

台北捷運系統地工設計
**GEOTECHNICAL ENGINEERING DESIGN FOR
TAIPEI RAPID TRANSIT SYSTEMS**

華立仁，黃立煌，胡海潮，秦中天
L. J. Hwa, L. W. Wong, H. C. Hu and C. T. Chin

原著載於

海峽兩岸地工技術交流研討會論文集
台北，1993年，79-102頁

*Reprinted from Proceedings of
Symposium of Cross-Strait Geotechnical Engineering
Inter-Communication
Taipei, 1993, pp. 79-102*

Geotechnical Engineering Design for Taipei Rapid Transit Systems

Hwa, L. J., Wong, L.W., Hu, H.C. and Chin, C.T.

Symposium of Cross-Strait Geotechnical Engineering Inter-communication,
Taipei, Nov., 1993

Abstract

This Paper discusses several major geotechnical issues for the design of the Taipei Rapid Transit Systems. The stratigraphy of subsoils and the groundwater conditions in Taipei Basin are described, followed by the design criteria. Design considerations for piles, deep excavations and tunneling in respect to geotechnical engineering are examined. The Integrated Data Storage Centre established for geotechnical instrumentation is briefly described.

台北捷運系統地工設計

華立仁*、黃立煌**、胡海潮*、秦中天**

*台北市政府捷運工程局 **亞新工程顧問公司

摘要

本文的目的在討論台北都會區捷運系統工程在設計階段幾項重要的大地工程課題。首先說明的是台北盆地土層及地下水狀況，然後介紹台北捷運系統的設計規範及準則，再就基樁工程、深開挖工程及隧道工程中大地工程的考慮因素分別加以討論，最後則摘要說明台北捷運系統的大地監測資料庫系統。

一、前言

有關台北捷運系統大地工程的重要考慮因素，曾在多篇文獻中加以探討（如 Moh and Chin, 1991；Moh and Hwang, 1993 等），本文則綜整過去之報告並針對此次海峽兩岸研討會之性質，對台北捷運系統地工設計中之重要課題加以說明。

台北都會區捷運系統初期路網如圖一所示，包含淡水、木柵、新店、南港、板橋、中和等六條路線，及土城與內湖兩條延伸線。在上述之六條路線中，木柵線（及其後續之內湖延伸線）係為中運量系統，預計單向每小時可搭載5000—20000人次，其它則為高運量系統，預計每小時搭載20000人次以上。在各條路線中，整條木柵線均為高架段；淡水線於市中心區域為地下段，郊區為高架段，在北方之線路尾端則為地面段；而南港線、新店線、中和線、板橋線則均為地下段。全長約88公里，並包含80個車站，其中高架段長度32.1公里，車站33個；地面段長度9.5公里，車站5個；地下段長度為46.4

公里，車站42個，總工程費超過180億美金。各條路線於1989年相繼展開施工後，施工將於1993年達到顛峰。

整個路網系統中大約有半數的車站及軌道位於地下，因此使整個捷運系統的大地工程工作更為複雜困難。一般的地下車站大約是250至300公尺長，15至28公尺深，採明挖覆蓋法施工，通常以連續壁做為擋土結構，內部則採H型鋼做為支撐。除地下車站外，明挖覆蓋法還被用在隧道段、轉轍段、地下街以及豎井等工作中。地下工程除了明挖覆蓋工法及一部份NATM隧道外，普遍的應用潛盾工法在構築5.6公尺內徑的隧道。此外，在木柵線及淡水線的高架段，主要的基礎型式都是大口徑的現場灌注樁。

捷運工程局於1987年成立，負責推動捷運工程的規劃設計與施工。有鑑於台北捷運中大地工程的重要性，捷運局委託亞新工程顧問公司擔任大地工程專業顧問 (Geotechnical Engineering Specialist Consultant, 簡稱GESC)，協助捷運局進行台北盆地水文與地質調查，處理在設計、施工各階段所遭遇與大地工程相關之問題 (Moh et al., 1993)。有關各線分段之細部設計工作，捷運局則委託各細部設計顧問公司負責進行，捷運局則扮演整個策略擬定、設計施工、審查、研發與合約管理籌辦者之角色。

二、地層狀況

台北市位於台灣北部之三角形盆地中，由大屯火山群、林口台地及第三紀沈積岩所構成之丘陵地形所圍繞，流經盆地之三條主要河流為基隆河、淡水河及新店溪，有關盆地周圍地質之分佈情形如圖二所示，土層之各層資料則如表一所示，大部份台北捷運系統之地下施工活動即位於松山層及景美層。

景美層，亦即一般所謂之「景美礫石層」，主要包含有次圓形礫石、卵石及砂土，卵礫石顆粒粒徑最大可達60cm以上。景美層在過去曾是利用深井抽水供應台北部份地區水源之含水層，現在則為

捷運系統許多結構體深基礎的承載層，最近之研究（傅怡仁等，1990）顯示整個台北盆地中景美層之分佈及其性質相當複雜。

覆蓋於景美礫石層上方為松山層。典型的松山層包含粘土與砂土交互之六個次層，由於上述之粘土及砂土層中均含有大量之粉土細顆粒，故松山層亦常稱為「台北粉土」（Moh and Ou, 1979）。通常第六、四、二次層包含粘質粉土及粉質粘土，第五、三次層則為粉質砂土，而最下方之第一次層則可能同時夾雜粘土及砂土之薄層。

經過對現場鑽孔資料及室內試驗結果之綜合整理，亞新公司（1987）依三條流經盆地河流之流域進行分區，提出各分區中松山層六個次層分佈情況。如圖三所示，為因應松山層地域性變化所作之分區情形，此大地工程分區圖在台北捷運系統之規劃及前期設計階段中即發揮極大之效用。就整體性而言，台北捷運系統地下施工之區域主要涵蓋三個土層分區：

(1) T2區：包含如上所述六個交互之粘土層與砂土層。

(2) K1及K2區：地表下為一厚軟弱黏土層，其下為礫石層。

上述之簡化模式在規劃及前期設計階段功用極大，但土層之成層性及土壤性質實際上相當複雜。因此，捷運工程設計前均進行周密之大地工程調查，並且於設計及施工時分別進行補充調查。

土壤液化潛能對捷運系統影響較甚者，可導致地下結構物邊牆側向載重之增加、基樁側向支撐力之損失，結構物底部上浮力之增加等，故所有施工標均曾對液化潛能進行評估，大部份之評估係依Seed et al. (1984)所提出之模式進行，依土壤N值與地震活動引致之反覆剪應力比的經驗關係式求之；有必要時則考慮進行動力三軸試驗，以SHAKE程式再予分析檢討。

台北盆地在以往之工址調查工作進行中，曾在六個不同地點於鑽探中發現氣體噴出之現象（Woo and Moh, 1990）。當時僅在一個地點曾取樣証實所發現之氣體含甲烷。後來在捷運工程補充鑽探中曾陸續發現噴出之氣體，且所發現之氣體亦含有甲烷。當甲烷和空氣混合之濃度到達6~16%時即形成易爆氣體，故甲烷為一具有危

險性之氣體。截至目前為止尚無確切歸結出台北盆地中上述氣體產生之模式及其可能發生之地點，因此，所有隧道之施工活動中均包含對甲烷氣體之偵測工作，並特別注意施工及營運時甲烷可能對捷運系統所造成之災害。

三、地下水狀況

在台北地區大規模開發前，地下水之水位面接近於地表面，且其分佈為靜態水壓分佈，但在1960年代，由於超抽景美含水層之地下水，造成地下水位之顯著改變，引起台北盆地中大量之地表沈陷量。

台北地區典型之地下水壓力洩降情形及相關之地表沈陷量如圖四所示（Chin et al., 1991）。對於景美層之抽水活動開始於1960年代前期，雖然政府已於1968年加以限制，但直至1970年代中期，大量之抽水活動依然存在，其後，由於抽水活動之減少，使得礫石層之地下水壓力有回復之趨勢。過去此項深井抽水之結果導致盆地內區域性之土層沈陷量，在台北盆地中心區域由於約42公尺之水壓力洩降（drawdown），並導致超過2公尺之沈陷量，雖然大量之抽水活動係發生於市中心，但水壓之洩降情形則延伸至整個盆地範圍，相關之沈陷量亦有相同之趨勢。

如上所述，景美礫石層之水壓力自1970年代中期之後有逐漸回升之趨勢，在圖五中由市中心礫石層水壓力之觀測資料，可說明礫石層水壓力回復之趨勢，在圖中亦有裝設於第三次層之水壓計的資料。水壓力初期之回升速率頗為緩慢，但在1981至1988年之間，則維持2至3公尺/年較快之回升速率；而第三次層之砂土層，其回升趨勢與礫石層之水壓回升情形相似，但平均之壓力水位面則比礫石層高出3公尺。由目前之監測記錄顯示，現階段松山層之地下水位分佈，仍低於靜態水壓。

地下水位之回升，對台北盆地未來之施工活動，將有顯著的影響，一些負面的效果應加以考量，例如：水位回升導致砂土層液化

潛能之增加、潛盾施工將更加困難、降低拉力樁所能發揮之效用，對台北捷運系統之施工而言，地下水位回升影響最鉅者為明挖覆蓋段之開挖，此一因素將在後述各節中作進一步的討論。

四、設計規範及準則

台北捷運系統工程設計，所依據之規範及準則主要遵照台北市捷運局頒佈之土木工程設計手冊(Civil Engineering Design Manual，簡稱CEDM；DORTS，1991)。此設計手冊仍具彈性，一方面容許參考經審核之他國最新設計準則，同時能確保整個捷運系統各個設計間之均衡性及一致性。

手冊內關於大地工程設計規範參考依據列有內政部建築技術規則及美國加州公路運輸部C-AASHTO等規範。捷運局在手冊內要求細部設計者，在設計臨時性與永久性工程時，應對現有土層與地下水狀況等地質調查、試驗資料作獨立研判解釋，以選擇適當之參數。如需進一步資料時，應擬定現場與試驗室之補充地質調查工作，以補充現有之資料。

另一方面，由於捷運系統位於都市及已發展區域內，相關之設計安全係數要求較為嚴格，CEDM於深開挖工程上之要求安全係數，綜合如表二所示。同時於考慮鄰近結構物對地下結構所導致之超加載重需達每樓層 $12\text{KN}/\text{m}^2$ 在基礎面或至少 $50\text{KN}/\text{m}^2$ 在地表面之載重量。在緊鄰捷運地下結構如有空地時，亦需考慮日後可能發展所導致之超加載重。

為考慮鄰近結構物之完整性及安全，CEDM規定隧道及深開挖施工所導致之鄰近結構物總沉陷量，原則上不得超過25公厘，及不均勻所導致基礎角變動量不超過 $1/500$ ，但設計者可根據鄰近結構物之基礎狀況與結構型式，訂定可容許之變位量。

假如採用一般之深開挖或隧道施工方式難以避免對鄰近結構物產生破壞時，CEDM規定設計者必須考慮增加安全措施。可能之措

施包括托底、增加支撐勁度、縱向連續壁、地盤改良、保護牆、壓縮空氣及擠壓灌漿等項目。

有關基樁之設計準則，CEDM並要求設計時考慮負摩擦力對基樁承载力之影響。

除上述規定事項外，CEDM規定設計者於設計時，另應考量施工工法、土壤與結構互制作用等其他相關因素，並要求臨時性和永久性工程之預期施作結果，應儘可能與位於台北地區類似既有建物之量測結果作一比較。

五、基樁工程

捷運工程之高架段橋樑及車站聯合開發結構物之基礎大都採用基樁。景美礫石層通常作為樁基礎之底部承載層。由於景美層深度在40至70公尺間，基樁設計多採用場鑄鑽掘式基樁。

捷運工程之基樁直徑為0.8至2.0公尺，施工方法主要有兩種，分別為套管式及反循環式鑽掘樁。套管式施工法採用鋼套管支撐鑽孔土壁，並以抓斗挖掘孔中土壤直至設計深度，放置鋼筋籠最後以水中灌鑄混凝土方法施作，如遇塊石或漂木障礙則以鑿岩器(Chisel)敲碎後挖除。反循環式鑽掘樁一般並無套管，而以皂土泥漿穩定液防止孔壁崩塌，挖掘方式為利用鑽機切刃中央之吸入口，以泥漿為循環液體抽至地面。場鑄樁由於高地下水位或反循環式施工，易造成樁底沉泥之存在。

基樁承载力估計，C-AASHTO建議考慮樁身摩擦力及樁底承载力兩部份。此承载力估計係基於樁底無軟弱沉泥之狀況，假如鑽掘樁因施工方法而樁底無法清除沉泥，樁底承载力將大幅降低。Woo & Moh(1990)於非破壞性試驗及樁載重試驗結果，及Moh et al (1993)儀器樁載重試驗結果，觀察到鑽掘樁常有樁底沉泥之存在，以致基樁之實際表現為部份摩擦樁及部份樁底支承樁。圖六所示，直徑1.0公尺試驗基樁於100mm位移量方有6000KN承载力，顯示軟弱樁底之情形。

由於捷運系統之基樁需考慮負摩擦力之影響，基樁下半部之正摩擦力及樁底承载力將在抵抗負摩擦力時益形重要。另一方面為控制基樁之沈陷量，或基樁在較少沉陷量時即能發揮樁底承载力，Moh et al.(1993)，建議鑽掘樁之設計可考慮採取樁底灌漿或其他適當補強措施，以考慮樁施工方法對承载力影響。目前部份捷運工程之鑽掘樁施工，已於特別規範中列入樁底灌漿之相關規定。

六、深開挖工程

深開挖工程在台北捷運系統地下結構體之施工佔有很大的比例，這些結構體包含車站主體，相關出入口，轉轍站及各種型式之通風井，因此深開挖之設計為捷運工程中相當重要之部份。對於深開挖中所使用之支撐系統，大致採用在台北地區目前最新施工方式，常採用之連續壁擋土加上型鋼做為內支撐系統。

6.1 土壤行為之考慮

從大地工程之觀點而言，對於支撐開挖之連續壁的設計，需要正確之土層分層狀況及相關參數，特別是用以研判預估之結果是否合理的土壤強度等。由於在台北捷運系統設計工作展開之前，已可根據大台北盆地分區之結果大致掌握台北盆地土層之特性及分佈情形，故對規劃及前期設計階段助益頗大。

設計者在最初必須做的一個決定就是找出具代表性之土壤強度。對凝聚性土層而言，最基本的問題是開挖區內側被動區隨著開挖面暴露時間增長而造成之回脹程度，回脹(如：除了彈性回脹外之體積增加量)係由於開挖後土壓力降低，造成解壓所導致之結果，隨著時間之增加，孔隙水產生流動並為土體所吸收，最後當水壓力平衡後回脹便告完成。有關回脹之速率依下列幾個因素決定：

(1)被動區土層之壓密係數(C_v)。由實驗室資料顯示，台北粉土之 C_v 值變化頗大，但若改善取樣品質及對土層應力歷史之充分了解，亦可對現場 C_v 值做一合理之評估。

(2)「排水路徑」之長度。對土層中之水須流經多少距離方能流出，而即使進行多麼詳細之工址調查，亦不可能將所有含粒狀土壤之薄層含括分析中，但排水路徑長度對回脹程度之計算，影響頗大（因在其計算中，係使用平方值）。

(3)開挖面暴露之時間。

對台北捷運系統在T2區之開挖，由分析顯示，將發生回脹，且強度亦應由有效應力表示。上述之預估亦已由現場之監測資料加以確認。考慮有效應力的影響，地下水壓力對計算之強度有重要之影響，並連帶影響預估之壁體變形量及鄰近建物沈陷量。Moh et al. (1989)，曾提出一比較結果，說明水壓力對壁體變形量之影響，圖七所示為一典型之站體構築時，兩種不同水壓力之分佈情形：

(1)U1為開挖內側被動區抽水後之分佈情形。

(2)U2為未控制地下水位之分佈情形，如圖七所示，具有較大之水壓力。

由分析結果顯示，U2水壓力分佈層所估算之最大變形量約為U1情形所得者的1.5倍，由許多開挖之案例證實，為了達到可接受之工作度並確保總體性之穩定度，須對水壓力加以控制。因而重要的是，承商應在開挖過程中，控制地下水位以達到設計假設之要求，若地下水壓比設計階段假設者為高，則可能增大壁體變形量及沈陷量，更甚者導致開挖之整體破壞。

在K1區，開挖面下凝聚性土層之回脹程度將控制著土層之被動抵抗力並進而影響連續壁之行爲。在粘土層中開挖之過程中，被動區將立即產生一負的超額孔隙水壓力。而隨著時間之增加而發生回脹，強度亦降低，若回脹程度可加以合理之估算，則被動區土壤剪力強度之折減便可使用SHANSEP(Ladd and Foott, 1974)模式加以合理地估算，由分析結果(Chin et al., 1991)顯示，經與開挖區被動側之完全不排水條件比較，若回脹程度達50%，則最大壁體變形量約增加20%。

值得注意者對於涵蓋回脹及漸變流 (transient flow) 複雜過程之分析是相當困難的，由於回脹程度估算之不易而其對壁體變形量及整體之穩定性有著顯著之影響，故開挖過程中，應對被動側之孔隙水壓力進行連續觀測。

壁體與土層之附著力 (wall adhesion) 與摩擦力 (wall friction) 將降低主動側之土壓力，並提高被動側之土壓力，這樣可減少側向位移量，並將影響連續壁變化和建物保護之結果。

如圖八所示之例子，為假設無壁體凝聚力及假設壁體凝聚力為三分之二倍土壤強度兩種情形之比較，結果顯示前者之側向位移量約為後者之兩倍。

施工過程中，所發展之壁體凝聚力及摩擦力甚難估計，亦少有文獻對這方面之專題加以探討，因此，台北捷運系統在部份施工標中指定於連續壁體單元裝設儀器，作為試驗斷面。

影響粘土層不排水剪力強度之主要因素有異向性，應變速率，應力歷史及樣品之擾動程度；土壤不壓密不排水試驗及三軸壓密不排水試驗對上述因素無法全部考量，其相關問題，在許多文獻中，曾加以討論，在1989年GESC與麻省理工學院之C.C.Ladd教授共同進行研究，探討在連續壁設計中台北粉土層應力—應變—強度之特性，此份研究結果再度顯示：不壓密不排水試驗及壓密均向不排水試驗結果之使用並無法完全滿意的估計台北粉土之剪力強度，並建議使用常化土壤工程性質 (SHANSEP) 模式來估計(Ladd,1989)。

根據研究結果 (秦中天等,1989; Ladd,1989)顯示：台北之凝聚性土壤的確表現出可常化之行爲 (normalized behavior) 且強度異向性之重要性已可得到證實(Ladd,1989;劉泉枝等,1991)，尤其是在厚的軟弱粘土層區域中。在開挖面以下，壁體朝內移動且土體於平面應變被動模式下受剪，此種剪動模式之不排水剪力強度與 K_0 壓密不排水三軸伸張試驗所得之結果相近。而在開挖區外側，壁體朝開挖面移動，且土體於平面應變主動模式下受剪，而此種剪動模式下之不排水剪力強度與 K_0 壓密不排水三軸壓縮試驗之結果相似。因此GESC

一再強調設計者在考慮凝聚性土層之強度時應以SHANSEP之理念為基礎;謹慎選取相關參數。

6.2 開挖施工之方法

台北捷運系統新店線及南港線之12個設計標中，除了三標建議逆序（top-down）或半逆序（semi top-down）施工法之外，餘者均建議採用順序（bottom-up）施工法，而順序施工法對於在都會區進行施工所遭遇之交通改道問題亦較具彈性，因為大部份之站體均於現有之道路下施作，使用覆蓋板之鋪設可以維持原有道路之交通流量，覆蓋板及其下之支撐通常以中間柱予以支承，而大部份之情況下中間柱係以反循環樁之施作方式進行。如第五節之討論，由於樁底淤泥不易清除，考慮樁底淤泥沈積導致樁底承载力之降低，可考慮於樁底額外進行灌漿處理，或對樁尖承载力加以折減。

所有開挖深度大於8公尺者均設計以連續壁支撐側牆，且大部份係使用雙牆系統。壁體厚度範圍由1公尺至1.2公尺，但淡水線中山站因其位於非常惡劣之土層且開挖深度達26公尺，故其使用之連續壁厚達1.5公尺。施工時一般壁體單元開挖之寬度為6公尺以下，以達到穩定性之要求，亦曾有嘗試8公尺開挖寬度之案例，但並未成功，最後仍將開挖寬度維持在6公尺。

七、潛盾隧道工程

7.1 隧道施工導致之沉陷

對於台北捷運系統之潛盾施工而言，最重要的為其土體位移量及可能影響現有結構體之沈陷量。欲準確地預估潛盾施工所引致之地表沈陷量相當困難，實際所發生之沈陷量，則受使用之潛盾工法及施工品質所影響，此外，區域性地質條件，亦是沈陷量大小之主因之一。

針對台北捷運系統計畫中，可能採用之封閉式潛盾機型，加以考量潛盾機通過松山層產生之沈陷量大部份是因為潛盾機向前推進時，土體擠入盾殼後已完成之環片周圍空隙所導致。若土體自立性足夠支撐至環狀空間灌漿完成，則土體崩落於盾殼與環片間空隙之狀況產生，沈陷量將大幅地減少，但是若土體自立性太差則不管環片外圍之背填灌漿速度如何迅速，沈陷量仍有可能發生。在K1區之軟弱粘土層即是屬於此種自立性差之土層。

7.2 混合土層狀況

當潛盾施工通過複雜之地層狀況時，區域性地層條件之變動將對潛盾施工有顯著之影響。在捷運系統某施工標中有一長度1.3公里之隧道其隧道面不論在任何位置均同時面臨兩種或三種土質條件(如圖九所示)，而這幾種同時出現於隧道面之土質的分佈情形及性質對潛盾施工之進度將有一重要之影響。

7.3 障礙物

潛盾施工常遭遇不可預期障礙，例如穿過礫石層之潛盾施工。一般潛盾機碰到粒徑400-500公厘之塊石尚可處理，但是景美層部份地區之塊石粒徑尺寸，或許比上述之尺寸更大，若然則將使潛盾施工停頓，並須利用人工加以排除。而塊石並非潛盾施工唯一所可能遭遇之障礙，其他如松山層中發現之浮木或其他沿線之人工障礙物(如套管等)。上述障礙物之確實位置、深度及特性無從得知，但卻很可能造成施工中之重大問題。

7.4 地盤改良

通常在潛盾出發井及到達井前端均使用噴射灌漿用以維持土體之穩定性或增加其水密性。一般之改良長度約等於潛盾機長度加上數個環之長度，以確保盾尾空隙能在盾首切刃穿出改良區前得到適當的密封。這樣不僅能防止地下水之逸失，並能維持土倉內之壓

力。但是，在台北捷運系統之施工標中，由於採用止水環佈設於鏡面處以防止上述之問題發生，故改良區長度已大幅減少。

圖十所示為新店線CH218標之改良區，其長度僅有3.3公尺，而在其他施工標之出發井，甚至有更短之改良區，而觀察已掘進之潛盾機的出發井案例，較短之地盤改良長度，尚未導致任何嚴重之問題。

7.5 地盤沉陷量

Moh & Hwang(1993)根據目前已完成施工之三條捷運隧道，說明潛盾施工所引起之地表沈陷量一般均小於此種土層狀況可能發生之沉陷。大部份之設計者均假設土體漏失百分比為3%，但實際觀測結果顯示實際之土體漏失量在嚴密品質控制及監之下可以小於預估者。

CH218標B斷面之沈陷量觀測結果則如圖十一所示，(所得之沈陷槽為切刃通過時之沈陷量)，而圖十二所示為地面型沈陷點與深度6公尺、9.5公尺、14.5公尺伸縮桿所測得之沈陷量歷時曲線，顯示沉陷量距隧道面愈遠而愈低，同時主要之沉陷於盾尾通過時產生，此外，壓密沉陷量亦不容忽視。

八、監測系統

由於土壤、岩石的性質複雜，基地調查的範圍有限，大地工程師在設計時都會有所假設，因此為了做出安全而有效率的設計，並確保施工時的安全、經濟，工程師們必須借助監測儀器系統來觀測土壤、岩石在施工時的變化，因此對大地工程師而言，監測系統是項非常重要的工具。

捷運系統工程之施工方式有岩石隧道、潛盾隧道、深開挖、地質改良等工作，監測儀器種類繁多，且因路網有85公里之長，因此施工安全監測資料之數量將十分龐大，經初步估計，至少有31種儀器(表三)，而其數量將超過900萬筆。由於人工式資料處理的最大缺

點是處理能量小且速度慢，而利用電腦處理資料具有正確性高、快速處理、大量貯存、傳輸方便等優點，有鑑於此，捷運局委託大地工程專業顧問針對台北捷運系統，建立了一套完整的監測資料庫處理系統，以經濟有效的收集、儲存、分析及處理監測之資料（蕭仲光等，1991）。爲了處理所有捷運工程的監測資料，大地工程專業顧問設立了一個監測資料處理中心，透過數據機(modem)及電信局之通訊網路來收集，貯存和分析全部捷運路網47個施工標，21個監測站所收集到的大地監測資料，並隨時提供資料供捷運局的地區工程處及其轄下的各工務所參考使用，資料中心及監測站的功能以及資料傳送的介面流程，可以簡化成圖十三來顯示。

監測資料除了要能及時有效的收集貯存之外，必須要能有系統的擷取應用。因此，必須建立一個完整的資料庫系統。所謂資料庫(databank)係指將許多相關資料所組成的集合體，以最佳的方式將任何一個或數個作業所需資料集中組織在一起；而資料庫系統(database system)是指除資料庫外，尚須具有應用程式使能從資料庫中尋取所需要之資料，或將資料存入資料庫。捷運資料庫大致包括了儲存、擷取、顯示及維護等多項系統功能(如圖十四)。同時資料庫之重要功能之一，即對資料庫之資料可以依不同需求而任意擷取、或能配合目前採用之文書處理、試算表、繪圖或專業軟體使用，使其資料表格化、圖形化，以滿足使用者之需求。

九、結論

捷運系統路線涵蓋之範圍廣大，通常會廣及整個都市。台北捷運初期路網之六條路線即遭遇各種地質狀況，除近代沖積層之軟弱土壤外，尚有第三紀岩層，遭遇之大地工程問題甚爲廣泛，地下水之變化、土層應力歷史、土層之剪力強度、及強度與回脹特性關係，皆對地下工程之設計及施工考慮上有重大影響。

捷運系統之設計施工目前皆引用觀察方法(Observational Approach, Peck (1969))之概念，以確保臨時工程之合理設計及施

工安全，而捷運路網總計85公里路線及80個車站，施工階段所量測之儀器數目及量測數據將極為龐大，採用電腦化及成立資料處理中心，除可處理日常之數據外，更可對資料加以儲存、擷取，並配合應用軟體之發展，可有效率的應用此儀器觀測資料庫，提供施工安全及回饋大地工程之知識的重要工具。

台北捷運工程開展至今，初期路網之設計工作大致均已完成，施工也陸續展開，大地工程師遭遇到許多複雜困難的問題，陸續引進許多新的技術和觀念，相信隨著台北捷運的完成，配合對監測資料的深入分析，定能使台北地工技術水準大幅提昇，而台北捷運的經驗更可回饋於國際大地工程界，使得大地工程師們對於地下工程能有更進一步的認識。

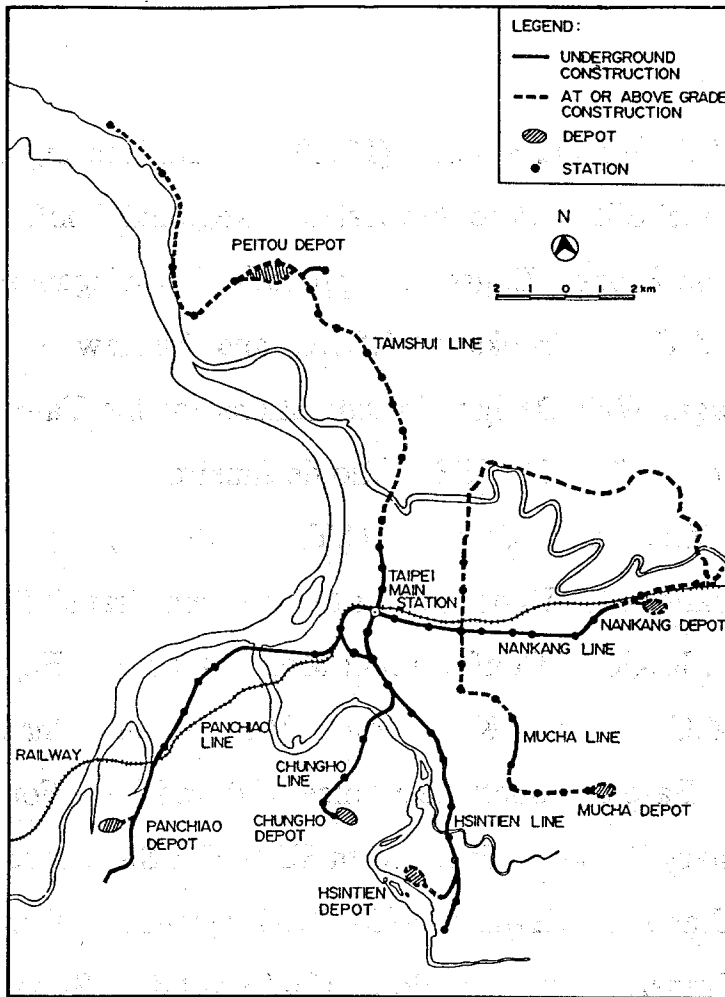
誌謝

本文得以完成感謝捷運工程局薛強聖工程師以及亞新工程公司朱專誌、劉軒如工程師，提供寶貴意見並協助整理手稿。

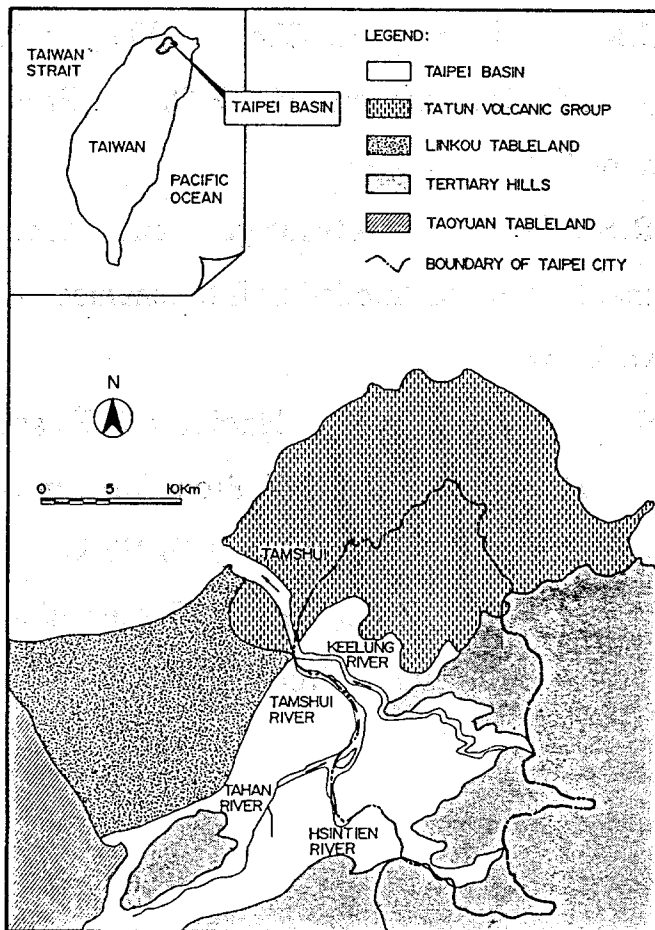
參考文獻

1. 亞新公司 (1987), "大台北盆地地層大地工程性質研究報告", 台北市政府工務局衛工處/榮民工程事業管理處委託辦理, 計劃編號-85043.
2. 秦中天 (、鄭在仁、劉泉枝(1989)", 台北沈泥之不排水力強度與過壓密比之關係", 中國土木水利工程學刊, 第一卷, 第三期。
3. 傅怡仁, 秦中天, 王如龍, 陳明山 (1990), "台北盆地內礫石層分佈之研究", 土木水利, 第16卷, 第4期, pp.59-69.
4. 劉泉枝, 秦中天, 謝旭昇, (1991), "非均向壓密及主應力軸轉變對松山層土壤剪力強度之影響", 中國土木水利學刊, 第3卷, 第1期, pp.83-88.
5. 蕭仲光, 秦中天, 詹世倍 (1991), "台北捷運大地工程監測系統之資料處理", 電子計算機於土木工程應用論文研討會, 桃園, 臺灣, pp.871~888.
6. Chin, C.T., Chieh, T.T. and Duann, S.W.(1991), "Groundwater Effect on MRT Construction", Proc. 1st Young Asian Geotechnical Engrs. Conf., Asian Inst. of Tech., Bangkok.
7. Department of Rapid Transit Systems, "Civil Engineering Design Manual", 8th edition, Sept., 1991.
8. Ladd, C.C., (1989), "Stress-Strain-Strength Characterization of Cohesive Taipei Deposits for Design of Diaphragm Walls", GESC Report submitted delivered to the DORTS., Taipei.
9. Ladd, C.C. and Foott, R. (1974), "New Design Procedure for Stabilizing of Soft Clay" J. of Geot., Engrg. Div., ASCE, Vol. 100, No. 7.

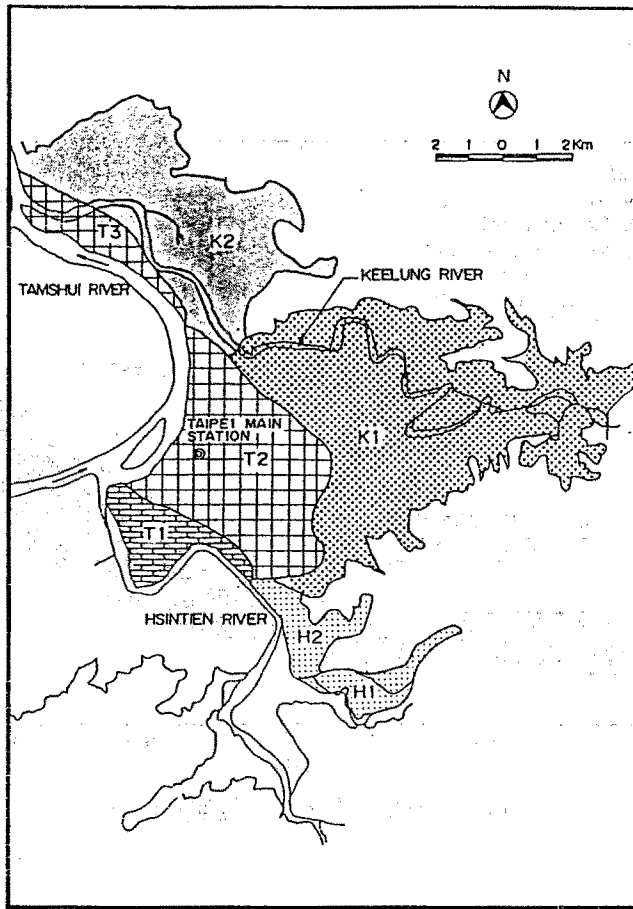
10. Moh, Z.C. and Ou, C.D. (1979), "Engineering Characteristic of the Taipei Silt", Proc. 6th Asian Regional Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg.(1), pp.155-158, Singapore.
11. Moh, Z.C., Crooks, J.H.A. and Shirlaw, J.N.(1989), "Diaphragm Wall Design Considerations for the Taipei Subway", Discussion, 12th ICSMFE, Rio de Janeiro.
12. Moh, Z.C. and Chin, C.T. (1991), "Geotechnical Considerations for Underground Mass Rapid Transit System", Proc. 9th Asian Regional Conf. on Soil Mech. & Found. Engrg, Bangkok.
13. Moh, Z.C., Yu, K., Toh, P.H., and Chang, M.F., (1993), "Base and Shaft Resistance of Bored Piles Founded in Sedimentary Rocks", Proc., 11th SEAGC, Singapore.
14. Moh, Z.C. and R.N. Hwang (1993), "Underground Construction of Taipei Transit System", Proc. 11th SEAGC, Singapore, pp.15-24.
15. Moh, Z.C.R. Sun, and L.L. Chou (1993), "GESC's Role in the Design and Construction of TRTS", Proc., of the 1993 Symposium on TRTS, Taipei.
16. Peck, R.B.(1969), "Advantages and Limitations of the Observational Method in Applied Soil Mechanics", Geotechnique, Vol.19, No.2, pp.
17. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M. (1984), "The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations", Report No.UCB/EERC - 84/15, Oct.
18. Woo, S.M. and Moh, Z.C.(1990), "Geotechnical Characteristics of Soils in the Taipei Basin", Proc., 10th SEAGC, Taipei.



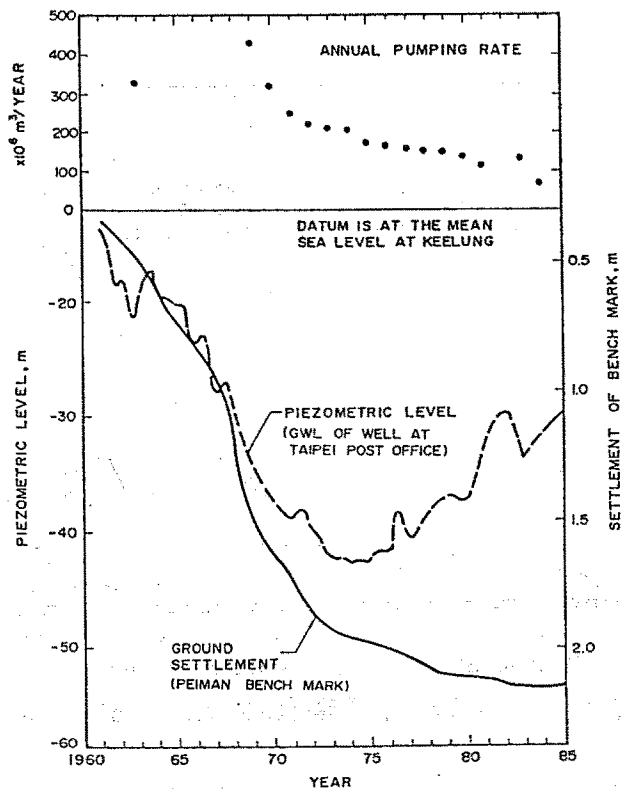
圖一 台北捷運系統初期路網



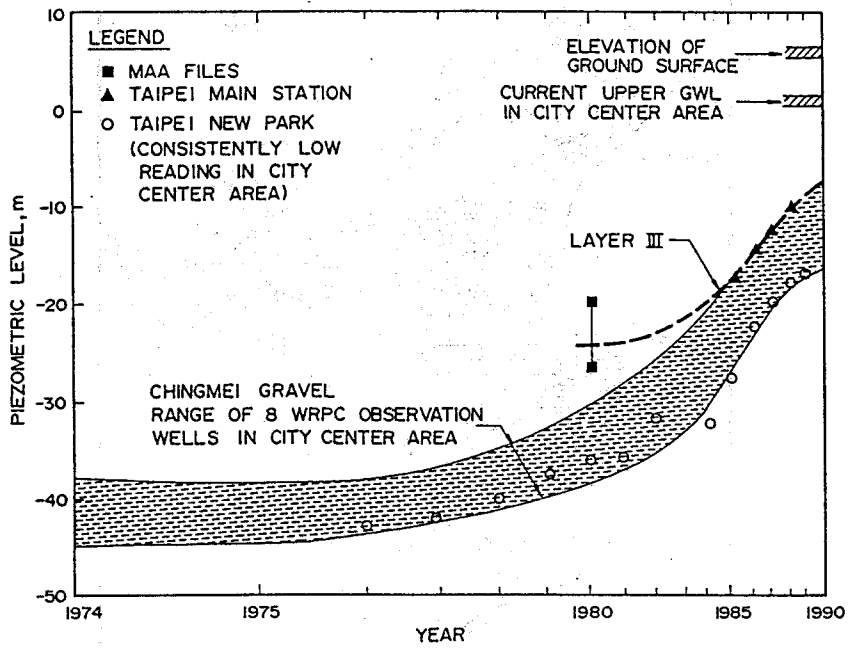
圖二 台北盆地地質



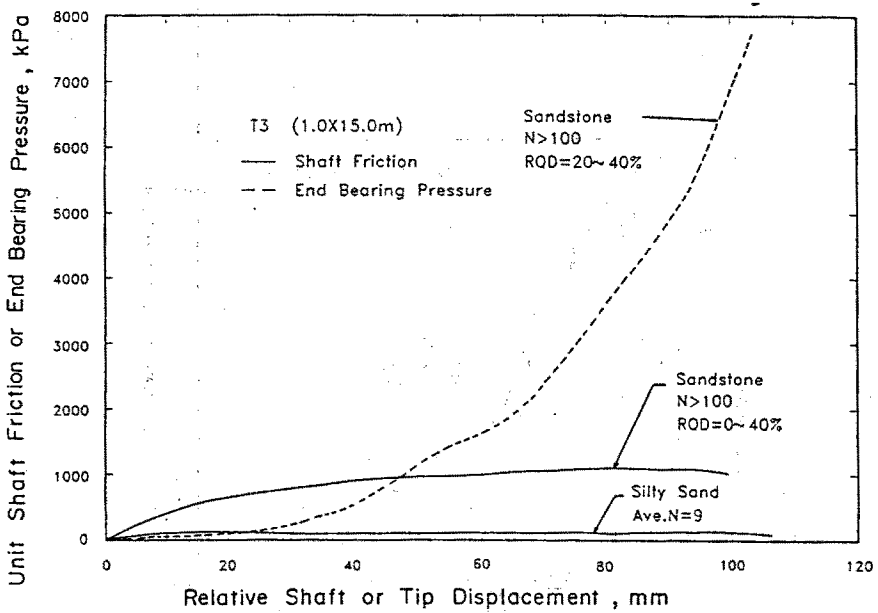
圖三 松山層分區情形



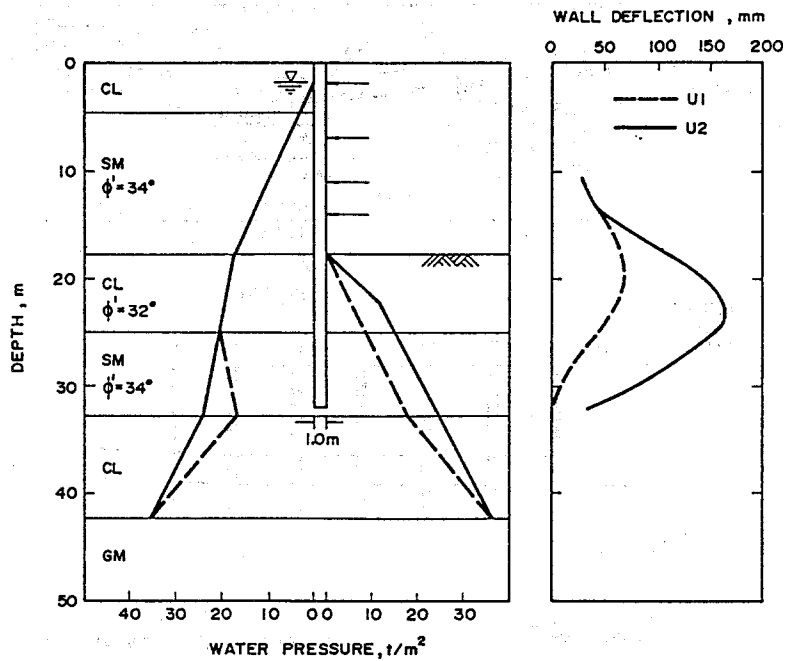
圖四 台北盆地地下水位洩降及相關之地表沉陷



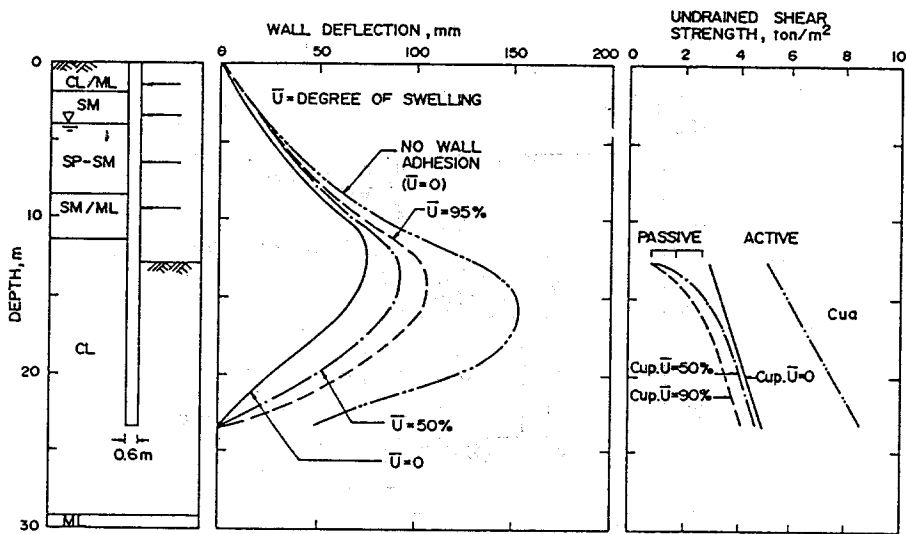
圖五 台北盆地地下水位回升結果



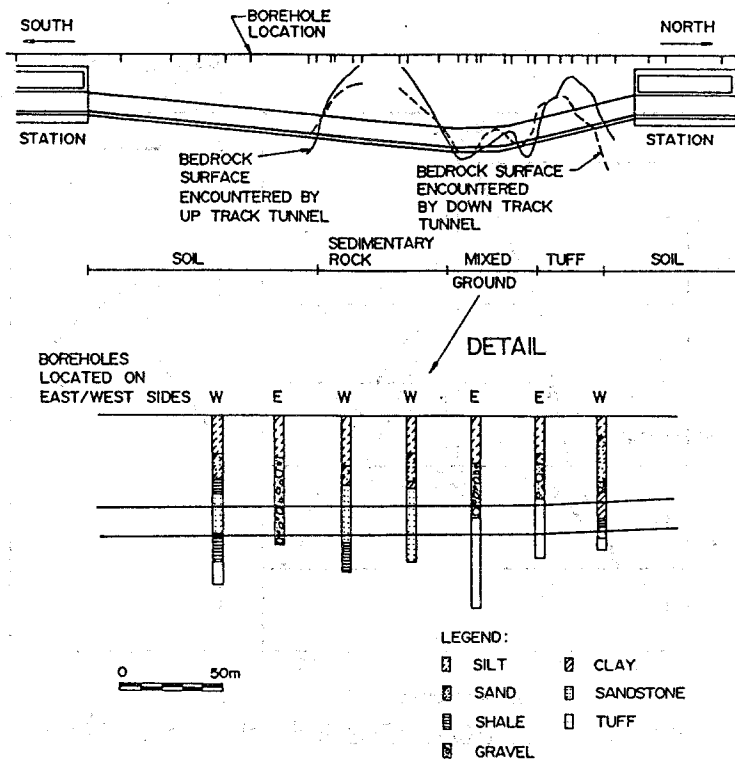
圖六 木柵線T3基樁載重傳遞曲線(Moh et al., 1993)



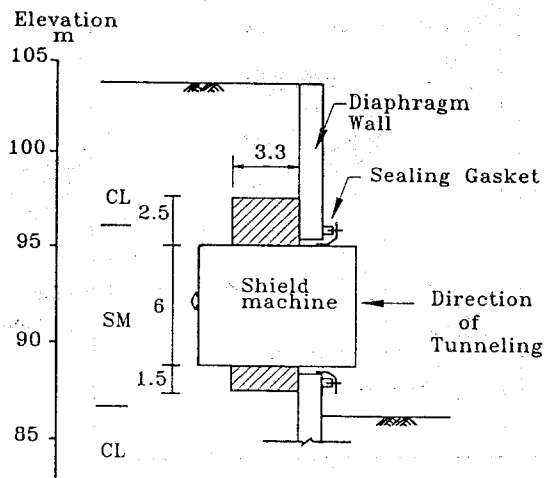
圖七 水壓力對壁體變形量之影響(Moh et al. , 1989)



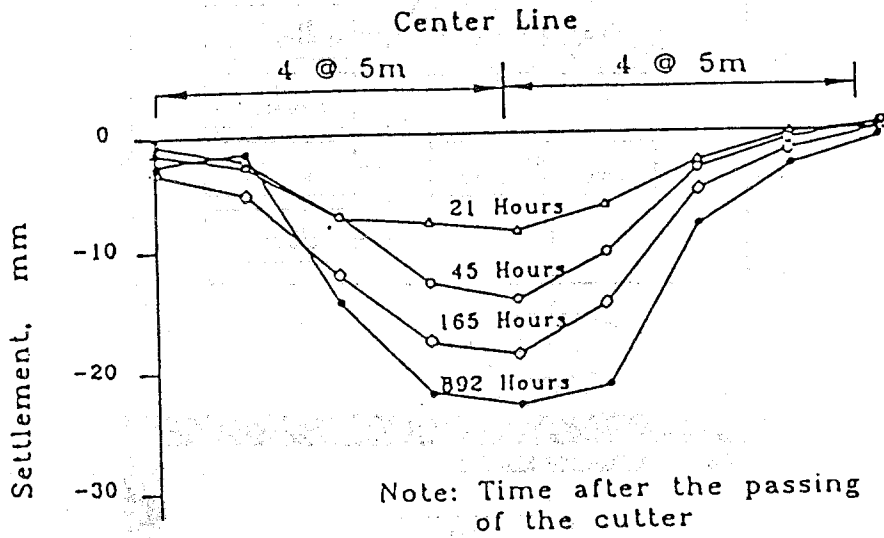
圖八 回脹對壁體變形量之影響(Chin et al. , 1991)



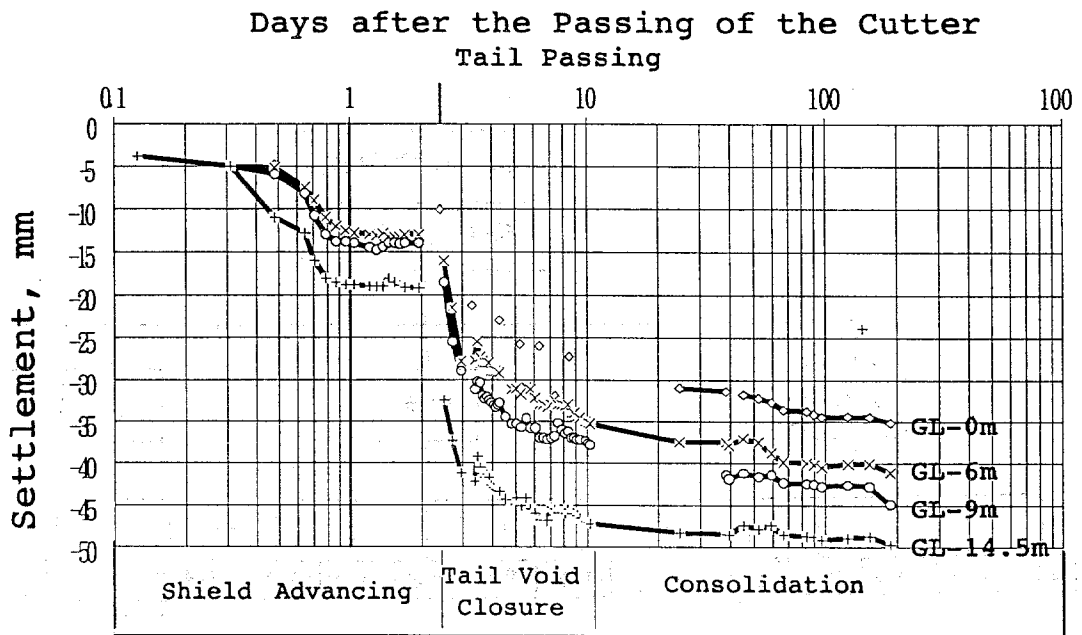
圖九 台北捷運系統隧道沿線地質條件之變化情形



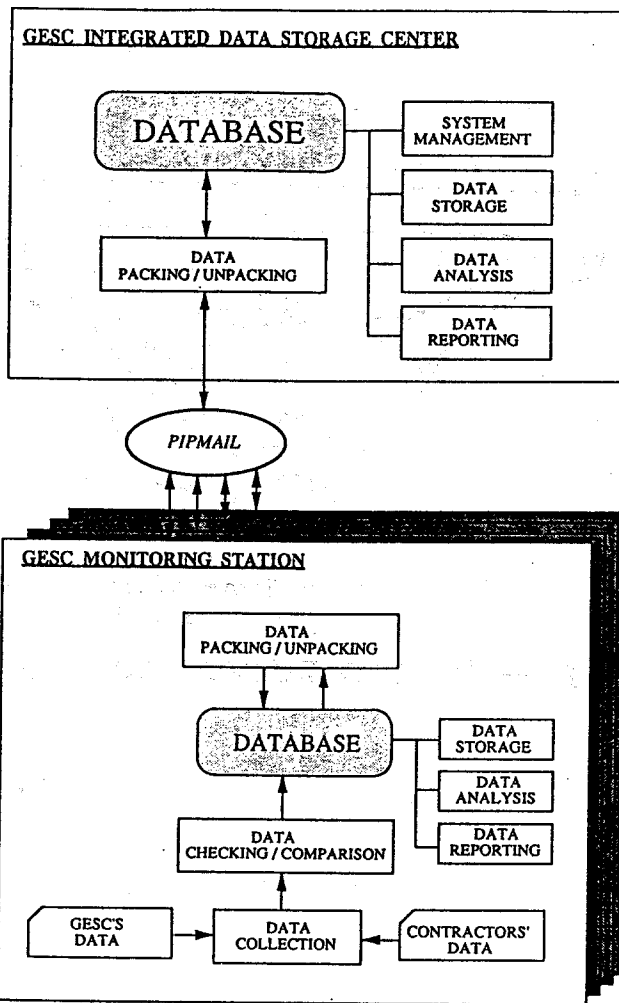
圖十 出發井之地盤改良



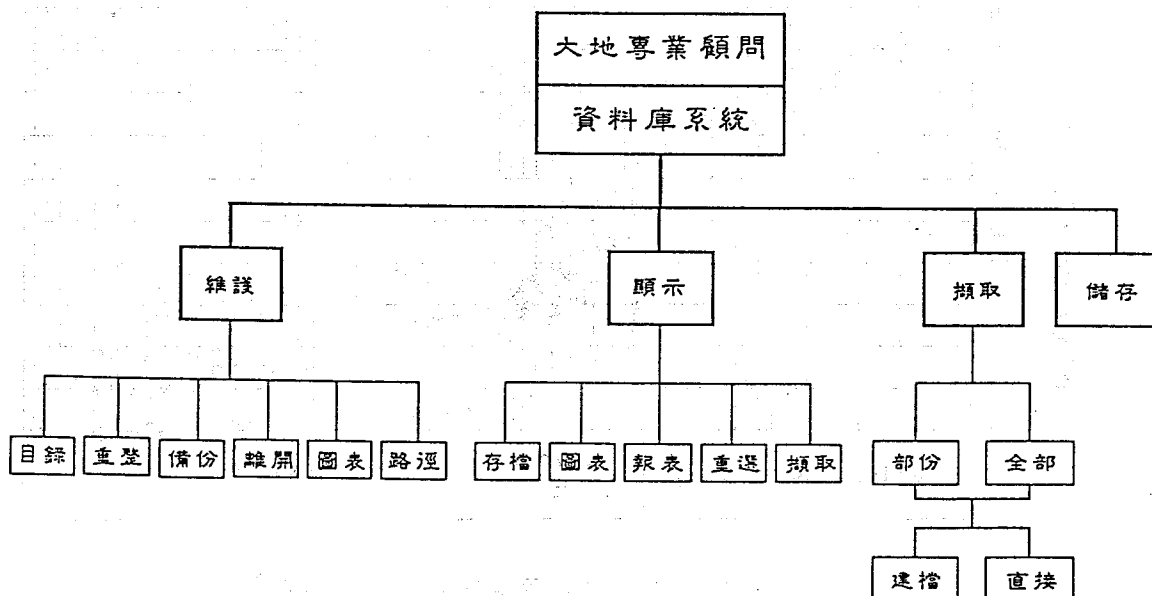
圖十一 CH218標B1斷面潛盾隧道上方之地表沉陷量



圖十二 CH218標B1斷面隧道中心上方之沉陷量



圖十三 台北捷運系統大地監測工作之資料處理流程



圖十四 系統之功能圖

表一 台北盆地沉積土層性質

FORMATION		THICKNESS(m)		SOIL DESCRIPTION
TOP SOIL (CL,CL/ML)		1-6		YELLOWISH BROWN CLAY
SUNGSHAN FORMATION	LAYER VI (CL/ML)	2-8	40-70	GRAYISH BLACK CLAYEY SILT
	LAYER V (SM)	2-20		GRAY SILTY FINE SAND
	LAYER IV (CL/ML)	6-29		GRAY SILTY CLAY
	LAYER III (SM)	0-19		GRAY SILTY FINE SAND
	LAYER II (CL/ML)	0-19		GRAY SILTY CLAY
	LAYER I (SM)	0-15		GRAY SILTY FINE SAND
CHINGMEI FORMATION		0-200		YELLOWISH BROWN GRAVEL
HSINGCHUANG FORMATION		0-120		GRAY TO YELLOWISH BROWN SANDY CLAY WITH OCCASIONALLY INTERBEDDED THICK GRAVEL LAYER
TERTIARY SEDIMENTARY ROCK (VOLCANIC ROCK IN PEITOU, SHIHLIN, AND THE VICINITY OF KUNGKUAN).				

表二 台北捷運系統深開挖設計準則(土木工程設計手冊, 1992)

Failure Mode	Factor of Safety
Inward Yielding	1.50
Base Heave	1.50
Piping or blow-in	1.25
Flotation:	
During Construction	1.03
Permanent Condition	1.07

表三 台北捷運系統使用之監測儀器種類

