

北宜高速公路坪林隧道 導坑 T B M 施工現況

張 文 城

交通部台灣區國道新建工程局第三區工程處頭城工務所主任

The TBM Construction of Pinlin Pilot Tunnel of Taipei-Ilan Expressway

Wen-Cherng Chang

Chief, Tou-Chen Resident Engineer Office

Taiwan Area National Expressway Engineering Bureau

The Third District Project Office

摘要

北宜高速公路自台北市南港區至宜蘭縣頭城鎮，全線長約31公里，為雙向四車道之公路，其中最長之坪林隧道長12.9公里。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。此外在二主坑間設置一地質調查導坑，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。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。迄八十二年十二月底止，共計以TBM開挖約118公尺，根據開挖記錄，實際上切削頭開挖掘進的速率應可符合原先設計之需求，但由於其他機械、操作、管理或地質上的原因，故導致實際整體開挖進度較預定為慢。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。

一、前言

北宜高速公路以台北市南港區為起點，經石碇、坪林兩鄉而終止於宜蘭縣頭城鎮（如圖一）。自南港至頭城全線長約31公里，為雙向四車道之公路。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，為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為枋腳層、媽岡層、大桶山層、粗窠層、乾溝層及四稜砂岩層（如圖二）。本隧道西半段路段，岩性主要為砂岩、頁岩、硬頁岩及砂頁岩互層，岩性較佳，東半段路段則主要為硬頁岩及四稜砂岩，岩質較為破碎，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、石碑、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。

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，預為處理不良之地質路段，並可做為主坑完工通車後之輔助坑道。

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：

1. 製造廠商：美國 Robbins公司
2. 切削頭直徑／主機全長：4.8m／10.833m
3. 前盾／撐腳盾／盾尾外徑：4758mm／4739mm／4720mm
4. 切削頭驅動馬達個數／容量：6個／160KW（電動水冷式）

5. 切削頭轉速，低速／高速：4.0~4.9rpm／8~9.8rpm
6. 切削頭轉矩 (Torque) 高速／低速：1000KN-m／2000KN-m
7. 切削頭推進唧筒個數／推力：12個／630KN (油壓斜撐式)
8. 削刀個數／尺寸：34個／432mm (17in)
9. 主軸承尺寸／重量：3048mm／3452Kg
10. 主撐腳個數／推力：2個／15728KN
11. 穩定撐腳個數／推力：2個／2114KN
12. 輔助推進唧筒個數／推力：8個／2114KN (油壓平行式)
13. 預鑄混凝土環片寬度／厚度／外徑：1.2m／180mm／4610mm
14. 總重量／裝置容量：360t／1122KW
15. 支援系統總長度／總重量／裝置容量：177m／360t／500kw

二、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。迄八十二年十二月底止，共計以TBM開挖約118公尺，實際施工進度較預定進度為落後。

截至十二月底止，總計有四次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 (By Pass 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，第四次約二個月，即過去十二個月TBM之開挖過程中，約有八個多月的時間係用於開挖迂迴隧道，以協助TBM之脫困。其他約一個半月用於灌漿作業，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 (第一次脫困後，第二次受困前) 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於民國八十二年十二月至八十三年十二月期間內扣除 TBM 之受困處理時間後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四分之一及五分之一，而實際因切削頭開挖掘進所佔之時間則約為十分之一，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、操作、管理或地質上的原因，故導致實際整體開挖進度較預定為慢。

圖六為 TBM過去一年之推進過程中，實際開挖後中心線之高程相對於設計中心線高程之偏離情形。由圖中顯示，推進過程中，開挖高程的控制一直不是很理想，最大偏離曾達30公分以上，尤其是在里程 40K+070至40K +035區段內，更是有頗大之上下起伏情形發生。前述之現象，除使 TBM機具之故障發生頻仍外，更嚴重導致環片組裝之困難（因環片之外徑與 TBM 尾盾之內徑僅有5公分之間隙），甚至發生尾盾之輔助推進唧筒，無法推頂環片，致使環片無法正常組裝之情形。

目前坪林隧道導坑以TBM開挖之118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，在四次 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。

圖七為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：

- 1.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。
- 2.於 P 點開挖 B 坑（斷面約1.5m×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。
- 3.繼續開挖迂迴坑道，並縮小斷面，開挖 A 坑（斷面約1.5m×1.5m）至機頭前方。
- 4.經由 A 坑進行TBM機頭前方之擴挖工作，以協助切削頭脫困。

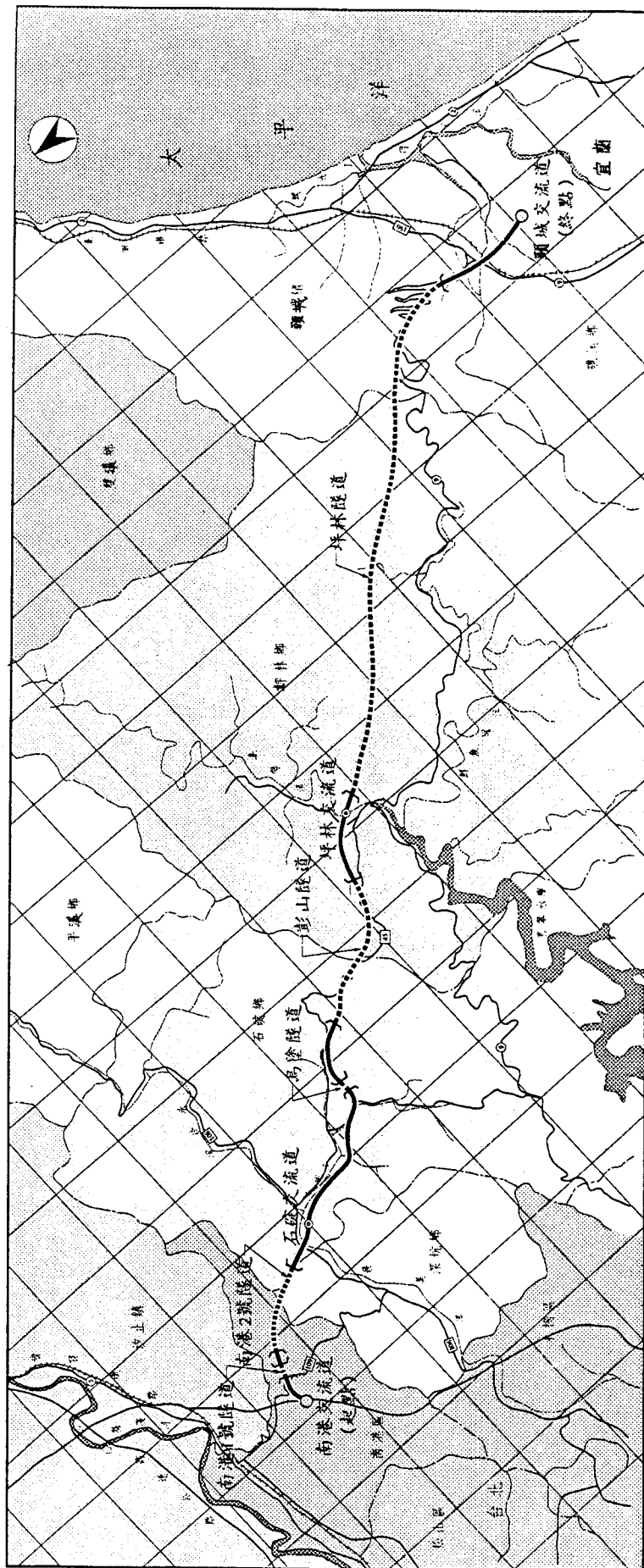
5. 由於切削頭脫困後，TBM之前盾盾身亦已遭周圍岩盤夾住，因此再開挖E坑，以挖除前盾盾身周圍之岩盤，使前盾身能脫困。
6. 拆除A坑內所有鋼支保，將A坑回填，並重新TBM之開挖工作。

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之決策之形成，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。

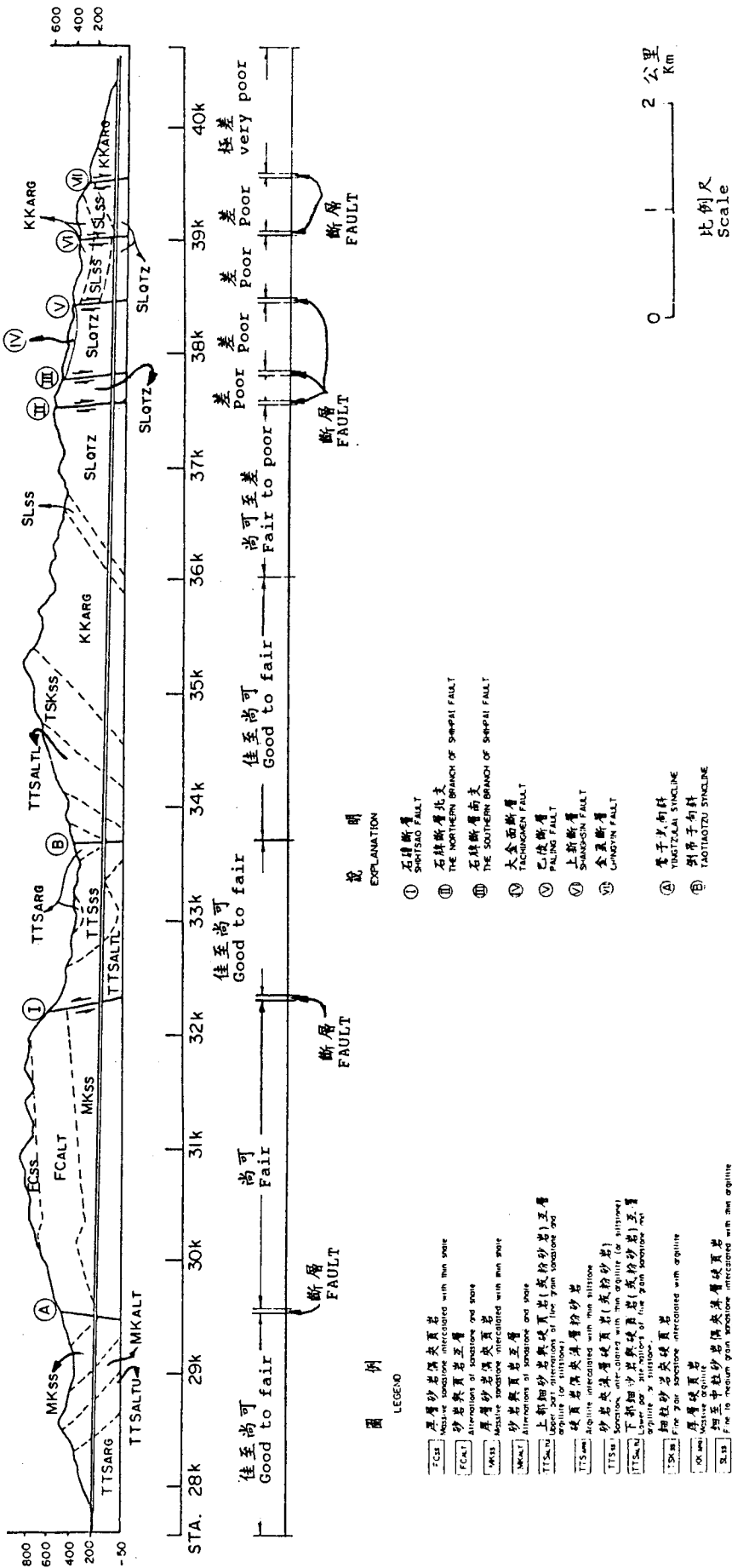
三、結論

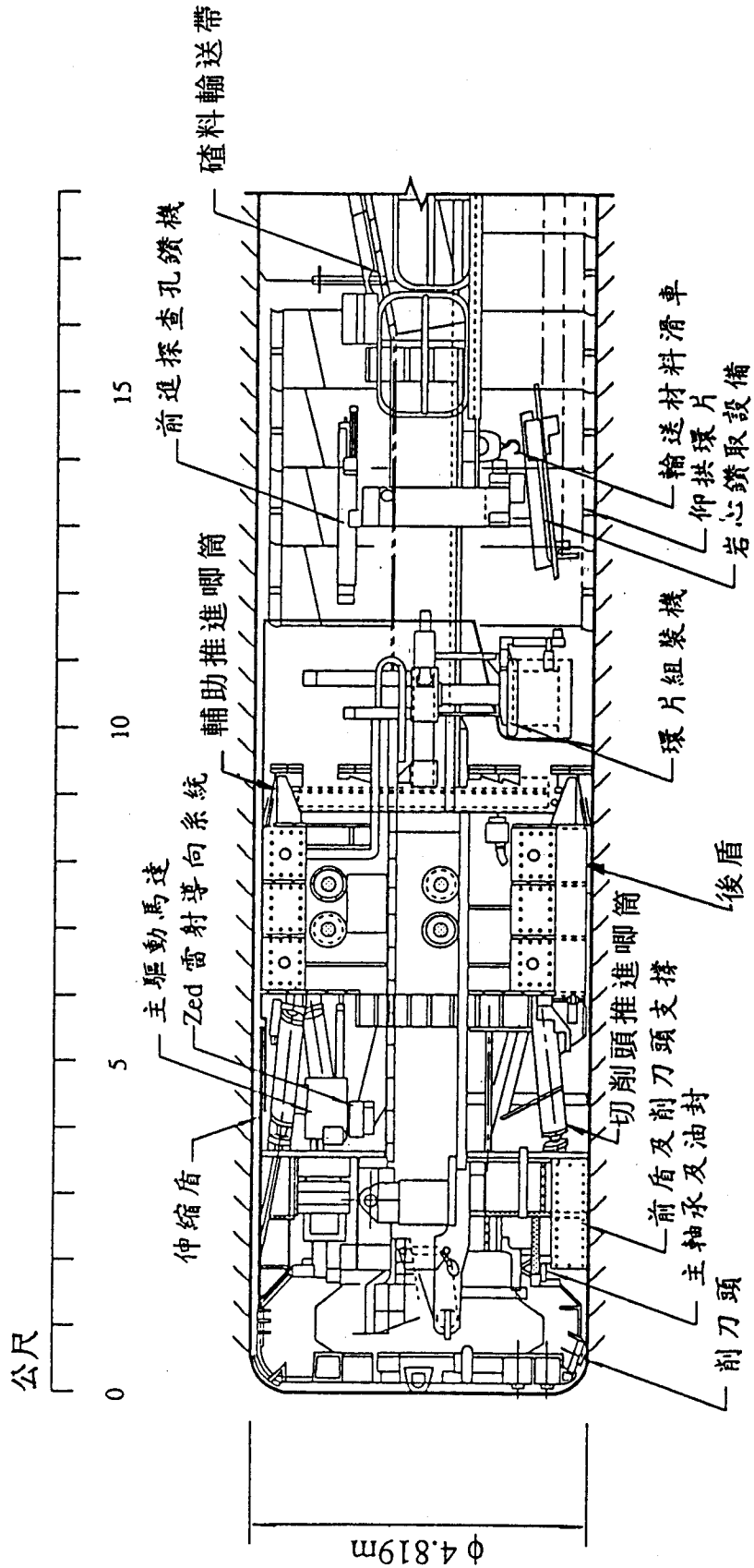
北宜高速公路坪林隧道導坑工程之TBM施工，係國內隧道第一次採用TBM之工法。目前施工進度較當初設計階段預定者落後許多，未來是否可如期趕上進度，仍有待進一步之驗證。

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。

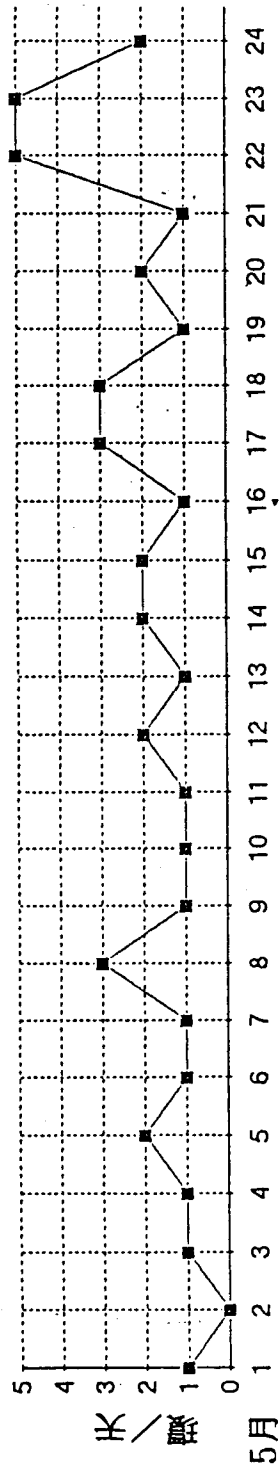


圖一 北宜高速公路路線圖



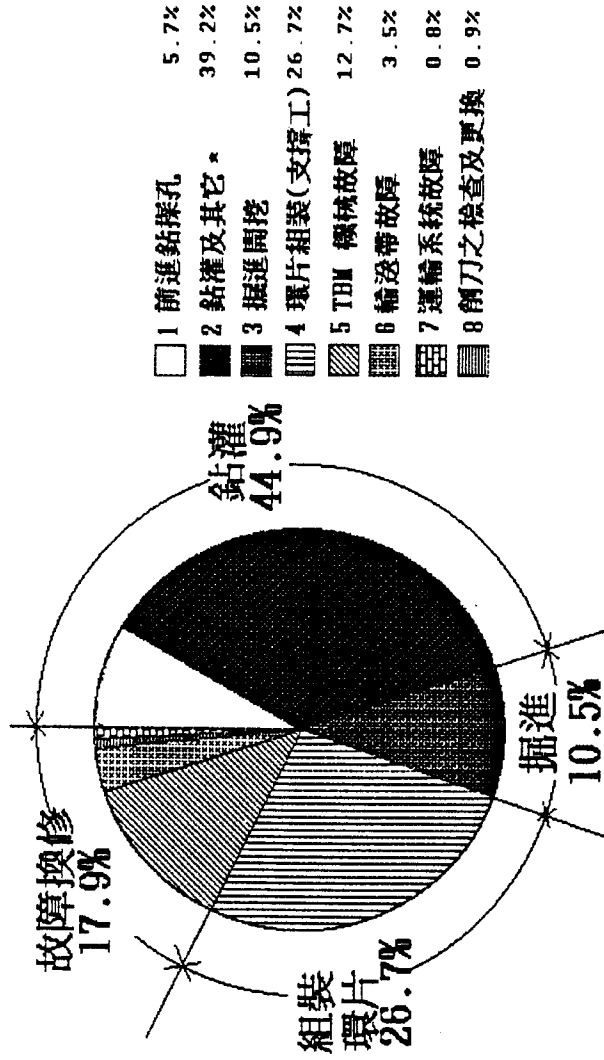


圖三 坪林隧道導坑 TBM 剖面圖



圖四 坪林隧道導坑TBM掘進速率統計 (一環=1.2M)

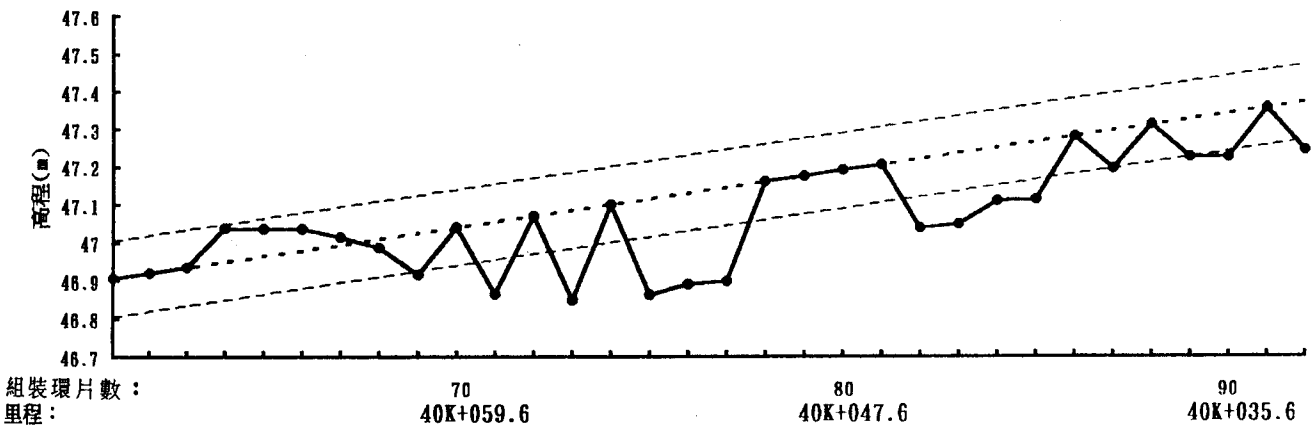
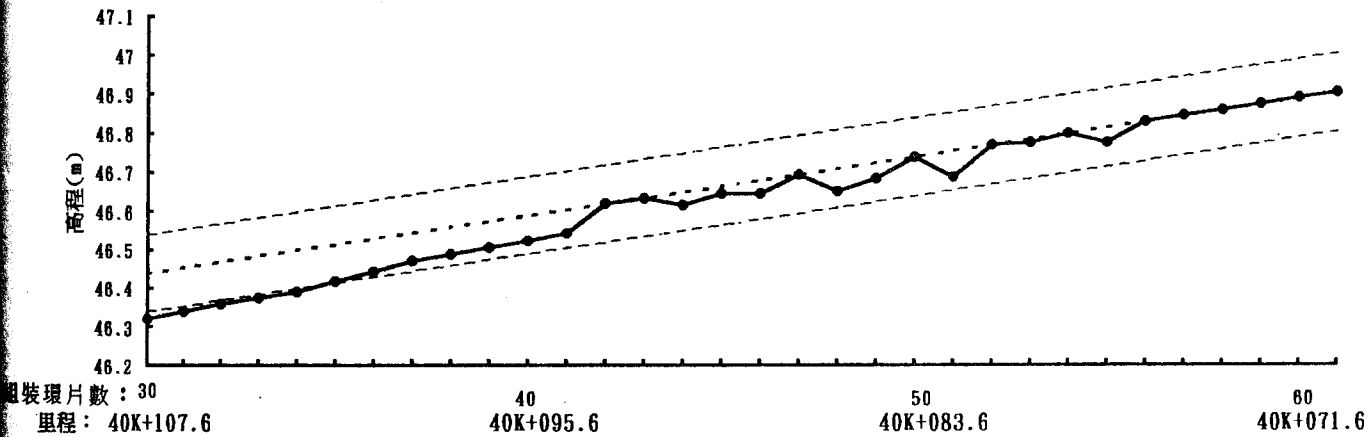
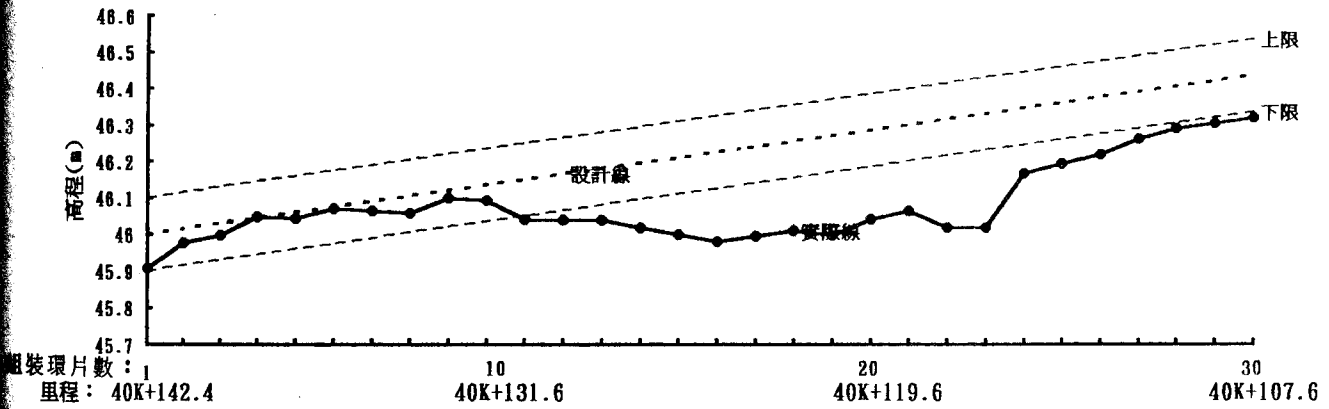
81年12月22日 - 82年12月21日



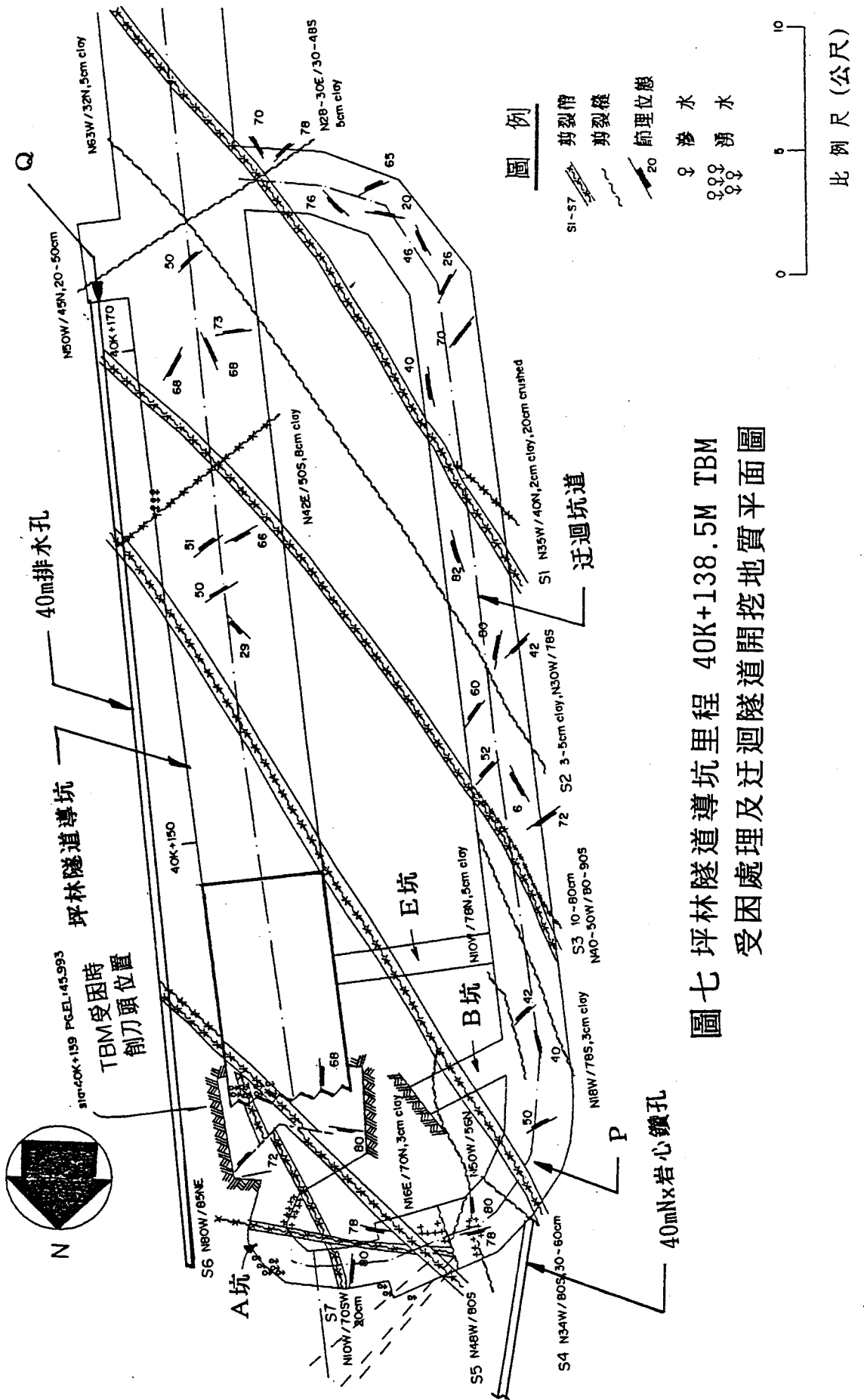
註：1. 本圖為TBM 運轉狀態 106 天中，各項作業時間所占之百分比，不含停機狀態(259天)。

2. * 鉗灌及其他”含地質改良之鉗孔灌漿及其併行作業如鋪軌、測量、清碴等。

圖五 TBM掘進分項時間統計



圖六 TBM推進過程實際開挖中心線高程與設計中心線高程之比較



圖七 坪林隧道導坑里程 40K+138.5M TBM
受困處理及迂迴隧道開挖地質平面圖