

4.5 國內外潛盾機施工遭遇到礫石地層問題探討與處理對策

4.5.1 開放式潛盾機施工遭遇到礫石地層問題解決與處理對策

竹科潛盾施工採用開放式潛盾機施工遭遇到礫石地層問題解決與處理對策，詳如表 29。

表 29 A 營造公司潛盾施工遭遇到礫石地層問題解決與處理對策表

| | | |
|-----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事件一 | 事件內容 | 1. 本工程經承商以 $\phi 150$ 公分寬鋼管進行土壤組成分佈狀況調查，相片詳如圖 65~66 說明，經探查分析結果原設計高程處之土質為塊石卵礫石夾棕色黏土細砂，且粒徑在 $\phi 50$ 公分以上之塊石含有率約佔 5%，粒徑在 $\phi 10$ 公分~ $\phi 50$ 公分以上卵石之含有率約佔 50%，此種土層以全密閉型之潛盾機掘進施工，將遭遇到難以克服之困難。 |
| | 原因探討 | 1. 為克服上述土層因素之施工困難，減少潛盾機掘進之阻礙，潛盾機計劃採用型式將審慎考慮後採購。 2. 依鑽探土質結果，相片詳如圖 67~68，管線埋設處沿線之土壤皆屬卵礫石夾棕色黏、砂質，越上層其含黏土成份越多，塊石含有率較少，且沒有地下水，土壤自立性較佳。 |
| | 處理對策 | 1. 經查地下管線資料，管線全線提高二公尺，並不影響地下管線之安全，在不影響水理及可避開地下管線與沒有地下水的情況下，最後經設計單位檢討評估報請業主變更設計同意提高二公尺，因依取樣結果越上方礫石寬度越小且無地下水層，但仍需施作工作井地盤改良施工，詳圖 69~70 相片。 2. 採用開放機械型潛盾機施工，在工作井出土施工相片詳圖 71~72，隧道內餘土出渣及一次襯完成相片詳圖 73~76。 |



圖 65 工作井伸縮臂怪手試挖情形



圖 66 工作井伸縮臂怪手試挖情形



圖 67 補充地質鑽探施工情形



圖 68 補充地質鑽探取得土樣相片



圖 69 工作井發進口注藥灌漿施工



圖 70 工作井發進口注藥灌漿施工



圖 71 工作井上方吊棄土施工



圖 72 工作井下方礫石土出土情形



圖 73 潛盾機尾出土施工相片



圖 74 隧道內潛盾機操作台相片



圖 75 隧道內轉彎處一次襯完成相片

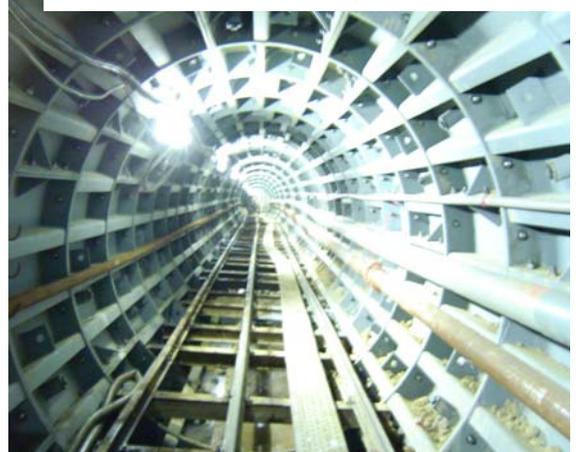


圖 76 隧道內已完成一次襯相片

4.5.2 依開放式潛盾機施工實例作比較，詳如表 30：

表 30 開放式潛盾機施工實例比較表

| 序號 | 施工實例 | 施工遭遇問題 | 處理對策 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 | 大阪防洪計劃 (Kitamura and Ohbayashi 1981) 於 1974 年在大阪市東方建造 8.8 km 長之下水道。採用：手挖式潛盾機。 | 遇地下水需採用輔助工法，控制開挖面穩定。 | 採用冰凍工法以控制開挖面穩定問題及控制地下水滲流問題。 |
| 2 | 華盛頓都會區運輸局 (Washington Metropolitan Area Transit Authority, WMATA) 興建之地鐵系統 (Butler and Hampton 1975) 在 A-2 段以半機械式潛盾機施作雙隧道。採用：半機械式潛盾機。 | 1. 採用抽水井將地下水位降低至仰拱以下，以確保開挖面穩定。 2. 滲入隧道之地下水將開挖面上部砂土和礫石層內的細粒料掏出，造成沉陷。 | 採用開放式潛盾機在卵礫石地層施工，常需配合降水工法或以灌漿改良地盤，使卵礫石層不致崩落向開挖面，造成大量之地表沉陷量。 |
| 3 | 竹科污水處理廠第三期擴建工程第二加壓站至污水處理廠污水收集管線工程 採用：機械式潛盾機。 | 1. 位於地下水下且遭遇較大礫石，變更設計至地下水上且有足夠覆土厚且遭遇礫石較小。 | 1. 無地下水且土壤自立性高，開挖面穩定。 2. 注意工作井上方四週做好防水滲入措施，以免機頭淹水。 |
| 建議事項 | <p>1. 主要問題是要如何維持開挖面穩定以及處理卵礫石層高透水性問題。</p> <p>2. 根據日本潛盾案例統計日本之潛盾工法中，潛盾機採用之趨勢為密閉型 96.9%、開放型 2.6%、其他型式 0.5%，密閉型占絕大多數〔39〕。</p> <p>3. 依據湯程傑 (民國 89 年)〔26〕論文摘要所獲得結論 4. 就同一深徑比 (Z/D) 而言，開放式潛盾機所造成之最大地表沉陷量 S_{max} 顯然大於密閉式潛盾機所造成的沉陷量。</p> <p>4. 採用開放式潛盾機潛盾切削盤 (Cutter-head) 之取土口開口率太小，則砂泥質不易取入，開口率太大則卵礫石通過排土機構 (Screw-convery) 容易阻塞〔28〕。</p> <p>5. 開放式潛盾機可以由潛盾機內部進行更換切削錐及切削片。</p> <p>6. 故建議除非施工面皆在地下水位以上，經地質鑽探土壤地質情況良好自立性高、無軟弱粘土層時可採用，為能更有效維持開挖面穩定且有地下水情況，建議採用密閉型潛盾機施工，以維施工人員安全。</p> | | |

4.5.3 密閉式潛盾機施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策

潛盾施工工作井施工遭遇地下水問題之處理針對工作井開挖較深，遇地下透水層之實際案例，去探討其原因及處理對策，詳如表 31~表 32。

表 31 B 營造公司一號工作井開挖遇地下透水層之處理對策表

| | | |
|-----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事件一 | 事件內容 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 91.05.02 一號工作井開挖過程中，因工作井深度達 40.8 公尺，地下水出現約在地下 27 公尺左右，在挖至此層時，地下水即不斷湧出，相關相片詳如圖 77 說明。 2. 除不斷以抽水馬達抽水至工作井上方沉澱池外，也須不斷趕工儘速組立鋼襯版，因地下水不斷湧出時，土壤不斷地被帶出，恐造成工作井壁體崩坍。 3. 除了挖一環組一環外（一環 60 公分寬），相片詳如圖 78 說明，在挖至支撐高度後，立即予以混凝土灌漿背填保護。 |
| | 原因探討 | 1. 地下水太大時，灌入之水泥砂漿會被地下水沖走流失無法達成背填固結功效。 |
| | 處理對策 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 以泵浦車施打混凝土背填，利於止水使土壤穩固。 2. 在實行 RC 止水灌漿時，因水壓大無法使其完全止水，所以在施打完畢後仍有漏水位置，從鋼襯板切開約 2 英吋的孔洞，將直徑 2 英吋的 PVC 管插進去，周圍再使用快乾水泥予以敷上止水，使水從 PVC 管中流出，再用馬達 15HP 抽出，若鋼襯板不只一處漏水，也是用導水之方式將水導出抽掉。 3. 抽出之地下水為清水，可抽至工作井上方的水塔中，用以潛盾推進之用水及清洗之用。 |



圖 77 工作井開挖至第 10 層遇地下水



圖 78 工作井內鋼襯版組裝施工

表 32 B 營造公司二號工作井開挖遇地下透水層之處理對策表

| | | |
|-----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事件二 | 事件內容 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 91.07.11 二號工作井挖掘過程中，因工作井深度達 38.8 公尺，地下水約在地下 18 公尺左右，在挖至此層時，地下水即不斷湧出，相關相片詳如圖 79~82 說明。 2. 除不斷以工作井內抽水馬達抽水至上方沉澱池外，原有工作井外輔助降水工法之點井亦加強抽降水，但水量依舊很大；另同時進行路面沉陷點觀測其變化量，也需不斷趕工組裝鋼襯版以利灌漿封堵，此時地下水不斷湧出時，土壤亦不斷地 |
|-----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>被帶出。</p> <p>3. 除了挖一環組一環外，在挖至支撐高度後，立即予以混凝土灌漿背填保護。</p> |
| 原因探討 | <p>1. 地下水太大時，灌入之水泥砂漿會被地下水沖走流失無法達成背填固結功效，用點井工法加強抽水，須注意路面沉陷點變化量。</p> |
| 處理對策 | <p>1. 以泵浦車施打混凝土背填，利於止水使土壤穩固。</p> <p>2. 在實行 RC 止水灌漿時，因水壓大無法使其完全止水，所以在施打完畢後仍有漏水位置，從鋼襯板切開約 2 英吋的孔洞，將直徑 2 英吋的 PVC 管插進去，周圍再使用快乾水泥予以敷上止水，使水從 PVC 管中流出，再用馬達 15HP 抽出，若鋼襯板不只一處漏水，也是用導水之方式將水導出抽掉。</p> <p>3. 抽出之地下水為清水，可抽至工作井上方的水塔中，做為潛盾推進之用水及清洗之用。</p> |



圖 79 工作井開挖至第 10 層遇地下水



圖 80 工作井開挖至第 10 層遇地下水



圖 81 工作井開挖至第 11 層情形



圖 82 工作井縱樑垂直精度檢查

潛盾施工潛盾機遭遇礫石地層問題之處理

竹科污水處理廠上、下游潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策：
B 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策，詳如表 25。

表 33 B 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策表

| | | |
|-----|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事件一 | 事件內容 | 1. 自 91.6.11~91.7.10 止一號潛盾機共施作 60 環（一環 90 公分），因初期掘土質堅硬、掘進速度緩慢，地質狀況亦有相當大之影響；因掘進土壤阻塞導致土倉無法排土推進，造成潛盾機故障。 |
| | 原因探討 | 1. 因初期掘土質堅硬、掘進速度緩慢，因掘進土壤阻塞導致土倉無法排土推進，造成潛盾機故障。 |
| | 處理對策 | 1. 請日本技師到場檢查及立即進行損壞部份修理及補強。 2. 土質堅硬、掘進速度緩慢，潛盾機操作面板燈號故障及油壓馬達故障必需暫停施做，並立即通知原廠商技師前來檢修。 3. 發現三顆油壓馬達中有一顆出現異常聲音，隨即聯絡三菱前來更換。 4. 三菱公司將新的馬達運來後，並進行組裝及測試，經技師測定核可後開始掘進。 5. 潛盾機後續台車電磁閥跳電，經檢查發現油路控制閥中之油針磨損，即先行將 3 號潛盾機之油路控制閥整組拆過來更換，並立即向日本原廠訂貨。 |
| 事件二 | 事件內容 | 1. 91.9.13~91.9.22 三號潛盾機因鋼軌樁及螺旋鐵板等尖銳鐵材損及輸送帶，致輸送皮帶斷裂無法繼續掘進出土，詳如圖 83。 |
| | 原因探討 | 2. 原因為遭遇不明地下鋼軌樁及螺旋鐵板等障礙物時嚴重磨損以致斷裂無法使用，詳如圖 84。 |
| | 處理對策 | 1. 更換及檢修零組件及輸送皮帶更新。 2. 請日本技師到場檢查及立即進行損壞部份修理及補強。 |
| 事件三 | 事件內容 | 1. 91.09.30~91.11.30 一號潛盾機遇異常地層卵礫石出水層，高水壓大量出水以及粒徑超過 45 公分之大石頭，詳如圖 85~86，潛盾機開門出碴至為辛苦及緩慢，影響千斤頂推進速率，掘進能力無法發揮。 2. 另潛盾機切削刀齒及滾輪刀刀亦嚴重磨耗。 |
| | 原因探討 | 1. 進入岩層後，土倉內呈現互鎖狀態之卵礫石堆尚需相當時間才能隨著岩碴一起被排出，詳如圖 87。 2. 潛盾機推進反力產生之環片彈性變形，致使背填止水之工作需不斷地進行，影響掘進速率。 3. 因此在進入岩層相當距離內，卵礫石與地下水雙重影響仍存在下，潛盾機開門出碴至為辛苦及緩慢，影響千斤頂推進速率，掘進能力無法發揮。 可由操作平臺螢幕監視機頭狀況，詳如圖 88。 |
| | 處理對策 | 1. 必需持續在機頭位置加入皂土，再將 10 支千斤頂全推，總推力達 4000kn、前進速度 0-2mm，晚班時將推力降至 3000kn 就可動 0-2mm，出土狀況有土砂噴出而且也有大石頭出來，推至第 268R 時速度已有改善，做法一樣採加入顆粒狀膨脹性皂土在土倉內行成土栓，再慢慢推進，合計從 267-278 |

| | | |
|------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>環共 11 環（鋼環片直線一環 90 公分共 11 環約 9.9M）共推了 25 天。</p> <p>2. 遇大石頭及高湧水狀況，無法快速推進，建議採用上述方法採加入顆粒狀膨脹性皂土在土倉內行成土栓及提高推力施工，作法須很小心謹慎以免造成潛盾機無法順利推進情形發生。</p> |
| 事件四 | 事件內容 | 1. 92.3.31~92.4.12 三潛盾機於施工中即遭遇大粒徑且堅硬密集之卵礫石層及堅硬泥岩之複合地層，致使潛盾機於 1k+020m 處時千斤頂推力異常，無法掘進，其地質變化及千斤頂負載程度皆超出預期狀況。 |
| | 原因探討 | 1. 原鑽探地質為泥岩及砂土層，實際地質為大量卵礫石湧水層，以致潛盾機推力千斤頂長期處於高負載狀況，掘進速度無法發揮，影響工進。 |
| | 處理對策 | 停機緊急電請日本原廠指派技師進行潛盾機電、油管路之檢查，千斤頂電磁閥之調整及操作油之更換和開土倉檢查滾輪刀、固定切削刀。 |
| 事件五 | 事件內容 | 1. 92.5.07~92.5.16 三號潛盾機於 1k+090m 處潛盾機於施工中即不斷遭遇巨大粒徑（ ϕ 40 CM 以上）且堅硬密集之卵礫石層，且潛盾機於 1k+090m 處時遭遇高壓湧水層，致使螺運機出土閘門無法順利開啟，滾輪刀刀卡住，其地質變化及潛盾機滾輪刀刀磨損皆超出預期狀況 |
| | 原因探討 | 1. 遭遇巨大卵礫石湧水層，致水大量進入出土閘門而無法開啟 |
| | 處理對策 | 必須立即停機進行化學灌漿以增加土壤密度、填充孔隙、堵塞水路及排除過大礫石。 |
| 事件六 | 事件內容 | 1. 92.6.21~92.7.6 三號潛盾機於 1k+205m 處潛盾機潛盾機於施工中即不斷遭遇巨大粒徑（ ϕ 35 CM 以上）堅硬且密集之卵礫石層，且潛盾機於 1k+205m 處時遭遇高壓湧水層，致使滾輪刀刀卡住，切削刀刀嚴重磨損，盾尾刷無法擋水，其地質變化及潛盾機切削刀刀磨損皆超出預期狀況 |
| | 原因探討 | 1. 潛盾機遭遇異常湧水卵礫石層潛盾掘進至 1k+205m 時，造成滾輪刀刀卡住，自盾尾刷處大量湧水，致使掘進施工困難，只得停機進行滾輪刀刀、切削刀齒。 |
| | 處理對策 | 1. 必須立即停機進行化學灌漿以增加土壤密度、填充孔隙、堵塞水路及排除過大礫石。 |
| 其他說明 | <p>施工過程相片詳如圖 77-100，竹科三期之三第三階段施工相片由廖文彬〔56〕提供。</p> | |



圖 83 91.08.05 三號潛盾機掘進遭遇到地下舊有鋼軌樁及嚴重磨損斷



圖 84 91.08.06 三號潛盾機螺運出土機遭遇地下舊有鋼軌樁嚴重磨損斷裂



圖 85 91.10.14 一號潛盾機出土時遭遇卵礫石層



圖 86 91.10.18 一號潛盾機遭遇高壓湧水層，出土閘門開啟產生大量湧水情形



圖 87 91.10.30 一號潛盾機遭遇地下不明鐵件及大粒徑卵礫石層



圖 88 潛盾機操作平台之監視螢幕



圖 89 91.12.18 二號潛盾機頭滾輪刀刀保護鋼板嚴重磨損斷裂



圖 90 91.12.23 二號潛盾機遭遇巨大粒徑 (φ 40 CM 以上) 堅硬且密集之卵礫石層



圖 91 92.02.13 三號潛盾機遭遇大粒徑、堅硬且密集之卵礫石層



圖 92 92.02.19 三號潛盾機磨損嚴重之滾輪刀刀更換檢修



圖 93 三號潛盾機遭遇大粒徑、堅硬且密集之卵礫石層 (三號工作井土桶內景)



圖 94 92.04.10 三號潛盾機開土艙檢修滾輪刀刀及切削刃齒



圖 95 92.05.07 三號潛盾機遭遇大粒徑 (φ 40 CM 以上) 堅硬且密集之卵礫石層導致切削刀刃磨損嚴重



圖 96 92.05.12 三號潛盾機遭遇大粒徑 (φ 36 CM 以上) 堅硬且密集之卵礫石層導致切削刀刃磨損嚴重



圖 97 92.06.28 三號潛盾機清理土倉後檢修機頭前方刀刃磨損情況



圖 98 92.06.29 三號潛盾機檢查切削刀刃



圖 99 92.08.17 三號潛盾機完成掘進出坑及吊出二號工作井之作業



圖 100 92.01.13 一號潛盾機鋼環片襯砌完成

潛盾施工潛盾機遭遇礫石地層問題之處理-1

由高程及坡度定線圖(詳如圖 101),可以發現本工程里程 0K+400~0K+600 處,其覆土厚度由路面至潛盾隧道頂之覆土厚度不足 5 公尺,其施工位置在 0K+507 正是新竹教育大學正門口附近,該路段正是潛盾機由南大路轉入食品路,雖然設計圖說規定該處應實施低壓灌漿地盤改良施工,亦符合潛盾隧道最小覆土深度 1.5D (D 為隧道直徑) 以上之原則規定,但實際潛盾施工於首揭里程 0K+400~0K+600 處,真正遇到施工問題,造成地表路面多次下陷,需多次灌漿補強及路面修復,並依道路養護單位-新竹市政府,要求實際透地雷達測試,查看已經修補完成之 AC 路面下,是否仍然有空洞及鬆散不實之現象產生,而須再次進行低壓灌漿地盤改良施工。



圖 101 竹科二期二階潛盾施工之高程及坡度定線圖

資料來源：葉信宏，2003 年 12 月〔57〕。

主要可能發生之原因探討如下：雖然里程 0K+400~0K+600 其覆土厚符合潛盾隧道最小覆土深度 1.5D 以上之原則及設計低壓灌漿地盤改良施工,但因台灣地區公共管線埋設深為地面下 1.2 公尺深及有橫交之排水箱涵經過,故實際由管線或其人孔箱涵底、排水箱涵底至潛盾隧道頂實際淨厚度明顯不足,故造成排水箱涵漏水、自來水管線斷裂漏水、污水管線滲漏水至潛盾隧道內、潛盾掘進至台電人孔底造成停滯而引發路面下陷等等問題,皆是由此淨厚度不足及低壓灌漿地盤改良不確實所造成。

由鑽探資料及高程及坡度定線圖與實際施工情形,可發現到 BH-5 鑽孔及 BH-6 鑽孔的地質條件類似,惟實地高程往上升起造成了食品研究所附近覆土厚已達 7 公尺以上,直到潛盾機由工作井 (M26) 出坑,雖亦有經過人車頻繁之新竹市寶山路,確未見有任何路面下陷情事發生,足可推

斷上述覆土厚度不足情形推斷係正確的。

承包商低壓灌漿地盤改良為何會不確實，主要原因係低壓灌漿之地盤改良，因其須鑽孔至地面下深淺亦是影響因素且怕誤鑽到地下電纜等，故無法徹底有效灌漿，造成承包商日後需用混凝土灌漿凹陷坑洞與 AC 修補路面、路面上透地雷達測試孔洞所衍生出的費用，全由承包商負責處理。

另一可能造成路面下陷原因係潛盾機已掘進施工完成，卻無法立即就已組裝完成之鋼環片進行背填灌溉保護，使開挖土面四週僅靠自身土壤自立性維持，難免會造成路面下陷情事發生。

C 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策，詳如表 34。

表 34 C 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策表

| | | |
|-----|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事件一 | 事件內容 | 1. 90.11.10 10：20 發現潛盾機推進因地下水位高，請承商持續觀察路面沈陷情況，並做適當防護措施。 2. 90.11.14 南大路 634 巷口前，確實因南大路路面下排水箱涵伸縮縫漏水及自來水老舊管線鑄鐵管裂縫漏水影響造成附近路面沈陷坑洞。 |
| | 原因探討 | 1. 原依日本潛盾機最小覆土厚應大於 1.5 倍潛盾機直徑規定不足，雖設計有輔助工法，最後仍造成路面事故。 2. 原有箱涵伸縮縫及自來水管線已有漏水，潛盾經過造成影響。 |
| | 處理對策 | 1. 澆置 24 M ³ 混凝土立即灌漿搶救回填坑洞及修復自來水管線。 2. AC 加封鋪面施工。 3. 討論南大路路面沉陷處理事宜。 |
| 事件二 | 事件內容 | 1. 91.03.23 食品路 508 號前路面塌陷情形及 910422 食品路路面凹陷處修補鋪設 AC。 |
| | 原因探討 | 1. 自 91.02.20 因潛盾機頭刀口刀需更換及遇大卵石及湧水現象，致無法順利推進而造成停滯影響路面造成路面凹陷。 2. 原依日本潛盾機最小覆土厚應大於 1.5 倍潛盾機直徑規定不足，雖設計有輔助工法，最後仍造成路面事故。 3. 遭遇卵礫石造成刀口刀磨損推進進度緩慢，詳如圖 102。 |
| | 處理對策 | 1. 自日本進備品更換，詳如圖 103。 2. 91.03.23 路面下陷處立即修補灌漿 20 M ³ 混凝土及 91.04.23 食品路路面凹陷處修補 5 M ³ 混凝土及鋪設 AC。 3. 91.04.12 實施透地雷達偵測路面下情況。 4. 91.05.09 實施透地雷達偵測路面下是否造成空洞狀況。 5. 加強傾斜變位儀及沈陷點監測及不定期加強路面巡視。 6. 91.05.18、19 實施路面下地盤改良。 |
| 事件三 | 事件內容 | 1. 91.06.28 09：30 食品路 439 號前發生地面下陷情形，因路面下污水管有漏水現象。 |
| | 原因探討 | 1. 自 91.06.26 潛盾推進至 911 環，遇機頭出土閘門大量湧水，暫停施工。 2. 原依日本潛盾機最小覆土厚應大於 1.5 倍潛盾機直徑規定不足，雖設計有輔助工法，最後仍造成路面事故。 |
| | 處理對策 | 1. 91.06.27 開會檢討，由機頭內灌注皂土以改善穩定地質並加強路面巡視。 |

| | | |
|-----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>2. 91.06.28 請承商立即以 10 M³ 混凝土灌漿修補，並暫以鐵板鋪蓋，暫時維護車輛通行。</p> <p>3. 91.06.29 於食品路 439 號前開挖，未發現污水漏水處，先行回填後以 AC 鋪設復舊。</p> <p>4. 91.07.02 請自來水公司搜尋路面下水管有無漏水情形，並未查到有漏水位置。</p> <p>5、發現係污水管線漏水並修復處理及不定期加強路面巡視。</p> |
| 事件四 | 事件內容 | <p>1. 潛盾施工中即不斷遭遇巨大粒徑且堅硬之卵礫石層詳圖 25，且施工至 0K+575m 遭遇達 $\phi 75\text{cm}$ 之卵礫石又大量湧水，造成潛盾機滾輪刀刀嚴重磨損，其地質變化及潛盾機刀口刀磨損皆超出預期狀況，詳圖 104~119。</p> <p>2. 因既有污水管線年久老舊，接頭銹蝕發生漏水，造成地層已有部份掏空之情況，而潛盾機掘進施工經過該處底下時，地下水又大量湧入隧道內，致造成土石流失及地層大量掏空之情況，經研判恐造成道路坍塌危及鄰房之安全</p> |
| | 原因探討 | <p>因機頭不明大量湧水及不明障礙物，經清理後始發現為粒徑達 $\phi 75\text{cm}$ 之巨大且堅硬卵礫石，遠超出預期造成潛盾機頭嚴重損壞，期間等待三菱重工技師自日本前來勘驗、修理，又因機頭多項零件損壞，超出備料範圍，須再從日本原廠調料供應。</p> |
| | 處理對策 | <p>1. 施工前須先行裝設傾斜變位儀及沈陷點定期加強監測。</p> <p>2. 施工中遇地下水時，放慢潛盾機施工速度，加速後續鋼環片組裝及先行背填灌漿，以減少路面沈陷發生。</p> <p>3. 施工中潛盾機刀口刀備品，請承商事先準備，以利找適當地點更換，以避免停滯造成路面下陷情形。</p> <p>4. 施工後不定期巡視路面，若地表有沉陷量過大時則須以低壓灌漿工法灌注施工，若有路坑洞則以混凝土直接灌漿修復，最後以 AC 修補平順，以維道路及人車之安全。</p> <p>5. 持續施工避免停滯，減少因潛盾機停機時間過久之盾尾已脫離潛盾機 2~3 片之環片外未背填灌漿，防止路面沈陷發生。</p> <p>6. 加強施工沿線管線調查，以避免意外情事發生。</p> |



圖 102 機頭滾輪刀刀磨損



圖103 滾輪刀刀更換之備品



圖 104 潛盾機頭遇大粒徑卵礫石



圖 105 潛盾機頭遇大粒徑卵礫石



圖106滾輪刃刀磨損情形



圖107 預備更換之備品



圖108 滾輪刃刀磨損情形



圖109 預備更換之備品



圖 110 三刃滾刀磨損情形



圖 111 週邊滾刀磨損情形



圖 112 機頭潛盾施工遭遇之卵礫石層



圖 113 潛盾施工遭遇之卵礫石層



圖 114 滾刀切削齒磨損情形



圖 115 潛盾施工遭遇卵礫石層



圖 116 滾刀齒磨損情形



圖 117 施工遭遇 ϕ 40cm 之卵礫石



圖 118 潛盾機吊出工作井相片

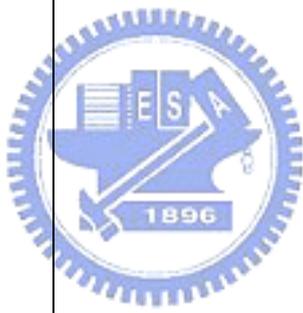


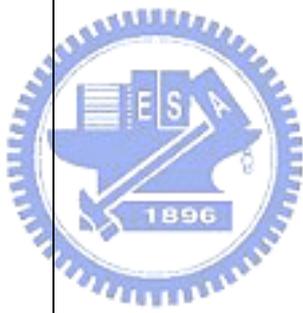
圖 119 已施工完成之鋼環片襯砌相片

圖 101-119 資料來源：葉信宏，2003 年 12 月〔57〕。

4.5.4 依密閉式潛盾機施工實例作比較，詳如表 35：

表 35 密閉式潛盾機施工實例比較表

| 序號 | 施工實例 | 施工遭遇問題 | 處理對策 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 日本 Hiranogawa 地下儲水管道 (Hashimoto 1989) 為了處理大阪市之洪水而建造之地下儲水設施。 採用：泥水式潛盾機。 | 卵礫石高透水性，使得開挖面地下水壓達 $2\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，泥水式潛盾機可以加壓皂土液平衡開挖面前方之高水壓。 | 額外使用化學灌漿改良土層，使開挖面無滲水之情況，迅速的背填灌漿以填補大直徑潛盾機所衍生之較大盾尾間隙。 |
| 2 | 美國聖地牙哥市南灣海洋放流計劃 (South Bay Ocean Outfall)。 | 遭遇此卵礫石層及高地下水位地層，如何維持開挖面穩定且順利進行潛盾施工。  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 在切刀盤上裝設切削輪，用以破除最大達 910 mm 之巨石，將其切削成小直徑之碎屑以便順利通過螺運機，不致造成機頭因巨石造成無法推動或無法順利將其破碎而停滯。 2. 在切刀盤上的切削齒表面施以特殊硬化處理，使其抗磨損能力增強。 3. 使用泡沫工法潤滑切削齒和卵礫石之切削介面，增加切削齒之耐用程度，泡沫潤滑則可以避免造成細粒料堵塞土倉之情況。 4. 環片之設計，加強環片的水密性及強度。 |
| 3 | 日本大阪防洪計劃 (Kitamura and Ohbayashi 1981) 於 1974 年在大阪市東方建造 8.8 km 長之下水道。 採用：土壓平衡式潛盾機。 | 本工程以直徑 6.75 m 的土壓平衡式潛盾機在混合地盤中掘進，發進處隧道中心線深度約為 16m，隨即以 1.3 % 的坡度向上爬升前進。到距離出發井約 900m 處，隧道中心線深度只剩 8 m，覆土深度更只有約 4.5m，加上 Sennichi 地下鐵以及地表鐵路的通過，施工更加困難。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 出發井處前方 240 m 內的土質為砂土及礫石，由粒徑分佈圖得知其礫石含量大於 55 %，因此在切刀盤上裝設切削輪及切削齒，用以切削大直徑的卵礫石。 2. 防止砂土和礫石隨著開挖而崩落至開挖面，開挖面的上半部土壤採用化學灌漿，以確保開挖面的穩定性。 3. 在螺運機後方加設錐式閘門 (cone valve) 用以控制出土量，防止切削土體隨著高水壓湧出螺運機，可能引致大量地表沉陷。 |

| | | | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 4. 尾處因尾隙閉合導致大規模沉陷，所以在潛盾機開挖面上方以化學灌漿工法改良其強度。 |
| 4 | <p>Matsushia (1979) 曾報告水壓式土壓平衡潛盾機於日本東京下水道、東京及大阪的電廠隧道的使用案例 採用：水壓式土壓平衡潛盾機</p> | <p>為傳統土壓平衡式潛盾機加以改良後，專門對付含高滲透性及高地下水壓的地層狀況，例如砂土、卵礫石等。</p>  | <p>1. 在切刃盤上設置切削輪及切削齒，用以破除大直徑的卵礫石。與土壓平衡式潛盾機不同的是排土調整倉後接供給水壓管 (water feed pipe)，以水壓抵抗開挖面高地下水壓。</p> <p>2. 被切削之土體由切削面進入土倉中，與水混合成泥漿，然後隨著螺運機進入排土調整倉 (mucking adjuster) 排土的速率由水力閘門 (hydraulic gate) 控制。</p> <p>3. 開挖土體與水混合的泥漿，運送起來比單一開挖土體更為容易，而且也沒有泥水式潛盾機使用的皂土液可能造成的污染問題，所以可改善土壓平衡式潛盾機和泥水式潛盾機的缺點。</p> <p>4. 水壓式土壓平衡潛盾機通常用於砂土及卵礫石的地層中。粉土及黏土由於透水係數小，並不需要使用水壓式土壓平衡潛盾機來掘進隧道。</p> |
| 5 | <p>為廣泛適用卵礫石、岩盤等複雜地層之潛盾隧道施工，具備 T. B. M (Tunnel Boring Maching) 功能之密閉型 (泥水加壓式及土壓式) 潛盾機。</p> <p>1. 礫泥水潛盾機案例：日本公共下水道西条污水幹線管渠建設工事。</p> | <p>1. 機頭採用切削盤設計，針對卵礫石去改善岩盤掘削能力將潛盾機進行改造。</p> | <p>1. 在切刃盤上設置切削輪及切削齒，用以破除大直徑的卵礫石。與土壓平衡式潛盾機不同的是排土調整倉後接供給水壓管 (water feed pipe)，以水壓抵抗開挖面高地下水壓。</p> |

| | | | |
|---|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>2. 岩盤併用型潛盾機案例：日本中央幹線送水管工事西千代丘工區。</p> <p>3. 泥水加壓式岩盤潛盾機案例：日本中央污水幹線建設工事第2工區。</p> | <p>2. 機頭採用雙切削盤設計，使用岩盤併用型土壓式潛盾機施工。</p> <p>3. 潛盾機外徑2190mm，潛盾機開口率17%，機頭採用雙切削盤設計，使用岩盤併用型泥水式潛盾機施工。</p> | <p>2. 被切削之土體由切削面進入土倉中，與水混合成泥漿，然後隨著螺運機進入排土調整倉(mucking adjuster)排土的速率由水力閘門(hydraulic gate)控制。</p> <p>3. 開挖土體與水混合的泥漿，運送起來比單一開挖土體更為容易，而且也沒有泥水式潛盾機使用的皂土液可能造成的污染問題，所以可改善土壓平衡式潛盾機和泥水式潛盾機的缺點。</p> |
| 6 | <p>新竹科學工業園區第三期開發工程第三期給水污水增設工程配合工程之三採用：加泥土壓平衡式潛盾機。</p> | <p>1. 因初期掘土質堅硬、掘進速度緩慢，因掘進土壤阻塞導致土倉無法排土推進，造成潛盾機故障。</p> <p>2. 原因為遭遇不明地下鋼軌樁及螺旋鐵釘等障礙物時嚴重磨損以致斷裂無法使用。</p> <p>3. 進入岩層相當距離內，卵礫石與地下水雙重影響仍存在，潛盾機閘門出渣至為辛苦及緩慢，影響千斤頂推進速率，掘進能力無法發揮。</p> <p>4. 原鑽探地質為泥岩及砂土層，實際地質為大量卵礫石湧水層，以致潛盾機推力千斤頂長期處於高負載狀況，掘進速度無法發揮，影響工進。</p> <p>5. 遭遇巨大卵礫石</p> | <p>1. 請日本技師到場檢查及立即進行損壞部份修理及補強。</p> <p>2. 更換及檢修零組件及輸送皮帶更新及請日本技師到場檢查及立即進行損壞部份修理及補強。</p> <p>3. 必需持續在機頭位置加入皂土，再將10支千斤頂總推力提高達4000kn，遇大石頭及高湧水狀況，無法快速推進，建議採用上述方法加入顆粒狀膨脹性皂土在土倉內行成土栓及提高推力施工，作法須很小心謹慎以免造成潛盾機無法順利推進情形發生。</p> <p>4. 停機緊急電請日本原廠指派技師進行潛盾機電、油管路之檢查，千斤頂電磁閥之調整及操作油之更換和開土倉檢查滾輪刀、固定切削刀。</p> <p>5. 必須立即停機進行化學灌</p> |

| | | | |
|---|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 湧水層，致水大量進入出土閘門而無法開啟。 6. 潛盾機遭遇異常湧水卵礫石層潛盾掘進至 1k+205m 時，造成滾輪刀刀卡住，自盾尾刷處大量湧水，致使掘進施工困難，只得停機進行滾輪刀刀、切削刀齒。 | 漿以增加土壤密度、填充孔隙、堵塞水路及排除過大礫石。 6. 必須立即停機進行化學灌漿以增加土壤密度、填充孔隙、堵塞水路及排除過大礫石。 |
| 7 | 新竹科學工業園區第三期開發工程第二期給水污水增設工程配合工程之二採用：加泥土壓平衡式潛盾機。 | 1. 原依日本潛盾機最小覆土厚應大於 1.5 倍潛盾機直徑規定不足，雖設計有輔助工法，最後仍造成路面事故及原有箱涵伸縮縫及自來水管線已有漏水，潛盾經過造成影響。 2. 食品路 508 號前路面塌陷情形及 910422 食品路路面凹陷處修補鋪設 AC。 3. 食品路 439 號前發生地面下陷情形，因路面下污水管有漏水現象。 4. 因機頭不明大量湧水及不明障礙物，經清理後始發現為粒徑達 $\phi 75\text{cm}$ 之巨大且堅硬卵礫石，遠超出預期造成潛盾機頭嚴重損壞，期間等待三菱重 | 1. 澆灌 24 M^3 混凝土立即灌漿搶救回填坑洞及修復自來水管線。再 AC 加封鋪面施工與討論南大路路面沈陷處理事宜。 2. 因潛盾機頭刀口刀需更換及遇大卵石及湧水現象，致無法順利推進而造成停滯影響路面造成路面凹陷。 3. 由機頭內灌注皂土以改善穩定地質並加強路面巡視。無法順利推進行情形發生及立即以 10 M^3 混凝土灌漿修補，並暫以鐵板鋪蓋，暫時維護車輛通行。發現係污水管線漏水並修復處理及不定期加強路面巡視。 4. 推至無地下水處將 $\phi 75\text{cm}$ 之巨大且堅硬卵礫石敲破及施工中潛盾機刀口刀備品，需事先準備，以利找適當地點更換，持續施工避免停滯，減少因潛盾機停機時間過久之盾尾已脫離潛盾機 2~3 片之環片外未背填灌漿，以避免停滯造 |

| | | |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| | 工技師自日本前來勘驗、修理，又因機頭多項零件損壞，超出備料範圍，須再從日本原廠調料供應。 | 成路面下陷情形。 |
| 建議事項 | <p>1. 潛盾機型之選擇，必須更充分考慮到卵礫石層之特性及地下水高程，開挖掘進長度等去選擇最適當的機型。</p> <p>2. 針對遭遇礫石層所需使用之潛盾機，通常必須具備較大之機械能力且潛盾機頭需安裝高強度之且切削鑽頭與滾動切刀，以順利切割及破碎卵礫石〔28〕。</p> <p>3. 潛盾機頭之切削頭上裝設滾動鑽頭 (Roller Bit) 以進行卵礫石之一次破碎，潛盾機之切削頭之開口率則視地層狀況而定，一般約 30% 且採用具備類似 T.B.M 破碎機能面板或切削頭之潛盾機尤佳〔28〕。</p> <p>4. 日本潛盾機遭遇卵礫石層之大多數案例有潛盾機切刀扭距 $T = \alpha D^3$ (D: 潛盾機外徑) 表示將較一般潛盾機為大，更能有效能力處理卵礫石地層。</p> <p>5. 日本潛盾機遭遇卵礫石層千斤頂推力通常使用較大〔28〕。</p> <p>6. 切削鑽頭 (Cutter Bit) 及切刀應具耐久性及可更換性。</p> <p>7. 切削頭之縫口尺寸：依據日本潛盾機遭遇卵礫石層案例經驗判斷土壓平衡式潛盾機，大約 300mm；泥水加壓式潛盾機，大約 100~150mm，詳如勝沼清〔52〕。</p> <p>8. 加裝防止旋轉設備：為預防潛盾機切刀扭距過大造成潛盾機體旋轉，所採用之設備，如 T.B.M 之周邊抓地措施〔28〕。</p> <p>9. 密閉型潛盾工法，於卵礫石層或有孤石出現之地層中進行潛盾施工時，一般於潛盾機土倉隔板設一人孔，當孤石出現時，即將人孔打開以人工方式排除孤石〔28〕。</p> <p>10. 潛盾機型不斷改良，屬密閉型之泥水加壓式及土壓式潛盾機皆裝設卵礫石處理設備，不須長期停止開挖即可連續地出碴，並排除大顆粒卵石或孤石〔28〕。</p> <p>11. 故潛盾機型之選擇，必須綜合檢討土層狀況、周圍施工環境、潛盾直徑、施工長度及經濟性等資料，而卵礫石層潛盾施工尤須檢討潛盾機型對處理卵礫石層之適用性。</p> <p>12. 施工前須先行裝設建物傾斜變位儀及沈陷點定期加強監測；施工中遇地下水時，放慢潛盾機施工速度，加速後續鋼環片組裝及先行背填灌漿，以減少路面沈陷發生；施工後不定期巡視路面，若地表有沉陷量過大時則須以低壓灌漿工法灌注施工，若有路坑洞則以混凝土直接灌漿修復，最後以 AC 修補平順，以維道路及人車之安全。</p> | |

4.5.5 竹科下水道潛盾工法施工案例比較

竹科下水道潛盾工法施工案例比較，詳如表 36。

表 36 竹科下水道潛盾工法施工案例比較表

| 1 | 營造公司 | A 營造公司 | B 營造公司 | C 營造公司 |
|---|-------|------------|-----------|-----------|
| 2 | 工作井 | 4 座(含推管 2) | 3 座 | 2 座 |
| 3 | 潛盾機型式 | 開放機械式 2 部 | 土壓平衡式 3 部 | 土壓平衡式 1 部 |
| 4 | 隧道掘進長 | 1901 公尺 | 3526 公尺 | 1992 公尺 |

| | | | | |
|----|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 5 | 人孔施工 | 4 座 | 4 座 | 1 座 |
| 6 | 工程性質 | 地下水位上 | 局部地下水位下 | 局部地下水位下 |
| 7 | 計畫書提報 | 按規定提報 | 按規定提報 | 按規定提報 |
| 8 | 工程職災 | 2 件 | 0 件 | 0 件 |
| 9 | 工程罰款 | 0 件 | 1 件 | 0 件 |
| 10 | 工程稽查 | 良 | 良 | 優 |
| 11 | 工程展期 | 短 | 短 | 長 |
| 12 | 成本效益 | 良 | 良 | 差 |
| 13 | 工作井施工 | 品質優良速度快 | 品質優良速度快 | 品質良好速度慢 |
| 14 | 選用潛盾機的考量說明 | 遇卵礫石地層水位高，變更設計高程於地下水位上，地質條件自立性高，可採用開放機械式潛盾機(不須擋水)施工。 | 遇卵礫石地層且有地下水。可利用平衡潛盾機推進量與出土量，保持必要之土壓，以維開挖面地層穩定，詳如〔58〕。 | 遇卵礫石地層且有地下水。可利用平衡潛盾機推進量與出土量，保持必要之土壓，以維開挖面地層穩定，詳如〔58〕。 |
| 15 | 潛盾施工 | 品質優良應變快 | 品質優良應變快 | 品質優良應變慢 |
| 16 | 二次襯砌 | 品質良好速度快 | 品質良好速度快 | 品質良好速度快 |
| 17 | 工程配合 | 良 | 良 | 普通 |
| 18 | 整體評價 | 施工迅速、如期完成、注重安衛仍發生職災美中不足，專業知識夠。 | 注重品質與工進，惟污水排放遭罰後迅速改善，應變能力強，值得學習。 | 稽查成績優良，惟應變能力較弱影響工期時間長，相對工程風險增加，尚可加強。 |
| 19 | 結語 | <p>1. 日後潛盾施工應首重安全與教育訓練、提昇潛盾施工品質、有效控管工程進度、加強安全監測，遇卵礫石地層預先準備備品及皂土及水玻璃等材料，充分運用 PDCA 使問題能事先預防與消弭，順利完成潛盾施工。</p> <p>2. 加強勞工安全宣導及現場巡示檢查，潛盾施工時所產生之排水水必須設置沉澱池過濾沉降，利用儀器檢驗符合放流水標準始可排放，加強確實執行安全監測，以預防災害發生。</p> <p>3. 定期舉行施工檢討會，追蹤品質、安衛環保、進度執行情形。</p> <p>4. 建議日後針對潛盾施工所遭遇的狀況詳加記載發生原因，施工過程如何處理與預防對策研擬及最後處理情形，並拍照佐證，使過程記錄完整，製作成光碟或記錄於電腦內，作為新進人員之教育訓練與經驗傳承，將可有效提昇施工品質及勞工安全。</p> | | |

4.6 日後潛盾施工建議應採之較佳管理模式

依據竹科三期之三施工規範〔59〕規定及公共工程委員會三級品管之規定提供下水道潛盾施工營建管理重點提示，詳如表 37，供相關潛盾施工人員施工參辦。

表 37 下水道潛盾施工營建管理重點提示表

| 作業 項目 單位 職責 | 各施工計劃書 品質計劃書 安衛計劃書 | 現況調查 測量定線 安全觀測 | 進度規劃 估驗審查 進度檢討 | 潛盾品管及安衛 檢查主要事項 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 承包商 一級品管 | 1. 計劃規劃與編寫 2. 計劃執行 3. 自主檢查 4. 供應商資格提報 5. 工地巡視檢查 6. 材料送審進度 | 1. 路徑定線 2. 高程 3. 傾斜儀測讀 4. 地表沉陷觀測 5. 公共管線調查 6. 工作井開挖深度 7. 工作井擋土支撐 8. 潛盾安全觀測 | 1. 網圖排定 2. 報表提送 3. 進度計算 4. 工期檢討 5. 估驗計價 6. 展期提報 7. 趕工計劃 8. 材料進場 | 1. 環片、螺栓、止水材檢查 2. 掘進作業之紀錄 3. 環片組裝檢查 4. 背填灌漿之檢查 5. 掘進方向及高程測量 6. 品質安全措施設置 7. 施工設備檢查 8. 安衛自主檢查緊急狀況處理 |
| 監造單位 二級品管 | 1. 計劃審查 2. 計劃監督 3. 施工稽查 | 1. 資料計算審查 2. 提供建議事項 3. 提供會議資料 4. 安全觀測稽查 | 1. 網圖審查 2. 資料審查 3. 進度檢討 4. 估驗審查 | 1. 材料抽樣及設備檢查 2. 施工作業之稽查 3. 掘進方向及高程檢測 4. 品質及安全措施檢查 |
| 業主稽查 三級品管 | 1. 計劃核定 2. 施工查核 | 1. 資料計算核定 2. 會議決議裁示 3. 工地現場查核 | 1. 網圖核定 2. 工期核定 3. 估驗撥款 | 1. 施工品質查核 2. 勞檢安衛措施 3. 其他品質及安衛交辦事項 |

藉由開施工協調會與進度掌控，編列雙週預定進度表及材料送審及進場時程表與安全環保執行會議，以 PDCA 觀念執行施工品質管理作業以不斷改善施工品管達到零缺點目標。

提供竹科三期之三潛盾施工材料試〈檢〉驗規範索引表，詳如表 38，係本研究整理供參考。

表 30 潛盾施工材料試〈檢〉驗規範索引表

| 項目 | A.材料名稱 | 規範要求 | B.材料名稱 | 規範要求 | C.材料名稱 | 規範要求 |
|----|-----------|-----------------|----------|-------------------|------------|---------------------|
| 1 | 混凝土配合設計 | 施工規範 4.1.1 | 防蝕材料 | ASTM | 預拌混凝土 | CNS 3090-A2042 |
| 2 | 水泥〈第二型〉 | CNS-61 | 防蝕材料檢驗 | ASTM | 混凝土強度檢驗 | CNS 1232 A3045 |
| 3 | 水〈非自來水〉 | CNS1237 A3050 | 延性鑄鐵管件 | CNS 13272.G3253 | 水膨脹性橡膠止水條 | CNS 8834.3551 K6342 |
| 4 | 滲料 | ASTM C494 | 閘門及電動驅動器 | 設計圖及施工規範 | 泥土加壓式潛盾機 | JIS A8201 |
| 5 | 細粒料〈1〉級配 | CNS 1240 A2029 | 飛灰 | CNS 3036 | 防蝕軟片襯裡處理 | ASTM |
| 6 | 細粒料〈2〉有害物 | CNS 1164 | 鋼材 | CNS2473, 4993 | 制水閘門框架及導件 | ASTM A126 B 級鑄鐵 |
| 7 | 細粒料〈3〉健度 | CNS 1167 | 灰口鑄鐵件 | CNS2473, 4993 | 制水閘門板 | ASTM A126 B 級鑄鐵 |
| 8 | 細粒料〈4〉氯離子 | CNS 12391 | 鑄鐵人孔蓋 | CNS2473, 4993 | 制水閘門板座面 | ASTM A276 Type304 |
| 9 | 細粒料〈5〉檢驗 | CNS 1240 A2029 | 鋼板樁 | CNS 7851 | 閘門平底封片橡皮 | ASTM D 2000 |
| 10 | 粗粒料〈1〉級配 | CNS 1240 A2029 | H 型鋼 | CNS 7993 | 閘門平底封片扣條 | ASTM A276 Type304 |
| 11 | 粗粒料〈2〉有害物 | CNS 1164 | 電焊條 | CNS 1215 | 制水閘門扣件 | 304 型不鏽鋼製 |
| 12 | 粗粒料〈3〉健度 | CNS 1167 | 不鏽鋼欄杆 | SUS 304 | 牆套管強力鑄鐵 | ASTM A126 B 級鑄鐵 |
| 13 | 粗粒料〈4〉磨損 | 洛杉磯磨損試驗 500 轉 | 人孔框蓋 | 設計圖 SW-4.01 | 制水閘門板閘桿 | ASTM A276 Type304 |
| 14 | 粗粒料〈5〉檢驗 | CNS 1240 | 鋼環片組立螺栓 | CNS 3934 | 閘門座廠內試驗 | AWWA C501-87 |
| 15 | 輸氣劑 | ASTM C260 | 鋼環片鋼材面板 | CNS SS400 | 電動驅動器 | ANSI/AWWA C-540 |
| 16 | 地盤改良廢漿液 | JIS K01002-8 | 工作井鋼襯板 | JIS G3101 SS34 | 一般結構用鋼管 | CNS-4435 |
| 17 | 地盤改良材料 | 施工規範 8.4 | 工作井螺栓、螺帽 | JIS B1180.81 | 機械結構用鋼管 | CNS-4437 |
| 18 | 鋼環片鋼材厚度 | CNS 3013 | 焊接鋼線網 | ASTM A82.A496 | 配管用鋼管〈灌漿孔〉 | CNS-6445 |
| 19 | 鋼環片表面塗刷 | 瑞典 SIS-Sa 2 1/2 | 鋼線網 | ASTM A185.A497 | 壓力配管用鋼管 | CNS-4626 |
| 20 | 螺栓、螺帽、墊圈 | CNS3125、5112、42 | 伸縮縫填縫劑 | U.S.FEDERAL TT | 高壓配管用鋼管 | CNS-6335 |
| 21 | 駐廠品管人員 | ASTM D3740 | 豎立填縫劑 | U.S.FEDERAL TT | 回填砂 | 施工規範 3-1.4 |
| 22 | 鋼筋 | CNS 560-A2006 | 封填縫 | SHORE A DUROMETER | 鋁合金格柵蓋板 | ASTM B-26UNS A3560 |
| 23 | 鋼筋檢驗 | CNS 479-A3002 | 橡膠止水帶 | ASTM A412 | 潛盾施工鋼材 | JIS-SS400, ASTM A36 |
| 24 | 鋼筋 | 無輻射污染證明 | PVC 止水帶 | CNS 3895 K3031 | 鋼環片鋼材 | CNS 4269, JIS G3106 |
| 25 | H 型鋼及補強材料 | JIS G3101 SS41 | R.C.P | CNS 483, 1086 | 三球 PVC 止水材 | CNS 3895 K3031 WS-E |

4.7 下水道潛盾施工遭遇礫石地層問題結論及建議

臺灣地區礫石層分佈非常廣泛，故無論是從事下水道潛盾施工、興建地下鐵、捷運工程等設施時，勢必遭遇到礫石層尤其是卵礫石分佈區之高難度施工問題。根據日本潛盾施工經驗得知一般潛盾機遇到粒徑在 75mm 以下均能有效排除，但隨著粒徑越大超過潛盾機頭之開口寬度或螺運機之寬度時，就必須採用帶運機之方式，遇高地下水位雖可採開放式潛盾機加輔助工法止水，但基於安全考量在地下水位以下，儘量採用密閉型潛盾機可有效達止水效果，遇到高湧水地層亦可考慮採用密閉型水壓式之潛盾機，但遇到卵礫石層很多或很大，儘量要選用切削頭改良處理、千斤頂扭力加大、或可二次破碎或具有 T. B. M 功能之潛盾機。

由於採用潛盾機須考慮到整個潛盾路線施工上之需求，故潛盾施工之地層鑽探資料之土質分類與變化、地下水位的高低、卵礫石分佈的多寡與大小、潛盾機之覆土厚度與地下管線之埋設、鄰房建築物之保護、道路安全觀測、灌漿設備之良莠不齊、輔助工法地盤改良之實施與施工工期、經濟性因素等，都將影響潛盾機的選擇，主要仍應將地質條件作為優良的考量。

雖然本研究有探討施工案例，可做為選擇潛盾機的參考，惟所搜集案例中施工廠商及潛盾機製造商，在克服施工上的困難所付出之努力與艱苦是重重的挑戰，並非可按前人施工案例就加以設計或施工，容易造成錯誤，是必須注意的。因為所進行的潛盾施工的地質條件是多變化的；惟有掌握詳實的地質條件，多搜集施工案例的處理方式與做好各項防範措施例如遇礫石層施工時，應準備備品以便嚴重磨損時可立即更換；遇卵礫石多時潛盾機應如何操作以度過堅硬地層；遇高地下水層應加膨脹性皂土，使潛盾機機頭開挖土呈現塑性土栓現象，才可慢慢推進。

潛盾施工工作場所，經常屬於危險性工作場所。故需依照勞工安全衛生法規及其所屬法規規定，做好各項勞工安全衛生設施供施工人員使用、做好通風排氣、有害氣體偵測、隧道內照明與防爆防災措施，及辦理各項施工前勞安教育訓練和工區危害告知與每月各協力廠商之協議組織會議、辦理各項安衛宣導與工區巡視與檢查，注意防範危害之發生，將可防止施工災害於無形，建立優良的潛盾施工環境，注意施工材料的檢驗與進場時程控制，有助施工進度與品質之提昇。