

出國報告（出國類別：考察）

捷運工程地下潛盾及其他開挖工法暨 相關自動監測系統

服務機關：交通部高速鐵路工程局

姓名職稱：正工程司兼科長 許曉峰

副工程司 魏建生

派赴國家：日 本

出國期間：97年11月15日至11月21日

報告日期：98年2月11日

摘要

大眾捷運系統運量大、速度快、安全可靠兼具環保優點，是提昇都市交通與健全都市發展的重要交通建設。國內臺北、高雄初期路網已完工營運，後期計畫及次都會區捷運系統陸續開工或規劃、設計中，是國內未來交通建設發展的重點。而地理位置及地質條件與國內相近，且具多年捷運系統施工及運轉經驗的日本是最值得考察的國家之一，此次出國考察先赴東京參訪東京地鐵與都營地鐵及鐵道總合技術研究所後，再轉往大阪參訪市營地鐵及西大阪高速鐵道株式會社等日本主要地下鐵或鐵道建設有關之機關（構），以考察東京、大阪最新捷運及鐵道工程的施工方法及監測系統規劃，以作為本局或其他單位辦理捷運工程興建時之參考。

目 次

一、考察目的	3
二、考察過程	5
三、考察內容	6
(一)、東京地下鐵	
1、東京地下鐵概要	6
2、東京地鐵參訪	7
3、都營地鐵參訪	14
(二)、大阪地下鐵	
1、大阪地下鐵概要	16
2、大阪市交通局參訪	17
(三)、其他	27
1、鐵道總合技術研究所參訪	27
2、西大阪高速鐵道株式會社參訪	28
3、大阪地下鐵1號線梅田車站改造計畫	32
四、心得與建議	34
五、考察照片	37
附錄 東京副都心線隧道規格及潛盾機規格一覽表與潛盾機照片	42

一、考察目的

捷運系統是現代化都市的表徵之一，其具有運量大、速度快、安全可靠及環保等基本特性，是提昇都市交通，健全都市發展的重要交通建設環節。臺灣捷運系統，除了臺北捷運初期路網建設已完成 76.6 公里，每日載運量逾 110 萬人旅次，於 97 年開始營運的高雄捷運初期路網建設已完成 42.7 公里，每日載運量約 12 萬人旅次，建設中捷運工程則有臺北捷運系統第二階段路網 79.8 公里，桃園國際機場聯外捷運系統 51 公里，未來臺北捷運系統將進行第三階段路網施工，桃園、臺中、臺南等都會區捷運系統亦陸續進行規劃、設計中，因此在臺灣未來交通建設，捷運系統將是發展的重點。

捷運工程隨著科技日新愈益、施工經驗的累積，無論是規劃、設計或工法上都有大幅的進步。都會區捷運工程多採地下化設計，施工工法多以潛盾工法、明挖覆蓋工法、新奧工法及其他輔助工法，如冷凍工法、地盤改良等，另亦需輔以監測系統進行施工管理系統，並確保施工及周遭構造物的安全；在潛盾工法方面，由北市捷運工程局代辦的桃園國際機場聯外捷運系統三重至臺北市路段，為避免傳統雙孔單圓隧道在河床下施作聯絡道的風險，引進雙圓形潛盾隧道(DOT)新工法，另外由於桃園國際機場聯外捷運系統於機場段採地下化設計，該路段多屬卵礫石地層，潛盾機設計上亦不同於過去北市捷運所採用的潛盾機設計。在監測系統方面，無論是採潛盾工法或其他開挖工法施工，都需要對開挖本身安全性進行監測，同時亦需對開挖時的周遭地盤及鄰近結構物的影響進一步監測，例如桃園國際機場聯外捷運系統於機場地下化路段穿越機場既有滑行道及塔台管制區下方，其開挖時對地盤及鄰近結構物的影響就需要透過自動化的監測，進一步即時回饋施工管理並採取必要的緊急措施等。

就地理位置、地質條件、施工技術及規範交流等方面觀之，已有多年地下鐵系統施工及運轉經驗的日本是最值得考察的國家之一，日本東京地下鐵目前有 13 條，營運長度達 304.1 公里，是目前日本地下鐵系統最長的都市，其次日本大阪目前

有地下鐵 8 條及新電車 1 條，營運長度達 137.9 公里，可供觀摩施工案例相當多，日本都會區地下鐵長度前五名如表 1；再者，日本於土木工程技術及施工管理上，均名列世界各國之前茅，有其獨到且值得我國借鏡學習之處。因此，本出國考察計畫安排到日本參訪地下鐵建設有關之機關（構），以考察東京、大阪最新捷運工程的施工方法及監測系統規劃，以作為本局或其他單位辦理臺灣捷運工程興建時之參考。

表 1 日本地下鐵長度一覽表

項次	都市	路線數	公里
1	東京	13	304.1
2	大阪	8	137.9
3	名古屋	6	89.1
4	橫濱	3	53.4
5	札幌	3	48

二、考察過程

本次考察日期自 11/15 至 11/21 為期七天，考察成員及考察行程如下：

考察成員：

領隊：許科長曉峰(捷運工程地下潛盾及其他開挖工法暨相關自動監測系統考察)

隊員：魏建生工程司(考察內容同上)

張哲榮及工程司林明志（另一考察計畫「軌道運輸系統之噪音振動及防治對策考察」）

考察行程：

表 2 考察行程

日期	行程
11/15(六)	抵達日本東京 體驗成田機場至東京間大眾運輸系統轉運設施
11/16(日)	資料討論及考察東京都軌道運輸系統。
11/17(一)	參訪「東京地下鐵株式會社」 參訪「東京都交通局」
11/18(二)	參訪「鐵道總和技術研究所」 軌道維護體系講解、參觀維修器材等
11/19(三)	搭乘新幹線由東京都至大阪府 參訪「西大阪高速鐵道株式會社」
11/20(四)	參訪「大阪市交通局」 參觀梅田站大改造工程
11/21(五)	由大阪關西機場搭機返回桃園國際機場

考察重點：

- 1、「軌道運輸系統之噪音振動及防治對策考察」為因應噪音管制法修訂，考察日本相關管制標準之制定及如何輔導營運單位改善噪音。
- 2、「捷運工程地下潛盾及其他開挖工法暨相關自動監測系統考察」為了解日本潛盾工法與其他開挖工法及其相關自動監測系統之管理。

綜合上述考察行程與重點，謹就考察期間所見所聞提出本心得報告如後(不含「軌道運輸系統之噪音振動及防治對策考察」計畫)。

三、考察內容

(一)東京地下鐵

1、東京地下鐵概要

東京地下鐵共有 13 條路線分別由東京地下鐵株式會社及東京都交通局經營，簡稱為東京地鐵及都營地鐵，其營運概況如下表 3。東京地下鐵為了便於廣大乘客，尤其是國外的乘客利用地下鐵，自 2004 年 4 月開始採用車站編號系統，該系統對每條線路規定了一個字母，即「路線記號」，並且對各車站編號，即「站編號」，因此換乘車站具備一個以上的編號，同時，站編號分別為自西向東及自南向北遞增方式編號，乘客可以輕鬆識別下車及換乘車站，及知道自己乘車方向，另外亦便於計算乘客上車開始到換乘及下車時所經過的車站數量，利於旅次統計與分析。圖 1 為東京地下鐵的路線圖。

表 3 東京地鐵及都營地鐵經營一覽表

	東京地鐵	都營地鐵
最早營運時間	1927	1960
營運路線數	9	4
營運路線長度	195.1	109
車站數	179	106
車輛數	2669	1086
每日平均旅次	620 萬人次	350 萬人次

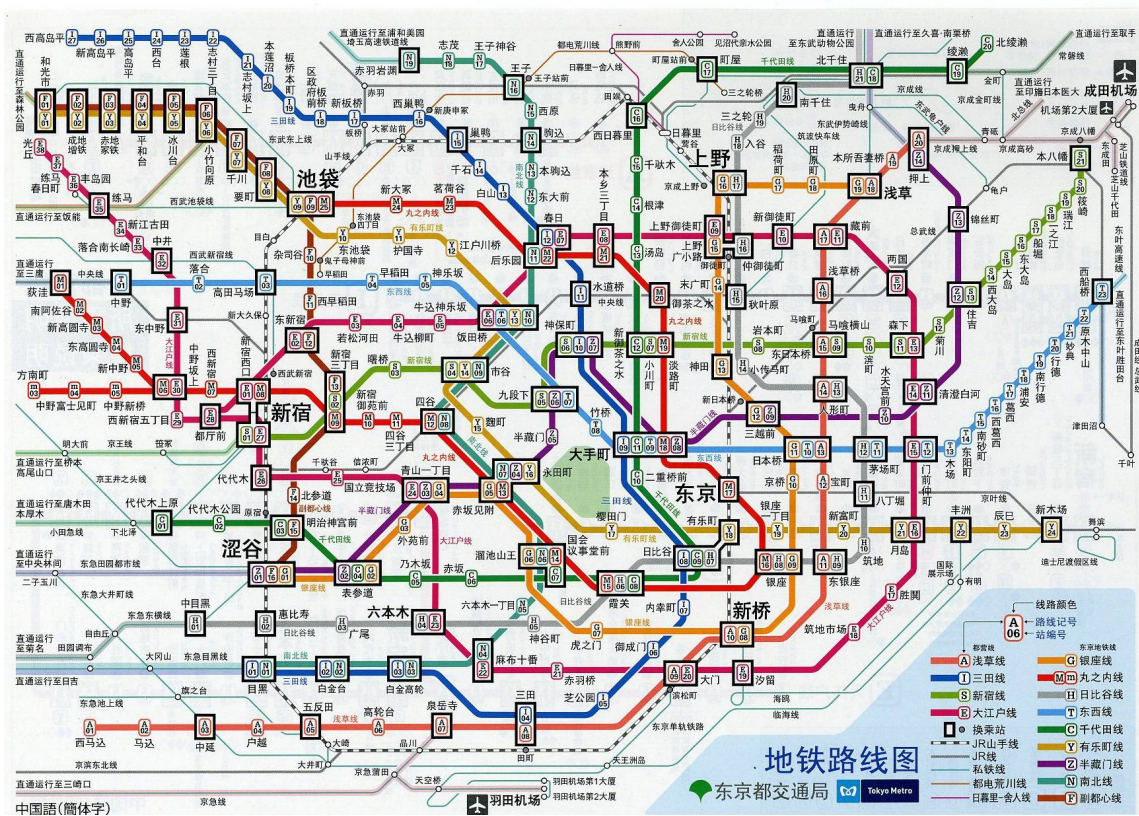


圖 1 東京地下鐵路線圖

2、東京地鐵參訪

圖 2 為屬東京地鐵經營的 9 條地鐵建造時所採用的施工技術發展過程，其中以副都心線為 2000 年開工，於 2008 年 6 月 14 日開始營運，為最新完成的地鐵線，為此次參訪東京地下鐵株式會社時的考察重點。

副都心線運行路線主要為連接池袋、新宿及涉谷三個主要東京副都心，其路線如圖 3 所示，提供一條新的運輸路線，並與其他路線銜接，有效舒緩該區域交通人潮，池袋至涉谷區間全長工事為 8.9 公里，沿線與 16 條主要交通運輸幹道橫交，全線採地下工事施工，圖 4 為副都心線池袋至涉谷間的地質縱斷面圖及工法示意圖。

副都心線的車站體主要採用明挖覆蓋工法施工，與國內地下捷運車站施工方式相似，其各車站橫斷面圖如圖 5 所示，其中以雜司谷站與西早稻田站兩個車站較為特殊，其車站主體是採用潛盾工法施工，車站橫斷面圖如圖 6 所示，西早稻田站係利用一部直徑 8 公尺潛盾機施工，施工時係先於車站兩側開挖潛盾工作井，再以潛盾機分別開挖車站體的車行隧道，最後利用擴挖方式將兩隧道中間連通，作為車站月台，如圖 7 所示。雜司谷站設計理念與西早稻田站相同，不同的是雜司谷站的潛盾機是採母子式潛盾機，這種母子式潛盾機設計為內、外雙盾，外盾直徑 8 公尺是用於雜司谷站車站體開挖時使用，當其完成車站體車行隧道單線開挖後，於車站體另一側潛盾機工作井將其外盾拆除，當然切削頭尺寸亦可作外部拆除，使得潛盾機尺寸變小，修改後潛盾機尺寸為 6.7 公尺，以作為後續車站與車站間的單軌隧道開挖用，如圖 8 所示。此種利用潛盾工法進行的車站體開挖，主要目的為降低地面開挖使用面積，同時避開交通繁忙路段的開挖工作，以減低施工階段對周遭環境與交通的影響，這與橋樑大跨距先進施工工法有相同施工規劃概念。

於車站間的隧道部分，共設計有 3 種不同斷面，一為單軌潛盾隧道，一為雙軌圓形潛盾隧道，及最特殊明治神宮前至涉谷站間的雙軌複合圓形潛盾隧道，潛盾隧道橫斷面如圖 9 所示。採用此種複合圓形斷面設計目的主要是減小開挖斷面，以同樣雙軌隧道來說，複合圓形斷面較傳統圓形斷面為小，在隧道淨空方面，複合圓形隧道只減少了 2% 左右，並且不影響車輛及相關機電設施，但其在開挖土方量方面減少了 9% 左右，在仰拱混凝土使用量上減少了 40%，環片混凝土使用亦減少了 6% 左右，由上述結果顯示，使用複合圓形斷面可以有效降低開挖對於環境負面影響的產生，傳統圓形斷面與複合圓形斷面比較如圖 10。

泥土壓式潛盾工法所產生的流動化土壤是一般都會區廢棄土處理比較麻煩的問題，在副都心線施工時則將上述泥土壓式潛盾工法所產生的棄土再處理，並用於明挖覆蓋車站體的構造物回填材料，如圖 11 所示。

副都心線潛盾開挖對周遭地盤變位的計測斷面如圖 12 所示，使用計測儀器有層別沉陷計、埋設型傾斜計、水盛式沉陷計(使用於地表)、基準水槽及溫度計等，主要為於潛盾隧道上方埋設層別沉陷計，並於兩隧道中心處埋設層別沉陷計及埋設型傾斜計，另外在潛盾隧道外側亦埋設有層別沉陷計及埋設型傾斜計。

副都心線於北參道車站附近與首都高 4 號線高架橋橫交，為與副都心線橫交的最重要交通運輸幹道之一，因此在副都心線施工期間有必要對其橋墩鉛直變位及傾斜變化進行監測，其計測項目、計測系統及計測頻率分別如表 4 及表 5，計測斷面圖如圖 13，監測結果顯示施工過程沒產生明顯影響，顯示施工團隊於潛盾施工階段管理相當良好。

表 4 鄰近橋樑構造物計測項目及計測系統

計測項目	使用計測儀器	計測位置	計測系統
構造物鉛直變位	電子式水準儀	橋腳部	自動計測
	電子式標尺		自動計測
	水準儀計測		手動計測
構造物傾斜	傾斜計		自動計測
	水準儀計測		手動計測
外氣溫	溫度計		

表 5 鄰近橋樑構造物計測頻率

計測項目	計測方式	計測期間		
		事前	影響範圍	事後
構造物傾斜	自動計測	1 回/日	10 分/每	1 回/日
構造物沉陷				
構造物傾斜	手動計測	1 回/週	1 回/日	1 回/週
構造物沉陷				

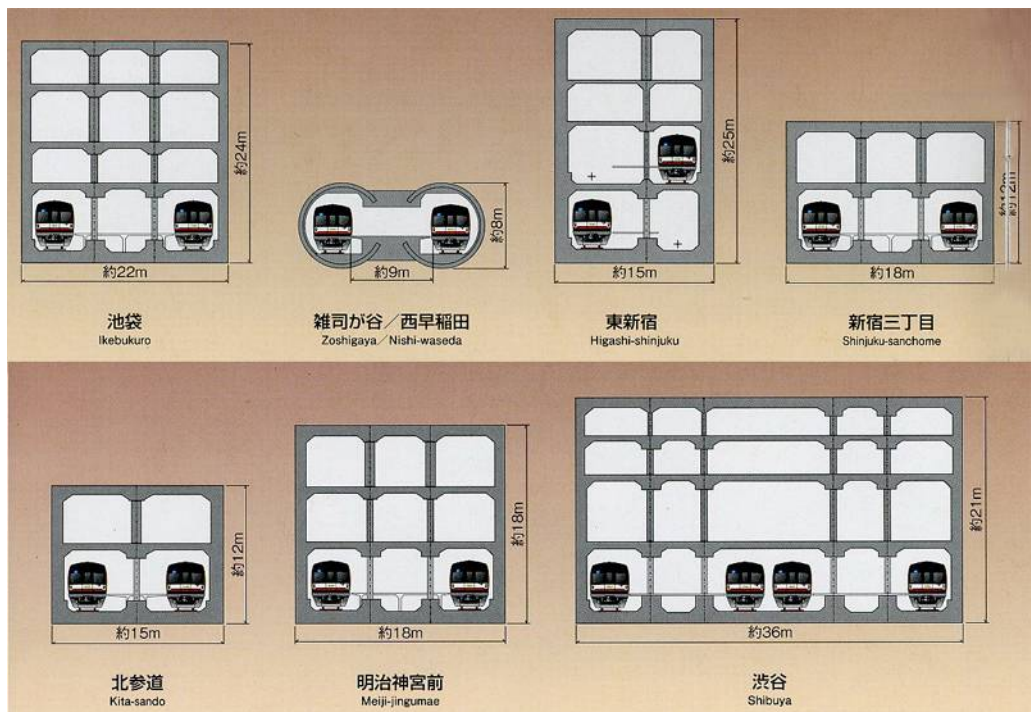


圖 5 副都心線各車站橫斷面圖

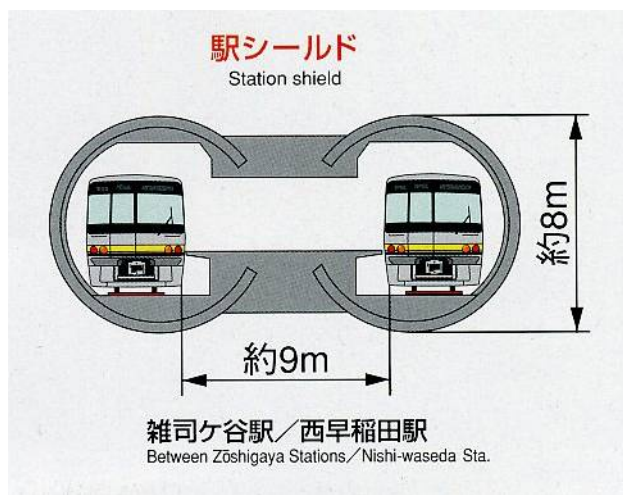


圖 6 雜司谷站及西早稻田站橫斷面圖

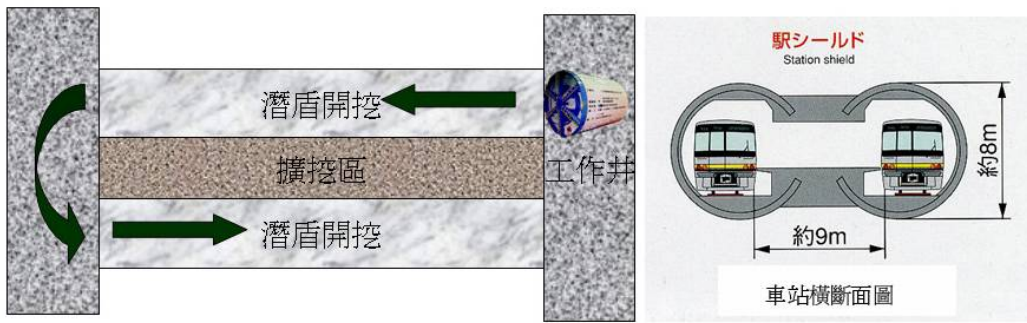


圖 7 早稻田車站施工示意圖

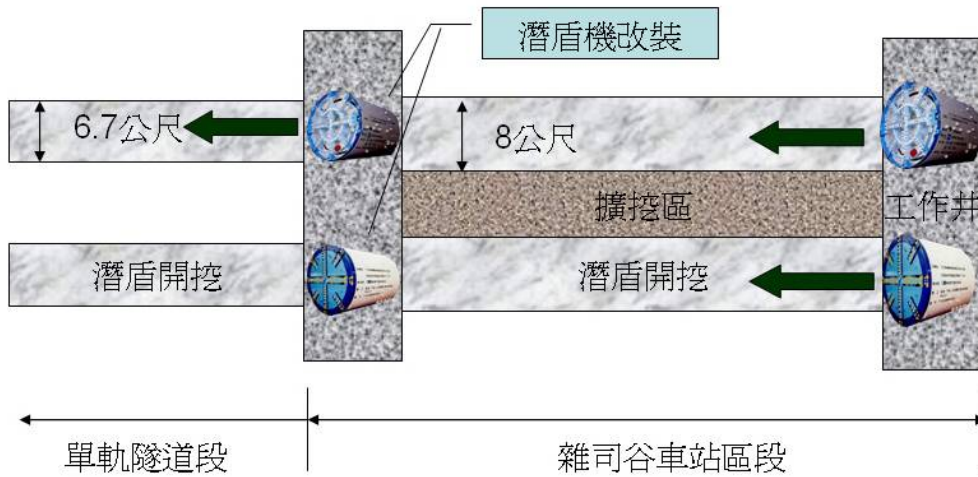


圖 8 雜司谷車站施工示意圖



圖 9 副都心線潛盾斷面圖

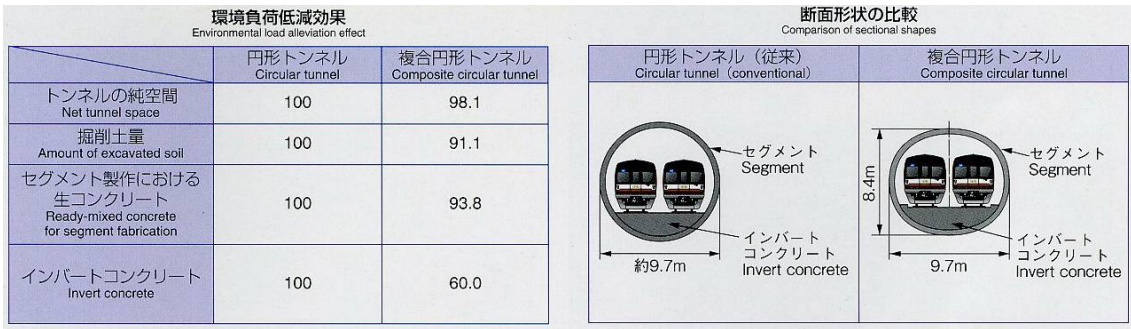


圖 10 傳統圓形斷面與複合圓形斷面比較

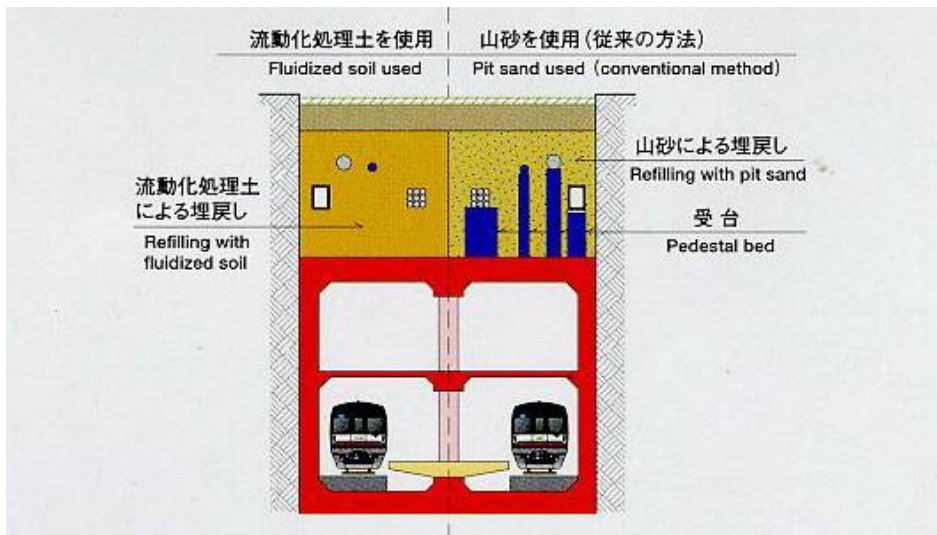


圖 11 流動化處理土使用示意圖

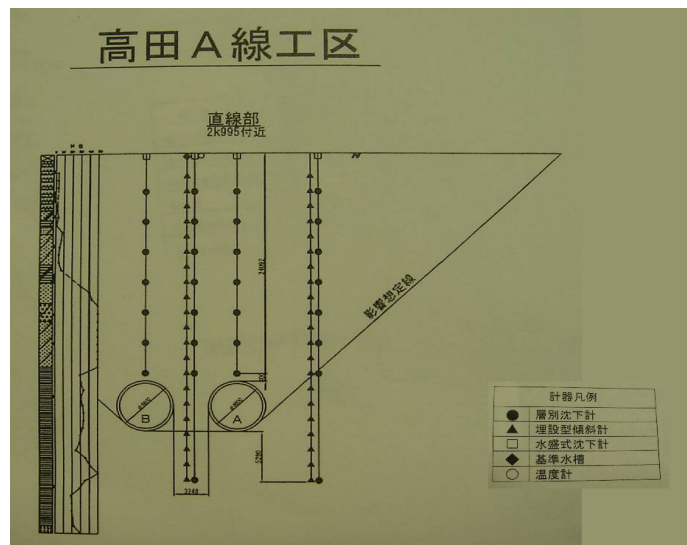


圖 12 潛盾開挖地盤變位計測斷面圖

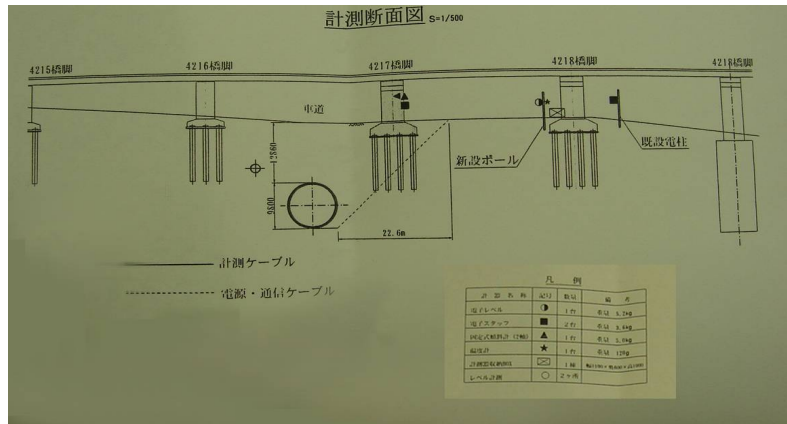


圖 13 鄰近橋樑計測斷面圖

3、都營地鐵參訪

東京都交通局經營的地下鐵有 4 條線，分別為淺草線、三田線、新宿線及大江戶線等，此次參訪都營地鐵以介紹大江戶線為重點，大江戶線全長 40.7 公里，全線為地下化規劃，沿線設置有 38 個地下車站，其於 2000 年全線開通，大江戶線是採用線性馬達驅動的地鐵，圖 14 為線性馬達示意圖，透過線性馬達技術有效將車輛小型化，因此，線性地下鐵具有車輛小型化、車站間隧道斷面積減小，路線線形曲率較小及縱坡大等特性，同時具有車行噪音低的優點。大江戶線的隧道斷面積只有 22 平方公尺，約為一般地鐵線隧道斷面積 42 平方公尺一半，因此具縮短工期、削減建設經費優點，如圖 15 所示；另外大江戶線最小曲率半徑為 100 公尺，較一般地鐵線最小曲率半徑 160 公尺小，而其最大坡度為千分之 5，亦較一般地鐵千分之 3.5 大，所以在路線線形、縱坡規劃上可選擇較經濟的線形，進一步減少建設費及土地費，如圖 16 所示。

大江戶線路線規劃主要在既有的交通運輸幹道下，同時沿線與 60 多條鐵路及河流交叉，其車站站體主要以明挖覆蓋工法施工，其中有 3 座車站是採用潛盾工法施工，車站間隧道則採用潛盾工法施工，圖 17 為六本木車站採用 4 心圓潛盾機施工盾構車站案例。

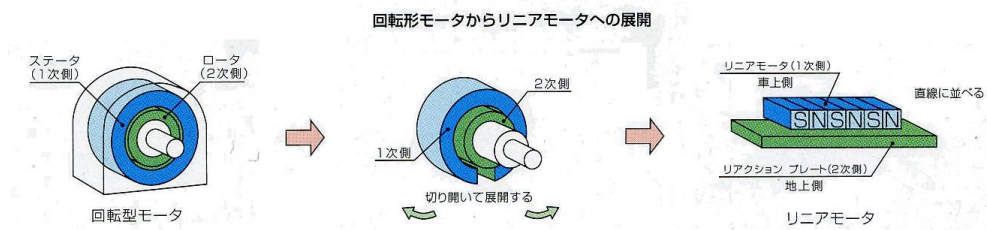


圖 14 線性馬達示意圖

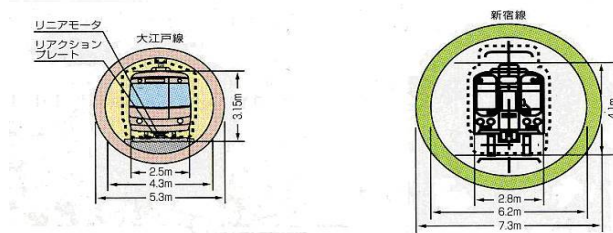


圖 15 大江戸線隧道斷面與一般地下鐵隧道斷面比較

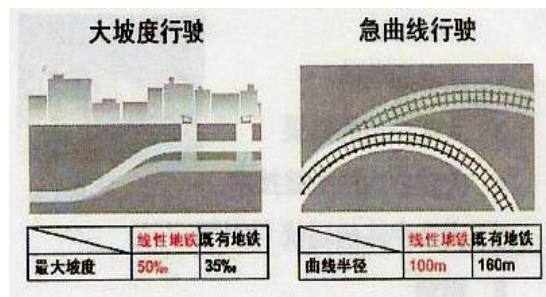


圖 16 大江戸線線形曲率及縱坡與一般地下鐵比較



圖 17 4 心圓潛盾工法車站案例

(二)大阪地下鐵

1、大阪地下鐵概要

大阪捷運系統有大阪地下鐵 8 條路線及 1 條新電車線，由大阪市交通局經營，其營運概況如下表 6。大阪地下鐵採用與東京地下鐵一樣的車站編號系統，因此，在大阪市乘坐地下鐵相當便利，另外大阪市捷運系統尚有一條南港港城新電車線，全長為 7.9 公里，為高架式中運量捷運系統。大阪捷運系統在都會中心部分為格子狀，周邊部分則為放射狀，同時人員運輸以一次換乘即可到達目的地為營運目標，圖 18 為東京地下鐵的路線圖。

表 6 大阪捷運系統經營概況一覽表

	大阪地下鐵	大阪新電車
最早營運時間	1933 年	1997 年
營運路線數	8	1
營運路線長度	129.9	7.9
車站數	123	10
車輛數	1280	80
每日平均旅次	229 萬人次	7.5 萬

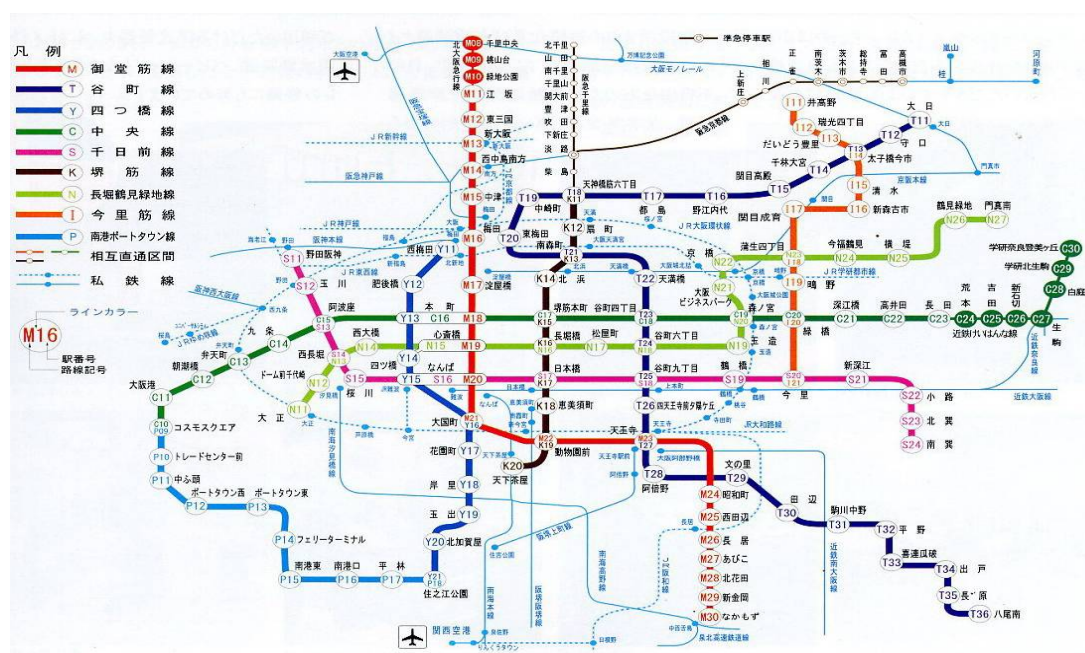


圖 18 大阪地下鐵路線圖

2、大阪市交通局參訪

大阪地下鐵建造時所採用的施工技術，車站以明挖覆蓋為主，車站間隧道則以潛盾工法開挖，8號線(即今里筋線)於2006年開通為大阪地下鐵最新完成的地鐵線，為此次參訪大阪市交通局時的考察重點。

8號線運行路線主要為連接今里、關目成育、太子橋今市、井高野等，形成大阪市東部地區的主要交通運輸幹道橫交路網，其路線平面圖及縱斷面圖如圖19所示，今里至井高野區間全長工事為11.9公里，設有11個車站，沿線與9條主要交通運輸幹道橫交，全線採地下工事施工，車站部分採明挖覆蓋工法施工，車站間隧道則採潛盾工法施工。

8號線是採行駛線性馬達車輛規劃而成，日本大阪自1979年開始進行地下鐵小型化的研究，其間經過實用化檢討及試驗線進行各種行走試驗後，1990年開始於7號線正式營運，8號線則是大阪市第2條採用線性馬達車輛的地下鐵，8號線車站間單軌隧道斷面僅約一般地下鐵單軌隧道斷面的60%，如圖20，另外8號線最小半徑達83公尺，縱坡方面可達千分之5，線性地下鐵與傳統地下鐵車輛諸元比較如表7。

8號線沿線地質多為沉積層，沿線地質下方為較為密實的沉積黏性土及砂質土或砂礫土互層，上方則為軟弱沉積黏性土層，因此無論是潛盾開挖或明挖覆蓋開挖時，對於開挖本身管理及開挖時對地盤及鄰近結構物的影響就需要透過的計測方式進行管理，作為即時回饋施工管理及採取緊急措施之參考，8號線施工團隊採取所謂情報化施工管理方式，所謂情報化施工管理分別利用施工前的施工計畫進行管理值預測，同時利用施工時的計測結果進行回饋，再對施工計畫管理值作修正，如圖21所示。

潛盾開挖時，取得切剖面最適土壓管理值及盾尾環片組立後的最適背填灌漿壓力管理值為主要課題，施工團隊採用情報化計測計畫流程如圖22所示，為取得

開挖初期切削面土壓管理值及環片背填灌漿壓力管理值下的周遭地盤沉陷值，以作為後續兩者壓力管理值回饋與調整，施工團隊於潛盾發進井前方 30 公尺及 60 公尺處各設一計測斷面，每一計測斷面計測儀器設置如圖 23，於潛盾上方 1 公尺及 2 公尺處各設一層別沉陷計及地表處設一水盛式沉陷計；另於兩隧道中心地方設置層別沉陷計，一於與潛盾機上方 1 公尺相當處，另一於潛盾機下方 2 倍直徑相當處，地表處則設一水盛式沉陷計。實際開挖計測結果如圖 24，顯示經計測斷面 1 監測結果進行切削面壓力管理值及背填灌漿壓力管理值修正後，計測斷面 2 監測到的潛盾機直上 1 公尺處的地盤變位總量減小，而地表面沉陷量小於 1 公分，掘進管理值修正如表 8。

潛盾開挖對鄰近結構物影響監測部分，8 號線沿線與重要構造物橫交共有 19 處，各鄰近構造物容許變位值及管理值係依構造物業主要求或協商確定，其中東海道新幹線與 8 號線最近水平距離為 16.5 公尺，於潛盾隧道上方設置有層別沉陷計進行地盤變位監測，另外於東海道新幹道設置水平及垂直變位計等監測儀器，相關監測配置如圖 25，最後鄰近 19 處重要構造物實際開挖監測結果顯示如表 9，構造物垂直及傾斜變位都在 1 次管理值內，開挖對構造物未造成明顯影響。

8 號線 11 個車站開挖均採用明挖覆蓋工法施工，由於 8 號線沿線地質多為軟弱沖積土壤，且開挖底部有高壓水層，因此連續擋土牆採用剛性高、遮水效果佳的 SMW 工法施工，施作深度最深達 43 公尺左右，SMW 工法採用經緯儀控制施工精準度，以達垂直 1/200 的要求。

明挖覆蓋開挖時主要監測內容為擋土壁變形、地盤變位及地下水位觀測等，開挖階段的地盤變位監測主要設置有 2 個計測斷面，每斷面兩側分別設有 10 個沉陷板，沉陷板間隔為 3 公尺，另外尚設有 2 處層別沉陷計及傾斜計進行地盤內變位的觀測。擋土壁變形監測則於橫撐上裝設應力計，監測支撐軸向應力，在擋土壁變形方面則於裝設傾斜計加以觀測，另外裝設地下水計觀測地下水位變化，圖 26 為明挖覆蓋的計測位置平面圖案例，其最終監測結果如圖 27 至圖 30 所示。

8 號線 11 個車站中有 6 個車站與其他地鐵線或私鐵、JR 鐵道相交，其中太子橋今市站係於地下鐵 2 號線-谷町線既有車站下方穿越，其施工概要如圖 31 所示，圖上左側部分為平面圖，右側為縱斷面圖，本站施工採用支承樁支撐上方既有車站載重後，利用 4 個導坑進行先期開挖後，再進行後續站體開挖及支撐，開挖期間主要進行既有結構物沉陷觀測。

表 7 線性馬達車輛地鐵與傳統地鐵車輛諸元比較表

機 種		中量規模地下鐵	已營運地下鐵
諸 元		70 系列	10 系、20 系
車輛高度		3115	3745
車輛最大寬度		2490	2880
車輛長度		15800	18900
天井高度	一般部	2115	2265
	冷房機下	2000	2180
床面高度		850	1190
標準定員	先頭車	90	130
	中間車	100	140

表 8 潛盾開挖掘進管理值變更比較表

情報化計測	斷面 1	斷面 2
切削面水壓	140KPa (靜水壓+20KPa)	180KPa (靜水壓+60KPa =主動土壓相當)
背填灌漿壓力	260KPa (土壓力)	320KPa (土壓力+60KPa)
先行沉陷量	-0.2mm	0.0mm
切削面前沉陷量	-1.8mm	0.9mm
通過時沉陷量	-6.3mm	-3.4mm
盾尾沉陷量	-0.8mm	-0.4mm
後續沉陷量	-1.7mm	-1.6mm
累積沉陷量	10.8mm	-6.3mm

表9 8號線鄰近重要構造物監測結果

シールド名	工区	対象構造物	影響		一次管理値*1
				(沈下:+, 隆起:-)	
井高野	11	神崎川堤体	鉛直	-1~2mm	±5.0mm
		JR東海道新幹線(曲線部)	鉛直	-0.2~0mm	±1.5mm
		" (交差部)	水平*2	0~0.5mm	±1.5mm
豊里	1	阪神水道	鉛直	-0.6~0.2mm	±1.5mm
淀川	2	淀川堤体	鉛直	-0.7~0.8mm	±1.5mm
		豊里大橋	鉛直	-1.1~0.1mm	±2.0mm
滝井	3	京阪本線架道橋	鉛直	-0.9~3.1mm	±4.0mm
			傾斜	-1.6~1.5分	±3.0分
関目スルー	5	葦橋	鉛直	-0.8~0.4mm	±3.0mm
		京阪本線架道橋(国道163号)	鉛直	-0.1~0.4mm	±3.0mm
		京阪本線架道橋(国道1号)	鉛直(先行)	最大4mm	±5.0mm
			鉛直(後行)	最大1.3mm	±3.0mm
嶋野	9	地下鉄7号線	鉛直	最大1.3mm	±3.0mm
		新喜多大橋*3	鉛直(先行)	最大1.3mm	±2.0mm
		寝屋川護岸*3	鉛直(後行)	最大1.6mm	±2.0mm
城東	6	JR学研都市線架道橋*3	鉛直	0(-0.7~0.7mm)*4	2mm*5
		嶋野大橋*3	鉛直	最大2.7mm	3mm
		第二寝屋川護岸*3	鉛直	最大3.1mm	3.8mm
大今里	13	地下鉄4号線	鉛直	0	3.5mm
		西三荘水路	鉛直	最大2.2mm	8.5mm
鶴見緑地	15	地下鉄4号線	鉛直	最大1.8mm	3.4mm
		地下鉄7号線	鉛直	0(最大1.1mm)*4	1.3mm*5
			鉛直	0~2mm	5mm
			鉛直	0(-1~-4mm)*4	1mm*5

*1:構造物の耐力面から許容される変位量を設定したり他の事業者の基準を参考として決定
 *2:+ シールド外側変位, - シールド側変位
 *3:片線分の影響
 *4:()内は水盛式沈下計、レベル等による絶対値
 *5:8mまたは10m間の相対変位量

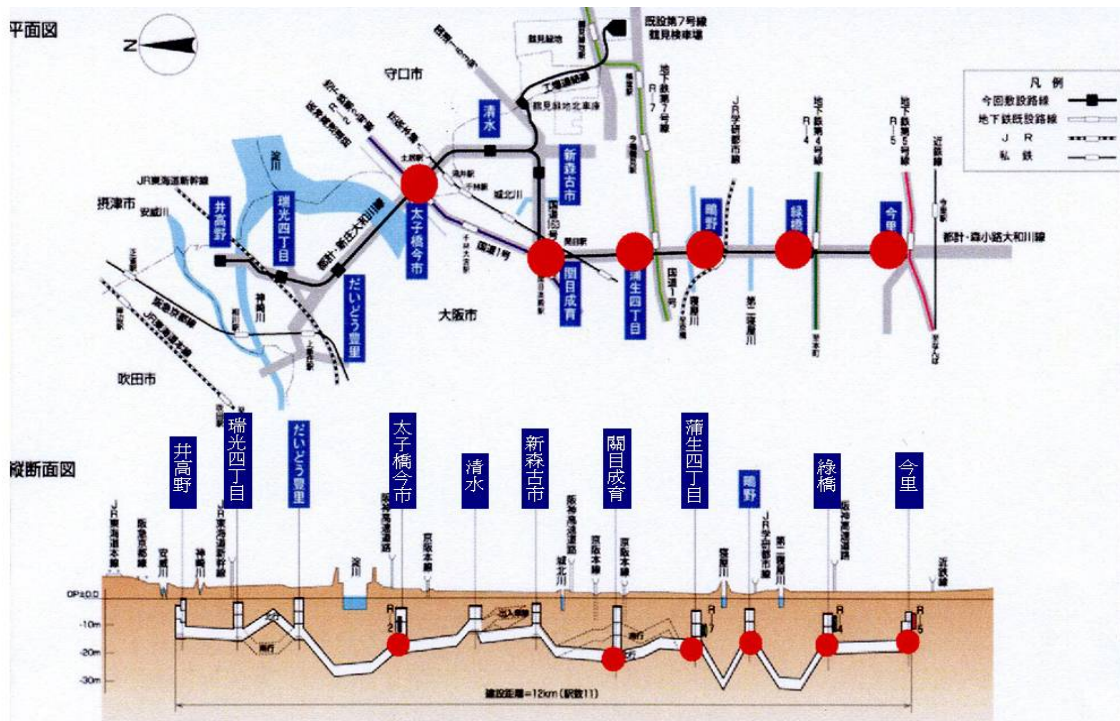


圖19 8號線平面及縱斷面示意圖

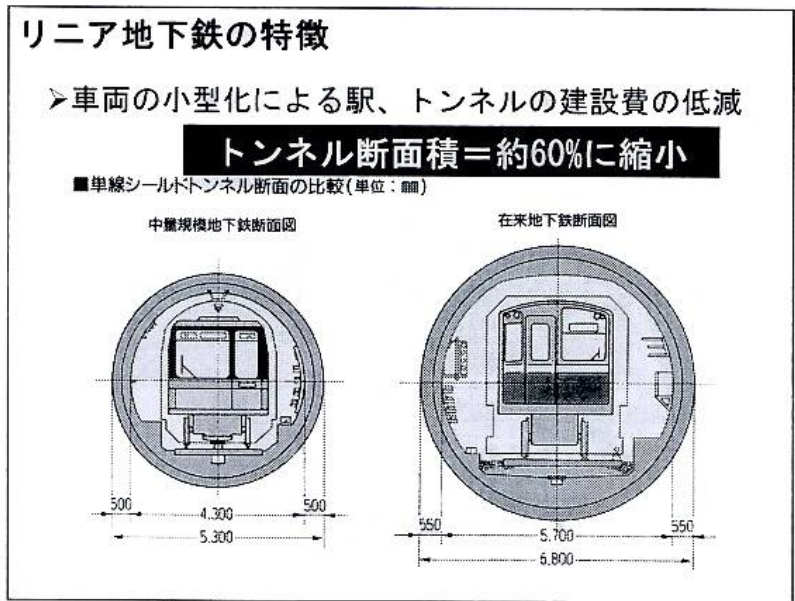


圖 20 線性地下鉄單軌隧道斷面

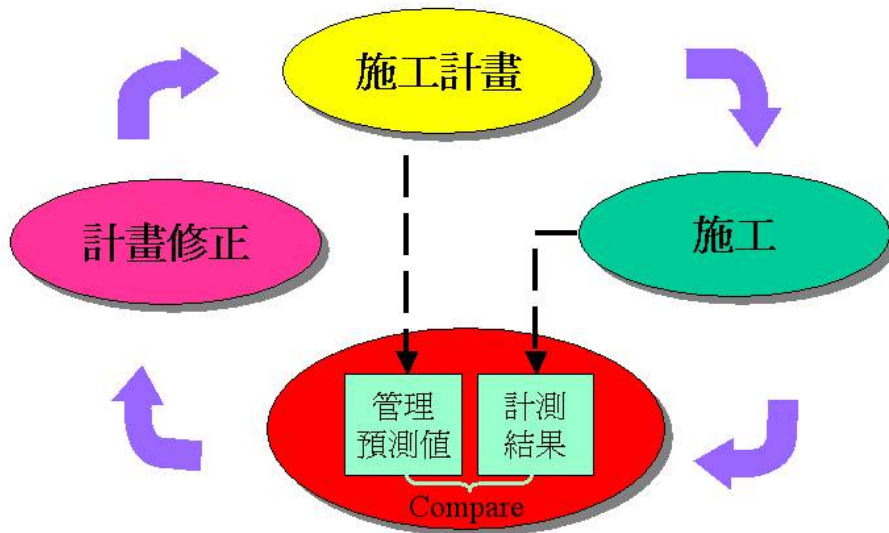


圖 21 情報化施工管理示意圖

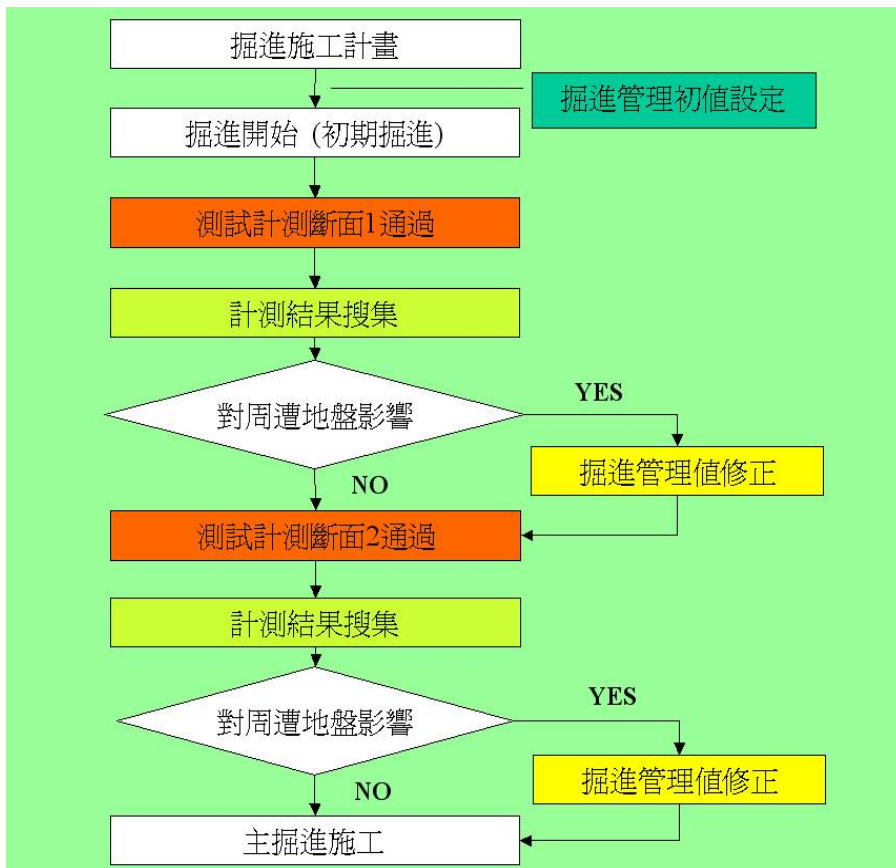


圖 22 情報化計測計畫流程圖

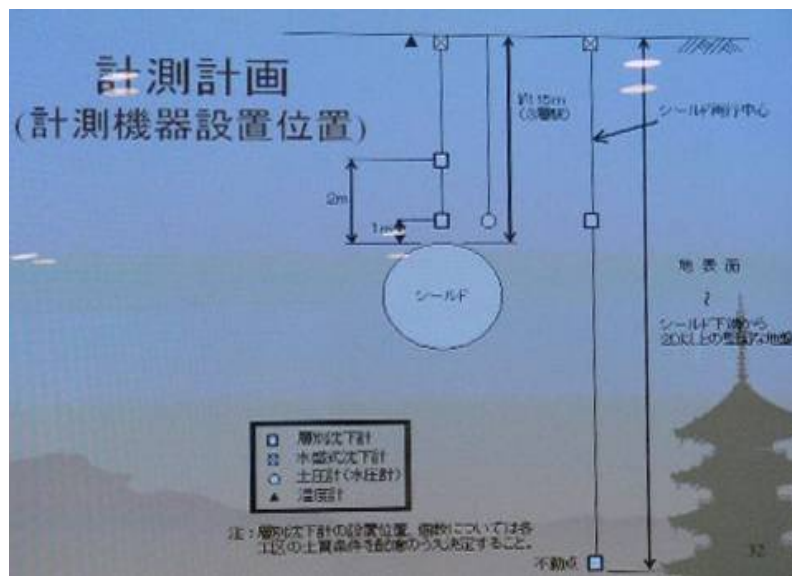


圖 23 潛盾開挖初期掘進計測設置示意圖

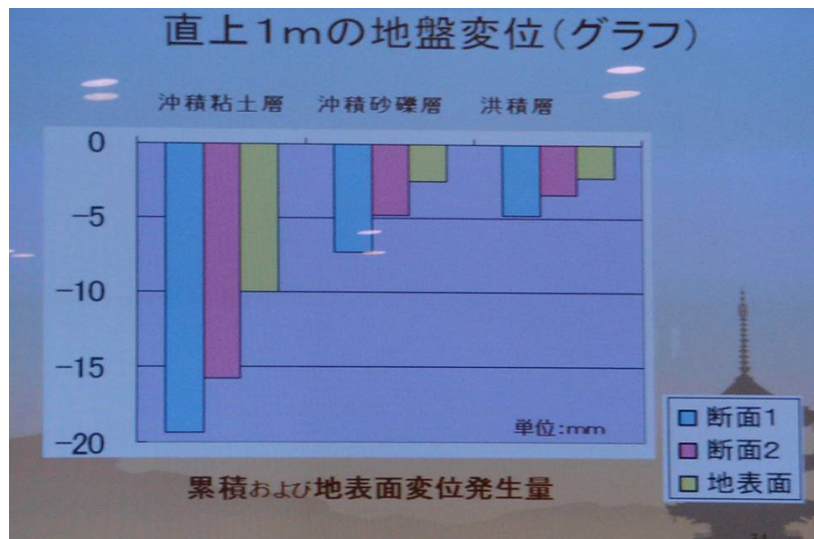


圖 24 潛盾開挖計測断面結果比較

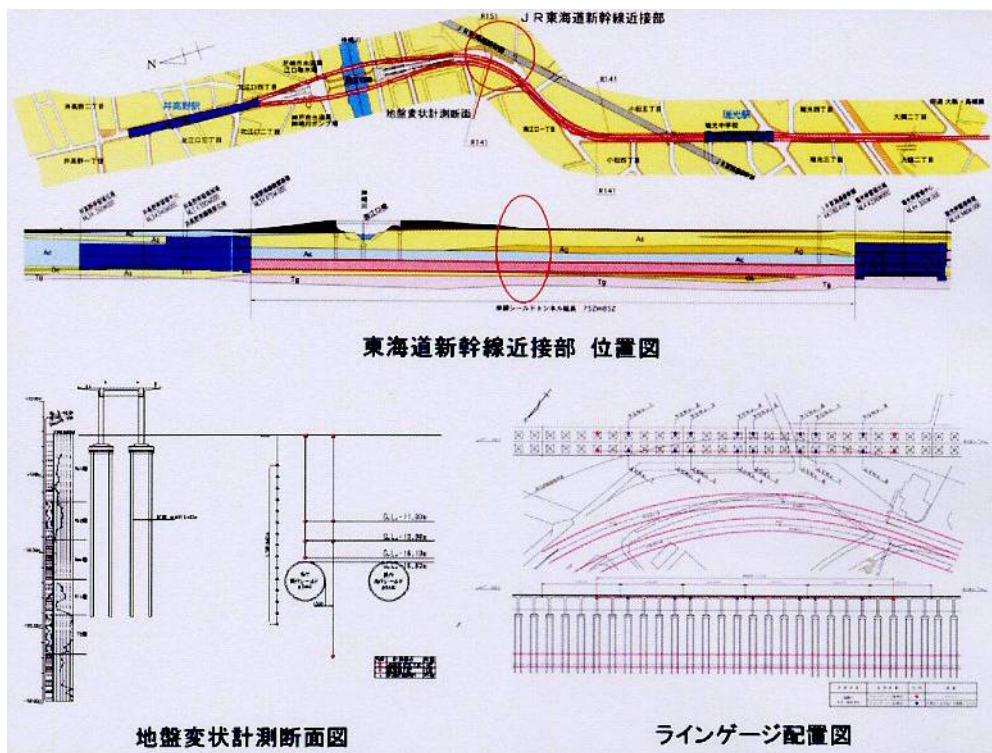


圖 25 東海道新幹道監測相關位置圖

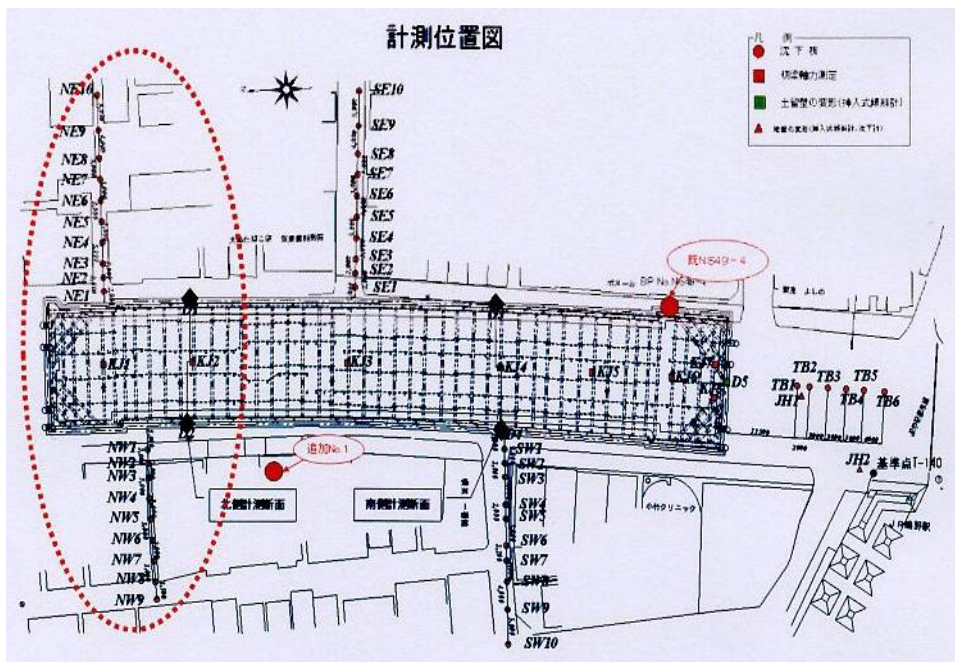


圖 26 8 號線車站明挖覆蓋計測位置圖

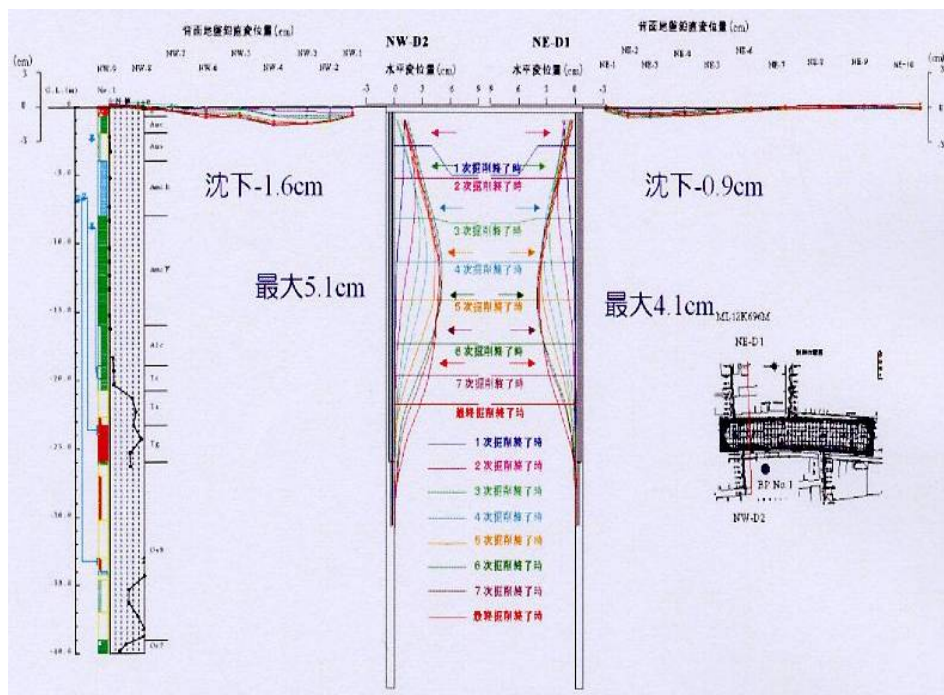


圖 27 8 號線明挖覆蓋擋土壁變形及地盤變位圖

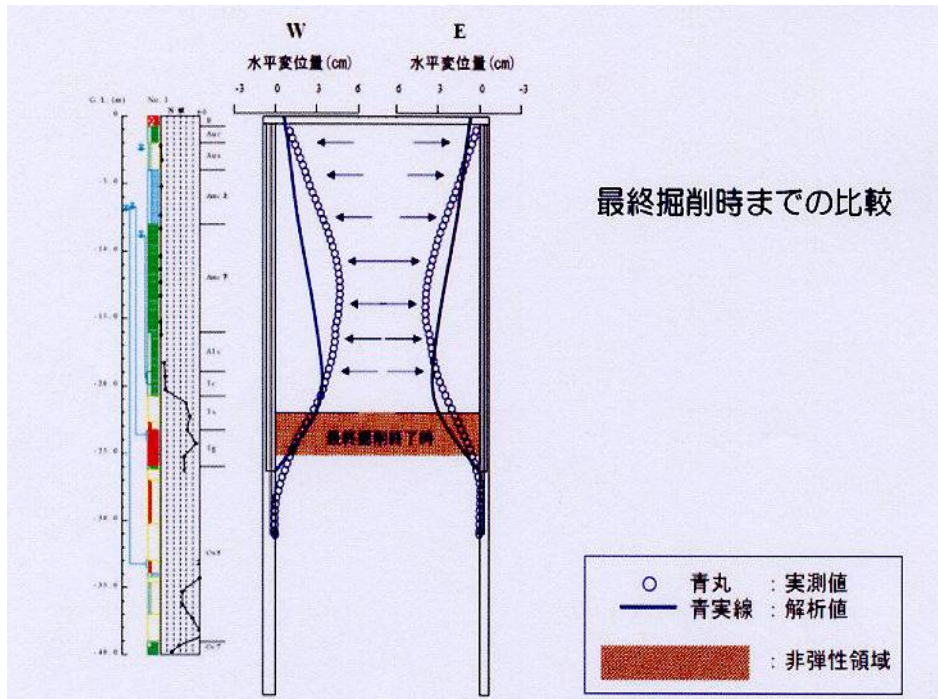


圖 28 8 號線明挖覆蓋擋土壁變形實測與預測比較圖

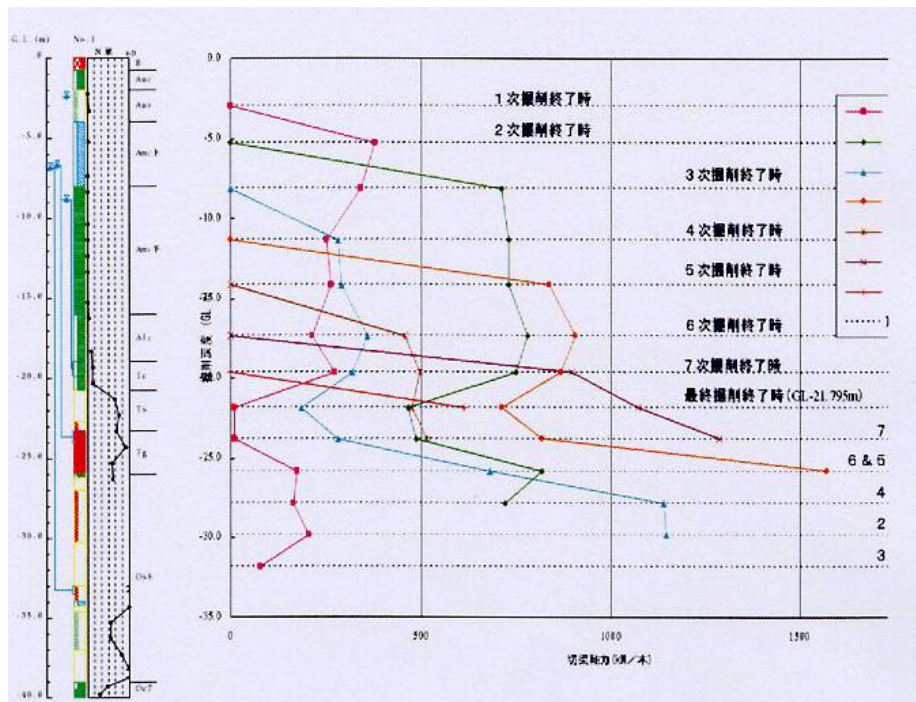


圖 29 8 號線明挖覆蓋擋土支撐應力圖

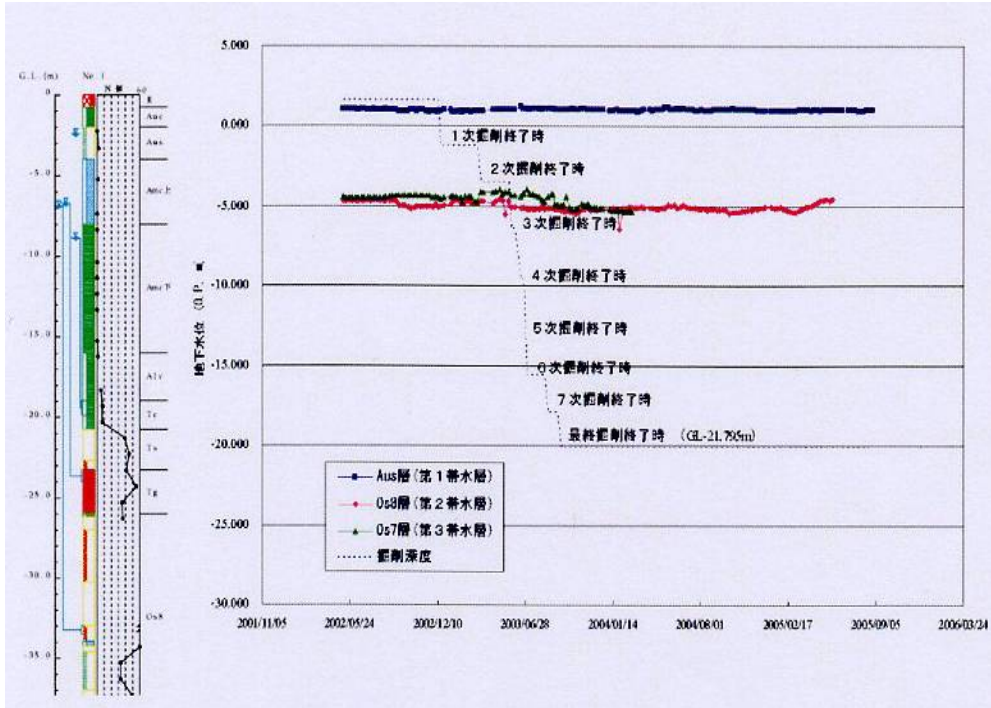


圖 30 8 號線明挖覆蓋地下水位變化圖

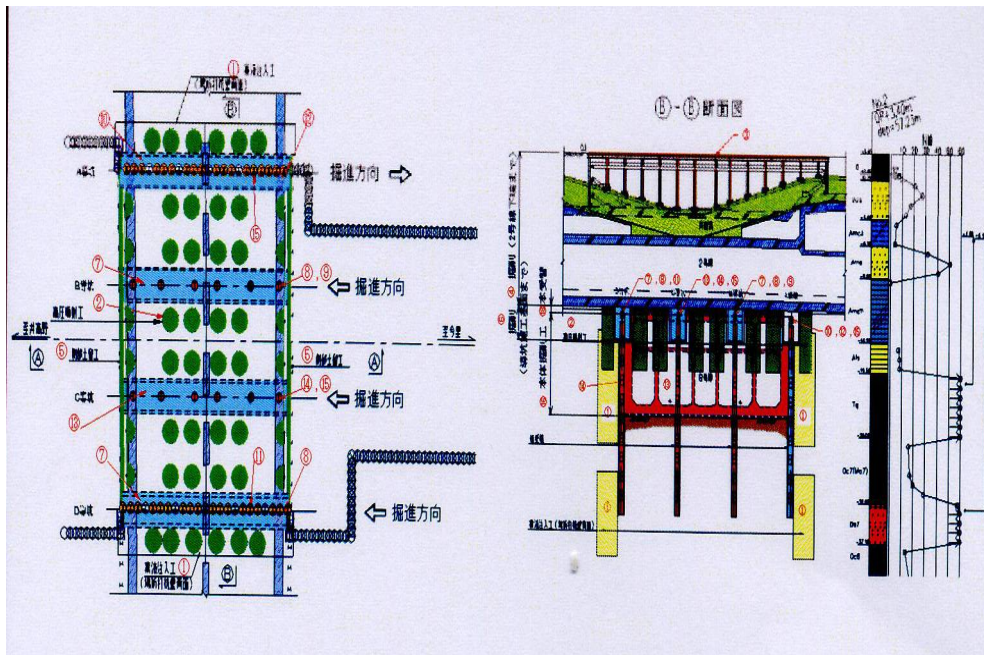


圖 31 太子橋今市車站施工工法示意圖

(三)其他

1、鐵道總合技術研究所參訪

財團法人鐵道總合技術研究所於 1986 年成立，是日本國有鐵路技術研究開發法人單位，此次參訪鐵道總合技術研究所係以鐵道噪音與震動防制技術考察計畫為主，在參訪過程時，可在技術總合技術研究所入口大廳看到利用三心圓潛盾工法進行車站開挖的介紹，圖 32~33 為三心圓複合開挖面潛盾機及車站施工示意圖。



圖 32 三心圓複合開挖面潛盾機

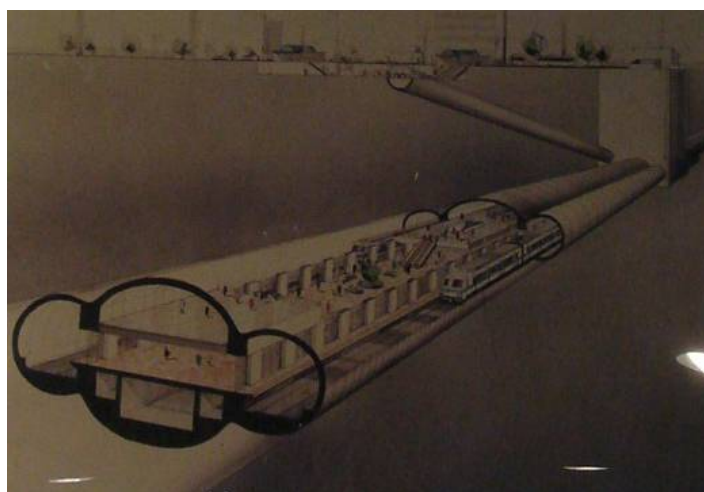


圖 33 三心圓複合開挖面潛盾工法車站

ϕ 13.58x24.38m 泥水式潛盾工法

- 1、車站部分：中央隧道內徑為 12m、兩側隧道內徑為 7m、月台寬度為 14m。
- 2、潛盾機部分：機長為 11000mm、高度為中央 13580mm 及兩側 8380mm、全寬為 24380mm、總推力：24000tonf。

2、西大阪高速鐵道株式會社參訪

阪神難波線(西大阪延伸線)為阪神西大阪線的延伸，自阪神西大阪線西九條站開始，至近鐵線近鐵難波站止，全長 3.4 公里，中間設置九條站、巨蛋前站、櫻川站等 3 個地下車站，本計畫主要目的為銜接阪神西大阪線及近鐵線，使得兩者鐵道可以連通營運，因為是銜接既有鐵道車站，所以，本計畫於西九條站開始為高架路段，穿越安治川後開始進入地下路段，然後一直近鐵難波站皆為地下路段，全線高架路段約為 0.7 公里，出土段為 0.2 公里，隧道路段為 2.5 公里。車站主體係採開挖覆蓋工法施工，車站間隧道則以潛盾工法施工，出土段因考慮縮小其長度，所以採千分 4 的縱坡設計，本計畫平面及縱斷面圖如圖 34，工程於 2003 年開工，預計於 2009 年 3 月營運。

在車站體的明挖覆蓋工法及車站間潛盾工法與國內施工相似，不多說明，本計畫中有部分隧道路段因為交維困難或地下既有埋設物困難等因素，採用比較特殊的工法，值得於本文中說明如下。

口琴工法是利用小矩形斷面的潛盾機或其他推管機等小型矩型機械以重覆開挖的方式，構築成大斷面隧道的施工方式，此工法特點為：1、適用淺覆土下的施工。2、密閉式開挖可有效穩定開挖面安全，且可有效抑制路面沉陷。3、可進行曲線施工。4、可進行達 100 公尺以上的長距離施工。在本計畫中櫻川站西側有約 33 公尺的引上線部分，為近鐵線回車用淺覆蓋隧道，此路段因在日吉橋交叉路口處有一寬 4.5 公尺地下渠道，移設困難，且與主線隧道距離近，故採用此工法施工，本工程採用高 4.0 公尺，寬 3.5 公尺的小型矩形斷面潛盾機進行開挖，其將整個開挖斷面分成 6 小區塊如圖 35 所示，最後完成後斷面為淨高度 5.7 公尺，淨寬度 8.2 公尺，過程如圖 36 所示，本工法在東京都營大江戶線亦曾使用過，並曾獲得日本國土技術開放獎-優良獎的一種特殊施工技術。

本計畫在汐見橋交叉路口採用矩形潛盾工法進行連絡地下道施工，本交叉路

口由於交通量大、地下埋設物多且複雜，所以交維措施困難，故施工單位採用小型矩形斷面潛盾機進行地下通道開挖，潛盾機高度為 4.76 公尺，寬度為 4.42 公尺。

本計畫在出土段路段，施工工法並無特殊之處，但是因出土段兩側緊鄰住宅區，於計畫規劃設計階段，即遭遇居民嚴動抗議，經施工單位與居民溝通協調後，最後採用半遮蔽式的隔音設施，於出土段沿線設置，據了解此半遮蔽式隔音措施造價不菲，其標準斷面圖如圖 37 所示。

西大阪延伸線於九條站進行大規模開挖，主要的橫交重要鄰近結構物為阪神高速大阪港線及大阪地下鐵 4 號線，因此，於站體開挖過程中，進行開挖安全監測，採用之計測配置及頻率如表 10 及表 11，在計測基準值管理如圖 38 所示，其計測管理值分為 1 次管理值、2 次管理值及限界管理值，管理值則由施工單位與相關機關或鄰近構造物業主協調確認，同時依測定值與各管理值相較後，大致分為四個範圍。

- 當測定值小於 1 次管理值：持續施工及監測。
- 當測定值大於 1 次管理值，但小於 2 次管理值：為「要注意範圍」，此時，需要進行計測結果分析檢討，確認原因並進行施工檢討，同時，加強計測頻率。
- 當測定值大於 2 次管理值，但小於管理限界值：為「嚴重注意範圍」，此時，需要進行計測結果分析檢討，確認原因並進行施工檢討，並對下階段施工影響及可能結果進一步分析與預測，同時，檢討必要的因應對策並進行對策工施工準備，計測頻率方面則需要進一步增加。
- 當測定值大於管理限界值：為「危險範圍」，此時，需要中斷施工，進行因應對策協議及施作後，再進一步對因應對策成效進行確認，如果成效不彰，則需要再檢討與施作，直到安全無虞為止。

表 10 計測配置一覽表

計測項目	計測目的	構造部位	計測器	計測數量 (測點數)
橋脚鉛直變位	鄰近結構物 安全	橋脚柱部	3次元光波測 距儀	4點 (基準點2)
橋脚傾斜			全方位傾斜 計	
擋土壁傾斜	擋土壁變形 量及安全	擋土壁	多段式傾斜 計	8處(@2m)
橫梁軸力		橫梁	橫梁應力計	
橫梁溫度			溫度計	
水壓	被壓水頭及 抽水管理	擋土壁外側	水壓計	2處

表 11 計測頻率

計測方式	計測期間		
	事前	影響範圍	事後
自動計測	1回/日	10分/每	1回/日
手動計測	1回/週	1回/週・每階開挖及 橫梁拆除完成時	1回/週

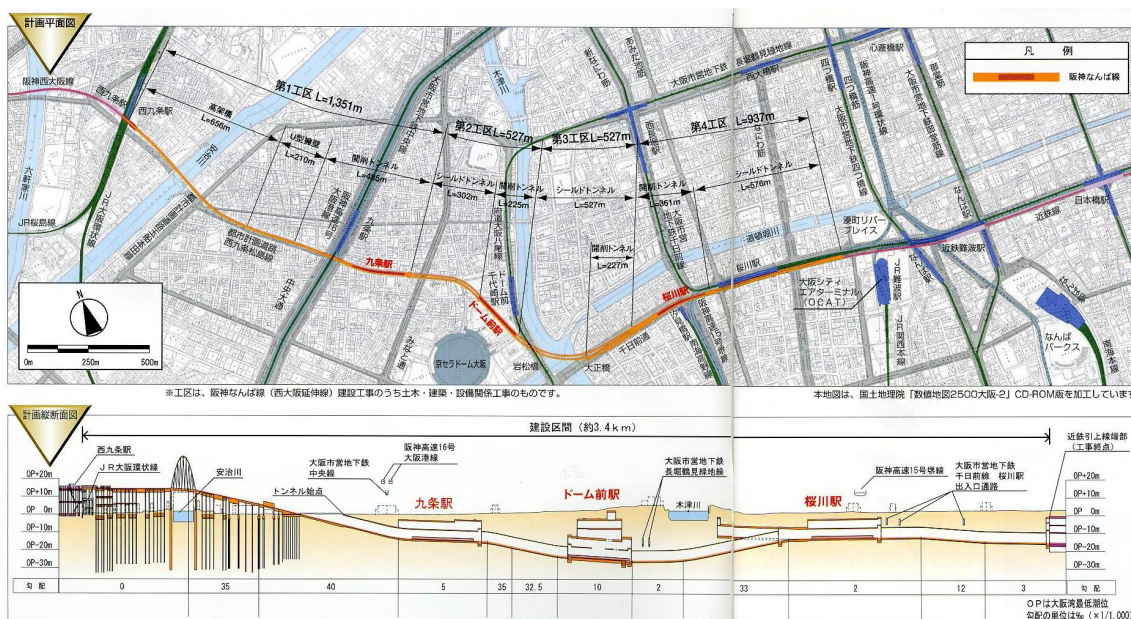


圖 34 西大阪延伸線平面及縱斷面圖

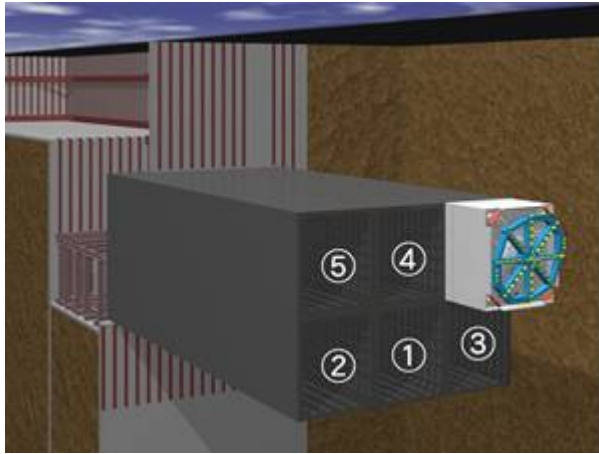


圖 35 口琴工法施工示意圖

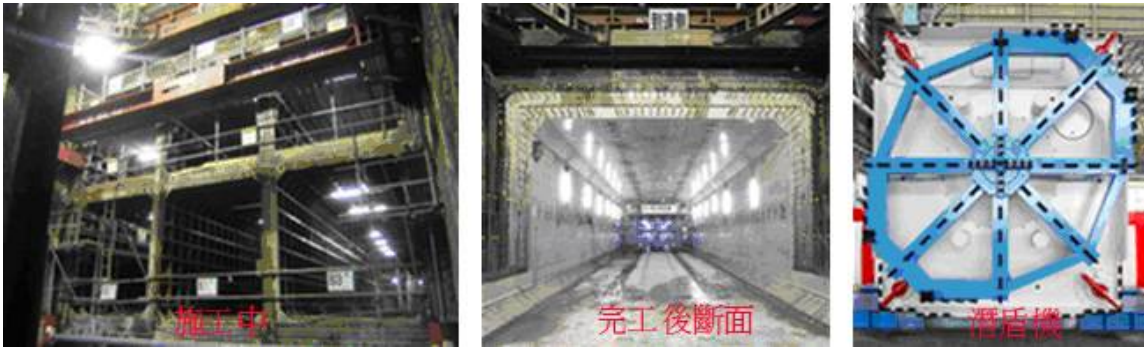


圖 36 口琴工法施工過程及潛盾機

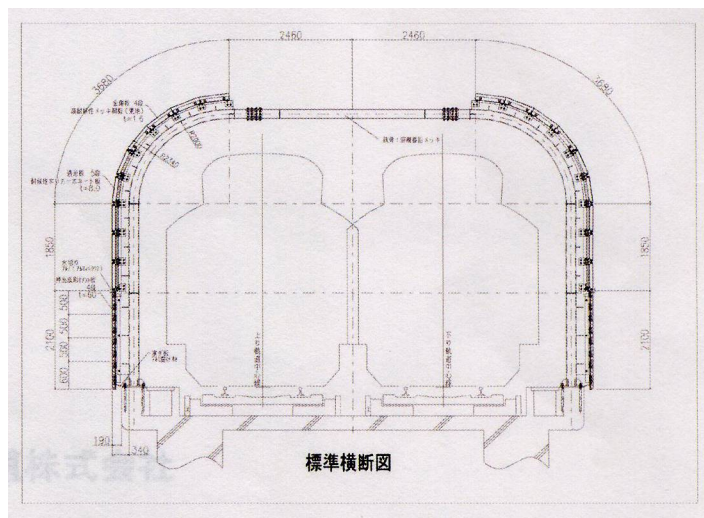


圖 37 半遮蔽式隔音牆標準斷面圖

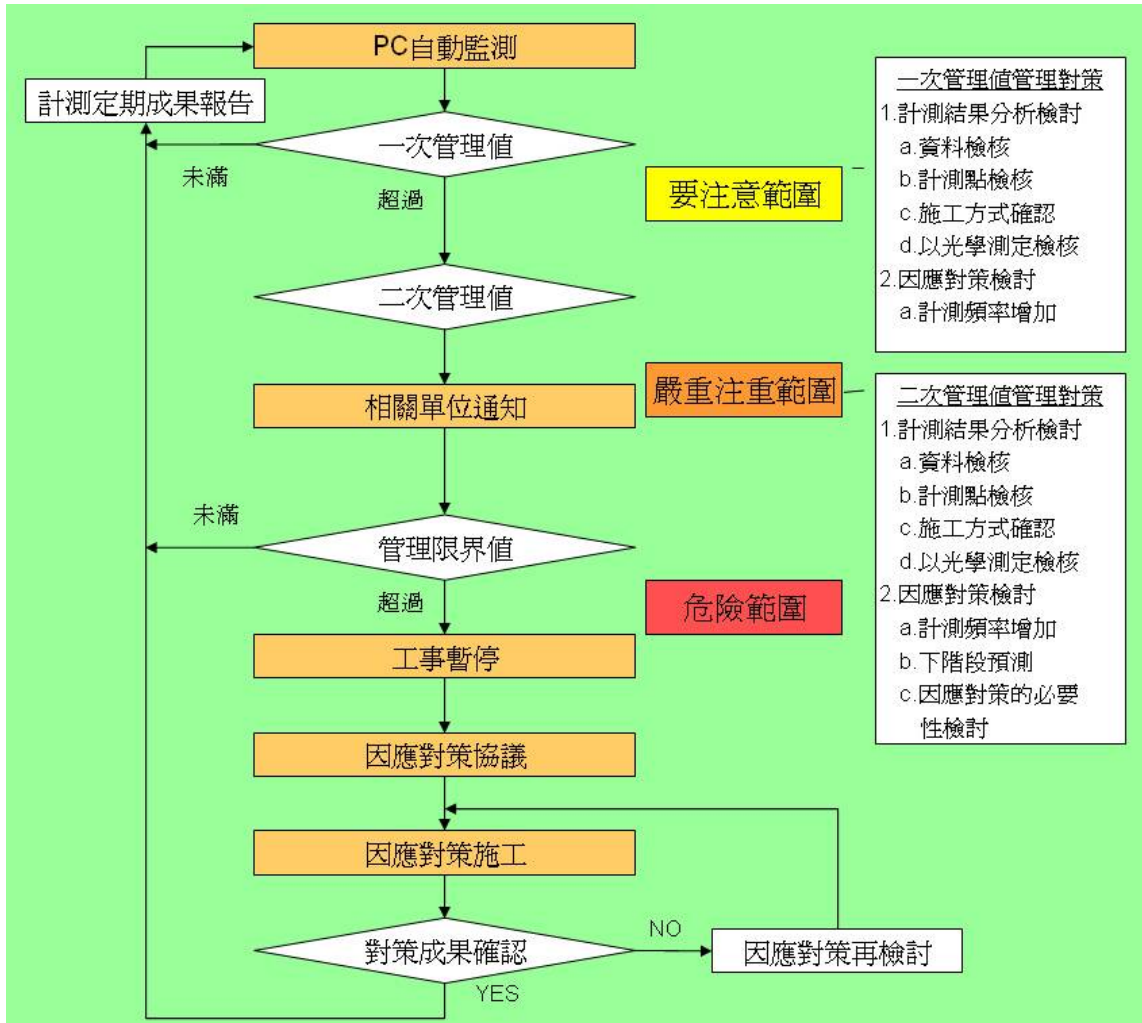


圖 38 西大阪延伸線計測計畫管理流程圖

3、大阪地下鐵 1 號線梅田車站改造計畫

大阪地下鐵 1 號線即為御堂筋線地下鐵，為大阪市最早開通的地下鐵，其中梅田車站從 1935 年即已完工使用，至 1960 年左右，使用梅田車站的乘客即已相當多，致梅田車站內部達到混亂程度，故大阪市即著手進行 1 號線擴充改善規劃，其中以梅田車站改造工程規模最大，其計畫於既有軌道層南側擴挖增設南行線軌道及月台，在既有穿堂層南側亦同時擴挖增設部分，圖 39 及圖 40 分別為梅田車站改造月台層及穿堂層改造示意圖，圖 41 則為改造平面層及主要橫斷面示意圖，施工過程進行地盤改良及祛水，再逐階進行擴挖。

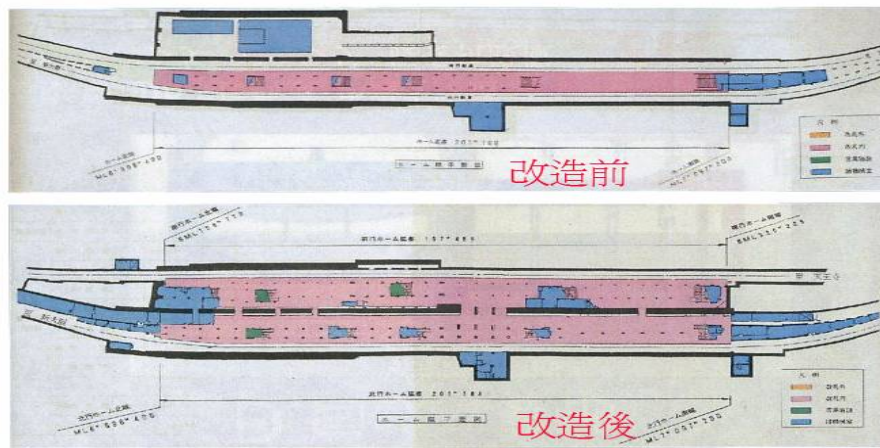


圖 39 1 號線梅田車站月台層改造示意圖

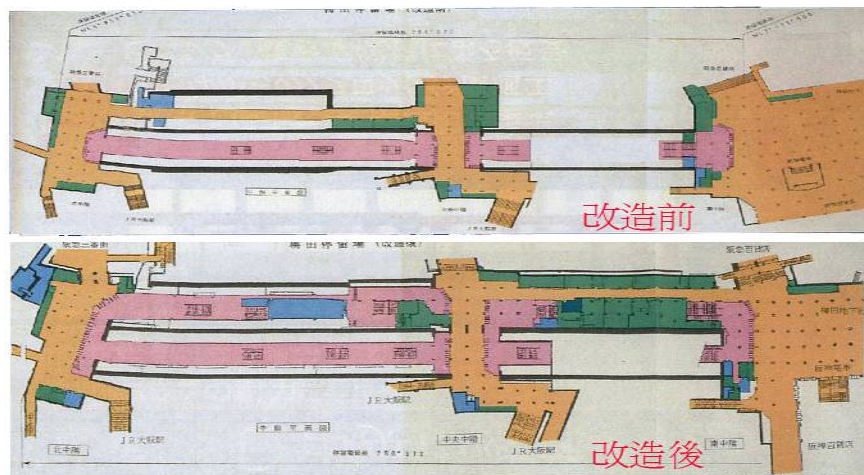


圖 40 1 號線梅田車站穿堂層改造示意圖

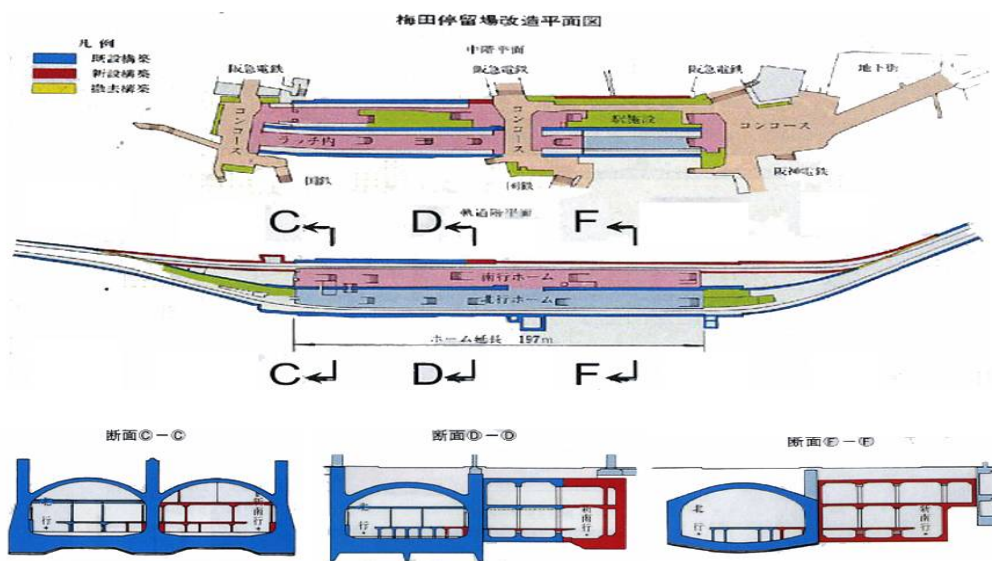


圖 41 1 號線梅田車站改造平面及橫斷面示意圖

四、心得與建議

此次承蒙日本相關單位熱心協助與安排，將目前東京及大阪地下鐵及相關鐵道建設最新工程的施工過程與施工技術進行詳盡簡報與說明，雖然此次考察計畫行程緊湊，但成果豐碩，以下僅就考察過程中所見所聞的心得與淺見，述說如後，其中有許多值得國內借鏡之處，希望能提供未來國內捷運工程規劃、設計及施工時之參考。

- 一、 此次考察地下鐵施工技術過程中，深深感受日本在工程技術及規劃方面的專業與用心，重要的是此種專業與用心源自於日本特有的文化，日本軌道技術在基礎與研究上有鐵道總合技術研究所進行鐵道技術統計、分析、評價、研究與試驗，使得日本鐵道技術可以在穩定中持續成長。施工技術實務上政府、鐵路公司、鐵道工團及營造廠商之間互相配合、協助及信任，加上承包之營造廠商基於自律、敬業及對自身工作之尊重，其展現在工作成果上是相當豐碩，無論規劃、設計、施工或管理上都能不斷地創新與進步。臺灣無論資源、地理與環境上都非常適合發展軌道工程，因此日本在軌道技術的發展是非常值得國內後續軌道工程推動時參考。
- 二、 無論東京大江戶線或大阪長堀鶴見綠地線(7號線)、今里筋線(8號線)，都是日本晚近幾年完工的地下鐵，且都是行駛線性馬達車輛，由於線性馬達技術使得車輛得以小型化，此種線性地下鐵具有車輛小、車站及隧道規模小、線形縱坡大與曲率半徑小及車輛驅動低噪音等特性，雖然線性地下鐵屬中運量的運輸系統，運量約為傳統地下鐵的70%左右，但是在東京及大阪等大型都會區裡仍可充份發揮其運輸功能，顯示在大型都會區內在路線規劃上及載運能量上，此種線性地下鐵可適當被採用，但其特性可使地下鐵建設成本降低，線形規劃上更具調整空間，同時在施工特性上具減少棄土量及混凝土使用量，無論施工上或環保方面都具正面效益，是未來國內捷運

系統規劃上可以進一步借鏡與省思的地方。

- 三、 國內捷運車站多以明挖覆蓋工法施工，在日本施工案例中，顯然在施工規劃的評估與考量上更加用心，無論是副都心線的雜司谷站/西早稻田站或大江戶線的六本木站都是採用盾構車站設計，無論是先採潛盾工法開挖後再進行站體擴挖，或是採三心圓或四心圓潛盾工法直接開挖站體，此種盾構車站的施工規劃可使路線線形及車站位置在規劃上更具空間，施工上亦可大幅減低對都會區交通衝擊，同時減少大幅開挖所可能產生對鄰近結構物影響的風險，在潛盾施工技術不斷進步的今日，盾構車站設計應是未來可以考量的一環。
- 四、 在東京副都心線明治神宮前至涉谷站間的雙軌隧道是採用複合圓形斷面設計，是一種相當創新、先進且環保的作法。採用此種複合圓形斷面設計，在隧道淨空僅減少 2%，且在不影響車輛及相關機電設施下，可以有效減少土方開挖量 9%，仰拱混凝土使用量減少 40%及環片混凝土使用量減少 6%，顯示此種複合圓形斷面設計可降低工程建設成本，同時亦具降低開挖對於環境負面影響效果，相當值得國內軌道設計時參考。
- 五、 阪神西大阪延伸線使用了小矩形潛盾機施作車站附近的地下連通道，這是國內未曾使用的潛盾開挖型式，這在交通繁忙的都會區中重要路口，且其交維計畫不易時，是一種不錯的施工方式選擇，也顯示日本在潛盾機研發上，不遺餘力。
- 六、 口琴工法利用小矩形斷面的潛盾機或其他推管機等小型矩型機械進行重覆開挖，最後構築成大斷面隧道的施工方式，相當特殊，這種工法具有適用於淺覆土下開挖、開挖安全性高、且可進行曲線及較長距離施工，是相當有創意的施工構想，未來國內工程若有類似工址條件，或可作為設計上之參考。
- 七、 大阪地下鐵 8 號線太子橋今市站係於既有地下鐵車站下方施築，有別一般

明挖覆蓋工法施工的車站，是相當特殊的施工案例，可以供國內相關施工單位參考。

- 八、 情報化施工管理是日本施工時常用的管理方式，一方面在施工計畫規劃時，進行預測值分析，再利用所謂自動及(或)手動監測計畫進行監測，並進一步將實際監測成果回饋於施工計畫上，再進一步檢討與分析並進行修正，透過這樣的一種情報化施工管理，可有效掌握開挖時的安全性，及開挖對周遭地盤及鄰近結構物的影響。
- 九、 日本潛盾施工初期時，即規劃適當的監測斷面進行開挖面土壓管理值及環片背填灌漿壓力管理值的修正，使得正式掘進時的開挖管理可以得到適當修正，進一步控制潛盾開挖時對周遭地盤變位及鄰近結構物的影響。
- 十、 在參訪東京、大阪新近的地下鐵工程及鐵道工程案例後，在施工監測方面，大致分為三部分，一為開挖本身的安全性計測，一為開挖時對周遭地盤變位的計測，最後是開挖時對鄰近結構物安全影響的計測，或許相關計測的配置與國內不盡相同，但使用的計測項目、儀器、計測方式大致與國內相似，但從最後計測成果來看，顯示日本營造廠商在良好的施工計畫與管理下，能充份掌握施工時的狀況，使得工程能順利進行並如期完工。
- 十一、 都會區的棄土處理是現今工程施工的重要課題，尤其潛盾工法所產生的流動性廢土，在東京地鐵副都心線則將潛盾施工所產生的流動性廢土再處理後，作為明挖覆蓋的回填土，是一個相當環保的施工規劃。
- 十二、 噪音及震動問題一向是捷運沿線民眾抗爭的主要訴求之一，由於日本的軌道發展相當早，早期對軌道工程的噪音與震動並沒有進一步規範，但近年來日本民眾對生活品質的要求越來越高，所以日本在軌道噪音與震動方面已訂有規範，在阪神西大阪延伸線出土段所採用的半遮蔽式隔音牆即是與民眾多次協調的結果，也顯示日本對工程沿線民眾生活的重視與尊重。

五、考察照片集錦



參訪東京地下鐵株式會社



參訪東京都交通局



簡報過程討論



線性地鐵馬達於軌道側材料說明



軌道減震材料樣品



大江戶線線性地鐵



參訪鐵道技術總合技術研究所



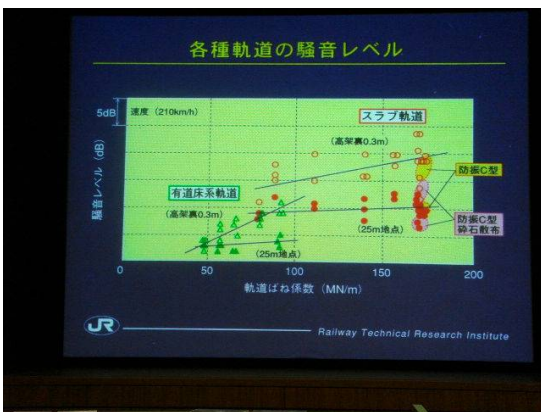
簡報過程及討論



三心圓潛盾機模型



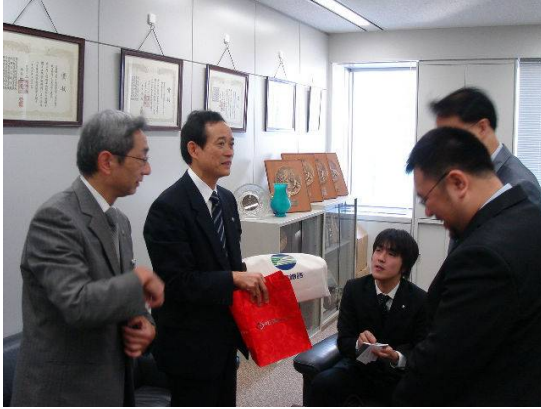
日本磁浮列車原型車展示



各種軌道噪音簡報



日本高速鐵路發展展示



參訪大阪市交通局



80 系列車輛模型-線形馬達車輛



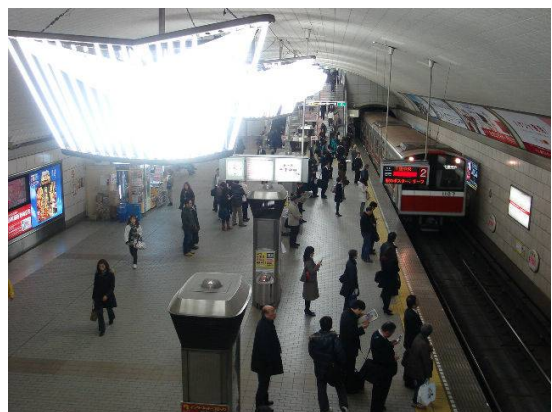
簡報過程



7 號線線性地鐵參觀



潛盾工法計測儀器設置位置



1 號線梅田站參觀



參訪西大阪高速鐵路株式會社工地



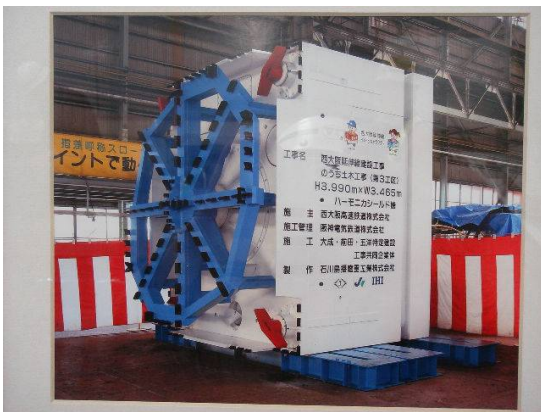
地下通道使用之矩形潛盾機



西大阪延伸線模型介紹



西大阪線使用的泥土壓式潛盾機



口琴工法使用之潛盾機



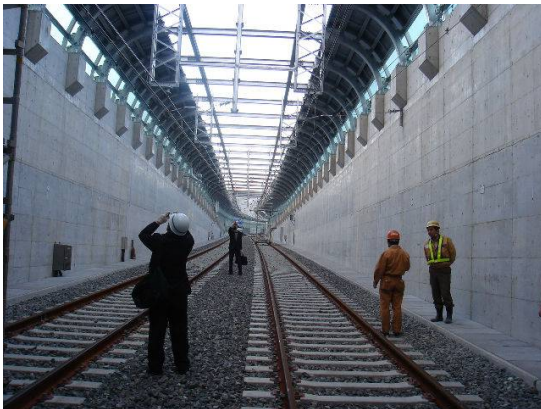
巨蛋前車站地面工地情形



大阪運動場前車站內工地情形



半封閉式隔音牆



出土段及隔音設施



橫交道路自動監測儀器現況

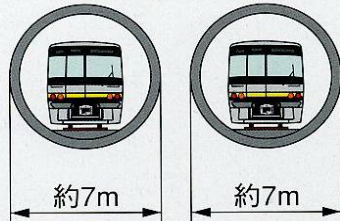
附録 東京副都心線隧道規格及潛盾機規格一覽表與潛盾機照片

副都心線(13号線)シールドトンネル概要及びシールド機仕様一覽

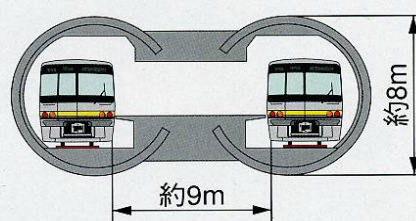
Overview of the shield tunnel for Fukutoshin Line (Line 13) and specifications of shield tunneling machine

工区名	①南池袋A線	②南池袋B線	③高田A線	④高田B線	⑤西早稲田
トンネル種別 Tunnel classification	単線・駅部(親子)	単線・駅部(親子)	単線	単線	駅部
トンネル延長(m) Tunnel extension (m)	単線部:1479m	駅部:132m	1245m	1245m	167.8m×2(Uターン)
最大土被り(m) Maximum overburden (m)	単線部:29.8m	駅部:27.7m	32.2m		24.9m
最小曲線半径(m) Minimum curve radius (m)	単線部:200m	駅部:直線	450m	250m	700m
縦断最急勾配(‰) Steepest gradient (‰)	単線部:35‰	駅部:2‰	35‰		10‰
トンネル外径(mm) Outer diameter of tunnel (mm)	(単線部)φ6600mm・(駅部)φ8000mm		φ6600mm		φ8000mm
セグメント幅・厚(mm) Segment width・thickness (mm)	単線部:1600・1400mm/320mm (6不等分割) 駅部:1600mm/350mm (7等分割)	単線部:1600・1400mm/320mm (6不等分割) 駅部:1600mm/350mm (7等分割)	1600mm/320mm (6不等分割)	1600・1400mm/320mm (6不等分割)	1600mm/350mm (7等分割)
継手 Joints	セグメント間 Between segments 単線部(コッター式)・駅部(DUET)	単線部(コッター式)・駅部(DUET)	DUET	BEST	DUET
リング間 Between rings	単線部(コッター式)・駅部(DUET)	単線部(コッター式)・駅部(DUET)	DUET	BEST	DUET
形式 Type	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)	泥水式(面版) Slurry Shield (cutter face)	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)
機長 Machine length	(親機)φ8170×9700mm (子機)φ6780×9450mm 中折	(親機)φ8150×8950mm (子機)φ6750×9295mm 中折	φ6750×8315mm 一体型	φ6750×8600mm 中折	φ8150×8580mm 一体型
シールド Shield	シールド ジャッキ Shield jacks (親)2000KN×2550st×34.3Mp×28本 (子)2000KN×2300st×34.3Mp×21本	(親)2000KN×2550st×35Mp×28本 (子)2000KN×2550st×35Mp×21本	2000KN×2300st×34.3Mp×21本	2000KN×2300st×34Mp×13本 2000KN×1900st×34Mp×8本	2500KN×2550st×35Mp×19本
総推力KN (単位当りKN/m ²) Total thrust KN (KN/m ² per unit)	(親)56000(1068KN/m ²) (子)42000(1163KN/m ²)	(親)52000(997KN/m ²) (子)42000(1174KN/m ²)	42000(1173KN/m ²)	42000(1174KN/m ²)	47500(910KN/m ²)
駆動トルク (KN-m) Drive torque (KN-m)	(親)8351(α=15.3) (子)6424(α=20.6)	(親)5642(α=10.4) (子)4232(α=13.8)	5244(α=17.0)	5040(α=16.4)	8139(α=15.0)
回転数 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)	0.82	0.74	0.66	0.87	0.53
径Xピッチ(掘土量m ³ /h) Diameter・Pitch (capacity m ³ /h)	φ850×600mm(187)		φ600×430mm(151)	φ700×560mm(150)	φ670×420mm(94)
回転数 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)	10.21(max)		23.5	13.0	11.8
回転トルク(KN-m) Turning torque (KN-m)	115.9(max)		36.5	53.0	54.6
形式 Type		3枚羽2段型			
駆動トルク(KN-m) Drive torque (KN-m)		11.33			
回転速度 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)		46.6			

単線シールド
Single-track shield



駅シールド
Station shield



- 池袋～雑司ヶ谷駅間
Between Ikebukuro - Zōshigaya Sta.
- 雑司ヶ谷～西早稲田駅間
Between Zōshigaya - Nishi-waseda Sta.
- 西早稲田～新宿七丁目駅間
Between Nishi-waseda - Shinjuku-nanachōme Sta.
- 新宿七丁目～新宿三丁目駅間
Between Shinjuku-nanachōme - Shinjuku-sanchōme Sta.

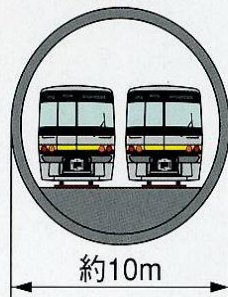
雑司ヶ谷駅/西早稲田駅
Between Zōshigaya Stations / Nishi-waseda Sta.

副都心線(13号線)シールドトンネル概要及びシールド機仕様一覧

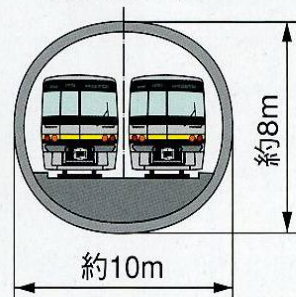
Overview of the shield tunnel for Fukutoshin Line (Line 13) and specifications of shield tunneling machine

工区名	⑥戸山	⑦新宿	⑧新宿御苑	⑨千駄ヶ谷	⑩神宮前	
トンネル種別 Tunnel classification	単線	単線	複線	複線	複線(複合円形)	
トンネル延長(m) Tunnel extension (m)	531m×2(Uターン)	491.1m×2(Uターン)	889m	912m	738.5m	
最大土被り(m) Maximum overburden (m)	A線:23.8m B線:29.3m	A線:21.6m B線:27.6m	14.4m	23.0m	20.2m	
最小曲線半径(m) Minimum curve radius (m)	1500m	350m	162m (緩和曲線)	253m	503m	
縦断最急勾配(‰) Steepest gradient (‰)	10‰	A線:30‰ B線:40‰	10‰	16‰	10‰	
トンネル外径(mm) Outer diameter of tunnel (mm)	φ6600mm		φ9800mm		H8400mm W9700mm	
セグメント幅・厚(mm) Segment width・thickness (mm)	1600mm/320mm (6不等分割)	1600・1400mm/320mm (6等分割)	1600・1200mm/400mm (8等分割)	1600・1200mm/400mm (8不等分割)	1600mm/400mm (8不等分割)	
継手 Joints	セグメント間 Between segments	BEST/スライドロック	FAKT	BEST	スライドロック	高剛性
	リング間 Between rings	BEST/TA-SRING		BEST	TA-SRING	DUET
シールド機仕様 Specifications of shield tunneling machine	形式 Type	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)	泥水式(面版) Slurry Shield (cutter face)	泥水式(面版) Slurry Shield (cutter face)	泥土圧(6+6スポーク) Earth Pressure Balance(6+6 spoke)	泥土圧(6本スポーク) Earth Pressure Balance(6-spoke)
	機長 Machine length	φ6740×8690mm	φ6760×8900mm	φ10000×9400mm	φ9980×9210mm	W=9,960,H=8,660×9950mm
	シールドジャッキ Shield jacks	2000KN×2300st×35Mp×15本 2000KN×1900st×35Mp×6本	2000KN×2450st×35Mp×20本	2500KN×2550st×34.3Mp×28本	2400KN×2250st×28Mp×29本	2500KN×2500st×34.3Mp×14本 2500KN×1900st×34.3Mp×18本
	総推力KN (単位当りKN/m ²) Total thrust KN (KN/m ² per unit)	42000 (1177KN/m ²)	40000 (1114KN/m ²)	70000(891KN/m ²)	69600(890KN/m ²)	80000(1127KN/m ²)
	駆動トルク (KN-m) Drive torque (KN-m)	5587(α=18)	5536(α=17.9)	11100(α=11.1)	15828(α=15.9)	18742(α=19.0)
回転数 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)	0.94	0.76	0.51	0.61	0.50	
スクリーンコンベヤ Screen conveyor	径×ピッチ(掘土量m ³ /h) Diameter・Pitch (capacity m ³ /h)	φ750×600mm(160)			φ1000×800mm(240)	φ710×510mm(275)
	回転数 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)	11.0			7.3	24.2
	回転トルク(KN-m) Running torque (KN-m)	44.7			112.0	43.0
アダプター Adaptor	形式 Type		φ1000×2基	高島屋付近に土留めアンカーPC鋼線があることが想定されており、アダプターに絡みつく恐れがあるため、攪拌翼をスポークに装着		
	駆動トルク(KN-m) Drive torque (KN-m)		8.61			
	回転速度 (min ⁻¹) Rotation speed (min ⁻¹)		50.0			

複線シールド
Double-tracked shield



複合円形シールド
Compound circular shield

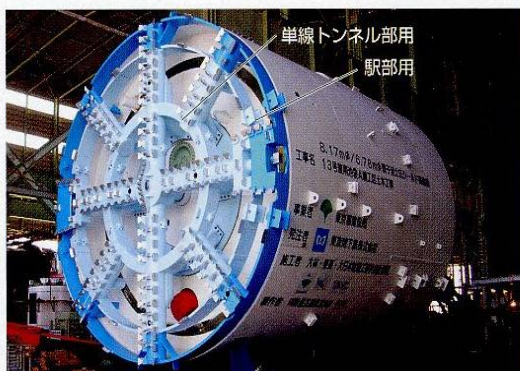


・新宿三丁目～新千駄ヶ谷駅間
・ Between Shinjuku-sanchōme - Shin-sendagaya Sta.

・新千駄ヶ谷駅～明治神宮前駅間
・ Between Shin-sendagaya - Meiji-jingūmae Sta.

・明治神宮前～渋谷駅間
・ Between Meiji-jingūmae - Shibuya Sta.

シールドマシン Shield tunneling machine



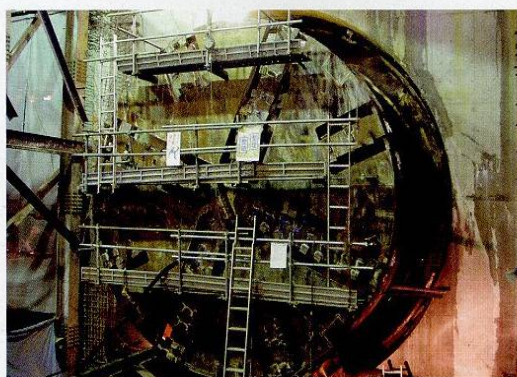
①南池袋A線工区(駅部・単線)



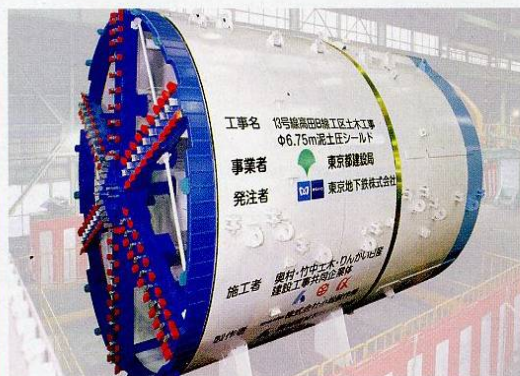
②南池袋B線工区(駅部・単線)



③高田A線工区



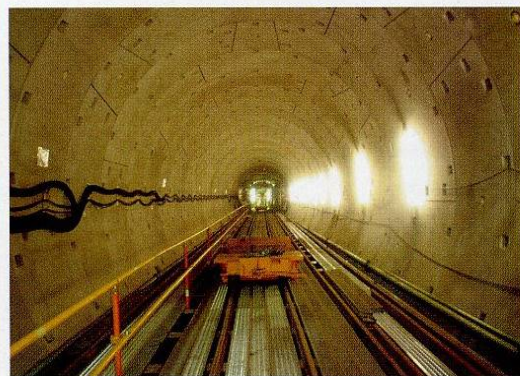
②南池袋B線工区(子機:単線トンネル用一押し状況)



④高田B線工区



⑤西早稲田工区



④高田B線工区 継手:セグメント間—BEST/リング間—BEST
Joints: Between segments—BEST/ Between rings—BEST

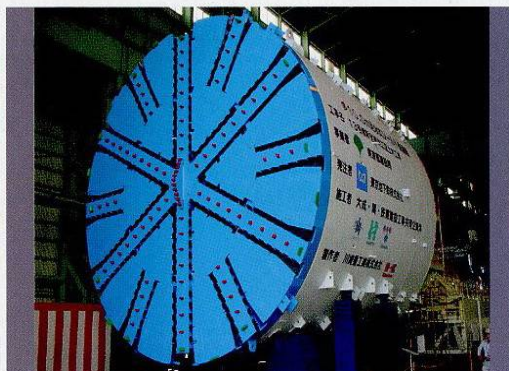


⑥戸山工区

シールドマシン Shield tunneling machine



⑦新宿工区



⑧新宿御苑工区



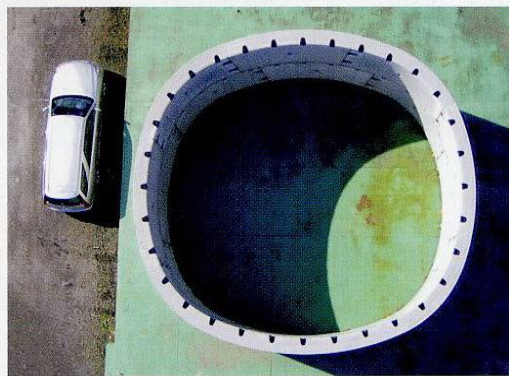
⑨千駄ヶ谷工区



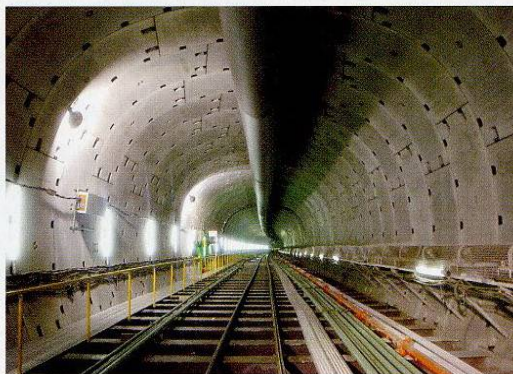
⑨千駄ヶ谷工区 継手：セグメント間—スライドロック/リング間—TA-SRING
Joints : Between segments—Slide lock / Between rings—TA-SRING



⑩神宮前工区



⑩神宮前工区 (セグメント仮組み状況)



⑩神宮前工区 継手：セグメント間—高剛性継手/リング間—DUET継手
Joints : Between segments—High-Rigidity Joint / Between rings—DUET joint