

出國報告(出國類別：參加會議)

參加「2010年國際隧道協會(ITA)年會」 報告

服務機關：交通部臺灣區國道新建工程局

姓名職稱：王希光 幫工程司

派赴國家：加拿大

出國期間：99年5月15日至5月22日

報告日期：民國99年6月28日

摘 要：

世界隧道年會 (World Tunnel Congress) 是國際隧道工程界的最重要年度大會。此國際工程盛會係由世界各國分別輪流主辦，今年係由加拿大主辦(於溫哥華舉行)，本屆年會計有來自超過 50 國約 1000 人參與，主題為“邁向 2020 之隧道工程願景 (Tunnel Vision Towards 2020)”。本文係參加會議及參觀加拿大溫哥華捷運工程之心得報告，內容主要敘述會議研討主題，並簡述各相關議題之內容，同時介紹溫哥華捷運工程之相關興建過程與目前營運情形。本次國際研討會藉由各國代表熱烈參與，使得會議進行相當順利成功，同時可以感受到世界各國隧道工程界已經搭起一座知識與經驗交流的橋梁，建議後續仍派員參與年度大會以獲取寶貴之經驗與技術。

目 次

第一章	前言	4
第二章	研討會議程及主題	5
2.1	研討會議程	5
2.2	研討會主題	6
2.3	專題演講及論文摘要介紹	7
2.4	工程參訪	15
第三章	心得與建議	18
3.1	心得	18
3.2	建議	18

第一章 前言

國際隧道工程協會(ITA)2010年世界隧道年會於2010年5月15日~22日在加拿大溫哥華(Vancouver Canada)國際會議中心舉辦，本屆年會計有來自超過50國約1000人參與，主題為“邁向2020之隧道工程願景(Tunnel Vision Towards 2020)”。本局往年亦多次派員與會，筆者本次奉派參與此2010年年會活動，會議時間自99年5月16日至5月19日止計四天，會中除例行之會員國會議外，並有四天之隧道技術性論文發表及參觀溫哥華捷運工程。會中論文宣讀共計58篇，主要內容包括軟弱地層中之隧道施工、軟弱岩盤中之隧道施工、隧道工程之創新與研發、硬岩隧道施工、契約實務與商業運作考量、重建修復襯砌及灌漿、機械開挖之新發展與新技術、大地工程調查之新發展與新技術、地下空間之利用、隧道安全、隧道通過敏感性建築物、高度應力集中下之隧道施工、風險分析與商業運作考量、開挖順序與噴凝土襯砌、大地工程監測儀器等課題。透過參加本次世界隧道年會之機會，不但可與來自各國之專家交換經驗與知識，更可收集國外隧道設計、施工與實務案例之資料。由於各國代表熱烈參與，使得本次國際研討會相當順利成功，會議進行中可以感受到各國隧道工程界已經搭起一座知識與經驗交流的橋梁，對於彼此均有莫大之助益。



照片 1 溫哥華國際會議中心(Vancouver Convention Centre)

第二章 研討會議程及主題

2.1 研討會議程

世界隧道年會 (World Tunnel Congress) 是國際隧道工程界的最重要年度大會。此國際工程盛會係由世界各國分別輪流主辦且各國皆相當積極爭取。去年是由布達佩詩 (匈牙利) 主辦，今年係由加拿大 (溫哥華) 主辦，明年 2011 將由芬蘭 (赫爾辛基) 主辦，然後依序分別由泰國(曼谷)，瑞士(日內瓦)及澳洲(雪梨)等地區主辦。大會主席特別強調本次加拿大主辦此一盛會，是自從 1996 年以來再次回到北美洲國家主辦。世界隧道年會目的是為加強各國隧道工程技術之交流，至今年已有 36 年歷史分別由世界各國輪流主辦，均深受世界各國隧道從業人員的肯定與熱烈參與，本屆年會議程 (詳下表) 共四天時間，包含註冊報到、專題演講 (Keynote Speech) 論文研討 (Sessions)、海報會議 (Posters)、廠商展覽 (Exhibits) 及工程參訪 (Technical Tours)。

2010 年 ITA 年會議程表

日期 時間	5月16日 星期日	5月17日 星期一			5月18日 星期二			5月19日 星期三			5月20日 星期四		
8:00													
9:00	註冊及報到	註冊及報到	開幕及專題演講	海報會議	廠商展覽	委員會會議	論文研討	海報會議	廠商展覽	委員會會議	論文研討	海報會議	工程參訪
10:00													
11:00													
12:00													
13:00				廠商展覽									
14:00	註冊及報到	註冊及報到	論文研討	海報會議	廠商展覽	委員會會議	論文研討	海報會議	廠商展覽	委員會會議	論文研討	海報會議	
15:00													
16:00													
17:00													
18:00													

2.2 研討會主題

本次研討會命名為「邁向 2020 之隧道工程願景 (Tunnel Vision Towards 2020)」，相關課題包含下述內容：

1. 軟弱地層中之隧道施工 (Tunnelling in soft ground)
2. 軟弱岩盤中之隧道施工 (Tunnelling in weak rock)
3. 隧道工程之創新與研發 (Innovation and Research for Tunnelling)
4. 硬岩隧道施工 (Hard rock Tunnelling)
5. 契約實務與商業運作考量 (Contract Practices and commercial Aspects)
6. 重建、修復、襯砌及灌漿 (Rehabilitation, Repair, Linings and Grouting)
7. 機械開挖之新發展與新技術 (New Advances and Innovation in Mechanized Tunnelling)
8. 大地工程調查之新發展與新技術 (Innovative Techniques and Advances in Geotechnical Investigations for Tunnel Projects)
9. 地下空間之利用 (The use of underground space)
10. 隧道工程施工安全 (Safety in Tunnelling)
11. 通過敏感性建築物下方之隧道施工 (Tunnelling under sensitive structures)
12. 高度應力集中下之隧道施工 (Tunnelling under High stress conditions)
13. 風險分析與商業運作考量 (Risk Assessments and Commercial Aspects)
14. 開挖順序與噴凝土襯砌 (Sequential Excavation and sprayed concrete Linings)
15. 大地工程監測儀器 (Geotechnical Instrumentation and Monitoring)

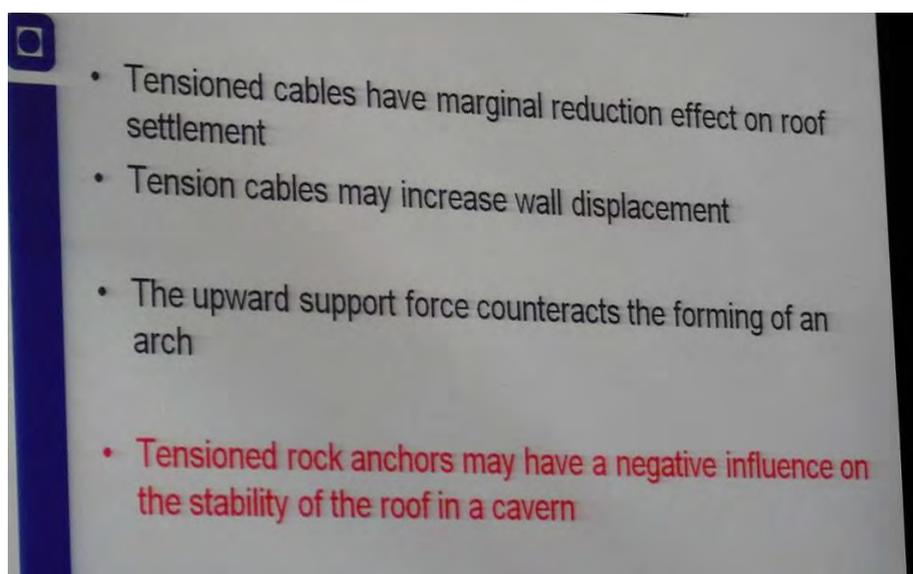
本次研討會會議期間之論文宣讀共計 58 篇，並分別於 3 個會場同時進行報告，由於參與人員及國家相當多，為使研討會進行流暢，本次論文宣讀過程嚴格控制時間，且會場不允許提問而是以集中方式於安排時段直接與論文宣讀者討論。與會代表們紛紛就隧道和地下工程問題中的前瞻問題發言，並就所遭遇的問題進行討論與交流，可謂收穫頗豐、獲益菲淺。

2.3 專題演講及論文摘要介紹

茲就專題演講及論文研討中較具特色之內容介紹如下：

(1) 挪威水利工程計畫中之隧道工程經驗 (Tunnels and Underground Works for Hydropower Projects)

本篇專題演講是由前任 ITA 理事長，挪威科技大學教授 Einar Broch 博士報告，主要內容是介紹挪威過去在水利工程計畫中之隧道施工經驗，尤其在二次大戰期間，因為缺乏金屬資源，挪威曾經設計施工數個無襯砌輸水隧道，目前仍正常運作中，也因此得到啟示，在後續隧道工程只要地質條件許可，挪威大多設計無襯砌隧道或僅以鋼纖維噴凝土封面之隧道，這也就是「挪威工法」的緣由。本篇演講中 Einar Broch 博士提出預力岩錨使用於拱形隧道的頂部，反而不利隧道本身岩拱效應之形成 (counteracts the forming of an arch)，因而對隧道之穩定性造成不良之影響 (a negative influence on the stability of the roof in a cavern)，此項說法亦引起廣泛之討論，不過筆者認為挪威地區之地質處古大陸板塊，地質構造較不明顯且岩盤强度高，挪威經驗是否適用於國內年輕且風化之岩盤尚待檢討。



照片 2 Einar Broch 博士演講簡報內容 (拍攝於會場簡報)

(2) 加拿大線捷運系統計畫 (Canada Line Transit Project)

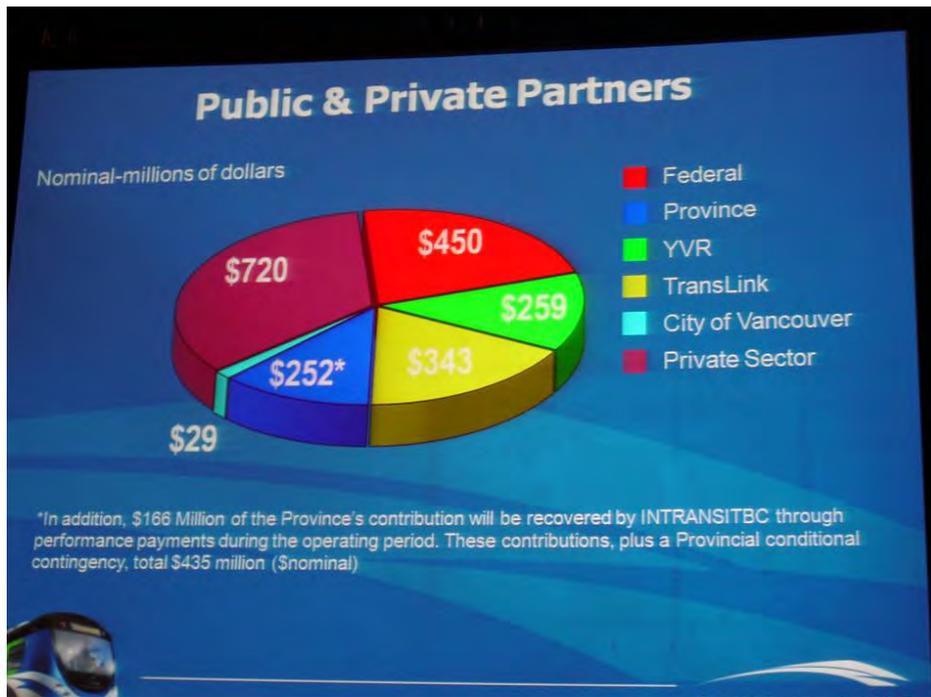
本篇專題演講是由前任加拿大線捷運系統計畫副總經理 Jeff Hewitt 先生報告，主要內容是介紹加拿大溫哥華最近剛完成的 Canada Line 捷運系統。本捷運系統全長 19.2

公里，主要路線係連接溫哥華市中心與溫哥華國際機場之間，是加拿大首條機場對外捷運線。加拿大線北起溫哥華市中心的濱海站（Waterfront），在市區中心主要以明挖回填隧道方式至耶魯鎮（Yaletown）後以TBM鑽掘隧道（約 2.5 公里）橫越福溪（False Creek），抵達對岸的奧運村站（Olympic Village）後再採明挖回填隧道南下，到 64 街後改以高架橋運行抵達溫哥華國際機場，其中隧道段總長約 9 公里，其餘為高架路段，整體系統與台北捷運的中運量系統文湖線相似。

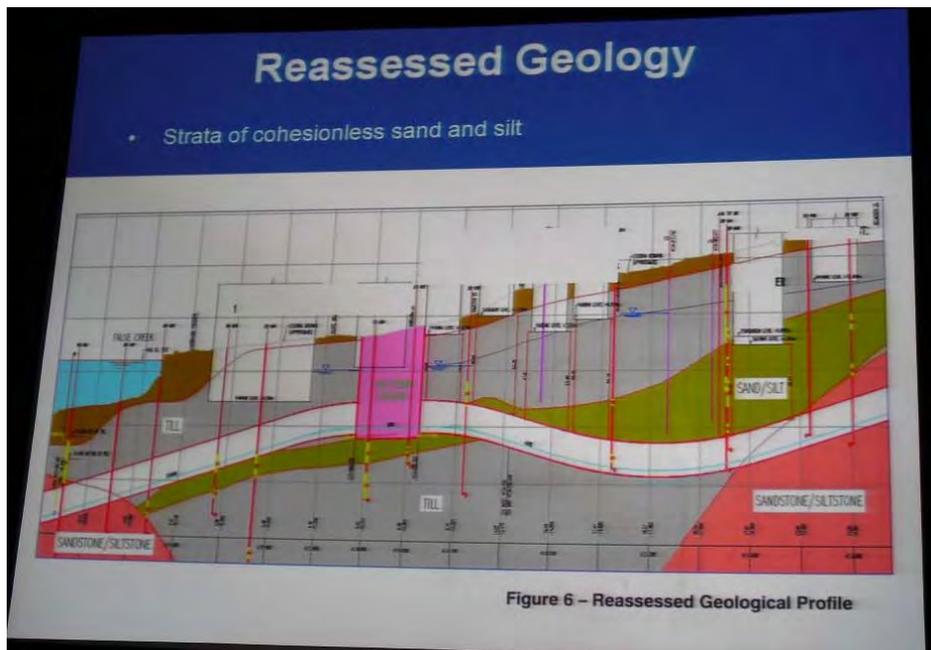


照片 3 加拿大線捷運系統高架路段

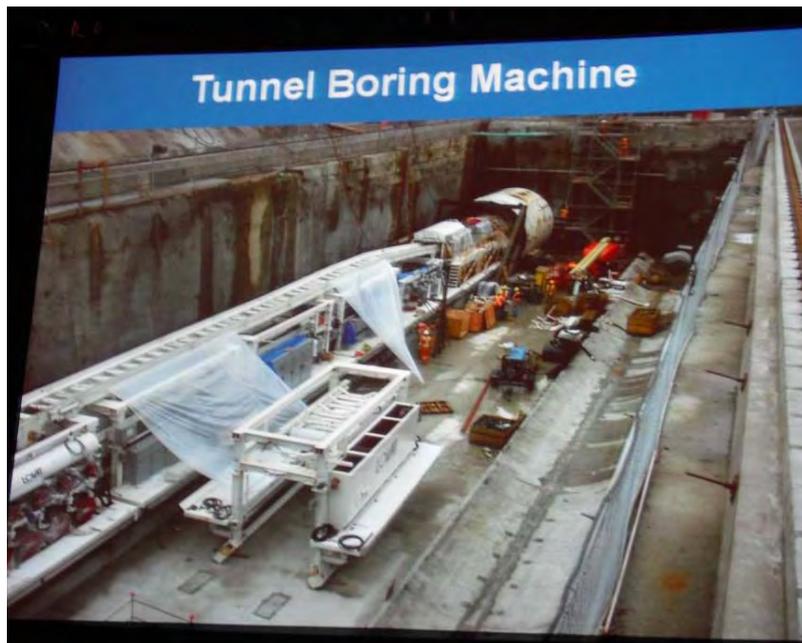
本捷運系統係採公共私營合作制（Public—Private—Partnership）模式發包、興建與營運（類似國內熟知之 B.O.T. 模式），總工程經費約 20 億加幣（約 600 億台幣），工期約 4 年（2005 年 10 月開工至 2009 年 8 月開放通車），施工過程相當順利，以 TBM 鑽掘隧道施工為例，2.5 公里長之鑽掘段僅花 9 個月完成（較原計畫提前 1 個月），月進度達 270 公尺以上，可以說是高效率，不過以筆者之瞭解該鑽掘段之地質為良好之沉積砂岩，地質構造單純且無地下水脈，事前亦經過嚴謹的地質調查確認後才選用 TBM 鑽掘，故才有此好成績。



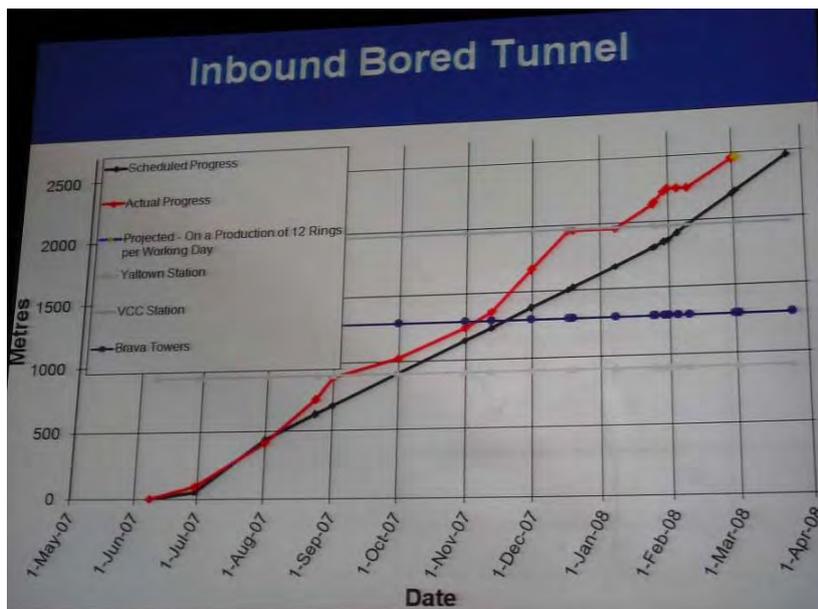
照片 4 工程經費及各出資單位分攤比例（拍攝於會場簡報）



照片 5 加拿大線捷運所經過之地質條件（拍攝於會場簡報）



照片 6 TBM 鑽掘隧道施工狀況（拍攝於會場簡報）



照片 7 TBM 鑽掘隧道施工進度資料（拍攝於會場簡報）

(3) 伊斯坦堡海峽隧道計畫-海底潛遁隧道案例研究 (A Case Study of Subsea Shield TBM Tunnel Design:Istanbul Strait Road Tunnel Crossing Project)

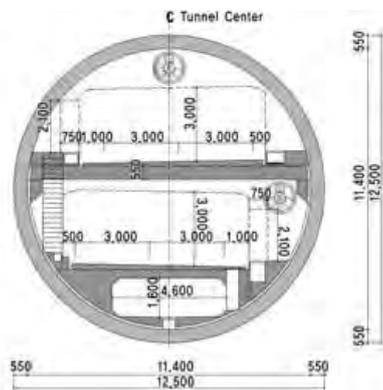
本篇是由韓國 Sambo 工程 Ki-Chen Jeon 先生報告，近年來韓國工程的觸角已經伸展到世界各地，而關於跨海隧道的設計、施工在韓國本土已有釜山至鄰近巨濟島(Geoje Island)的海底沉埋隧道(3.2公里)，本報告為連接歐亞大陸的伊斯坦堡海峽隧道計畫以潛遁隧道施工的案例研究。伊斯坦堡海峽隧道計畫海底隧道段為一長 3.34 公里的國際統包公路工程，韓國 Sambo 工程負責主要設計，總工程經費約 10 億美金。



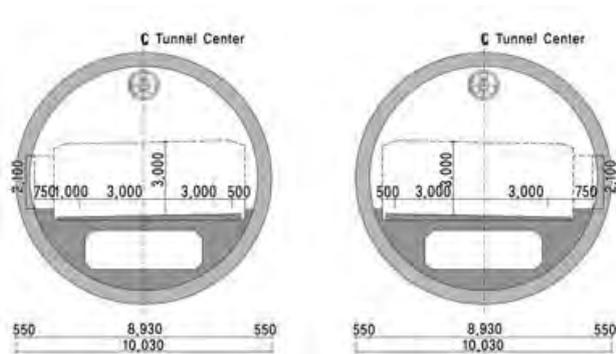
照片 8 伊斯坦堡海峽隧道計畫

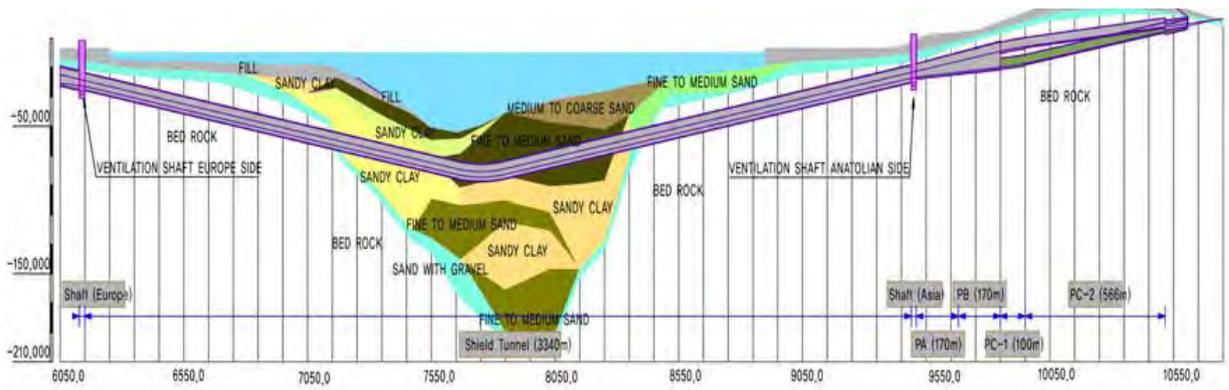
目前規劃方式為一單孔雙層（方案一、直徑約 12 公尺）或雙孔單層隧道（方案二、直徑約 10 公尺），海底隧道段計畫以潛盾隧道施工，海底隧道段所經過之地質主要為砂性黏土（詳照片 9），惟究採單孔或雙孔方案待經濟性與安全性評估完成後再決定。

方案一、單孔雙層



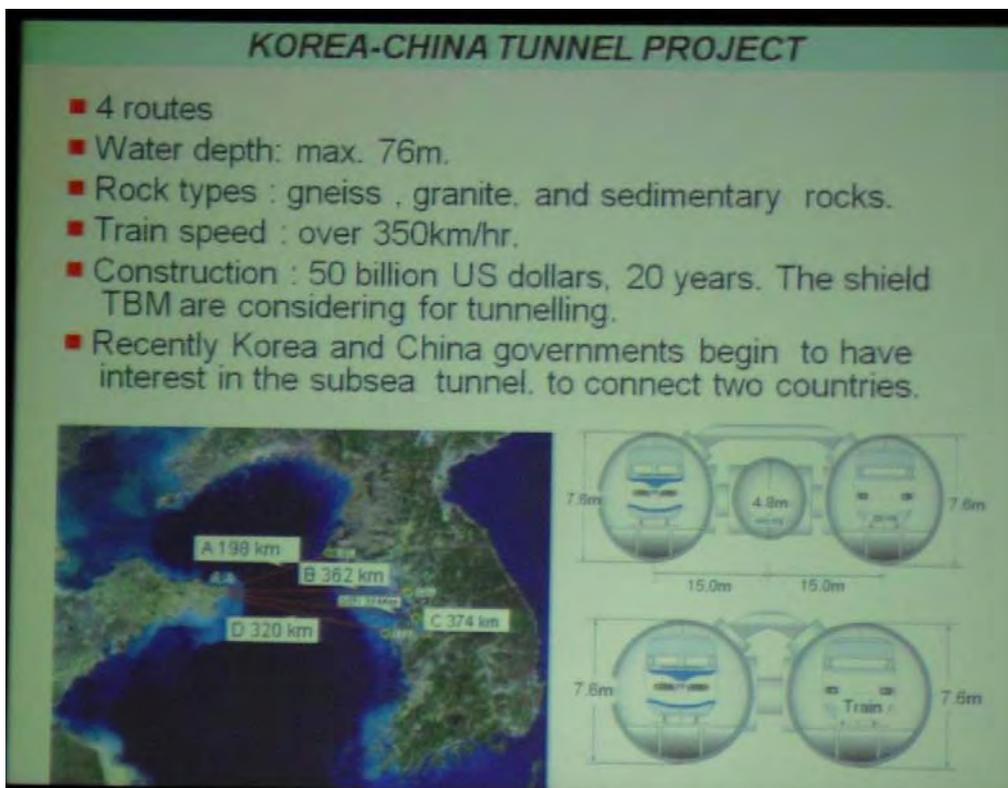
方案二、雙孔單層





照片 9 海底隧道經過之地質剖面

值得一提的為會中主講者另提出一項正在研究中的跨海隧道的計畫—中韓跨海高速鐵路計畫。目前規劃 4 條路線（198 公里~374 公里），工程經費約 500 億美金，工期評估約 20 年，計畫以 TBM 鑽掘隧道方式施工，所經過的地質有片麻岩、花崗岩及沉積岩。雖然本計畫目前僅於研議階段，不過韓國人展現挑戰性的企圖心不容輕視，本屆世界隧道年會選出的新主席即為韓國籍的李印模（LEE IN-MO）教授，未來韓國隧道工程的發展正受世界各國的矚目。



照片 10 中韓跨海隧道計畫（拍攝於會場簡報）

(4) 使用偶合熱傳導模式研究隧道火災對襯砌受力初步探討 (Preliminary Study of Fire Load in Tunnel by Using Conjugate Heat Transfer)

本篇論文係由國內台灣世曦工程顧問公司陳卓然博士發表,也是國內於本次研討會中唯一發表之論文,主要內容係探討隧道火災發生時燃燒熱所造成的高溫如何藉由空氣(流體)直接將高溫傳入隧道混凝土襯砌(固體)內部,由於涉及溫度從空氣(流體)直接傳入襯砌(固體)的流固互制(fluid-solid interaction)問題,作者係採用偶合熱傳導模式 (Conjugate Heat Transfer) 之有限體積分析 (Finite Volume Method) 方式來模擬可能之情境。此一課題在近年來隧道火災之研究逐漸受到重視的情形下,會場中亦可見類似論文發表,因此隧道火災後的安全性,甚至研發設計可耐高溫的襯砌應是隧道工程界可再努力的方向。

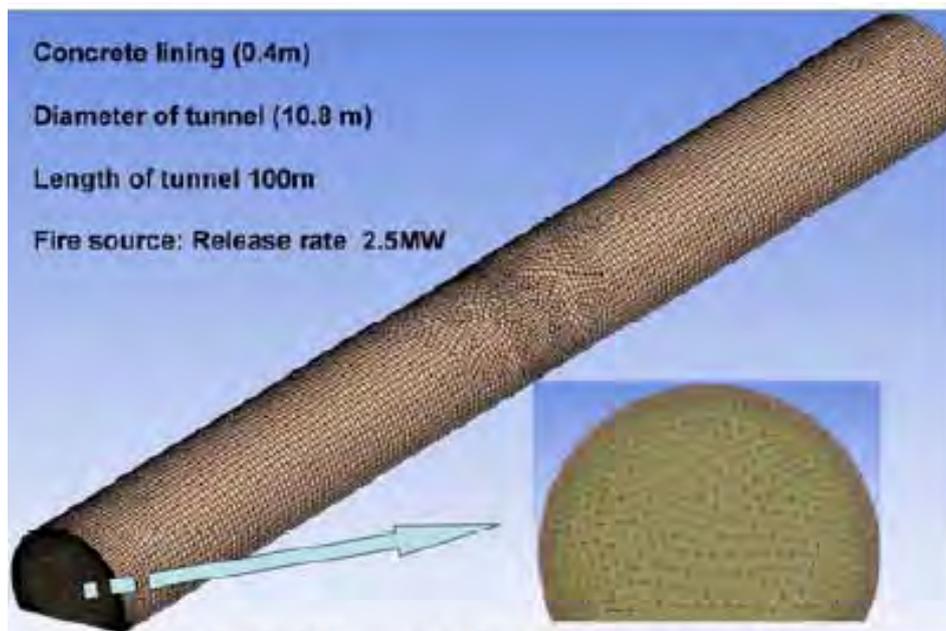
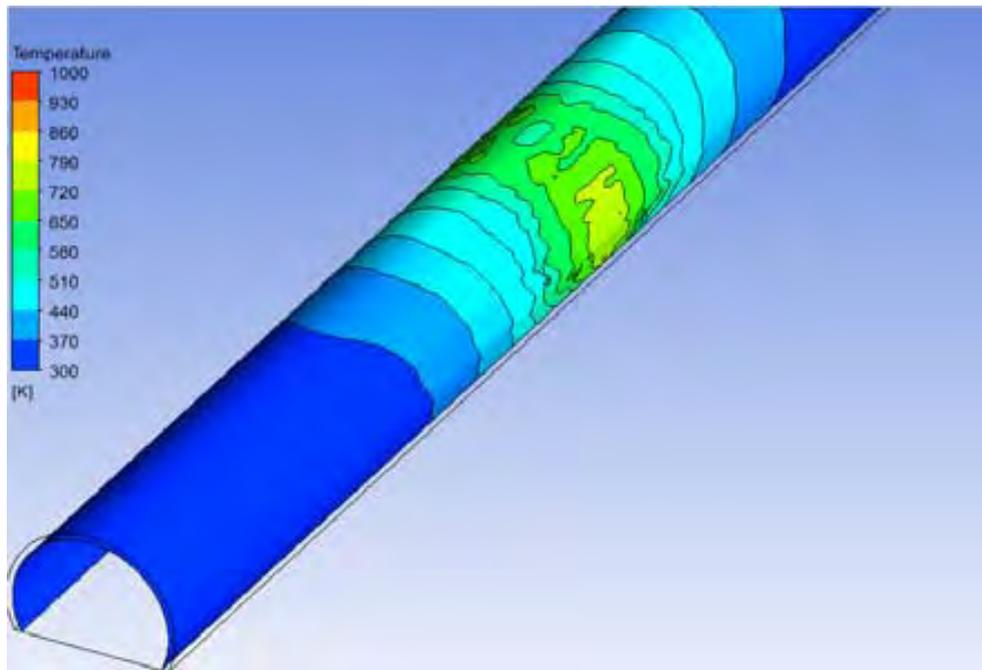
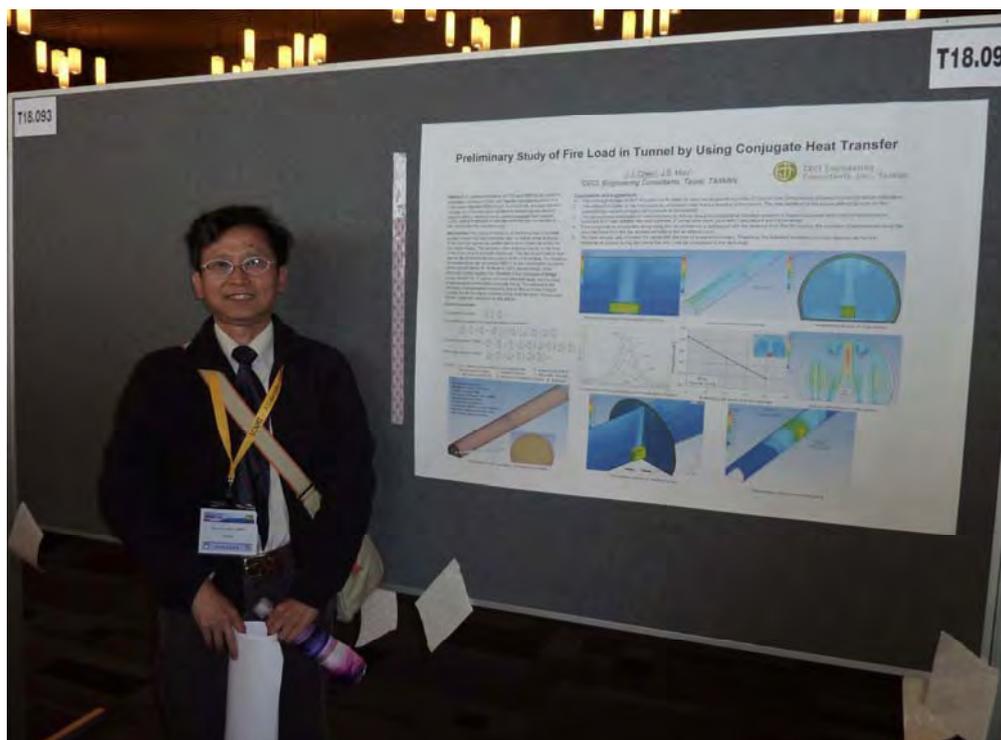


Fig.-6 FVM mesh for CHT calculation

照片 11 熱傳導模式 (CHT) 之有限體積 (FVM) 分析網格



照片 12 熱傳導模式 (CHT) 之有限體積 (FVM) 分析成果



照片 13 台灣世曦工程顧問公司陳卓然博士於會場發表之論文

2.4 工程參訪

最後一天研討會安排工程參訪(technical tour)，主要參訪內容就是溫哥華新近完成的加拿大線捷運，本捷運系統趕在 2010 年冬季奧運前開放營運（2009 年 8 月開放通車），本捷運系統全長 19.2 公里，其中隧道段總長約 9 公里，其餘為高架路段，整體系統與台北捷運的中運量系統文湖線相似，惟僅於驗票系統不同，加拿大線捷運系統並無設置自動驗票閘門，全憑旅客自行於自動售票機購票後搭乘，所購車票亦無需回收，車站入口及車上亦無見查票人員，故本捷運系統收費方式的確令人稱奇，也讓人體會加拿大重視個人道德的表現，參訪過程如照片 14~18 所示。



照片 14 會場出發情形



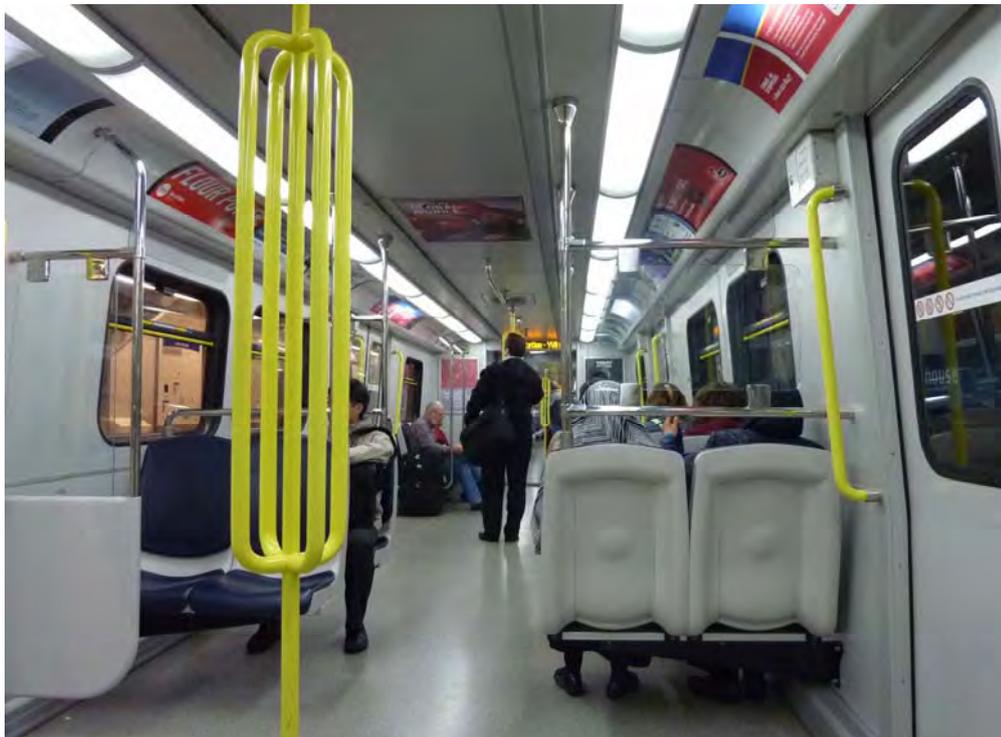
照片 15 自動購票機



照片 16 現場參觀與解說情形



照片 17 潛盾隧道襯砌環片



照片 18 捷運車箱內部

第三章 心得與建議

3.1 心得

(一)近代隧道工程技術之發展已超過 100 年歷史，從早期僅採純手工開挖與簡單之木支撐，其後逐步演進至鑽炸法及至近年大量採用自動化機械施工，經歷新材料、新設備之發明改進，使得隧道施工朝機械化、精準化發展，並配合監測技術之提昇，舉凡施工效率、品質與安全均有突破性之進展。

(二)由於台灣地區具有山多平原少之自然環境，加上都會區捷運系統多採地下化之需求，隧道工程在土木工程中所扮演的角色將日益吃重，故實有必要吸收先進國家之隧道技術與概念，以達成隧道施工之效率性、安全性及經濟性。

(三)隧道工程施工中，因地質條件之不確定性，其風險相對而言是較高的。工程風險評估 (Risk Assessment) 之辦理方式，除技術可行性之風險評估外，地質構造風險之預測及合理之分攤模式亦為順利解決施工過程遭遇爭議之重點。

(四)經由聽取加拿大線捷運系統計畫之簡報與親身參訪及體驗之過程，可以深刻感受一項重大建設的推動事前需有審慎的規劃與調查，除技術性之掌握程度外，財務之運作模式亦為其重要因素之一。目前世界各先進國家政府部門在預算有限之情況下，紛採 B.O.T. 模式推動重大交通工程計畫，值得學習，惟需謹慎評估工程之經濟可行性，並確實作好財務計畫，方能確保後續能順利推動與進行。

3.2 建議

雖然近年來國內隧道工程快速蓬勃發展，相關之規劃、設計、監造乃至施工技術均達國際水準，惟透過參與本次年會聽取各國發表之專業論文確可提供往後國內推動隧道工程之參考，建議後續仍派員參與年度大會以獲取寶貴之經驗與技術。