

3.4.5 密閉型--土壓平衡式潛盾機

土壓平衡式潛盾機屬密閉式潛盾機的一種，藉由控制潛盾機推進速率以及切刃盤的旋轉，並保持開挖面的土壓和土倉內的壓力達到平衡的狀態，所以稱之為土壓平衡式潛盾機。此工法係於潛盾機前方設一密閉式土倉，土倉內充滿土砂，土砂亦充滿貫穿格板連接土倉及機體內部之螺運機，當潛盾機開挖前進時，藉螺運機旋轉之排土速度以控制土倉內之泥土壓力，並以此壓力平衡土壓及水壓。

土壓平衡式潛盾機施工案例1，參考湯程傑〔26〕論文：

1. 計劃緣由：美國聖地牙哥市南灣海洋放流計劃 (South Bay Ocean Outfall)〔49〕。
2. 施工項目：本工程以泥水式潛盾機施作外部直徑 10 m 的大口徑儲水管道，管道長度達 1.9 公里。
3. 施工目的：美國聖地牙哥市南灣海洋放流計劃 (South Bay Ocean Outfall) 將由污水處理廠處理過之廢水，經南灣陸上放流管及豎井經欲興建之海放管隧道及豎井 (riser) 排入大海 (Stephen et al. 1996)。
4. 地質條件：隧道開挖施工所遭遇之地層為聖地牙哥層 (San Diego formation)，地層結構主要含有大量的礫石、卵石、巨石，粒徑大於 2 mm 者超過 70%，而細料含量僅佔 7% 以下。
5. 重點問題：遭遇此卵礫石層及高地下水位地層，如何維持開挖面穩定且順利進行潛盾施工。
6. 處理解決對策：潛盾機在遭遇此卵礫石層，本工程在切刃盤上裝設切削輪，用以破除最大達 910 mm 之巨石，將其切削成小直徑之碎屑以便順利通過螺運機，不致造成機頭因巨石造成無法推動或無法順利將其破碎而停滯。在切刃盤上的切削齒表面施以特殊硬化處理，使其抗磨損能力增強。使用泡沫工法潤滑切削齒和卵礫石之切削介面，增加切削齒之耐用程度，泡沫潤滑則可以避免造成細粒料堵塞土倉之情況。本工程潛盾機在海平面以下約 57 m 的卵礫石層中實施潛盾推進，地下水壓平均高達 6.02 kgf/cm^2 ，詳圖 38 (湯程傑，〔26〕)。所示潛盾機必須能夠抵抗高地下水壓而達成土壓平衡狀況。本工程環片之設計，也因為高地下水壓狀況而加強環片的水密性及強度。

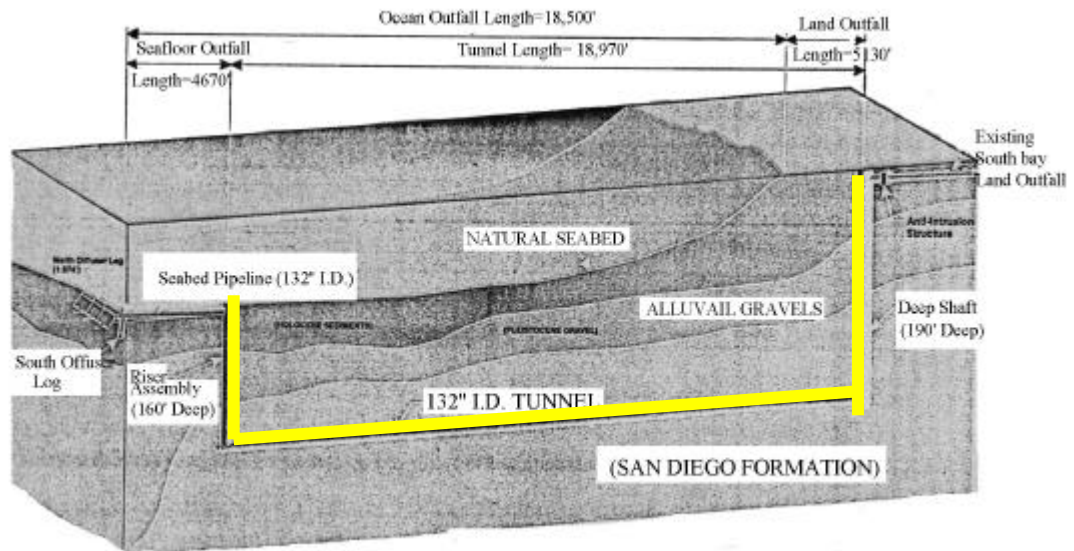


圖 38 南灣海上放流管位置及剖面圖
資料來源：摘自 (after Stephen et al., 1996) [49]

土壓平衡式潛盾機施工案例 3，參考湯程傑 [26] 論文：

1. 計劃緣由：日本大阪防洪計劃 (Kitamura and Ohbayashi 1981) [41] 於 1974 年在大阪市東方建造 8.8 km 長之下水道。
2. 施工項目：本計劃共分為 7 個 Block，其中 Block 3 則採土壓平衡式潛盾機施工。原 Block 2 全長 1.6 km，以手挖式潛盾機配合壓氣工法施工。
3. 施工目的：在下水道施工前，大雨所降之雨水直接由地面流向 Hiraro 河，地面逕流區域造成大阪市東方許多地區洪水氾濫。大阪防洪計劃使原先地面逕流的部分直接流入下水道內 (Tennoji-Benten Giant Trunk Sewer) 然後直接流至 Benten 抽水站，最後排至 Ohkawa 河，以解決大阪市東方區域的水患。
4. 地質條件：Block 3 沿線地質狀況如圖 39，開挖土層可分為砂土及礫石、砂質粉土以及黏土三種，其粒徑分佈如圖 40 所示。
5. 重點問題：本工程以直徑 6.75 m 的土壓平衡式潛盾機在地盤中掘進，發進處隧道中心線深度約為 16 m，隨即以 1.3 % 的坡度向上爬升前進。到距離出發井約 900 m 處，隧道中心線深度只剩 8 m，覆土深度更只有約 4.5 m，加上 Sennichi 地下鐵以及地表鐵路的通過，施工更加困難。
6. 處理解決對策：在出發井處前方 240 m 內的土質為砂土及礫石，由粒徑分佈圖得知其礫石含量大於 55%，因此在切刀盤上裝設切削輪及切削齒，用以切削大直徑的卵礫石。防止砂土和礫石隨著開挖而崩落至開挖面，開挖面的上半部土壤採用化學灌漿，以確保開挖面的穩定性。隧道中心線處水壓約為 1.3 kgf/cm²，所以在螺運機後方加設錐式閘門 (cone valve) 用以控制出土量，防止切削土體隨著高水壓湧出螺運機，可能引致大量地表沉陷。尾處因尾隙閉合導致大規模沉陷，所以在潛盾機開挖面上方以化學灌漿工法改良其強度。施工導致之地表沉陷在砂土以及礫石段約為 20 mm，黏土段約為 40 mm，粉土段約為 60 mm。其原因除了不同土層其不同之強度及勁度不同，會造成不同的沉陷外，隧道深度越淺，施工所造成的地表沉陷量越大。

7. 土壓平衡式潛盾機施工優點：土壓平衡式潛盾機通過卵礫石地層，需要用切刀盤上的切削輪以及切削齒將卵礫石破除並磨碎成較小粒徑的碎屑，以便通過螺運管。
8. 土壓平衡式施工缺點：若是切刀盤上的切刀齒數目不夠或是硬度不足，可能因為切刀齒快速磨損耗盡使得切削能力下降，此時大直徑的卵礫石隨著切刀盤的旋轉而跟著被帶動，但是無法順利進入螺運機內，盾首前方堆積的許多大顆粒卵礫石造成切刀盤旋轉之阻力，甚至因切刀盤轉動遭受阻力太大而造成潛盾機旋轉的現象。

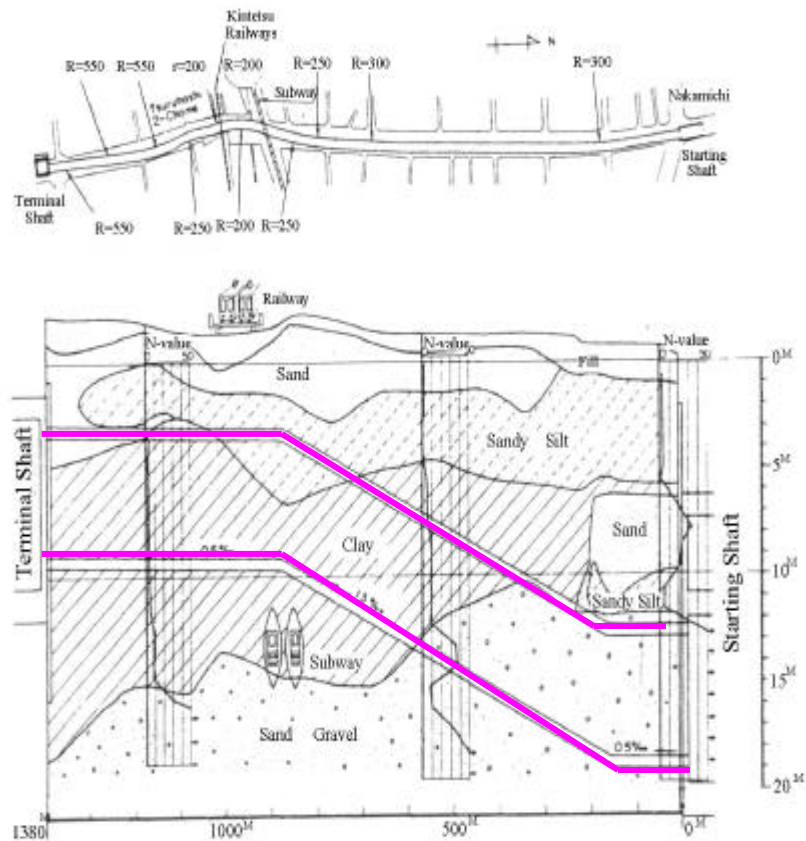


圖39 Tennohi-Benten 地下水主幹管 Block3 沿線及土層斷面
資料來源：摘自 (after Kitamura and Ohbayashi, 1981) [42]

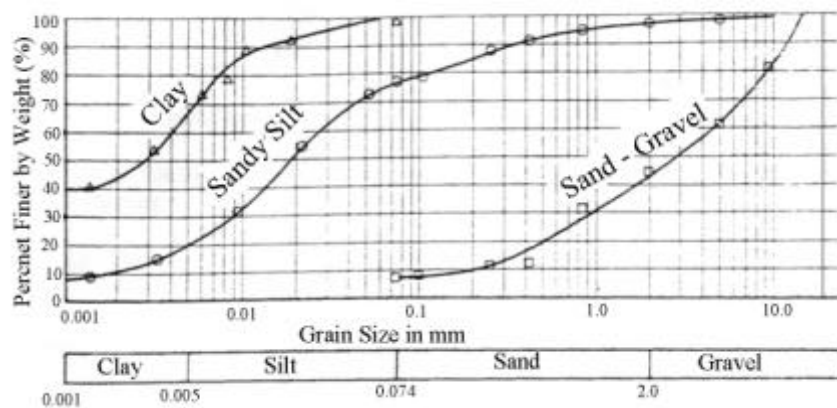


圖40 Tennohi-Benten 地下水主幹管 Block3 粒徑分佈曲線
資料來源：摘自 (after Kitamura and Ohbayashi, 1981) [42]

竹科三期第三期之三--放流管線潛盾案例簡介

本工程為新竹科學園區污水處理廠主要排放管線，為園區第三期開發工程，內徑為 1.65 公尺，第一次襯砌為鋼製環片，二次襯砌為無筋混凝土(二型水泥)加設耐酸鹼內襯 PVC 防蝕軟片，由於本管線採重力排放方式，管線埋設深度最深達 41 公尺，為避免妨礙市區道路交通，全線採用潛盾施工法施工，為縮短施工時程，本工程同時啟用三部潛盾機施作，並規定機具為新購機具，將竹科污水處理廠處理完成之放流水，穿越高速公路下方，排放至新竹市寶山路接近龍泉寺附近之工作井，銜接第二階段工程。

主要行經路段自東起園區污水處理廠之污水匯合井，放流管往下穿越中山高速公路路堤南下，再右轉沿新安路北側往西，最後延伸至寶山區北側前進，接至龍泉寺前之 3 號工作井與下階段管線工程銜接，由於本管線採重力排放方式，管線埋設深度最深達 41 公尺，為避免妨礙市區道路交通，全線採用潛盾施工法施工詳如圖 41，全長約 3546 公尺。

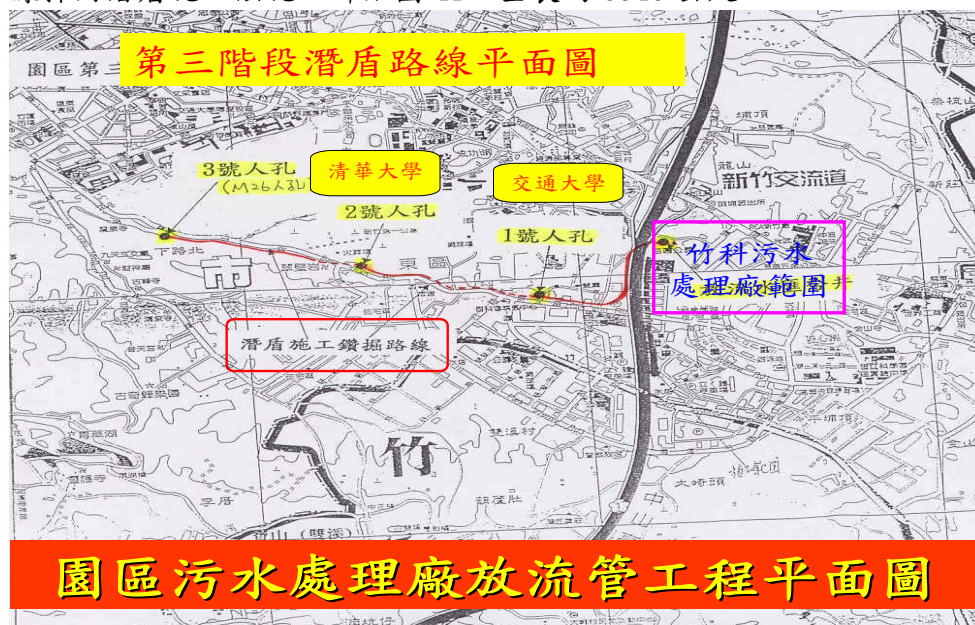


圖 41 園區污水處理廠三期之三放流管工程平面圖

地層狀況：

1. 本調查基地位於新竹科學工業園區內，由現場鑽探結果研判屬竹東丘陵區出露岩層為更新世之頭嵛山層及店子湖層。店子湖層主要由下部之礫石和上部之紅土所組成、礫石之組成主要為白色之石英岩、深灰色之砂質砂岩、深青色至黃棕色之鈣質砂岩及含少量的玄武岩及輝綠岩。
2. 礫徑通常在 10 至 20 公分之間，亦有達 1 公尺以上者，礫石層之厚度從數公尺至五、六十公尺不等其與上蓋之紅土層間大致為間移關係，其標準剖面下應為未受紅土化作用之礫石層，地質狀況詳圖 42 補充地質鑽探柱狀圖所示。

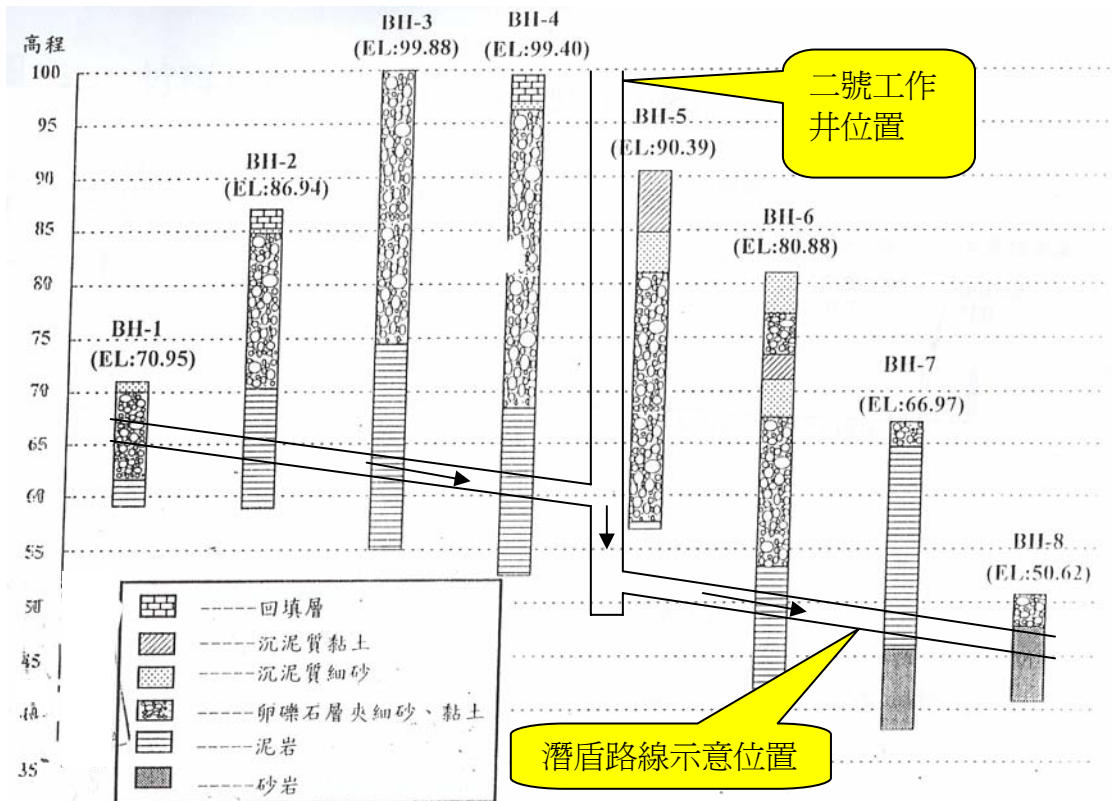


圖 42 新竹科學工業園區第三期開發工程第三期給水污水增設工程配合工程之三
--放流管線第三階段延伸工程 BH1~BH8 地質鑽探柱狀圖

資料來源：大亞土壤技術顧問有限公司，2002〔50〕。

本工程所採用之潛盾機係日本三菱之土壓平衡式潛盾機，詳如圖 43。



圖 43 竹科採用日本三菱土壓平衡式潛盾機

竹科三期第三期之二--放流管線潛盾案例簡介

本工程為新竹科學園區污水處理廠主要排放管線，銜接污水放流管第一階段管線終點，內徑為 1.65 公尺，第一次襯砌為鋼製環片，二次襯砌為無筋混凝土(二型水泥)加設耐酸鹼內襯 PVC 裡襯，由於本管線採重力排放方式，管線埋設深度最深達 22 公尺，為避免妨礙市區道路交通，全線採用潛盾施工法施工，全線主要地質狀況為礫石層、砂岩、砂質有機土、泥岩，管線覆土深度最淺約 5 公尺，最深約 23 公尺。依規定於沿線設置路面沉陷觀測點監控道路行車之安全，及沿線臨近建築物設置傾度儀監控建物，是否因施工造成傾斜。

本工程為新竹科學園區污水放流專屬管線，全線採地下潛盾隧道掘進方式施工，施築內徑 $\phi 1650$ mm 之污水放流管，主要行經新竹市南大路轉食品路至寶山路龍泉寺旁止，詳如圖 44，施工全長約 1970 公尺，採土壓平衡式潛盾機施工。

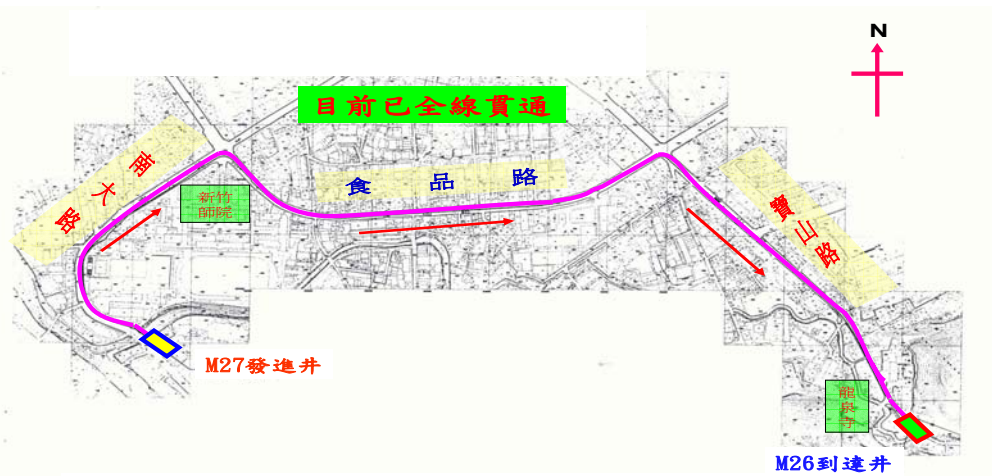


圖 44 園區污水處理廠三期之二放流管工程平面圖

依施做潛盾隧道經驗，並考慮本工程之地層狀況及工程特性，選擇岩盤對應型土壓平衡式潛盾機。

工法概要：

本工程掘進作業採用土壓平衡式潛盾機施工，在掘進刀盤之後設作泥室，並將由切刀盤掘削的土砂滲入作泥材料，然後攪拌翼片強力拌合，使掘削的土砂成為不透水性及塑性流動的泥土，充滿作泥室及螺旋輸送機內。在維持這種狀態中，利用盾體油壓千斤頂之推力使作泥室內之泥土產生泥土壓，以抵抗掘削面之土壓力及地下水壓力，使潛盾機之掘進量與排土量於平衡的狀態下繼續推進。

泥土壓＝靜止土壓＋地下水壓：

當潛盾機之掘進作業時，利用裝設於作泥室之土壓計，經常測定泥土壓力；為避免超挖影響鄰近地層，把潛盾機掘進速度、螺旋輸送機的回轉速度予以適度調整，使掘進保持穩定，並使原地面土壤之變化減至最低狀況。

地層狀況：

工程鑽探位置平面圖



圖 45 園區污水處理廠三期之二放流管工程鑽探位置平面圖

基地位於竹科內，由現場鑽探結果研判試驗 9 個鑽孔詳如圖 45，採用之土壓平衡式潛盾機頭斷面及剖面示意圖詳如圖 46 及 47，就本調查基地其地層分佈及其性質簡單由現地判斷地質情況說明如下表 10，另日本川崎市雨水幹線採用之加泥土壓平衡式潛盾機，詳如圖 48。



表 16 竹科三期之二放流管工程地質鑽探及土壤試驗結果報告表

鑽探記錄 Boring Data			試驗結果 Test Results									
土樣編號	錘擊數	取樣深度	土壤分類	顆粒分析			自然含水量 %	單位重 t/m ³	孔隙比 e	液性限度 %	塑性指數 %	比重 G _s
				卵礫石	砂	泥/粉土						
BH-1												
S-1	68	1.05-1.50	SP	42.0	14.0	44.0	4.6	2.01	0.39	-	-	2.64
S-2	36	2.55-3.00	SS	3.0	87.0	10.0	15.7	2.20	0.22	-	-	2.63
S-3	25	4.05-4.50	SS	0.0	82.0	18.0	11.1	2.18	0.23	-	-	2.64
S-4	26	5.55-6.00	SS	4.0	89.0	7.0	7.2	2.15	0.23	-	-	2.64
BH-2												
S-1	8	1.05-1.50	SM	0.0	80.0	20.0	25.8	1.90	0.52	-	-	2.67
S-2	58	2.55-3.00	SP	32.0	61.0	7.0	16.9	2.15	0.46	-	-	2.63
S-4	10	5.55-6.00	SM	0.0	73.0	27.0	27.9	1.89	0.53	-	-	2.68
S-5	41	7.05-7.50	SP-SM	28.0	69.0	3.0	16.1	2.15	0.44	-	-	2.64
S-6	22	8.55-9.00	SP	35.0	62.0	3.0	11.1	2.19	0.30	-	-	2.65
S-7	60	10.05-10.50	SP-SM	33.0	62.0	5.0	11.1	2.22	0.30	-	-	2.64
S-8	53	11.55-12.00	SP-SM	36.0	25.0	39.0	7.1	2.18	0.32	-	-	2.64
S-10	12	14.55-15.00	SM	0.0	82.0	18.0	7.4	1.92	0.53	-	-	2.68
S-13	33	19.55-20.00	SP-SM	62.0	29.0	9.0	6.9	2.25	0.22	-	-	2.65
BH-3												
S-1	37	1.05-1.50	SM	9.0	78.0	13.0	17.8	2.02	0.45	-	-	2.69
S-3	53	4.05-4.50	SM	7.0	79.0	14.0	16.8	1.98	0.50	-	-	2.66
S-4	15	5.55-6.00	SM	6.0	84.0	10.0	17.2	1.92	0.49	-	-	2.69
S-5	17	7.05-7.50	SW-SP	68.0	27.0	5.0	14.7	2.17	0.29	-	-	2.65
S-6	10	8.55-9.00	SM	5.0	84.0	11.0	16.8	1.90	0.48	-	-	2.68
S-7	11	10.05-10.50	SM	0.0	81.0	19.0	18.1	1.93	0.57	-	-	2.68
S-8	11	11.55-12.00	SM	0.0	77.0	23.0	20.1	1.93	0.57	-	-	2.68
S-9	11	13.05-13.50	SM	5.0	72.0	23.0	18.2	1.95	0.54	-	-	2.68
BH-4												
S-1	14	1.05-1.50	SP	65.0	25.0	10.0	7.6	2.04	0.29	-	-	2.63
S-2	37	2.55-3.00	SW	79.0	18.0	3.0	4.7	2.09	0.22	-	-	2.65
S-3	23	4.05-4.50	SP-SM	40.0	52.0	8.0	19.5	2.08	0.30	-	-	2.64
S-4	29	5.55-6.00	SP-SM	46.0	42.0	12.0	8.7	2.11	0.33	-	-	2.64
S-5	7	7.05-7.50	SM	0.0	75.0	25.0	19.5	1.88	0.51	-	-	2.68
S-6	9	8.55-9.00	SM	0.0	78.0	22.0	24.9	1.90	0.49	-	-	2.68
S-14	49	20.55-21.00	SP-SM	33.0	57.0	10.0	7.9	2.25	0.24	-	-	2.64
S-15	49	22.05-22.50	SP-SM	43.0	49.0	8.0	8.5	2.17	0.23	-	-	2.65
S-16	71	23.55-24.00	SP	33.0	57.0	10.0	7.9	2.25	0.24	-	-	2.63
S-17	9	25.05-25.50	CL	0.0	27.4	72.6	17.9	1.95	0.64	28.2	9.7	2.69
S-18	10	26.55-27.00	CL	0.0	23.7	76.3	15.8	1.91	0.59	25.8	12.3	2.70
S-19	11	28.05-28.50	CL	0.0	8.1	91.9	15.1	1.95	0.58	26.4	10.2	2.69
S-20	12	29.55-30.00	CL	0.0	22.1	77.9	16.6	1.96	0.59	28.5	8.7	2.70
BH-5												
S-1	4	1.05-1.50	SM	0.0	66.0	34.0	27.2	1.82	0.58	-	-	2.68
S-2	6	2.55-3.00	SM	0.0	62.0	38.0	19.8	1.83	0.62	-	-	2.68
S-3	7	4.05-4.50	SM	0.0	68.0	32.0	20.8	1.83	0.63	-	-	2.68
S-4	8	5.55-6.00	SM	0.0	71.0	29.0	17.1	1.87	0.59	-	-	2.68
S-5	12	7.05-7.50	SM	0.0	73.0	27.0	19.8	1.90	0.57	-	-	2.68
S-6	11	8.55-9.00	SM	0.0	72.0	28.0	24.3	1.88	0.62	-	-	2.68
BH-6												
S-1	7	1.05-1.50	SM	0.0	69.0	31.0	25.2	1.86	0.52	-	-	2.68
S-2	9	2.55-3.00	SM	0.0	73.0	27.0	24.7	1.91	0.55	-	-	2.68
S-3	9	4.05-4.50	SM	0.0	72.0	28.0	22.5	1.90	0.53	-	-	2.68
S-4	12	5.55-6.00	SM	0.0	77.0	23.0	19.5	1.92	0.49	-	-	2.68
BH-7												
S-1	7	1.05-1.50	SM	0.0	70.0	30.0	25.4	1.87	0.54	-	-	2.68
S-2	8	2.55-3.00	SM	0.0	75.0	25.0	22.8	1.90	0.52	-	-	2.68
S-3	8	4.05-4.50	SM	0.0	72.0	28.0	24.2	1.89	0.53	-	-	2.68
S-4	9	5.55-6.00	SM	0.0	68.0	32.0	26.1	1.93	0.59	-	-	2.68
S-5	21	7.05-7.50	SM	0.0	83.0	17.0	19.8	2.00	0.47	-	-	2.68
BH-8												
S-1	9	1.05-1.50	SM	0.0	72.0	28.0	22.1	1.90	0.53	-	-	2.68
S-2	8	2.55-3.00	SM	0.0	73.0	27.0	24.7	1.89	0.55	-	-	2.68
S-3	12	4.05-4.50	SM	0.0	78.0	22.0	20.5	1.95	0.53	-	-	2.68

資料來源：摘自 臺灣水利土木工程顧問有限公司，1996〔51〕。

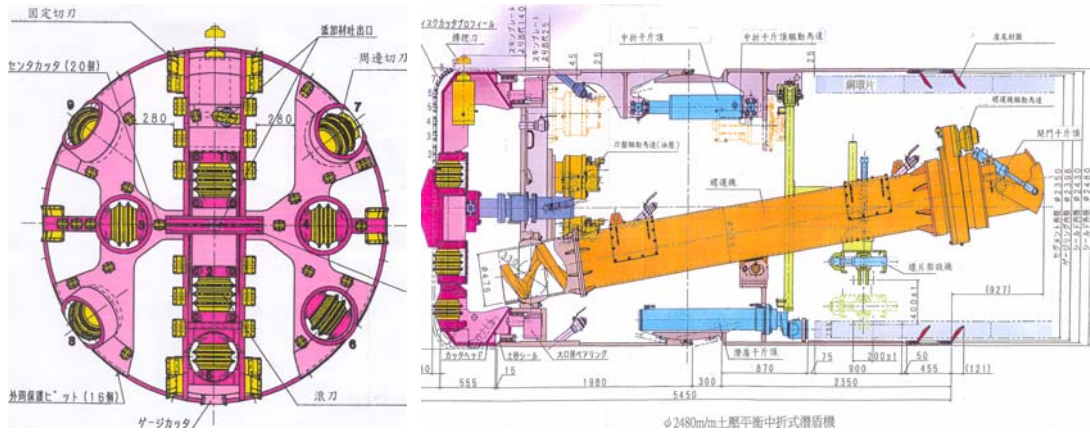


圖 46 土壓平衡式潛盾機頭斷面及剖面圖示意圖



圖 47 竹科採用日本三菱重工業株式會社之土壓平衡式潛盾機



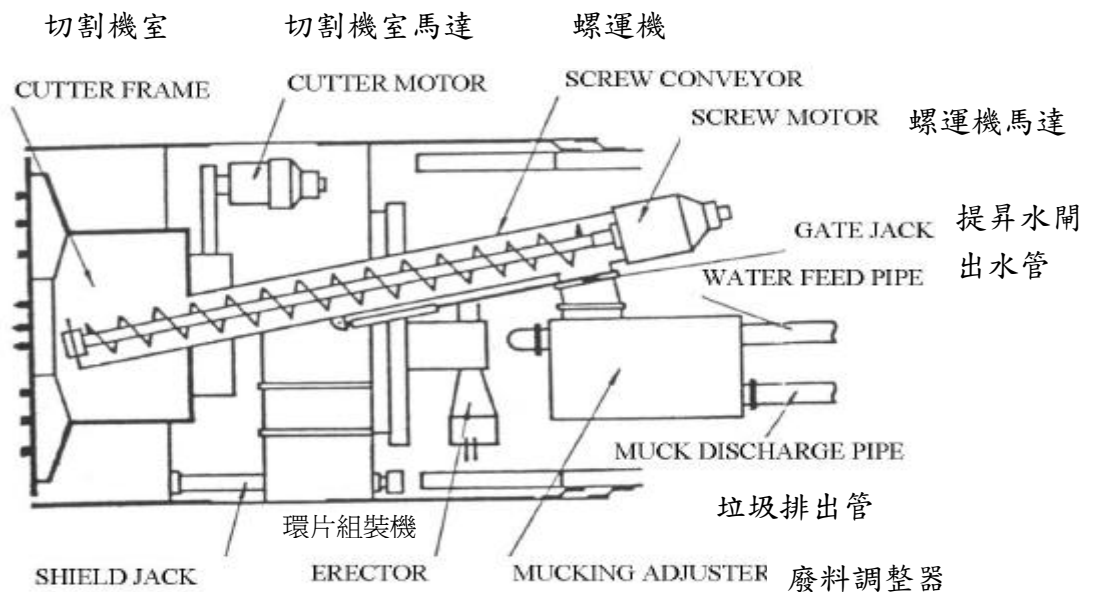
圖 48 日本川崎市雨水幹線採用之加泥土壓平衡式潛盾機

資料來源：摘自 日本三菱重工業株式會社提供，2002〔48〕。

3.4.6 密閉型--水壓式土壓平衡潛盾機

水壓式土壓平衡潛盾機 (water pressure type earth pressure balanced shield tunneling machine) 構造如圖 49，為傳統土壓平衡式潛盾機加以改良後，專門對付含高滲透性及高地下水壓的地層狀況，例如砂土、卵礫石等。其潛盾機主要功能如下，參考湯程傑〔26〕論文：

1. 在切刀盤上設置切削輪及切削齒，用以破除大直徑的卵礫石。
2. 與土壓平衡式潛盾機不同的是排土調整倉後接供給水壓管 (water feed pipe)，以水壓抵抗開挖面高地下水壓。
3. 被切削之土體由切削面進入土倉中，與水混合成泥漿，然後隨著螺運機進入排土調整倉 (mucking adjuster)，排土的速率由水力閘門 (hydraulic gate) 控制。
4. 當切削完成或遇到緊急事件，可關閉閘門來停止排土。
5. 泥漿進入排土調整倉並去除卵石之後，其餘泥漿就由排泥管 (muck discharge pipe) 送至泥水處理設備處將水分離再使用，而開挖土體包含礫石、砂土、粉土及黏土。
6. 此種開挖土體與水混合的泥漿，運送起來比單一開挖土體更為容易，而且也沒有泥水式潛盾機使用的皂土液可能造成的污染問題，所以可改善土壓平衡式潛盾機和泥水式潛盾機的缺點。
7. 水壓式土壓平衡潛盾機通常用於砂土及卵礫石的地層中。粉土及黏土由於透水係數小，並不需要使用水壓式土壓平衡潛盾機來掘進隧道。
8. Matsushia (1979)〔52〕曾報告水壓式土壓平衡潛盾機於日本東京下水道、東京及大阪的電廠隧道的使用實際案例，上述三案例之地質為礫石夾砂土或粉土，其透水係數介於 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ cm/sec，所以不但在礫石層需要潛盾機有破除礫石的設施，更要利用水壓管提供壓力來平衡高地下水壓。



千斤頂

圖 49 水壓式土壓平衡潛盾機示意圖

資料來源：摘自 (after Matsushita, 1979)〔52〕

3.4.7 密閉型-泥水加壓式及土壓式潛盾機

為廣泛適用卵礫石、岩盤等複雜地層之潛盾隧道施工，具備 T.B.M (Tunnel Boring Maching) 構造如圖 50 功能之密閉型 (泥水加壓式及土壓式)

潛盾機已研發成功，並業已達實用化階段，詳如下〔28〕案例：。

1. 礫泥水潛盾機案例 1：

計劃緣由：公共下水道西条污水幹線管渠建設工事。

施工項目：日本廣島市公共下水道，施工長度 1475 公尺，潛盾機外徑 2480mm，卵礫石最大粒徑為 500 mm，機頭採用切削盤設計，針對卵礫石去改善岩盤掘削能力將潛盾機進行改造。

2. 岩盤併用型潛盾機案例 2：

計劃緣由：中央幹線送水管工事西千代丘工區。

施工項目：日本奈良線上水道施工長度 1281 公尺，潛盾機外徑 2350mm，卵礫石最大粒徑為 500~1000 mm，機頭採用雙切削盤設計，使用岩盤併用型土壓式潛盾機施工。

3. 泥水加壓式岩盤潛盾機案例 3：

計劃緣由：中央污水幹線建設工事第 2 工區。

施工項目：日本津山市大手町下水道施工長度 854.8 公尺，潛盾機外徑 2190mm，潛盾機開口率 17%，機頭採用雙切削盤設計，使用岩盤併用型泥水式潛盾機施工。

綜合以上，潛盾機型之選擇，必須更充分考慮到卵礫石層之特性及地下水高程，開挖掘進長度等去選擇最適當的機型。在日本之卵礫石層潛盾施工案例較多，以加泥土壓平衡式之適用範圍最廣泛。

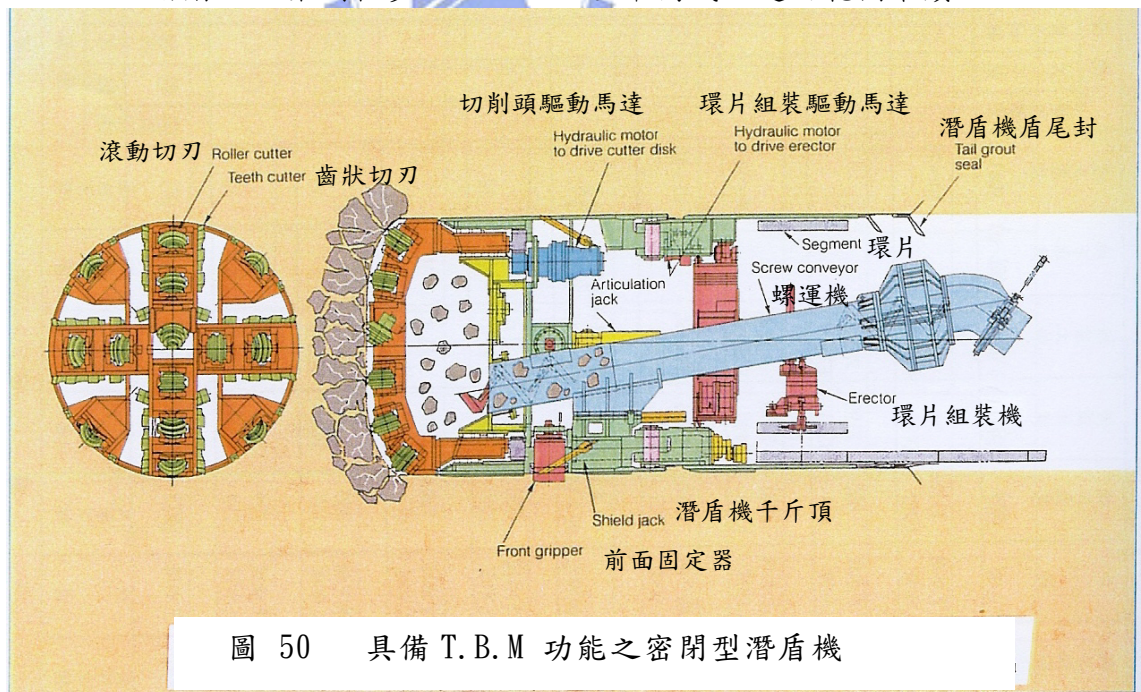


圖 50 具備 T.B.M 功能之密閉型潛盾機



圖 51 適用於卵礫石層之各式潛盾機

參考資料：圖 50-51 摘自中華顧問工程司 大地工程部，1996 年 7 月）〔28〕

3-5 施工管理

為提昇下水道潛盾施工遭遇礫石層隧道施工品質，建議必須從施工管理上進行PDAC品質管制，使施工人員能有效率的執行所交付之責任。

影響潛盾隧道之主要施工品質之項目說明如下：

1. 下水道潛盾開挖面施工，所造成崩塌、蛇行、超挖與潛盾機盾尾空隙所造成開挖過後地層內之空洞。
2. 工作井採降水輔助工法、開挖面地下湧水、鋼環片或RC環片襯砌漏水及施工壓氣工法等所造成地下水位降低或隧道內滲水。
3. 鋼環片或RC環片襯砌材料之製作、環片安裝精度及止水材料安裝施工和背填灌漿正確的配比和施工，都會影響施工品質。

基於上述針對品質管制之項目，提出下水道潛盾施工管理的重點如下：

1. 潛盾機開挖面穩定管理：防止潛盾隧道開挖面施工，所造成崩塌或損壞。
2. 潛盾隧道掘進管理：挑選經驗豐富的操作手進行隧道掘進工作，有效控制潛盾開挖土量及防止蛇行開挖，左右控制在5公分及上下控制在2公分以內。
3. 襯砌環片組裝管理：鋼環片或RC環片是否事先準備且試驗母材、環片組裝真圓度、焊道磁粉探傷檢驗（鋼環片）合格，膨脹性橡膠止水材是否固定良好、現場環片螺栓組裝是否緊密及環片是否變形或施工中造成損壞影響品質。
4. 襯版背填灌漿管理：事先準備好材料及配比和選擇適當的時機進行灌漿，灌漿時注意是否確實按順序進行且襯版上方能確實填充無空隙產生。

目前日本所採用之密閉型潛盾機，施工管理方式大都採用中央控制系統操作施工，惟施工管理技術的提昇仍須仰賴現場技術人員的操作及其對卵礫石地層潛盾施工特性之瞭解與認知，將施工實際狀況藉由測量與潛盾施工出土量與潛盾機頭反應出聲音與狀況，去研判施工掘進的情形，順利進行潛盾掘進施工，使施工管理能確實掌握。

3.6 國內外下水道潛盾施工遭遇礫石層案例分析結果

因卵礫石顆粒大且強度高，可能對潛盾機之推進造成不利之影響，在探討潛盾工法遭遇礫石層的重點，除了卵礫石層地質與地下水的調查外，針對潛盾機施工之輔助工法與施工遭遇高地下水位、密閉式潛盾機的改良等問題進行探討加強注意施工管理，期能藉由國內外案例的探討對國內從事潛盾機遭遇礫石地層案例施工者能有所助益，彙整詳如表 17。

表 17 國內外下水道潛盾遭遇礫石層施工案例分析結果表

探討項目	特性	注意事項	備註
輔助工法	地盤改良改良後的透水係數 K 須在 10^{-5} cm/sec~ 10^{-6} cm/sec 之間，於鏡面破除時，才不會引起土砂崩坍現象。	灌漿工法為潛盾施工時最常用的輔助工法施工時需注意原來之地下管線須保護措施地盤凍結工法在臺灣地屬亞熱帶，較不適用。	地盤凍結工法地下水充沛，地下流速不正常，不適合使用。
施工遭遇高地下水	開放式潛盾機施工時，開挖面可能須克服遭遇高地下水位造成地下水流滲入隧道造成開挖面不穩定問題。	潛盾開挖之前，常利用點井或深井、真空抽水等方式將地下水位降低，但抽水可能增加地層內之有效應力，易造成對地盤產生壓密作用引致地表地盤沉陷	開放式潛盾機使用人工或機械設備直接挖除隧道土體，缺乏有效擋水設備以平衡潛盾機外部的壓力，故逐漸少採用。
密閉潛盾機改良	為了克服卵礫石大粒徑、高硬度、及高透水性的特性，潛盾機加裝特定設備以利於通過卵礫石地盤。	切削鑽頭及切刀應具持久性及可更換性，潛盾機千斤頂推力遇卵礫石層通常使用較大，依卵礫石大小選擇處理設備	潛盾機掘進後之卵礫石粒徑較大，所以要切削成適合螺運機通過的尺寸土壓平衡式潛盾機才能進行排土的程序。
各式潛盾機選擇	開放式潛盾機施工漸少用，在日本之卵礫石層潛盾施工案例較多，以加泥土壓平衡式之適用範圍最廣泛。	在日本之潛盾工法中，潛盾機採用之趨勢為密閉型 96.9%、開放型 2.6%、其他型式 0.5%，密閉型占絕大多數。	潛盾機型之選擇，必須更充分考慮到卵礫石層之特性及地下水高程，開挖掘進長度等去選擇最適當的機型。