

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：複合式長距離曲線推進工法設計及施工技術實習

頁數 15 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司/陳德隆/02-23227685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡瀚儀/台灣電力股份有限公司/輸變電工程處/管路技術專員/02-23229745

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☒4 實習☐5 其他

出國期間：100.10.23~100.10.28

出國地區：日本

報告日期：100.12.26

分類號/目：

關鍵詞：複合式長距離曲線推進

內容摘要：(二百至三百字)

由於環境的變遷、城市的快速發展，於都會區配合興建地下電纜輸電線路，地下電纜線路工程由傳統之開挖埋設管路演化為免開挖工法。因地下電纜佈設大部分為既有道路，為因應道路線形及避免在十字路口設置工作井影響交通，且考量推管工程費用較低、道路佔用面積較小及施工速率較快等因素，採用曲線推進工法日趨盛行。

複合式曲線推進工法設計施工技術在日本應用已數十載也較為完備。本文將複合式長距離曲線推進技術之設計流程、機械製程及案例作一簡述，俾利日後本公司設計施工之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

壹、實習計畫緣由及目的	1
貳、研習行程	2
一、研習主題	2
二、研習地點	2
三、研習期間	2
四、研習主要對象	2
五、參訪工程	2
參、複合式長距離曲線推進工法之設計方法	3
一、曲線推進原理	3
二、複合式曲線推進工法之特性	3
三、複合式曲線推進工法之設計基準	4
四、轉彎能力	4
五、推進力	5
六、擴孔掘削	8
肆、複合式長距離曲線推進工法之施工方法	9
一、施工機具	9
二、曲線形成方式	9
三、止水方法	10
四、測量	10
五、東京電力株式會社電力洞道案例	11
伍、出國實習心得與建議	14
一、心得	14
二、建議	15

壹、實習計畫緣由及目的

由於環境的變遷、城市的快速發展，於都會區配合興建地下電纜輸電線路，地下電纜線路工程由傳統之開挖埋設管路演化為免開挖工法，如：導向潛鑽、潛盾及推管工法等。

因地下電纜佈設大部分為既有道路，為因應道路線形及避免在十字路口設置工作井影響交通，且考量推管工程費用較低、道路佔用面積較小及施工速率較快等因素，採用曲線推進工法日趨盛行。目前曲線推進工法的施工機具，主要有兩個施工方式，一為「複合式曲線推進工法」：於直線段採 RC 管，遇曲線段則採與潛盾相同之異形環片方式施設，其後方之直線段亦採環片方式施設；另一種是「曲線短管推進工法」：採 RC 短管並容許 RC 短管與管間存在開口的方式，使路徑形成曲線。

複合式曲線推進工法設計施工技術在日本應用已數十載也較為完備，故希望藉由本次出國計畫，前往實習其技術及經驗，俾利日後本公司設計施工之參考。

貳、研習行程

一、研習主題

複合式長距離曲線推進工法設計及施工技術實習

二、研習地點

日本名古屋、大阪

三、研習期間

日期：100 年 10 月 23 日至 100 年 10 月 28 日

四、研習主要對象

（一）奧村機械製作株式会社 (Okumura Machinery Corporation)

（二）中部電力株式会社 (Chubu Electric Power Co., Inc.)

五、參訪工程

（一）奧村機械製作株式会社、機械製造工廠

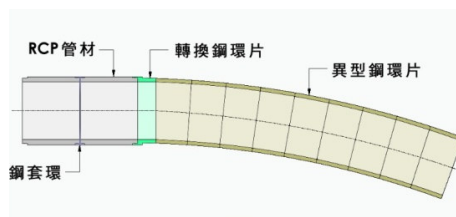
（二）名城變電所 (Meijo Substation)

（三）牛島町變電所 (Ushijima-cho Substation)

參、複合式長距離曲線推進工法之設計方法

一、曲線推進原理

曲線推進工法目前有兩種模式，一為複合式轉彎推進工法，另一則為短節推進工法。短節推進工法於曲線段時，以一側產生開口，累積開口長度方式造成曲線，因此曲線半徑愈小，管材長度將愈短，致曲線半徑無法太小。而複合式曲線推進工法結合推管及潛盾工法之施工方式。施作時由可折式半潛盾機頭進行鑽掘，於起始直線段採用一般之推管方式施作，至曲線段則轉換施工方式採用潛盾工法以架設環片方式施設，並透過轉換接頭將管材與環片結合在一起形成洞道。複合式曲線推進工法可配合既設道路線形，將曲線半徑儘量縮小，施作完成之洞道型式如下圖所示。



二、複合式曲線推進工法之特性

1. 施工性、安全性、經濟性為其基本原則。
2. 複合式曲線推進工法的半潛盾機可適用於推管段及潛盾段，較潛盾工法經濟。
3. 急曲線、長距離施工亦適用。

- 4.複合式曲線推進工法對週遭環境影響較小。
- 5.推進過程中，非預期增加的推力是可接受的。
- 6.複合式曲線推進工法於轉彎段，使用環片施作，可立即背填灌漿，因此地表沉陷量較小；曲線推管為管材推進施作，須全段完成後才可背填灌漿，因此地表沉陷量較大。

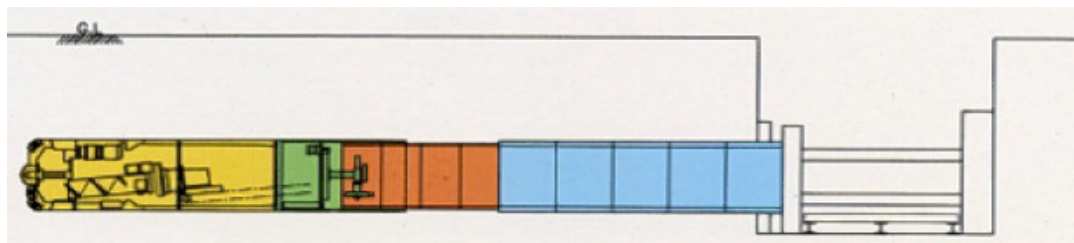
三、複合式曲線推進工法之設計基準

最小管徑： φ 1.2m

最大管徑： φ 3.0m

最大區間距離：沒有距離限制

最小曲線半徑： $R = 10\text{m}$



半潛盾機

後續管組立

鋼環片

RC管

四、轉彎能力

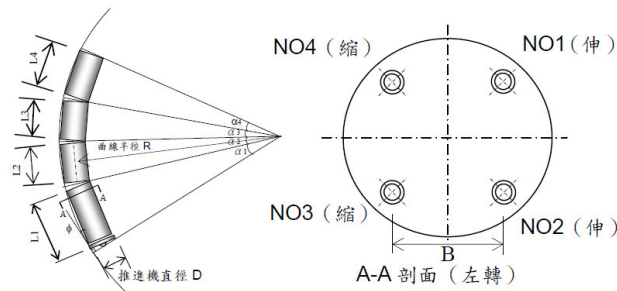
配合轉彎推進需求，機械皆需設有中折裝置。複合式推進機之轉彎能力，較為特殊複雜，需針對推進機各節的轉彎能力進行檢討。

推進機之轉彎係靠各節機身間之修正千斤頂，伸縮來

控制方向。推進機之轉彎能力需檢討推進機節間千斤頂最大修正偏角量 ϕ 與設計偏角量之比值 FS 大於 1.5~2。

$$\text{偏角 } \phi = \sin^{-1} \frac{L}{2(R - 0.5D)}$$

$$\text{節間夾角 } 0.5\alpha = \tan^{-1} \frac{\text{千斤頂伸長量}}{B}$$



推進機轉彎修正千斤頂示意圖

五、推進力

複合式推進工法之推進力，需分以下三個階段檢討：

(1) R.C 管推進階段：

本階段可依密閉式推進機之推進力來檢討，建議採用日本下水道管渠推進技術協會修正式 I（日本下水道管渠推進技術協會 土壓式推進工法篇）：

$$F = F_0 + f_0 \cdot L$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$f_0 = \beta \{ (\pi \cdot Bc \cdot q + W) \mu' + \pi \cdot Bc \cdot C \}$$

式中

F：總推進力(kN)

L：總推總長(m)

Pe：切削抵抗力= $10 \times N$ 值(kN/m^2)

但 $N < 15$ 之場合 $Pe = 150$

$N > 50$ 之場合 $Pe = 500$

Bc：管外徑(m)

W：管之單位重(kN/m)

C：管與土壤間之著力(kN/m^2)

粘土層($N < 10$)： $C = 8$

硬粘土($N \geq 10$)： $C = 5$

Fo：先端抵抗力(kN)

Pw：主動土壓+地下水壓+ ΔP (kN/m^2)

($\Delta P = 20 \sim 50 \text{kN/m}^2$)砂土層

粘土層 $Pw =$ 靜止土壓力

D：掘進機外徑(m)

q：管承受之均佈荷重(kN/m^2)

μ' ：管與土壤間之摩擦係數 $\mu' = \tan(\varphi / 2)$

φ ：土壤之內部摩擦角

β ：推進力折減係數(0.35~0.6)

(2) 設備轉換階段：

本階段為直線段 R.C 管推進完成後，進行推進工作井之元押設備拆除前，為確保轉換後完成之 R.C 管外圍摩擦力足以承受推進機轉彎之推進反力所作之檢討。若摩擦力不足時，應保留元押作為反力至能承受推進反力後，方可進行設備轉換。故為確保推進反力足夠，須依

下式進行檢討。

$$L > \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot f}$$

式中

F：推進機之推進力(N)

L：設備轉換前推進總長(m)

r：環片之外半徑(m)

f：背填完成之管與土壤間之摩擦力(N/m²)

(3) 轉彎推進階段：

複合式推進機之潛盾千斤頂推力，須依下式推力加上 2 倍之裕度來決定。

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

式中

F：推進機之推進抵抗力(kN)

F₁：推進機外表與土壤間之摩擦抵抗力(kN)

$$\text{粘土層 } F_1 = \pi \times D \times L \times C + W \times \mu_1$$

$$\text{砂土層 } F_1 = \mu_1 (\pi \times D \times L \times P_m + W)$$

F₂：環片與機身之摩擦抵抗力

$$F_2 = \mu_2 \times G_2 \text{ (kN)}$$

F₃：前面抵抗力(kN)

$$F_3 = P_f \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

μ_1 ：鋼與土壤間之摩擦係數(0.3)

μ_2 ：鋼與混凝土間之摩擦係數(0.4)

P_m：作用於推進機本身之平均土壓力

P_f：推進機前面的全土壓

W：推進機重量(t)

G2：環片重量(t)

D：推進機外徑(m)

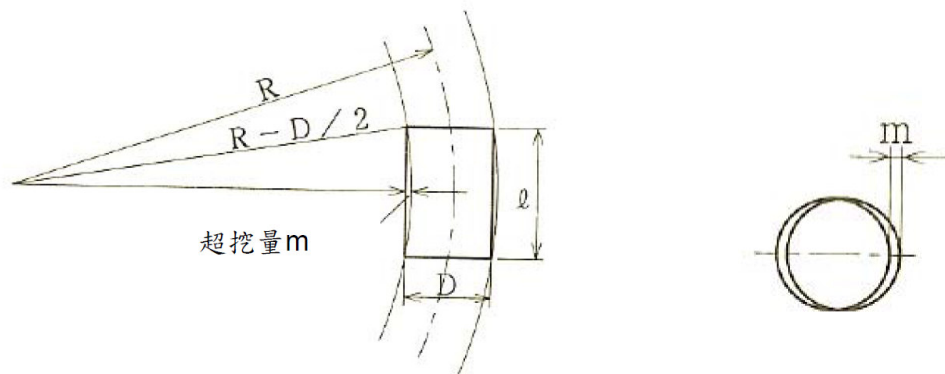
L：推進機全長(m)

C：管與土壤間之著力(kN/m²)

六、擴孔掘削

配合掘進機的轉彎推進，於曲線段時必須進行轉彎內側超挖擴孔處理，以利掘進機轉彎，以下為配合曲線之超挖量檢討。

$$m = \left(R - \frac{D}{2} \right) - \sqrt{\left(R - \frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{l}{2} \right)^2}$$



轉彎側超挖量示意圖

肆、複合式長距離曲線推進工法之施工方法

一、施工機具

複合式曲線推進工法所採用推進機具與曲線短管推進工法最大的不同，即是多了一節可供組裝環片的機身，其餘部份大致與推進機具相同。複合式曲線推進工法由於需同時可推 RC 管並組裝環片，故其機具設備亦較多。

1.複合式掘進機前進特性

掘進機於直線推進時是以千斤頂支壓後方之反力牆向前推進，於曲線推進時是以機身之千斤頂支壓後方之弓形支保向前推進，使兩側衝程不等，形成轉向角度並配合組立不同之異形支保進行曲線掘進。

二、曲線形成方式

直線段採推進工法搭配 RC 管施工，遇曲線段需更改為潛盾工法施工，搭配異型鋼環片，利用掘進機之中折設備，使掘進機之進行方向與曲線曲率一致。此項中折設備可依設計曲率需求，利用方向修正裝置來調整。曲線段之後的直線段亦須採潛盾方式構築環片施設，而無法再使用 RC 管。

三、止水方法

1.R.C.P 管材止水方式：

管材與管材銜接之止水係以橡膠止水帶並利用鋼套圈將兩支骨材結合在一起，以橡膠止水帶來阻隔管外地下水滲入管內，在推進過程中又以皂土由 R.C.P 預留灌漿孔以壓力灌入管外，不但可減少管材與土壤之摩擦力又可形成止水膜阻止地下水滲入。推管完成後亦由 R.C.P 預留灌漿孔再以水泥漿加壓衝破皂土止水膜，再次填塞管外壁與土壤間之孔隙，並達止水效果。

2.環片止水方式：

曲線段採用異型鋼環片，鋼環片周圍貼付親水性止水材(20mm 寬、2mm 厚)以加強止水效果，潛盾施工過程每隔 1m 即由環片預留灌漿孔注入灌漿；推進作業完工後再施做 20cm 厚的二次襯砌加強止水成效。

四、測量

1.地面上

利用定線後推進中心線座標，以控制點為原點測設推進起點、曲線起點（B.C）、曲線中點（M.C）、曲線終點（E.C）、推進終點，致於曲線起點至曲線終點之曲線造成，則利用偏角法，採整弦偏角逐一測設完成。

2.洞道內

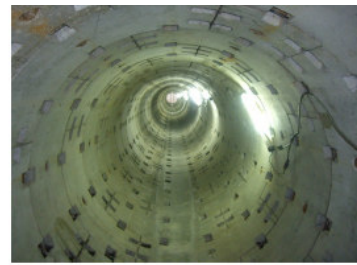
採用光波測距經緯儀及水平儀，依據地面標定之推進中心線之實際平面位置及方向垂直導入坑內，進行管內測量。爲使地層內之推進方向與地面中心線保持一致，隔適當距離向地面打入測量孔以行校核，或以陀螺儀測定正確方向。



推管段



銅環片段



潛盾RC環片段

五、東京電力株式會社電力洞道案例

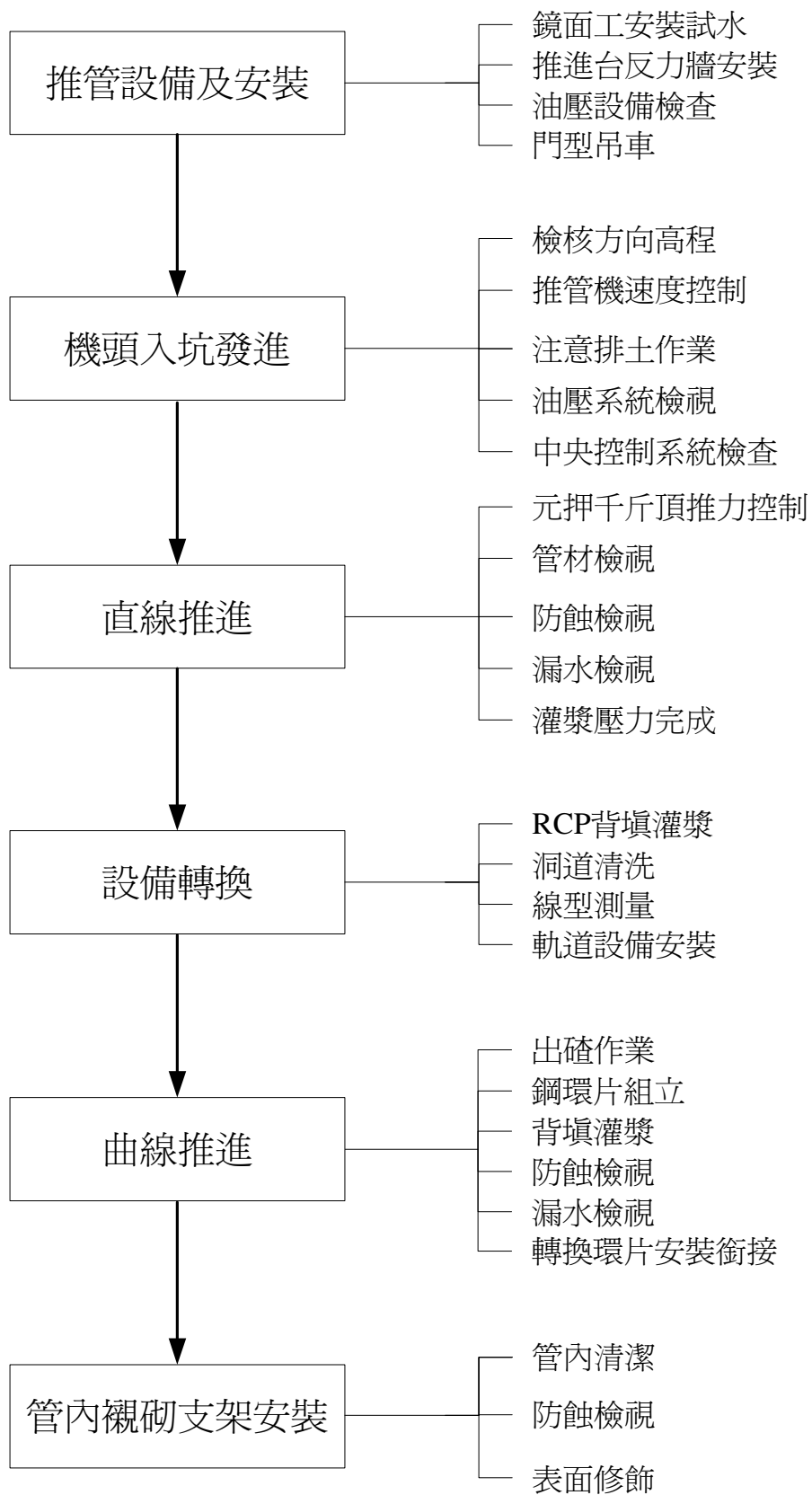
工法：複合式曲線推進工法

洞道長度：1000M

RC 管尺寸：推管內徑 ϕ 2.2M、推管外徑 ϕ 2.58M

轉換段尺寸：轉換鋼管 ϕ 2.6M

轉彎半徑：R=20M



複合式曲線推進工法施工流程圖

伍、出國實習心得與建議

一、心得

此次能順利赴日本實習「複合式長距離曲線推進工法設計及施工技術」，除了要感謝公司內部長官及同事的大力幫忙外，也要感謝日本廠家—中部電力公司及奧村機械製作株式會社之鼎力協助，方能完成本實習任務。在參觀中部電力公司及奧村機械製造工廠期間感受到，雖規模、員工數量並不大，但創造高競爭力及高利潤，再加上海外行銷，公司皆能維持營運成長。在參觀日本名城變電所出口地下電纜潛-盾洞道時，發現洞道內有預留未來輸電線增設空間，洞道入口處設有保護裝置避免人員碰撞到電纜，再者洞道內電纜規律排列、空間保持整潔亦無積水現象，規律的排列對於電纜的維護及故障排除都有相當大的助益。

二、建議

1. 卵礫石層的推進力及速率常受限於卵石含量、硬度、礫石種類及破碎難易度，因此地質調查甚為重要，建議採全管取樣模式，以作為推進機具選擇、加泥材、滑材材料之依據。
2. 卵礫石層推進面盤刀刃常嚴重磨損，需進行地質改良，以進行面盤刀刃更換動作，更換作業將增加成本與工安風險。因此推進機生產時即應完整考量磨損度。
3. 施工前宜再次比對全管取樣調查，並於工作井開挖時，核對現場地質條件與調查間之差異性，以作為推進前、後相關參數檢討之依據。