

# 復興北路穿越松山機場地下道工程特性簡介與 自動化安全監測系統之規劃

陳欽銘 陳文慶  
台北市政府工務局新建工程處

黃炳章 黃俊青 吳定恩  
亞新工程顧問股份有限公司

## 摘要

松山機場的座落位置對台北市南北向交通形成極大的阻隔，為此台北市政府工務局新建工程處乃規劃復興北路穿越松山機場地下道工程，以期疏通雙溪、大直及內湖地區進入台北市東區之交通。然而受限於現有地形，本車行地下道南起復興路北端，與捷運木柵線以共構方式一同降入地下，再與機場北側濱江街與大直橋頭交接之現有平面道路銜接，在此極有限之距離內，降入地下最深達 22 公尺後再往上爬昇，以致主體結構與機場跑道面的垂直距離最淺處僅為 4 公尺，施工對跑道之影響明顯增加；而本工程為目前已知首件穿越營運中機場之地下道工程，必須確保及掌控施工活動不致對機場飛航安全造成影響，並維護機場正常營運，因此工程執行時如何即時掌控工程影響與反應之安全管理系統，也就更顯出其重要性。為此，特為文介紹本工程的內容與自動化安全監測系統之規劃。

關鍵字：涵體無限自走工法，管幕，回饋分析

## CONSTRUCTION CHARACTERS OF TAIPEI AIRPORT UNDERPASS PROJECT AND AUTOMATIC INSTRUMENTATION SYSTEM APPLICATION INSTRUCTION

CHEN,C.M.,CHEN,W.C.

Networks Bureau, Public Works Department  
Taipei City Government

HWANG,P.C., HWANG,C.C., WU,D.E.

Moh and Associates, Consulting Engineers, Inc.

## Abstract

The Sung-Shan Airport, as where it is located, has been a significant obstacle to the north-south traffic in Taipei. Therefore the Construction Department of the Taipei Municipal Government has planned the Fu-Shin North Road Underpass, aiming at breaking through the thoroughfare for the inbound traffic from Shuang-shi, Tah-chi, and Nei-hu area to the East District of Taipei. However, existing topographic constraints required the

underpass to start from the north end of the Fu-shin North Road, jointly constructed and going underground with the TMRT Mu-cha Line, then resurfaced at the intersection of the Pin-Chiang Street and the Tah-Chi Bridge, adjacent to the north boundary of the airport. Within such an extremely short distance, the underpass goes to as much as 22 m underground then rises to ground level, the vertical distance between the main structure and the runway is only 4 m as the closest, increasing the potential to damage to the runway during construction. To the best of the authors' knowledge, this is the very first underpass project underneath an airport in operation, it is necessary to control construction activities so as not to endanger aviation safety under any circumstance, and to maintain normal airport operations. The importance of safety management system, to monitor construction and provide real-time feedback, thus becomes obvious. Hence, this article is to briefly introduce the project and planning of automatic safely monitoring system.

KEYWORD: Endless Self Advancing Method, Pipe Roof, Feedback

## 一、前言

台北市復興北路穿越松山機場地下道工程(以下稱本工程)為目前已知首件穿越營運中機場之地下道工程，必須確保及掌控施工活動不致對機場飛航安全造成影響，並維護機場正常營運；為達成此目標除了嚴密專業之規劃設計，嚴格控管施工品質及時程外，強化安全監測情報反應與研判能力，是本工程安全管理系統規劃中重點之一，故應用自動化監測系統做為本工程即時掌控施工安全之第一線作業。

## 二、工程概述

本工程計劃興建一座寬 22.2 公尺，總高度為 7.8 公尺之雙向四線車行地下道，自復興北路民族東路口向北穿越松山機場，然後銜接濱江路與大直橋，全長 1065 公尺，其中南側與捷運系統木柵線共構(平面位置詳圖一；車行道標準段面示意圖詳圖二)。地下道穿越機場部份為 506 公尺，北端銜接濱江街引道長為 73 公尺。路線由民族東路起以 7%縱坡進入地下，然後以 3.4%及 1.0%坡度穿越松山機場，再以 7.75%縱坡升至地面與濱江街平面交叉。穿越機場範圍施工計劃分四區段藉由五個工作井分區同時進行(詳圖三所示)。

本工程因施工期間不得影響機場營運與飛航安全，故需採用地下隧道

施工方式，並嚴格控制施工階段發生在跑、滑行道之沉陷。以台北盆地軟弱地層性質與施工經驗來看，採用地下隧道施工方式而欲減少沉陷，除賴施工控制之技術外，工法的選用應為首要因素。本工程地下結構體頂面距跑道面最淺處約僅 4 公尺，而隧道寬達 22 公尺，採用一般隧道工法將無法滿足沉陷限制需求，因此在施工時，須先對地層加以保護，再進行隧道開挖構築工作，並儘量縮短隧道開挖後至結構體完成之空置時間，以減少開挖構築階段造成沉陷。基於此理念，本工程在跑道及滑行道下方，採用結構涵體無限自走推進工法(Endless Self Advancing Method—簡稱 ESA)配合管幕(Pipe Roof)工法進行施工構築，長度分別為 79 公尺與 100 公尺。

此工程 ESA 配合管幕工法之理念在於：

- (a) 先保護地層再開挖，確保安全
- (b) 將大開挖面用鋼刃分割為多個小開挖面，增加穩定性
- (c) 挖除之土體直接用高勁度的結構體取代，減少沉陷量

ESA 施工時，將分別於跑道及滑行道下方構築十個與八個預鑄節塊，以佈設於預鑄節塊間之千斤頂提供推進動力，節塊與地表之摩擦力為反力，配合前方鋼纜拉力，將預鑄節塊順序推入土層並同時開挖出土。出土時為保持開挖面之穩定，其導引節塊之前端裝設有經特殊設計之刃口及保護擋板，由 24 個 3.7m×1.95m 之小型開口組成，開挖時每次僅打開一個開口以挖土機具進行挖掘，待全斷面均向前挖掘約 40 公分後，再向前推進完成一次循環程序(施工示意圖詳圖四所示)，如此逐步將車行地下道結構涵體推至定位，完成穿越跑、滑道工作。而本工程其餘各路段(工作井 B、C、D 間)則採用管幕內開挖支撐方式並以分區跳島進行車行地下道結構體構築，以減低地表沉陷影響(施工示意圖詳圖五所示)。

本工程施工規劃採南北兩端同時進行，總工期約需 48 個月(未含例假日)，其中前 13 個月及最後 1 個月進行工作井之構築回填以及地質改良作業時，需於機場範圍內之地面上作業，因此必須利用夜間飛機停飛時段進行，其餘工作項目則可在地面下或覆蓋版下進行全天候施工。初步分析本工程要徑項目大多集中於構築地下道主體結構等作業項目，其中穿越或鄰近跑道、滑行道之工作，為影響飛航安全較重大之工作項目。

### 三、本工程特性剖析與安全管理規劃

#### 3.1 本工程特性剖析

松山機場屬軍民合用機場，飛機起降頻繁，平時除供國內各航線使

用外，並肩負戰備之任務。因此本工程必須確實配合機場之飛航管制措施，不得影響飛航安全或機場之正常營運。綜合分析本工程施工時必須特殊考量之重點如下(示意圖詳圖六所示)：

(a) 機場營運與飛航安全

- (i) 施工活動限制與工時限制—機場範圍內之地面上在日間不得有任何施工活動，地面作業必須在夜間停飛時段進行，並須儘量縮減施工影響範圍。
- (ii) 機場出入限制—為維護機場安全，工程機具、人員、材料出入須依循機場相關權責單位之規定辦理。
- (iii) 淨空區限制—松山機場設有跑道地帶淨空區及週遭建築物高度限制，施工機具或重型車輛於機場內須遵守此限制。
- (iv) 維護導航設施—機場內部有多項精密助航設施，工程施工時須特別注意施工區附近助航設備及其管線之保護。
- (v) 避免通訊干擾—機場內設有多項精密電波導航、定位、儀降及通訊設備，故於機場區施工時須嚴格遵守機場電波管制規定，避免影響飛航通訊安全及導航作業。
- (vi) 維持跑、滑行道區之平整—跑道或滑行道表面如有施工殘留物，將會危及飛機起降作業，於機場內施工時須特別注意維持其平整。

(b) 沉陷量控制

施工期間須嚴格控制跑道及滑行道之沉陷量，將施工影響減至最低，並控制沉陷量在允許範圍之內，以維護飛機起降安全。

(c) 特殊工法

本工程於穿越機場滑行道與跑道段部份，採用之 ESA 工法在國內尚為首見，承包商之實做經驗與對工法之熟悉程度，對工程品質與工程進度之掌控有直接影響，此部份有賴妥善督導與協助，始可圓滿達成既定規劃設計要求。

(d) 意外事故處理

松山機場為國內航空運輸之樞紐，對於施工期間可能發生

之特殊狀況或緊急事故，須預先擬妥應變程序，以維護機場安全。

(e) 協調聯繫

與松山機場營運管理及飛安維護作業有關之公務機構包括交通部、民航局台北航空站、空軍及航警機構等單位，日後工程機具、人員、材料出入管制等安全保防措施，以及緊急狀況時之應變處理，均須與相關單位保持密切聯繫，以確保機場之正常營運及飛航安全。

### 3.2 安全管理工作

鑑於本工程之性質特殊，對維護松山機場之正常營運及飛航安全責任重大，工程執行規劃以下三大具體措施以確保安全：

- (a) 建立三級安全管理系統
- (b) 建立安全情報傳遞流程
- (c) 強化安全資料研判能力

#### 3.3.1 建立三級安全管理系統

「三級安全管理系統」之構想係將參與本工程之成員及相關單位依其業務性質予以系統化組織，以發揮層層節制之功能，協調指揮系統並強化意外事故之反應能力。

「三級安全管理系統」包括「安全工作小組」、「安全管制組」及「安全委員會」等三級安全組織。其執行要點為：平時依工程安全委員會審核通過之安全工作計畫由工地安全工作小組負責執行；若工地發生緊急狀況，立即向安全管制組報告，安全管制組確認狀況後，依核定程序即行通知松山機場安全管制單位配合執行緊急狀況作業，同時並通報安全委員會召集臨時會複核緊急應變措施與後續決策之指示。各級組織之組成架構、功能職掌詳表一說明。

#### 3.3.2 建立安全情報傳遞流程

依據本工程特色研究，基於安全之需要必須於施工中流通之安全情報包括「工程現況簡報」、「門禁管制情報」、「緊急事故情報」、「監測資訊」及「正確航班時刻與進退場」等五項，限於篇幅，其性質及內容簡整如表二所述。

為使安全情報能於要求時限內正確送達，本工程規劃籌設電傳網路通報系統，以作為上述五項資訊之傳遞工具。

電傳網路通報系統係於新工處、台北航空站、飛航服務總台、空軍松山指揮部等「安全委員會」重要成員及承包商之辦公處所，設置電傳接收站。每一接收站之硬體設備包括電腦、專線電話及數據機等，定期傳送最近工程現況簡報至各接收站，相關人員只需透過終端機即能接收最新的施工訊息。如遇緊急狀況亦可利用數據機之專線電話向權責機關進行通報。

本工程配備 7 台桌上型電腦及 6 台專線數據機，其中於中央控制室設置 2 台桌上型電腦負責資料存取、監測資料計算分析，既而利用內部網路及專線數據機與機場相關單位連線傳遞本工程相關資訊〔如示意圖七所示〕。其中監測資訊系統應用軟體係針對本工程規劃要求特別發展外〔詳本文第 4.3 節〕，其餘有關「工程現況簡報」、「門禁管制情報」、「緊急事故情報」及「正確航班時刻與進退場」等四項資訊傳遞，係應用 Notes 軟體建構而成，其內容分述如下：

- (a)工程現況簡報：當日施工位置、動員人力數、預計工作項目等工程重要資訊，其形式如表三及表四所示。
- (b)門禁管制情報：本工程為有效管制施工時人員、機具出入機場之安全管控，除 24 小時保全人員值勤外，於夜間進出機場施工之門禁管制，特採用一套電腦門禁管制系統〔TW-9900 Access Control System〕，藉由感應識別卡刷卡管制，並確認進出之人員身份與進出時間，相關記錄監控室除即時掌控外，亦儲存於系統電腦內，機場保防單位〔空軍松山指揮部〕可透過網路系統據以檢核人員出入狀況。
- (c)緊急事故情報：跑滑道區之沉陷、崩塌、助航設施毀損或位移、施工機械無法及時退場等足以影響飛機正常起降事件；以及夜間飛機緊急迫降，機具須緊急撤場等情報。本項作業處理細節礙於篇幅，另文介紹。
- (d)正確航班時刻與進退場：夜間施工人員、機械進退場時機，須依據本日最後一班及隔日第一班飛機時刻執行進退場作業，及每日退場後滑行道清理與安全檢查結果之通報，以利機場開

放使用。內容詳表五及表六所示。

### 3.3.3 強化安全資料研判能力

為強化安全情報研判能力，本工程規劃下列措施：

(a)設置專業主管統籌安全情報之蒐集與研判事務：

由監造單位指派資深大地工程師擔任「安全主任」，總管本工程安全事務，其任務為：

- (i) 總理各項安全情報，統籌國外顧問之專業建議。
- (ii) 監督施工承包商之安全工作績效。

(b)加強監測資料回饋分析協助掌控工程安全：

基於安全要求，本工程之監測工作採廿四小時持續進行，以便對突發事故及時掌控；此外，並歸劃要求施工單位加強監測資料之即時回饋分析以輔助研判工作，本工程規劃須包含下列功能(細節詳第四章節)：

- (i) 建立之電腦資料庫，以系統化儲存與傳輸監測資料。
- (ii) 協助研判監測資料，分析未來趨勢。
- (iii) 經由趨勢分析後提出對策建議，供現場工程師參考。

## 四、自動化監測系統規劃理念

近年來一般地下工程開挖施工安全監測工作，往往限於經濟層面之考量、相關軟硬體技術開發環境之未臻成熟及監測承商之配合意願不高等情況下，即使監測系統配置有電子式監測儀器(如鋼筋計 RS、水壓計 ELP、支撐應變計 VG、傾斜計 TI 等)，大多仍沿用人工方式進行量測工作，而少部份工區標榜採用自動測讀系統者，亦仍多採以自動掃瞄器(Scanner)及資料截錄器(Data Logger)按設定測讀頻率自動測讀，再定期(如每天一次)以人工方式將測讀資料下載(Down Load)至辦公室內之個人電腦整理彙計，前述方式均無法達到即時監測地下開挖施工狀況變化之目標，此對於需全天候線上監控松山機場跑、滑行道下方進行隧道開挖施工狀況與機場營運安全之本地下道工程而言，更益顯得建立一套周密嚴謹之全自動化施工安全監測系統規劃之重要性。

## 4.1 全自動施工安全監測系統規劃理念

如前章所述，本工程位處全國空中交通運輸頻繁之松山機場，施工期間如何全天候進行安全監測工作，以確保機場營運與飛航安全，除了施工設計上需要具有嚴謹之工法選擇外，實則有賴於一先進自動安全監測系統規劃，以即時反應施工安全狀況，本工程設計單位本於實事求是之精神，除依大地工程學理適當配置監測儀器外，亦規劃出符合人性化、精準、迅捷之全自動化安全監測系統，以下茲分別說明其規劃功能之要求：

- (a) 為執行全天候自動化安全監測系統及警報工作，規劃採用至少一套自動化監測系統與兩套自動警報系統與警示看板，分別安放於承包商中央控制室及遠端業主辦公室，並與自動記錄系統連線，全天候執行線上(on Line)預警工作，前述自動化監測系統應具備有模組化設計，各單元能獨立量測，全系統具有高度存活性，可自行記錄檔案，亦可進行中央操控傳輸，可顯示即時及歷時資料，繪示歷時變化曲線圖，可依設計設定之警戒值及行動值自行啟動警報；並在監測儀器配置平面看板顯示測值狀況。全部數據經由網路彙總至中央控制電腦螢幕上顯示，並可作平行例行監測報表列印或進行回饋分析。
- (b) 承包商應提供足夠記憶容量之個人電腦、電信網路設備與完善之軟體規劃予包括業主新工處、監造單位、飛航服務總台及台北國際航空站等航管單位，以有效處理下列各事項：
  - (i) 高容量之桌上型及手提式個人電腦設備資料庫，可存取施工期間各類監測儀器之量測資料，可快速處理並顯示即時測值及歷時變化曲線。
  - (ii) 可於監測值或規算結果超出設定管理值時發出燈號及聲音警報，並在電腦終端機上以特殊顏色(如紅色或黃色)閃爍分別顯示已達警戒、行動狀態之各類儀器編號、位置，並可依個案調整儀器之警戒值或行動值。
  - (iii) 電腦終端機可依個別儀器設定不同之量測頻率進行自動監測工作，亦可視需要隨時進行即時量測。

- (iv) 可供作例行報表列印、圖表繪製及回饋分析。
  - (v) 可依不同保防需求及辨識密碼設定，透過適當電信網路將必要之監測資訊開放或提供予相關單位。
  - (vi) 可設定各項儀器之基本資料庫，如儀器編號、位置、裝設日期、初值、換算係數、警戒值、行動值、修正初值、附註等功能。
- (c) 此外為有效監控地下施工狀況，於各工作井間規劃設置閉路電視系統(CCTV)，使位於地面之中央控制室透過監視工區施工活動之影像傳輸系統，掌握各工作井及隧道之施工動態，並配合工作井或隧道開挖進度，適當調整攝影機位置，以有效掌握工區狀況，其中於隧道開挖期間，攝影機座與開挖面保持 10~30 公尺之距離。上述監視系統設備規劃如下：
- (i) 可自動調焦鏡頭、電動調整方向(水平旋轉、上下仰俯)之高畫質低照度之彩色攝影機，並包含室外型防護罩及一切固定構件。
  - (ii) 影像訊號調變器、影像接收調整器、影像傳輸中繼放大器、多功能控制器、彩色四分割影像監視器(可同時顯示四個畫面)、電視與錄影機。
- (d) 安全情報通訊系統之建立：舉凡監測資料、工程簡訊及緊急意外事故等資訊均能透過適當電信網路於最短時間內傳送至業主、航管單位及工程監造單位，凡欲透過此系統傳輸之資料內容，均應事先取得監造工程司同意。
- (e) 回饋分析之建立：施工前要求施工單位須針對每一項儀器測值變化所可能隱藏工程災害因素，透過有經驗之大地工程師逐一分析以擬定因應對策，並藉由資料處理軟體之整合，使自動監測資料系統與回饋分析軟體相互結合，以提供施工管理者施工安全研判參考與災害預防。
- (f) 每項儀器均歸劃人工的檢查系統：透過定期以人工測讀設備比對查核方式，確保自動監測系統資料之正確性，並避免因自動監測系統之精度不足、誤差過大引致資料誤判，開挖期間檢測頻率至少每週二次，其餘施工期間則為每週一次，如其間自動與人工量測系統量測誤差值超過系統精度要求時，立即校核自動監測系統至正常為止。

- (g) 整體監測系統之規劃與配置原則，係以符合一般大地工程學理及經驗分析研判之需要，且以充份維護基地開挖及鄰近結構物、助航設施等之安全為原則，並有完整之監測斷面可供回饋分析。此外，施工期間將要求施工單位需經常參考比較相關或相鄰儀器間變化行為，並發覺每一儀器測值記錄，所顯示可能有更大且廣泛潛在移動或破壞之早期徵兆，迅速採取適切之因應措施，以發揮監測系統預警之功能。

## 4.2 本工程安全監測項目與自動監測設備

有關本工程安全監測系統儀器項目，人工測讀部份如地面沉陷點、土中測傾導管、中間柱隆起點、管幕內水平測傾導管、結構物傾斜計、隧道內空收斂點、永久水準點等約有 1850 個測值數量，另凡本工程所配置之電子式監測儀器，均應納入本自動測讀系統，其項目包括電子式水位(OW)、水壓計(ELP)、桿式伸縮儀用變位計(EXM)、埋入式擋土壁內傾度計(SID)、支撐、橫擋及管幕用應變計(VG)、管幕用連通管式沉陷計(HSM)、結構物傾斜計(TI)等，儀器測值數量約有 1050 個，合計約 2900 個測點，安全監測項目主要包括下列兩大部份：

### (a) 安全監測系統觀測項目：

本工程安全監測系統觀測項目主要可歸類為以下四大項目，並分述儀器設置與本工程施工特性之關係如后：

- (i) 與機場作業安全有關之機場跑道、滑行道、滑降台、目視滑降燈等機場重要設施之沉陷、傾斜觀測。

#### (1) 跑、滑道縱向平整度監測(如圖八所示)：

為確保施工期間飛機起降與滑行之安全，設計於本工程地下道中心兩側各 35m 及 45m 之施工影響範圍內，設置 5m 間隔網狀之地型沉陷點(SM)，以監測該路面縱向高底變化，如施工中遇工區內有顯著沉陷趨勢時，測點需再將網格細分至 1m，另亦將逐日檢視工區影響範圍內跑道積水厚度有否超過 3mm，如有達行動狀態者，須在不影響飛航安全與機場營運狀況下進行跑、滑道面修復工作。

#### (2) 導航設施安全狀態監測(如圖八所示)：

本工程鄰近之導航設施有儀降天線系統(GP)及目視滑降燈組兩種，本工作於每一天線基座及燈組上，配置有結構物

型沉陷點(SB)及傾斜儀(TI)，其中 TI 則採人工量測度盤與固定式電子傾斜計，以互為檢核。

- (ii) 與工作井開挖施工安全有關之地下水位與水壓變化、擋土壁側向位移、土層側向位移、土層與地面沉陷、擋土支撐橫擋軸力應力、中間柱隆起觀測等。

工作井開挖施工安全監測(如圖八所示)：

為瞭解工作井於擋土牆構築、地盤改良、開挖與支撐架設、推管及 A、E 等 ESA 工作井內中間柱切除前後之工區安全狀況，依一般粘土層區深開挖監測方式於開挖區外配置成列之地面型沉陷點(SM，約每隔 40~50m 配一斷面)、土中傾度管(SIS，較擋土壁深 5m)、水位觀測井(OW)、水壓計(EL)、擋土壁內則配置有壁內測傾計(SID，均貫穿至壁體下 5m；A、E 工作井鏡面亦配置，於該鏡面破除後於其上下方壁體仍需維持量測)，開挖區內則配置中間柱隆起點(HP，僅 A 工作井因 26.5m 之較深開挖而有配置)、水壓計(ECP)、支撐應變計(VG)，於 A、E 工作井鄰跑、滑行道鏡面處之支撐圍苓各配置有圍苓型應變計(裝設於型鋼翼板四端)。

- (iii) 與隧道施工安全有關之管幕應力與沉陷、隧道內空收斂等觀測。

- (1) 推管施工期間管幕曲度、線形監測：

管幕為本工程之特點，管幕如無法順利打設，則將對本工程影響甚鉅，為達成設計要求，在施工規範上除對鋼管加工材如彎曲平直度、接槽直線性、鋼管兩端側接誤差、銲接面之垂直度及平整度等有所嚴格要求外，推管施工期間，將由設置於推管機後方之光靶持續投射光束，以期在產生偏差初期即迅速修正千斤頂從遠距離操作盤來進行修正；此外在協力承商之遴聘資格上亦規定須有曾完成如本工程規模之專業承商。

- (2) 管幕隧道或 ESA 隧道開挖之安全監測(如圖八~圖十所示)：

為瞭解管幕隧道開挖期間管幕內空沉陷與收斂情形，而以約每 10m 間距配置一收斂觀測點(CP)兼測頂端沉陷點(BRT)、支撐應變計(VG)(以上僅配置於管幕隧道內如圖九

所示)，另於隧道上方管幕內配置有水平式測傾導管(HSID)、連通管式沉陷計(HSM)及鋼管用應變計(VG)，以監測管幕受力與變位狀況(如圖九、圖十所示)，此外於隧道中心線上方地面約每隔 5~10m 即佈設一地面型沉陷點，並約以每隔 20m 配設一橫排之地面型沉陷點，以瞭解沉陷槽分佈與沉陷影響範圍；位於跑道兩側及滑行道旁近發進端則配置有單點式或多點式伸縮儀(EXM)，以掌握地層下陷情形。

(iv) 臨近既有結構物之觀測。

對工區範圍以外之鄰近建物(如民族東路鄰房及排水箱涵)，則由承包商自行分析評估其監測需求，提出監測儀器配置及監測計劃。

上述各項儀器之監測頻率及其警戒、行動管理值如表七所示。其中監測頻率之設定與考量原則大致說明如下：

- (i) 可進行全天候自動監測儀器部分，以每小時至少二次之頻率自動執行量測記錄，於開挖期間至少應每週二次以人工檢測，其餘施工期間，則以每週一次人工檢測方式，來比對自動測讀系統之正確性，此頻率設定之考量係以電腦資料記憶容量限度，並研判此頻率應足可反應測值變化趨勢權衡決定。
- (ii) 跑、滑道區內地面型沉陷點及 ESA 隧道上方管幕內相關儀器點位量測頻率決定，主要係為確認隧道開挖期間機場關閉後及翌晨機場開啟前之地面沉陷狀況可否符合安全標準，以及考量機場營運期間跑、滑道面無法施測限制而定為於每日機場關閉後及翌晨機場開啟前各量測一次。
- (iii) 除跑、滑道區以外之其他管幕隧道附近儀器之量測頻率，則參考一般隧道開挖監測頻率來訂定，其中在推管期間施工影響範圍內之儀器維持每日一次之量測頻率，隧道開挖期間維持每週二次之頻率，其他期間則維持每週一次之頻率。
- (iv) 隧道內空收斂及沉陷觀測，於裝設後維持每日一次之密集量測，至隧道下半段開挖面前進至監測斷面 20m 時，因研判此時隧道收斂應已趨緩而定為每週一次。

至於警戒、行動管理值之訂定依據原則大致如下：

- (i)依交通部民航局對相關機場設施安全容許值為上限(如跑、滑行道縱向高低差及目視滑降燈、儀降系統等)，如跑道最大沉陷量係以民航管理單位所允許之 25mm 管理值上限。
- (ii)依學理分析與經驗判斷(如一般隧道區地面及管幕沉陷 70mm，開挖區外側地面沉陷為 80mm 之訂定)。
- (iii)材料容許應力、應變考量(如支撐應變計行動值為容許荷重之 125%)。

上述中又以第(i)項為最優先考量。此外，為追縱本地下道工程完工後通車運行期間，對機場設施後期之沉陷傾斜影響，本監測工作特於完工後一年內於上表所列全天候自動監測儀器將繼續進行 24 小時連續監測，屬人工量測部份包括跑道及滑行道地面沉陷觀測、目視滑降燈、儀降天線架沉陷點、伸縮儀、土中傾度管等於完工後 3 個月內維持每週一次之檢測頻率，完工後 3 個月至一年內則維持每月一次之檢測頻率。

(b) 自動化系統部份：

本工程有關監測自動化系統規劃方面，於本工程南側成立一中央控制室，以收容下列主要自動化系統構件：

- (i) 自動警報訊號指示器(Warning System)：包含監測儀器警示燈號看板及聲音示警裝置(如圖十一所示)，能以紅、黃、綠等燈號顯示儀器種類、位置及測值狀況，例如紅燈表示測值已達行動程度，黃燈表示測值已達警戒程度，再經由電腦螢幕顯示確切儀器編號、位置及測值。
- (ii) 觀測箱(Switch Box)、現地資料記錄器(Data Logger)、掃瞄箱(Scanner)、介面轉換器(Converter)、同軸多蕊纜線。
- (iii) 足夠硬碟容量之桌上型電腦至少兩部、手提式電腦至少一部、UPS 不斷電系統及穩壓器、雷射印表機、繪圖機；前述桌上型個人電腦應以網路相互連結，一者負責資料存取計算與監視警戒，另一則負責資料回饋分析，且兩者可交互支援，不致影響正常自動測讀程序。

(iv) 電話線路及數據機(Modem)、監測資料庫存取、傳遞與資料處理軟體。

(vi) 監視工作井與隧道開挖現場作業狀況之閉路電視攝影(CCTV)。

### 4.3 目前工作執行狀況

本工程於民國 86 年 1 月 20 日正式開工，目前正進行工作井擋土結構施工與地質改良工作，鑑於本工程之特殊安全需求及有效、迅速地執行各項安全管制任務，本工程主辦單位台北市政府工務局新工處於工程開工初期已商請主管松山機場相關單位協議組成三級安全管理系統，協助本工程施工之執行。

監測系統部份，配合施工項目，目前中央控制室、電傳網路系統已建構完成，自動警報訊號指示系統中之警示看板已完成(系統軟體正測試中)，而現階段正執行全區之地表沉陷觀測。誠如 4.2 節所述，本監測作業需要全天候監測之儀器有上千測點，加上人工測讀點位共約 2,900 點，如何透過適當之軟、硬體規劃，以使此龐雜之自動量測作業順利運作，並能監控電腦上及時得知每一工作區的測值狀態並傳送至相關單位以及大量之報表處理自動化等等實為當前承包商(大陸工程公司)及其協力承商(三聯科技公司)所需克服之問題，以下特就目前本工程承商依規劃要求所採用之系統架構、軟硬體及資料庫系統架構作一概略說明：

(a) 自動化量測系統(有關自動量測系統配線示意圖如圖十二所示)

本工程採用 CR10 自動化監測系統，其特點如下：

(i) 安裝容易及操作容易(同一般觀測箱接線方式)

(ii) 內建式充電電池，不因斷電而遺失資料

(iii) 記憶體及記憶模組最多可儲存 358,000 筆資料

(iv) 頻道數最多可擴充至 384 頻道

(v) 可與電腦連線進行資料處理及同步監測

(vi) 可連接不同型式之監測儀器(振弦式、電阻式)

(vii) 可設定不同掃瞄頻率

(b)資料擷取及傳輸系統(有關資料傳送網路示意圖如圖十三所示)

本工程採用包含 CR10 之 PC208W 控制軟體及多個 32 頻道掃瞄箱、儀器連接介面與 SM192K 記憶模組、SC32A-RS232 傳輸器及 DC112 電傳數據機(可直接於室內控制 CR-10 及擷取資料)。

(c)資料庫存取、傳遞與資料處理軟體

資料庫軟體格式係採用 Microsoft SQL Server 6.5，而後端之資料處理系統則採用 Labview 軟體設計，系統最上層主功能圖表如圖十四所示，在此選項圖內可選擇任一種儀器進行下列功能操作：

(i) 圖群編輯(儀器群組設定，group)

(ii) 參數設定(如圖十五所示)，包括初始值資料、報表參數、日報表抬頭參數輸入、圖型參數輸入、警戒值、行動值等。

(iii)資料轉檔，如 Data Mate 傾度儀資料擷取器類，直接透過 RS232 來進行快速轉檔輸入作業。

(iv)密碼管理，可設定資料輸入或查詢者之權限，使與工程不相關人員無法取得或輸入資料。

(v) 報表預覽與列印

(vi)資料查詢(如圖十六所示)，可查線上即時資料

(vii)趨勢顯示(Time plot)，可預覽及列印歷時曲線及資料

(viii)告警音響，可顯示新增及既有警戒、行動值之儀器編號、日期、時間與測值等資料之預覽與列印(如圖十七所示)，並於監測儀器平面配置圖上之儀器位置上以設定之紅、黃燈連續閃爍〔如圖十八中方格內陰影份所示〕，以提醒相關人員注意。

(d)警報系統

當某一測點數據超出設定之行動值時，則自動警報顯示面板上該測點處之紅燈將被點亮，蜂鳴器亦同時響起，相關

之單位亦可透過網路數據機進入查詢功能，查看發生警報區域之測值狀況。

## 五、結論

在營運中機場跑道及滑行道下方進行隧道工程，監測工作是極為重要的一環。為求施工所導致的沉陷量降至最低，確保飛行安全，本工程於跑滑道下方之施工區段，採取在管幕的保護下，進行車道主體結構之涵體無限自走工法；並針對各階段不同工法之特性，佈設各式不同類型之監測儀器，以期能隨時監控、掌握施工之狀況，並適時反應於施工人員，作為後續施工及將來類似工程設計及施工之參考。然而受到機場環境的影響，部份常用之監測儀器並不完全適用於營運中的機場，故對於相關監測儀器之配置及檢測方式，將來仍須不斷的檢討、發展。此外，本工程自動安全監測系統規劃理念，係期達到不僅於監測資料之蒐集、研判，而且能結合網路系統負起即時安全情報反應任務，為本工程規劃特色之一。深盼不久將來，在諸多工程先進之努力下，能發展出全自動安全監測之“專家系統”。

## 誌謝

本文承蒙臺北市政府工務局新建工程處副處長劉哲雄、總工程司吳槐庭先生之技術指導，特此申謝。撰稿期間承亞新工程顧問有限公司莫若楫博士，陳明熙、黃培宇先生之潤筆，張雪娥小姐之協助繕打及校稿；以及三聯科技股份有限公司之系統資料提供，謹誌謝忱。

## 參考文獻

臺北市政府工務局新建工程處(民國 85 年 5 月)，“復興北路穿越松山機場地下道工程，補充施工說明書(土木工程部份)”，第 809 章、第 819 章。

臺北市政府工務局新建工程處(民國 85 年 5 月)，“復興北路穿越松山機場地下道工程，土木工程部份設計圖”，第 GEO700~GEO830。

亞新工程顧問股份有限公司(民國 84 年 8 月)，“復興北路穿越松山機場地下道

工程營建管理及監造服務建議書” ， pp3-pp7； pp16-pp32。

亞新工程顧問股份有限公司(民國 85 年 12 月)，“復興北路穿越松山機場地下  
道工程安全管理系統計劃書” ， pp1-pp23。

表一 本工程安全管理系統組織成員與功能

組織名稱	功能	組織成員	主要任務
安全工作小組	執行第一線安全工作	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 承包商全體作業人員</li> <li>● 相關協力廠商-監測、地質改良、管幕、擋土結構、安全支撐、ESA 等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 研訂相關安全計畫書</li> <li>● 執行監測工作及初步分析作業</li> <li>● 執行安全檢查工作</li> <li>● 執行緊急應變措施</li> <li>● 製作安全標語及各項告示</li> </ul>
安全管制組	督導安全工作	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 台北市政府新工處復北工務所(主任)</li> <li>● 營建管理顧問辦事處(安全主任)</li> <li>● 承包商工務所(主任)</li> <li>● 交通部民用航空站飛航服務總台代表</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 督導各項管制工作之執行</li> <li>● 定期召開工作會議，向安全委員會報告安全工作執行狀況</li> <li>● 緊急事故發生時，遵照核定程序執行通報任務與指令執行</li> </ul>
安全委員會	審查安全管制工作程序與安全研判	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 台北市政府新工處處長</li> <li>● 台北市政府工務局第一科代表</li> <li>● 台北國際航空站代表</li> <li>● 交通部民用航空站飛航服務總台代表</li> <li>● 空軍松山指揮部代表</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 審核有關飛航安全之施工計畫書與緊急應變計畫</li> <li>● 不定期召開工作會議，檢討工地安全工作執行績效</li> <li>● 緊急事故發生時，召集會議複核緊急應變措施</li> <li>● 其他與本工程飛航安全維護有關之決策</li> </ul>
松山機場安全管制單位	安全管制工作通報與協調之窗口	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 交通部民用航空局指派代表單位</li> <li>● 空軍松山指揮部指派代表單位</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 依核定之安全管制計畫與程序，協助本工程之執行(夜間施工進退場、緊急狀況之協助)</li> </ul>

表二 安全情報傳遞辦法說明

情報種類	情報內容	預定流程	傳遞工具
工程現況簡報	當日施工位置、動員人力數、預計開收工時間等工程重要資訊	施工承包商☒監造單位☒新工處代表 ↓ 「安全委員會」主要成員	電傳網路通報系統
門禁管制情報	當日夜間施工人員進出機場管制區狀況與識別資訊	施工承包商☒監造單位 ↓ 「空軍松指部」	電傳網路通報系統
緊急事故情報	跑滑道區之沉陷、崩塌、助航設施毀損或位移、施工機械無法及時退場等足以影響飛機正常起降事件；以及夜間飛機緊急迫降，機具須撤場。	施工承包商☒監造單位☒新工處代表 ↓ 「安全委員會」主要成員	電傳網路通報系統
監測資料	經複核之原始資料及研判成果報告	施工承包商☒監造單位 ↓      ↓ 新工處代表    「安全委員會」 主要成員	電傳網路通報系統
正確航班時刻與進退場	隔日第一班及本日最後一班飛機時刻(夜間施工階段)，以利施工進退場，及退場後滑行道清理結果通報。	飛航服務總台☒承包商☒監造單位	電傳網路通報系統

表三 復興北路穿越松山機場地下道工程  
每日預定施工計劃表

	主要施工項目	現場主辦	重要機械	施工人數
雜項 安衛				
A井				
A-B 間 隧道				
B井				
B-C 間 隧道				
C井				
C-D 間 隧道				
D井				
D-E 間 隧道				
E井 及 引道				

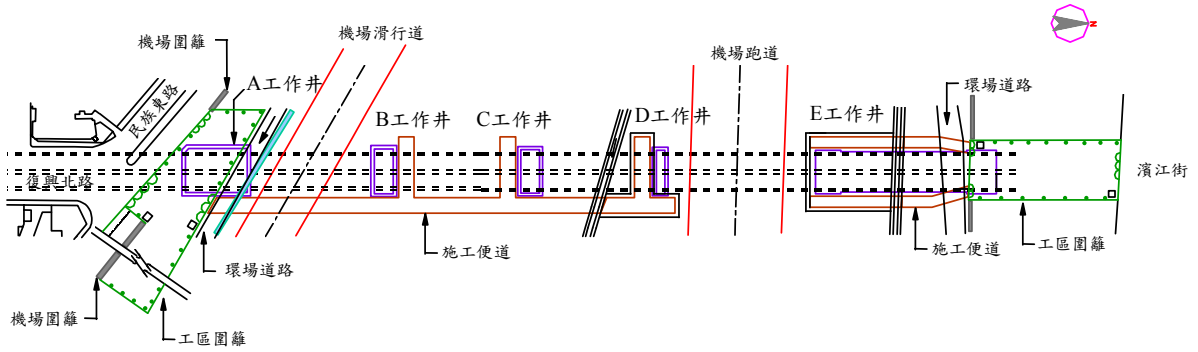
監造顧問：

承商主任：

填報：

表四 復興北路穿越松山機場地下道工程  
 ( ) 施工範圍及人員、機具佈置表

填報日期： 年 月 日



施工時間		施工時間		施工時間		施工時間		施工時間	
A 井及 A~B 間隧道		B 井及 B~C 間隧道		C 井及 C~D 間隧道		D 井及 D~E 間隧道		E 井及引道	
施工機具、人員	數量	施工機具、人員	數量	施工機具、人員	數量	施工機具、人員	數量	施工機具、人員	數量

監造單位：

承商主任：

填報：

表五 復興北路穿越松山機場地下道工程  
人員、機具進、撤場通知表

人員、機具進場通知

填報日期：\_\_年\_\_月\_\_日

本日施工人員及機具於\_\_點\_\_分進入機場施工區

人員、機具撤場通知

填報日期：\_\_年\_\_月\_\_日

一、本日施工人員及機具已於\_\_點\_\_分撤離機場施工區  
到達安全位置。

二、請航務組場面檢查。

監造單位：

施工單位：

表六 復興北路穿越松山機場地下道工程  
每日安全檢查表

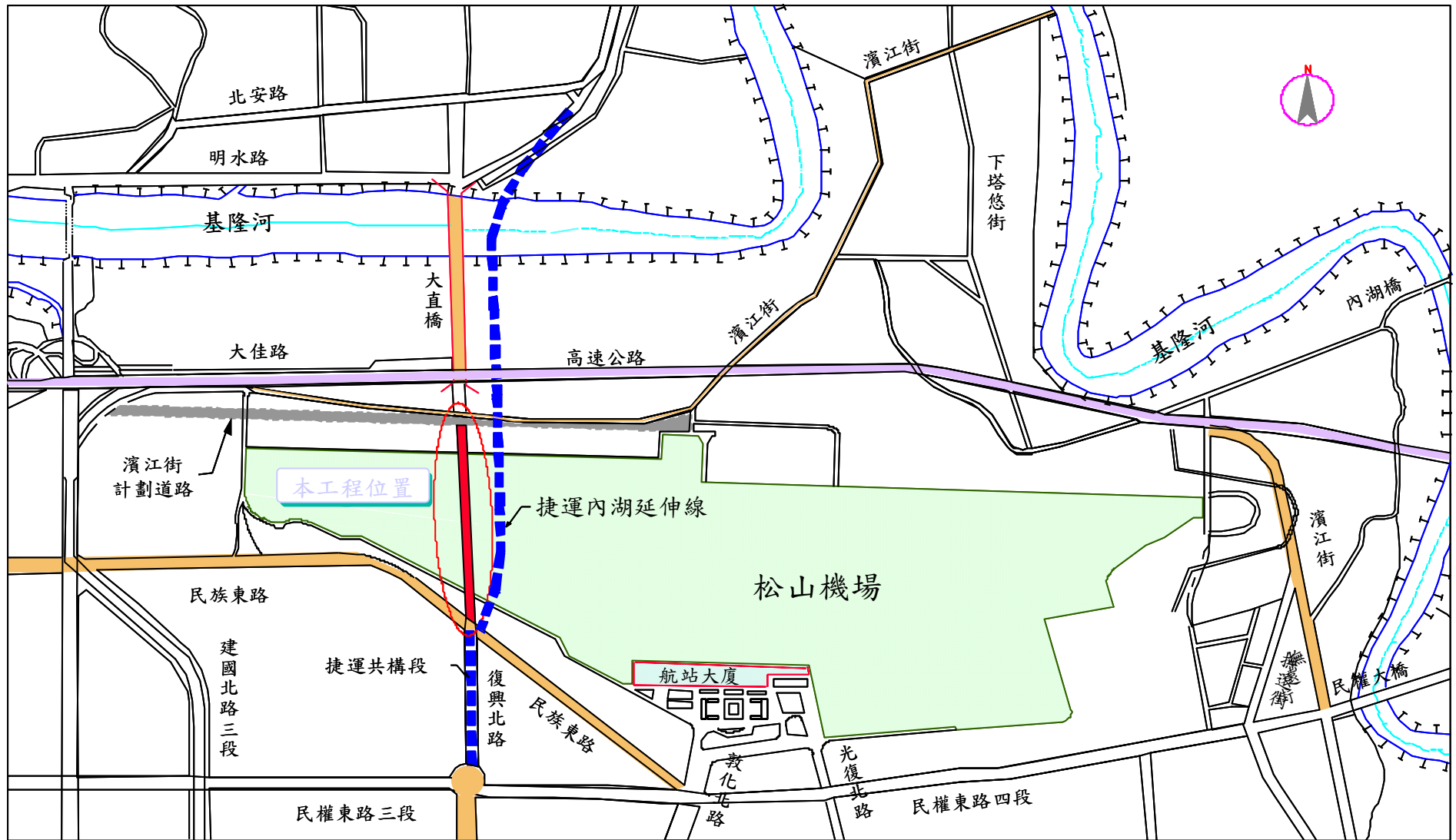
序號	內容	是	否	改善對策
1	出入門口門禁管制是否正常			
2	保全人員是否確實執行各項勤務			
3	施工人員是否於許可工作區域內作業			
4	工區內施工人員是否配掛識別證			
5	無不相關人員進入工區			
6	施工人員無攜危險〔禁〕物品進入工區			
7	工區內無可疑物品，如大型包裹．．．等			
8	施工機具未超出施工範圍			
9	施工完畢是否將滑行道清理完成恢復原狀			
10	機場內之相關助航設備未遭施工破壞			
11	工務所內是否指定緊急應變處理值班人員			
本日預計工作執行狀況 與特殊狀況記錄				

監造單位：

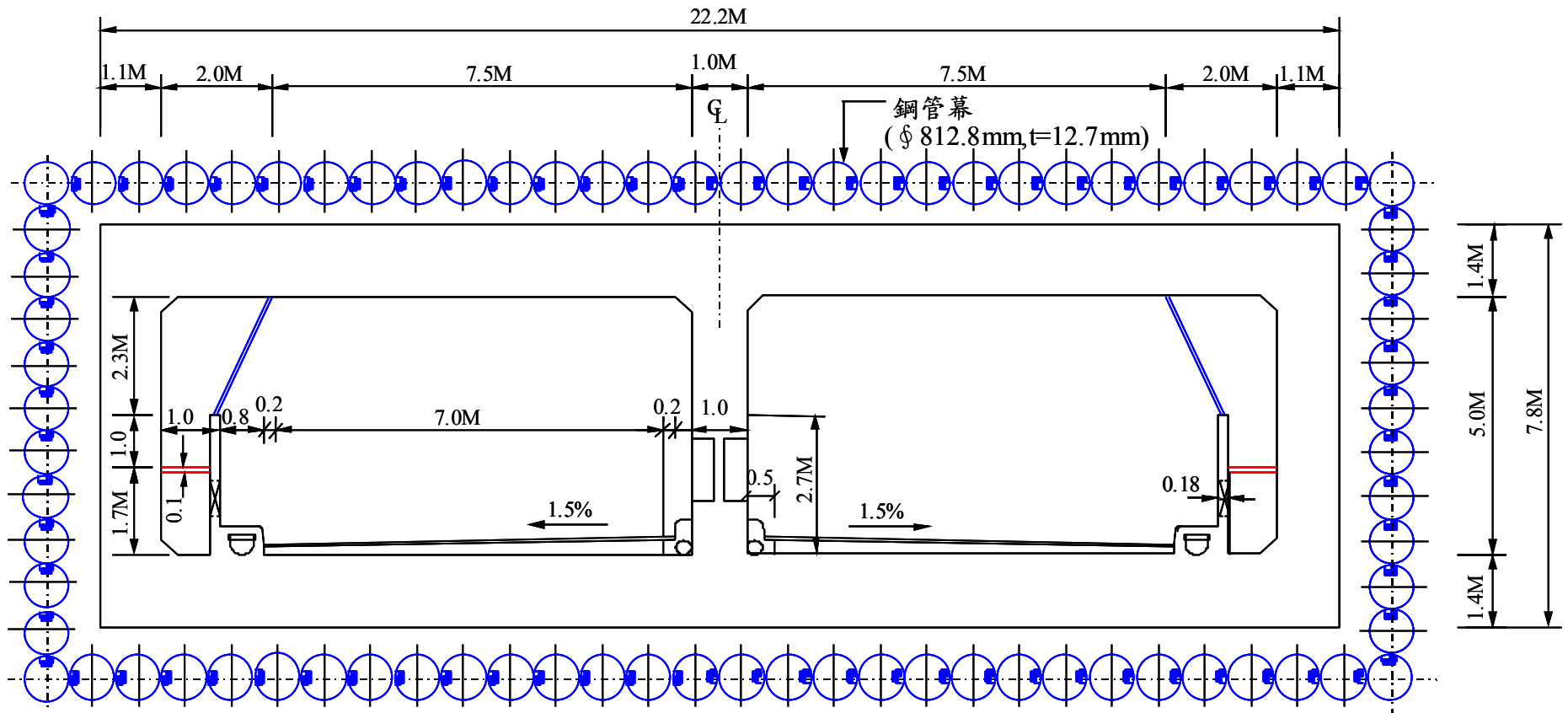
施工單位：

表七 監測系統配置一覽表

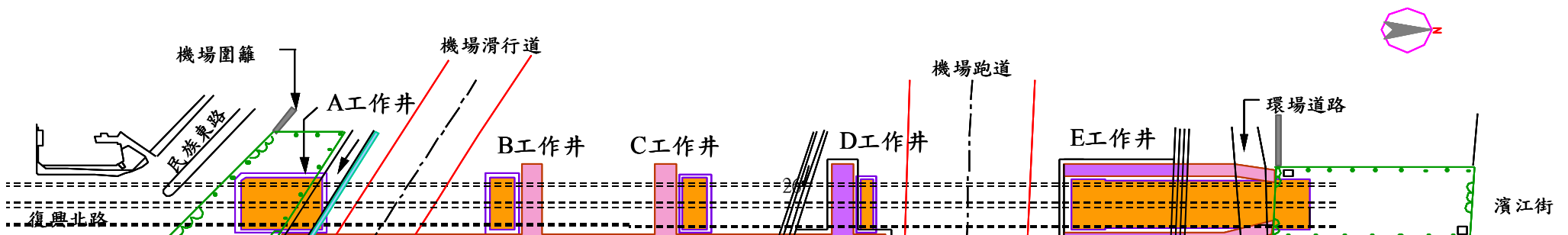
項次	監測項目	監測儀器名稱	簡稱	監測頻率
1.	壁體側向位移	定點式測傾計 (排樁擋土壁內)	SID	全天候自動監測
2.	土層側向位移	土中傾度導管	SIS	工作井及引道開挖期間每週二次，其後每週一次
3.	中間柱隆起位移	中間柱隆起觀測點	HP	開挖期間每天一次，其後每週一次
4.	支撐、橫擋及鋼管應力	應變計	VG	全天候自動監測
5.	地表及結構物沉陷	地表沉陷觀測點(含跑道及滑行道沉陷觀測)	SM	跑道及滑行道影響區地面： 開挖期間每日機場關閉後及翌晨啟用前各檢測一次，其後每週一次
		目視滑降燈及 GP 天線架及管幕頂面沉陷觀測點	SB	其他地區： 開挖期間每週二次，其後每周一次 隧道內： 開挖期間：
		水平式測傾導管 (管幕用)	HSID	跑道及滑行道區每日機場關閉及翌晨啟用前各檢測一次，其它區每週二次 推管期間：每日一次 其他期間：每週一次
		單點或多點式電子伸縮儀(相對於地面變位)	EXM	全天候自動監測
		管幕用連通管式沉陷計	HSM	全天候自動監測
6.	結構物傾斜	結構物傾斜儀 (目視滑降燈及 GP 天線架使用)	TI	固定式：全天候自動監測 開挖與推管期間每日一次，其他期間每週一次
7.	隧道內空收斂	收斂觀測點	CP	裝設後即刻測定初值 施工期間每天一次，至隧道下半斷開挖面在儀器前方 20 公尺時改為每週一次
8.	地下水及孔隙水壓	水位觀測井 水壓計	OW ELP	全天候自動監測
9.	水準基準點	永久水準點	BM	每月一次



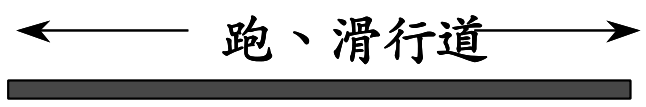
圖一 工程位置示意圖



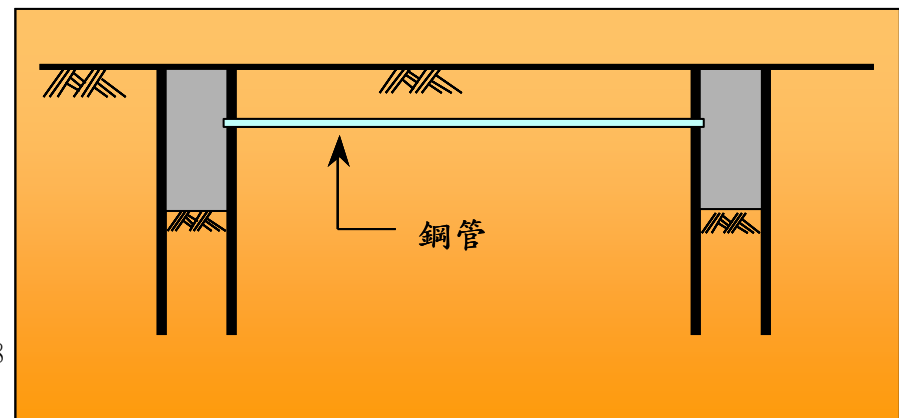
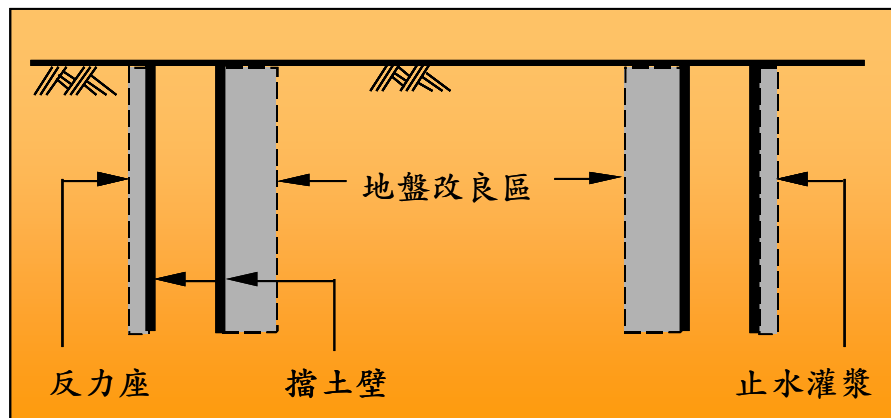
圖二 本工程標準斷面示意圖



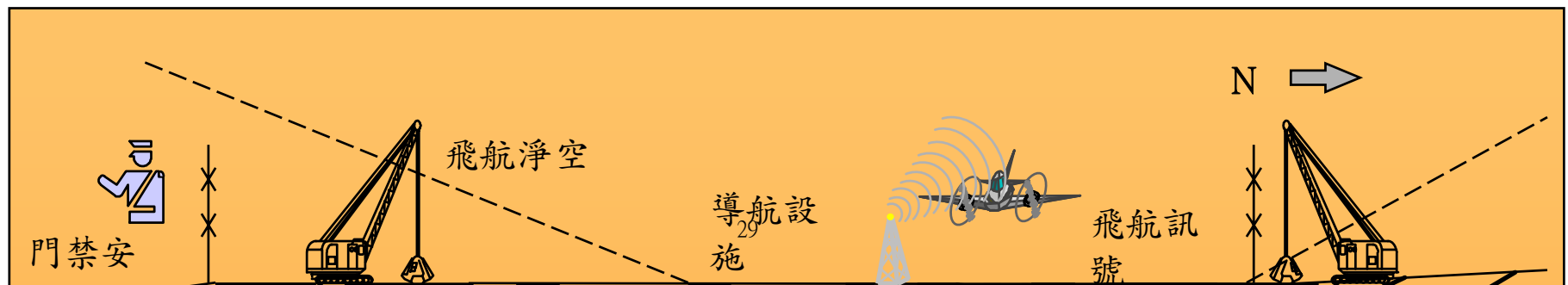
圖三 本工程剖面示意圖



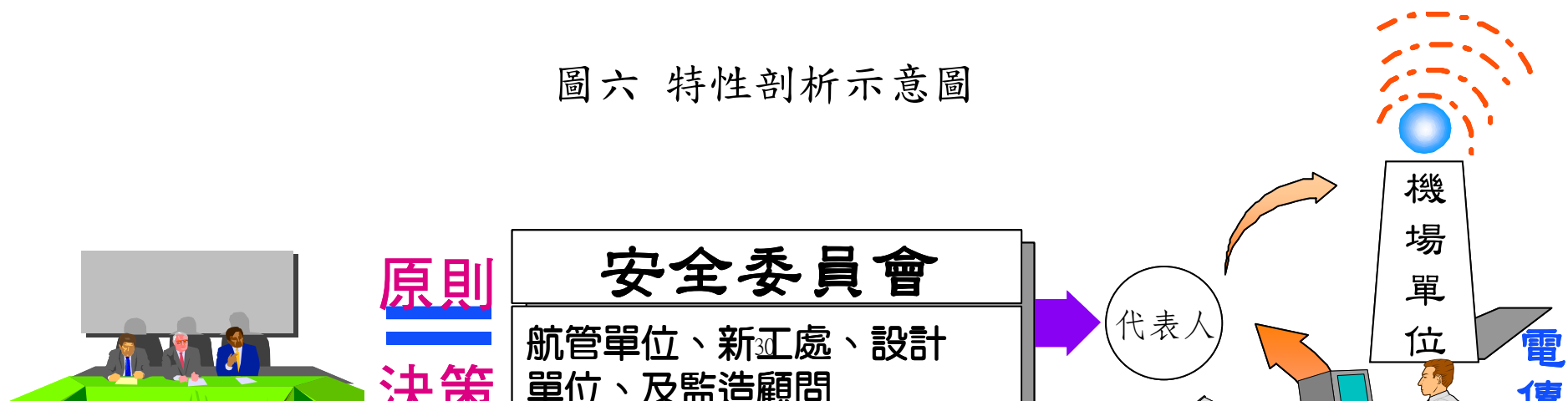
圖四 ESA 施工示意圖



圖五 管幕工法施工順序示意圖



圖六 特性剖析示意圖



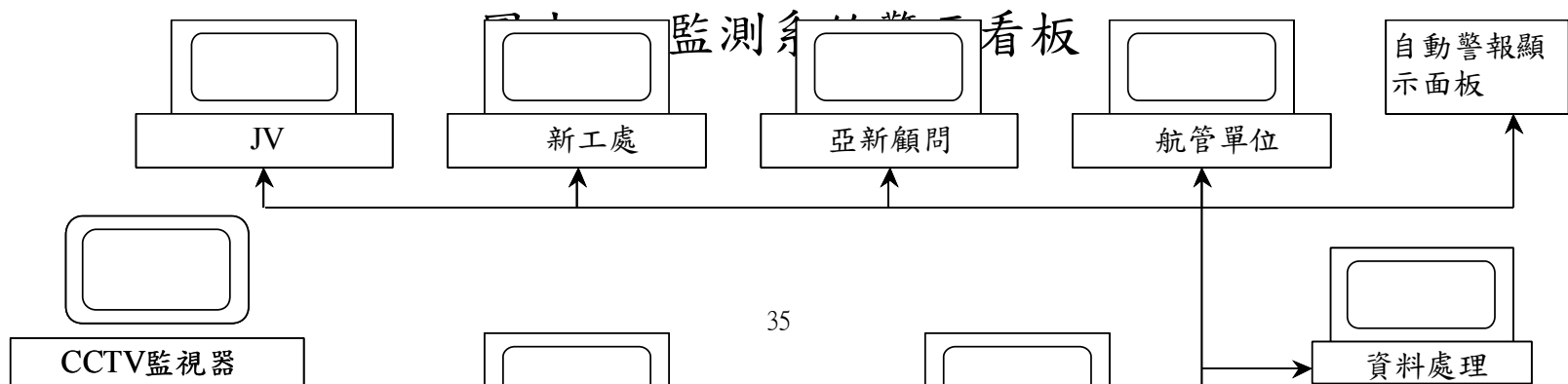
圖七 安全管理體系

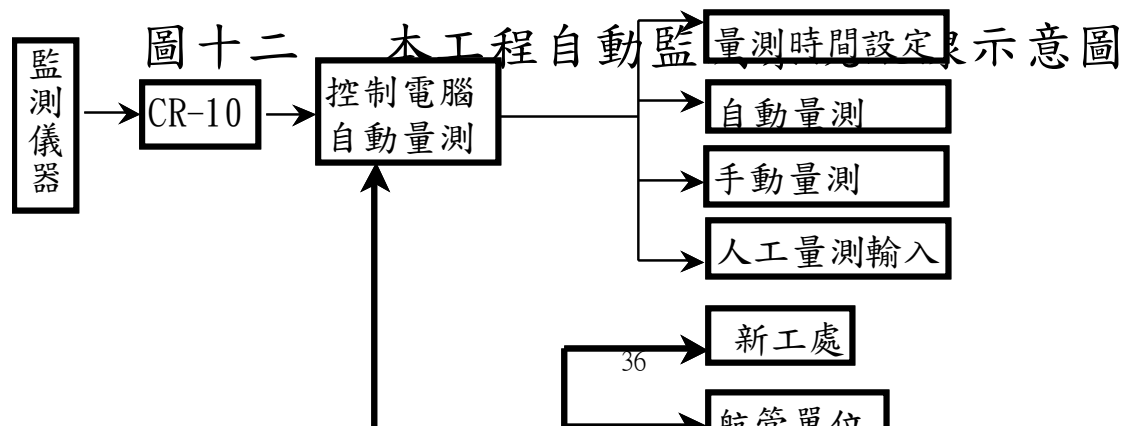
圖八 監測系統配置平面圖

圖九 管幕隧道監測系統配置圖

圖十 管幕加 ESA 隧道監測系統配置圖







# 復興北路穿越松山機場地下道工程 監測儀器自動化觀測系統

日期: 1997/12/15

時間: PM 03:27:23

SM

SB

TI

TM

地表沉陷觀測點  
SM

結構物沉陷觀測點  
SB

結構物傾斜儀  
TI

結構物傾斜儀  
TM

HP

VG

HSID

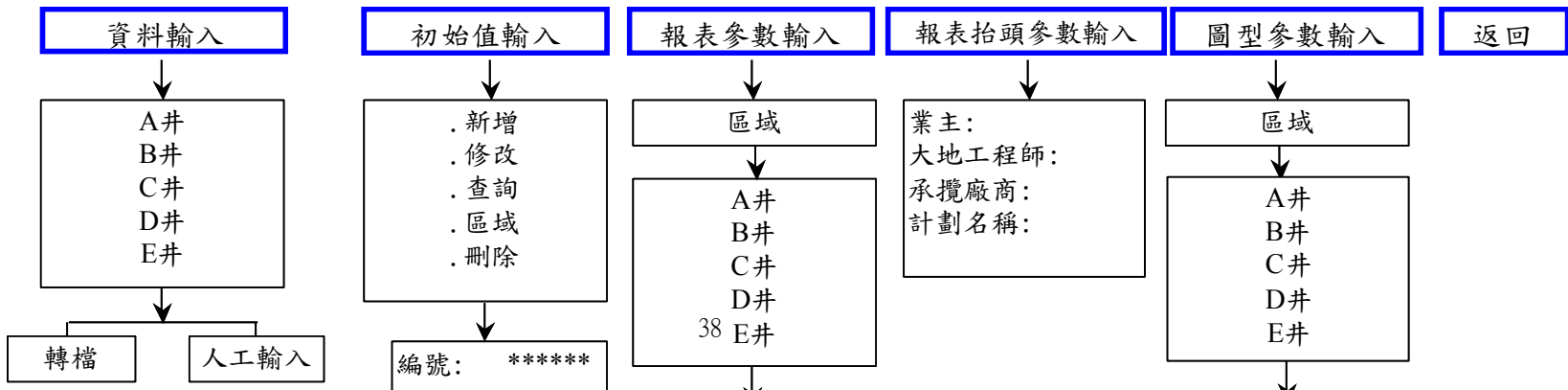
水位觀測井  
OW

定點式測傾計  
SID

水壓計  
ELP

土中測傾導管  
SIS

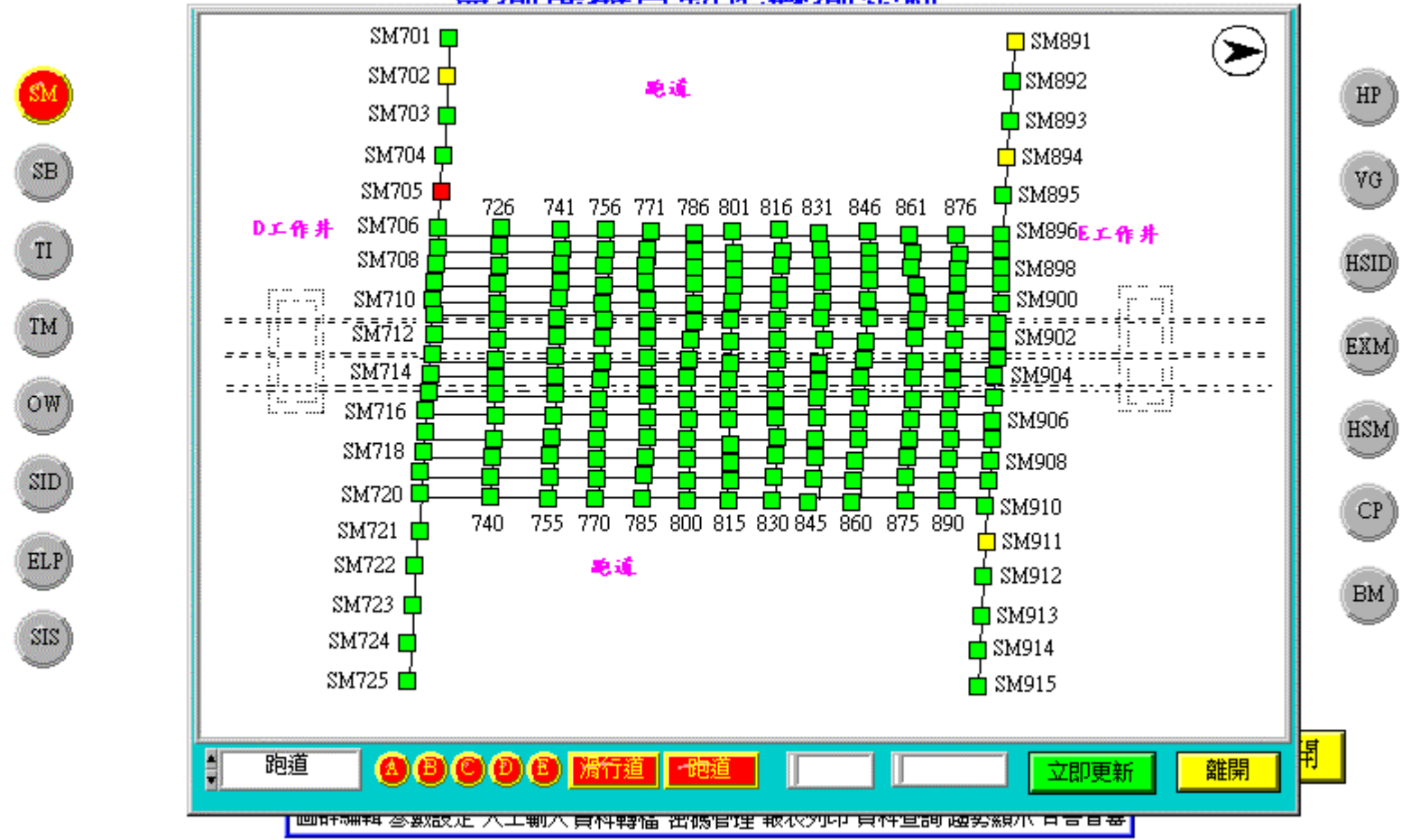
圖十四 本工程自動化監測系統資料與報表處理軟體主功能圖



圖十五 本工程自動化監測系統儀器資料輸入內容

# 復興北路穿越松山機場地下道工程 監測儀器自動化觀測系統

日期: 1997/12/15  
時間: PM 03:24:13



圖十六 本工程自動化監測系統測點線上查詢

# 復興北路穿越松山機場地下道工程 監測儀器自動化觀測系統

日期: 1997/12/15  
時間: PM 03:41:40

The interface displays a central table titled "新增警訊顯示/列印" (New Alerts Display/Print). The table contains the following data:

感測點編號	觀測日期	觀測時間	變化量	位置
SM002	1997/12/15	15:28:40	503.200000	A井
SM003	1997/12/15	15:28:40	461.800000	A井
SM004	1997/12/15	15:28:40	62.600000	A井

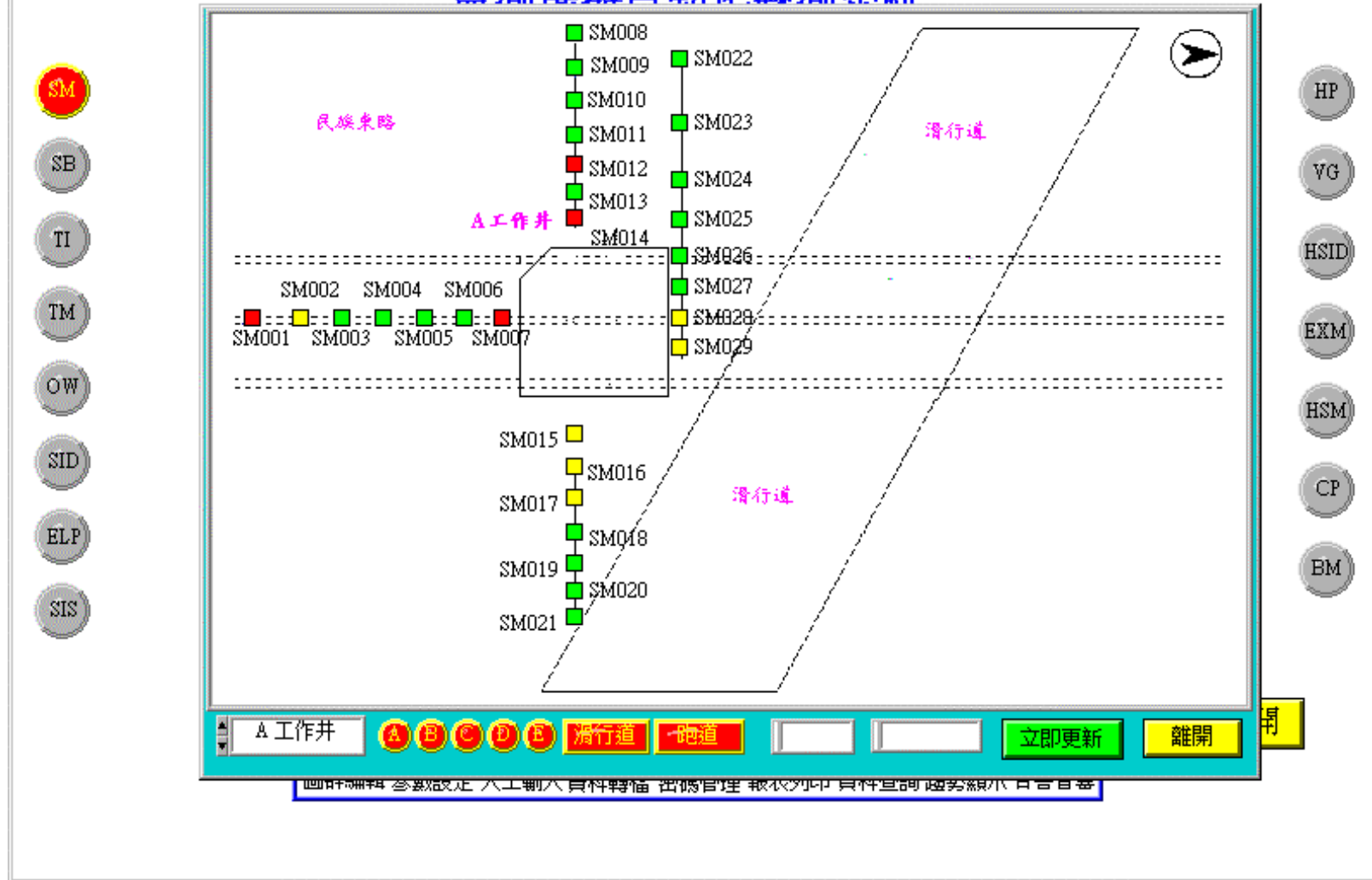
Below the table, a cyan banner displays "新增警訊處理中....." (New alerts being processed.....). At the bottom of this section are two buttons: "列印" (Print) and "離開" (Exit).

The interface is surrounded by various monitoring station icons: SM (Surface Settlement), SB, TI, TM, OW, HP, HSM, TM (Structure Tilt), SIS (Intermediate Tilt), EXM (Strain Gauge), and BM. A bottom toolbar includes icons for chart editing, parameter setting, manual input, data transfer, password management, report printing, data query, trend display, and alarm sound.

圖十七 本工程自動化監測系統新增警訊顯示/列印

# 復興北路穿越松山機場地下道工程 監測儀器自動化觀測系統

日期: 1997/12/15  
時間: PM 03:26:34



圖十八 本工程自動化監測系統測值警示閃爍〔方格內有陰影部份〕