

出國報告（出國類別：其他）

參加 2018 年國際隧道會議

服務機關：交通部鐵路改建工程局 交通部高速公路局

姓名職稱：黃鳳岡 處長 張勝晟 副工程司

派赴國家：阿拉伯聯合大公國-杜拜

出國期間：107 年 4 月 21 日至 107 年 4 月 27 日

報告日期：107 年 6 月 5 日

摘 要

近年來政府推動的重大建設工程，隧道工程都佔有相當的比例，交通部鐵路改建工程局及高速公路局有鑑於目前所執行重大建設計畫，皆有隧道工程，因此均派員參加國際隧道暨地下空間協會(ITA)於杜拜所主辦之 2018 國際隧道會議，以瞭解、觀摩及交流目前隧道工程領域的最新發展。本次會議的主題為「地下空間在未來城市建設中的角色」，並再區分了 16 個子題，從各個角度探討有關於隧道以及地下空間工程與發展，同時也參訪了杜拜的捷運隧道工程施工概況。

經由本次的與會，觀察到目前國際上對隧道(地下)工程的重點包括公平合理的風險分擔與契約條件、多方面發展的新技術與材料、未來的地下空間利用應有長遠整體的規劃利用，均可作為國內未來推動相關業務及工程之參考。

目 次

壹、前言.....	4
貳、目的.....	5
參、行程紀要.....	6
肆、參與會議過程	8
一、開幕式	8
二、技術會議發表論文重點摘錄	11
三、廠商參展.....	25
四、閉幕式.....	27
伍、隧道工程工地觀摩參訪	28
陸、心得與建議事項	35

壹、前言

國際隧道會議(World Tunnel Congress, 簡稱 WTC)是由國際隧道暨地下空間協會(International Tunnel Association, 簡稱 ITA)所主辦, ITA 是一個國際性的工程專業組織, 其成立的目的是在通過知識共享和技術應用, 促進隧道和地下空間的使用, 其涵蓋的層面包括了地下空間規劃、設計和施工等各個方面。自 1974 年成立以來, ITA 一直努力推廣地下空間的使用, 並促進隧道和地下空間的規劃、設計、施工、維護和安全方面的進展。目前, 有超過 70 個成員國和數百個企業及個人會員是 ITA 的成員。ITA 自 2006 年在馬來西亞成功舉辦 International Tunnelling and Trenchless Technology Conference 後, 每年會由各會員國, 輪流舉行國際隧道會議(World Tunnel Congress, 簡稱 WTC), 藉由匯集各領域的產、官、學、研等專業人士, 進行廣泛的經驗互動與工程技術交流, 儼然已成為國際隧道領域中極具影響力的重要大會。

本次 2018 年國際隧道會議(WTC 2018)自 4 月 23 日至 26 日在阿拉伯聯合大公國的經濟和金融中心大城-杜拜(Dubai)舉行, 由當地的阿聯酋工程師協會(SOE)主辦, 這次的會議主軸定調為” The Role of Underground Space in Building Future Sustainable Cities”(地下空間在未來城市建設中的角色), 共有來自 68 個國家, 約 1500 人參加, 並有 130 家廠商參與展覽或展示, 經審核通過, 現場發表的文章為 141 篇, 另有 211 篇是以 Post 的方式於會場牆面公布發表。

貳、目的

國際隧道協會是一享譽國際，並由世界各隧道技術先進國家支持成立的國際組織，每年舉辦召開國際隧道會議，以加強各國隧道工程技術交流，深受世界各國隧道從業人員的肯定與熱烈參與，多年來早已是國際隧道工程界的最重要年度大會，如能參與，對增進隧道維護、管理、改建、惡劣地質處理等，必定有相當助益。

因交通部鐵路改建工程局之新自強隧道工程遭遇沉泥段，係屬罕見工程案例，已於近期內突破並順利完成，而既有南迴鐵路各隧道之補強也正全面開展，未來的相關計畫亦會有隧道、地下車站之興建，為能與世界各工程單位分享經驗，及增進鐵道局隧道工程知能，並能與世界接軌，故鐵道局奉准派一員參加本會議。

另交通部國道新建工程局(現已整併為高速公路局)兼負國道隧道之規劃、設計及施工責任，特別是目前刻正進行「國道 4 號臺中環線豐原潭子段計畫」共有 3 座隧道進行，因此擬藉由派員參與該研討會，可直接瞭解及收集最新國際隧道工程相關設計施工等理念及實務經驗，將有利於納入高速公路局未來隧道規劃、設計，並助益強化國內隧道施工技術能力，提昇相關工程整體績效，故高速公路局奉准派一員參加本會議。

參、行程紀要

本次會議台灣參與的成員共計有 6 人，分別來自業主、顧問公司及專業廠商，名單如下：

交通部鐵路改建工程局東部工程處處長 黃鳳岡
交通部高速公路局第二新建工程處副工程司 張勝晟
中興工程顧問股份有限公司地工部協理 李民政
中興工程顧問股份有限公司地工部副理 張博翔
福清營造股份有限公司董事長特助 江國權
福清營造股份有限公司協理 陳毓彬

6 人都是各自依所屬單位之報准計畫或規劃，專案簽核確定參加人員，之後經過中華民國隧道協會的協助聯繫，相互連絡，共同組團參與本次大會。

本次行程係於 107 年 4 月 21 日出發，於當地時間 4 月 22 日抵達杜拜，並立即前往會場報到，實際會議議程是從 4 月 23 日開幕式開始，至同月 25 日下午舉行閉幕式，並於 4 月 26 日辦理隧道工程工地觀摩參訪，於 4 月 27 日搭機返回台灣，總共 7 天，行程如表 3-1，而該會議的詳細議程如表 3-2。

表 3-1 參加 2018 國際隧道會議 行程表

日期	主要行程
4/21	搭機(臺灣→杜拜)
4/22	註冊報到
4/23	開幕式、專題演講及技術會議
4/24	新書發表、圓桌論壇及技術會議
4/25	技術會議、閉幕式
4/26	隧道工程工地觀摩
4/27	搭機(杜拜→臺灣)

肆、參與會議過程

本次的會議主題為” The Role of Underground Space in Building Future Sustainable Cities”(地下空間在未來城市建設中的角色)，並據以規劃了 16 個主題，提供相關專業單位及人員發表及討論，這 16 個主題詳列如下：

- 多用途隧道-最終的解決方案
- 契約風險分擔-雙贏安排
- 正確應用的正確隧道施工方法
- 下水道隧道免維護之設計
- 城市降水和地下結構防洪技術
- 因應隧道施工法的當前隧道設計方法
- 隧道技術的創新
- 如何定義隧道工程之生命週期和成本
- 地下空間的永續利用
- 地表工程和風險管理
- 工程材料的發展
- 地下結構的修理和維護
- 智慧城市-地下空間如何發揮作用
- 計畫管理在開發案中的重要性
- TBM 的案例研究
- 地下結構的生命週期安全考量

一、開幕式

開幕式在莊嚴肅穆的阿拉伯聯合大公國國歌(祖國萬歲)演奏及古蘭經宏亮的韻律朗誦下揭開序幕，由阿聯酋工程師協會(SOE-UAE)主席 Eng. Dawoud Al Hajri 及國際隧道暨地下空間協會(ITA)主席 Mr. Tarcisio B. Celestino 分別致詞歡迎各國與會代表，及介紹本次大會的籌備情形。接下來以影片的方式簡報了世界各國的隧道工程與展望，內容包括了目前進行中的隧道工程，含括了中國大陸肯亞、英國施工中隧道有 39 公里、澳洲正以 20 台巨臂式掘削機(Roadheader)從四個工地同時開挖、挪威正在興建長 27 公里，

覆土層達 390 公尺的公路隧道、美國有超大斷面的潛盾機進行施工、瑞典正在施作沉箱式隧道、香港有耗資 55 億美金的港珠澳公路、法國巴黎興建通往機場的地鐵隧道網、埃及有 17.7 公里的捷運隧道施工中、保加利亞正施作 17 公里的捷運系統、印度進行 217 公里的捷運工程、香港用 BIM 輔助隧道車站的設計、新加坡有矩形斷面的 TBM、卡達有 21 台 TBM 同時施作 11 公里的捷運隧道、伊朗施作捷運及水利隧道工程、衣索匹亞以鑽炸法施作水利隧道、法國及阿拉伯聯合大公國規劃施作完整地的污水下水道系統、美國與英國及墨西哥進行相關電力需求的隧道工程；對於未來，也提出隧道(或地下工程)將成為人們生或中不可或缺的一部分，所以考量整體環境的融合及環保是目前極重要的課題。本次大會也有彙集一本國際各國目前正執行中的重要隧道工程，我們台灣雖然也仍有諸多隧道工程刻正執行中，但卻沒有被列入，應是因為我們參與此類國際協會活動並不多，所以被忽略了，殊為可惜。

接下來安排了兩個 Keynote Speech，先由 Edward J. Cording 主講「Monitoring and Controlling Ground Behavior at the Source Recent Applications to Pressurized Tunnelling」，簡報中並有詳細圖片及珍貴的監測成果。接下來是另一專題演講，是以歷史以及人文的角度說明了義大利那布勒斯古代美學發展，與一些地下結構的彼此關係，有點像在講歷史故事，但也似聽故事一般精彩。



圖 4-1 WTC 2018 於杜拜貿易中心舉辦



圖 4-2 參加 WTC 2018 台灣全體成員



圖 4-3 SOE-UAE 主席及 ITA 主席致歡迎詞

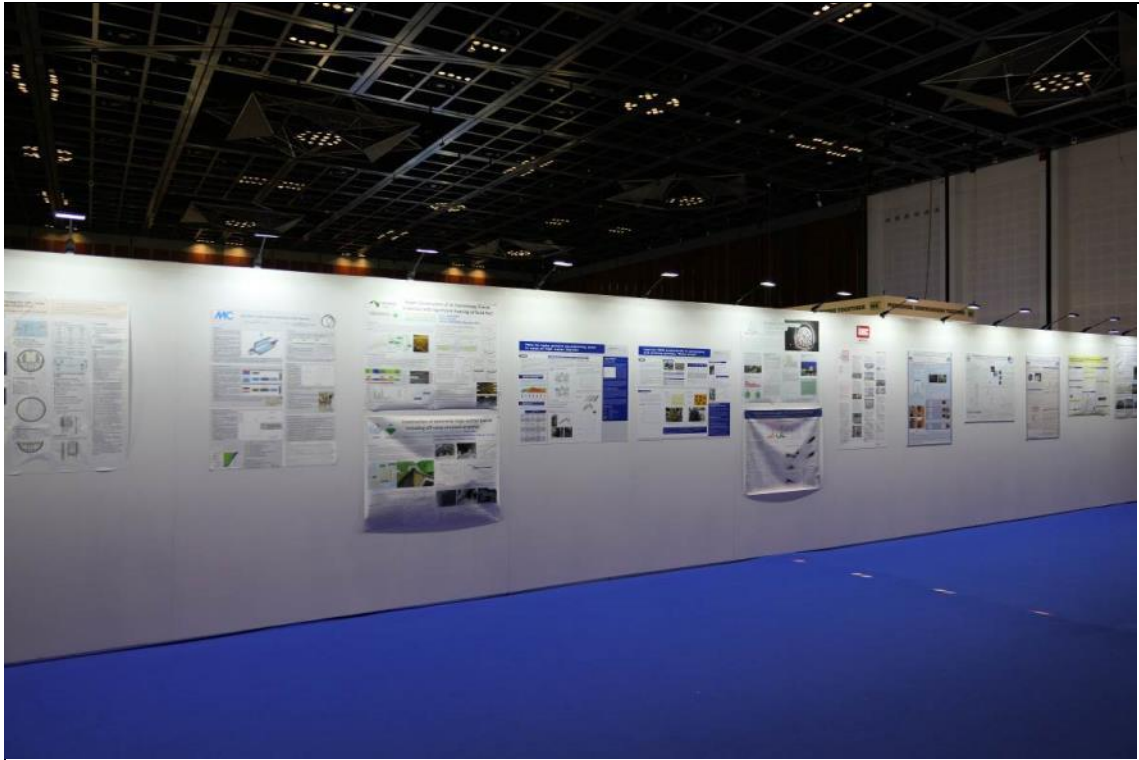


圖 4-4 展示會場牆面上發表的壁報論文

二、技術會議發表論文重點摘錄

本次會議共有 141 篇專業文章，除了第一天早上的開幕式以及第二天早上的新書發表和圓桌討論外，其他所有論文是同時分為 4 個場地以技術會議的方式同步發表，本次台灣參與的人員僅 6 人，故無法全部都參與了解，且有部分屬較為學術性的，而本次並無學界成員參與，經討論後就依個人之專業及興趣，分別聆聽，會後再相互討論及交換意見。

(一)107 年 4 月 23 日技術會議重點摘錄

1. 杜拜地下雨水系統 (DTSws)

這是一個針對杜拜永久且長遠性的地下雨水系統，是由阿布扎比下水道時代服務公司 (ADSSC) 負責，這計畫的主要目的是用於減輕現有污水管網的負擔，並且要滿足未來杜拜人口增長所伴隨的額外需求。該計畫是世界上最深的重力下水道之一，也是海灣地區最大的下水道系統。長 41 公里的深水衛生下水道是以 8 台土壓平

衡式(EPB)潛盾機同時施作，隧道的深度從 30 到 85 公尺深，完成後的內徑從 4 公尺到 5.5 公尺不等，因衛生下水道的廢水中會含有酸性和腐蝕性化合物，為防止這些物質造成的腐蝕，環片有使用防腐蝕的 HDPE 層，並另行施作一層無筋的二次混凝土襯砌隧道做為保護。此外本系統更有考量與既有的污水處理系統銜接，有總計 45 公里長管道將現有的污水處理系統連接到本計畫新建的大型泵站，整體工程預估到 2020 年全部完成，屆時可處理的廢水流量為每天 1700 萬立方公尺，每秒 9 立方公尺)。

而在 4 月 25 日的另一篇論文裡，則說明了為了要能如期完成這極為重要下水道系統（包括連接到新的國際機場和 2020 年世博會場址），這計畫共分 3 個標發包施工，分別為抽水站、主隧道以及滯洪池，每一個標都分別訂定了嚴格的廠商資格，從財務狀況、以往工程實績、主要人員學經歷、工程管理計畫以及安衛環保構想等，篩選出 9 家廠商邀請投標，再予以審查評比後才決定得標廠商。

2. Eiganes 隧道計畫

這是一個鑽炸法的隧道工程計畫，在設計時就採用了 BIM 的概念，通常 BIM 是以 3D 的方式來模擬，就整體結構甚至地質方面事前做一檢討，以避免增加施工時的困擾或風險，本文從更宏觀的角度探討，這些檢討成果對於節省時間與成本亦是有密切的關係，所以應該要朝 4D(時間)及 5D(成本)去發展，以 4D 仿真方式可模擬施工順序，並發現任何衝突，予以先行處理，並據以評估所須耗費的時間，據此就可以管理施工所需的成本，甚至就 cash flow (現金流量)都可以預估，達到 5D 模擬的成效，而這些模擬是必要由經過嚴格訓練且有一定能力的專業人員來執行，以避免偏差，且要不斷持續的追蹤以適時調整評估基準。但因地質的不確定因素，文內也提及偏差是無可避免的，所以要更謹慎地執行，目前這觀念正在 Alborland 隧道試行，以深入了解未來在大型基礎建設中推廣應用的可行性。

3.三孔隧道開挖通過橋梁樁基礎之力學互制行為研究

本文介紹了實驗室縮尺模型試驗成果以探討雙連拱(含中導坑為三孔)隧道穿越橋梁群樁基礎下之開挖影響，本篇研究藉由於實驗室中進行一系列的縮尺模型(比例為 1:40)試驗以模擬實際現場隧道開挖時的實際情形，為了使模型試驗有效能地模擬全尺寸隧道開挖行為，首先進行模型相似律推導各個參數，並利用無因次分析理論來確認模型與原型間之相似性。本篇模型試驗採用鋼製框架的試驗箱，其內部尺寸為 1.8m 長、0.35m 寬及 1.2m 高，試驗箱一側採用高強度玻璃窗以便觀察隧道周邊土層破壞形狀，為了模擬平面應變條件，試驗箱兩側噴塗 WD-40 以降低該介面摩擦力；隧道模型尺寸為長 225mm 及 540mm，厚 1.1mm，採用 S41 鋼鐵製成(其彈性模數為 196MPa，模擬襯砌強度)；鋁製橋梁群樁基礎尺寸為長 20mm、寬 20mm、深 200mm(6*6 隻基樁)，在試驗過程中以 LVDT 進行量測，並以數值模擬程式(PIV 技術)預測地層位移圖像速度場與矢量輪廓圖等資料。試驗結果顯示最大的隧道沉陷變位發生左側隧道最靠近橋梁群樁基礎附近，而且 PIV 數值模擬的成果亦相當符合試驗量測成果。

4.隧道施工人員疾病預防的實踐

這是一篇澳洲發表的文章，該國每年有約 250 勞工死於職業病，而土木工程佔了最大比例，其中隧道工程更因其施工的特性，比一般營建工程勞工風險更高，包括矽肺和肺癌。他們也認知，雖然隧道工程在未來仍是基礎建設中最關鍵的項目，但不應以犧牲成千上萬的工作人員的健康為代價。目前他們在溫斯頓丘吉爾紀念信託基金資助下，以進行中的各項中重大工程建設為案例，探討相關職業病的預防，其重點包括政府主管單位的重視、工程設計時安全環境之考量及納入契約、工程施工及管理程序的標準化、施工人員的教育與訓練；實際的執行項目包括了施工通風設備、集塵設備、環境監測、避難設施等等。

5.智慧型隧道(Smart Tunnel)和風險分析

這是一篇有關義大利的公路隧道管理案例，其採用 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)系統，進行動態風險分析，從隧道內的各項設施，包括照明、通風、溫度、車流量、攝影機、緊急救援系統、無線電廣播系統所傳輸到行控中心的即時監控資訊，所獲得的實際狀況(包括環境條件、交通情形以及設備運轉狀況)，用以評估即時的安全條件，期望能以最低的管理成本，達到最高的安全狀態。如果評估當下的風險較低，則可以允許系統採取節能模式(主要是在照明與通風兩大部分)，而如果評估有高風險，則會啟動更多運轉模式及操作措施(如降低速限、車道管制、拉長車輛間距等)，以確保隧道行車的安全，而在長隧道中於沿線設置火災緊急應變站，搭配小型的機動車輛以及常駐人員，以確保緊急狀況時能於第一時間到達現場與處理，而本管理技術如果成熟也希望能推廣應用在鐵路或捷運等地下運輸系統上。

6.土耳其最硬岩盤之 TBM 開挖案例

這是一個鐵路工程計畫，其中 Bahce-Nurdag 鐵路隧道長 9.75 公里，通過土耳其最堅硬的岩層區(單壓強度介於 136 和 327 MPa 間)，且也會遭遇斷層帶。本工程主要是以直徑 8 公尺的 TBM 開挖。

本工程 TBM 是單盾式的，考慮仍會遭遇惡劣地質湧水等狀況，所以切削頭有經過特殊設計，可適時改為封閉式的，並可提供前方 360 度的探查及灌漿，但輸送帶仍採輸送帶而不是螺旋式；另 TBM 製造完成後未如慣例在工廠假組立，是直接運至工地組裝，節省了 3 個月的運輸的時間。而設計時考量初期較差的地質，故擬以鑽炸法先開挖 1250 公尺，但實際施工效率不佳，僅完成 850 公尺(平均每天 1 公尺)但 TBM 一發進就遭遇每秒 400 公升的湧水，數度受困，並曾兩次以迂迴隧道方式處理，其平均開挖速度約每天 4 公尺，而在進入堅硬岩盤區後，開挖效率明顯提升，平均每天可開挖可達 10 到 16 公尺開挖。

(二)107年4月24日技術會議重點摘錄

1.新書” Underground Spaces Unveiled”發表

這是一本由 Antonia Cornaro 和 Han Admiraal 所共同著作的一本新書，它們是一位土木工程師和一位都市規劃師，他們從近年來整體都會、交通的發展，看到了未來的趨勢，不管是對既有土地已經高度開發、還是新發展的都市而言，地下空間的利用已變得相當重要。包括都市規劃者、建築師、地質學家，工程師以及決策者，都需要面對此一問題，因此共同撰寫了這本書。

聯合國人居署的前執行董事在前言中寫道：“利用地下空間可以幫助城市保持緊湊，提高能效或尋找包括在現有城市景觀的新功能所需要的空間。”法國建築師多米尼克·佩羅，在書中也寫了前言，強調地下空間利用的重要性：“我們共同的信念，地下建築不僅是一個概念上的臨時建築的趨勢，但保持了長期的潛力，特別是對人口密集的城市環境”。這也點出了這本書的主軸概念。

這本書共分 10 個章節，從最早期單純因地面空間不夠而被迫向地下發展開始，沒有整體性的規劃，各自發展，導致日後無法整合充分利用，大大侷限了地下空間的使用，而因經濟的快速發展、環境、氣候的變化，逐漸的一些城市有體認到地下空間發展的重要性，也是一個極為重要的資產，更是未來必然的趨勢，所以開始思考這一問題，這重點包括了地下空間如何和地表上的結構彼此結合，包括已存在的以及尚待發展的，形成一有規劃，彼此共榮的環境，才能充分的利用地下空間，其次是要能讓民眾有認同感，有其親和性與便利性，以發揮其最大的利用價值，當然最重要的是要能和自然環境、景觀融合，才有永續發展的條件與潛力，這也是需要前述各種領域的人都有共識，才能做出最有利的且長遠的規劃。

2.圓桌論壇

這次圓桌論壇的主題為”21 世紀契約執行：地下工程之標準營造契約條款”，而之所以會選擇這個主題，最主要是隨者世界的快速發展，地下工程是一個蓬勃發展的市場，也具有許多特殊的面向，其不同於一般高樓層建築工程，是因為在地下工程施工過程中存在

太多不確定因素，特別是地質條件的不確定性，因此風險也隨之增大。地下工程契約爭議的根源就是不同施工條件所帶來的風險，如果工程進行中遭遇到不可預期的問題，造成工期程延宕，建造經費的增加，傳統所訂定的固定價金及工期等契約模式，已經證明不再適用高風險的地下工程。所以在本次大會中，特別邀請了 FIDIC(國際諮詢工程師聯合組織)、ITA-AITES(國際隧道及地下空間協會、ITIG(國際隧道保險集團)及世界銀行等組織，共同組成一個工作小組(TG10)擬出一份新的地下工程契約型式(The Emerald Book)，並在本次圓桌論壇時由以上單位代表及所有專家學者共同討論，相關新式的地下工程契約主要重點建議包括：

- (1) 地下工程施工風險應由業主及承包商共同均衡分擔，其中業主應負起合理無法預測之地質條件變化的風險，而承包商應負擔的是在合理預期地質條件下的施工期程及成本風險。
- (2) 於契約的一般條款宜訂定處理不可預見的地質條件的規定。
- (3) 應設置避免爭議的裁決委員會 (Dispute Avoidance and Adjudication Board, DAAB)
- (4) 制定招標文件的指南



3. 隧道工程風險管理(奧地利)

隧道工程中的地質風險包括了地質條件變化過大、擠壓、地下水、有害氣體、承載力不足以及沉陷等等，所以有系統的風險管理計畫是很重要的，必須在設計階段就開始進行，業主、設計單位、監造及廠商必須要建立共識，共同來執行，在奧地利的一個案例，

是先從以往的經驗作一評估，建立一預警系統，然後經過施工中持續性的即時監測，依監測結果，透過在工地的會議，由工地管理者做出決定，且該風險管理的報告，格式是必須統一的，更重要的是必須根據曾經發生的狀況以及處理經驗，去隨時調整管理計畫以及評估判斷標準，讓工程風險(殘餘風險)降到最低至各單位都可以接受的程度，直到工程完成為止，並據以做為下一個工程的管理計畫參考。

4.荷蘭隧道的長期願景和工作計畫

在荷蘭考量實際的地理環境特性和永續性的發展，隧道佔了不可或缺的地位，爰以 2050 年為一願景目標，做了一個整體的隧道網規劃，規劃時係以智慧型隧道(Smart tunnel)為目標，重點包括必須注意既有環境、建築結構要能融合，不發生衝突，要能以最少的干擾，創出最大的價值，並必須有全生命週期的觀念，要考量日後完成後的管理以及維護，更要注意環保的概念，將碳足跡作完整記錄以供評估，而目前第一階段均已開始執行。

5.努力實現零能源隧道：技術，契約和技術方案

在荷蘭目前對公路隧道的管理，希望不管是現有隧道和新隧道，能源需求必須至少降低 48%。為了實現這一目標，荷蘭地下空間和地下建築知識中心(COB)就此一方面做了相當程度的檢討，主要項目包括了照明、通風、供電系統等，其中照明是最關鍵性項目，各種可能的手法都要考量，例如以白瀝青搭配反光牆、太陽能板，用水力的方式提供緊急動力，探討直流電還是交流電的搭配或調整等等。這些方案不僅僅是業主自己要努力研發探討，相關的法規也必須要適時配合修正，並在相關的契約上能有適度的誘因，這樣才能吸引廠商，以建構一智慧型隧道(Smart tunnel)。經過評估，目前擬執行的各項措施應該可以減少約 50%的能源消耗量。

6.地下工程之保險範圍，保險市場趨勢和風險成本

影響隧道施工安全及保險最重要的因素，包括地質條件、施工

工法、施工廠商能力、是否有第三者界面、天災等，而經統計英國發生災害佔最大百分比的因素是設計錯誤(佔 41%)，在 2015 年，隧道工程的保險費達 4 億美金，另一統計數據顯示，保險費用愈高，工期展延的時間相對的也愈長。基本上工程應該有完整的風險管理，將風險降至最低，一些無法預期的風險才由保險承擔，而最完整的風險管理，是要從避免損失(有規劃的方法以及施工程序)、控制損失(災害發生時的及時處理)以及損失最小化(有明確的因應策略)三方面著手，這幾年來，隧道工程技術的進步，確實能有效降低風險。目前保險市場上，保險費的高低就與以上風險管理密切相關，從另一角度而言，與承商的工程實績與信譽有極大的關係，業主的財力及地質的不確定性也是關鍵的影響因素，而就目前的保險市場環境，較務實且合理的方式應是建議一套國際公認的風險評估工具。

7.處理意外的風險分配

隧道工程與其他土木工程有一個極大的差異，就是地質的不確定性極高，所以地質風險至為關鍵，在工程設計及發包時地質風險就應被合理的評估並納入。也就是因為這個因素，”One size fits all”，以及風險均應由承商承擔的觀念在隧道工程是不對的，應根據每一個隧道工程，經過詳細的檢討後，予以合理的指定以及分擔，因不可預知的地質因素所造成的風險或問題，應經由定的程序，以契約變更的方式處理；FIDIC 亦已就此類狀況，為避免爭議，不斷檢討修正，其目前已發展到第 3 個版本的規範。

8.以風險管理觀念執行的工程計畫成本和進度分析

有效的成本風險管理對於大型基礎建設計畫至為關鍵，而影響成本的最大因素通常就是時間的延遲(包括對工程本身、關連廠商甚至整個計畫)，所以結合風險因素考量的時程管理計畫就非常重要，要能仔細的分析施工排程，並考量各種風險因素及其概率，再將成本納入。

本篇文章還以一歐洲長 14 公里的鐵路隧道為案例進行探討，這隧道工法包括鑽炸法及 TBM，也有各種不同的地質狀況，先研

擬各種狀況可能花費的時間、費用以及機率，分析如果產生延滯的影響，再據以製作出一”要徑圖”並據以管控，但也說明了隧道工程的變數實在太多，所以都仍會有不確定及無法掌握的因素存在。

9.奧地利 110 歲的 Bosruck 鐵路隧道整建工程的設計及施工挑戰

Bosruck 鐵路隧道興建於 1901 至 1906，長為 4.766 公里，是磚堆砌成的拱型隧道，通過的地層主要含有黏土礦物、砂及石灰石的沉積岩，而且該區地下水相檔高，故造成相當嚴重的溶蝕作用(喀斯特地形, karstified)以致隧道內湧水量曾經高達 360 升/秒，造成隧道結構的嚴重破壞。本工程施工前進行了全面性且詳細調查，並針對調查所發現的損壞原因採取各種應對方案及設計，隨後在 2016 年關閉隧道營運 6 個月期程中進行翻修工程，俾以降低對於交通封閉所帶來的衝擊影響。施工步驟先修補嚴重損壞的隧道襯砌，利用止漏灌漿材料即時的進行表面補強及破裂處止水，於此案例所使用的止漏灌漿材料是屬於矽酸鹽系之化學灌漿材料(矽灰石膏硫酸鹽, Thaumassite-sulphate attack (TSA))，這類的矽酸質灌漿材料係藉由水擴散作用，將溶解之矽酸離子滲入混凝土毛細孔內，與混凝土內之氫氧化鈣、金屬氧化物及游離鹽類離子進行反應，並增進水化作用，進而產生一種密封、不可溶解之針狀或纖維狀結晶，可有效阻隔水壓力的滲漏。再者為了有效處理湧水問題，在隧道仰拱打除並埋設直徑 60cm 厚達 1cm 的穿孔鋼製排水管，隨後進行磚砌拱頂及襯砌的翻新及修補作業。該隧道翻新工程藉由階段性施工進行，並伴隨著深入的調查工作，使得對各種損壞機制的逐步了解並提出可行解決方案，另外靈活的設計理念以及根據損壞嚴重程度進行翻新的方案，可以對現場發現的損壞進行簡單的分配，並迅速施工，皆是成功整建隧道的關鍵。

(三)107 年 4 月 25 日技術會議重點摘錄

1.土耳其最大挑戰隧道計畫 Gerede 供水隧道

這是一個 31.6 公里的供水隧道，主要地質是凝灰岩以及玄武岩，要通過數十個斷層，且預估地下水壓最高可能有 20Bar；隧道開挖

直徑為 5.6 公尺，原規劃是採 3 台雙盾式之 TBM 同時開挖，但其中第 3 組 TBM 在開挖過程中遭遇每秒 1500 公升的湧水，進度嚴重受阻，經過整個施工團隊檢討後，認為原 TBM 的形式不對，故開挖一迂迴隧道(By Pass)，將受困區域地質先予以灌漿改良後，在洞內拆解舊 TBM 並更換安裝新 EPB 式 TBM，新的 TBM 扭矩加大，且調整結構及操作模式，俾可在 20Bar 的水壓環境下仍可開挖，這樣的過程，是由承商提出，經業主審核同意，從決策到恢復開挖，一共只花了 1 年的時間，所增加的金額約 1 千萬美金，而更換過的 TBM 實際開挖了 9 公里。

2. 墨西哥城 150 公尺深污水隧道工程

墨西哥城擁有 1900 萬居民，產生之污水量約 40 立方公尺/秒，但既有的污水處理系統容量僅有 10 立方公尺/秒，所以他們規劃了一個該國最大的基礎設施工程，以一條 62 公里長的隧道將污水連接到墨西哥城的第一個主要污水處理廠，並同時可以緩解洪水淹水之問題。目前共有六台 TBM 正在同步挖掘中。其中地質最複雜的第 5 號 EPB 式潛盾機，直徑 8.93 公尺，所遭遇的地質是玄武岩和粘土複層，水壓高達 6Bar，長 10 公里。該機器從 150 公尺深的豎井開始發進，經過不斷的努力，其最佳進度曾達到 12 小時內開挖 30 公尺。

3. 深層高擠壓石炭系地層中隧道施工可能性評估

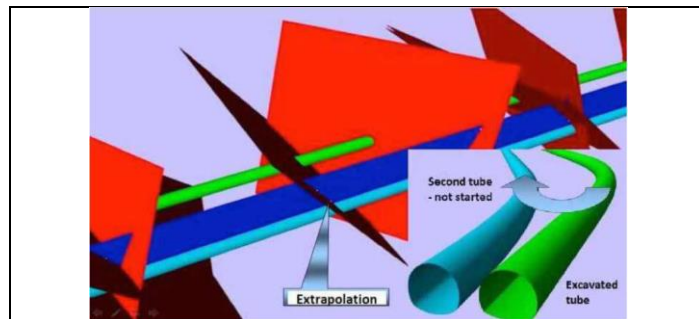
位於奧地利和斯洛伐尼亞交界處的 Karavanke 山，覆蓋層在 500-1100 公尺之間，地質是屬於二疊紀石炭系岩，具有高度擠壓性及應力，還有瓦斯以及氣爆的潛在風險。在 1906 年已先完成一條鐵路隧道，1991 年完成第一條公路隧道，都是採用傳統工法，而現在準備要興建第二條公路隧道，其所面臨的挑戰是一樣的，且因鄰近既有隧道，困難度更高，所採取的設計方法是建立 3D 的數值模型，搭配擬採用的新奧工法，來分析所需的支撐工，開挖程序以及開挖斷面，經過檢討將以頂導坑工法先行施作，以處理較大的變形量。

4.那布勒斯的藝術化車站

這篇文章說明了義大利那布勒斯的 1 號和 3 號地鐵路線上的車站，從 1995 年開始，在興建的過程中，就有藝術家的參與，和建築師、工程單位以及業主共同討論，透過不斷的對話、溝通與協商，將每一個車站都依據他的特性，做不同的規劃，其概念是將這些地下車站予以串聯，就如同一個完整的地下城市，同時也兼顧與整個城市的結合，一共有 200 多件的藝術創作在車站中，搭配不同的地點、結構展示出來，讓地鐵不僅僅只是一個交通的網路，更變成了一個地下博物館，也可以被稱為美麗的地下墓穴，讓旅客能沉醉在藝術的氛圍裡。

5.創新的地質資料管理技術

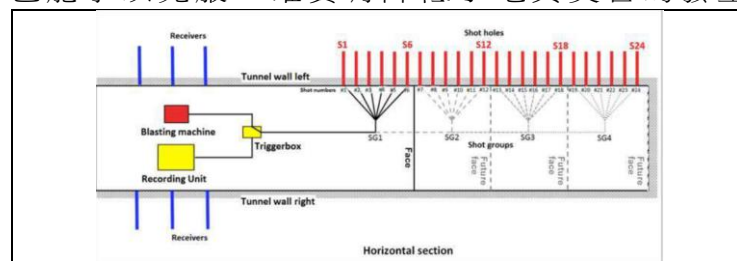
這是 GeoConsult 公司發表的文章，該公司於早年國內建安計畫以及北二高隧道工程，都從受聘來台提供極多的技術指導與服務。本案是說明其目前的發展，已將開挖過程中開挖面以及側壁所顯露出來的地質予以數位化，且是從單純的 CAD 技術，再融入發展到 GIS(地理資訊系統)，並更進一步應用於 BIM 的層次，所有的資料都予以 3D 立體化以及座標化，且以最友善親合的輸入介面，建立了標準的輸入格式，這樣完整的資訊系統，不僅僅侷限於隧道施工的開挖面，更可以最完整的資料，經過有系統的統計，協助做最正確的判斷以及地質研判。



6.優化隧道震測作業

這是一篇瑞士運用震測輔助研判地質的文章，有些業主會擔心

工程的風險，卻不捨得投資在事前的震測調查，但風險管理中地質是極為重要的項目，對地質條件及其地質參數的了解很關鍵，必須要盡可能的詳細，其所說明的案例，是搭配開挖過程中，持續不斷反覆的震測，每次施測的時間控制在 10 分鐘內，各次震測搭配多重的震源及接收器，並維持探測深度在開挖面前方 120-150 公尺以上，以所測得的 P 波及 S 波波速資料相互比對，經由其累積經驗所發展的研判模式，建立 3D 的地質研判資料，尤其是對一些與隧道走向平行，較不易判斷的地質構造，以往多是隧道震測法的盲點，其發展的技術也能予以克服，確實有降低了地質災害的發生率。



7. 奧斯陸 Follo 鐵路隧道施工

直到最近，挪威所有的鐵路隧道大都採用鑽炸法進行挖掘。Follo 線是一條新的 22 公里長的雙軌鐵路隧道，完成後，隧道將成為挪威最長的鐵路隧道。本工程係採用四台雙盾式，直徑 9.96 公尺的硬岩 TBM 同時開挖，其岩盤主要為前寒武紀的片麻岩，硬度極高，所以 TBM 削刀以及切削頭(Cutterhead)的磨損是一大課題，對此工程人員花了相當多的心力，且因研判前方可能會存在高達 12Bar 的高壓地下水，為了能確實了解前方地質，機體上也設置了兩台可以 360 度鑽設前進探查孔(Probing)的獨立鑽機，機體上共佈設了 38 個斜孔及 10 個水平孔，亦可作為地質改良灌漿用。目前該工程進行順利，平均每週的開挖進度可達 82 公尺。

8. 提高隧道襯砌用加勁纖維混凝土的延展性

這一篇文章是說明隧道襯砌強度可藉由添加纖維，以增進混凝土承受彎曲荷重時之延展性，提高混凝土延性、韌性及抗滲能力。在早期研究顯示加勁纖維混凝土(Fiber Reinforced Concrete, FRC)在軸向壓應力作用下，於初期應力行為顯示應變軟化行為，而在純

彎矩作用力下形成撓度硬化行為模式，因此纖維對於抑制混凝土收縮、提高混凝土抗裂性具有明顯的作用。當隧道襯砌受到地層應力不均勻或是隧道幾何不利等條件，FRC 產生裂紋後的彎曲延展性顯得特別重要，所以本篇研究進行一系列力學研究及試驗，以分析軸向壓縮強度與 FRC 於標準抗彎梁試驗中所表現出的後裂紋殘餘強度之間的關係，藉由試驗分析成果探討如何增進最終極限強度之撓曲延展性。目前研究成果表示 FRC 可以透過施加軸向壓應力提高後裂紋彎曲延展性，因此當受軸向壓應力增加的時候，其彎曲應力作為以線性方式減小，故材料力學行為呈現應變硬化的力學機制以抵抗作用力。研究指出當軸向壓應力與直接抗拉強度比值(f_t)達到約 0.6，材料行為即呈現應變硬化作用，這些研究成果說明，FRC 隧道襯砌可藉由適當的設計，使得 FRC 襯砌受到合宜的軸向壓應力進而可以減少纖維添加量，同時亦可抑制混凝土收縮，減少收縮裂縫的產生，提高混凝土的抗裂性，並且減省成本。

9.創新的半剛性沉管隧道設計理念-香港珠海澳門大橋

對於傳統的沉管式隧道施工方法，沉管單元先以通過縱向預應力纜索暫時連接在一起，沉放後纜索稍後被切斷以便各沉管單元放置在預定的海床位置，這種隧道形式雖然可以靈活的沉放，且具有變形的彈性優點可讓沉管更加自由地與地面接觸，減少隧道本身產生內力。但是，在香港珠海澳門大橋（HZMB）項目中，部分隧道回填高達 20 米，且由於沿者沉管線型縱向變化並須應用導航沉放的要求，同時隧道開挖深度也在變化，因此傳統的柔性方案可能會在各沉管單元銜接處產生較大的變形和剪切力，導致對水密性不利等條件。該大橋工程為了解決上述問題，採用了半剛性沉管隧道方案，港珠澳海底沉管隧道全長 6.75km，施工時先把 8 個長 22.5m 的節塊(沉管)應用預力鋼筋接成 180m 長的沉管形成一個整體單元，接者將沉管拖至海面上預定的沉放位置下放，在海底形成一個沉管隧道。因為各沉管單元的預力鋼筋保持不被切斷，各單元銜接處可以提高較佳的垂直抗剪切能力，同時亦能減少銜接處之脆弱，以避免因為海床局部差異沉陷而造成問題。本篇研究亦對此施工方案進

行周延的科學論證，以有限元素法數值模擬分析三維土壤及結構的相互作用，包含結構的靜力及動力分析，經結構與地基的整體分析後，驗證此方案保留預力後的半剛性沉管確實能有效提升沉管銜接處之抗剪承載力，並能夠抵抗疏濬導致的海床差異沉陷，雖然剛性增加也會引起混凝土沉管構件的內力增加，但是銜接處之預力鋼筋可使接頭段摩擦抗剪力提升，因此可確保其安全性。

10. 從斯德哥爾摩地鐵設計中吸取的 BIM 建置經驗

這是一篇瑞典斯德哥爾摩地鐵工程有關於以 BIM 的方式建構地質資料的文章，其說明了它們已經從 CAD 的層次進步到更上一層的 BIM 模型，它們考慮從地質師、設計單位、承商到業主，對地質資料的需求是不太一樣的，所以如何以一套可以符合各個層面需求的方式，去建構 BIM 模型是很重要的，會中展示了從基本的鑽探資料、開挖面的地質剖面以及據以法展出的 3D 地質狀況。且基於要適用不同的層級，所以使用權的設定和管理是很重要的，更要兼顧到合法性。

11. 挪威隧道不穩定和塌方案例探討

這是一篇挪威的論文，以該國累積的隧道工程，在 2015 年就有 65 個災變案例，並將上述災變大致分類為開挖面崩坍、已完成隧道崩坍以及湧水等 3 大類型，其原因則歸類為設計不佳、支撐不足以及耐久性不夠等，所造成的損失大約是 560 萬美金，而不管怎樣的成因，這些都還是跟地質有密切的關係，所以盡可能詳細的地質調查和開挖時有萬全的應變作為都是極為重要的，才能盡量降低災變的發生與損失。

12. 在實際隧道中動態測量地震時之力學行為

日本的地震頻仍，一般的經驗是隧道受地震的影響較地面上的結構為小，但在設計者而言，仍存在有諸多不確定因素；本文就是在隧道內安裝儀器，以實測的結果，包括隧道內的波速和應變等，來驗證設計理論值，實測結果確實與預期相符，隧道中的地震烈度

小於地面上的所量測的結果，這對設計者在設計考量時確實有很大的幫助。

13.降水還是預灌工法的考量

一般上設計時在考量地下水的問題，業主基於成本考量，通常不會優先考量預先灌漿止水工法，而會選擇以導、排水方式來降低地下水位，以降低整體工程成本，這不一定絕對正確決定。本案引用一個具體案例，設計時以成本因素做為主要考量，未考量預先灌漿止水，當開挖過程中發生大量湧水時，迫使採用迂迴隧道排水以及止水灌漿，且因地層已被擾動，止水灌漿的難度也增加，所耗費的成本和工期暴增，所以建議不管如何設計時的考量，仍應依地質條件做一最周全的考量。

14.Brenner Base 隧道岩體質量類別對開挖成本的影響

這是一個義大利和奧地利之間的雙孔單軌隧道案例，隧道長 55 公里，兩隧道間還有一較小的服務隧道，在開挖時作為先行導坑，最大覆蓋層有 1800 公尺，地質變化極大，從非常好到非常差都有，有遭遇到擠壓性岩盤，採取鏡面加固方式因應，每次改良 15 公尺，並維持 6 公尺的重疊。在施工的過程，全程記錄與分析岩體類別與開挖成本之關係，經過統計與預期相符，岩體類別愈差，成本當然愈高，而這些資料也可供作以後類似工程之參考。

三、廠商參展

本次計有 130 家的參展廠商，包括來自歐洲、韓國、日本、土耳其、香港、美國等，類別包括了專業施工廠商、機具製造商、材料供應商以及設備廠商。其中”中國交建公司”以巨型銀幕及最大的場地，展示了其強大的工程實力，最為醒目。參展廠商展示的重點，包括了不斷改良精進的各種全斷面隧道鑽掘機、VR 虛擬實境設備、隧道灌漿、噴凝土材料與機具、自動化的隧道模具、測量設備、隧道防火逃生門、風機等等。其中已有廠商運用 VR 的技術，在室內就可以進行噴漿機的操作訓練，代替傳統的現場操作。另外玻璃纖

維材料也被廣泛地運用，包括岩栓、灌漿管、噴凝土或混凝土中的加勁材、甚至取代鋼筋。

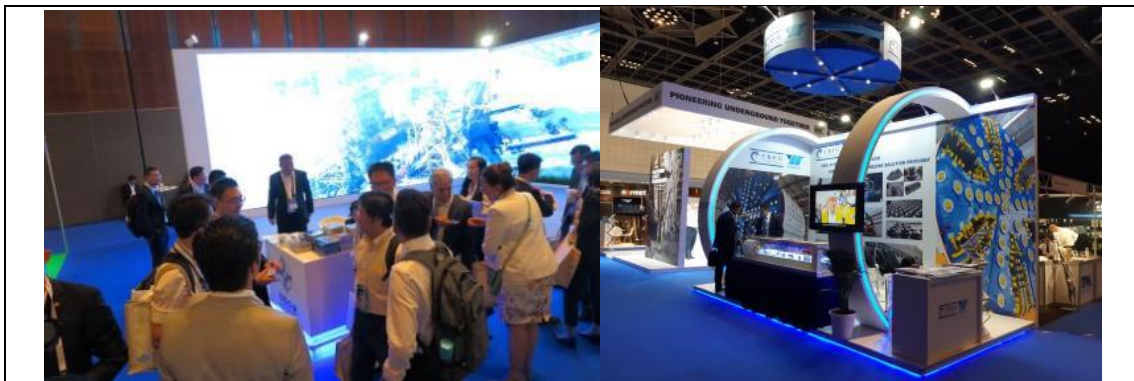


圖4-6 參展廠商 (左為中國交建公司)



圖4-7 參展廠商

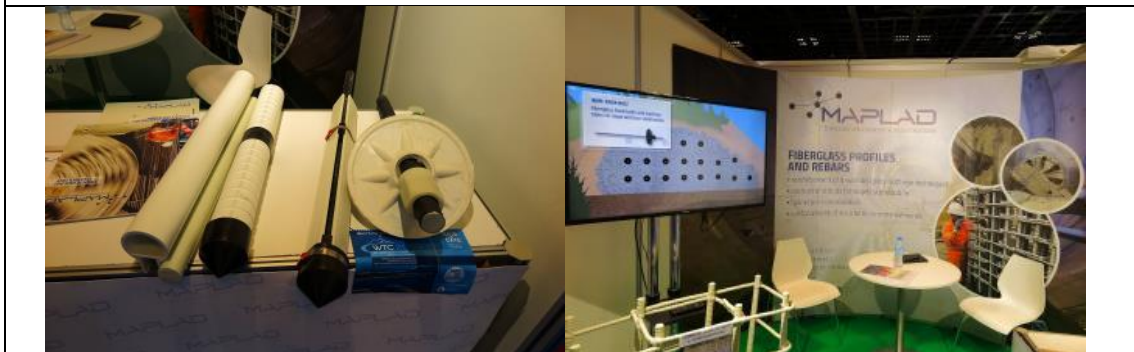


圖4-8 各種玻璃纖維材料之應用



圖4-9 以VR模擬噴凝土操作

四、閉幕式

4月25日下午五點舉辦閉幕式，典禮中除了回顧這3天的會議點滴，並由下一屆的主辦單位-義大利代表以精心製做的影片向與會人士介紹2019年大會籌備情形及義大利拿坡里風情，並歡迎再次於2019年義大利相見。

而在閉幕式後，我們來自台灣的全體成員，有特別與ITA主席Mr. Tarcisio B. Celestino作短暫的交流，Mr. Tarcisio B. Celestino也曾經到過台灣，對台灣的921大地震印象深刻，也很關切台灣的隧道工程技術發展，希望我們能多多參與相關的會議並交流相關工程經驗。



圖 4-10 閉幕式及下一屆主辦單位歡迎 2019 於義大利那布勒斯相見



圖 4-11 閉幕式後與 ITA 主席交流會談及與 ITA 主席及副主席拍照留念

伍、隧道工程工地觀摩參訪

今天大會安排參訪的是杜拜的捷運工程，因為報名的資訊不明確且期限很短，所以參加的人不太多，而工地現場的管制及限制很多，包括僅簡短說明工程概要及口頭介紹，不提供簡報資料，在進入隧道後不得拍照等，讓參訪者留下一些遺憾，惟仍對其整個工程有一定程度之了解，茲說明如下：

一、工程概要

本計畫名稱是 Route 2020，也就是要在 2020 年完工啟用，是杜拜地鐵既有捷運(紅線) Nakheel Harbour & Tower 站的分支擴建捷運工程。隧道地質狀況屬砂岩，以及未固結或固結之砂層為主，地下水位甚高。隧道施工法於少部分區段(車站)採用明挖覆蓋法(約 1 公里)，其餘主要部份都是以土壓平衡式(EPB)潛盾機施工(約 15 公里)，鑽掘深度為 12.5m 至 36m，於完成第一階段鑽掘抵達車站後，予以重新整理後再次發進鑽掘。

目前施工進度順利，進度與預期符合，潛盾機平均每日可開挖 12 公尺，最佳紀錄為 30 公尺，截至目前已完成 50% 的隧道工程。

二、工程特色及參訪心得

- 1.本工程之工地人員管理非常嚴格，甚至帶有一點神秘色彩，這可能跟位於中東地區，宗教及政治情勢較為複雜有關。本次參訪，在事前就先要提供護照影本供查核，當天一進入工地就發給參訪證並要求掛在胸前，在簡報完要進入工地前，更發給一張切結書，裡面有詳細說明應注意之事項，以及發生緊急狀況時之作為，請我們詳讀，並有專人再詳細說明，以及指導搭乘人員運輸車，萬一有緊急事故時之個人安全防護器具使用法，於參訪人員確實了解並簽名後，提供安全帽、反光背心及安全鞋，才能進入工地，不過安全帽都沒有頤帶，和歐洲國家相同，但與國內的考量是極大的反差。
- 2.除了對參訪人員的管理外，工地施工人員在隧道洞口，和國內一般的管制做法相同，都必須要翻牌後才能進入，有問到既然

有如此嚴格之安全考量，為何沒有考慮用 RFID 的方式管理，較有效率，工地人員回覆因係單孔隧道，僅有一個出入口，所以採這種方式管制即可，除非是有多個不同出入口，才有必要採用 RFID，此點倒是值得斟酌。

- 3.本工程必須要穿越 E-311 號公路下方，且沿線尚有很多供水管線、高壓電管以及瓦斯管，所以其在設計時，就有採用 BIM 來作實況模擬。
- 4.本工程的環片是 40 公分厚，每環為 6 片加一片 Key，沒有使用鋼筋，全部採用鋼纖維代替(每立方公尺 35 公斤鋼纖)，雖然材料成本較高，但預鑄環片的生產速度較快，另還添加 2 公斤的 PP Fiber 以增加耐火能力。另其較特殊的是止水措施，除了一層慣用的擠壓是橡膠壓條外，在外圈還有一道紫色遇水會膨脹的壓條，等於有雙層的止水防護，而其在環面外層，更全面塗上 Epoxy 層作為保護，其目的該也是防止地下水的侵蝕，尤其是在該地區地下水是帶有鹽份的，更有其必要性。
- 5.因特殊的地質狀況，在潛盾機破鏡區先行施作 15 公尺長範圍的 Slurry 牆，作為保護，以避免破鏡時產生崩塌。
- 6.一般長隧道前段機施工多會用軌道方式運輸，但本工程係採用輪式車輛運輸，其解釋是因土方已經採用輸送帶方式運出隧道，所以運輸量較小，且因預期的施工進度很快，如用軌道運輸恐反而造成某些時段調度較不靈活，可能反而會有遲滯情形。
- 7.本次參訪過程經施工廠商所提供的資料，每班人力(8 小時，共三班)約需 50 人，包含工程師及作業人員，並且大致區分了機修站人員，負責 TBM 削刀之檢查及更換，TBM 油壓系統、潤滑系統、冷卻系統、輸送帶及機具設備之保養修理等作業；土本站人員，負責環片組裝、背填粒料、背填灌漿、支援系統作業區之環片吊裝作業、作業車及環片運輸車之調度等作業；電修站人員，負責 PLC 與電子系統、電機系統保養及修理、#4 及#5 輸送帶之操作、動力及照明系統電纜之延伸及保養作業；TBM 操作手，如此 TBM 鑽掘人力配置可將人力資源的整體功能強化，使施工人員的能力與任務需求相對應，以提高施工效

率。

8. 一般隧道位置如恰巧位於整體路線的曲線段，該曲線段異形環片寬度增大，惟須加長潛盾機，增加了曲線施工、偏差修正之難度；若將藉異形環片寬度減小，則增加環與環接頭數目。而環片重量過重除增加坑內運搬之作業困難外，且須增大環片組裝機能量，但本工程是藉由規設階段的詳細調查與設計，精確調整該組各個環片寬度，再以旋轉式組立環片，即可有效率地進行曲線段隧道之施工作業。
9. 一般隧道內一旦發生災害，由於救災較為困難，施工人員無法立即逃生，如無事前妥善的規劃及管理，災害的嚴重性往往就在短短的時間內轉變成重大災變，本次參訪工程即基於此等安全考量，在鑽掘機身中設有可容納 20 人之緊急避難艙，若鑽掘作業遇工程災害時可進入避難艙內等待救援。該避難艙為一鋼製筒狀式加壓艙，艙內除了必要的醫療器具與避難物資，甚至可以調節艙內氣壓以治療潛水夫病，因此該工程對於施工安全投入的心思與設備，頗值得我國借鏡。





圖 5-2 在工地會議室進行簡報

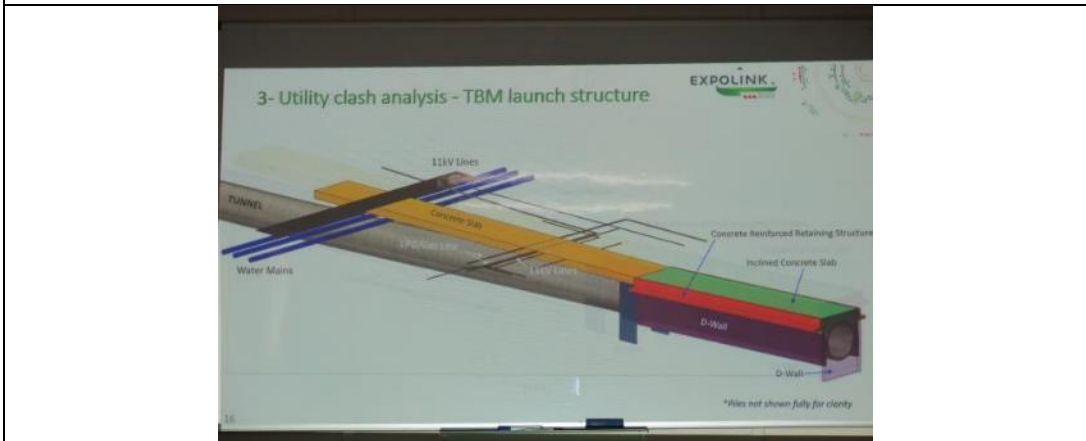


圖 5-3 BIM 模擬圖

EXPOLINK		TUNNEL VISITOR FORM	
<p>This Tunnel Visitor Form is to be completed by all visitors entering Expolink 2928 Tunnel. The Visitor is to read and understand all of the Tunnel Safety Rules and is to sign accordingly.</p>			
Name of Visitor:	Huang Feng-Kang		
Designation:	Engineer		
Company:	Railways Reconstruction Bureau		
Purpose of Visit:	TUNNEL TECHNICAL TOUR		
Name of Escort:	ALPER OZTURK		
<p>1. I have been trained in the use of the Self-Rescue Re-Breather.</p> <p>2. I will wear all designated PPE.</p> <p>3. I will stay with my escort at all times and follow all instructions given.</p> <p>4. I will not take any sources of ignition into the tunnel.</p> <p>5. I will not leave any waste in the tunnel (fire loading risk).</p> <p>6. Movement of the MSV has been explained to me.</p> <p>7. I will not smoke in the tunnel.</p> <p>8. The danger and controls associated with the Tunnel Invert has been explained to me.</p> <p>9. What to do in an Emergency:</p> <ul style="list-style-type: none"> Follow instructions given by your escort. Move as quickly and safely as possible to the entrance by which you entered the tunnel. Do not run. Keep to the designated walkway. Hand in your Tally and collect your ID Card. Don't use Mobile Phones inside Machine/Photography not Allowed. 			
Signed (Visitor):	<p>Huang Feng-Kang</p> <p><i>Full name plus all roles above and instruction given</i></p>		
Approved by:	Tunnel Management / Tunnel HSSE		
<p>The Visitor must now handover the Tunnel Entry Permit to Tally Security and Security will issue a Tally and a Self-Rescue Re-Breather. ID will be returned upon exiting the tunnel.</p>			
Tunnel Visitor Form	ALSTOM	ACCIONA	BUCKWAG
			19/12/201

圖 5-4 進入工地前所簽之參訪切結書



圖 5-5 工程參訪全體人員合影留念



圖 5-6 工地安全告示及消防砂



圖 5-7 隧道洞口之人員管制牌



圖 5-8 隧道洞口潛盾機發進起點



圖 5-9 穿著安全裝備於洞口留影，上方為風管，左右兩側分別為水、電管線及輸送帶



圖 5-10 40 公分厚之環片，採雙層防水護條及外側 Epoxy 層保護



圖 5-11 環片臨時堆置場，每環為 6 加一片 Key



圖 5-12 進出隧道之人員運輸車(兼具避難功能)

陸、心得與建議事項

- 一、 以往隧道工程多是以歐洲、日本，在相關的技術、施工機具以及各式材料上，佔了舉足輕重的地位，國際會議上也是以其為主角。而這次有 15 個贊助廠商，而最主要的贊助廠商是中國大陸的”中國交建公司”，另有 130 家的參展廠商，這其中韓國、土耳其等也有很多國際廠商參展。這顯示了隧道工程的發展已不再是歐洲及日本的天下，例如土耳其就有專業廠商以及機具設備商，積極承攬世界各國的工程，其對我國的隧道市場也很有興趣；另歐洲極為知名的 TBM 製造商 Wirth 公司也已被中國大陸廠商併購。此外，材料的採用也有相當程度的改變，各種新式的材料，例如玻璃纖維材料，雖然價格較高昂，但其經過不斷研發改良後，材質已可比擬一般鋼材，耐久性也夠，但卻較為輕巧，且易於處理，故已被各國大量採用，我國花東鐵路電氣化計畫中的新自強隧道，在遭遇沉泥層採用中導坑工法時，也使用玻璃纖維灌漿管，應用於鏡面加固、中導坑以及台階之地質改良灌漿；而機具設備、更趨向自動化、客製化，以 VR 提供完整的教育訓練，而測量也結合 GIS 等；這些在在都顯示了隧道工程已經且確實有必要，因應相關科技的進步而調整傳統的作法，以期更增加效率，而也因為世界各國都不斷的朝地下發展，相關的技術也不斷的自我要求與進步，以提升競爭力，這也是我們要注意以及有所警惕的。
- 二、 本次會議中發表的一些工程案例，例如遭遇軟弱地質的處理、高壓的地下水的處理，全斷面隧道鑽掘機(TBM)的性能的改進等，很多都與國內的一些重大隧道工程有類似的情形，諸如雪山隧道、新自強隧道、台北捷運隧道等，而當初我們所遭遇的困難、地質條件、施工環境、最終突破困難的因應方案等，在本次會議中發表的其他案例也看到一些相同的歷程，而有的是已經有預先考量，有的也仍耗費相當多的時間與成本，而處理的手法與觀念，有些與我們相同，但也看得出一

些改變與進化，或許國際上也有看到或參考我們的工程案例，這是一個相當重要的關鍵，就是”經驗的累積”，雖然全世界沒有任何兩個隧道的地質條件會是一樣的(就算是相鄰兩隧道，仍可能會有相當程度的差異)，但處理的基本觀念都大同小異的，主要是因應現場實際的地質，用”最快的速度”找出”最適合的處理方案”，這方案，不一定是最便宜或最貴的、也不一定是最快速的；而成本的考量與工期更是有密不可分的關係，如何在遭遇困難時，能迅速地做出判斷，更需要”足夠的經驗”，用最短的時間找出最適合的方案，才能讓工程能持續地推動下去，這是至為關鍵的，所以加強經驗的交流與累積，是隧道(地下)工程不可或缺的一環。

三、 本次會議中的圓桌論壇有特別就隧道工程的風險管理以及契約作一討論，也有一些論文就此一議題提出他們的做法與見解，其中都有一個共識，就是隧道工程因在設計階段，不管做再多的調查，但地質上仍存有非常多的變數，所以風險相對的較高，這與其他的土木工程有極大的差異；而這種風險，基本上是無法很單純地用契約手段去約定，且一旦發生狀況，所耗費的成本與時間都會相當巨大，如全都由承商來承擔，並不合理，且很容易造成爭議甚至工程延宕、停擺；目前的趨勢，很多國家都已有業主也必須承擔一定的風險的共識，也就是契約條款之訂定，應公平合理，且有效的分攤地質相關風險，其中業主應負起招標期間承包商無法合理預測的地質條件差異變化所帶來的風險，並應有所衍生的工期展延及費用增加之合理補償規定，而承包商則應負起在預測範圍內地質條件下的施工期程及成本風險，以降低契約執行與管理的困擾。例如土耳其的隧道工程，在遭遇困難後，業主在最短時間內同意承商所提更換 TBM 的建議，相關的變更設計也都有給付費用，所以能在一年內就恢復開挖。在台灣，地質狀況具多變及複雜性，風險較諸歐洲或一些較古老地質區域的國家相對更高，最著名的案例就是雪山隧道，導坑 TBM 不斷發生災變，致後續主隧道工程無保險公司願意承保，北上

線的 TBM 也是遭遇斷層被掩埋，決定改採鑽炸施工，所衍生的額外費用，尤其是災變處理費用，經果冗長的協商，最終也是透過上級協調，以及經由工程會的調解做一合理的分攤，工程也終於順利完成。然此僅為一特例，其他就不可預見的地質因素造成之災變處理，尤其是復舊所需成本，國內一般的見解均仍停留在屬於保險範疇，應由承商負擔為主，致相關的履約爭議案屢見不鮮。經由本次參與會議，確實了解國際上的見解與做法已有改變，這一重要課題，國內工程主辦機關確應認真面對，似可由主關機關，委託相關專業團體或組織，就此一議題作一探討，訂出一些原則，包括風險分攤原則、判斷機制更明確合理化，納入契約範本內，供各工程主辦機關參考引用。

- 四、這次的會議中，甚多與會的論文，就設計以至於施工，發表他們導入 BIM 的觀念與做法，在地質方面，從以往的數位化、到結合地理資訊系統(GIS)，再進一步建立 BIM 的模式，結合了隧道結構、地下管線，甚至營運管理等各層面。在國內，BIM 的觀念也已經被接受，交通部也於 107 年”訂定交通部所屬各機關工程建置建築資訊模型(BIM)作業推動原則”，規定在一定金額以上的工程，從設計階段就必須要導入 BIM，並應自設計施工以至於營運管理整體結合考量，但這些規定，似都只侷限於每一個案，各自去發展，在參與本次會議中，有發現有些國家，有注意到”整合”，也就是建立統一的標準、格式，所有的個案都採用相同的標準，日後才能將每一個個案的成果彙整起來，變成一個大的資料庫，不但可以節省每一個個案的成本，也才能不斷的將此擴充，不但應用於工程，更能推展到都市甚至國土規劃與利用，這該也是我國應該考量的發展方向。
- 五、本次技術會議中多篇為隧道火災風險分析及因應火災之應變機能等領域，研究隧道發生火災的溫度曲線，針對隧道內不同的火災規模以評估災害對隧道行車安全的影響。另外國外目前新式隧道通風方式，採取橫流方式進行並於隧道上方設

置獨立排煙管道，管道兩端則設有軸流風機提供排煙動力，其優點是於平時期間維持隧道內潔淨的空氣，發生火災時則由上方開啟排煙閘門集中控制煙層排放隧道之外，以利隧道人員避難逃生及救災。隧道襯砌防火部分，國外目前研製一種濕噴混凝土並摻入有機纖維，該纖維重量輕，一般摻入量為鋼纖維 5%左右，且其抗撕裂與延展性能均提高很多，而且其防火性能較鋼纖維噴凝土佳，特別是高溫下有機纖維即可被溶解並填充於混凝土裂縫，可延長混凝土崩裂時機，以上可供我國隧道防災措施參考。

- 六、 隨著工程規模愈來愈大，現在的隧道動輒數公里甚至數十公里，所以完成後隧道營運管理，尤其是公路隧道，也變成一重要的課題，近年來 Smart tunnel(智慧型隧道)的觀念已逐漸推展，利用快速發展且科技化、自動化的環境、交通等監測設備，搭配通風、照明及交管設施，經由不斷的分析，建構一最佳的管理模式，不但要兼顧安全、省力更要考量”節能減碳”的重要因素，目前國內營運中的雪山隧道、八卦山隧道都屬於長隧道，也都有不斷的在就營運管理模式作檢討，而公路總局的蘇花改隧道群從設計階段也就已有納入此等思維，這未來也將是可以不斷再檢討精進的，甚至可以藉由人工智慧的發展及應用，能更落實這一目標。
- 七、 因應環境的變遷、社會經濟的發展，地下空間的利用儼然已成一主流，但地球的資源有限，地下空間的發展應具備有整體性、長遠性以及永續性等概念，不但要與既有的環境融合，有系統的整體規劃，從全生命週期的角度出發，將地下空間做最有效且最便捷的利用，更要融入自然景觀、環保(節能減碳)、人文美學的考量，以智慧化、科技化提升公共技社的服務品質，這是每一個國家、或是城市的主政者應有的思維，這也是現代工程師應具備的基本素養。
- 八、 經由參加本次會議可以了解，目前世界各國在隧道(地下)工程技術、契約執行、營運管理等各方面都與日俱進，很多都是值得我們學習與借鏡的，當然，也應該有我們有成就的部

分，能在此以國際舞台充分展現。國內的隧道(地下)工程未來仍有發展的空間，惟頗為可惜的是我國參與的人數不多，層面不廣，就以大會開幕式中介紹世界各國的隧道工程以及簡介手冊而言，甚至連非洲、中南美洲等都有，獨缺了台灣，殊為可惜，因隧道工程的特殊性與困難度不是一般工程能比擬，故真誠的建議我國產、官、學界可以多有系統且共同參與此類國際隧道會議，定當對國內的隧道產業有所幫助，也能建立我國在國際上隧道工程技術發展的地位。

出國報告審核表

出國報告名稱：參加 2018 年國際隧道會議			
出國人姓名 (2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位	
張勝晟	副工程司	交通部高速公路局	
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>2018 年國際隧道會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：107 年 4 月 21 日至 107 年 4 月 27 日		報告繳交日期：107 年 6 月 5 日	
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審 核 項 目	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. 格式完整 (本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」)	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. 無抄襲相關資料	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. 內容充實完備	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. 建議具參考價值	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. 送本機關參考或研辦	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. 送上級機關參考	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. 退回補正，原因：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同仁進行知識分享。	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. 其他處理意見及方式：	
出國人簽章 (2 人以上， 得以 1 人為代表)		計畫主 辦機關 審核人	一級單位主管簽章
		機關首長或其授權人員簽章	