

全斷面隧道鑽掘機(TBM) 於破碎與湧水帶施工之探討

(下)

作者/張文城

國道新建工程局第三區工程處頭城工務所 主任

〈接上期〉

2. TBM於破碎帶之施工

根據導坑已開挖之地質情況研判，第七次受困位置(里程 39k+816)即為金盈斷層之位置，第一至第七次受困區段，主要之地質為破碎之硬頁岩盤，此區段大致上每隔幾十公尺即出現一寬約數十公分之剪裂帶，且地下水量甚小，圖五為導坑TBM開挖後開挖面及導坑洞口量測水量之歷時曲線圖，由圖中可知，在第七次受困前量得之水量，大致上皆低於 30l/sec。

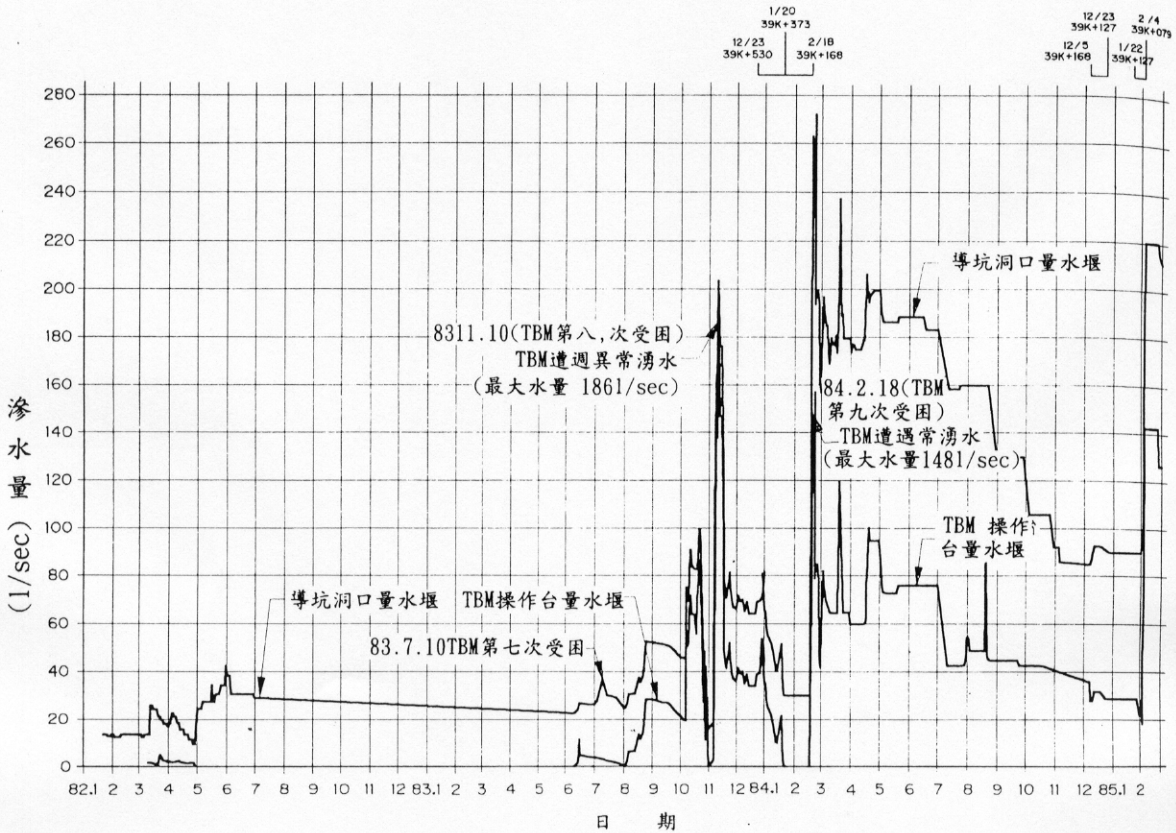
TBM於破碎帶內之施工，主要問題為超挖及進渣速率過大[1]。超挖時所衍生之施工問題包括開挖方向不易控制，機頭容易產生沉陷，環片組裝不

易平順，每輪進渣量超過設計數量等，這些問題皆將增加施工困難，延長每輪進開挖時間，而增加施工之風險。另進渣速率過大，將使渣料輸送帶超過負荷而無法運轉，進而導致機頭亦無法轉動而必須停機處理。此外過多之渣料亦可能堆積於伸縮盾(如圖三之B)及尾盾(如圖三之C)內，使伸縮盾無法順利回收及環片無法組裝，而必須停機清理渣料，由於此等清理時間常長達數小時，故無形中增加了施工之風險性。

當TBM因前方岩盤大量坍塌掩埋機頭，使機頭無法轉動而受困時，必須開挖迂迴坑至機頭前方，挖除坍塌之

岩盤使TBM恢復運轉。圖六為導坑TBM第一次受困時(里程 40k + 138)，開挖

迂迴坑之平面配置圖，其施工步驟大致如下：

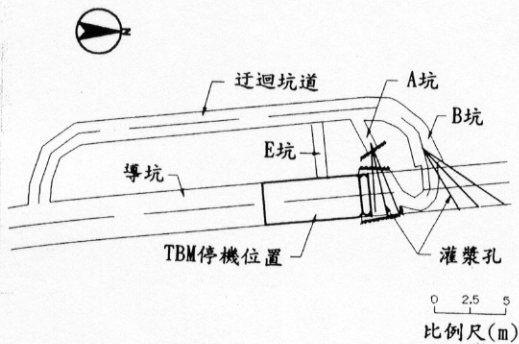


圖五 坪林隧道導坑洞口及開挖面水量歷時曲線圖

- (1) 由尾盾後方開挖迂迴坑至機頭附近 A、B 之位置。
- (2) 由 A、B 坑向機頭前方破碎岩盤之區段進行灌漿，包括低強度的化學灌漿及水泥與水玻璃混合之 LW 灌漿，唯灌漿前，必須先於 TBM 機身四周施灌低強度之化學灌漿予以保護，以免後續之灌漿漿液流入機身內，將 TBM 卡死。
- (3) 由 B 坑繼續開挖至機頭前方，將機頭前方坍塌之岩盤挖除，使 TBM 削刀頭恢復轉動。
- (4) 由於前述(3)之工作完成後，TBM 停機時間已超過兩個月，此時 TBM 盾身已因周圍岩盤之擠壓，而無法向前移動，因此再開挖 E 坑至 TBM 盾身，將盾身四周部份之岩盤挖除，使 TBM 之盾身能恢復正常向前移動，至此

方完成全部之脫困工作。

第一次受困處理的時間，總計約三個月，其後第二至七次大致上每次的處理時間約為一至二個月，此等脫困處理對於整體工程的施工進度，產生了相當大的影響。



圖六 坪林隧道導坑里程40K+138
受困處理平面配置圖

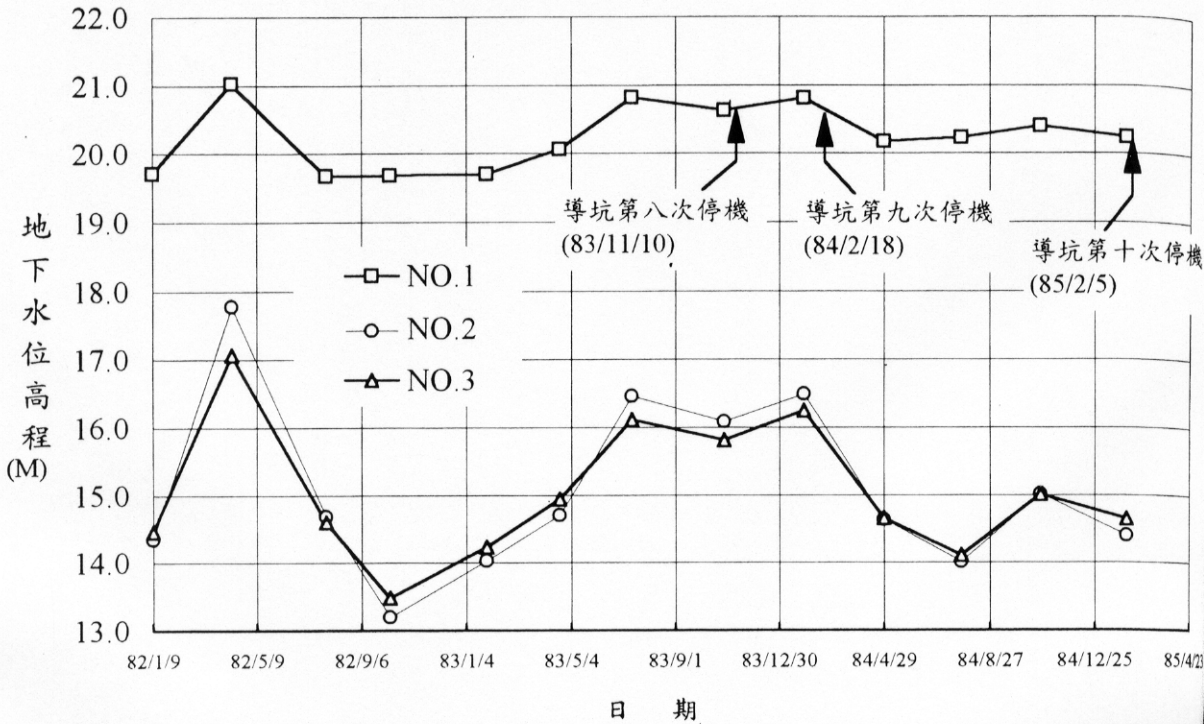
3. TBM於湧水帶之施工

當導坑開挖通過金盈斷層後，岩性主要已由硬頁岩轉為四稜砂岩，四稜砂岩與硬頁岩除在岩性上有極大之差異外，其岩盤之破碎程度亦有所不同。大致上在四稜砂岩區段，其剪裂帶寬度較大，常可達數公尺以上，但剪裂帶出現的頻率較硬頁岩區段為少，非剪裂帶之岩盤，則岩體較為完整。此外地下水的含量亦有明顯之差異，由圖五知，當導坑通過金盈斷層（即第七次受困之位置）進入四稜砂岩層後，地下水入滲量即有明顯之增加，尤其是在TBM因湧水而停機的位置，其滲水量更有激增之現象，最高

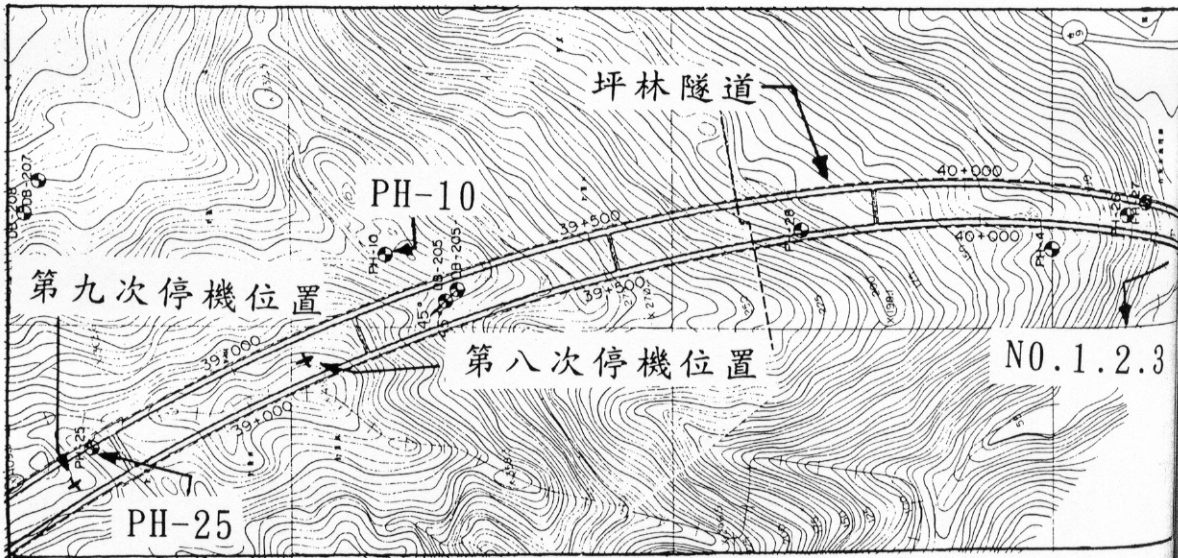
曾達186l/sec。由於影響地下水分佈範圍及水量之因素甚多，諸如地形、斷層、節理、雨量等，一般之調查，僅止於淺層或某些定點，故對於隧道通過之深層地下水狀況甚難評估。圖七為TBM於第八、九次停機處理期間，分別於TBM停機位置附近之地表（該處隧道之高程約為50m）及導坑洞口之地面（地表高程約為25m）鑽設之鑽孔之地下水位變化情形，比較圖五及圖七可推知，雖然導坑於第八及第九次停機位置，有大量之地下水日以繼夜的流出，唯隧道附近地表的地下水位似未有明顯的變化，此現象亦顯示地下水來源的評估是相當困難的。

因本工程係由低處（頭城端）往高處（坪林端）開挖，地下水應可藉由重力自然流出洞外，故理論上TBM若遭遇異常大量地下水湧入時，仍可繼續進行開挖之工作。唯實際上，當水量過大時，水由機頭經前盾、伸縮盾、尾盾再往後利用仰拱之排水廊道排出前，因受TBM本身設備之阻隔，或隨湧水帶入之泥砂之阻礙，伸縮盾之水位常較尾盾為高，甚至淹沒位於伸縮盾區內之驅動馬達，而導致TBM必須停機，俟水位下降後方可繼續開挖，此外若湧水夾帶大量泥砂進入尾盾區亦將使環片無法進行組裝工作。目前為克服此一問題，主坑TBM已於盾身內裝設抽水馬達，以加速TBM機身內積水之排除，這也是當TBM開挖遭遇大量地下

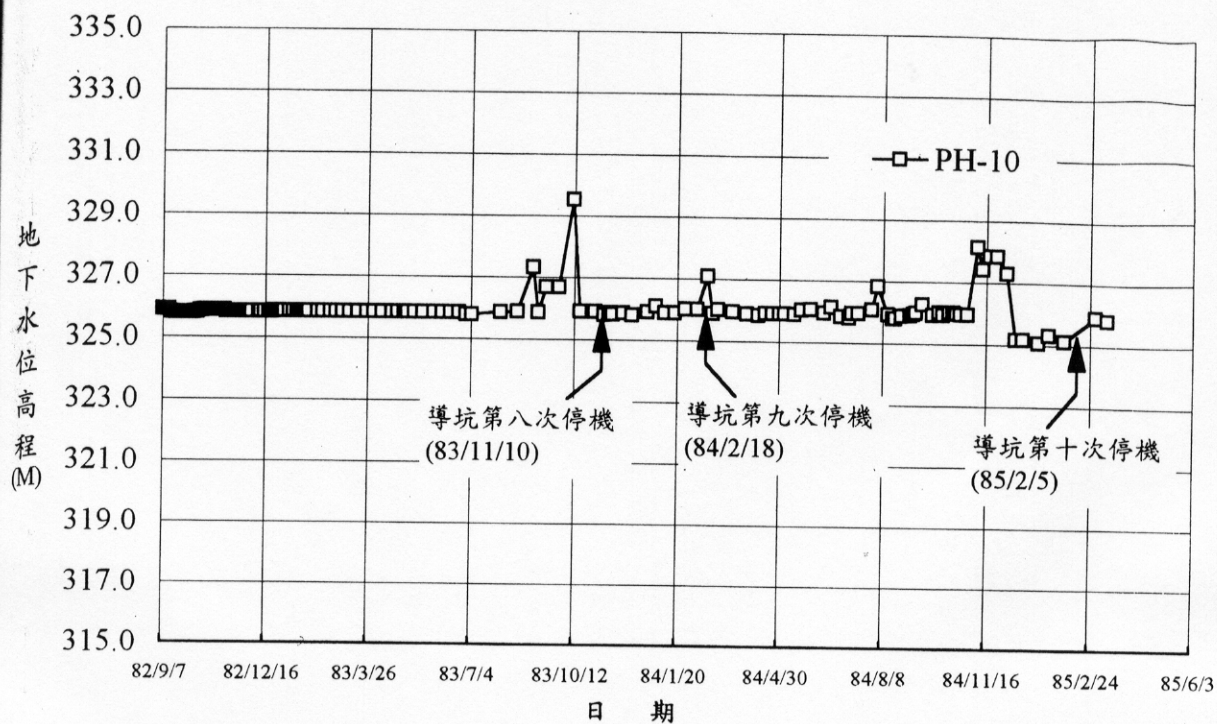
水湧入時，所能採取唯一之因應方法。



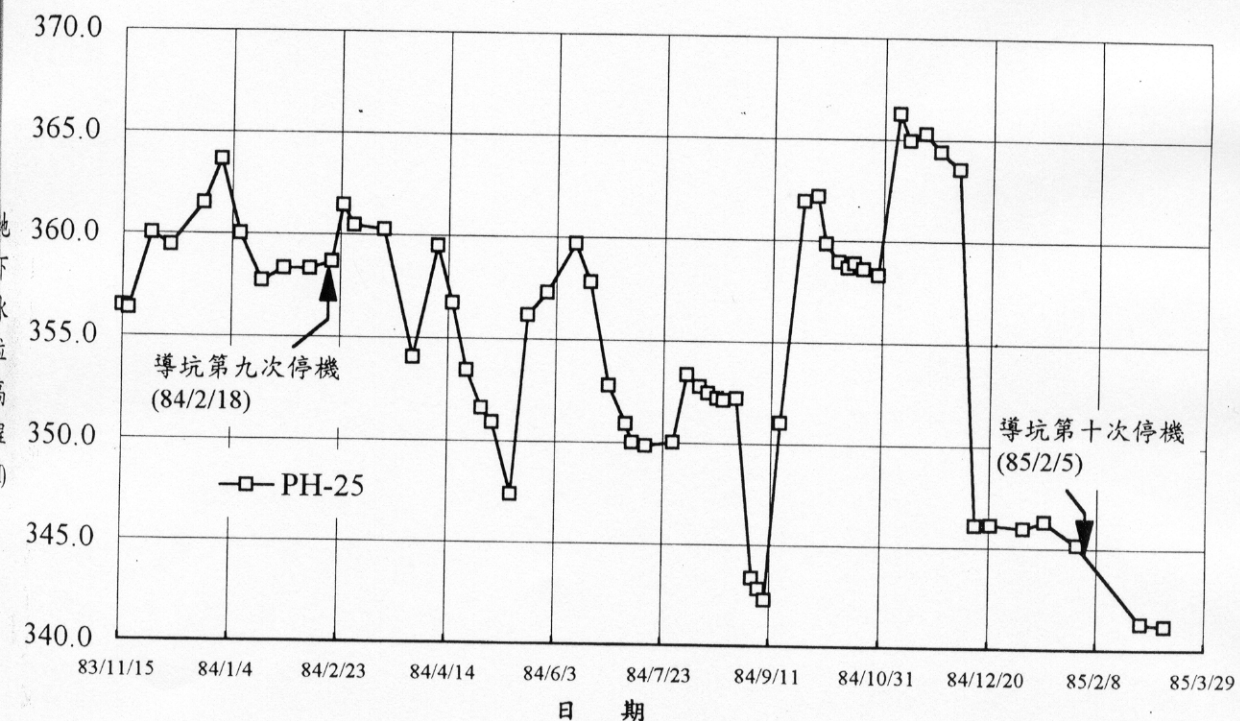
圖七 坪林隧道附近鑽孔地下水水位變化歷時曲線圖 (a)坪林隧道洞口地下水水位歷時曲線圖



圖七 坪林隧道附近鑽孔地下水水位變化歷時曲線圖 (b)平面等高線圖

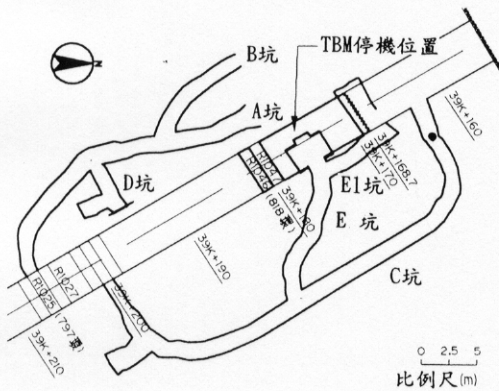


圖七 坪林隧道附近鑽孔地下水水位變化歷時曲線圖 (c)PH-10鑽孔地下水水位歷時曲圖



圖七 坪林隧道附近鑽孔地下水水位變化歷時曲線圖 (d)PH-25鑽孔地下水水位歷時曲圖

由圖五知當TBM於第八及第九次因湧水而停機時，其地下水有激增之現象，此乃因四稜砂岩層本身為一相當好之透水及儲水層，並夾有不透水之硬頁岩或剪裂泥，故當TBM開挖穿破此不透水層時，即造成大量地下水之湧入，同時亦可能伴隨大量泥砂之坍塌甚至湧入機身內。圖八為TBM於里程39k+168因大量異常湧水而停機處理之相關工作坑平面圖，此次處理時間長達九個半月，主要是因尾盾區已組立好之818環環片(詳如圖八)，遭坍塌之渣料擠壓而破壞，致使渣料由此開口迅速大量湧入TBM內，而將約20m長之機身內部全部掩埋，造成相當大之災害所致。



圖八 坪隧道導坑里程39K+168
停機處理平面配置圖

TBM於四稜砂岩湧水帶內受困與前述硬頁岩破碎帶內受困後之處理原則，最大之差異為大量地下水需加以

排除或抑止，以利相關處理工作之進行。此外因第九次停機時TBM機身內部遭掩埋，故機身內部的清理工作亦為重點，蓋除將內部之渣料清除外，對於遭掩埋之重要設備(如推進唧筒、主驅動馬達、環片組裝機等)之檢修，亦相當耗時，單單機身內部的渣料清除與設備檢修復原，即耗費了約八個月的時間。以下針對本次處理過程做一簡要說明(詳如圖八)：

(I) TBM內部復原工作主要分成三個階段：

- (1) 遭擠壓而破壞之818環環片之補強(噴凝土加鋼支保)與處理，此部份工作約花三個月時間。
- (2) TBM機身內渣料清理，此部份約花二個月時間。
- (3) TBM設備之檢修與復原，此部份約花三個月時間。

(II) 在TBM內部進行檢修復原工作之同時，TBM外部亦進行以下工作：

- (1) 首先開挖A及B坑預定至機頭前方進行處理並兼做排水廊道，唯其後因地下水量過大，地質情況亦甚為惡劣，故開挖約一個月後即停止，而留作排水廊道。
- (2) 由右側開挖C坑至機頭前方處理，唯因開挖至P點後，因地質情況甚差，開挖面前方雖經施以化學及超微粒水泥等灌漿，唯成效有限，故於開挖約五個月後於

P點暫停開挖前進。

(3)在開挖C坑的同時，於原來A坑之位置另闢D坑，以便對TBM機身附近之岩盤進行灌漿之工作，前後曾鑽17個灌漿孔至TBM機身附近的位置，唯因鑽孔之水壓及出水量過大，無法有效進行灌漿工作，故灌漿工作亦告放棄，而僅留作排水孔。

(4)C坑於P點暫停施工後，改由E坑開挖，並經E1坑而至機頭前方，花費時間約一個半月。

(5)機頭前方以頂導坑方式開挖，以挖除該區域不良之岩盤(約33m)，並與C坑貫通，此部份約花二個月時間。

(6)由於停機時間過久，TBM機身已遭周圍岩盤夾住，故將機身周圍之岩盤再部份挖除，以恢復TBM之推進，而重新恢復開挖之工作，總計由停機開始處理至恢復開挖，耗時約九個半月。

TBM於湧水帶內受困後，其處理通常甚為困難與耗時，主要原因為含水層被打破後，灌漿工作之困難度將增加很多，且迂迴坑開挖過程中，亦容易產生崩落之現象所致。

四、結論與建議

(1)目前導坑TBM施工遭遇相當多的困難，不過因導坑之目的即為在主坑

開挖前能提供地質資料及必要時做為主坑處理不良地質之通道，故導坑施工困難愈高，表示當初決定設置導坑，並較主坑提早兩年開工的決定是值得肯定的。

(2)TBM施工，對於前方地質之了解甚為重要，蓋經由前方地質情況之充份掌握，方可對於後續TBM之施工做適當之安排與必要之處理。而目前坪林隧道施工時，對於TBM前方地質之了解為利用前進探查(Probe Drilling)之方式，根據目前之經驗，前進探查有其困難與限制[1,2]，因此其他輔助方法，如震測或較長距離之水平鑽孔(例超過300m)之採用，應為可考慮之措施。

(3)當TBM前方發現不良地質時，利用灌漿以固結岩盤為可採用之有效方法之一，唯如同前進探查、灌漿工作亦有其困難與限制[1,2]，因此對於TBM於類似坪林隧道之湧水與破碎帶內施工時，灌漿工作所需之人員、組織、設備、材料甚至灌漿孔的配置，皆應有特殊之考量，尤其是TBM設備本身，可能亦需配合特殊之設計，以期使灌漿工作能有更大之成效。

(4)為減少TBM受困之機率，可採行之因應措施大致上可分為減少削刀頭轉動之阻力、控制進渣量及增加削刀頭轉動之扭力與輸送帶之出渣能量

等幾項，目前導坑及主坑TBM設備本身皆已針對前述之因應措施，做了必要之調整與修改，唯主坑TBM目前尚未開始開挖，其成效有待進一步之驗證。

- (5)大量地下水對於TBM的施工將造成某種程度的影響，甚至需停機處理，而地下水水量、水源及分佈範圍也是非常不易評估與掌握的，因此如何有效掌握地下水的相關資料，並講求有效之因應措施，實仍有待各

方面相關人員之集思廣益，以謀求突破。

- (6)TBM開挖為一高效率、自動化及機械化之施工方式，其開挖進度不是非常快(導坑目前最高之單日進度為 $17m/日$)就是零(受困時)，因此進度的規劃與控制，便具有相當高之不確定性，如何把TBM施工工期做更合理的規劃與控制，實為評估TBM可行性之首要工作。■

五、參考文獻

- 1.張文城，北宜高速公路坪林隧道導坑工程TBM施工灌漿及地質調查工作概述，岩盤工程研討會，中華民國八十二年十二月，第59~67頁。
- 2.張文城，全斷面隧道鑽掘機(TBM)之規劃、設計與施工，岩石隧道施工技術研討會，中華民國八十五年四月，第145~156頁。