

捷運工程地工實務
**APPLICATIONS OF GEOTECHNICAL
ENGINEERING IN MRT CONSTRUCTIONS**

王復國，陳奕耿
F. G. Wang and Y. K. Chen

原著載於台北市政府捷運工程局東區工程處施工研討會論文集
1998年2月23日，第210~267頁

*Reprinted from Proceedings for the 1998 Symposium on
The Taipei Rapid Transit Systems, EDPO
Taipei, Taiwan
February 23, 1998, pp.210~267*

捷運工程地工實務

王復國¹

陳奕耿²

摘要

本文主要分六個子題討論敘述捷運大地工程施工，分別為 1.連續壁工程； 2.地下工程開挖； 3.支撐系統； 4.潛盾隧道； 5.建物保護及地盤改良； 6.基樁工程。基本上本文之重點係詳述施工步驟及注意重點，不去作理論性探討亦不做個案分析。

都市內之地下施工因隱伏不定因素過多，故潛在的危機亦多，往往工程才進行導溝施作便已造成鄰近建物龜裂，而因開挖造成之居民抗爭更是時有所聞。由已往之經驗了解大量沉陷發生，常係因連續壁施工不良、開挖遲延、支撐架設緩慢、潛盾倉壓控制不當及地改不確實所造成，而施工亦有因建物保護計畫未落實，建物未蒙其利，先受其害。台北捷運有百分之八十之基樁施工採反循環工法，故對樁底淤泥之清除亦為本文探討之課題。

1. 亞新工程顧問公司計畫工程師
2. 捷運局東區工程處總工程師

前言

台北都會區大眾捷運系統工程於民國 76 年開始如火如荼展開，將國內工程帶入另一個新紀元。話雖如此，對土建工程而言傳統之施工法仍為捷運工程中之主流，而各級營造廠商在各單位的要求下，其品質、技術著實有所提昇。本人從事大地工程專業顧問，多年來長時期與東工處第一線之現場工程師相處，深深覺得這是支一流的團隊，唯大多數人年紀太輕較欠缺實務經驗，而有實務經驗資深工程師則行政事務纏身，分身乏術。有鑑於此，亦欣逢東工處十周年處慶，茲將捷運有關大地工程施工部份分六個章節做一敘述，供各位參考。

第一章 連續壁施工

台北捷運地下車站施工之開挖擋土措施絕大多數係採地下連續壁，一談到連續壁施工大家自然就聯想到 MASAGO(MHL)、ICOS、BW 等工法，這如同一想到北港，就想起朝天宮，想到朝天宮就想起了『香爐』一般。

地下連續壁工程之成敗可說是取決於事前調查及所擬定之計畫，原因在於地下連續壁係在地面下濃濁泥水中構築之鋼筋混凝土壁，截然不同於地面上之結構體施工。因此將就以下要點做一介紹使各位看官能對連續壁整體施工程序略為了解。

1.1 工地現況調查

- (1) 施工場地及位置之確認：基地面積、形狀或基地境界線與地下外牆之關係，確認是否能構築於預定位置。
- (2) 與鄰接結構物之關係：鄰接結構物之形式、地下基礎、構造形式、開挖機具是否會觸及鄰接結構物或突出物，鄰近結構物之建保措施是否已施作等。
- (3) 基地現況調查：如地勢、地面高差、架空路線、地下箱涵及管線、舊建物基礎存在與否。
- (4) 週邊環境調查：區域性調查如住宅區、圖書館、醫院、育幼院、學校、養老院等因其對噪音、振動及施工時間有特殊規範要求，此外對交通動線、流量、通行管制亦需詳加瞭解。
- (5) 地質狀況調查：包括地質調查、地下水位、受壓水、伏流、土壤透水性、潮汐狀況、水質等。
- (6) 既往施工資料調查：如鄰近工區施工時遭遇流木、瓦斯、地下坑洞

等。

1.2 施工計畫書之擬定：其內容應含

- (1) 開挖槽溝穩定性分析，決定最大單元尺寸。
- (2) 導牆穩定分析，決定導牆斷面構造及深度。
- (3) 工法或挖掘機種之選擇。
- (4) 單元分割及接縫(端版)形式。
- (5) 接縫(端版)清理方式。
- (6) 工區平面配置擬定。
- (7) 穩定液控制。
- (8) 廢棄土、液處理計畫。
- (9) 混凝土配比計畫。
- (10) 水電需求及照明設備。
- (11) 作業時間之計畫及工期評估。
- (12) 施工機具使用與規劃。
- (13) 開挖計畫。
- (14) 鋼筋籠加工製作及吊放計畫。
- (15) 施工圖製作計畫。
- (16) 品保計畫。
- (17) 應變計畫。

1.3 連續壁施作

連續壁施作基本上是由以下幾個步驟所串聯而成。

1.3.1 導牆

導牆俗稱為導溝，具有引導鑽掘機具之作用。任何挖掘機種在機體尚未進入地層之前，易晃動較不穩定，可藉由導牆之侷限引導機體不致偏離軸心或產生扭轉。故導牆製作時除應要求良好之垂直精度外，導溝淨寬亦應較設計壁厚多出 3~5 公分，但最重要者導牆不得因重載擠壓而產生位移。

1.3.2 穩定液

穩定液係由皂土摻合其他化學添加劑並依重量百分比和清水攪拌而成

之混合液。穩定液主要有三大功能：

- (1) 維持挖掘槽溝壁面的穩定。
- (2) 作為循環式挖掘工法的排土媒體。
- (3) 因具有懸浮力，可滯緩泥砂之沉澱。

穩定液之種類基本上分皂土系和聚合物系，通常為達到某種目的亦會添加其他添加劑，如分散劑、增粘劑.....等等。但無論採用何種系列之穩定液，其性質必需保持在適用的狀態，如果逾越了適用範圍，則可能影響挖掘安全、施工效率、混凝土品質或施工接縫水密性。因此，如何有效的管理、維持及檢驗穩定液品質，將為重要課題。

1.3.2.1 穩定液之管理

- (1) 新液：調製之新鮮穩定液性狀要能滿足地質及施工等條件並定期試驗，若未符合要求，應追查原因所在，調整配比或更換材料，開工前試調階段必需作各項試驗，正式施工用之新液亦需每 100m² 攪拌後立即作一次試驗，置放 24 小時後再作一次為宜。
- (2) 循環液管理：槽溝挖掘採穩定液循環工法時，穩定液係充當排土媒體，當其與絞碎之土砂混合時，土砂或地下水中所帶之陽離子，將使穩定液產生劣化。一般而言循環工法中穩定液管理較費周章，其管理要點往往繫於土渣分離及沉澱分離之功效。一般而言經使用震動篩，旋離機(cyclone)及沉澱槽設備可改善因混合土泥而劣化之穩定液，但細微之粉土、粘土顆粒則分離困難，故欲能使細粒料分離，常藉助添加分散劑或清水等手段來達成，但亦因而使穩定液之性質產生改變，因此，管理上應以試驗結果來調整皂土，分散劑之適當添加量，以維持穩定液之適用狀況。

1.3.2.2 穩定液之檢驗

穩定液試驗標準尺度國內至目前亦尚未有統一之規範，目前各項重大公共工程，業主皆會依據需求，自行訂定出不同之試驗標準供施工承商遵循。表 1.1 所示為國內現行施工所較常採行之標準，但仍需斟酌施工現況做必要的調整，以符合安全和品質的要求。

表 1.1 穩定液檢驗標準

項目	合格標準(以 21 °C 為準)	檢驗法	測定時間及次數
比重	1.02~1.15	漿密度天秤 (Mud Balance)	鑽挖前後、下雨後 、混凝土澆灌前
粘滯性	有地下水時 23~65 秒 無地下水時 21~45 秒	漏斗粘滯性儀 (500/500 c.csec. Marsh Funnel Vicosimeter)	每日測定 情況同前
濾過度	濾過量小於 30c.c.；泥漿膜 厚小於 3 公厘。在易崩潰土 層濾過量應小於 15c.c.	過濾壓試器 (Filter Press Tester)	至少每三日一次
PH 值	8.5~11.7	PH 值顯示儀	混凝土澆灌前後
含砂量	挖掘中 < 7% 混凝土澆置前 1%~3%	200 號篩	每日測定 吊放鋼筋籠前

1.3.3 施工機具及工法

目前採用的地下連續工法種類很多，依機種型式分類如表 1.2 所示，其地盤之適用性詳如表 1.3 所示。各類機具之特性：

- (1) 挖戽式挖掘機：挖掘槽溝時，利用鋼製抓斗之爪牙嵌鑿土石並容入抓斗內，然後起出槽溝之外將土石丟棄，這樣反覆之動作挖掘槽溝，為操作最簡單之機種，國內較具代表性之機種為 MHL、ICOS 等。
- (2) 旋轉式挖掘機：採行旋轉絞刀絞碎石土，並以反循環之方式將絞碎土料抽取出，因此不適合卵礫石地層挖掘。旋轉式鑽掘之絞刀主軸之排列，分為垂直多軸和水平多軸兩類。旋轉式挖掘機其構造及機能較其他機種複雜，故障率亦相對提高，施工人員之技術層面要求亦高，但對挖掘槽溝之穩定性良好，對構溝內之細料沉澱物之清理方便。
- (3) 衝擊式挖掘機：此為特重且堅固之鑿具，利用重力加速度錘擊方式鑿穿堅硬之岩層或卵礫層，此種功能為其他挖掘機種所不能勝任。其缺點為鑿具耗損大、維修費高，且施工效率偏低，故工程施工費用亦相對提高。

表 1.2 連續壁施工機械種類

分類	機械操作方式			代表性機種
挖 厚 式	鋼 索	鋼索	懸吊式	ICOX.BACHHY**
		開關	導體式	
	凱利	油壓開關	懸吊式	MHL.MEH**
		油壓開關	導體式	KELLY
		搔取式	導體式	ELSE
旋 轉 式	垂直多軸鑽頭		懸吊式	BW**
	水平多軸切刃		懸吊式	HYDROFRAISE
			導體式	TBW
衝 擊 式	鑽頭		懸吊式	ICOS
	鑿具		導體式	

** 適用於大深度地下連續壁工程

表 1.3 開挖方式與地盤之適應性

地 開 盤 挖	粘 性 土	中 等 土	密 緻 砂	砂礫卵石		岩盤	
				150mm		泥岩 軟岩	硬岩
				以下	以上		
挖厚式	◎	◎	○	○	○	△	—
旋轉式	○	◎	◎	○	△	△	—
衝擊式	—	—	△	△	○	○	△

◎ 最適合 ○ 適合 △ 略適合

1.3.4 鋼筋籠之製作與吊放

連續壁工程中，鋼筋籠的製作精度不良或吊放作業不當，將影響壁體品質及施工安全至鉅。因此，爲了確保連續壁良好品質與精度，施工、監造兩者對整個施作程序應有相當程度的了解。

1.3.4.1 鋼筋籠製作台的設置

鋼筋籠製作台之製作除注意主筋進料、下料、鋼筋之取料、懸吊作業是否方便外，亦不得影響動線，此外亦需注意下列幾點：

- (1) 需有足夠組立的空間；若遇鋼筋籠需分數段搭接之場合，則以排列在一直線上施作較有利於垂直方向之續接精準性。
- (2) 需能夠配合分割形狀之製作；若遇特殊單元之鋼筋籠製作時，要能容易調整或變更製作台。
- (3) 需便利於鋼材、鋼筋、鋼筋籠之懸吊及遷移作業。

1.3.4.2 鋼筋籠之製作

鋼筋籠於施作上需注意下列事項：

- (1) 鋼筋之規格應符合設計及 CNS 規定，經抽樣合格後方可使用，高拉力鋼筋應註記並與普通鋼筋分開堆放。
- (2) 鋼筋籠內配置之監測儀器(鋼筋計)應依設計之高程裝設，鋼筋搭接應配合錯開，因設計者所配置之儀器高程，大部份為彎矩與剪力最大處鋼筋籠內之傾度管需固定妥當，且裝設位置需一致，否則搭接時將發生困難，此外，傾度管搭接接頭膠合需嚴密，並需使用膠帶捆紮，以防澆置混凝土時泥水流入造成塞管。
- (3) 主筋和橫筋之點焊需確實焊固，應慎防硫溶蝕鋼筋而使斷面減少。雨天若仍繼續施作時應搭設工作雨棚，否則除了需冒「感電」之危險外，焊接處也會造成「淬火」而影響焊接強度。
- (4) 鋼筋籠內特密管預留孔之空間，一般採管徑加 20cm 以上為宜，且不得有他物橫阻，以確保特密管吊放時之暢通。
- (5) 鋼筋籠兩側應有足夠之保護耳(spacer)，以確保保護層間距及避免吊放時鋼筋籠擦傷槽溝壁面。
- (6) 懸吊處之吊點鋼筋須特別予以補強，並嚴禁使用高拉力鋼筋。此外，為謀求懸吊力量之均勻分佈起見，吊點鋼筋或型鋼需與縱向主筋保持垂直。
- (7) 鋼筋籠內若有預留柱，其頂端應標註柱心記號，以便吊放時易與現場放樣之柱心檢核一致。
- (8) 若單元接縫為分隔鋼版式時，鐵板接合處除需完全滿焊外，鐵板內側仍需以短料加強焊接；而為防止混凝土澆鑄時鐵板與橫筋脫離造成漏漿。
- (9) 母單元鋼筋籠兩側之止漏尼龍布，應確實鎖緊在鐵板上，以免有漏漿

之虞；其質料應有高度韌性，寬度需大於端板至特密管位置之間距，或以能夠包覆整片鋼筋籠則為更佳。

- (10) 鋼筋籠全長採兩節以上製作時，應在鋼筋上標註接續記號，其接續點應交錯。若為搭接，應有足夠之搭接長度及良好之軸向垂直接續性。
- (11) 由於鋼筋籠之吊放定位，是以主筋頂部高程為校核量測之依據，故應力求垂直主筋頂部高程之齊平一致。
- (12) 鋼筋籠之製作應配合開挖速度，製作進度寧可超前，最忌有開挖完成後尚等候鋼筋籠製作之現象發生。若有空間儲放，可於鋼筋籠製作完成後，註明單元編號按其吊放先後順序堆放，並以角材墊平保護，以防沾染污漬或變形。

1.3.4.3 鋼筋籠之吊放

鋼筋籠既屬長又寬且重的龐然重物，吊放作業中不免具有高度之危險性，如果一時大意往往易釀成巨禍；因此，施工中應密切注意吊放作業之安全檢查，以防範事故或意外之發生。此外，為能達成鋼筋籠正確且垂直之吊放，對於吊放過程的各項作業要領等，當然也就必需嚴格加以管理。茲將鋼筋籠吊放作業應注意事項列舉如下：

- (1) 吊放鋼筋籠前需丈量開挖之確實深度，若沉澱量超出規範要求時，應先行清除至符合規定，方得實施吊放之相關作業。
- (2) 母單元接頭部份突出之預留疊接橫筋，應防止變形發生並力求平直，以免影響公單元之吊放。
- (3) 起吊前需注意各懸吊位置之補強，如吊點鋼筋、斜向補強鋼筋等均應各自加筋補強。
- (4) 鋼筋籠由水平起吊逐漸轉換成垂直懸吊過程中，因細長之鋼筋籠剛性不佳，若垂直採用起重機的吊鉤來吊放時，常會使鋼筋籠產生彎折或變形，故最好採用適當之吊具配合。若鋼筋籠不重且長度許可，即可利用同一部起重機之主副吊索配合採用三點或五點吊法來吊起鋼筋籠。但若太重且長時，則由二部起重機合作，採三點或五點吊法共同吊起鋼筋籠。
- (5) 鋼筋籠起吊及吊放時，危險性最大，除製作需牢實避免鬆落變形外，並應注意下腳料或鐵件之清除，以免吊放時墜落傷人。
- (6) 吊放時應注意使鋼筋籠與壁體中心一致，並隨時校核垂直度，以確保垂直吊放在導牆中心。吊放中不得搖來幌去，以防碰傷溝壁或刮落泥膜而造成崩塌。
- (7) 鋼筋籠若分為兩節以上吊放接續時，則在導牆上右設臨時橫擋或框

架，以暫時支撐下節鋼筋籠，上下兩節應調整垂直，按製作時標註之續接記號搭焊。搭接處除主筋外，其餘之橫筋、架構筋、剪力筋、預留筋及端板橫擋等亦應焊接確實，以免吊放後發生上下節脫落或漏漿之危險。

- (8) 吊放至預定深度時，應校核鋼筋籠之正確位置。通常是以主筋頂與導牆上高程基準點之相對高差來控制其定位，並利用型鋼或鋼軌等穿過吊耳固定鋼筋籠以防止下沉。兩側高度應調整等高，否則鋼筋籠左右傾斜，將造成接頭處特密管及鄰接單元鋼筋籠吊放之困難。
- (9) 鋼筋籠吊放不下時，應檢討原因謀求對策，必要時須拔出勿勉強插入，以免壁面崩坍或鋼筋籠潰散。

1.3.5 連續壁挖掘

開挖作業之良劣影響壁體品質至鉅，同時亦將影響鋼筋籠吊放之難易及混凝土澆鑄數量之多寡，甚至影響日後開挖時程及支撐架設。因此有關壁體挖掘之管理技術，除按上述各節嚴謹控制外，在開挖前、中、後各階段仍應注意下列有關之各項管理要點：

1.3.5.1 開挖前之管理

- (1) 挖掘機械及附屬機具等設備應事先檢查，定時保養保持良好狀況，以免開挖期間故障或停機。
- (2) 挖掘機設定在預定開挖位置，開挖前需先行定心，以確保正確之下刀位置及開挖壁體之平整度；有偏位計設備之機種並應調整歸零。
- (3) 面對或緊臨建物、圍籬開挖前，應預作適當防護措施，以免污染鄰近建物、環境或人車等。

1.3.5.2 開挖中之管理

- (1) 操作手應時時注意壁體垂直度之變化，若發生有偏差現象產生時，應操作活動導板調整之，或利用操作技巧導正。壁體之垂直度與操作手技術關係頗大，應選擇合格且富經驗之人選。
- (2) 母單元之挖掘應控制避免超挖，以免澆鑄混凝土時由端板底部漏漿，萬一超挖，兩側端板應加長，必要時，俟鋼筋籠吊放完成後，外側酌予回填碎石。假設萬一發生漏漿情形，應擬妥對策迅速處理，免得時間拖長處理困難，影響接縫結構性或止水性。
- (3) 挖掘遇巨大腐木時，應緩慢而耐心抓掘通過，嚴禁急衝猛拉，以免影響槽溝壁面穩定，或使挖掘機具受損。
- (4) 槽溝挖掘中，發現導牆或作業版面沉陷，穩定液液面或地表裂隙有持

續氣泡發生，或開挖機體之昇降遭受阻礙等崩坍徵兆時，首先應將開挖機迅速移開，以防埋置，其次在崩坍地點採取回填措施，俟謀求對策因應處理後，改採較高濃度穩定液施作。

- (5) 為預防挖掘機卡住或掉落深槽，應經常檢查吊索及機具設備，並隨時換修。開挖作業因故暫停時，挖掘機必須抽回地面，不得停置深槽，以免意外發生。

1.3.5.3 開挖後之管理

- (1) 挖掘至預定深度時，應以測深尺(俗稱水尺)檢測實際挖掘深度，同時用超音波測壁儀檢測壁面垂直度，若挖掘深度不足或超出規範要求之垂直精確度，應再以挖掘機挖掘或修整壁面至合格為止。
- (2) 槽溝底部之粘泥，應以抓掘方式或各種合宜之粘泥清理方式，盡可能地將底部粘泥清理乾淨。採用靜置沉澱方式處理者，除應講求穩定液品質控制外，亦必需注意是否有足夠的靜置時間方能有效達成徹底清理之目標。
- (3) 挖掘中掉落工作走道或鋪面上之土砂或粘泥，必須鏟除或沖洗乾淨方能進行後續動作，若放任土砂或粘泥再度回歸已清理完成之槽溝中，將使粘泥清理效果大打折扣。

第二章 地下工程之開挖

G.A. Leonards 教授對大地工程的失敗曾作如下的解釋：當分析及設計所預期之工程行為與觀測所得結果之間有無法接受的差異性時即為失敗，例如地層的破壞、沖蝕、未預期之地面或結構物裂隙產生、擋土支撐系統破壞、位移導致結構物功能損壞，以及安全監測資料對即將發生之災害無法適時提出警告，或是事前監測資料即已有破壞徵兆，仍然處置失當致產生工程災變等等，皆應視為失敗。由於開挖工程問題較為複雜，土層亦具有變異性，故業主、設計及施工單位應密切合作，並配合監測系統之觀測記錄回饋分析，隨時進行檢討並採取適當措施，應可將災害減至最低程度甚或完全免除。

2.1 地下開挖施工規劃與管理要項

位於都會區地下開挖作業，往往由於鄰近建物密集且緊臨建物，加以道路下方地下公共管線，如排水箱涵、自來水管、衛工幹管及瓦斯管相互交叉縱橫密佈，或是沿線路面交通繁忙、地質狀況變異性大，造成地下開挖施工規劃更為複雜且困難度高，施工期間任一環節如稍有不慎，極可能發生重大災害，甚而對公共安全與社會成本之付出可能造成難以彌補之損失，故於進行地下開挖工作期間，應對每一足以影響施工安全之潛在因素加以分析及預防。

有關影響地下開挖施工規劃與管理要點有：

(1) 鄰近建物安全現況評估與建物保護計畫

地下開挖施工前，承商一般會先委請公信單位(如土木技師公會、建築師公會、結構技師公會)就鄰房結構現況進行調查工作，調查之重點包括鄰房樓層、高度和現有結構裂縫之拍照建檔與裂縫寬度記錄，以及量測鄰房各角落 X-Y 向傾斜、偏移量，建物基礎型式(如筏式、樁基、獨立基腳)與深度，並根據該調查結果併同設計單位保護建物評估資料等，評估地下開挖作業施工如擋土、開挖、降水等施工程序作整體性建物安全評估工作。

前述評估結果建物如於施工前即需進行保護(如指定建物保護或承商認係需進行之額外建物保護)，承商需依據該建物基礎、地下管線及地質狀況研擬適切之建物保護計畫，一般較常使用來作為建物保護之工法大致有開挖區內地盤改良(如地中版、地中樑、梅花樁)及擋土壁外微型樁、門形支撐架、LW、地盤改良(含 Compaction Grout、Double Packer)及托底等，在軟弱粘性地層中原則上應避免於靠建物側使用超高壓噴射灌漿，以免因地盤改良灌漿過度擾動地層，致漿液未達設計強度之前建物即已發生過量沉陷，有關建物保護相關說明請另

詳第五章。

施工過程中如由安全監測系統測值反應該建物已達警戒、行動值者，承商除應評估後續施工對該建物安全影響評估外，必要時並應採取建物保護措施，以避免該建物有進一步之不利變化，建物保護方案之規劃一般承商宜先從調整施工方式如採島式開挖縮小開挖範圍、增加預力至設計軸力之 70~80%、增加支撐數量快挖快撐、控制開挖區內外抽水等來設法降低開挖造成建物之沉陷影響，如開挖期間必須於開挖區外側進行地盤改良灌漿等建物保護作業時，地盤改良期間需特別注意地盤改良對開挖區內支撐軸力與壁體側向變形變化觀測。

(2) 補充地質調查與地下管線調查

為確實掌握地層變異特性與地質工程特性，通常業方會要求承商於施工前進行補充地質調查工作，藉由鑽探、現地與試驗室試驗等取得地質資料，並與設計資料作比對，如其間有明顯差異時，承商應立即檢附書面說明，請設計單位檢核原設計案之安全性；前述土壤調查、試驗與分析工作應由有良好經驗之專業大地工程師執行，尤其應確實掌握土層層別變異性與其特性、地下水文狀況及其他如流木、有害氣體、地下孔穴等之分佈狀況。

地下管線之種類、埋設位置、數量及深度，經常與擋土壁之構築、開挖施工程序、管線遷移及吊掛作業有很大之關聯或是互有衝突之處，如大型排水箱涵需配合分區開挖進行箱涵改道遷移、大型自來水幹管需予特別之吊掛保護、擋土壁因管線無法形成地中連續壁而留有缺口之處理以及一般管線之吊掛作業安排等等；由於設計階段所獲取之地下管線資料，大多是由管線單位書面提供，再加以由設計至日後施工期間可能新增之公共管線，故實際管線分佈情形實有賴承商於施工初期加以補充調查，必要時須會同管線單位進行管線試挖工作，使施工計畫能切合實際需要，不致因管線資訊不足而發生如挖破瓦斯管線或自來水幹管等影響公共安全之情形，或迫使臨時變更工作計畫，嚴重影響工期。

擋土壁構築與地下管線施工衝突引致壁體留有缺口之處理方式，一般於軟弱或是透水性高地層中可採用在開挖區外側施作地盤改良方式，以提高缺口處地層開挖面之自立性並降低其透水性，以避免內擠(Inward)或管湧(Piping)之破壞情形發生。

(3) 擋土開挖穩定分析與擋土牆種類選擇

開挖應依土質種類、緊密或軟硬程度及水壓分佈等，詳細核算擋土壁開挖穩定性，一般而言擋土開挖之穩定性分析有以下幾項(如圖 2.1 所示)：

- (a) 內擠(Inward)：擋土壁應有足夠之貫入深度，使擋土牆在兩側之側壓力作用下，具有足夠的穩定性。
- (b) 砂湧(Boiling or Quicksand)：開挖面下方如係透水性佳之砂質土壤，應檢核其抵抗砂湧之安全性。
- (c) 上舉(Blow-in)：開挖面下方土層中有不透水層，且該不透水層下方之透水層水頭較不透水層為高(即透水層為受壓水層)時，該不透水層將承受上舉水壓力，此時應檢核其安全性。
- (d) 隆起(Heave)：開挖區之土層係軟弱粘土層時，應檢討其抵抗隆起之穩定性。

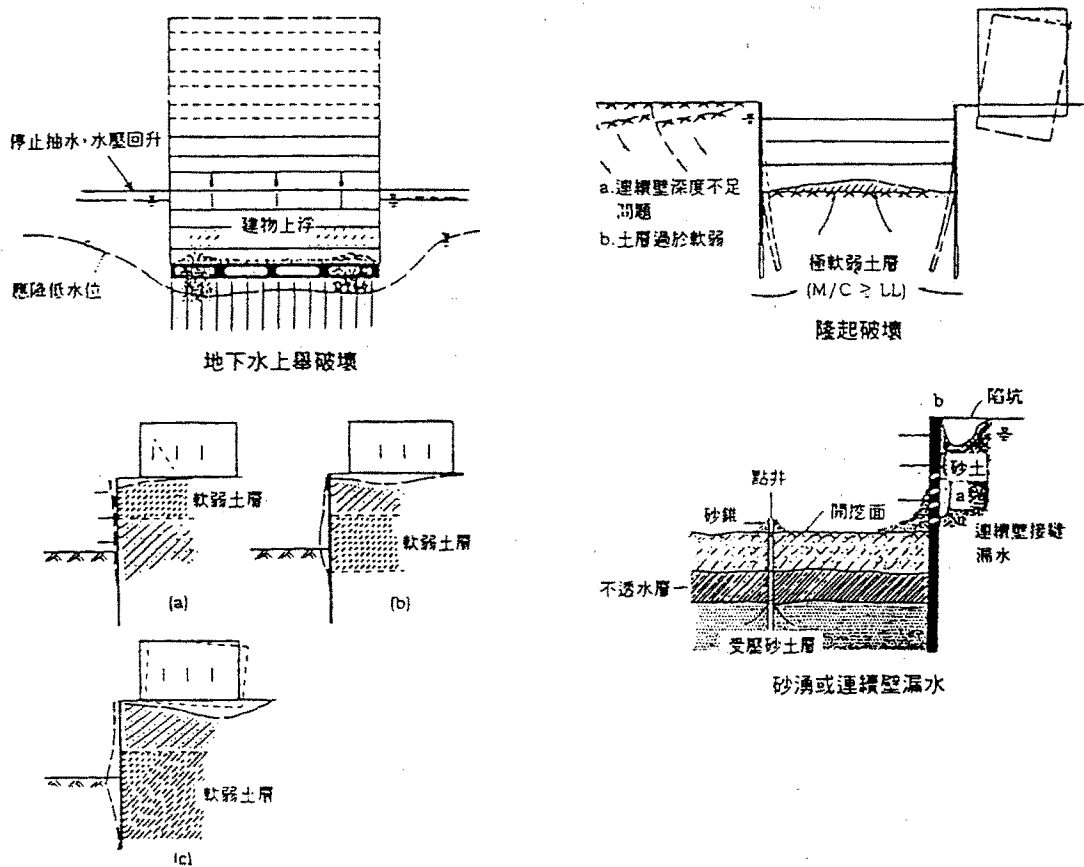


圖 2.1 深開挖常見之失敗模式〔摘自陳斗生淺談深開挖工程實務-失敗之預防〕

擋土壁依其形狀可概分為壁式(Wall Type)與排樁式(Column Type)兩類，前者如地下連續壁(Diaphragm Wall)因較其他型式擋土壁具有較強的結構勁度、連續性、且其止水性較佳等特性，故廣為各都會區之深開挖工程所採用，其施工管理請參閱第一章。而後者之擋土工法如鋼版樁、預壘樁、摻土排樁(SMW)或主樁加橫版條等。鋼版樁、預壘

樁一般均使用於開挖深度約 10 公尺以下之工程，如捷運工程中出入口等附屬結構淺開挖。SMW 可配以較佳勁度之型鋼而使用於深度約 15 公尺以下之開挖工程；主樁橫版條擋土設施由於不具止水性且開挖面較為開放，故適用於自立性較佳(如卵礫石層)及地下水位低之區域，台北捷運新店線 CH225 標、CH226 標及 CH228 標車站主體工程開挖擋土設施大都採此工法。

(4) 止水灌漿與地下水位、水壓控制

如因擋土壁止水性不佳，或於開挖區外降水以降低側向水壓時，往往會造成鄰近地面或建物大量沉陷，故有必要對施工中開挖區內外之地下水位、水壓變化加以控制，一般對於壁體止水不佳者如連續壁瑕疵單元(Panel)或連續壁接縫處均需要施作止水灌漿，以避免壁體漏水產生管湧破壞；擋土壁一般應設計貫入不透水層以形成遮水效應(Cut -Off Wall)，使開挖期間開挖區外之地下水壓不致下降而引致粘性地層過量壓密沉陷。

深開挖時若在開挖面下擋土壁適當設置深度範圍內存有廣範且高滲透性受壓水層時，應事先評估該施工降水所引致區外水壓下降及鄰近建物沉陷是否超出容許值，如有超出且影響範圍甚為廣範時，施工可考慮採用封底灌漿(Plug Grout)，即於連續壁底端設置一定厚度之灌漿版，以形成一不透水層效應，如新店線 CH221 標通風井及逃生豎井所示(如圖 2.2 所示)。此外如工區位處極軟弱地層，雖配以較高勁度連續壁、擋土支撐系統及較深貫入深度，仍可能因土壤被動抵抗不足，而使壁體有過大之側向位移量及鄰房過量沉陷，此時可考慮採用如南港線 CN257~259C 標所設計採用之開挖面下設置一定厚度地中版或地中樑地盤改良(Grouting Raft)方式以達建保目的(詳第五章圖 5.3)。

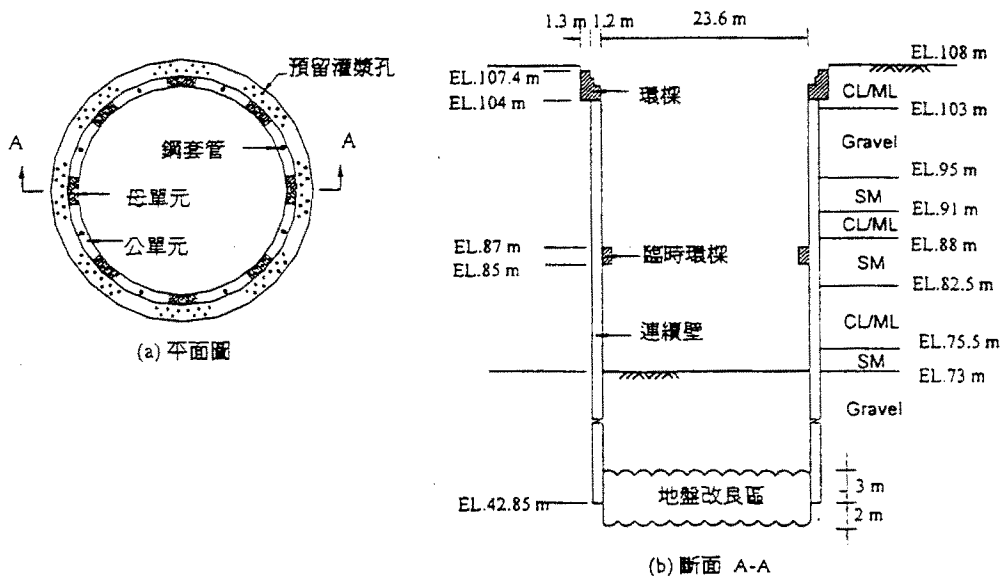


圖 2.2 新店線 CH221 標通風豎井封底灌漿示意圖

(5) 施工程序與施工控制

承商於開挖作業計畫上應依據自身之開挖作業設備、擋土支撐設備、地下開挖施工程序(如逆築、順築或半逆築等)、基地內條件(如既設構造物或地下管線狀況、出土動線、開挖效率)、基地周圍條件(如物料進出搬運、建物保護需求)、基地土壤與地下水文施工控制狀況、災害防止計畫與安全監測作業等做一妥善且嚴謹之規劃，務求工程能充分且確保在安全限度內將基礎結構順利完成。

在每一開挖階段與支撐架設工作，承商均應確實依據事前核可之計畫內容施作，不可為求施工便利、節省成本或無法掌控協力承商作業狀況，以致有超挖、開挖後長期閒置未架設支撐、拆撐後長期未構築結構、採用較小支撐斷面或未設置回撐等之情形而危及施工安全，開挖與構築期間開挖區內外之地下水位、水壓亦應依計畫書內管制方式隨時監測控制，此外亦須定有嚴謹之施工安全檢核作業程序，配合完整之安全監測作業，對擋土、開挖及支撐作業等施工過程中所可能發生之災變潛在原因，均能事前予以發覺並有效防範。

(6) 覆蓋版樑、中間柱與支撐系統檢核與施作

施工過程中承商應依核定施工圖安裝支撐系統、覆蓋版樑系統等設施，包括橫擋(Wale)、支撐(Strut)、斜撐(Brace)、繫材(如 U 形螺栓、連桿)結合構件、加勁版、油壓千斤頂(Jacking System)、千斤頂保護匣、覆工版(Decking)、覆工樑(Decking Beam)、中間柱或構台柱(King Post or Stage Post)、縱向補強繫材(線形工區需要)等並施加支撐預力，此外亦須經常或定期實施檢查、維護支撐，使能維持安全狀況(請詳第三章說明)。

對於構台柱或物料進出口附近之支撐系統架設，應留有適當作業空間及配設妥善之保護措施，以避免出土或物料進出吊放碰撞破壞，現場應禁止物料堆放於任一支撐上，或堆放過重物料於覆蓋版上，造成覆工版樑系統支承不足而破壞；此外承商應配合支撐軸力之監測結果，適時增加支撐數量或修正開挖作業程序，以避免破壞之發生。

(7) 安全監測系統之規劃與執行

在深開挖工程中安全監測系統扮演預警與施工影響記錄功能，監測工作應依開挖深度、土層構造及性質、地下水位、水壓及水流情形、施工時間長短、擋土結構型式、支撐型式、開挖及支撐步驟、開挖區四周環境等因素，做適當之規劃與設計，各監測項目之監測點位數量及配置，應符合大地工程學理及經驗分析判斷之需要，且以充分維護基地開挖及鄰近結構物、設施之安全為原則，並須有完整的監測斷面可供回饋分析之用。

承商於選用監測儀器時應考慮周遭環境的影響，諸如溫度、降雨、日照、風吹、腐蝕與電磁波干擾等，除符合經濟原則外亦應兼顧儀器所需精度要求與可靠性、耐久性，必要時可於現地進行監測儀器安裝測試，以確認該儀器可符合合約之相關要求，承商計劃用於臨時工程之監測儀器亦需比照辦理。

2.2 地下開挖施工破壞模式與防範對策

為提供捷運局施工處監造工務所於進行後續地下結構深開挖施工監造管理階段，能對深開挖工程中就大地工程所需注意事項有所瞭解，以下茲分別就施工期間常遇到之破壞模式及其防範對策依序說明如下：

(1) 擋土措施深度之檢討

前述失敗模式中之隆起及砂湧其主因大多為擋土措施之深度不足所致，所謂隆起(Heave)乃起因於擋土牆底端至最下層支撐間，以最下層支撐為支點，所形成近似圓弧之土體抗剪強度不足，導致開挖背側土向開挖面內上舉滑動而破壞，其發生之地層多屬軟弱粘性土層(如CN256~CN258標所處之松山層 K1 區)地層，此種破壞徵兆可由裝設於擋土壁內之貫穿壁體式傾度管(SID)及壁外傾度管(SIS)量測資料顯示，開挖面下壁體底部或其附近地層有向開挖區擠入情形得知，當壁底向開挖區位移量逐漸接近，甚或大於開挖面附近之最大側向位移量時，即可能發生此類型之破壞，前述傾度管裝設深度應埋設至較壁底深之較堅硬地層，使管底形成一不動參考點；除此以外此種破壞通常亦會伴隨中間柱及支撐系統上拱破壞，故可藉由中間柱隆起桿(HI)或下層支撐系統(VG, LC)之上拱破壞現象獲得警訊。

施工過程中如由監測資料得知有隆起破壞可能時，應即停止一切開挖動作，緊急時可考慮就地回填原土，並研擬必要處置以避免進一步破壞發生，其對策可優先考慮採用提高開挖區地層之被動抵抗如地盤改良方式，期間並應密切注意支撐系統之隆起、軸力變化與壁體側向位移之變化。

另所謂砂湧(Boiling)乃在地下水位高之一般砂質地層中開挖時必須隨同進行祛水作業，此一過程中會造成開挖區內外之水位差，當祛水能量不足或無法持續祛水，以將開挖面下水壓保持在一定壓力以下情形，當水力陂降超過某一特定值時，由外部而來之向上滲透壓力將過大，而造成開挖區內砂性地層上浮似沸騰之狀態(Quicksand)，而致地盤產生急激之破壞現象。此種破壞徵兆一般可由裝設於開挖區內之水壓計(ELP, PS)或壁內土水壓計(EP/WP)之水壓變化量測結果獲知，當該深度水壓值甚接近該深度之覆土重時，將有砂湧破壞之可能，預防對策為開挖前應於開挖區內、外裝設足量抽水井(含備用井)且均勻分

布，以及備妥足量抽水機(含足量備品)，定期維修抽水裝備；施工過程中如遇有被砂湧破壞徵兆，應即停止開挖動作，並加強或起動備用抽水裝備，以有效控制開挖區內水壓並避免砂湧破壞。

(2) 擋土牆側向位移及引致之鄰房損害

如因擋土壁勁度與內支撐系統勁度不足或裝設不良、外在超載荷重過大、地層極軟弱、施工震動等，於開挖過程中常可能會引致過量之壁體變形及引致鄰房過量沉陷情形，甚至引發支撐系統之連鎖性破壞，此種破壞徵兆一般可由支撐應力計(VG)、支撐荷重計(LC)或壁體內傾度管(SID)之測值變化得知，該破壞可從擋土壁與內支撐系統之開挖安全檢核設計中予以防範避免；例如於軟弱地層中為強化開挖面側土層被動抵抗能力，降低開挖引致壁體側向位移，可考慮採如南港線CN257~CN259C 標之地盤改良地中樑或連續壁地中樑。在施工程序上亦可採加大支撐勁度(曾加型鋼斷面尺寸)及預壓力，並且採快挖快撐原則，降低土層潛變位移量之可能。施工中如遇壁體變形過大、支撐軸力增加致超過行動值情形時，應暫停開挖施工動作，並採增加支撐數量加強支撐勁度方式予以克服。

(3) 擋土牆縫隙滲漏管湧引起開挖區外側土壤掏空及地層部份沉陷或陷落

一般深開挖工程中如因擋土壁施工過程中有接縫處理不良、坍孔或混凝土澆置不當致有包泥瑕疵，或因地下管線密集無法施作擋土壁致使壁體產生缺口而止水處理不當者，若該處地處砂質土層則會出現開挖面出現有浮水現象或是接近開挖面土壤滲水不止情形，或是於清除壁體包泥時突然發生壁體穿孔產生漏洞者，此時將急速發生大量之地下水夾帶著壁外之砂性土壤傾洩流入開挖區，內並同時導致壁外地盤大量掏空及隨後地層快速沉陷情形。

由於前述滲漏管湧(Piping)之破壞行為發展甚為快速且可能導致地表嚴重的場陷，故處理時應先求事前之防範，再尋求事後之補救，一般在監測儀器上可藉由裝設於開挖區外之水位觀測井(OW)、水壓計(PS, ELP)水壓異常下降(如超過 2.0 公尺)或地面型沉陷點有異常沉陷變化時即有可能發生此類型之破壞，此破壞現象常用之防範措施如下：

- (a) 針對擋土壁接縫處、瑕疵單元、缺損、包泥部份於開挖前作好止水灌漿工作。
- (b) 於開挖面出現浮水現象或是開挖面土壤有滲水不止現象時應即停止開挖作業，並視狀況於滲水處堆置事前備妥之砂包及回填土方。
- (c) 預先成立應變救災小組，依據現場開挖施工狀況及安全監測資料(如水壓計、水位井、地面型沉陷點)判讀，積極發掘潛在危機，

並即時採用有效因應對策。

- (d) 每階段開挖可考慮於擋土壁四周先行開挖。
- (e) 基地外四周埋設點井，於事故發生後確認有必要時用來抽降開挖區外側地下水，以有效控制地下水流入開挖區內。
- (f) 如事件發生時擋土壁背側灌漿已無法有效止水時，在作業人員安全無虞情形下可考慮於漏水處將裝有水龍頭之引流管水管插入漏洞，其靠土層側之管端需包覆濾網或不織布等可過濾細顆粒土壤物質，在打開水龍頭導水情形下分階組模、回填灌漿導水管四周壁體，最後再關閉止水閥以達到止水目的。

(4) 地下水上舉力破壞(Blow - in)

在粘性與砂性土層交互出現地層中，隨著開挖深度之增加，開挖面下粘土層下方砂性透水層之水壓逐漸由靜態水壓轉變為受壓狀態，若此水壓不變(即不抽降該層地下水壓時)，當開挖至該水壓約為該透水層上方土層及結構體之總重時，將發生開挖面地層上舉(Blow in)破壞，此種破壞徵兆一般可由裝設於開挖區內粘土層下方砂性地層內之水壓計(PS 或 ELP)水壓值及隆起觀測點之隆起變化情形獲知，當該水壓值接近其上方覆土荷重時，即可能發生此類破壞，其對策為應隨時注意裝設於開挖區內水壓計水壓之變化，維持適當開挖區內之祛水作業，以有效控制該水壓，即使在結構體構築階段亦然，以避免此類之上舉破壞。此外如於開挖後期水壓計因施工而破壞時，亦不可為瞭解該受壓透水層水壓，而冒然於開挖區內進行鑽孔補設工作，否則將極可能產生另類之砂湧破壞；另一種解決對策可考慮於小區域封閉形基地在該透水層較深層處施設一灌漿止水層(如 CH221 標通風豎井施工所採用者)，以使總土壓與水壓之比值提高，降低或避免此類形之破壞。

(5) 內支撐系統破壞

一般如遇內支撐系統勁度不足、裝設不當致支撐有彎曲蛇形挫屈、結合構件斷落、為節省選用較小支撐斷面、預力過低、橫檔與支撐交接處之橫檔上未設置加勁鈹，引致橫檔挫屈破壞、支撐上堆置鋼料模版等重物、大斜撐(如潛盾工作井端牆處)區橫檔與壁體間及支撐與橫檔間未能作好止滑設計，因斜向軸力中沿擋土壁方向之剪力抵抗不足，常致支撐與橫檔或是橫檔與擋土壁間產生錯動引發支撐系統之破壞。此外中間柱之支承力或抗拉拔力不足時，亦會引起嚴重之支撐系統破壞。

預防支撐系統破壞之道，當從適當之支撐安全設計檢核著手(設計應考慮其中某層一支撐破壞情形下，該支撐系統仍為安全之狀況)，再

配合以承商謹慎嚴謹之施工態度，在施工階段之每一支撐結合環節上均能按核定之施工計畫書執行，並定期檢視支撐及結合構件之受力變形情形且密切注意安全監測系統支撐軸力(VG、LC)之變化狀況，必要時應盡速採取補強措施，如增加支撐數量及支撐型鋼斷面或增焊橫向繫條連桿(Cross beam)等，嚴格約束協力承商使勿隨意堆置重物於支撐上，配合快挖快撐方式及提高預力方式，如此將可使支撐系統破壞機率降至最低。

2.3 地下開挖施工安全監測作業

安全監測作業係指藉由相關監測儀器之供應、設置、量測、維護，以監測地下開挖施工期間擋土壁體應力與變形、支撐系統受力狀況、開挖區內外地盤移動沉陷、地下水位及水壓、現有鄰近結構物與公共管線移動、壁體土壓等變化，以提供承商各種預警資訊、發掘施工潛在危機，並透過早期採取預防措施、修正施工程序、加強施工管控等手段，以有效避免各類施工破壞之發生。監測資料除可用為預警作用外，亦可作為研判施工對鄰近結構物影響之重要證據。

一般地下開挖施工監測系統配置方式如圖 2.3 所示，相關監測儀器項目包括如下：

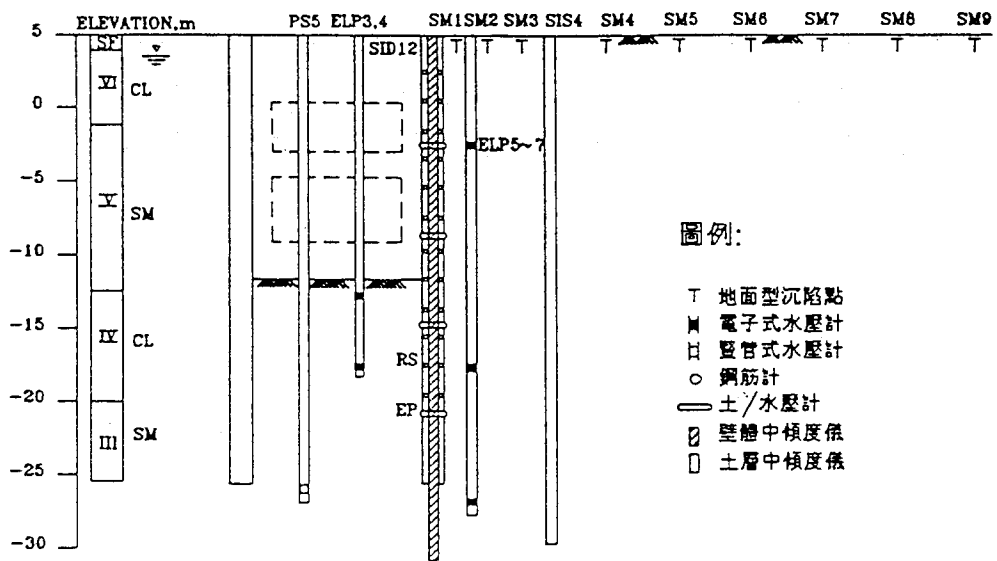


圖 2.3 地下開挖施工安全監測系統配置示意圖

- (1) 擋土壁壁體應力與變形：(貫穿式)壁內傾度管(SID)、鋼筋計(RS)、土水壓計(EP/WP)、壁頂沉陷及側向位移觀測點(SB)。

- (2) 支撐系統受力狀況：支撐應變計(VG)、荷重計(LC)。
- (3) 開挖區內外地盤移動沉陷：地面型沉陷點(SM)、土中傾度管(SIS)、測沉系統(SSSI)、連續沉陷計(SCG)、多點伸縮儀(EXM)、永久水準點(BM)、隆起桿(HI)。
- (4) 地下水位及水壓：水位觀測井(OW)、豎管式水壓計(PS)、電子式水壓計(ELP)。
- (5) 現有鄰近結構物與公共管線移動：結構物型沉陷點(SB)、管線型沉陷點(SU)、裂縫計(CG)、建物收斂觀測點(CBB)、房屋傾斜計(TI)。

一般而言，上述儀器量測項目中壁體側向位移、地表沉陷與支撐軸力間變化有一定之關聯性，水壓計與水位井之變化與支撐應變、壁體滲漏、上舉、砂湧破壞及鄰房沉陷有關聯；地表沉陷、鄰房之傾斜沉陷也與開挖深度有關聯；壁體側向位移變化、隆起桿之隆起量，則與隆起(Heave)與內擠(Inward)破壞有關。

本作業一般需由專業之監測協力承商及大地工程師來執行，依據監測點位測值變化進行回饋分析及施工安全狀況評估工作，施工過程中如測值達警戒程度(Alert level)時承商應研擬必要之結構物安全評估與應變計畫報請業方核備，並加強觀測及依據施工影響區域機動增加監測頻率與增加監測點位以監測其後續變化，如測值達行動程度(Action level)承商應即進行相關應變作業以減少進一步之不利變化；此外施工過程中應隨時注意觀察現場施工狀況，如察覺有施工破壞徵兆時應掌握時效，儘速採取必要應變措施以防止災變進一步發生，千萬不可坐等監測量測工作之完成，或過度依賴監測儀器讀值變化狀況再來採取相關應變措施。

第三章 支撐系統施工

目前台灣之深開挖作業中之支撐系統，以採用 H 型鋼內支撐系統(Internal Bracing System)較多，其中橫擋(Waling)及支撐系統之配置及接合、支撐與中間柱之結合及支撐預壓等作業控制之良窳，為支撐系統成敗之關鍵所在，本文乃就實務之觀點，分別就各作業項目之施工管控重點進行說明。

3.1 支撐千斤頂配置及架設

基地於每一階開挖完成後，即進行支撐之三角托架之裝設，水平支撐及圍令之吊放，最後一個步驟則為預壓。預壓控制進行前通常須進行各構件接合之檢查，然後再預壓力之施加作業，茲分述如下：

(1) 支撐系統施工管控重點：

- (a) 將千斤頂約配置於基地中央部份，勿配置於支撐之兩端，並以錯開配置為原則，同時考慮作業性。
- (b) 將千斤頂配置於構台下方以避免抓斗之撞擊。
- (c) 支撐架設時間應配合基地開挖時程，採快挖快撐原則，避免延遲。

(2) 預壓前檢查：

- (a) 中間柱(僅承受支撐系統荷重者，不含覆蓋版樑系統荷重)。
 - (i) 檢核中間柱之打設深度及接樁數目是否與核定之計畫內容相同。
 - (ii) 中間柱之接樁必須良好。
 - (iii) 中間柱不可與構台柱共用。
 - (iv) 中間柱放樣位置與打設垂直精度應符合要求。
 - (v) 應儘量避開樑柱牆之位置(逆打工法)。
- (b) 構台柱(承受上部路面交通或施工機具傳遞之水平、垂直荷重)。
 - (i) 構台柱應與支撐系統分離。
 - (ii) 構台柱應有橫撐以防止構台搖動。
 - (iii) 構台底應有斜拉桿件及補強橫樑
 - (iv) 構台柱放樣位置與打設垂直精度須符合要求。
- (c) 橫擋安裝

- (i) 橫擋與擋土壁之縫隙須適當填充。
 - (ii) 橫擋與支撐接觸面上下兩端應加勁補強。
 - (iii) 橫擋接頭處應加補鐸加勁板。
 - (iv) 橫擋接頭處若不平整，則應填充焊接。
 - (v) 橫擋接頭處應避開支撐或斜撐。
 - (vi) 大斜撐部份，橫擋與擋土壁面間應有適當止滑設施。
 - (vii) 橫擋之接頭，橫擋與支撐或斜撐處之螺絲個數須合乎設計要求。
- (d) 支撐架設：
- (i) 支撐接頭處應加勁補強。
 - (ii) 支撐構材不宜採用曾遭受碰撞彎曲或損壞變形銹蝕者。
 - (iii) 支撐接頭不平整處應填充鋼材焊接補強。
 - (iv) 相鄰之支撐接頭及支撐千斤頂位置應適當錯開。
 - (v) 支撐架設必須水平。
 - (vi) 架設支撐時千斤頂及支撐接頭處應避開中間柱。
 - (vii) 支撐螺絲數量必須足夠且已鎖固。
 - (viii) 荷重計與支撐中心必須在同一線上。

(3) 施加預力作業要點：

支撐預壓為支撐系統作業最重要之環節之一，一般支撐預壓均為同步預壓，同步預壓過程中一般均以分段進行，即將預壓力之施加分為若干階段，於每一階段施加設計預壓力之若干百分比，同時在每階段分段預壓完成後，作若干時間之飽壓，以維持支撐預壓力維持在一定之範圍內，減少預壓力之損失(Loss)，在預壓控制中之控制重點在檢查支撐之平直度是否因力量之增加而破壞，同時各路支撐是否均達預訂之預壓標準。預壓中及預後之檢查重點如下列各項及(4)節所述：

- (a) 預壓宜將分區分段同步預壓。
- (b) 避免於中午烈日下施加預力。
- (c) 預壓中支撐須注意有無出現上浮、蛇行、扭曲變形之情形。
- (d) 預壓中應檢查油管有無漏油現象。
- (e) 分段預壓中檢查 U 形栓是否卡住。
- (f) 預壓中應檢查千斤頂衝程是否足夠。

- (g) 可考慮加大預壓力抵消可能之預力損失。
- (h) 檢查雙拼橫擋是否有滑動情形。
- (4) 預壓完成檢核作業
 - (a) 檢查千斤頂螺紋是否仍鎖緊。
 - (b) 檢查 U 型栓是否仍確實鎖緊固定。
 - (c) 檢查背填物有無產生裂縫與橫擋分離。
 - (d) 檢查橫擋與支撐相交處有無因應力集中導致變形。
 - (e) 檢查荷重及千斤頂有無用保護匣保護。
 - (f) 確認預壓支撐中心成一直線後，將防止變形用角鋼焊接於全部支撐之兩側。
- (5) 維護
 - (a) 嚴禁支撐上堆置物品(如鋼材、鋼筋、模版等)。
 - (b) 觀測壓力降低時是否補壓。
 - (c) 出土口或物料吊放通路(如構台區)附進進行吊放作業時應嚴禁碰撞支撐系統。

3.2 支撐系統失敗之原因大致有：

一般地下室安全措施中造成擋土壁變形或破壞之最主要因素之一就是支撐系統施工不當，有關一般支撐系統施工失敗之原因如下：

(1) 超挖或不均衡開挖

由於超挖或不均衡開挖，易造成支撐須承受過大之側壓而產生變形。

(2) 橫檔與擋土壁之不密合

橫檔施工最主要者為與擋土壁體完全密合，若有空隙存在，必須以填縫鋼板或無收縮混凝土填塞，否則必會形成應力集中，造成橫檔之變形與挫屈破壞。所以，橫檔與支撐接合點之處理必須小心，必要時以加勁板加強中。

(3) 施工構台之支柱與中間構併用

施工構台之支柱一般應儘量獨立使用，避免與中間樁併用或將支柱拉桿與中間樁接合，否則常造成中間樁承载力不足。

(4) 荷重計或千斤頂安裝位置不當或補強不足

若施加預壓之千斤頂配置不當，將造成整個支撐系統結構上之弱

點，兩者皆影響支撐系統之整體勁度，加大支撐系統之變形與挫屈。

(5) 水平支撐構材接合位置不佳

通常各列水平支撐其全長相同者居多，因此考慮一支水平支撐樑配置後，其他的進行同樣配置，在長度上並無不對，不過考慮整個水平支撐樑之構成時卻成為結構上之弱點，同時和橫檔之配置一樣，在同一跨度內不宜設置兩處以上接合點，否則強度將大幅降低。

- (6) 水平支撐與橫檔在平面上斜交時，由於水平支撐在橫檔方向之水平分力若太大時宜加設抗剪橫檔，以抵抗此水平分力，否則水平支撐與橫檔間之接合螺栓或焊接部位常會被剪斷錯動。
- (7) 支撐系統拆撐階段未按設計時之考慮施工順序為施工便利或節省工期而二層支撐同時拆除。

第四章 潛盾隧道施工

自法國人布魯諾於西元一八二五年在英國倫敦泰晤士河河底隧道工程中，首開潛盾工法先河以來，至今已歷一百七十二年。國內自民國六十五年引進潛盾工法時，主要是應用在衛生下水道工程，而台北捷運系統工程全面展開至今，潛盾機使用數量已超過三十部，其規模及數量在國內可謂史無前例。由於台北盆地主要土層為沖積層，以致台北捷運系統潛盾隧道工程多位於軟弱土層中施工，沿線隧道重疊交錯，自建物群、管線或河川下方穿越者屢見不鮮，為確保隧道施工及地面結構物之安全，於潛盾施工中控制地層沉陷是極其重要的，而這皆有賴於完善的施工管理及完整的施工經驗。

4.1 潛盾施工法特點

潛盾施工法為在軟弱土層中開挖隧道的一種工法，利用一較隧道外徑斷面稍大之可移動鋼殼鑿入土中以支撐隧道四周地盤，一面以千斤頂推動鋼殼掘進，一面於鋼殼內組立永久襯砌成環，當鋼殼前移後以環片支承地盤，猶如甲蟲穿泥似的，是一種反覆循環的施工法，此工法施工快速且安全，故廣泛被採用於軟弱土層的開挖工程中。

4.2 潛盾機型式與設備

有鑑於台北盆地土層之低強度、高壓縮性及高地下水位的特性，加上都會區施工條件之限制等因素，潛盾機型式與設備的選擇與施工安全、建物保護及沉陷控制等訴求有直接關係，益加突顯其重要性。表 4.1 為台北捷運潛盾隧道工程各施工標所選用設備，茲就其中六項有關潛盾設備及隧道斷面扼要說明：

- (1) 潛盾機型式：除新店線 CH221 標採用泥水加壓式外，絕大多數承商均採用土壓平衡式潛盾機並輔以加泥或氣泡式工法，究其原因應為施工用地取得不易及經濟方面之考量。
- (2) 潛盾機尺寸：由切刃面盤到盾尾長度為 5.97m~7.68m 之間，而切刃面盤外徑為 6.04m~6.28m 之間。
- (3) 隧道環片尺寸：環片內徑有 5.4m 及 5.6m 兩種；環片厚度除 CH222 標為 0.3m 外，其餘各標皆為 0.25m；環片寬度除 CH223 及 CH224 兩標為 0.9m 外，其餘各標皆為 1.0m。
- (4) 背填灌漿設備：潛盾設備中值得一提者為同步背填灌漿設備，這是一種裝設於盾殼外圓弧形凸出鋼護罩，內置灌漿管及清洗管，由潛盾機中洞延伸到盾尾，能在環片脫離盾殼前的第一時間填補盾殼與土層間的空隙，以減少土壤受擾動程度。在新店線 CH218 標潛盾機配有此項

設備，惟由於發進初期因灌漿管經常有阻塞現象，故後續施作仍由環片內向外灌漿處理。

表 4.1 台北捷運各施工標潛盾隧道工程選用設備一覽表

路線別	施工標	覆土深度 (m)	最小曲率半徑 (m)	最大掘削坡度 (%)	適用機型	輔助工法	切刀型式	製造商 / 國別	* 長度 (m)	± 外徑 (m)	環片內徑 / 外徑 (m)	環片寬度 / 厚度 (m)	二次灌漿	同步背填灌漿設備	轉換方式	出土方式	備註	
淡水線	CT201A	9~18	450	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht / 德國	— / — / —	— / 6.09	5.42 / 6.12	1.00 / 0.25			C	X		
新店線	CH218	8.5~21	380	3.0	土壓平衡	氣泡型	輪幅式	三菱重工 / 日本	6.40 / 6.10 / 5.70	6.07 / 6.05	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25	有	有	C	Y	部份隧道重疊	
	CH219	8.5~22	700	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	石川島播磨 / 日本	7.50 / 6.95 / 6.30	— / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			A	Z	部份隧道重疊	
	CH221	8~22	400	3.0	泥水加壓	—	面板式	小松製作所 / 日本	7.10 / 6.95 / 6.52	— / 6.25	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		B(雙機施工)	Y	四條隧道交錯重疊	
	CH222	9~18	300	2.448	土壓平衡	加泥型	圓頂式	LOVAT / 加拿大	7.77 / — / —	6.16 / 6.12	5.40 / 6.00	1.00 / 0.30				雙機施工	Z	
	CH223	9~15	350	0.2	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	— / 7.10 / 6.67	6.04 / 6.04	5.40 / 5.90	0.90 / 0.25			B, 牽引, A	Z		
	CH224	9~16	350	3.0	土壓平衡	加泥型	圓頂式	川崎重工 / 日本	— / 7.54 / 6.62	— / 6.04	5.40 / 5.90	0.90 / 0.25			A	Z	穿越新店溪	
南港線	CN251	9.5~16	200	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	森村機械 / 日本	— / 6.90 / —	— / 6.25	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		A	Y		
	CN253B	6~11.5	200	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	7.20 / — / 6.03	— / 6.24	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		A	Y		
	CN253A	10~12	350	0.74	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	7.40 / 7.00 / 6.63	6.04 / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			B	Z		
	CN254	11~13	900	0.353	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	7.40 / 7.00 / 6.63	6.04 / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			B(雙機)	Z		
	CN256	8.5~12	3,000	1.488	土壓平衡	加泥型	輪幅式	三菱重工 / 日本	7.18 / 6.88 / 6.48	6.07 / 6.05	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			A, 牽引(雙機)	Y		
	CN257	8~10	1,300	0.759	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	7.40 / 7.00 / 6.63	6.04 / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			A	Y		
	CN258	8~12	300	0.738	土壓平衡	加泥型	輪幅式	LOVAT / 加拿大	7.16 / — / —	6.05 / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			雙機施工	Z		
	CN259C	8~14.9	430	1.157	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船 / 日本	7.40 / 7.00 / 6.63	6.04 / 6.04	5.40 / 5.90	1.00 / 0.25			A	Y		
板橋線	CP261	11~25	330	2.985	土壓平衡	加泥型	輪幅式	三菱重工 / 日本	7.22 / 6.92 / 6.52	— / 6.25	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		B, A(雙機)	Y		
	CP262	10.5~2	300	2.8	土壓平衡	加泥型	輪幅式	川崎重工 / 日本	— / 7.68 / 7.37	— / 6.24	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		牽引	Z	穿越新店溪	
	CP263	9~10	1,000	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	小松製作所 / 日本	7.45 / 6.95 / 6.50	— / 6.24	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25		有	A	Y		
	CP264	10.5~2	280	2.4	土壓平衡	加泥型	輪幅式	Herrenknecht / 德國	6.27 / 5.97 / 5.47	6.28 / 6.28	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		B	X		
中和線	CC275	11~26	300	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht / 德國	6.42 / 6.09 / 5.66	6.27 / 6.26	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25			C	Z	穿越新店溪	
	CC276	6.5~22	300	3.5	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht / 德國	6.42 / 6.09 / 5.66	6.27 / 6.26	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		C	Z	部份隧道重疊	
	CC277	6~22.3	200	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht / 德國	6.42 / 6.09 / 5.66	6.27 / 6.26	5.60 / 6.10	1.00 / 0.25	有		C, A	Z	部份隧道重疊	

說明：* 表示潛盾機之 鼻尖至盾尾總長度 / 刀盤面至盾尾長度 / 盾身長度

± 表示潛盾機之 刀盤外徑 / 盾身外徑

A：拆解、吊運、再組立 B：迴轉 C：棄殼

X：膠輪軌道車 Y：壓注漿滿+排泥管 Z：軌道台車

(5) 潛盾機轉換方式：由於潛盾機具只能前進不能後退的特性，故轉換方式需視到達井界面條件而定，但無論採用單機或雙機作業，針對上、下行雙向隧道採用之開挖施工程序有下列三種：

(a) 拆解、吊運、再組立：潛盾機至到達井後，採大部分解，分塊吊運回原出發井進行組裝，準備第二條隧道的發進。特點為到達井占用時間短、兩條隧道作業獨立，而機械設備拆解及吊運仍有損壞之可能，且需重新組裝後才可使用。

(b) 迴轉：潛盾機至到達井後進行迴轉及定位，必要時進行頂升，準備第二條隧道的發進。特點為迴轉空間需大於單純之到達井、占用時間較長、施工動線延長將造成工率降低、臨時設施費用增加，甚至影響先行隧道後續作業進行。

(c) 棄殼：到達段無法施作工作井或界面工程無法配合時，潛盾機到達連續壁外側後，將內部機組件作細部拆解，並與後續台車設備自隧道內退出，而將盾殼留置原處，並於盾殼內以場鑄方式施築襯砌，於是第二條隧道發進前另需準備一組新盾殼於現場組裝。特點為毋需構築到達井，但購置新盾殼尚需包括切刀盤及軸承等

相關設備、現場重新組裝耗日費時(一般為 2~2.5 個月)、且組件損壞率較高、機械租金及技術顧問費高。

- (6) 出土方式：出土量掌控為重要管理項目之一，其中以排土管泵送出土者有採流量計及壓送泵浦計數器等兩種計量法，而採用吊運出土者有利用測定螺旋輸送機轉速或根據出土台車數推算出土量等方式。

4.3 潛盾施工流程

由於潛盾施工乃於潛盾機盾殼的保護下進行挖掘及隧道襯砌構築等作業，與傳統隧道開挖工法比較，可免去臨時支撐重覆架設及拆除等缺點，且在安全性、便利性及施工速度上均有大幅提升。

典型的作業流程如圖 4.1 所示，概分為準備作業、初期掘進、主要掘進、到達作業及後續作業等五個階段，其中任一階段施工的時機與品質，都將影響後續地面沉陷甚鉅，茲將各階段施作時應特別要求事項分述如后：

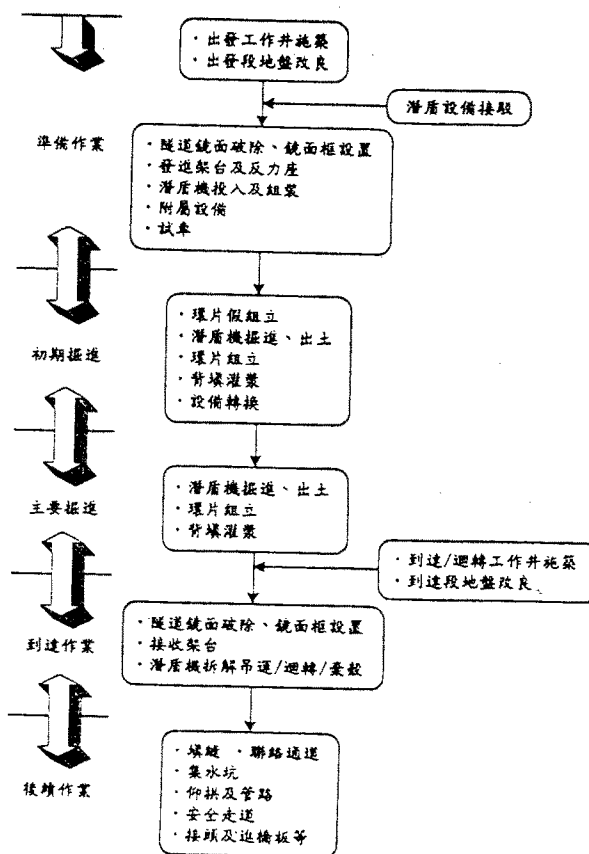


圖 4.1 潛盾隧道施工法作業流程

- (1) 準備作業：一般潛盾隧道於發進初期最擔心地下水及沉陷的問題，因此於出發段進行地盤改良是必要的，而改良的範圍端視潛盾機尺寸而定，基本上改良長度須大於潛盾機長度，以降低發進初期鏡面漏水的

機率。雖然地盤改良的目的旨在增加土壤強度、降低土壤之壓縮性及透水性，藉以增進隧道鏡面破除時及潛盾機發進初期之安全性，所以地盤改良成效的驗證更不可輕忽，一般現場於改良體取樣後進行無圍壓試驗及現場透水試驗，並於連續壁鏡面敲除之前採水平鑽孔試水方式，倘若試驗結果不如預期，進行補強灌漿措施是責無旁貸。

- (2) 初期掘進：此階段藉由假組立環片將潛盾推進之反力傳遞到反力座，待環片與土層之摩擦力足以提供潛盾推進所需之反力後，即需進行設備轉換並拆除反力座及假組立環片，一般此階段大約在第 50 環左右。
- (3) 主要掘進：此階段控管重點在於潛盾推進速度、出土量之控制及環片背填灌漿時機。而各項管控重點分述如下：
 - (a) 控制千斤頂推進速度及螺旋輸送機轉速以控制土倉壓力在管理壓範圍內為兩個重要操控參數，確實掌握出土量並避免超控，以維持掘削面穩定，乃是確保施工安全的第一要素。潛盾施工中量測土壓力之感應器位於土倉隔版上，由土倉壓力值作為控制潛盾推進之依據。至於管理壓設定多以沿線地質鑽探及水位資料推算之靜止土壓力+水壓+預備壓(一般經驗值為 $2t/m^2$)分區設定管理壓，並以主、被動土壓力加上水壓作為管理壓之下、上限。
 - (b) 出土量計量方式請參 4.2 (6)，此處不再贅述。
 - (c) 背填灌漿主要目的有：(1)填塞盾尾孔隙以避免導致地表沉陷，(2)防止地下水滲漏到隧道環片內，(3)使受擾動之地盤於環片上之壓力及早穩定。至於灌漿壓力之管控一般採 $1\sim 4kg/cm^2$ ，灌漿率(灌漿量與空隙之比值)一般採 120~200%，但視地層狀況與灌漿量可作適度調整，以不造成地層及隧道環片產生不良影響為原則。
- (4) 到達作業：到達井或迴轉工作井施作要求同出發作業，此階段重點在於將潛盾機進行拆解吊運、迴轉或棄殼。
- (5) 後續作業：隧道內仰拱、安全走道及管路的構築，填縫防水處理，另外連絡通道及集水井開挖為此階段重點，也是風險最高所在，因為大部份連絡通道及集水井開挖區域的地盤改良於潛盾通過前即已完成，改良體於潛盾機通過後多少受其影響，因此後續開挖須非常小心處理。

台北捷運工程各土建施工標通常涵蓋一座車站及一段雙向隧道，因此就進度管理及經濟效益而言，由於潛盾隧道工程整體工期較短，因此將準備及到達作業的各項工作時程納入相鄰車站或明挖覆蓋區的施工時程，據以決定潛盾施工開挖程序及轉換方式，有助於降低設置工作井及額外增設的機械設備等諸多費用。因此在規劃及設計階段應考量分標及發包方式，儘可能釐清界面關係、明訂權力及義務，方能避免施工界面糾紛，使得整

體工程得以在最符合經濟效益的條件下順利推展。

4.4 潛盾施工相關之大地工程問題

潛盾機推進時，因其推力對地層作用或地下水壓產生變化而改變開挖面附近地層應力分佈狀況，因此潛盾施工所產生的大地工程問題包括：

- (1) 地層變形：地層水平及垂直移動。
- (2) 地下水變化：孔隙水壓及地下水位變化。
- (3) 建物及管線：沉陷、傾斜及裂縫產生。
- (4) 土壤與結構互制行爲：襯砌變形及襯砌應力變化。
- (5) 地下障礙物之排除：流木、鑽鏢、及超挖刀刃故障排除。
- (6) 連絡通道施工、集水井、地盤改良。

其中地層變形及地下水位變化與建物及管線的安全息息相關，因此為瞭解潛盾施工所產生之影響，下個章節將對監測儀器作一說明，藉由監測儀器功能的發揮，予以適度調整施工方式並進而印證設計參數，以降低潛盾施工對週遭結構物之影響是有其必要性。

4.5 潛盾隧道監測儀器之項目及配置之考量：

為了將潛盾施工對週遭結構物產生的影響降到最低，如何在監測儀器項目作適度的選擇及配置將扮演重要角色，表 4.2 為一般潛盾施工經常觀測的項目及採用的監測儀器，當中包含潛盾隧道襯砌外圍及襯砌本身之安全性，監測儀器斷面示意圖可參圖 4.2 所示。

表 4.2 潛盾隧道採用之監測儀器一覽表

觀測參數	觀測項目	採用之監測儀器
地層變形	<ul style="list-style-type: none"> • 地層沉陷 • 水平位移 	<ul style="list-style-type: none"> • 地面型沉陷點 • 淺式沉陷計 • 深式沉陷計 • 土壤中傾度管
鄰近建物/ 管線	<ul style="list-style-type: none"> • 沉陷 • 傾斜 • 裂縫 	<ul style="list-style-type: none"> • 結構物沉陷點 • 管線沉陷點 • 房屋傾斜儀 • 裂縫計(儀)
地下水	<ul style="list-style-type: none"> • 地下水位 • 孔隙水壓 	<ul style="list-style-type: none"> • 觀測井 • 水壓計
土壤/結構 互制行爲	<ul style="list-style-type: none"> • 土壤與地下水對隧道襯砌施加之壓力 • 隧道襯砌內應力 • 隧道襯砌變形 	<ul style="list-style-type: none"> • 土/水壓計 • 混凝土應變儀 • 襯砌應力計 • 襯砌收斂觀測點 • 沉陷岩釘

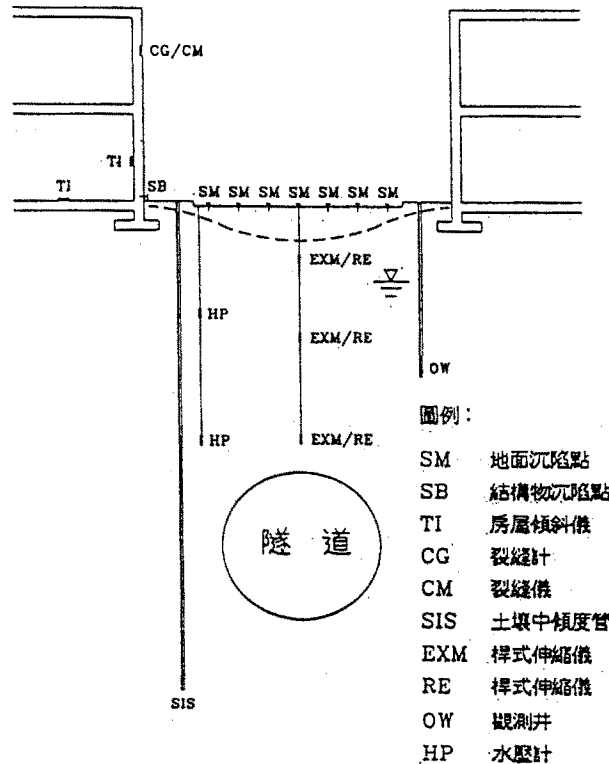


圖 4.2 潛盾隧道監測儀器規劃示意圖

監測儀器若能適度配置方能真正發揮其預警及回饋的功能，而如何作一理想又經濟的配置，可分下列幾個方向來考量：

- (1) 列舉所有可能發生問題之區域及施工階段，再以監測系統與之配合。
- (2) 配置規劃須考量於施工初期即可獲得較多的資料與經驗。
- (3) 配置規劃須保持彈性，以便於施工期間能變更，以獲得新資料。
- (4) 於少數區域採用密集配置的方式，而多數區域則配置較經濟之指標性儀器，並利用兩者觀測結果之相關性以評估工區全面性之行為。
- (5) 基於土壤之變異性，儀器配置宜採多點均佈式，且為避免因施工損壞或其它原因而無法測讀之缺點，增加裝設數量亦有其必要性。
- (6) 妥善之配置可收相互校核之效。

潛盾施工技術正朝自動化、高速化、長距離、大深度及複合斷面等目標不段精進改良，潛盾隧道工法的應用亦將趨於多元化，應用範圍亦將更為廣泛。雖然先進的機具設備並不能完全確保施工絕對安全或工期一定縮短，畢竟人的因素仍扮演舉足輕重的地位，而妥善的施工規劃、管理及豐富的施工經驗傳承，更是人定勝天的本錢。

第五章 建物保護及地盤改良

都市發展日趨現代化，使得工程技術面臨極大之挑戰，如何在擁擠之都市空間順利且安全的進行地下工程，並避免影響或損害鄰近結構物，為當今都市地下工程施工之重要課題。但是建物保護措施型式眾多，採用時考量之因素除土層之適用性外，建物構造型式、周邊環境、經濟性、以及承商對不同工法熟悉程度等因素皆有關聯。本文綜整台北捷運施工常採用之建物保護方法，於 5.1 節進行詳細之說明；其中“高壓噴射灌漿工法”因主要用於地盤之穩定性及止水性等考量，諸如潛盾工作井及連絡通道等之地盤改良，其應用範圍較為廣泛，故另於 5.2 節進行詳細之說明。

5.1 建物保護工法

一般進行地下工程開挖施工時，常導致鄰近地盤位移、鄰近建物及結構物產生沉陷及傾斜之情形。在沉陷及傾斜量超出結構物之容許值前，必須採取適當之保護措施。台北捷運系統之地下工程施工主要包括明挖覆蓋及潛盾隧道施工兩種，其中深開挖工程常見之建物保護方法，如圖 5.1 所示，依其應用原理及施作位置基本上可分為三大類型，包括：

(1) 開挖基地內施作：包括

- (a) 地中版(Grouting Slab)－採高壓灌漿方式施工。
- (b) 地中樑(Transverse Beam)－採高壓灌漿或構築連續壁(R.C./無筋混凝土)方式。

於開挖基地內施作建物保護施工之主要原理為：

- (i) 增加被動抵抗力，減少貫入深度及側向位移。
- (ii) 減少擋土設施的應力與應變。
- (iii) 增加土壤之抗剪力、地盤反力、承載力。
- (iv) 改良土壤之透水性，提高止水效果。
- (v) 用以補救擋土壁的施工或設計缺失。

(2) 開挖基地外與建物間施作：包括

- (a) 微型樁(Micro Pile)
- (b) 鋼軌樁(Solider Pile)
- (c) 預壘樁(PIP, Pack In Place Pile)
- (d) 化學灌漿－包括 LW(Labile Asserglas)、SL(Soletanche)及雙栓塞灌漿(Double Packer)

(e) 高壓灌漿—包括單重管 CCP (Chemical Churning Pile)、雙重管 JSG (Jumbo Jet Special Grout)及三重管 CJG (Column Jet Grout)等工法

於開挖基地外與建物間施作建物保護施工之主要原理為：

- (i) 增加滑動面抗剪力。
 - (ii) 藉由微型樁等樁體與滑動土體之摩擦力，減低土體沉陷。
 - (iii) 微型樁等樁體與連續壁間之土體因受兩面摩擦阻力，使其覆土壓力減小，對連續壁之側壓減輕。
- (3) 施作於建物下方或建物本身：
- (a) 化學灌漿-同上述(B)之第 4 項。
 - (b) 擠壓灌漿(Compaction Grouting)
 - (c) 門型支撐架

於建物下方或建物本身施作建物保護施工之主要原理，端視各工法之施工方式而異，將於後續介紹各工法時另外說明。

至於潛盾隧道施工所採用之建物保護方式，如圖 5.2 所示，包括上述之微型樁、化學灌漿、高壓灌漿、擠壓灌漿及另外不同於深開挖工程之“二次灌漿”等等。捷運各施工標所採用之建物保護工法綜整如表 5.1 所示，以下將分別就上述各工法進行說明。

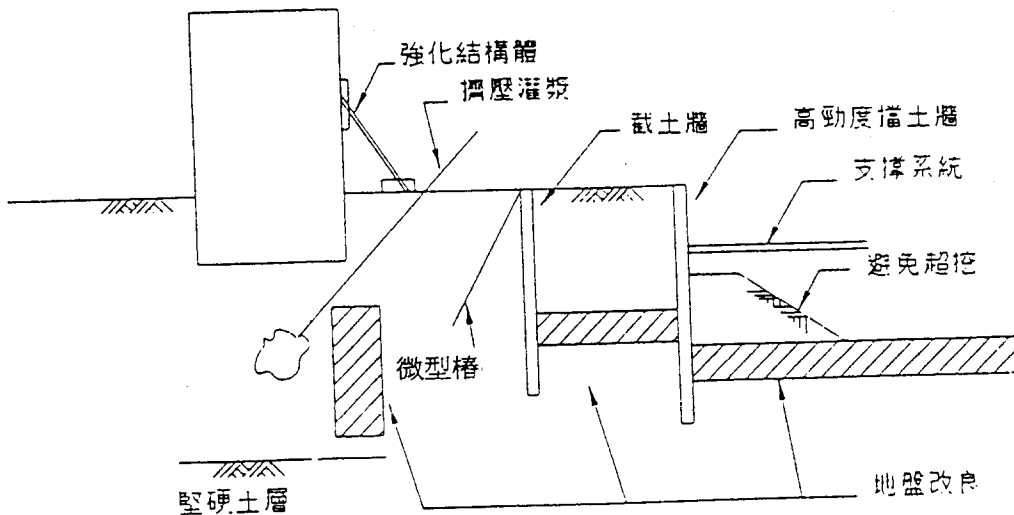


圖 5.1 台北捷運明挖覆蓋段之建物保護方式示意圖

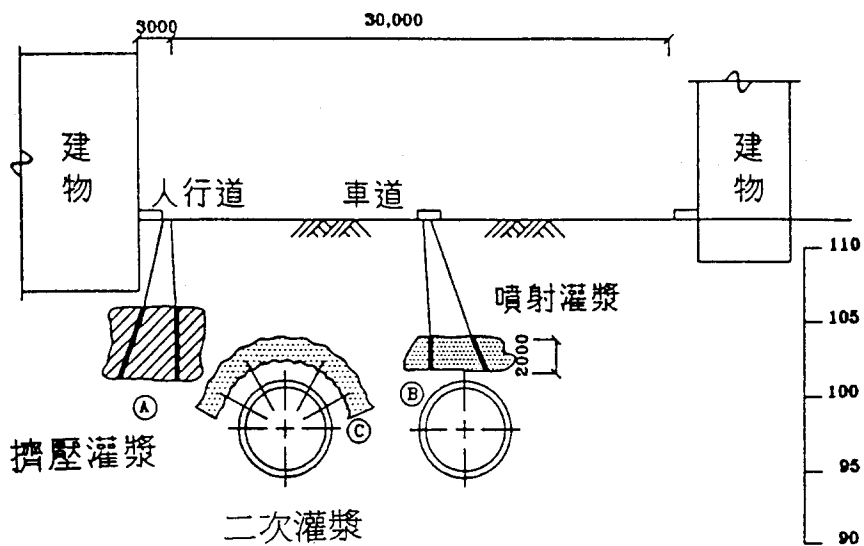


圖 5.2 台北捷運潛盾隧道段之建物保護方式示意圖

表 5.1 台北捷運建物保護方法一覽表

(a) (明挖段)

建物保護工法	新店線	南港線	中和線	板橋線
地中樑	CH220 CH222	CN251 CN253A CN254 CN255 CN256 CN259C	CC277 CC278	CP261 CP263 CP264
地中版	—	CN257 CN258 CN259C	—	—
微型樁	—	CN251 CN252 CN253B CN256 CN258 CN259C	CC278	CP261 CP264
預墊樁	—	CN251 CN252 CN255	—	—
化學灌漿	—	255	278	261
高壓灌漿	—	—	—	CP261 (JSG) CP262 (CJG) CP263 (CCP)
擠壓灌漿	CH218 CH219 CH221	—	CC275 CC276	CP263
門型支撐架	—	CN257 CN258 CN259C	—	—

(b) (潛盾隧道段)

建物保護工法	新店線	南港線	中和線	板橋線
微型樁	—	CN259C	CC277	—
化學灌漿	—	CN251(雙柱塞) CN253B CN254	—	—
高壓灌漿	—	CN253B (JSG)	—	CP261 (CCP)
擠壓灌漿	CH219 CH221	—	CC275 CC276	—
二次灌漿	CH218 CH221	CN253A CN253B	CC275 CC276 CC277	CP261 CP262

5.1.1 高壓灌漿地中版

在開挖基地內，以土質改良方法如高壓噴射灌漿(施作細節將於 5.2 節說明)將土體改良成圓柱樁狀，若圓柱樁之分佈涵蓋全開挖基地一般稱為地中版，若僅為局部改良成長條狀則一般稱為地中樑。改良之深度可視需要而決定，通常以施作於最終開挖面附近深度居多，因該位置通常壁體變形量及應力較大。引用地中版及地中樑之目的，係為防止連續壁在開挖過程中產生過大之變形量，以便可有效減小壁外建物之沉陷量。

台北捷運南港線 CN257 標、CN258 標之車站及 CN259C 標之明挖覆蓋隧道(施工中)均採用地中版作為建物保護措施，因該區域地層多為軟弱粘土，故採用開挖區內全面施灌之地中版方式，其施作方式詳圖 5.3 所示(陳奕耿等，1997)，施作後由各項監測儀器之讀值顯示，連續壁變形量、支撐軸力及鄰近地盤與建物沉陷量等，均可有效地降低。

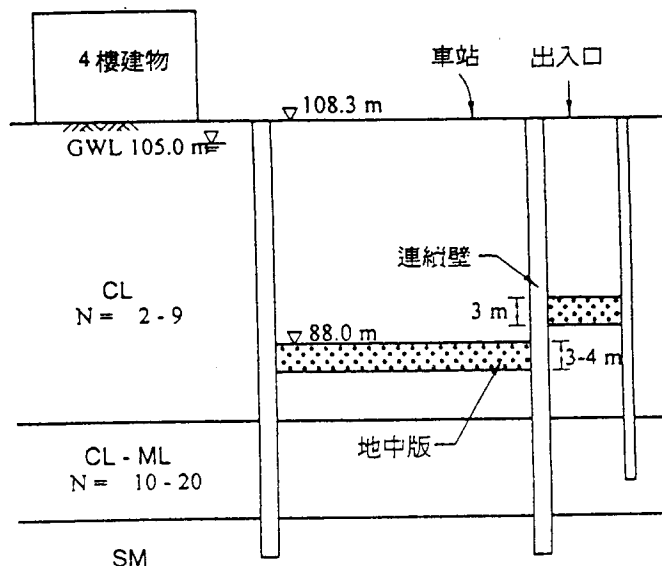
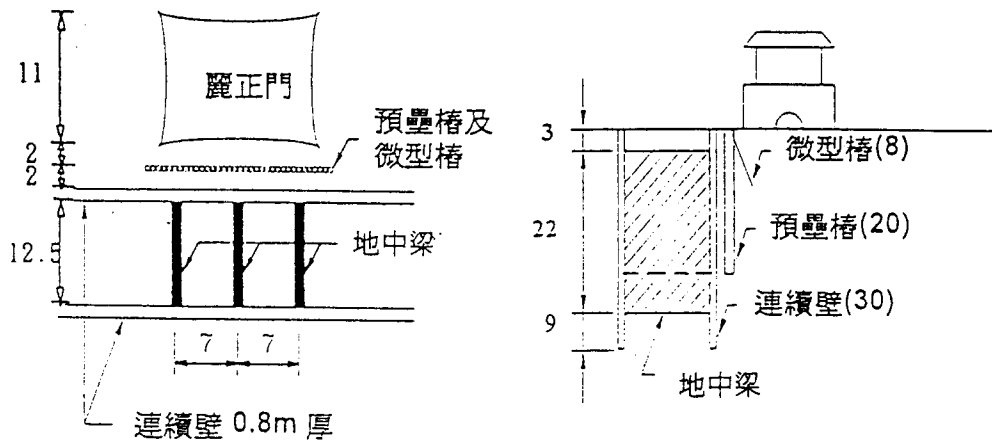


圖 5.3 南港線 CN257 標地中版施作剖面示意圖

5.1.2 地中樑

地中樑之施作方式可採用高壓噴射灌漿或以連續壁挖掘機械施工後灌注混凝土之方式，舉南港線 CN251 標為例，麗正門之保護方式即採用地中樑，並使用無筋混凝土為地中樑之本體，施作方式如圖 5.4 所示(朱專誌

等，1995)，由各項儀器之讀值顯示，地中樑已發揮預期之功能。



單位：公尺

圖 5.4 南港線 CN251 標麗正門地中樑建物保護方法示意圖

5.1.3 微型樁

微型樁係施築於開挖基地外擋土壁體與建物間時，藉由微型樁提供之抗剪力及抗拉拔力，增加假設滑動面之抵抗力，達到建物保護之效果。微型樁可分為單排及多排，單排施築是以固定距離(通常 3~5 倍樁徑)灌注微型樁。除口徑大小不同外(一般為 10 至 30 公分不等)，其所使用材料可分為下列數種(胡邵敏，1993)：

- (1) 抗張力鋼材：分為鋼筋、鋼筋籠、鋼管、鋼軌、型鋼等。
- (2) 樁身材料：分為水泥漿、水泥砂漿、混凝土漿及攪加飛灰之漿液。

國內常用之微型樁施工方法包含下列六個步驟：

- (1) 鑽孔：採全套管以旋轉方式施鑽，
- (2) 安放鋼材
- (3) 灌漿：以特密管方式灌漿可得較好效果，
- (4) 拔套管，並加壓力迫使漿液灌入鑽孔外圍土壤，
- (5) 補漿

(6) 微型樁間以樁帽連接。

其施作方式可參考台北捷運南港線 CN258 標，如圖 5.5 所示。台北捷運有近十個施工標採用過微型樁，惟效果泰半未如預期，對減低連續壁溝槽挖掘引致之沉陷多無具體成效(黃立煌，1995)。由微型樁之施作步驟可了解“灌注漿材”及“拔套管”為施工時最重要之兩個環節，如何真正落實其施工管控，避免“未達保護效果、反而先擾動土壤”為爾後應注意之課題，期使微型樁能夠實際與理論一致，發揮建物保護之功能。

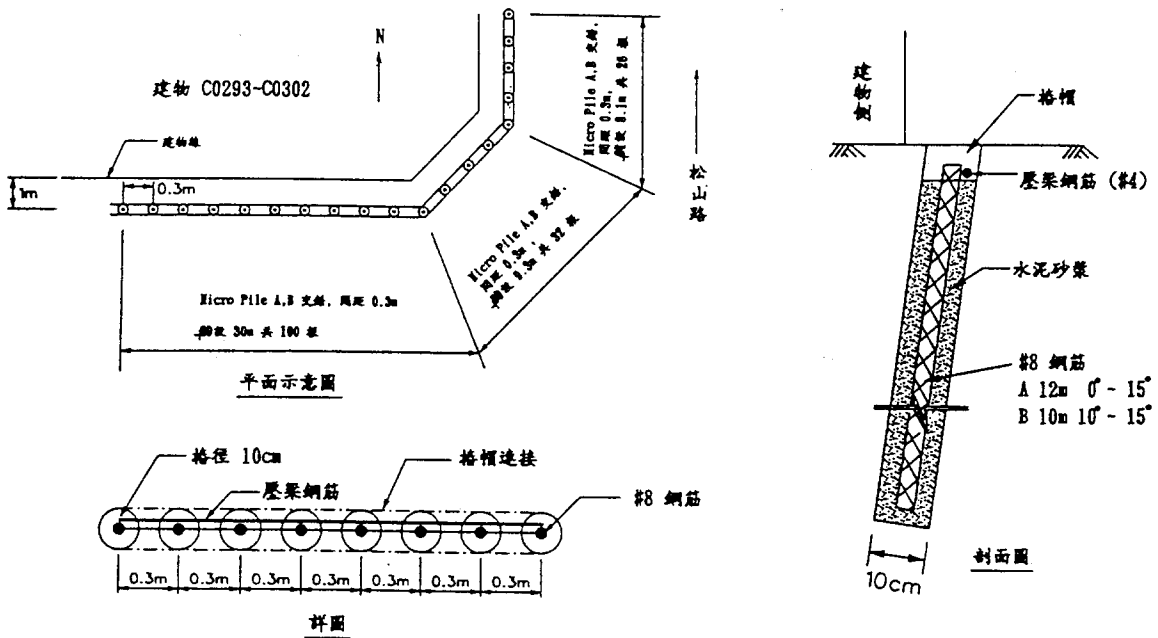


圖 5.5 南港線 CN258 標微型樁配置示意圖

5.1.4 鋼軌樁

鋼軌樁一般係作為導溝挖掘擋土之用，若基地地層之土壤特別軟弱或易崩塌，則須再配合其他輔助工法，以便減低挖掘作業對地層擾動之程度，有效避免鄰近建物於後續開挖後產生過量沉陷。

5.1.5 預壘樁

在連續壁外與建物間施作預壘樁，其原理類似微型樁，惟預壘樁之樁徑較大(約 30~45cm)，施作時須注意鑽孔可能引起之土壤擾動問題，若於軟弱粘土層及鑽孔距建物過近時則須審慎評估後方可採用。

5.1.6 化學灌漿

(1) SL 及 LW 灌漿工法

此兩種灌漿工法均以 10kg/cm^2 以下壓力，將化學漿液施灌滲入土壤中，改良範圍由砂性土到粘性土等地盤均可適用。兩工法差異處在於所使用之漿材及配比，SL 工法漿材主要為矽酸鈉(俗稱水玻璃)系藥液加 SL 反應劑(一般常用稀硫酸)，其止水性強，惟改良土體強度較低。LW 工法漿材主要為水玻璃加水泥漿，除用於止水外，另兼有填充及固結土層之效果，故改良土體強度高於 SL 工法。兩工法之配比視地質狀況及施灌目的而有不同。一般常用於深開挖擋土壁發生滲漏水之緊急止水，及因施工造成建物過大沉陷及傾斜時之固結地盤。

南港線 CN253B 標上行線潛盾隧道掘進至北門 JSG 灌漿改良區時，發生超挖刃無法伸出而停機，補救措施採降低土倉內泥土高程後以人員進入土倉修復。為加強土層水密性，隧道盾首外側施灌 98 孔 SL 灌漿，土倉於排降泥土開倉修護時，開挖面皆保持良好自立性且無顯著滲水，灌漿結果令人滿意。另同為 CN253B 標中華路潛盾隧道段因於施作 JSG 高壓灌漿改良時，造成鄰房騎樓柱位傾斜儀(TI)傾斜量超出行動值(6 分)。經採 LW 灌漿後，疑因管控不當及吃漿不易，反倒形成負面效果。因此以 SL 及 LW 低壓灌漿做為緊急應變措施時，仍須隨時密切注意施工管控及對建物之影響，稍有不慎，將適得其反加速建物沉陷之變化(闕河淵等，1996)。

(2) 雙栓塞灌漿工法

雙栓塞灌漿工法亦為低壓化學灌漿工法之一種，與 SL 及 LW 灌漿工法差異處在於灌漿設備的不同。本工法係於預定位置處鑽孔，埋設 5 公分直徑之套管，並以水泥皂土漿液填封孔壁，而後以雙栓塞(Double Packer)灌漿管伸入預埋之套管內，依序於不同深度施灌漿材。使用雙栓塞之優點為可準確掌握施灌高程及壓力以確保改良成效。本工法於 CN251 標潛盾段廣為承商採用，主要係採斜灌方式，於潛盾通過前將隧道上方改良成一厚約 5 公尺之土層，以減低隧道通過後引致之鬆弛現象，達到保護建物之效果。

雙栓塞灌漿工法雖可準確掌握灌漿範圍，但由於以下幾項因素，可能使得整體效果無法達預期之成效，施作時應加以注意(闕河淵等，1996)。

- (a) 鑽孔階段引致土壤鬆弛。
- (b) 套管裝設引致土壤鬆弛。
- (c) 鑽孔之振動引致土壤壓實。

(d) 灌漿區上方之空洞回填不良。

(e) 套管拔除擾動土壤。

5.1.7 擠壓灌漿

擠壓灌漿為一種將漿材直接注入地盤之工法。通常使用土與水泥之混合物為漿材，其中須有足夠之粉土(Silt)使漿材有足夠塑性，也必須有足夠之砂土(Sand)使漿材有足夠之內摩擦力。一般而言，漿材並不進入土壤之空隙之間，而是自成一體，在完全掌控位移之狀況下達成兩種目的，包括(1) 擠實土壤以減少後續沉陷或(2) 借局部地表隆起將已傾斜的建築扶正。

有關擠壓灌漿施作方式，如圖 5.6 所示。其作為建物保護措施之成效，經莫若楫等(1994)引用新店線 CH218 及 CH221 標之資料指出，在軟弱粘土中(例如台北盆地之松山層第六次層)施作擠壓灌漿，因粘土在不排水狀況下體積難以壓縮，很容易達成地盤隆起之目的，但其後隨超額孔隙水壓之消散，其地表之回沉量甚至超過隆起量，因此擠壓灌漿並不適用於軟弱粘土或砂土層。另黃南輝等(1994)引用中和線 CN275 標之資料證實，在砂礫層中施作擠壓灌漿可以造成地盤隆起，並有效地扶正原來傾斜之建築物，惟建築物荷重之影響須列入考量。

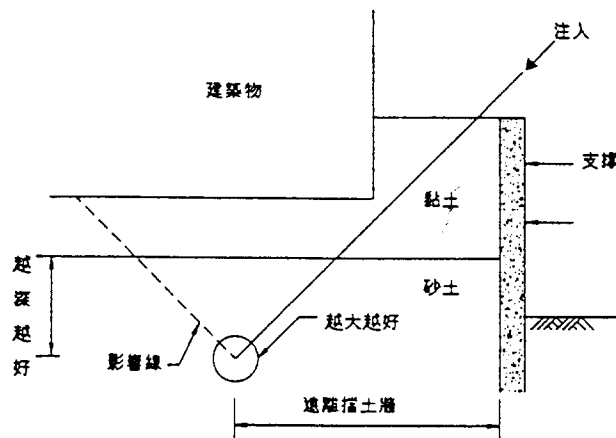
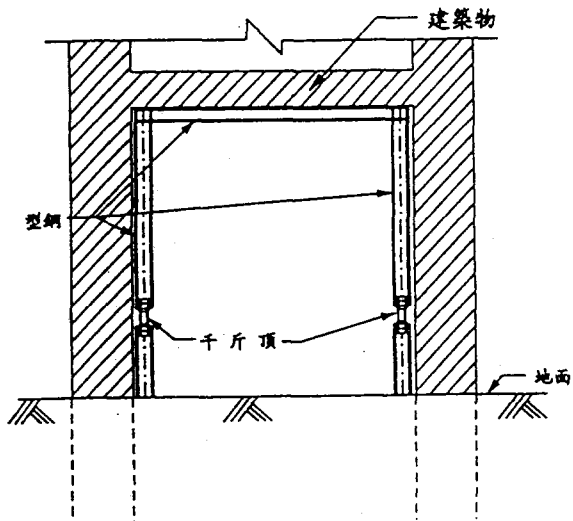


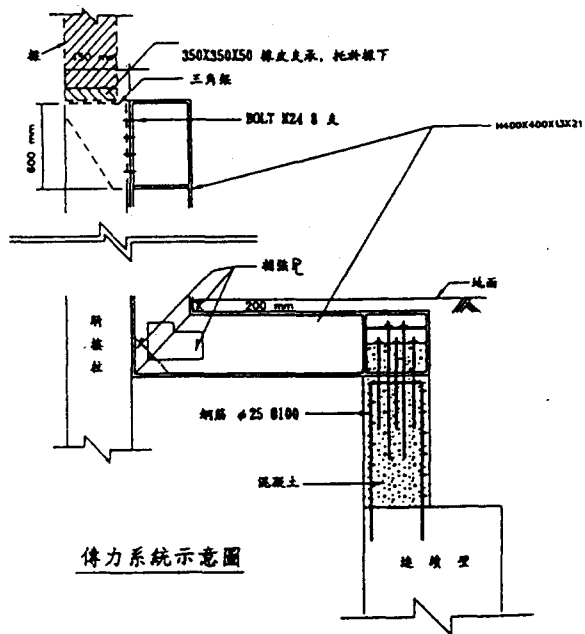
圖 5.6 擠壓灌漿施工示意圖

5.1.8 門型支撐架

所謂門型支撐架係利用勁度較大之 H 型鋼組合，用以支承可能產生沉陷及傾斜之建物，以達到建物保護之目的。南港線 CN257 標及 CN258 標曾採用此工法，惟施作方式略有不同，如圖 5.7(a)及圖 5.7(b)所示，前者除門型支撐架外另藉由水平型鋼構件將建物荷重傳遞至捷運基地內之連續壁頂端；後者則將門型支撐架直接架設在建物本身之地坪。由後續之監測儀器讀值顯示，前者成效尚可，後者則未達預期效果。由於此工法涉及鄰近住戶之意願及影響商店之營業等問題，故捷運系統採用之情形並不普遍。

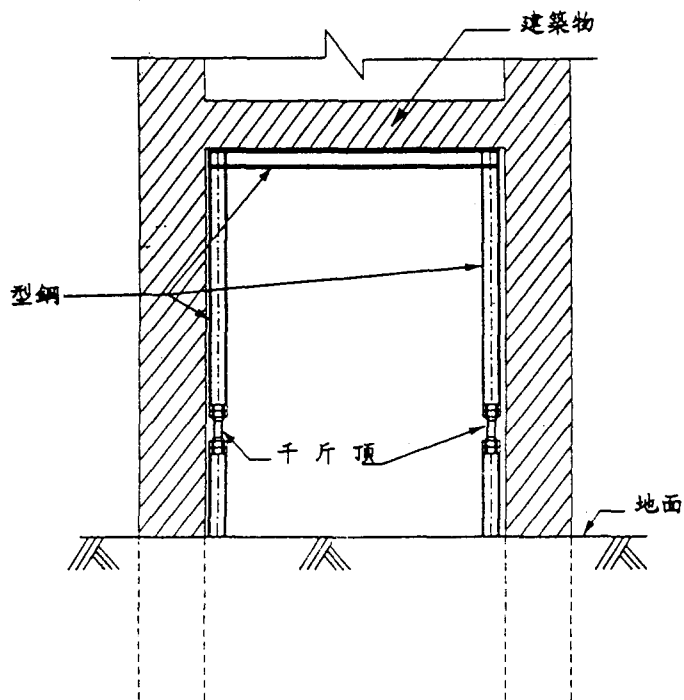


垂直支撐架立面圖



傳力系統示意圖

圖 5.7(a) 南港線 CN257 標門型支撐架施作示意圖



垂直支撐架立面圖

圖 5.7(b) 南港線 CN258 標門型支撐架施作示意圖

5.1.9 二次灌漿

所謂二次注入灌漿即潛盾機脫離襯砌並完成背填灌漿作業後，為彌補背填灌漿之不足，及適時抑制沉陷之發展，於第一時間內經由背填灌漿孔將灌漿桿伸至隧道襯砌外圍一定距離，進行低壓灌漿施工(一般約 5 kg/cm^2)。其原理在填補或壓實隧道周圍鬆弛土體中背填灌漿未能填充之孔隙，使隧道周圍土體結合硬化後之脈狀漿液發揮地拱效應，以抑制土壤漏失量繼續增加，並截斷已發生之土壤漏失效應使其不致繼續向地表發展，減少沉陷量之發生。至於灌漿材料之選擇，於滲透性較佳之砂土層多採用溶液型漿液(以 SL 等無機化學漿液為硬化劑)，粘土層則採用懸濁型漿材(以水泥系材料為硬化劑)，亦有不不論土層性質逕選用與背填灌漿材料相同者。

以目前新店線及中和線之施作經驗顯示，採用二次灌漿可降低潛盾隧道施工之土壤漏失率及地表沉陷(楊國榮，1996)及(賴慶和等，1997)，進而達到建物保護之效果。

5.1.10 討論

由捷運系統施作建物保護工法之經驗顯示，於開挖基地內施作建物保護措施諸如地中版及地中樑，因無鑽孔造成土壤擾動之問題，且施工管控較為單純，因此效果較佳。由於採用地中版另有提高開挖穩定性方面之考慮，故其施工費用較高。目前有關基地內改良面積與範圍如何配置，方可發揮最大之經濟效益，為今後地下工程相當重要之課題，有待進一步研究。至於考量採用其它建物保護方式時，除應針對土層之特性審慎評估外，仍應加強施工管理，方可使建物保護施工達到最佳之成效。

5.2 地盤改良

5.2.1 高壓噴射灌漿

在砂性土或粘性土層之地盤改良方法，近年來工程界廣泛採用高壓噴射灌漿工法。目前在台北地區所採用之高壓噴射灌漿工法，依其灌漿管之型式，可分為單重管、雙重管及三重管三種工法。此三種灌漿工法之基本施工程序大致相同，首先由鑽桿及噴嘴組成之灌漿管以水或穩定液進行鑽孔，孔壁以套管或穩定液支撐，到達預定深度後將灌漿管緩慢提升及旋轉，同時於水平孔噴出水泥漿，與鑽孔中擾動之土壤混合，形成改良土壤，達到增加強度及減低透水性之目標。三種工法之施工程序如圖 5.8 所示，其相異之處說明如下：

- (1) 單重管工法灌漿管內只有一個管道，削孔用水流及灌漿用水泥漿均採用同一管道。施工時鑽孔水壓約 2 MPa ，灌漿壓力採用 20 至 40 MPa 。
- (2) 雙重管工法之灌漿管由雙層同軸圓管構成，高壓水及水泥漿經由中央

之管道輸送，而包圍此中央管道之第二層同心管用以輸送空氣。鑽孔階段僅用水作沖削，壓力為 1 至 3MPa。在灌漿階段則改為水泥漿及空氣，水泥漿之壓力為 20 至 40MPa，空氣壓力為 0.7MPa。由於水泥漿之噴射流外裹壓縮空氣，噴流可達較遠距離，其切削及攪拌土壤能力較單重管佳，同時利用空氣之上升作用，將切削之泥砂排出地面。

- (3) 三重管工法之灌漿管由三層同軸圓管構成，底部具有二個水平方向噴嘴，水泥漿噴嘴位於下方，水及空氣之噴嘴在水泥漿噴嘴上方約 300mm 處。灌漿時上方噴嘴噴出水及空氣，下方噴嘴噴出水泥漿。此三重管設計之主要考慮，為灌漿階段灌漿管向上提升時，位於上方噴出之水及空氣，有預先切割土壤之效果，達到更佳土壤及水泥漿混合、置換及攪拌之成效。本工法採用水壓為 35 至 40MPa，空氣壓力 0.8MPa，水泥漿之壓力為 2 至 4MPa。

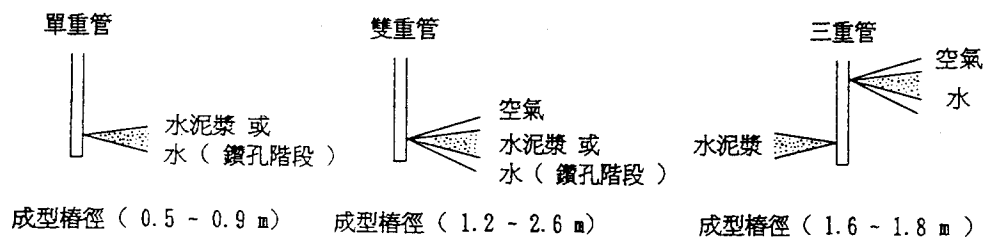


圖 5.8 高壓噴射灌漿工法示意圖

粘土層所進行之高壓噴射灌漿施工易產生地面隆起現象。主要原因為灌漿孔內壓力高於覆土壓力而產生水力破裂。灌漿孔內之壓力一般與迴漿密度、黏滯度、流速、鑽孔管徑、鑽孔長度等施工因素皆有密切關係。於都市地區施作噴射灌漿時應瞭解各項因素可能之影響，以便控制地面隆起，減低對鄰近結構物不利之影響。

台北捷運工程採用高壓噴射灌漿進行地盤改良施工有下列各項 (如圖 5.9 所示)：

- (1) 隧道工作井。
- (2) 隧道連絡道及集水坑，因採人工挖掘，需先進行地盤改良。
- (3) 重疊隧道段減少上下方隧道挖掘時相互之變形影響。
- (4) 車站擋土結構接縫止水。
- (5) 擋土結構缺口之補強及止水。

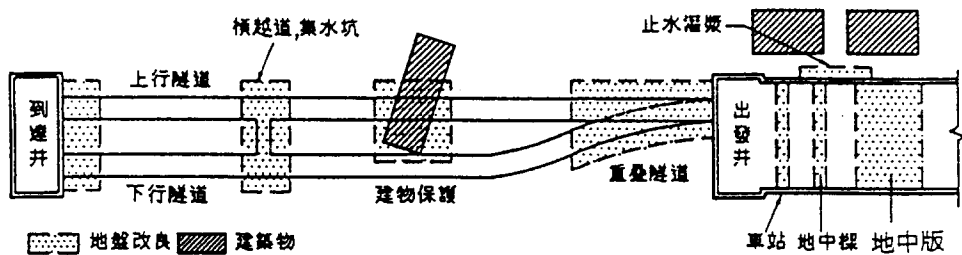


圖 5.9 捷運工程地盤改良應用範圍示意圖

5.2.1 高壓灌漿效果之檢驗

由於高壓噴射灌漿被廣泛運用於台北捷運之地盤改良施工，並且動輒數量龐大，因此其灌漿效果之檢驗相當重要。目前常用之檢驗項目包括：

- (1) 單軸抗壓強度 q_u — 由鑽心取樣後進行單軸壓縮試驗求得。
- (2) 提取率(Recovery, %)及 RQD(Rock Quality Designation, %)—鑽心取樣時進行判定。
- (3) 進行圓錐貫入試驗(CPT)求得錐頭阻抗強度。
- (4) 進行孔內側壓試驗(LLT)求得彈性模數。
- (5) 滲透係數及止水性可由現場透水試驗、滲漏試驗(Lugeon Test)及抽水試驗等方式檢驗。

5.3 監測儀器之配置

由於土壤之性質複雜，且基地地盤調查之範圍有限，一般進行建物保護施設計時多會有所假設，因此有必要配置安全監測系統，藉由施工期間密集觀測，一方面若建物保護施工管控不當引致負面效應時，可及時採取因應措施，另一方面則可於基地施工過程長期監控建物沉陷及傾斜量之變化，確保建物之安全。一般裝設於建物之監測儀器包括建物沉陷點、房屋傾斜儀及裂縫計，必要時亦可於建物周圍裝設土中傾度管、地面沉陷點及水壓計以進行綜合研判。有關上述監測儀器之配置方式，詳第二章圖 2.3 所示。

第六章 基樁工程施工

基樁種類依其施工方式大致分為打擊式(如 PC 樁、鋼管樁)、及鑽掘式基樁兩大類，後者自 70 年代環境保護法發展以來，促成在都會區及地質環境敏感區域對低噪音，低震動基樁工法之殷切需求，大有取代打擊式基樁工法之趨勢，鑽掘式基樁依其施工時對孔壁保護方式之不同一般可分為無套管式及下套管式兩類，無套管式鑽掘係以乾孔、水中鑽掘或利用穩定液鑽掘(如場鑄反循環鑽掘樁)，套管式鑽掘則是在有坍塌之慮的地層中，以套管保護孔壁鑽掘(如全套管基樁)。

基樁工程常使用於高架橋墩下部結構，如淡水線、木柵線高架路段以及機廠場站大樓(如北投機廠、南港機廠、木柵機廠)、相關車站聯合開發大樓之基礎均採基樁，前述基樁工程中以圓形斷面樁最為普遍，矩形斷面基樁則僅於中和線 CC277 及 CC278 施工標採用，前述圓形斷面樁之施工以反循環鑽掘樁最為普遍(約佔 80%以上)、其次則為人工挖掘樁(木柵線臨萬芳社區路段及南港機廠大口徑擋土排樁，此工法在台中地區甚為廣範使用)及全套管鑽掘樁(中和線 CC275 及 CC276 施工標之場站聯合開發大樓基礎)；而矩形樁係採連續壁單元方式以 MHL 工法施作，以下擬分別介紹較常施作之反循環鑽掘樁、全套管工法與人工挖掘式場鑄樁等施工步驟及管理事項，有關 MHL 工法在連續壁施工章節中已有介紹，本文不再贅述。

6.1 反循環鑽掘基樁施工機具、施工步驟及問題處理

反循環鑽掘樁施工時之用水系統與一般鑽探用之原理(正循環)相反，其作業程序係在地表設置一適當長度之保護套管然後利用轉盤轉動鑽桿，鑽桿底端再銜接適合地質情況之鑽頭，以迴旋方式鑽掘孔壁，鑽掘期間視地質情況而使用穩定液以保護孔壁使不致崩坍，掘削後泥土與漿液混合後以強力吸水幫浦自鑽管中吸至地表面所設置之沉澱池後，再讓符合施工標準之穩定液流回至鑽掘孔內，以形成一完整之逆向循環系統(林永光等，1995)；目前國內使用最普遍之反循環鑽機以仿日本日立公司生產之門架式 S-400~S-600 鑽機，國內亦有廠商進口日本利根(TONE)公司 RRC-30 型鑽機，鑽頭能自轉及公轉，通常需配合吊車，可自行修正樁孔垂直度。

6.1.1 反循環鑽掘機施工機具

有關仿日本日立 S 系列反循環鑽機之主要機具與設備如下：

- (1) 動力設備：包括發電機、真空幫浦、吸水幫浦、油壓幫浦等。
- (2) 轉盤：為提供扭轉力矩之主要構件，大都採利用油壓推動齒輪產生動力，此轉盤中心配屬導桿銜接器及鑽頭，於 S-400 鑽機鑽掘適應樁徑

可達 200 公分，可鑽透 N 值約小於 80 之地層，S-500 鑽機鑽掘適應樁徑則可達 260 公分，可鑽透 N 值約小於 100 之地層。

- (3) 鑽掘設備：包含門形框架、轉接頭、導桿(Kelly Bar)及鑽桿(Drill Pipe)。
- (4) 吸泥管：其功能為排土及排泥。
- (5) 鑽頭：鑽頭之形式一般依地質狀況之不同而異，於粉土與砂土等混合軟硬土層者大都採三翼鑽頭，於軟弱黏土及含水粉土層大都採四翼鑽頭，緊密之砂地層可採用六翼鑽頭，砂礫層可採蒜頭鑽頭，一般或堅硬之岩層可採螺旋鑽頭配以取土桶(Bucket)；此外遇堅硬之卵石、珊瑚礁層、或有地下障礙物時可採用衝擊式打樁機、破碎錘、油壓抓斗等方式配合施工；於擴座基樁採用擴座式鑽頭(新光站前大樓基地曾採用日本 TKR 擴座鑽機)。
- (6) 其它配件及裝備：保護套管、吊車、沉水幫浦、沉澱槽、抓斗(Grab)、振動樁錘、挖土機(Backhole)、特密管(Tremie Pipe)及配合樁底沉泥處理設備如空氣揚升法(Air Lift)之空氣壓縮機(亦可於鑽掘深度達 70 公尺以上時使用)、量測樁孔垂直度之超音波探測器(如 KE-200 機型)、經緯儀及沉泥排放處理機。

6.1.2 反循環鑽掘樁施工步驟

有關反循環鑽掘基樁施工步驟大致可分為以下主要幾項：

- (1) 設置反循環用水池：水池蓄水容量一般可採用為單樁掘削土量之三倍，若沉澱池經常處理則可考慮減少為二倍。
- (2) 套管定位：為保護地面附近孔壁之穩定性，通常需在鑽孔前以經緯儀放樣基樁中心位置，並打入一段保護鋼管；鋼管之貫入深度需視地下水位高程、土層透水性、土壤強度，地表超載荷重沉而定，一般套管之打設原則如圖 6.1 所示，其內徑需較基樁直徑大約 20 公分，套管上下兩端各用套環焊接補強，以防止套管於埋設過程中發生變形或開裂。

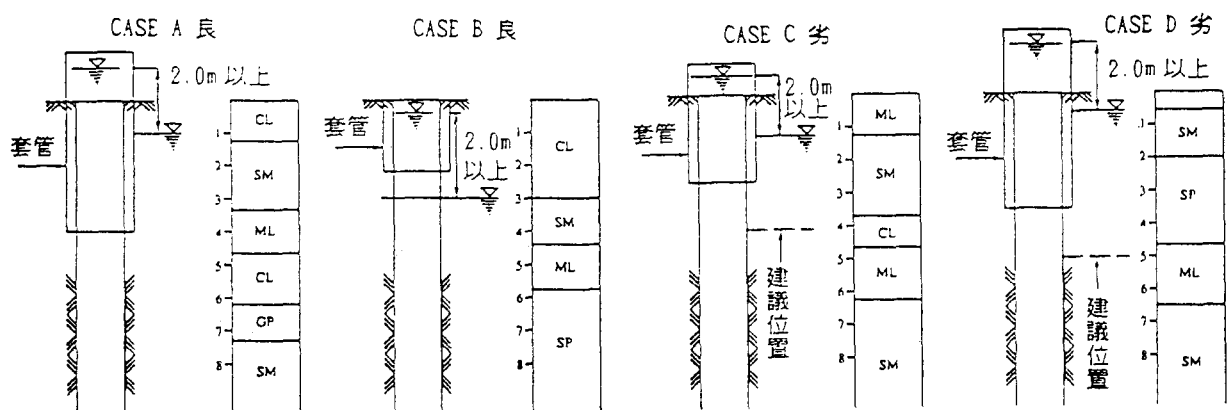


圖 6.1 保護套管打設位置良劣示意圖(日本土質工學會,1993)

- (3) 鑽掘機定位：鑽掘機中心必須與基樁中心點一致，由於鑽孔垂直度及施工率需由鑽機本身安置之平整度控制，故鑽機除底座應穩定平衡、不可有幌動或傾斜外，亦應考慮鑽掘過程中地表地層是否可適當承載機具荷重，鑽掘機之轉盤不得直接裝置於保護套管上。
- (4) 鑽掘：每支基樁自鑽掘作業開始即應持續施工，直至混凝土灌注完成止，以免延時太久不利樁孔之穩定，鑽掘中鑽孔內穩定液必須隨時維持高於地下水位 2 公尺以上，以維孔壁之穩定，鑽頭及鑽管均為中空，安裝前應先檢查是否阻塞，以維持循環水之通暢。

於較堅硬地層中鑽掘時進尺速度較緩，必要時可銜接加重鑽桿，以加速鑽掘速度，總加重以 1.5~2.0 噸為宜，不宜加重過多，以免使鑽管接縫螺絲斷裂，鑽掘時應以捲揚機控制適度吊拉鑽桿，遇地層由軟至硬時應使鑽桿適度維持自重以保持垂直不偏斜，鑽掘進行時應適當控制轉速，鑽孔中如遇鑽桿搖晃，應減速鑽掘以避免孔壁擴大或不規則狀而形成垂直度及孔壁穩定性不佳情形。

黏土層中穩定液比重一般應保持在 1.02~1.04 範圍內，於易崩坍砂性地層穩定液比重則宜維持在 1.05~1.08 範圍內，於有海水侵入地下水區域(即地下水有鹽化現象者)穩定液容易有劣化情形，此時可考慮使用耐鹽性之增黏劑 CMC 作為穩定液添加劑。

鑽掘過程中應隨時注意套管內水位變化，如發現水位有突然下降，即顯示樁孔有逸水現象，孔內循環水迅速經由透水性高、水壓較低之地層流出逸失，台北盆地以景美礫石層較為常遇，此時須迅速將逸水防止劑、木削或紙漿纖維傾倒入孔中，以有效堵塞地盤中之空隙，現場如未準備防止逸水劑，緊急時可考慮先回填黏土，並繼續挹注穩定液以防止坍孔；與前情相反的，如鑽孔過程中遇孔內液面有類似沸騰之湧水情形時，即顯示孔底已鑽至透水性佳之受壓水層(如砂岩層)，此情形較常發生在山麓附近之平原區域(曾於淡水線唎哩岸站發生此狀況)，此時大量密度接近 1.0 之地下水自孔內湧出，將降低孔內穩定液比重，進而使孔壁有坍塌之虞，此時可於穩定液中攙入加重劑(如重晶石)。

基樁鑽孔過程中如遇地下障礙物，應立即改採能克服障礙物之鑽頭或工具先行鑽穿，或將障礙物取出後再繼續施鑽，若仍無法鑽掘至設計深度時，應即報請業方及設計單位核定處理方案，在業方核定補救方法前，承商應妥善保護鑽孔；當鑽掘至預定深度時，應確定是否為承載層，其貫入深度是否足夠，其承載層確認發方法一般是在排泥管末端以鋼製篩網或挖土機撈取土樣檢視是否為承載層(如卵礫石、岩塊)，並應參照鑽掘進尺時程記錄與地質鑽探報告，如實際鑽掘地層資料與設計或施工之地質調查資料有甚大出入時，承商應即以書面記錄報請業方及設計單位重新檢核設計資料，必要時得進行設計變更以符實際狀況。

- (5) 沉泥處理：混凝土澆置時如樁底存有過厚之沉泥，當混凝土自特密管底端擠出時將與濃稠比重之沉泥混合，使混凝土產生所謂乳化現象，容易形成劣質混凝土，並可能使特密管內混凝土不易自管底擠出而造成澆置作業困難，甚或需拔出混凝土面重行澆置情形；此外亦有部份沉泥未被混凝土衝散仍沉積在樁底。因此，反循環基樁施工過程中樁底沉泥處理之良窳直接影響基樁樁底混凝土施工品質，其承載行為對採完全端點承載樁而言影響更鉅，故如何有效清除樁底沉泥實為基樁工程中一甚重要之課題。

一般基樁施工樁底沉泥之處理程序大致可分以下二個步驟：

(a) 一次沉泥處理

當確定鑽掘終止深度後，一般會先將鑽頭提高並停機約 30 分鐘以等待沉泥(土層粒塊)於樁孔內之初期沉澱，其後再啟動鑽機抽水幫浦以反循環水流方式轉動鑽頭攪動並抽除樁底沉泥約 30 分鐘，同時以部份清水置換循環水，以進行至樁底沉泥完全清理乾淨止。處理後移開鑽機再以超音波檢測樁孔孔徑及垂直度，並再次以水尺檢測樁底沉泥厚度，如沉泥厚度未超出規定(一般為 10 公分以內)或是樁孔垂直度可達要求時(一般要求為 1/200)，則可進行鋼筋籠吊放作業，若有沉泥過厚時可先以沉水式抽水幫浦依一般反循環方式抽除沉泥，如仍無法將樁底沉泥抽除時，則應將鑽機移回原位重新下鑽頭及鑽管清理沉泥或進行必要之修孔。

(b) 二次沉泥處理

自一次沉泥處理完成至鋼筋籠完成吊放、搭接等安裝工作止一般均需數小時之久，此期間樁孔底部將陸續有沉泥沉降於孔底，此時可採用空氣揚昇法(Air Lift)如圖 6.2 所示方式，在特密管內裝置一空氣管至約管底附近處，再藉由空氣壓縮機將空氣打入特密管內空氣管中，空氣自特密管下方處注入，因空氣在特密管內上浮原理以及經由銜接特密管上頭排水管路使產生反循環水流並進而抽除孔底沉泥；由吊車(Crane)前後左右移動特密管以清除樁底沉泥，當樁底沉處理至可接受之程度時承商始可讓混凝土預拌車進場澆置，前述二次沉泥處理作業應持續進行至混凝土澆置作業開始之前。

- (6) 鋼筋籠製作及吊放：施工上要注意之處為鋼筋籠吊點應特別補強焊接，主筋與箍筋之交點應以電焊焊牢，以免吊放時鬆散或墜落，每節鋼筋籠之加工長度應視吊車作業能力而定，並應先行試吊以維吊放作業之安全，每節鋼筋籠應焊製間隔器(Spacer)，約每隔 2~4 公尺設一間隔器裝設斷面，每斷面至少裝設 6 個，以避免危害孔壁穩定，鋼筋籠吊放前應將包覆於籠身鋼筋上之覆土異物以高壓水柱清洗乾淨。吊放

及搭接作業期間均應隨時保持鋼筋籠身之垂直，不可隨意搖晃，鋼筋籠搭接吊放完成後應設法固定，如基樁有空打段則上段鋼筋籠應設法伸出水面，以備灌漿時觀察鋼筋籠有否異常情形。

- (7) 澆灌混凝土：於完成前述二次沉泥處理後始可讓預拌車進場，期間孔壁如發生崩塌應立即防止再崩塌，待所有崩塌物清除後始可進行混凝土澆置作業，澆置前應檢查特密管之氣密性，澆置作業應持續進行不可隨意中斷，且特密管除第一車外其餘均應保持插入混凝土中至少 2 公尺，然最好亦不得大過 8 公尺，以使澆置作業順利進行，澆灌完成後之混凝土如位於套管內時則應於 30 分鐘內將套管拔除，以避免破壞終凝後混凝土品質。

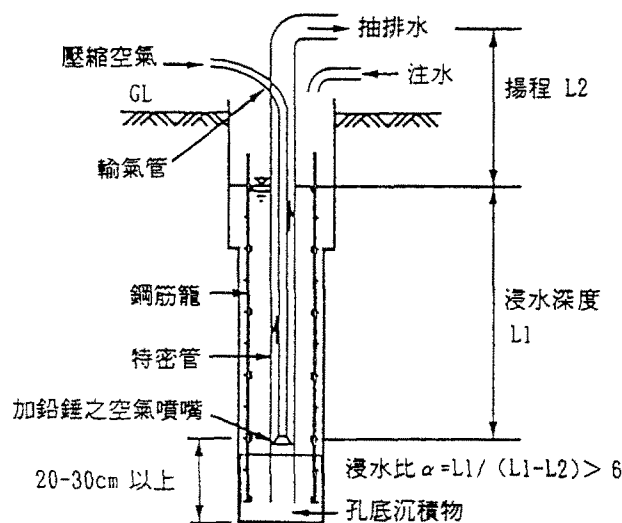


圖 6.2 利用空氣上揚法進行三次孔底淤泥處理示意圖(日本土質工學會,1993)

6.1.3 問題處理

反循環基樁施工時可能遭遇之障礙及處置方式如表 6.1 所示。

6.2 全套管基樁施工機具、施工步驟及問題處理

全套管工法之施工理念係在於可能坍孔或過量變形之地層中進行鑽孔時，由套管保護樁孔孔壁，以確保基樁施工品質的工法，一般在遇有下述情形時可考慮採用此工法施作：

- (1) 地層材料屬鬆砂、軟弱粘土層、卵礫石、風化岩與軟岩者。
- (2) 有環保之慮，避免皂土污染，震動及噪音之地區。
- (3) 施工時需確保鄰近結構物安全。

表 6.1 反循環基樁施工常遇問題及防止與處理方法

常遇問題	原因分析	防止措施
垂直精度不足	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鑽桿彎曲 2. 旋轉盤非水平 3. 吸泥軟管固定不佳 4. 地層顯著變化 	<p>事前均應檢查合格，方可開鑽</p> <p>調整鑽進速率</p>
孔壁崩坍	<ol style="list-style-type: none"> 1. 穩定液管理不當 2. 伏流水造成逸水現象 3. 鑽孔偏斜鋼筋籠刮落孔壁 4. 鋼筋籠變形刮落孔壁 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調整穩定液配比，以適合地層 2. 加逸流防止劑 3. 修孔 4. 鋼筋籠吊放前應補強
鑽掘不下	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遇大塊石或其他障礙物或岩盤 2. 鑽頭煞車沒放鬆 3. 鑽頭磨損 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 選用合適鑽頭並耐心鑽掘 2. 予以放鬆 3. 更換鑽頭及切刀
承載層支承力不足	<ol style="list-style-type: none"> 1. 沉泥處理不完全或沉澱量過多 2. 到達程載層後，鑽頭繼續長時間排土，細粒土壤被吸走 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 進行沉泥二次處理甚至三次處理過多 2. 上提鑽頭，排土時間加以控制
鋼筋籠放不至定位	<ol style="list-style-type: none"> 1. 孔壁崩坍 2. 鋼筋籠變形 3. 沉澱量過多 4. 下節鋼筋籠主筋不足，導致鋼筋籠挫屈 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重新清孔 2. 箍筋加強 3. 清理沉澱 4. 增加主筋數量
鋼筋籠上浮	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上浮防止筋不足 2. 第一車混凝土澆灌太快 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加之 2. 減緩速度
混凝土無法流入孔底或析離	<ol style="list-style-type: none"> 1. 特密管接頭漏水 2. 特密管內不平整，導致橡皮墊卡住或翻滾 3. 混凝土塊未予排除，卡在管內 	<p>事先應以檢查</p> <p>漏斗上加格狀鋼筋網</p>

- (4) 採用場鑄斜樁時。
- (5) 基樁間距甚小時。
- (6) 大口徑場鑄樁，無法以一般工法施工時。
- (7) 施工時可能受地下伏流、河流沖刷或潮汐漲落影響地區。
- (8) 對基樁垂直度或品質要求較高時。

有關全套管式基樁與反循環式基樁之比較如表 6.2 所示。

6.2.1 全套管基樁施工設備

全套管基樁施工設備包括套管、取土設備、鑽頭、全套管驅動設備及鑽齒等，其中取土設備有兩類，一為旋鑽機配以取土筒(Bucket)或螺旋鑽桿(Auger)，另一為吊車配抓斗(Hammer grab)或鑽鑿(Chisel)，套管驅動設備亦有兩類，一為搖管器式(Oscillator)以兩支油壓幫浦左右約 23 度角度搖動套管並壓下或上舉套管之機具，另一類為全旋式迴轉器(Rotary)，此外為了鑽岩及刮土，鑽頭及套管最下緣必需安排適當鑽齒(Teeth or Bit)，一般而言鑽齒有三大類，分別為子彈型鑽頭、平頭尺與三角斗齒前者較適用於較堅硬地層，後者則適用於砂土層

6.2.2 全套管基樁之施工步驟與可能發生之問題

茲摘錄地工技術雜誌第 52 期(樊成，1995)有關旋鑽機及搖管器抓斗之施工流程如圖 6.3 及圖 6.4 所示

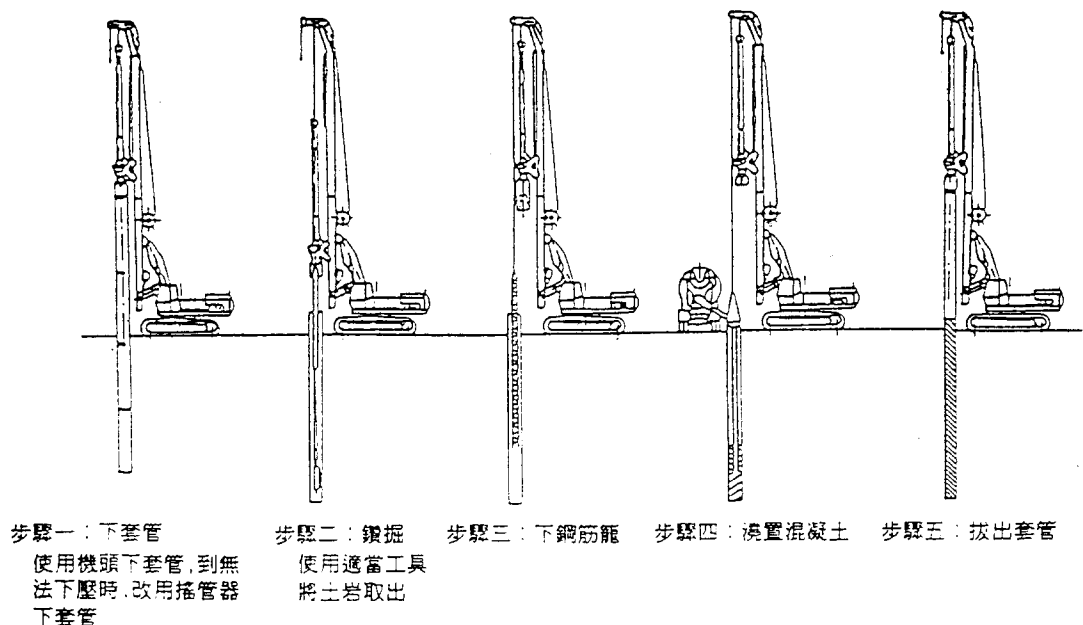


圖 6.3 旋鑽機施工流程

表 6.2 全套管式場鑄樁與反循環場鑄樁之比較

比較項目	樁別	反循環樁	全套管式樁
1. 套管		4m~10m	可至 60m
2. 有無使用穩定液		有	無
3. 穩定液之品管與試驗		需要	不需要
4. 有無底泥		有	無(可以清水洗至滿意程度為止)
5. 鋼筋籠插入時觸及側壁土壤引起崩坍		有可能	不可能
6. 鋼筋受造土污染		有	無
7. 混凝土與比重大之造土混合		有可能	無
8. 側壁殘留皂土膜		有	無
9. 皂土廢液處理		需要且費用高	不需要
10. 樁之完整性		不確定，可能有頸縮現象	可靠
11. 垂直精度		差	高
12. 壓力水層及地下伏流		無法克服	能克服
13. 場地環境及景觀		極差	可控制
14. 振動		無	無
15. 噪音		略有(引擎聲)	略有(引擎聲)
16. 適用地質		砂土層、黏土層	砂土層、黏土層、卵礫石層、岩盤
17. 單價		普通	略高

有關全套管施工時可能發生之問題及其解決對策依序說明如下表 6.3

表 6.3 全套管施工常遭遇問題及其對策說明一覽表

施工常遭遇問題	原因	解決對策
套管無法拔起	搖管器選擇不當或機具故障 套管變形以致無法夾緊 灌注混凝土後摩擦力過大 受附近其它工程影響 搖管器不水平 埋入時間過長以致圍束力增加	選擇適當搖管器 定期維修機具 套管周圍塗潤滑劑 適時搖動及拔除 以大形震動機拔出
鋼筋上浮	底部沉泥過多 鋼筋籠製作不良 超挖 護耳或骨材過大	確實製作鋼筋籠 確實管制鋼筋籠製作品質 控制混凝土骨材尺寸 避免超挖，防止崩孔
機具故障	平時未落實維修保養 未準備足量備品 超過機具負荷能力	日常妥善維修 庫存足量零件 勿超過機具負荷能力
場地太小或地面不堪負荷	施工機具均為重機械，機身亦極龐大 基地承載力不足	考慮選擇其它型機具或其它工法 設法提高地表承載力

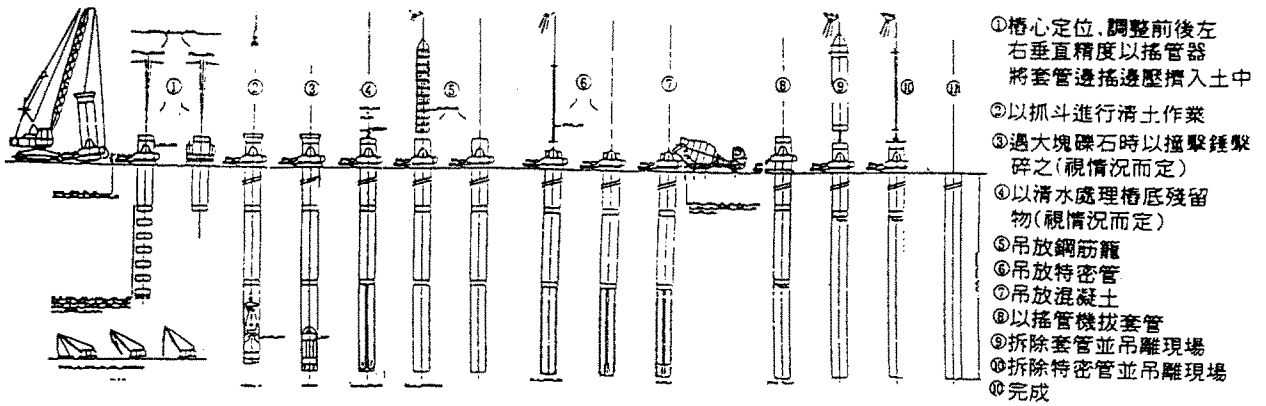


圖 6.4 搖管器抓斗之施工流程

6.3 人工挖掘式基樁工法之機具、步驟及注意事項

人工挖掘式基樁構想認係源自古代鑿井技術，在日本係稱深礎工法(Sinso)，在香港建地下鐵(1980 左右)係稱人工開挖沉箱(Hand Dug Caisson)，而國內早期於高速工路圓山橋亦曾使用本工法，主要之施工機具有防止坑壁崩坍之擋土設備，如波浪形鋼板配合環樑(Ring Beam)；排土設備如吊架、小型絞車(Baby Winch)、三腳架、吊筒及掘土裝備等，其於地表面上之作業半徑甚小且於傾斜地(如斜坡上)、狹隘場地或岩盤、卵礫石層等均可施工，有關本工法施工步驟示意如下。

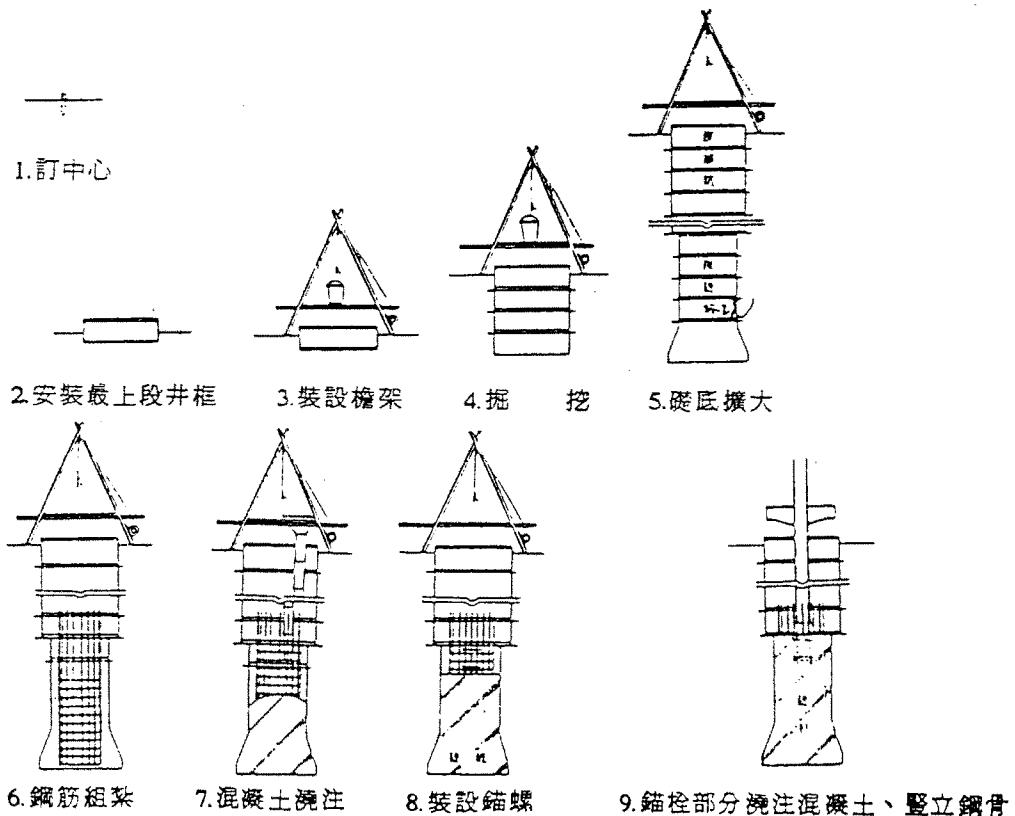


圖 6.5 人工挖掘樁施工順序示意圖

人工挖掘基樁在工法選擇上應事前調查注意或考量事項如下：

- (1) 是否為自立性佳之可挖掘地層？地層是否具有受壓水層、隆起或砂湧之虞？是否需額外配合抽降水措施？有否可供排水設施？當湧水量超過每分鐘 200 L 時有必要採用深井、點井抽水方式或藥液灌漿止水方式止水。
- (2) 吊架之安定性及平台寬度、高度及坡度是否適切？地面與孔內人員之協調吊土筒之昇降情形，是否有緊急之昇降設備。
- (3) 承載層之確認及其開挖方式之決定(如開炸、破岩或鑿岩)。
- (4) 有否有發生缺氧或有害氣體之虞？是否準備有氣體檢測器、送風設備及急救用具？
- (5) 鄰接樁之同時可施工面積，樁中心是否正確，掘削斷面是否具有設計面積，是否有過度超挖？
- (6) 基礎擴大之可能性及其擴大程度調查評估。
- (7) 挖掘及擋土用機械、器具品質是否良好？
- (8) 是否設有妥善考量防止人員墜落措施？
- (9) 防止外物吊落坑內，避免誤擊坑內施工人員之措施是否適當？

6.4 基樁完整性檢驗與樁載重試驗

6.4.1 基樁完整性檢驗

由於前述各節基樁工程大都係在地層中或水中鑽掘施工，不似地上結構物之施工可以肉眼作全程監督，既使以電子儀器監測(如樁孔垂直度檢測儀)也僅能監測有限過程，故在基礎施工完成後，是否能達成設計要求仍無法有效掌控，造成基樁缺陷之風險性高，如在每一個施工環節處理稍有不慎，均可能造成基樁缺陷(Defect)，其造成之缺陷包括基樁內存有之空洞、包泥、骨材分離、蜂窩、孔壁剝蝕、頸縮及樁底下方之沉泥，為降低投資風險及確保基樁施工品質，再加以近年相關檢測技術快速發展，基樁完整性檢測之有效率及可靠性也隨之大幅提昇。

一般基樁完整性檢驗(Pile - Integrity Test)方法，大致可分為破壞性與非破壞性兩種，前者以混凝土鑽心取樣(Take Core)為代表，後者則以雙孔超音波檢層法(Cross Hole Sonic Logging)為代表，在台北捷運工程中，基樁完整性檢測幾乎均採雙孔超音波檢層法，其它如脈波回應法、穩定振動法等基樁非破壞檢測技術則因基樁混凝土傳遞介質相關參數無法確實掌握；迄今尙少有使用案例，有關檢測頻率台北捷運工程一般採 20~25%工作樁數量進行檢測。

雙孔超音波檢層法在實務上是於每支基樁鋼筋籠上預先裝設檢測用測管，一般樁徑在 80 公分以下者裝設 3 支測管共三個檢測斷面，80~180 公分樁徑者裝設 4 支測管共 6 個檢測斷面，大於 200 公分樁徑者則採 6 支測管共 15 個斷面，實務上一般會依品質檢測理念於施工前即按檢測率將基樁分組，於每組基樁可考慮採下列原則選定試驗樁：

- (1) 現場監工觀察施工過程中樁孔有坍孔可能者(如混凝土用量遠較設計值少者)。
- (2) 鋼筋籠有上浮情形者，鋼筋籠吊放過程發生困難者。
- (3) 混凝土澆置作業因故中斷特密管中途拔出者，混凝土澆置作業困難者。
- (4) 樁底沉泥處理不良者，樁孔內有異常逸水或湧水情形者。
- (5) 基樁鑽孔後閒置期間過久或地層有異常軟弱或容易坍塌可能者。
- (6) 其它異常施工情形可能引致樁體混凝土有瑕疵可能者。

如檢測結果發現基樁完整性有嚴重瑕疵情形時，業方將要求承商提出結構補強計畫，一般而言如樁身瑕疵位置係出現在樁身，則會要求承商以補樁方式補強，如瑕疵位置係出現在樁底，亦曾有承商採以鑽心至樁底，以高壓水注清洗後再以高壓噴設灌漿方式進行補強之案例。

6.4.2 樁載重試驗

一般而言確認基樁施工品質最可靠之方式為樁載重試驗，樁載重試驗依其功能之不同而分有前期載重試驗(Preliminary Pile Load Test)及基樁驗證載重試驗(Pile Prove Load Test)兩種，前者試樁之目地在於檢核設計參數與瞭解基樁工法於該工區之適用性，後者主要之目地則在於驗證基樁施工品質，關於試樁數量之決定，前期載重試驗樁係以該區地層之變異程度、上層結構物之重要性與工法適用性之掌握程度而定，並選定非工作樁為試驗樁；後者則與基樁施工數量或橋墩結構之重要性而定，均選定工作樁來試驗。

前期載重試驗為求得基樁設計之相關地層與基樁間之力學行為資料，一般會在樁內裝設若干種類之監測儀器，例如鋼筋計(Rebar)、樁底荷重計(Load Cell)、樁身伸縮儀(Extensometer)、傾度管(Inclinometer，(側向載重試驗使用)等，由試驗結果可獲得樁身、樁底與土壤間之互制行為參數(T-Z Curve)，並可依據該資料評估設計最佳化之可行性(例如在符合設計需求情形下縮短樁長或樁徑等經濟設計)，為獲取完整地層與基樁間互制行為，本試驗最大載重應盡可能使基樁變位達極限降伏破壞狀態。

驗證載重試驗樁之試驗荷重取決於基樁設計荷重與負摩擦力值大小而

定，一般均要求至少需達兩倍設計荷重或 1.5 倍設計荷重加 1.2 倍負摩擦力總合之較大值，如驗證載重試驗結果確認工作樁沉陷變位行為不符設計要求時，承商除應無償負責該基樁之補強工作外，承商亦將被要求增加一組載重試驗，以進一步確認該組(Group)工作樁之施工品質。

前述基樁載重試驗之載重方式依其受力行爲而有軸向、拉拔、側向載重等，荷重/反力加載方式常見者有反力樁加反力樑以及呆重兩類，在捷運木柵線亦有以地錨爲反力來源者。

結 論

地下工程之施工變異性甚大，前述文章僅為概述性質，無法將各種變數或工程之特異性納入，事實上常聽承商說「我以前這樣做沒事，為何這次做就發生事情！」這便可說明了大地「善變」之本質，這是一個大地工程設計者及施工者應有的認知。

捷運局東工處所轄之各標，自施工以來眾人戮力以赴，戰戰兢兢不敢懈怠，故未曾有過大的災變發生，實乃大家努力之成果，而為山九仞，故仍需大家一步一腳印的踏實走下去。

參考文獻

- (1) 陳堯中、林耀煌、廖洪鈞(1989)，“基礎開挖之品質管制”，內政部營建署。
- (2) 李光雄(1990)，“地下連續壁施工與管理講義系列”。
- (3) 王劍虹、蘇鼎鈞(1996)，“深開挖工程失敗實例研究”，深開挖與地下施工研討會論文輯，台北。
- (4) 陳斗生(1996)，“淺談深開挖工程實務—失敗之預防”，深開挖與地下施工研討會論文輯，台北。
- (5) 林耀煌(1990)，高層建築—基礎開挖施工法與設計實例。
- (6) 楊國榮、趙際禮(1997)，“台北捷運系統新店線 CH221 標通風豎井施工”，第七屆大地工程學術研究討論會，金山。
- (7) 陳奕耿、黃俊青、王復國(1997)，“深開挖地中版建物保護案例”，第七屆大地工程學術研究討論會，金山。
- (8) 朱旭、楊慕泉、段紹緯(1997)，“潛盾施工管理”，第七屆大地工程學術研討會，金山。
- (9) 朱耀光、何錦富(1992)，“深開挖支撐系統之預壓控制”，現代營建第 155 期。
- (10) 胡邵敏(1992)，“深開挖工程鄰產保護設計與施工(二)”，地工技術第 40 期。
- (11) 胡邵敏(1993)，“微型樁在國內之應用”，工程地質技術應用研討會(V)。
- (12) 朱專誌、富謙(1994)，“建物保護工法案例”，結構與地基國際學術研討會，杭州。
- (13) 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，杭州。
- (14) 黃南輝、高祥生、郭國振、張兆麟(1994)，“砂礫層對擠壓灌漿之反應”，地工技術第 47 期。
- (15) 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”，地工技術第 54 期。

- (16) 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。
- (17) 林永光、郭晉榮、吳立華(1995)，“反循環基樁施工與品質管制”，地工技術第 52 期。
- (18) 樊成(1995)，“全套管式基樁施工與品管”，地工技術第 52 期。
- (19) 梁明德、葉吉芳(1995)，“基樁之非破壞性檢測與案例”，地工技術第 52 期。
- (18) 賴景波(1990)，“基礎工程施工與實務”，現代營建雜誌社。