

研討會專欄

地工技術第 22 次研討會~捷運新建工程的大地經驗

時間：98年5月19日(星期二) 上午9:00~12:30 研討會
下午1:00~6:00 工地參訪

地點：台灣科技大學綜合研究大樓 102 室 (台北市基隆路四段 43 號)

講 題

捷運潛盾隧道穿越機場下方之沉陷控制
桃園機場聯外捷運建設工程之施工風險管理
潛盾機於桃園卵礫石層之設計與施工案例探討
地下潛盾隧道施工風險案例探討
綜合討論

主講人

陳俊宏(台北市政府捷運工程局)
章艾霞(中興工程顧問股份有限公司)
盧協成(交通部高速鐵路工程局捷運工程處)
廖銘洋(榮民工程股份有限公司)
林三賢(國立台灣海洋大學河海工程系)
陳正興(國立台灣大學土木工程系)
張文城(交通部高速鐵路工程局捷運工程處)

高秋振* 整理

綜合討論

主持人林三賢教授：

剛才的報告真的是欲罷不能，所以我們要稍為壓縮午餐的時間，直接開放給各位對剛才四位講員的報告提出意見討論。

台科大林宏達教授：

我覺得今天的演講都很精彩，我是有幾個問題想請教，但因為時間的關係，我先問一個問題就好了。我要問的是我最不懂的『風險管理』問題，請教章經理，剛剛有提到整個風險管理程序裡很重要的一環是風險評估，在這個風險矩陣圖分為 R1~R4 四級，橫軸是衝擊程度，縱軸是發生機率，這是很好的觀念，但我覺得機率的量化計算或者衝擊程度的評估不是很容易的，可是它的真確性對最後的結果確是很重要，這部份根據妳機場捷運的經驗，不曉得如何作比較好？

中興顧問章艾霞經理：

當初我們在風險管理報告內，衝擊程度是以施工費用來計算，可是於廠商進場後，他們是以工期來計算可能衝擊程度的等級，因為整個機場捷運的工期是很重要的。施工費用好像對他們比較沒那麼重要，除非是有特別需求的工程保險，等於說工期的延誤就是他們費用的一個衝擊。這部份確實是非常不容易量

化，也是我們在整個機場捷運工程與廠商討論當中所必須要面臨的。說實在的，作這風險等級矩陣圖時，主要是廠商依其施工經驗去判斷而作的，沒有很嚴苛的用量化值去作計算，所以有些評估是定性的描述，也就是說專家說的算了，然後再經過後來的會議去評定與確認相關的等級。

台科大陳志南教授：

請教陳課長，松山機場以前有一個無限自走工法穿越松山機場，也就是『毛毛蟲工法』，當時也有很多討論，請問它的路線與這次內湖捷運線的相對位置是怎麼樣？

北捷陳俊宏課長：

無限自走工法的穿越機場地下道與內湖捷運線，當初本來兩個路線是共構的，從復興北路以一直線穿越機場，在復興北路整個開口進入地下段，但那區域的居民認為會把道路阻隔了而反對，所以後來捷運與車道就各走各的，車道在過了民族東路才下地下段，那車道坡度很陡，約 4%左右；捷運的部份則是高架方式，沿民族東路圍牆邊開始進入地下並繞了約 2 公里，過了松山機場航廈才穿越機場，所以兩個路線在機場穿越帶是差很多。地下車道的穿越帶剛好是飛機降落點，而捷運的穿越帶是在飛機滑行段，因此對

捷運的衝擊力量就沒有那麼大了。

主持人林三賢教授：

請教陳課長，剛剛有提到用壓密的觀念來看潛盾施工引起的沉陷問題，但好像沒有看到外力的作用。因為壓密是因壓力差而引起沉陷的...，陳課長是否可以再更進一步的說明。

北捷陳俊宏課長：

其實這個主要壓密行為，我想主要還是由於土壤本身覆土重量而造成，雖然潛盾施工時有即時的將縫隙填補，但是它本身因為已經經過擾動，土壤從潛盾開挖的部份一直往上提升，土壤就是要得到它本身的平衡，所以我們量測得到的是地表的沉陷量。

台科大林宏達教授：

我剛剛也是想要問這壓密沉陷的問題，其實我覺得黃南輝博士所定義潛盾施工的壓密沉陷，與我們所認知的壓密沉陷是不一樣的，因為一般壓密沉陷通常是有外力作用而造成孔隙水壓消散所引起，在潛盾施工雖有類似的行為但其實機制是不太一樣的，在粘土層的壓密沉陷通常是蠻大的，正常大概會有數十公分，但目前看到的只有7公分，這一點是很有趣的問題，不過確實是很好的描述方式。另外，我還有一個問題請教盧主任，剛剛有談到很多卵礫石層的施工，我很好奇你們有作了現地的足尺寸粒徑分析，不曉得有無作力學性方面的試驗，也就是所謂的凝聚力與摩擦角；於設計與後續的施工時，比如預測沉陷量時是否有用到這種參數？

高鐵局盧協成主任：

是有採取大口徑取樣進行粒徑分析，至於摩擦角等等的力學試驗部份，則要再去問設計單位(CECI)。

台科大陳志南教授：

再請教盧主任，一般在卵礫石層隧道施工最怕水，在你的報告中，有關卵礫石的滲透係數，你用DM-7評估出一個值，在桃園機場區域，它的地下水位好像都在隧道上方，請問施工時有沒有特別困擾的問題。

高鐵局盧協成主任：

施工過程中我們比較在意的是工作井的部份，我們有用真空抽水把工作井周圍的地下水降至開挖面以下；另外，在上下行隧道間的連絡通道部份，總共有7個連絡通道，我們有作地盤改良，在第三與第四個連絡通道，我們還有進行降水。但降水作業也有一些困難，因為在這20~30公尺深的卵礫石層有一層薄薄的不透水層，我們的特殊處理是設置不同深度的抽

水井，去抽不同含水層的水。所以大地的東西不是均值的，也不是單獨可簡單分類而固定不變的，其實它是有變化的，包括剛才提到的大口徑取樣試驗，還有現場幾個明挖覆蓋段，我們作了幾千支的基樁，施工過程中發現幾乎相隔數支樁的情況下地層就有相當大的變化。也就是說，卵礫石層中夾有約1~1.5m厚的砂土層，而這砂土層的分佈也不是很固定，或許是那個區段在埔心溪與南崁溪之間，當時在地層形成時受溪流的影响，所以砂土層的分佈也都不太一樣。

邱守巒先生：

因為我家就在台北捷運最近施工的東門車站，最近看到潛盾隧道已經完成了。在春節前就通了，但後續的工作一直還在進行而沒有完成，前陣子進場了一大堆日本的超微細水泥，剛開始時我不知道它的用途，後來才問到是液化灌漿。剛剛聽到機場捷運隧道是在含水的卵礫石層中，因為捷運營運中會有震動，而捷運的營運安全是靠軌道的平整度，所以台北捷運有作土壤液化的灌漿，建議桃園機場捷運去詢問設計單位，會不會因為液化情況下而造成軌道的不夠平整，那時候(發生液化後)再去補救就很難了！

高鐵局張文城處長：

謝謝邱先生的指正，您剛剛提到的液化或者軌道平整的問題，關於在地表下10~20m的卵礫石層是否會液化？就專業上是值得進一步去探討，但我個人的直覺，液化不是個問題。至於後續震動是否會造成軌道不平整的問題，我覺得這與承載力是有關係的，這可分為兩個問題，第一個是施工的問題，也就是本身鋪軌過程是否品質出狀況；第二個是長期營運時是否會造成地下土層與隧道互制而產生變形或者移位，如果是這問題，基本上我也覺得大概不是大問題，因為這區域的卵礫石層遠比台北市捷運的砂土層狀況好非常多，而且砂土層有無含水與卵礫石層有無含水的狀況其實是一樣的...。不過您的指正非常好，我們會與設計顧問再進一步研究探討。關於盧主任剛才幾個問題的答覆，我再補充一些，在機場捷運設計階段的調查報告內，對於卵礫石層的力學性質，包括凝聚力、摩擦角、礫石含量、單壓強度等，都有作過這方面的試驗，因為這與潛盾機設計的推力與扭力有直接關係的。另外，剛才提到地下水的問題，我們在整個施工過程內，於出發井與到達井，或者聯絡通道，我們設計時會有地盤改良，再進行降水至潛盾隧道的仰拱以下位置，因為我們希望要把水的問題克服與排

除，才能確保安全。實際上我們曾經在一些聯絡通道處試圖要降水時，但是就在潛盾機的頂拱上剛好有一層不透水層，因此潛盾機施工就在受壓水層內，所以在抽水作業時遭遇到非常的困難，用一般的方式沒有辦法降水至仰拱以下，我們就用了比較特殊的處理，打了幾口井用真空抽水的方式以造成負壓，讓受壓水層內水可以很快的下降。至於在出發井、到達井與聯絡通道以外的位置，我們對地下水都沒有作任何的處理，把它當作一般的土壤開挖來施工。

交大土木系學生：

請教廖先生，剛剛有提到卵礫石層的潛盾施工，在潛盾面盤的中央部份會有特殊嚴重的磨損，請問在統計上有無顯示其磨損的原因，或者這磨損有沒有特別的意義？

榮工公司廖銘洋副處長：

這是一個需要比較深入去說明的問題，研判是因為潛盾開挖時所有卵礫石掉下來的位置不是落在面盤最低處，而是卡在中央 1/3 的範圍，所以這範圍的磨損會增加。但是以這工程案例(龍門計畫海下潛盾隧道)來看，可能還不盡然是如此，因為潛盾開挖有經過岩層、卵礫石層與混凝土(到達井)，在岩層的開挖曾經更換了兩次面盤的切刀，發現在岩層段施工並未有如此嚴重磨損。那到底是在卵礫石層或者是在到達井的混凝土部份被磨損，是還待查。現在國際上幾家專門製造潛盾機的廠商一直想要這資料，因為他們要去分辨修正切刀的方向。剛才在簡報中，各位可以看到在卵礫石施工的潛盾面盤配置的是一小塊、一小塊的切刀，在岩層的面盤則是一整圈的切刀，它的耐磨強度大概都是在 $3000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，但這卵礫石並非像岩層固定不動的。二次磨耗的原因是因為切碎某部份後，留下而未進入土倉的部份則隨面盤轉動而帶著走。一般的磨耗是有經過計算的，比如一個切刀齒要磨耗 2 公寸是需要挖 200 公尺，走 10 萬公里的行程，但是帶著卵礫石滾動時，也許只挖了 100 公尺，就走了 10 萬公里的行程！所以為什麼剛才看到旁邊的切刀仍是完整的，靠中央的切刀却磨損得如此嚴重，這是值得再去探討的！

交大土木系學生：

再請教廖先生，如您所說的，請問現在的潛盾面盤設計公司是否有考慮此問題？我看到目前的設計好像並未對這問題去作加強。我之前有看到台電湖口卵礫石潛盾施工案例的簡報，他們在檢討時

也提到有類似磨損的問題。這是蠻危險的！萬一它的掘進距離過長，可能會破壞潛盾機。

榮工公司廖銘洋副處長：

一個方法是設計磨耗的減滯裝置，避免切刀齒在第一時間就磨損掉；剛才各位有看到桃園機場捷運在卵礫石段的潛盾面盤設計，我們在中間加了一圈補強鈹，這也是一種考慮的方式。事實上，這切刀磨耗的管控不止是在磨耗程度考慮，還包括了推力、扭力方面，所以在卵礫石段的潛盾施工有好幾個地方必須要停下來，就是在推力值、扭力值與前進的速度已經小於設計值的時候必須停下來檢查而不能冒進。湖口案就是冒進，但是湖口的卵礫石與桃園的不同，台灣的卵礫石有四大區塊，就只有台中不敢用潛盾施工，因為目前還想不到如何去克服。不管是中壢層還是桃園層，卵礫石層的細顆粒還足夠，但台中與及桃園另一側的卵礫石層細顆粒不夠，細顆粒不夠的情況下所有潛盾機掘進的行為都不存在了。尤其是潛盾施工的沉陷模式與一般安息角的沉陷模式完全不同，它是一個煙囪型的，各位有興趣的可以進一步去研究。這卵礫石不像岩層或土壤有安息角與穩定的時間，卵礫石一掉下來就是一個洞，這個洞要等到潛盾機 8m 長通過以後才能灌漿，因此這個洞會產生鬆弛與互相的干涉，也就是一顆掉下來後，第二顆馬上跟著掉下來。湖口案的卵礫石層細顆粒也不夠，因此卵礫石掉下來造成潛盾面盤旋轉的週率就不是原來的設計週率，這就是一個很大的問題。所以我一直強調，全世界沒有一條隧道的潛盾施工是一樣的，也沒有真正的師傅，我們只是看得比較多，作得比較多。所以作潛盾隧道的人一定要自己下去，如果沒有自己去聽潛盾機掘削的聲音，沒有去掌控它掘進過程的歷程，我們所看到的報表是否可以反應它當時掘進的歷程？我們以前在潛盾施工時，甚至要拿醫生的聽筒，在切刀轉盤邊去聽，潛盾機在每階段掘削時會發出不同的聲音，這些聲音會透露出一些信息，所以只有自己從頭到尾直接接觸這潛盾機與地層的特性，才有辦法去解答它的問題。

主持人林三賢教授：

謝謝！因為時間的關係，我們的討論必須告一個段落，感謝各位主講人與各位先進踴躍的參與及討論。



照片一 研討會主講者報告中狀況



照片二 研討會綜合討論中狀況



照片三 研討會綜合討論中與談者照片



照片四 工務所聽取監造單位簡報

工地參訪(機場捷運)

下午的工地參訪因為受限於場地的空間關係，所以才限制參訪的人數約四十位。整個參訪行程安排於研討會綜合討論結束及午餐後，參訪者搭車至桃園機場捷運工地工務所，聽取高鐵局捷運工程處與監造單位 CECI 吳慶輝工程師之工程簡報(照片四)後即分為兩組，第一組由吳慶輝工程師帶領，於地面機電設備介紹(照片五)後，由 A11-P2 明挖覆蓋段進入，先到剛剛貫通#2 隧道且已出洞但還留在現場的潛盾機(照片六)，於近距離下可以清楚的看到當初構想的掘削頭型式於鑽掘施工完成時磨損的情況(照片七與照片八)。

第二組則由高鐵局捷運工程處盧協成主任帶領，先到潛盾機鑽掘施工中的#3 隧道(照片九)，直接參觀潛盾機操作機組之配置與操控室儀器裝置(照片十)。



照片五 地面機電設備介紹



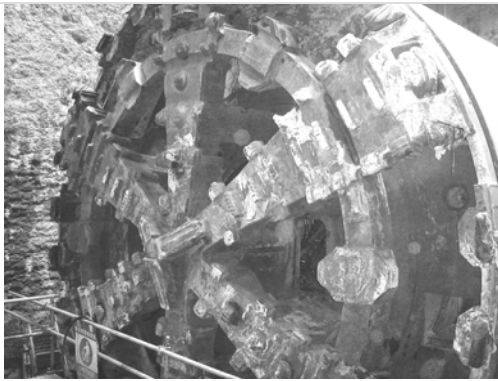
照片六 貫通#2 隧道還留在現場的潛盾機



照片七 參訪者近距離檢視潛盾機掘削面盤



照片九 #3 隧道鑽掘施工中的潛盾機



照片八 鑽掘施工完成時掘削面盤磨損狀況



照片十 潛盾機操控室儀器裝置介紹

接著兩組參訪者交換參觀最後再會合，於工務所進行心得討論與經驗交流(照片十一)，過程討論熱烈，議題包括：卵礫石層之潛盾機鑽掘工率與耗損率、抽降水範圍與方式、隧道環片之差異與其承受潛盾機推力強度、地改工法及地改區潛盾機鑽掘難易狀況等等，結束後所有參訪者及主辦人員一起合照(照片十二)，於傍晚六時餘方滿載豐碩成果返抵台北。



照片十一 工務所交流討論照片



照片十二 參訪者與主辦人員工務所前合照