

北宜高速公路坪林隧道之TBM施工技術

張文城

國道新建工程局第三區工程處頭城工務所主任

一、前言

爲因應台北都會區之急遽發展，及促進東部區域之繁榮，且有鑑於台北與宜蘭間，因中央山脈之阻隔，交通至爲不便，故政府乃決定著手興建北宜高速公路，以縮短台北與宜蘭間之行車時間，加速東部區域之開發與繁榮。北宜高速公路以台北市南港區爲起點，經石碇、坪林兩鄉而終止於宜蘭縣頭城鎮（如圖一），目前並計劃延伸至蘇澳港。自南港至頭城全線長約31公里，爲雙向四車道之公路。由於穿越崎嶇之山區，因此隧道總長度達20公里，其中最長之坪林隧道長12.9公里，爲目前東南亞最長之公路隧道。

坪林隧道沿線通過之地層由西而東大致爲枋脚層、媽岡層、大桶山層、粗窟層、乾溝層及四稜砂岩層（如圖二）。本隧道西半段路段，岩性主要爲砂岩、頁岩、硬頁岩及砂頁岩互層，岩性較佳，東半段路段則主要爲硬頁岩及四稜砂岩，岩質較爲破碎，惟新鮮之四稜砂岩，其單壓強度可達 $2,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。

本隧道最大之覆蓋層厚度超過七百公尺，預計將通過石槽、石牌、大金面、巴陵、上新與金盈等六條主要斷層（其中最大斷層帶預計寬達50公尺以上）及鶯子瀨與倒吊子二處向斜構造。

本計劃自民國七十六年由交通部運輸研究所辦理可行性研究開始，經路線評選、基本設計及細部設計，目前已進入施工階段，全部工程預定於民國八十八年底完工通車。

二、TBM簡介

為求縮短工期，減少環境污染，降低勞工需求壓力及提昇國內之隧道施工技術，乃於國內首次引進全斷面隧道鑽掘機 (TBM) 。坪林隧道主坑將採用兩部 TBM，由頭城端之兩個洞口同時向坪林施工。此外，為確保坪林隧道主坑施工時之安全，在二主坑間設置一地質調查導坑，該導坑約略與主坑平行，長度與主坑相同，直徑為 4.8 公尺，亦採用 TBM 施工，以期事先了解地質狀況，並預為處理不良之地質路段。

坪林隧道導坑之 TBM 係採用雙盾身之型式 (如圖三)，開挖後於盾尾進行支撐工作，支撐系統視地質情況分為預鑄混凝土環片及 NATM 支撐兩種。

其他關於坪林隧道導坑 TBM 之重要諸元如下：

- (一)製造廠商：美國 Robbins 公司
- (二)切削頭直徑 / 主機全長：4.8m / 10.833m
- (三)前盾 / 撐腳盾 / 盾尾外徑：4758mm / 4739mm / 4720mm
- (四)切削頭驅動馬達個數 / 容量：6個 / 160KW (電動水冷式)
- (五)切削頭轉速，低速 / 高速：4.0~4.9rpm / 8~9.8rpm
- (六)切削頭推進唧筒個數 / 推力：12個 / 630KN (油壓斜撐式)
- (七)削刀個數 / 尺寸：34個 / 432mm (17in)
- (八)主軸承尺寸 / 重量：3048mm / 3452Kg
- (九)主撐腳個數 / 推力：2個 / 15728KN
- (十)穩定撐腳個數 / 推力：2個 / 2114KN
- (十一)輔助推進唧筒個數 / 推力：8個 / 2114KN (油壓平行式)
- (十二)預鑄混凝土環片寬度 / 厚度 / 外徑：1.2m / 180mm / 4610mm
- (十三)最小開挖迴轉半徑：350m
- (十四)總重量 / 裝置容量：360t / 1122KW
- (十五)支援系統總長度 / 總重量 / 裝置容量：177m / 360t / 500kw

三、施工現況

坪林隧道導坑自民國八十年七月正式開工後，迄八十一年七月止共計以傳統鑽炸法開挖 522 公尺，其後 TBM 運抵工地經組裝，測試後於八十一年十二月三十一日推進至開挖面，正式開始 TBM 之開挖工作。迄八十二年九月底止，共計以 TBM 開挖約 85 公尺。實際施

工進度較預定進度為落後。

截至九月底止，總計有三次 TBM 因開挖面前方塌方而導致 TBM 之切削頭 (Cutter head) 被卡住，無法轉動，而須改由 TBM 後方開挖迂迴隧道 (ByPass Tunnel)，至機頭前方進行處理，以協助 TBM 脫困。第一次花費於脫困處理之時間約三個月，第二次約二個月，第三次約一個月，即過去九個月 TBM 之開挖過程中，約有六個月係用於開挖迂迴隧道，以協助 TBM 之脫困。其他約一個月用於灌漿作業，以改良機頭前方之不良地質，而真正使用於開挖之時間則約為二個月。

圖四為 TBM 自民國八十二年五月一日至五月二十四日開挖時之實際進度，大致上每日之平均進度約為一環至二環（一環等於開挖 1.2m）而最快之開挖記錄，則為五月二十二日及二十三日之每日五環（約 6 公尺）。

圖五為 TBM 於民國八十二年四月二十四日至五月二十六日開挖期間內（即 TBM 第一次脫困後至第二次受困前）各分項工作作業時間統計，由圖中顯示，花費於環片組裝及因 TBM 機械故障待修的時間約各佔三分之一，而實際因切削頭開挖掘進所佔之時間則不到六分之一，因此可推知，實際上切削頭開挖掘進的速率應可符合原先設計之需求，唯由於其他機械或操作上的原因，故導致實際整體開挖進度較預定為慢。

目前坪林隧道導坑以 TBM 開挖之 85 公尺路段之地質情況與前面以鑽炸開挖之 522 公尺之地質情況類似，主要為硬頁岩，且每隔幾十公尺即出現一寬約數十公分之剪裂帶，並經常伴隨大量之地下水，在三次 TBM 因機頭前方塌方導致切削頭被卡住而無法轉動之案例中，皆係因切削頭挖破剪裂帶，地下水迅速湧入，而使地質情況急速惡化所致，TBM 雖已配備有鑽孔及灌漿之設備，然因設備之性能，TBM 本身作業空間狹窄，作業人員之經驗不足及地質等因素，故無法有效而迅速從 TBM 盾身內向 TBM 前方進行鑽孔及灌漿作業，因此 TBM 受困後，乃決定以開挖迂迴隧道之方式，進行脫困作業。

圖六為 TBM 第一次於里程 40K+138.5 受困時，開挖之迂迴坑道及地質平面圖，本次脫困處理之步驟大致如下：

- (一) 於 TBM 機頭後方約 35 公尺處開挖迂迴坑道 (斷面約 2.5m × 2.5m) 至 P 點位置，同時於 Q 點擴挖擺設鑽機，並鉆兩孔長約 40m 之

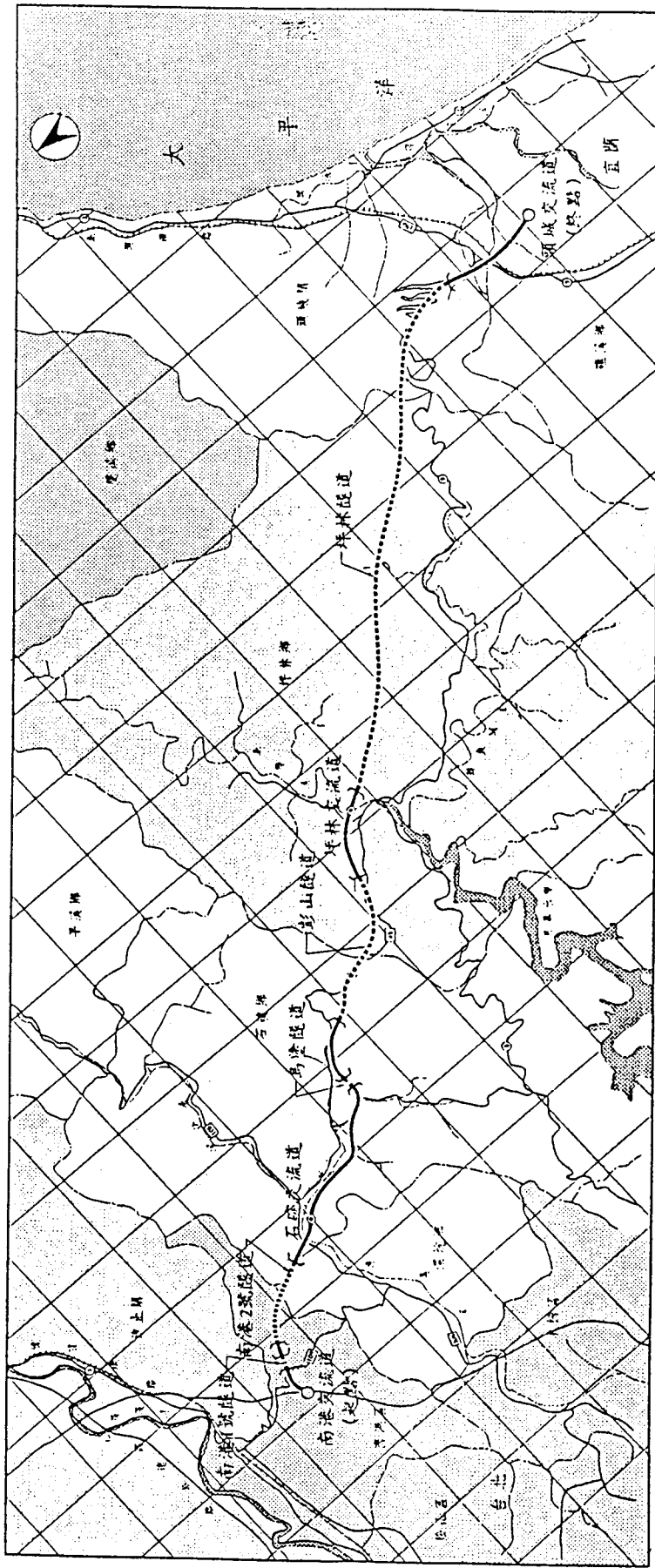
排水孔。

- (二)於P點開挖B坑(斷面約 $1.5m \times 1.5m$)並由B坑進行TBM機頭前方崩塌區之固結灌漿工作。同時於P點向TBM前方鑽設乙孔長約40m之取心鑽孔，以事先了解前方之地質情況。
- (三)繼續開挖迂迴坑道，並縮小斷面，開挖A坑(斷面約 $1.5m \times 1.5m$)至機頭前方。
- (四)經由A坑進行TBM機頭前方之擴挖工作，以協助切削頭脫困。
- (五)由於切削頭脫困後，TBM之前盾盾身亦已遭周圍岩盤夾住，因此再開挖E坑，以挖除前盾盾身周圍之岩盤，使前盾身能脫困。
- (六)拆除A坑內所有鋼支保，將A坑回填，並重新TBM之開挖工作。由於TBM第一次受困係於TBM開始開挖約20公尺後就發生，此為當初始料所未及，因此從採用迂迴坑道以進行脫困作業決策之形成，施工單位之動員，以至於TBM脫困處理等各方面考量，皆有經驗不足之處，故前後總共花費約三個月時間，才完成全部之脫困作業。

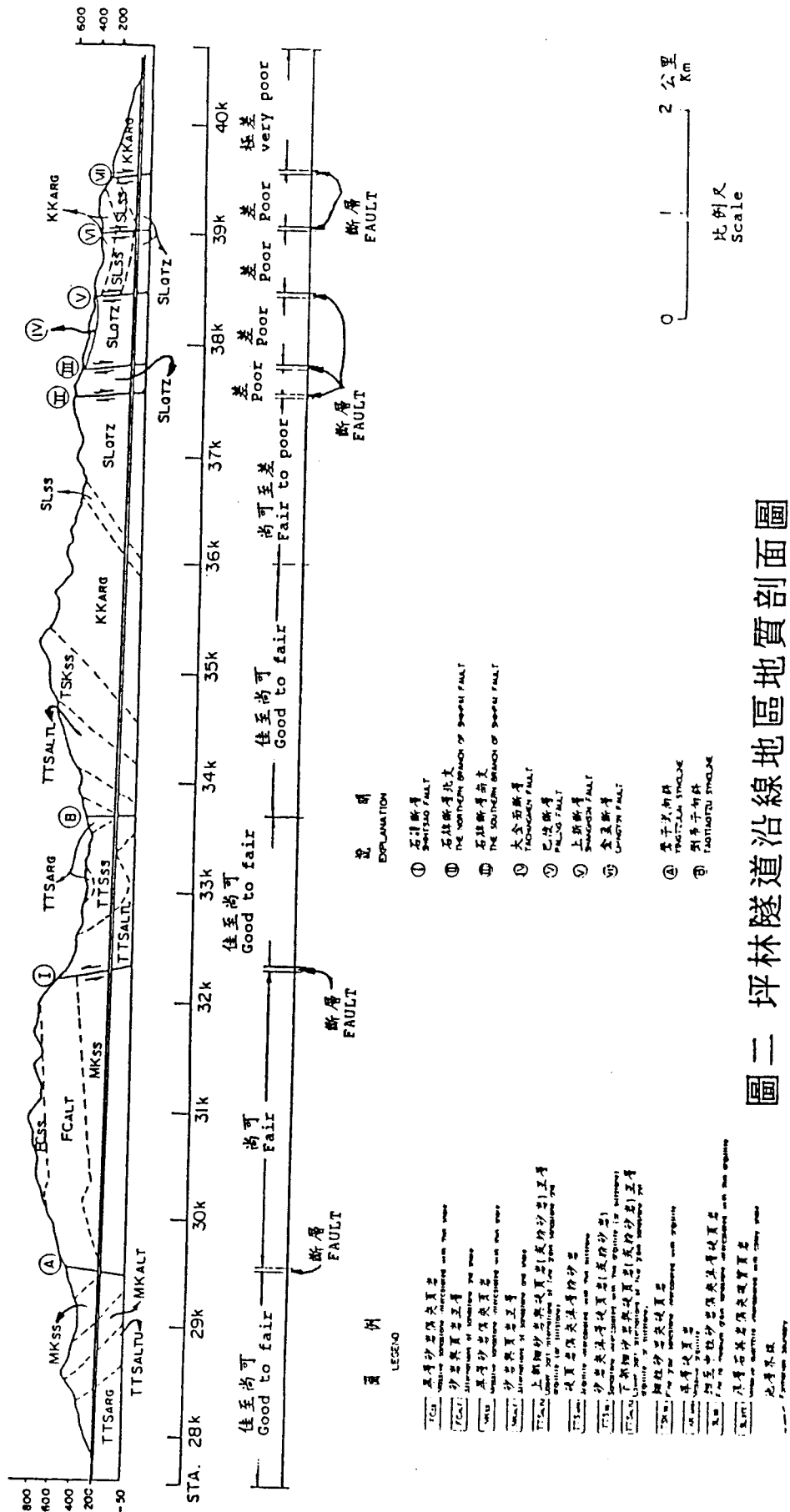
四、結論

北宜高速公路坪林隧道導坑工程之TBM施工，係國內隧道第一次採用TBM之工法。目前施工進度較當初設計階段預定者落後許多，未來是否可如期趕上進度，仍有待進一步之驗證。

根據國外經驗得知，每一台TBM在使用初期，均需經歷一段適應期，以因應實際遭遇之地質狀況及作業環境，對現有之機具設備作一調整改善，而作業人員亦須藉此一時間學習並熟悉TBM之特性，以尋求一最有效率之作業方式，此適應期往往約需數個月之久。坪林隧道導坑工程所使用之TBM在國內乃首度引進，故需一較長適應及學習時間應可理解。唯進度之落後除前述之原因外，地質情況、TBM設備之功能及施工者之管理與經驗，亦為影響施工進度之重要關鍵。尤其是TBM設備之功能及施工者之管理與經驗為後天所可彌補者，更有待群策群力，以突破困境。

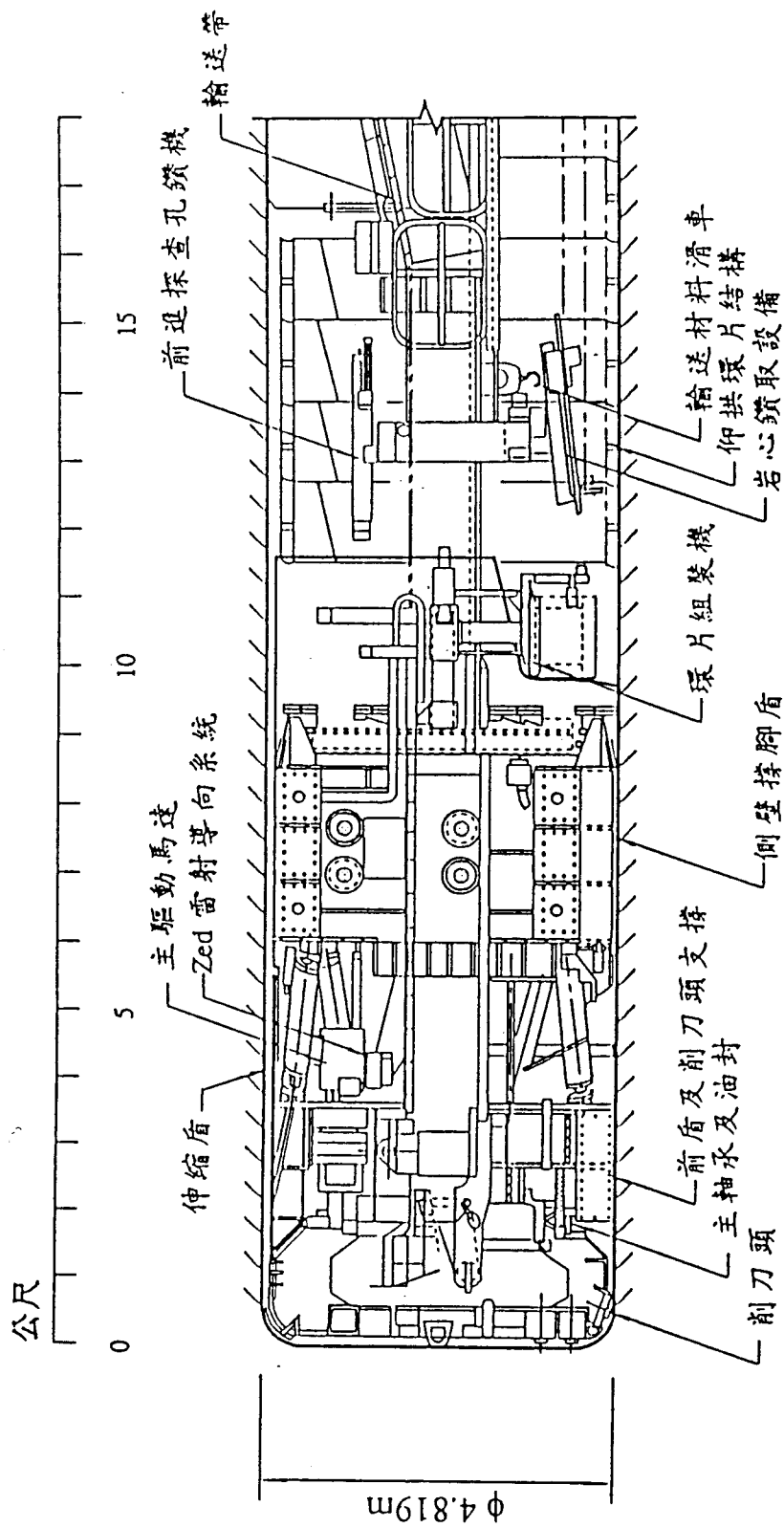


圖一 北宜高速公路路線圖

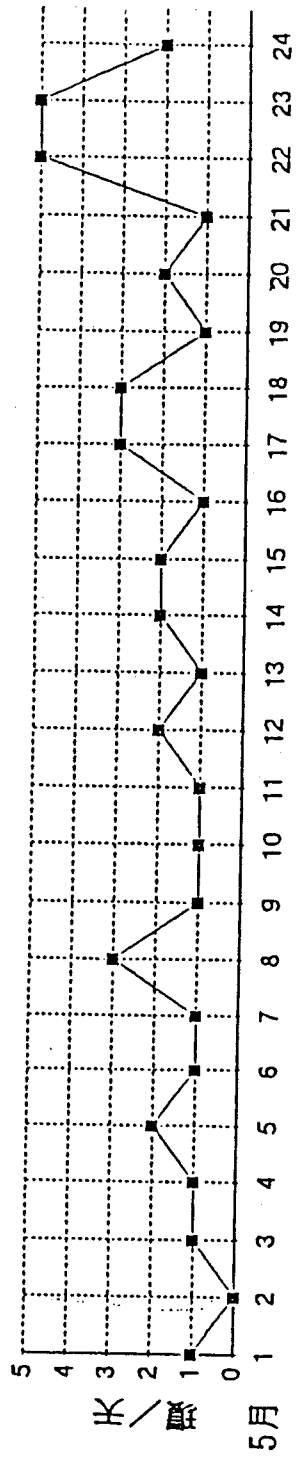


比例尺
Scale
0 1 2 公里
Km

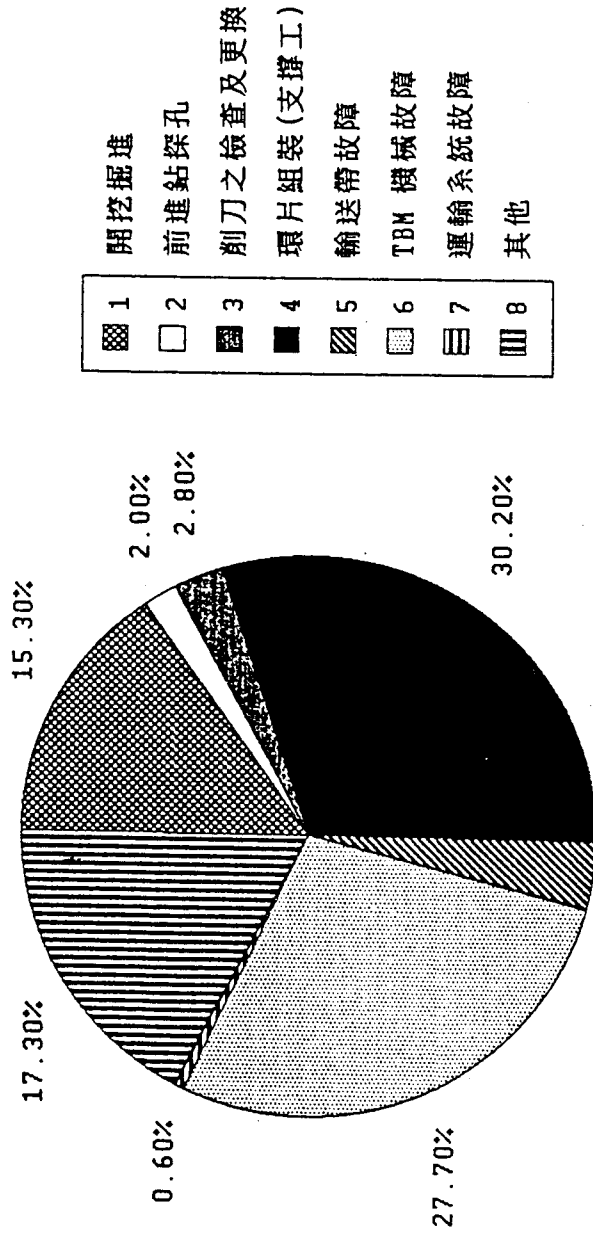
圖二 坪林隧道沿線地區地質剖面圖



圖三 坪林隧道導坑TBM剖面圖



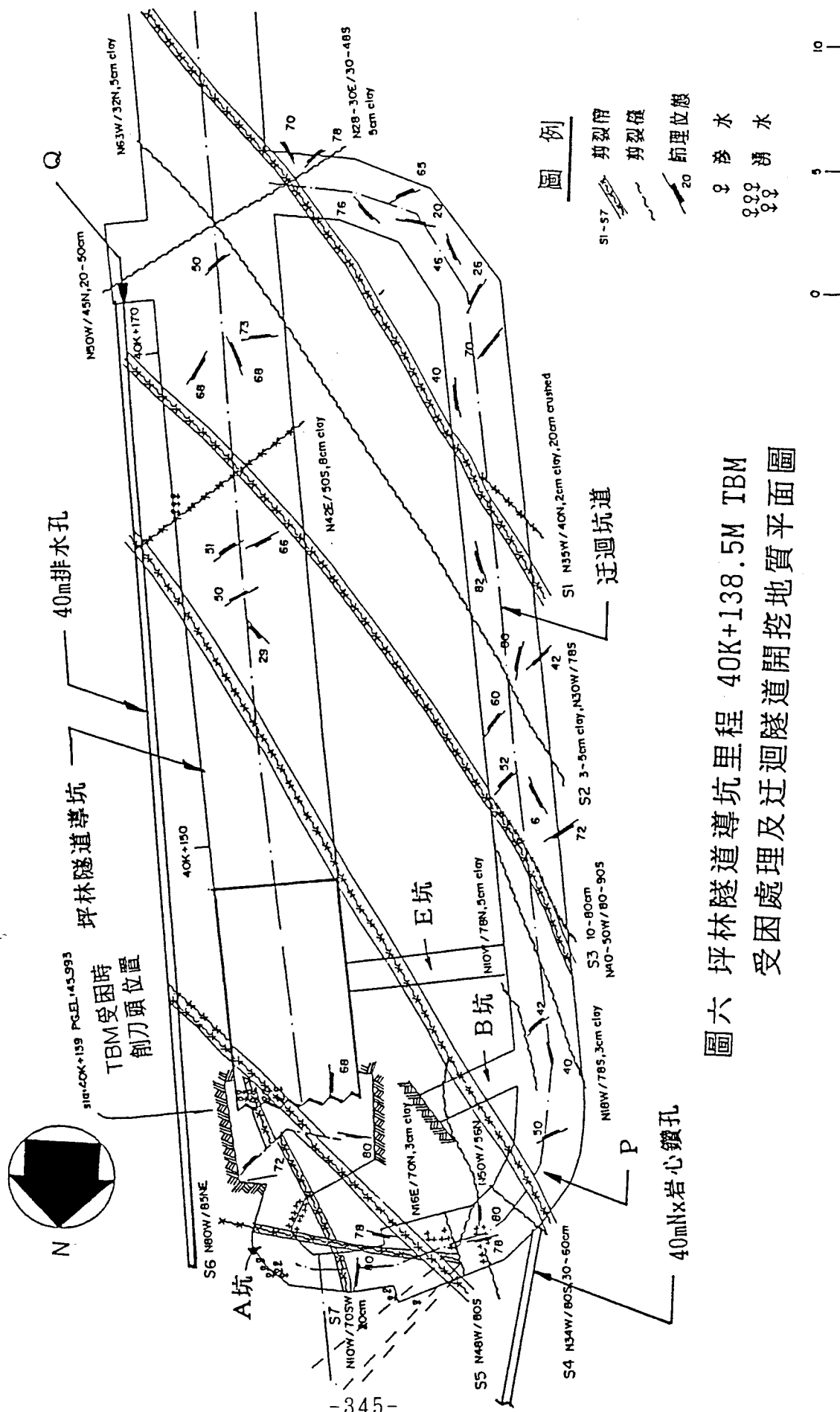
圖四 坪林隧道導坑TBM掘進速率統計 (一環=1.2M)



1 開挖掘進
 2 前進鉗探孔
 3 削刀之檢查及更換
 4 環片組裝(支撐工)
 5 輸送帶故障
 6 TBM 機械故障
 7 運輸系統故障
 8 其他

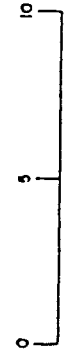
圖五 TBM掘進分項時間統計

4月24日~5月26日



圖例

- SI-S7 剪裂帶
- 剪裂帶
- 剪裂帶
- 節理位線
- ♀ 滲水
- ♂♂♂ 湧水



比例尺 (公尺)

圖六 坪林隧道導坑里程 40K+138.5M TBM
受困處理及迂迴坑道開挖地質平面圖