

目錄

	頁次
壹、緒論.....	3
貳、潛盾工法概述.....	4
一、潛盾的起源.....	4
二、潛盾機之基本原理.....	4
三、潛盾機基本設備.....	4
四、潛盾機的分類.....	6
1. 土壓平衡式.....	6
2. 泥水加壓式.....	6
五、土壓平衡式與泥水加壓式之比較.....	7
參、工作井相關新技術.....	8
一、工作井傳統做法.....	8
二、傳統鏡面改良之風險.....	8
三、工作井減少之必要性.....	8
四、工作井相關之新技術.....	8
工作井鏡面直接切削工法.....	8
球體潛盾機.....	12
肆、長距離潛盾工法.....	14
一、切刃齒之地中更換.....	14
1. 備用切刃齒.....	14
2. 球體迴轉式.....	14
3. 滑槽式切刃齒更換.....	15
二、地中接合用潛盾機.....	15
三、T 分歧、Y 分歧、十字分歧.....	17
伍、非圓形斷面潛盾工法.....	21
陸、急曲線、陡升坡潛盾.....	24
一、陡升坡潛盾.....	24
二、急曲線潛盾.....	26
柒、半潛盾推進工法.....	29
一、多軸破碎型半潛盾機.....	29
二、機頭回收式半潛盾機.....	32
三、急曲線半潛盾.....	34
捌、工法之選擇--潛盾抑或半潛盾.....	34
玖、潛盾對於既設建築受震反應之影響.....	37
拾、潛盾工程相關設備.....	37

一、防水閘門.....	37
二、柔性接頭.....	38
拾壹、心得感想	39
拾貳、建議事項	39
拾叁、參考資料	41

壹、緒論

基於都市景觀日受重視，地下電纜已成為人口稠密之都會區主要高壓輸電之方式，又經年以來，各管線單位皆已於市區主要道路埋設綿密之管路；再者，市區對噪音及環境污染之管制要求日趨嚴格，使得明挖管路之使用機會愈來愈低，復因其他免開挖工法，如直線推管、水平導向鑽掘等又有其侷限且各管線單位皆有增加管線覆蓋深度之趨勢。因此，潛盾工法已經成為不可迴避之潮流。國內常用之潛盾皆為圓形斷面，往往造成空間使用之不經濟，若又囿於與其他管線單位共用道路寬度，勢必又增加埋深，益增工程之困難度與危險性，同時提高工程造價。

環顧其他國家的解決之道，與台灣同為地狹人稠的日本對潛盾工法已發展相當成熟，且近期研發了節省斷面寬度之矩形潛盾、交叉道路之分歧接合、可節省工期之兩端發進地中接合工法；相關技術值得本公司前往學習並運用於未來六輸工程相關電纜管路工程。

故本次赴日本實習之重點為：

- 1.T 分歧潛盾工法
- 2.工作井相關技術
- 3.地中接合
- 4.半潛盾機相關技術

貳、潛盾工法概述

一、潛盾的起源

西元 1818 年法國人 M.I.Brunnel 取得前潛盾工法專利，1825 年於英國泰晤士河底隧道啟用人類有史以來首部潛盾機。但不幸於 1828 年發生嚴重坍塌，機毀人亡而被迫停工七年之久。1841 年始達到對岸工作井，成為世界第一條河底隧道，並於 1865 年加入倫敦地鐵運輸服務。

於台灣地區，民國 64 年，台北市衛生下水道 B 主幹管工程施工，引進二部手挖式潛盾機，因湧水與沉陷而困於地中（各施工 30m 及 70m）。民國 70 年，「榮工處」成功完成國內第一條 808m 長之台北市建國北路衛生下水道。

二、潛盾機之基本原理

將泥材加壓注入開挖面以提高掘削土之止水性並塑造掘削土之塑性及流動性；在同時維持開挖面壓力的狀態下，一方面驅動潛盾機之切削機頭 (Cutter head) 進行隧道之鑽掘作業。挖除之砂土經螺運機 (Screw conveyor) 等機具進行排土作業，再利用各種輸送設備將之運至坑外。

三、潛盾機基本設備



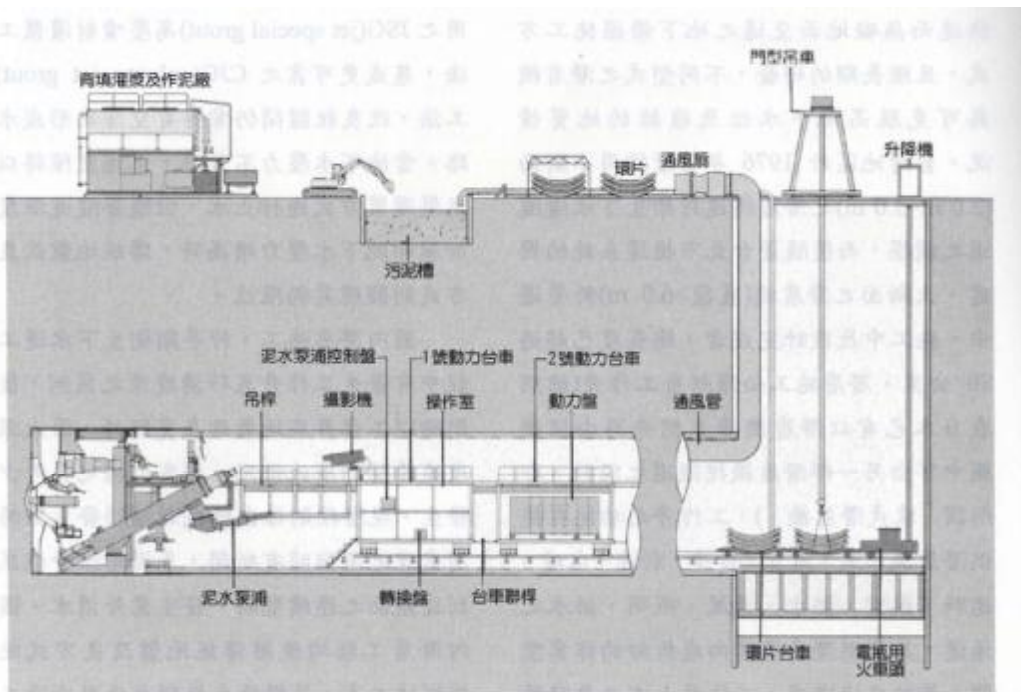
圖 2-1 三菱重工潛盾機模型

土壓平衡式潛盾機系統基本構成：

1. 開挖地盤，並將開挖土沙與依需要所灌注的添加料加以攪拌，拌和成塑性流動漿料的推動裝置。
2. 添加料灌注裝置
3. 由切刀轉盤、攪拌輪葉及固定輪葉組成的拌合裝置
4. 為使其與開挖面之間填滿開挖土、而須加壓所形成的密閉結構的隔牆；以及隨潛盾機推進所挖土砂，一面以螺運機連續排渣，一面維持開挖面土壓與土倉內泥土壓平衡的排渣裝置與其控制裝置所構成的開挖面穩定裝置
5. 將隧道內所開挖的土砂渣料運送至地上的開挖渣料搬出設備。

泥水加壓式潛盾機系統基本構成：

1. 利用切刀一面進行全斷面開挖，一面推進的開挖推進裝置。
2. 實施調整泥水的物理性，將其送至開挖面，使其能保持穩定開挖面所需泥水壓的裝置。
3. 開挖土砂的輸送設備
4. 將開挖土砂與泥水分離的設備。



(圖 2-2 工作井及潛盾作業示意圖，軟土潛盾隧道工程設計與實例手冊)

四、潛盾機的分類

1. 土壓平衡式

潛盾機利用千斤頂推進的同時，切刃圓盤回轉，以切齒切盤，切削之土壤先積存於土倉內再由裝置於隔板突出土倉之螺運機作為排土機具，螺運機排土口裝有閘門或迴轉出土設備，以與推進量相等或稍小之排土量連續排土，藉螺運機之土栓作用以防止地下水噴漏，使土倉內之土壓與地盤的土壓、水壓平衡，達到開挖面安定的潛盾掘進。

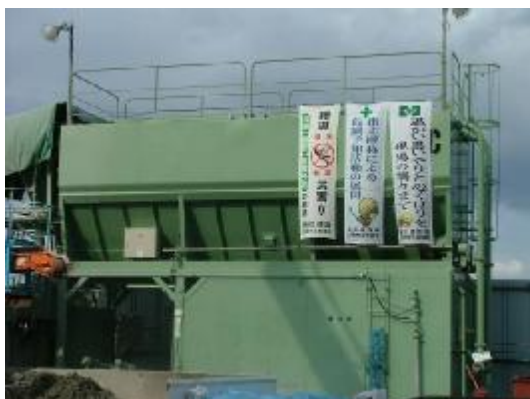
2. 泥水加壓式

泥水壓式潛盾機係在切削機頭(Cutter head)之後面裝設隔板(Bulkhead)，藉由充滿於開挖面與隔板間之泥水倉(Chamber)內，較自然水壓稍大之泥水壓來維持開挖面之穩定，而一方面驅動切削機頭進行鑽掘作業。

挖除之土砂經與泥水攪拌後，以流體狀態輸送至坑外之泥水處理場處理。



(圖 2-3 辦公室內開挖狀況監測設備)



(圖 2-4 背填灌漿設備)

五、土壓平衡式與泥水加壓式之比較

	土壓平衡式潛盾機	泥水加壓式潛盾機
基本原理	利用螺旋輸送配合皮帶輸送機排土，並藉螺旋輸送機迴轉速率與潛盾機推進速度，使土倉內之土碴來平衡開挖之土壓及水壓。	猶如反循環基樁工法利用排泥管循環排泥，並藉泥水壓力，滲透作用，使開挖面土壤自立，防止崩塌。
開挖管理	控制潛盾機前進速度與出土量平衡，使切刀面後之土倉充滿土砂，減少土砂自重落下。	適當的泥水製作系統能夠迅速形成薄膜，穩定開挖面，惟泥水比重過量，將增加管路輸送困難。
適用土層	透水性低之黏土層，沉泥質砂層。	土層變化大之軟弱土層及地下水位高地帶。
作業用地	約 500M ² ，較小。	約 800M ² ，較大。
出碴作業	以運碴台車載至工作井，再以卡車運棄。	開挖之棄土，須經泥水處理設備處理後，才可運棄。
沈陷控制	遇疏鬆之砂質土壤易崩塌需適當改良處理。	土壤自立性高，控制較佳。
環境衝擊	運碴台車為噪音的主要來源。	泥水處理設備之噪音震動大。

(捷運局東工處)

六、潛盾工法目前之主流

1. 朱旭(1985,地工技術):『泥水加壓之泥水處理設備龐大需較大施工場地，不適用於都會區中施工，故除新店線 CH221 標外，其餘(捷運潛盾工程)全數採用土壓平衡式潛盾機』
2. 中華顧問工程司(潛盾隧道工法常見問答集):以國內而言，如泥土壓式潛盾工法可行，其將較泥水壓式潛盾工法經濟。
3. 三菱重工:日本目前施工皆以土壓平衡式潛盾機為多

叁、工作井相關新技術

一、工作井傳統做法

擋土壁外側進行地盤改良(JSG、CJG、藥液灌漿等)在潛盾機出發或到達前以人工方式鑿除擋土壁。改良柱體間常有空隙而形成水路，如開挖深度大或地下水壓大則可能於鑿除鏡面時意外湧水，且其面積甚大，發生意外時周邊地盤產生之沉陷必相當可觀。

二、傳統鏡面改良之風險

1. 改良體強度不足耐不住土壓。
2. 改良體連續性不足形成滲水路徑，滲水挾帶土沙由裂隙進入終致擴大，裂隙使水壓作用在殘餘厚度已然不足的改良體，改良體在潛盾機推進及削刀轉盤擾動下受傷，使盾殼周邊形成水路。

三、工作井減少之必要性

1. 工作井之鏡面破除為潛盾工程風險最高的項目。
2. 工作井施作延長工期。
3. 分歧點經常位於交通要道，無法覓得適當地點。
4. 分歧點或接合點太深，施做中間工作井不僅費時增加經費，同時工程難度亦提高。

四、工作井相關之新技術

工作井鏡面直接切削工法

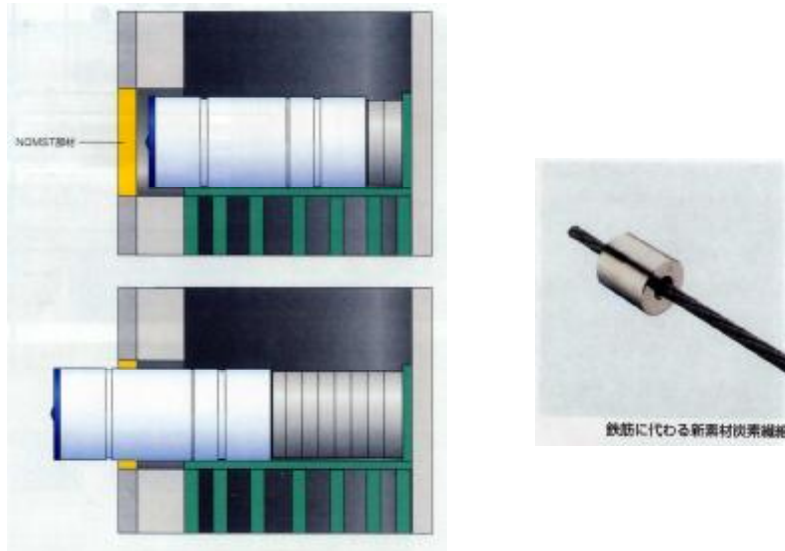
目的在減少地盤改良之使用，以減少成本及工期。

目前已開發之工法：

1. NOMST(Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System)

由於目前潛盾機仍無法直接切削鋼筋混凝土，因此於預定破除鏡面位置使用碳素纖維等新材料取代工作井壁內之鋼筋、石灰石取代粗骨材讓潛盾機之切削刀可以直接削除並穿越之工法。以下為此工法之示意圖。

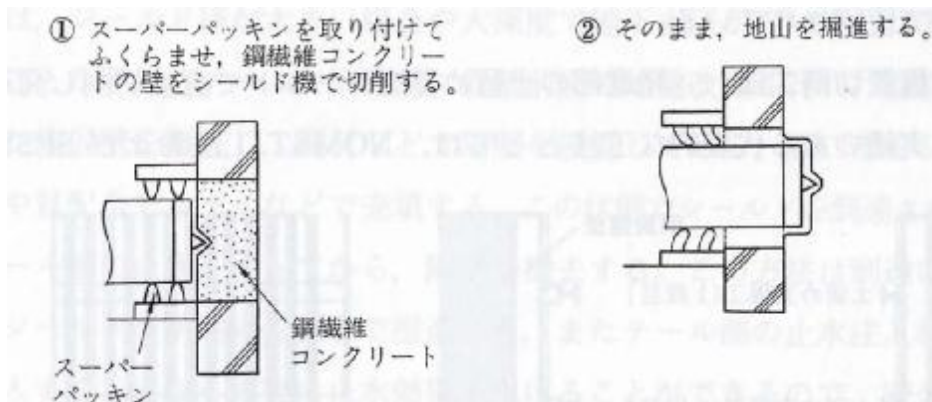




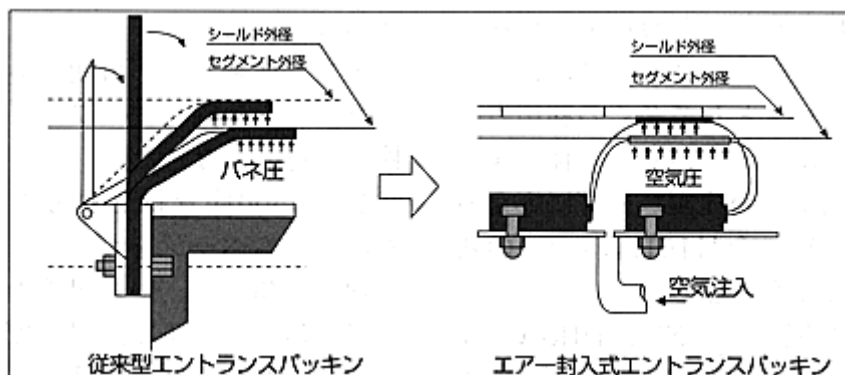
(圖 3-1 NOMST 工法示意圖及替代材料，關西電力)

2. SPSS(Super Packing Safety System)工法

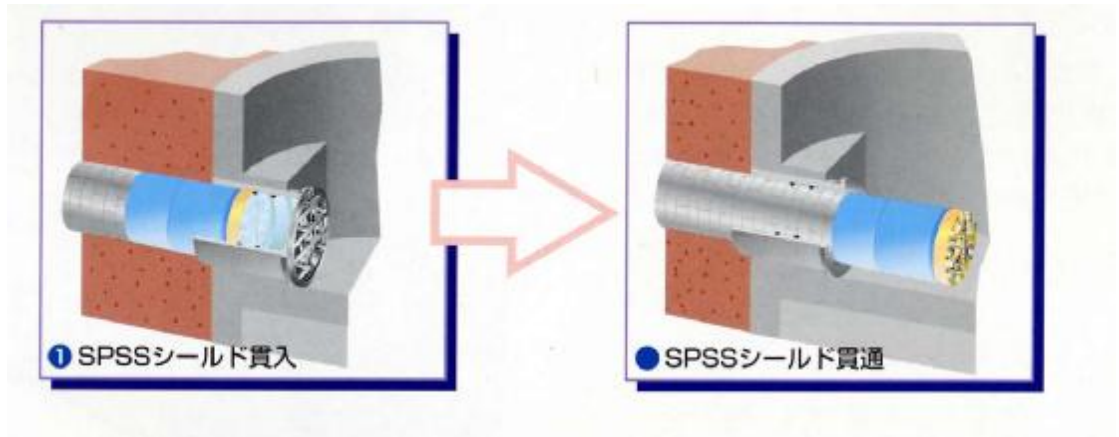
SPSS 係屬於 NOMST 之輔助工法，於工作井內設置之由空氣壓力控制之止水封圈(Super Packing=スーパーパッキン)隨潛盾機穿越工作井而變形至堵住土水湧入工作井的途徑



(圖 3-2，SPSS 工法示意圖，日本地盤工學會，1997)



(圖 3-3，SPSS 空氣壓力控制設備，NTT 東京設備建設總合中心)



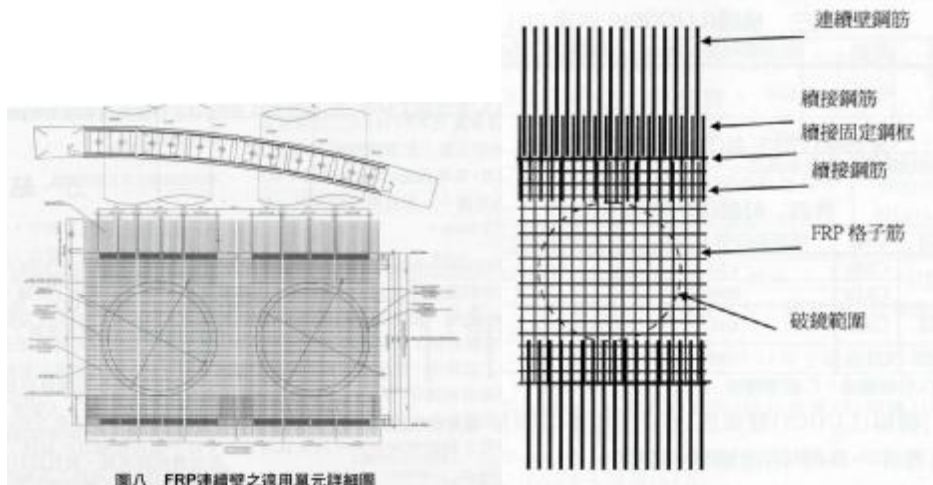
(圖 3-4，SPSS 工法之施工順序，前田建設)

3. NEFMAC



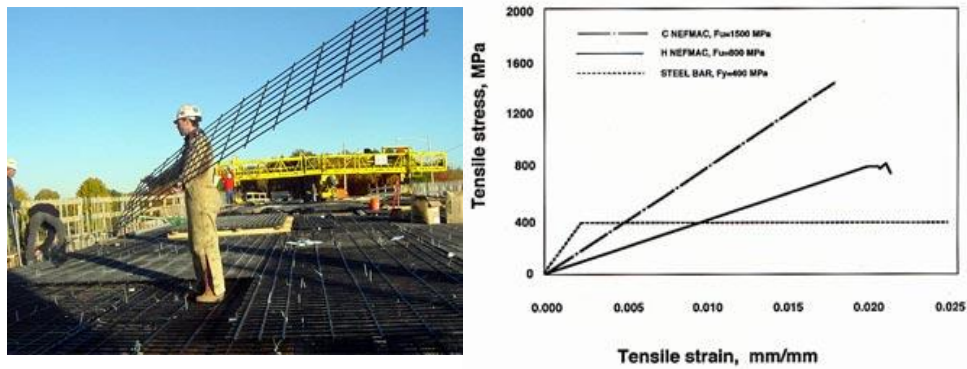
(圖 3-5，NEFMAC 工廠組立圖，地工技術,2005)

所謂 NEFMAC (New Fiber Composite Material for Reinforcing Concrete)，是將碳素纖維、玻璃纖維、聚胺纖維等 FRP 材料 (高性能連續纖維) 浸到耐藥性強的環氧樹脂，形成一體成形格子狀之混凝土補強用材料。由於只要少量的 FRP 的格子筋即可達到和鋼筋同的抗拉強度，但另一方面其抗剪強度比鋼筋低甚多，故採用在發進或到達井的連續壁，潛盾機之切削刃可以直接切削穿越，不必進行傳統危險的破鏡工作。



(圖 3-6，FRP 連續壁單元詳細圖，李正彬等,2005)

此外 NEFMAC 還具有輕量容易搬運及高拉力強度之優點。



(圖 3-7，NEFMAC 輕質與高強度，Autocon Composites,Inc.)

採用前述工法的特徵：

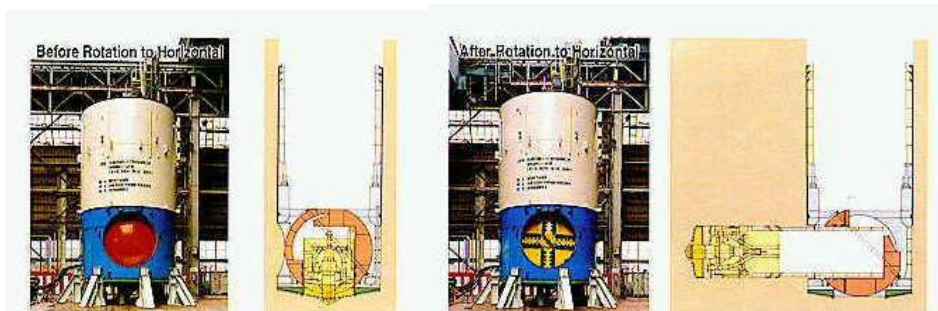
1. 發進到達井使用藥液灌漿等之輔助工法可降低至最低限度
2. 不需要於潛盾機到達前先行拆除部份工作井結構體，降低於此作業期間伴隨而來之危險
3. 工期的縮短

採用前述工法應注意之事項：

1. 需考慮潛盾機切削刃磨耗的問題。
2. 需考慮潛盾機外周部突出之背填灌漿設備等之切削。

球體潛盾機

為了減少工作井鏡面的處理問題，直接以球體潛盾機自地面向下挖掘豎井，至預定深度再將潛盾機頭旋轉至欲前進方向開始鑽掘。



(圖 3-8，球體潛盾機)

施工順序

1. 設置導牆，並於導牆上組立潛盾機。
2. 導牆內部開始挖掘
3. 組立臨時環片
4. 開始掘進至預定深度
5. 潛盾機切刃頭轉 90 度，朝預定方向掘進。

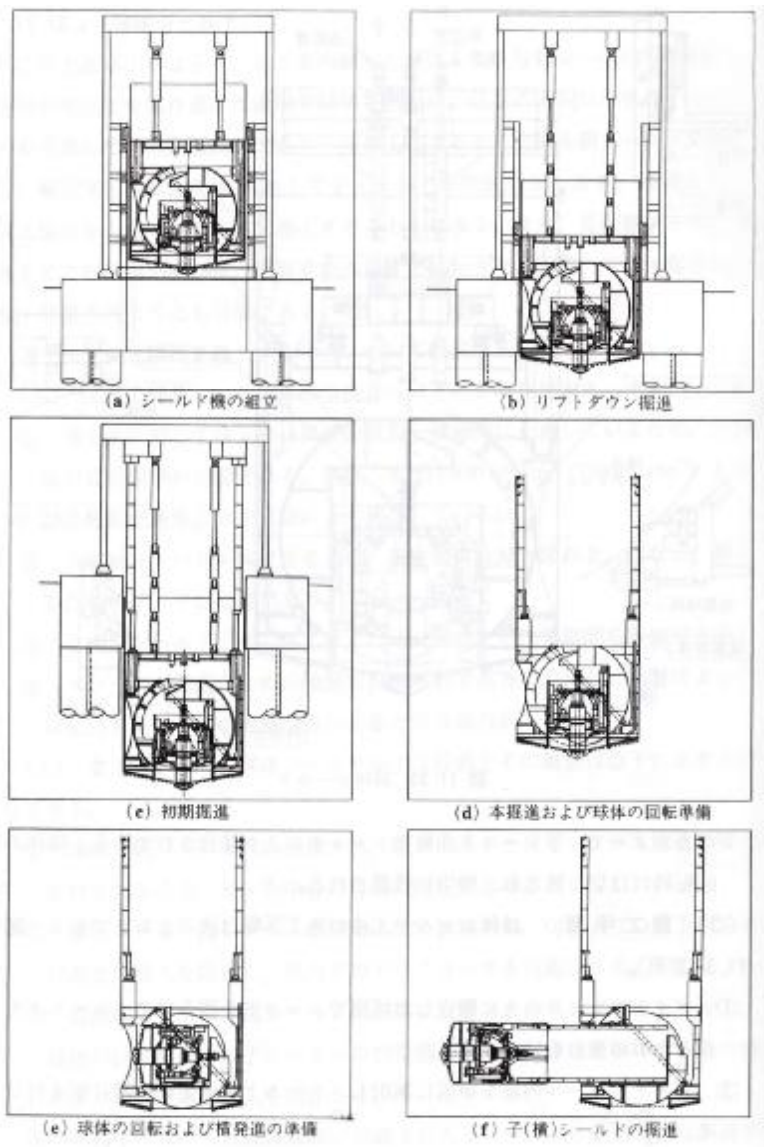
採用以上工法的特徵：

1. 縮短豎井施工時間
2. 縮小豎井面積，有利於建築密集區之施工
3. 不需做壓縮空氣與土壤改良等輔助工作，故能提高施工安全性
4. 即使在地下水壓極高之深度開挖下仍能確實施工
5. 在深度開挖時能減低工程成本，故更具經濟效益
6. 子潛盾機發進不需另作地盤改良

使用実績

業主	工程名稱	施工長度	潛盾機類型	潛盾機外徑
東京都下 水道局	足立區花田7,8丁目附近支線工事	親 38m	泥水 加壓式	5.82m
		子 443m		3.68m
東京都下 水道局	荒川幹線力坑設置工事	親 39.69m	泥水 加壓式	7.92m
		子 (2396m)		4.84m
東京都下 水道局	第2十二社幹線立坑設置工事	親 46.63m	泥水 加壓式	7.4m
		子 (2000m)		4.45m

(摘自シールド工法の調査・設計から施工まで)



(圖 3-9 球體潛盾機施工順序，地盤工學會)

肆、長距離潛盾工法

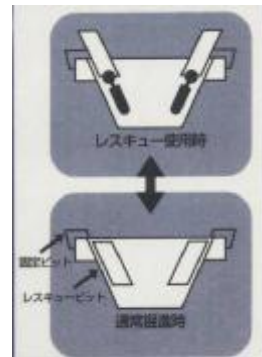
一、切刃齒之地中更換

潛盾機長距離推進，不可避免的將會造成切刃齒（Cutter-Bit）的磨耗，也因次限制潛盾機一次掘進的距離，於都市中工作井取得不易的情況下，另行開築中間工作井不僅曠日廢時，也延宕工程時程；是故，若能在地中直接更換切刃齒，來增加潛盾機一次掘進的長度，是合理且必要的發展；日本方面也研發了多種相關技術來因應，以下便就三菱重工截至目前已導入實際應用階段之技術來介紹。

1. 備用切刃齒

工作原理：

於平時掘進時收納於預留空間，待主要切刃齒磨耗之後，伸出切削面擔任後續掘進之工作，但僅可使用乙次為其限制。



（圖 4-1，備用切刃尺工作原理示意圖，三菱重工）

2. 球體迴轉式

工作原理：

利用迴轉設備將潛盾機切刃部迴轉 180 度後，於潛盾機內部由人工更換切刃齒，其優點為更換次數不受限，但目前僅適用於外徑大於 7m 之潛盾機。

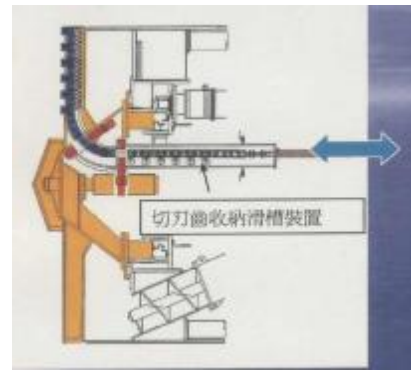


（圖 4-2，球體迴轉式更換切刃齒，三菱重工）

3. 滑槽式切刀齒更換

工作原理：

利用滑槽設備將切刀齒拉至潛盾機，由人工進行更換，其優點為可無限次更換，僅適用於外徑 7m 以下之潛盾機。



(圖 4-3，滑槽式切刀齒更換示意圖，三菱重工)

二、地中接合用潛盾機

減少工作井的方法，除上述地中更換切刀齒之方法外，利用在地中將兩端發進之潛盾機接合貫通，亦是另一個思考途徑。由此想法發展而來至今的各種接合方式，目前以機械式地中接合(MSD)為最廣泛採用且最被信賴之工法。

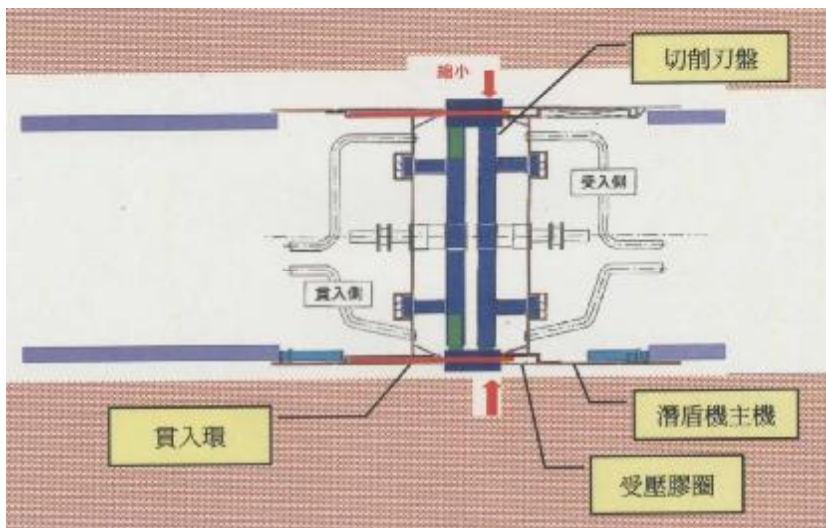
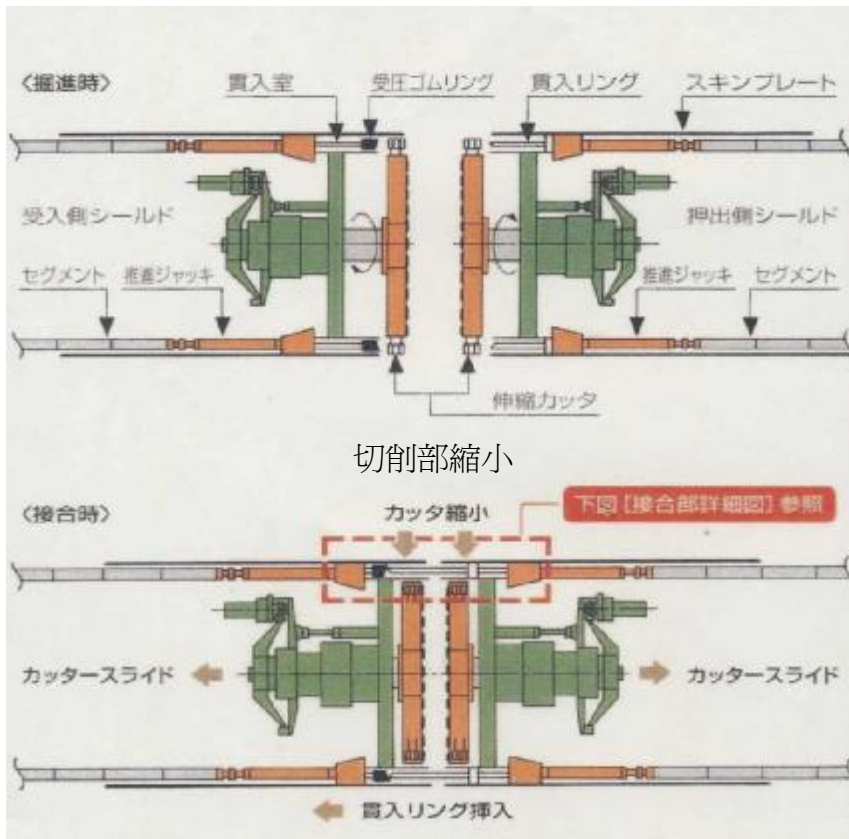


(圖 4-4，地中接合用潛盾機，三菱重工)

機械式地中接合係利用特殊之潛盾機於兩端發進，當兩部潛盾機行進至預定接合點，其中一部潛盾機將其用以抵擋水土壓力之簷深入另一部潛盾機內，當完成接合後，潛盾機自洞道裡移出。

施工順序：

1. 準備接合時切刀部（カッタ）縮小，留出貫入接合設備可伸出之空間。
2. 貫入接合設備（貫入リング）伸出。



(圖 4-5，機械式地中接合示意圖，三菱重工)

三、T 分歧、Y 分歧、十字分歧

為確保供電品質而在數個變電所間以多條電纜線路形成迴路，常有洞道分歧的需求。且該分歧點經常位於交通繁忙之路口，若採在此交通樞紐設置工作井而往兩方向掘進對於當地交通造成相當大的衝擊，而無法取得路證或順利施工。國情相近的日本也針對此依需求發展了T分歧潛盾之技術；利用子母潛盾機之型式，由母潛盾機帶著子潛盾機掘進，至預定分歧點附近，子潛盾機再由母潛盾機之側腹部往另一方向掘進。



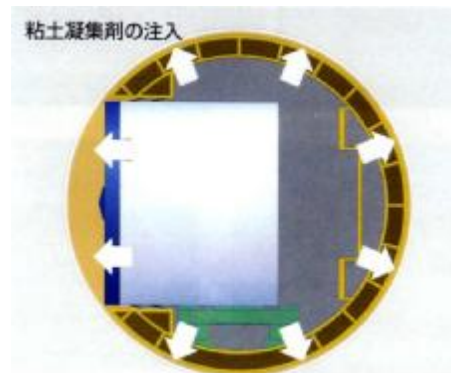
(圖 4-6，T 分歧潛盾示意圖，關西電力)



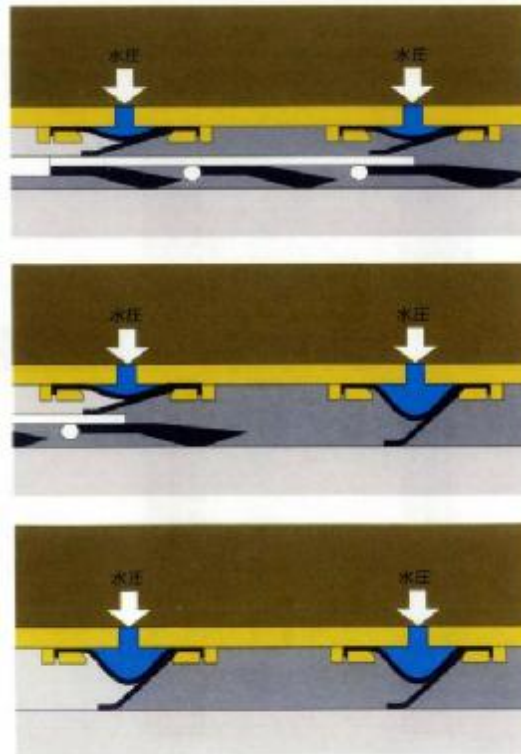
(圖 4-7，T 分歧潛盾機外觀，關西電力)

施工順序：

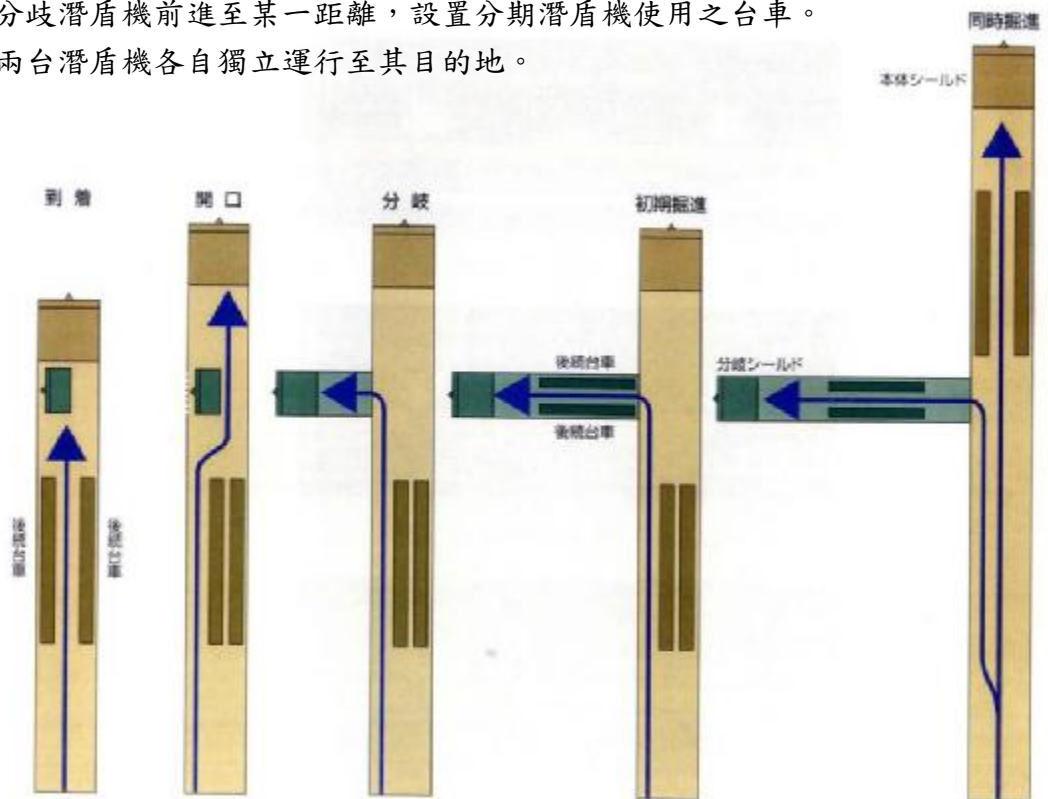
1. 到達預定分歧點於潛盾機外周注入黏土凝集劑以穩定周邊開挖口。

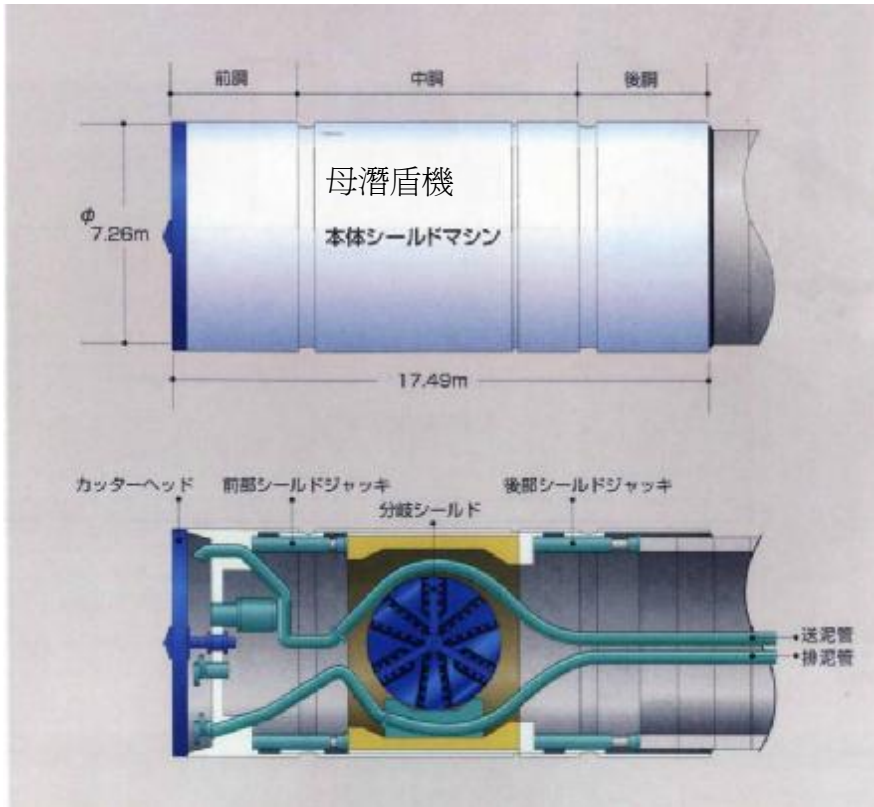


2. 利用水壓作用將二重止水封圈（Entrance Packing）向外推頂，以抵抗開挖面之水土壓力。



3. 分歧潛盾機開始推進，並使用主潛盾機之後續台車出渣
4. 分歧潛盾機前進至某一距離，設置分期潛盾機使用之台車。
5. 兩台潛盾機各自獨立運行至其目的地。





(圖 4-8, T 分歧潛盾機子潛盾機示意圖, 關西電力)

關西電力谷町筋管路與上二本町管路分歧點使用二次襯砌, 減低滲水可能。



(圖 4-9, T 分歧點現場)

此工法之特徵

1. 可取代大角度曲線，曲率半徑極小之傳統潛盾施工
2. 開挖分歧隧道時不須另設工作井
3. 可彈性選擇母潛盾機與子潛盾機之斷面直徑
4. 結合傳統工法，結構簡單，施工可靠。
5. 母潛盾機與子潛盾機可共用設備，具經濟性。
6. 潛盾內空間若足夠兩潛盾機同時施工，子母潛盾機可同時掘進，加快工程進度。

另為配合既有道路線形，尚可能發展出 Y 分歧或十字分歧，惟目前尚無工程實績。



(圖 4-10，分歧潛盾可能模式，戶田建設)



(圖 4-11 本次參訪之分歧點路線示意圖)

伍、非圓形斷面潛盾工法

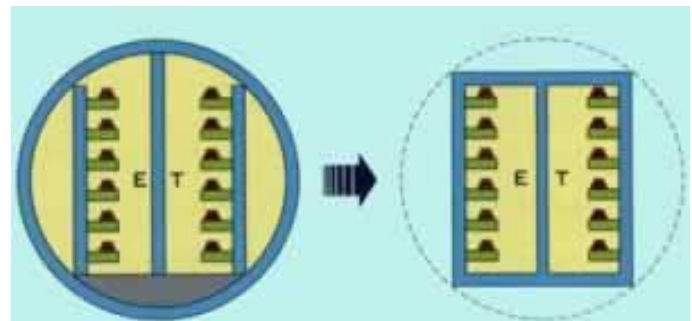
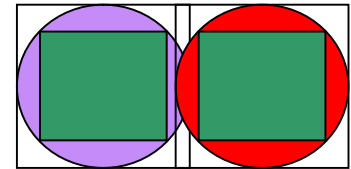
就土木工程而言，因為圓形斷面具有許多力學上之優點，諸多工法的起源都是以圓形斷面作為技術發展初期的斷面形式，如拱門、拱橋、拱形屋頂等等，乃至於地下結構物如基樁、沉箱等絕大部分都以圓形作為其斷面形狀，以下茲就圓形潛盾斷面之優點及使用非圓形斷面做一討論，接著介紹非圓形斷面相關工法。

一、圓型斷面之優點：

1. 對外壓而言為最有利之形狀。
2. 施工上，潛盾機推進和環片組立便捷。
3. 因潛盾機推進引起之滾轉，在斷面應用上影響甚少。
4. 潛盾機製作上比較簡單。
5. 摩擦阻力較低。

二、使用非圓形斷面原因

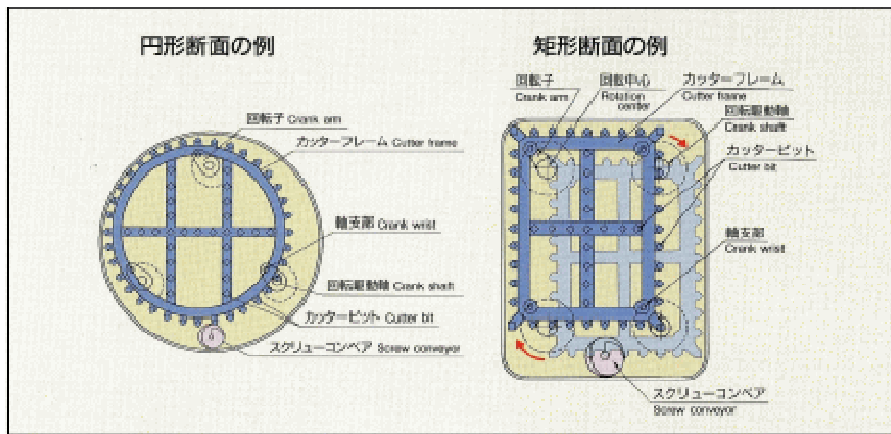
1. 空間使用較不經濟
2. 需要另外施作仰拱，側邊電纜支架，較不經濟
3. 多條地下結構物並行，採用矩形可節省空間，不需加大埋深，突顯其經濟性。



三、矩形斷面施作原理

雖目前已有各種非圓形斷面之應用實例，諸如複圓形、橢圓形、DOT、H&V 型，但就電力設施而言，矩形斷面仍是較為適用之斷面形式。因此以下便就矩形斷面作一說明。

矩形斷面之挖掘可採用之方式包括偏心多軸(DPLEX)及擺動式切削臂；偏心多軸乃是由一個以上之轉動軸來驅動切削刀框架(Cutter-Frame)，使用矩形之切削刀框架來切削出矩形之斷面，工作之示意圖如下：



(圖 5-1，DPLEX 工法切削示意圖，大豐建設)

四、應用實例

日本下水道事業團習志野市菊田川 2 號幹線工事

使用之潛盾機外徑 H3.98mxW4.38m

隧道間距：0.5m

覆土深度：2.4~4.2m



下圖：擺動式切削臂之舉行潛盾機（三菱重工）



(圖 5-2 矩形潛盾機，大豐建設)

五、其他非圓形斷面潛盾機

多圓斷面 (Double O Tube type)

多用於靠近地鐵車站距離接近之
兩線同時構築的工法



(圖 5-3, DOT 潛盾機外觀, 三菱重工)

H&V

左右兩個潛盾機可以獨立運作往
不同方向前進



(圖 5-4, H&V 潛盾機外觀, 三菱重工)

連圓形斷面

可將地鐵站體一次施築完成之工
法。



(圖 5-5, 連圓形斷面潛盾機外觀, 三菱重工)

陸、急曲線、陡升坡潛盾

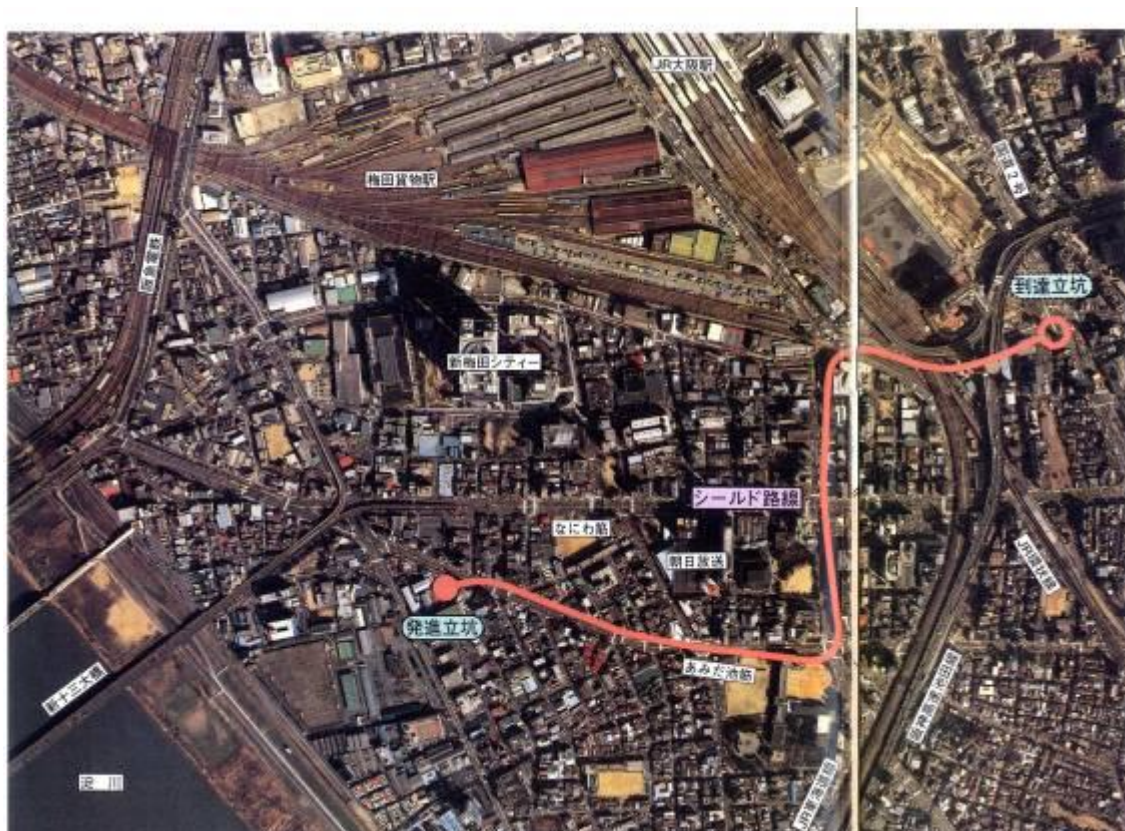
一、陡升坡潛盾

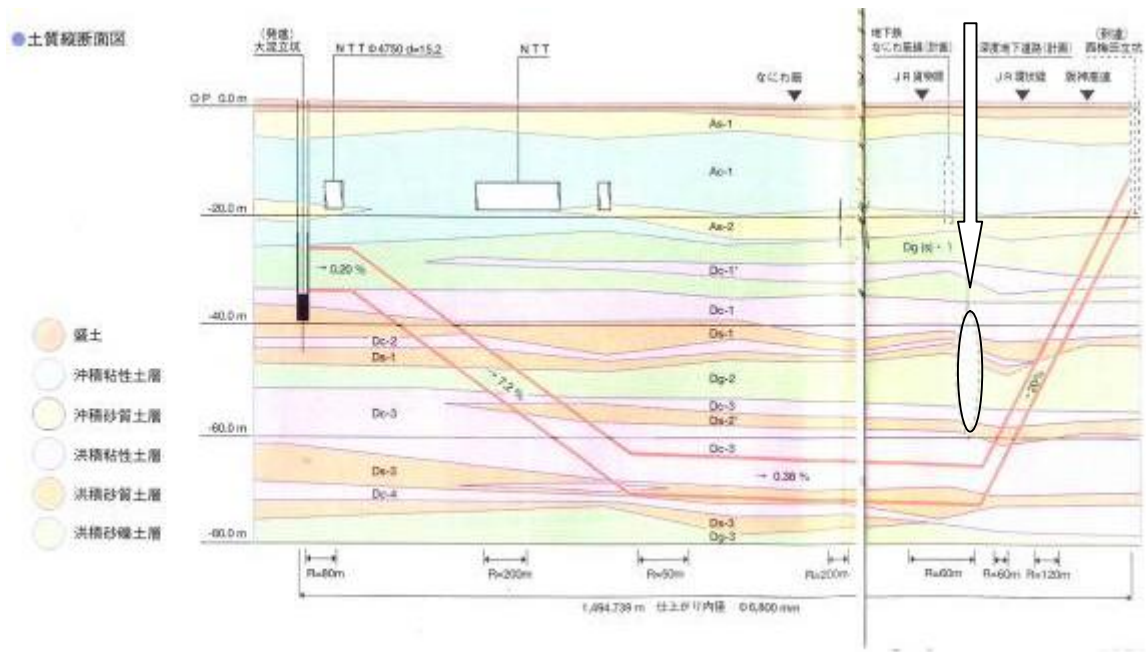
日本有關潛盾洞道坡度之規定

1. 依日本勞工安全衛生規則 202 條之規定，動力車僅能使用於 5% 以下的坡度，若超過此一坡度，則不能利用一般的軌道而必須改用其他搬運設備。
2. 隧道完工後之坡度，已能使隧道內的漏水自然流下的平緩坡度為原則，故至少以 0.2% 以上為宜。(日本隧道工程規範)

關西電力實際案例

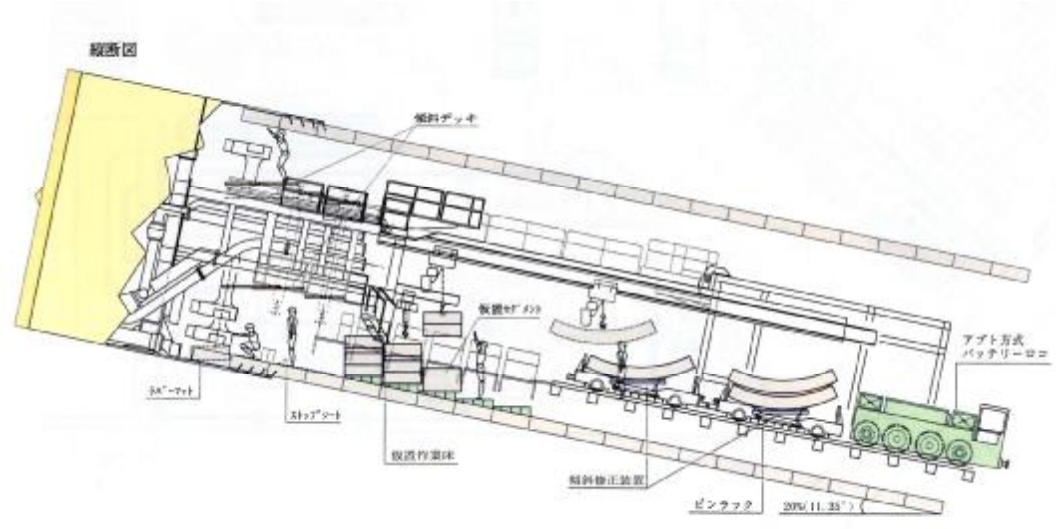
1. 使用緣由：閃避到達工作井（西梅田立坑）附近穿越計畫中大深度地下道路
2. 工程特徵：
 - i. 大深度：最大水壓 7kgf/cm^2
 - ii. 急曲線：最小半徑 50m
 - iii. 陡升坡：20% 之坡度





(圖 6-1，關西電力陡升坡潛盾案例，關西電力)

陡升坡之所採用設備



(圖 6-2，陡升坡潛盾使用設備，關西電力)

陡坡內施工應注意事項：(日本隧道工程標準規範)

1. 開挖面穩定：陡坡段地盤的土壓與水壓，將隨推進而時刻變動，因此，開挖面的壓力亦須隨之適當調整。尤其在下坡時，土倉內的開挖渣料將滯留於其中，而無法順利排渣，因此亦須審慎施行開挖渣量的管理。
2. 潛盾機：通常潛盾機由於裝有切刃轉盤的前端部分較重，而傾向前面下垂，故上坡時，有將潛盾機下半底部的潛盾推進千斤頂容量加大的情形。對後續台車亦須有防止滑逸的對策，並需檢討自潛盾機牽引的方法。
3. 環片：在陡坡段組裝環片時，由於供應至組裝機的空間有限，致較難組裝，因此，須事先詳加檢討供應方法。
4. 背填灌漿：陡坡段的背填灌漿漿液，宜使用灌漿後體積變化少，且能夠儘早達到相當於地盤強度以上的瞬凝性漿液。下坡時，背填灌漿的漿液有回灌開挖面之虞，故須特別注意漿液的選定及品質管理。
5. 隧道內搬運設備：在陡坡段，若使通常的軌道式搬運，則會因電池機關車等動力車的滑逸，及器材的掉落而發生勞工災害的高危險性。因此，不使用通常的軌道式，而須採齒輪式、扁節鏈式、橡皮輪胎式、絞車方式、吊車方式等替代之搬運設備。

二、急曲線潛盾

日本隧道工程規範

擬以曲率半徑小於下列值施工時，應針對以化學灌漿等穩定地盤的地盤改良工法、潛盾機結構（採用中折裝置）等以及環片的種類與構造等對策加以檢討

潛盾機外徑 約 3m 時， $R=80m$

潛盾機外徑 約 5~9m 時， $R=100m$

急曲線潛盾工程可能遭遇困難：

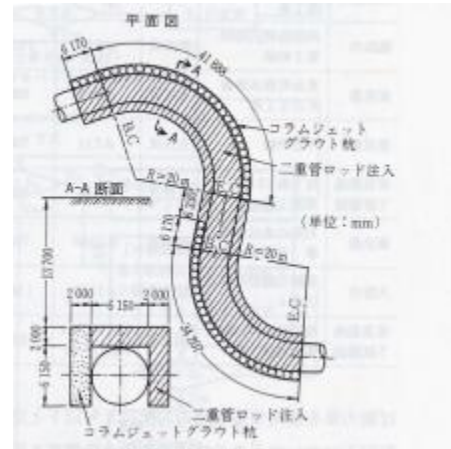
1. 潛盾機超挖產生之空隙造成後方環片不穩定。
2. 環片外之盾尾間不易保持，造成推進方向偏移。
3. 環片破損。
4. 隧道難以保持預定線形。
5. 超挖量過多，背填灌漿不及，造成地盤下陷。

急曲線施工輔助工法：

急曲線施工時，若認為地盤的自立性較差，且為防止轉彎的部份超挖造成地盤鬆弛，以及加強地盤反力，則需檢討使用輔助工法。超挖部分的輔助工法可分為地盤改良及中間材補充兩大類，茲各舉一例如下：

1. 藥液注入地盤改良

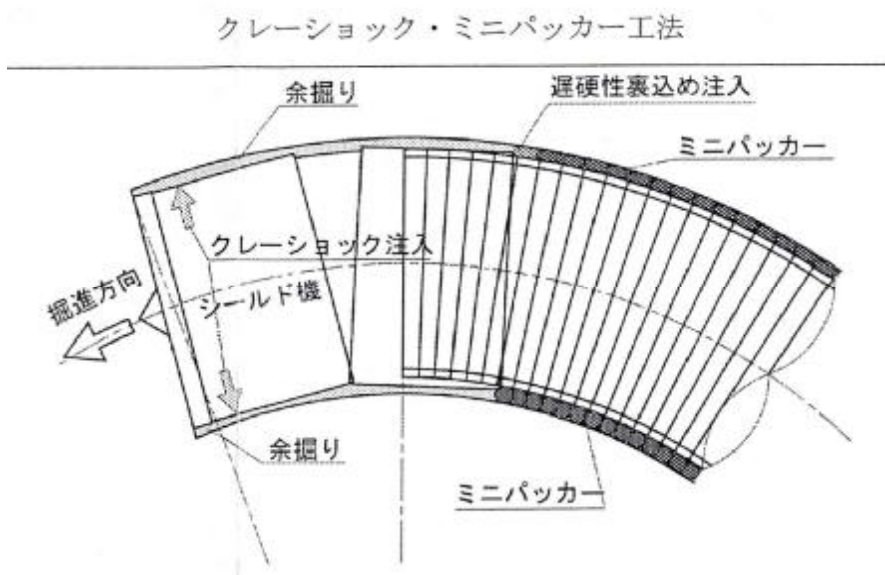
於潛盾洞道路徑附近進行藥液灌漿，改善土壤性質，避免側壁土壤崩落。惟此法除可能影響環境，另可能須占用地上面積，對於交通有一定影響。
(藥液注入改良例如右圖，地盤工學會)



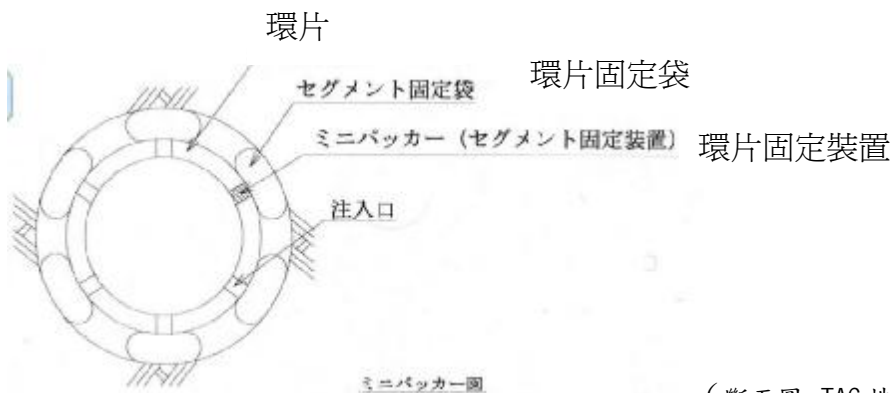
2. Clay-Shock 配合 Mini packer (クレーショック.ミニパッカー) 使用

於潛盾機超挖之環片與土壁の間隙填充注入由水泥砂將加上摻劑所形成之低強度環片固定袋來填充間隙，此固定袋之功能如下：

- i. 防止超挖部地盤鬆弛
- ii. 減少超挖間隙產生相對應之地盤沉陷
- iii. 固定環片位置，減少環片變形量
- iv. 確保地盤反力，使潛盾機能持續推進
- v. 阻絕背填灌漿之材料流往潛盾機前方，造成前進阻力。



(此工法之平面示意圖，TAC 株式會社)



(斷面圖, TAC 株式會社)



左上：水泥砂漿與摻劑混合之黏稠混合體

左：模擬將混合物注入環片外之間隙，採用兩管注入

上：注入後，混合物形成低強度之環片固定袋



柒、半潛盾推進工法

半潛盾潛盾工法係由半潛盾機於推進管前方挖掘土方及出渣設備，於發進井設置反力座及千斤頂提供半潛盾機與推進管前進之力量來抵抗推進管圓周土壤摩擦與管頂阻力，以下就較新近發展之特殊用途之半潛盾機略為簡介。

一、多軸破碎型半潛盾機



開發的目的：

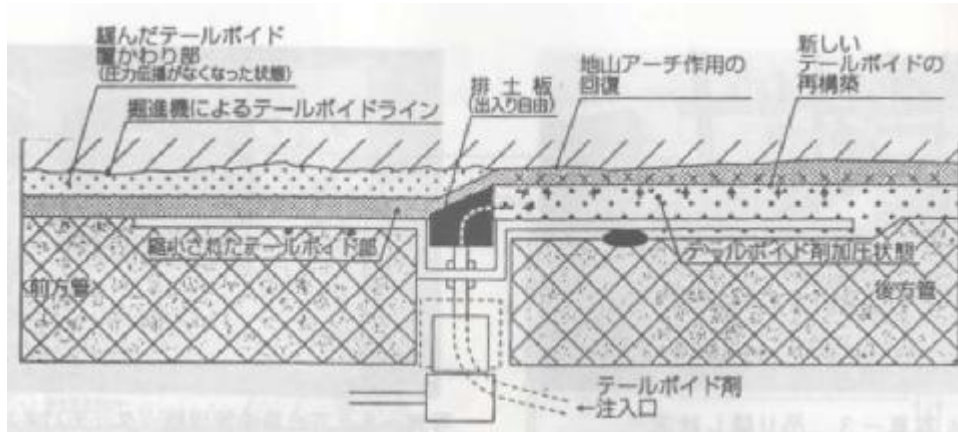
1. 強化切削頭之耐磨耗能力
2. 防止掘進速度下降
3. 防止切削過之殘餘破碎岩石影響線形控制能力（裝置 TRS 對應之）

特徵

1. 由於小於取入口徑以下礫石不需要破碎、破碎齒耐磨耗性是傳統 2 倍以上，能夠在軟礫石地質做長距離推進施工
2. 掘進機配置 TRS 裝置於推進過程中，可避免推進管外周部的礫石破碎片殘留，造成推進力的上昇。
3. 足以應付小於管徑的大卵礫石、單軸壓縮強度 1500kg/cm 程度的岩盤層。
4. 曲線推進半徑在推進管徑 30 倍左右。

TRS (Tail Restructuring System) 裝置

TRS 係為機械式排土版於掘進機外周 (360 度設置) 的超挖設備，再於超挖部分約 10mm~25mm 注入具穩定效果之滑材，可減緩土拱的回復，同時滑材注入減低外周之摩擦力，降低推進阻力。



(TRS 裝置原理概要圖，時枝直人等)



(TRS 裝置於工廠時之外觀) (TRS 裝置設置於管內之狀況，藤田油機)



TRS裝置(推進管埋込型)



TRS裝置(回収型)

(藤田油機)

礫石地盤掘進案例（超流半潛盾協會）

工程地點	管徑	最大礫石直徑	單軸壓縮強度(Mpa)	彈性波速(P波)	平均掘進速度
長野縣松本市	1000	600	-	-	20.0mm/min
福岡縣吉井町	1000	500	-	-	30.0mm/min
岐阜縣岐阜市	700	400	-	-	25.0mm/min
靜岡縣靜岡市	800	450	-	-	30.0mm/min
大分縣大分市	800	280~800	-	-	30.0mm/min
愛知縣一宮市	1000	700	-	-	25.0mm/min
兵庫縣神戸市	800	600	-	-	20.0mm/min
廣島縣廣島市	1000	550	-	-	15.0mm/min
神奈川縣相模原市	1200	900	Max:224		10.0mm/min
東京都立川市	1350	600			30.0mm/min
東京都八王子	800	<150	約 300	2.500km/sec	25.0 mm/min ~50.0mm/min
	800	>300			5.0mm/min~ 8.0mm/min

岩層地盤掘進案例（超流半潛盾協會）

工程地點	管徑	地質	單軸壓縮強度(Mpa)	彈性波速(P波)(km./sec)	平均掘進速度(mm/min)
長野縣岡谷市	1000	安山岩	50.00	-	18.0 mm/min
			120.00	-	6.0 mm/min
靜岡縣 富士宮市	800	泥質 片岩	99.59	3.644	12.0 mm/min
			248.11	4.712	4.5 mm/min
			227.43	4.914	5.5 mm/min
			107.42	4.118	10.0 mm/min
			248.50	3.714	3.5 mm/min
岡山縣里庄町	800	花崗岩	138.30	4.010	8.0 mm/min
			57.80	4.420	15.0 mm/min
			207.27	3.960	5.0 mm/min
			155.82	3.370	9.0 mm/min
			195.26	4.030	6.5 mm/min
東京都八王子	800	砂岩/ 頁岩	84.00	-	5.0~10.0 mm/min
廣島縣 東廣島市	800	花崗岩	123.19	-	6.0 mm/min
			213.00	-	4.0 mm/min

二、機頭回收式半潛盾機

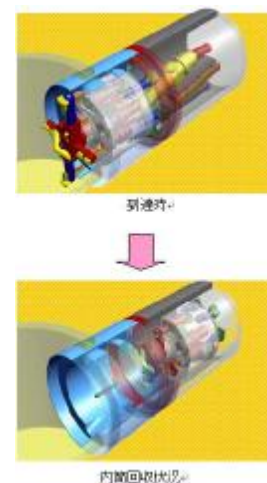


開發之目的：

解決到達井無法施設而將掘進機頭由推進管內拉回所採用之機型，例如在既設之潛盾洞道、人孔等構造物之接入。

特徵：

1. 能在無到達井及既設潛盾洞道、人孔等構造物的場合由推進井回收推進機。
2. 能夠長距離與急曲線推進施工而且於施工後平順得拉回。
3. 可配合長距離管幕工法推進施工
4. 隧道以管幕工法施工時，配置油壓升降台能夠迅速安裝推進機、移動及撤除。
5. 可直接鑽掘既設構造物之鋼筋，無需於預定銜接位置埋設特殊構造。



(大豐建設)

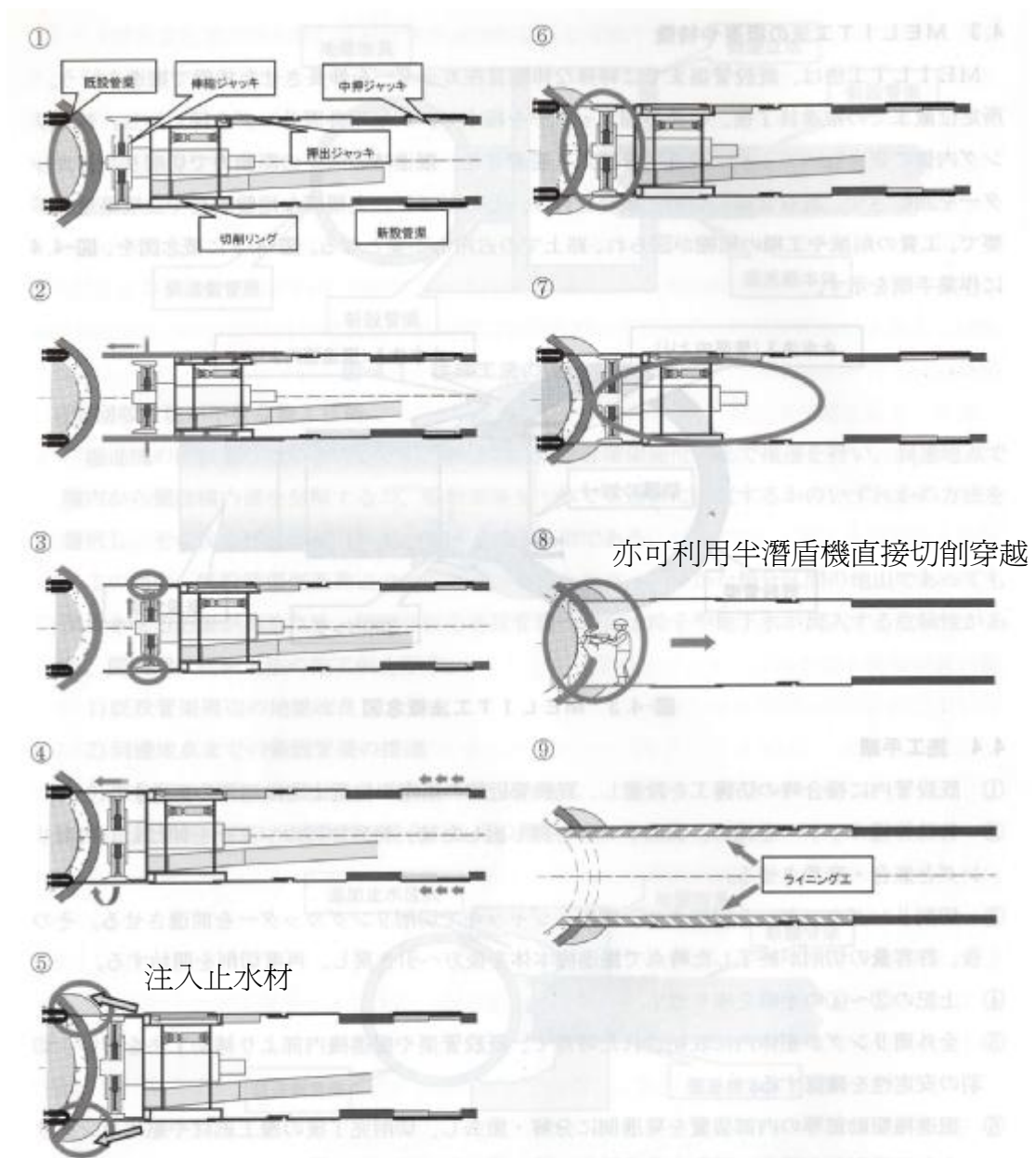
MEILT 工法

機頭回收式半潛盾機的研發，銜接既設管路的 MEILT 工法也之隨之發展；MEILT 係以機頭回收式半潛盾機於接近既設結構物前，可伸縮的切削刃伸出切削，俟達既設結構物附近將切削刃縮回，將接合用切削環押出切削既設結構物直到貫通。

工法優點

1. 減少工作井附近大規模地盤改良的工程數量。
2. 接合部不須另設工作井，避免佔用已然繁忙之交通通道。

施工順序



三、急曲線半潛盾

基於既有窄仄之直交道路須埋設電纜的需求，既有之曲線推進技術囿於其曲率半徑與推進管徑及半潛盾機之機長有相對應之關係，為了更進一步減少曲率半徑，採用了與潛盾機相同的做法：設置中折裝置，甚至可達到五節中折裝置（如右圖），以有效的減少急曲線轉彎所需要的轉彎半徑；目前可達到之轉彎半徑如下表：



管路直徑(外)	轉彎半徑
·小於 1200mm	R=15m
·小於 1650mm	R=20m
·小於 2400mm	R=25m

捌、工法之選擇--潛盾抑或半潛盾

電纜管路經勘查及地下管線套繪結果等相關考量後，經濟性最佳之明挖工法無法採行時，應就免開挖工法進行經濟性、安全性考量需採用之工法。茲就潛盾與半潛盾工法各自優點及其個別侷限做一比較

就以目前工程實績而言，半潛盾機的長距離推進大約將近一公里，潛盾機的目前實績將近十公里。潛盾與半潛盾皆可以進行 T 字分歧，半潛盾機可以前述 MEILT 工法達成，潛盾機則可以選擇 T 分歧潛盾機或利用 T-BOSS（類似半潛盾之 MEILT 法）接合方法來達成；矩形斷面不論潛盾或半潛盾均已發展但未臻成熟及被廣泛接受；半潛盾機目前仍以 2.4 米直徑為上限，潛盾機目前已完成最大斷面直徑達 14.1 米，遠大於目前輸電設備之需求，惟潛盾在經濟性方面不如半潛盾。

潛盾與半潛盾工法之比較

	半潛盾	潛盾
推進極限	約 1km	約 10km
連接既設管	可	可
T 分歧	可	可
矩形斷面	可	可
斷面直徑	600mm~ 2400mm	2280mm~ 14100mm
工作井大小 (詳細如下表)	5.6mx2.4m~ 7.4mx4.8m	潛盾機長+6m

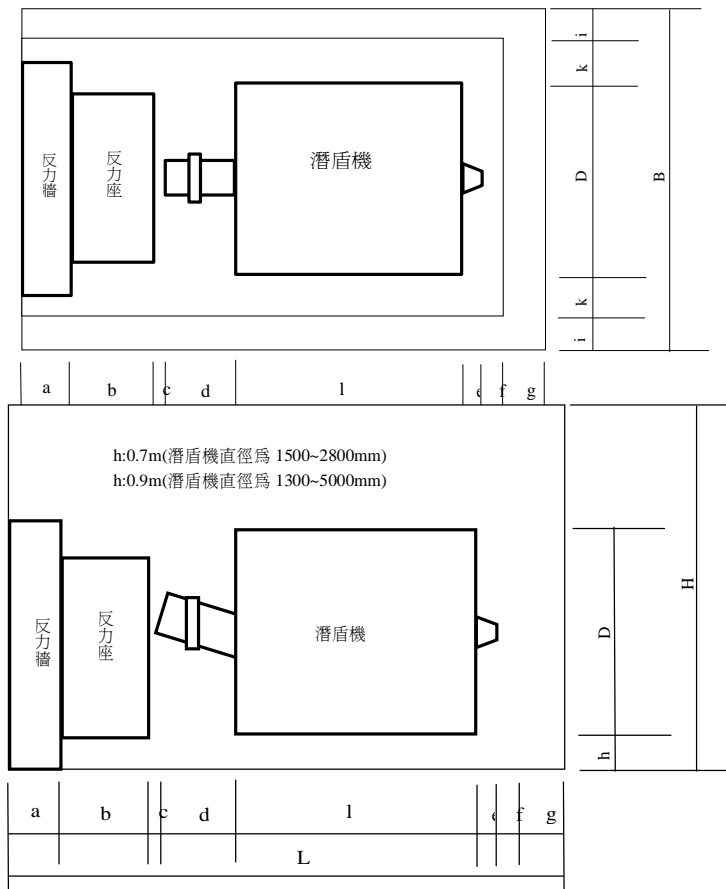
潛盾機與半潛盾機於規劃階段時亦須考量線路經過地點是否有適當地點具備足夠空間施設發進井及到達井，下列數表將潛盾與半潛盾發進井所需面積整理如下：

潛盾發進井所需最小尺寸表

潛盾隧道完成內徑	工作井所需長度 (L)										寬度 (B)			
	連續壁壁厚 (a)	反力座 (b)	間隙 (c)	螺運機突出部 (d)	潛盾機機頭部 (e)	間隙 (f)	發進坑口 (g)	a+b+c+d+e+f+g (h)	潛盾機主體長 (i)	合計 (j)	潛盾機外徑 (D)	支撐型鋼寬幅 (k)	間隙 (l)	合計 (m)
1,200	500	1,800	50	1,300	600	200	300	4,750	3,500	8,300	1,922	400×2	600×2	4,000
1,350	500	1,800	50	1,300	600	200	300	4,750	3,500	8,300	2,122	400×2	600×2	4,200
1,500	500	1,800	50	1,300	600	200	300	4,750	3,500	8,300	2,272	400×2	600×2	4,300
1,650	500	1,800	50	1,600	700	200	300	5,150	3,600	8,800	2,472	400×2	600×2	4,500
1,800	500	1,800	50	1,600	700	200	300	5,150	3,800	9,000	2,672	400×2	600×2	4,700
2,000	500	1,800	50	2,000	800	200	300	5,650	3,900	9,600	2,872	400×2	600×2	4,900
2,200	500	1,800	50	2,000	850	200	300	5,700	4,000	9,700	3,072	400×2	600×2	5,100
2,400	500	1,800	50	2,200	850	200	300	5,900	4,000	9,900	3,272	400×2	600×2	5,300
2,600	500	1,800	50	2,200	900	200	300	5,950	4,100	10,100	3,472	400×2	600×2	5,500
2,800	500	1,800	50	2,300	900	200	300	6,050	4,300	10,400	3,680	400×2	600×2	5,700
3,000	600	2,000	50	2,300	900	200	400	6,450	4,300	10,800	3,930	400×2	700×2	6,200
3,250	600	2,000	50	2,300	950	200	400	6,500	4,400	10,900	4,180	400×2	700×2	6,400
3,500	600	2,000	50	2,700	1,050	200	400	7,000	4,400	11,400	4,430	400×2	700×2	6,700
3,750	600	2,000	50	3,100	1,150	200	400	7,500	4,500	12,000	4,680	400×2	700×2	6,900
4,000	600	2,000	50	3,200	1,250	200	500	7,800	4,500	12,300	4,930	400×2	700×2	7,200
4,250	600	2,000	50	3,300	1,250	200	500	7,900	4,700	12,600	5,240	400×2	700×2	7,500
4,500	600	2,000	50	3,400	1,350	200	500	8,100	5,100	13,200	5,540	400×2	700×2	7,800
4,750	700	2,000	50	3,400	1,400	200	500	8,250	5,600	13,900	5,840	400×2	700×2	8,100
5,000	700	2,000	50	3,500	1,500	200	500	8,450	6,000	14,500	6,150	400×2	700×2	8,400

備註：1. 完成內徑超過 5 公尺以上時，其發進井之尺寸應另行檢討之。單位(m m)

2. 本尺寸表係從連續壁外側開始計算，其實際所需壁厚 (a) (g) 應視地質條件、開挖深度和潛盾機之推力等另行計算之。



圖二 工作井立面尺寸符號示意圖

(潛盾工程常見問答集，中華顧問工程司)

半潛盾機工作井需要面積 (超流半潛盾協會)

管類	管徑	φ 1500	φ 1650	φ 1800	φ 2000	φ 2200	φ 2400
		發進井	長	6.80m	7.20m	7.40m	7.40m
	寬	3.60m	4.00m	4.00m	4.40m	4.40m	4.80m
到達井	長	4.00m	4.40m	4.40m	4.40m	4.40m	4.40m
	寬	3.60m	4.00m	4.00m	4.40m	4.40m	4.80m
回收型發進井	直徑	φ 3000	φ 3000	φ 3000	φ 3500	φ 3500	φ 4000

玖、潛盾對於既設建築受震反應之影響

潛盾工程由於經常緊鄰民房而不免引起民眾對於潛盾工程對於既有建築物（自身財產）之結構安全造成影響，依財團法人中興工程顧問社採用動力分析程式 FLUSH 分析土體隧道及建築物之受震反應，其結果顯示：『潛盾隧道存在對於地表受震反應譜之影響範圍主要介於周期 0.15 至 0.3 秒之間，與一般低樓層建築物之約 0.45 秒以上之自然周期有所不同，因此隧道存在及其所在深度之變化，對於建築物受震反應之影響均極其有限』（中興工程第 88 期,p.109~p.112）

拾、潛盾工程相關設備

一、防水閘門

關西電力位於穿越淀川河底之潛盾洞道，考量潛盾破壞滲水甚至湧水之情況，可能造成大量湧水進入變電所，甚至由此管道波及鄰近民宅造成淹水，因此於河川段的兩端設置鋼製防水閘門；此防水通道設置了感知設備，若洞道淹水，防水閘門將自動關閉。

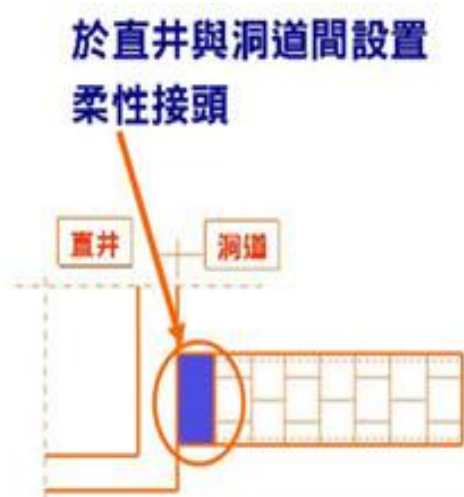


另外此防水閘門除了設置現有電纜之穿越孔外，也預留了將來擴充之穿越孔。

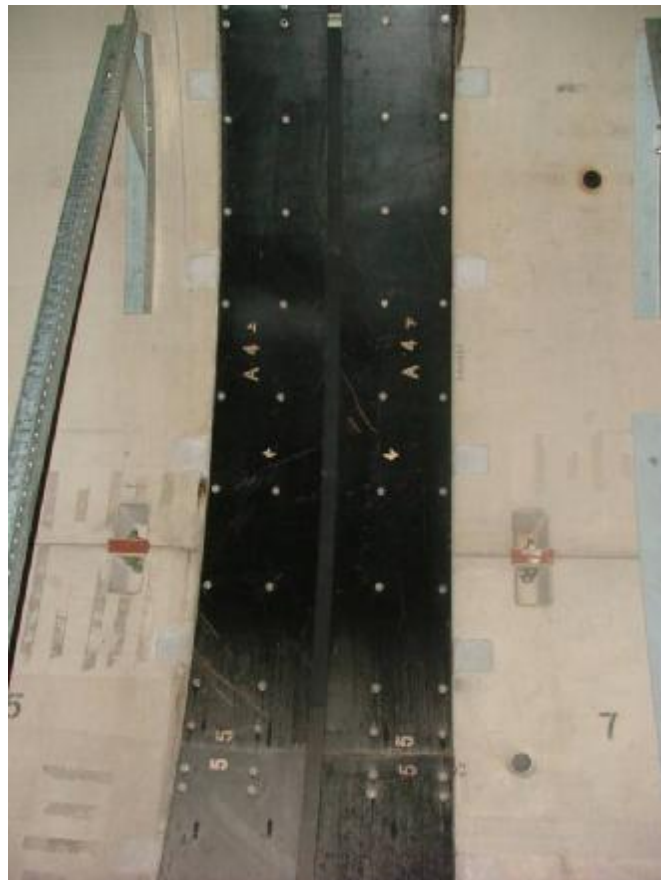


二、柔性接頭

避免直井與洞道因質量差異甚大，致地震力使兩者位移不同，而對結構體產生不利之影響



(上：中華顧問工程司)



拾壹、心得感想

此次前往日本實習，日本工程界面對嚴苛的施工條件所因應衍生出來源源不絕、充滿創造力的工程技術讓人讚嘆折服不已；諸如前述之T分歧潛盾、非圓形斷面潛盾、地中接合等等，均迥異台灣地區實地所習見之潛盾形式，又藉此機會與實際參與工程的工程師們當面請益討教，對潛盾工程相關工作確有進一步之認識。另外結合推管與潛盾之半潛盾工法在本公司雖有少數案例，但如前所述之特殊切削機頭仍尚未在本公司現階段工程進入實用階段，面對可預見的未來，道路明挖施工已漸漸不易被道路經管單位所接納，埋深小於潛盾之半潛盾工法尚有轉彎半徑小之優勢，值得進一步深入學習。

除此之外，在日本最讓我印象深刻的是不論負責任何任務的工程師，言談之間均流露出對工作的執著熱情以及眼底藏不住的一絲絲驕傲。也因為對工作懷有崇敬之情，反映在工地現場就是整潔的機具擺放、一絲不苟的嚴謹態度。同時為了工作效率，絕不在潛盾洞道內堆放與工程進行中不相關的器材，對於工地安全衛生管理的堅持令人印象深刻。日方的技術或許可以在未來幾年內逐步轉移，但他們對於工作執著的態度更是我們學習的榜樣。

拾貳、建議事項

- 一、因應未來電力設施地下化的民意要求日漸提高，地方政府亦對架空線路採取消極的反對態度，由此於都市中採取上述免開挖工法之地下電纜的需求亦相對提高，惟上述工法目前在輸電設施之應用仍屬少數案例，因此初期仍採取委外規劃設計服務工作，未來應逐步從有效合理訂定規範開始，並有計畫的辦理訓練，終期將土木、機電工程的設計、施工、監造管理之技術有效的轉移，以期未來減少工程介面，讓工程推展更順利。
- 二、特殊或大型計畫工程應完整保存資料，包括圖資、施工影像、照片妥為保存，並於技術委外契約中加入簡報檔案、工程書面簡介、施工過程影像之工作項目，以作為外界參訪時使用，同時又可用於公司內部訓練之參考資料。
- 三、特殊型式之潛盾機可作為往後遭遇類似困難之解決方法，惟仍需注意其在本國雖有相當之工程實績，但在國內仍缺乏相關經驗，因此於委外設計及施工時均應謹慎小心，妥為評估規劃，以確保工程如期加入系統。

四、於上二變電所至地下潛盾洞道現場參觀時，瞥見變電所周邊之污水下水道之人孔蓋採取大阪市之象徵：天守閣，因此建議在不影響人孔蓋既有功能的條件下，在特定景觀地區使用造型人孔蓋。



拾叁、參考資料

1. 廖銘洋，「土壓平衡式潛盾施工法適用範圍和問題」(1989)
2. 冀樹勇、蔡明欣、翁孟嘉，「地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析」，中興工程第 88 期。
3. 台北市捷運局東工處網頁
<http://edpo.dorts.gov.tw/nefu-line/work/work1/ARTICLE/cb420/cb420-4.htm>
4. 松元文彦、酒井榮治，「泥濃式破碎型掘進機を用いた」，月刊推進技術
5. 中華顧問工程司，「潛盾隧道工法常見問答集」
6. 關西電力簡報資料
7. 三菱重工簡報資料
8. 藤田油機簡報資料
9. 超流半潛盾協會，「泥濃式推進工法設計指針、積算要領」
10. 中興工程科技研究發展基金會，日本隧道工程標準規範及解說【潛盾工法篇】
11. 地盤工學會，シールド工法の調査.設計から施工まで
12. 軟土潛盾隧道工程設計與實例手冊
13. 地工技術
14. TAC 株式會社技術資料
15. 戶田建設網頁
16. 大豐建設網頁
17. Autocon Composites Inc. <http://www.autoconcomposites.com/index.html>