

下水道工程技術研發計畫

下水道推進施工技術參考手冊

Construction Technology Development For Sewer Systems Engineering

委託單位

內政部營建署

承辦單位

下水道工程技術研發計畫團隊

國立臺灣大學土木工程學系
國立中興大學土木工程學系
國立台灣科技大學營建工程系
國立台北科技大學土木工程系
中原大學土木工程系

編製單位

國立台灣科技大學營建工程系
國立台北科技大學土木工程系

編製日期:98年12月



目 錄

第一章、前言	5
第二章、工法的基本介紹	7
2.1 泥濃式推進工法	8
2.1.1 工法概述	8
2.1.2 泥濃式推進工法排土方式	11
2.1.3 泥濃式工法優點	13
2.1.4 泥濃式工法缺點	14
2.2 土壓式推進工法	15
2.2.1 工法概述	15
2.2.2 土壓式推進工法排渣方式	17
2.2.3 土壓式工法優點	18
2.2.4 土壓式工法缺點	18
2.3 泥水式推進工法	19
2.3.1 工法概述	19
2.3.2 泥水式推進工法排渣方式	21
2.3.3 泥水式工法優點	22
2.3.4 泥水式工法缺點	22
2.4 地箭式壓密工法	23

2.4.1	工法概述.....	23
2.4.2	地箭式壓密工法排渣方式.....	23
2.4.3	地箭式壓密工法優點.....	23
2.4.4	地箭式壓密工法缺點.....	24
第三章、地質調查及工法適應性		25
3.1	地質現況.....	25
3.1.1	地質鑽探之相關規範.....	26
3.1.2	推進工程之地質鑽探建議.....	28
3.2	泥濃式工法適應性.....	29
3.2.1	泥濃式工法之適用地質.....	29
3.2.2	泥濃式工法之適用條件.....	30
3.3	土壓式工法適應性.....	31
3.3.1	土壓式工法之適用地質.....	31
3.3.2	土壓式工法之適用條件.....	31
3.4	泥水式工法適應性.....	32
3.4.1	泥水式工法之適用地質.....	32
3.4.2	泥水式工法之適用條件.....	32
3.5	地箭式壓密工法適應性.....	34
3.5.1	地箭式壓密工法之適用地質.....	34

3.5.2 地箭式壓密工法之適用條件.....	34
第四章、工作井種類.....	35
4.1 工作井種類.....	35
4.2 工作井設計.....	38
第五章、推進施工流程.....	40
5.1 泥濃式推進工法.....	40
5.1.1 泥濃式推進工法施工流程.....	40
5.1.2 尾端擴幅滑材再灌注系統(TRS 系統)之使用.....	54
5.2 土壓式推進工法.....	55
5.3 泥水式推進工法.....	64
第六章、推進生產力參考值.....	72
6.1 施工地質分類.....	72
6.2 推進生產力值參考.....	73
第七章、施工管理.....	77
7.1 挖面穩定.....	77
7.2 推進力控制.....	78
7.3 地盤下陷控制.....	79
7.4 長距離推進控制.....	80

7.5 曲線推進控制	81
第八章、推進異常狀況之克服與案例研析	83
8.1 管線無法推進之狀況	84
8.2 管線蛇行之狀況	90
8.3 其他狀況	92
8.4 案例研析	95
附錄 I 推進力檢討	102
附錄 II 滑材計算	110
附錄 III 日本推進日進量參考值列表	118
參考文獻	121

第一章、前言

近年來台灣經濟快速成長，為了配合政府推動台灣成為科技島及加速全球化發展，促進全國產業均衡發展與社會繁榮，自來水、電力、電信、瓦斯、排水、下水道等之地下化乃成為公共工程推動之重點項目。然隨著都市快速發展，都市環境景觀日受重視，許多道路已不容許以明挖覆蓋工法來進行地下管線埋設工作。為確保都市交通順暢，減少噪音與環境污染、美化市容、降低對生活環境品質衝擊的考量下，非明挖（No-Dig）施工方法因應而生，各種先進地下管線施工法從歐、美、日本等地引進台灣廣泛的使用。

傳統推進工法依照開挖面平衡的原理，分成土壓平衡式及泥水加壓式兩種推進工法，這兩種工法在台灣普遍被使用，是一種可靠的施工技術。然而，由於台灣都市化程度高，都市地帶之管線越來越密集，使地下管道規劃難上加難，加上都市道路交通頻繁又寸土必爭的情況下，工作井的設置著實讓設計及施工業者傷透了腦筋。在這樣的時空背景下，超長距離及急曲線推進變的日漸重要。就超長距離的推進來看，以現有土壓及泥水推進工法進行施工，必須額外添加中押裝置，才能達到足夠推進力並確保推進力不會高過推進管之容許耐荷力。泥濃式推進工法所使用之滑材灌注系統可有效的降低推進管之周面抗值，大幅降低施工推力，有利於長距離的推進。在急曲線推進上，拜

上述提到的低推力施工，將可大大提高曲線推進之成功率，若再搭配多段式急曲線推進機，則可進行超急曲線施工，這是傳統推進工法所不及之處。

土壓式工法與泥水式工法的運用，在台灣有許多成功之實績案例，而泥濃式工法在台灣目前只有極少數工區使用，屬於剛起步引進的階段。該工法在日本已行之有年，擁有相當豐富的施工實績，為工程人員所信賴。

本手冊撰寫目的是為國內推進施工廠商了解地下推進施工技術，參考【日本下水道管推協會，2006年，推進工法用設計積算要領】及【超流泥濃推進協會，2006年，泥濃式推進工法積算要領】與其他國內下水道工程書籍，並實地參訪國內工地施工技術人員，編撰一本本土化下水道推進施工技術參考手冊，作為後續欲引進的廠商參考，解決下水道作業或地下管線設計、施工單位選擇工法之困境。

第二章、工法的基本介紹

基於下水道推進行業工法適用性不同，本手冊在介紹工法前，先將工法分類成非開挖工法、中大口徑工法、小口徑工法，再將國內常用的泥濃式、土壓式、泥水式、壓密式工法加以詳述。如下圖 2.1 非開挖工法分類、圖 2.2 中大口徑工法分類、圖 2.3 小口徑工法分類。

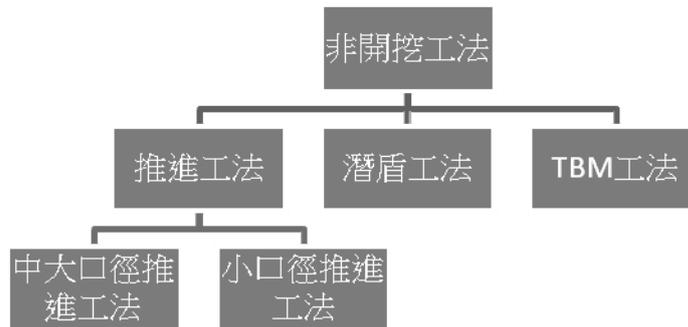


圖 2.1 非開挖工法分類

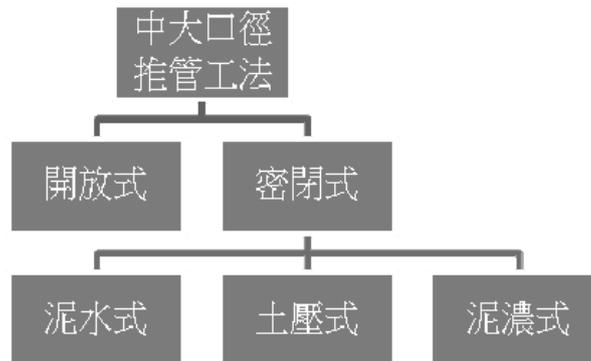


圖 2.2 中大口徑工法分類

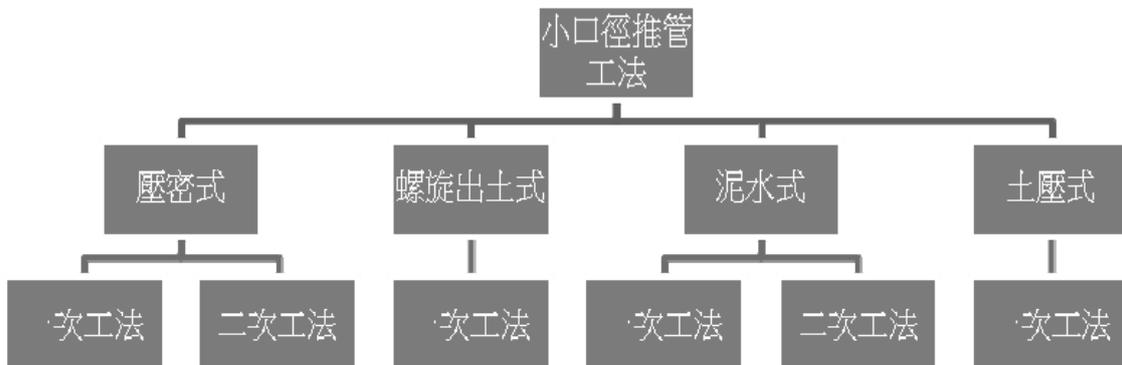


圖 2.3 小口徑工法分類

2.1 泥濃式推進工法

2.1.1 工法概述

泥濃式推進工法是利用掘進機頭噴出高比重及高黏性之濃度泥漿，以穩定掘削面之土壓力及減少掘削面之摩擦力，工法中使用的高濃度泥漿性質介於泥水加壓式及土壓平衡式推進工法之注射材之間，不單只比土壓式工法擁有較高之塑性，由於是高比重泥漿，因此也不易產生卵礫石碎片沉積在排出口而無法排出的情況，間接增加掘削開挖面之穩定性。而適當之泥漿配比也有利於防止逸泥的產生，在泥漿中補充細粒料則也可增加泥漿的流動性，見圖 2-4

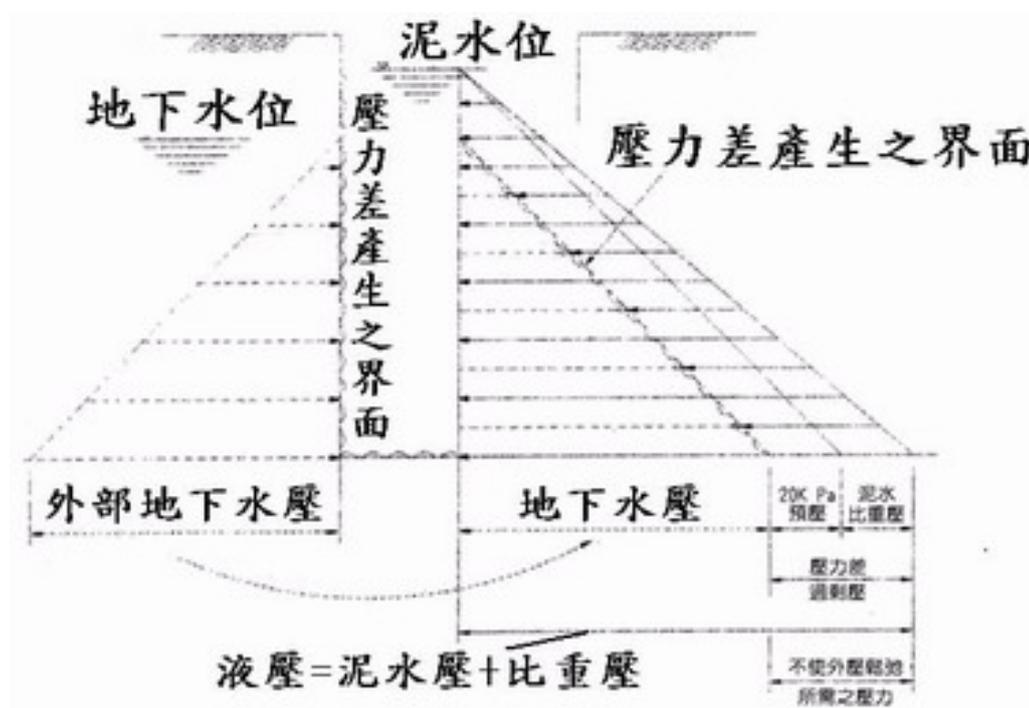


圖 2-4 掘削面壓力示意圖

泥濃式推進工法的機頭旁接有滑材注入孔，使機頭隨時包覆在滑材之中，減低推進時之摩擦力。除此之外，推進時會隨著推進，在管外壁注入固結型滑材，固結材雖然不具備強度，但可確保推進管不會直接觸土壁，不只大大的減少推進時的摩擦力，更可減少管壁與礫石碎屑摩擦而使管壁破裂，使得低推力的推進變成可能，並強化長距離及曲線推進能力，見圖 2-5、2-6、2-7。

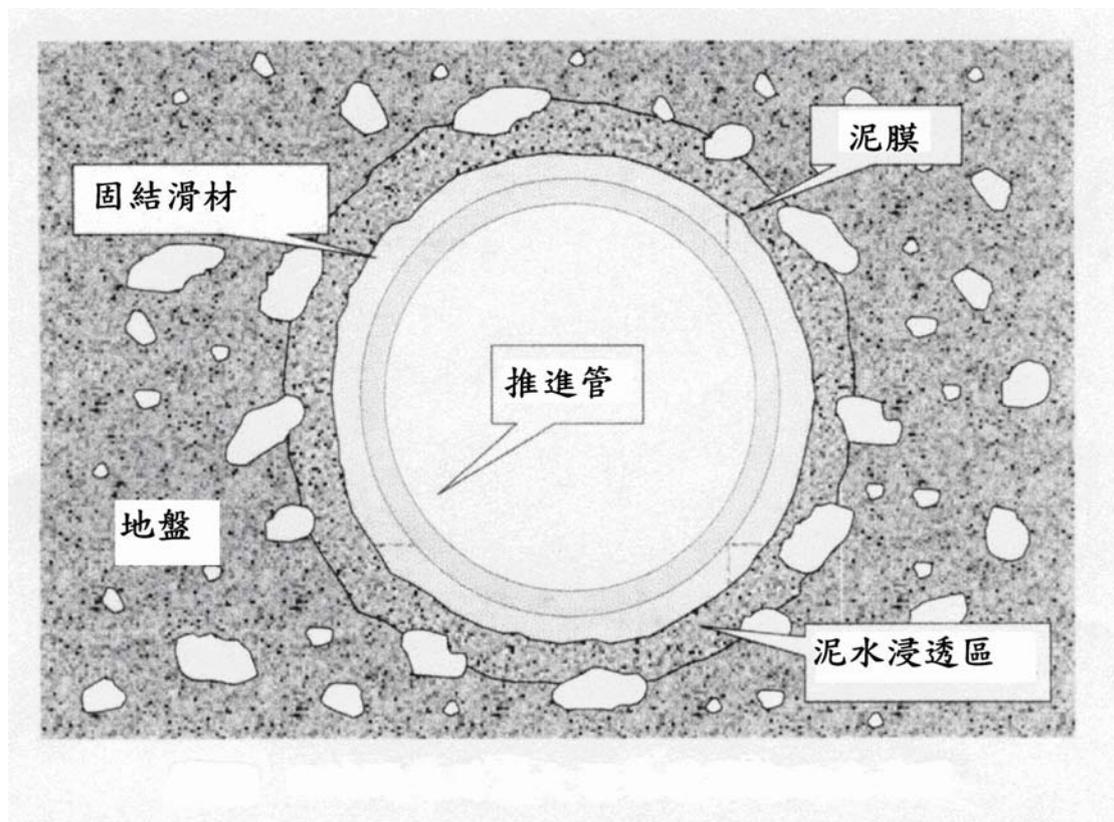


圖 2-5 濃泥水形成之固結滑材斷面示意圖

資料來源：中興工程顧問公司工法專欄，2005

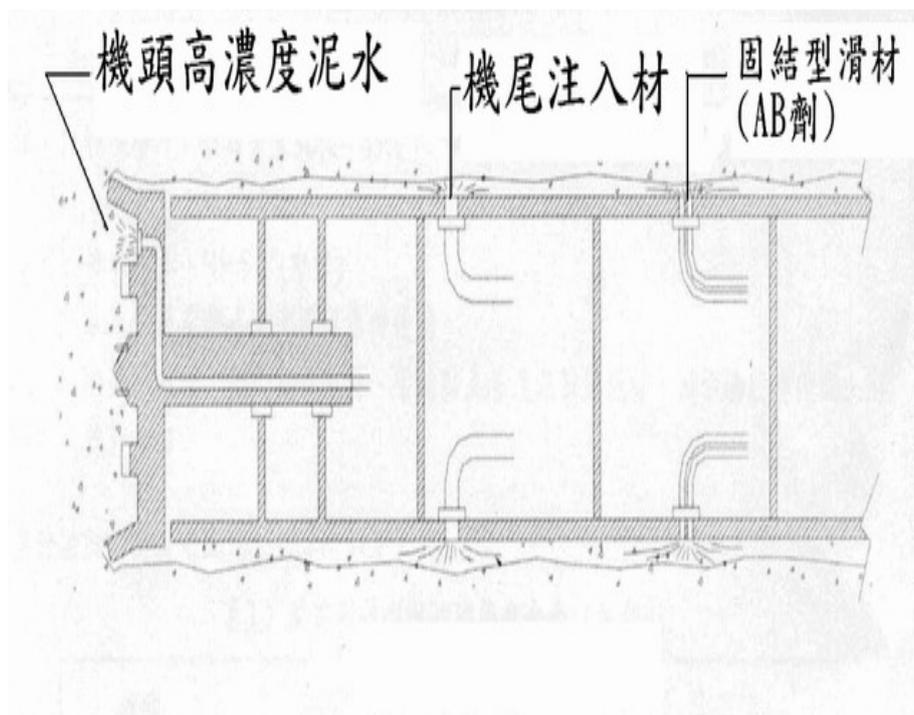


圖 2-6 高濃度泥水及滑材注入示意圖



圖 2-7 固結型滑材凝固後之型態

2.1.2 泥濃式推進工法排土方式

掘進機前端軸輪切刀頭切削的土砂與高濃度泥水材料攪拌合，變成高不透水性且流動性良好半塑性半液性的混合體。切削土倉內攪拌後泥流通過空氣橡皮閥（參考圖 2-8、2-9）並經由掘進機後端的礫石(70mm 以上)分離裝置將較大的礫石析離後，再以吸泥排土裝置將泥流運送至立坑以及設置於坑外的流體輸送變換裝置，經沉澱裝置分離處理後清運排土到廢土存放槽之後再用密封式土車搬送處理。

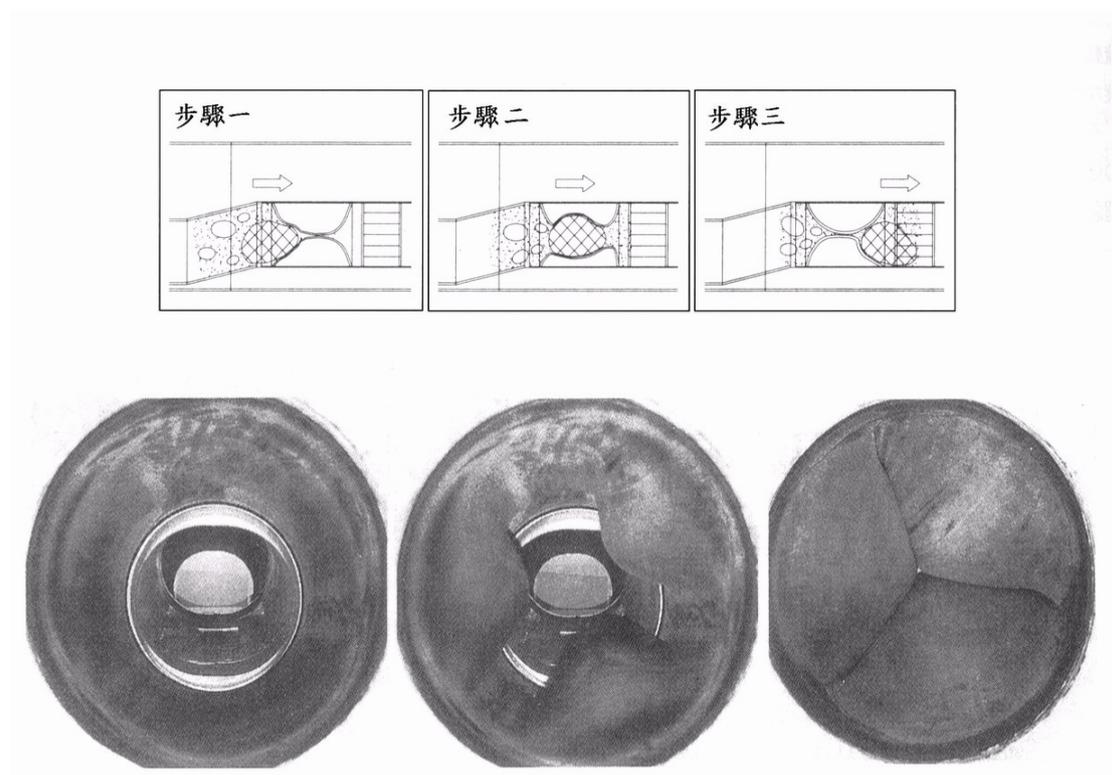


圖 2-8 泥濃式工法排土倉運作示意圖

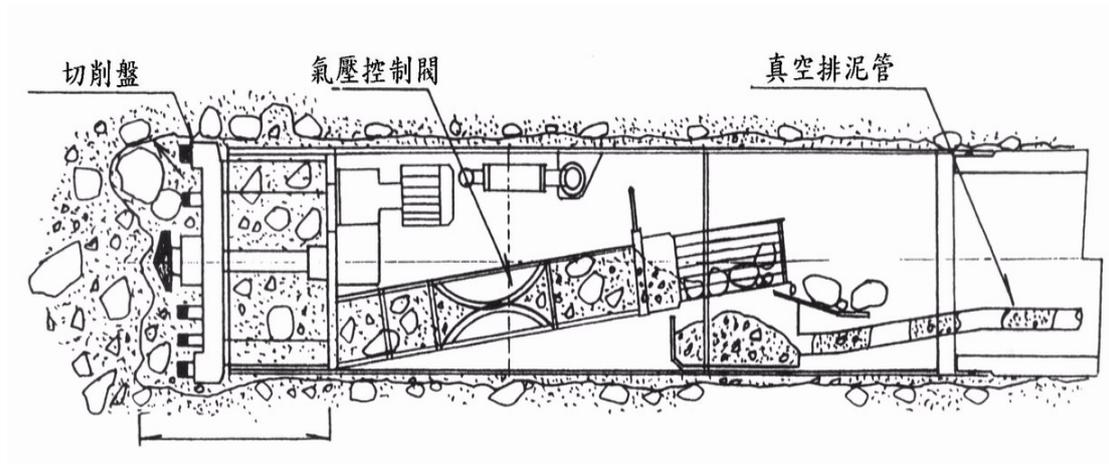


圖 2-9 泥濃式工法機頭運作示意圖

由於泥濃式推進工法的產業廢棄物為塑性廢料，處理時佔相當大的體積。若有需要，則可以使用廢土乾燥機，將產業廢棄物中的水分烘乾，使之成為泥餅再以卡車載送，如此可大大減少廢棄物之產量。

可參考圖 2-10



圖 2-10 廢泥乾燥排放設備

而掘進機分離出之礫石則直接以台車清運至立坑，吊送至地面後清運。其運作可參考圖 2-11。

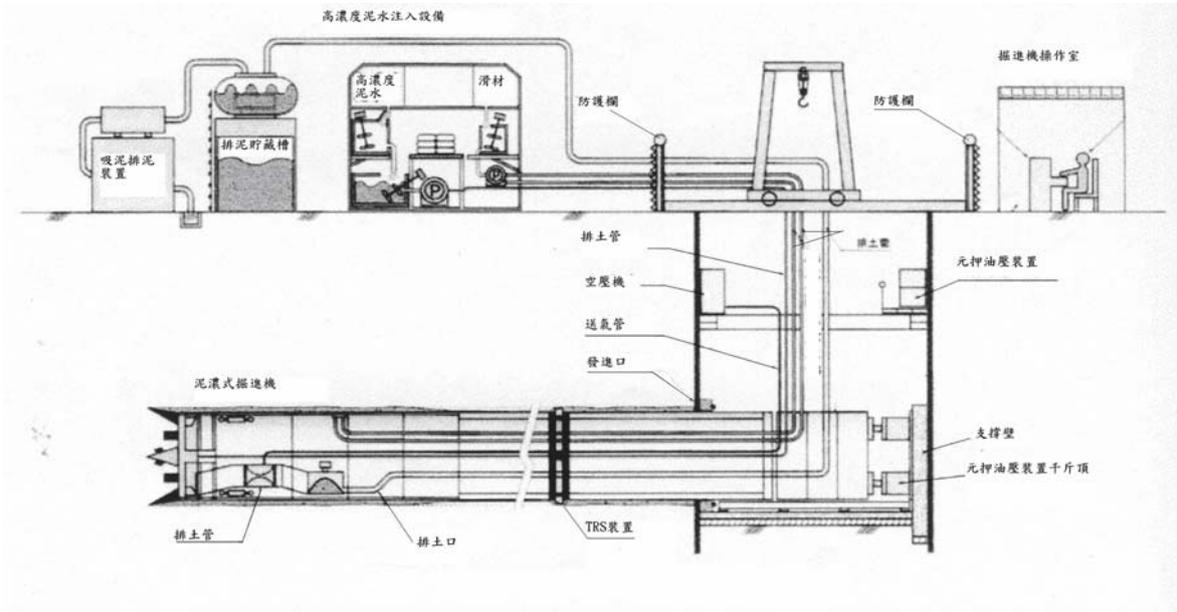


圖 2-11 泥濃式工法示意圖

2.1.3 泥濃式工法優點

1. 有效利用 25mm 之超挖空隙，於其間充滿高濃度泥水，再配合推管外固結型滑材，用低推力進行推進。
2. 使用氣壓控制閥進行排土，並裝設有螺旋式強制排土設備，當掘削現場之壓力上升時能順利排土。
3. 搭配尾端擴幅滑材再注入系統(TRS 系統)，使低推力及超長距離推進變成可能，並使減少推進管之破損。
4. 機頭使用兩段式的排土方式，使掘削面完全和機頭後方隔離，維

持掘削面之穩定。減少地表面及周遭房屋之影響。

5. 可適應土質範圍廣。
6. 曲線施工能力強，尤其是短管曲線，長曲線，及垂直轉彎推進。
7. 使用吸引式排土系統，管內換氣充足，其排土距離可依壓送方式而予以延長，亦無必要使用中繼泵浦。
8. 因無循環方式之故，得以比重 1.30 以上之高濃度泥水送泥，而且地下水湧入造成噴發現象非常少，而使掘削相當穩定。
9. 針對超挖部份，因高濃度水等已充分加壓，為長期穩定目的不斷注入固結型滑材，使管外鬆動部份分離，防止沈降以維持安定推力。

2.1.4 泥濃式工法缺點

1. 推進機頭和週邊設備費用高，政府預算不足支應。
2. 操作技術、做泥材料管理，技術層次高，操作人才訓練不易。

2.2 土壓式推進工法

2.2.1 工法概述

土壓式推進工法可分為土壓平衡與泥土壓平衡兩種，兩者的差別在於是否需要添加作泥材，當地盤之土質不具塑性，使得土碴不易排出，又或是地下水位過高，有湧水之虞時，則需添加作泥材，即為土壓平衡式工法，若否，則為泥土壓式平衡工法。土壓平衡式工法其推進方式是利用掘進機頭的切削盤（參考圖 2-12、2-13、2-14），以旋轉方式切割土壤，再將掘鬆之土壤送入螺旋輸送排出，利用排土速度及元押千斤頂的推力，平衡掘削面地盤之主動土壓力，由於切刀不是全面封閉，而是有開口的平面，為了保持切刀盤的推擠力可以平均作用在掘削面，土壓艙及螺旋輸送管內的土壓力必須保持在某一數值，當土壓艙內的土壓力超過該數值時，施工人員才可開啟螺旋輸送管末端的匣口出碴。在掘進的過程中，為了促進土壤之塑性流動化，可從機頭注射作泥材，使地層的土壤產生較高的塑性，並且控制土碴排量與摩擦力，也可以更方便的將土壤排出。此不僅可以減少切削盤切刀刀的磨耗，也可以更方便的將土壤排出。

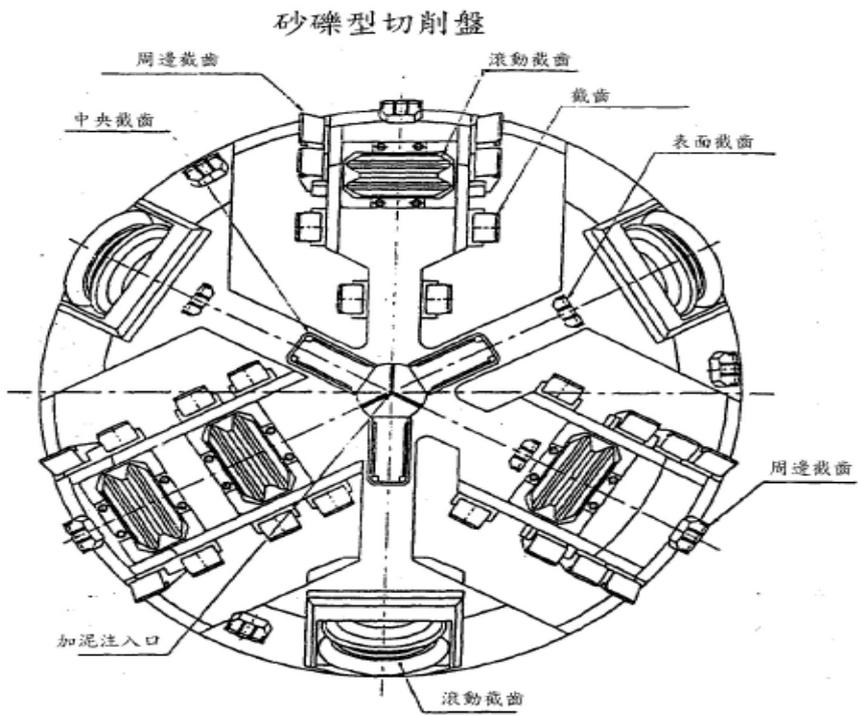


圖 2-12 土壓式掘削機頭示意圖

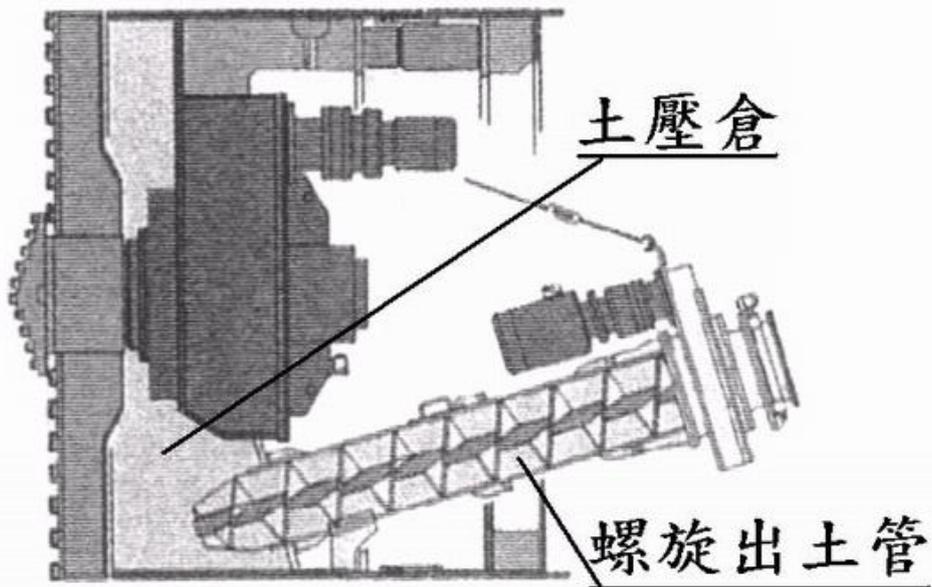


圖 2-13 土壓平衡掘進機構造圖



圖 2-14 土壓式工法-卵礫石或岩盤破碎型掘削機頭

2.2.2 土壓式推進工法排碴方式

土壓艙後接螺旋輸送管，可以經由排碴閘門連續排土至輸送帶，再送至運土台車，最後送至出發井，由門型吊車吊運到地面棄土坑。土壓式工法排土方式以固體輸送方式為主。圖 2-15 為土壓平衡推進工法示意圖。

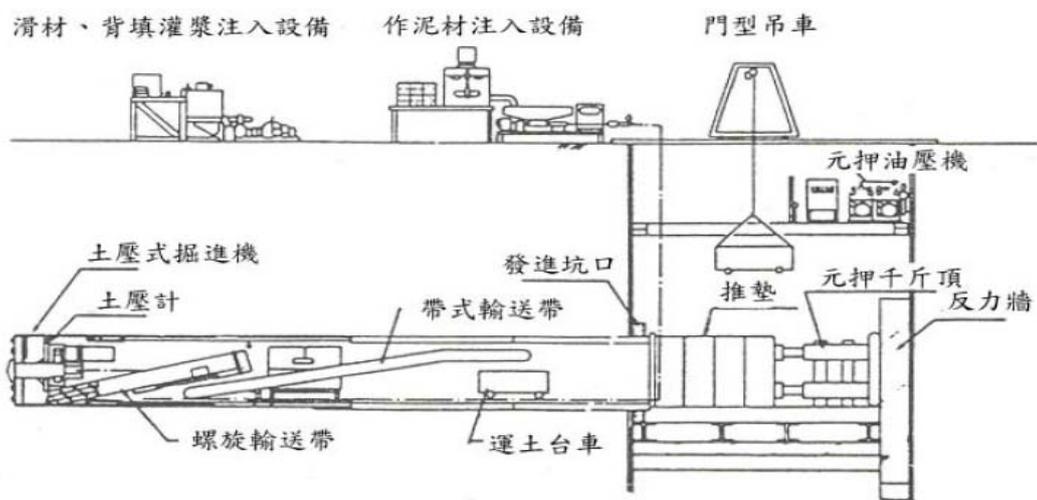


圖 2-15 土壓式工法示意圖

2.2.3 土壓式工法優點

1. 可適應廣泛土質施工。
2. 混合土層及土質變異性較大者皆適用。
3. 不需要大規模之廢土處理設備，施工佔用空間少。
4. 機頭結構簡單，可靠度提高。
5. 開挖面密閉，因此開挖面，土層崩塌之危險性小
6. 減少棄土處理設備，成本降低。

2.2.4 土壓式工法缺點

1. 土壓式工法無穩定液減少側壓力，若管材周圍無滑材注入，須使用較多中壓設備，方能順利進行推進。
2. 出土於井內操作，棄土處理速度較慢，坑內工作環境差，安全性低。
3. 不適合於地下水過高的地盤施工。

2.3 泥水式推進工法

2.3.1 工法概述

泥水加壓平衡式推進工法是作泥材(一般以皂土做為穩定液母材)，以送泥泵輸送至掘進機前端之開挖面，藉由加壓之泥水(比重在 1.05~1.2 之間)所產生之流體力學及土壤力學之安定力，在開挖面形成一不透水泥膜，且穩定液經切刀盤滲透至掘削面之土壤，會產生抑制地盤之水壓及土壓之凝聚力，以達切削面穩定之效果，再利用掘進機之機頭切削盤，切削開挖面之地盤。泥水式工法於卵石及堅硬地層施工時，可以採用具二次破碎機頭，第一次破碎利用切削刀盤上圓型切削盤將粒徑較大之卵礫石或岩石破碎，經一次破碎使土體可以經由切削刀盤開口進入二次破碎艙，再以掘進機內之圓錐破碎鼓進行第二次破碎。關於泥水工法機頭運轉示意圖及構造，參考圖 2-16、2-17、2-18。

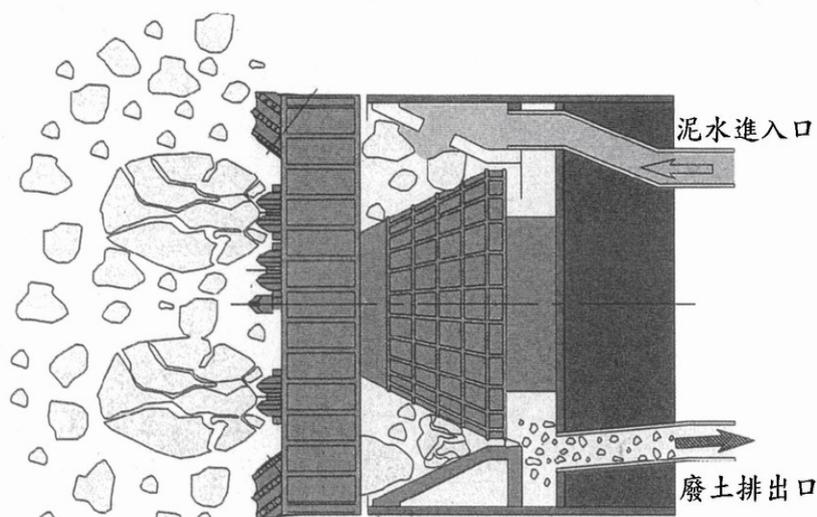


圖 2-16 泥水式推進工法機頭運轉示意圖

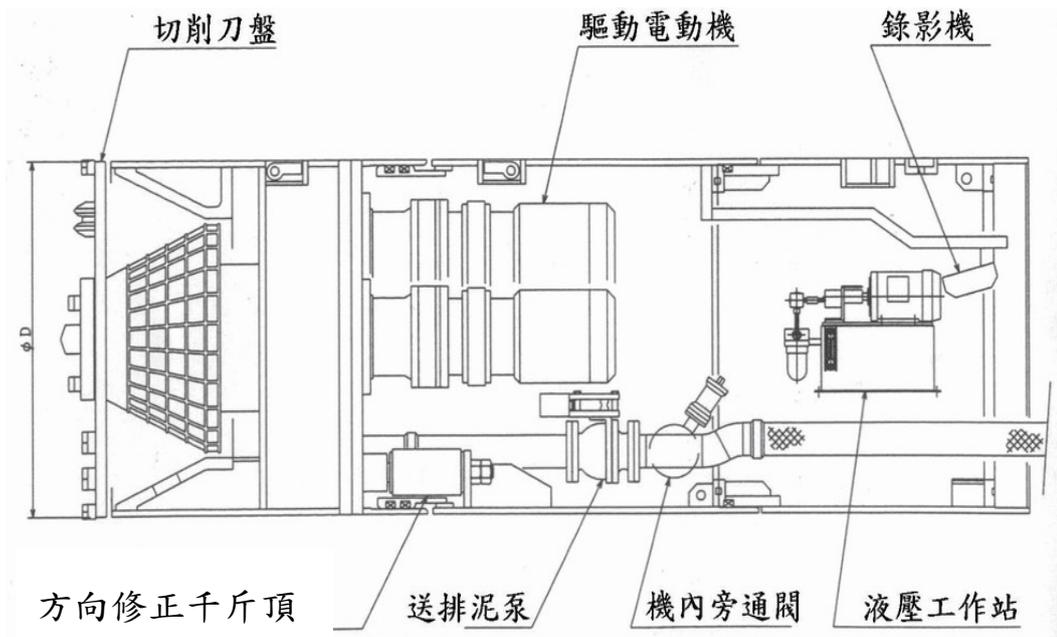


圖 2-17 泥水式推進工法機頭示意圖



圖 2-18 泥水式工法-卵礫石或岩盤破碎型掘削機頭

2.3.2 泥水式推進工法排碴方式

泥水式推進工法的泥水循環是屬於強制循環的方式，機頭開始運作後，管內之泥水就一直處於流動狀態，但仍需經由操作手視機頭內掘土量來決定是否開啟送排泥閘門，掘削後的碎石及廢土會隨著穩定液經排泥泵送到地面上之泥渣分離機進行脫泥處理。經由排泥泵抽出之殘渣，送至泥渣分機器處理後，作泥材再送入機頭內循環使用，殘渣匯集後運棄。可參考圖 2-19。

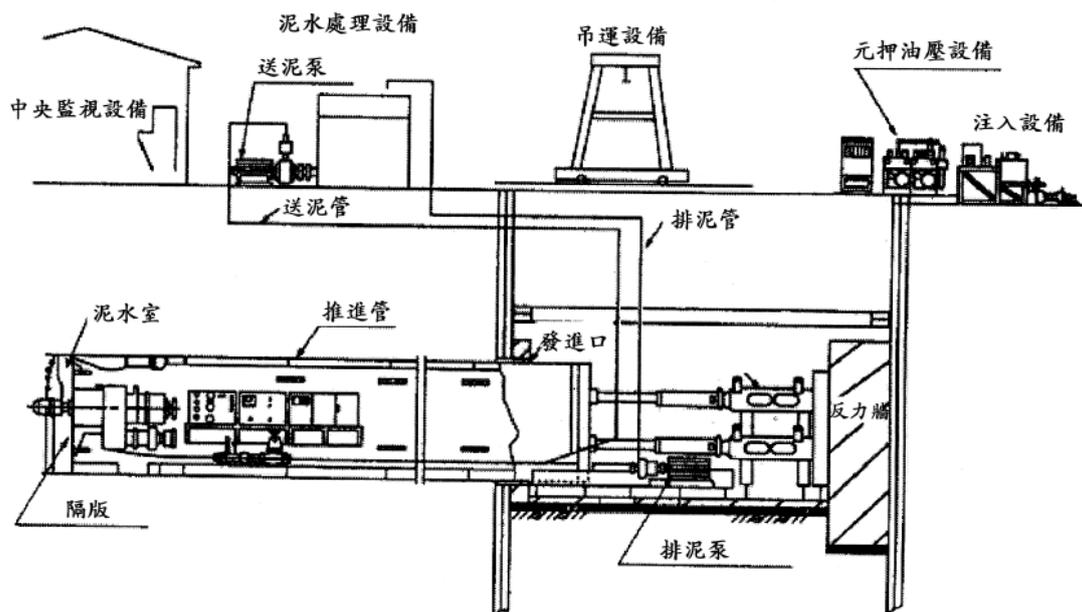


圖 2-19 泥水式工法示意圖

2.3.3 泥水式工法優點

1. 功率較高。
2. 開挖面保持穩定，地盤下陷所產生之不良影響少。
3. 可適用於特殊地質，如在卵礫石或岩盤地質推進速度較快。
4. 坑內作業環境良好，作業安全性高。
 - a. 開挖面崩塌之事故少。
 - b. 掘土以流體輸送，完全隔絕機頭前後之空間因此坑內運搬作業之危險性少。
 - c. 使用操作台進行遠端控制，推進管線內不須有長駐工作人員，在大氣壓下作業不用擔心有缺氧、潛水病、藥害發生。
5. 開挖、排土採一系列自動化流程，推進速度快，工期縮短。

2.3.4 泥水式工法缺點

1. 使用穩定液，排出之泥水若無完善之脫泥處理容易造成環境破壞。
2. 若送泥及排泥不當，會造成超挖現象而造成地面下陷或鄰房損害。
3. 受限於排泥管之尺寸及排泥泵能量，通過土渣尺寸過大，排泥管易造成阻塞。
4. 泥水工法需設置泥水處理設備，需較大之工作空間，且處理設備操作運轉易造成噪音及震動，影響鄰房甚鉅。

2.4 地箭式壓密工法

2.4.1 工法概述

地箭式壓密工法採用二次推進施工法施工(俗稱二次工法)，以導管設備先行推進至設計高程後，再加裝擴孔機機頭延續推進管材至到達井。地箭式工法特色為利用前導管先行貫通計劃路徑，但是低勁度的前導管若遇到較堅硬或非均勻地盤，容易造成方向偏移或挫屈，且後方管擴大後容易造成地盤擠壓隆起，對整個推進工程影響甚鉅，因此，地箭式工法較適合於鬆軟的地盤進行推進施工。

2.4.2 地箭式壓密工法排碴方式

地箭式壓密工法排碴方式有出發井或到達井排土兩種，若由到達井排土，螺旋輸送管則銜接於擴大切削頭前方，土碴經由擴大切削頭轉入前方螺旋輸送管由到達井排出；反之，螺旋輸送管裝置於擴大切削頭後方，土碴經由擴大切削頭後方螺旋管排出至出發井。出發井因放置機具設備，較無出土多餘空間，故多採用到達井排碴。

2.4.3 地箭式壓密工法優點

1. 可適應軟弱地質 N 值 10 以下地質。
2. 機頭結構簡單，施工效率高。

3. 第二次採壓密推進不必出土，減少處理廢土，可降低成本。
4. 施工後土壤 N 值提高，可穩定推進管線。
5. 成本低、工期短。

2.4.4 地箭式壓密工法缺點

1. 不具備方向控制裝置，施工精度不良。
2. 管徑過大，擠壓土壤過多，會造成地面隆起。
3. 土壤密度過大，能擠壓體積有限，會造成地面隆起。
4. 土壤強度過大或含有卵礫石，則無法貫穿。

第三章、地質調查及工法適應性

下水道推進施工對於不同地質特性、不同的推進距離及不同的工程特性，其選擇施工方法之考量會有所不同，針對不同的工法特性及地質條件，選擇最符合工地現場需求之工法，將是影響下水道推進工程成敗與否的關鍵。因此，本章先針對台灣地質現況與地質鑽探相關規定作一說明，再依地質狀況與不同推進工法的搭配應用，如泥濃、土壓平衡及泥水加壓三種推進工法，其適應性分述如下。

3.1 地質現況

臺灣地型複雜，大致分為三個地質區，即中央山脈地質區、西部山麓地質區、東部海岸山脈地質區，各區均為縱向斷層所分隔。臺灣的地層以沉積層為主體，主要分布於西部地區；中央山脈東半部則為中生代及古生代變質岩地層所組成；此外臺灣北部大屯山一帶、東部的海岸山脈及本島附近的島嶼、主要由安山岩質的熔岩流、集塊岩和凝灰岩所組成。就台北盆地來說，可約略分之三層，由下而上，稱之為新莊層、景美層、及松山層。新莊層僅分佈於盆地之西部以藍灰色之泥層為主，岩質鬆軟。本層偶夾灰色之砂層或礫石層。景美層大部份由砂、礫石所組成，於景美一帶最厚，其分佈最廣，而松山層主要由鬆軟未固結泥砂互層組成。因為複雜的地質對於污水下水道推進工

程產生許多工程問題導致工程進度的延宕，因此宜應參佐既有之相關法規及地質資料庫(如中央地調所)，再審度推進工程線型之特徵及地質複雜程度，制定合適之地質探測與工料分析，冀能有效提升推進工程開挖績效，俾使工程進度、品質與成本合於預期。

3.1.1 地質鑽探之相關規範

本小節依據中華民國大地工程學會於民國九十年十月一日編定之『建築物基礎構造設計規範』，提出此規範與下水道推進程相關之法規。我國之地質基礎研究、地質調查、地質資料管理多年來缺乏制度化及系統化機制之建立，於各種土地開發行為規劃及施工階段，雖已進行必要之地質調查及地質資料蒐集，但因缺乏可靠資料遵行之地質調查、監測及安全評估規範，導致所提供之地質資料之良窳不齊，未能確實反應開發地區地質特性。依目前僅有建築物基礎構造設計規範中對於地底下建物有所規範，以下我們將規範中的數個明細條列如下：

1. 調查範圍

調查範圍至少應蓋建築物基地之面積，及其四周可影響本基地工程安全性之範圍。

2. 調查點數

原則上，基地面積每六百平方公尺或建築物基礎所涵蓋面積每三百平方公尺者，應設一處調查點，每一基地至少二處；對於大面積之基地，基地面積超過六千平方公尺或建築物基礎所涵蓋面積超過三千平方公尺之部份，則視基地之情況而定。

3. 調查深度

至少應達到可據以確認基地之地層狀況、基礎設計與施工安全所需要之深度，可採下列原則：

(1) 淺基礎基腳之調查深度應達基腳底面以下至少四倍基腳寬度之深度。

(2) 樁基礎之調查深度應達樁基礎底面以下至少三倍基樁直徑之深度。

(3) 深開挖工程，調查深度應視地層性質、軟硬程度及地下水文條件而定，至少應達 1.5~2.5 倍開挖深度之範圍。

(4) 沉箱基礎之調查深度應達沉箱基礎底面以下至少三倍沉箱直徑或寬度之深度。

惟以上所述，乃針對一般基地面積之建物基礎而設定，對線型工程如推進工法適用性尚難周全，可於工程契約或工程保險制定較公平之風險分攤及彈性之設計、施工策略，以弭補目前未臻周洽之地下工程開發等相關法令規範。

3.1.2 推進工程之地質鑽探建議

既有法規中規定鑽探點數是依據矩形基地面積要求，但是由於推進工法屬於線型推進，如遇複雜地層時，只以上述法規執行鑽探可能會造成資料不足，宜注意工程標案之不同推進長度與地質變化程度作為合理鑽探點數與孔徑大小之推估；使能適切用於推進工法、機具選擇與工料計算。也可利用試坑的數據或既有之地質資料庫(如中央地調所目前所建置者)作為地質資料的收集，在鑽探數不足的情況下，提供較多參考依據以利於管推之進行。例如在卵礫石層中，管徑與粒徑之比值確會影響推進效率，建議保守估計其開挖之工法、機具選擇與工料分析，避免因地質鑽探與現地變異過大而引致之損失，或對複雜或不明之地質狀況可採行較大尺度之試坑行之。與此同時，地下開挖宜應有更適確地質調查規範、建立地質簽證與審查制度、強化地質資料管理機制及激勵地質教育、研究等配套措施。

3.2 泥濃式工法適應性

泥濃式工法在地質上的適應性相當廣泛，以下，分別敘述泥濃式推進工法在不同土質施工環境下的適應性。

3.2.1 泥濃式工法之適用地質

泥濃式推進工法之土質適應非常廣泛，適用地質整理如表 3-1：

表 3-1 泥濃式工法之適用地質及地下狀況(A)

土質條件	適應能力
標準土質 (A 土質)	施工完全無問題。
砂質土層 (B 土層)	施工上完全適應，但是若是遭遇回填之砂土層需另外進行檢討。(低覆土施工時，如覆土深度約等於管徑長，若是其覆土僅有 1.2m 深，則該處之孔隙率會相當高)。
巨石砂礫層 (C 土質)	最大排土粒徑為排土管徑之 40%，其限制為每推進 1 公尺排除約 4 個 30%管徑之礫石，大於此限制需使用破碎型掘進機。
砂礫層 (C 土質)	礫石含量：<90%、N 值：>50%(標準機)、 透水係數：<10-1cm/s 大於以上條件需使用破碎型掘進機>
黏性土層 (D 土質)	從固結黏性土層到軟弱黏土層均無問題，但若黏土容易附著於刀刃上，則必須添加附著防腐劑。
泥岩、頁岩、 風化砂岩、 固結粉砂層 (G-1 土質)	單軌抗壓強度 10MPa 以下，若使用破碎型掘進機，則可達到 150MPa 左右。

表 3-1 泥濃式工法之適用地質及地下狀況(B)

巨礫、卵石層 (G-2 土質)	在破碎型掘進機之使用下，對應巨礫及卵石之單軸抗壓強度可達 300MPa。但是，在巨礫之單軸壓縮強度為 300MPa 的施工狀況下時，其礫徑不能大於管徑之 80%。
高水壓、高覆土層	一般維持之水頭差為 20m，若覆土在 GL-12m 以下或向下傾斜開挖則需 2 段式排土設備，曾有 0.3MPa 水壓之實績，但需配合特殊設備
最小覆土	維持 1.0D 以上之覆土，若小於 1.20m 則需配合地盤改良
鄰近障礙物	維持管外徑 30% 左右以上之距離，或最小間距 0.30m 以上；橫過時維持 1.0 管外徑。
無水層	岩層和石砂礫層之外周阻抗將增加 10%~20% 左右，但對其他土質地盤則無問題。
流木、基樁等障礙	從實績而言沒有問題，但需選擇特殊刀刀。
含沼氣等土質	需配合防爆機器、通風設備及檢測系統等，但無掘進問題。

資料來源：中興工程顧問公司工法專欄，2005

3.2.2 泥濃式工法之適用條件

1. 街廓道路狹窄(8~15 米)，工作井施作不易，需長距離推進。
2. 交通主幹線、公車路線、來往車輛頻繁，工作井施做不易，需長距離推進。
3. 函箱地下管線眾多，不易遷移拆除處，需曲線推進處。
4. 地質堅硬地盤，對機頭破壞能力要求高之處。
5. 分支管網眾多，需方向控制精準推進。
6. 因設備費用昂貴，適用預算寬裕者。

3.3 土壓式工法適應性

土壓式推進工法適用地質廣泛，無論是普通土層、黏土、礫石土層、硬質土皆可適用，尤其是礫石土及硬質土地盤，且對於地下水位高之土層亦可使用此工法。

3.3.1 土壓式工法之適用地質

土壓式工法適用地質整理如表 3-3：

表 3-3 土壓式工法適應地質表

土層	詳細說明
普通土層	1. 砂質土壤 N 值小於 50 2. 礫石最大粒徑小於 20mm、礫石含有率小於 30%
黏土	1. 黏土及沉泥含有率在 30%以上之軟弱黏土 2. N 值為 10 以下
礫石土層	1. 最大粒徑 20mm 以上 400mm 之下 2. 礫石含有率 30%以上未滿 80%
硬質土	N 值在 10 以上但單軸壓縮強度在 $5\text{MN}/\text{m}^2$ 以下

資料來源：日本下水道管渠推進技術協會，2006 年

3.3.2 土壓式工法之適用條件

1. 街廓道路狹窄，施工區腹地狹小，設備擺放受限之地點。
2. 緊鄰民房、重要交通設施處，因排土量易控制，不易造成地面下陷或鄰房損害。
3. 因土壓艙傳遞推力與掘削面壓力平衡，適合地下水位低之地盤。
4. 無完善之脫泥及廢棄泥水處理設備者。

3.4 泥水式工法適應性

泥水式推進工法其適用地質範圍亦廣泛，如地下水壓高或土質變化大之地層皆可適用此工法，尤其是湧水多之軟弱地盤。但泥水式推進工法遇流木或既有構造物等地層則會有作業困難的問題，所以宜先將地層狀況調查完整。

3.4.1 泥水式工法之適用地質

泥水式工法適用地質整理如表 3-4：

表 3-4 泥水式工法適應地質表

土層	詳細說明
普通土層	1. 砂質土壤 N 值小於 50 2. 礫石最大粒徑小於 20mm、礫石含有率小於 30% 3. 黏土 N 值小於 10
礫石土層	1. 最大粒徑 20mm 以上 400mm 之下 2. 依排泥管近大小不同，最大粒徑 < 50mm 3. 礫石含有率 30% 以上未滿 80%
硬質土	1. N 值在 10 以上但單軸壓縮強度在 $5\text{MN}/\text{m}^2$ 以下 2. 黏土 N 值大於 10

資料來源：日本下水道管渠推進技術協會，2006 年

3.4.2 泥水式工法之適用條件

1. 街廓道路寬闊，施工區腹地大，設備擺放不受限制之地點。
2. 因遠端控制能力高，棄土處理方便，坑內環境乾淨、安全，適合預算條件寬裕，注重工區品質之業者。

3. 採泥水壓力與掘削面壓力平衡，適用地下水位較高之地層。
4. 推進效率高、適用地質範圍廣泛，適合趕工者。
5. 費用高於土壓式及地箭式，低於泥濃式。

3.5 地箭式壓密工法適應性

地箭式壓密推進工法其適用地質為鬆軟的地盤，如遇堅硬或非均勻地盤，常導致方向偏移或地面擠壓隆起。

3.5.1 地箭式壓密工法之適用地質

地箭式壓密工法適用地質整理如表 3-5：

表 3-5 地箭式壓密工法適應地質表

土層	詳細說明
軟弱土、砂質沈泥、沉泥	軟弱土、砂質沈泥、沉泥，N 值介於 0~5
普通土、砂質沈泥、沉泥	普通土、砂質沈泥、沉泥，N 值介於 5~10

資料來源：日本下水道管渠推進技術協會，2006 年

3.5.2 地箭式壓密工法之適用條件

1. 設備費用最低廉，設備維護成本低。
2. 遇軟弱地質，推進速率最快。

第四章、工作井種類

推進工法之工作井，可分為出發工作井及到達工作井，出發工作井之主要設置目的是做為人員、材料、機具及廢土之進出口，而到達工作井主要為機具撤場之取出口，若排土系統特殊，亦可能做為排土之出口，於工程施作完畢時，工作井通常不會回填，而是予以保留做為人孔設施以做為往後人員進出維修檢測之用。工作井可視為推進工法主要施工項目之開始與結束指標，由此可知工作井對於推進工程之重要性，故工作井設置之好壞，即有可能對於推進程產生極大之影響，不可不重視。本章參考【倪至寬，2005年，衛生下水道施工與標準作業程序(上)，詹氏書局】及【王義夫，民國85年，下水道管渠設計與施工，中華民國地下管道技術協會】介紹常有工作井之種類及尺寸計算方式，期望提供設計人員做為設計參考。

4.1 工作井種類

工作井通常會視地質情況、施工工法、工作井設置環境等因素而選擇不同之工法，目前工程界上較常使用的有鋼板樁、鋼襯板、沈箱、鋼套環等工法，以下將會各別介紹各工法之概要。

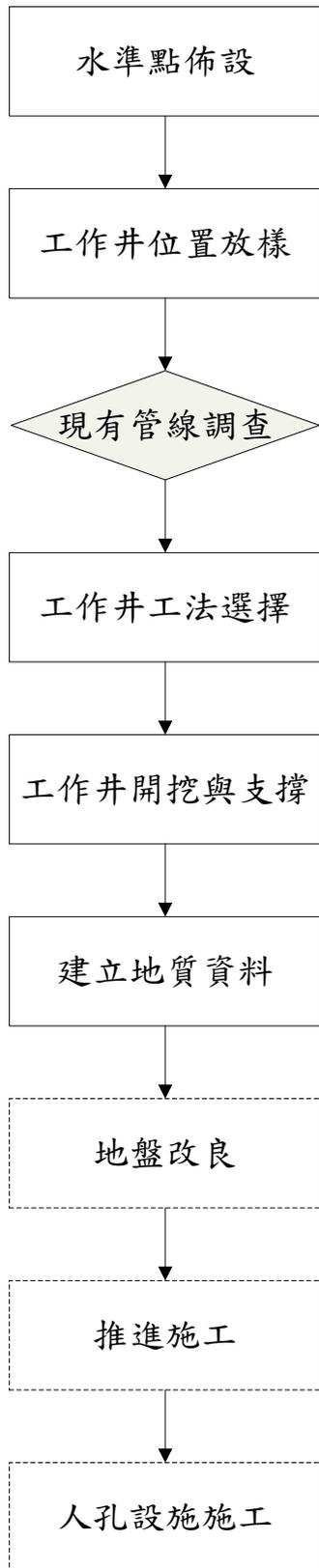


圖 4-1 工作井施工流程

參考資料：倪至寬，2005 年

1. 鋼板樁工法：

為使用 U 型、H 型等鋼板利用錘擊或者反作用力方式將鋼垂直打入地層中之工法。但由於是由錘擊或反作用力之外力將其壓入地層內，故在硬質土層或岩層施工較為困難，適用於普通土層。

2. 鋼襯板工法：

屬於逆打工法之一種，先進行工作井開挖，再施以鋼板安裝，最後在灌注混凝土完成工作井。由於開挖時通常無支撐設施，故不適用於自立性低之土層。其工法特色為止水性佳、精度高，且適用於硬質土層及卵礫石層。

3. 沈箱工法：

利用矩型或圓型混凝土預鑄沈箱，靠其本身自重或施以外力，使其向下沈陷之工法。但由於是預鑄，需考量到搬運及運輸成本問題。此工法適用於卵礫層，止水性屬優良。

4. 鋼套環工法：

利用立坑機將下環刃口向下壓入土層中，於挖掘坑內注入清水，並進行水中開挖，以一層一層之方式壓入鋼套環，並施以銲接，直到預定深度後再以特密管澆置混凝土。此工法開挖深度較淺，適用於小管推進。

4.2 工作井設計

推進工作井，依照推進機種、推進工法等因素之影響有很大之差異，且每工區之施工環境亦有很大之不同，實際上很難將型式做統一之標準，本小節將會介紹推進井尺寸之計算方式，供設計規劃人員做參考，實際工作井設置還需依現地實際條件等因素做修正考量。

1. 推進工作井：

$$\text{推進工作井長度}(L)=a+l+b+c+d$$

a：推進管連接作業空間 $\doteq 40\text{cm}$

l：推進裝置長度(m)：依照各工法及推進機具而有所不同

b：測量作業空間(m) $\doteq 60\text{cm}$

c：反力裝置厚度(m)：依照設計反力座之需求進行估算

d：推進口設施長(m) $\doteq 20\sim 30\text{cm}$

(王義夫，民國 85 年)

$$\text{推進工作井寬}(W)=w+2e$$

w：推進裝置寬(m)：依照各工法及推進機具而有所不同

e：安全作業預留空間(m) $\doteq 50\text{cm}\sim 80\text{cm}$

(王義夫，民國 85 年)

$$\text{推進工作井深}(H)=f+h$$

f：設計推進管中心深(m)

h：推進裝置安裝高度(m)

(王義夫，民國 85 年)

2. 到達工作井

$$\text{到達工作井長度}(L)=l+a+b$$

a：回收作業空間長度(m)(依各工法及各機具有所不同)

b：到達口設施長(m)

(王義夫，民國 85 年)

$$\text{到達工作井寬}(W)=D+2C$$

D：推進推進作業寬(m)(依各工法及各機具有所不同)

C：安作作業空間(m)≒50~80cm

(王義夫，民國 85 年)

$$\text{到達井深度}(H)=d+e$$

d：計劃管線中心深(m)

e：機具回收作業深度(m)

(王義夫，民國 85 年)

第五章、推進施工流程

本章節將分別闡述現今常使用的泥濃式、土壓平衡式與泥水加壓式推進工法之施工流程。一般而言，無論採用何種工法，其基本推進裝置一般皆由（1）工作井（2）反力牆（3）發進台（4）千斤頂（5）推環（6）推墊（7）墊塊（8）推進管（9）刃口等組成，以小管推進而言，會以 4~6 人組成一工作小組進行施工，施工細部在下述各小節中詳細說明。

5.1 泥濃式推進工法

5.1.1 泥濃式推進工法施工流程

泥濃式推進工法為日本於 1982 年開發出來之工法，近年來廣為採用，適用之管徑為 $\phi 600\text{mm}\sim 2400\text{mm}$ ，在無需中押裝置之情況下，推進長度可達 1000m，並採用特殊機具可適用於最小曲率 $R=14\text{m}$ 之急曲線推進（視管徑大小而定），以及 90% 以上之卵礫石或岩層地質。另一方面，為了解決在都市內構築工作井，以及迴避擁擠之地下埋設物和地下構造等困難，長距離推進或複雜的曲線組合成為特殊施工狀況將越來越頻繁。

深入瞭解推進工法各步驟細節，將以圖片與文字說明各步驟，施工流程如圖 5-1 所示。



圖 5-1 泥濃式施工流程圖

1. 準備工程：

進行方向、深度（斜率）基準點的測定、推進坑門型吊車及推進設備設置。如圖 5-2 準備工程基準點測定所示。



圖 5-2 準備工程基準點測定

2. 假設工程：

(1) 發進坑口中

注意推進法線以及計畫推進高層，由推進坑這一端安裝坑口設備，為了防止滑材、地下水等由推進坑口流入坑內，鏡面框是一大利器，混凝土澆置時候要十分注意。

(2) 反力壁工程

於立坑內量測出模版位置，以墨斗線畫出標定後再依設計尺寸組立模板。推進中為了不讓管線蛇行，壁面與推進基準線須保持垂直，並保持平整。

(3) 混凝土澆置

混凝土的澆置以人工進行，並使用振動棒強化每一個角落。

3. 安全設備工程：

天車昇降設備的設置，換氣設備的設置，氧氣濃度測定器的設置等執行。

(1) 墜落防止柵

立坑開口部以及爬梯處設置柵欄、扶手欄杆、安全網，防止墜落及避免不相關人員進入。

(2) 昇降設備

對於作業員在立坑內上下裝置，依立坑的深度設置備有防護的爬梯，並且在上下梯口設置安全休息區。

(3) 換氣設備

在立坑內作業中，氧氣濃度要達到 19% 以上，在開口部設置自然換氣以及使用送風機來強制換氣。

(4) 氧氣濃度測定器

作業開始時一定要進行氧氣濃度測定，並將其結果做成紀錄，讓作業員全員了解。而且氧氣濃度測定器要經常放置在立坑處。圖 5-3 為氧氣濃度測定器。



圖 5-3 氧氣濃度測定器

4. 推進設備工程：

立坑設備的推進架台設置、元押千斤頂、元押控制裝置的安裝，坑外設備的高濃度泥水設備的設置等等。元押千斤頂必須穩定堅固的安置。

5. 掘進機安裝工程

用起重吊車將掘進機在發進立坑內吊下並安放於推進台上，細部流程圖如圖 5-4 所示。圖 5-5，5-6 為掘進機立坑內設置 (I)(II)。

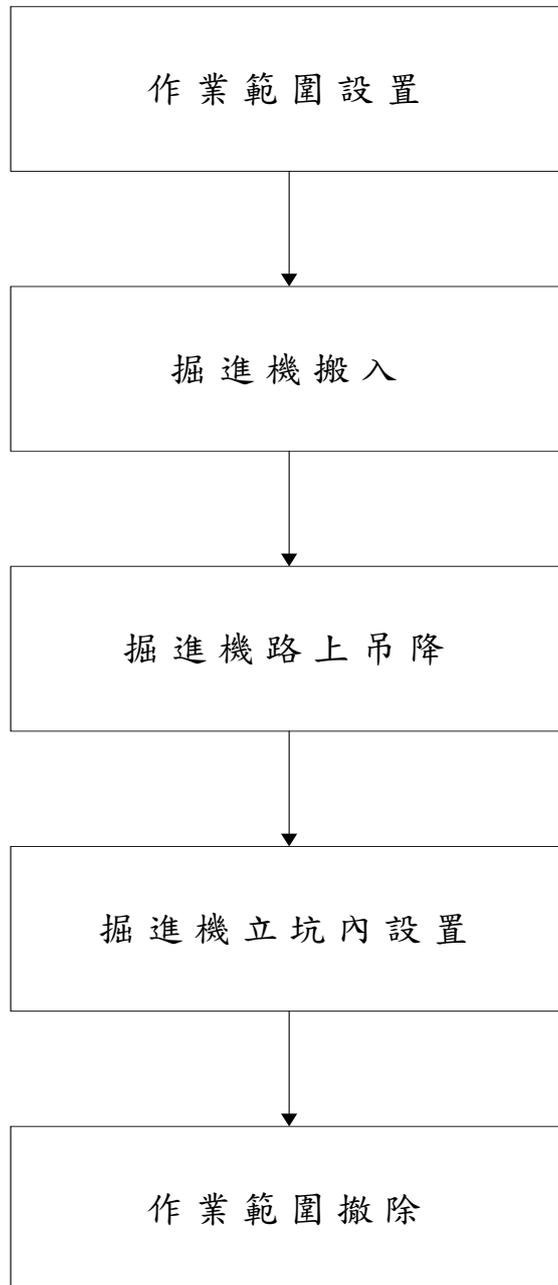


圖 5-4 機械吊入流程圖



圖 5-5 掘進機立坑內設置 (I)



圖 5-6 掘進機立坑內設置 (II)

6. 破鏡面工程

發進坑口內開數個確認孔，確認地質安定及止水狀況後，迅速的破除鏡面。圖 5-7 為破鏡面工程。破除鏡面後，將鏡面止水框押板上，並確認鏡面止水框橡膠的韌性狀況，確保元押千斤頂推進掘進機並與地質接觸入坑後，高濃度泥水設備所輸送出來的高濃度泥水能一邊送泥，同時切削面盤旋轉並持續的推進。剛開始推進時，由於掘進機自重的關係較易有下沉的傾向，所以要謹慎的控制方向。掘進機以充滿的加壓高濃度泥水旋轉切削，在攪拌室與掘削土砂攪拌，混合後成為高不透水性且流動性良好的半塑性混合體，能夠對抗靜止土壓力，同時一邊監測切削的穩定性來進行初期推進。



圖 5-7 破鏡面工程

7. 推進工程

(1) 推進管安裝

掘進機的操作管理是利用操作台，以遠端操作方式進行控制。元押千斤頂掘進機推入並與地層接觸後，由送泥設備一邊送泥一邊切削旋轉開始推進，並逐一安裝推進管。在依所定位置安放緩衝材之後，再進行照明、動力、控制線、排土管、油壓軟管、各種灌注液輸送管等的連接。

(2) 送泥工程

在進行推進時，為了維持開挖面的穩定，必須於機頭前端注入作泥材或是高濃度泥水等材料以保持開挖面土壓力的平衡，防止開挖面地層崩落並減少機頭切削盤運轉的摩擦力。高濃度泥水材是以掘削土砂攪拌流動時，防止切削面的坍塌為目的。圖 5-8 為泥濃式工法之高濃度泥水及滑材注入示意圖

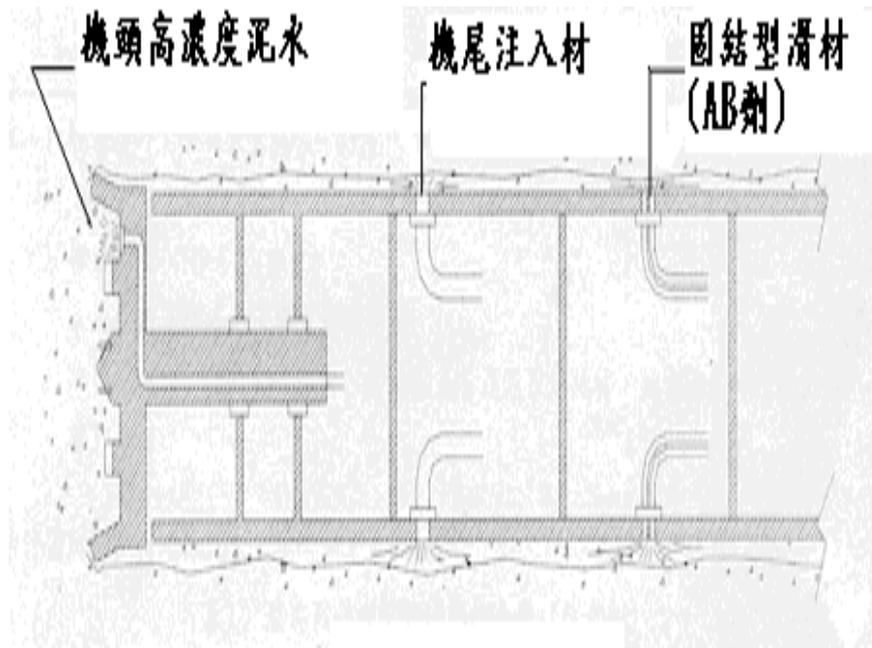


圖 5-8 高濃度泥水及滑材注入示意圖

(3) 滑材注入工程

推進工法灌注滑材最主要的目的就是為了減低整個系統在地層中前進的摩擦力，如此便可確保能以最低之推進力進行施工，減少推進管破裂情況的發生。一般依照使用位置的不同，分為下面兩類，如表 5-1 所示。詳細計算公式如附錄 II 所示

表 5-1 推進工法之滑材使用位置分類

掘進機外周注入材	掘進機外周注入材灌注目的在降低掘進機前進之摩擦力及維持周邊地盤之穩定。一般來說，它是在掘進機推進時由掘進機周圍之管線注入。
推進管外壁注入材	為了減輕管外周的摩擦力及保護推進管不會被管外地層之碎石所傷，在推進時會利用推進管上的注入孔，在推進管外壁注入滑材，確保推進管管壁不會直接和外部地層接觸。而在長距離推進時，會因為長時間的推進，導致管外壁的滑材產生劣化及遺失的現象，此時就必須對滑材施以二次灌注，維持管外壁滑材的功效。在滑材的種類上又可以區分為二液固結型滑材、固結型滑材及一般高分子滑材。

(4) 土渣排出

掘進機前端軸輪切刀頭切削的土砂與高濃度泥水材料攪拌合，變成高不透水性且流動性良好半塑性半液性的混合體。切削土倉內攪拌後泥流通過空氣橡皮閥並經由掘進機後端的礫石(70mm 以上)分離裝置將較大的礫石析離後，再以吸泥排土裝置將泥流運送至立坑以及設置於坑外的流體輸送變換裝置，經沉澱裝置分離處理後清運排土到廢土存放槽之後再用密封式土車搬送處理。而掘進機分離出之礫石則直接以台車清運至立坑，吊送至地面後清運。

8. 到達工程

(1) 破鏡面工程

在機頭即將前進至到達坑時，必須於其內開一個確認孔

($\Phi 100\text{mm}$ 左右)。接下來就必須確認機械位置以及調查地層，並在鏡面破除口附近進行地盤改良，強化該處之地盤結構以避免崩塌，並妥善作好止水工程預防破鏡時地下水或是各種施工灌注液的噴出。待地質安定及止水工程完成後，以機械中心點為準，確認機械外周位置，便可以開始切除鏡面。切除鏡面的時候約比機械外徑大 20mm 左右做切割，破除鏡面後將鏡面框橡膠及押板裝上，裝好後立刻將掘進機推出來，如圖 5-9 所示。

(2) 掘進機吊上架台

掘進機在進入到達坑後，會安置在到達坑中之安置架上，再以吊運設備將之運出坑外。



圖 5-9 到達坑口工程

9. 掘進機搬出工程：

推進機拆除時，以起重機一邊將機頭水平吊掛，同時將機頭推出，保持固定的高度一邊拉出來，推進機拆除完成之後將推進管推到所定的位置。圖 5-10 為掘進機搬出實況。

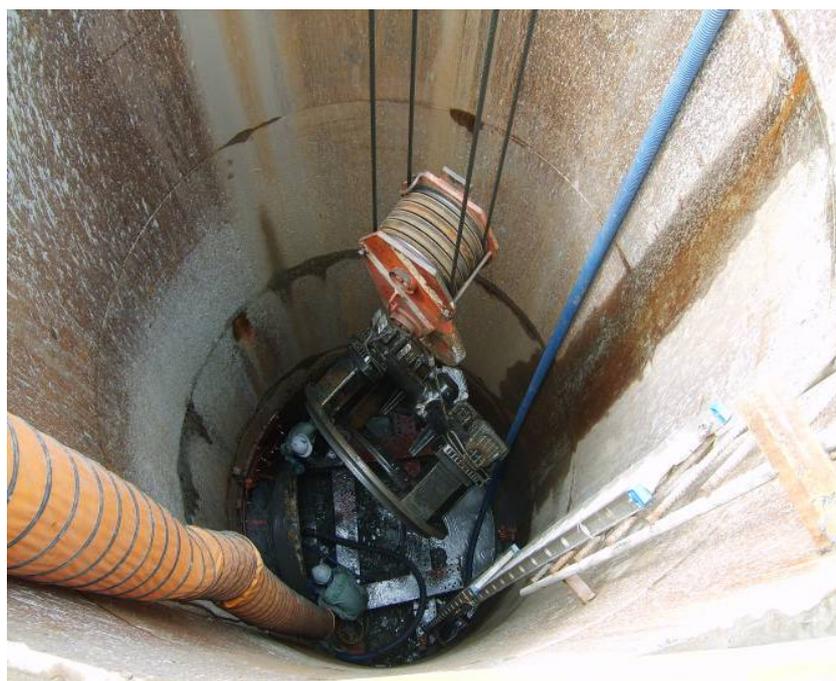


圖 5-10 掘進機搬出工程

10. 管內拆除工程：

實施管內設備（各種灌注液灌注軟管、空壓軟管、電力纜線、操作線、排土管、管內照明等）的拆除，用台車自管內搬出，以門型吊車運送至坑外。

11. 背填灌漿注入工程：

推進完成後推進管和地層之間的空隙以背填材料充填，防止地層

的鬆弛下陷。在推進完成後，立刻由各推進管所預留設置的注入孔，依次注入壓力，施作時壓力需維持在 0.2MPa 程度以下，並注意作業時不要對地上和地下構造物造成影響。

12. 管接縫補漿工作：

由於推進管埋設位置通常在地下水位以下，在推進完成時需進一步對推進管間的縫隙做止水處理，防止地下水的侵入。管接縫填塞是以拌合較硬的配比（1：2）來使用，施工的時候管接縫要充分的清掃乾淨，以免管接縫填塞剝離，充份的充填將可能有效讓水不會輕易滲入。而推進管外壁之滑材注入孔則是使用止水塞頭進行密封的動作。

13. 管內清掃工程：

管清掃工作是將土砂等異物排除和管內物品搬出後，以清水將全段管內清洗的作業。

5.1.2 尾端擴幅滑材再灌注系統(TRS 系統)之使用

TRS 裝置的設置類方式類似傳統工法之中押裝置，TRS 系統可以有效減低推進管與地層摩擦力，使超長距離推、急曲線推進變成可能。

1. 超長距離施工之 TRS 裝置使用範圍

超長距離推進施工使用範圍(管徑 700 到 2400mm)在進行超長距離之施工時本裝置使用 TRS 裝置之推進延長距離如表所示。由於該裝置，使得低推力之施工變成可能，故可使高強度推進管的使用範圍更廣。在巨礫及岩盤地層專用之破碎型掘進機使用的時候，使用該裝置則可隔離掘削時產生的碎片與管接觸，進而防止推進管的破損。

2. 超急曲線施工之 TRS 裝置使用範圍

在進行超急曲線施工時(管徑 800 到 2400mm)，本裝置之使用需配合管之曲折現象。在像是卵石砂礫混合層之急曲線推進施工時，此裝置之確實使用則可確保因曲線外側之地盤反力增大之已導致推進管局部破損之防止，使曲線推進抵抗力能夠大大的降低。

3. TRS 滑材灌注量計算

本節之滑材二次注入是由 TRS 系統進行注入工作，目的在減少長距離推進之摩擦力。TRS 系統在灌注滑材時會先以自身之檔土板向外擴幅 10mm 之空隙，其計算公式如下：

$$\text{注入量} = \frac{[(\text{管外徑} + 0.010 \times 2)^2 - (\text{管外徑})^2] \times \pi}{4 \times 1.0(\text{m})}$$

5.2 土壓式推進工法

土壓平衡工法是指在推進機前端，加入掘削添加材，設法使地層的土壤產生塑性流動化，造成一段不透水層，抵抗機頭前端地層的土壓，一面旋轉面盤進行掘進，一面控制排土量，使切削面土壓維持穩定狀態下，進行水泥管推進的工法。其詳施工流程如圖 5-11 所示。

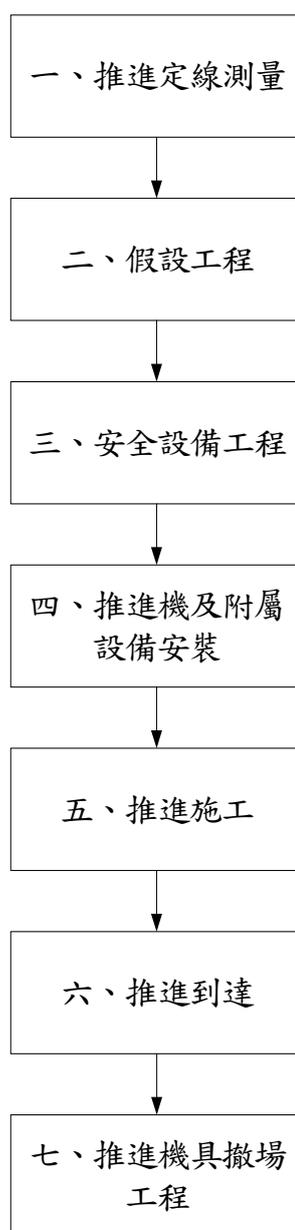


圖 5-11 土壓式施工流程圖

1. 推進水準測量

將鄰近水準點依設計高程引測至工作井鄰近之堅實固定物，以供推進機組之高程標定及機具架設，並供入坑、出坑時檢測之用。

2. 假設工程

(1) 發進坑設施(鏡面工)

由推進坑這一端安裝坑口設備，為了防止滑材、地下水等由推進坑口流入坑內。

3. 安全設備工程

天車昇降設備的設置，換氣設備的設置，氧氣濃度測定器的設置等執行。

(1) 墜落防止柵

立坑開口部以及爬梯處設置柵欄、扶手欄杆、安全網，防止墜落及避免不相關人員進入。如下圖 5-12 墜落防止柵



圖 5-12 墜落防止柵

(2) 爬梯

對於作業員在立坑內的上下裝置，依立坑的深度設置備有防護的爬梯，並且在上下梯口設置安全休息區。於小管推進時，受限於工作井大小因素，上下樓梯時，須使用三點式背負式安全帶，常以搭接式階梯做為進行工作井之設施。

(3) 換氣設備

為避免因氧氣濃度不足或沼氣而造成工作人員於在立坑內作業中，氧氣濃度要達到 19% 以上，在開口部設置自然換氣以及使用送風機來強制換氣。

4. 推進機及附屬設備安裝

(1) 推進機台安裝

於完成上述作業後，依設計高程及管底高程安裝發進機台，推進機台便可以天車吊運到井內進行安置作業，此時需注意，發進機台必須確實固定，以避免因施工時機台運轉振動而導致路線偏移。最後，於發進台尾部依設計高程，坡度架設測量儀器，使推進時可依照設計坡度需求做調整。



圖 5-13 土壓式工法推進千斤頂機台

(2) 添加材注入設備

土壓推進工法於施工進行時，需注入掘削材於機頭以使土層產生塑性化之現象以利排碴。另亦需注入滑材於機身及管材四周，以降低土壤與機身(管材)之摩擦力。



圖 5-14 土壓式工法注入材攪拌設備

(3) 天車設備工程

天車設備是用來吊運推進機台、推進機與管材入坑之設備，另於台灣地區，使用土壓式推進工法，通常是採用人力出土方式，所謂的人力出土，即是以螺旋出土管將棄土送至坑內後，坑內工作人員以土鏟鏟至土桶中，以天車吊運至坑外棄置，因此，此時天車設備需擔任出土吊運設備。

5. 鏡面工程

發進坑口內開數個確認孔試水，確認地質安定及止水狀況後，迅速的破除鏡面。鏡面止水框押板裝上後，破除鏡面，並確認鏡面止水框橡膠的韌性狀況。剛開始推進時，由於掘進機自重的關係較易有下沉的傾向，所以要謹慎的控制方向。

6. 推進工程

(1) 推進管安裝

推進管之安裝，是以天車設備將水泥推進管吊放至坑內，再由坑內工作人員將機身與管材進行接合，並將螺旋出土管以及其它控制線、控制油管連接，以利出土。於進行安裝時期，仍需以一名工作人員操控天車進行管材高程微調，至安裝完成為止。



圖 5-15 推進管材吊放工作



圖 5-16 土壓式工法推進管安裝工作

(2)送泥工程

土壓式工法利用滑材降低管壁四周與土壤之摩擦力，因此於推進施工時，需隨時注意添加材情況。於推進剛開始時，由於添加材尚未輸送至管壁四周，需放慢推進速度，以免推進扭力過大而損壞推進機本體。而土壓式工法之添加材，通常以皂土加水攪拌而成。詳細注入量計算公式如附錄II所示。



圖 5-17 土壓式工法掘削添加材



圖 5-18 土壓式工法添加材攪拌情形

(3)土碴排出

土壓式工法採用螺旋出土，是於管材內裝置螺旋出土管，將掘削後之土碴送至立坑內，再以人力將棄出鏟至土桶中，用天車吊至坑外棄置。

7. 到達工程-破鏡面工程

在機頭即將前進至到達坑時，與出發相同，必須於其內開一個確認孔（ $\Phi 100\text{mm}$ 左右）。接下來就必須確認機械位置以及調查地層，在推進到達前必須在鏡面口破除口附近施作地盤改良，強化該處之地盤結構以避免崩塌，並妥善作好止水工程預防破鏡時地下水或是各種施工灌注液的噴出。待地質安定及止水工程完成後，以機械中心點為準，確認機械外周位置，便可以開始切除鏡面。切除鏡面的時候約比機械外徑大 20mm 左右做切割，破除鏡面後將鏡面框橡膠及押板裝上，裝好後立刻將掘進機推出來。



圖 5-19 機具出坑

8. 推進機具撤場工程

推進機拆除時，以起重機一邊將機頭水平吊掛，同時將機頭推出，保持固定的高度一邊拉出來，推進機拆除完成之後將推進管推到所定的位置，細部流程如圖 5-20 所示。最後，將油壓管、注入材管與電纜等管材線材進行拆除並回收，並搬移至下一施工工區重新利用。

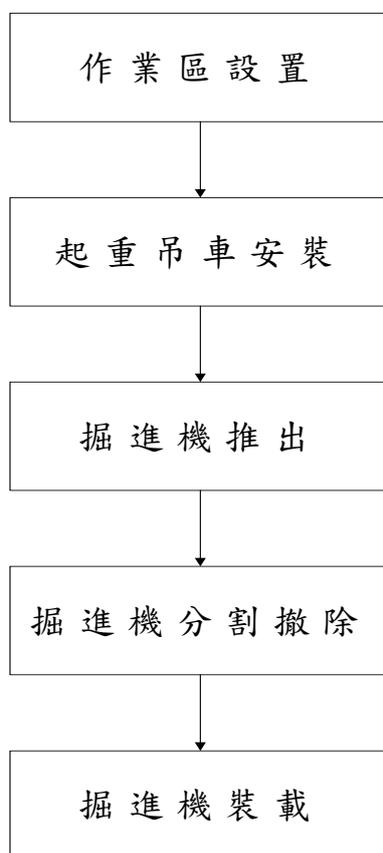


圖 5-20 推進機拆除流程圖

5.3 泥水式推進工法

泥水式推進工法係將泥水以送泥幫浦，輸送到機頭的密閉泥水室，利用加壓的泥水與機頭保持開挖面的穩定，同時旋轉掘進機之切削盤，以切削開挖土壤，再以排泥管將泥水輸送至泥水處理設備，處理後泥水再送到泥水循環室使用，殘渣運棄處理，其推進設備主要有切削轉盤、泥水室、驅動馬達、千斤頂、送排泥管系統等，詳細施工流程如下圖 5-21 所述：

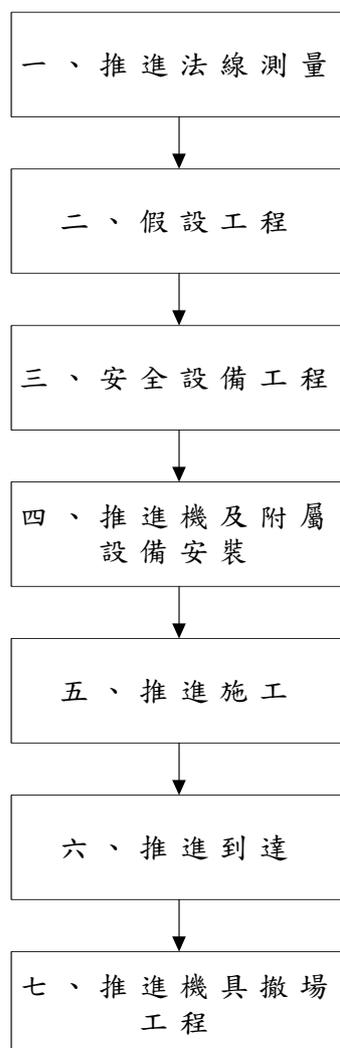


圖 5-21 泥水式施工流程圖

1. 推進法線測量

將鄰近水準點依設計高程引測至工作井上方，以供推進機組之高程標定及架設，並供入坑、出坑時檢測之用，圖 5-22 即為工程人員進行定線引測工程之情況。



圖 5-22 泥水式工法定線引線測量

2. 假設工程

(1) 發進坑口中

注意推進法線以及計畫推進高程，由推進坑這一端安裝坑口設備，為了防止滑材、地下水等由推進坑口流入坑內，混凝土澆置時候要十分注意。

(2) 反力牆工程

於立坑內量測出模版位置，以墨斗線畫出標定後再依設計尺寸組立模版。推進中為了不讓管線蛇行，壁面與推進基準線須保

持垂直，並保持平整。

3. 安全設備工程

天車升降設備的設置，換氣設備的設置，氧氣濃度測定器的設置等執行。

(1) 墜落防止柵

立坑開口部以及爬梯處，設置柵欄，扶手欄杆，安全網、防止墜落及避免不相關人員進入。

(2) 爬梯

對於作業員在立坑的上下裝置，依立坑的深度設置備有防護的爬梯，並且在上下梯口設置安全休息區。



圖 5-23 搭接式樓梯

(3) 換氣設備

在立坑內作業中，氧氣濃度要達到 19% 以上，在開口部設置

自然換氣以及使用送風機來強制換氣。

4. 推進機及附屬設備安裝

(1) 推進機台安裝

於完成上述作業後，依設計高程及管底高程安裝發進機台，推進機台便可以天車吊運到井內進行安置作業，此時需注意，發進機台必須確實固定，以避免因施工時機台運轉振動而導致路線偏移。最後，於發進台尾部依設計高程，坡度架設測量儀器，使推進時可依照設計坡度做調整。



圖 5-24 泥水式工法推進千斤頂機台

(2) 作泥材注入設備

泥水式工法有別於土壓式工法之處，在於其出土方式是由泥水將掘削後之土碴帶出，經分離後再將注入材循環利用，因此，泥水式工法之添加材注入設備通常是與土碴分離機為一體。如圖

5-25 所示。



圖 5-25 泥水式工法注入材設備

(3) 天車設備工程

天車設備是用來吊運推進機台、推進機與管材入坑之設備，其設置之標準，應以施工過程中，吊運最大荷重為目標，如因場區限制，無法設置大型機台，則需以單管重量為設計載重，於需吊運機台、機身時，再行設置其它起重設備協助施工。

5. 鏡面工程

發進坑口內開數個確認孔，確認地質安定及止水狀況後，迅速的破除鏡面。破除鏡面後，將鏡面止水框押板裝上，並確認鏡面止水框橡膠的韌性狀況。剛開始推進時，由於掘進機自重的關係較易有下沉的傾向，所以要謹慎的控制方向。

6. 推進工程

(1) 推進管安裝

推進管之安裝，是以天車設備將水泥推進管吊放至坑內，再由坑內工作人員將去與機身(前管)進行接合，並將注入材管、送泥管、排泥管與電、油壓管與推進機台做連結，以確保推進施工順利。於進行安裝時期，仍需以一名工作人員操控天車進行管材高程微調，至安裝完成為止。

(2) 送泥工程

泥水式推進工法，於施工時，需由送泥管將泥水材送至機頭，藉以滲透、填充土壤之空隙。於機身四周，亦需注入滑材以降低管壁與土壤之摩擦力。於推進剛開始時，由於添加材尚未輸送至管壁四周，需放慢推進速度，以免推進扭力過大而損壞推進機本體。泥水式工法之添加材，通常以皂土加水攪拌而成。詳細注入量計算公式如附錄 II 所示：



圖 5-26 泥水式工法掘削添加材



圖 5-27 泥水式工法添加材攪拌情形

(3) 廢渣排出

泥水式工法是將注入至切削面之泥水，與切削土壤混合成懸濁性泥水後，再以排泥泵將泥水輸送至坑外，以泥渣分離機於坑外將沙、土與泥水分離處理後，其廢渣運送至廢棄場，泥水再調整比重與黏性後由送泥泵再循環送至掘削面使用。



圖 5-28 泥水分離情況

7. 到達工程-破鏡面工程

在機頭即將前進至到達坑時，與出發相同，必須於其內開一個確認孔（ $\Phi 100\text{mm}$ 左右）。接下來就必須確認機械位置以及調查地層，並在鏡面破除口附近進行地盤改良，強化該處之地盤結構以避免崩塌，並妥善作好止水工程預防破鏡時地下水或是各種施工灌注液的噴出。待地質安定及止水工程完成後，以機械中心點為準，確認機械外周位置，便可以開始切除鏡面。切除鏡面的時候約比機械外徑大 20mm 左右做切割，破除鏡面後將鏡面框橡膠及押板裝上，裝好後立刻將掘進機推出來。

8. 推進機具撤場工程

推進機拆除時，以起重機一邊將機頭水平吊掛，同時將機頭推出，保持固定的高度一邊拉出來，推進機拆除完成之後將推進管推到所定的位置。最後，將油壓管、注入材管與電纜等管材線材進行拆除並回收，並搬移至下一施工工區重新利用。

第六章、推進生產力參考值

6.1 施工地質分類

推進工法在推進時，不同的地質條件會直接影響到機頭切削盤的運轉效率，及推進工法相關機械的可靠度，進而影響推進工法之生產力值。故在討論推進工法的生產力時，首先必須考慮的就是施工地質條件，不同推進工法之生產力在相近地質條件下比較才具有意義。

表 6-1 日本推進工法施工土質分類

記號	土 質	詳細 說明
C-1	砂礫層	礫率 30%以上 45%以下 N 值 20 以上 30 以下
C-2		礫率 46%以上 60%以下 N 值 31 以上 40 以下
C-3		礫率 61%以上 90%以下 N 值 41 以上 50/5 以下
A	土層標準土質 (普通土)	黏性土 N 值未滿 10，砂質土 N 值未滿 30，砂礫土礫率未滿 30% N 值未滿 30 的普通土質
B	土層砂質土	N 值 30 以上未滿 50，最大礫徑未滿 20mm 礫率未滿 30%
D-1	土層黏性土、固 結土	N 值 10 以上未滿 20
D-2		N 值 20 以上未滿 30
D-3		N 值 30 以上未滿 50，N 值 50 以上使用固結黏土層
G-1	土層固結硬質 土	N 值 50 以上 50/5 程度 一軸壓縮強度 10MPa (MN/m ²)
G-2	土層巨礫、玉石 層	取入型掘進機無法取入的卵礫石、包含管徑的 100%程度以下的礫石地質
G-3	土層岩盤	一軸壓縮強度 10MPa (MN/m ²) 以上 150MPa (MN/m ²)

表 6-1 中的土壤分類雖細，但是礙於資料之蒐集及本土業界之施工習慣，在對國內下水道施工業者及專家進行訪談及參考日本相關文獻之後，本手冊將其進行轉換成下表，以符合本土施工習慣。

表 6-2 本手冊施工土質分類和表 6-1 施工土質分類之關係

本研究之土壤分類	日本土壤分類
普通土層	A、B、D 土層
硬質土壤	G-1 土層
卵礫石層	C 土層、G-2 土層

6.2 推進生產力值參考

本小節的目的在於提供三種推進工法在各施工情況下之生產力值以提供施工管理者作為工期規劃之參考，其定義單位為：

推進生產力=每小時推進量=output/input=推進量(量位:m)/推進時間(單位:hr)

圖 6-1 為推進工法生產力時間輸入的構成，若是施工業者在施工時添加其他輔助設備，則需加補助設備之操作時間納入構成項目中。

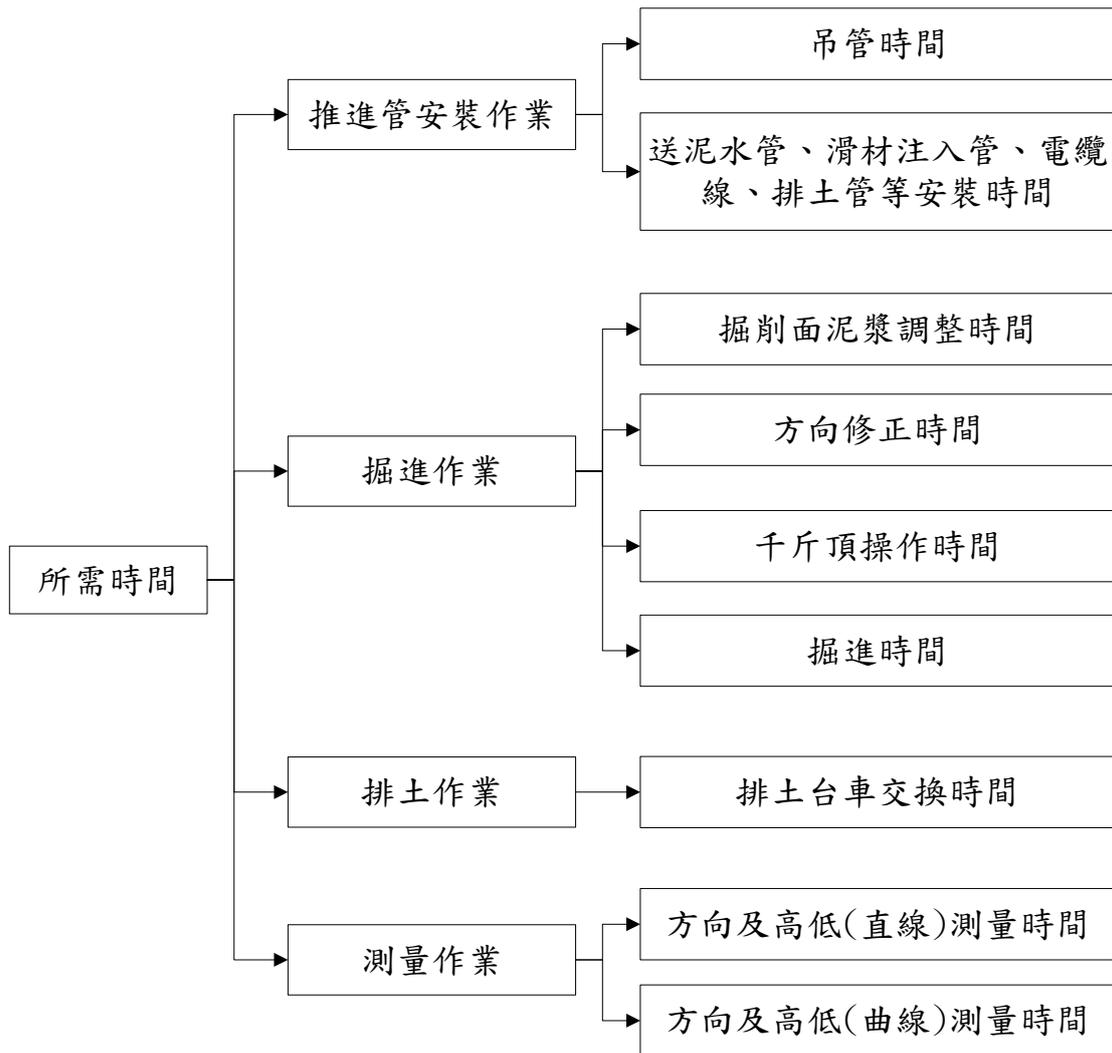


圖 6-1 推進工法之生產力時間輸入構成示意圖

本手冊藉由蒐集各工區之施工日報表、推進記錄表以及廠商過往施工之經驗，調查台灣地區推進工法之生產力資料，並將資料進行整理分析，以提供給予後續施工廠商作為施工時之參考。

1. 泥濃式工法

由於泥濃式推進工法在台灣尚在引進階段，在台灣使用尚未普及，且由於泥濃工法之特性為可適合急曲線施工，搭配 TRS 系統後可

做超長距離之推進，故於台灣地區使用皆為中大管徑工程，本手冊將蒐集之資料整理如下供參，而日本推進日進量參考資料詳見附錄。

表 6-2 台灣泥濃式工法日進量參考值列表 單位：m/hr

土質 管徑(mm)	普通土	硬質土	礫石土
	砂質土、黏性土、砂礫土	硬質土(1)	礫石土(1)
700~900	0.73	0.69	0.58
1000~1350	0.69	0.65	0.49
1500~1800	0.64	0.60	0.46
2000~2400	0.58	0.54	0.44

2. 土壓式工法

在台灣地區，土壓式工法施工管徑較為常見的，以 700mm 以下小管推進為主，但仍有部份中大管徑之施工案例，本手冊蒐集之推進日進量資料整理如下，而日本土壓式推進日進量資料詳見附錄。

表 6-3 台灣土壓式工法日進量參考值列表 單位：m/hr

土質 管徑(mm)	普通土	硬質土	礫石土
	砂質土、黏性土、砂礫土	硬質土(1)	礫石土(1)
300	1.43	1.25	1.21
400	1.28	1.08	1.15
500	1.22	0.97	1.03
600	0.98	0.72	0.70
700~900	0.73	0.71	0.51
1000~1350	0.69	0.67	0.49
1500~1800	0.64	0.62	0.46
2000~2400	0.59	0.56	0.44

3. 泥水式工法

泥水式工法於台灣地區，其主要工程量亦以中小管推進為主，但本手冊亦蒐集部份大管推進資料。受限於泥水工法之出土方式，於卵礫石層與岩盤進行施工時，速度慢慢需放慢，以配合出土，但於普通土層施工時，即可發揮正常之推進速度。有關泥水工法之日進量資料整理如下，而日本泥水推進日進量參考資料詳見附錄。

表 6-4 台灣泥水式工法日進量參考值列表 單位：m/hr

土質 管徑(mm)	普通土	硬質土	礫石土
	砂質土、黏性土、砂礫土	硬質土 (1)	礫石土 (1)
300	1.63	1.51	1.40
400	1.44	1.34	1.25
500	1.25	1.21	1.18
700~900	1.08	0.76	0.61
1000~1350	1.01	0.74	0.59
1500~1800	0.86	0.66	0.53
2000~2400	0.76	0.60	0.48

第七章、施工管理

7.1 挖面穩定

無論是開放型（人挖、機械挖或壓氣工法）或密閉型（泥水加壓式或土壓平衡式與泥濃式工法）之推進施工，其最基本原則為保持開挖面土壤之穩定，亦即土壤必須在穩定狀態下推進，而維持開挖面穩定之最基本方法是保持平衡。

1. 排泥量之管理

推進工法之排泥量與推進速度是成正比，推進速度愈快，理論上排泥量會愈多，當排泥量無法達到推進速度的要求時，則推進速度就必須降速，以配合排泥速度。以同等出土體積量做管理，即推進量多少，則排土量多少。

2. 切削盤之扭力值管理

掘進機正常運轉之扭力值，通常在機械設計值之 70%~80% 左右，扭力過小，則表示推進速度太慢或土質鬆軟，容易崩落，必須加快推進速度。扭力太大則表示推進速度太快或土質堅硬，不易切削，必須減慢推進速度。

3. 掘進、排土、推進三者速度之平衡

藉由掘進、排土、推進三者速度之平衡以達到開挖面之穩定平衡，而不致於因超挖而導致抽心，而引起地盤下陷之施工災害，為推

進工法之第一基本原則。

(1) 掘進、排土、推進三者保持平衡原則：

掘進速度快，排土量多，推進速度快。

掘進速度慢，排土量少，推進速度慢。

(2) 控制掘進、排土、推進三者平衡之方法：

切削盤之扭力值大，放慢推進速度，使排土量減少。

切削盤之扭力值小，加快推進速度，使排土量增多。

7.2 推進力控制

推力施工之基本原則為控制推力，使推力不致於超過推管之耐壓強度以及反力座之強度，防止推管破裂及反力座破裂後退。

1. 推進力計算

推進力之計算與控制是在檢討在不同土質情況下，推進管推進延長所需之推力，也是確保不會因會推進力大於推進管耐荷力而導致推進管破裂損壞，亦確定推進力不會超過反力座強度而導致反力座無法提供有效的反力造成推進失敗。計算方式可詳見附錄 I。

2. 容許推進距離

在探討完推進力之後，則可以依照推進力推估出其推進管能推進之距離。

泥濃式工法並無中押裝置之設置，所以只需計算元押容許推進距離即可，土壓式及泥水式工法如有中押裝置亦可由推進力計算出去推進距離。推進距離之計算式可見附錄 I。

3. 滑材注入控制及調配管理

為了減低推進之摩擦阻力，於推管前進時，為減少管與土壤間之摩擦，也為了避免推進管與礫石碎粒摩擦而產生裂痕，須灌入潤滑材料，其材料通常為主要為皂土高分子，有時亦滲入一些油或特殊混合料，但不能含有水玻璃雜物，灌注時須由管體上之灌漿孔實施。當推進距離過長時，附著於管壁上之滑材會因為流失而裂化，因此必須進行二次灌注，重新於管外壁添加滑材，以達到降低摩擦力及保護推進管之目的。注入材及配比等可詳見附錄 II。

7.3 地盤下陷控制

推進工法在施工進行及完成時，最怕遇到地盤下陷之情況，這將會使得推進造成誤差或是影響到地面結構物之安全，所以為了防止地盤下陷，以免造成施工災害或是社會影響。推進施工中除了要保持開挖面穩定原則之要求，以防止推進中，超挖、抽心等原因所造成之地盤之下陷外，須注意防止下述原因造成之下陷。

1. 推進口及到達口防水及地質穩定

推進口及到達口之防水處理，只需在破鏡面時做好鏡面工、止水帶等裝置，若在較不穩定或地下水位過高之地層，再搭配藥液注入輔助施工方法即可。土質之穩定則依靠著各工法之高濃度泥水材或作泥材加以輔助。使發進或到達時不致於產生地層下陷。推進中，漏水及湧砂為地盤下陷之主因，因此防止接頭及中押處漏水，甚為重要，通常以裝置止水膠圈及注入膨脹性防止劑防止。

2. 背填灌漿

(1) 管體推進後，為填滿管體與土壤間之空隙，須做背填材料灌漿。

(2) 背填材料通常係使用水泥與皂土高分子混合物，有時亦加一些分散劑、飛灰等，利用推進管之灌漿孔灌入，防止地盤下陷。

(3) 推管貫通後，管與管接頭之縫隙以止水劑填塞，固定螺栓孔及灌漿孔須灌入填縫料以防止漏水。背填灌漿之配比灌注量可見附錄 II

7.4 長距離推進控制

長距離推進之定義至今未明，目前工程業界習實為小口徑推進時當推進距離超過 100 公尺時，通常稱為長距離推進，而中大口徑時，推進距離超過 250 倍管徑則視為長距離推進。相較於一般推進而言，長距離推進需克服的最大難題為推進力之增加。通常泥濃式工法於長距離推進時都是採用尾端擴幅滑材再注入系統（TRS 系統）的輔助來

降低阻力，而土壓式及泥水式工法則可藉由中押裝置之輔助來增加推進力。

1. 由於推進管有其抗壓強度的限制，當推力增加時，會造成推進管破裂，產生漏水等施工問題，因此，採用長距離推進時，需採用抗壓強度較高之推進管。
2. 為因應推力增加造成之反力牆負擔，可依據工作井大小調整反力牆之寬度與高度。
3. 為減少長距離所需要之推力，可於掘進機機頭前及推進管注入滑材，目前，在推力有過大之虞之工程，為降低摩擦力，滑材之注入為必要的。
4. 土壓式及泥水式工法壓進行長距離推進時為了補足推力之不足，可增加中押裝置，雖然會因此降低施工速度，但考量推力之影響，酌量的增加中押裝置是必要的。

7.5 曲線推進控制

曲線推進與直線推進比較，其推管之方向控制較為困難，所以曲線設定時，需充分檢討施工技術，要有安全確實之施工計畫。曲線設定計畫時，須先確認管接縫止水性與施工性，是否在容許曲線半徑與曲線長之範圍內，因此需對各種工法之容許曲線半徑做一檢討，且曲

線推進時，推進力與直線推進亦有所不同，故在進行曲線推進時也需對其推進力做一檢討。

1. 曲線形成方法之檢討

推進機前導管，必須時常在計畫曲線上前進，亦即施工時推管之前進軌跡，必須保持在計畫線上施工，所以計畫方向改變時，前導體與管必須正確的跟著改變，使推管行進方向修正的方法是以方向修正千斤頂之左右衝程差，使掘進機轉換方向。曲線推進時，推進機必須有足夠的外徑超挖量，才能使機身轉彎，否則會使機身的尾端和地層摩擦造成干涉，嚴重時會無法推進，若是加上中折千斤頂的設備，可以使所需的超挖量降低，使曲線推進更容易達成，曲率半徑更小。

2. 曲率半徑檢討

推進工法在進行曲線推進時，其曲率半徑受到使用的工法及推進管管徑之限制，一般來說，同一推進管管徑，泥濃式工法在於曲線推進上有著較大的適應性，土壓式及泥水式則有著相同的曲率半徑。但不論採用何種工法，當推進管管徑愈大時，其曲線半徑則會愈大。

3. 曲線推進力之檢討

由於曲線推進時，除了會受到直線推進時會承受之阻力外，尚會受到推進管後方向曲線外側所產生之分力所造成之管外徑與土壤間之摩擦力，因此直線推進力計算式不適用於此，需另外做一檢討。

第八章、推進異常狀況之克服與案例研析

在進行推進施工時常發生各種突發狀況，導致施工無法順利進行，此時有賴施工者能因地制宜，利用本身專業知識及對機具的了解克服施工困難。雖然如此，大部分推進突發狀況之發生乃是因事前調查及設計規劃未盡完善，導致施工時不如預期，因此確實執行施工管理中所提到之施工要點才能將突發狀況發生率降至最低。本章主要將推進時遭遇之突發狀況與以描述及分類，並闡述其發生原因及因應對策以提供各位工程先進參考，其突發狀況整理如下表 8-1：

表 8-1 推進異常狀況之分類列表(A)

突發狀況之分類	推進突發狀況	因應對策
無法推進	推力不足	更換適當之機具
	機械故障	勤做維修保養
	反力牆反力不足	進行地盤改良
	推進遇障礙物	開臨時豎坑、用人工從機頭前端取出、搗碎強行通過
	地質互層使機頭無法前進	使用地盤改良
	機頭沉陷	使用地盤改良或開臨時豎坑挖掘
	機頭滾轉	利用操作技巧及滑材穩定
	遭遇大卵石	可用灌漿方式固定卵石，以利掘進機掘進
	推進過程遭遇基樁	進行基礎補強措施，以明挖方式將基樁打除或以掘進機掘削通過。
	推進機頭受困於挖掘面	調整掘進機衝程，使挖掘面與機頭保有一定距離之空隙，使機具得以運轉。

表 8-1 推進異常狀況之分類列表(B)

突發狀況之分類	推進突發狀況	因應對策
管線蛇行	掘削面附近地層崩落	選擇適用機頭、進行地盤改良及妥善監測施工數據
	管線埋設坡度過大	設計時，盡量將坡度控制在 1.5% 以下，或由地下水位低處往高處施工。
	人為操作因素	加強教育訓練提升素質
	遭遇地質互層	選擇適用機頭並進行地盤改良
	反力牆之偏差	修正後再施工校正儀器
	測量上的誤差	增加測量頻率及使用精準之儀器
其他	不明水入侵	使用速硬型地改劑及止水劑
	推進管破裂	若情況許可則與以更換，否則加強滑材注入量繼續推進

8.1 管線無法推進之狀況

管線無法推進之突發狀況有相當多種，在此將根據不同情形進行描述，說明各種推進突發狀況之處理對策及預防處理，羅列如下所述：

1. 推力不足

描述：在推進工法中，機頭前進之動力為元押及中押千斤頂，若推力不足則無法推進。

對策：推進時加強滑材之灌注，或是在容許推力之範圍內置換推力更強之中押千斤頂，否則必須臨時變更設計，重新計算中押之設置並使用之。

預防：妥善進行地質調查並詳細估算施工所需之推力，在施工初期便使用足夠推進力之千斤頂及足夠之中押。

2. 機械故障

描述：切削面盤、推進機或是排土等裝置因性能不佳導致故障

對策：若機頭發生故障且無法進行修復時，若現場狀況允許則可直接將機頭抽出，以鑽掘的管道則將之灌漿，否則便需將之分解後運出，或是開設豎坑取出。其餘機械則在現場直接進行修復或是替換。

預防：(1) 增加切削面盤推進之扭力強度，避免無法運轉及延長磨損。

(2) 經常保養推進設備，避免推進時故障。一般在每個推進段落結束後即必須進行保養，在一個標案結束後則必須分解進行大修。

(3) 雷射光等測量儀器須訂時檢查矯正。

3. 反力牆之反力不足

描述：反力之反力不足原因是因為該處之地盤強度不夠，無法提供足夠反力。若再反力牆反力不足之情況強行推進則會破壞發進井之結構。

對策：在反力牆部分施做地盤改良已達到設計強度。

預防：確實進行現地調查及推力計算，於施工開始便對其進行地改達到設計強度。

4. 推進遇障礙物

描述：推進若遭遇像是流木、管線或是構造物等障礙物，導致機頭無法前進。

對策：(1) 在障礙物無法取出之情況則開挖臨時豎坑取出。若遇到未知之管線則暫停施工對管線進行遷移。

(2) 若障礙物不大可直接由人工從機頭前取出

(3) 若障礙物脆弱則可利用切削盤將之搗碎，強行通過。

預防：確實進行地質鑽探及施工環境調查，在路線設計時及避開已知之障礙物。

5. 遭遇地質互層之施工導致機頭前進效率不佳

描述：由於各種不同土層都有對應之適用機頭，機頭之不適用將導致推進效率過慢或是無法推進。在實際施工上同一個推進段落並非全部都是單一土層，故須有妥善之應對。

對策：進行地盤改良使地盤強化已達到機具使用條件，若機頭無法前進則視現場狀將機頭抽出，以鑽掘的管道則將之灌漿，否則便需將之分解後運出，或是開設豎坑取出。其餘機械則在現場直接進行修復或是替換。

預防：確實進行地質鑽探，在尚未施工前若發現地質互層情形，在機頭選定時則選擇對應地盤強度較強地層之機頭。之後在對

行進路線上之軟弱地盤進行地盤，強化路線上之地盤強度使其符合機頭之切削條件。

6. 機頭沉陷

描述：推進機頭有時因處在軟落地層中，或是因上述原因而無法前進時，本身便會因自身之重量而沉陷。

對策：對機器頭下部之地盤進行地改，減緩其下陷，再配合操作手之操作，將機頭運轉至原先之高程。若機頭無法前進則視現場狀將機頭抽出，以鑽掘的管道則將之灌漿，否則便需將之分解後運出，或是開設豎坑取出。若是機頭沉陷的距離接近到達井，則可從到達井反向推入鋼管，並於週邊地盤進行地盤改良，由到達井將機頭取出。

預防：若欲避免這種情況，在確實進行地質調查的情況下，必須事先針對行進路線進行地盤改良，強化地盤強度以減少事件發生機率。



圖 8-1 機頭受困進行地盤改良



圖 8-2 湧土現象發生



圖 8-3 反向拉機頭吊起作業



圖 8-4 機頭受困進行反向推鋼管
施作

7. 推進機頭滾轉

描述：推進機頭發生滾轉知因乃是未扭力之不足，導致切削盤無法正常運轉，而帶動機頭之滾轉，若情況持續進行則會破壞已建立之管道。

對策：操作者在此時可立刻轉換切削盤之旋轉方向，並加大扭力輸出及灌注滑材使機頭回復正常狀態。

預防：操作者需隨時監控面盤上之數據，使用適當之扭力輸出及滑材，將可有效減少狀況發生。除此之外，隨時觀察排出之廢土也有助於直接了解該段之地質概況。

8. 遭遇大卵石

描述：推進工程進行前，會先做地質鑽探報告，但會因採樣誤差或採樣試管管徑之限制，而誤判地層情況，使推進機頭選擇錯誤，導致機頭無法破碎大卵石或機頭選擇正確，仍無法正常

推進之情形。

對策：（1）可利用灌漿方式固定大卵石，緩慢破碎推進。

（2）使用土壓式工法，可利用作泥材填充地盤空隙，增加土層穩定性及不透水性。

預防：（1）增加鑽探孔數，提高鑽探精度，使誤判機率降低。

（2）進行機頭更換。

9. 推進過程遭遇基樁

描述：推進施工前，因未做好地下管線及構造物調查，使得規劃設計推進路線時，未避開基樁或構造物。

對策：（1）進行基礎補強，並進行地盤改良。若基樁構造含鋼筋，以明挖方式將其拆除，若基樁構造無鋼筋，則可以推進機頭掘削通過。

（2）若遭遇非結構性基樁，可由施工人員進入挖掘面進行基樁拆除動作。

預防：施工前做好路線地下管道及構造物調查，避開現在管道及構造物，以避免拖延工期。

10. 推進機頭受困於挖掘面

描述：掘進過程中，發生機頭因地層狀況改變或阻力增大，使機頭卡於掘削面，無法前進。

對策：（1）使用滑材降低阻力。

（2）調整推進千斤頂衝程，於狀況發生時，得以將推進機頭退後，並與挖掘面保持一定空隙，讓機具得以重新推進。

預防：做好地質鑽探，了解推進路線土層情形，並慎選機頭及千斤頂。

8.2 管線蛇行之狀況

推進管之蛇行須盡力避免，在推進時務求做好每根推進管之測量動作，妥善進行測量管理則可避免發生。

1. 掘削面附近地層崩落

描述：蛇行發生之主因主要是地層之崩落，如地下土層或是水壓之改變、泥水溢流、注入材之管理不佳、過度挖掘等等。

對策：對前方進行地盤改良並將機頭運轉至原先軌道。

預防：故在推進時應注意推進之土壓及水壓變化，而在規劃階段，則必須就地質鑽探報告及附近之環境概況針對可能發生之狀況預先進行應變，如採用適當之機具、工法及地盤改良，如此將可有效避免這種情況發生。

2. 管線埋設坡度過大

描述：當推進坡度過大時，會影響機頭之方向超挖，容易產生偏離，

造成出坑時的誤差量。

對策： 當地下水位過高且坡度較大時，可由下游處往上游施工。或
降慢推進速度，並時時測量，以確保機頭行進不偏離。

預防： 設計時，非必要坡度盡量小於 1.5%，以免造成上述情
形之產生。

3. 人為操作疏忽

描述： 由於操作手對切削面盤及掘進機械特性不熟悉，或是對推進
設備之操作疏忽導致推進過快，使軸方向產生偏心而導致蛇
行。

對策： 替換有經驗之操作手。

預防： 解決方式除了平時對人員之教育訓練外，確實的測量對推進
之準確更是重要。

4. 遭遇地質互層導致蛇行

描述： 由於各種不同土層都有對應之適用機頭，機頭之不適用將導
致推進效率過慢、無法推進或是機頭沉陷而導致蛇行。在實
際施工上同一個推進段落並非完全都是單一土層，故須有妥
善之應對。

對策： 可參考機頭沉陷及地質互層之對策

預防： 在地質鑽探之初若遭遇地質互層情形，在機頭選定時則選擇

對應該地層之機頭。之後在對行進路線上之軟弱地盤進行地盤，強化路線上之地盤強度使其符合機頭之切削條件。除此之外，若遇地下水位高或是砂質地層則必須注意因機頭沉陷之情況發生，該情況之處理已於前述說明。

5. 反力牆

描述：反力牆在製作時沒有和推進方向形成直角，導致推進時受力不均而偏差。

對策：由於反力之偏差，故推進時應加強滑材使用，重新修正反力牆垂直度，再於施工降低摩擦力，利用操作手之操作技術控制反力之平衡。

預防：預防方法則是在構建反力牆時即做好測量動作，減少誤差。

6. 測量上的誤差

描述：因測量誤差導致推進路線偏移。

對策：加強滑材灌注，將機頭駛回預定路線。

預防：增加測量頻率以發現早期偏向，同時應採用高精度測量儀器減少誤差發生。

8.3 其他狀況

1. 不明水之入侵

描述： 施工如有接近河川、湖泊及地下水、地下水位隨潮汐變化處、地層急劇變化及遭遇受壓水層處，而導致鏡面破除作業出水，以及地下水、古井附近之地層遭擾動或是流失而噴出造成施工困難，或是因接頭或是管身破裂而導致進水。

對策： 利用馬達將積水排出，使用速硬型地改劑使地盤迅速硬化止水並準備止水劑以應急使用。

預防： 在經過確實之現地調查的前提下，預先進行止水之地盤改良。在推進管的部份則是確實做好接頭之止水及檢查推進管有無裂痕。

2. 管身之破裂

描述： 推進管之破裂可能有以下原因

(1) 管之外壓

a. 土壓荷重： 推進管布設處，需考慮地盤對管 120 度有效支承角，若施工蛇行導致有效支承角變小，相對於推進管將產生較大之集中荷重，產生破損。

b. 上載荷重： 覆土淺之推進施工作業處，重機械通過或機械置於作業處上，推進管因以上外力載重而導致破損。

(2) 土層

推進路線必需進行土層調查及地下埋設物調查，若遭遇滾石或是

地下埋設物觸碰管材，則可能導致破損。

(3) 推進力

- a. 加壓方法：推進方向之推進力大於管之耐荷壓力時，若推進管與平滑押輪接觸及押輪的剛性又不足，管端集中荷重增加，導致管端面挫曲產生剝離。推進方向偏離產生偏壓力，亦為管材破損之因素。管徑管長比擴大，前進偏壓力等管軸方向較易產生割裂，必須特別注意。
- b. 方向修正：推進方向偏離導致管與管接觸面積變小產生荷重集中，造成破裂。

(4) 其他

- a. 同一豎坑受管壓及反力處易破裂。
- b. 推進管現場之堆放可成產生破損。
- c. 硬質塑膠推進管常因外界氣溫之改變產生變型，且施工時亦受到砂或是卵礫石刮傷或是割破。

對策：若發進坑內之推進管在最初便已破裂，則直接替換無破損之管材。若是推進中推進管破損，在不影響推進時擇繼續推進，但須加強滑材之注入。若破損異常嚴重，則必須抽出重做。

預防：1. 確實進行地質調查。

2. 小心堆放管材並隨時檢查。

3. 嚴格進行測量避免行進路線偏差。
4. 勿偷工減料，使用符合設計強度之管材。
5. 當推進壓力升高時立即注入滑材，隨時監控推力輸出。

8.4 案例研析

最後，本手冊整理出數個推進施工困難案例，並進行研析，找出致使其推進障礙因素，以茲參考。另外，於進行案例探討時可發現，通常推進遭遇障礙時，往往都是數個原因所造成，而非單一因素，故於排障時應做通盤之檢討，以避免產生解決問題一旦仍存在問題二之現象，進而達到真正解決問題之目標，表 8-2 為案例困難原因整理表。

表 8-2 推進困難案例原因整理表

	推進突發狀況																		
	無法推進										管線蛇行						其它		
	推力 不足	機械 故障	反力 牆反 力不 足	推進 遇障 礙物	地質 互層 無法 前進	機頭 沈陷	機頭 滾轉	遭遇 大卵 礫石	推進 過程 逼遇 基樁	推進 機頭 受困 掘面	掘削 面地 層崩 落	管線 埋設 坡度 過大	人為 操作 因素	逼遇 地質 互層	反力 牆之 偏差	測量 上的 誤差	不明 水入 侵	推進 管破 裂	
八里 污水 分支 管網				●						●			●					●	
新店 地區 分支 管網		●			●			●	●				●						
花蓮 美崙 台地 推進		●			●								●						

表 8-2 推進困難案例原因整理表(續)

		推進突發狀況																	
		無法推進									管線蛇行						其它		
		推力 不足	機械 故障	反力 牆反 力不 足	推進 遇障 礙物	地質 互層 無法 前進	機頭 沈陷	機頭 滾轉	遭遇 大卵 礫石	推進 過程 逼遇 基樁	推進 機頭 受困 掘面	掘削 面地 層崩 落	管線 埋設 坡度 過大	人為 操作 因素	逼遇 地質 互層	反力 牆之 偏差	測量 上的 誤差	不明 水入 侵	推進 管破 裂
中 和 地 區 次 幹 管			●		●		●			●					●			●	
台 中 縣 支 管 網 工 程		●			●			●										●	
台 北 市 分 管 網 工 程			●			●													

1. 台北縣八里鄉污水下水道支管網推進工程

案例描述：本工程地層狀況為礫徑分佈較為不均之卵礫石層，最大礫徑約 15 公分，並於推進中遭遇漂流木，發生無法推進至現象，而在適時增加推力後，仍無法改善，此時則應選擇採用開挖臨時豎坑方式進行排障動作，但其於當下並未採取適當之因應對策，而使其受限於坑內時間過久，而後續雖已開井取出障礙物，但因時間冗長導致機頭被周圍土層包覆，且受其土壓力影響，需以較大之推力重新帶動推進機具，但其滑材亦無適時因推力與地層狀況做調整，造成推力過大，潤滑不足而發生推進管破裂現象，必須以牽引工法進行倒拉動作重新施工，增加不少額外工期。

障礙分析：推進遇障礙物、推進機頭受困挖掘面、人為操作因素。

2. 新店地區分支管網新建工程

案例描述：案例所在工區地層分佈呈現前半段為 N 值 22、礫率 28% 與最大礫徑 25cm 之卵礫石層，後半段呈現砂礫土礫率未滿 30%、N 值未滿 30 的之普通土層，機頭於 98 年 03 月初第一次入坑時，因刀盤選用錯誤，發生無法切削礫石之現象，此時推進人員僅以增加機頭扭力與推力方式，欲強行推進，更因此刀盤受損，當時推進長度 5 公尺，耗時 5

天，工程進度嚴重落後。於使用牽引工法倒拉機頭並送廠維修及改換面盤後，於3月底再度入坑發進，推進12m後遇複合土層，產生機頭偏移現象，機具操作手並無適時修正方向，使其偏移量過大，因而需使用牽引倒拉方式修正偏移，於整段推進施工，即發生三次倒拉修正，造成工期與成本大幅增加。

障礙分析：推進機故障、地下既有構造物影響、地層互層無法推進、推進遇大卵石、推進遇基樁、人為操作因素。

3. 花蓮美侖台地推進

案例描述：本案例大致上屬於正常推進情形，惟於出坑前2m處，發現廢棄排水箱涵，因箱涵年代久遠，無法得知管理單位與構築型式，如採用強行突破可能導至機頭受損，故必須被迫停工，待工作人員由到達坑以人工挖掘方式破除現有箱涵後，方能再行推進，造成工程延宕兩天。

障礙分析：機械故障、地下既有構造物影響、管線調查。



4. 中和地區次幹管新建工程

案例描述：本案例施工地點位於車潮較多之省道旁，推進高程位於地面下 14 至 15 公尺間，地質為灰色粉土質細砂、灰色粉土質黏土、灰色砂質粉土夾黏土、灰色粉土質黏土含腐木等地層，N 值介於 17~9，地下水位於地面下-1.9M~-4.3M 間。因破鏡面點位於地層改良區域範圍，但機頭選用則為一般土層用之掘削面盤，故於推進一開始時，即發生機頭無法穿破改良層情況，改採以增加千斤頂推力解決。另外，因本工區地下水壓過高，推進機頭破鏡後，因外部水壓大與地層互層相互影響，導致完成推進之管材向後位移，影響管線推進工率。於推進過程中，亦遭遇流木，致使機頭系統故障導致無法推進，而採用人力進行木頭清除作業。造成工期延宕多日。

障礙分析：推進遇障礙物、地質互層、推進機頭受困挖掘面、地下水入侵。

5. 台中縣下水道支管網新建工程

案例描述：施工工區地層情況為石英砂岩性質之卵礫石與粗砂所組成之複合地層，且粒徑大於 70 公分之卵石比比皆是，此已造成推進效率大幅下降。於推進時，亦逼遇地下水入侵，

大量湧水使得施工被迫暫停，並採取速硬型地盤改良藥劑進行地改工作。推進接近尾聲時，發生無法推進現象，經增加推進力非但無改善，還連帶發生機頭滾轉，究其原因，是因滑材注入孔遭破碎後之礫土堵塞，致滑材無法注入，造成推進阻力大增，而後採用於到達坑以人力開挖方式進行排障動作，方使機頭出坑。另外本案例於推進過程中，曾碰到大量之紅磚、木材與其它營建廢棄物，雖無使機頭受困，卻也造成機頭受損嚴重之現象。

障礙分析：推力不足、推進遇障礙物、遭遇大卵石、地下水入侵、機頭滾轉

6. 台北市下水道分管網新建工程

案例描述：此分管網工程為於岩盤夾雜部分黏土之地層，黏土層為不連續面之分佈，所以於地質鑽探與試挖時無法探得正確位置，因其大部份地層為岩盤，故選用岩盤破碎型機頭進行施工。而破盤型機頭之特性是開口較普通土層與砂、黏土層機頭為小，故於推進施工時，遇黏土層即會因黏土遇水而包覆機頭之現象，此現象雖可以注入脫泥劑處理，但效果仍有限，仍不時造成機頭故障現象，嚴重影響推進效率。

障礙分析：遭遇複合地層、機頭故障

附錄 I 推進力檢討

泥濃式推進工法：

1. 元押推進力之計算式

一般型使用場合	破碎型使用場合
$F = F_0 + R \times S \times L$	$F' = F_0' + R \times S \times L$
$F_0 = \frac{(P_w + P_E + P_Z) \times \pi}{4 \times D_f^2}$	$F_0' = \frac{(P_w + P_C) \times \pi}{4 \times D_f^2}$

F：總推力(kN)

F_0 ：前面抵抗值(kN)

F_0' ：破碎抵抗值(kN)

R：管外周面抵抗值(kN/m²)

S：管周長(m)

L：推進延長(m)

P_w ：掘削室內切面壓力(地下水壓+20.0 kN/m²)

P_E ：地盤強度抵抗值(換算 N 值 × 2.0)N 值 50 以上時以 50 代入

P_Z ：卵石挖掘抵抗值(最大卵石粒徑÷管內徑×200)

P_C ：破碎抵抗值(250 kN/m²)

D_f ：掘削外徑

(超流泥濃推進協會，平成 18 年)

2. 反力牆支持力計算式

$$R = \alpha \times B \left\{ \gamma \times H_0^2 \cdot \left(\frac{K_p}{2} \right) + 2c \times H_0 \times (\sqrt{K_p}) + \gamma \times h \times H_0 \times K_p \right\}$$

R : 反力牆支持力 (kN)

B : 反力牆寬度 (m)

γ : 土壤單位體積重 (kN/M³)

K_p : 被動土壓係數 [$\tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$]

c : 土壤凝聚力 (kN/M²)

h : 地表面下高度 (m)

H_0 : 反力牆高度 (m)

α : 係數 (1.5~2.5, 通常取 2)

3. 元押容許推進距離計算式

$$La = \frac{F_{ma} - F_0}{F_0}$$

La : 元押容許推進延長 (m)

F_{ma} : 元押推進力 (kN)

F₀ : 期初阻力 (kN)

f₀ : 管周面抵抗值 (kN/m)

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

土壓式推進工法：

1. 元押推進力之計算式

$$F = F_o + f_o \cdot L$$

$$F_o = (P_w + P_e) \times \pi \times \left[\frac{B_s}{2} \right]^2$$

$$f_o = \beta \{ (\pi \times B_c \times q + W) \mu' + \pi \cdot B_c \times c' \}$$

F：總推進力 (kN)

F_o：期初阻力 (kN)

f_o：管周面抵抗值 (kN/m)

L：推進延長 (m)

P_w：掘進土壓 (kN)

砂質土 P_w = 主動土壓 + 地下水壓 + ΔP

(ΔP = 20 ~ 50 kN/m²)

黏土 P_w = 靜止土壓力

P_e：開挖面切削抵抗力

$$P_e = N \text{ 值} \times 10.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

N < 15 時，取 P_e = 150 (kN/m²)

N > 50 時，取 P_e = 500 (kN/m²)

B_s：掘進機外徑 (m)

B_c：管外徑 (m)

q : 管外承受之均佈荷重 (kN/m²)

W : 管的單位重量

μ' : 管與土壤間之摩擦係數

$$\mu' = \tan(\phi/2) \quad \phi : \text{內部摩擦角}$$

c' : 管與土壤間之附著力 (kN/m²)

黏性土 (N < 10) : $c' = 8$

固結土 (N ≥ 10) : $c' = 5$

β : 推進力減低係數

土壓式工法土質別的 β 標準值

土質	推進力減低係數 β
普通土層	0.45
礫石層	0.6
硬質土	0.35

資料來源：王義夫，民國 85 年

2. 反力牆支持力計算式

$$R = \alpha \cdot B \left\{ \gamma \times H_0^2 \times \left(\frac{K_P}{2} \right) + 2c \times H_0 \times (\sqrt{K_P}) + \gamma \times h \times H_0 \times K_P \right\}$$

R : 反力牆支持力 (kN)

B : 反力牆寬度 (m)

γ : 土壤單位體積重 (kN/M³)

K_P : 被動土壓係數 [$\tan^2(45^\circ + \phi/2)$]

c : 土壤凝聚力 (kN/M²)

h : 地表面下高度 (m)

H₀ : 反力牆高度 (m)

α : 係數 (1.5~2.5, 通常取 2)

3. 元押容許推進距離計算式

$$L_a = \frac{(F_{ma} - F_o)}{f_0}$$

L_a : 元押容許推進延長 (m)

F_{ma} : 元押推進力 (kN)

F_o : 期初阻力 (kN)

F_o : 管周面抵抗值 (kN/m)

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

4. 中押容許推進距離計算式

(1) 先頭中押容許推進距離計算式:

$$L_{an1} = \frac{F_{na} - F_o}{F_0}$$

L_{an1} : 先頭中押容許推進距離 (m)

F_{na} : 中押推進力 (kN)

F_o : 期初阻力 (kN)

F_o : 管周面抵抗值 (kN/m)

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

(2) 第二段以後之中押推進距離計算式：

$$L_{an2} = \frac{F_{na}}{F_0}$$

L_{an2} ：中間中押容許推進距離

(日本下水道管渠推進技術協會，2006 年)

泥水式推進工法：

1. 元押推進力之計算式

$$F = F_0 + \pi \times B_c \times \tau_a \times L$$

$$\tau_a = C_a + \sigma' \times \mu'$$

$$\sigma' = \alpha \times q + \frac{2 \times W}{\pi^2 (B_c - t)}$$

$$\mu' = \tan \delta$$

F：總推力

$$F_0：初期阻力 = (P_e + P_w) \times \left(\frac{B_c}{2} \right)^2 \times \pi$$

P_e ：開挖面單位面積推力 (kN/m²)

P_w ：泥水壓 (kN/m²)

C_a ：推進管與土之黏著力 (kN/m²)

B_c ：推進管外徑 (m)

L：推進距離 (m)

τ_a : 推進管與土壤間之剪應力 (kN/m²)

t : 管厚 (m)

α : 作用於推進管之法線方向壓力係數 可參考表 7-4

W : 推進管自重

(王義夫, 民國 85 年)

2. 反力牆支持力計算式

$$R = \alpha \times B \left\{ \gamma \times H_0^2 \times \left(\frac{K_p}{2} \right) + 2c \times H_0 \times (\sqrt{K_p}) + \gamma \times h \times H_0 \times K_p \right\}$$

R : 反力牆支持力 (kN)

B : 反力牆寬度 (m)

γ : 土壤單位體積重 (kN/M³)

K_p : 被動土壓係數 [$\tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$]

c : 土壤凝聚力 (kN/M²)

h : 地表面下高度 (m)

H_0 : 反力牆高度 (m)

α : 係數 (1.5~2.5, 通常取 2)

3. 元押容許推進距離計算式

$$L_a = \frac{(F_{ma} - F_o)}{f_o}$$

L_a : 元押容許推進延長 (m)

F_{ma} : 元押推進力 (kN)

F_0 : 期初阻力 (kN)

F_0 : 管周面抵抗值 (kN/m)

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

4. 中押容許推進距離計算式

(1) 先頭中押容許推進距離計算式:

$$L_{an1} = \frac{F_{na} - F_0}{F_0}$$

L_{an1} : 先頭中押容許推進距離 (m)

F_{na} : 中押推進力 (kN)

F_0 : 期初阻力 (kN)

F_0 : 管周面抵抗值 (kN/m)

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

(2) 第二段以後之中押推進距離計算式:

$$L_{an2} = \frac{F_{na}}{F_0}$$

L_{an2} : 中間中押容許推進距離

(日本下水道管渠推進技術協會, 2006 年)

附錄 II 滑材計算

泥濃式推進工法：

1. 泥濃式工法所需灌注液之種類

灌注液種類	功用
高濃度泥漿	高濃度泥漿在掘進機推進時，由機頭前端之管線注入至掘削室，目的在推進時提供掘削面之穩定，並減低切削盤運轉之摩擦力。
掘進機外周注入材	是在掘進機推進時由掘進機周圍管線注入，目的在降低摩擦力及維持周邊地盤之穩定。
固結型滑材一次注入	固結型滑材一般使用的是二液固結方式的灌注材，也就是俗稱的 AB 劑。當 A 劑及 B 劑分開儲存時為液態，一但混合後則會變為凝膠狀。它是在管線推進時，推進管周邊之孔灌入，在管壁外形成一圈凝膠狀保護膜，使推進管壁不會直接接觸地層，大大降低推進時的摩擦力並保護推進管不會被礫石碎屑磨破。
滑材二次注入	進行長距離推進時，附著於管壁上的滑材會流失及裂化。因此必須進行二次注入，利用推進管上之注入孔，重新於管壁外添加滑材，以大幅降低管外周之摩擦力。
滑材二次注入 (TRS 系統注入)	有鑑於傳統之滑材二次注入方式效果有限，故使用 TRS 系統將滑材二次注入液灌注。利用 TRS 系統灌注之滑材能更均勻更確實的將滑材散佈於管外壁，有效降低管外周摩擦力。
背填灌漿材	在推進段落完成時，為了防止推進管及土壤間的空隙而產生沉陷問題的發生，必須由推進管之注入孔灌注水泥砂漿之類的填充材，預防沉陷之發生。

2. 高濃度泥漿灌注量

$$V1 = \frac{(\text{管外徑} + 0.030 \times 2)^2 \times \pi}{4 \times \text{注入率}(\%) \times 1.0(m)}$$

(資料來源：超流泥濃推進協會，平成 18 年)

滑材注入灌注量

(1) 進機外周之滑材灌注量

$$\text{注入量} = \frac{[(\text{管外徑} + 0.030 \times 2)^2 - (\text{管外徑} + 0.020 \times 2)^2] \times \pi}{4 \times 1.0(m)}$$

(資料來源：超流泥濃推進協會，平成 18 年)

(2) 固結型滑材一次注入灌注量

$$\text{注入量} = \frac{[(\text{管外徑} + 0.020 \times 2)^2 - \text{管外徑}^2] \times \pi}{4 \times 1.0(m)}$$

(超流泥濃推進協會，平成 18 年)

(3) 滑材二次注入灌注量

$$\text{注入量} = \frac{[(\text{管外徑} + 0.005 \times 2)^2 - (\text{管外徑})^2] \times \pi}{4 \times 1.0(m)}$$

(超流泥濃推進協會，平成 18 年)

背填灌漿灌注量

$$\text{注入量} = \frac{[(\text{管外徑} + 0.030 \times 2)^2 - (\text{管外徑})^2] \times \pi}{4 \times 1.0(m) \times 50\%}$$

(超流泥濃推進協會，平成 18 年)

土壓式推進工法：

1. 土壓式工法所需灌注入液之種類

灌注液種類	功用
作泥材	掘削時灌入土壓室內，使土壓室內保持壓力，且使開挖之土層具有塑性流動性及不透水性。
固結型滑材	是在管線推進時，包覆在管周邊，在管壁外形成一圈凝膠狀保護膜，使推進管壁不會直接接觸地層。
固結型滑材二次注入	進行長距離推進時，附著於管壁上的滑材會流失及裂化。因此必須進行二次注入，利用推進管上之注入孔，重新於管壁外添加滑材，以大幅降低管外周之摩擦力
背填灌漿材	在推進段落完成時，為了防止推進管及土壤間的空隙而產生沉陷問題的發生，必須由推進管之注入孔灌注水泥砂漿之類的填充材，預防沉陷之發生。

2. 作泥材灌注量

(1) 作泥材濃度計算式：

$$\text{濃度 (D)} = a (30 - P_{0.075}) \alpha + (40 - P_{0.25}) \beta + (60 - P_{2.0}) \gamma$$

A：均等係數之係數

$$\text{均等係數 } U \geq 4 \quad a = 1.0$$

$$4 > U \geq 3 \quad a = 1.1$$

$$3 > U > 1 \quad a = 1.2$$

$P_{0.075}$ ：0.075mm 粒徑通過百分率 30% 以上時 30

$P_{0.25}$: 0.25mm 粒徑通過百分率 40%以上時 40

$P_{2.0}$: 2.0mm 粒徑通過百分率 60%以上時 60

α : 2.0

β : 0.5

γ : 0.2

$$\text{濃度 (D)} = \frac{\text{作泥材材料重量}}{\text{水之重量}} \times 100\%$$

(王義夫，民國 85 年)

(2) 作泥材使用量計算

$$\text{使用量 (Q)} = 6 \times D \text{ (1/m}^3\text{)}$$

Q : 開控面掘土量 1.0m³ 之作泥材量

D : 濃度 (%)

(王義夫，民國 85 年)

3. 固結型滑材灌注量

固結型滑材一次注入量計算式

$$\text{灌入量 (Q)} = \alpha \{ 0.5B \times \pi - 0.5B_c \times \pi \} \times 10^3$$

Q : 滑材一次注入量 (L/m)

B : 掘削外徑

B_c ; 推進管外徑

α : 土質注入係數

普通土層、硬質土層 $\alpha=1.0\sim1.2$ (參考值)

礫石層 $\alpha=1.5\sim1.8$ (參考值)

卵礫石層 $\alpha=1.8\sim2.0$ (參考值)

滑材二次注入計算

$$\text{灌入量}(Q_L) = (1 + \beta) \times Q$$

Q_L ：滑材二次注入量

β ：距離補足率 $\beta=0.1\sim0.3$ (參考值)

Q ：滑材一次注入量

(日本下水道管渠推進技術協會，2006年)

4. 背填灌漿灌注量

土壓式背填灌漿注入量 (1/m)

管徑	800	900	1000	1100	1200	1350	1500	1650
注入量	92	103	109	123	135	150	168	183

管徑	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
注入量	204	220	242	263	284	305	326

資料來源：引用修改自王義夫，民國85年

泥水式推進工法：

1. 泥水式工法所需灌注入液之種類

灌注液種類	功用
泥水材	開挖時壓開挖面形成一不透水泥膜，並且作泥材滲入地層內後可以抑制地盤之水壓及土壓，穩定開挖面。
固結型滑材	於管壁外形成一圈凝膠狀保護膜，使推進管壁不會直接接觸地層，大大降低推進時的磨擦力並保護推進管不會被礫石碎屑磨破。
固結型滑材二次注入	進行長距離推進時，附著於管壁上的滑材會流失及裂化。此時所補充之滑材。
安定液	地盤由於開挖掘削時會失去土壓平衡，而安定液則可利用物理性質使掘削壁面免於崩壞。
背填灌漿材	在推進段落完成時，為了防止推進管及土壤間的空隙而產生沉陷問題的發生，所補充之填充材。

2. 泥水材灌注量

土層	砂質土層	砂礫土層、礫石土層
成分含量		
黏土、沈泥	≒15%	15%以下時
作泥量	掘土量之 25%	掘土量之 35%

資料來源：整理自日本下水道管渠推進技術協會，2006 年

3. 滑材注入灌注量

(1) 固結型滑材一次注入量計算式

$$\text{灌入量 (Q)} = \alpha \times (0.2B \times \pi - 0.2D \times \pi) \times 10^3$$

Q：滑材一次注入量 (L/m)

α ：土質注入係數

普通土層、硬質土層 $\alpha=1.0\sim1.2$ (參考值)

礫石層 $\alpha=1.5\sim1.8$ (參考值)

卵礫石層 $\alpha=1.8\sim2.0$ (參考值)

B：掘削外徑

D：推進管外徑

(日本下水道管渠推進技術協會，2006年)

(2) 滑材二次注入量計算

$$\text{灌注量 (Q}_L\text{)} = (1 + \beta) \times Q$$

Q_L：滑材二次注入量

β ：距離補足率 $\beta=0.13\sim0.3$ (參考值)

Q：滑材一次注入量 (l/m)

(日本下水道管渠推進技術協會，2006年)

(3) 安定液配比

II-2 泥水式安定液配比表 (砂質土)

材料	配合組成		比重 SG	漏斗黏 度 (FV) (秒)	降伏 黏產值 (YV)	黏土 含有率 (%)
	比率 (%)	1.0m ³ 的場 合 (kgf)				
黏土 #200	13~25	126~250	1.10	25	5~13	17
皂土 #250	4~8	42~83				
增黏材	0.1~0.15	1~1.5	~	~		~
清水		933~867L	1.20	35		33

資料來源：王義夫，民國 85 年

(4) 泥水式安定液配比表 (砂礫、礫混合土)

材料	配合組成		比重 SG	漏斗黏 度 (FV) (秒)	降伏 黏產值 (YV)	黏土 含有率 (%)
	比率 (%)	1.0m ³ 的場 合 (kgf)				
黏土 #200	25~38	250~375	1.20	35	13~17	17
皂土 #250	8~13	83~125				
增黏材	0.1	1.0	~	~		~
逸泥防材	0.5	5.0	1.30	60		33
清水		867~800L				

資料來源：王義夫，民國 85 年

(5) 背填灌漿灌注量

II-4 泥水式背填灌漿注入量 (1/m)

管徑	800	900	1000	1100	1200	1350	1500	1650
注入量	92	103	109	123	135	150	168	183

管徑	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
注入量	204	220	242	263	284	305	326

資料來源：引用修改自王義夫，民國 85 年

附錄III 日本推進日進量參考值列表

泥濃式推進工法：

泥濃式日進量參考值之列表 (A)

單位：m/hr

土層	管徑(mm)				
	小於 600	700~900	1000~1350	1500~1800	2000~2400
A, B	0.76	0.74	0.69	0.61	0.54
C-1	0.66	0.58	0.54	0.49	0.45
C-2	0.61	0.53	0.50	0.43	0.41
C-3	0.51	0.50	0.47	0.43	0.40
D-1	0.76	0.64	0.59	0.53	0.48
D-2	0.68	0.61	0.55	0.49	0.43
D-3	0.61	0.54	0.50	0.44	0.40
G-1-(1)	0.54	0.50	0.46	0.41	0.38
G-1-(2)	0.52	0.49	0.45	0.41	0.37
G-1-(3)	0.50	0.47	0.43	0.39	0.35
G-2-(1)	0.43	0.49	0.45	0.41	—
G-2-(2)	0.29	0.39	0.36	0.32	—
G-2-(3)	—	0.35	0.32	0.29	—
G-3-(1)	0.43	0.49	0.45	0.41	—
G-3-(2)	0.39	0.43	0.40	0.35	—
G-3-(3)	0.34	0.37	0.35	0.30	—
G-3-(4)	—	0.29	0.27	0.25	—
G-3-(5)	—	0.23	0.21	0.20	—

土壓式推進工法：

日本土壓式工法日進量參考值列表

單位：m/hr

管徑 \ 土質	普通土	硬質土	礫石土
	砂質土、黏性土、砂礫土	硬質土 (1)	礫石土 (1)
800	0.71	0.51	0.45
900	0.70	0.50	0.45
1000	0.69	0.49	0.45
1100	0.68	0.49	0.44
1200	0.66	0.48	0.44
1350	0.64	0.48	0.44
1500	0.63	0.46	0.43
1650	0.61	0.46	0.43
1800	0.61	0.46	0.43
2000	0.58	0.45	0.41
2200	0.55	0.44	0.40
2400	0.54	0.43	0.39
2600	0.51	0.41	0.38
2800	0.46	0.39	0.36
3000	0.45	0.38	0.35

泥水式推進工法：

日本泥水式工法日進量參考值列表 單位：m/hr

管徑 \ 土質	普通土	硬質土	礫石土
	砂質土、黏性土、砂礫土	硬質土 (1)	礫石土 (1)
800	1.08	0.76	0.61
900	1.08	0.76	0.61
1000	1.04	0.75	0.60
1100	1.01	0.74	0.59
1200	0.98	0.71	0.58
1350	0.94	0.70	0.55
1500	0.90	0.68	0.54
1650	0.86	0.66	0.53
1800	0.84	0.66	0.53
2000	0.81	0.64	0.50
2200	0.76	0.60	0.48
2400	0.74	0.59	0.46
2600	0.68	0.56	0.44
2800	0.63	0.53	0.41
3000	0.58	0.50	0.40

參考文獻

【書面資料】

- [1]九十年年度污水下水道建設講習班，推進與潛盾工程施工要領。
- [2]張吉佐、邱德夫、林士彥(2005)，「施工專欄」，中興工程顧問公司。
- [3]王義夫，下水道管渠設計及施工(下冊)，中華民國地下管道技術協會，民國85年。
- [4]台北市衛生下水道工程處設計準則，2002年。
- [5]台北市衛生下水道工程處，汙水下水道工務手冊1999。
- [6]林源益、李正芳、謝明達(2007)，「曲線推進應用於卵礫石層之管線工程技術」，中日免開挖工程實務研討會論文集，G1-G9。
- [7]技術委員會，推進工法體系之推進工技術編，日本下水道管渠推進技術協會。7
- [8]竺文彥、李宗坤、鐘仁金、盧之偉(2005)，「曲線推進工法規劃設計與施工」，地工技術第106期，第5-14頁。
- [9]倪至寬，衛生下水道施工與標準作業程序(上)(下)冊，詹氏書局，2005年10月。
- [10]推進管路新技術研討會資料，中華民國九十四年六月。
- [11]張明富(2007)，「卵礫石層小管推進工法之探討」，中日免開挖工

程實務研討會論文集，D1-D16。

[12]廖惠生、賴慶和、余明山(2007)，「障礙物對潛盾隧道施工影響之探討」，中日免開挖工程實務研討會，J1-J10。

[13]歐陽礪暉，下水道工程學，長松出版社 2001。

[14]泥濃式推進工法 ϕ 600mm~ ϕ 2400mm，超流泥濃式推進協會，平成 18 年度改訂版。

[15]推進工法設計積算要領，泥濃式推進工法篇，日本下水道管渠推進技術協會，2006 年版。

[16]泥濃式推進工法：超流泥濃式推進工法文獻集，超流泥濃式推進協會，平成 18 年版。

[17]推進工法設計積算要領，土壓式推進工法篇，日本下水道管渠推進技術協會，2006 年版。

[18]推進工法設計積算要領，泥水式推進工法篇，日本下水道管渠推進技術協會，2006 年版。

【網頁資料】

[1]污水下水道資訊網

<http://sewer.cpami.gov.tw/> 2007

[2]台北市政府工務局衛生下水道工程處

<http://www.sew.gov.tw/> 2007

[3]日本推進工法協會

<http://www.kouhounavi.com/> 2007