

第一章 緒 論

1.1 研究動機與目的

依據 2003 年瑞士洛桑學院(IMD)國家競爭力評比,「污水下水道普及率」報告中指出我國衛生下水道用戶接管普及率是在全球主要的 52 個國家中,排名第 49 名〔1〕。臺灣地區衛生下水道全國用戶接管普及率依據內政部營建署統計至 2004 年 7 月止僅達 13.0%。衛生下水道建設是現代化國家競爭力指標,故行政院核定之『挑戰 2008—國家發展重點計畫』中下水道建設將由政府自辦污水系統 53 處,民間參予系統 36 處,總建設經費達 1371 億元〔2〕。將在臺灣地區大興土木的展開,故下水道潛盾施工技術的提升與研究就更彰顯其重要性。

因需求量增加使地下幹管與下水道主要幹管之施工日漸重要,為確保都市道路交通順暢及減少道路挖掘、降低施工噪音與震動,考慮其施工處之地質狀況、經濟成本效益及施工用地取得困難等問題,主要幹管施工方式已逐漸採用潛盾施工工法取代傳統明挖覆蓋工法,但針對下水道潛盾施工遭遇礫石層之案例較少,更突顯其重要性與研究價值。

本研究從國外已發表之期刊及研討會論文集與研究報告,廣泛地收集日本、英國、美國與國內新竹科學園區污水管線潛盾機施工時遭遇礫石層之施工案例,希望從國外施工案例中獲得寶貴施工經驗,提供國內下水道潛盾施工遭遇礫石層施工時之參考。並提出下水道潛盾施工實務創新的施工建議事項與防災對策,以期能更有效解決下水道潛盾施工問題並預防災害發生為本研究之主要動機與目的。

1.2 研究範圍與內容

本研究範圍係著重於下水道潛盾施工作探討。

下水道係指排除及處理下水而設之公共下水道及專用下水道。

下水包括家庭污水、雨水及事業廢水〔3〕。

潛盾工法係於地下掘進，其掘進中能有效防止土壤的崩塌，在內部安全的從事開挖作業及襯砌作業之隧道工法〔4〕。

在土壤統一分類上，粒徑大於 2mm (AASHTO 土壤分類法) 的顆粒可再細分為粒徑 4.75mm~75mm 者為礫石 (gravel)，粒徑 75mm~300mm 者為卵石 (cobble) 及粒徑大於 300mm 者為巨石 (boulder)。

下水道管道施工可區分為明挖工法、小管推進工法、中大管推進工法、潛盾工法，詳如表 1，本研究係針對下水道主幹管---潛盾工法施工部份進行探討。

表 1 衛生下水道管線施工方法特性分析

施工方法	明挖工法	小管推進工法	中大管推進工法	潛盾工法
項目				
適用內徑〈mm〉	300 以下	700 以下	800-2000	1500-5000
最長推進距離〈M〉	可長距離施工	100	200	可長距離施工
沿線狀況	交通流量小、鄰近屋舍疏落	交通流量大、鄰近屋舍密集	交通流量大、鄰近屋舍密集	交通流量大、鄰近屋舍密集
地面妨礙物及地下埋設物	較易遷移	遷移困難	遷移困難	遷移困難
曲線施工	可	困難	不易	可
蛇行修正	---	難	較難	較易
最小覆土厚度 D：管徑	---	1.0~1.5D，且必須 1.5M 以上， D：管徑	1.0~1.5D，且必須 1.5M 以上， D：管徑	1.0~1.5D，且必須 3.0M 以上
工期	短	短	短	需第二次襯砌，工期較長
設備規模	小	小	中	大
公害問題	大	小	小	小

資料來源：詳如(倪至寬，2005)〔5〕。

1.3 研究論文組織

本研究論文共分六章。第一章為緒論。第二章為下水道潛盾施工沿革與卵礫石層工址調查：收集包含潛盾相關的重要文獻，對潛盾機施工之沿革及原理及適用地質狀況、施工引起地表沉陷之原因、既設構造物與道路之保護、卵礫石層工址調查等進行有系統之整理。第三章為國內外下水道潛盾施工遇礫石層案例：收集國內、外含礫石層施工案例，歸納整理如下：

1. 地盤改良輔助工法。
2. 開放式潛盾機遭遇高地下水位施工方式。

3. 密閉式潛盾機的改良。
4. 國內外潛盾機施工遭遇卵礫石層案例探討。
5. 施工管理。

共五項進行探討研究而得到案例分析結果。

第四章為潛盾施工遭遇礫石層問題解決與處理對策：針對第三章之案例，提出問題解決與處理對策並彙整提報問題結論與建議。

第五章為下水道潛盾施工災害原因與防災對策研究：說明潛盾施工作業發生職災的原因與類型及施工安全評估，提出下水道潛盾施工作業流程（含安衛）與建議注意事項，並藉由安全管理架構之研擬與工安問題之處理與防災對策之研究，防範災害於未然，努力達到施工零災害為目標。

第六章為結論及建議。

1.4 研究方法與流程

本研究方法係採用以下方法加以分析探討詳如圖 1：

1. 有關潛盾施工技術文獻與論文、期刊探討分析法：

廣泛地收集日本、英國、美國等潛盾施工遭遇礫石層之案例、潛盾工法設計與施工實例資料、潛盾論文報告、期刊、研究報告等加以探討分析。

2. 訪談法與電腦上網資料蒐尋法：

- (1) 實地拜訪大型專案管理顧問公司，收集有關潛盾施工及設計經驗加以分析，進行潛盾施工管理之注意事項與設計理念、遭遇問題之解決對策與經驗分享，加強佐證研究內容正確性。
- (2) 實地拜訪潛盾施工專業承商，收集有關潛盾施工實務經驗及最新潛盾施工技術，加強進行潛盾營建管理之探討與施工技術之改良。
- (3) 請潛盾機製造廠商提供最新潛盾機型式，以瞭解最新技術發展趨勢，獲得日後潛盾機施工展望。
- (4) 上網查詢對論文研究有關之潛盾相關資料。

3. 實際潛盾施工案例蒐尋比較歸納法：

依據國內外潛盾隧道施工實際案例遭遇到問題之探討比較、施工安衛注意事項研究、以期達到施工零工安事故；並歸納出潛盾施工問題解決方式，作為日後下水道潛盾施工遇礫石層之案例施工參辦。

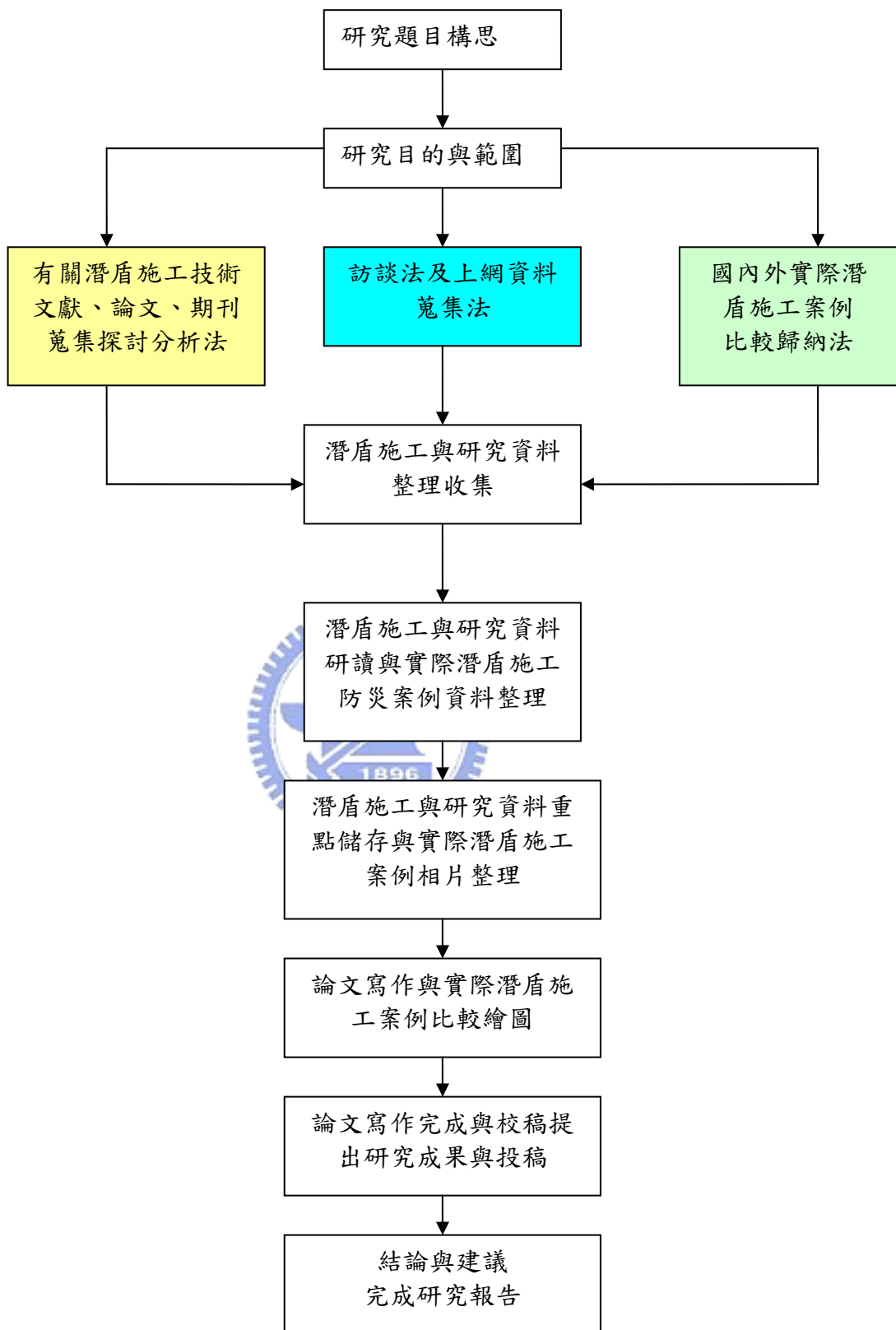


圖 1 本研究架構與流程圖

第二章 下水道潛盾施工沿革與卵礫石層工址調查

本章節係介紹下水道潛盾工法沿革及施工原理、潛盾機型式、潛盾工法之優缺點、各型式潛盾機適用地質狀況、施工理論基礎和下水道施工從設計排放污水量觀點探討、施工引起地表沉陷之原因、對現有建物與道路之保護及卵礫石層工址調查共八項加以說明。

2.1 下水道潛盾工法沿革及施工原理

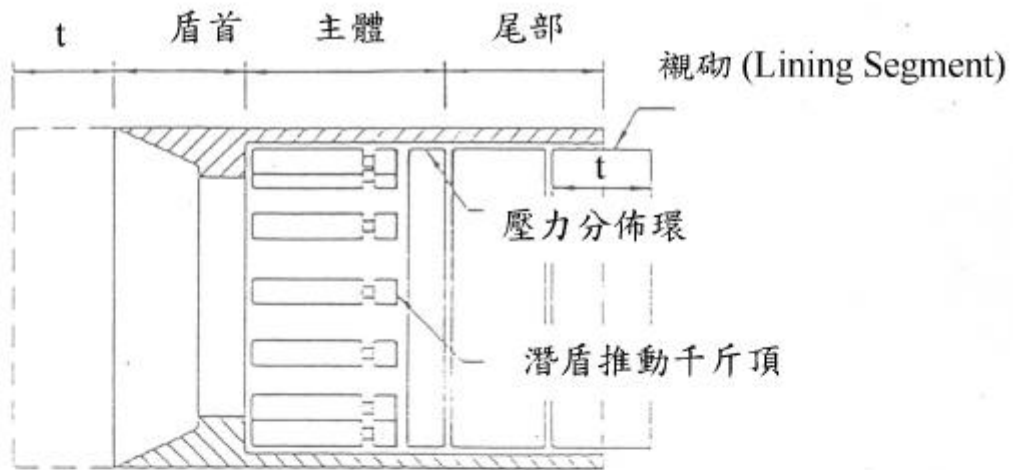
十九世紀法國工程師M.I.Brunnel 觀察發現木殼船因鑿船蟲使用牙齒鑿入船隻木頭內，而將木屑沿著「隧道」搬出，同時以其軀體支撐「隧道周壁」，且於進一步開挖前分泌出一種硬化劑之特有活動現象，據此而奠定了今日潛盾施工之基本原理，即由此靈感為師於西元1818年由發明潛盾工法並取得專利。西元1825年正式於英國泰晤士河底雙線隧道施工，啟用了人類有史以來的第一部潛盾機。西元1869年，英國人Greathead等採用其所發展之圓型潛盾機，鑄鐵弓型支保和壓氣工法，成功完成倫敦泰晤士河第二條河底鐵路隧道工程，因而奠定了今日潛盾施工法之基礎〔6〕。潛盾施工法在國外之發展經過，詳如附錄一〔7〕。

國內自民國65年引進潛盾工法以來，迄今已逾30年。所使用之潛盾機型式自最簡單之開放型手挖式潛盾機開始，其後陸續引進機械式、擠壓式、土壓平衡式、及泥水式潛盾機等，至1992年之使用實績，詳如附錄二〔8〕。

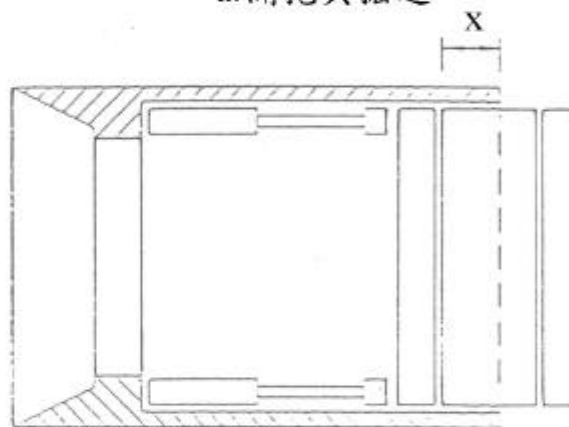
潛盾工法，其最大的特點在於以潛盾機(shield machine)為主要施工機械，行「掘」與「進」之行為。潛盾機一旦停滯工程即停擺，故如何選擇此一只進不退的機具又能符合工程所需，且具安全、高效率、經濟之潛盾機，為此一工法之關鍵所在〔9〕。其原理係利用潛盾機在土層中挖掘前進，利用出土螺運機及隧道內之軌道電動機車陸續將棄土運出，及在潛盾機後方組裝環片並進行環片外之背填灌漿作業，使潛盾機繼續掘進施工。其施工〔10〕可分為三個階段，如圖2所示：

- 1.開挖與掘進：旋轉潛盾機前方的切刃盤，將土壤切削入機體土倉內，再以螺運機或排泥管將廢土運出，同時利用機內的千斤頂，以安裝好的襯砌作為反力座，向前推擠前進。
- 2.掘進終止：開挖約一個襯砌的寬度之後，切刃盤停止旋轉，並依次收回千斤頂，以空出的空間作為安裝襯砌之用。
- 3.安裝襯砌：以潛盾機內部之旋轉襯砌組立機安裝弓型RC環片或鋼環片，各片襯砌之間以螺栓相結合，組立成完整的環片斷面，並且為下一循環作準備。

初期掘進時期，潛盾機係以千斤頂推頂機尾後方假組立之臨時襯砌鋼環片，臨時環片再將推力傳至反力座，臨時環片藉由反力座產生之反作用力推動潛盾機向前掘進，待掘進40~50公尺後即進行正式掘進設備轉換作業，將後續臺車運送至隧道內，並檢查或更換所使用的油壓管後，即可開始正式掘進施工。

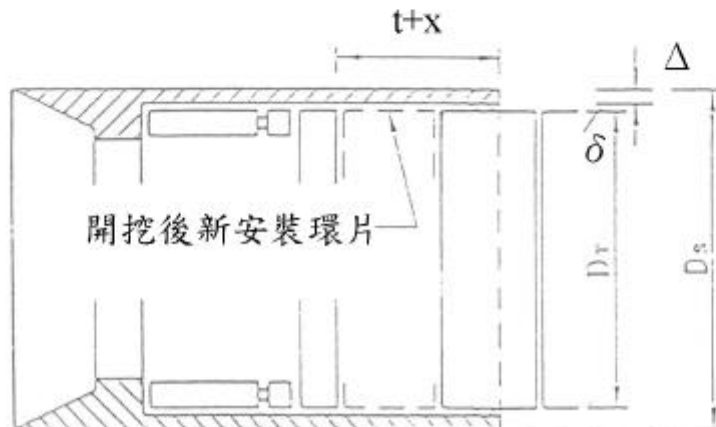


a. 開挖與掘進



b. 掘進終止

- t : 襯砌寬度
- x : 搭接長
- Δ : 機殼厚度
- δ : 淨空
- $\Delta + \delta$: 盾尾間隙量
- D_s : 潛盾機外徑
- D_r : 襯砌外徑



c. 安裝襯砌

圖2 潛盾施工作業循環示意圖

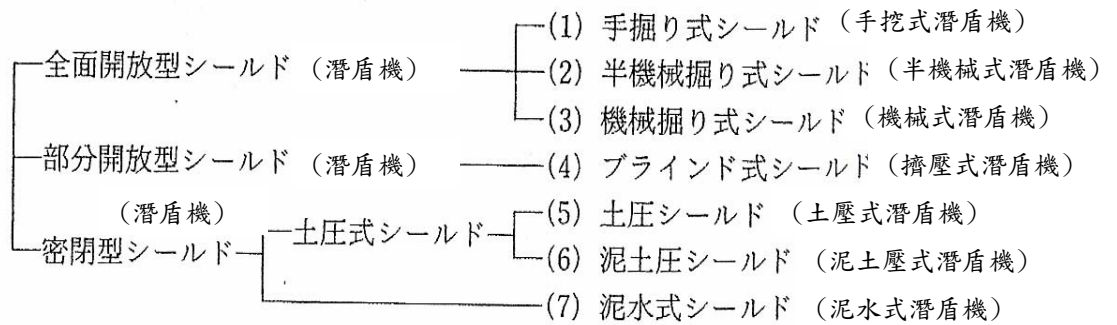
資料來源：摘自 朱旭，1984〔10〕

2.2 下水道潛盾機型式

由設計時之地質鑽探資料、施工前補充地質鑽探資料及地下水位高程等相關資料，配合輔助工法及經濟性決定潛盾機的型式。潛盾機分類的目的：係由地質條件與施工條件去選擇最適合的機種，以便後續工作進行。

一般潛盾機分類可分為全面開放型シールド（潛盾機）與部份開放型與密閉型シールド（潛盾機）詳如表 2。

表 2 潛盾機分類及型式



資料來源：摘自 日本潛盾機（シールド）工法入門，平成 4 年 09 月〔11〕。

依據 Konda, 1987〔12〕主要將各潛盾機型式說明如下：

1. 開放式潛盾機（open shield）：包括手挖式（hand mining shield）、半機械式（semi-mechanical excavation shield）及機械式（mechanical shield）等。
2. 擠壓式潛盾機（blind shield）：擠壓式潛盾機以機首之隔板推擠盾首前方土壤，使土壤經隔板上開口進入潛盾機內。
3. 密閉式潛盾機（closed shield）：包括土壓平衡式潛盾機（earth pressure balance shield, EPB shield）、加泥土壓平衡式潛盾機（muddy pressure balance shield）及泥水式潛盾機（slurry shield）。

依據蔡茂生〔13〕擠壓式潛盾機（blind shield）如圖 3，對開挖地層行擠壓、排土施工，適用於軟弱、流動性地質。在砂質土含量過高、硬質地層均無法施工。本研究蒐集潛盾機遭遇卵礫石層施工並無採用擠壓式潛盾機施工案例，國內於 1984 年臺北市撫遠街主幹管工程於軟弱黏土層曾採用過，故本研究不針對此機型做探討，特此說明。

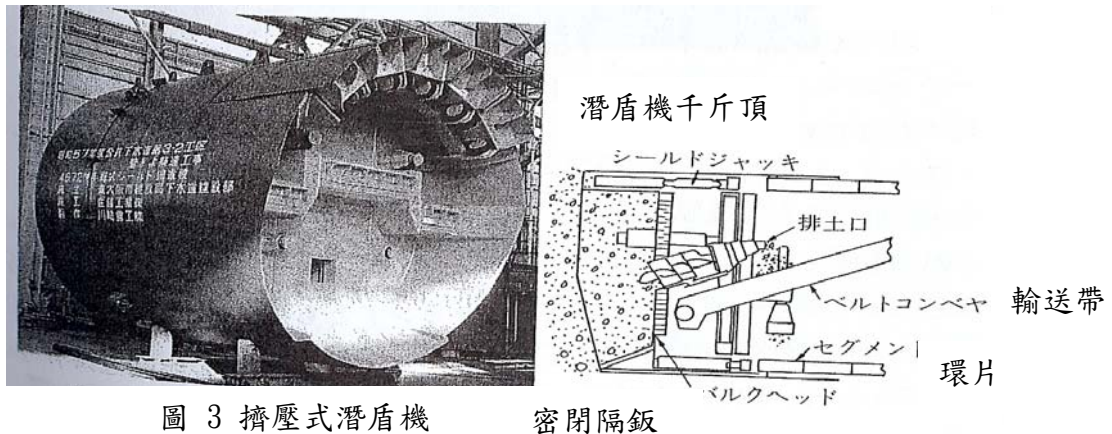


圖 3 擠壓式潛盾機

密閉隔板

資料來源：摘自日本潛盾機（シールド）工法入門，平成 4 年〔11〕

以上潛盾機型式之構造示意圖如圖 4〔14〕所示。

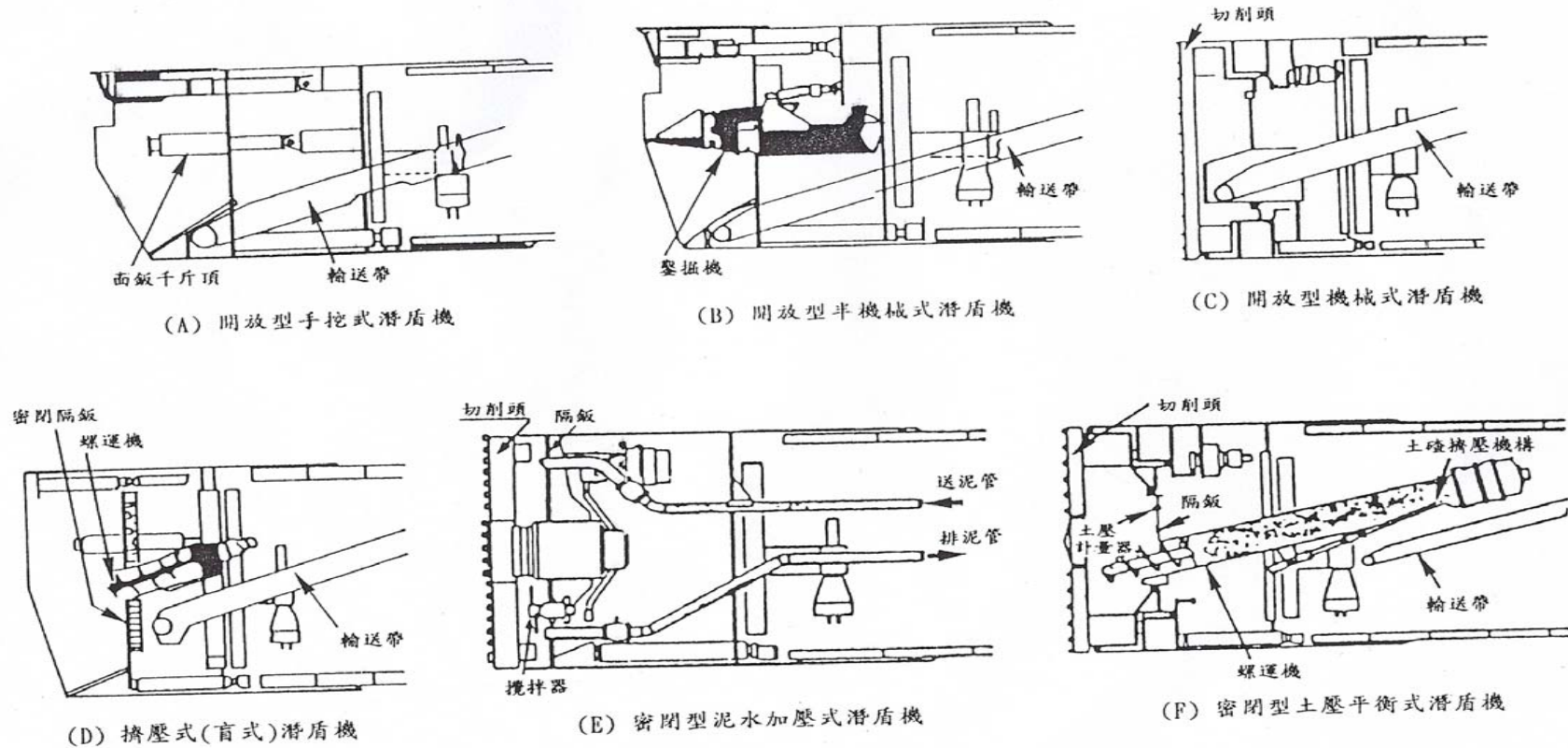


圖 4 各種潛盾機之構造示意圖

資料來源：摘自 IHI Tunneling Shields 型錄，1987〔14〕。

2.3 下水道潛盾施工理論基礎及潛盾工法之優缺點

下水道潛盾施工理論基礎，資料來源，詳如廖銘洋〔15〕：

開放式潛盾機：開挖面無法抵擋水壓及土壓力，施工時僅靠土壤地盤本身自撐力，施工時較有潛在風險問題存在。

密閉式潛盾機：開挖面可抵擋水壓及土壓力，施工掘進方式的不同，主要可分為泥水式與土壓式。詳如圖 5~6。

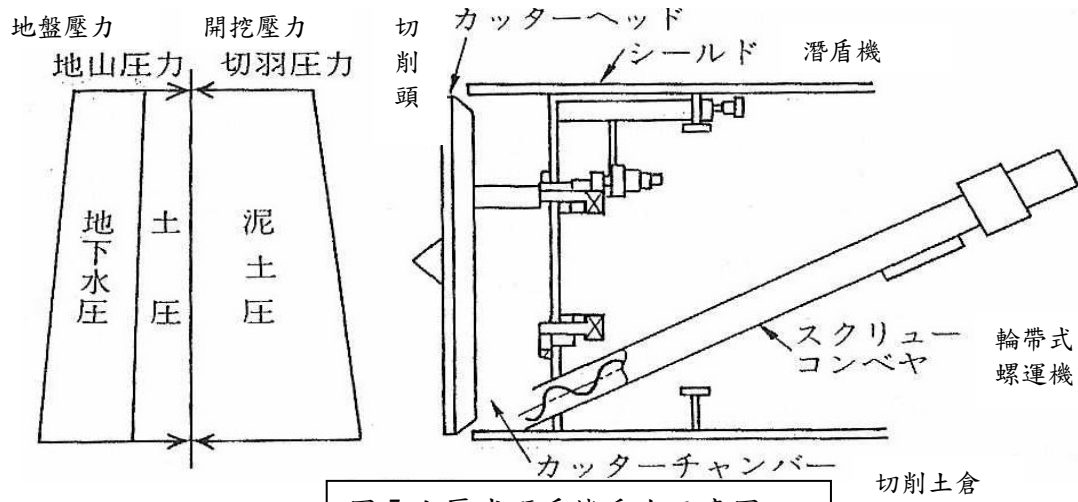


圖 5 土壓式潛盾機受力示意圖

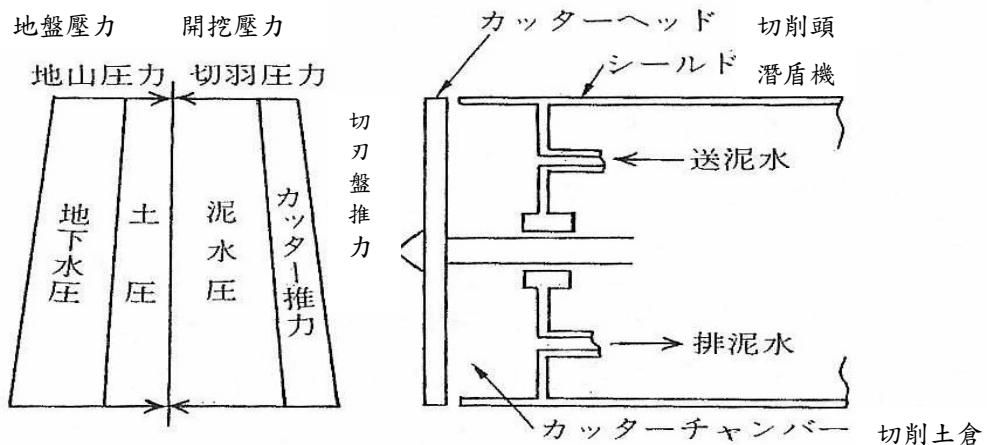


圖 6 泥水式潛盾機受力示意圖

資料來源：圖 5~6，摘自潛盾機（シールド）工法入門，平成 4 年〔11〕。

泥水式潛盾機：於都市潛盾隧道常遭遇軟弱砂質地層，相對的被壓含水層為高地下水所在，此時以泥水為媒介加壓做為穩定開挖面之措施，利用加壓之泥水壓力抵抗開挖面之土壓、水壓。故泥水式潛盾機開挖時管控項目，詳如表 3 所示。

表 3 泥水式潛盾機開挖時管控項目

管理標的	管理項目	控制項目	因應對策
泥水壓	輸、排泥水 開挖面泥水壓	泥水泵 流量計、密度計	變動回轉速度 調整輸、排泥水
掘進	開挖面穩定 開挖能力 開挖土砂平衡	推力、速度 切刃轉盤扭力 輸送設備	配合開挖面壓力 值調整 扭力與攪拌效果
開挖面穩定	最佳管理目標值	取土單位重 開挖排土量檢核	泥水濃度調整 開挖面崩塌偵測

資料來源：摘自廖銘洋，民國九十年〔15〕。

土壓式潛盾機：係以切刃轉盤上之切削開挖面土壤，使其先積存於土倉成塑性具流動性且充滿土倉，掘進時配合推進速度，以螺旋輸送機排土，並據以控制進土量與排土量，使土倉內土壓與開挖面之土壓、水壓保持平衡，詳如圖 7。故土壓式潛盾機開挖時管控項目，詳如表 4 所示。

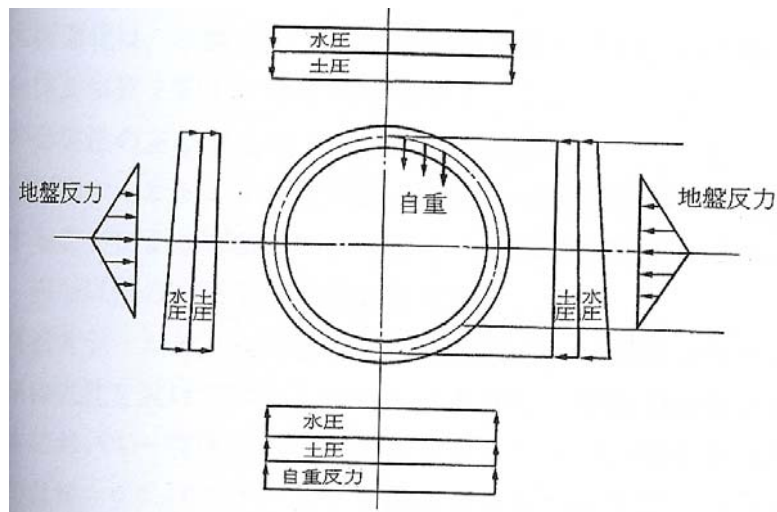


圖 7 潛盾機施工所承受之土、水壓力示意圖

資料來源：摘自日本潛盾隧道技術（日本のシールドトンネル”技術，1990）〔16〕

表 4 土壓式潛盾機開挖時管控項目

管理標的	管理項目	控制對象	因應對策
開挖土壤塑性流動化	添加材料灌注量 開挖面土壓	灌注泵	變動迴轉速度 調整灌注量
土壓控制	螺運機轉速 潛盾千斤頂推力	螺運機 千斤頂油壓泵	調整迴轉值 設定油壓泵油量
開挖面穩定	最佳管理目標值 推進速度	P-Q 螺運機與千斤頂	排土量檢核 開挖面崩塌偵測

P: 開挖面之壓力=土倉內之壓力 P1+切刃轉盤上之切削開挖面所產生之擠壓力 P2
Q: 潛盾機盾首、土倉與添加螺運機內灌注添加物如皂泥、氣泡、吸水材料的灌注量

資料來源：摘自廖銘洋，民國九十年〔15〕。

潛盾工法之優缺點

依據潛盾施工法之特徵，詳如朱旭〔6〕將潛盾施工法之優缺點分別敘述如下：

潛盾工法之優點：

- 1.除了發進與到達工作井範圍及地面輔助工法之施工用地外，其餘各項作業均在地面下進行，故對於地面上之影響或干擾，可降至最低程度。
- 2.對地下各種管線及鄰近建物之影響較小，可免除施工中拆除、遷移等困擾。
- 3.震動與噪音之公害較小。
- 4.以適當之防(保)護措施下，可於河川或其他結構物之下方穿越施工。
- 5.施工時不須佔用大規模地面用地，對用地徵收、地上物補償費及道路修復費用較節省。
- 6.於地面下施工，受天候影響較小，可日夜施工，並能縮短工期。
- 7.依一定之步驟循環施工，對於作業管理可簡單化與自動化。
- 8.全斷面開挖隧道，並採隨挖隨襯，安全迅速。
- 9.施工全由機械與電腦操控，施工較為精確並可節省作業人力需求。

潛盾工法之缺點：

- 1.施工時若遇覆土較淺時，對於土壓及沉陷量之控制較不易掌控。
- 2.較難達到全無地盤沉陷之狀態。
- 3.施工前必須對沿線地質、地下埋設物及結構物作徹底詳細之調查，以研擬可能遭遇問題之因應措施。
- 4.對於半徑短急之曲線段隧道，施工時較為困難。
- 5.必須配合採用適當之輔助工法，工程費略高。
- 6.工作井範圍用地須長期使用，並有噪音、震動之影響。
- 7.每部潛盾機僅有一個工作面進行，施工中若遇意外(機具損壞、障礙物卡住等)，潛盾機無法倒退，只得停機待修。

2.4 下水道潛盾機適用地質狀況探討

下水道施工地質狀況是決定採用潛盾機採用型式的主要因素，故於設計階段時須先做地質鑽探調查，而通常於施工前會再做補充地質鑽探，根據設計條件尺寸、污水排水量、地質鑽探土質柱狀圖及報告等、地下水位、施工長度、配合實施地盤改良之輔助工法及經濟性等等以決定潛盾機型式。

潛盾位置的地質狀況為影響潛盾機選擇的重要因素，其關係詳如表 5~7 朱旭〔6〕說明，表中顯示，土壤粒徑分佈落在E領域中(礫石含量約50%至65%)表中建議泥水加壓式 以及土壓平衡式潛盾機較適用此種地質狀況下施工。若採用手挖式、半機械式、及機械式潛盾機，對於此種高礫石含量之地質狀況，建議以灌漿工法輔助，但較不經濟。但面對各種錯綜複雜地質選擇一完全適用之潛盾機可說是不可能，故僅能依土壤粒徑分佈與潛盾機適用範圍，選擇較適合之潛盾機配合輔助工法以確保安全施工。

表 5 地質條件與潛盾機型之選擇一

潛盾機機型 地質		人工開挖式		半機械	機械開挖式		
		開放	密閉		一般	泥水	土壓
粘性土	軟黏性土		○			○	○
	硬粘性土	○		○	○		
砂層	鬆砂層					○	△
	密實砂層	○		○	○		○
砂礫層	鬆砂礫層	△				○	
	固結砂礫層	○		○	○		○
卵石礫石層		○		○	△		△
軟岩	半固結泥 岩、泥岩			○	○		○

○記號：原則上適用。

△記號：應用時需加研討。

資料來源：朱旭，1984〔6〕

表 6 地質條件與潛盾機型之選擇二

土質	密度	機型 N 值	開放式	壓氣式	密壁式	一般 機械式	泥水 加壓式
粘土	硬	> 8	○	×	×	△	○
	中等	4 < N < 8	△	×	×	△	○
	軟	< 4	×	△	○	△	○
沉泥	硬	> 8	○	×	×	○	○
	中等	4 < N < 8	△	×	×	○	○
	軟	< 4	×	△	○	△	○
細、 中砂	密實	> 30	⊙	⊙	×	⊙	☆
	中等	10 < N < 30	▲	⊙	×	▲	⊙
	鬆	< 10	▲	▲	×	▲	▲
粗砂、砂 礫	密實	> 30	⊙	⊙	×	⊙	☆
	中等	10 < N < 30	▲	▲	×	▲	⊙
	鬆	< 10	▲	▲	×	▲	▲

○記號：適用無問題。

⊙記號：有必要採用輔助工法。

△記號：採用時需加研討。

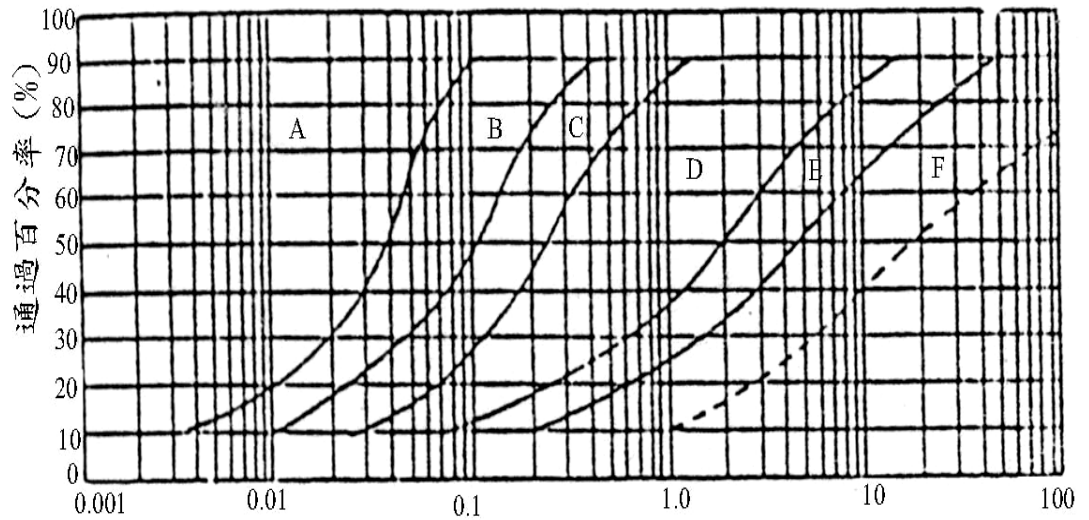
▲記號：有必要採用輔助工法。

×

☆記號：有地下水存在之場合。

資料來源：摘自 朱旭，1984〔6〕

表 7 土壤粒徑分佈與潛盾機適用範圍



型 式 輔助 工法 粒徑分佈領域	密閉式潛盾機		手挖式、半機械式、機械式潛盾機		泥水加壓式 潛盾機	土壓平衡 式潛盾機
	壓 氣	降低水位	壓 氣	灌 漿		
A 領域	◎ N<5		◎		△	○
B 領域			◎		△	○
C 領域		○	○		○	◎
D 領域		○	○	△	◎	◎
E 領域				△	○	○
F 領域				△		

註：◎表示最適用。 ○表示適用。 △表示適用但不經濟

資料來源：摘自 朱旭，1984〔6〕

依據日本土木學會“隧道標準規範潛盾編”，1987—潛盾機型式與適用土質、相關輔助工法詳如表 8，即可檢討出各種地質類別採用何種潛盾機的类型最為恰當。半機械潛盾機在砂礫石層內施工，建議採用輔助工法（化學灌漿、降水工法）以利於高地下水水位狀況施工。密閉式潛盾機於砂礫石層內施工，因為密閉式潛盾機抗地下水壓能力高，相較於開放式潛盾機有較高的適用性，輔助工法建議採用化學灌漿。

表 8 潛盾機型式與適用土質、輔助工法之關係

地質		潛盾機型式		手挖式潛盾機			半機械式潛盾機			機械式潛盾機			擠壓式潛盾機			土壓平衡式潛盾機											
		分類	土質	N值	Wn (含 水比)	輔助工法			輔助工法			輔助工法			輔助工法			基本式			加泥式			泥水加壓式 潛盾機			
						無	有	種類	無	有	種類	無	有	種類	無	有	種類	無	有	種類	無	有	種類	無	有	種類	無
沖積黏土層	腐植土	0	300以上	X	X		X	X		X	X		X	△	A	X	△	A	X	△	A	X	△	A	X	△	A
	粉土、黏土	0~2	100-300	X	△	A	X	X		X	X		○	-		X	△	A	△	○	A	△	○	A	△	○	A
	砂質粉土、黏土	0~2	80以上	X	△	A	X	X		X	X		○	-		△	○	A	△	○	A	△	○	A	△	○	A
	粉值砂土、黏土	0~5	50以上	△	○	A	X	△	A	△	○	A	△	○		○	-		△	○	A	△	○	A	△	-	
洪積黏土層	壩母 (Load)、黏土	10~20	>50	○	-		○	-		△	-		X	X		○	-		○	-		○	-		○	-	
	砂質壩母、黏土	15~25	>50	○	-		○	-		○	-		X	X		○	-		○	-		○	-		○	-	
	砂質壩母、黏土	20以上	>50	△	-		○	-		○	-		X	X		○	-		○	-		○	-		○	-	
軟岩	泥岩	50以上	<20	X	-		△	-		○	-		X	X		-	-		○	-		-	-		-	-	
砂質土	粉土質砂、黏土質砂	10~15	<20	△	○	A	△	○	A	△	○	A	X	X		○	-		○	-		○	-		○	-	
	鬆砂層	10~30		X		A、B	X	X		X	△		X	X		△	△	A	○	-		△	○	A	△	○	A
	固結砂層	30以上		△	○	A、B	△	○		△	○		X	X		△	△	A	○	-		○	-		○	-	
砂礫石層	鬆砂層	10~40		X	△	A、B	X	△	A、B	X	△	A、B	X	X		△	△	A	○	-		△	○	A	△	○	A
	固結砂層	40以上		△	○	A、B	△	○	A、B	△	○	A、B	X	X		△	△	A	○	-		○	-		○	-	
	夾雜卵石之砂層			X	△	A、B	△	○	A、B	X	X		X	X		△	△	A	○	-		△	△	A	△	△	A
	卵石層			X	△	A、B	X	△	A、B	X	X		X	X		△	△	A	△	-		△	△	A	△	△	A

○：原則上適合之條件
△：需檢討其適用性
X：原則上條件不適用
-：特殊情形外不使用
無：未使用輔助工法時
有：使用輔助工法時
A：化學灌漿工法
B：地下水位降低工法
手挖式、半機械式、擠壓式潛盾機原則上採用壓氣工法

資料來源：摘自 日本土木學會，1987〔17〕

蔡茂生〔18〕將潛盾機之構造、適用土質及特性整理如表 9 所示，對各種型式之潛盾機所適用土層狀況以及是否需要輔助工法以表格說明之。

何泰源〔19〕等以日本 45 個潛盾隧道於卵礫石層施工案例為基本資料，對於卵礫石層之地質調查方法、潛盾機設計、施工管理三方面加以說明。在開挖面遭遇卵礫石時，可採用排除、破碎兩種方式，採破碎方式之潛盾機可對付更大粒徑之卵石。

表 9 潛盾機分類與特性

機 型		構 造		適 用 土 質	特 性
開放式	手挖式	以人工至開挖面進行挖掘，開挖面呈開放狀態，以半月型、面型千斤頂為主要擋土措施。		適用於自立性高之地盤、硬質黏土及緊密砂層。	(1)構造簡單，機具費最低。 (2)對開挖土質之變化及障礙物清除等應變能力最強。 (3)開挖面不安定時，需採用壓氣工法，祛水工法，或灌漿等輔助工法。
	機械式	將手挖部分加以機械化，依據土質狀況需採用機械臂或旋轉切土器等以提高工作效率。		與手挖式相同。	比人力開挖效率較佳，縮短後續作業時間。
	機械式	在機身前方設置面鈸(Disk)，其上裝設切刃齒(Cutter Bit)以切刃盤之迴轉對開挖面進行連續之開挖。土渣由取土口進入土倉(Chamber)，再經由輸送帶排至機身後方。		適用於較手挖式及半機械式軟弱之土層。	(1)面鈸可對開挖地層提供擋土之效果，並依地質狀況決定取土口開口率之大小，以控制開挖土量，安全性較高。(2)簡單機械式常須配合壓氣、抽水、灌漿等輔助工法。
擠壓式		在潛盾機前方裝設隔鈸(Bulkhead)，其上方開設取土口，當潛盾機推進時，推力經由隔鈸傳遞至開挖地層，使土壤受擠壓而自取土口流入機內。		軟弱略具流動性(L.L.=80%以上)含砂量低(30%以下)之沉泥質地盤。	(1)依地質狀況決定開口位置及大小，以調整排土量及推進方向。 (2)開挖面施行輔助工法之需要性較開放式低。
密閉式	土壓平衡式	傳統式	以切刃盤之切削齒掘削地層，將開挖之土壤堆積於面鈸與隔鈸間之土倉，以貫穿隔鈸之螺旋輸送機內之土壤排出，排土時須保持螺旋輸送機內充滿土壤，並使開挖面內側與外側之土壓及水壓保持平衡。	沉泥質砂至沖積層之砂、砂礫層及其互層均可適用。	原則上部需要以輔助工法維持開挖面之自立性。為使螺旋輸送機確實發揮壓力傳達及止水效果，必須使開挖土砂孔隙減少，在含砂量較高的地層，常須加入水、泥水、黏土等予以混合以提高開挖之安全性。
		加泥式	可由盾首的魚尾版(Fish Tail)將細顆粒之泥土漿或泡沫材料(Foam)注入開挖面，以提高土倉內土壤之流動性與止水性，土倉內之泥水壓(Mud Pressure)須與盾首之土壓及地下水壓平衡，並使土渣之粒徑分佈較均勻。	此機型適宜在砂質土含量甚高之地層。	(1)輔助工法之需要性較低。 (2)不需要泥水處理設備，但混入泥土增加排土量，其處理與價格有關。
	泥水加壓式	在盾首和切刃盤間設置土倉，於倉內以泥水(Slurry)填充，使開挖面加壓以平衡土壓和水壓作用而維持安全，以流體運輸方式將土渣排出。		儲水性砂層、砂礫層或穿越河川、湖泊等水壓較高之地層。	(1)以比重大、黏性高之白皂土等材料作成泥水以填充地層中之 (2)依地質狀況中原有構造，故其變形沉陷現象最小。(3)對輔助工法的需要性最低。

資料來源：摘自 蔡茂生，1985〔18〕。

加泥式土壓平衡潛盾工法的特性：依日本施工案例，目前遭遇礫石層多採土壓平衡式潛盾機，而加泥式土壓平衡潛盾亦屬土壓平衡式潛盾機，亦可於潛盾機頭前方隔板內注入高濃度之泥化材料，其工法特性如下：

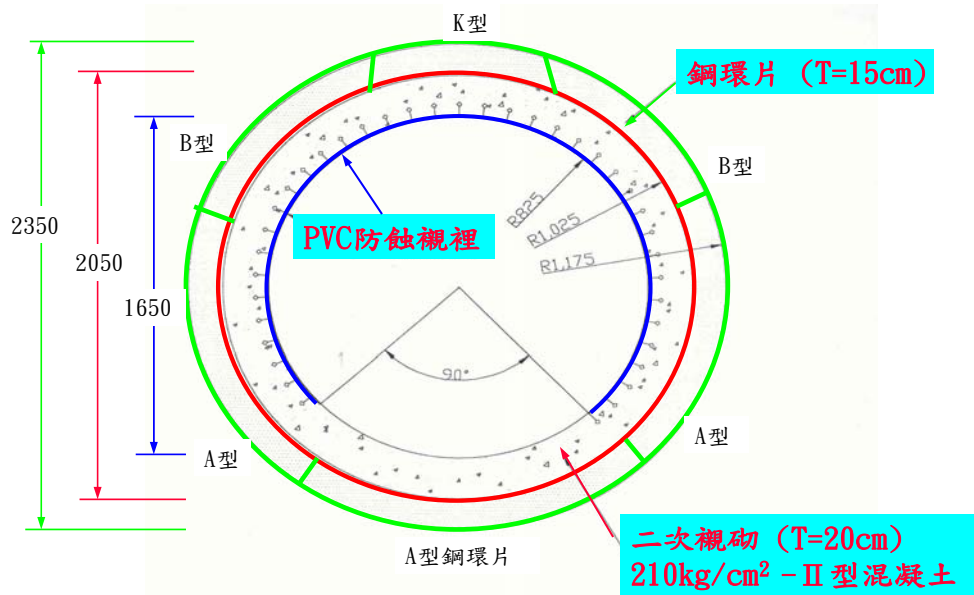
1. 能適應各種土質
即使是軟岩層、礫石層、土砂層及交叉互層地質也可由適當的注泥材濃度和注入量來改變土壤，使之適用於各種地層。
2. 殘土處理不需要複雜的處理設備
排出的殘土其含水率約和開挖地層相當，坍度約 5cm-10cm，因此用傾卸車即可搬運，不需用複雜的處理設備，但棄土場如有特別要求的條件，則需固化處理。
3. 可抑制土壤的下陷，因開挖面土壓與土艙內之壓力隨時維持平衡的狀態下土壤幾乎沒有變化，所以可將土壤的下陷量降至最小。
4. 減少地盤改良區
除了發進、到達部、特別重要建築物附近，及有突出之障礙物以外，原則上是不須作地盤改良工法。
5. 不需做壓氣工法由於充滿在土艙及螺旋機的泥土形成不透水層，因此螺旋機的排土即使打開，地下水也不會流出，因此原則上是不需用壓氣工法。
6. 工作井用地
工作井用地因不需泥水處理設備，工作場所面積需求不大，適用於市區內施工。
7. 可以同時做背填灌漿
潛盾機外圍及土艙內之泥土經與注泥材混合後形成不透水層，因此背填灌漿注入材不會回流至土艙內，所以可同時施作背填灌漿，並可抑制地層下陷。

2.5 下水道施工從設計排放污水量觀點探討

下水道所需採用潛盾機之管線直徑大小，通常與其每日污水排放量或預估多少年後每日污水排放量的大小有相對的關係，故必需於設計階段時就要作通盤考量。

通常設計係採用重力流排放方式施工，除了小管徑的下水道管渠採用明挖或推管工法施工外，較大的污水幹管多採用推管工法或潛盾工法施工，若考慮用地取得或避免影響路面交通或施工路線需要轉彎、距離較長且埋設較深等特性，就必須選擇採用潛盾工法施工。潛盾工法襯砌環片採 3A2B1K 組成一圓環，詳如圖 8。若有其他管線污水管需排至本潛盾管線內，最好係接入日後所設人孔或連接井內排放，避免從中接入影響潛盾管之水密性。

污水下水道或已處理過之放流水管，二次襯砌施工中尚需加設 PVC 防蝕襯裡，其功能為防止細菌、氫氧化鈉、硫化氫、硫酸、硝酸等侵蝕，詳如圖 8 § 2480mm 放流管襯砌斷面圖及圖 9 放流管 PVC 防蝕襯裡功能示意圖。



單位:m/m 圖 8 ϕ 2480mm 放流管襯砌斷面圖

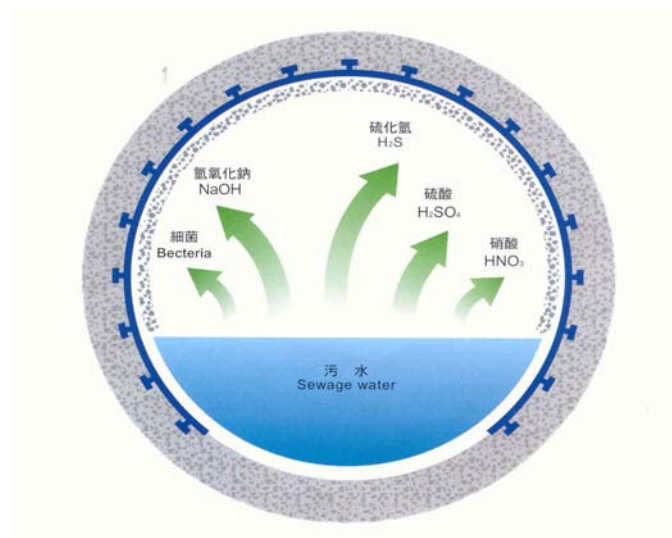
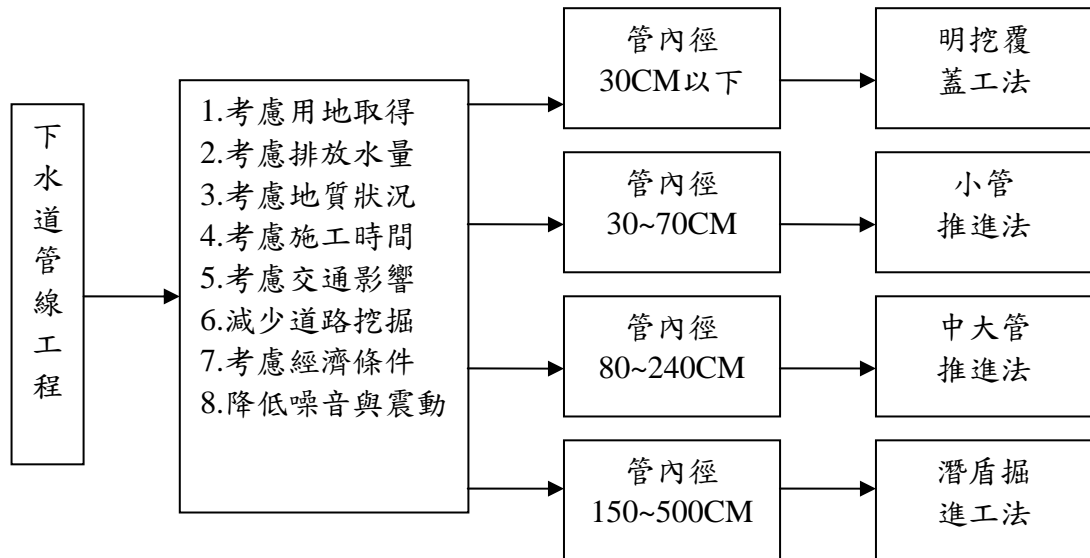


圖 9 放流管 PVC 防蝕襯裡功能斷面圖

參考資料：摘自焯鑫實業股份有限公司，2002〔20〕

下水道潛盾掘進工法係與實施小管徑且距離短之推管工法或明挖覆蓋工法不同，如表 10。

表10 下水道流管線工程工法選擇



下水道潛盾施工作業主要施工項目：

- 1.補充地質鑽探、定線測量、安全觀測、地盤改良。
- 2.工作井擋土開挖及支撐，詳如圖 10。
- 3.隧道開挖及支撐。
- 4.二次襯砌施工。
- 5.人孔施築。
- 6.地層穩定處理措施(發進到達口地改、隧道背填灌漿、地下水處理等)，詳如圖 11。
- 7.工作井、隧道沿線及鄰房建築物監測計測等。



圖 10 工作井擋土開挖及支撐相片



圖 11 地層穩定處理措施相片

2.6 下水道潛盾施工引起地表沉陷之原因

潛盾隧道施工所造成地表沉陷，受土壤種類、地下水狀況、施工機具、及施工過程與技術有密切的關係，因施工變數多不易以定量方式來準確的預估沉陷量之大小。依據簡明同〔21〕將Peck〔22〕、Schmidt〔23〕、Cording與Hansmire〔24〕及Hanya〔25〕等學者曾提出相關的論文研究將潛盾施工引致地表沉陷的來源歸納為下列六項：（1）隧道開挖面應力之改變；（2）盾尾間隙閉合；（3）隧道襯砌變形；（4）粘土層受擾產生之壓密沉陷；（5）潛盾機曲線施工或蛇行之超挖；（6）地下水變化。

依湯程傑〔26〕論文摘要所獲得結論4.就同一深徑比（Z/D）而言，開

放式潛盾機所造成之最大地表沉陷量 S_{max} 顯然大於密閉式潛盾機所造成的沉陷量。

依據張森源〔27〕由於地盤變形沉陷結果有碍隧道本身、其周圍與地面既有結構物之安全，且一旦發生即難以復原，因此必須針對導致變形之原因，預為研究，謀求對策。其根據前人研究地盤變形或地面沉陷之機制與誘因如表11~表12，施工中對地面沉陷影響最大者為土壓管理不佳、出土量超過理論開挖量、蛇行超挖、環片變形與潛盾機機尾縫空隙灌漿不實。

綜合以上，下水道潛盾施工時，應儘量注意以上原因避免造成地表沉陷產生與安全觀測實施，預防施工災害的發生。

表 11 地盤變形之機制

區分	原因	地盤變化	變形機制
先行下陷	地下水位下降	有效覆蓋土壓增加	壓縮、壓密沉陷
開挖前下限 開挖前隆起	開挖面崩塌，過大開挖量，過大推進	開挖面解壓，擾亂、土壓超載	彈、塑性變形
機尾下陷	潛盾機通過時之擾亂	擾亂	壓縮
尾縫下陷	發生尾縫	開挖面解壓	彈、塑性變形
後續下陷	以上全部原因之殘留影響	開挖面解壓	壓縮及潛移下陷

表 12 地盤變形之誘因

原因	輔助工法	潛盾機	回填灌漿	施工管理
地下水位下降	採地下水位下降法 採用壓氣工法 化學灌漿不完全	開挖面水壓平衡機能不良	回填灌漿不良 由鋼襯版漏水	鋼襯版組立不良發生漏水
開挖面崩塌 推進過度	化學灌漿不完全	開挖面水壓平衡機能不良	---	油壓機推力及排渣量管裡不善
潛盾機通過	---	機殼與土壤間之磨擦擾亂	---	蛇行
尾縫之發生	---	機殼補強肋之厚度	灌漿量不足(灌漿時機延誤)	超挖、蛇行修正不良
地盤擾亂	過大灌漿壓力 鑽頭所致之擾亂	開挖時之擾亂及開挖面之崩塌	---	過大或過小推力之開挖面變形

資料來源：摘自 張森源，1988〔27〕

2.7 下水道潛盾施工對現有建物與道路之保護

根據張森源〔27〕所謂現有建物，係指深入或在潛盾隧道兩側 $45^\circ + \phi/2$ 範圍內之地上、地下建物或其他結構物。在此範圍內之地盤極有可能因潛盾隧道施工而變形，因而發生沉陷、傾斜、移位甚至龜裂、倒塌，因此必須加以保護。

下水道潛盾施工後會對既設構造物與道路造成多大影響，應事先防範並採取必要之措施，建議如下：

1. 現況調查：蒐集潛盾路線圖上，既設公共管線位置圖、建築物位置高程及結構圖、地質鑽探報告書、地下埋設物位置高程、道路交通狀況等。
2. 安全監測：下水道潛盾施工前、中、後，應進行安全監測或必要時實施鑑定，並確實量測記錄。
安全監測提供工作井及潛盾施工中建築物傾斜變位及地表沉陷量之量測值是在安全值、警戒值、行動值範圍內，使施工中提供好的警訊效果，應確實執行監測。
3. 地盤改良：事前分析及計算可能遭受影響的範圍，採取適當保護措施，例如潛盾路線及工作井四週之地盤改良及灌漿強化、採用遮斷防護工、既有建築物與地下埋設物直接補強等，詳如圖 12~15。
4. 鄰近結構物之保護方法：依陳福勝等人〔28〕說明潛盾機通過結構物下方或接近結構物時，因施工所引致之土壤變位，使結構物產生不均勻沉陷，危害結構物之安全，故必須針對結構物之重要性、材料、型式及土壤條件等資料進行檢討，研判是否須加以特別保護，並配合監測之施行，以確保結構物在潛盾施工時之安全。

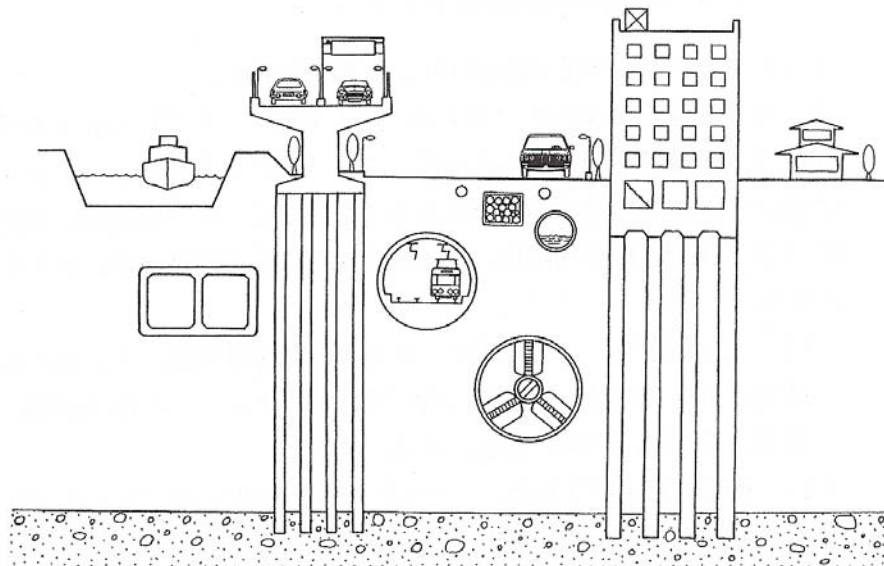


圖 12 潛盾施工前附近原有結構物及管線情形

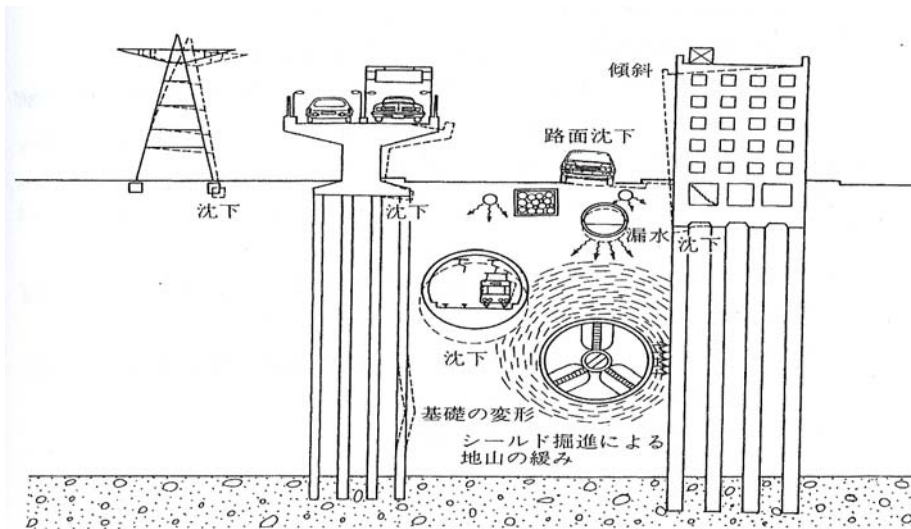


圖 13 潛盾掘進施工後可能對原有結構物及管線造成影響

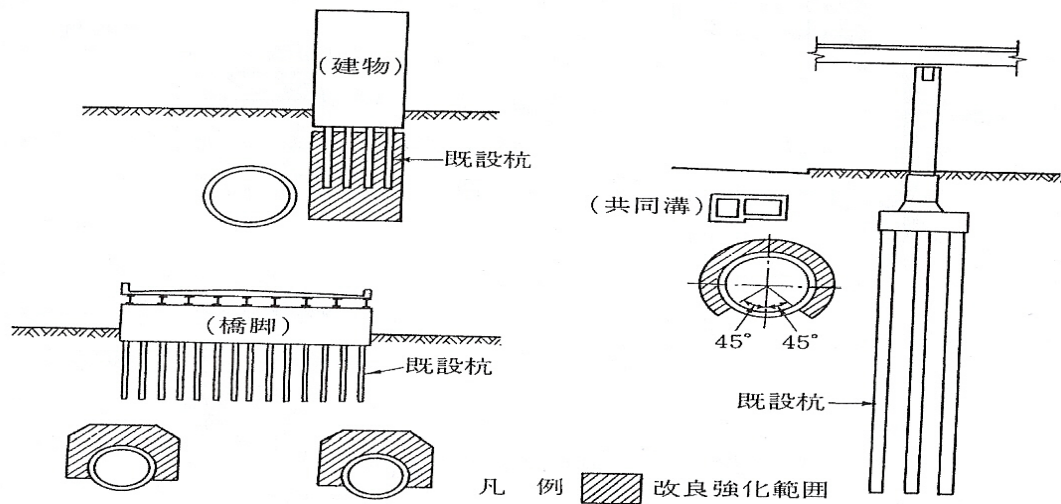


圖 14 施工地盤改良、強化施工例

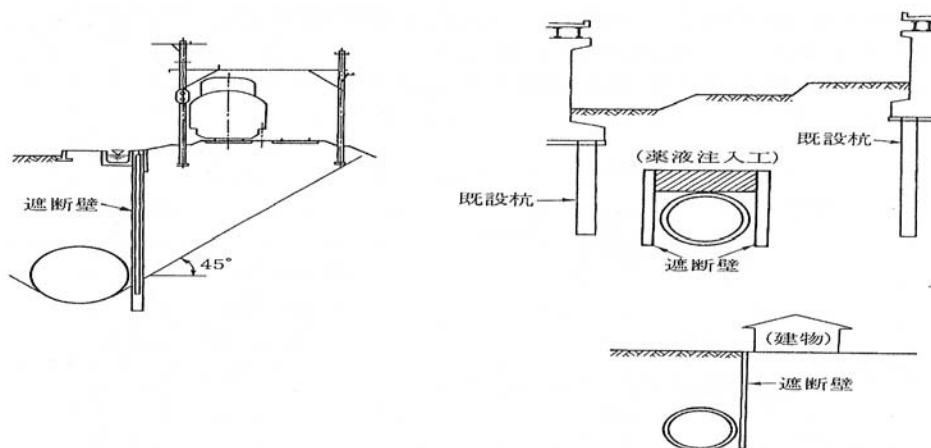


圖 15 潛盾掘進施工遮斷防護工施工例

資料來源：圖 12~15，潛盾機(シールド)工法入門，平成 4 年〔11〕。

2.8 卵礫石層工址調查

依據中華顧問工程司大地工程部陳福勝、周功台、何泰源、侯嘉松、吳文隆、林俊良等人(民國八十五年七月)針對都會區卵礫石地層鑽掘隧道與深開挖工程專題研究報告其期末報告書〔28〕中節錄部分內容說明如下：

1. 卵礫石層之礦物組成

台灣地區卵礫石層之主要礦物成分為石英、長石、燧石、雲母等，次要礦物成分則包括斜長石、雲母、綠泥石、方解石等，並有比例不等之岩層夾雜其中。

2. 台灣地區卵礫石層之分布情況及工程特性

台灣地區卵礫石層之分布於西部之山麓丘陵地、台地與切割台地，另外尚包括東部主要河川溪口的沖積扇及台地堆積層，詳圖 16〔28〕。參考中央地調所陸上砂石資源資料第一~三卷(民國 71~74 年)〔29〕~

〔31〕，茲依台灣地區卵礫石層之分布及工程性質加以區分為 9 個分區。

- ### 3. 卵礫石地層之工址調查項目，主要除包括卵礫石之顆粒大小、含量、單軸壓縮強度、滲透特性外，其他影響地層整體特性之地層基質(Matrix)性質與其與周邊土質之關聯性及地下水位、水壓等，亦屬調查之重點。
- ### 4. 卵礫石地層工址調查重點可分為下列各項中說明如下主要事項〔28〕：

- (1) 卵礫石地層之形成原因。
- (2) 卵礫石之顆粒大小、粒徑分佈、最大粒徑及含量。
- (3) 卵礫石物理性質及工程性質，包括單位重、含水量、孔隙比、吸水率、磨損率、健度試驗等項目。
- (4) 卵礫石層中基質(Matrix)之物理及強度特性，包括粒徑分布、密度、含水量、壓縮強度等項目。
- (5) 卵礫石層之靜態土層參數。
- (6) 卵礫石層之動態土層參數。
- (7) 地下水位、水壓及透水係數等。
- (8) 卵礫石之礦物組成，包括礦物之種類、含量、膠結情形、風化程度等項目。
- (9) 側向土壓係數 k_0 及柏松比 ν 。

綜括以上各調查項目，以期確實掌握卵礫石層之整體表現。

5. 卵礫石工址調查方式

卵礫石層的調查方式，除了仍沿用傳統的鑽探方式之外，尚有其他因應卵礫石特性之特殊方式，茲方別說明如下：

- (1) 傳統鑽探方式：包括衝擊(Percussion)式及旋轉(Rotary)式，本法係輔以水洗方式進行。
- (2) 冰凍工法：係利用液態氮(LN₂)或鹽水(CaCl₂)為冷媒將地盤凍結以固定砂礫顆粒，然後再進行鑽孔採取不擾動土樣的方法。
- (3) 試坑調查及大型篩分析試驗：試坑調查之主要功用係利用篩分析調查卵礫石層之粒徑分布及含量，並利用試坑進行現場密度試驗、平板載重試驗及透水試驗等現地試驗。
- (4) 全套管連續取樣調查方法：針對較大粒徑之卵石層，大口徑(通常為 1M 以上)，較常見者為貝諾特(Benoto)工法及 Excel 工法，均屬全套管連續取樣調查方法。

- (5) 深礎工法：深礎工法類似台灣地區常用之人工手掘式擋土柱工法，其口徑通常為 1M 以上，開挖後配合使用鑲板以穩定側壁，其深度約在 20~30M、使用人工挖掘；其主要目的係可以目視方式確認細料性質並採取土樣。
- (6) 標準貫入試驗：於卵礫石地層施行標準貫入試驗時，常因取樣器之前端遭遇大卵石或粒徑分布不均或發生閉塞而影響 N 值之可靠性，必須加以修正或使用大型貫入試驗以降低試驗誤差。
- (7) 地球物理探測：通常卵礫石之電阻率較高而黏土之電阻率則較低，兩者之電性差異甚大，較易辨別，因此，進行卵礫石層大範圍工址調查，常採用垂直電探法 (VES)，再配合少數鑽孔實施電井測 (E-Logging)，以便掌握卵礫石層及黏土夾層之分佈狀況。
- ① 垂直式電阻探測法 (VES)：為求得地盤之電阻率，於指定位置兩電位極，利用兩電位極其中的電流極給予一特定電位差，由此電位差產生之直流電於電位極上量測電壓。
- ② 電井測 (E-Logging)：為地球物理探測 (Geophysical Well Logging) 的一種，乃利用鑽探之鑽孔工作，探測出鑽井內各地層之物性及大致之分佈狀況。
- ③ 此外，楊潔豪 [32] 曾利用透地雷達 (GPR) 法描繪中壢地區之地表紅土層及其下的礫石層分布及厚度的變化，另外可偵檢出礫石層中之地下水位，可供作工程設計及施工之參考。
- 以上為卵礫石地層調查的主要方法，其優缺點及適用情形詳表 13 所述；其他亦可利用開挖時，進行土壤資料之再確認及孔隙率之測定，而且，其他鄰近工區之施工資料亦可充分加以利用。

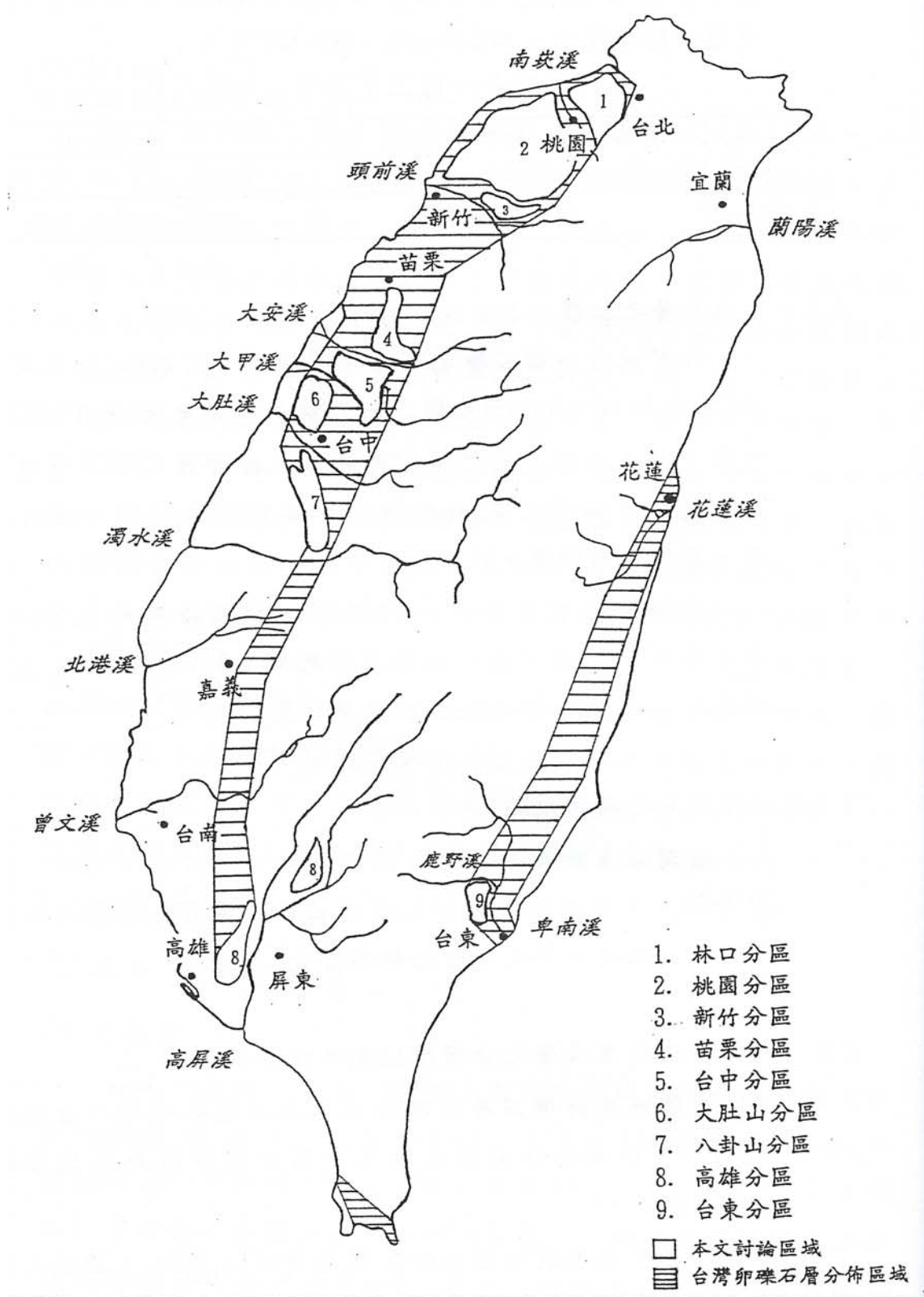


圖 16 臺灣地區卵礫石層分佈示意圖

資料來源：摘自 中華顧問工程司 大地工程部，1996 年 7 月〔28〕

表 13 卵礫石工址調查方式比較表

調查方式	優點	缺點	適用情形
傳統鑽探方式 (旋鑽)	<ul style="list-style-type: none"> 可獲得連續土層剖面。 可進行標準貫入試驗。 	<ul style="list-style-type: none"> 用水量大，但卵礫石層滲透性大，當地下水位很低時不經濟。 進度緩慢、機材磨耗大。 簿管取樣不適用礫石層。 	<ul style="list-style-type: none"> 砂礫層。 礫石粒徑較小時。
傳統鑽探方式 (衝鑽)	<ul style="list-style-type: none"> 進度快速，遇大卵石可擊碎進尺。 用水量較少。 可進行標準貫入試驗。 	<ul style="list-style-type: none"> 對地層擾動性較大。 不易獲得連續土層剖面及取得供實驗用樣品。 	<ul style="list-style-type: none"> 均勻分佈之卵礫層地層。
冰凍工法	<ul style="list-style-type: none"> 可獲得良好之不擾動原狀土。 對土層擾動較小。 	<ul style="list-style-type: none"> 易受地下水流速影響。 手續複雜、機材特殊、價格昂貴。 	<ul style="list-style-type: none"> 位於地下水位以下且地下水流速不大 ($K \leq 1 \text{ m/day}$) 之地盤。
試坑開挖及大型篩分析試驗	<ul style="list-style-type: none"> 可清楚瞭解土層之剖面狀況(含排列情形、粒徑分佈、有無夾層)。 透過大型篩分析可得粒徑分佈及含量。 可進行現地試驗，如平板載重、現地密度、現地直剪及滲透試驗等。 	<ul style="list-style-type: none"> 所需人工及機具較多，效率較低，花費較多。 篩分析所需時間長。 現地密度試驗須以水試法等進行。 無法對地層直接進行標準貫入試驗。 若地下水位太高時，須先降水。 	<ul style="list-style-type: none"> 欲瞭解地層剖面及粒徑分佈、含量等性質時。 適於粒徑較大之地層。
全套管連續取樣	<ul style="list-style-type: none"> 可將取出之土樣加以篩分析得知粒徑分佈、最大粒徑及形狀等。 	<ul style="list-style-type: none"> 易流失細粒料，或湧水使細粒性質無法確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 欲瞭解地層剖面及粒徑分佈、含量等性質時。 適於粒徑較大之地層。
深礎工法	<ul style="list-style-type: none"> 可將取出之土樣加以篩分析得知粒徑分佈、最大粒徑及形狀等。 可確認細料性質。 	<ul style="list-style-type: none"> 以人工挖掘，且深度較深時須注意安全性。 併用降水工法時，卵礫石間之細粒料易致壓密。 	<ul style="list-style-type: none"> 適用於土樣採取、目視觀察、孔隙率之測定等。
標準貫入試驗	<ul style="list-style-type: none"> 累積經驗多、相關應用範圍廣。 不需特殊機材。 	<ul style="list-style-type: none"> N 值易受卵礫石堆積型態、硬度、含量等影響而須加以注意。 不易得到地盤整體表現，可能受局部地層現象影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 可信賴之 N 值為最大粒徑 10 cm 左右或不被最大粒徑所影響之累積粒徑曲線之 90% 粒徑約 5 cm。
地球物理探測	<ul style="list-style-type: none"> 可獲測區之地層形貌及大致之分層成果。 可瞭解地層物性、地下水位等。 為間接調查方法、不須破壞地層現況進行直接調查。 	<ul style="list-style-type: none"> 人為判讀成果受主觀認定影響。 可得大致之地層分佈，若欲得精確分佈，須輔以直接調查方法。 無法得知精確之地層力學特性等設計所需參數。 	<ul style="list-style-type: none"> 大深度或大範圍之地層分佈確認，通常應用於直接調查方法之前供其參考。

參考資料：摘自 中華顧問工程司 大地工程部，1996年7月〔28〕