

出國報告（出國類別：實習）

克服潛盾洞道直井通風設備施設困難之設計與實務

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：何欣穎 九等電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：102.11.24~102.11.29

報告日期：103.1.6

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：克服潛盾洞道直井通風設備施設困難之設計與實務

頁數 30 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

何欣穎/台電公司/輸變電工程處/九等電機工程師/02-23229774

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：102.11.24. ~102.11.29.

出國地區：日本

報告日期：103.1.6.

分類號/目

關鍵詞：洞道、通風系統、潛盾洞道

內容摘要：

隨著都會區發展，交通、水、氣管線等民生基礎建設陸續到位，台電公司為回應對市容觀瞻及供電可靠度之要求所採行之輸電地下化工程，若非採用共同管道建置，漸難採用明挖方式佈置地下電纜，取而代之為推管或潛盾洞道工程。電纜洞道深達地下數十公尺、長達數公里之遙，為維護洞道內溫度及空氣流通性以確保維運人員之安全，並達到電纜基本冷卻之功能以增加供電能力，可靠之通風系統越顯重要，包括通風系統之設計、佈置、維護等考量即為重要之課題，此外，都會區土地取得日益困難，在寸土寸金的都市內，為使土地價值發揮最大效益，並爭取變電所附近居民之接納，採用多目標使用設計在日本已有相當多之案例，本公司自 90 年開始部分變電所亦藉由日本電力公司發展經驗，採行多目標使用規劃，安全防災規劃亦屬變電所設計之重要課題。

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

目 次

壹、前言	1
貳、實習過程	2
一、行程說明	2
二、實習內容說明	2
參、通風系統設置介紹	2
一、法規及標準說明	2
二、通風系統分類	4
三、通風系統設計說明	8
(一) 通風系統之設計流程	8
(二) 設計流程說明	9
(三) 其他附屬設施說明	14
肆、多目標使用變電所之防災規劃	17
(一) 變電所規劃	18
(二) 變壓器及冷卻系統	18
(三) 消防系統	18
(四) 防洪設計	19
(五) 本公司多目標使用變電所規劃	19
伍、其他工地相關資料說明	21
陸、實習心得與建議事項	27

壹、前言

隨著台灣經濟發展，電力之需求也日益增加，惟在民意高漲及市容景觀要求之氛圍下，電力建設日益困難，都會區內或人口稠密地區輸電線路方面採用地下電纜規劃、變電所採用屋內型甚至多目標使用興建已漸為常態。

新建輸電線路工程採架空方式規劃難以得到現地居民諒解，亦難獲得地方政府支持，往往導致輸電線路工程延宕造成供電時程延遲，因此都會區或人口稠密區近年來幾乎均已採行地下電纜方式佈設輸電線路，而採行洞道方式佈設地下電纜為位於開挖面積限制區域、交通瓶頸區、穿越地下障礙物或無法獲得地方主管機關同意核發路證情況下之可行工程作法，然電纜洞道深達地下數十公尺、長達數公里之遙，為維持洞道內溫度及空氣流通性以確保維運人員之安全，並達到電纜基本冷卻之功能以增加供電能力，可靠之通風系統越顯重要，包括通風系統之設計、佈置、維護等考量即為重要之課題。

此外，都會區土地取得日益困難，在寸土寸金的都市內，為使土地價值發揮最大效益，並爭取變電所附近居民之接納，採用多目標設計之理念便應運而生，在日本已有相當多之案例，本公司自 90 年開始部分變電所亦藉由日本電力公司發展經驗，採行多目標使用設計，安全防災規劃亦屬變電所設計之重要課題。

地下電纜依佈設方式、所在區位、外在環境、洞道條件而有不同之通風系統選擇，選用最適合的通風系統達到適當成本、符合功能的要求以及減少工程之施工阻力一直是設計人員最重要的課題，變電所在實現多目標使用規劃的同時，防災設計已無法由單純維運人員及機具設備防護的觀點切入，安全之考慮應更為周全，他山之石、可以攻

錯，日本的地理條件與社會環境均與台灣類似，在洞道系統及變電所多目標使用規劃的發展亦有相當長遠歷史，為汲取日本之技術及經驗，思考本公司可藉以學習或研究的方向，特安排本次實習行程。

貳、實習過程：

一、實習行程

本次赴日本實習期間自民國 102 年 11 月 24 日至 11 月 29 日共 6 天，參訪期間除與鹿島公司機電工程相關人員進行通風系統、變電所設計及建構技術研討外，另該公司刻正進行之東京附近工地如下，亦安排參訪行程：

- (一) 日立工區「茨城～栃木幹線」
- (二) 東京下水道築地幹線工程
- (三) 東大島幹線及南大島幹線第二期工程
- (四) 357 號東京港隧道工程

二、實習內容說明

- (一) 洞道內通風系統及相關附屬設備之佈置、設計研討。
- (二) 洞道內通風系統相關設計標準及技術規範研討。
- (三) 通風直井相關設置技術研討。
- (四) 潛盾洞道工程工地佈設及安全措施觀摩。

參、通風系統設置介紹

一、法規及標準說明

以地下電纜洞道而言，通風系統最重要的功能有兩項，一是維持洞道內溫度及空氣之流通性，確保工作人員安全，二是達到電纜基本冷卻之作用。

洞道屬於勞工安全衛生法規中訂定內部無法以充分及適當之自然通風來維持內部清淨之可呼吸性空氣且進出受限制之空間，因此洞道內之有害氣體濃度及作業溫度須符合下列法令規定：

依據法規	項目	標準
1.缺氣症預防規則 2.侷限空間作業危害預防要點 3.勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準	空氣中氧氣含量	得高於百分之十八或低於百分之二十三。
	一氧化碳	濃度不得超過 10ppm
	二氧化碳	濃度不得超過 4500ppm
	硫化氫	濃度不得超過 10ppm
	引火性液體之蒸氣或可燃性氣體	濃度不得超過其爆炸下限之百分之三十。
	空氣中有害物之濃度	不得超過勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準之規定。
勞工安全衛生設施規則	洞道內作業溫度	攝氏三十七度以下

表 1 洞道內有害氣體濃度法規標準

本公司「地下輸電電纜線路附屬機電工程設置準則」依據前列法規及電纜風冷需求，訂定設計要求如下：

設計項目	需求說明	附註
通風方式	通風方式採用機械式強制送風與排風，於適當位置設置通風口及裝設通風設備，確保進入洞道內工作人員安全。	

洞道內平均風速限制	3m/s 以下(有人員時段)。 無人員在洞道內時，風機之風速可適時調高換氣出入口之風速至 10.7m/s 以下。	
通風口平均風速限制	5m/s 以下(有人員時段)。	
通風量(風機最低需求容量)	為維持洞道內一定的空氣品質，並協助排除電纜線路運轉時產生之熱量，必須於洞道、連接站或直井等處設置通風換氣系統，風機最低需求容量以考量 30 分鐘內完成洞道全面換氣為原則。	
洞道內容許溫度	洞道通風換氣區間任何單點溫度偵測器測出溫度超過 40°C，則啟動風機；另若該區間全部溫度偵測器測出溫度皆小於 37°C，則啟斷風機。	(註：必要時並協助期初排除電纜線路運轉時產生之熱量)
洞道內空氣與洞道外空氣之溫差(夏季)	6~8°C 以內。	

表 2 「地下輸電電纜線路附屬機電工程設置準則」設計標準

二、通風系統分類

通風系統最重要的功能在於維持洞道內空氣流通，確保洞道內有害氣體及含氧濃度達到一定標準，並保持洞道內溫度確保維運人員安全，基本上，電纜洞道在通風系統可達到風冷條件的情況下，即可避免裝設強制冷卻系統，除可減少建設成本外，後續運轉維護成本亦可有效降低。

通風系統採用「風」來做「空調」的動作，基本配置如下：

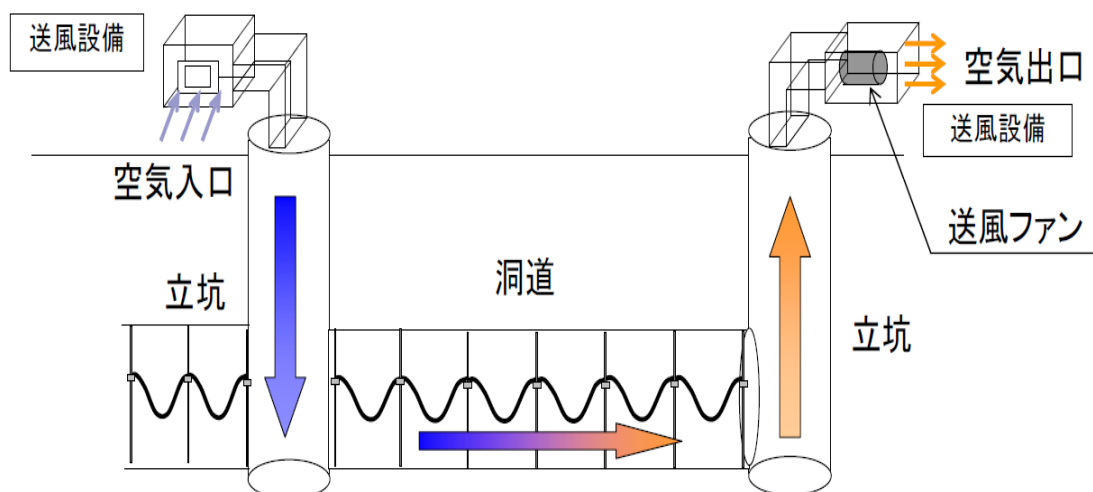
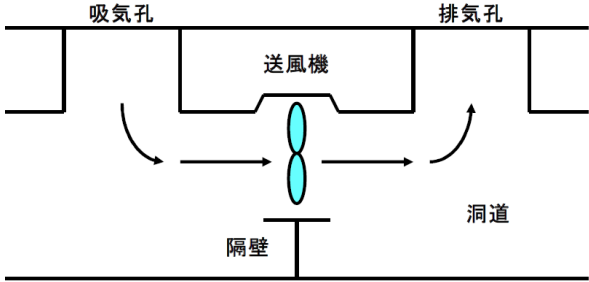
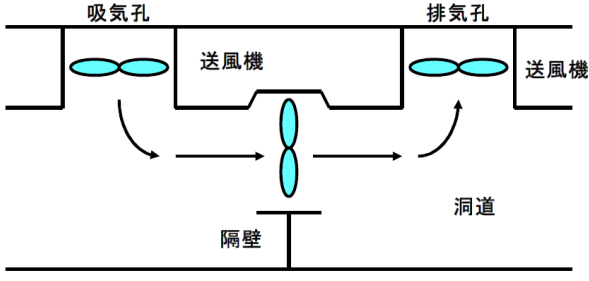
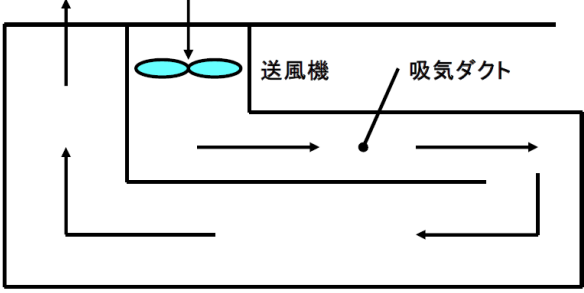


圖 1 通風系統配置概要

考量洞道的條件，包含所在區域環境、洞道之長度、截面積、坡度起伏、洞道內熱源情形等，通風系統大致可選用 A~F 等 6 種類型設計配置，分述如下：

換氣方法	換氣方法說明	適用場合	設計特色
單側強制通風 (A 型)	<p>○作為吸氣用途使用，噪音不外洩。 ○作為排氣用途使用，效率佳。</p>	1. 採用標準洞道換氣方式。 2. 兩個區間的氣流損失量相等時使用。 3. 適用戶業區間約 500 公尺。	1. 相較其他方式最為簡單經濟。 2. 如有壓力損失差時，損失較大區間無法期待效果。
兩側強制通風 (B 型)		1. 洞道內壓損較高，單邊強制送風無法滿足時。	建設費用較高，但洞道內壓力損失較高時，具有一定效果。

		2.適用區 間約 1000 公尺。	
中間強制 通風 (C 型)	 <p>○為防止空氣逆流，因此設置隔牆。</p>	1.兩端換 氣口無法 確保送風 機設置空 間時。 2.適用區 間長度約 500 公尺。	雖然設備 投資費用 增加，但 對消除地 面噪音最 為有利。
兩側-中 間強制通 風 (D 型)	 <p>○為防止空氣逆流，因此設置隔牆。</p>	1.換氣區 間較長 時，可適 時增設中 間增壓器 加以補 足。 2.適用區 間長度約 1000 公尺 以上。	當洞道氣 流損失非 常高時， 也足以因 應。
風管通風 (E 型)		主要在只 能從單側 換氣孔換 氣時，採 用此類 型。	1.風管越 長，設備 投資費用 越高。 2.要求較 大風量 時，有時 需配合風 管長度而 需要有效 尺寸較大 的洞道。

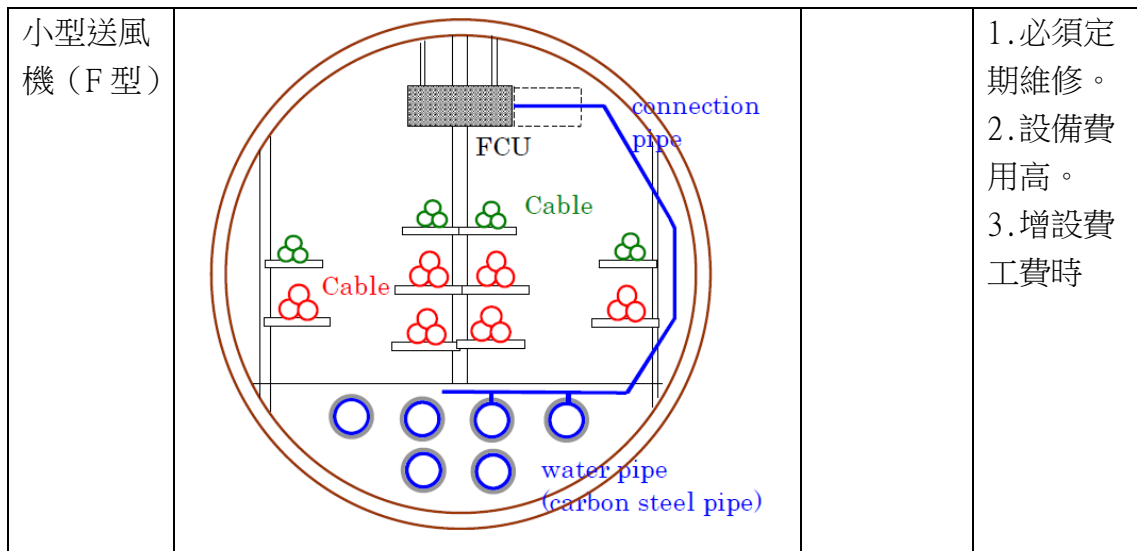


表 3 風機配置類型表

綜合前列 6 項配置方式，就施工價格、噪音程度及適用區間長度等 3 項主要特性，整理如下表：

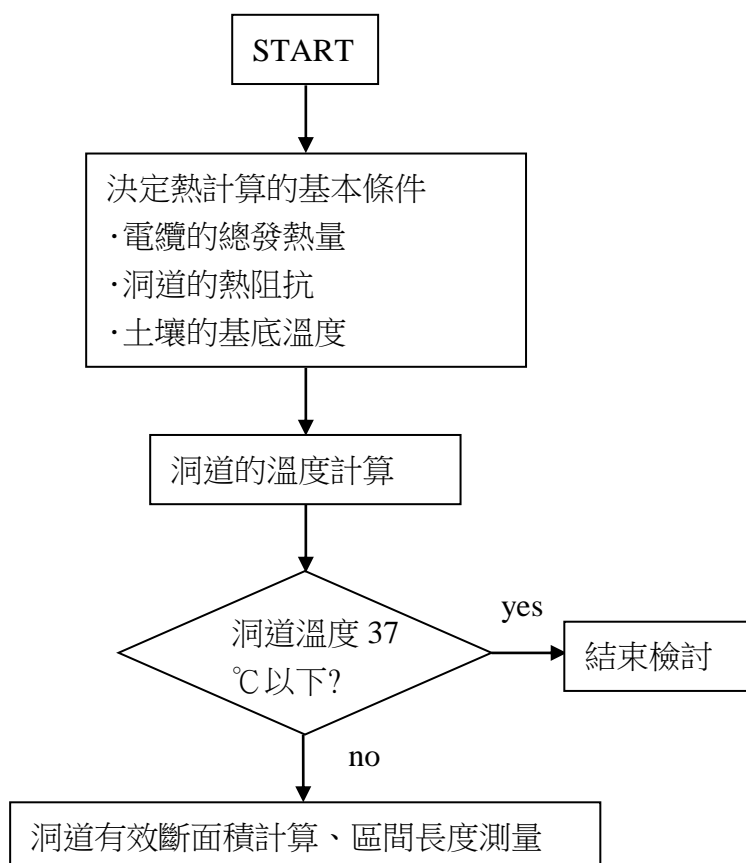
風冷種別	概要圖	經濟性	騒音	適用區間長
單側強制通風		◎	△	×
兩側強制通風		○	×	△
中間強制通風		○	◎	×
兩-中間強制通風		○	×	○
風管通風		△	△	×
小型送風機		×	◎	◎

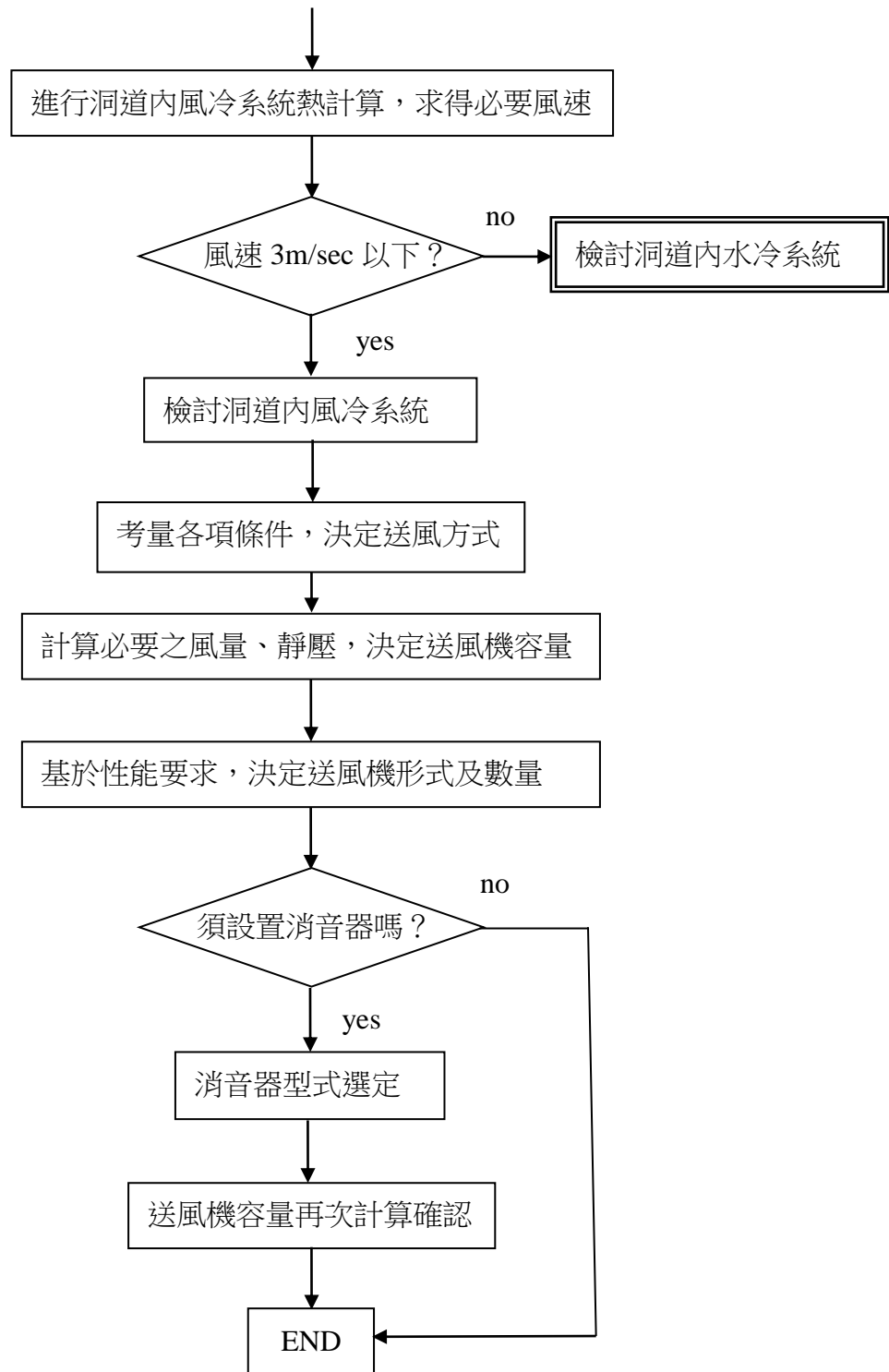
表 4 風機配置特性彙整表

一般而言，洞道的空間有限，並無餘裕空間可再裝設大型風機，因此大部分之設計風機均裝設於直井內，然直井設置牽涉地權取得，突出地面的之結構體設計亦受制於建築法規限制，且風機無可避免將產生一定程度之噪音，今日民眾對於生活環境、環保觀念的提升，直井用地因前列因素往往難以取得，因此通風直井數量一般均朝精減方向設計，故在長距離洞道的通風系統設計上，通常以複合型態設計，或在風機容量、噪音產生量及尺寸許可的條件下，儘可能採用大型的風機安裝，另外，加大洞道的截面積、評估洞道放寬允許溫度的可行性、加裝其他冷卻裝置、採用低熱產生之電纜等，使各區段通風系統可滿足設計條件，另外，於洞道之人員出入井佐以小型風機做人員進入洞道前換氣使用，可確保工作人員安全，亦具有一定之降溫效果。

三、通風系統設計說明

(一)通風系統之設計流程圖如下：





(二)設計流程說明

1. 電纜的總發熱量

電纜的發熱量即為電纜的損失量，除與通過電流大小相關外，電纜材質、構造等亦均有影響，單一電纜發熱量

公式為： $W = LF \times (Wc + Ws) + Wd$

Lf ：損失率，為單位時間電流之平方和與最大電流平方之比值，即

$$Lf = \frac{\sum_{n=1}^{24} In^2}{24 \times Im^2} m$$

Wc ：導體損失，為交流電通過電纜導體所產生之損失，與導體阻抗及送電電流相關。

Wd ：介質損失，為電纜電壓與絕緣物質所產生之損失，其損失大小決定於電纜中之電壓質及絕緣物之介電係數及介電正切，介電係數與介電正切是由製造電纜及原料產生。

Ws ：遮蔽層損失，與回路損失及渦電流損失相關。

回路損失：當被套在 2 處以上接地時，產生環路電流，此電流自電纜的接地點入地，再由地沿此電纜的另一端地點回到電纜造成之損失。

渦流損失：電纜通有電流時，電纜被套如二次側線圈，其導體如變電器一次側線圈，由於導體中的電流產生磁通，與被套相切產生感應電壓，此電壓在被套上產生渦流造成之損失。

2. 洞道的熱阻抗

$$Re = \frac{g}{2\pi} \log_e \left[\frac{2L}{D} + \sqrt{\left(\frac{2L}{D}\right)^2 - 1} \right]$$

g ：土壤固有熱阻抗

L ：洞道中心之埋設深度

D ：洞道之等價直徑

3. 土壤的基底溫度 T_0 ，一般取 25°C

4. 綜合 1~3 的設計因子，計算洞道在達到設計條件運轉溫度（本公司要為 40°C 以上風機啟動， 37°C 以下停止運轉，日本則為 $37^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ 以上風機啟動， 35°C 以下停止運轉）所需的風機運轉風速：

$$V = \frac{L}{q \times A \times \text{Re} \times \log e \left[\frac{1}{1 - \frac{\Delta t}{W \times \text{Re} + T_0 - T_f}} \right]}$$

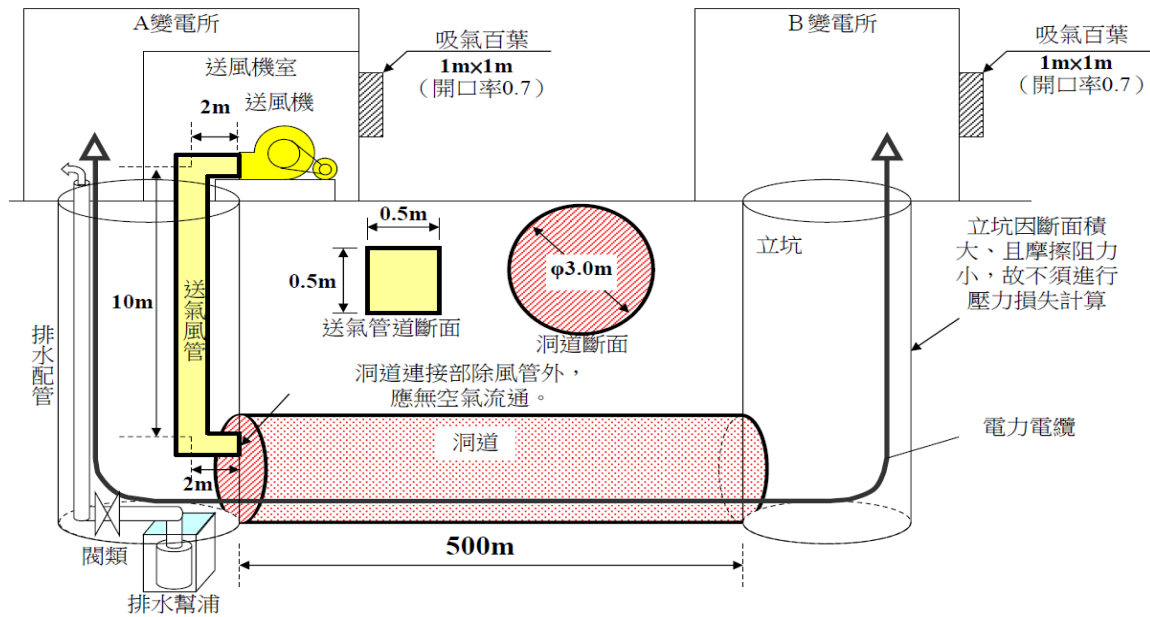
Q ：空氣之定壓比熱值

A ：洞道通風之有效斷面積

T_f ：入口空氣溫度（外氣溫度）

5. 計算必要之風量、靜壓，決定送風機容量：

項目		設計時之基本條件
電源方式		交流三相 3 線式，200V
風速	換氣口 出入口	最大 5.0m/s 以下
	洞道內	最大 2.0m/s 以下，最小 0.3m/s 以上
洞道內溫度		37°C 以下（※依法令及勞働安全衛生規則而定）
換氣所需之時間		30 分以內（預估）



以上圖設計條件為例，檢討風機選用之容量，應考慮之步驟如下：

(1) 依洞道條件決定送風機所需送風量：

利用洞道橫切面風速及橫切面有效截面積之積，求得送風機必要之風量： $Q = V \times A$

其中 Q ：送風機必要之送風量 m^3/sec

A ：洞道之有效橫切面積 m^2

V ：洞道之橫切面風速 m/sec

洞道有效截面積：
$$A = \left[\frac{3^2}{2} \right] \times \pi = 7.069m^2$$

必要的送風量：
$$Q = V \times A = 7.069 \times 0.3 = 2.121[m^3/s]$$
$$= 127[m^3/m]$$

(2) 必要之靜壓計算及風機選擇：

靜壓為當風機輸送空氣進入洞道時，空氣與洞道壁間將出現之磨擦壓力，這個磨擦力亦會對管路和通風設

備產生壓力。洞道系統整體靜壓為各種壓力的總和，它包含直線部靜壓及曲線部靜壓，即：

靜壓： $H(\text{Pa}) = \sum H_a(\text{直線部靜壓}) + \sum H_b(\text{曲線部靜壓})$ 。

依本案例條件，風機所需克服之靜壓如下：

$$\begin{aligned} \text{洞道之磨擦損失 } H_a &= \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2} \times \gamma \\ &= 0.04 \times \frac{500}{3} \times \frac{0.3^2}{2} \times 1.2 = 0.36[\text{pa}] \end{aligned}$$

由百葉之風速 V_G 、風管之風速 V_D ，求得送風管與百葉之磨擦損失

$$\begin{aligned} H_b &= \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \times \frac{V_i^2}{2} \times r_i \right) \\ &= \text{吸氣百葉} + \text{風管直管部} + \text{風管彎折連接部} + \\ &\quad + \text{風管直管部} + \text{風管彎折連接部} + \text{風管直管部} \\ &\quad + \text{洞道} + \text{排氣百葉} \\ &= 340.64(\text{pa}) \end{aligned}$$

本案所需克服之靜壓：

$$H = (H_a + H_b) \times 1.15 = (0.36 + 340.64) \times 1.15 = 392(\text{pa})$$

由前列計算結果可知條件

送風量 $127\text{m}^3/\text{min}$

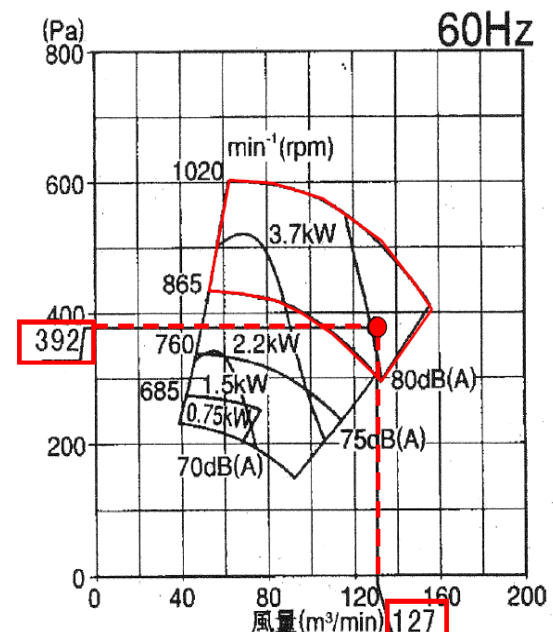
靜壓 392pa

由右圖之性能曲線選取符合條件之範圍。

本次所選之送風機為

$3.7\text{kw}/1020\text{rpm}$

(於該條件下，風量最大值



為 $150\text{m}^3/\text{min}$)

(3)其他應確認事項：

a. 洞道有效橫截面積之風速

$$\frac{Q'}{A} = \frac{150\left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right]}{7.069} = \frac{2.5\left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}\right]}{7.069}$$
$$= 0.354\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right] > 0.3\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

b. 風管內風速

$$\frac{Q'}{A_D} = \frac{2.5}{0.235} = 10.638\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right] < 15\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

c. 噪音確認：

依公式 $\Delta db = 20 \log \frac{r1}{r2}$ ，音源距離差 1 倍，則音量降低 6db，因此若風機出口 1 公尺測出噪音量為 85db，若法規要求噪音量為 70db，則距離間隔至少應為 5.6 公尺，若無法達到法規要求值內，則應裝設噪音減量裝置。

(三)其他附屬設施說明

1. 減震措施

風機屬於高速運轉之電動機，為減少風機運轉產生之噪音，通常在風機底座加裝橡膠等防震材抑制震動及噪音。

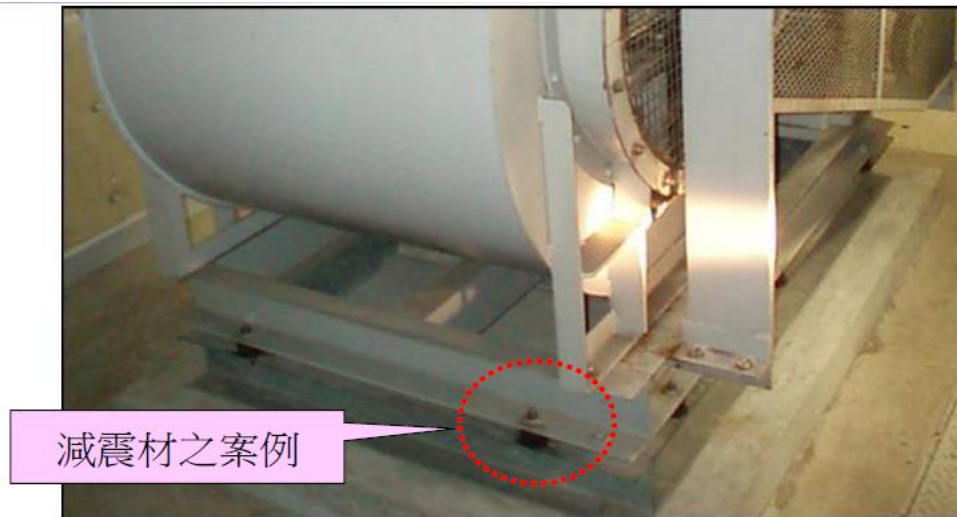


圖 2 減震材安裝案例

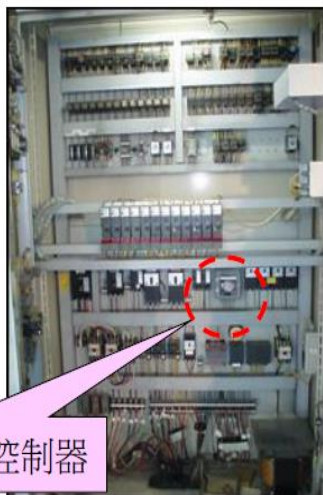
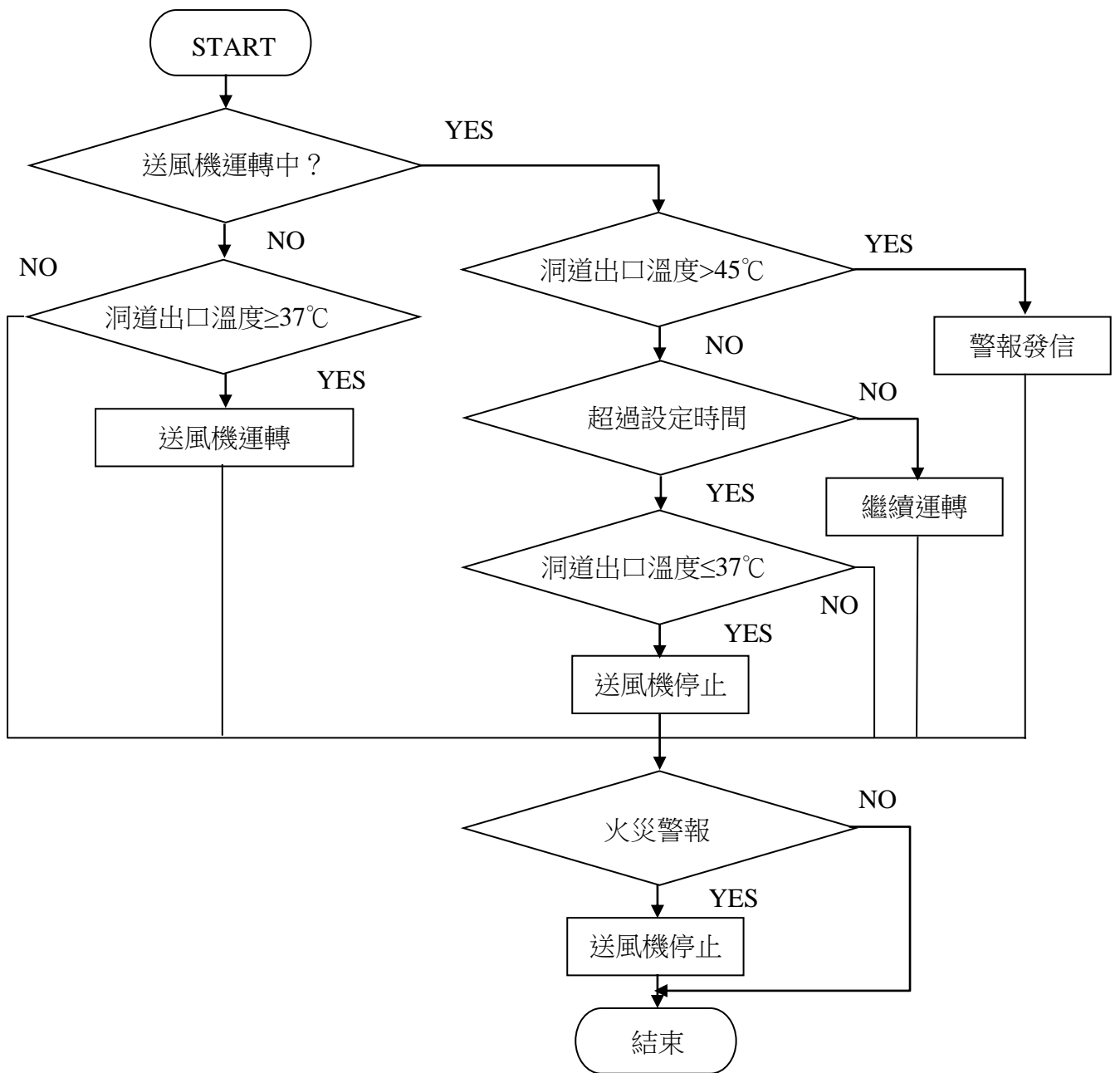
2. 自動運轉措施

通風系統並非 24 小時持續運轉，依本公司設計準則要求，洞道內溫度超 40°C 時自動啟動風機，37°C 以下時啟斷風機(日本勞動安全衛生規則規定洞道溫度為 37°C 以下)，另外，為確保工作人員進入洞道維運之要求，風機啟動必須具有手動措施。

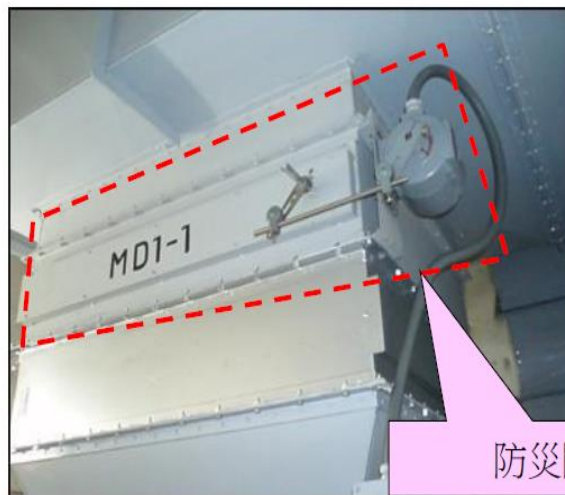
有關送風設備之控制結構及流程如下：

種類		主要內容
運轉方式	自動	為維持換氣設備功能及防止發生缺氧現象，應採用定時控制器，定期自動停止運轉之結構，以防洞道中發生缺氧現象。
	手動	採用可透過操作盤及控制盤進行起動之構造。
風量控制		視需要，可透過手動閘門控制風量。
緊急停止		發生火災時，為對應火災感知器，應備有送風機緊急停止裝置，並應設有與防災閘門連動，以防止火災擴大之結構。

表 5 送風設備之控制結構



自動運轉定時控制器



防災閘門



防災閘門之維護用開口案例

防災閘門主要在電纜洞道內發生火災事故時，為避免火勢擴大延燒及有害氣體漫延，所設置之阻隔機構。

圖 3 運轉控制盤及防災閘門

肆、多目標使用變電所之防災規劃

多目標使用變電所並非本次研習之主要課題，因此未排定參訪行程，惟有賴相關人員之協助，提供有關中部電力公司名城變電所、下廣井變電所及東京電力公司新豐洲變電所等 3 所多目標使用變電所之防災規劃資料，今利用本篇返國報告之一隅，提出相關介紹：



圖 4 上圖左為上廣井變電所
上圖右為新豐洲變電所
下圖為名城變電所

一、變電所規劃

名城變電所規劃地下層共計 5 層，地下 1、2 樓規劃為室內停車場使用，而地下 3~5 樓則為變電所設備配置場所。

下廣井變電所規劃地下 2 至 5 樓為變電所主體，地下一樓為停車場，地上 12 樓為中部電力公司辦公室。

新豐洲變電所規劃地下 4 層至地上 1 層為變電所本體，地上 2 層至 9 層為多目標辦公室及商場使用。

二、變壓器及冷卻系統

名城變電所之電壓等級為 275kV/154kV/31.5kV，變壓器規格為 275kV/154kV/31.5kV 450MVA/450MVA/135MVA，採用全氟化物(PFC)和 SF6 氣體複合絕緣，並採用水冷式循環系統。

下廣井變電所電壓等級為 275kV，變壓器規格為 275kV/33kV 150MVA 2 台，採用全氟化物(PFC)和 SF6 氣體複合絕緣，並採用水冷式循環系統。

新豐洲變電所為 500kV 電壓等級，變電器規格為 500kV /275kV 1500MVA，採用浸油型變壓器。

三、消防系統

各變電所消防配置除了依相關消防法規設置之逃生指示裝置、警報裝置、偵測裝置、避難通道等外，有關滅火系統部分，各變電所依建造年代而有所差異。

名城變電所採用 CO₂ 系統，下廣井變電所採用海龍系統，新豐洲變電所則採用 INERGEN 系統搭配水霧滅火，CO₂ 滅火原理在於降低氧濃度及溫度，於火災現場或不慎外洩之情況下，對於現場人員恐有致命性的危害，海龍滅火裝置則可能對地球大氣層及臭氧層造成破

壞，由 3 所變電所使用滅火系統的差異，可知演進過程，目前日本及國內多目標使用變電所，一般亦均採用 INERGEN 系統。

四、防洪設計

以新豐洲變電所為例，設計時即有考慮整地高程包含海洋最高潮水位及颱風時最大偏差值加上餘裕值，規劃上於人員出入口、電纜洞道進入口及人孔裝設防洪閘門以防止大水湧入。

五、本公司多目標使用變電所規劃

(一) 多目標屋內型變電所

1. 消防設備採 CO₂ 滅火系統，且變壓器室每一回路依法規設置雙回路偵煙探測器，都會區 D/S 採用氣體絕緣變壓器。
2. 電纜孔皆施作防火延燒工程，且變壓器、電抗器室內及其室外管道間之電纜孔皆施作堵油堤。
3. 消防設備依用途不同，按照「各類場所消防安全設備設置標準」設置滅火系統。
4. 變電所與多目標部份完全隔離分開，且採不同門進出，以利人員管制並確保人員安全。

(二) 多目標地下型變電所

1. 消防設備採 CO₂ 滅火系統，且變壓器室每一回路依法規設置雙回路偵煙探測器。
2. 電纜孔皆施作防火延燒工程，且變壓器、電抗器室內及其室外管道間之電纜孔皆施作堵油堤。
3. 地下變電所之消防設備依據消防設備設計準則:
 - (1) 各型地下變電所或平時有人之控制室或非獨立式且與機械室同樓層之辦公室及宿舍，自動滅火設備應採用經 NFPA2001 登

錄認可之新氣體滅火設備，一般採用 Inergent 或 FM200 自動滅火系統。

(2)獨立式及非獨立式但不與機械室同樓層之辦公室及宿舍，依相關法規辦理，不在此限。

4.地下型 D/S 採用氣體絕緣變壓器。

5.地下變電所設置氧濃度偵測器，並於變電所入口處設置控制盤，顯示所內氧濃度狀況，以確保人員進出安全。

6.地下變電所通風效果較差，一般會設計專屬之進排氣通風道或通風井，且如有必要，排氣孔會設在地面上 2~3 樓。

7.設備皆採低噪音型，特別是變壓器、冷卻風扇或水塔、抽排風機等。如有必要另設計消音箱，以減低噪音。

8.依個案檢討通訊品質，並於適當位置加裝強波器，以強化行動電話通訊功能。

9.變電所附設多目標部份，消防設備依用途不同，按照「各類場所消防安全設備設置標準」設置滅火系統，例如辦公室採灑水系統、停車場採泡沫系統，另設計排煙系統。

10.變電所與多目標部份完全隔離分開，且採不同門進出，以利人員管制並確保人員安全。

由前列比較，本公司多目標使用變電所防災規劃，均符合相關法令規定，亦不亞於日本，另外，因 345kV 500MVA 等級變壓器目前尚未開發不燃性變壓器（GIT），本公司超高壓多目標使用變電所、乃至於日本新豐洲變電所仍使用浸油變壓器，有關冷卻系統方面，本公司主要仍採用空氣冷卻型式，部分變電所因用地限制考量採用水冷式，未來之優劣得失仍應作通盤考量。

伍、其他工地相關資料說明

本次赴日本實習行程包含日立工區「茨城～栃木幹線」、東京下水道築地幹線工程、東大島幹線及南大島幹線第二期工程及 357 號東京港隧道工程等 4 項工程，均採用潛盾方式施工。

「茨城～栃木幹線」包含茨城縣日立市大和田町(日立南太田 IC 坑)~茨城縣日立市留町(日立港基地立坑)及茨城縣日立市大和田町(日立南太田 IC 坑)~茨城那珂市本米崎(本米崎坑)2 段，洞道外徑 2.2 公尺，有效內徑 2 公尺，採泥水加壓式施工法，為減少施工期程，使用地中接合技術。

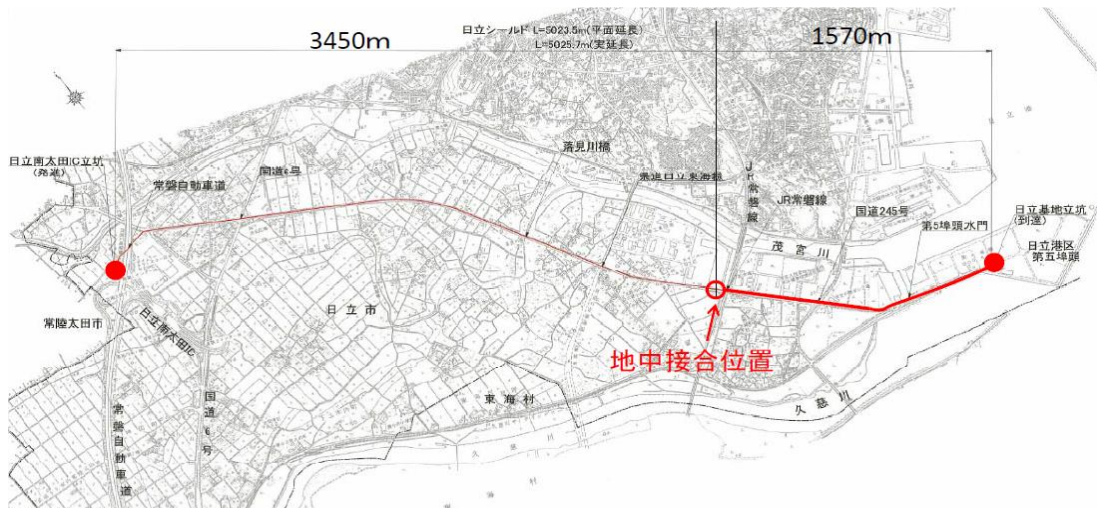


圖 5 日立南太田 IC 坑~日立港基地立坑

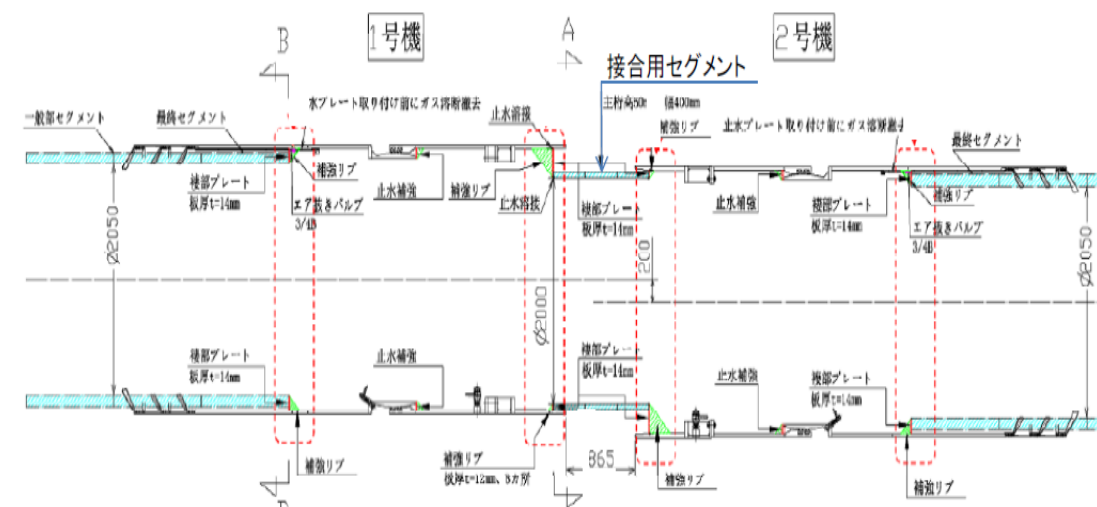


圖 6 地中接合示意圖



圖 7 泥水處理設備



圖 8 控制室

圖 9 日立南太田 IC 坑



圖 10 氣體濃警報器



圖 11 洞道人員所在位置顯示



圖 12 潛盾工地(一)

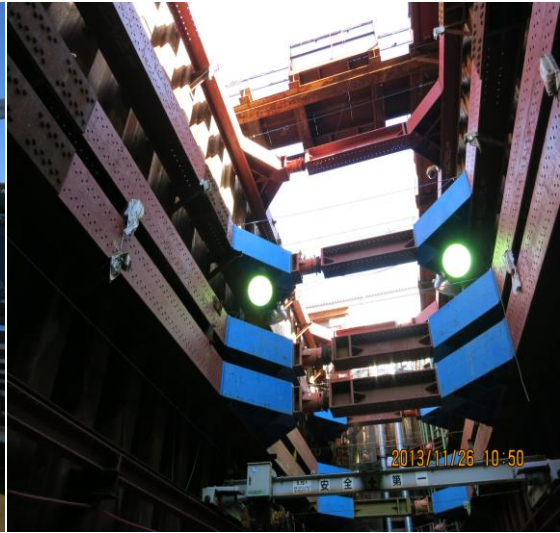


圖 13 潛盾工地(二)

東京下水道築地幹線工程洞道長度 1683.6 公尺，洞道外徑 4.5 公尺，內徑 4 公尺，採用泥水加壓工法，本工程因位於都會區內，配合早先已施作之地鐵及其他洞道工程，因此潛盾洞道深達地面下 50~55 公尺間。

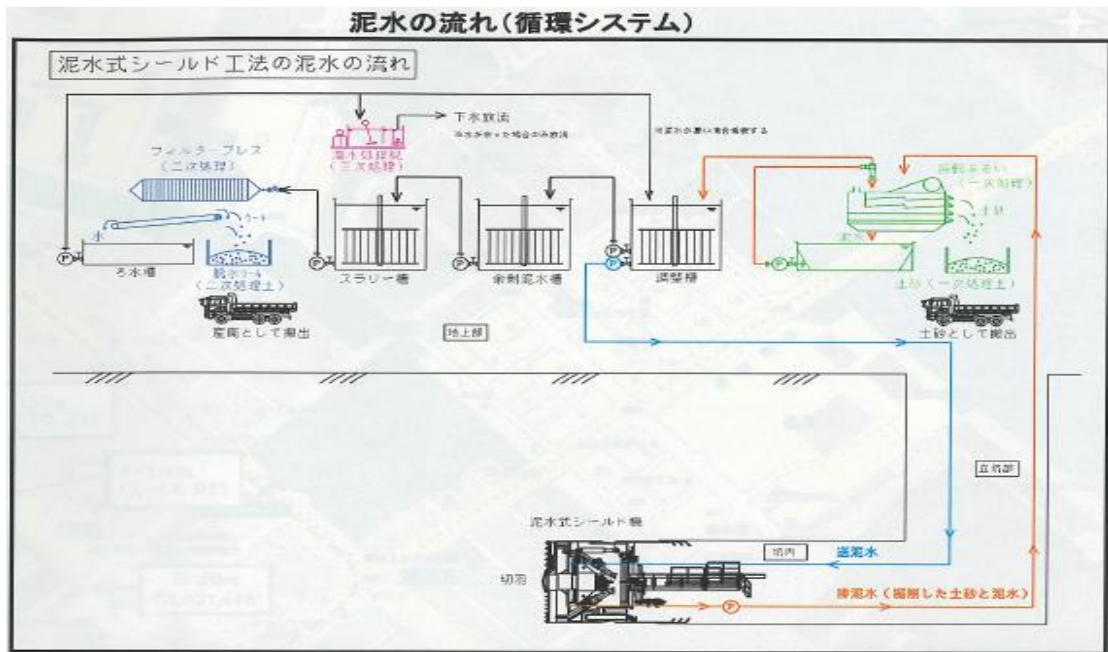


圖 14 排泥流程示意圖



圖 15 工地交管情形(一)



圖 16 工地交管情形(二)



圖 17 工地交管情形(三)



圖 18 工地交管情形(四)

東大島幹線及南大島幹線工程潛盾河道全長 1536.45 公尺，分為 2 期採用親子潛盾機分離施工，第一期(母機)潛盾河道外徑 7.1 公尺，內徑 6 公尺，第二期(子機)潛盾河道外徑 5.34 公尺，內徑 4.5 公尺。



圖 24 不同管徑洞道交接處



圖 25 鋼環片吊裝機



圖 26 鋼環片吊裝機



圖 27 排風利用(風力發電)

357 號東京港隧道工程屬於道路工程，貫穿東京港，連接東京大井及台場，潛盾洞道長度 1470 公尺，洞道外徑 12 公尺，內徑 10.4 公尺，分為上下 2 層，上層為車道規劃，下層則規劃為人員避難通道。

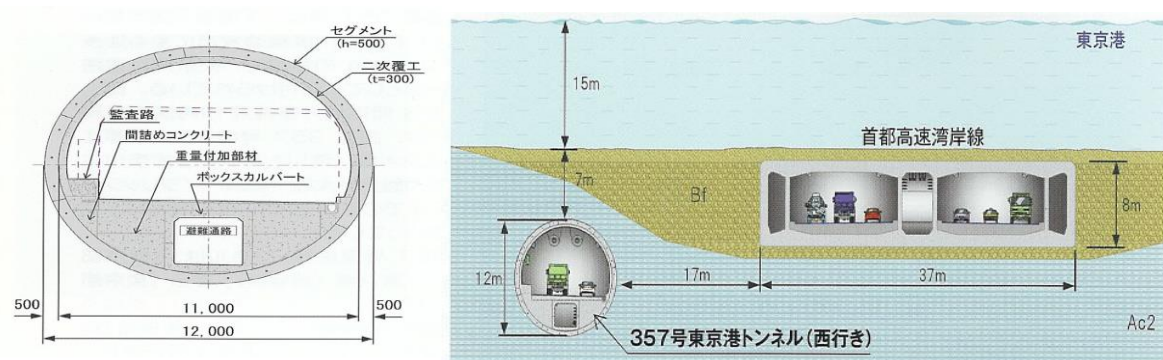


圖 28 357 號東京港隧道工程斷面圖



圖 29 主洞道



圖 30 人員避難通道



圖 31 人員避難通道出入口

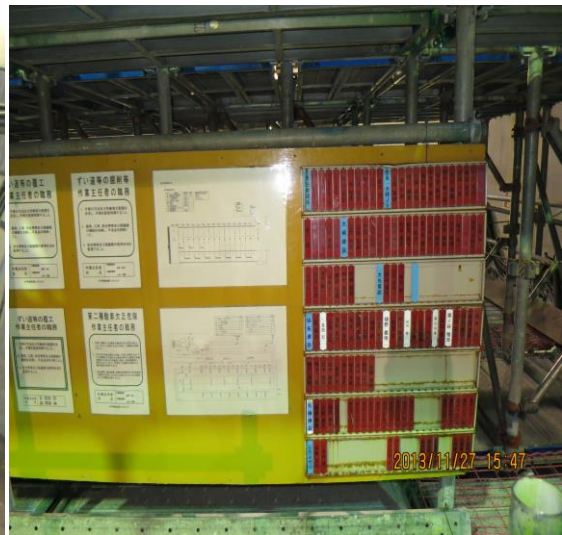


圖 32 洞道內工作人員姓名牌

陸、行程感想與建議事項

一、本公司部分潛盾案例，因直井空間狹窄造成風機施設困難，因此研議移動式風機施設之可行性，惟移動式風機出力有限，且電源接入、搬移、裝置、相關保護措施均須另外考量，可靠度不若固定式風機高，且風機之配置不單是人員出入時通風換氣使用，亦具有一定程度之降溫功能，因此目前並非標準設計案例，惟移動式風機具備機動性及便利性，若能加以改良設計，達到固定式風

機之功能，亦具備移動式風機之機動性，或許是未來設計思考的方向。

二、通風直井一般均高於地面設計，其中一項功能為防止淹水時，大水湧入洞道內造成設備損壞，日本電車鐵道系統之進水防止對策，針對通風排氣孔使用浸水防止機以防止大量湧水進入電車鐵道系統內，平常時通風排氣孔與一般無異，當感知器偵測到異常進水量時，信號自動傳送至控制室並啟動浸水防止機以關閉防水閘門，以有效阻絕湧水由通風排氣口進入洞道內，目前潛盾洞道雖均有安裝排水裝置以應付一般雨量及洞道內合理之進水排出，該項裝置或許可思考如何和電纜洞道結合使用以達到地面平齊設計之目的。



圖 33 浸水防止機裝置及示意圖

三、本次工地參訪時，有關日本對於工作安全、環境調和及工地整頓

之重視令人印象深刻。工作安全方面，隨處可見的工安標語及旗幟是工地參訪的第一印象，除了法規及公司內部規章的制約外，工作人員對於自身工作的尊重及工安觀念的深植絕不妥協之態度，從其身上整齊的穿著及一應俱全之個人防護裝備可見端倪。環境調和方面，本次參訪4處工地，並非全然位於都會區或都會區外緣人口稠密區，惟為降低對當地環境之影響，工地外圍搭起高聳之隔音牆，除具有隔音效果外，亦有抑制塵土外揚之效果，對於產生較為激烈噪音之設備，則密封於隔音設備內操作，有關交通管制、行人動線規劃上亦有相當之考量，各重要出入口均有人員協助作交通指揮及管制工作，避免人車爭道之情形發生。工地整頓方面，機具設備之停置及動線規劃井然有序，物料設備擺放均有一定之位置並作明顯之標示，摒除工地雜亂之印象。

四、本次出國研習除對於日本的敬業精神深感佩服外，對於務實的態度亦深有感觸，日本工地對於工安及環保之投資絕不吝嗇，但路面充斥著人孔蓋，JR鐵道以高架方式貫穿東京中心，仍無損其國際重要都市之地位，本公司輸變電工程屢遭抗爭，設計人員竭力滿足各方面意見的需求，所遭遇之疑難雜症，應為全世界輸變電工程所難望其項背，我們自我期許在實習的過程中，能夠發掘更優良的工法及設備來解決問題，但也必須承認，部分政策要求確實有導致過度設計之疑慮，值得我們省思。

五、出國研習對於提升員工之國際觀、學習專業新知並加強溝通協調能力均有相大之幫助，建議公司可增加出國研習預算，俾利提供更多優秀員工出國研習機會。

参考資料

1. 鹿島公司「東京ガス日立・久慈川シールド工事」、「築地幹線工事」、「東大島幹線及び南大島幹線その2工事」、「357号東京港トンネル工事」簡報。
2. 日本電気協同研究第53巻第3号。
3. 関西電力公司「冷却設備の運轉と保守」簡報。
4. 関西電力公司「Research on the design of associated facilities for power cable tunnels」簡報。
5. 本公司地下輸電電纜線路附屬機電工程設置準則。