

地工技術

潛盾機於桃園卵礫石層之設計與施工案例探討

盧協成 董念遠

高速鐵路工程局捷運工程處

摘要

臺灣桃園國際機場聯外捷運系統建設之桃園國際機場路段主要係以潛盾隧道方式通過，而本路段通過地層主要為卵礫石層。由於台灣對於卵礫石層之施工文獻並不多，因此本文主要探討內容為潛盾機針對桃園卵礫石層於設計時之考量及因應措施、施工過程遭遇問題與解決對策，以提供後續類似工程參考。

關鍵字：卵礫石層、潛盾。

Study of Design and Construction Method for Shield Machine in Gravel Formation in Taoyuan

Shey-Cherng Lu Nien-Yuan Tung

Bureau of High Speed Rail, Mass Transit Engineering Office

Abstract

The route of Taiwan Taoyuan International Airport Access MRT Construction Project at the Taiwan Taoyuan International Airport section is mainly pass through with shield tunnel, and the mainly strata of this section is gravel formation. This paper describes the design consideration and treatment of shield machine in gravel layer, and the problems and solutions during construction.

Key Words : Gravel formation、Shield tunnel.

一、前言

臺灣桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫係為改善臺灣桃園國際機場聯外交通，以連結台北都會區大眾捷運系統、臺灣桃園國際機場、高鐵桃園車站等交通運輸樞紐，期使國際航線與國內交通網路得以緊密結合。本計畫除可提供桃園國際機場進出旅客安全、便捷及舒適之捷運系統外，亦兼顧都會捷運效能，配合沿線既有都市發展計畫，提供捷運系統以帶動地方繁榮，以期城鄉均衡發展(高鐵局，2003)。

機場捷運路線自桃園國際機場第二航廈往東經林口、新莊、三重至台北車站特定專用區，

往南經高鐵桃園車站至中壢中豐路與環北路交口。全長約51.03公里，沿途共設22座車站，包括15座高架車站、7座地下車站；並設置青埔及蘆竹兩處維修機廠。其中桃園機場路段主要係以潛盾隧道方式穿越，由於桃園卵礫石層施作潛盾隧道之案例並不多。本文將以機場捷運CU02A標為例，探討潛盾機針對桃園卵礫石層於設計時之考量及因應措施、施工過程遭遇問題與解決對策，以期提供後續類似工程參考。

二、工程概要

2.1 基地位置

機場捷運CU02A標北起桃園縣大園鄉南崁

溪東側，穿越南崁溪後進入桃園機場下方，經過東、西滑行道、塔台、一、二航站等，南迄大園鄉埔心溪西側，全長約5.5公里皆為地下工程，其中包含3座地下車站、10段潛盾隧道(上、下行各5段)及5處明挖覆蓋隧道。其中潛盾隧道需穿越南崁溪、民間停車場、東(EC)滑行道、塔臺附近區域、西(WC)滑行道及埔心溪等(如圖一)，故於穿越上述區段時，須特別注意沈陷控制。

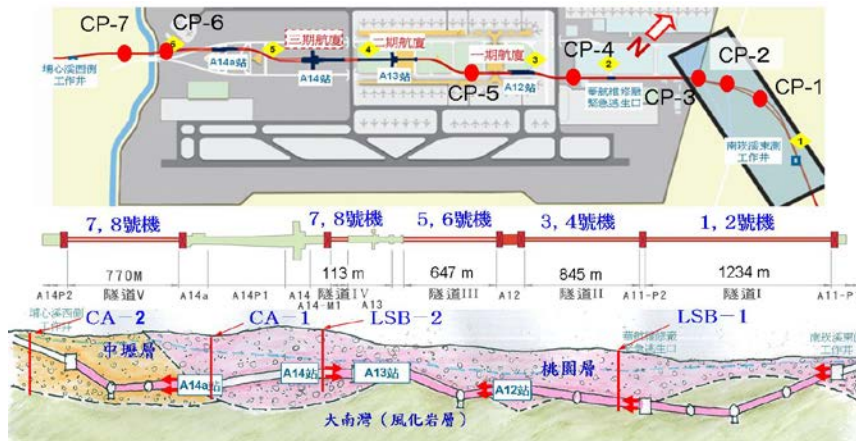
2.2 地質概況

本標工程屬桃園台地，主要通過地層為桃園層及部分中壢層與大南灣層。另在路段東側約1.6公里處有存疑性活動斷層呈南北向延伸經過，惟並未通過路段本身，且距離亦較長，因此對本工程路段應無重大影響。

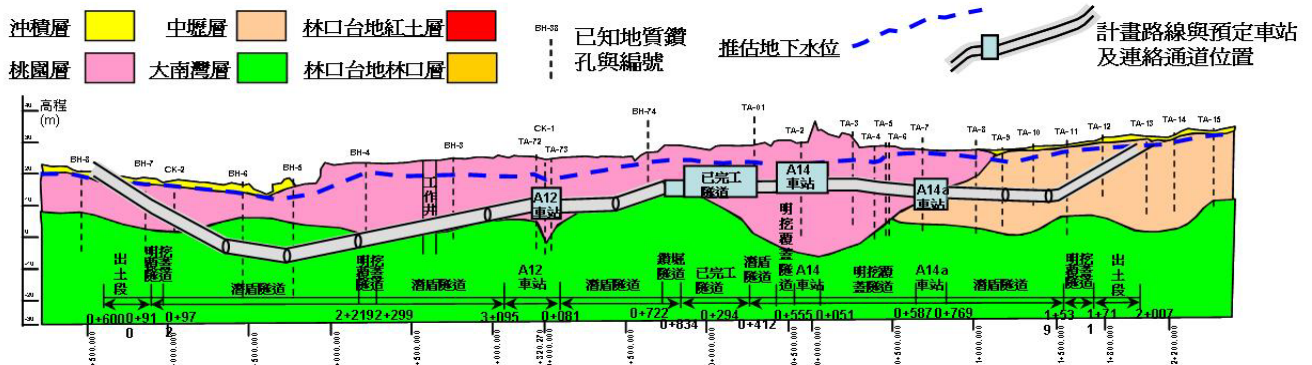
南崁溪路段至緊急出口明挖隧道之間，卵礫石層較薄，約在8~15公尺之間，緊急出口至埔心溪之間之卵礫石層相對較厚，約在10~25公尺之間，但常夾有1~3公尺厚之砂泥層。埔心溪東側地表為桃園層之紅土與卵礫石層，埔心溪地表

西側則為中壢層，表層之紅土厚度約在1~5公尺之間變化，其下之黃棕色卵礫石層約在8~25公尺不等。有關地下水部分，本路段東端有南崁溪，西端有埔心溪經過，兩溪之水量均頗為豐沛，依相關鑽孔資料所示，地下水位大略於地表下3~10m之間變化。本工程地質剖面圖如圖二。

本標路段卵礫石層之礫石以砂質砂岩為主，粒徑大小不一，大多在數公分至50公分之間不等，多為次圓形，礫石間之填充物主要為砂、泥、粘土等。卵礫石層內礫石之含量約在52%~59%，部分區段可達75%~80%，礫石屬石英砂岩，其單壓強度約在95~207Mpa。依調查報告及現場鑽探試驗及大口徑取樣結果，本區段部分礫石層內含有粘土等細粒料，惟分佈不均，上述細粒料並未施作液性限度及塑性限度等分析，因本區之礫石層以石英質礫石為主，填充物為砂、泥、粘土等，其統一土壤分類為GP、GM或GC，視粗粒料之組成而異。此外，採用NAVFAC DM-7透水試驗方式求得滲透係數約在 1.8×10^{-5} ~ 4.5×10^{-3} cm/sec，屬中等透水性地層。紅土層



圖一 CU02A標潛盾隧道施工區段及大口徑調查位置示意圖



圖二 地質剖面圖

表一 大口徑位置鑽孔土層資料表

位置	地層	深度(GL-)	地質分類	礫石%	砂%	粉土%	備註
LSB-1	桃園層	18~20M	礫石	85.8	13.6	0.6	最大礫徑：60cm
	大南灣層	20~24M	風化砂岩	6.4	79.2	14.4	
LSB-2	桃園層	12~18M	礫石	67.2	30.6	2.2	最大礫徑：32cm
CA-1	桃園層	11~17M	礫石	70.2	27.4	2.2	最大礫徑：55cm
CA-2	中壢層	12~18M	礫石	74.4	10.0	15.6	最大礫徑：60x35cm

表二 潛盾隧道各施工區段長度及地層相關資料表

區段	I 區段		II 區段		III 區段		IV 區段		V 區段	
長度(上行線/下行線)，m	1234/1205		844/844		648/648		111/111		767/767	
最小曲率半徑(上行線/下行線)，m	R500,700		R220		R200		-		R800	
覆土深，m	29.4		21.8		16.6		15.4		13.8	
地下水位	GL-3.0~10.0m									
土質(區段距離)	礫石(A)	250m	礫石(A)	422m	礫石(A)	324m	礫石(A)	111m	礫石(C)	769m
	砂岩(B)	984m	砂岩(B)	423m	砂岩(B)	324m				
	備註：(A): 桃園層、(B): 大南灣層、(C): 中壢層；砂岩：泥質砂岩									

之N(標準貫入試驗)值多在5~20之間；卵礫石層之N值則多達100以上。大南灣層屬膠結不佳之砂泥岩互層，砂岩及泥岩之單壓強度小於2Mpa，RQD約30~70(台灣世曦公司，2007)。

為了解潛盾機(外徑為6.24m)遭遇卵礫石層時，所需之礫石相關資料(粒徑分佈、含量、單壓強度及石英含量等)，除於設計階段採用傳統之鑽探取樣外，另分別於設計及施工階段，以全套管鑽掘樁(φ=1.2m)方式，辦理大口徑鑽孔取樣，以求取卵礫石之最大粒徑及粗粒料之含量，供潛盾機設計參考用；而細礫料部分則著重於礦物組成與含量以供填加材之種類與配比設計參考用，惟上述大口徑鑽孔取樣方式，於粒徑含量百分比部分將造成誤差。其鑽孔位置及取樣情形分別如圖一、三，並就每公尺抓取之礫石進行篩分析及粒徑量測，現地試驗資料如表一。



圖三 大口徑鑽孔卵礫石層及風化砂岩照片

設計階段的調查(LSB-1、2)是針對桃園層(卵礫石層)與其下方的大南灣層(風化岩層)作調

查。而施工階段的調查，則是針對桃園層1處(LA-1)及中壢層1處(LA-2)進行調查。依調查結果所示，中壢層與桃園層之最大礫徑及粒徑分佈大致相近，故於潛盾機對卵礫石層之設計時勿需再分別考量(潛盾隧道各施工區段相關資料如表二)。

三、卵礫石層潛盾機之設計考量

本工程之潛盾機施作主要地層為卵礫石層，局部路段會遭遇大南灣砂岩層，地下水水位位於地表下3~10m左右。因卵礫石層透水係數較大，且地下水水位較高，為顧及施工安全性，故採密閉型土壓平衡式潛盾機施工。

潛盾機於設計時之主要考量期望如下：(1)於卵礫石層可進行有效率的推進工作(70cmx60cm(長x寬)以下之卵礫石可直接進入土艙內，而70cmx60cm以上之礫石則於刀盤外做破碎處理)；(2)針對卵礫石層與風化岩層均有良好之掘削性並減少切刃齒更換次數；(3)可輕易更換切刃齒或處理大礫石；(4)於曲線段有良好施工性。

以下針對潛盾機之切刃轉盤(cutter head)、切刃(cutter bit)、隔艙構造、排渣裝置等之設計考量作詳細說明。

3.1 切刃轉盤(cutter head)

切刃轉盤之型式、形狀、支承方式及開口等，茲分述如下：

3.1.1 切刀轉盤型式

一般切刀轉盤的型式及其適用之土層範圍如圖四所示。由於本工程需同時克服卵礫石層與砂岩層，故選用軟岩與卵礫石均可適用之混合式切刀轉盤(如圖五)。



圖四 切刀轉盤型式及其適用土層範圍示意圖



圖五 切刀轉盤前端的型狀種類

切刀轉盤結構一般有輪輻型與面板型，本工程經針對卵礫石層、砂岩層、推進速度、切刀

(cutter bit)磨損等因素考量後選用輪輻型結構，其分析如表三所示。

依表三分析所示，採用輪輻型切刀轉盤結構之主要考量，係將排碴裝置的直徑加大，使礫石在不用破碎的狀況下就可順利排出；另如遇排碴裝置無法排除之大礫石時，則於輪輻軸間設置中間環及限制塊以限制超出容許範圍(65cm以上)之大礫石通過面板，並讓此種大礫石在進入面板前即先被破碎。另依據以往施工實績，為使切刀數量及轉盤迴轉速度等能適切配合掘進時之切削深度，因此本工程設定轉盤內之輪輻數為6支。

3.1.2 切刀轉盤前端形狀

切刀轉盤前端的形狀一般有平板型、半圓頂型(semi-dome)及圓頂型(full-dome)(如圖六)。而轉盤前端形狀決定時，應考量開挖面穩定及土壤等條件。本工程在綜合檢討及評估卵礫石層、砂岩層及結構等因素後，決定採用部分半圓頂型之切刀轉盤。其分析如表四說明。

3.1.3 切刀轉盤支承

切刀轉盤支承方式的種類一般有中央支承、中間支承及外周支承等方式。支承方式於選擇時，應考量潛盾機直徑、地盤條件及與排碴裝置之組合等因素。本工程在綜合評估卵礫石層及砂岩層因素後，採用中間支承之切刀轉盤支承如表五。

表三 切刀轉盤結構分析比較表

轉盤結構(礫石處理方式)	輪輻型(採部分礫徑以內直接進入土艙方式)	面板型(採破碎方式)
卵礫石層	根據所佈置的排碴裝置，可以處理之礫石礫徑可達65cm左右，惟遇較上述礫徑更大之礫石時，則需依輪輻上之滾輪式切刀(roller cutter)加以破碎處理	透過裝置於面板上之滾輪式切刀，可於開挖面直接破碎礫石(最大可處理至礫徑90cm左右)
砂岩層	因開口率較大，故刃盤面較不易堵塞及附著	因開口率較小，故刃盤面較易堵塞及附著
推進速度	可較順暢的將土石取入，推進速度較快	因需以滾輪式切刀破碎礫石，故需較多時間
切刀磨損	因推進速度較快，切刀磨損量較小	因推進速度較慢，且整個面板皆需裝置滾輪式切刀，故切刀磨損量較大
綜合評價	○	△

備註：○：較優、△：較差

表四 切刀轉盤前端形狀比較表

形狀	平板型	半圓頂型	圓頂型
卵礫石層	最外圍之滾輪式切刀配置困難，而需要檢討切刀的形狀	週邊滾輪式切刀配置較易	需要檢討形狀
砂岩層	開挖土石較不易附著於面板	對開挖土石附著於面板情形需檢討	開挖土石易附著於面板
構造	簡單	略為複雜	複雜
綜合評價	△	○	×

備註：○：較優、△：較差、×：不適用

表五 切刀轉盤支承方式比較表

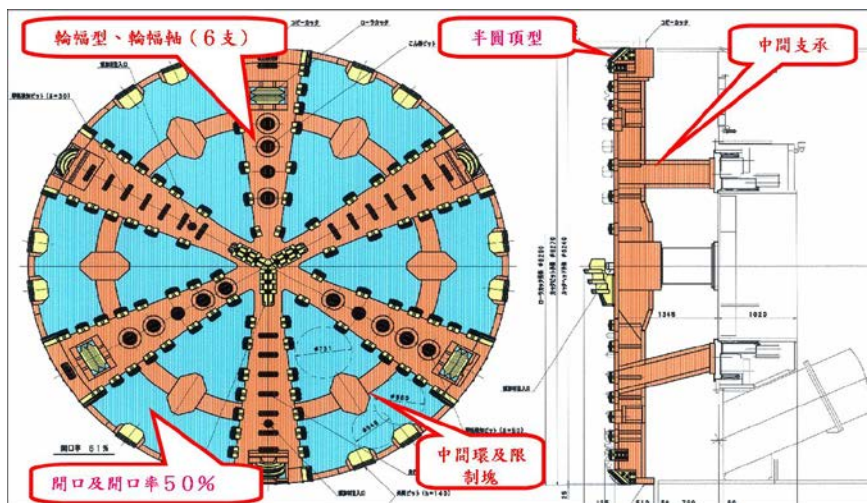
支承方式	中央支承	中間支承	外周支承
卵礫石層	切刀扭矩小	切刀裝備扭矩大	切刀裝備扭矩大
砂岩層	較不易附著	不易附著	較易附著
綜合評價	△	○	△

備註：○：較優、△：較差。中央支承：支承位於轉盤中心；中間支承：支承位於轉盤中心與最外圍之間。

表六 切刀轉盤開口率大小優缺點比較

開口率	開口率大	開口率小
優點	切刀磨損量較小、土石附著於面板較少	不會因大礫徑之礫石而使螺旋輸送機阻塞
缺點	遇大礫徑之礫石將使螺旋輸送機阻塞	切刀磨損量較大、須檢討土石附著於面板
綜合評價	○	×

備註：○：較優、×：不適用



圖六 切刀轉盤結構示意圖

3.1.4 切刀轉盤開口

切刀轉盤開口之形狀、尺寸及開口率於決定時，應考量地盤條件、開挖面穩定性及開挖效率等因素。本工程轉盤開口之形狀及尺寸於決定時，係考量儘可能將開口率變大，讓65cm以下之礫石均可順利進入土艙；而礫徑大於65cm時則於轉盤上設置中間環及限制塊，以將大礫石限制於開挖面，並採用切刀轉盤外圍之滾輪式切刀持續滾壓以逐漸將礫石破碎後，再進入土艙。另於風化砂岩層部分，則需防止砂岩附著於轉盤中央部分。針對於卵礫石層之開口率(面板開口部分的總面積/切刀轉盤面積)大或小之優缺點比較表如表六，本工程切刀轉盤開口率約為50%。

此外，有關轉盤與潛盾機機身之空隙部分，考量避免地盤有崩落及沉陷的疑慮，故全環之空隙皆設計為5cm。本工程切刀轉盤結構示意圖如圖六。

3.2 切刀(cutter bit)

決定切刀之種類、形狀、材質及配置時，主要需考量其能適合遭遇之地層條件。本工程切刀之種類分為滾輪式切刀(roller cutter)、周邊(先行)切刀(peripheral face bits)、先行切刀(face bits)、圓柱形(先行)切刀(圓柱形face bits)、刮削切刀(scraper teeth)、中央切刀(center bits)及超挖切刀(copy cutter)等，謹將各切刀配置之數量、位置、高度、主要功能及考量等說明如表七。

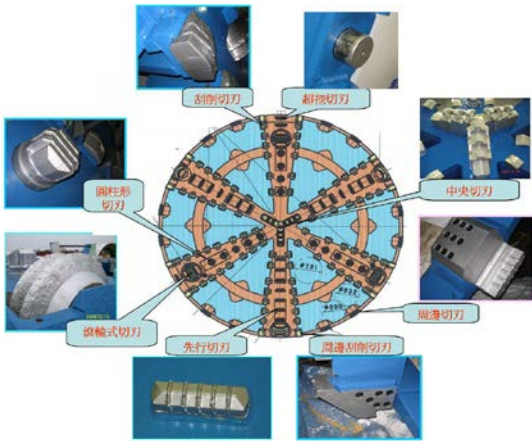
各類切刀配置如圖七。除上述切刀外，本工程另於切刀轉盤之周邊殼板上配置有保護切刀及超硬鋼板(如圖八)，以降低礫石對切刀轉盤產生之磨損並增加切刀轉盤之壽命，以避免因轉盤周邊磨損過大而可能發生之意外。

主要切刀之切削數、高度及配置如圖九其考量係為確保礫徑大於65cm之礫石可由滾輪式切刀於開挖面前破碎；礫徑小於65cm之礫石則於經

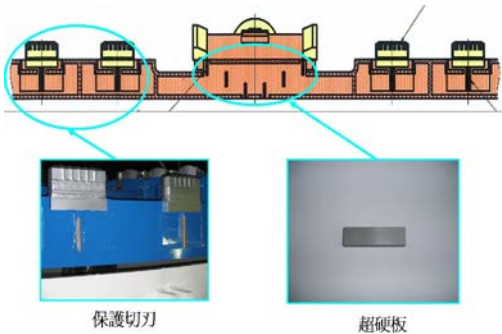
地工技術

表七 切刃種類、形狀、配置及功能考量

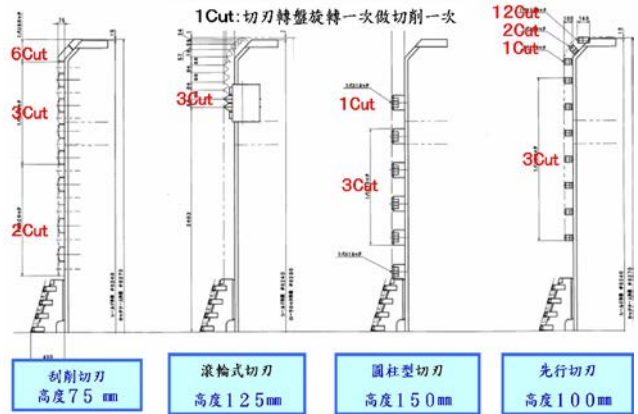
切刃名稱	高度 (cm)	數量、位置	主要功能及考量
滾輪式切刃	12.5	6; 分別於外圍各以同心圓方式配置3個	主要係為破碎位於開挖面外超過65cm以上之大礫石，並確保開挖外徑及超挖量。為能適切配合掘進時之切削深度、推進速度及地層特性等因素，因而配置6個。切刃之直徑為17英寸，其鑷齒採用嵌入式以增加耐磨損性能。為利切刃更換作業方便及安全，可由土倉內做更換。
周邊切刃	12	12; 平均分配於最外圍	主要係切削開挖面最外圍部分(含超挖部分)之地盤，並確保開挖外徑，及輔助位於最外圍之滾輪式切刃。考量須於風化砂岩層切削，故切刃之型式採用貝殼(shell)型，並將鑷齒及切刃間距加大。因切刃稍微突出轉盤周邊外緣，故可保護切刃轉盤外圍並減低磨損。另切刃採用螺栓型安裝方式，以利更換時之施工方便。
圓柱形(先行)切刃	15	14; 以交錯方式平均分配於3支輪幅中間	主要為切削及挖鬆開挖面中心以外部分之地盤，為最先切削地盤之先行切刃，可減少其他切刃之開挖負荷。因考量切削礫石時之磨損，故配置圓柱形之形狀。因切刃高度較先行切刃高，可減低先行切刃之磨損及剝落。
先行切刃	12	24; 以交錯方式平均分配於3支輪幅之中間及外圍	主要為切削及挖鬆開挖面中心以外部分之地盤，與圓柱形切刃交錯配置於不同輪幅，於外圍位置破碎礫石時有滾輪式切刃可輔助。考量部分地層為風化砂岩，故採用貝殼型之型式，並將鑷齒及切刃間距加大。因切刃高度較刮削切刃高，可減低刮削切刃之磨損及剝落。本切刃雖名為先行切刃，惟於切削開挖面時，係圓柱形切刃較先行切刃先切削地盤。
刮削切刃	7.5~10	94; 平均分配於6支輪幅兩側	主要係切削開挖面之地盤，並將切削後之土石經面鉸開口後進入土倉內。考量須於卵礫石層開挖，故切刃形狀採用無鋒角及餘隙角，並將切刃間距增大，以減少切削礫石時之磨損。另鑷齒採用插入型，以防止其剝落。考量切刃更換時之施工方便，切刃安裝方法係外圍採用螺栓型而其餘採用銲接型。
中央切刃	15-40	1; 轉盤中央	主要為挖鬆開挖面中心附近之地盤，其形狀係採用較大之3股型，以使中心開挖之效果提升。
超挖切刃	10	1; 轉盤周邊外緣	主要係於曲線開挖時，於轉彎側進行定量的超挖，以減低地層對機身側向作用力。切刃的伸縮可依開挖現況自由調整10cm。



圖七 各切刃之形狀及配置圖



圖八 保護切刃及超硬板

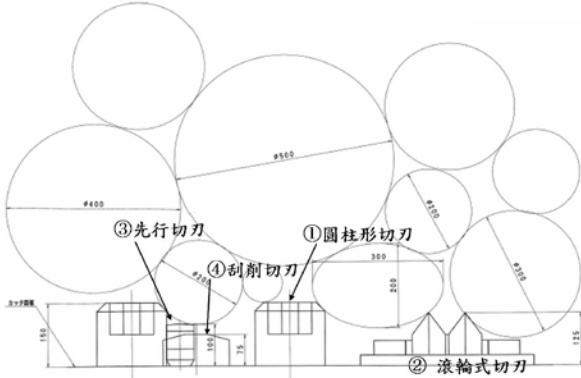


圖九 主要切刃之切削數、高度及配置示意圖

由圓柱形切刃及先行切刃之擾鬆動後，再經刮削切刃推進土倉內。有關切刃切削地盤之順序(如圖十)為圓柱形切刃先對地盤做第一次切削(滾輪式切刃則破碎較大礫石)，接著再由先行切刃對地盤做第二次切削，之後再由刮削切刃將土石推進土倉內。

由於切刃的切削性及耐久性對於開挖速度有著很大的影響，隨著切刃的磨損，切削性就會明顯的降低，特別是長距離及於卵礫石層中開

挖，對於切刀的磨損更大。一般切刀於砂層中所造成的磨損以磨耗為主要原因；但在卵礫石層中則以切刀與礫石正面撞擊，鑽齒會產生折損碎裂的情形為主，上述狀況會造成切削性降低而必須更換切刀。本工程主要切刀之容許磨損量如下表八，經計算切刀磨損的程度，預估除區段IV以外之區段，滾輪式切刀及周邊切刀皆需更換1次。



圖十 切刀切削地盤順序示意圖

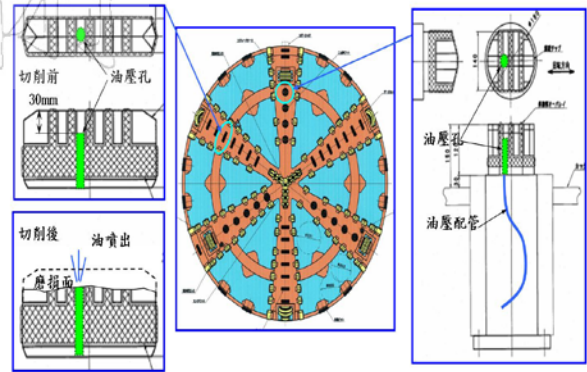
表八 主要切刀之容許磨損量

	內圈 (D內=4.81m)			外圈 (D=4.81~6.27m)	
	圓柱形切刀	先行切刀	刮削切刀	周邊切刀	刮削切刀
容許磨損量 (mm)	50	40	30	40	30

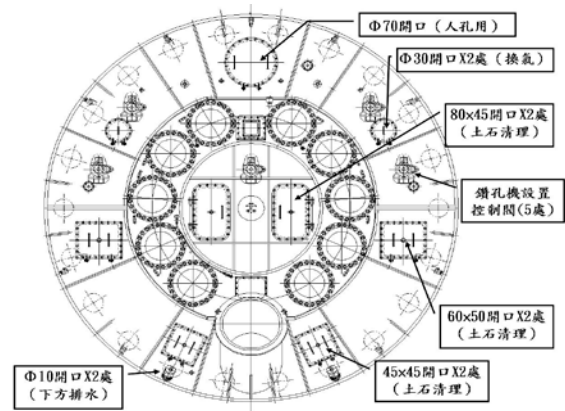
為判斷切刀於開挖過程當中其磨損的程度，本工程分別於先行及圓柱形切刀，各裝設1處磨損檢測裝置(如圖十一)。本裝置係於切刀底部之預定深度內設置一油壓孔，並以油壓配管與控制室連接，藉由油壓是否可提升來判斷切刀磨損的程度。

3.3 隔艙構造

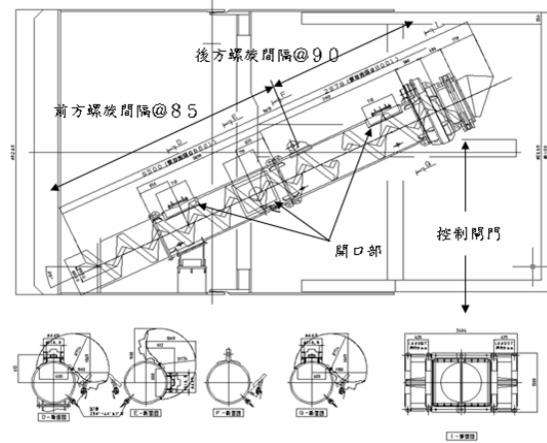
本工程潛盾機之隔艙構造(如圖十二)於設計時，主要係考量切刀更換或遭遇大礫石處理作業時之方便性與安全性，因此儘可能多設置開口。分別設置直徑70cm(檢查孔及人孔):1處、直徑30cm(換氣孔):2處、矩形80X45 cm(土石清理孔):2處、矩形60X50 cm(土石清理孔):2處、矩形45X45 cm(土石清理孔):2處等。此外，為考量可由潛盾機內部向開挖面前方施作地盤改良，因而於隔艙上設置5處鑽孔機設置用控制閥；另於隔艙下方設置2處直徑10cm之排水孔，以做為開挖面排水使用。



圖十一 切刀磨損檢測示意圖



圖十二 隔艙板構造示意圖



圖十三 無軸帶條式螺旋輸送機結構剖面

3.4 排渣裝置

本工程潛盾機所使用之排渣裝置，係為螺旋輸送機及控制閘門方式(如圖十三)。考量於卵礫石層開挖時，可能會有礫石阻塞在螺旋輸送機內部之情形，所以特別採用可處理較大礫石之兩段式(前方間隔85cm、後方間隔90cm)無軸帶條式螺旋輸送機(可排出之最大礫徑為

70cmX60cm)，另外並於其上設置3處開口及5處直徑5cm之加泥注入口，以利輸送機萬一阻塞時排除作業之用。

螺旋輸送機之驅動方式因考量開挖時將遭遇卵礫石層及風化砂岩層，因而設置2種運轉模式，其排土量分別為卵礫石層 $100\text{m}^3/\text{h}$ 及風化砂岩層 $170\text{m}^3/\text{h}$ 。

四、施工問題與對策

本潛盾機外徑為6.24m，總推力為33,000kN，扭力為5470kN-m（最大瞬間為6560kN-m）。本工程第1、2部潛盾機分別自97年4月及5月開始開挖，至97年10月已分別完成約七百餘公尺及六百餘公尺之潛盾隧道開挖，平均每日推進長度於卵礫石層約4~5m、砂岩層約8m，於施工過程中有發生地表沈陷及推進困難而停機之情形。以下針對上述情形遭遇之原因及因應對策逐一說明。

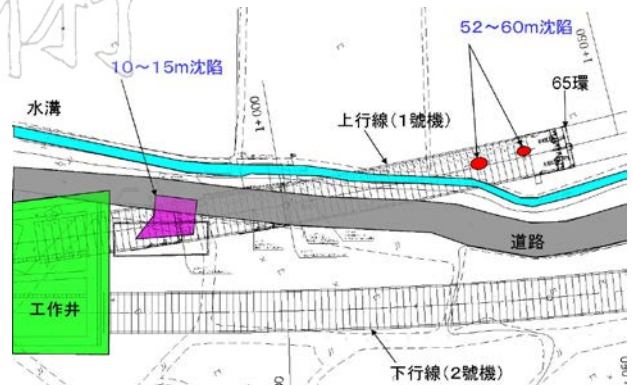
4.1 地表沈陷

本工程第1部潛盾機於初期開挖65環(1環長度為1m)當中，分別於第10~15m及52~60m處發生2次地表沈陷情形(如圖十四)，經檢討發生原因如下：

1.本工程出發工作井之擋土設施為排樁及噴凝土，部分工作井外之土砂隨地下水自工作井底部持續滲入，因而造成工作井週邊潛盾隧道位置土層部分產生空洞。上述現象於潛盾機開始推進前，即已於工作井外部周邊自地面施作補充灌漿，惟還是無法填補完全。

2.潛盾機開挖初期過程中，因遭遇異常地層(卵礫石大量排出)而推力增加，以致反力座部分損壞。由於反力座損壞以致推力大小受到限制，因而以增加排土量方式持續開挖及補強反力座，並準備於發生異常區段自地面施作補充灌漿以填補空洞，惟於開始施作補充灌漿前即發生地表沈陷情形。

3.卵礫石層中之潛盾隧道開挖，其超挖量較其他土層大；且本開挖區段之覆土厚度較少，因



圖十四 潛盾隧道地表沈陷位置示意圖

開挖時產生之振動較大而容易於潛盾機開挖面上方之地表產生早期沈陷。此外，亦有可能係土倉內土壓管理值不足；或背填灌漿之壓力及量不足而產生沈陷等。

針對上述發生原因之因應對策說明如下：

1.出發工作井於開挖期間，加強對地下水位之管制，以防止礫石間之細料流失。此外，於工作井週邊及潛盾隧道沿線位置自地表施作探查鑽孔及透地雷達，以確認是否有空洞，如確有空洞則自探查鑽孔施作補充灌漿以填補空洞。

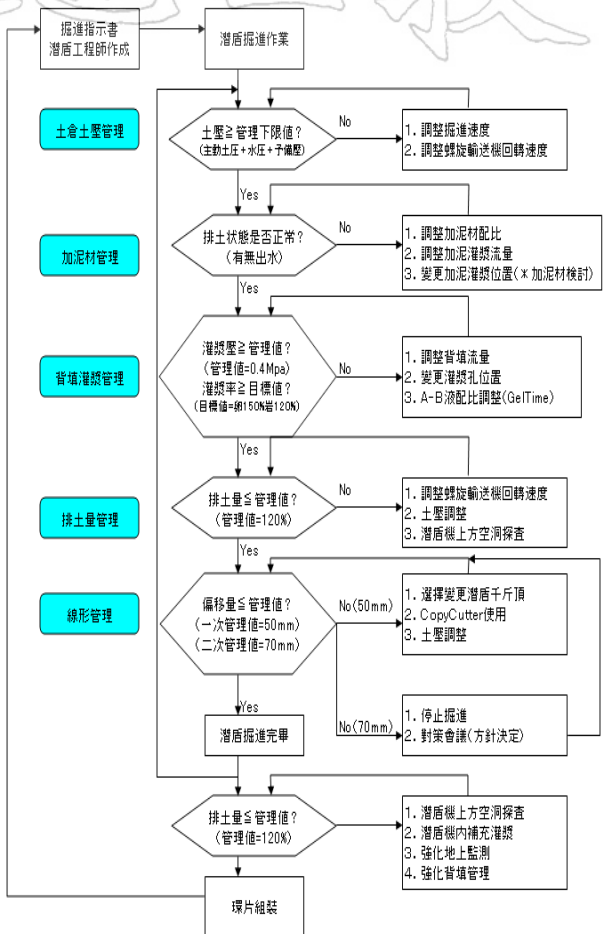
2.後續出發工作井之反力座增加預埋鋼筋數量，以增加反力座之受力強度。另推進時於盾尾處之灌注閥灌注潤滑材料，以減少潛盾機機身與土層間之摩擦力。

3.針對土壓、加泥材、背填灌漿、排土量及線形等訂定管理機制(如圖十五)，以避免沈陷事件再次發生。其中土倉內土壓以土動土壓+水壓+預備壓(0.02Mpa)為管理下限值；以設計出土量之120%做為排土管理值；背填灌漿壓力以介於0.5Mpa至0.4Mpa為管理區間；背填灌漿量以達150%設計量為目標值，並嚴格控管出土作業，當出土量有異常時，立即檢討並探討補救措施，以防止空洞持續擴大而發生沈陷。

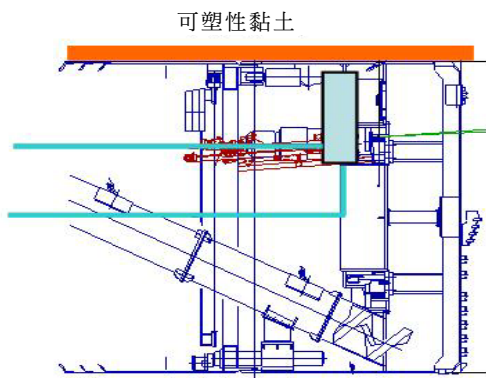
4.考量於潛盾機通過重要結構物下方時，自潛盾機內部往機身外上方灌注特定材料(如圖十六)，以防止潛盾機上部沈陷發生。

4.2 停機處理

本工程第1部潛盾機於初期開挖完成65環後，即停機並辦理設備轉換，約二週後才再開始



圖十五 潛盾隧道開挖管理流程示意圖



圖十六 潛盾機上方灌漿示意圖

開挖，於開挖至第74環時發生推進速度變緩、扭力及推力變大及排土溫度變高等因素致推進困難，最後扭力達極限而完全無法推進。另第2部潛盾機於開挖至第29環時發生推進速度變緩及排土溫度遽升等因素以致推進困難，且係發生於第1部潛盾機開倉之後，推斷開挖面及土倉已阻塞因而決定停機。停機發生之原因經分別開倉(如

圖十七、十八)後檢討如下：

1. 潛盾機於初期掘進後之設備轉換期間，由於停機時間較久，造成土倉內之土石阻塞而有類似固結情形，因而無法順利排出。
2. 開挖初期通過地盤改良區段因推進速度較慢，因而造成開挖面及土倉中間部分因擾動較少以致土石流動性較差，進而束制於中間部分，因而影響推進。
3. 土倉內之土石攪拌不足以致流動性較差。此外，灌注於開挖面之加泥材注入孔遭阻塞而無法發揮應有功能。
4. 開挖面遭遇之地層變化位置，較地質鑽探資料所示更早，使得開挖作業之相關措施因應較慢而影響推進功效。

針對上述發生原因之因應對策說明如下：

1. 於後續潛盾機停機較長期間，實施1天1次以上切刀轉盤之轉動，並將加泥材灌注於開挖面及土倉內，以保持土倉內土石之流動性並避免開挖土石黏著於土倉內。
2. 於切刀轉盤內側增設可隨切刀轉盤旋轉之攪拌棒；此外，並於隔艙壁上裝設固定攪拌棒，以充分將土倉內之土石與加泥材攪拌俾利排碴順暢，並避免土倉中間部分之土石因流動不順而遭束制。活動式攪拌棒及固定式攪拌棒之設置情形如圖十九。
3. 開挖過程中隨時(1)注意排出土石之狀況及種類、(2)切刀轉盤的扭矩變動、(3)土壓力變化、(4)加泥材之灌注壓力及灌注量管控、(5)輪流使用不同之加泥材灌注孔，以避免灌注口被土砂堵塞。

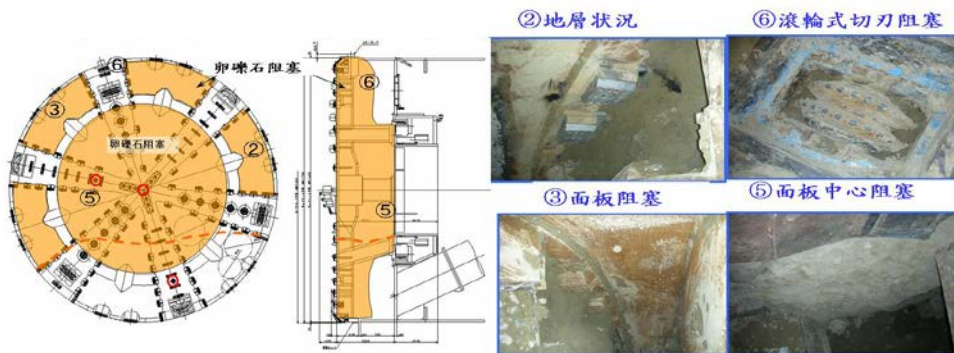
五、結論

本工程自施工開始承商即針對如何於桃園卵礫石層中，設計一部合適之潛盾機而研擬相關措施，其中包括大口徑補充地質調查及至鄰近地區之潛盾隧道工地參訪並了解其所遭遇之問題以做為借鏡。此外，針對潛盾機之切刀轉盤、切刀配置、隔艙構造及排碴裝置等亦經多次開會討論後才決定。本工程於潛盾開挖初期過程中雖發生地表沈陷及推進困難而停機之情形，惟於每一

地工技術



圖十七 第1部潛盾機開艙情況



圖十八 第2部潛盾機開艙情況



圖十九 攪拌及固定翼設置圖

次事件發生後均縝密檢討發生原因並研討防止後續再發生之因應對策，以使施工作業能逐漸正常及順利。由於國內在卵礫石層之潛盾隧道案例並不多，本工程於施工期間所得施工經驗應可做為後續於卵礫石層潛盾施工之參考。

致謝

本文承機場捷運CU02A標承商榮民工程股份有限公司及日商奧村組營造股份有限公司台

灣分公司共同承攬桃園分處、及台灣世曦工程顧問有限公司大園監造工程處有關人員，提供眾多寶貴資料與意見，特此誌謝。

參考文獻

- 交通部高速鐵路工程局(2003)，中正國際機場聯外捷運系統建設計畫規劃報告書。
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2007)，「臺灣桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫細部設計及施工監造顧問服務DU01標-補充地質調查報告」。
- 榮民工程股份有限公司/日商奧村組營造股份有限公司台灣分公司(2007)，機場捷運CU02A標潛盾機製造計畫書。
- 財團法人中興工程科技研究發展基金會(2003)，日本隧道工程標準規範及解說[潛盾工法篇]。