

台北都會區捷運系統之隧道工程
**TUNNELING FOR
TAIPEI RAPID TRANSIT SYSTEMS**

朱旭，莫若楫，黃南輝

H. Ju, Z. C. Moh and R. N. Hwang

原著載於第一屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會論文集
1999年8月10~13日，第779~783頁

*Reprinted from Proceedings of The First Cross-Strait
Symposium on Tunneling and Underground Construction
Taiyuan, Shansi, China
August 10~13, 1999, pp.779~783*

台北都會區捷運系統之隧道工程

朱旭

台北市政府捷運工程局

莫若楫、黃南輝

亞新工程顧問股份有限公司

摘要

台北盆地地質軟弱，在地表下約 40 至 50 公尺處有一層水量極為充沛的礫石層，而且在捷運進行的數個路段中有流木及沼氣之存在，潛盾施工時屢遭困難。本文將先對台北捷運系統及台北盆地的地質作一個簡單介紹，然後針對潛盾隧道施工所遭遇的困難以及所採用的因應措施略作說明。

關鍵詞：台北捷運、山岳隧道、新奧隧道、潛盾隧道、地下水

一、前言

如圖一所示，台北都會區捷運系統的初期路網共有六條路線，其中的第一條路線，木柵線，於 1996 年 3 月 28 日正式通車，這不但是台北市都市發展史上的一個重要里程碑，台灣交通史也從此邁入一個新紀元。接著淡水線於 1997 年 12 月 25 日通車至台北市的交通樞紐：台北車站，淡水線並於 1998 年 12 月 24 日經由新店線北段與中和線相連，成為南北向交通大動脈。在 1998 年 12 月中旬，木柵與淡水兩條線的總載客量已達一億人次，可說是相當成功。在 1999 年年底，東西向的南港線及板橋線在市中心段通車後，H 型路網於是形成，捷運路網即將初具雛形，預期運量將會大幅成長，台北市的交通料將可獲得顯著地改善。

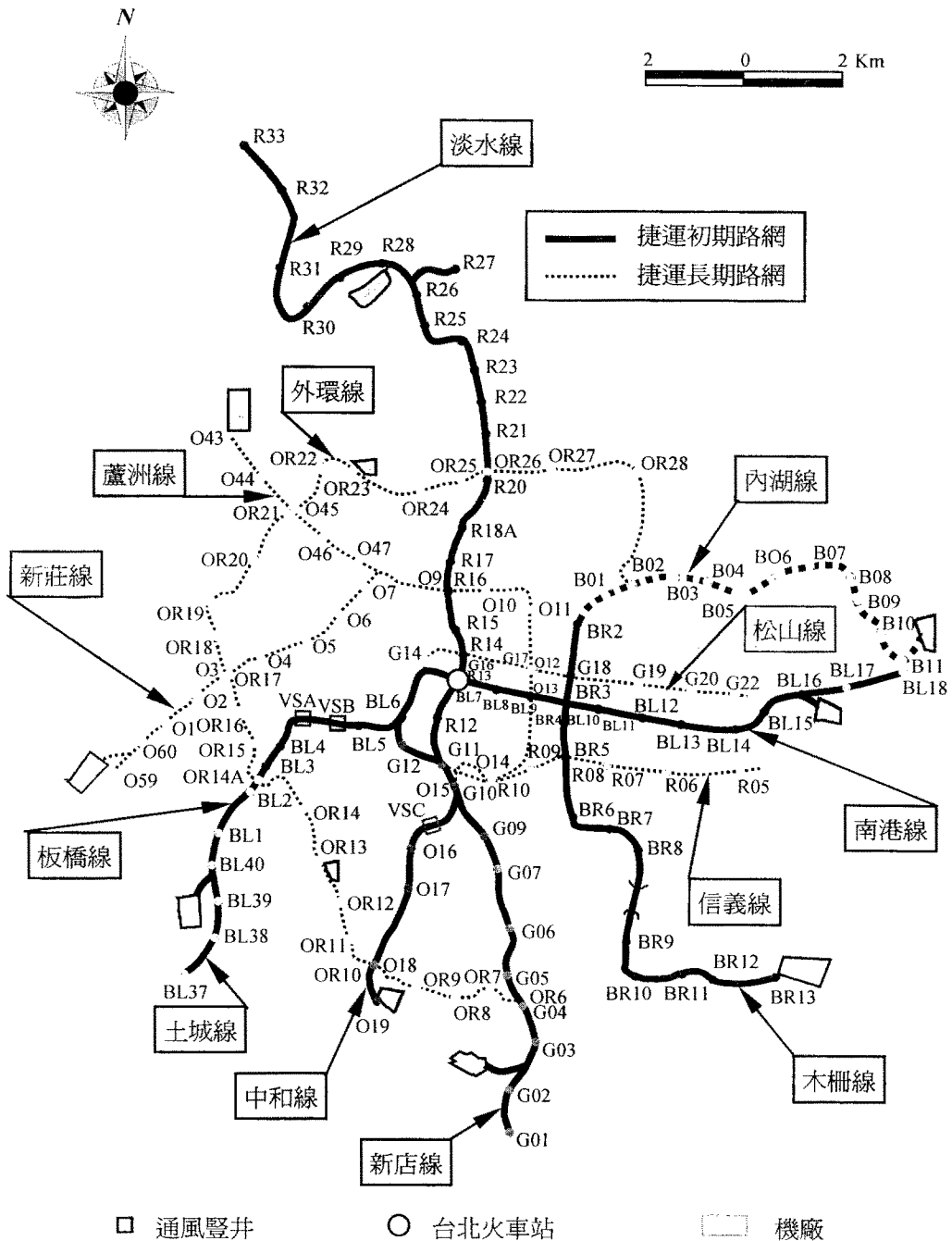
二、台北捷運系統

台北市都會區捷運系統的初期路網一共有六條路線，全長 86.8 公里，設有 79 站，服務台北市 12 個行政區及台北縣的 16 個市鎮，服務範圍以台北車站為中心，半徑約 15 公里，面積達 837 平方公里。在六條路線中，依其完工時程排序分別是木柵、淡水、中和、新店、南港、及板橋線。木柵線是中運量系統，除有一處穿越山區採新奧工法施工外，其餘全線採高架方式構築，其它 5 條路線都是高運量系統。在全長 86.8 公里的路線中，地面段有 9.5 公里，高架段有 21 公里，地下段有 45.7 公里，另有內湖延伸線 12.3 公里原定採高架方式興建，是否改為地下仍在研議之中。

在目前已營運的木柵線及淡水線及新中線（中和線及新店線北端）的平時每日運量達 29 萬人次，單日最高紀錄是今年 3 月 7 日元宵節燈會所創的 40 萬人次，充份發揮了疏散人潮的功能。預期在 1999 年底新店線全線可以通車、板橋線可以通到龍山寺站（BL5）、南港線可以通到市政府站（BL13）。在 2000 年南港線全線通車、板橋線通到江子翠站（BL4）。而在 2001 年板

橋線全線通車後，初期路網的第一期工程即全部完成，第二期工程的土城延伸線將全面展開施工。

後續路網全長 83.5 公里，設有 67 站。後續路網中新莊線及蘆洲線之細部設計工作已經開始，預計在 2000 年可以開始施工。其他路線，包括信義線、松山及環狀線尚待核定。另外有一條聯到中正國際機場的捷運線正在由一家民間的特許公司規畫及設計中。

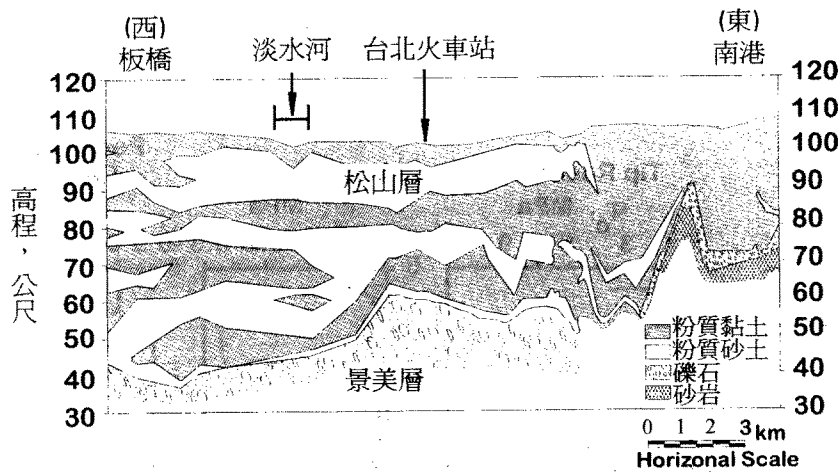


圖一 台北捷運路網

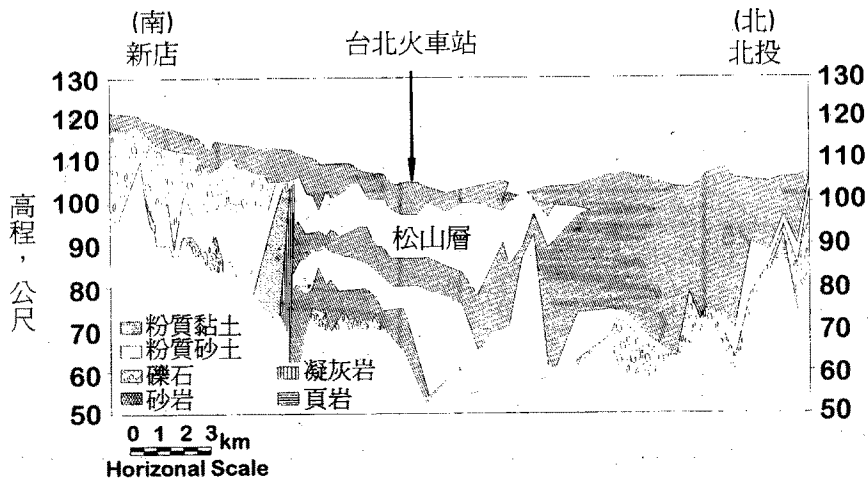
三、台北盆地地質

台北盆地是約在 6 萬年前因地層下陷而形成，在 1 萬年前因海面上升而成湖泊，在五千年前，海水退去而露出陸地，部份低窪地區變成沼澤。其後經過河川的沖積，在地表形成一層厚約 50 公尺的所謂松山層，其下是一層含水量豐富而且透水性極高的景美礫石層。這層礫石層在 70 年代之前一直供應大台北區兩百萬人口的用水，其水量之充沛及透水性之高由此可見。

圖二表示台北盆地東西向土層剖面，圖三表示其南北向土層剖面。在以台北車站為代表的市中心區松山層的六個次層層次分明，往東及往北，砂層逐漸尖滅，而以粘土層為主。往西，則砂土及粘土層夾雜，層次漸為凌亂。往南則因蟾蜍山之分隔而有截然不同之土層分布。松山層是由淡水河三大支流，即大漢溪、新店溪及基隆河沖積而成，所以其土層分布受淡水河系之變遷及襲奪影響極大。這三條支流原本是各自流向海，因為台北盆地的下陷，而 180 度轉向，匯流至台北，再由位於盆地西北方的缺口 - 關渡出海。



圖二 台北盆地東西向地層剖析

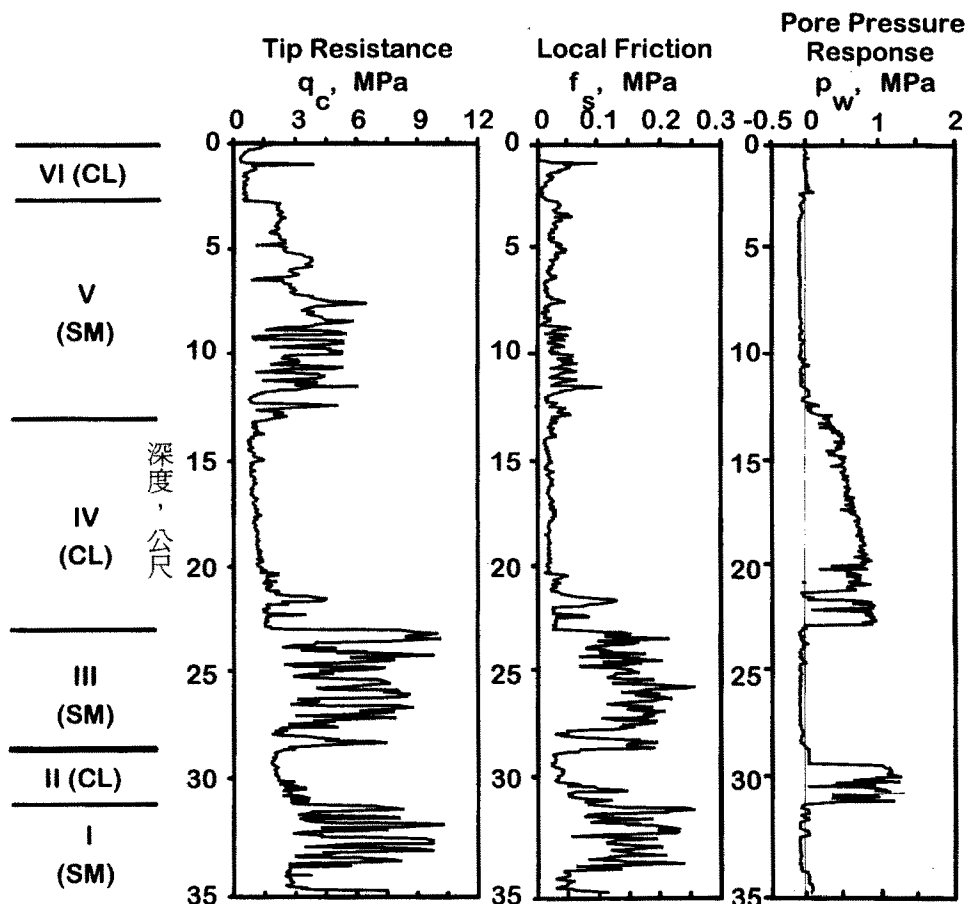


圖三 台北盆地南北向地層剖析

松山層是年輕的沖積層，圖四是在市中心中所施作的荷蘭錐（Dutch Cone）試驗結果，圖五表示粘土層的抗剪強度，由這兩圖可以看出松山層地質相當鬆軟。除此之外，其中還有沼氣的存在，以及大量流木，在鑽掘隧道時帶來不少困擾。沼氣在全盆地各處都曾發現，而以中和地區出現最為頻繁，在地質鑽探時曾有噴漿達 10 公尺之高，持續達三天之久之紀錄。沼氣的深度約在地下 20 公尺至 35 公尺之處。至於流木，有大到直徑達一公尺，長達五公尺者，而其分布大多在盆地的西半部。

四、台北捷運隧道工程

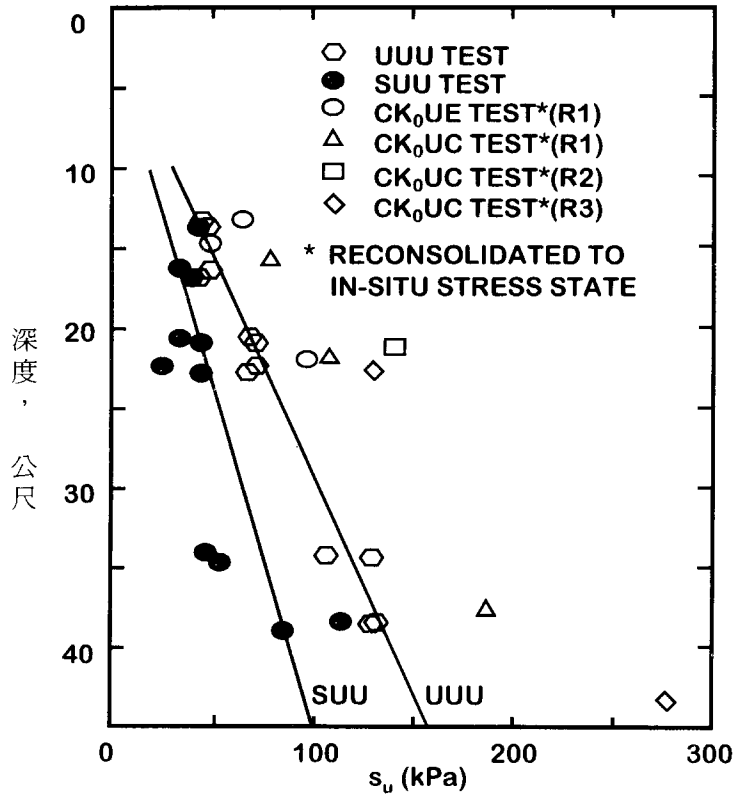
在初期路網中，除去尚未定案、全長 12.3 公里的內湖線以及招標待施工中全長 5.5 公里的板橋土城延伸線外，明挖覆蓋隧道全長 7,344 公尺（雙線），潛盾隧道全長 36,859 公尺（單線）。另在木柵線有各長 225 公尺及 487 公尺的兩段雙軌隧道是以山岳隧道方式施工，在新店線有一段 222 公尺的平行雙隧道是以新奧工法輔以壓氣工法完成，在南港線有一段相當短的隧道是以新奧工法輔以地盤改良完成。明挖隧道之施工與一般地下室之構築無異，不在本文討論範圍之內。以下就山岳隧道、新奧隧道、及潛盾隧道在台北捷運的應用略作介紹。



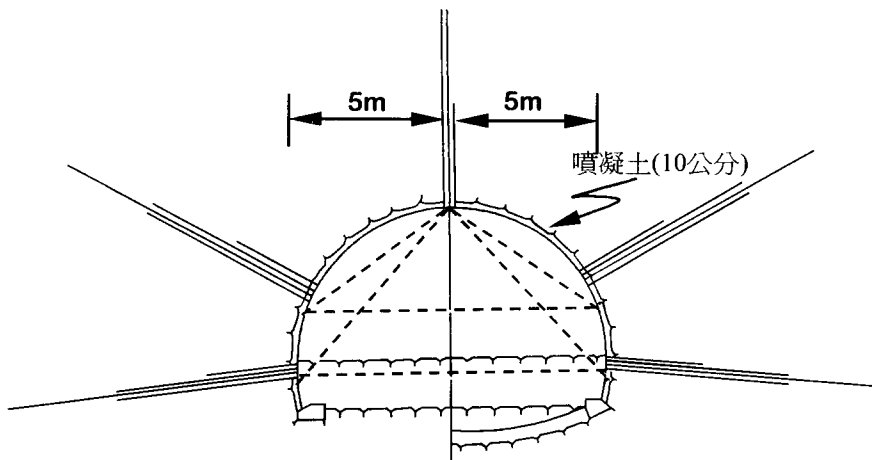
圖四 台北市區荷蘭錐試驗結果

4.1 山岳隧道

木柵線上的這兩小段山岳隧道穿過砂岩、頁岩和薄煤層，其斷面呈馬蹄型如圖六所示，在兩條隧道之間有一段 32 公尺長的明塹。岩壁必須以 10 公分厚的噴凝土支撐，由於岩盤相當破碎，必要時加鋼支堡以及以岩栓固定岩盤。除了有一處遭遇到廢棄煤坑引起坍孔外，施工尚稱順利。該處落岩的總體積約為 50 立方公尺，其中最大的岩塊體積約為 1.5 立方公尺（參考圖七）。經以噴凝土封面，並以輕質泡沫混凝土回填空穴及該廢棄煤坑後，得以繼續前進（郭文祥等，1992）。



圖五 台北市區粘土層抗剪強度

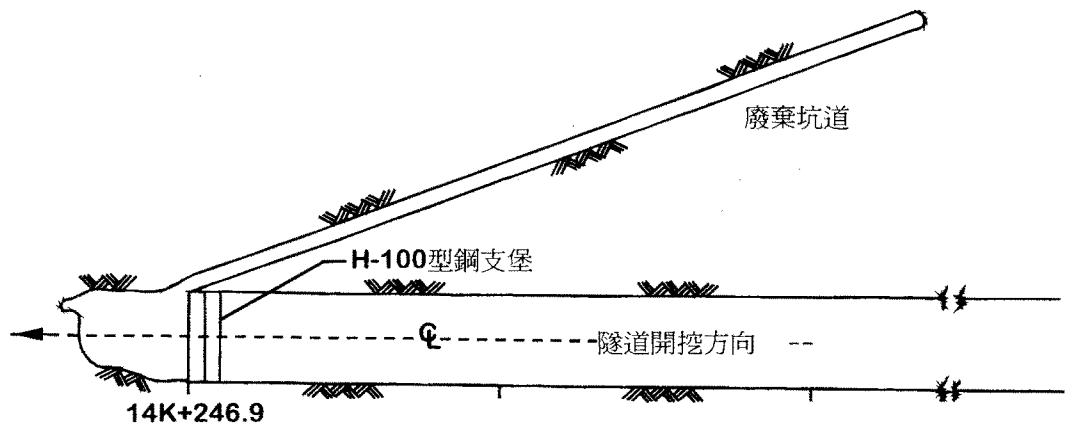


圖六 木柵隧道標準斷面

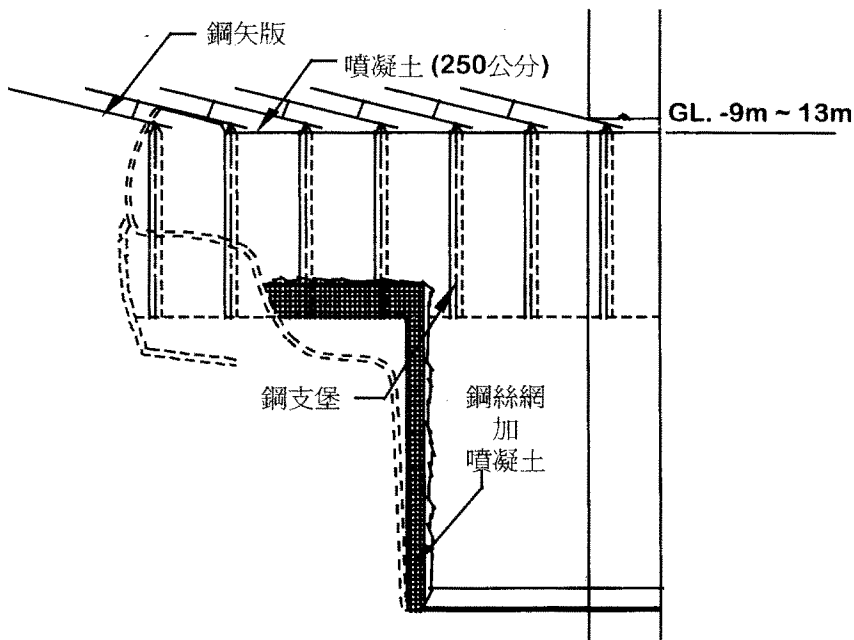
在台北盆地的東側山麓採煤歷史悠久、煤坑甚多，後來因開採殆盡，而且成本過高而沒落，因為沒有開採記錄或坑道布置圖，所以在該地區進行隧道工程的危險性頗高，而且坑道中可能有甲烷之存在，有爆炸的可能性，所以必須採取適當的防護措施以保障工作人員的安全。

4.2 新奧隧道

在新店線有一段 222 公尺長的隧道是以新奧工法施作，以噴凝土、鋼絲網及鋼支堡支撐，其斷面如圖八所示。隧道頂部以長 2 公尺，寬 20 公分或 30 公分，厚 6 公厘的鋼片植入以增加其穩定度。由於地質實在過於軟弱（參考圖四及圖五），在鑽掘時以壓縮空氣以穩定開挖面。最高壓力達 1.35 大氣壓。在鑽掘過程中，因為礫石層的出現，漏氣的情形相當嚴重，耗氣量每分鐘達 280 立方公尺，四部 340 瓩功率的空壓機滿載運轉才能應付得來。永久襯砌是 35 公分厚的場



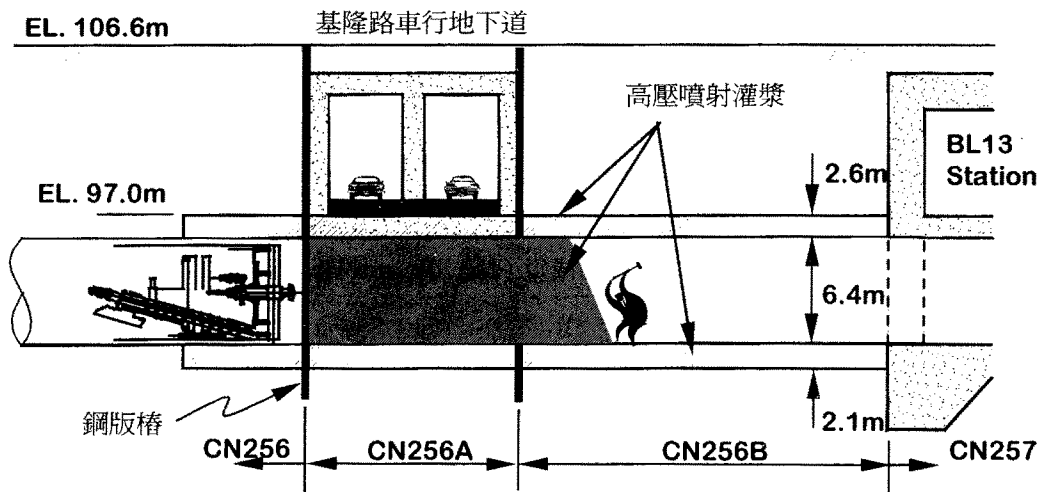
圖七 木柵隧道遭遇廢棄煤坑狀況(縱剖面圖)



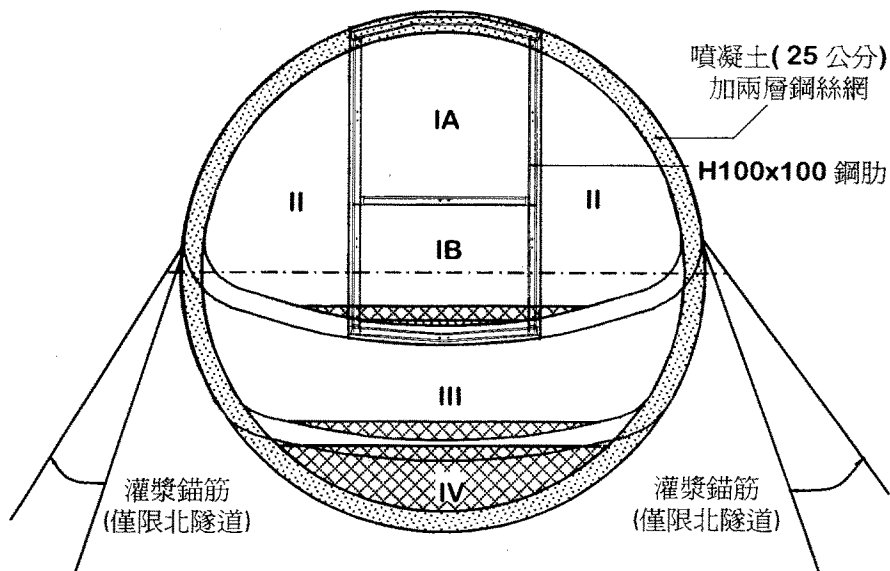
圖八 新店線 221 標新奧工法隧道縱剖面圖

鑄混凝土，部份襯砌在壓氣狀況中施作，其餘是在鑽掘完成並解壓後才施作（Moh and Hwang, 1997）。雖然在鑽掘過程中曾發生瓦斯氣爆以及斷電等意外插曲，整體而言，算是相當成功，這在台灣地盤隧道史上可算是一個重要的里程碑。

在南港線也有一段隧道是以新奧工法施作，南隧道長 54 公尺，北隧道長 44 公尺，其斷面如圖九及圖十所示。當地地質相當軟弱（參考圖五），是以高壓噴射灌漿固化隧道內及其周遭的粘土以維持壁面穩定，並以 25 公分厚的噴凝土及兩層鋼絲網作為臨時襯砌。永久襯砌是 25 公分厚的場鑄混凝土。鑽掘過程順利，南隧道沉降量小於 4 公分，北隧道因為有管線的干擾，灌漿無法確實，最大沉降量達 24 公分，需在兩側加打灌漿錨筋以維持頂部的穩定，縱使如此，這案例也是軟弱地盤隧道史上另一個里程碑（Moh and Hwang, 1999a; 1999b）。其實同樣的工法曾用以挖掘許許多多的捷運行車隧道間的聯絡通道，但是斷面都不如這個案例來的大，長度也不及這案例的長，所以這經驗彌足珍貴。



圖九 CN256B 標新奧工法施工示意圖



圖十 CN256B 標新奧工法施工順序圖

4.3 潛盾隧道

在初期路網中，目前已完成的有 60 條潛盾隧道，一共動用了 30 部潛盾機，其中只有兩部是泥水加壓式，其餘都是土壓平衡式。隧道內徑有 5.4 公尺及 5.6 公尺兩種尺寸，除了新店線 CH222 標的襯砌是 30 公分厚外，其餘的襯砌都是 25 公分厚的鋼筋混凝土環片，每環長度均為 1 公尺。

除了在新店線曾遇到混合土層，造成坍塌的意外之外，對潛盾施工而言，松山層的地質並不特別困難。在中和地區，雖然有沼氣的存在，由於隧道的送風量加倍，而且對沼氣的密度嚴密的監測及採取周延的防範措施，並未發生任何氣爆事件。地下障礙物的確曾造成幾處坍塌，這些障礙物包括地質鑽探時所遺棄的鋼套管、流木及過強的地質改良 (Moh and Hwang, 1999b)。以初期路網的規模而言，掘進時意外發生的頻率仍算是相當的低。

倒是在潛盾機出發及到達工作井時發生過幾起意外，這些意外大部份是因地下水自連續壁開口處湧出而起。其中兩起導致已完成的隧道嚴重受損，後來以冰凍工法將受損部份封住，再將環片置換。雖然在出發井及到達井之外側，曾經以高壓噴射灌漿工法將土壤固化，以達到增加土壤強度及止水性的目的。但是因為這兩處隧道的底部深達 35 公尺，水頭相當的高。其中一起意外是因為灌漿效果不理想，而連續壁開口處，(俗稱鏡面)緊靠景美礫石層，一旦漏水，水路附近的土壤很快液化，在數小時之內湧水狀況即無法控制 (Hwang, et al., 1998)。另外一起是因為在連續壁開口處有流木，當潛盾機到達時受到推擠而將灌漿區破壞引起漏水。巧的是就在這個位置有一根 PVC 管通到景美層，形成水路而成災 (Lin, Ju and Hwang, 1997; Chen, Pei and Hwang, 1998)。

潛盾機的切刀長約 30 至 40 公分，加上鼻尖突出切刀 20 至 30 公分。在發進時，一般是先鑿除連續壁五分之四的厚度，在第二階段才完全鑿穿。所以以 1 公尺厚的連續壁而言，在連續壁被鑿穿時機身最多只能進入連續壁約 30 公分，一旦發生湧水，止水墊圈能否發揮止水功能不無疑慮。在潛盾機到達時問題更為嚴重，一般是在工作井內鑿除連續壁，這時鼻尖抵到連續壁背面，也就是說機身與連續壁之間至少有半公尺的距離，一旦在連續壁開口處發生湧水相當難以止住。在施工後期，為了避免意外的發生，承包商採用了多種預防措施 (朱旭, 1997)：

- (a) 在潛盾機發進前，在連續壁上加裝 40 公分長的鋼套筒以增加縱深，套筒之上有止水墊圈。如果發生漏水情事，迅速將潛盾機機首推進套筒之內，靠止水墊圈止水。其後可將壓縮空氣打入土倉，工人進入土倉內止水及鑿除連續壁。
- (b) 在潛盾機到達前，同樣在連續壁上加裝套筒，但另外須加鋼版而成隔倉。工人在隔倉內完成連續壁的敲除。如果有漏水現象可以將壓縮空氣打入隔倉之內以止水。
- (c) 在潛盾機發進前，以止水幕在連續壁後方圍成一無水空間，底部以灌漿止水，在潛盾機機首進入此無水空間，並確認安裝於連續壁上的止水墊圈有效地止水後，再繼續推進，穿過止水幕。
- (d) 在潛盾機到達前，以冰凍工法固結鏡面附近土壤，安裝隔倉、在破除鏡面、並以止水材料填充隔倉後才解除冰凍。在潛盾機進入隔倉並完成止水後，再拆除隔倉。

這些預防措施都有效地避免了意外的發生。當然這些措施都是因為台北盆地西半部 (約略以中山北路/羅斯福路為界) 的地質狀況怪異 (包括流木、地下水) 而必需。在東區，地層以粘土為主，

透水度低，在潛盾出發及到達時，並無特殊狀況發生。

五、結語

在台北捷運隧道施工過程中遭遇了相當多的困難，也發生數起災變。災變大都與流木、地下障礙物及地下水有關。這些災變導致相當大的財務損失也突顯了大地工程在地下工程中的重要性。尤其地下水常是罪魁禍首，所以無論在設計或施工時對地下水文及土層的水理參數都必須充分掌握。如果地層以砂質為主，隧道相當深而且接近蓄水層時，施工時應格外小心。並應在潛盾機發進及到達工作井前採取防範措施，以應付突發狀況。

參考文獻

- 朱旭（1997）”捷運隧道規劃、設計、施工面面觀”，*地工技術*，第60期，台北
- 郭文祥、葉向陽、陳國華（1992）”台北都會區捷運系統工程研討會”，三月，台北
- Chen, M. H., Pei, M. W. and Hwang, R. N. (1998). “Construction of the Taipei Rapid Transit Systems”, *Proc., Big Digs Around the World Symposium, ASCE 1998 Nation Convention*, 18~21 October, Boston, Massachusetts.
- Hwang, R. N., Moh, Z. C., Yang, G. R., Fan, C. B., Chao, C. L. and Wong, R. K. (1998). “Ground freezing for repairing a damaged tunnel”, *Special Lecture, 13th Southeast Asian Geotechnical Conference*, 16~20, November, Taipei, Taiwan
- Lin, L. S., Ju, D. H. and Hwang, R. N. (1997). “A case study of piping failure associated with shield tunneling”, *Proc., 15th International No-Dig '97*, November 26~28, Taipei, pp.6B-1-1~6B-1-13
- Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1997). “Geotechnical problems related to design and construction of the Taipei Transit Systems”, *Keynote Speech, Professor Chin Fung Kee Memorial Lecture*, September 6, Kuala Lumpur, Malaysia
- Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1999a). “Soft ground tunneling in Taipei”, *Invited Speech, Proc., Dr. Tan Swan Beng Memorial Sym.*, Mar 18~19, Singapore
- Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1999b). “Geotechnical problems related to design and construction of the Taipei Rapid Transit Systems”, *Keynote Speech, Commemoration of Dr. Sang-Kyu Kim's Retirement Symposium*, April, Seoul, South Korea