

## 長距離曲線推進施工之探討

吳俊賢-台北市政府工務局衛生下水道工程處處長

江黎明-台北市政府工務局衛生下水道工程處科長

陳茱白-台北市政府工務局衛生下水道工程處主任

sew200@mail.sew.gov.tw

### 摘要

長距離推進工法是結合多項技術，以安定切削作業及管材耐延長距離化的推進工法，其主要施工技術在於對曲線施工、分散推力方法及降低推進摩擦阻力等技術減低推進力之工法。

分散推力方法即為中押工法，是設總推進力大於推進管耐荷力及地盤土壓管壁之總承受力，故可解除推進距離之限制及可克服因增加中押段減低掘進效率，並可減少掘削土之搬運時效及緊急時測量人員進入管內之安全問題等，同時可解決為推進長距離無法解決的諸多難題。

長距離推進施工時應注意事項如下：

- (1) 推進工法之選定
- (2) 減低推進力之方法
- (3) 輸出掘削土之方法
- (4) 測量之方法
- (5) 確保工作人員安全

本工法的定義是「一次推進段之距離超過推進管徑的 250 倍或超過 500M 長度」之延長距離推進工法(依日本下水道管渠推進技術協會)，對推進管徑 2000mm 以下之施工條件需注意施工效率會降低，坑內施工環境惡化及避難行動不方便等問題應填重考慮，依上述一次推進距離 500M 之範圍內，以推進管徑之 500 倍為限；如需超過 500M 範圍施工者，必須考慮地質及地下水壓會影響推進力降低，為了管內自動化施工需要應有配套設備，並能確保工作安全為原則。

## 一、前言

台北市成功路原以一般推進工法埋設 $\phi 1200\text{mm}$ 、 $L=500\text{m}$ 污水管線，其預定埋設位置因已被雨水箱涵先行施工，佔據原計劃施工之道路空間而致需另覓空間施工埋管；經試挖後成功路其他路幅亦佔滿各種地下管線，已無可供本工程埋設管線調整位置之空間，必須重新規劃配置本工區之管線路徑及工法。

規劃將本工區之污水收集系統主線移至星雲街，仍沿成功路埋設排入成功路次幹管系統。因星雲街路型彎曲，且沿路有一 $3.5\text{m}\times 2.8\text{m}$ 雨水箱涵，由康寧國小至成功路段長 $518\text{m}$ 無法設置工作井，所以此段必須以長距離曲線推進方式施工，其工程研析確認管徑為 $\phi 1200\text{mm}$ 、長度 $518\text{m}$ 、曲率半徑 $100\text{m}$ 之曲線、矩型推進井及矩形到達井各一個。

## 二、施工規劃

### 2-1、工址調查

為進一步了解本長距離曲線推進段沿線（星雲街）之地質、地下管線及週遭建物現況，於施工前對本段再補充地質鑽探數孔，並就本路段之地下管線作試挖調查，以及對兩旁建物現況鑑定調查。

#### (1)地質調查結果：

於該推進段施工前共鑽設5孔作地質調查分析，發現於距推進井長度約 $170\text{m}$ 、 $210\text{m}$ 、 $409\text{m}$ 、 $510\text{m}$ 等四處有岩磐地質，其餘則為黏土地質。

#### (2)地下管線調查結果：

經過詳細的沿線地下管線試挖調查後發現，星雲街68巷至星雲街、成功路口間管線密佈，幾無施作工作井之空間，僅餘成功路四段61巷、星雲街口之南北兩側可供沉設工作井；且如前所述，星雲街沿路有一 $3.5\text{m}\times 2.8\text{m}$ 雨水箱涵緊靠推進管線之上方。(如附圖一地下管線試挖平面及剖面圖)

#### (3)建物現況調查結果：

星雲街路寬僅 $12\text{公尺}$ ，路型彎曲，兩旁大樓、商店、住家林立交通頻繁，為避免推進管線切入建築線及影響建物之安全，推進路徑以儘量遠離建築線且儘可能減少曲線段之長度及增大曲線半徑為原則配置及路徑定線。

### 2-2、工作井位置及擋土設施之選擇及施工配置

#### (1)推進工作井：

如上述所提之條件限制下，本推進段之推進井位置僅餘成功路四段 61 巷、星雲街口之南北兩側可供施作，但北側為康寧國小之人行道，又是三叉路口的轉角，因考慮學童的上下學時間人員及車輛往來頻繁，所以選擇將工作井設置於南側人行道（警智新村法定開放空間）。根據鑽探報告的結果，該位置為黏土地質，而且緊鄰警智新村地下室，如以沉箱或連續壁施作工作井因空間狹窄無法施工，且對交通影響甚鉅，地下管線沒有位置可供遷移，所以工作井擋土選擇以靜壓鋼板樁不拔除方式施工，以縮短工作井施作時程及減少對交通之衝擊。（如附圖二工作井位置及施工配置圖）

#### (2)到達工作井：

本工程到達工作井位於成功路上，成功路為四線道中央為安全島，到達井設於安全島上對交通之影響甚小，且該位置之土壤屬於岩質地盤，到達井之擋土適用預鑄沉箱工法施工。

### 2-3、推進掘進機械及施工方式之選擇

#### (1)推進工法比較：

中大口徑( $\phi 800 \sim \phi 3000$ )推進工法，以掘進機械分類有開放型及密閉型兩大類別；開放型(亦稱刃口推進工法)，推管前端裝置刃口或開放型切削盤式前導體，挖掘面開放，以人力或機械挖掘，掘土以固態方式搬運，於凝聚性不佳之土層施工，需以壓氣、點井、地盤改良等輔助工法施工，以壓氣為輔助，則又稱壓氣式推進工法。密閉型掘進機係於切削盤與機體間有一隔版形成掘削艙。目前有泥水式、土壓式及泥濃式推進工法三種，三者之主要差別在於掘削面土壤穩定及排土方式之不同；I、泥水式係以掘削艙內液壓，維持掘削面土壤之穩定，所掘削的土壤則以液態方式(如葉輪式送排泥泵及壓力管)輸送；II、土壓式則以充滿於掘削艙內之掘削土壤（或加作泥材拌合）維持掘削面之穩定，排土以固態方式(排土螺旋及運土台車搬運)或添加泥水成塑性狀後以壓送泵輸送；III、泥濃工法則藉由注入高濃度之作泥材於掘削艙內與切削土壤混合攪拌成塑性狀，以維持掘削面穩定，排土經篩籠分成泥濘液態及岩塊固態等兩種，液態以泵壓送(真空或衝壓泵)，固態岩塊則以人工台車搬運出坑。

#### (2)本工程長距離曲線推進段、機械工法選擇：

掘進機及工法選擇：

比較上述各種工法，並依據本段施工前各項調查資料(土質、地下管線、鄰房現況、交通流量)，經綜合研判，本工程採用泥水式岩用掘進機施工，其考量因素如下：

①土質因素考量：本推進段土質屬岩質、粘土複合地質(如土壤柱狀圖)，掘進機械之面盤(cutter head)，必須具備有足夠切削岩質地盤之扭力及特殊切削刃，且必須有足夠取土之開口率。如純以土質條件(泥土處理難易)考量，以土壓式掘進機較適於本段土質施工，但就掘進速度、斷面空間排土方式，整體考量後，決定以泥水式岩用掘進機(UNICON TYPE)施工。

②掘進速度考量：本段長距離曲線推進長度計 518 公尺，排土快慢將決定掘進速度，經檢討後以液態排土，利用抽排泥泵輸送為效率最佳之選擇，因此選用泥水式推進工法。

## 2-4、施工技術檢討

### 2-4-1、長距離曲線推進，須檢討要素：

設計長距離曲線推進時，須就下列各項因素詳加研討：

#### (1) 降低推進摩擦阻力方法：目前有

- ①全管周滑材自動注入方式
- ②泥濃工法
- ③二次滑材注入方式

#### (2) 分散推力方法：設置中押千斤頂，分段推進

#### (3) 測量方法：①傳統方式：水準儀、經緯儀、座標、高程測量。

②連續測量：a.雷射儀、b.全測站方式、c.陀螺儀+水管式計測器(液壓差水平計)、d.電腦自動測量系統(VMT)

#### (4) 曲線半徑檢討：

- ①推管接縫開口長：依曲線半徑及管外徑計算推管接縫開口長度是否在容許範圍內(40m/m 以內)，並據以選用推管長度

- ②管端保護：a.依據開口長選用緩衝材厚度，以傳遞推力保護管端不致破損
- b.設置開口調整材

- ③接縫止水：a.推進中止水：選用優質止水膠圈限制接縫開口長度在容許範圍內及採用埋入式接頭套環。

b.推進完成後止水：接縫開口充填止水材。

#### (5) 曲線成形方法：①中折式掘進機：急曲線。

②超挖刀(或擴幅刀片)。

③管外側地盤改良(軟弱地盤)。

#### (6) 推力及管容許強度檢討：檢討總推力據以配置，元押、中押、千斤頂數量，並檢討直線段，曲線段推管容許強度。

(7) 超挖量檢討：依曲線半徑、管外徑檢討所需超挖量。

(8) 檢討排土設備容量及排土方式。

(9) 檢討油壓降、電壓降問題。

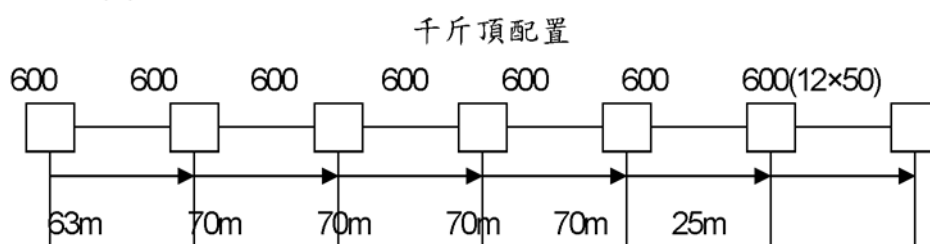
(10) 檢討通風、排水、通訊問題。

#### 2-4-2、本段推進技術研討：

本段屬長距離曲線推進，施工前就下列各項技術層面加以分析檢討：

(1) 推力計算：(泥水式，日本下水道協會修正式的計算方式詳附件一)

(2) 分散推力：



總配置推力 =  $600\text{ton} \times 7 = 4200\text{t} = 42000\text{KN}$

第一中押配置 =  $12 \times 50\text{t/支} = 600\text{t} = 6000\text{ KN}$

計算推力 =  $F_o + f_o \times 25^m$

$$= 293 + 33.13 \times 25$$

$$= 293 + 828 = 1121\text{ KN} < 6000\text{ KN}$$

實際推力 =  $130/500 \times 500\text{ KN/支} \times 12\text{ 支} = 130\text{ KN} \times 12 = 1560\text{KN}$

第二中押配置 =  $6000\text{ KN}$

計算推力 =  $33.13 \times 70 = 2319.1\text{ KN}$

實際推力 =  $130\text{ KN} \times 12 = 1560\text{ KN}$

第三中押配置 =  $6000\text{ KN}$

計算推力 =  $33.13 \times 70 = 2319.1\text{ KN}$

實際推力 =  $130\text{ KN} \times 12 = 1560\text{ KN}$

第四中押配置 =  $6000\text{ KN}$

計算推力 =  $2319.1\text{ KN}$

實際推力 =  $250/500 \times 500\text{ KN} \times 12\text{ 支} = 3000\text{ KN}$

(本段實際推力大於計算推力，係因通過岩層推管偏右造成岩層摩擦抵抗力增大)

第五中押、第六中押、第七中押—同上

元押計算：推力 =  $63\text{m} \times 33.13\text{ KN/m} = 2087.2\text{ KN}$

實際 =  $100/500 \times 1500 \times 4 = 1200\text{KN}$

配置 =  $6000\text{ KN}$

關於配置推力、計算推力及實際推力等三者間關係詳見(附件二)推力統計表

(3) RC 管容許推力：

$$\begin{aligned}\text{直線段：} F &= A \times \sigma_c & \sigma_c &= 450 \text{ kg/cm}^2 / 3 = 150 \text{ kg/cm}^2 \\ &= (144^2 - 120^2) \times 0.785 \times 150 \text{ K}^8/\text{cm}^2 \\ &= (20736 - 14400) \times 150 = 746064 \text{ K}^8 = 7460 \text{ KN} > 3000 \text{ KN} \\ \text{曲線段：} &7460 \text{ KN} \times 1/2 = 3730 \text{ KN} \quad (\text{推進受力面積以直線段之 } 1/2 \text{ 計算}) \\ &> 3000 \text{ KN}\end{aligned}$$

(4) 降低推進阻力：

推進阻力與管徑、土質狀況、推管精度、曲線曲率以及滑材使用情況有關。尤其土質狀況、推管精度係無法完全把握之因素。

本工程推管進行中採用一般滑材(皂土+廢機油)利用推管之灌漿孔，以定點移動方式，視每段中押段推力變化之狀況移動滑材注入點，使每段推力保持在推管容許強度範圍內，依據此一原則，本工程每中押段之實際推力(最大 3000 KN)皆小於推管之容許推力(直線段=7460 KN，曲線段=3730 KN)。(詳如上節)

(5) 曲線半徑檢討：

本工程配合道路彎曲現況選擇曲線半徑，經電腦模擬，可供選擇之最佳曲線半徑為  $R=100^m$ ，依據此一曲線半徑檢討，本工程曲線段推管之長度，管端保護及超挖量。(如圖三曲線推進之曲線開口長度說明)

$$\begin{aligned}(1=2.5^\circ) S1 &= 1 \cdot D / (R - D/2) + S4(5\text{mm}) \\ &= \{(2.5^\circ \times 1.44) / (100 - 1.44/2)\} + 5\text{mm} \\ &= 3.6/99.28 + 5\text{mm} = 41\text{mm} > 40\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(1=1.0^\circ) S1 &= (1.0 \times 1.44) / 99.28 \\ &= 14.5 + 5 = 19.5\text{mm} < 40\text{mm}\end{aligned}$$

曲線段如採用  $1=2.5^\circ$  推管，其接縫開口長大於 40mm，有破管及漏水之慮，因此曲線段採用  $1=1.0^\circ$  之推管

管端保護：因曲線段採用  $1=1.0^\circ$  短管，最大開口長僅 19.5mm，因此管端無須特別保護。

超挖量檢討：(如圖四超挖量示意圖)

$$\begin{aligned}m &= (R - D/2) - \sqrt{(R - D/2)^2 - (1/2)^2} \\ &= (100 - 1.44/2) - \sqrt{(100 - 1.44/2)^2 - (1.0/2)^2} \\ &= 99.28/99.27 = 0.01\text{m} = 1\text{cm}\end{aligned}$$

(6) 送排泥設備檢討：

送排泥設備之容量與推管管徑，每段推管距離，泥水濃度，泥水輸送配管口徑，送排泥泵性能，以及脫泥程度有關，很難精確推算，但依過去經驗，一般土壤之泥水加壓工法，排泥管管內流量保持在

$Q = \varphi 4'' \times 3 = 1.2\text{m}^3/\text{分}$ ，（ $\varphi 4''$ 排泥管口徑）亦即流量為配管口徑之 3 倍，而流速保持在：

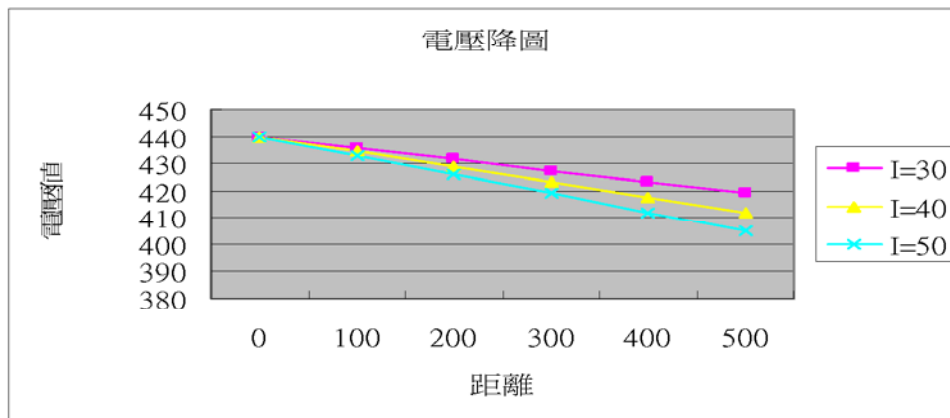
$V = Q/A = 1.2\text{m}^3/\text{分} / (0.785 \times 0.1 \times 0.1 \times 60) = 2.54 \text{ m/s}$  左右，即可防止排泥阻塞管內。

本工程長距離曲線推進( $l=518\text{m}$ )，採用  $\varphi 1200\text{mm}$  管徑之推管，為防止推進距離延長所造成之水頭損失，排泥管採用  $\varphi 6''$ ，而排泥泵則設置 70HP 之葉輪式泵，送泥管採用  $\varphi 4''$  配置，送泥泵採用 40HP 之葉輪式泵，雖然管內設置中繼泵 1 處，但推進進行中並未啟用。

#### (7)電壓衰減檢討：

本工程就掘進機在使用電流值為 30 安培，40 安培及 50 安培時計算其電壓降如下表圖示。

圖五



#### (8)油壓降問題檢討：

油壓出力記錄表如下：

| 油壓馬達轉速               | 距離(m) | 油壓單元出力 $\text{kg}/\text{cm}^2$ | 實測壓力 $\text{kg}/\text{cm}^2$ |
|----------------------|-------|--------------------------------|------------------------------|
| 900 r.p.m            | 400   | 130                            | 100                          |
| (推進中)                | 450   | 130                            | 95~100                       |
|                      | 500   | 130                            | 90~95                        |
| 1500 r.p.m<br>(全速空轉) | 1100  | 250~260                        |                              |

由以上記錄得知在上述之情況下，500m 之油壓降約  $40\sim 45 \text{ kg}/\text{cm}^2$

#### (9)測量系統檢討：

由於長距離或曲線等推進工法施作時當雷射測量儀已無法通視，且推進工法在施工過程中，其推管又係隨掘進機頭同時移動，無法設置固定基準點引測，因

此每次測量均需從出發井一路測至掘進機頭，始可得知推進方向準確與否，其測量所耗費之時間將隨推進距離增加而延長，耗用工期甚多，甚至導致工期超過，本工程採用較先進具即時測量功能之德國 VMT 測量系統以解決上述問題。

有關 VMT 系統之設施組成內容，包括：(1)萊卡雷射經緯儀(Leica Laser Theodolite)、(2)覘標電子雷射系統(Electronic Laser System Target, ELS)、(3)參考覘標稜鏡(Reference Target Prisms)、(4)後視覘標稜鏡(Backsight Target Survey Prism)、(5)長度量測系統(Length Measurement System, LMS)、(6)測斜儀(Inclinometer)、(7)自動水準台(Automatic Tribrach)及(8)控制電腦與軟體系統(Controller Unit)等。

系統之主要測量觀念，建設於一相當重要的假設上--曲線推進施工中，每一支管的位置必定會跟隨著前一支管而座落於該位置上。舉例來說，編號 105 的 RCP 管中心現在位置在座標  $(a, b, c)$ ，而編號 100 的 RCP 管中心座標為  $(x, y, z)$ ；當推進施工向前前進 5m 時，編號 105 的 RCP 管中心將會座落於原編號 100 的 RCP 管中心座標  $(x, y, z)$ ，而編號 110 的 RCP 管將會座落於原編號 105 的 RCP 管座標  $(a, b, c)$  上。

### 三、推進施工管理

推進施工管理之良窳，影響工程之成敗及施工精度至鉅，本工程掘進施工中，採取下列各項施工管控。

#### 3-1、掘進施工管理：

掘進施工中，對掘進機之切削扭力(掘進驅動馬達之電流值)，傾斜度(pitching)、旋轉度(rolling)，修正千斤頂之衝程差，油壓單元之出力(推力)，掘進速度送排泥流量，壓力(液壓倉壓力)、泥水濃度(比重)，掘進機位置(設計中心高程之偏差量)等隨時觀測、修正，並作成記錄以確保推進之順利進行。

#### 3-2、測量管理：

為配合 VMT 測量系統之使用，本工程先就設計發進口、到達口及推進中心線之座標、高程等，輸入 VMT 測量系統之控制電腦，VMT 電腦系統將自動計算出整段推進線之中心點座標，以作為修正之基準依據。掘進施工中，直線段之測量除由操作者隨時觀測，雷射點偏離，設置於機頭內之覘標位置外，並於觀測值有異常現象時，隨時校核，設置於反力座之雷射經緯儀，且每隔 50m 左右，以傳統測量方式校核一次，以確保推管精度。

採用 VMT 測量系統段，亦須於觀測值有異常現象時，隨即校核，並重新設定稜鏡及主動覘標之座標值，並每隔一定距離(20m 左右)以傳統測量校核一次。



本工程以上述精密測量監測下，順利且精確的完成本段推管之作業，測量記錄。

### 3-3、抽送排泥系統之管理：

本工程採用泥水式推進工法施工、掘土以液態傳送，因此送排泥泵及脫水處理系統之管理，對掘進之是否順暢影響甚大；考量送排泥管內必須保持一定之流速流量，不致於造成沈積阻塞送，排泥管採用 $\phi 4''$ 及 $\phi 6''$ 管徑，送排泥泵採用(40HP 及 70HP)之變速馬達，已如前述。

掘進中隨時調整變速馬達之轉速(r.p.m)維持流量在  $1.2\text{m}^3/\text{分}$  左右，流速在  $1.7\text{m/s}$  左右。

當泥水比重達 1.05 以上時，注入清水稀釋，並每推管 10 支左右，更換清理沈澱槽壹次，使循環泥水之比重保持在 1.05~1.10 左右，以防止排泥管內阻塞。

### 3-4、滑材注入管理：

長距離推進成敗之最大關鍵在於：(1)精確測量

(2)降低推進摩擦阻力

(3)分散推力(設置中押)

本工程施工時，因尚未引進全管周滑材自動注入系統，仍以手動分

段滑材注入方式來降低推進摩擦阻力，每隔 100m 左右利用推管之灌漿孔設置注入孔一處，全線設置滑材注入孔六處，以設置於工作井上方之 7.5kw 注漿泵灌注，滑材注入配管採用 $\phi 1\frac{1}{2}''$ 之壓力管，注入壓力保持在  $2\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 3\text{kg}/\text{cm}^2$  左右，若注入壓力達到  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  時，即停止該段注入，移至另段灌注，並於推力上昇段，增設注入孔，滑材使用(皂土+廢機油+海帶粉)混合配比材料採用此一方式之滑材注入對降低本段之推力亦有明顯之效果。

## 四、鑑測計劃

本工程沿線樓房林立，且交通頻繁，推管上方有雨水箱涵及各種地下管線，為避免推管造成地面下陷而影響鄰房及各地下管線之安全，除於推管掘進中，對各項施工數據紀錄管理外，並對最鄰近本工程路線之建物實施現況鑑定，且於沿線佈設多處沈陷釘，以觀測推進前、中、後各沈陷點之地面高程變化，如地面下陷超出警戒值(5cm)即停止掘進，進行補強作業。

### 4-1、鄰房鑑定：

本工程於下列幾處最靠近推管中心之鄰房實施現況鑑定。

| 鑑定位置             | 鑑定現況       | 推管後變化 | 處理情形 |
|------------------|------------|-------|------|
| 1 星雲街 28 號 1~5 樓 | 牆壁及屋頂有輕微龜裂 | 無明顯變化 | 無    |

|                  |            |       |   |
|------------------|------------|-------|---|
| 2 星雲街 30 號 1~5 樓 | 牆壁及屋頂有輕微龜裂 | 無明顯變化 | 無 |
| 3 星雲街 32 號 1~5 樓 | 牆壁及屋頂有輕微龜裂 | 無明顯變化 | 無 |

#### 4-2、地面沈陷觀測：

於推管沿線設置數處沈陷釘觀測其推管前、中、後之地面變化情形如下表：

| 設置沈陷點位置    | 推進前高程 | 推進中高程 | 推進後高程 | 備 註 |
|------------|-------|-------|-------|-----|
| 1. 0k+100m | 10.84 | 10.84 | 10.84 |     |
| 2. 0k+200m | 10.50 | 10.52 | 10.51 |     |
| 3. 0k+300m | 10.15 | 10.15 | 10.15 |     |
| 4. 0k+400m | 10.05 | 10.06 | 10.05 |     |
| 5. 0k+500m | 09.85 | 09.85 | 09.85 |     |

由以上鄰房鑑定及地面沈陷點觀測結果，本推進段除於約 0k+150m 處，因為防止雨水箱涵漏水造成抽心現象發生，而採取壓密掘進，致使地面輕微隆起裂紋，但鄰房並無影響，經台北市土木技術師公會鑑定無礙，其餘路段皆無變化。本推進段對地下管線未造成任何影響。

### 五、結論及建議：

由於長距離曲線推進技術，已日漸成熟，國外成功實績甚多，中、大口徑( $\varphi 1200 \sim \varphi 2400$ m/m)，每段推進距離小於 1000m 之地下管線埋設，已有以長距離曲線推進工法取代潛盾工法之趨勢，因經費、工期較為有利。

由於長距離曲線推進，受限於管徑大小、曲率半徑、土質條件之因素仍多，尤其在地下水高之砂質、卵礫層及岩盤，採用長距離曲線推進，更需慎重周詳研討。

5-1、中押設置過多：本工程施工時，本公司尚未引進全管周自動滑材注入系統，而以一般滑材注入方式灌注，為安全起見設置七處中押千斤頂以分散推力方式，降低每段推力，因此，增加中押設置及推管時間，對推進進度產生嚴重影響。

對策：採用效果良好滑材及全管周自動滑材注入系統，以滑材注入方式降低推進摩擦阻力，減少中押千斤頂之設置數量。

5-2、泥水分離困難：本推進段之土質屬粘土及軟泥岩，採用泥水加壓推進工法，泥水分離不易。增加排泥處理費用：

對策：(1)增設沈澱槽，增加排泥運棄次數

(2)添加凝漿劑，增設泥水二次分離設備

5-3、推管斷面空間狹小，長距離推進人員進出管內不易：

對策：(1)長距離推進( $L > 250D$ )，盡量採用較大管徑

(2)管內配線、配管吊掛於水泥管兩側，減少人員進出阻礙

(3)採用精密測量系統，減少人員進出管內次數

5-4、土質軟硬不均，掘進機容易旋轉(rolling)：

本推進段有 100m 左右之軟岩，軟硬分界處掘進機容易旋轉。

對策：(1)裝置穩定翼(或止轉千斤頂)

(2)降低掘進扭力，放慢掘進速度。

(3)掘進機左右旋轉交換使用。

5-5、機件故障查明不易，維修更換費時：

對策：機件於使用前須維修整備，減少使用中之故障。

5-6、推進距離過長有電壓降、油壓降及傳輸線受干擾問題：

由於電壓及油壓隨距離之延長而衰減，長距離推進須就電壓、油壓容量詳加檢討。

對策：①增大油壓單元容量及油壓輸送管之管徑或管內設置中繼油壓單元。

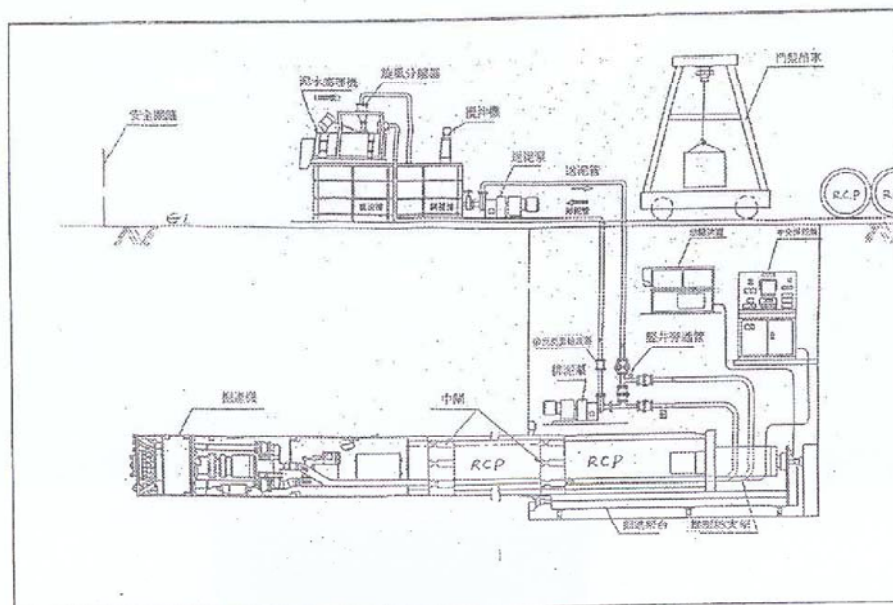
②加大電力動力線之斷面積（或雙線以上配線）或管內設置增壓電容器（較大管徑）。

③操作傳輸線儘量遠離動力線配置。

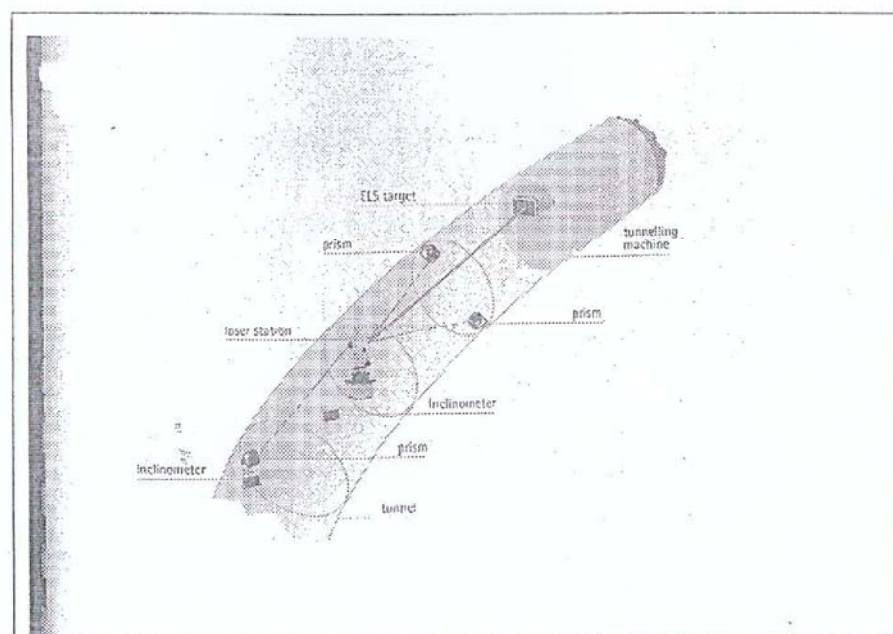
5-7、長距離推進管材相關檢驗規範應速訂定：

本工法為國內新的推進技術，有關管材承受較大軸向推力及曲線段管材間開口的防漏水技術等，查 CNS 均未有相關檢驗之規定，建議有關單位宜速建立規範以為因應。





圖二 工作井位置施工配置圖



13



$p_w$ ：倉內壓力( $\text{KN/m}^2$ )

泥水式  $p_w = \text{地下水壓} + 20\text{KN/m}^2$

土壓式  $p_w = \text{主動土壓} + \text{地下水壓} + \Delta P (\Delta P = 20 \sim 50\text{KN/m}^2)$ (砂質土)

$p_w = \text{靜土壓}$ (粘性土)

$p_e$ ：切削抵抗( $\text{KN/m}^2$ )

$p_e = N \text{ 值} \times 10 (\text{KN/m}^2)$

$N < 15$ ， $p_e = 150 (\text{KN/m}^2)$

$N > 50$ ， $p_e = 500 (\text{KN/m}^2)$

$B_s$ ：掘進機外徑(m)

$B_c$ ：推管外徑(m)

$q$ ：管承受等分佈荷重( $\text{KN/m}^2$ )

$w$ ：管單位重量( $\text{KN/m}$ )

$\mu'$ ：管與土壤間之摩擦係數

$\mu' = \tan(\varphi/2)$

$\varphi$ ：內摩擦角 $= 20^\circ$  (本工程採用值)

$C'$ ：管與土壤之粘着力

粘性土( $N < 10$ )： $C' = 8\text{KN/m}^2$  (本工程採用值)

固結土( $N \geq 10$ )： $C' = 5\text{KN/m}^2$

$\beta$ ：推進力低減係數，依土質別(0.35~0.6)

( $\mu' = \tan \varphi/2 = \tan 20/2 = 0.1768$ )

$= 0.35 \times \{58.8 + 36.17\}$

$= 33.13 \text{ KN/m}$

$F = F_o + f_o \times l + f_o \times l' \times k_o$  (曲線段推力增值數)

$= 293 + 33.13 \times 518 + 0.5 \times 33.13 \times 45$   $L' = 45\text{m}$  (曲線段長度)

$= 293 + 171.61 + 745 = 18199 \text{ KN}$

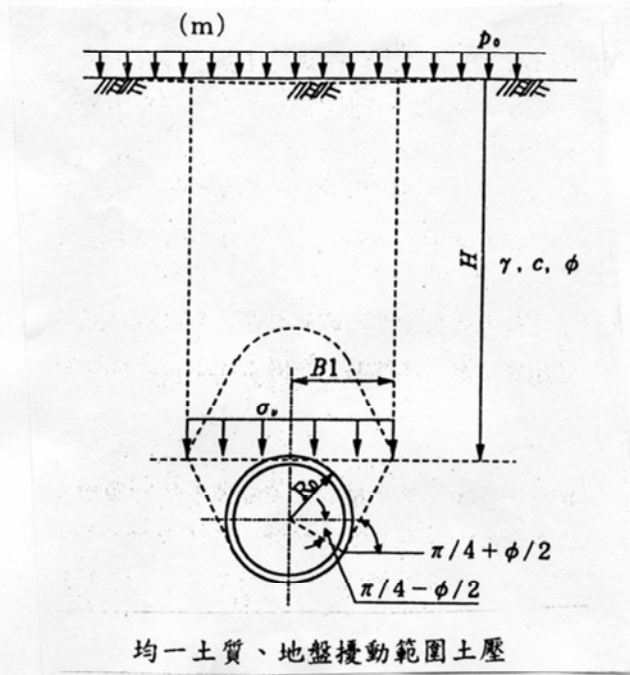
$k_o$ ：曲線段推力增值係數，  
 $k_o = 0.5$  本工程採用值



$$q = Bt(\gamma - c/Bt) (1 - e^{-K_o \tan \Phi H/Bt}) / K_o \cdot \tan \psi + p_o \cdot e^{-K_o \tan \Phi H/Bt}$$

$$Bt = R_o \cdot \cot((\pi/4 + \psi/2)) / 2$$

$$R_o = (Bc + 0.1) / 2$$



本推進段全線有 3.5m × 2.8m 箱涵覆蓋，箱涵覆土平均約 1.0m，且推管外緣距箱涵底距離約 1.0m，因此其上覆載均佈荷重可考慮為：

$$q = w + p$$

$$= (3.5 \times 2.8 - 2.8 \times 2.1) \times 2.4 / 3.5$$

$$+ 2^m \times 1.7 + 1 \text{ T/m}^2$$

$$= 2.68 + 3.4 + 1 = 7.08 \text{ T/m}^2$$

$$= 70.8 \text{ KN/m}^2$$

(φ 1200mm 管自重 W=12.5 KN/m)

$$F_o = (30 + 150) \times 3.14 \times (1.44/2)^2 = 293 \text{ KN}$$

$$f_o = 0.35 \times \{ (3.14 \times 1.44 \times 70.8 \text{ KN/m}^2 + 12.5 \text{ KN/m}) \times 0.1768 + 3.14 \times 1.44 \times 8 \}$$

