

復興北路穿越松山機場地下道工程 案

涵管無阻自走工法

張郁慧¹ 熊谷鎰² 吳定恩³

摘 要

台北市之南北向交通因松山機場之阻隔而無法暢通，因此台北市政府而有興建復興北路穿越松山機場地下道工程之計劃，以期疏通雙溪、大直及內湖地區進入台北市東區之交通。本計劃之地下道能起復興北路與民族東路口，以地下道方式穿越松山機場，至機場北側濱江街與大直橋頭交接之現有平面道路銜接，在此有限之距離內，降入地下後再往上爬昇，以致主體結構在通過機場跑道處之覆蓋只有 4 公尺，且必須不影響機場的營運下完成此一工程，在工程技術上是為一項嚴峻的挑戰。在施工中須維持機場之營運並確保飛行安全之前提下，工程之計劃與執行，也就更顯出其重要性。為此，本立除對本工程之概要做一說明外，並對如何經由施工方案之選擇以確立技術層面的可靠度與可行性，規劃特殊工法執行，順利完成世界首座在機場繼續營運狀況下穿越跑道之地下隧道工程，可以作為爾後類似工程的參考。

一、前言

台北市已因松山機場之侷限嚴重阻礙了市區南北向的交通，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。台北市政府於 1977 年研擬「台北地區交通系統初步規劃報告」時，即有興建本地下道工程以紓解交通之方案。1989 年台北市政府工

務局新建工程處乃依該方案委請中華顧問工程行完成「復興北路穿越松山機場地下道及繞道工程規劃報告」。該報告即以興建繞行道路做為近期之計畫，興建地下道做為長期之交通改善計畫。市府工務局新建工程處於 1991 年 5 月委請亞新工程顧問公司辦理「復興北路穿越松山機場地下道工程」之設計工作，該工程於 1995 年 12 月完成設計，於 1996 年 7 月發包，並於 1997 年 1 月底開工，穿越跑道段在

¹ 台北市政府新工處復北所主任

² 亞新工程顧問股份有限公司副總經理

³ 亞新工程顧問股份有限公司正工程師

2002 年 11 月完成貫通，其餘隧道段可因應隧道南端居民對入口位置之要求，大幅調整變更原規劃設計線形，影響整體完成時程，目前尚在施工中，預計可在 2006 年 10 月通車。本案區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，因此為了確保飛行的安全並維護機場的營運，台北市政府工務局新工處為尋求新顧問公司負責設計與營建管理顧問工作，就本工程設計及施工管理提供專業服務，本節即對本工程之規劃及設計作一說明介紹。

二、工程概要

2.1 工程內容

本工程原計劃興建一座全寬 22.2 公尺，總高 7.8 公尺之雙車道線車行地下道(其位置詳如圖一所示，標準斷面詳圖二)，自復興北路與五常街交叉口向北以 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，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。2002 年 3 月可因應隧道南端復興北路兩側居民對入口位置移至復興北路與民族東路交叉口機場範圍區域之要求，經多年研議確定後大幅調整變更本工程機場段中間以原規劃設計線形，地下道穿越機場部分

修正為 604 公尺，北引道銜接大直橋約 73 公尺，全長修正為 677 公尺。

本工程施工採用北兩端同時進行的方式，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(詳圖三)。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鋼支撐的開挖方案，並跳島間隔構築隧道結構體，以減少沉降。

2.2 計畫目標與效益

本工程計畫之目標為連接復興北路與大直橋，使成為台北市南北交通幹道。完成後車輛可直接穿越松山機場，來往大直橋及復興北路之間，使大直、士林以外雙溪及內湖等地區與市中心區有便捷之通道，減少交通之迂迴以疏解市區相關道路，如松江路、新生北路、中山北路及圓山地區之交通負荷。經估計本工程完成通車後，對大直地區往返台北區車輛，整體每日可節省約 1 萬車公里之繞行距離，與約六千車小時之行車時間。同時，每日可減輕圓山隧道區域 20% 之交通量，約每日 20,000pcu 之旅次，而由內湖經民權大橋東往市區之交通量，亦將減少每日 7,000pcu 之旅次。

三、地質狀況

本工程北側臨接基隆河流域沿線地層經依據各階段之鑽探及試驗之結果分析，地層顆粒較細之粉土及粘土，主要係由基

隆河流域沖積而成。在機場範圍內之地層成粘土與砂土交互出現，在約 32~46 公尺厚之粉質粘土質，其 N 值在 2~7 之間，屬軟弱地層，地下水位在地表下約 1.5~3 公尺。圖四 為工程土壤分佈之縱斷面示意圖，而表一 為本工程土壤性質資料。

四、初步規劃

4.1 規劃原則

本工程規劃係依下列之原則辦理：

- (1) 提供跨越松山機場之直通路徑，提高市區與郊區來往交通之運輸效率。
- (2) 利用現有計畫道路用地，避免辦理都市計畫變更。
- (3) 根據交通需求之預測，考量環境實質之發展，研擬合理之路線及道路斷面型式。
- (4) 儘量避免破壞計畫範圍內既有主要排水幹線。
- (5) 配合鄰近地區建設計畫。
- (6) 考量工程費之經濟性及施工之可行性。

4.2 規劃方案

本工程初步之規劃分有短期及長期兩個方案，茲分別說明於後(各方案示於圖五所示)。

4.2.1 短期規劃方案

初步規劃所研擬之短期方案係將機場西側之濱江街 180 巷依都市計畫拓寬為 16 公尺寬，並配合機場飛航管制線之限制，將面對跑道範圍採取地下化通運

，以供汽、機車行駛。

4.2.2 長期規劃方案

初步規劃所研擬之長期方案有跨越松山機場及跨越基隆河兩個方案，茲就該兩方案說明如下：

- (1) 跨越松山機場地下道方案一本案分為下列兩案：

- (a) 甲案：甲案係沿復興北路以地下道跨越民族東路及機場後至濱江街口連接大直橋，地下道採雙向共四車道佈設。地下道長 854 公尺，其中跨越機場部份長 519 公尺。南端復興北路之引道長 110 公尺，北端濱江街之引道長 73 公尺，全長為 1,037 公尺。

- (b) 乙案：乙案之地下道及引道部份與甲案大致相同，惟將大直橋改建為雙向六車道(原為四車道)。

- (2) 跨越基隆河地下道方案

本方案係將濱江街 180 巷變更都市計畫拓寬為 30 公尺，四車道跨越濱江街中山高速公路及基隆河至北安路爬升至地面。

4.3 定案之規劃

本案之長期規劃方案，經比較後採甲案跨越松山機場之方案，因其路線最為直接，工程費最少，效益最高，路線最短，且可不必要變更都市計畫。該方案中以乙案為佳，因此案一併將大直橋改建為六車道可增加交通容量，改善壅塞現象。為維持交通施工中對機場之營運，在地下道跨越民族東路機場跑道及滯行道部份係採管幕(Pipe Roof)工法施工，而其他部份則採用挖覆

蓋工法以節省工程費用。經概估其工程費約為台幣 40 億元，計包含下列三工程標，原規劃預估工期為二十八個月。

- (1) 土木標（民族東路～濱江街，蔴引道採用變更後之修正方案，並於 2002.10.15 動工）合約金額約 38 億元。
- (2) 機電標合約金額 6 仟 6 佰萬元（2000.2.10 發包開工，完工期限為建築土木完工後 90 天）。
- (3) 淨空標：預算 9 仟 9 百萬元，配合土木標工程進度預定 93 年 12 月發包

五、原細部規劃

5.1 規劃內容

在 1991 年進行設計時，因復興北路已建在中運量捷運系統高架路線，該路線將跨越松山機場及基隆河至大直橋延伸至內湖，其中在部份路線須與本計畫之車行地下道共構。因此原初步規劃之方案必須予以配合修正，且其大直橋改建部份因須配合大台北地區防洪計畫而將橋面提高，但提高後，隨之而提高之引道上方在中山高速公路跨越，其淨空將會不足，因此而決定大直橋改建暫緩辦理，即先參照原跨越機場地下道之方案予以修正。經修正後將本工程之路線分下列三段說明：

- (1) 捷運共構段(0k+000~0k+445)－本路段原規劃上層供捷運系統車輛行駛，下層為雙向四線車行地下道，供汽車行駛。本路段必須跨越民族東路。民族東路段設有三孔之排水箱涵，雙層之地下道必須以 7.00% 之坡度下降經過該排水箱涵之下方。因此地下道之深

度必須深至地庫下 20 公尺，捷運路線在本段以北即向東偏移跨越機場；再跨越基隆河。

- (2) 跨越機場部份(0k+445~0k+964)－本路段地下道全線為雙向共四線快車道，淨寬 20 公尺，淨高 5 公尺。其縱坡在通過民族東路後即以 2.98% ~ 0.50% 之坡度爬升，至跨越跑道在以 7.00% 之坡度爬升至機場北側。
- (3) 機場北側引道(0k+964~1k+037)－地下道在通過機場北側後即以 7.00% 之坡度爬升至地庫於濱江街口與大直橋引道連接。

5.2 施工方法之研究

本工程在辦理細部規劃時，因考量在機場內施工，若採用挖可能造成對飛行安全之影響，而必須採非開挖之方式。然在台北盆地的軟弱地層中施築地下隧道而期望減少沉降，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，隧道結構體頂面距離滑道面最淺處僅約 4~5 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降控制的要求。因此所選擇的工法必須先對土體予以鞏固及保護，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，以減少沉降發生的機會。

因此本車行道工程因應在機場內軟弱地質施工因素，乃採管幕隧道施工法施工。至於跨越跑道及滑行道因管幕工法在施工階段地庫沉降量較大，無法符合機場主管單位對其沉降量控制之要求，再行研究

。茲就一般地下隧道之施工法之研究之說明如下：

- (1) 冰凍工法—因工程現址之地層屬黏土層，解凍時將造成地層泥濘，破壞跑道及滑行道。
- (2) 潛盾工法—因地下道最少須容納兩車道，必須在 11 公尺之直徑，一般而言採潛盾工法，其覆土厚度須在跑道直徑之一倍半，即 16.5 公尺。本工程因路線縱坡之限制，不可行。
- (3) 新奧工法(NATM)—本工法係於開挖時再視狀況打設地錨或支撐，本工程工址地層非常軟弱，採用此法非常危險。
- (4) 管幕工法(PIPE ROOF)—本工法施工階段之地面沉降量仍大，無法符合跑道及滑行道之安全要求。
- (5) 一般結構體推進工法—本工程地下道斷面極大，長度亦長，在穿越跑道部份為 100 公尺，滑行道部份為 80 公尺。推力過大，且地質軟弱無法設反立牆，而不適合於本工程。
- (6) 無限自走結構體推進工法(Endless Self Advancing Method)—本工程無須反力座，再配合管幕之保護，且先推進結構體再挖可控制沉降量至最小，可適用於本工程。

六、設計

面對本工程技術層如此高的工程，本公司的首要工作是在技術層面選定最適當的施工方案並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設計選擇加以說明，並另節說明因應此項高難度施工之緊急策略。

6.1 設計內容概述

依據前章之規劃方案，本工程之範疇包括薩引道捷淨共構段及穿越松山機場地下道(含北引道)段兩部份。

本工程原規劃薩端復興北路共構段 445 公尺(包含薩端引道長 110 公尺)，穿越機場段全長 592 公尺，其中包括地下道長度 519 公尺，北端引道 73 公尺。全線以雙向各兩車道佈設，每一車道寬為 3.5 公尺，並在薩端民族東路口北側機場外設通風、排水之機房，配電室及控制室。本章茲就穿越松山機場地下道部份之設計說明於以下各節。

6.2 設計準則

本工程之設計除一般之道路設計準則外並須考量機場營運之飛航安全問題。設計時係依下列準則之相關規定及飛航主管單位討論之結果辦理。

- (1) 「公路路線設計規範」，1986 年 12 月
- (2) 「台北市區道路工程設計準則」，1980 年 4 月
- (3) 「飛航安全標準及航空站、飛機場、四胎設備四胎禁止，限制建築辦法」，1986 年 9 月
- (4) 「民航機場土木設施設計標準規範」，1987 年 9 月
- (5) 穿越跑道及滑行道部份地下道上方考量波音 747-400B 全貨櫃機種之載重。

(6) 跑、滑道施工期間之最大沉降量為 2.5 公分。

6.3 地下道縱剖面及橫斷面配置

本工程自與原規劃共構段相接之 0k+445 起，以 7.0% 之坡度降至 0k+460 後，再以 3.39% 之坡度爬升至跑道南側之 0k+733 處。此後再以 1.00% 爬升，到達跑道北側之 0k+871，跨越跑道後再以 7.75% 之爬升出地面在 1k+037 與濱江街口相接。本工程地下道全長 519 公尺，其中有 505 公尺在機場範疇內。其縱剖面詳如圖六所示。本工程南端因須跨越民族東路既有之排水箱涵，又與捷運路線共構之後，其道面深達 21.37 公尺，而其在跨越跑道部份則因銜接濱江街地面之關係，其道路深只有 11.64 公尺，其地面上之覆蓋土層只有 5.24 公尺。

本工程地下道南、北兩端引道部份之都計畫道路分別為 30 及 40 公尺寬，尤其是南端之復興北路與民族東路相接，必須在兩側留有車道以供車輛行駛，可供設置引道之路寬有限，只能容納四個車道，其引道部份之斷面設計如圖七所示，中間設有 1.5 公尺寬之分隔島，兩側各有兩個 3.5 公尺寬之車道，外側並各有 1.0 公尺寬之維修步道。引道兩側之地面各設有 4.0 公尺寬之平面道及 3.0 公尺寬之人行道。

本工程地下道因受覆土深度之限制並配合引道之寬度而設計為以雙孔混凝土箱涵，其斷面設計如圖二所示，在箱涵中間設有一道 1.0 公尺寬之隔牆。除車道外，並於兩側各設有 1.0 公尺寬之維修步道及 1.0 公尺寬之邊坡管道。箱涵結構內部之

高度為 5.3 公尺，道面鋪設瀝青混凝土之厚度為 5.0 公尺。道面以 1.5% 之坡度斜向為排水之須，兩側在維修步道設排水溝，並在 0k+470 及 0k+930 之處各設抽水一處，將流入道面之雨水及清洗水集入後抽至地面排放。

6.4 假設工程之設計

6.4.1 工作井之設計

本工程為考量跨越跑道及滑行道部份施工中之沉降量限制而採用無限自走結構推進工法，該工法雖可無限自走，但因考量本工程須跨越營運中之跑、滑道，為確保飛航安全故規劃配合管幕施工保護，而管幕之推設卻有其限制，規劃設計當時(1991 年)已知最長之管幕推進為 135 公尺。因此考量管幕施工之難度，工作井間之距離以跨越 60 公尺算跑道部份，兩側工作井距跑道邊線外 20 公尺，其推進距離 100 公尺為最長，並配合縱剖面之坡度及施工設備材料之運送，共設置三個工作井，其配置如圖六所示。

三個工作井中設於 0k+445~485 之 A 工作井，為 A~B 段管幕及結構體推進之發進井，其深度為 26.5 公尺，寬 28 公尺，長 40 公尺(A 工作井亦為滑行道區採涵體無限自走推進工法之出發井)，B 工作井設置於 0k+564~576 為 B~C 段推管之發進坑並兼為 A~B 段段推管之到達坑，其長為 12 公尺，寬為 28 公尺，開挖深 23.6 公尺。C 工作井設置於 0k+656~668 處為 C~D 段管幕推進之發進井坑，兼為 B~C 段之到達坑，其長寬與 B 井相同，開挖深度則為 19.0 公尺。設置於 0k+742~747 之

D 工作井為 C~D 段及 E~D 段之到達坑，其長 5.0 公尺，寬 28 公尺，深 16.0 公尺。設置於 0k+847~963 之 E 工作井中為 E~D 段管幕之涵體無限自走推進之發進坑，其寬度為 28.0 公尺，開挖深度 14.5 公尺，本工作井因避免在推進工作時影響機場營運而將其入口設置於機場範圍外，故其長度達 116 公尺之多。

前述之三個工作井只能在夜間機場關閉時施工，該段時間自夜間十一點至上午正時止，只有六個小時，因此在擋土結構採用之施工法必須能在機場營運之時段中將機械淨走，經考量結果以摻土排樁連續壁(SMW)工法，可在六個小時內至少完成一個單元最為適合。但 A、B 及 C 個工作井則其開挖深度較深，擋土結構採用 SMW 工法單元施工深度無法滿足開挖之全需求，經研議後而採用 150 公分直徑之全套管鑽掘切削式場鑄混凝土樁(SecanPile)，擋土結構單元施工深度可較深，其在 A 工作井雖亦無法完全滿足開挖之全需求，但可以配合工作井土質改良克服，而在本工程另一優勢—雖在機場關閉時間完成一個單元，但其施工區在跑道清除區之外停工時可將搖管機暫時留置，且鏢管配合留置土中可保護土壁不致崩塌，影響淨行道安全。工作井 D 及 E 則因其開挖深度較淺而採用 SMW 擋土結構並配合井內土質改良即可滿足開挖之全需求。(各工作井資料詳表二所示)

另一設計重點為本工程所在工作井之擋土結構施工後，即以鏢樁蓋板蓋覆，該蓋板需能承受飛機淨道之載重。工作完成之後即自南兩端施工，除必要之夜間

量測作業外，施工人員及機械不再進入機場之地面，亦即不再影響機場之營運。

6.4.2 管幕

本工程地下道穿越淨行道之 A~B 段及穿越跑道之 D~E 段須先行推設管幕保護再推設預鑄鏢筋混凝土箱涵結構。淨行道及跑道間之 B~C 及 C~D 段則利用管幕直接支撐開挖，亦即全部地下道除工作井部份外皆須推設管幕。管幕工法係沿著開挖斷面的外圍先佈設由鏢管所構築具有連續性且與地下結構物外形相吻合之橢圓形構造物。一般採用管幕施工之開口之「U」字形，較易施作，但本工程因地處相當軟弱地盤，為達開挖保護作用，經研議後本工程規劃採用閉合之「口」字形管幕，以確保施工安全，對施工品質要求相對提高，本工程為世上少數完成閉合「口」字形工程案例之一。

本工程之管幕推設共有四段，其長度分別為 82.5，82，77 及 103.5 公尺，管徑皆為 81cm(四區段管幕工程基本資料詳表三所示)。施工時係先推設平行相接之鏢管，使成圖八所示之狀況，其相鄰之鏢管皆以平行之接樁連接。管幕推設完成後，如採直接支撐開挖之方式，則按圖八所示之步驟施工，於開挖完成架設模板澆築涵體之混凝土。

6.4.3 涵體結構

本工程穿越淨行道及跑道部份地下道採用無限自走涵體結構推進工法。該工法係以爬蟲爬行之原理，在發進坑分段預鑄涵體(每塊涵體 10 公尺)，在前端打設分格之鏢製開口，並在各段涵體之間架設千

斤頂，以涵體之自重與地面之摩擦，分段將涵體推進，有關無限自走涵體結構推進工法將予節錄。

6.5 安全監測系統

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、隧道開挖時空收斂、ESA 隧道推進開挖的安全監控等。

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 1641 個，及自動測讀的測點包括水位計、水壓計、桿式伸縮儀、變位計、擋土壁傾斜計、支撐橫擋及管幕應變計、管幕連續管式沉陷計、結構物傾斜計等 1025 個。(詳圖 1)

上述測點的觀測資訊除跑滑道道面沉陷或無法設置自動監測儀器須利用夜間機場暫停使用時，以人工量測外，餘者皆利用一套自動監測系統，至少每 30 分鐘自動擷取監測儀器讀取資料，配合該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。(詳圖 1)

七、涵體無限自走工法

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鍍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。(如圖 11 所示)
- (2) 在管幕內以高剛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鍍管分割為多個小開挖面(如圖 12 所示)，以控制每次掘進的量體，減少沉陷量。

本工程經謹慎考慮而採用無限自走推進工法。此工法不侷限於明挖覆蓋工法的是，施工時地面上之設施不用遷移、活動不用停止，在覆土層較淺之場地也可施工的

可能性，且不需要傳統之支撐及回填作業。ESA 工法亦不侷限於傳統隧道開挖工法的是因其較能以穩定的條件下施作，品質管理也較容易。若與潛盾工法比較，ESA 工法不需要大規模設備，然需至少可容納 3 個涵體節塊尺寸之工作井空間(本工程渥行道 ESA 發進井 A 工作井之至少空間尺寸即依此原則配置)。另，由於此工法需在開挖面完全開放的狀況下進行開挖作業，其開挖面土壤之心須有相當之穩定自立性，在本工程軟弱的土層及地下水位高的情形下，則以土質改良方式，以達到分隔小斷面開放時開挖面之自立穩定性要求。

本工程規劃於主跑道及渥行道區段下方採辦 ESA 工法，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(ESA 各類千斤頂之功能及架設位置一覽表詳表四，配置示意圖詳圖十三所示)，以節塊與地表之間的摩擦力提供反力，配合前方的鏟線拉力，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，其導引節塊前進的鏟力由 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。以下就此部分工法作業做一說明。

所謂無限自走推進工法(ESA 工法)，是將開口及 3 個以上之預鑄結構物、箱涵等地下結構物以 PC 鏟線連結，採取一邊開挖一邊利用千斤頂將結構物推進，使其到

達所定位置之工法。圖十四為 3 個涵體前進方法之說明；圖十五為跑道段 ESA 施工步驟之示意圖說明。

八、發包策略

本工程的發包分為土木、機電及通風三個部份，其中土木標區薩引道部份與捷運木柵延伸線共構，故再區分為薩引道段及機場段兩標發包。機場段為本工程專項項目，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。共同承攬團隊須具備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。招標作業採取兩階段進行，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，其中大陸公司所占比例為 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(日本 ESA 工法施工較具規模實績彙整如表五所示)，屬特殊的專利工法，在國內則為首次應辦。為避免採辦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。

九、本工程南引道之變更設計

本工程南引道部分原規劃上層供捷運系統木柵(內湖)延伸線車輛行駛，下層為雙車道線車行地下道，供汽車行駛。捷運木柵(內湖)延伸線路線在本段以北即由東偏移穿越機場，但捷運系統之原規劃路線在 1998 年經調整後，在復興北路在復興北路口東轉延機場側通至台北車站前設站，再由北穿越機場轉回原路線。且因居民反對民族東路口以南設置引道，經民航局與台北車站主管單位同意將引道口改設於機場範圍內，原共構之條件已消失。因此至 2002 年 4 月定案，將南引道入口移至復興北路與民族東路口以北之方案(如圖十六所示)。

本工程之變更方案經確認後即進行變更設計，將原規劃之南引道共構段 0k~0k+445 併入機場段，且機場段部分完成之工程區段 0k+445~0k+656(即 A~C 工作區段，詳圖一或圖十七所示)需配合南端入口位置改變、線形變更而須廢棄。本工程地下道穿越機場部分修正為 604 公尺，北引道銜接大直橋約 73 公尺，全長修正為 677 公尺。

原設計穿越機場淨行道段採 ESA 推進工法，亦因線形變更後，已推管完成之管幕阻礙及覆土因素，無法再採用。而必須採傳統開挖覆蓋工法，以分階段臨時遷移淨行道之方式克服並排除原已完成之管幕阻礙(施工規劃順序示意圖詳圖十七及圖十八所示)，整體工期因此須大幅展延至 2006 年 10 月通車。本工程因此延期

達 5 年之久，為始料所未及的，而整體工期延誤之經濟效益影響，實無法就工程變更整體節省金額因素所可以比擬。

十、本工程跑道區施工狀況概述

1. A~E 工作區擋土結構施作：1997 年 3 月~1998 年 3 月
2. 管幕推管(A~E 工作區開挖支撐配合管幕)：1998 年 12 月~2000 年 6 月計推管累計總米數 27738m
3. 管幕傳統隧道段開挖與跑道區 ESA 涵體節塊構築：2000 年 6 月~2001 年 11 月
4. 跑道區 ESA 推進導坑開挖：2001 年 11 月~2002 年 3 月
5. 跑道區 ESA 推進前準備(最後節塊構築)與試推：2002 年 3 月~2002 年 7 月
6. 跑道區 ESA 推進施工(101m)與試推：2002 年 7 月初~2002 年 10 月底
7. 跑道區 ESA 涵體最終緊拉及設備拆除：2002 年 11 月初~2002 年 12 月底
8. 跑道區 ESA 結構涵體間防水處理及管幕回填：2002 年 12 月底~2003 年 3 月初
9. E 工作區結構體、北引道施工、機房構築：2002 年 3 月底~2004 年 3 月初
10. C 工作區以南變更設計與施工：2002 年 4 月底~2006 年 10 月底

十一、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，在本立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，在本立的案例中主要是選擇一個具備相應能力的營造廠商。本工程因對台北地區南北交通影響極大，完工後可疏解士林、北投、大直、內湖等地區來往中心區之交通，極具興建之必要，因此主管單位極力推動。然本工程受到各種條件之限制，在規劃設計時皆須考量施工中松山機場之營運，飛航之安全以及相關建施，包括捷運系統路線及排水系統等，且松山機場因台灣當地主要機場，航機起降頻繁，施工受到嚴重之限制。因機場主管單位與工程主管單位之立場不同，設計時費時多年協調始達成共識，因此自細部規劃始至設計完成費時長達二年之久。

本工程為控制施工中跑道及滑行道之沉降量以配合飛航之安全，而在穿越跑道及滑行道部份採用技術難度極高之箱涵推進工法，並為儘量縮短施工中對機場營運之時間及考量明挖在單一航機失事溜出跑、滑道時之危險性。跑、滑道以外部分則採管幕工法。該兩件施工費率皆高，因此造成工程費之增加，平均其每平方公尺之地下道之工程費約為新台幣二十三萬八千元之多。

本工程因施工技術難度極高，不容有任何失誤，且其中涵體無限自走推進工法屬專利工法，在採用時，因台灣之發包制

度及觀念之問題，實施甚為困難。雖然本工程已設計完成並釐清發包制度之疑點順利發包開工，並於 2002 年 11 月完成跑道區段之貫通，但日後相關牽涉專利工法之引用與實施，主辦機關仍應建立一套標準，免類似困擾再發生。而綜觀本工程的全部過程就是一個全面品質保證的作業，在本立的案例中已充分體現，希望藉此提供其他類似工程的參考。

至於能引道結構段之重大變更雖肇因諸多決策因素，唯整體工期延誤之經濟效益影響，實無法就工程變更整體節省金額之彙所可以比擬。

參考文獻

臺北市政府工務局新建工程處(民國 85 年 5 月)，「復興北路跨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)，「復興北路跨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)，「復興北路跨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)，「復興北路跨越松山機場地下道工程安全管理系統計劃書」，pp1-pp23。

熊谷鎰，“台北復興北路跨越松山機場地下道工程之規劃與設計”，福州大學兩岸工程技術研討會，民國 86 年。

陳欽銘、陳立慶、黃煥章、吳定悉、黃俊韋，“台北復興北路松山機場跨越段施工安全監測”，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。

莫茗樺、熊谷鎰、黃煥章、黃蔭輝，“UNDERPASS BENEATH TAIPEI INTERNATIONAL AIRPORT”，亞洲理工學院工程研討會，民國 89 年 5 月。

亞新工程顧問股份有限公司(民國 92 年 3 月)，“無限自走推進工法施工報告”。

表一 本工程土壤性質一覽表

深度	土壤分類	N (blows)	γ_t (Kn/m ³)	ω_n (%)	ω_l (%)	I _p (%)	c' (kPa)	ϕ' (deg)	Su (kPa)	備註
I. 里程0K+450至0K+740										
0~3	CL	4	18.2	28	28	8	0	33.5	26	
3~8	SM	7	19.2	28			0	32		
8~24	CL	4	18.6	34	34	10	0	32.5	38	
24~41	CL	8	19.0	29	29	9	0	33	70	
41~56	CL	17	20.0	23	30	10	0	34	128	
56~60	CL	>50	19.0	25			0	34		
II. 里程0K+740至1K+200										
0~9	CL	4	18.5	31	32	12	0	31.5	28	
9~13	ML	2	18.9	31			0	32		
13~22	CL	3	18.5	34	35	12	0	33	39	
22~32	CL	6	19.0	32	33	12	0	33	60	
32~34	ML	11	19.2	24			0	33		
34~40	CL	13	19.6	26	26	8	0	33.5	87	

表二 各工作井工程基本資料

項目	長 (m)	寬 (m)	深 (m)	擋土措施	擋土樁尺寸
工作井 A	40	28	26.5	連續式場鑄混凝土排樁	φ 150cm×37.5m 長
工作井 B	12	28	22.0	連續式場鑄混凝土排樁	φ 150cm×36m 長
工作井 C	12	28	18.0	連續式場鑄混凝土排樁	φ 150cm×32m 長
工作井 D	5	28	16.0	SMW 摻土排樁擋土牆	φ 60cm×22~24m 長
工作井 E(A區)	12	28	16.5	SMW 摻土排樁擋土牆管 象推進區	φ 60cm×22~24m 長
工作井 E(B區)	90	26	13.4	SMW 摻土排樁擋土牆 ESA 推進區	φ 60cm×22~24m 長
工作井 E(C區)	14	28	13.8	SMW 摻土排樁擋土牆人 員、機具、材料出入區	φ 60cm×22~24m 長

表三 四區段管線工程基本資料

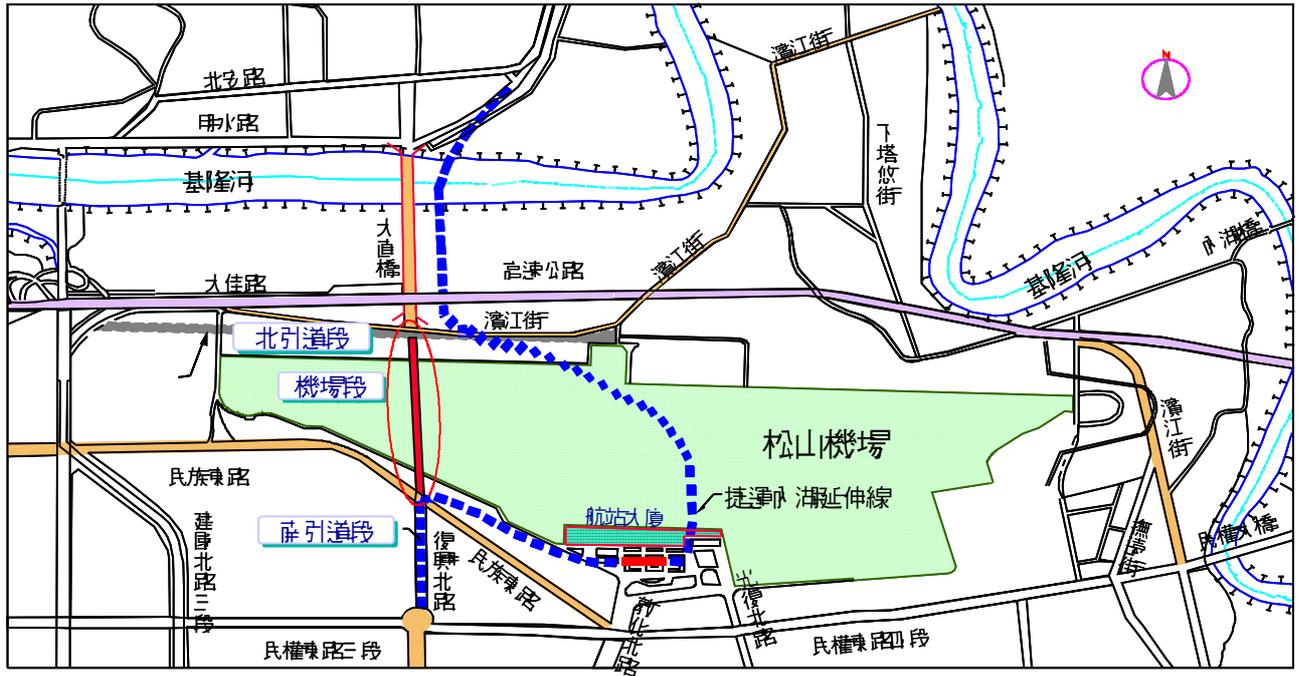
區段	長度 (m)	位置	施工方式	
			原設計	變更設計
A~B 段	82.5	跨越人行道上 16m~13m	管線工法(PR, 共 84 支 鋼管) + 結構體無限自走工法(ESA) 分成 8 個節塊推進	管線工程(已完 成), 惟施工方式改 為擋土連續排樁及 覆蓋逆築工法。
B~C 段	82.0	覆土下方 13m~8.5m	管線工法(PR)共 84 支 鋼管+ 傳統隧道支撐開挖工法	
C~D 段	77.0	覆土下方 8.5m~6m	管線工法(PR)共 84 支 鋼管+ 傳統隧道支撐開挖工法	管線工程及隧道開 挖完成。
D~E 段	101.5 及 103.5	跨越跑道下方 6m~5m	管線工法(PR, 共 72 支 鋼管) + 結構體無限自走工法(ESA) 分成 10 個節塊推進	全部完成

表四 ESA 各類千斤頂之功能及架設位置一覽表

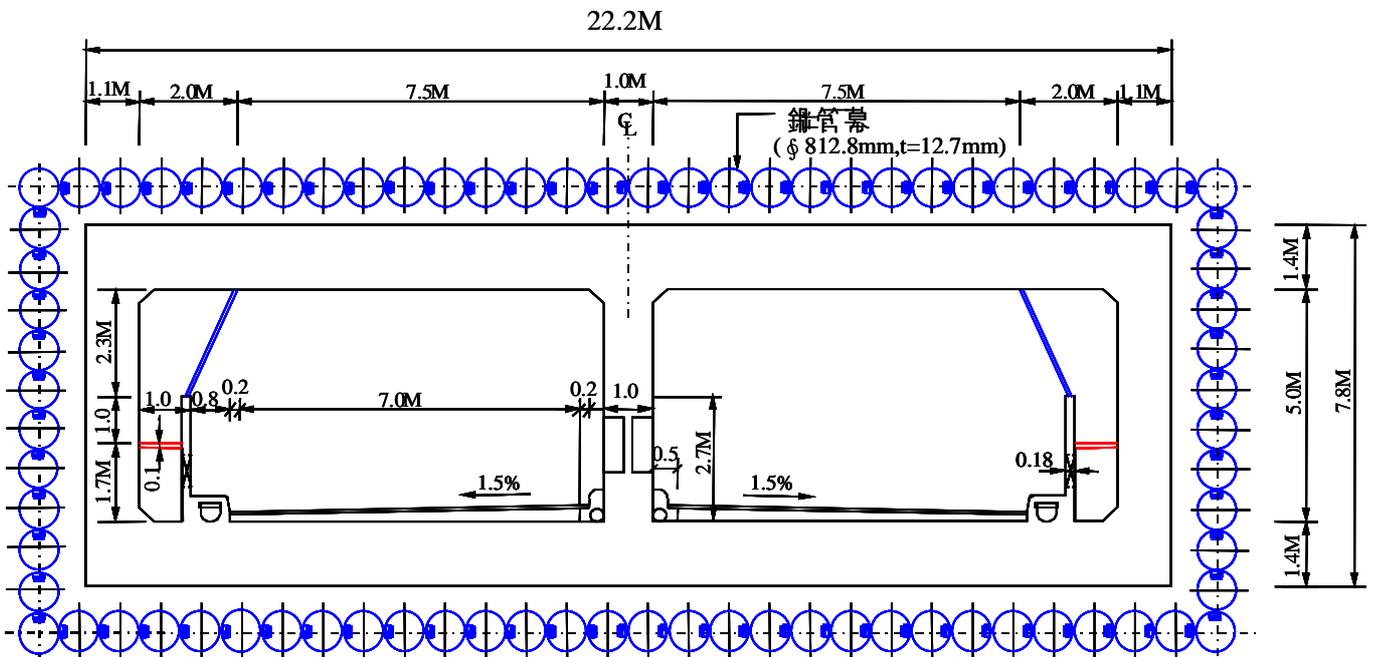
千斤頂種類	位置	功能	推進力	數量	伸長量(cm)
1. 壓退式	洞口前瑞	開挖完成封閉後, 支撐開挖面。	30T	92	40
2. 固定式	第 1~2 涵體間	第 1 塊涵體前進之推測。	150T	60	50
3. 機械式	第 2~8 涵體間	第 2~7 塊涵體前進傳遞冊之反測。	傳遞冊	80×7	50
4. 移動式台車	第 2~8 涵體間	第 2~8 塊涵體前進之推測。	150T	60	—
5. AS 千斤頂 (防衝擊式)	第 9~10 涵體間	1. 第 9 塊涵體前進之推測。 2. 第 10 塊涵體 ESA 千斤頂推測 時, 減緩涵體之衝擊測。	150T	46	50
6. ESA 千斤頂	第 10 涵體後部	1. 第 9 塊涵體推測時之反測。 2. 第 10 塊涵體推測之推測。	150T	44	85

表11 ESA工法施工較具規模者実績表

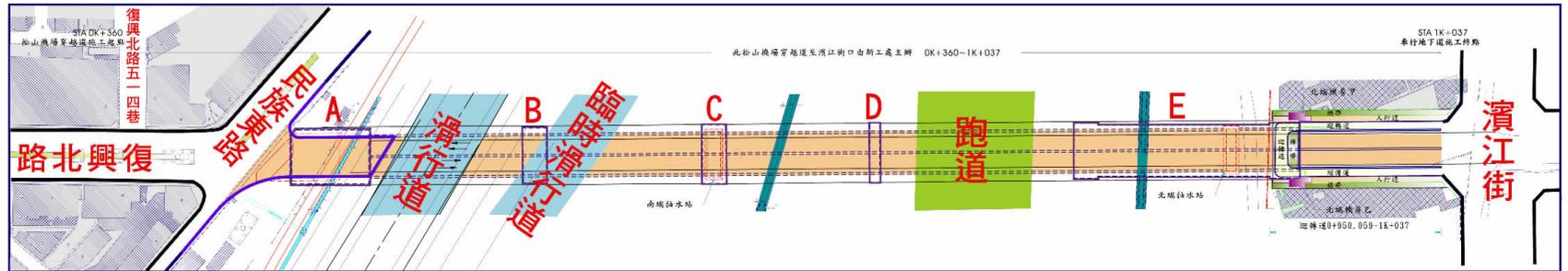
NO.	業主	工程名称 工程地点	用途	涵管形状尺寸 宽*高*长(m)	涵管 分割数	覆土深 (m)	土質	跨越 地点	保護工法 施工業者
1	長野縣長野市 國道長野鐵道管理局	信越線長野車站 東西自由通路新設工事	歩道	7.48*5.20*133.50	10	RL-3.0	粘土層 卵石砂礫	鐵路	管幕φ914.4mm 佐藤工業
2	福島縣郡山市 JR先台工事事務所	郡山車站 大町横塚線BV 東北本線郡山車站(東)	歩車 道	27.50*7.85*42.00	5	RL-2.1	粘土 砂礫、沉泥	鐵路	管幕φ609.6mm 大成建設
3	福島縣郡山市 JR先台工事事務所	郡山車站 大町横塚線BV 東北本線郡山車站(西)	歩車 道	27.50*7.85*37.35	4	RL-1.6	粘土 砂礫、沉泥	鐵路	管幕φ609.6mm 大成建設
4	日本道路公團 大阪建設局	阪和公路道 信太山隧道	高速 道路	26.60*8.30*156.0	13	GL -4.0~7.0	粘土 性混砂 礫	道路	管幕φ812.8mm 鹿島、竹中JV
5	新東京國際空港公團	成田新空港沿公路横斷	鐵道	12.02*7.60*87.50	9	GL-10.1	細砂	道路	管幕φ809.6mm 大成、奥村、東急JV
6	奈良縣道路公社	第2版奈良料道路 寶來隧道	車道	21.6*7.80*279.50	21	GL -2.7~8.4	粘土、砂、 砂礫	鐵路	大成、浅沼急JV 大日本、乍作JV
7	大阪市 JR西日本	東海道本線東淀川~吹田間 大阪市道屋敷新莊線	歩車 道	25.5*9.00*82.00	6	RL-3.8 FL-3.2	粘性土、砂 土	鐵路	管幕φ812.8mm 竹中土木、大鐵工業
8	長野縣 JR東日本、上信工	信越線長野車站 新上瀬戸道橋	歩車 道	24.9*7.45*41.00	5	RL -0.9~8.4	卵石混砂礫	鐵路	箱型管幕φ812.8mm 鐵建建設



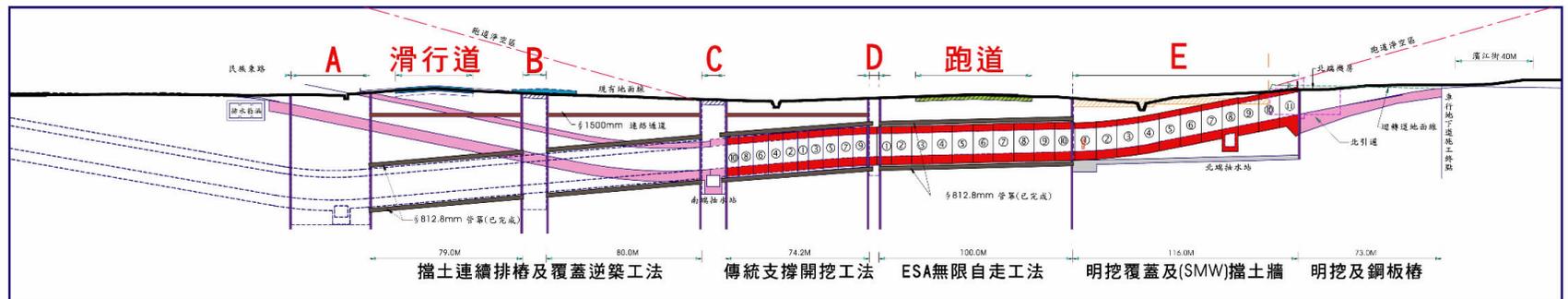
圖一 本工程位置示意圖



圖二 本工程隧道斷面示意圖

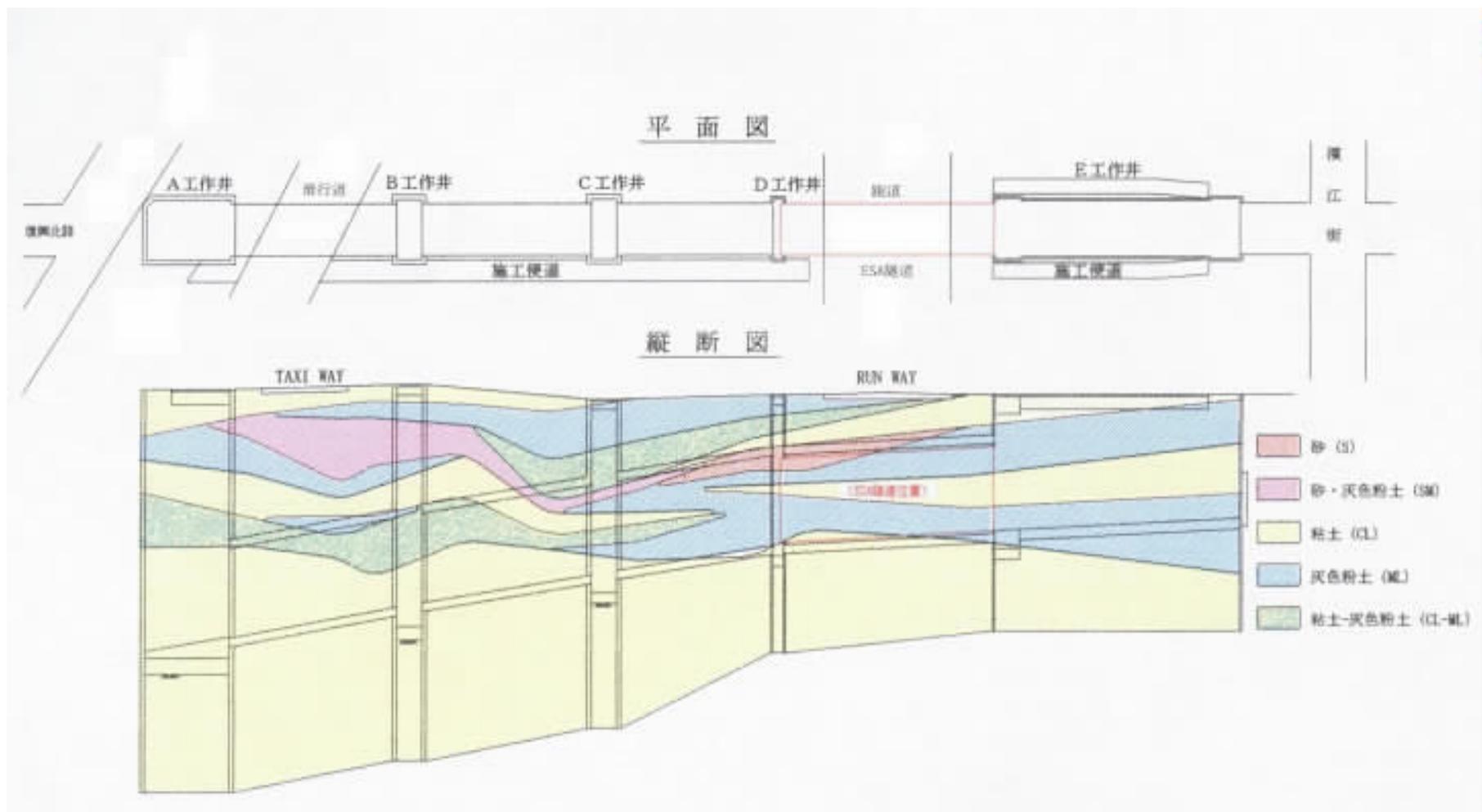


地下道平面圖

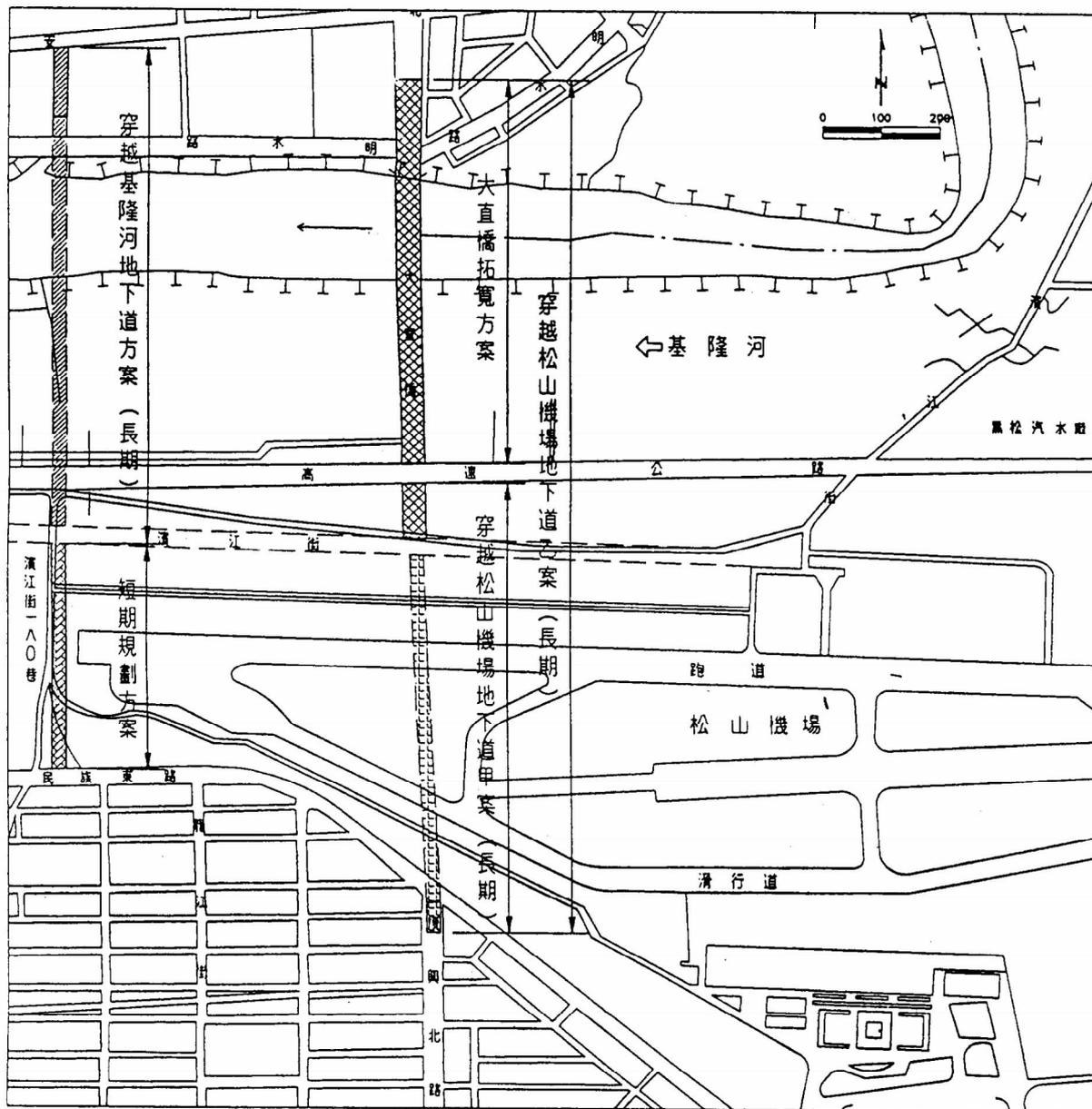


地下道斷面圖

圖三 本工程平剖面示意圖



圖四 本工程地質分佈剖面示意圖



圖二 本工程初步規劃方案示意圖

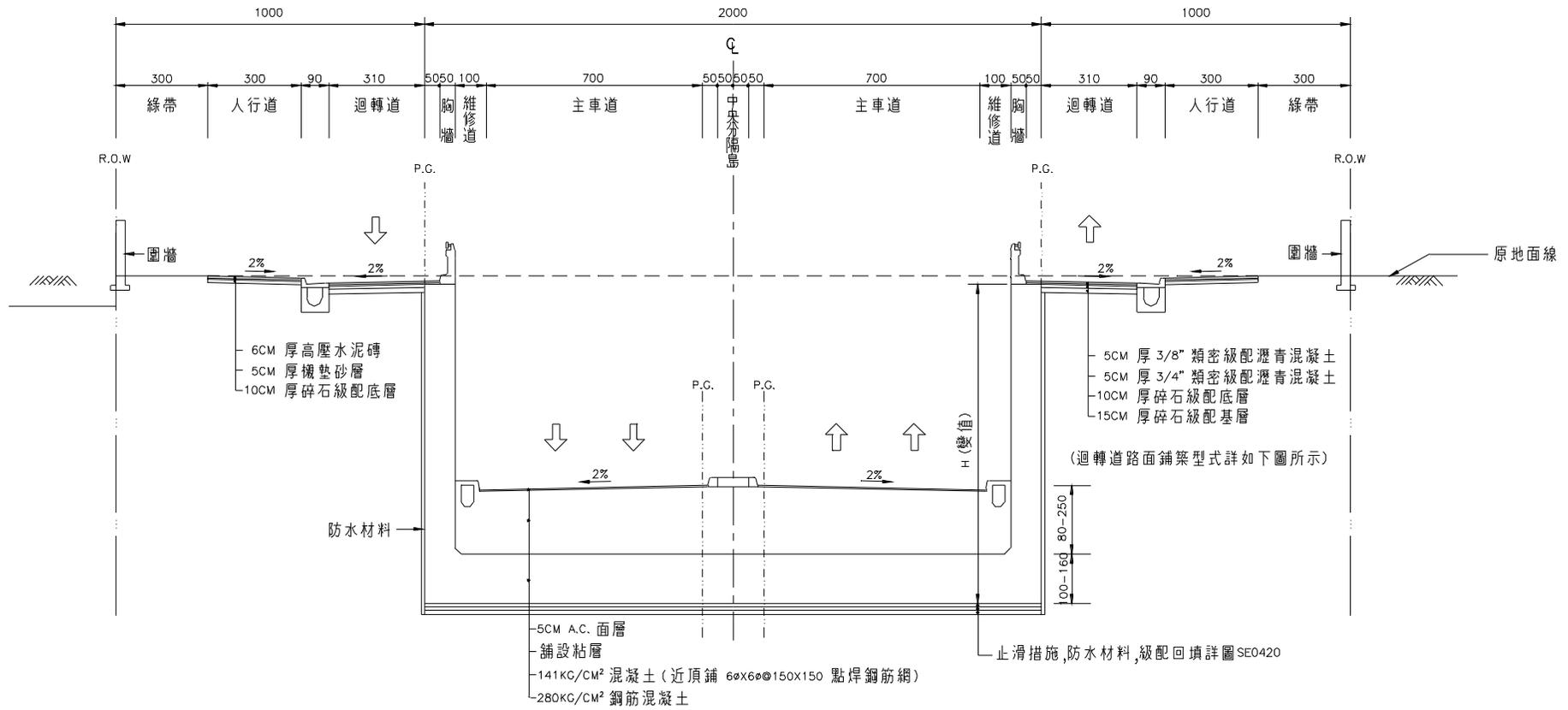
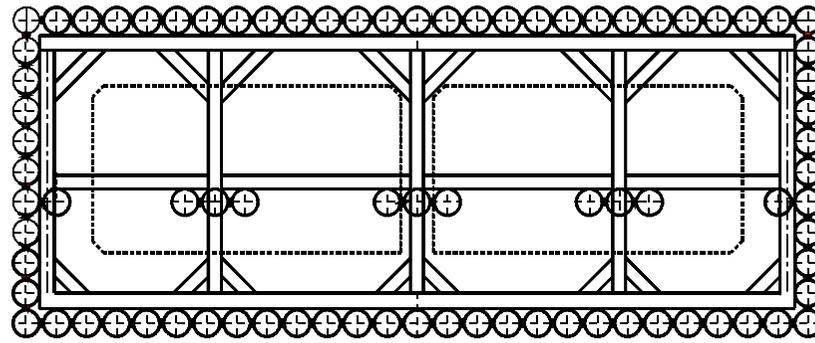
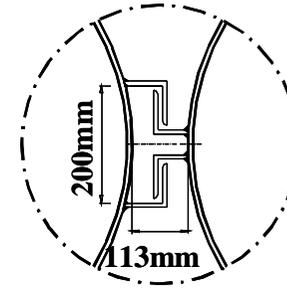


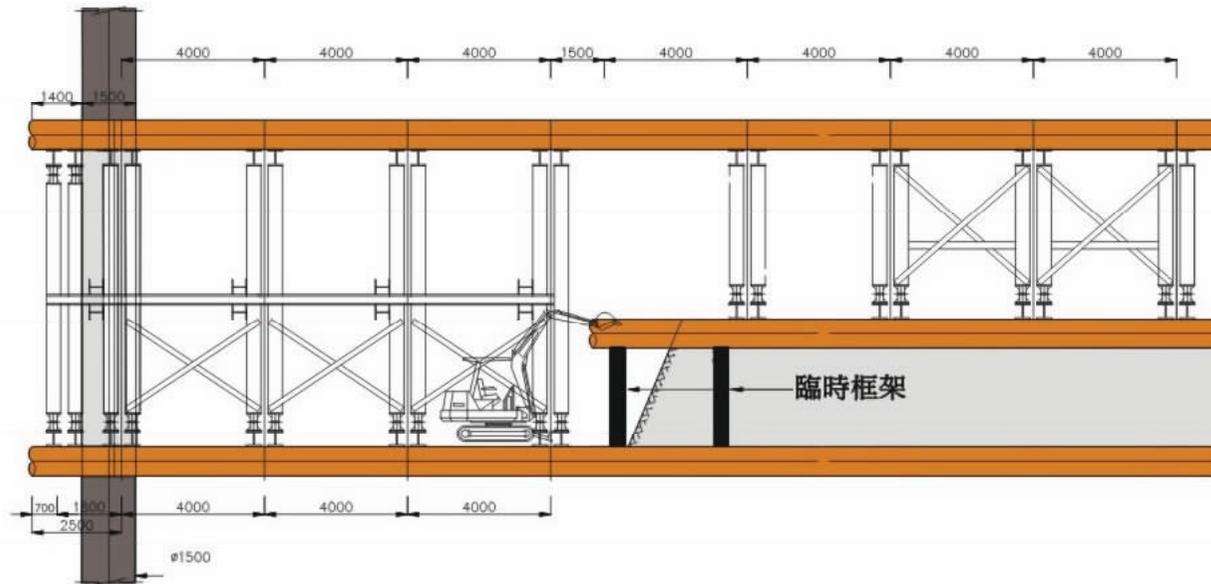
圖 1 本工程原規劃引道橫斷面示意圖



橫斷面



鋼管接頭



圖八 本工程管幕佈設配置及傳統開挖方式示意圖(一)



本工程管幕傳統開挖段施工

圖八 本工程管幕佈設配置及傳統開挖方式示意圖(二)

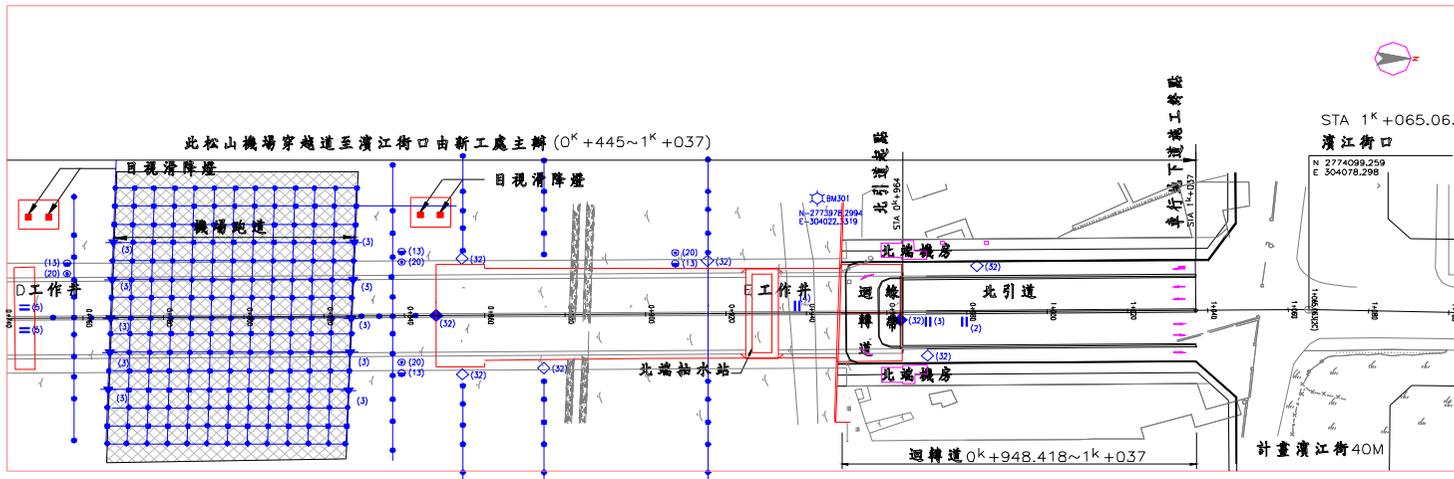
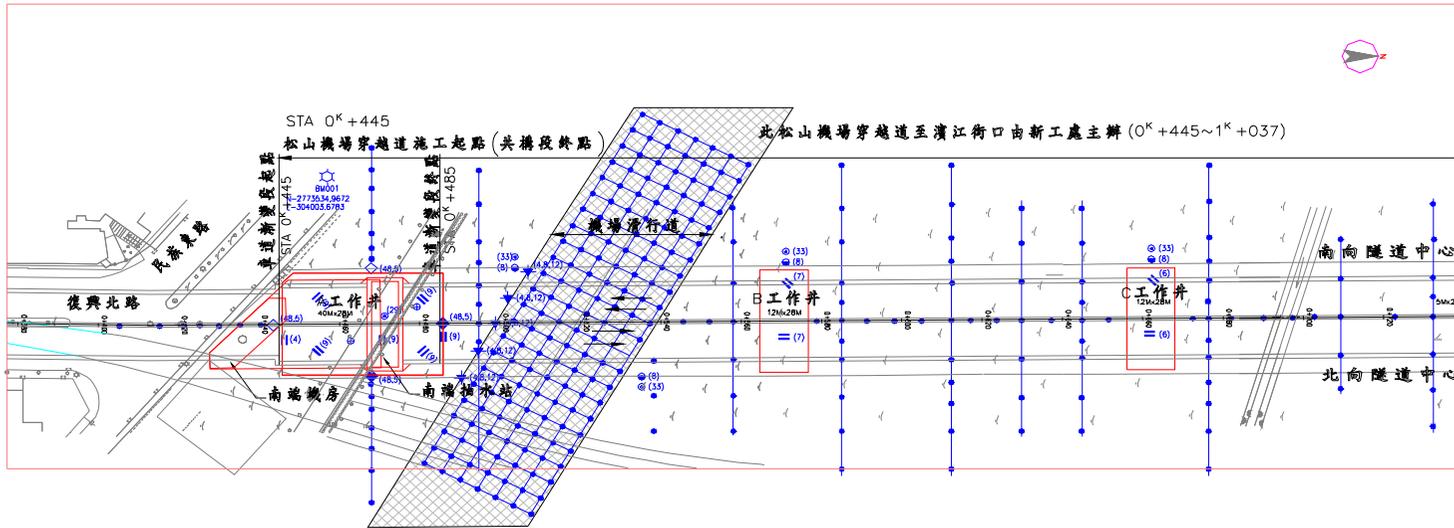


圖1 本工程安全監測配置示意圖

**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**

1998/05/27
16:34:53

系統啟動

SM

SB

TI

TM

OW

ELP

SID

SIS

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
水位觀測井 OW	水壓計 ELP	定點式測傾計 SID	土中測傾導管 SIS
中間柱隆起觀測點 HP	電阻式應變計 VG	水平式測傾導管 HSID	電子式伸縮儀 EXM
連通管式沉陷計 HSM	收斂觀測點 CP	永久水準點 BM	Notes 聯結

HP

VG

HSID

EXM

HSM

CP

BM

廣播訊息更新

圖群編輯 參數設定 人工輸入 資料轉檔 SQL 密碼管理 報表列印 資料查詢 趨勢顯示 告警音響

EXIT 登出

**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

SM

SB

TI

TM

OW

SID

ELP

SIS

跑道

D工作井

E工作井

跑道

HP

VG

HSID

EXM

HSM

CP

BM

跑道 A B C D E 滑行道 跑道

立即更新 離開

SM

圖群編輯 參數設定 人工輸入 資料轉檔 SQL 密碼管理 報表列印 資料查詢 趨勢顯示 告警音響

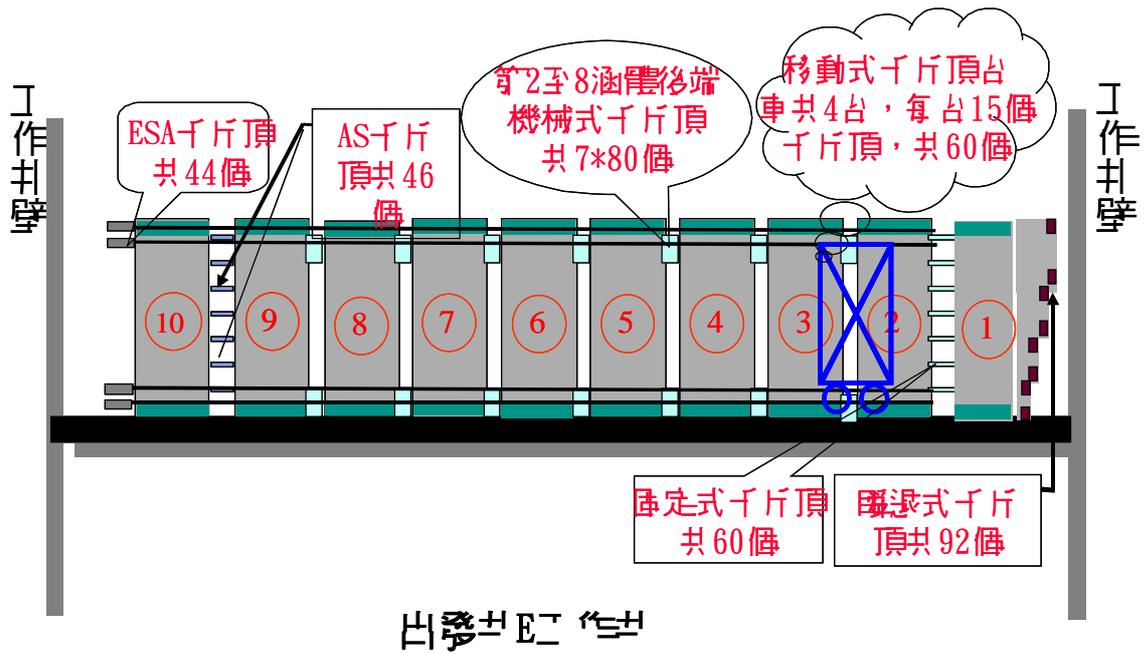
圖十 本工程自動化安全監測示意圖



圖十一 本工程隧道段管幕完成圖



圖十二 ESA 開口分隔小斷面圖



移動式千斤頂台車

圖十三 ESA工法推進千斤頂配置示意圖(一)

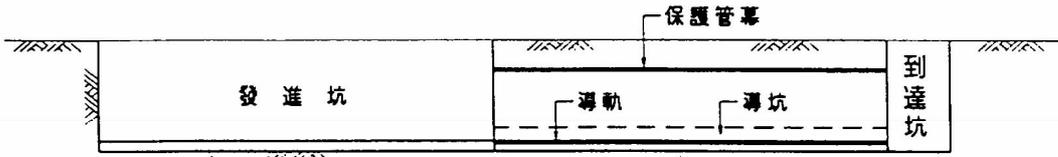


ESA 千斤頂

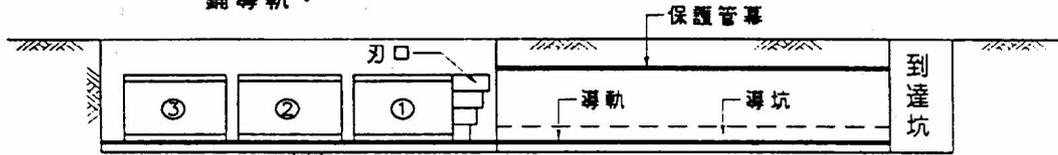


引口端之圖退式千斤頂

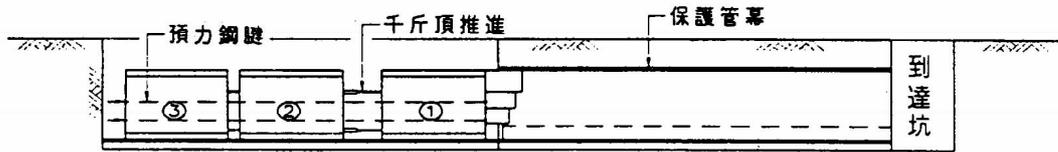
圖十三 ESA 工法推進千斤頂配置示意圖(二)



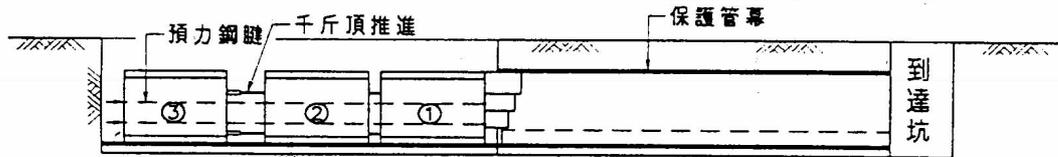
步驟 1. 築造推進坑及到達坑，並推設保護管幕，挖設導坑，鋪導軌。



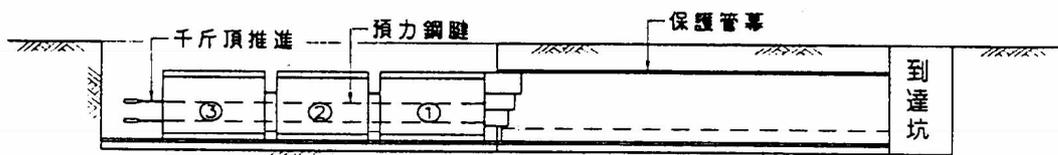
步驟 2. 在推進坑澆築箱涵結構，至少三個，每個約 10 公尺，並在第①個箱涵體前裝設刃口。



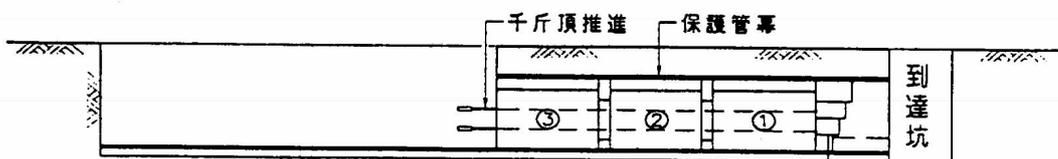
步驟 3. 在①、② 涵體間裝設千斤頂，靠②、③ 涵體與地面之摩擦力將①涵體推進約 40 公分。裝設預力鋼腱穿越三個涵體，並錨緊。刃口推入土中，開始分格挖土。



步驟 4. 解除①、② 涵體間之千斤頂，並移至②、③ 涵體間加壓，靠①、③ 涵體對地面之摩擦力，推進第②涵體。

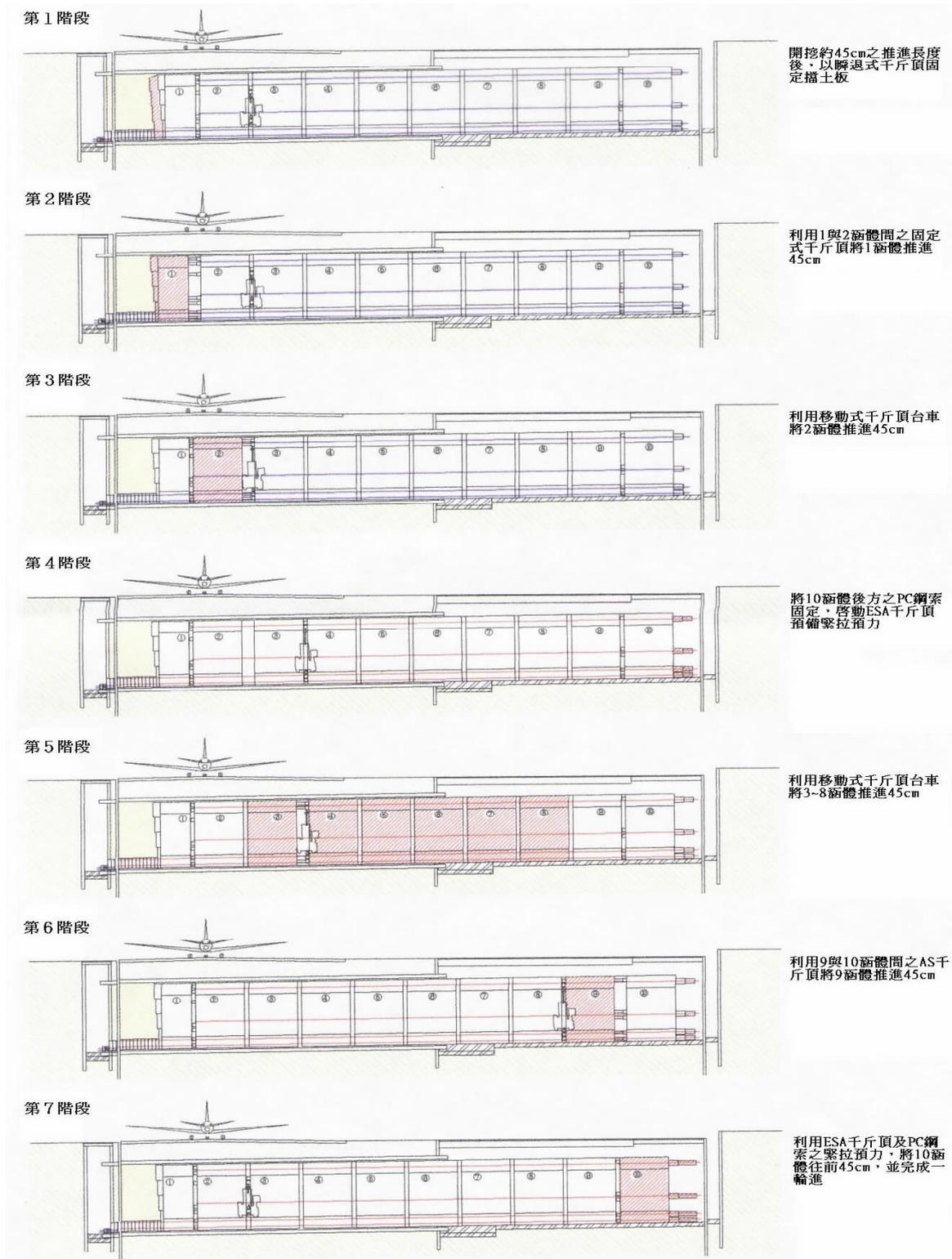


步驟 5. 解除②、③ 涵體間之千斤頂後，在③涵體後方預力鋼腱之錨錠後，裝設千斤頂加壓將③涵體推向前方。

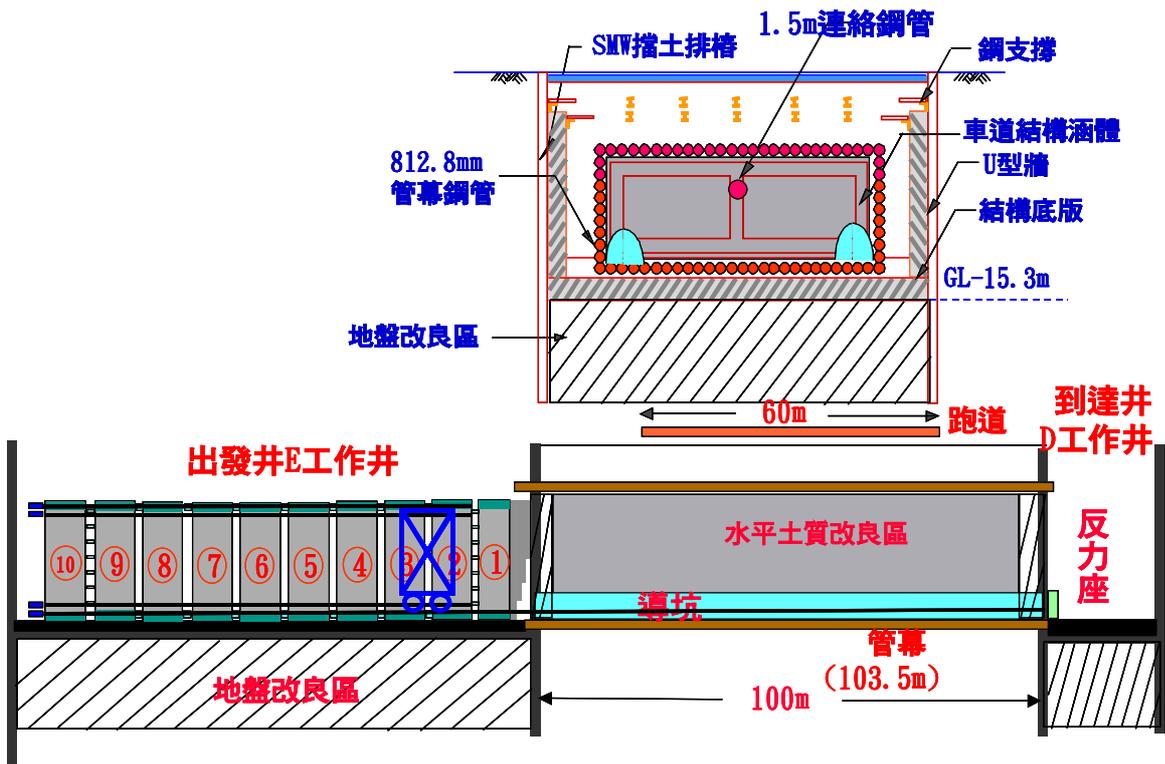


步驟 6. 重覆 3~5 之步驟，將整組涵體推進，推進中並至刃口挖土運出。

圖十四 涵體無限自走推進工法(ESA)施工示意圖

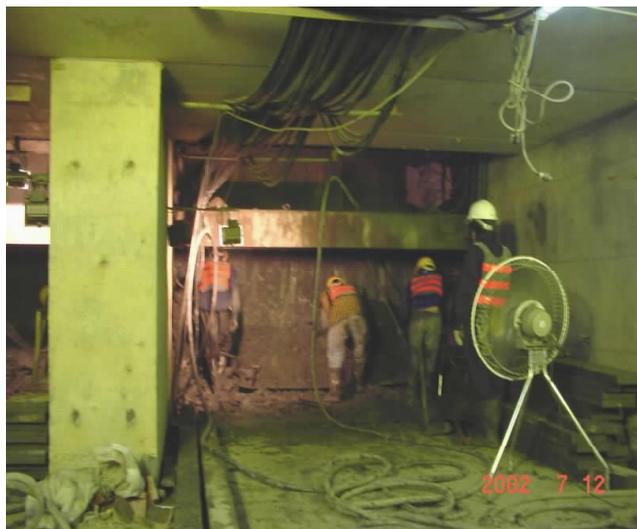


圖十 跑道段 ESA 施工示意圖(一)



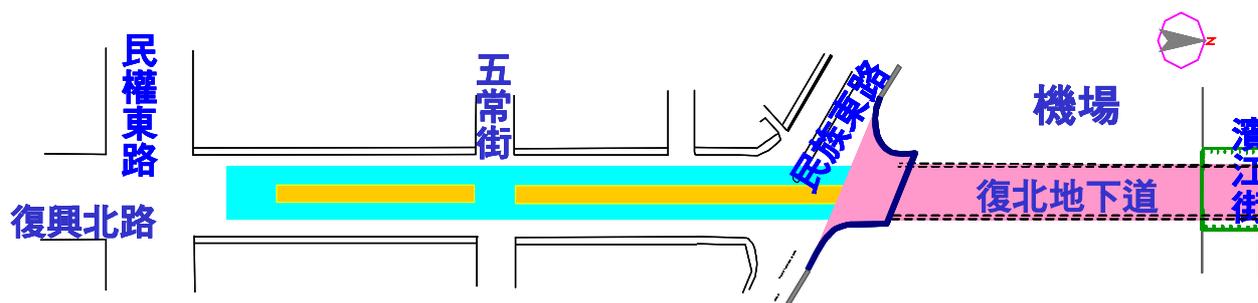
導坑開挖

圖十 五 跑道段 ESA 施工示意圖(二)



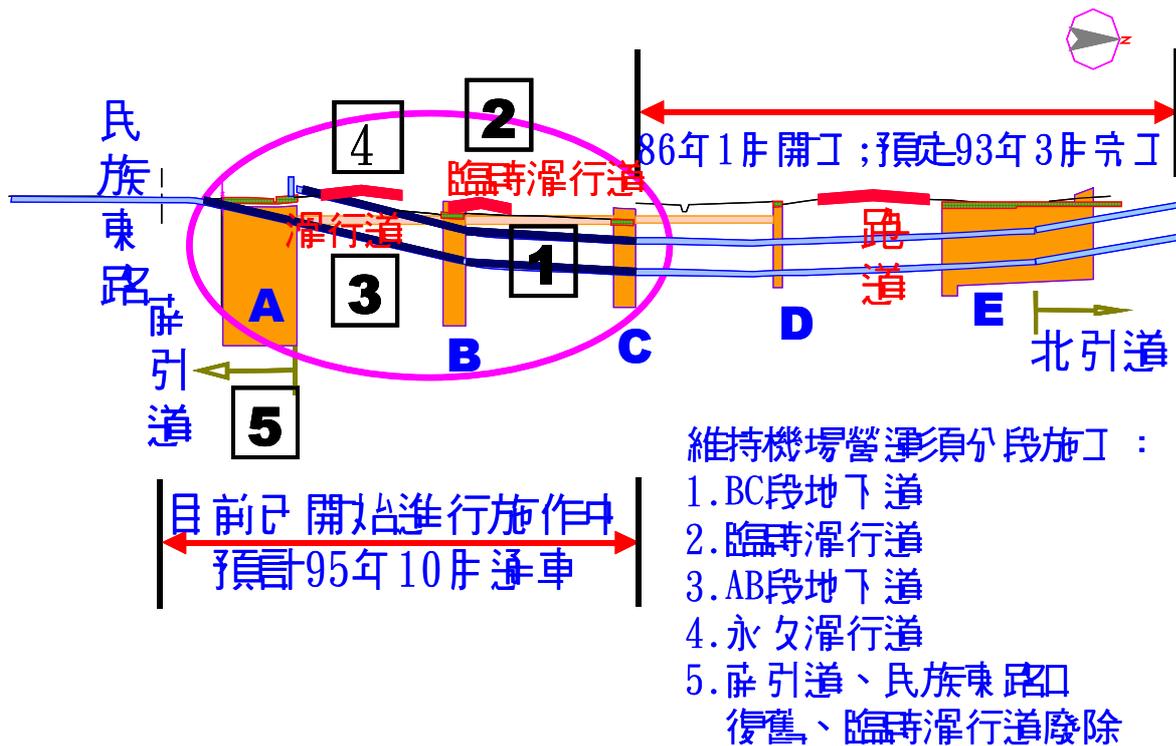
ESA 開口開挖與開挖

圖十五 跑道段 ESA 施工示意圖(三)

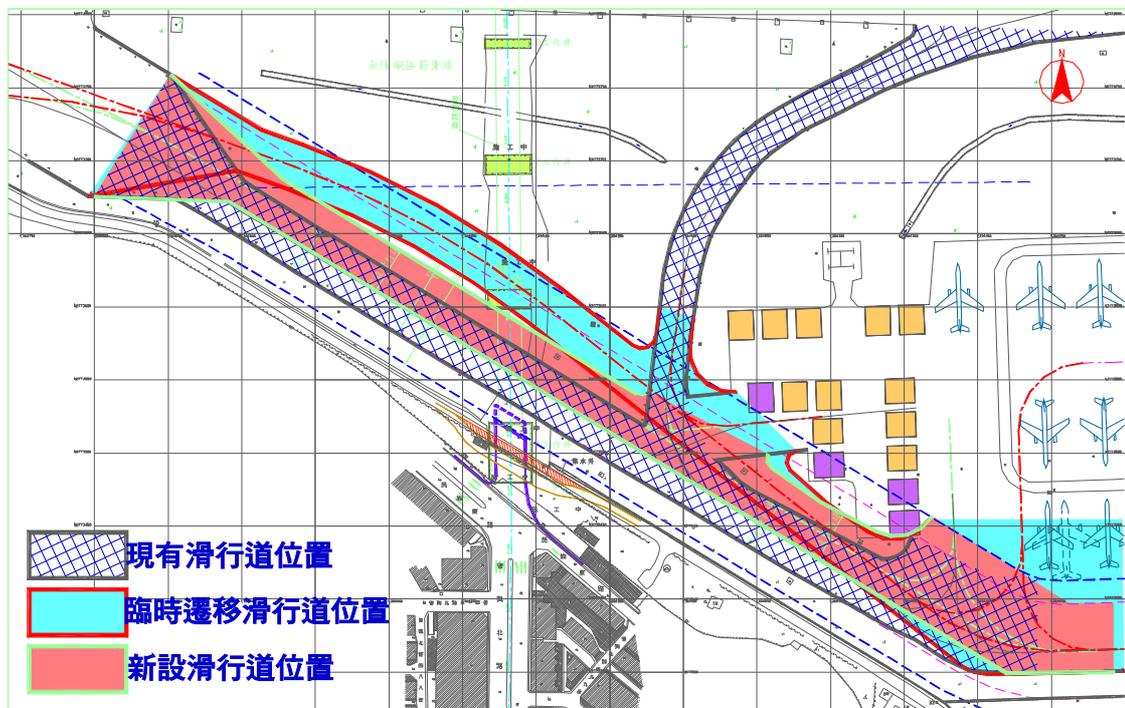


原方案	1998年設計	民權東路- 民族東路進出	1. 維持機場不明挖原則 2. 與捷運共用基礎結構
本府替選方案	2001. 3. 13	五常街以北進城 五常街以南出城	1. 捷運不共構-降低影響 2. 與民航, 軍方協調29次
市民所提修正 方案	2002. 4. 29	民族東路以北進出	1. 與民航, 軍方協調18次 2. 民航局同意臨遷滑行道, 明挖覆蓋 3. 協調後最終採用方案

圖十六 蔴引道變更位置所在示意圖



圖十七 南引道共構段變更後 A~C 段施工順序示意圖



圖十八 南引道共構段變更後滑行道配合臨時遷移施工順序示意圖