

穿越機場地下道工程的營建管理

王祥騮¹ 黃炳章² 吳定恩³

摘 要

興建壹座車行地下道穿越營運中機場的主跑道及滑行道對於營建管理技術是壹項嚴峻的挑戰，其中最關鍵的任務是確保飛航的安全並維持機場的營運。本文以台北市復興北路穿越松山機場地下道工程為例，闡述如何經由施工方案的選擇以及發包策略的運用先確立技術層面的可靠度與可行性，然後再透過任務編組的管理組織體系藉助工程現況即時通報系統以及自動化監測系統執行各項安全管理作業，以達成上述的任務。計畫全程的營建管理作業雖然以安全為依歸，但是管理系統的建構及推動是基於品質保證的觀念，可以作為爾後類似工程的參考。

一、前言

台北市松山機場由於其東西方向的佈局嚴重阻隔了市區南北方向的交通，為此台北市政府乃規劃興建復興北路穿越松山機場地下道工程(以下稱本工程)，以期疏解雙溪、大直及內湖等地區與台北市東區之間的交通流量。本工程須穿越松山機場的主跑道及滑行道，由於前後銜接道路的位置限制了地下道垂直線形的規劃，隧道結構體在跑滑道位置的覆土極淺，隧道開挖對跑滑道的穩定影響至鉅，而地面上的施工活動也可能對機場的作業造成干擾，因此為了確保飛航的安全並維護機場的營運，台北市政府工務局新工處(以下稱業

主)乃聘請亞新顧問公司擔任營建管理顧問，就本工程的安全管理及施工控制提供專業服務，以下各節將就安全管理的部份詳予介紹。

二、工程概要

2.1 工程內容

本工程計劃興建一座全寬 22.2 公尺，總高 7.8 公尺之雙向四線車行地下道(標準斷面詳圖一)，自復興北路與民族東路交叉口向北以 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%縱坡昇至地面與濱江街平面交叉，

¹亞新工程顧問股份有限公司副總經理

²亞新工程顧問股份有限公司復興北路專案，專案經理

³亞新工程顧問股份有限公司復興北路專案，管理組組長兼安全主任

全長 1037 公尺。地下道穿越機場部份為 518 公尺，途經 60 公尺的主跑道及 40 公尺的滑行道。

2.2 施工計畫

本工程施工採南北兩端同時進行的方案，穿越機場部份分為四個區段藉由 A, B, C, D, E 五個工作井分區進行施工(詳圖二)。其中工作井 A 至 B 及 D 至 E 的區段因為穿越滑行道及主跑道將採取特殊工法，將於下節中介紹。其餘工作井 B、C、D 間的區段則採用管幕加內支撐的開挖方案，並跳島間隔構築隧道結構體，以減少沉陷。

三、工法選擇與發包策略

面對技術層次較高的工程，營建管理的基本工作是在技術層面選定最適當的施工方案，然後交由具備相應能力的施工團隊來執行。因此本節將就本工程工法的選擇與發包策略加以介紹。

3.1 工法選擇

在台北盆地的軟弱地層中施築地下隧道而期望減少沉陷，除仰賴嚴密的施工控制外，選擇適當的工法應為最關鍵的課題。本工程由於垂直線形的規劃使然，隧道結構體頂面距跑滑道面最淺處僅約 4 公尺，而隧道結構體全寬達 22 公尺，採用一般隧道工法勢將無法滿足沉陷控制的要求。因此所選擇的工法必須先對土體加以鞏固及保護，再進行隧道的開挖與構築，並儘量縮短隧道開挖至結構體完成間的空置時間，以減少沉陷發生的機會。基於上述

的考量，本工程在規劃階段時決定在主跑道及滑行道下方採用在日本擁有專利的結構涵體無限自走推進工法(Endless Self Advancing Method，簡稱 ESA 工法)再結合管幕工法(Pipe Roofing Method)進行施工，其基本原理是：

- (1) 先以圍繞隧道結構體的鋼管管幕保護及鞏固欲開挖的土體，再進行開挖以減少土體的變形及破壞。
- (2) 在管幕內以高勁度的預鑄節塊推入取代挖除的土體，縮短開挖至結構體完成前的空置時間，提高穩定度。
- (3) 將推進節塊前方的大開挖面用鋼刀分割為多個小開挖面，以控制每次掘進的體積，減少沉陷量。

採用 ESA 工法的區段將於主跑道及滑行道下方分別構築 10 個與 8 個預鑄節塊，其總長度分別為 101 公尺與 80 公尺。以佈設於預鑄節塊間的千斤頂提供推進動力，以節塊與地表之間的摩擦力提供反力，配合前方的鋼纜拉力，將預鑄節塊推入管幕圍繞的土體並同時開挖。出土時為保持開挖面的穩定，其導引節塊前進的鋼刀由 24 個小型開口組成，開挖時每次僅打開一個小型開口進行挖掘，待全部小型開口均向前挖掘約 40 公分後，再向前推進完成一次循環程序，如此逐步將結構體推至定位。

3.2 發包策略

本工程的發包分為土木、機電及通風三個部份，其中土木標因南引道部份與捷運木柵延伸線共構，故再區分為南引道段

及機場段兩標發包。機場段為本工程要徑項目，故優先發包施工。

為確保得標廠商具備執行 ESA 工法的技術能力並擁有落實安全管理的實務經驗，工程招標時在承包廠商資格方面要求由國內廠商搭配國外廠商共同承攬。共同承攬團隊須具有大型土木隧道工程的施工經驗，而共同承攬團隊中國內廠商所占比例不得少於百分之五十，以推動技術轉移。招標作業採兩階段進行，第一階段為資格標及技術標，第二階段為價格標。發包結果由國內大陸工程公司與日本鐵建建設株式會社的共同承攬團隊得標，其中大陸公司所佔比例為 51%，鐵建公司則在日本擁有豐富的 ESA 工法施工經驗。

ESA 工法在日本已發展二十餘年，屬特殊的專利工法，在國內則為首次應用。為避免採用專利工法在招標時引起指定工法的困擾，業主決定直接與日本的工法專利廠商訂定專利工法使用與技術轉移合約取得專利使用權。工程招標完成後，工法專利廠商依照該合約協助共同承攬團隊執行 ESA 工法。

3.3 營造保險

本工程的保險除以往營造綜合保險、第三人意外責任險及鄰近房屋倒塌龜裂責任險所涵蓋一般意外狀況的人員傷亡及財物損失外，因工程施工涉及飛航安全及機場營運而可能導致航空器毀損、機場或航空公司的營運損失等事故，因此補充規定將相關的保險項目納入第三人意外責任險範圍內，並大幅度提高人員及財物損失的

保險金額，例如「每一事故體傷或死亡」的保險金額由業主制式的新台幣一千五百萬元增加為新台幣三億元；「每一事故財物損害」由新台幣一千萬元增加為十五億元。保險契約中的被保險人除本工程業主、各專業顧問、營造廠商的人員外，另增加民航局及其所轄台北航空站與飛航服務總台、空軍總司令部及其所轄基地指揮部、使用松山機場之各航空公司等單位的人員。

由於本工程的風險責任及投保金額鉅大，因此對於保險公司的資格亦特別規定必須具備足夠的財力，或提出適當的再保險計畫以承擔保險契約所涵蓋的風險。最後共同承攬團隊所取得的保險是由五家國內產物保險公司共同承辦，在營造保險案例中尚屬罕見。

四、安全管理組織體系

針對維護飛航安全及機場營運的需求，本工程籌劃了系列的管理作業。但這些作業包括平時及緊急狀況，必須與飛航及機場相關的單位緊密協作才能具體實施，因此本節將就安全管理組織體系的內容及程序加以介紹。

4.1 安全管理要項

建構安全管理組織體系之前需要先了解安全管理可能遭遇的問題。本工程在機場內或其週邊施工時必須特別考量的安全管理要項(要項綜覽詳圖二)包括：

(1) 施工時段的限制—機場開放起降期間

機場範圍內不得有任何地面上的施工活動，地面作業必須在夜間機場關閉時段進行，並應儘量減少施工活動的範圍，以因應夜間飛機緊急迫降時及時撤場之需。

- (2) 機場淨空的限制—機場以跑道為基線對鄰近地區的建築物或突出物設有淨空限制，施工機具在機場內或週邊作業必須檢查其高度以符合此限制。
- (3) 機場管制區出入的限制—為維護機場的安全，施工人員、機具、材料出入管制區須遵守機場管理單位的規定接受檢查及管制。
- (4) 助航設施的維護—機場內各種助航儀器及其管線必須妥為保護以防止施工活動導致傾斜、位移或破壞，影響飛航管制的功能。
- (5) 機場內電波的管制—機場內各種精密導航、定位、儀降及通訊作業均以無線電波為媒介，施工活動必須嚴格遵守電波管制的規定，對講機的使用必須事先獲得許可。
- (6) 跑滑道平整度的維護—跑道或滑行道表面如有施工殘留物，或其平整度因施工發生變化而超出容許範圍時，飛機的起降或滑行將受到嚴重的影響，必須詳加檢視並於發生異狀時採取緊急措施，以維持機場的正常營運。

4.2 安全管理組織體系

參與本工程的作業單位除業主、營建管理顧問、營造廠商等與工程相關的單位外，尚包括民航局台北航空站、民航局飛

航服務總台、軍方指揮部等與機場相關的權責機構。面對安全管理的需求，兩個領域的單位除本身的業務之外，尚須兼顧因為本工程特殊性所引起的額外業務，而其重要性及優先度尚超過原有的業務，因此必須有效組織所有相關的單位，並賦予明確的作業程序，以達成迅速及正確兩項安全管理的基本要求。

(1) 機場的窗口

台北松山機場是軍民合用的機場，其營運、管理及管制依業務性質及責任區劃分屬民航局台北航空站、民航局飛航服務總台及軍方指揮部，三者的協作均有既定的程序。本工程所需要的機場配合作業並非上述三個機構的常態業務，但如另外合組一個單位專責處理新的業務，必然會發生疊床架屋的困擾反而減低專責單位的功能。因此在經過討論及協調之後採用虛擬的「松山機場安全管制單位」代替專責組織，該單位的作業程序一如三個機構常態的程序，只是業務內容增加工程配合的作業，因此自然能夠維持原有高效能的協作關係。「松山機場安全管制單位」的設立為本工程與機場之間建立了一個明確而有效的窗口，使得工程領域內的安全管理工作與機場領域內的安全管理工作能夠達到同步。

(2) 三級安全管理組織

飛航安全與機場營運的維護必須建立在迅速及正確兩項基本要求上。迅速的要求是由情報的即時取得、決

策的及時下達及行動的迅速展開來達成，其過程不容許發生瓶頸而致延誤。正確的要求則指情報、決策及行動必須經過檢核的程序，並且納入管制，以達到品質保證的程度。因為錯誤的情報、決策或行動即使不產生災害也至少會導致機場營運上的重大損失，例如錯誤的情報所導致的機場關閉。為了達成效率及正確兩項要求，本工程經與各有關單位討論之後決定設立一個三級安全管理組織體系，由「安全工作小組」、「安全管制組」及「工程安全委員會」所組成(組織架構詳圖三)，其個別之成員及職掌詳述如下。

「安全工作小組」為第一級執行單位，由營造廠商的人員組成，專責執行或指揮現場與安全管理有關的作業，例如管制區出入的管理、地面作業淨空的檢查、跑滑道異物的清除、緊急應變措施的執行等。「安全工作小組」的作業品質接受共同承攬團隊品管單位的督導與查核。

「安全管制組」為第二級督導單位，由業主、營建管理顧問及營造廠商的人員組成，執行安全管理的品保作業，例如安全管理計畫的審查、緊急應變計畫的彙整、定期工作檢討會議的召開、安全管理執行績效的評估及報告等。為強化安全情報的研判能力，由營建管理顧問指派資深工程師壹名任「安全主任」，其職責為彙總管各項安全情報及專業意見，並協調「安全管制組」各成員的作業。

「工程安全委員會」為第三級審查與決策單位，負責核定安全管理計畫、緊急應變計畫、通報處理程序、意外事故發生時的緊急應變措施包括暫時中止飛機起降的決定及其他與飛航安全有關的決策。「工程安全委員會」在工程初期是建構整個安全管理組織體系的主軸，其組成是依據營建管理顧問所草訂經業主核定的「復興北路穿越松山機場地下道工程安全委員會設置要點」辦理。

(3) 全管理作業程序

安全管理作業的程序在平時由「安全工作小組」依「工程安全委員會」核定的安全管理計畫執行各項作業。發生緊急狀況時，「安全工作小組」立即向「安全管制組」報告，「安全管制組」確認狀況後，依緊急應變計畫的核定程序即行通知「松山機場安全管制單位」配合執行緊急應變措施，同時通報「工程安全委員會」成員召集臨時會議複核緊急應變措施並對後續作業給予指示。

五、安全情報與監測系統

前節所述安全管理組織體系的有效運作端賴即時且正確的情報，因此本節將就安全情報的取得與傳送，以及施工監測系統提供安全情報的範圍加以介紹。

5.1 安全情報

本工程基於安全的需要必須在施工中掌握的安全情報包括下列五項：

- 工程現況簡報
- 門禁管制情報
- 緊急事故情報
- 監測資訊
- 班機時刻與進退場情報

其中除監測資訊係運用特別發展的電腦軟體處理外，其餘四項情報係建置在 Lotus Notes 的平台上，其內容分述如下：

- (1) 工程現況簡報：包括當日預定施工項目、施工位置、人力及機具數量等工程重要資訊。另外監測系統在各工作井之間設有閉路電視，可於中央控制室掌握各工作井及隧道的施工動態。
- (2) 門禁管制情報：為有效管制施工人員、機具及材料進出機場管制區，除 24 小時保全人員值勤外，施工人員於夜間進出機場另採用電腦門禁管制系統，利用識別卡刷卡管制，以確認進出人員的身份與進出時間，並將紀錄儲存於電腦中，軍方指揮部可透過網路系統進行查核。
- (3) 緊急事故情報：包括跑滑道區的沉陷崩塌、助航設施的移位或毀損、施工機械無法及時撤場等影響飛機起降的事件，以及夜間飛機緊急迫降等情報。
- (4) 班機時刻與進退場情報：夜間施工進場必須事先獲知當日最後一班飛機的起降時刻，退場則須獲知次日第一班飛機的起降時刻。機場開放前必須獲知施工人員及機具的退場情形，及退場後跑滑道清理與安全檢查的結果。

為使安全情報能即時正確送達有關單位，

本工程設有電傳網路通報系統以作為資訊的傳遞工具。電傳網路通報系統係於業主、台北航空站、飛航服務總台、軍方指揮部等「工程安全委員會」重要成員及營造廠商的辦公處所設置電傳接收站。每一接收站的硬體設備包括電腦、專線電話及數據機。「安全管制組」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掌握最新的施工訊息。如遇緊急狀況亦可利用專線電話向相關單位進行通報。

5.2 監測系統

本工程施工監測系統與機場安全有關的觀測項目可歸類為下列三類：

- (1) 與飛航安全有關的跑滑道、滑降台、目視滑降燈等重要設施的沉陷及傾斜等。
- (2) 與工作井開挖安全有關的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、擋土支撐應力、中間柱隆起等。
- (3) 與隧道施工安全有關的管幕線形與應力、隧道內空收斂、ESA 隧道開挖的沉陷等。

本工程共計裝設人工測讀的測點包括沉陷點、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 1850 個，及自動測讀的測點包括水位計、水壓計、桿式伸縮儀用變位計、擋土壁內傾度計、支撐橫擋及管幕用應變計、管幕用連通管式沉陷計、結構物傾斜計等 1050 個。

上述測點的觀測資訊利用一套自動監測系統與兩套自動警報系統與警示看板進行處理、顯示及通報。自動警報系統與警示看板分別設置於中央控制室及遠端業主辦公室，並與自動記錄系統連線，全天候執行線上預警工作。

六、緊急狀況的處置

安全管理組織體系除了處理平時例行性的作業之外，尚須籌劃緊急狀況的處置。本工程可能發生的緊急狀況主要包括下列四類：

- 跑滑道區沈陷
- 助航設施傾斜、位移或毀損
- 施工機具無法及時撤場
- 夜間飛機緊急迫降

(1) 跑滑道區沈陷

機場跑滑道區因隧道施工發生意外而突然沈陷是本工程必須嚴加防範的重大事故。本工程設計要求跑滑道區的總沈陷量不得超過 2.5cm，並訂定跑滑道道面粗糙度的標準，做為跑滑道進行緊急搶修或道面重鋪的行動管理值。當沈陷量或粗糙度趨近行動管理值時，即須依「工程安全委員會」核定的鋪面方案進行跑滑道道面修護工作。為有效監視跑滑道區的沈陷變化，監測系統以 5 公尺為間距在主跑道部分的隧道中心線兩側各 35 公尺範圍及滑行道部分隧道中心線兩側各 50 公尺範圍內，佈置列陣式沈陷觀測點進行觀測。機場內全部沈陷觀測點超過 500 處。

跑滑道補強或修復的材料與施工方法原則上採用現有的施工規範，在緊急狀況時由營造廠商遵照執行補強或修復工作，經「松山機場管制單位」確認品質後，再開放飛機起降。為落實此項緊急作業，本工程施工前已責成營造廠商擬定跑滑道重鋪作業計畫送交「工程安全委員會」核定，並曾利用機場夜間關閉期間，在滑行道上進行試鋪並經檢驗合格，以確認材料及施工方法的適當性。

(2) 助航設施傾斜、位移或毀損

機場內的助航設施包括滑降台天線、目視滑降燈、跑道燈等，其中以滑降台天線與目視滑降燈為導引飛機降落最重要的輔助儀器。為能即時掌握助航設施可能受到的施工影響，除設置自動化傾斜觀測儀器以進行即時監測外，由於助航設施毀損或移位依儀器之種類對飛航起降之影響程度有所不同，此部份亦透過「工程安全委員會」提報研議，由機場安全管制單位協助訂定維修標準，俾利施工單位據以施行，並作為中止飛機起降的標準。本工程施工期間曾有一座目視滑降燈的基座透過自動監測系統發覺其沈陷量達到管理行動值，隨即透過三級安全管理組織體系的作業，由營造廠商協助重新施築基座，由民航局服務總台重行安裝調整，然後經「工程安全委員會」核准排定時間進行飛航測試，確認目視滑降燈的功能已恢復正常。

(3) 施工機具無法及時撤場

本工程夜間地面作業所動用的機具主要為 A,B,C 工作井的搖管機，D,E 工作井的 SMW 鉗機，其他機具包括挖土機及吊車等自走式機械。最嚴重的機具故障是履帶斷裂或動力系統損壞以致無法撤場，或者是全套管基樁於退場時限前未能打設完成而至突出地面。如發生上述狀況，則「安全管制組」應按核定的緊急狀況通報程序通知「松山機場管制單位」暫緩飛機起降直至狀況解除，並向「工程安全委員會」報備。

(4) 夜間飛機緊急迫降

夜間如有飛機需要緊急迫降時，地面作業必須立即中止並緊急撤場。狀況發生時由「松山機場安全管制單位」通知「安全管制組」轉知「安全工作小組」指揮營造廠商於接獲指令後四十分鐘內將所有地面上的機具、人員撤離至管制區外，同時清理跑滑道。為確保撤場作業可於四十分鐘內完成，工程開工後曾經「工程安全委員會」決議實施兩次緊急撤場演習，而在施工期間則曾數度發生夜間飛機緊急迫降的狀況，均能及時完成撤場，證實演習的具體成效。

七、結論

針對重大且技術層次較高的工程，營建管理顧問的首要任務是為工程本身發展健全的技術方案，在本文的案例中主要是選擇一個適當的工法。其次是為工程的實施選擇優良的作業團隊，在本文的案例中

主要是選擇一個具備相應能力的共同承攬團隊。當作業團隊的成員陸續就位之後，營建管理顧問的責任是協助業主透過溝通協調來組織所有的成員，並賦予明確的作業程序，然後根據技術方案及組織體系建構資訊的供應鏈以支持決策及行動。在安全管理特別著重迅速及正確的要求下，引進品質保證的觀念納入組織及程序是相當可行的方法，本文案例所建立的三級安全管理組織體系加上各成員本身的品管系統就是一個符合特定需求的品保體系，希望藉此提供其他類似工程的參考。

誌謝

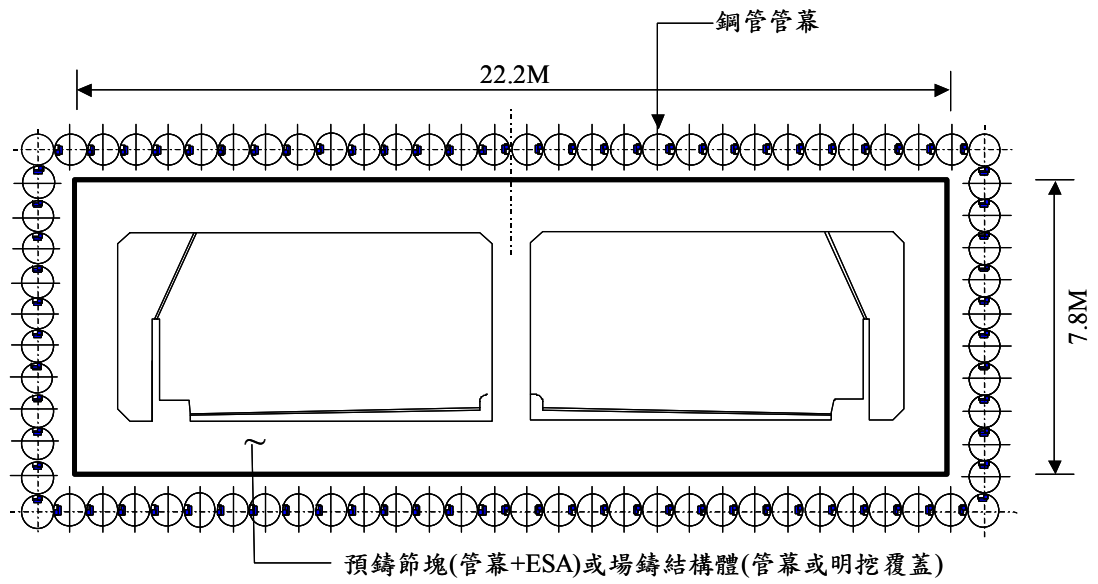
本文的完全承張雪娥小姐與楊印萍小姐協助繕打及校稿，謹誌謝忱。

參考文獻

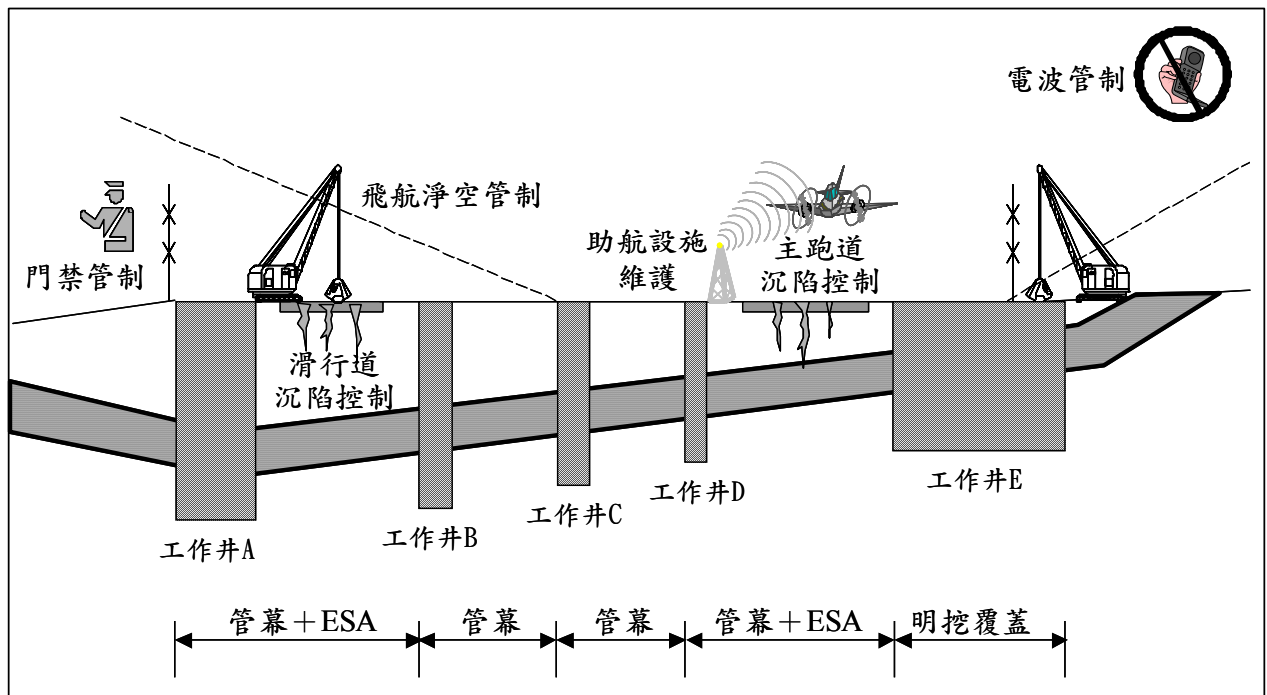
1. 臺北市政府工務局新建工程處，“復興北路穿越松山機場地下道工程補充施工說明書(土木工程部份)，第 809 章、第 819 章”，民國 85 年 5 月。
2. 臺北市政府工務局新建工程處，“復興北路穿越松山機場地下道工程設計圖(土木工程部份)，GEO700~GEO830”，民國 85 年 5 月。
3. 吳定恩、陳欽銘、陳文慶、黃炳章、黃俊青，“台北市復興北路松山機場穿越段施工安全監測”，財團法人台灣營建研究院工程安全監測技術研討會，民國 87 年 9 月。
4. 莫若楫、熊谷鎰、黃炳章、黃南輝，

“ Underpass beneath Taipei International Airport” ，亞洲理工學院工程研討會，民國 89 年 5 月。

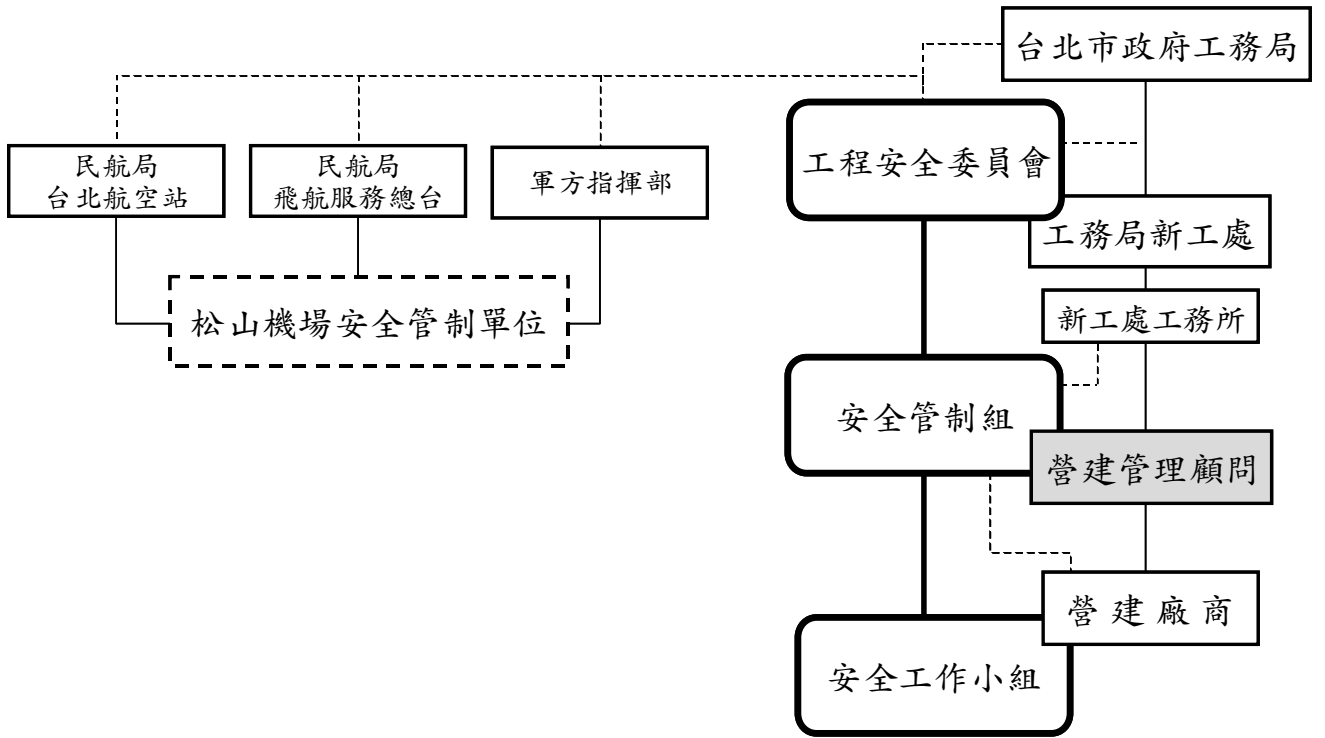
5. 熊谷鎰，“台北復興北路穿越松山機場地下道工程之規劃與設計”，福州大學海峽兩岸城市規劃與建設學術研討會，民國 86 年 9 月。



圖一 地下道標準斷面



圖二 安全管理要項綜覽



圖三 安全管理組織架構