

# 國內應用實例 – 台北捷運潛盾施工和鄰房保護地盤改良案例

黃南輝

亞新工程顧問公司副總經理

## 前言

一般而言，捷運工程都會有相當長的路段是在地下興建，而且工程內容包含深開挖、隧道及各式基礎，所以是大地工程師可以發揮長才之地。而由於大多數的都會區都是位於沖積層之上，地質軟弱，地下水位高，有賴地盤改良以為輔助方能順利施工。台北盆地之地質軟弱不亞於其他都會區，在台北捷運施工過程中，自然有相當多應用地盤改良工法之案例，足為日後施工之參考。

地盤改良可以討論的子題甚多，限於篇幅，本文僅能就其成效進行探討，而不對工法本身進行介紹。事實上，『地工雜誌』有好多期專刊專門介紹各式地盤改良工法，這方面的資料已經相當豐富，勿庸重複。

地盤改良在捷運工程之應用基本上可分為止水、改善土壤強度以及扶正建物等三種用途。而以施作對象而言，又可分為：開挖、隧道及建物。本文僅針對隧道段的地盤改良進行探討，其中包括隧道段建物保護措施的介紹。

## 一、 台北盆地地質狀況

介紹台北盆地地質狀況的文章可說是汗牛充棟，相信大多數的讀者對台北盆地的地質狀況也都耳熟能詳，但為了本文的完整以及讀者的方便，在此仍對台北盆地的地質狀況略為介紹。台北盆地在四、五千年前還是一個大湖，其後因為海平面下降、湖底顯現而成為一個盆地。在盆地的表面是一層厚約 50 公尺的沉積層，稱為松山層，松山層有六個次層，李咸亨教授根據這六個次層的分布，將台北盆地分為 22 區〔李咸亨，1996〕，其分布情形與已完成的捷運初期路網以及已核定的長期路網表示於圖 1。松山層之下是景美礫石層，再下是新莊層。地質學家對景美層與新莊層界面的認定尚乏共識，所以景美層的厚度並無定論。以工程眼光而言，因為景美層是一個很好的承載層，樁基礎貫入景美層的深度很少超過 10 公尺，所以景美層的厚度無關緊要。而事實上，因為在礫石層中施作樁基礎相當困難，要想貫入再深，既不容易也不經濟。

特別值得一提的是，景美層是一個含水量極為充沛的貯水層，在 70 年代以前，自來水尚未普及，景美層是台北市民民生用水以及工、農業用水重要的水源。由於超抽，水頭不斷下降，總量竟達 40 公尺之多。自翡翠水庫完成後，自來水供水日漸普及，而政府也立法禁止抽取地下水，景美層的水頭才日漸回升，目前已回升了 35 公尺左右，而且在繼續回升中〔參考圖 2〕。景美層水頭的回升對深開挖的影響極為深遠，以北門地區〔T2 區〕而言，抵抗土湧及管湧的安全係數已大為降低，以抵抗土湧安全係數 1.25 而言，安全開挖深度至少減少了 20 公尺，不可不慎。而事實上，捷運工程施工期間發生的幾次大型災變，景美層都是禍首。雖然在設計時，即曾對景美層特別注意而充分考量，但在施工時仍無法防範意外的發生。其中兩次災變是由於施工的瑕疵導致景美層中的貯水大量湧入工區，夾帶大量的泥沙而產生地陷。而另一次是由於潛盾機遭遇到浮木，擾動了地質改良區，而區內正巧有一支可能是早年抽水用的水井連通到景美層，形成水路，而發生了名符其實的“管湧”，導致大規模的地陷。可見景美層有如地雷，一觸即發，施工時必須步步為營，處處小心，否則很可能釀成大禍。

早年台北市的發展大都集中於台北車站附近，所以該地區之地質資料最為豐富。近二十年來，都市發展逐漸東移，沿仁愛路及忠孝東路延伸到敦化南、北路，以及市政府所在的信義計畫區。沿途超高大樓林立，而這些大樓的地下室越挖越深，工址調查也因此日益受到重視。加上木柵線、淡水線、南港線以及新店線的施工，淡水河以東的地質狀況已為工程界研究透徹。至於淡水河以西的地質資料，由於捷運板橋線〔含土城延伸線〕的施工以及新莊/蘆洲線在規畫、設計期間所進行的地質調查，也日趨完備，於是工程界對整個台北盆地的地質狀況已可充分掌握。

台北盆地的東西向及南北向地質剖面圖見圖 3 及圖 4。如前所述，松山層有六個次層，這六個次層在市中心台北車站附近〔T2 區〕層次最為分明。這六個次層由下而上排序，其中 I、III、V 三層屬砂性土壤，II、IV、VI 三層屬粘性土壤。圖 5 的水壓錐〔荷蘭錐〕試驗結果，頗能代表 T2 區的地質狀況及各次層之強度。由該圖可見，孔隙水壓之反應在粘土層及砂土層有明顯的差異，所以水壓錐是一個用以判斷次層以及次層中之夾層的理想工具。

由於台北盆地是由湖泊沖積而成，所以松山層中有大量浮木存在〔朱旭等，1997〕，幸好在設計時即曾在施工規範中要求承商採取因應措施，而新式潛盾機的切刃足夠堅硬，也有足夠的馬力切過浮木，所以在台北捷運施工時並未造成過多的困擾。只有中和線 CC277 標的潛盾機自頂溪站〔O16〕出發，在鑽掘至永安市場站〔O17〕前方 150 公尺處時，被浮木卡住不能動彈，在改良機首前方的土壤後，工作人員方能出到機首前方排除障礙，潛盾機也才能繼續前進〔Moh and Hwang, 1999〕。這是地盤改良的一個應用實例。與這相似的另一個案例發生在

新店線 CH218 標，上行隧道的潛盾機自台大醫院站〔R12〕出發，在前進約 50 公尺後，遭遇到一根早年地質鑽探完成後遺留下的鑽桿，雖然潛盾機切過這鑽桿，但是碎片卡住螺旋輸送機，以至無法出土，最後也是以灌漿改良盾首前方的土體，以封閉土倉，再由工作人員進入土倉排除障礙〔萬正台，1993〕。

松山層中尚有沼氣的存在，其量不大，而且零星分布〔胡逸舟等，1996；朱介平等，1997〕。由於在發現有沼氣的地區，施工規範已要求增加隧道中之換氣率以稀釋沼氣濃度，所以施工期間並無沼氣為害之案例。但據報導，倫敦地鐵某車站在營運期間曾因沼氣在密閉空間累積至臨界濃度而爆炸之情事，可惜目前手邊無相關資料，無法瞭解其細節。

## 二、台北捷運之隧道工程

如圖 1 所示，台北捷運之初期路網包括木柵、淡水、中和、新店、南港及板橋線等六條路線。木柵線是中運量系統，其它五條路線都是高運量系統。這六條路線之隧道工程〔不含尚未施工的內湖延伸線以及土城延伸線〕包括明挖覆蓋隧道全長 7,344 公尺〔雙線〕，以及潛盾隧道〔單線〕全長 36,859 公尺〔朱旭等，1999〕。另外在木柵線有各長 225 公尺及 487 公尺的兩段雙線隧道係以山岳隧道方式施工，在新店線有一段 222 公尺的雙線隧道係以新奧工法輔以壓氣工法完成，以及在南港線有一段短隧道〔南隧道長 54 公尺、北隧道長 44 公尺〕係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，不在本文討論之列，本文僅就以潛盾工法及新奧工法鑽掘隧道時所施作之地盤改良進行討論。

捷運各線之隧道起迄點以及掘進順序如圖 6 所示。圖中 1A、1B 等符號表示一號潛盾機所鑽掘之第一、二條隧道，2A、2B 表示二號潛盾機所鑽掘的第一、二條隧道，以此類推。由該圖可以數出所有已完工的六條路線〔不含尚未施工的內湖延伸線以及正在施工的土城延伸線〕一共有 62 條潛盾隧道，動用了 32 部潛盾機。其中只有新店線的 CH221 標所選用的兩部潛盾機是泥水加壓式，其他都是土壓平衡式。這是因為使用泥水加壓式潛盾機施工時，必須要有泥水處理廠將泥水中之泥沙顆粒分離，才能合乎排放標準，而泥水處理廠占地頗廣，在都會區不容易找到合適的場地。CH221 標在淡水河邊有足夠的空地設置泥水處理廠，而該標共有四條隧道，以泥水加壓式潛盾機施工較為經濟，所以選用了泥水加壓式潛盾機。這兩部潛盾機自中和線的通風豎井出發，在到達新店線的古亭站〔G10〕後，在工作井內轉向向南推進至台電大樓站〔G9〕。由於這兩部潛盾機是由中和線的通風豎井出發，為方便起見，計入中和線統計，不再在新店線中重複計入。

### 三、地盤改良在潛盾隧道工程之應用

如圖 7 所示，在以潛盾機鑽掘隧道時，地盤改良可以用在以下幾種狀況〔陳耀維等，1999〕

發進端及到達端  
連絡通道〔橫越道〕及集水坑  
重疊隧道段  
建物保護

以下僅先就前三個主題擇要介紹，地盤改良在建物保護方面的應用將留在第五節討論。

#### 3.1 發進端地盤改良

如圖 8 所示，當潛盾機出發時，必須破除工作井之連續壁，此時有賴地盤改良以固化鏡面前方及四周之土壤使其有足夠的自立性，以抵抗壁外土體之推力，同時阻止地下水之入侵。在過去，改良體的長度通常是潛盾機之長度再加上 2 至 3 公尺，這樣的話，在盾首抵達改良區末端時，盾尾已至少有 1 至 2 環環片安裝完畢且背填灌漿已經將盾尾空隙密封，否則的話，地下水可能會順著機殼與土壁間之空隙進入工作井。台北捷運的大部份承商在出發井鏡面上安裝有止水墊圈以阻止地下水之入侵。一般而言，連續壁厚度都在 1 公尺以上，潛盾機發進時，先敲除部份連續壁並切除鋼筋，只留下約 10 至 20 公分的混凝土，才將潛盾機推進壁內。如圖 8 所示，此時止水墊圈已將潛盾機機首緊緊包住，在確定間隙已經封閉，安全無慮後再由潛盾機切穿這最後約 10 至 20 公分之連續壁，進入地盤改良體。所以只要止水墊圈設置良好，能有效地阻止地下水的入侵，出發端之漏水機率相當低，地盤改良區倒並不一定要比潛盾機長。

改良後的土體強度應適當，不宜太高，如果改良後的土體強度太高時，潛盾機可能難以推進，強行推進會造成切刃損壞。這情況曾發生在淡水線 CT201A 標〔參考圖 9〕的上行隧道，在潛盾機自台大醫院站出發，機首進入改良區後，每天只能前進幾十公分，而切刃因過度摩擦而生熱，必須以冷水注入土倉使其冷卻，機內溫度也升到四十幾度，十分難耐。當機首到達改良區尾端時，由於介面不平整，形成混合介面〔mixed face〕，大量地下水，夾帶土、砂進入土倉，而在機首前方造成地陷。由於地面有一層混凝土鋪面，當時並無異狀，直到第二天大地專業顧問的監測人員進行複檢作業時，找不到裝在地表下的土中沉陷桿時，才發現地下已有一個大洞。為避免這類問題發生，如圖 10 所示〔陳耀維等，1999〕，有

些承商將改良區分三段施作，緊靠連續壁的第一段是以高壓噴射灌漿完成的實心改良體，第二段是以高壓噴射灌漿完成的空心改良體，而尾端的第三段是以低強度灌漿完成的改良體，至於其是否空心並不重要。這樣的話，尾端改良體的強度與區外未改良的土體強度差異不大，潛盾機在穿過兩者之介面時能平順地推進，並且維持盾首前方土壓之平衡。更重要的是，出土量與潛盾機所切削的土量相當，不致失衡。

表一表示台北捷運各施工標發進端地盤改良的範圍。有幾個施工標的改良區因為兩隧道重疊而加長。除了這些標之外，以 CN257、CN258 及 CN259C 三標的改良體為最長，達 10 公尺。潛盾機自鼻尖至盾尾的長度，自 6.27 公尺至 7.45 公尺不等，大部份的改良體都超過潛盾機的機身長度，但也有相當多標的改良體長度較潛盾機的機身長度為短，可見承商對風險之認知以及所願承擔的風險有相當大的差距。事實上，由於在潛盾機鑽穿連續壁時，其土倉內已注滿泥漿而且已加壓可以支持盾首的水土壓，所以地盤改良體的穩定度並不是主要的顧慮，止水才是改良體的首要任務。如果鏡面四周都是粘性土壤時，改良體的確不需要太長，一般而言，只要兩排高壓噴射樁即已足夠。

由於潛盾機的鼻尖突出切刃盤 20 至 30 公分，而切刃盤長度也有 30 至 40 公分，所以在出發時，潛盾機機殼最多只能進入連續壁 30 公分，止水墊圈是否能確實包住潛盾機不無可疑。尤其是當隧道深度過深，地水水水壓很大時，止水效果十分可慮。板橋線 CP261 標下行隧道潛盾機自龍山寺站〔BL5〕出發往通風豎井 B 方向掘進時，為求萬全，承商在工作井鏡面四周加裝長約 40 公分的鋼套管，再將止水墊圈裝在此鋼套管之上，如此可以增加貫入部的縱深〔白肇豐，1997；朱旭等，1997〕。而該潛盾機在出發後，也的確有湧水的狀況發生，承商將潛盾機迅速推入鋼套管與止水墊圈密接，再在土倉內加壓，有效地阻止了地下水的入侵。其後再自機首灌漿孔注入止水材料填塞水路，確認安全無慮後，方才繼續掘進。

板橋線 CP262 標上行線潛盾機自通風豎井 A 出發向 CP261 標的通風豎井 B 掘進時，曾用冰凍工法改良出發端鏡面附近之土體，成效良好〔Ju, Duann and Tsai, 1998；朱旭，1997〕，可惜限於篇幅，無法在此詳加介紹。

### 3.2 到達端地盤改良

到達端情況與發進端的情形並不相同，如圖 8 所示，止水墊圈是在連續壁的內側，當機首貫穿連續壁時，止水墊圈尚未與潛盾機接觸，因此無法發揮止水作用，如果改良體長度不足，地下水極易沿機殼與土體間間隙侵入工作井，夾帶泥砂而引起地陷。所以到達端之改良區有必要較潛盾機長上 2 至 3 公尺。這樣的話，

在潛盾機尚未穿破連續壁之前，機尾已有一兩環環片在改良區內而且背填灌漿已經完成，足以阻絕水路。由於在潛盾機機殼與止水墊圈接觸時，最危險的情況已經過去，所以是否有止水墊圈並不重要。有好些施工標將機殼棄置在隧道出口之處，如果沒有後續的鑽掘工作的話，這不失為明智之舉，因為機殼只能當廢鐵處理，其價值甚低，不如留在隧道內，省去不少煩惱。

表二表示台北捷運各標到達端改良區之尺寸。新店線的 CH218 標、南港線的 CN256 標、板橋線的 CP263、CP264 標、以及中和線的所有三個標都有潛盾機在完成任務後將機殼棄置在隧道之內之情事。雖然這些標的地盤改良體都相當的短，並沒有發生湧水現象。有些標是因為兩隧道在垂直向重疊，所以改良區特別地長。其他標中，改良體長度最長者屬中和線的 CC276 標，全長 12 公尺。新店線的 CH221 標次之，全長也有 10 公尺。改良區較潛盾機為短的施工標有南港線 CN253B、CN256、板橋線 CP263、CP264、以及中和線 CC275 等標，而在這些地方大都曾發生漏水現象，幸不嚴重。

板橋線 CP261 標承商在上行隧道之潛盾機到達龍山寺站〔BL5〕西端工作井之前，在連續壁內側安裝隔艙，萬一有漏水、漏砂而情況難以控制時，可以及時封閉鏡面，在倉內加壓以便工作人員進入倉內進行止水工作〔白肇豐，1997；朱旭，1997〕。

### 3.3 發進端與到達端設計考量與試水

發進端及到達端的地盤改良一般是以高壓噴射灌漿施作，目前國內對改良體的厚度，大多依據日本 JSG 協會〔1991〕所發行的「Jet Grout 工法技術資料」一書，計算其彎曲應力以為檢核，另外需檢核滑動破壞〔圖 11〕，但一般而言，滑動破壞不控制設計。發進端與到達端的考量因子及假設並不相同，因為設計不是本文之重點，不擬在此多加討論。如前所述，如果是使用土壓平衡式或者是泥水加壓式潛盾機的話，改良區的強度並不重要，止水才是關鍵，尤其是當鏡面位於砂礫層或靠近卵礫石層時，改良區一定要有足夠的長度及厚度，以確實能達到止水的目的。在決定改良區厚度時，應考慮鑽桿可能會偏離預定位置以及高壓噴射樁是否能如預期成形等因素，而採較為保守的假設，因為萬一漏水，其所導致之困擾及財務與時間之損失不貲，因小失大，頗為不值。

地盤改良通常都是在工作井開挖之前完成，以免灌漿動作會對連續壁及支撐系統產生額外的荷重。在工作井開挖過程中，連續壁的變形可能會在壁體與改良體之間造成間隙，而形成水路。所以在連續壁破除之前應先進行鑽孔以測試是否有湧水之顧慮。如果滲流量超過管理值時，應先以化學灌漿阻塞水路。這雖是例行工作，也必須謹慎從事，並且應有應變計畫，萬一發生湧水時可以迅速應變，否則

這動作本身就具高危險性，很可能造成難以挽救的後果。

### 3.4 連絡通道〔橫越道〕的地盤改良

連絡通道介於上、下行兩隧道之間，作為平時維修及緊急時人員、乘客疏散之用，因其施工空間小，一般係在兩條隧道完成之後，方才拆除環片，以人工或小型機具進行挖掘，待整條連絡通道挖通後再構築永久結構體。由於土質軟弱，必須在通道四周進行改盤改良，在挖掘時才有足夠自立性及止水性。台北捷運各標連絡通道改良區之尺寸彙整於表三，其各代表符號見圖 12。由於連絡通道大都位於交通繁忙、管線密布的馬路下方，地盤改良施作不易，改良的效果不是很好，就筆者所知，滲水情形相當普遍，幸好由於斷面小，長度不長，容易搶救，並未聽說有過意外發生。設計規範原來規定在隧道段每 300 公尺就要設一連絡通道。由於有幾次災變的發生，警覺到在鄰近景美層的地層進行環片破除以及挖掘的動作風險極高，而有兩條連絡通道不但接近景美層而且位於淡水河行水區下方，一旦發生災變，後果不堪想像，因此將這規定放寬，將這兩條連絡通道移到較為安全的地點設置，這是題外話。

連絡通道常會與集水坑在同一位置。在這情形下，地盤改良區的範圍勢必要增加。由於集水坑的大小不一，其與連絡通道的相對位置也不相同，所以都是個別考量，其設計並無定則。

### 3.5 重疊段的地盤改良

一般而言，兩隧道間之淨距若超過隧道之直徑時，兩者間可以假設無互制作用，若小於一個直徑時，則應考慮兩者間之互制作用，在鑽掘第二條隧道時要考慮保護已完成的第一條隧道。傳統的保護方法是在第一條隧道四周，進行地盤改良以減少第二條隧道鑽掘時對第一條隧道的影響。或者甚至在第二條隧道四周也進行地盤改良則更為安全。地盤改良的目的之二在減少地表沉陷，由於鑽掘第一條隧道時會造成周遭土體的擾動，增加第二條隧道鑽掘時隧道上方之沉陷量。當兩隧道十分相近時，兩條隧道的沉陷疊加而成的沉陷槽相當地陡，對位於隧道上方的結構物十分不利。如果兩條隧道上下重疊時，情況更為嚴重，通常對兩條隧道都會進行地盤改良〔參考圖 13〕，以求施工順利並確保隧道本身及隧道上方建物之安全。

重疊段的地盤改良設計方法並無定則。由於技術之進步，以土壓平衡式或泥水加壓式潛盾機鑽掘隧道對周遭土體之擾動已經大幅降低，地盤改良的必要性大可重新檢討。如表一及表二所示，台北捷運施工中，有相當多的施工標並未在重疊段施作地盤改良，文獻中也不乏未經改良而施工順利的案例可以參考。從技術觀點

來看，筆者認為，只要在施工時加倍小心，精確地控制潛盾機的前進方向，避免蛇行，確實施作背填灌漿，加裝自動監測儀器以連續監測已完工隧道之位移及變形即可，如有必要還可以以內撐的方式確保其安全。但是反過來說，地盤改良可以降低風險，在鑽掘第二條隧道時，顧慮較少，效率可以提高，所付出的費用並不全然浪費。何優何劣，見仁見智、難以斷言。

#### 四、地盤改良在新奧工法施工之應用

如前所述，在新店線有一段長達 222 公尺的雙隧道是以新奧工法輔以壓氣工法構築。另外在南港線也有一段短隧道〔南隧道長 54 公尺，北隧道長 44 公尺〕是以新奧工法輔以地盤改良構築。而事實上，所有的連絡通道都是以新奧工法輔以地盤改良構築，只是斷面較小，長度有限而已。本節地簡單介紹新店線及南港線這兩段隧道施工期間所進行的地盤改良作業及其成效。

##### 4.1 新店線 CH221 標 – 台電大樓站〔G9〕至公館站〔G7〕

這一段短隧道位於羅斯福路下方，是以新奧工法施作，並以壓氣工法作為輔助〔朱旭等，1999；楊國榮等，1997；黃敏祥，1997〕。如圖 14 所示，在挖掘過程中，因為各種原因曾在多處進行地盤改良。首先，在南、北兩端工作井外側的〔圖中 A、B 兩斷面〕地盤改良是以二重雙栓塞管灌注水泥/皂土漿液後，再注入 CW-3C 有機系矽膠溶液止水，以預防在敲除連續壁時產生漏水、漏砂現象。其次，在此路段的北端〔圖中 C 斷面處〕有一橫坑，其目的在連通兩隧道，使兩隧道可以共用同一部壓縮空氣機機組。該橫坑之南、北兩側的地盤改良是以 JSG 高壓噴射灌漿施作以增加兩隧道間土體之穩定。橫坑兩端的上、下行隧道上方是以二重管灌注 CW-1 無機瞬結灌漿劑以增加隧道頂部的穩定度，否則由於應力集中的關係，該兩處很容易產生剪力破壞。這些都是在鑽掘前即已考慮到的必要措施。

圖 15 表示施工步驟：(1)構築工作井並安裝壓縮機，(2)挖掘橫坑，(3)挖掘上行隧道，(4)挖掘下行隧道、(5)完成上行隧道橫坑以北部份。在施工過程中，發生了幾件出乎意料的事件，必須以地盤改良來因應。如圖 16 所示，當年在構築新生南路人行地下道時可能是用鋼版樁擋土，在地下道完成之後，通常是會將鋼版樁拔除，所以在地下道下方留下兩道槽溝。在鑽掘上行隧道時〔步驟 3〕，壓縮空氣順著這兩道槽溝，自地下道〔圖 14 中 D 斷面〕底版之縫隙沖出，大量地下水及泥漿湧入地下道，工程因之停頓將近 4 個月之久，在以水泥及皂土填注孔隙、再以 LW 及 CW-1、CW-2 溶液在地下道四周注入以止水後方才復工。在挖掘下行隧道時〔步驟 4〕，有礫石出現在開挖面，壓縮空氣大量逸失，氣壓難以維持，承商除以二重管在隧道頂部〔參考圖 17〕灌注 LW 漿液外，並在下行隧道之三

個斷面以及外側〔圖中 E、F 斷面〕以二重管灌注 CW-1 溶液以形成阻絕壁以減少壓縮空氣的漏失。

該隧道之採用新奧工法可說是一個大膽的嘗試，純從技術觀點而言，該隧道的完成証明了新奧工法在軟弱地盤的可行性，在台灣的隧道史上可說是一個重要的里程碑。可惜的是，有些施工人員因解壓不當而得了潛水伏病，引起相當大的風波，實在是美中不足。而且在施工過程中曾發生三起意外，第一次意外是人行地下道的漏水、漏砂，已如上所述。第二次意外是因為瓦斯管漏氣而引起氣爆，引起附近居民恐慌。最後一次意外是因為變壓器故障而造成停電，隧道內壓縮空氣氣壓自 1 個大氣壓陡降到 0.25 大氣壓，地面明顯下陷，隧道之安全岌岌可危，幸好能及時恢復供電，轉危為安，可說有驚無險。雖然這三次意外都與工程無關，但也突顯以壓氣工法進行鑽掘隧道的高風險，難免使來者卻步。其實由於這兩條隧道位於松山 V 次層中，而該層係砂性土壤，透水係數相當地高，在這一路段又特別地厚〔參考圖 4-台北車站南方約 3 公里處〕，所以在這一路段以壓氣工法鑽掘隧道並不理想。據報導，在施工過程中，壓縮空氣四處流竄，在雨天，距工區 200 公尺之外都可以在路面見到氣泡，幸好除此之外並沒有發生其他災害。若是在東區〔圖 3〕或北區〔圖 4〕施作的話，除了少量砂土層夾層外，其餘都是厚厚的粘土層，透水度低，壓縮空氣不致外逸，相信困擾會少很多。

#### 4.2 南港線 CN256B 標 – 基隆路車行地下道至市政府站〔BL13〕

這一段隧道位於忠孝東路下方，是以新奧工法施作，並以地盤改良作為輔助〔陳伯興，1997；朱旭等，1999〕。如圖 18 及圖 19 所示，CN256 標承商以潛盾機鑽掘至車行地下道西側後，將機殼留在隧道之內。地下道下方之地盤改良單獨發包，在 CN256B 標承商進場時，地下道及其下方之地盤改良都已完成。地盤改良是以高壓噴射灌漿固化隧道四周之土體以維持壁面之穩定，其厚度如該兩圖所示。隧道鑽掘過程順利，南隧道上方地表沉陷小於 4 公分，北隧道因為有管線的干擾，灌漿無法確實，效果不良，需在兩側加打灌漿錨筋、頂部還需加鋼矢版以維持頂部之穩定〔參考圖 20〕，即使如此，隧道上方地表最大沉陷量仍高達 24 公分。無論如何，這兩條隧道的完成証明本工法之可行性，在交通繁忙的市區，不失為明挖覆蓋的一個替代方案。

### 五、以地盤改良作為建物保護措施之應用

如圖 21 所示，由於潛盾機之切削動作，在隧道前方的土體因解壓而會有下沉之傾向，這會導致隧道前方之地表沉陷。除此之外，由於潛盾機切刃盤之直徑較環片之直徑大上 14 至 16 公分，環片四周與切削後的壁面有 7 至 8 公分間隙，如果不能即時填塞，四周土體將會閉合而導致隧道上方之地表進一步下沉。隧道上方

的地表沉陷呈槽構狀，其值隨與隧道中心之距離增加而減少，而沉陷槽之斷面積與隧道斷面面積的比值稱為土壤漏失率〔參考圖 22〕，是評估鑽掘行為的一個重要指標。

現代的潛盾機，無論是土壓平衡式或者是泥水加壓式，只要控制得宜，都可以維持機首前方土體之穩定。一般而言，只要將土倉壓力係數維持在 0.5 以上，而且隨時保持出土量與被切削的土體體積之平衡，機首前方的土體就不至於有太大的位移，而因此所產生的沉陷量也就十分有限。絕大部份的地表沉陷可以歸咎於環片與土壁間之間隙之閉合。環片與土壁之間隙相當於 5.5% 的土壤漏失率，如果不予填塞而任其自行閉合的話，會產生 10 至 15 公分的地表沉陷。因此在環片一脫離盾尾即應馬上施作背填灌漿，及時填塞環片與壁面間之間隙。根據國內外經驗，如果控制得宜的話，土壤漏失率應可降至 1% 以下，而地表沉陷也可低於 2.5 公分。事實上，如果背填灌漿的壓力夠大，灌漿量夠多的話，甚至可以將地表頂起，這有相當多的實例可以佐證，但要冒環片受損的危險〔Moh and Hwang, 1997〕。台北捷運隧道的環片只有 25 公分厚，稍嫌單薄，又沒有二次襯砌，萬一受損，難以補救。如果環片有 30 公分以上的話，的確可以考慮用加大背填灌漿的壓力以及增加注入量作為控制地表沉陷的手段。

台北捷運隧道段的實測土壤漏失率一般都在 0.5% 至 2% 之間，平均約為 1.3%，其中 1% 發生在潛盾機通過後十天之內。隧道中心線上方地表沉陷多在 2 至 3 公分之間，甚少有超過 4 公分的情事，但各標之間差異甚大，顯然是受施工品質之影響〔楊國榮等，1995, 1996, 1997a；黃南輝等，1997〕。如果土壤漏失率能進一步控制在 1% 以下，以一般捷運隧道深度而言，地表沉陷應在 2.5 公分之內。因為沉陷槽相當地寬，只要建物的結構不是太差的話，這沉陷量是可被接受，不致影響結構安全。所以建物保護的第一要旨是確保施工品質，減少土壤漏失率，因為如下所述其他的保護方法不但耗費金錢，成效有限，而且有無法掌握的副作用，除非萬不得已，應儘量避免使用。

如圖 23 所示，依工法分，隧道段的建物保護措施包括二次灌漿、高壓噴射灌漿、雙栓塞管灌漿以及擠壓灌漿。二次灌漿是在潛盾機通過後，將水泥及皂土液自環片上的灌漿孔注入隧道上方土體以填塞孔隙、並擠壓土體以減少地表沉陷。其他的工法可以用在潛盾機到達之前施作以增加土體的強度，從而減少地表沉陷，或者用在隧道通過後以扶正建物。

## 5.1 二次灌漿

二次灌漿曾被台北捷運的好幾個施工標採用作為建物保護的方案，其成效並無定論，有成功的案例〔楊國榮等，1996；楊國榮等，1999；賴慶和等，1997〕，也

有不成功的案例〔闕河淵等，1996〕，成功與否相信除與地質狀況有關之外，更受施工品質之影響。二次灌漿應由有經驗的專業分包商施作，否則產生漏水、漏砂情事，反而有害無益。理論上，只要注入足夠的漿液，地盤沒有不隆起的道理。所以成效不彰的原因一定是因為注入量不足之故。有相當多的施工標的二次灌漿只施作四分之一，甚至八分之一的圓弧，也未盡力增加注入量，成效自然有限。因為台北捷運隧道上方的沉陷不是很大，所以在這方面並未嚴格要求，現場也未確實掌握所有施作細節，要深入探討在不同土層中注入量與地表沉陷之關係，資料並不充足。希望在高雄捷運施工時，能在規範上有較嚴格的要求，在現場也有較詳實的紀錄，以供探討二次灌漿的成效。

## 5.2 高壓噴射灌漿

在潛盾機到達之前，自地表以高壓噴射灌漿工法固化隧道四周之土體以減少地表沉陷，自然是可考慮的方案之一，而且有不少應用的實例。圖 24 表示 CN253B 標的兩條隧道在北門的東南角下方穿過，為保護北門的安全以高壓噴射灌漿所施作的地盤改良。在隧道穿越時，北門的沉陷微乎其微，所以說是相當成功〔闕河淵等，1996；Wong, Ju and Wu, 1997；吳沛軫等，1997〕。但在施作高壓噴射灌漿的過程中，北門的東南角顯示 3.5 公分的沉陷，不但美中不足，更值得警惕。

相當多的案例顯示，在砂土中施作高壓噴射灌漿，鑽孔動作極易造成沉陷，其量可達 5 公分以上〔Wong, Ju and Wu, 1997〕。而在粘土中進行高壓噴射灌漿極易造成地表隆起，其量常在 10 公分以上，甚至可能達到數十公分。而且由於灌漿壓力相當高，隆起發生十分快速，來不及因應，十分危險。文獻中也不乏因施作高壓噴射灌漿而導致鄰近地下室產生裂隙之案例。新加坡捷運 C108 施工標施工時，因為擔心隧道施工所導致地表沉陷會導致地下管線破壞影響電信通訊，甚至會造成股市中斷，茲事體大，因此在潛盾機發進之前，沿位於金融中心的 Robinson 路全面施作高壓噴射灌〔東行線改良區長 560 公尺，西行線改良區長 400 公尺〕，結果在施作時地表隆起達 55 公分，反而導致路基、人行道及地下管線嚴重受損，復舊費用高達卅萬英鎊，可謂弄巧反拙〔Buttling and Shirlaw, 1988〕。新加坡捷運第一期工程是在 1983 年開始，當時土壓平衡式或泥水加壓式潛盾機尚未普及，所以這一路段還是以傳統的潛盾機鑽掘，以壓氣工法作為輔助，地表沉陷介於 3 至 6 公分之間，若在今日，以土壓平衡式或泥土加壓式潛盾機施工，就大可不必如此大費周章，沉陷也會較小。往者已矣，但覆轍不宜重蹈。順利一提的是，新加坡捷運的另外一施工標〔C106 標〕也曾因為隧道通過一段舊河道，而以高壓灌漿進行全斷面地盤改良，因為上方是一塊空地所以未對地表隆起加以控制，最大隆起量竟達 1.6 公尺之多，可謂驚人，不可不慎〔Buttling and Shirlaw, 1988〕。

地表之所以隆起是因為鑽桿四周的土壤內擠而封閉了迴漿的通路，而下方孔穴因為壓力無從宣洩而有如吹氣球般地膨脹〔圖 25〕。理論上可以用大口徑套管維持迴漿的路徑，但是試驗結果不是很好。由於地表隆起情形嚴重，在新加坡捷運施工期間，專業廠商不斷地嘗試以不同機具及不同工法施灌，以探討控制隆起的方法〔Buttling and Shirlaw, 1988〕。最後發現可以用由上而下分次灌漿的辦法減少隆起〔參考圖 26〕。也就是說，在上方的改良體固化後才進行下方的灌漿，由於上方的改良體相當堅硬，鑽桿與土壁間的間隙得以維持，迴漿順暢，壓力自然得以宣洩。而每次只改良 2 公尺的長度，土體的膨脹率自然較小，但是這會增加相當多的成本及時間，很難受施工者之青睞。根據筆者瞭解，除新加坡捷運曾用於維多利亞橋橋基之保護外〔參考圖 26〕，並沒有其他實例。在台北捷運中和線也曾進行大規模的試驗，但是除了對隆起的機制有更多的瞭解，也發展了許多數學模式外，並沒有研究出新的減少地表沉陷或隆起的方法〔黃立煌等，1994；胡紹敏，1994；鍾毓東等，1994〕。所有的試灌得到的共識包括：〔1〕三重管優於二重管，而二重管優於單重管；〔2〕斜灌效果普遍不佳。

有一點要特別一提的是，地表隆起與灌漿次序與灌注之孔數有關。以上述新加坡 C108 標為例，在試灌時只有三孔，隆起量只有 2 公分，低於規範要求，各方都很滿意，沒想到後來在實際施作時問題越來越嚴重，幾乎有不可收拾之感，所以說試灌結果並不足為憑。這在地工界不足為奇，樁載重試驗、地錨拉拔試驗等等，莫不如此，實作與試驗有相當大的差距，有賴安全係數以為安全之保障。

### 5.3 雙栓塞管灌漿

如圖 27 所示，CN251 標雙隧道穿越一棟地上 8 層、地下 2 層大樓下方，頂部與底版只有 6 公尺的間距。承商以雙栓塞管注入水泥皂土液〔CB〕以進行地盤改良以為保護〔闕河淵等，1996；朱旭，1997〕。在施作過程中，該建物的最大沉陷量為 0.8 公分，而在隧道穿越時，最大沉陷量不過 0.2 公分。該大樓底部是水箱兼筏式基礎，所以整體結構勁度相當地大，有助於減少沉陷。以目前的眼光來看，這兩條隧道上方還有 6 公尺的土壤，是否需要保護，值得爭議。

如同高壓噴射一般，施作雙栓塞管灌漿時，鑽孔動作一樣會導致地表沉陷，至於是否會導致地表隆起則要看灌漿壓力及注入量而定。與高壓噴射灌漿不同的是，因為壓力不高，地表不至於快速隆起，只要時時注意地表高程變化，隆起量的控制不是難事。

### 5.4 擠壓灌漿

擠壓灌漿是一個最值得爭議的建物保護方案。在台北捷運之前，在本地並無擠壓

灌漿之實例，所以是一個新的嘗試。擠壓灌漿的原理是將碎石、砂及水泥以高壓注入土中，以填充空隙，並壓密土壤。其目的可分為二：地盤改良與扶正建物。前者在使土壤強度增加，以期減少隧道上方之沉陷，姑且稱之為『地盤改良式擠壓灌漿』，後者在使土體產生隆起以頂升建物，姑且稱之為『上舉式擠壓灌漿』。兩者之施作方式大不相同〔參考圖 28〕，地盤改良式擠壓灌漿是在不同深度限量注入，由於漿材之坍度低，就地成形，不致四逸。其成品有如球形，球球相連，最後成品有如冰糖葫蘆。上舉式擠壓灌漿則是不限量注入，直至地盤隆起或建物頂升至預定高程為止，由於土壤的側壓力較垂直壓力為低，漿球理應如地球之形。但是為方便起見，以下仍假設漿球成圓球形以便於分析。

地盤改良式擠壓灌漿在美國有相當多的案例證明其可行性及實際成效〔Welsh and Rubright, 1994; Warner, 1982〕。但是在台北捷運新店線的 CH218 標及 CH221 標的試灌結果顯示其改良效果有限。比對試灌前後的 SPT 及 CPT 結果，發現只有在漿球附近不到半公尺處可以測到土體強度略有增加。超過這距離則絲毫感受不到灌漿的影響〔莫若楫等，1994；黃南輝等，1994〕。這實在不足訝異，因為在這幾次試灌中，每球只注入 134 公升的漿材〔詳本文第 6.2 節〕，計算冰糖葫蘆的直徑不過 60 公分，而其擠壓效果充其量與擠壓砂樁相同。如眾所周知，擠壓砂樁的效果只能及於樁身外一個直徑的距離，在這距離之外，改良的效果微乎其微。

淡水線 CT201A 標承商選擇在台大醫院站〔R12〕北方不遠處進行地盤改良以期減少隧道上方之地表沉陷。其方式是在上行隧道中心線兩側各 3 公尺處，自地表分兩排，每排五孔施灌，每孔在深度 8 公尺及 7 公尺處各注入 0.45 立方公尺的漿材〔參考圖 29〕。結果顯示，在隧道通過後，改良區的地表沉陷甚至比未經改良地區的沉陷來的更大〔Hwang, et al., 1995〕。一個 0.45 立方公尺的漿球，其直徑約為 1 公尺，不可謂不大，但對地表沉陷之減少仍無助益。這經驗與國外文獻的報導大相逕庭，但稍加思考就不難明白，台北盆地的松山第五次層砂質十分鬆軟，壓縮性相當地高，所以少量的漿材擠進土體，有如泥牛入海，無聲無息。國外的案例中，擠壓灌漿都是在遠較松山第五次層為緊密的砂性土壤中施作，效果較為明顯。而且就筆者所知，國外的案例中，絕大多數是以『上舉式擠壓灌漿』作為扶正建物的措施。僅有極少案例是以『地盤改良擠壓灌漿』來減少隧道上方之沉陷〔Backer, et. al., 1981〕。

至於『上舉式擠壓灌漿』以及土體隆起的機制將在第 6.2 節作進一步的探討。

## 5.5 討論

由於早年本地的隧道施工導致過多的沉陷，在台北捷運的設計階段，設計者根據

過去的經驗，過度高估地表沉陷，因此也建議了過多的建物保護措施。根據實測資料，台北捷運潛盾隧道上方的地表沉陷大多介於 1 至 3 公分之間，而土壤漏失率介於 0.5% 至 2% 間，平均約為 1.3%。這與過去的經驗相比較，已有可觀的進步，除了機具新穎以及掘進技術的提升之外，規範嚴謹、現場監造確實也是重要的因素。但這並不是表示我們已經趕上世界水準。筆者曾參加過多次國際會議，好奇地發覺日本的學者已不再討論地表沉陷。日本學者表示，因為在日本，隧道上方的地表沉陷已經控制在 1 公分以下，所以再也沒有討論的必要。可見我們還有相當大的改善空間。現在有各式各樣的電子儀器以及自動控制裝置，可以時時檢視土倉內之壓力，以與盾首前方之水土壓保持平衡，也能時時校正機首的前進方向，保證潛盾機不致偏離其預定位置，也就是說可以避免蛇行。未來如能加強管理，確信可將地表沉陷降低至 1 公分以下。這小量的沉陷量應不至於影響結構物之安全，所以未來應致力於工法之改進以及施工品質之確保，尤其是及時施作背填灌漿以及增加注入量。筆者要再次強調，無論以何種方式進行地盤改良，對結構物都會有或多或少的副作用，可能得不償失，非不得已，應儘量避免以地盤改良作為建物保護的方案。

## 六、以地盤改良作為復舊措施之應用

雖然台北捷運的施工期間長達十年，頗受非議，但放眼全世界，能在十年中同時完成六條路線的都市並不多見，何況這六條路線有三分之二穿行地下，而地質條件不良，工程難度極高。除了 62 條隧道之外，捷運之地下工程還包括 33 個地下車站、三個通風豎井以及其他以明挖覆蓋工法施作的捷運設施如轉轍段、機廠、地下街、行控中心等〔黃南輝等，1999〕。開挖深度超過 20 公尺的就有 20 個工地，其中三個通風豎井的開挖深度都超過 33 公尺。如此高難度的工程加上地質狀況複雜，災變難免，伴隨災變而至的是地盤流失以及建物受損。

### 6.1 緊急應變

每次災變過後毫無例外地會立即進行地盤改良以填實地盤，以免沉陷區擴大。在這情況下，工法及材料都不受限，只要能確實將鬆馳的地盤填實即可。因為台北捷運的設計經過層層審查，擋土系統之安全性毋庸置疑，排除了支撐挫屈以及土湧之可能性。絕大部份的災變都是因為意外湧水而起，災變過後，在逸水口則必須要考慮到所採用的工法能確實封閉水路，漿材的強度及止水性就變成十分重要。小規模的漏水可用一般的止水工法止水，但是大規模的湧水則必須妥為因應，穩紮穩打，才能萬全〔Moh, Ju and Hwang, 1997〕。應變過程中，時間是一個重要因素，任何漏水現象都不能漠視，必須在最短時間內止住，漏水情形常因時間的延誤而變成不可收拾。瞬間失控，而殃及鄰近建物之案例屢見不鮮。以筆者淺見，有許多止水灌漿的作法並不恰當。其一、機具不當，止水灌漿應該用低

壓灌漿機施作，而常見承商以高壓灌漿機施作，壓力控制不易，可能會破壞土體的完整，擴大水路，加劇地下水之流通，加上機具老舊，有些機具上甚至沒有壓力表或流量計，盲目施灌，令人在旁直捏冷汗。其二、當擋土牆漏水時，止水灌漿不宜在太靠近漏水口處施作，否則漿材來不及凝固就被帶走，除了浪費漿材之外，也浪費了寶貴的時間，漏水情形可能會因此而益形嚴重。常見承商在擋土壁後不足一公尺之處施灌，大量漿材自裂隙逸入工作區，不但可惜，壁後的泥沙也逐漸被淘空，情況會越來越嚴重，可謂欲速反而不達。最好是以兩、三部灌漿機在漏水處三、五公尺之外同時施作。在這距離處，水力坡降小，地下水流速慢，漿材容易凝結，效果較好。其三、應根據鑽探資料，研判地層變化及水流模式，在水路之上游施作止水灌漿，而不是盲目施灌。在一般地層中，因為重力的關係，大部份的水流是來自上方或側方，所以應在發現漏水的深度附近起灌，不必將鑽桿下得太深，以免浪費太多寶貴的時間。在這深度以下的滲流相對而言會較小，不太可能是問題所在，尤其是如果下方是粘土層時，更沒有施灌的必要。甚至於可以採用由上而下的灌漿方式施作，自高處起灌，再往下繼續施作，水流自然會將漿材帶到下方。如果水流來自下方時又當別論，如台北捷運的數次大型災變都是因為來自景美層的水由下而上湧入工區所致，在這情形下，止水灌漿應自下方起灌。但根據幾次慘痛經驗，萬一水路直通景美層，要將水止住幾乎是一個不可能的任務。唯一能減少災害的辦法是在區水注水以平衡水壓。但這後果十分嚴重，要有很大的勇氣才能下這決定。

由於來自景美層的水難以止住，新店線 CH221 標以及板橋線的 CP262 標的通風豎井都在發生災變以注水方式平衡井外水壓，再以冰凍工法封住漏水之鏡面。在這兩個案例中，也只有採用冰凍工法才有充分的把握能完全地封住出水口〔楊國榮等，1999a；Ju, Duann and Tsai, 1998；Hwang, et. al, 1998〕。由於冰凍的過程相當複雜，資料也實在太多，不是三言兩語可以交待清楚，所以不擬在此介紹。

## 6.2 擠壓灌漿以扶正建物

擠壓灌漿已經在第 5.4 節略為介紹。有好幾標的承商建議以擠壓工法使地表隆起作為扶正建物之方案，並進行先期試驗以驗證其成效。圖 30 表示新店線 CH221 標的試灌結果〔莫若楫等，1994〕，如圖所示，在這個案例中，承商一共施作兩孔採『地盤改良式』方式，自地表下 18 公尺至地表下 3 公尺之間，每半公尺注入 134 公升的漿材，一共完成 32 球，漿材總量為 4.3 立方公尺。在地表設有三個沉陷點以量測隆起量，初期這些沉陷點並無反應，直到注入點提升到松山第六次層時方才逐漸顯示隆起。隆起量隨與灌漿孔的距離增加而減少，距離灌漿孔 0.5 公尺的 SM16 沉陷點量得隆起量 23mm，距離 1 公尺的 SM15 量得 19mm 而距離 1.5 公尺的 SM14 則量得 13mm。而一星期後，地表回沉量超過這些隆起量，可說是前功盡棄。在灌漿初期地表無反應是因為松山五次層含鬆軟細砂，壓密係

數甚高，即使注入大量漿材也是泥牛入海，無聲無息。在注入點進入松山第六次層後，因為該層係粘土層，由於粘土的不排水行為，地表迅速隆起。其後，因為孔隙水壓隨時間而消散，地表又逐漸回沉。新店線 CH218 標承商也用同一工法進行試驗，結果十分類似〔莫若楫等，1994〕。

由於未能達到隆起的目的，新店線 CH221 標承商在第三孔改弦易轍，採『上舉式』方式在深度 8 公尺至 6 公尺之間，一共注入了 7 立方公尺的漿材，雖然地表出現不少裂痕，但是隆起仍是微不足道。其後新店線 CH219 標也以類似方式進行試灌，其結果見圖 31〔莫若楫等，1994；Moh and Hwang, 1997〕。在第一孔〔孔號 H2〕深度 10.2 至 11.5 公尺之間注入了 6 立方公尺的漿材〔漿球 H2-1〕，沉陷桿 D1 顯示地表僅隆起 1.5mm，傾度管 I1 顯示 6.5mm 側向位移，而傾度管 I2 並無任何反應。接著在深度 8 公尺處續灌，一共注入 3.8 立方公尺漿材〔漿球 H2-2〕，沉陷桿 D1 顯示地表隆起 15.8mm，傾度管 I1 顯示 30mm 側向位移，而最大位移發生在地表下 4 公尺處，遠較注入位置為高，而傾度管 I2 仍無反應。此時地表裂痕明顯增加。兩天後在第二孔〔孔號 H3〕深度 12 公尺處注入 14 立方公尺漿材〔漿球 H3-1〕，沉陷桿 D1 顯示地表隆起 2mm，傾度管 H1 在深度 1.5 公尺處破裂折斷，傾度管 I2 在深度 12 公尺處顯示 30mm 側向位移。試灌結束後，地表顯著回沉，前功盡棄。

上舉式擠壓灌漿驗證試驗也曾在中和地區進行，最大隆起量達 12 公分，回沉量僅為隆起量的 10%，可說是相當成功〔黃南輝等，1994〕。根據這些試灌結果，Moh 等〔Moh, et. al., 1997〕推論擠壓灌漿產生地表隆起的機制如圖 32 所示。在初期，漿量甚小，其作用只在擠壓四周之土體而成漿球，即所謂膨脹模式〔cavity expansion〕。當作用在漿球水平斷面的作用力夠大時，會產生錐狀破壞，將其上方的土體頂起，地表迅速隆起，稱為錐狀破壞〔conical failure〕。這點可從圖 31 所示傾度管之變形得到証實。H2-1 球之直徑約為 2.4 公尺，中心深度為 10.5 公尺，因為壓力不足以頂起其上方之土錐，所以只顯示膨脹模式。H2-2 球之直徑約為 1.6 公尺，中心深度為 8 公尺，雖然漿球較小，但因為深度較淺，錐狀破壞於是發生，傾度管變形最多之處也就是破壞面經過之處。由於土錐之頂升，地表隆起明顯。H3-1 球雖然最大，直徑達 3 公尺，但因為中心在深度 12 公尺處，仍無法頂起其上方之錐狀土體，只能展現膨脹模式，但是傾度管之上部在深度 4 公尺處明顯突出，錐狀破壞隱然若現。根據此一推論以及現場觀測結果，Moh 等發展漿球之直徑與注入深度之關係如圖 33 及圖 34 所示〔莫若楫等，1994；Moh et. al., 1997〕。前者適用於松山第五次層，而後者適用於砂礫層，雖然結果不盡相同，但趨勢則頗為相似。

擠壓灌漿曾用在板橋線 CP263 標以扶正一棟 4 層建物。如圖 35 所示，沿該建物騎樓一共有九根柱子，在每個柱子依照 i, a, b, c 的次序，分四孔注入 9 至 17.2 立

方公尺的漿材，總量達 127.7 立方公尺〔Wong, Shau and Chen, 1996〕。其施作方式是採『地盤改良式』，在每孔以 0.5 公尺間距，由下往上施灌。圖 36 表示每球之深度及直徑。圖 37 表示設在第 7 號柱子上的 SB507 號沉陷點的記錄，最大隆起量達 23mm。試灌結束後，僅回沉 5mm，頂升的目的於是達成。

如圖 37 所示，在前三孔〔7i, 7a, 及 7b〕注入時，該柱子並未顯示任何隆起，只在最後一孔〔7c〕注入深度提升至 4 公尺時方才顯示隆起。而根據圖 34，在深度 4 公尺處，漿球的直徑約為 1 公尺方能產生錐狀破壞。位在該深度所注入的漿球的直徑僅有 0.8 公尺。此外，中和線的試灌是在空地上進行，而據推估，在這案例中，每根柱子承受 32 噸的載重，而該漿球上方的土錐重量不過 50 噸左右，所以要將土錐及柱子同時頂升，漿球的直徑應遠超過 1 公尺才是。而事實上，如圖 36 所示，在第一孔〔7i〕的最後幾球的直徑都是 0.9 公尺，即使提升到深度 3 公尺，地表也仍未見隆起。所以可見前面幾孔的漿球有圍束作用，在最後一孔施作時，雖然漿球直徑較前為小，但是壓力提升，所以總作用力還是較前為大，足以產生錐狀破壞。圖 37 同時顯示，在錐狀破壞發生後，隆起極為迅速，每注入一球就有 6mm 的隆起。

### 6.3 脈狀灌漿以扶正建物

圖 38 顯示板橋線 CP261 標以脈狀灌漿頂升一棟 12 層大樓的案例。承商先在該大樓的東側及南側施作一排高壓噴射樁以形成一道隔牆以免其後進行脈狀灌漿時漿液逸出界外。之後，以四部灌漿機將 LW 漿材注入筏基下方，一共注入了 100 立方公尺的漿材，才將大樓的東南角頂升了 12.7 公分〔Wong and Chen, 1997; 朱旭, 1996〕。這次實作經驗顯示，脈狀灌漿確實可以達到扶正建物的目的，但不能以單機在一點施作，而必須以好幾部灌漿機同時施作，這樣的話才有足夠的上舉力。這是一個簡單的物理原則，如圖 39 顯示，如果要頂升一棟建物，重要的是能克服其自重所產生的力矩。這經驗與民國 76 年在高雄市扶正一棟 12 層的經驗相類似。在這個案例中，也是動用了 4 至 6 部灌漿機同時施灌，分兩階段一共注入了 12,700 包水泥以及 190 公噸的水玻璃，最大隆起量為 42 公分〔周功台等, 1989; 廖鴻鈞等, 1992〕。

### 6.4 討論

如圖 40 所示，擠壓灌漿較適用於頂升獨立基腳或小型結構體，而其施作位置越接近基腳越有效，因為漿材的坍度低，沒有漿液四逸的顧慮，也正因為如此，擠壓灌漿不適於頂升筏式基礎。如圖 41 所示，一般筏式基礎都位在地表下五公尺以下，而且很可能兼作水箱，所以只能在其側方以斜孔施灌。因為擠壓灌漿所加之於結構的力量只侷限於一個很小的範圍，可以視為點作用力，除非很多部機具

同時施作，否則可能會破壞筏基結構。即使如此，只頂升外側的柱位而內部的柱位無法頂升的話，一樣會破壞筏基。如圖 42 所示，如果硬要以擠壓灌漿頂升筏基的話，只有在深層注入，使其效果能及於內部的柱位，產生比較均勻的隆起，以減少對筏基結構的影響。但是由 5.4 及 6.2 兩節所敘述的案例看來，要在深層製造隆起十分不易，需要極大的壓力以及極大量的漿材。另外一個要注意的是，應避免在粘土層中施作，否則隆起迅速，但不久即回沉，而且回沉量可能會超過隆起量，得不償失。

如圖 43 所示，筏式基礎以脈狀灌漿頂升較為適宜，因為漿液可以四散，壓力可以作用在一個較大的面。即使如此，也是要幾部機同時施作，才能有足夠的總作用力。如果總作用力不足以頂升建物的話，即使壓力再高，漿液只會擠進土壤孔隙之內，而無頂升的效果。在 6.3 節所述案例中，只有當 4 部機同時施灌時該棟大樓才有頂升的跡象。當其中一部機停止灌漿動作時，隆起即告停止。另外一點應注意的是要在建物側邊先行施作圍幕，以免漿液逸至界外，產生負面效果。

## 七、結論

根據以上資料，可以歸納成以下幾點結論：

1. 只要加強施工管理，隧道上方地表沉陷應可控制在 1 公分以下，低於一般結構物之容許沉陷，地盤改良應無必要。
2. 地盤改良只應用在特殊情況，如隧道的發進端及到達端、重疊段、連絡通道〔橫越道〕、集水井、或以新奧工法施工之路段，或作為災後復舊之用。
3. 地盤改良會導致沉陷或隆起等副作用，應妥為設計及小心施作。
4. 擠壓灌漿適用於頂升獨立基腳及淺基礎，脈狀灌漿適於頂升筏式基礎。

## 誌謝

由於地質不良，開挖深度前所未見，隧道施工經驗不足等因素，台北捷運施工初期災變難免。更由於六線齊發、工程密度高、災變頻率自然增加。加上政治介入，每有事故，一經媒體喧染，便為千夫所指，所有捷運從業工程人員不但辛勞全被抹殺，反而成為罪魁禍首。幸好在後期汲取教訓，穩紮穩打，漸入佳境。其後六條路線陸續通車，運量屢創新高，不但轉虧為盈，而且佳評如潮，捷運終成眾人之最愛，其中辛酸點滴在心。

台北市政府捷運工程局歷任長官高瞻遠矚，認識捷運工程是提升我國工程技術之契機，所有施工資料必須妥為記錄、保存並善加利用，以達到經驗傳承之目的。

因此在開工伊始即成立監測資料中心，並徵聘大地工程專業顧問負責彙整監測資料，以及進行回饋分析。亞新顧問公司有幸自民國 76 年起，至 90 年 2 月止，承捷運局任命為大地工程專業顧問，全程參與台北捷運初期路網所有六條路線的設計審查與施工督導，除在總公司成立專案外，並在各工地成立監測站，協助各工程處及工務所提升監測作業之水準，並提供有關大地工程方面之諮詢服務。經統計，十餘年間各工地所佈設之監測儀器近三萬處，監測資料近一千五百萬筆，可謂相當豐富。而大地工程專業顧問專案成員所參與撰寫的學術論文近百篇，足為日後施工之借鏡。

筆者自民國 80 年進入亞新公司後即負責本專案之運作，服務期間承蒙捷運局局本部以及各工務單位所有長官之支持及愛護，各細部設計顧問以及各施工承商之通力合作，幸不辱命、順利完成任務，同時在專業領域得以寸進。尤其是各施工標承商提供的詳細資料彌足珍貴，對提升工程品質貢獻良多。在此謹向所有長官、所有曾為共同目標打拚之工程界先進，致上由衷謝忱及敬意。在本專案功成身退之際，筆者也藉此機會向曾參與本公司台北捷運專案的同仁致謝意，大家的辛勞普獲肯定，在下深以為榮，珍貴友情也將長存記憶。

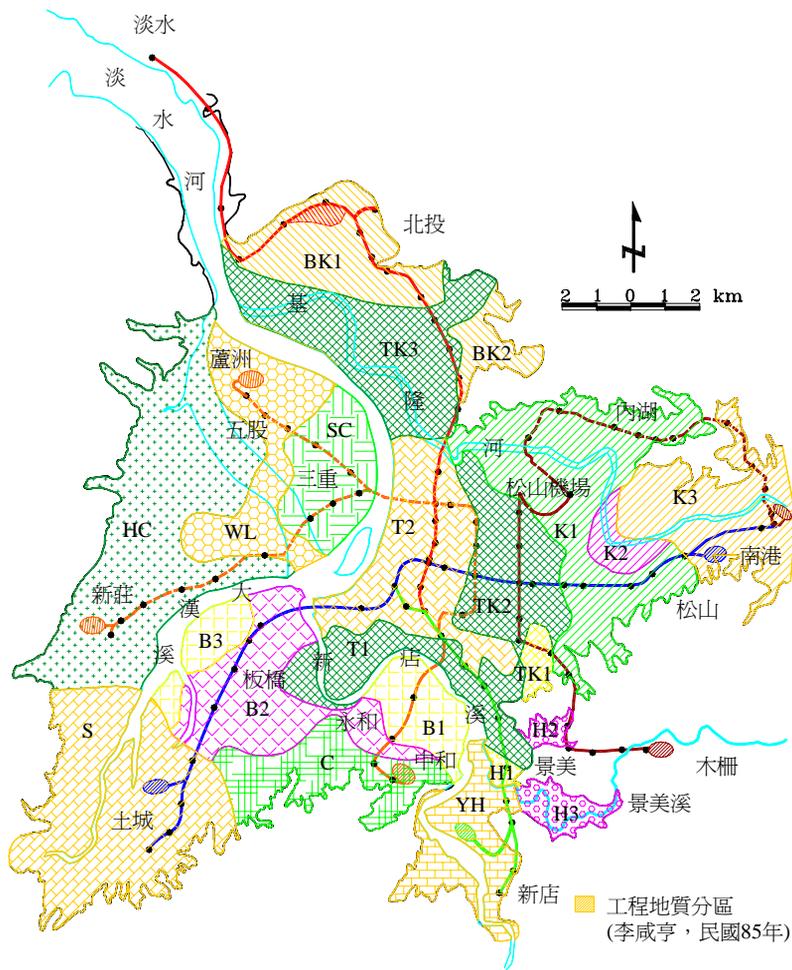
## 參考文獻

- Backer, W., MacPherson, H. H., and Cording, E. J. (1981) "Compaction grouting to limit ground movements: Instrumented case history evaluation of the Bolton Hill tunnels", U. S. Department of Commerce, National Technical Information Service
- Buttling, S. and Shirlaw, N. (1988) "Review of ground treatment carried out for tunnels of the Singapore Mass Rapid Transit System", Tunnelling'88, pp. 39~54
- Hwang, R. N., Ju, D. H., Tsai, M. S. and Fang, Y. S. (1995) "Soft ground tunneling in Taiwan", Proc., U.S./Taiwan Geotechnical Engineering Collaboration Workshop, Jan. 9~11, Taipei, Taiwan, pp. 13~26
- Hwang, R. N., Moh, Z. C., Yang, G. R., Fan, C. B., Chao, C. L. and Wong, R. (1998) "Ground freezing for repairing a damaged tunnel", Proc., 13<sup>th</sup> Southeast Asian Geotechnical Conference, November 16~20, Taipei, pp. 16~20
- Ju, D. S., Duann, S. W. and Tsai, K. H. H. (1998) "Ground freezing for restoration of damaged tunnel", Proc., 13<sup>th</sup> Southeast Asian Geotechnical Conference, November 16~20, Taipei, pp. 615~620
- Moh, Z. C., Hwang, R. N., Fan, C. B. and Chang, J. L. (1997) "Jacking up buildings by grouting", Proc., 14<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, v3, Hamburg, Germany, September 6~12, pp. 1633~1636

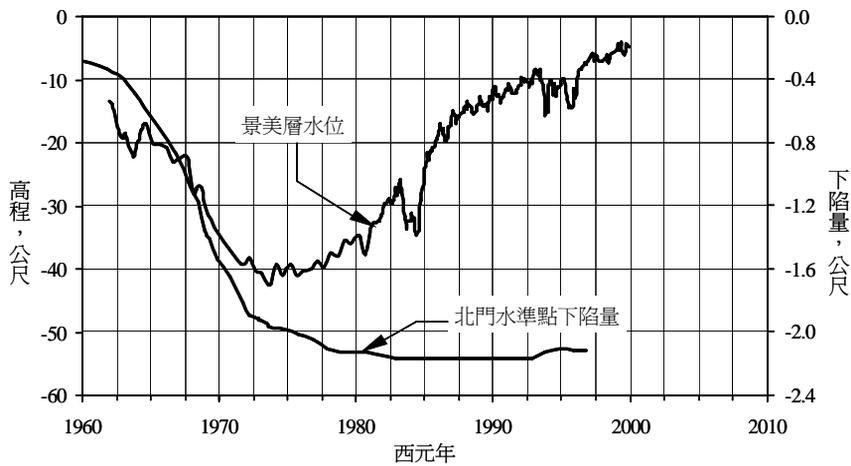
- Moh, Z. C., and Hwang, R. N. (1997) "Geotechnical problems related to design and construction of the Taipei transit systems", Proc., Keynote Speech, Prof. Chin Fung Kee Memorial Lecture, September 6, Kuala Lumpur, Malaysia,
- Moh, Z. C. and Hwang, R. N. (1999) "Geotechnical problems related to design and construction of the Taipei MRT", Proc., Sang-Kyu Kim Symposium on Geotechnical Engineering, Keynote Speech, April 17, Seoul, South Korea, pp. 80~117
- Moh, Z. C., Ju, D. S. and Hwang, R. N. (1997) "A small hole could become really big", Momentous Lecture, Proc., 14<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, September, Hamburg, Germany.
- Welsh, J.P. and Rubright, R.M (1994) "Compaction grouting in the United States", Proc., Conf. on Grouting in the Ground, Edited by Dr. A.L. Bell, Thomas Telford, London
- Warner, J. (1982) "Compaction Grouting-the first thirty years", ASCE/AIME Underground Technical Research Council, Proc. of Conference
- Wong, L. W., Shau, M. C. and Chen, H. T. (1996) "Compaction grouting for correcting building settlement", Proc., IS-Tokyo'96, the second International Conference on Grouting and Deep Mixing, Balkema, Rotterdam, pp. 231~236
- Wong, L. W. and Chen, H. T. (1997) "Fracturing grouting for correcting building settlement", Proc., 2<sup>nd</sup> International Symposium on Structures and Foundations in Civil Engineering, January 7~10, Hong Kong, China, pp. 275~280
- Wong, L. W., Ju, D. H. and Wu, P. J. (1997) "Control of ground movements caused by jet grouting", Proc., International Conference on Ground Improvement Techniques, May 6~8, Macau, pp. 649~656
- 日本 JSG 協會〔1991〕 "Jet Grout 工法技術"
- 白肇豐〔1997〕 "潛盾機鏡面隔艙施工案例探討、", 北市捷運局十週年局慶工程研討會, 九月朱旭〔1997〕 "捷運隧道規劃、設計、施工面面觀", 地工技術, 第 60 期, 四月, 第 5~30 頁
- 朱介平、崔澎生、高蔚明、虞尚仁〔1997〕 "捷運中和線二七五標過新店溪潛盾施工", 台北捷運局十週年局慶工程研討會, 九月, 第 310~338 頁
- 朱旭〔1996〕 "潛盾發進鏡面湧水意外排除與建物扶正-板橋線 CP261 標實例", 捷運技術報告文集之一, 12 月, 台北捷運局中區工程處
- 朱旭〔1997〕 "捷運規劃、設計、施工面面觀", 地工技術第 60 期, 四月
- 朱旭、宮能文、段紹緯〔1997〕 "台北盆地流木分佈對地下工程之影響", 第七屆大地工程學術研究討論會, 八月, 金山, 第 1041~1048 頁
- 朱旭、莫若楫、黃南輝〔1999〕 "台北都會區捷運系統之隧道工程", 第一屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會, 八月, 山西太原, 第 779~783 頁

- 吳沛軫, 程子箴, 黃宗良〔1997〕“潛盾隧道穿越北門古蹟之保護案例”, 台北捷運局十周年局慶工程研討會, 12月
- 李咸亨〔1996〕“台北市區工程地質分區”, 土工技術, 第54期, 四月, pp.25~34
- 周功台、林四川〔1989〕“十二層樓大廈傾改善扶正案例介紹”, 中華技術第二期, 第41~50頁
- 胡逸舟、秦中天、劉泉枝〔1996〕“台北盆地大地工程相關特性之探討”, 土工技術, 第54期, 第5~14頁
- 胡紹敏〔1994〕“談高壓噴射灌漿工法之效果”, 土工技術雜誌第47期, 九月, 第55~70頁
- 莫若楫、楊國榮、黃南輝〔1994〕“軟弱土層對擠壓灌漿之反應” 結構與地基國際學術研討會, 十月, 杭州
- 陳伯興〔1997〕“軟弱地盤隧道於自然大氣下採用新奧工法施工案例探討”, 台北捷運局十週年局慶工程研討會, 九月, 第339~364頁
- 陳耀維、陳俊宏、莊復盛、王復國〔1999〕“潛盾隧道地盤改良設計”, 第八屆大地工程學術研究討論會, 八月, 屏東, 第1238~1252頁
- 黃立煌、高祥生〔1994〕“高壓噴射灌漿於黏性土導致地盤破壞機制”, 土工技術第47期, 九月, 第107~120頁
- 黃南輝、高祥生、郭國振、張兆麟〔1994〕“砂礫層對擠壓灌漿之反應” 土工技術第47期, 九月, 第23~33頁
- 黃南輝、黃交祥、黃姿連、楊鵬飛〔1997〕“潛盾施工所導致之沉陷槽分析”, 土工技術, 第60期, 四月, 第45~56頁
- 黃南輝、王復國、張培義、簡敏忠〔1999〕“台北捷運深開挖經驗”, 近代營建工程研討會系列之三: 土壤深開挖之台北經驗研討會, 四月, 台北, 第1~36頁
- 黃敏祥〔1997〕“新店線221標壓氣輔助新奧工法施工”, 捷運工程軟土隧道案例研討會, 7月, 第231~262頁
- 萬正台〔1993〕“CH218標潛盾隧道障礙處理”, 台北都會區捷運系統工程研討會, 台北, 第c215-228頁
- 廖鴻鈞、潘信宏、盧錫煥〔1992〕“建築物下陷傾斜之灌漿處理對策”, 土工技術雜誌第47期, 12月, 第62~76頁
- 楊國榮、王勝男、范陳柏〔1995〕“潛盾隧道施工所導致之地表沉陷”, 第六屆大地工程學術研究討論會, 八月, 第1083~1090頁
- 楊國榮、楊慕泉、趙際禮〔1996〕“泥水加壓式潛盾機施工導致之地表沉陷探討”, 現代營建, 第197期, 第27~31頁
- 楊國榮、楊鵬飛、范陳柏、趙際禮〔1997〕“軟弱地盤新奧工法隧道施工”, 第七屆大地工程學術研究討論會, 八月, 金山, 第1009~1016頁
- 楊國榮、楊鵬飛, 范陳柏〔1997a〕“多重潛盾隧道施工導致之地表沉陷”, 第二屆結構與地基國際學術研討會, 一月, 香港, 第744~751頁

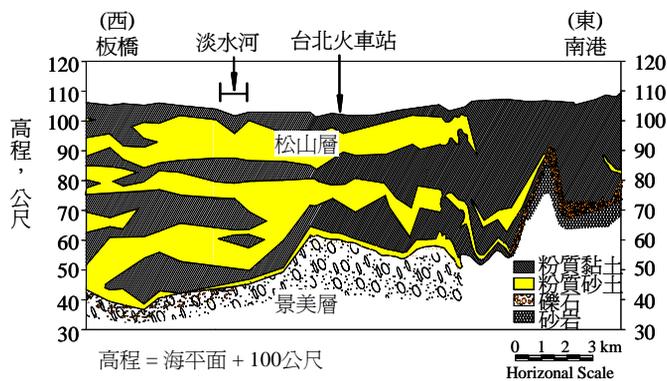
- 楊國榮、王勝男、陳大康〔1999〕“潛盾隧道施工地面沉陷控制案例”，第八屆大地工程學術研究討論會，八月，第 1433~1443 頁
- 楊國榮、范陳柏、趙際禮、王錦伍〔1999a〕“台北捷運 CH221 標冷凍工法施工案例”，地工技術雜誌第 71 期，二月，第 83~96 頁
- 鍾毓東、謝百鍾、陳迪生、余明山〔1994〕“高壓噴射灌漿引起之地層變位案例”，地工技術雜誌第 47 期，九月，第 85~106 頁
- 賴慶和、余明山、吳建閩、吳偉康〔1997〕“以二次注入灌漿控制潛盾施工引致之沉陷”，地工技術，第 60 期，四月，第 83~96 頁
- 闕河淵、吳沛軫、朱世忠、蘇信淵〔1996〕“地下工程施工對鄰近建物保護施作時機及成效檢討”，地工技術雜誌第 54 期，四月，第 1~10 頁



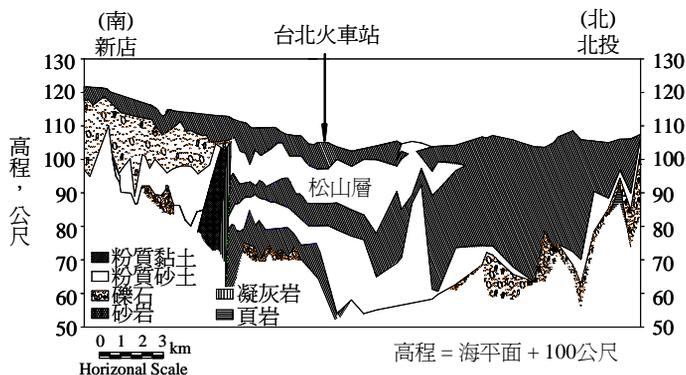
圖一 台北捷運路網及台北盆地地層分區圖



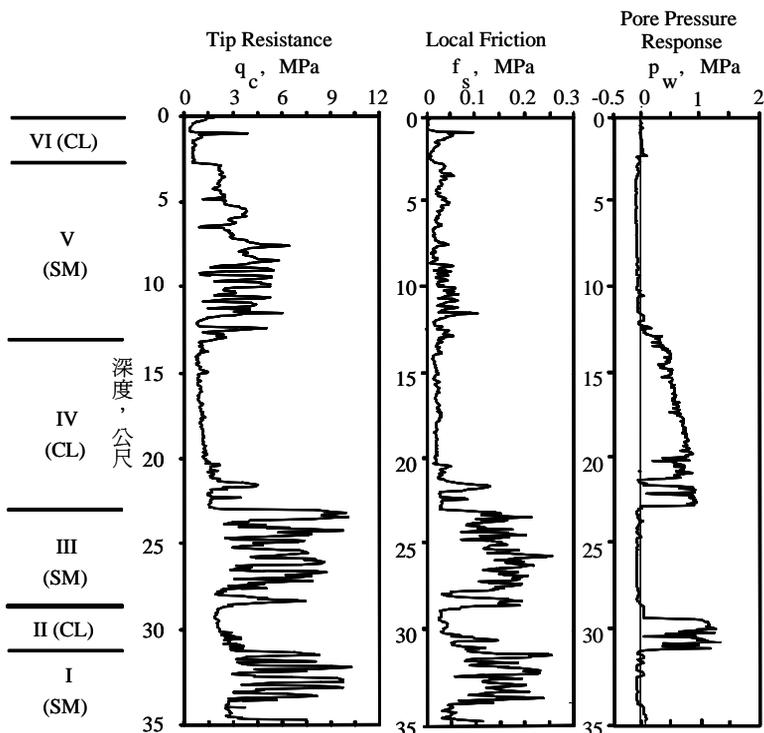
圖二 台北市區景美層歷年水位變化及地表沉陷



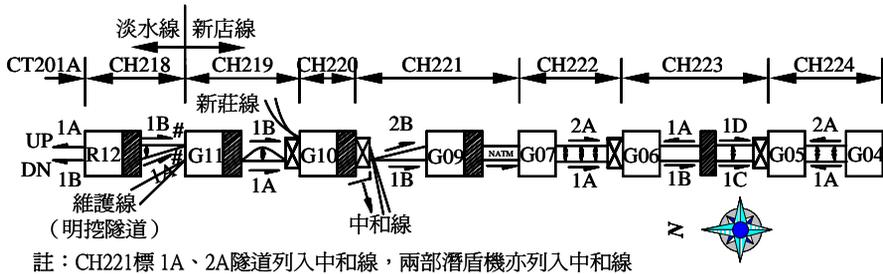
圖三 台北盆地東西向地層剖析



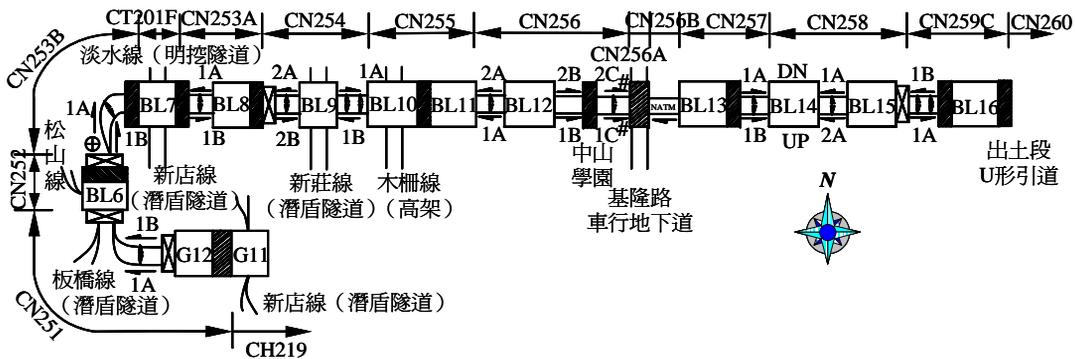
圖四 台北盆地南北向地層剖析



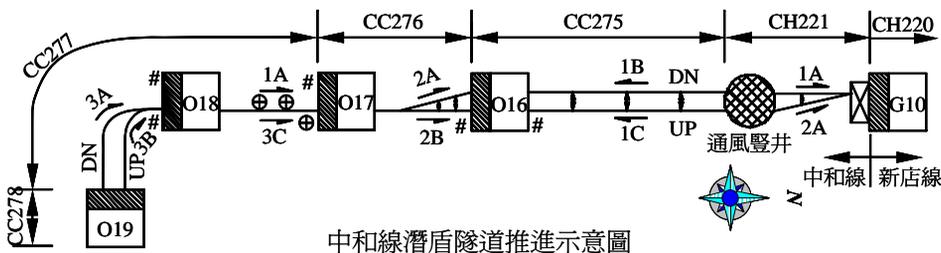
圖五 台北市區荷蘭錐試驗結果



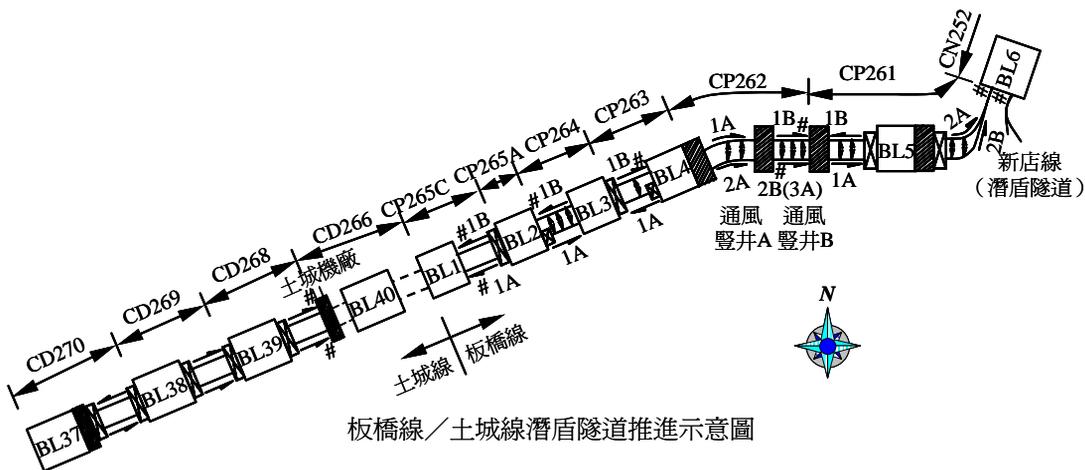
新店線/淡水線潛盾隧道推進示意圖



南港線潛盾隧道推進示意圖



中和線潛盾隧道推進示意圖



板橋線/土城線潛盾隧道推進示意圖

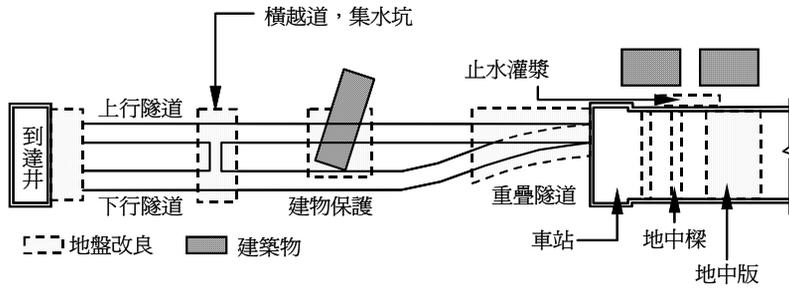
統計：	新店線	南港線	中和線	板橋線	淡水線	
潛盾隧道	12	22	10	14	4	條
潛盾機	6	11	5	8	2	部

\* 本統計未包含土城線

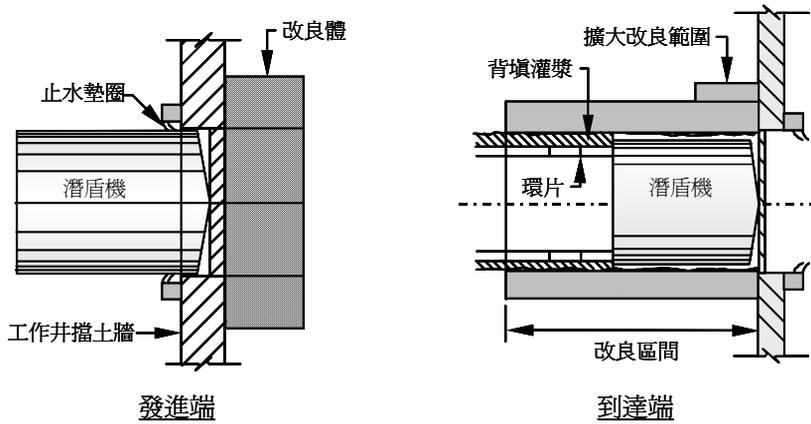
圖例：

- 站體外臨時性工作井
- 2A = 2 號機第一條隧道
- # 棄殼
- ↑↑ 明挖覆蓋 (車站)
- ↑↑ 明挖覆蓋 (其它)
- 隧道掘進方向
- ⊕ 連通道 (水平)
- ⊕ 連通道 (垂直)

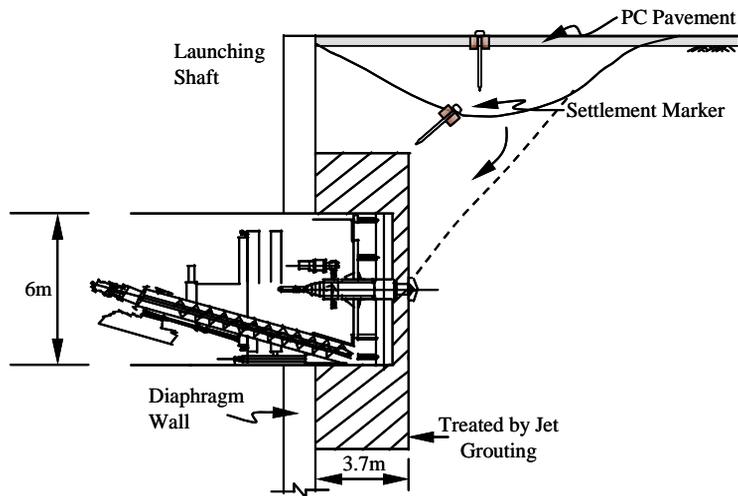
圖六 台北捷運初期路網潛盾隧道工程施工順序



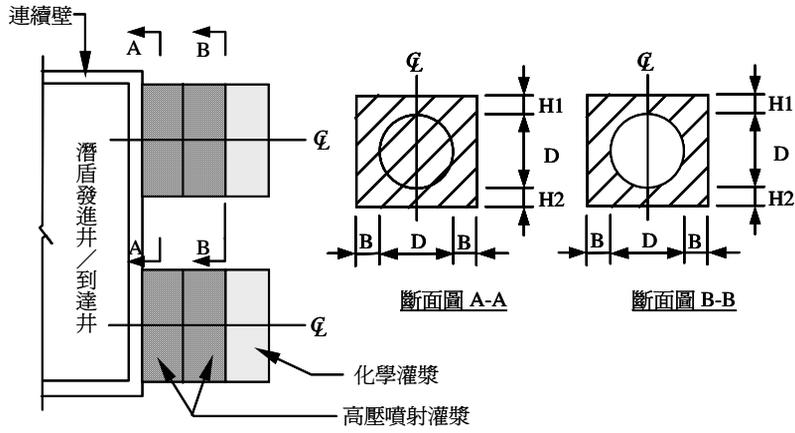
圖七 隧道段地盤改良應用範圍示意圖



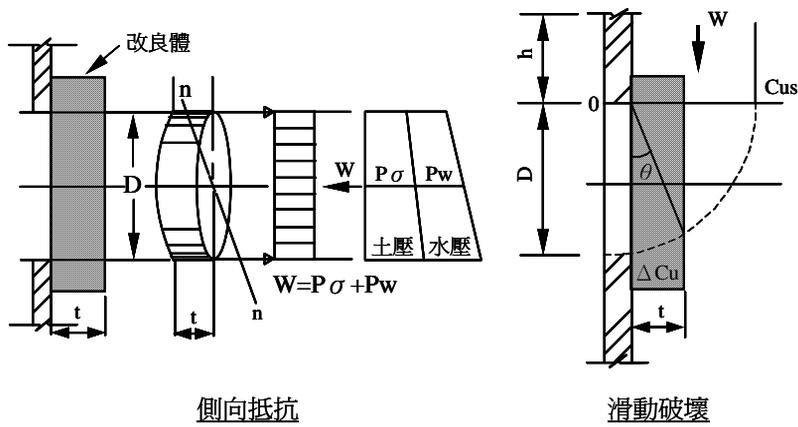
圖八 發進端與到達端止水墊及地盤改良示意圖



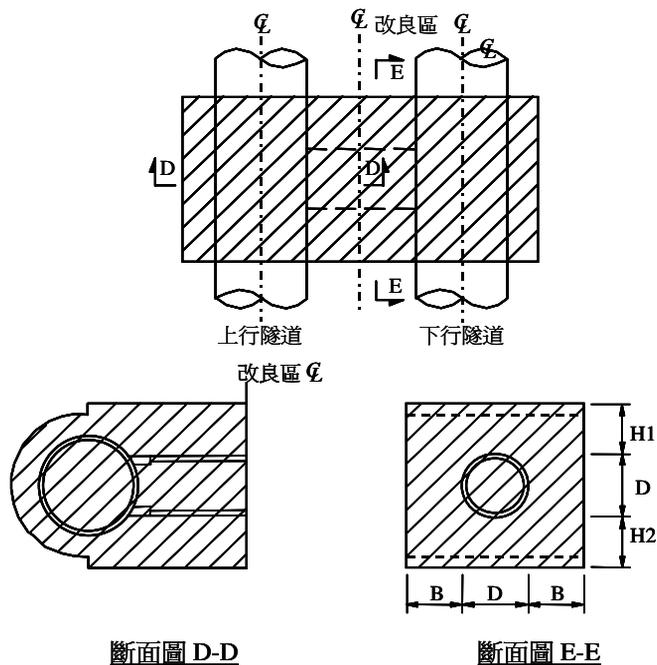
圖九 淡水線CT201A標潛盾機發進時因改良區強度過強而受困其後因進出土量失衡引起地陷



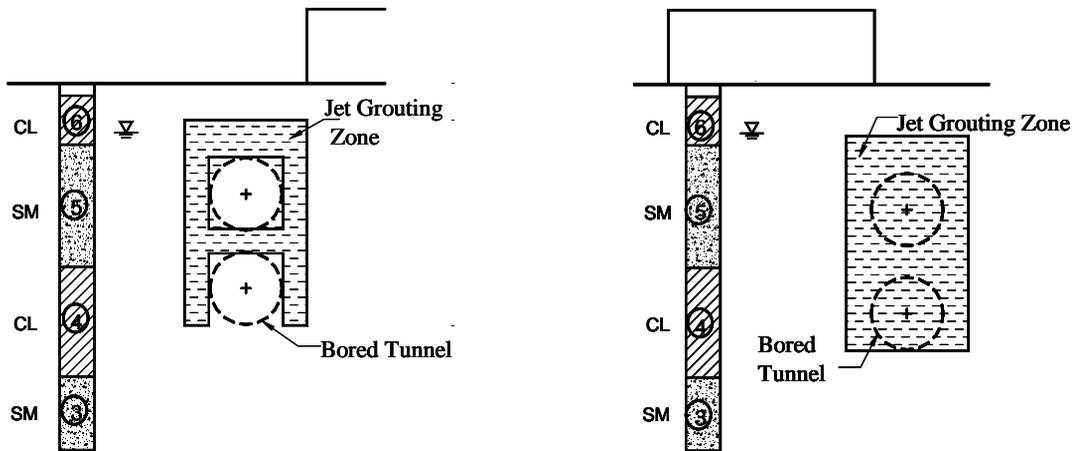
圖十 出發端及到達端地盤改良範圍示意圖



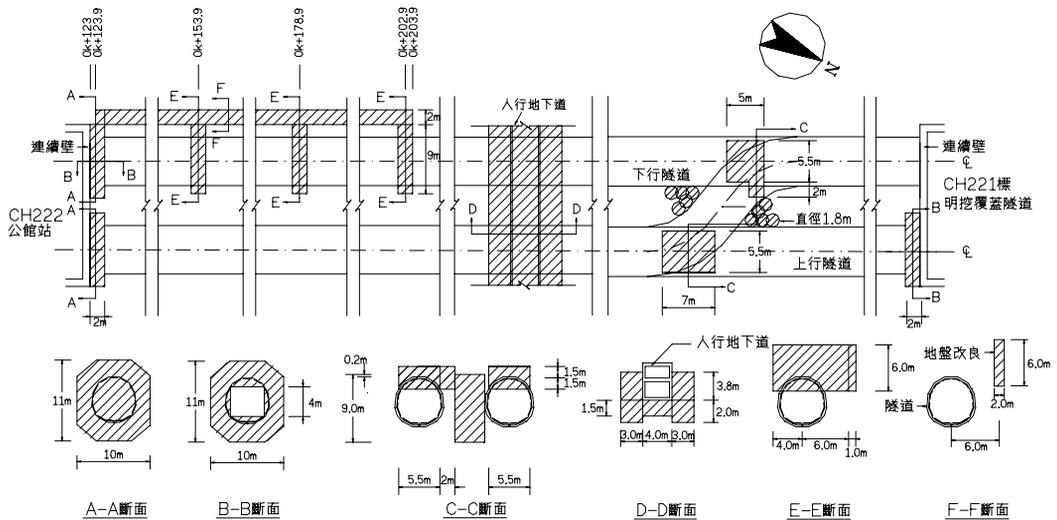
圖十一 地盤改良區設計考量



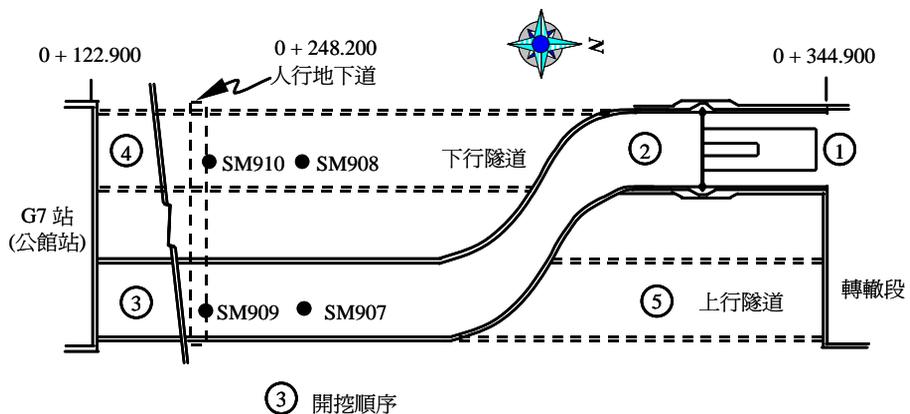
圖十二 橫越通道地盤改良範圍



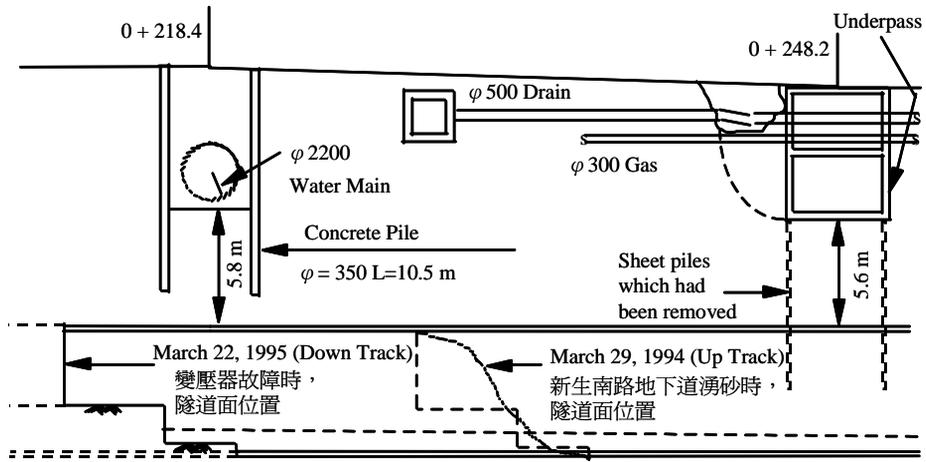
圖十三 重疊段地盤改良示意圖



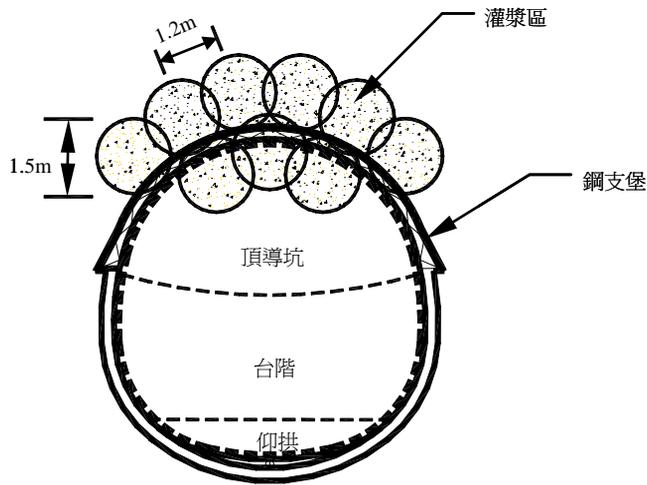
圖十四 新店線CH221標NATM隧道地盤改良平面配置與剖面圖



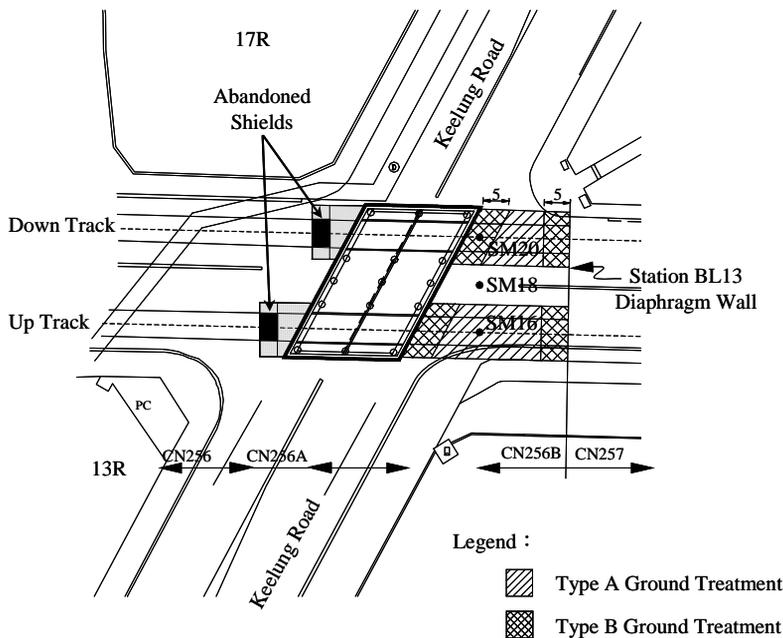
圖十五 新店線CH221標NATM隧道施工順序平面圖



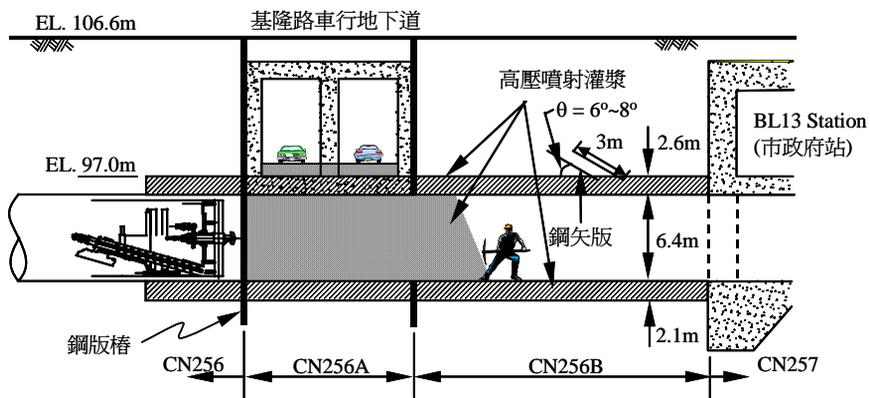
圖十六 新店線CH221標NATM隧道施工所遭遇困難



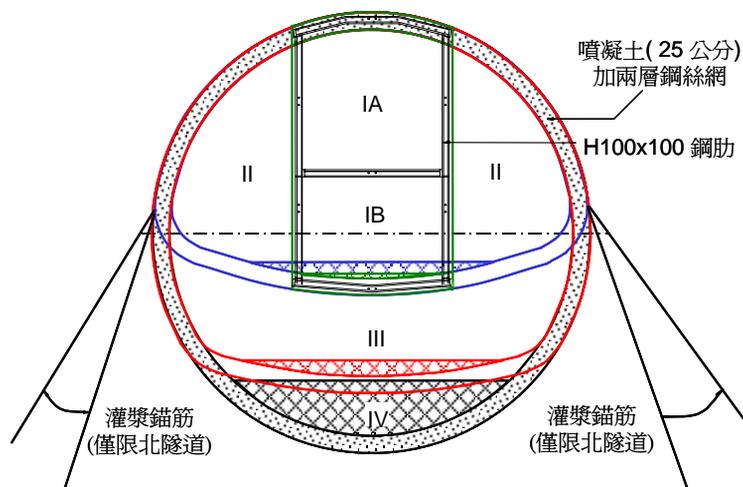
圖十七 新店線CH221標NATM隧道頂導坑灌漿保護示意圖



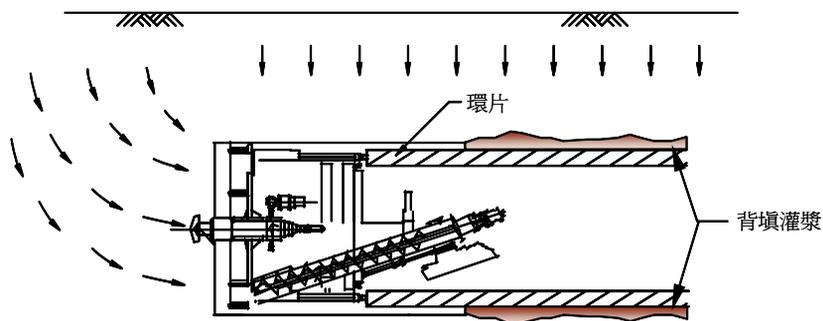
圖十八 南港線CN256B標NATM隧道平面圖



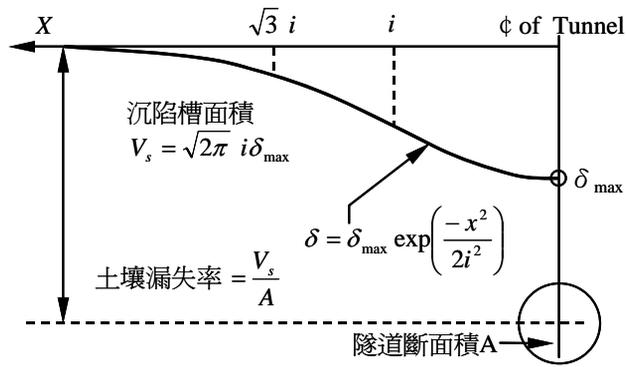
圖十九 CN256B NATM 隧道剖面圖



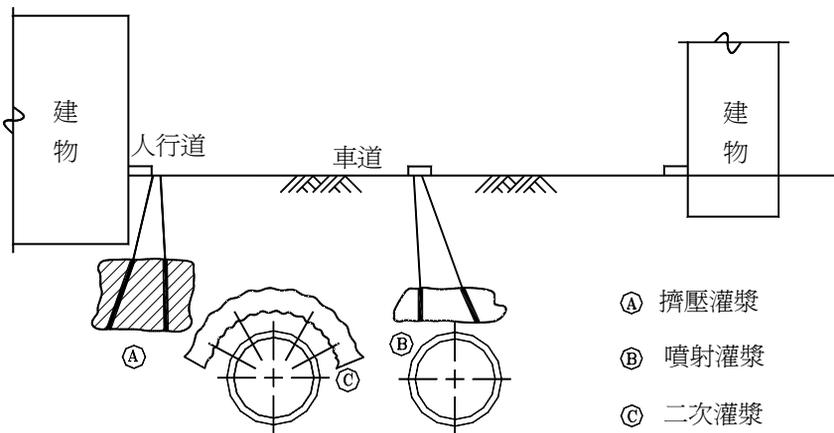
圖二十 南港線CN256B標NATM隧道開挖順序圖



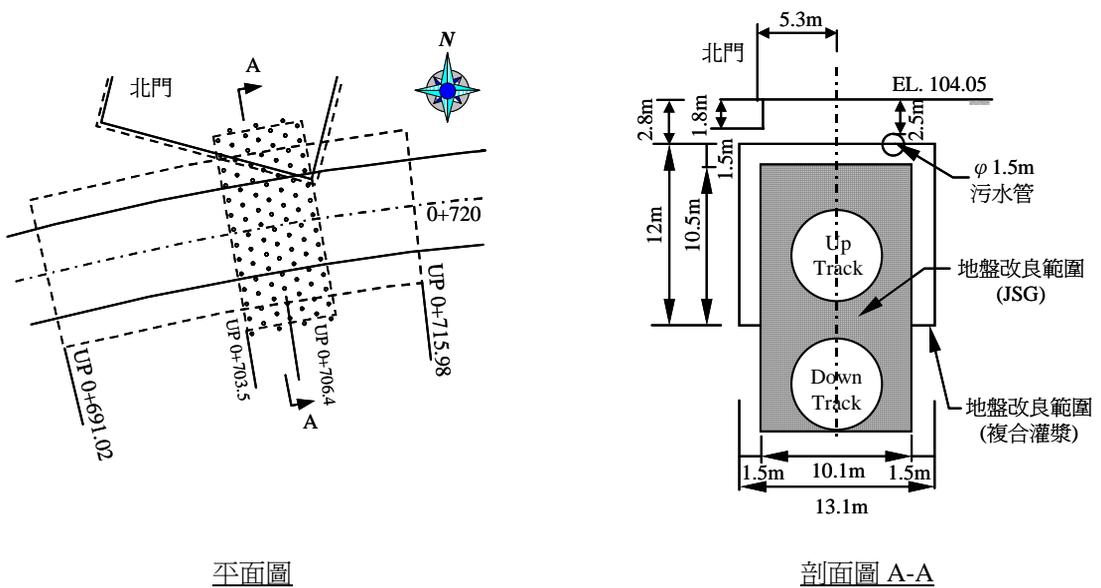
圖二十一 隧道鑽掘所導致之地盤位移



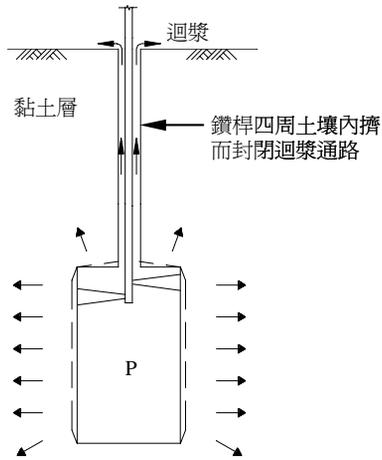
圖二十二 隧道上方沉陷槽示意圖



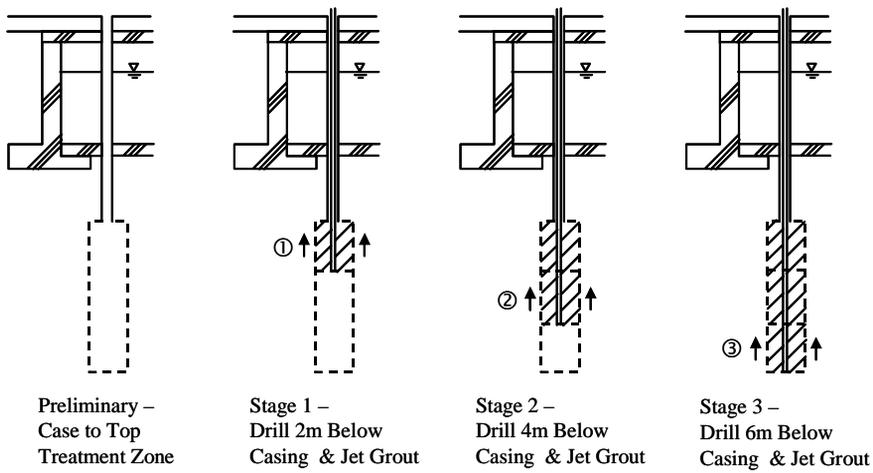
圖二十三 隧道段建物保護地盤改良示意圖



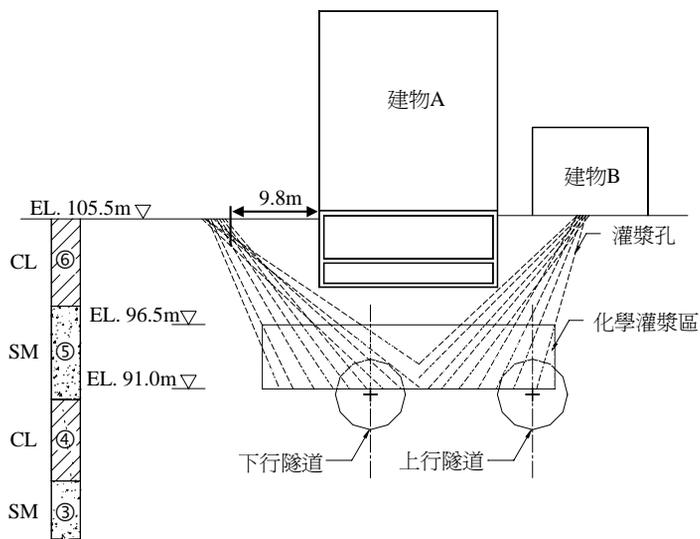
圖二十四 南港線CN253B標北門古蹟地盤改良平面配置及剖面圖



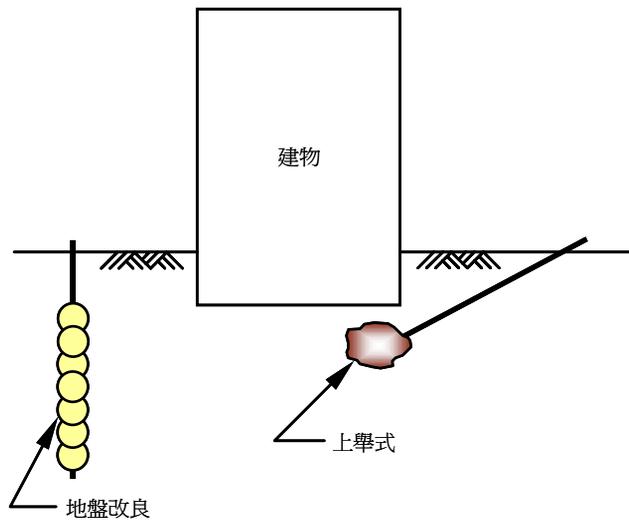
圖二十五 高壓噴射灌漿圓筒型孔穴擴張模式



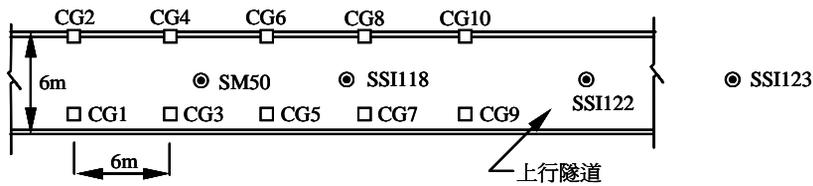
圖二十六 新加坡維多利亞路維多利亞橋橋港保護灌漿順序



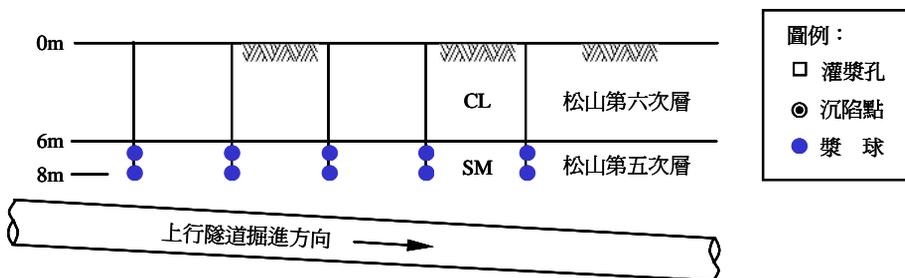
圖二十七 南港線CN251標雙栓塞管灌漿建物保護示意



圖二十八 擠壓灌漿施作方式

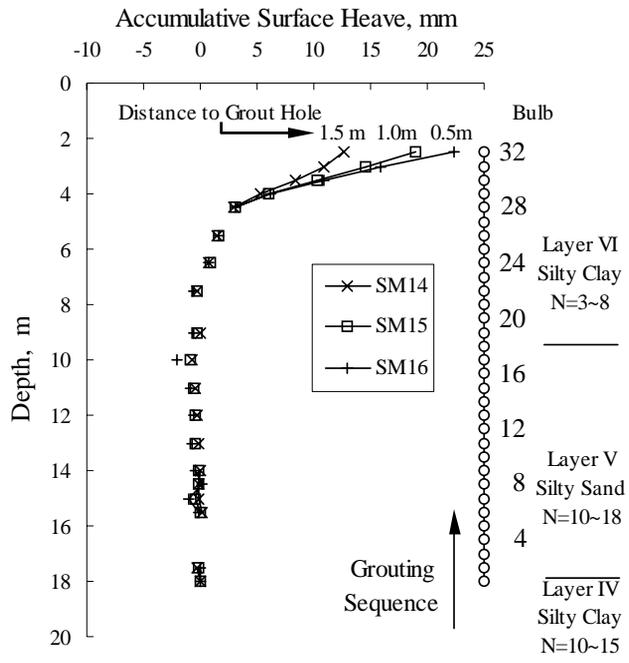


平面配置圖

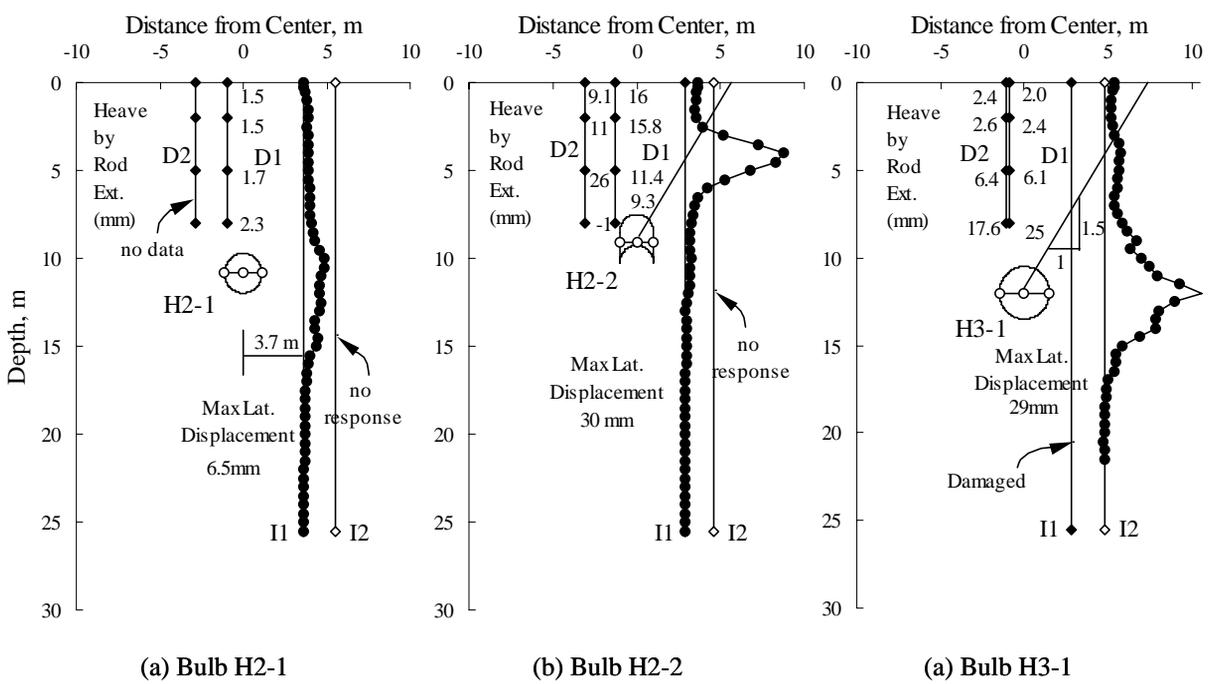


剖面圖

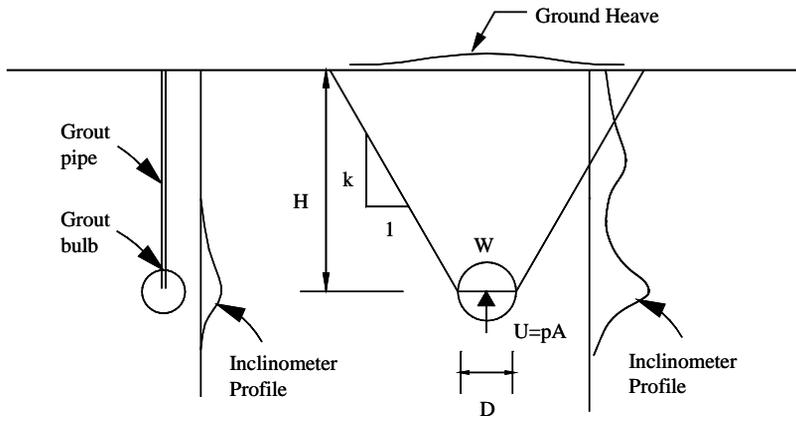
圖二十九 淡水線CT201A標隧道上方擠壓灌漿平面位置及剖面圖



圖三十 新店線CH221標擠壓灌漿試灌結果



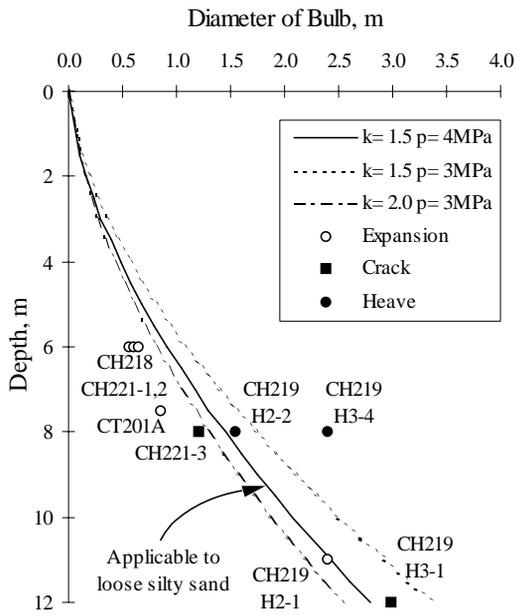
圖三十一 新店線CH219標擠壓灌漿試灌結果



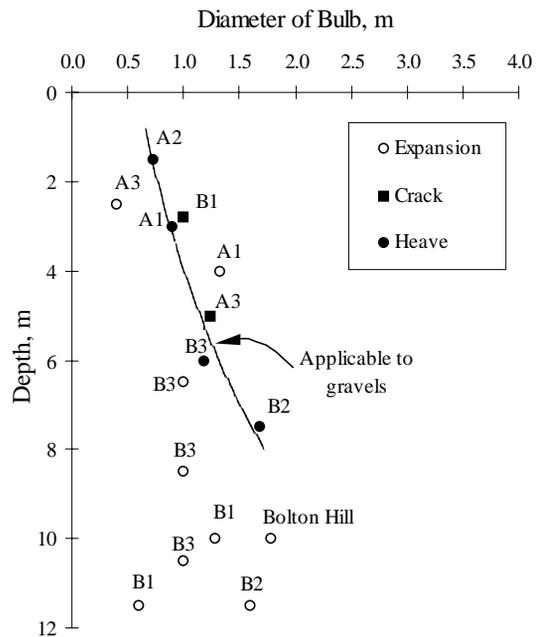
(a) 孔穴膨脹  
(Cavity Expansion)

(b) 錐狀破壞  
(Conical Failure)

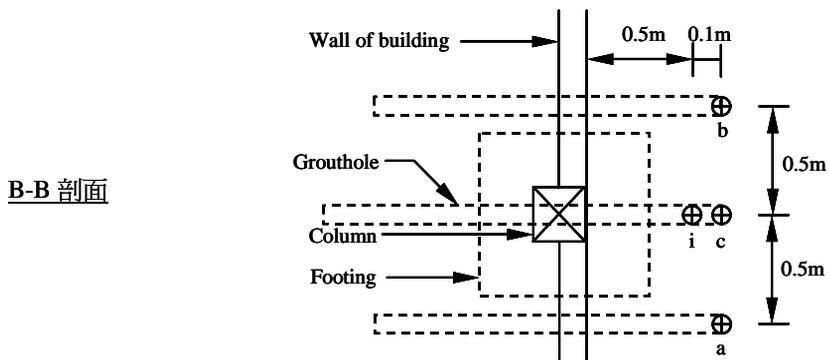
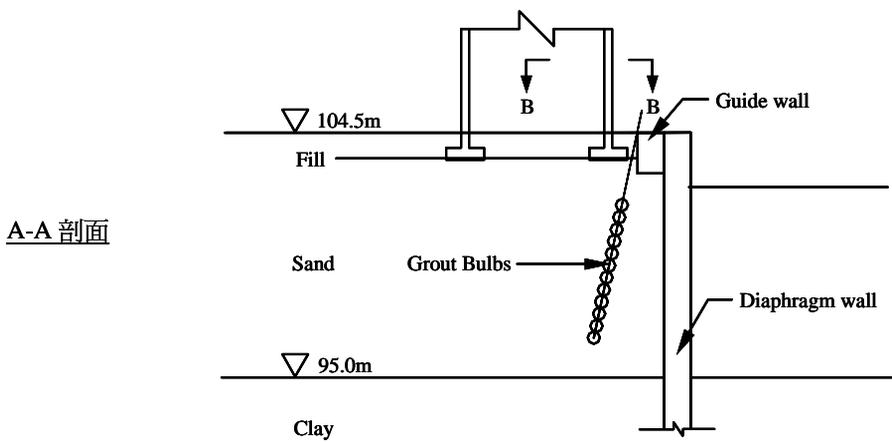
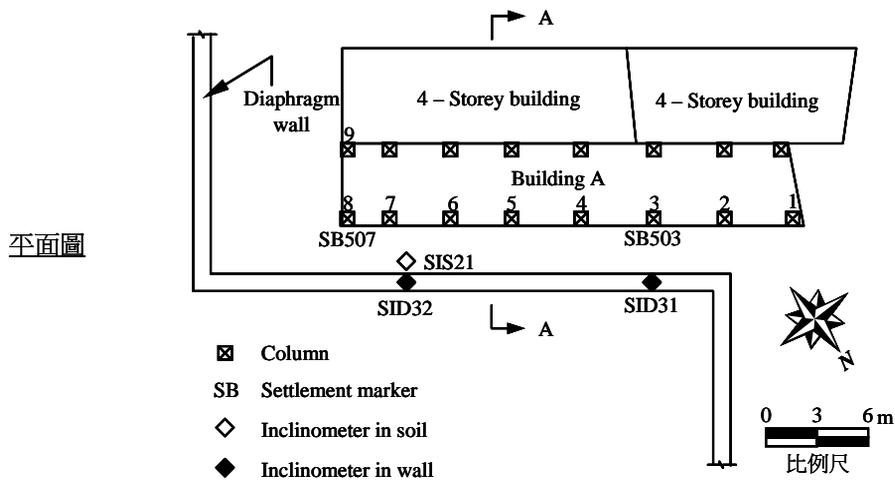
圖三十二 擠壓灌漿導致地表隆起機制



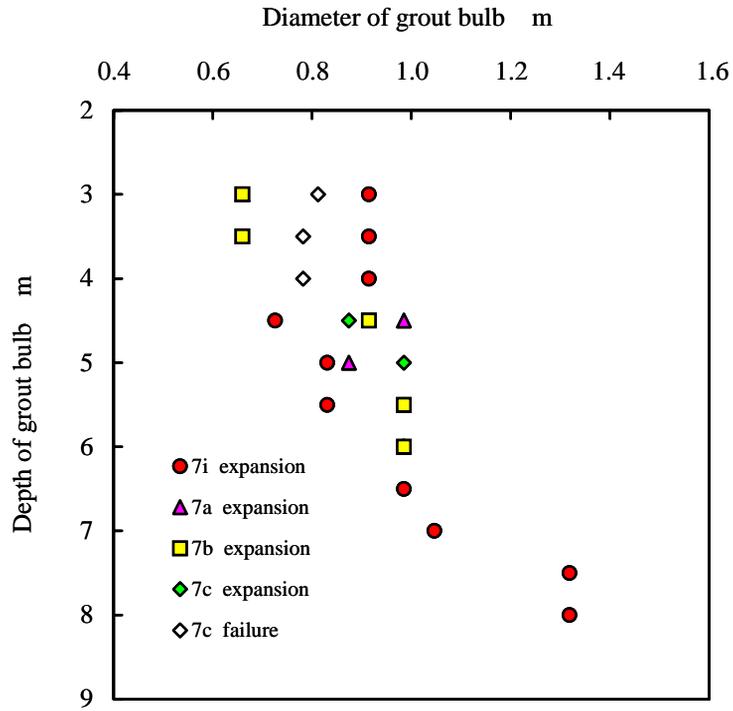
圖三十三 新店線各標擠壓灌漿試灌結果



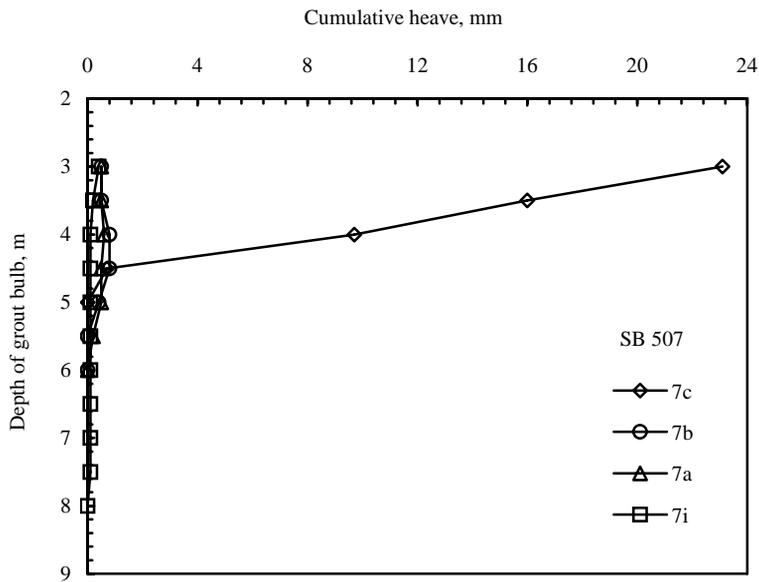
圖三十四 中和線擠壓灌漿試灌結果



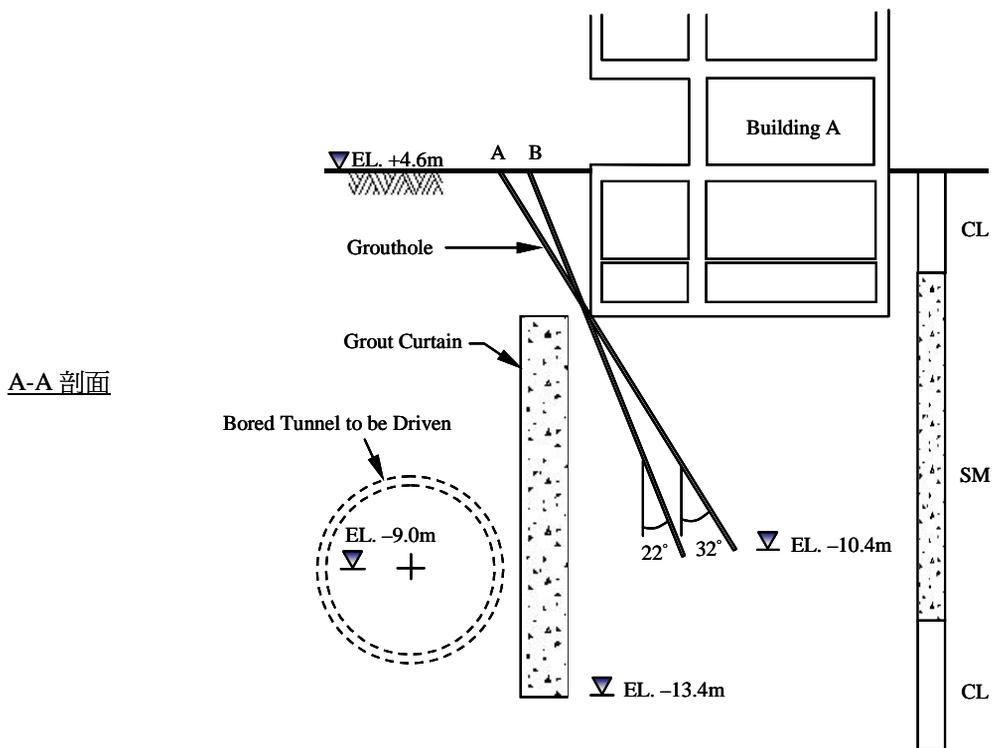
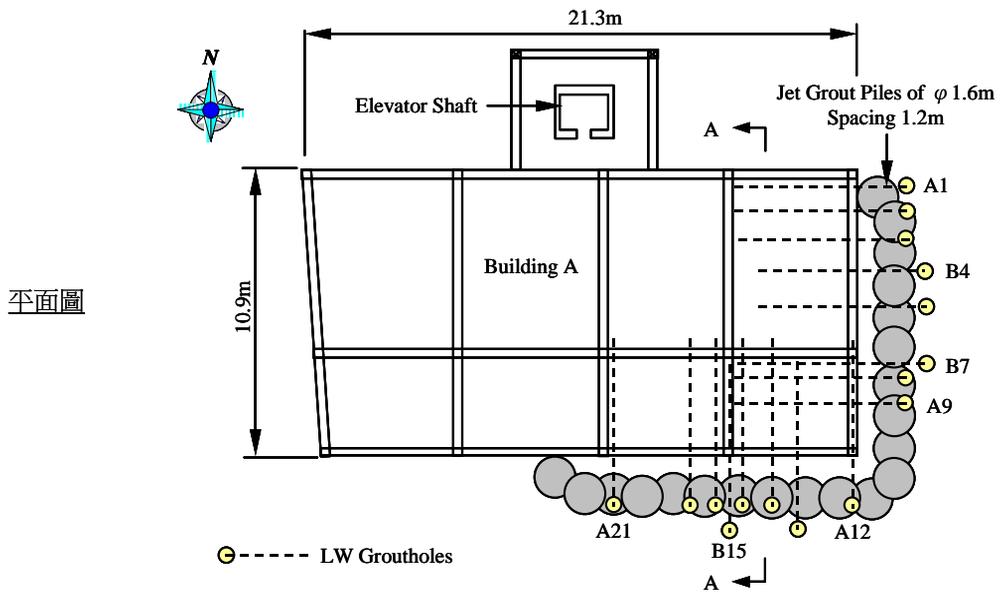
圖三十五 板橋線CP263標建物扶正擠壓灌漿示意圖



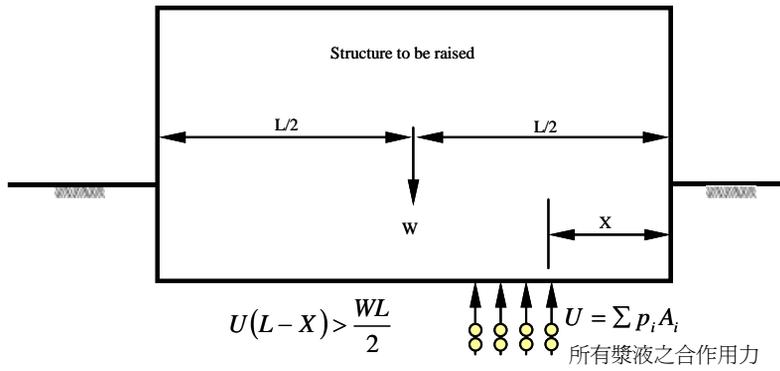
圖三十六 板橋線CP263標7號柱子下方擠壓灌漿球直徑



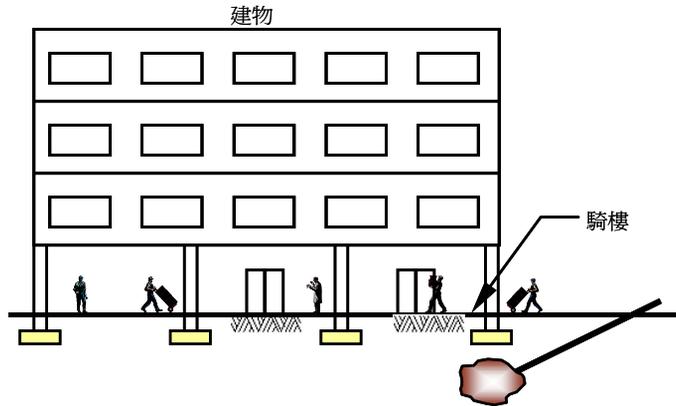
圖三十七 板橋線CP263標7號柱子頂升情形



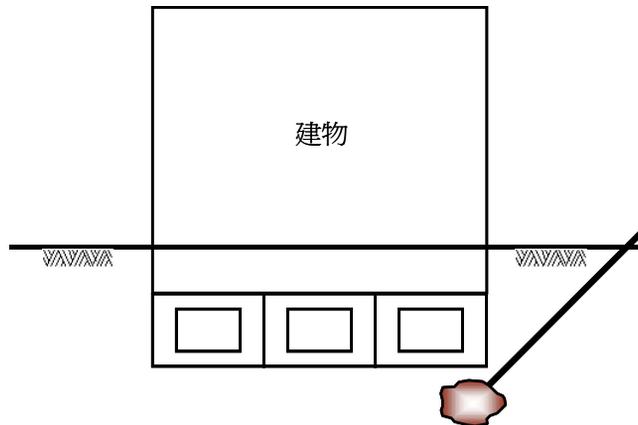
圖三十八 板橋線CP261標脈狀灌漿頂升建物示意圖



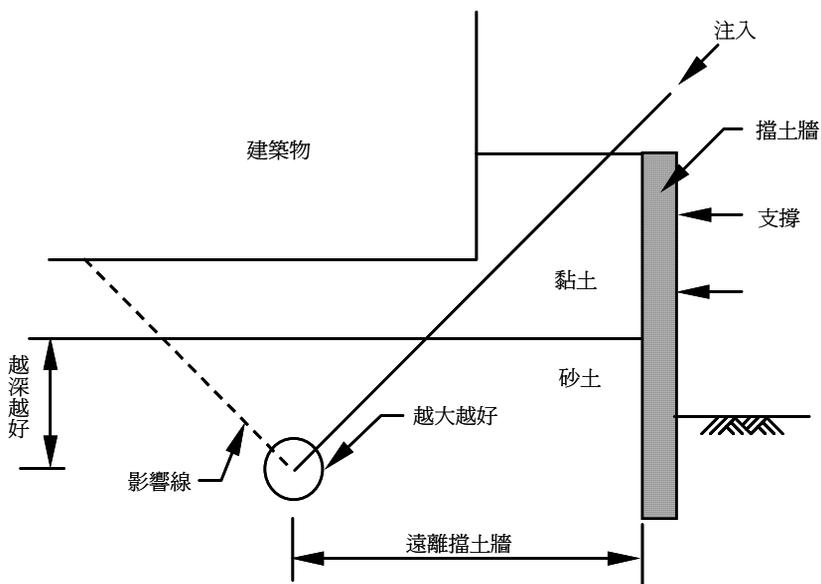
圖三十九 頂升建物之機制



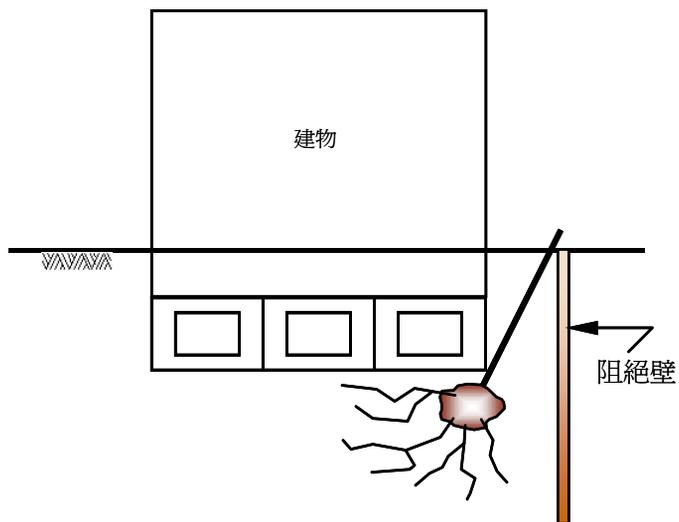
圖四十 擠壓灌漿適於頂升獨立基腳



圖四十一 擠壓灌漿應用於筏基之一側易於造成筏基受損



圖四十二 擠壓灌漿應在深層施作使其效果及於筏基內部



圖四十三 脈狀灌漿因漿液擴散作用於大面積較適用於筏基

表一 台北捷運潛盾出發端地盤改良範圍

路線	施工標	隧道編號	長度 t (m)	側邊 B (m)	頂部 H1 (m)	底部 H2 (m)	深度 Z (m)	地層	
新店線	CH218	1A(下行)	3.30	2.00	2.50	1.50	12.00	松V	
		1B**(上行)							
	CH219	1A(下行)	7.00 (53.00)	2.20	---	1.85	19.20(重疊)	松IV、III	
		1B(上行)			2.50	---	12.70(重疊)	松V、IV	
	CH221	1A(下行)	頂部：8.00 底部：5.80	3.20	4.60	3.60	29.00	松III、II、I	
		2A(上行)			5.40	4.10			
		1B(下行)	2.00+3.00+3.00	2.00	2.50	1.50	17.50(重疊)	松V、IV、III	
		2B(上行)					9.70(重疊)	松V、IV	
	CH223	1A(上行)	3.00	2.08	3.35	1.50	13.50	GM、SM	
		1B(下行)		2.83	4.05		12.20	GM	
		1C(下行)	3.00	3.08	4.55	1.50	13.70	GM、SM	
		1D(上行)							
CH224	1A(下行)	3.00	2.00	3.20	1.50	12.50	GM、SM		
	2A(上行)								
南港線	CN251	1A(下行)	4.80+2.30	2.00	2.50	1.50	14.00	松V	
		1B(上行)							
	CN253B	1A(下行)	6.60 (25.00)	2.00	---	1.50	15.78(重疊)	松V、IV	
		1B(上行)			2.50	---	8.62(重疊)		
	CN253A	1A(下行)	9.60	3.40	2.50	1.50	14.00	松V、IV	
		1B(上行)					16.00		
	CN254	1A(下行)	9.10	3.00	3.00	1.96	15.00	松V、IV	
		1B(上行)							
		2A(下行)							
		2B(上行)							
	CN256	1A(上行)	4.50	3.00	3.00	2.00	11.39	CL (K1區)	
		2A(下行)							
		1B(上行)							
		2B(下行)		1.80	0.10	4.10	11.25		
		1C(上行)							
	2C(下行)								
CN257	1A(下行)	5.00+5.00	2.30	2.00	2.00	12.39	CL (K1區)		
	1B(上行)								
CN258	1A(下行)	5.00+5.00	2.00	2.50	1.50	15.60	CL (K1區)		
	2A(上行)								
CN259C	1A(上行)	5.00+5.00	2.00	2.50	2.00	15.30	CL (K1區)		
	1B(下行)								
板橋線	CP261	1A(上行)	4.70+4.50	2.00	2.50	2.00	27.00	SM、CL	
		1B**(下行)	4.70+3.50				14.00		SM
		2A(下行)	4.70+4.50				18.00		SM、CL
		2B(上行)							
	CP262	1A(下行)	3.20	2.00	5.90	1.50	11.00	CL、SM	
		2A(上行)	5.70						
		1B(下行)	6.27	2.70	4.10	2.70	31.36	SM	
		2B(3A)(上行)							
	CP263	1A(上行)	4.20~4.40	2.00~2.10	2.50	1.50	12.60	SM、CL	
		1B(下行)					12.50		
CP264	1A(上行)	4.20~4.40	2.00~2.10	2.50	1.50	17.10	SM、CL		
	1B(下行)					14.00			
中和線	CC275	1B(下行)	10.00	5.80	5.50	6.00	30.00	SM、CL	
		1C(上行)							
	CC276	2A(下行)	8.00	3.10	---	2.90	9.00(重疊)	CL、SM	
		2B(上行)			2.91	---	19.00(重疊)		
	CC277	1A(下行)	5.50	3.60	---	3.60	18.70(重疊)	SM、CL	
		3C(上行)	3.00	3.10	3.10	---	8.70(重疊)		
		3A(下行)	4.00	2.20	2.50	2.20	16.69		
3B(上行)		16.45							

- 註：1. 隧道編號2A：第二部潛盾機第一條隧道，2B：第二部潛盾機第二條隧道。  
 2. t一欄中"2+3+3"表示三段不同形式之地盤改良，括號中之數值則表示隧道重疊段地盤改良之長度。  
 3. "重疊"表示上下行隧道垂直並列。  
 4. "\*\*"符號表示曾發生漏水。

表二 台北捷運潛盾到達端地盤改良範圍

路線	施工標	隧道編號	長度 t (m)	側邊 B (m)	頂部 H1 (m)	底部 H2 (m)	深度 Z (m)	地層	
新店線	CH218	1A ●(下行)	3.3	2.21/2.00	---	1.50	18.00(重疊)	松V、IV	
		1B ●(上行)	(51.70)	2.00/2.21	2.50	---	11.00(重疊)		
	CH219	1A(下行)	7.00	2.68	---	2.10	19.30(重疊)	松IV、III	
		1B(上行)	(6.00)		2.44	---	12.00(重疊)	松V、IV	
	CH221	1A(下行)	2.00+1.00+7.00	2.00	---	1.50	22.60(重疊)	松IV、III	
		2A(上行)			2.50	---	14.90(重疊)	松V、IV	
		1B(下行)	2.60+1.00+6.00	2.00	2.50	1.50	12.70	松V	
		2B(上行)					12.60		
	CH222	1A(下行)	9.00	2.00	2.00	2.00	12.30	SM、ML、GM	
		2A(上行)							
	CH223	1A(上行)	3.00+6.00		2.83	4.05	1.50	12.20	GM
		1B(下行)			2.08	3.35		13.50	GM、SM
		1C(下行)			1.88	2.95	1.50	11.10	GM
		1D(上行)							
CH224	1A(下行)	9.00	2.00	3.20	1.50	12.30	GM		
	2A(上行)								
南港線	CN251	1A(下行)	3.20	2.00	---	1.50	21.00(重疊)	松IV、III	
		1B(上行)	(60.8)		2.50	---	15.00(重疊)	松V	
	CN253B	1A**(下行)	4.50	2.00	2.50	1.50	18.00	松IV	
		1B**(上行)	4.20				14.00	松V、IV	
	CN253A	1A(下行)	7.20	3.40	2.50	1.50	17.00	松V、IV	
		1B(上行)					14.00		
	CN254	1A(下行)	9.10	3.00	3.00	1.96	15.00	松V、IV	
		1B(上行)							
		2A(下行)							
		2B(上行)							
	CN256	1A(上行)	9.00	3.00	3.00	2.00	16.31	CL (K1區)	
		2A(下行)							
		1B(上行)	4.50	1.80	0.10	4.10	11.76		
		2B(下行)							
		1C ●(上行)							
	2C ●(下行)	12.88							
	CN257	1A(下行)	5.00+5.00	2.30	2.00	2.00	11.25	CL (K1區)	
		1B(上行)							
CN258	1A(下行)	5.00+5.00	2.00	2.50	1.50	11.67	CL (K1區)		
	2A(上行)								
CN259C	1A(上行)	5.00+5.00	2.00	2.50	2.00	11.30	CL (K1區)		
	1B(下行)								
板橋線	CP261	1A**(上行)	4.70+4.70	2.00	2.50	2.00	14.00	SM	
		1B(下行)	4.70+3.50				27.00	SM、CL	
	CP262	1A(下行)	6.27+3.00	2.70	4.10	2.70	31.00	SM	
		2A**(上行)							
		1B(下行)	6.27	2.50	3.50	2.50	28.00	CL、SM	
	2B(3A)(上行)								
	CP263	1A**(上行)	4.40	2.10	2.50	1.50	13.00	SM / CL、SM	
		1B ●(下行)							
CP264	1A**(上行)	4.20	2.00	2.50	1.50	15.00	CL、SM		
	1B ●(下行)	4.40				17.00			
中和線	CC275	1B(下行)	4.00	2.00	2.50	1.50	13.00	SM、CL	
		1C ●(上行)							
	CC276	2A(下行)	12.00	2.40	2.90	1.90	14.00	SM、CL	
		2B ●(上行)	4.00						
	CC277	1A ●(下行)	9.50	2.00	---	2.00	18.85(重疊)	SM、CL	
		3C(上行)			2.50	---	8.85(重疊)		
3A ●(下行)		4.00	2.20	---	2.00	20.20(重疊)			
3B ●(上行)				2.50	---	13.45(重疊)			

註：1. 隧道編號2A：第二部潛盾機第一條隧道，2B：第二部潛盾機第二條隧道。  
 2. t一欄中"2+3+3"表示三段不同形式之地盤改良，括號中之數值則表示隧道重疊段地盤改良之長度。  
 3."重疊表示"上下行隧道垂直並列。  
 4."●"符號表示棄殼。"\*\*\*"符號表示曾發生漏水。

表三 台北捷運連絡通道地盤改良範圍

路線	施工標	通道編號	改良區尺寸						隧道排列方式 (註)
			側邊 B (m)	頂部 H1 (m)	底部 H2 (m)	直徑 (m)	隧道深度 (m)	地層	
新店線	CH218	CP1	1.50	1.50	1.50	3.60(內)	20.00/22.00	松IV	1
	CH219	CP1	2.00	2.00	1.60	3.60(內)	9.00/12.00	松V	2
	CH221	CP1	3.30	5.00	1.00	5.00(外)	25.00/28.00	松III	2
	CH222	CP1~3	---	3.00~4.00	3.00	---	16.00~22.00	GM、SM	1
	CH223	CP1	1.95	2.80	1.00	4.50(外)	13.00	GM	1
	CH224	CP1 CP2	3.00	4.50 4.78	3.00 3.68	4.50(外)	20.00 21.00	SM、GM	1
南港線	CN253A	CP1	2.50	3.20	2.20	3.90(內)	15.00	松V、IV	1
	CN254	CP1~3	--	2.50	1.50	4.30(外)	14.00	松V、IV	1
	CN256	CP1	2.10	2.00	1.75	4.25(外)	15.00	CL	1
		CP2	2.10	2.00	2.30		12.00		
	CN257	CP1	3.75	3.49	3.61	4.30(外)	12.00	CL	1
	CN258	CP1	2.00	2.50	2.00	4.30(外)	13.00	CL	1
	CN259C	CP1	3.00	2.47	6.38	3.60(內)	18.50	CL	1
CP2		2.00	2.50	1.50	3.52(內)	14.55			
板橋線	CP261	CP2~3	1.90	2.5、3.4	1.60	4.10(---)	21、26	松III、II	1
	CP262	CP2~4	2.4~3.4	3.5~3.9	2.4~3.4	4.10(---)	27~29	SM	1
	CP263	CP1	3.00	2.50	1.50	3.40(---)	12.00	SM、CL	1
	CP264	CP1~3	1.80	2.00	1.80	4.3(---)	16~20	SM、CL	1
中和線	CC275	CP1	2.00	2.51	2.00	5.69/5.00 (高/寬)(外)	20.70	SM、CL	1
		CP2	2.00	2.71	1.90		20.42		
		CP3	2.73	2.50	4.16		17.46		
	CC276	CP1	2.80	3.00	2.80	5.69/5.45 (高/寬)(外)	22.00	SM、CL	2
		CP2	4.00	4.00	4.00	8.40/8.00 (高/寬)(外)	24.00		
	CC277	CP1	2.00/2.50 (上行/下行)	2.65(上行)	3.00(下行)	4.70(內)	13.00/24.00	CL、ML、SM	3
CP3		1.50/2.50 (上行/下行)	2.20(上行)	2.70(下行)	4.40(內)	10.00/20.00	GM、CL、SM		

註：隧道排列方式 "1" 表上行與下行隧道深度約略相同。

"2" 表上行與下行隧道深度不同，或連絡通道傾斜。

"3" 表上行與下行隧道呈上下排列，即連絡通道為豎井型式。