安裝外鋼套環及第一階段降挖: 首先進行井基空掘段土方開挖, 再將預先組立之外鋼套環, 吊放入導坑內, 調整位置定位後, 開始以低強度混凝土背填灌漿, 以防變位(圖三)。



圖三 井式基礎安裝外鋼套環及第一階段降挖示意圖

(c) 第二階段降挖及混凝土套環施做: 以挖土機進行第二階段開挖, 以每一循環開挖深度為1.5m, 依設計圖數量組立混凝土套環之鋼絲網, 再利用機具吊放鋼模並組立, 組立時, 將鋼模以螺栓與上一層內鋼套筒之預留螺栓孔結合並鎖緊, 現場利用手搖吊車進行垂直度及位置微調, 安裝底模, 並於鋼模底側施作土堤。

(d) 混凝土套環灌漿: 混凝土灌漿於內鋼套筒與土層間, 為發揮混凝土早期強度及混凝土流動性, 將使用高流動性之混凝土澆置, 以確保內鋼套筒與土壤之間確實達到澆置填實效果。並且於灌漿時利用內鋼套筒頂部所預留之澆置孔(每片模2孔每孔 ϕ 20CM)使用振動棒搗實並隨時檢視下環模板灌漿狀況。

(e) 第三階段降挖及混凝土套環施做: 俟混凝土套環達到設計強度後, 進行下一階段開挖, 內鋼套筒並不拆除, 所以每次安裝之內鋼套筒, 皆可與上一階段之內鋼套筒以螺栓結合, 可提高施作精度。開挖至固定深度(每階段

土 工 技 術

1.5m深)後，重複步驟五~八，完成混凝土套環(圖四)。

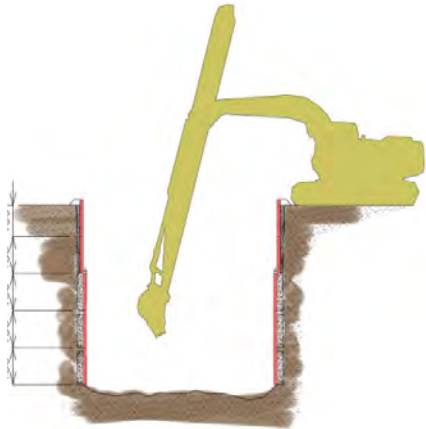
(f) 內鋼套筒拆模：俟混凝土套環達設計強度，可支撐外側土壓力時，拆除內鋼套筒。每次混凝土套環灌漿，於每層鋼模上方預留孔位以做為下層混凝土套環澆置孔，此孔位於井式基礎施作時，可作為剪力樺使用(圖五)。

(g) 施做井式基礎結構本體(RC1)：混凝土套環於完成置樁底高程後，施作井式基礎本體，由樁底PC→井基鋼筋綁紮→井基(RC1)澆置混凝土(圖六)。

(h) 施做井式基礎結構本體(RC2)：俟井式基礎RC1完成後，進行墩柱鋼筋綁紮→井式基礎頂蓋鋼筋綁紮→井式基礎RC2澆置混凝土(圖七)。

(i) 回填：俟井式基礎RC2完成後，進行墩柱升層結構→頂部回填區外鋼套環拆除→回填。

(5) 井式基礎精進工法步驟示意如下圖八第1~14所示。



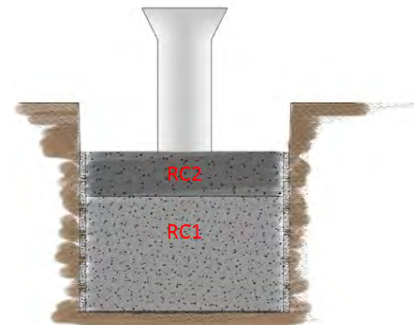
圖四 井式基礎施工第三階降挖及混凝土套環施工示意圖



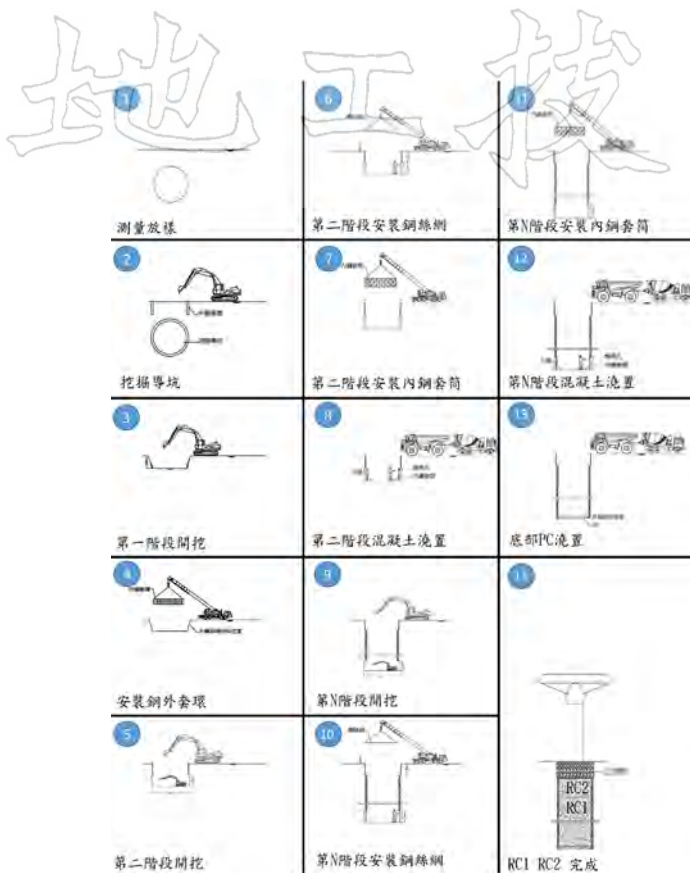
圖五 井式基礎混凝土套環澆置孔



圖六 井式基礎混凝土套環澆置RC1



圖七 井式基礎混凝土套環澆置RC2



圖八 井式基礎精進工法步驟示意圖

3.2 井式基礎精進工法施工安全驗證

1. 地層開挖和井基擋土結構物安全驗證：本文個案探討之井式基礎精進工法所採取混凝土套環的施工方式進行安全評估。井式基礎精進工法之分析：採用三維有限元素分析程式，模擬分析井基擋土精進工法之地層開挖和井基擋土結構物之開挖支撐步驟所引致周圍的應力和位移變化。經由三維有限元素程式的模擬分析結果顯示，地層開挖各階段(環片厚度17 cm)開挖的最大位移量分別為第一階段(0.291 mm)、第二階段(0.567 mm)、第三階段(0.588 mm)和第四階段(3.885 mm)等。整體而言，地層開挖最大位移發生最底層的開挖(第四階段)。地層開挖各階段開挖的最大Von Mises 軸差應力分別為第一階段(1.562 tf/m^2)、第二階段(8.407 tf/m^2)、第三階段(14.811 tf/m^2)和第四階段(13.433 tf/m^2)等。地層開挖最大Von Mises軸差應力發生第三階段的開挖(14.811 tf/m^2)。

經由三維有限元素程式的模擬分析結果顯示，井基擋土結構物(環片厚度17cm)各階段擋土結構的總位移量分別為第一階段(0.288mm)、

第二階段(0.567 mm)、第三階段(3.908mm)和第四階段(7.06 mm)等。整體而言，擋土結構最大位移發生在最底層的開挖(第四階段)。其次，擋土結構各階段支撐的最大Von Mises軸差應力分別為第一階段(3.176 tf/m^2)、第二階段(32.568 tf/m^2)、第三階段(33.144 tf/m^2)和第四階段(32.511 tf/m^2)等。擋土結構支撐最大Von Mises軸差應力發生第三階段的開挖(33.144 tf/m^2)。關於井基擋土結構物環片厚度的影響性探討，分別厚度為17cm和15cm兩種。經由計算分析結果顯示，最大總位移發生在環片厚度為15 cm(總位移8.58 mm)，而環片厚度為17 cm(總位移則7.60 mm)。由此可知，環片厚度越薄則產生較大之位移量，同時產生較小的軸差應力。

2. 套環採用厚度驗證：套環採用厚度15公分套環，6#鋼線網雙層，不同套環則不同間距，混凝土採用280kgf/cm²，土壓力與保護工厚度經力學分析及頂環鋼模midas civil安全分析後，均符合安全。

3. 套環鋼模厚度驗證：套環鋼模安全分析：使用midas civil分析模板使用6mm鋼板，模擬為板元素、橫加勁筋為FB 6mm×150mm，模擬為板元素、上下封頭筋為FB 9mm×150mm，模擬為板元素、中央加勁筋為H150mm×150mm，模擬為梁元素、豎加勁筋為FB 9mm×150mm，模擬為梁元素、部份豎加勁筋為L 150mm×12mm，模擬為梁元素，分析結果均符合安全。

4. 拆模時機：套環混凝土強度約達設計強度1/7(40 kgf/cm²)即足夠可支撐開挖階段之側壓力，故現場將製做多組試體，俟試體強度足夠後即可進行拆模作業。

3.3 井式基礎精進工法施作工率及時程規畫

本文個案以34組套環鋼模分別同時進行施工，井基共有315支，每月平均約可施做20~24支。就本個案單支井基施工功率與傳統井基噴漿或鋼襯版工法皆相同，井環部分以每天完成一個輪徑井環深度進行，依井基設計深度及地質條件配置井環輪徑深度，致其完成時程因而有所差異。本個案主要差異由於井式基礎主要進度要徑為混凝土套環，運用井基套環

鋼模可大量投入及方便移動等因素，先行大量生產井環供後續鋼筋綁紮及混凝土澆置進度，因井環及井式基礎主體結構屬不同工項工種，於井基套環完成區域，進行該區域井式基礎結構工程作業，當上述兩者工項分區作業時，由於工作區域錯開，工作時程與井式基礎套環重疊施工，當可縮短井式基礎完成時間，以增加井式基礎完成數量。

本文個案工程井式基礎工班設備套數，時程規劃原則為：

1. 全工區依街廓共區分為31工區，採街廓分組規畫方式施工，以分區段分組方式，每組集中施工，減少設備機具人力搬移，每一街廓規劃為一組工班配合機具(卡車、挖土機)施做，每組工班單次施工數量為3~4口井基(約為挖土抓斗機3~4口井基/天工率，視工區動線條件調整井基施工口數)。

2. 施工基準網圖將各尺寸、深度井基分析規劃所需工時，惟施工時需配合更換套環模板，將於現場局部調配施做順序。

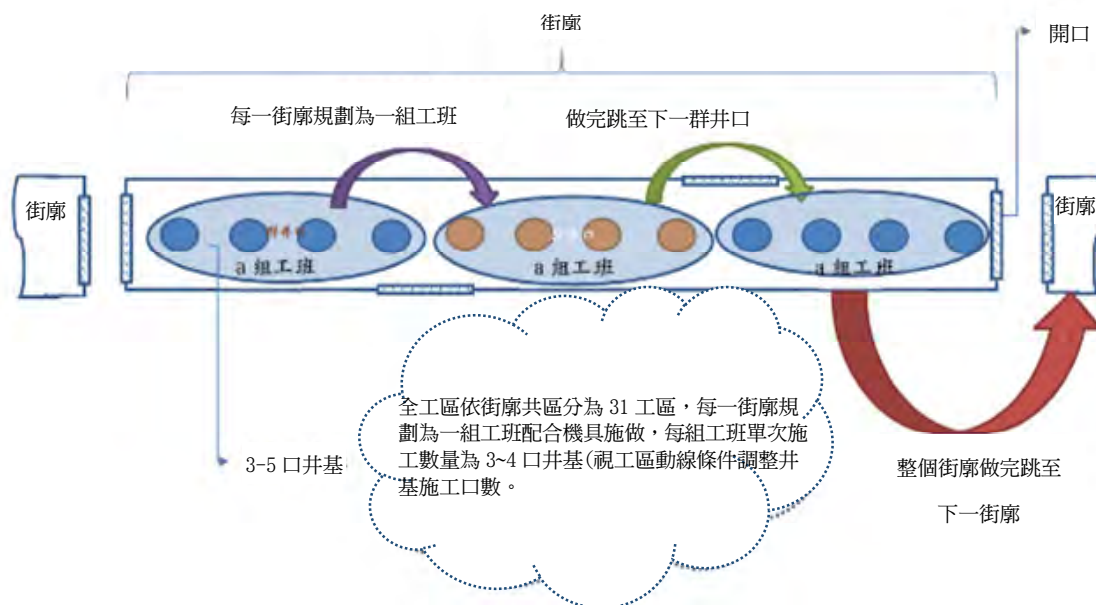
3. 依據井式基礎規格型式區分為直徑D:5m、6m、8.5m，並將工區依路段長度區分為北、中、南三區段施工，依型式建立彼此連結關係。

4. 各組工班配合街廓完成後調配至下一街廓施做，工班順序如圖九。

四、全套管鑿井祛水工法案例介紹

本文個案為台中捷運CJ920標工程之井式基礎全套管鑿井祛水工法案例介紹(遠揚營造工程股份有限公司，2013b)，於井基壁外抽水井適用配置於於洩降需求量大於3m之井基，即地下水高於井式基礎開挖面達3m以上者需配置井式基礎壁外抽水井，洩降需求小於3m未設井式基礎壁外抽水井者可直接利用開挖降水之抽水機組於開挖降水作業。井式基礎壁外抽水井施做時於井基外側2m處(井基邊緣至抽水井中心之間距2m)以全套管機具進行抽水井之挖掘工作，於抽水井挖掘完成後，設置適當之抽水馬達進行祛水(詳如圖十)。

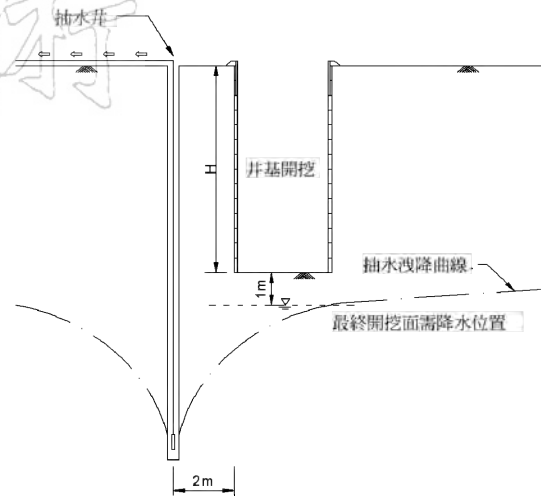
由於台中卵礫石層因顆粒大、卵石質地堅硬且透水性極為良好，工程上一般須使用馬力數較高之大口徑抽水井，以滿足洩降需求，其施工方式較砂土層不同，主要以採用抽水井，挖掘井徑為1.2m，井內放置開孔鋼管 $\phi 0.7m$ ，井壁與鋼管間填充透水礫石(詳如圖十一)。為求有效降低地下水位，以利井基開挖施作，故以施工現址G8a車站進行施作抽水試驗，求得符合現地之水理參數滲透系數 $Kr=3.08 \times 10^{-2}(cm/sec)$ 、比儲水係數 $Ss=3.52 \times 10^{-4}(L/m)$ ，進而有效計算配置適當之抽水井及機具。依據抽水試驗取



圖九 井基施做工班時程邏輯圖

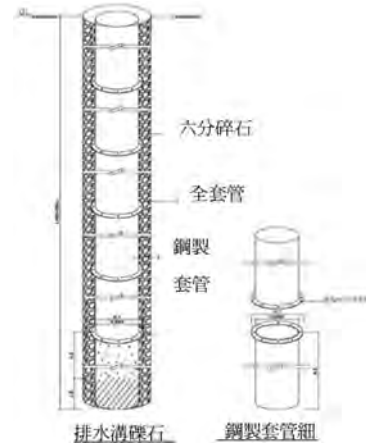
地工技術

得之水理參數配合井基開挖深度分析配置抽水井深度為20~35m，因此所需抽水揚程至少為35m以上，規畫採用置於井底之抽水馬達為50HP~60HP，評估單井抽水量應可滿足最大約280m³/hr。另外，部分井基之預定洩降量大於3m無配置抽水井者，可直接利用開挖降水之抽水機組於開挖降水作業餘暇抽除，至於有關雨水集水坑之容量設計，係主要為防止抽水機臨時故障，於機具轉換過程中所允許積水量考量。經檢核結果，擬於井基開挖面壁旁處留一0.5m(W)×0.2m(H)之集水邊溝，並挖設一2m(W)×1.8m(H)之小集水井作為集水抽水用。



圖十 井基開挖深度及降水示意圖

本個案工程井式基礎共計315處，其中經評估需降水之井式基礎共計有117處。抽水井之配置原則說明如下：原則上降水需求小於3m者採用井基內集水坑方式降水，降水需求大於3m以上者，則於井基外2m處配置至少1口抽水井(抽水井中心至井基外緣2m)，部分井基洩降水位需求較大者，則配置2口(或2口以上)之抽水井。此外，抽水井配置時係考量分區作業，此時數口抽水機同時抽水，該分區之洩降曲線係考量群井相互疊加之效果，疊加後之洩降曲線需滿足規範要求水位低於開挖面下1m；少部分井基因鄰近數口井基之抽水井共同抽水時已將水位降至開挖面下1m者，則可考慮不需要配置抽水井。



圖十一 卵礫石層水井構造示意圖

全套管鑿井祛水工法主要為改變台中地區卵礫石地質所採用的人工鑿井(擋土柱)方式，以機械施工取代人工鑿井，以解決現有台中地區特有人工鑿井(擋土柱)工法人力不足現象，避免人員進入地下井內施工所產生土壤崩塌、人員墜落、物體飛落等職業災害，可大幅提高施工安全及施工功率。有關於本文個案抽水井之施工步驟說明如下(詳如圖十二)：



圖十二 祛水施工流程圖

1. 全套管機：以全套管φ 1.2m於預定水井位置挖掘抽水井。
2. 開孔鋼管：全套管機組挖掘至預定深度，再於φ 1.2m全套管挖掘完成之抽水井內放置φ 0.7m開孔鋼管，並於鋼管放置前於鋼管開孔段包紮濾網。
3. 透水礫石填充：井壁與開孔鋼管間填充透水礫石，填充完成後將全套管外套管起出。

4. 抽水馬達安裝：全套管外套管起出後及場地整理完成，始可導入抽水馬達(50HP~60HP)至井底，並以PVC管接續排水。

五、井式基礎精進工法效益分析

5.1 職業環境衛生效益分析

1. 降低噪音與塵土之不良影響：本文個

案為提昇井式基礎施工效率與工作環境，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)，以過往工程施工經驗，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，且由於傳統井基工法之擋土壁體大多數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，其影響因子易恐將引發市民負面觀感與反彈聲浪，造成工程施工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，該施工團隊努力研究檢討，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做經驗，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，亦可藉此將噪音與塵土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，營造出一個優質、安全、高效率的施工環境。

2. 減少民眾陳情事件：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，惟考量倘於夜間施作，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予搭配大口徑之PVC管，來澆置施做背填混凝土，經現場實際量測，所產生之噪音音量均符環保法規且並有效具體減少民眾陳情事件。

3. 降低交通衝擊：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執行腹地小容易控制，更無需現場拌製佔據大面積場地影響交通，減少緩和市民之負面觀感。

4. 回收使用鋼材提升再利用價值：此場鑄混凝土套環所使用之鋼模可多次重覆翻用，減少原設計鋼肋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。

5. 減少安衛環保直接費用支出：在工區現場施工時，均可具體達成減噪、防塵等預期成果，並有效增進周遭民眾對工程支持度與認同感。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，與原先預期倘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。故以井式基礎精進工法施做對勞工環境衛生與環保效益極大，自然對災害防止效果便得以提升。

6. 提高安全性：全套管祛水工法主要為改變台中地區卵礫石地質所採用的人工擋土柱鑿井方式，以機械施工取代人工鑿井，避免人員進入地下井內施工所產生土壤崩塌、人員墜落、物體飛落等職業災害。

5.2 井式基礎精進工法綜合討論

針對井式基礎，因施工團隊業已先行針對施工動線及鋼筋綁紮方式預為研擬，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，配合本文個案施工特性：井基數量大(315支)、工區街廓多(31街廓)，採街廓分組規畫方式施工，以分區段分組方式，每組集中施工，減少設備機具人力搬移，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，使施工時程較一般井式基礎施工大幅縮減三分之一時間。由於本工法為首次運用在市區橋梁工程之井式基礎施工，施工中所遭遇困難及解決方式做以下說明：

1. 鋼模環片2片成本太高：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，基於工進與安全考量，並經檢討後，在原規劃鋼模環片數量不變下，改採單一鋼模環片滑模方式(詳圖十三)，則其施工品質仍可維持確保，亦可藉此大規模推展工作面，工作效率獲提升。



圖十三 滑模設備吊放照片

2. 上下設備用吊車移動需耗時甚久成本太高；由於井基數量甚多，施工人員上下頻率頻繁，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. 工區內車行動線被截斷，工區之施工工率嚴重受影響：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8.5、6、5M不等，然部分街廓將因井基施做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之井式基礎之井口(詳圖十四)，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必要，為此增進工作效率與減少工程之直接成本。

4. 套環與基礎結構體結合度差：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，並俟待混凝土套環壁體施作完成後，原其灌漿孔成為剪力樺，使結構體更具體有效結合。

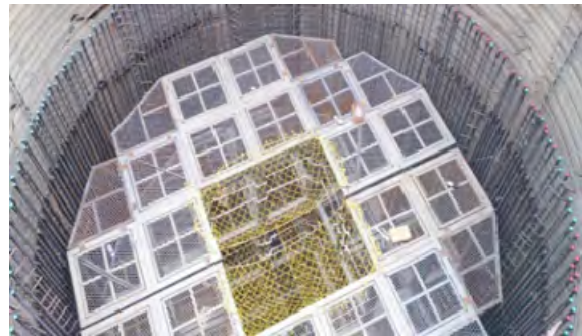
5. 井基深度大落差高，人員有墜落之虞：針對井式基礎之鋼筋綁紮，考量受限於既有井口空間環境，致使施工人員上下動線與鋼筋綁紮施作不易，現場施工人員之安全亦恐產生疑慮，且井基規格型式多，需考量適當之施工架供鋼筋綁紮人員使用，於是施工團隊開始著手現場模擬研究，彙集巧思提出「變形金剛」方案，意即將施工架調整修正為展開可變式組合(詳圖十五)，不僅使施工人員作業空間大幅提昇，人員墜落風險亦大為降低，施工效率與施工安全皆獲明顯改善。

6. 混凝土壓送車之噪音太吵：於混凝土套環背填規劃係採混凝土壓送車施作，惟考量倘於夜間施作，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(詳圖十六)，來澆置施作背填混凝土，經現場

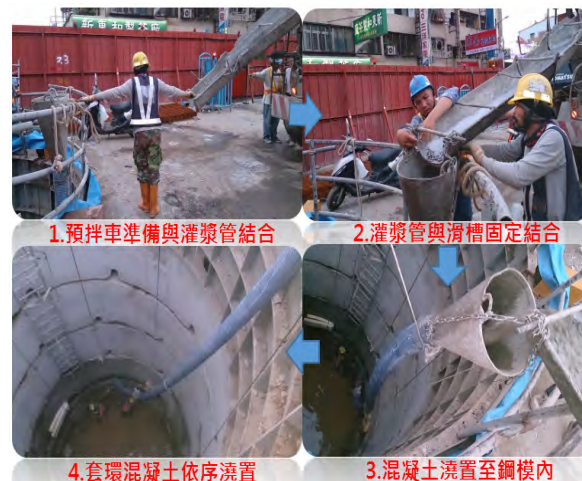


1. 動線空間不足施 2. 拆除部分景基護 3. 恢復護欄，施工
工機具通行 欄，放置棧橋 機具順利通行

圖十四 棧橋設備改善工區空間不足照片



圖十五 組合式變形施工架施工照片



1.預拌車準備與灌漿管結合 2.灌漿管與滑槽固定結合
3.混凝土澆置至鋼模內 4.套環混凝土依序澆置

圖十六 採重力原理之澆置設備施工照

實際量測，所產生之噪音音量均符環保法規且並有效具體減少民眾陳情事件。

7. 地下水位太高會增加土壓力，造成崩塌風險：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，地下水位極高，執行井基施工時需要先抽水並須隨時注意水位觀測。

8. 抽降水量大，增加地表沉陷風險：本研究案例地區降水區域地質為緊密卵礫石砂土層，自立性佳、透水性高，經由監測地表沉陷點資料分析，自施工前到完工後，地表皆無明顯沉陷，依監測資料結果，沉陷量值為3~9mm，均遠小於警戒值30mm，顯示抽降

水對該區域地表沉陷影響不大。

9. 損耗大：本案例卵礫石顆粒大，約為10~80公分不等(如圖十七)，基地愈北邊卵礫石粒徑愈大，由於卵礫石地質為交錯排列，非規則性，且開挖不易，挖掘時易因卵礫石排列交錯因素產生壁體超挖現象，以致混凝土損耗較多。於施工期間套環混凝土損耗統計，損耗量約為200%。(註:損耗量主要影響原因為(1)地質條件：該區地質為卵礫石層；(2)開挖機具：採機械或人工挖掘方式損耗差異，施工單位以機械做主體挖掘後再以人工修掘井壁方式進行混凝土損耗量評估，損耗量可減至100%左右，惟耗時、費工且增加土壤壁體崩塌風險，基於安全、工期因素考量，採用機械挖掘方式)。



圖十七 井基開挖之卵礫石照片

六、結論

1. 台中盆地屬堅實卵礫石層地區，地盤穩定性高，基礎設計條件良好，於橋梁或建物之基礎可考慮載重、用地限制、開挖工法、造價與工期等條件，彈性運用基礎型式。惟因地下水位高，地層透水性佳，抽降水措施及其他輔助工法需於開挖擋土施工時適當匹配運用。

2. 本個案井式基礎精進工法有別一般噴凝土或鋼襯環方式，改採場鑄混凝土套環方式施工，以規格化、系統化施工方式，可有效降低噪音、揚塵及增加安全性、工率、提高施工品質並可節省及環保直接維護成本。

3. 本個案井式基礎精進工法，對於市區及工區狹隘且井式基礎數量較多等條件非常適合。

4. 本案例為國內首次於市區大量採用井式基礎施工工程，除適用於卵礫石及自立性佳的地質條件下，井式基礎由於基礎空間小，可避免市區地下管線衝突，減少管線遷移費及管線挖損等問題。

5. 本案例卵礫石顆粒大，約為10~80公分不等，由於卵礫石地質為交錯排列，非規則性，且開挖不易，挖掘時易因卵礫石排列交錯因素產生壁體超挖現象，以致混凝土損耗較多達200%。

6. 由於現有卵礫石地質人工鑿井(人工擋土柱)人力，基於安全性不佳，頻傳人員遭土壤崩塌掩埋工安意外，故現有願從事傳統人工鑿井(人工擋土柱)之人力於中部地區僅存約10~12組，實不足支應目前中部地區工程量需求。且現有年輕人亦不願意從事如此高危險性工作，故中部地區鑿井業亦急須研究出既安全又符合效益的新鑿井技術。本案例全套管鑿井工法為施工單位為克服中部地區卵礫石地質條件下，避免傳統人工鑿井方式經常發生人員遭土壤崩塌掩埋、墜落、物體飛落等工安意外及人工鑿井人力不足等問題，所研討出適合卵礫石地質之鑿井工法，以機械取代人力，除符合安全條件下，其施工功率亦較傳統人工鑿井方式快速，本個案之全套管鑿井工法未來可應用於其他工程深開挖鑿井及擋土柱工法之施工作為參考。

參考文獻

- 財團法人中華顧問工程司 (1998)，「高速鐵路苗栗-臺中段地質鑽探與試驗報告」。
- 遠揚營造工程股份有限公司 (2013a)，「CJ920區段標之CJ920A井式基礎施工計畫(1A版)」，臺中捷運烏日文心北屯線G3至G9站區段標工程。
- 遠揚營造工程股份有限公司 (2013b)，「CJ920區段標之CJ920A施工標井基開挖防水施工計劃書」，臺中捷運烏日文心北屯線G3至G9站及全線環控監控系統區段標工。
- 鐵路改建工程局 (2006)，「臺中都會區鐵路高架捷運化計畫」。