

出國報告（出國類別：出席會議）

出席 2013 年世界隧道研討會及 39 屆世界隧道年會報告

服務機關：交通部公路總局

姓名職稱：局長 吳盟分等 6 人

派赴國家：瑞士

出國期間：102 年 5 月 29 日至 102 年 6 月 9 日

報告日期：102 年 7 月 30 日

出席 2013 年世界隧道研討會及 39 屆世界隧道年會

摘要

我國蘇花公路改善工程與南迴公路改善工程等重大工程，皆面臨施作隧道工程之挑戰，藉由 2013 年 5 月 31 日至 6 月 7 日國際隧道協會於瑞士舉辦之 2013 年世界隧道研討會，使我國隧道工程技術與世界接軌。公路總局由吳局長盟分率隊、夏組長明勝、邵處長厚潔、蘇副處長文崎、卓科長明君、連副工程司育群等 6 人組成參訪團參加，實地走訪考察及參加研討會以汲取先進國家之隧道相關經驗。

本年度研討會主題為「Underground - the way to the future」，主要討論重點包括隧道整修、建築技術發展、隧道營運、專案規劃與實施、設計與分析方法和注意事項，案例討論包括水力發電和其他水利隧道、特殊地質之隧道。藉由各國專家學者的分享，獲知世界隧道技術的發展知識與觀念，搭起交流的橋梁，促進我國隧道工程之永續發展及持續精進。

目次

一、 前言(目的).....	1 -
二、 參訪人員	2 -
三、 過程.....	2 -
(一)、 考察行程.....	3 -
(二)、 研討會議程.....	3 -
四、 心得及建議	4 -
(一)、 考察 Uetliberg Tunnel 行控中心.....	4 -
(二)、 考察 Gotthard Base Tunnel 之 Erstfeld Information Center.....	7 -
(三)、 研討會-鐵路隧道安全等級提升(Chabot, 2013)	9 -
(四)、 研討會-整合型隧道內監控系統(Thienert et al., 2013).....	9 -
(五)、 研討會-鐵公路隧道檢測與維修補強(Sandrone, 2013 & Choo et al., 2013)	10 -
(六)、 研討會-隧道開挖面支撐功效評估(Hirata et al., 2013).....	11 -
(七)、 研討會-隧道仰拱隆起破壞原因與對策(李佳翰等, 2013)	11 -
(八)、 研討會-隧道受震破壞(Yashiro et al., 2013)	12 -
(九)、 研討會-懸吊式隧道開挖與支撐系統(Chamberlin & Combe, 2013) ..	13 -
(十)、 研討會-隧道開炸噪音衰減與集塵設備(Noda et al., 2013).....	14 -
(十一)、 工程參觀 Gotthard Base Tunnel, Equipment Site, TTG Biasca	15 -
(十二)、 工程參觀 Ceneri Base Tunnel	15 -
(十三)、 考察交通市政	16 -
五、 結論.....	22 -
(一)、 與世界接軌, 向各國交流.....	22 -
(二)、 國際工程經驗為他山之石可以攻錯	22 -
(三)、 重大工程引領地下空間的開拓	22 -
(四)、 先進國家的隧道防災觀念.....	23 -

(五)、 易於辨識之隧道里程碑及逃生、消防等指示牌	- 23 -
(六)、 標誌標線及交通板等交控設施再進化	- 24 -
(七)、 工程結合文化 展示中心行銷推廣兼教育	- 24 -
(八)、 從細節作起 建立工地紀律	- 24 -
(九)、 全功能考量 隧道功能再升級	- 25 -
(十)、 編足公共建設預算 健全公路全生命週期服務	- 25 -
(十一)、 我國隧道工程展望	- 25 -

一、前言(目的)

回首國內工程歷程，每逢重大交通建設的推動執行，便是工程概念與技術提升的契機，早從十大建設中山高與北迴鐵路的興建，到台北捷運、國道3號、以及高速鐵路等工程，每每帶動工程界於設計與施工面都有顯著的精進成長。藉由蘇花公路改善工程與南迴公路改善工程的執行，希能帶動國內公路全生命週期工程技術、管養制度、交控維運及防災減災的進步與效能提升。

由於蘇花公路改善工程與南迴公路改善工程主要採取隧道或橋梁方式通過山區以減少對生態的衝擊，在各類天然及人為災害如地震、火災等威脅下，工程設計、施工、養護、管理、防災的工作整合將十分具有挑戰性，且值得代表台灣工程界到世界舞台嶄露頭角。

世界隧道學會於2013年5月31日至6月7日舉行2013年世界隧道研討會及39屆世界隧道年會，世界各國專家學者將於會中報告及討論隧道興建、管理及防災等主題。本次研討會主要討論重點包括隧道整修、建築技術發展、隧道營運、專案規劃與實施、設計與分析方法和注意事項，案例討論包括水力發電和其他水利隧道、特殊地質之隧道。

國際經驗不僅有益於我國現正執行之蘇花公路改善工程及南迴公路改善工程，也學習如何將施工過程中得到寶貴的經驗及歷程，製成紀錄傳承於世，建立起巨人的肩膀，使得未來的工程師能站在上面看得更遠更廣。



圖 1-1、研討會實況

二、參訪人員

本局參訪團由公路總局吳局長盟分擔任領隊，本局參加人數共計 6 位，參加人員名單表列如下：

編號	姓名	頭銜	單位	備註
1	吳盟分	局長	交通部公路總局	領隊
2	夏明勝	組長	交通部公路總局	
3	邵厚潔	處長	交通部公路總局蘇花改工程處	
4	蘇文崎	副處長	交通部公路總局西濱南工程處	
5	卓明君	科長	交通部公路總局	
6	連育群	副工程司	交通部公路總局	

表 2-1、本局參訪團成員



圖 2-1、本局參訪團成員與我國隧道協會代表於研討會會場合影

三、過程

參訪團參加 2013 年世界隧道研討會暨 39 屆世界隧道年會及相關參訪行程自 2013 年 5 月 29 日(星期三)至 2013 年 6 月 9 日(星期日)計 12 日，研討會及年會於瑞士日內瓦舉行，詳細行程分列如次：

(一)、考察行程

日期	上午	下午	備註
5/29(三)		搭機赴瑞	
5/30(四)	考察蘇黎世交通建設	參訪 Uetliberg Tunnel 之行控中心	
5/31(五)	參訪 Gotthard Base Tunnel 之 Erstfeld Information Center	考察琉森(Luzern)市交通建設	
6/01(六)	考察琉森(Luzern)市交通建設	搭乘火車前往日內瓦(Geneva)	
6/02(日)	考察日內瓦(Geneva)市交通建設	世界隧道研討會報到	
6/03(一)	參加世界隧道研討會	參加世界隧道研討會	
6/04(二)	參加世界隧道研討會	參加世界隧道研討會	
6/05(三)	參加世界隧道研討會	參加世界隧道研討會	
6/06(四)	參加世界隧道研討會之 Technical Excursion	參加世界隧道研討會之 Technical Excursion	
6/07(五)	參加世界隧道研討會之 Technical Excursion	參加世界隧道研討會之 Technical Excursion	
6/08(六)	搭機返國	搭機返國	
6/09(日)	搭機返國	搭機返國	

表 3-1、考察行程

(二)、研討會議程

參訪團於6月2日報到,並於6月3日至5日參加Opening Ceremony Muir Wood Lecture、Keynote Lectures、Technical Sessions、Poster Sessions、Exhibition 及 Technical Excursions,而後於6月6日至6月7日參加大會安排之 Technical Excursion。

本次技術性研討會(Technical Session)與壁報研討(Poster Presentation)共分為 17 個子題,分別為:

- (1) Underground space utilization ;
- (2) Project planning and implementation ;
- (3) Safety and other operational issues ;
- (4) Structural health assessment and tunnel refurbishment ;
- (5) Methods and basic aspects of design and analysis ;
- (6) Design case studies ;
- (7) Seismic design and experiences ;
- (8) TBM performance and wear ;
- (9) Developments in the technology of mechanized tunnelling ;

- (10) Developments in monitoring technology ;
- (11) Developments in concrete and shotcrete linings technology ;
- (12) Other construction technology developments ;
- (13) AlpTransit tunnels ;
- (14) Underground construction for hydropower ;
- (15) Other hydraulic tunnels ;
- (16) Cases with particularly demanding geological conditions ;
- (17) Other construction case histories

摘錄部分子題之心得及建議於後。

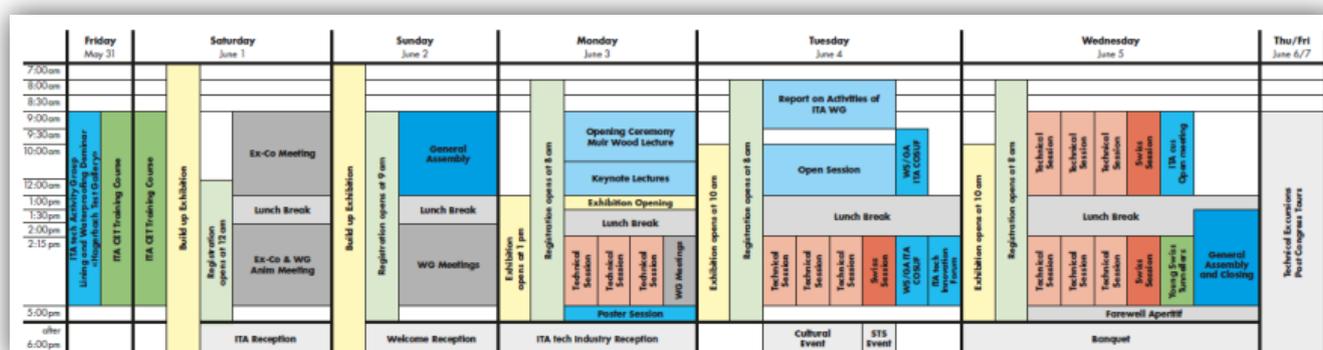


圖 3-1、世界隧道研討會議程(資料來源:大會網站)

四、心得及建議

(一)、考察 Uetliberg Tunnel 行控中心

Uetliberg 隧道為一雙孔單向三車道之公路隧道，全長 4.4 公里，其中一車道為緊急隧道，最大覆蓋約 320 公尺，隧道斷面機為 160 平方公尺，隧道開挖分為 TBM 開挖中央導坑後再使用 TBE 擴挖之工法以及採用鑽炸法開挖。建設計畫於 1996 年核准，自 2000 年 1 月開工至 2009 年 1 月完工通車，歷時 9 年，總建設經費約 1.12 億瑞士法郎。

隧道內的通風系統共有 4 座 510kW 排風風機，及 36 座 73kW 的風扇，每 100 公尺有可控制的通風排氣孔。隧道通風系統之功能，係在隧道內發生車輛起火事件時，必須提供用路人安全到達逃生路徑時僅有極少量的煙塵、將隧道內起火的煙排出等。當發生火災時，溫度偵測器將開啓火災位置之風機排煙以取代平時應用活塞效應之自然排風，避免煙霧瀰漫造成逃生不易及滅火困難。

參訪團參觀行控中心時，首先由中心主任介紹組織架構及任務職掌，

與台灣不同的是，本隧道係由工程單位負責建造完成，再交由警察單位進駐運作，其中包括交通、消防等相關權責之警察人員共同組成，負責監控與通報連繫隧道內之交通事故、火災消防及緊急救護處理等業務，警消指揮體系統一，與目前國內各單位交控中心由交通工程人員負責監控，遇交通事故、火災等事件時需分別通知警察、消防及救護單位派員至現場處理之方式不同，其中涉及緊急應變成立時之指揮官統一調度事宜，與跨部會單位之協調分工。而後中心主任說明火災發生時之排風模式，本交控中心平時即以分析軟體預設各種位置之火災事故應以何種排風模式因應。

至隧道內部參觀時，各式備用器材接整齊排放至牆角。不同機電設備以顏色做區別，各代表通風、號誌、通訊、電力及消防等。各式紙本文件亦詳細標註置於櫃中，以利隨時查考。可能汰換之線材纏繞置於機電設備附近之顯眼處，運用十分便捷。隧道之逃生通道採用綠漆標示，通道門口上方採日光燈照明，左右側則以綠色 LED 燈光醒目標示，逃生通道內為正壓，避免煙霧漫入。SOS 緊急電話及消防栓處有別於逃生通道之綠漆標示，使用紅漆標示以作識別。為避免與隧道方向垂直之車行橫坑不利於車輛轉彎行使，故設計一處斜交車行連絡通道，便利車輛疏散及救援行動。

另外，Uetliberg 隧道的輔助管道，闢建於車道的下方，密封且維持在正壓的環境下，提供纜線、飲用水及廢水的管道布設，並可在進行相關維修時不影響到交通，即所謂的隧道內的隧道。



圖 4-1、Uetliberg Tunnel 行控中心監控螢幕



圖 4-2、Uetliberg Tunnel 逃生通道

(二)、考察 Gotthard Base Tunnel 之 Erstfeld Information Center

Gotthard Base 隧道為全球最長之鐵路隧道，雙孔單軌，全長 57 公里，最大覆蓋約 2,500 公尺，自 1996 年 4 月 15 日開工至民國 2010 年 10 月東線貫通、2011 年西線貫通，建設經費約 70 億瑞士法郎。共分 5 個工區，分別為 Erstfeld、Amsteg、Sedrun、Faido、Bodio，位置圖如次。

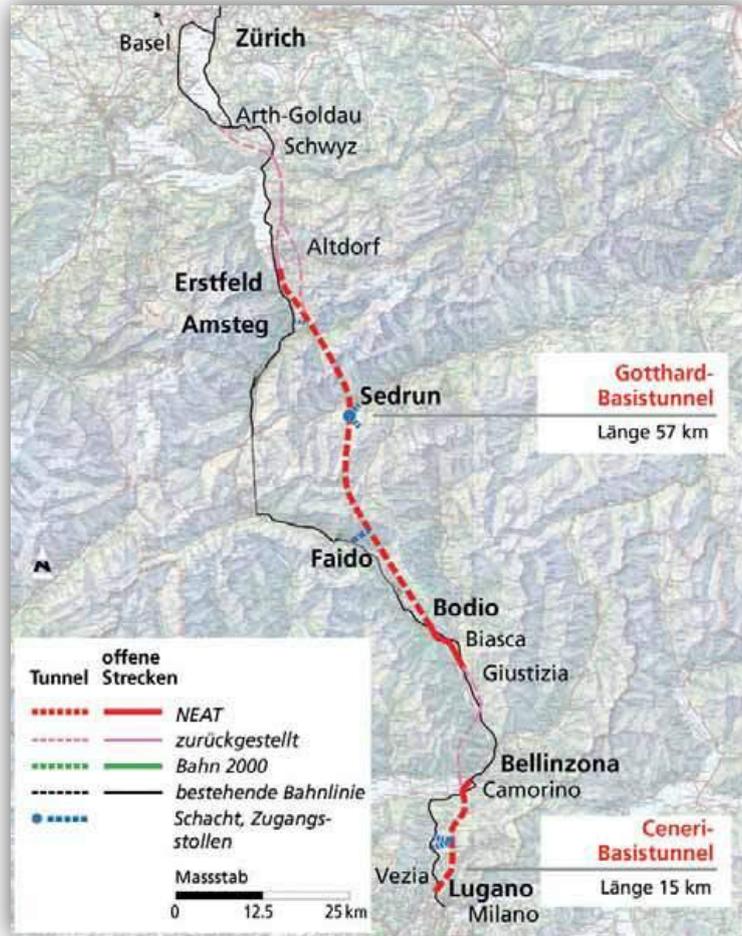


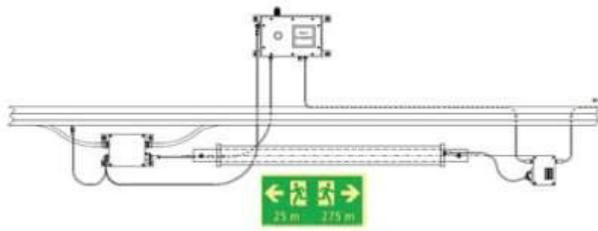
圖 4-3、Gotthard Base Tunnel 位置示意圖(資料來源:研討會提供)

參訪團 5 月 31 日參訪 Erstfeld 工區，首先至 InfoCenter 聽取簡報後，配備安全帽、反光背心、反光褲環、約可支應 45 分鐘之緊急氧氣背包與 GPS 定位裝置進入隧道參觀。隧道內部設置歷史走廊、實體模型及簡報影片播放空間。歷史走廊於隧道兩側設置具紀念性之歷史照片，設計如同畫廊，於科技感十足之隧道空間融入人文氣息；實體模型及材料分層展示清楚展示隧道構成及斷面分析，即使隧道完工後，後人亦可從模型及斷面展示了解構築隧道之過程；特設之簡報影片播放空間可觀賞隧道紀錄影片，了解每年度隧道施工重大歷程，不僅現場工程人員得到施工經驗，使我們也得到觀摩學習的機會。隧道外設有專屬展覽館，設置隧道簡介、縮尺模型、材料展示、紀念品及紀錄影片展售。

進入隧道參訪前即簽署安全須知，並給予完善的教育宣導及配備，本展示每日上午及下午各接受 2 組團隊申請，且有人數限制。在在顯示出其對人員安全及展示效果的高度重視。工程人員的努力，造就不只一座世界級的隧道，且留下豐富的工程經驗供後進學習。

(三)、研討會-鐵路隧道安全等級提升(Chabot, 2013)

1991 年瑞士發生一起火車於隧道內著火事件，雖未造成人員傷亡，卻已令有關當局高度重視鐵路隧道之營運安全、逃生與救災等相關議題。故瑞士聯邦鐵路公司(SBB)自 1995 年起逐年更新既有鐵路隧道之安全等級：逃生指標、LED 照明設施、救援列車、逃生廊道等，而 AlpTransit 整體建設計畫之 Lötschberg、Gotthard 與 Ceneri 等新建鐵路隧道則採用 2011 年最新之標準進行設計與安裝。



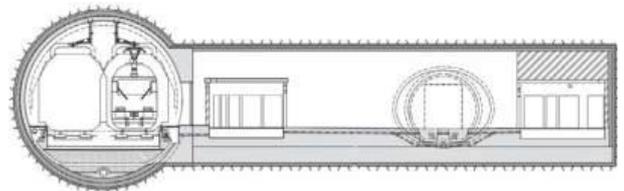
(a) 逃生指標



(b) LED 照明設施



(c) 救援列車



(d) 增建逃生廊道

圖 4-4、瑞士更新既有鐵路隧道之安全等級(Chabot, 2013)

(四)、研討會-整合型隧道內監控系統(Thienert et al., 2013)

德國高速公路局利用最新科技技術將隧道內各項監控設施整合於行控中心，包括：車輛高度偵測、雷達偵測、雷射偵測、攝影機、車輛載重偵測、火警偵測、能見度偵測、空氣流速偵測、一氧化碳濃度偵測等。並利用故障樹(Fault Tree)分析法，評估可能發生之事故或災害，提供預警與必要之交通管制措施。

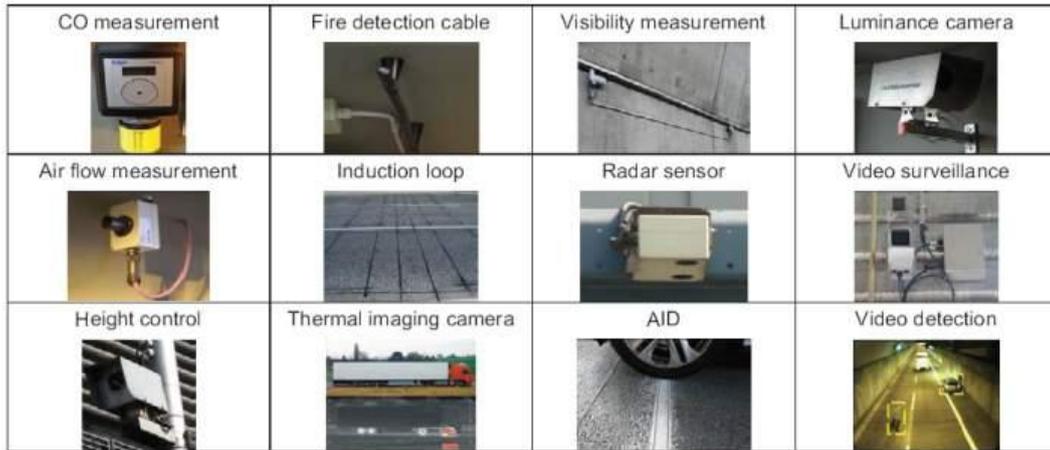
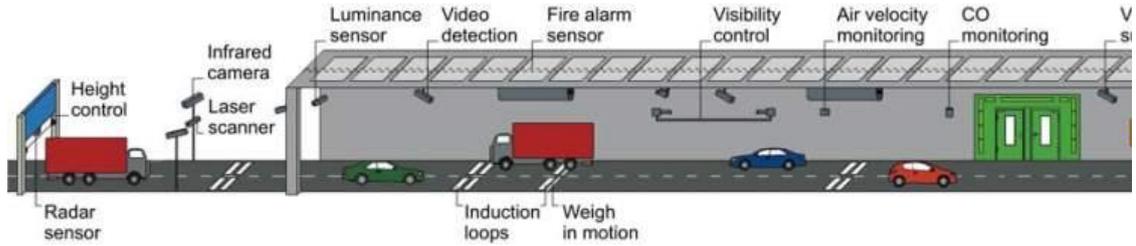


圖 4-5、德國整合型隧道內監控系統(Thienert et al., 2013)

(五)、研討會-鐵公路隧道檢測與維修補強(Sandrone, 2013 & Choo et al., 2013)

目前瑞士聯邦鐵路隧道總長已超過 250 公里，且未來 10 年將新增 162.5 公里長，故鐵路隧道之快速化檢測與安全等級評估更顯重要。透過隧道襯砌影像掃描技術(例如：GRP 500、TS 360、CCD System 等)可清楚檢測襯砌表面異狀(包含：裂縫、剝落、滲水、蜂窩等)並據以描繪，以利後續安全等級評估與維修強設計，可謂新世代鐵路隧道維護管理策略。

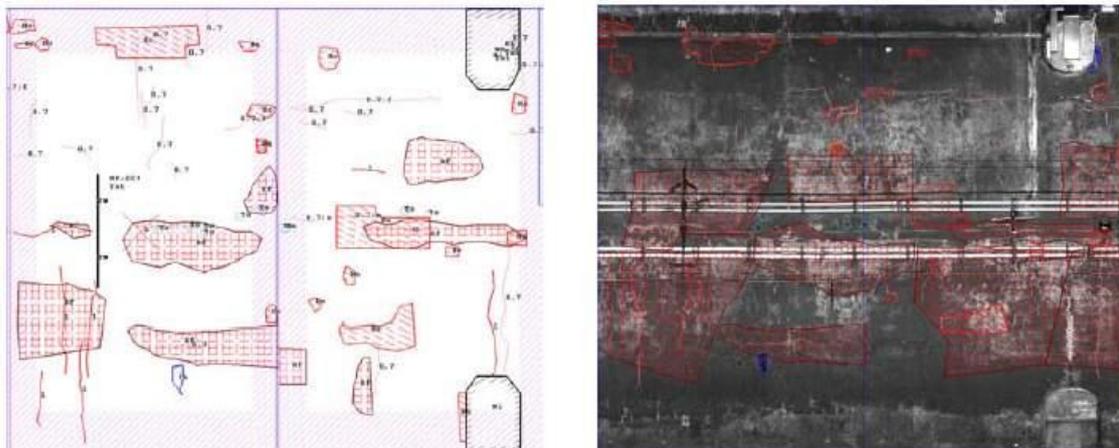


圖 4-6、瑞士鐵路隧道檢測範例(Sandrone, 2013)

而韓國公路局則有鑑於 2012 年 12 月 2 日日本山梨縣中央高速公路笹子隧道(下行線)通風隔艙板發生崩落現象，造成 2 人受傷、9 人不幸死亡之事故，針對韓國境內採用橫流式或半橫流式通風之公路隧道進行全面性之詳細檢測作業，並針對檢測結果具有異狀之公路隧道進行維修補強之加固作業，以避免類似之事故發生，具有「早期發現、早期治療」之公路隧道維護管理新思維。

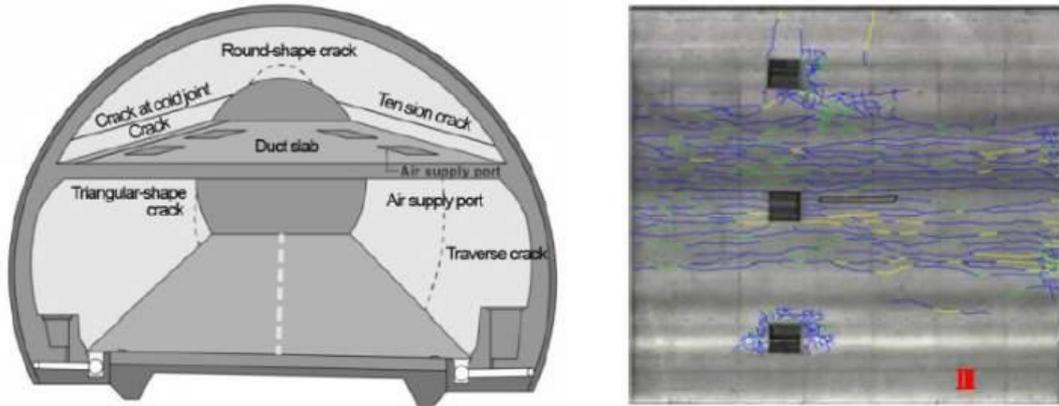


圖 4-7、韓國公路隧道檢測範例(Choo et al., 2013)

(六)、研討會-隧道開挖面支撐功效評估(Hirata et al., 2013)

自從義大利隧道協會理事長 Lunardi 教授於 2001 年 ITA-WTC 研討會提出「ADECO-RS」隧道開挖面支撐抑制變形工法後，各國均廣泛討論此一新穎之設計觀念與施工理念之成效。而日本隧道相關研究單位則依此理念利用模型試驗與三維數值模擬評估其功效，據其研究顯示：當隧道開挖面加勁(固)之岩栓(玻璃纖維材質)長度約等於開挖面直徑時，其抑制隧道變形之效果最佳。

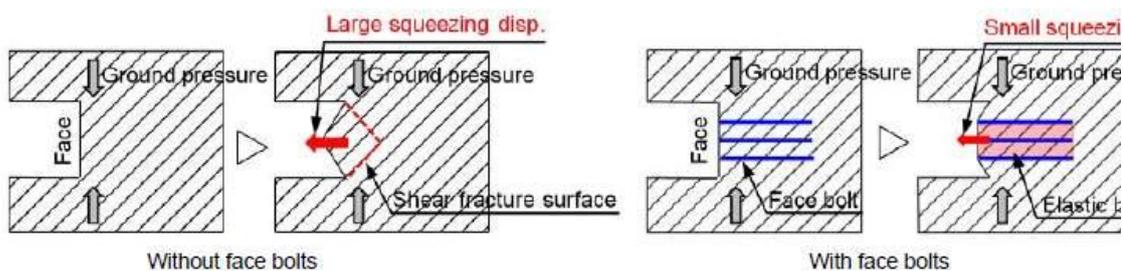


圖 4-8、日本隧道開挖面支撐模型試驗示意圖(Hirata et al., 2013)

(七)、研討會-隧道仰拱隆起破壞原因與對策(李佳翰等，2013)

根據執行眾多隧道檢測案之經驗，目前國內外之隧道檢測大都著重於隧道襯砌表面之資訊，卻往往忽略掉“仰拱”異狀之徵兆與特性，殊不知有時隧道側壁之裂縫係由仰拱所引起。因此蒐集彙整 50 個國內外隧道仰拱隆起案例，並從中歸納其可能之原因有：膨脹、擠壓、地震、高地下水壓、邊坡滑動或潛移、斷層活動或圍岩依時弱化(變形)

等；而其對策則有：打設仰拱、打設岩栓或地錨、穩定邊坡、設置降伏支撐(yielding supports)、降低地下水壓等。

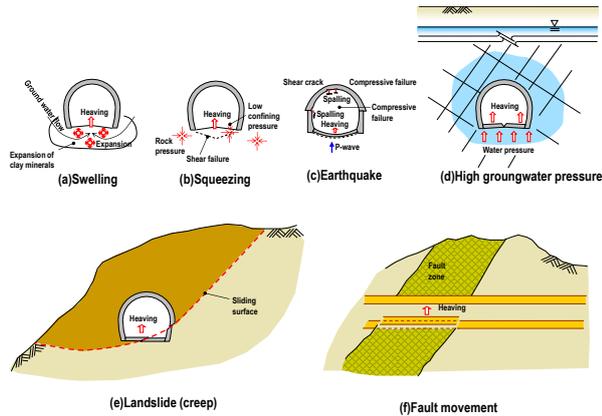


圖 4-9、隧道仰拱隆起破壞原因(李佳翰等，2013)

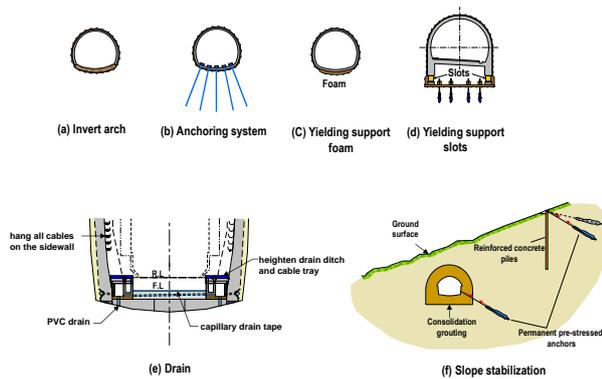


圖 4-10、隧道仰拱隆起對策(李佳翰等，2013)

(八)、研討會-隧道受震破壞(Yashiro et al., 2013)

2004 年與 2007 年日本新潟縣中越地震造成許多山岳隧道受到損壞，因此，山岳隧道的受震破壞機制已受到日本與國際之高度重視，並投入許多相關研究。日本鐵道總研技術研究所 Yashiro 等人(2013)利用案例蒐集彙整，首先歸納山岳隧道之受震破壞型態有三大類：(1)淺覆蓋；(2)地質狀況差；(3)斷層。並利用一系列之模型試驗與數值分析，驗證並進一步瞭解山岳隧道於具有襯砌背後空洞情況下之受震破壞型態。

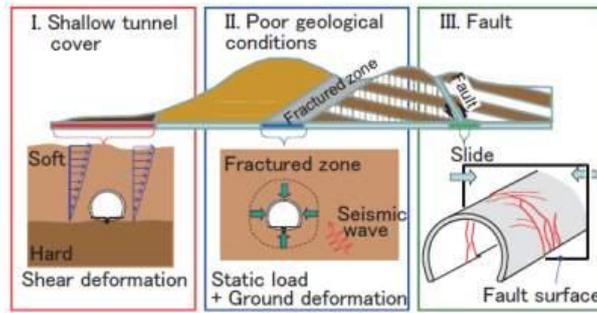


圖 4-11、山岳隧道受震破壞模式(Yashiro et al., 2013)

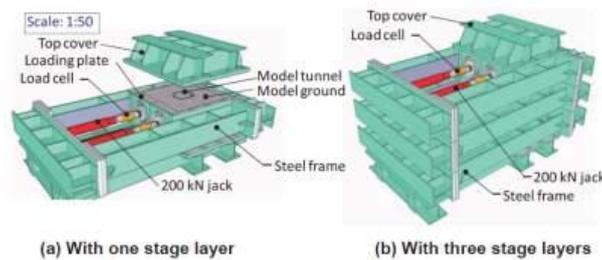


圖 4-12、山岳隧道受震之模型試驗(Yashiro et al., 2013)

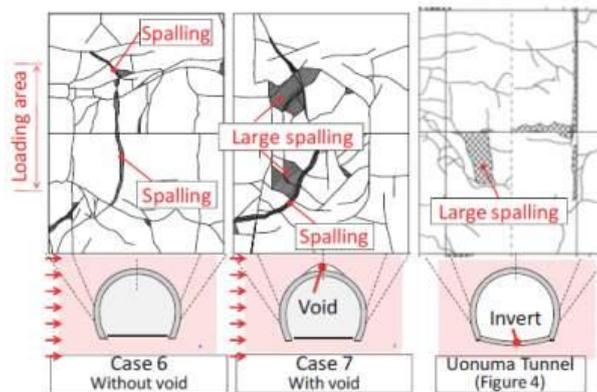


圖 4-13、山岳隧道受震破壞型態(Yashiro et al., 2013)

(九)、研討會-懸吊式隧道開挖與支撐系統(Chamberlin & Combe, 2013)

法國 Toulon 第二公路隧道由於地質狀況複雜且鄰近市區，顧問公司設計為數眾多之支撐系統，故統包商為如期如質完成此一艱鉅任務，採用「懸吊式」隧道開挖與支撐系統，將鑽桿、噴漿臂、支保組立臂等大部份隧道開挖與支撐設備安裝於「懸吊式」作業平台，如此可大幅減少施工機具(車輛)進出、迴轉、會(避)車之時間，且有效提升隧道開挖與支撐輪進效率。瑞士 Gotthard Base 鐵路隧道鑽炸工法區段，亦採用類似之懸吊式隧道開挖與支撐系統。

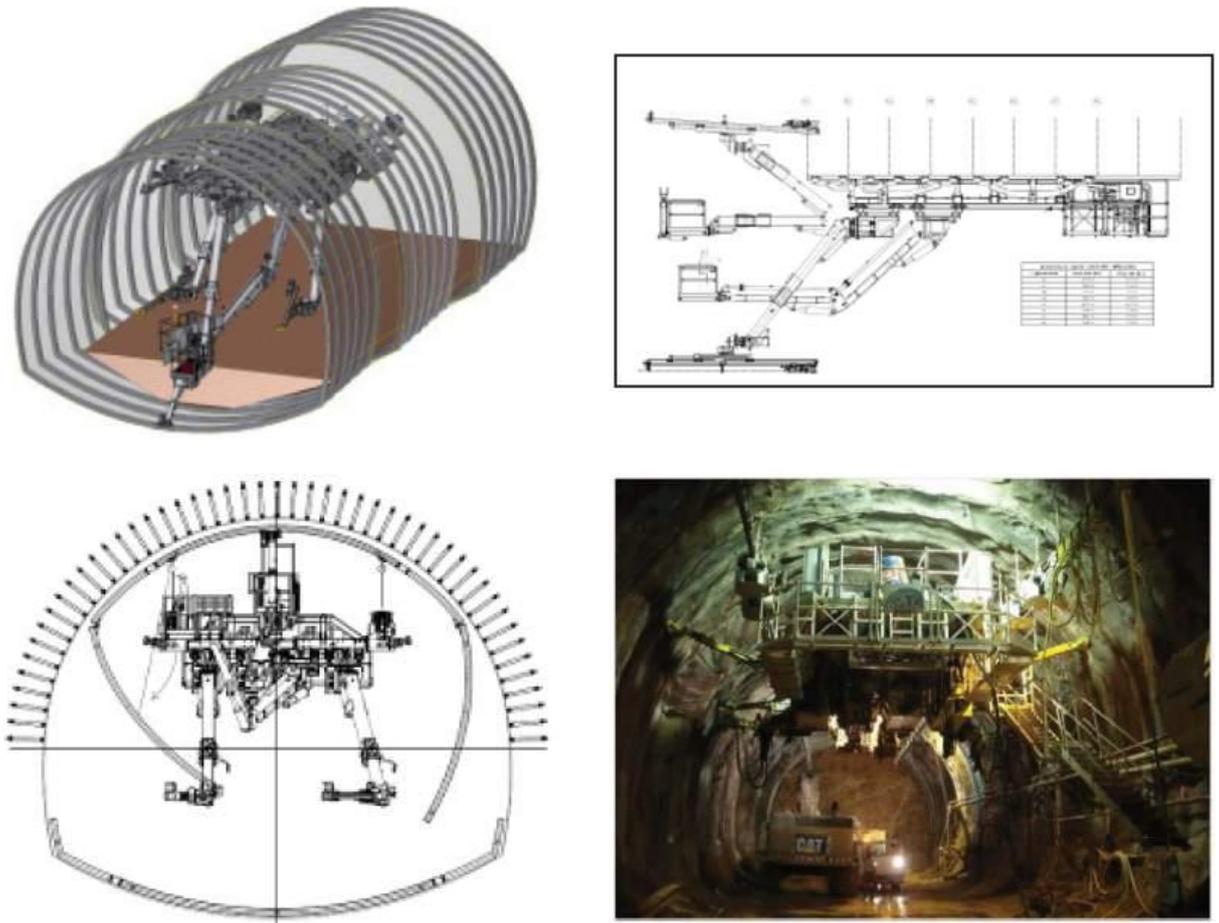


圖 4-14、懸吊式隧道開挖與支撐系統(Chamberlin & Combe, 2013)



圖 4-15、瑞士 Gotthard Base 鐵路隧道鑽炸法區段懸吊式隧道開挖與支撐系統
(照片來源：瑞士 Amberg 工程顧問公司提供)

(十)、研討會-隧道開炸噪音衰減與集塵設備(Noda et al., 2013)

有鑒於都會區對於隧道工程開炸作業噪音減低要求(標準)較高(嚴格)，加上為避免開炸作業所引致之粉塵影響施工人員之健康，故日本

針對上述二課題開發新式之設備因應。其中「噪音衰減設備」係於隧道開挖面後方設置許多鋼製箱，當開炸作業之噪音往開挖面後方傳遞至此設備吸收後，便可大幅度降低其音量；而「集塵設備」則係於隧道開挖面後方設置一隔幕與移動式集塵設備，可有效降低隧道開炸作業粉塵於隧道內瀰漫之現象。

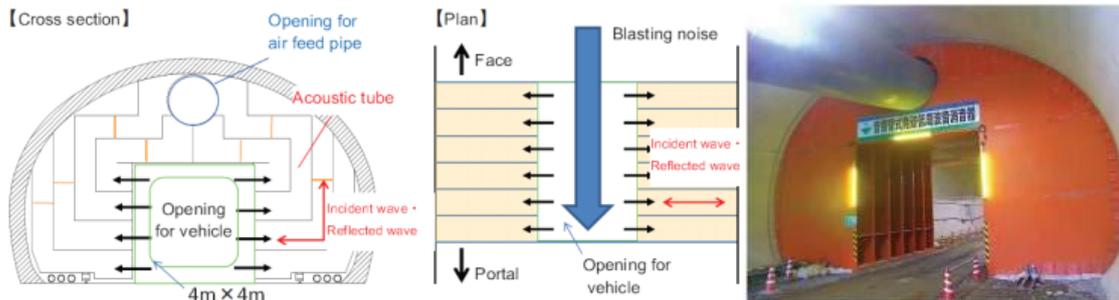


圖 4-16、日本開發之隧道內「噪音衰減設備」(Noda et al., 2013)

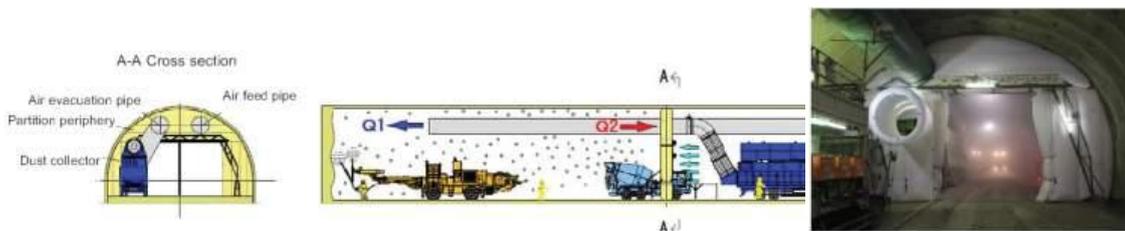


圖 4-17、日本開發之隧道內「集塵設備」(Noda et al., 2013)

(十一)、工程參觀 Gotthard Base Tunnel, Equipment Site, TTG Biasca

接續先前參訪 Gotthard Base Tunnel 最北端的 Erstfeld 工區，6 月 6 日大會安排參觀最南邊的 Bodio 工區。本工區長度約 15.8 公里，採用開放式 TBM 鑽掘。

首先至由隧道開挖石碇建造而成之 Visitor Centre Pollegio 聽取簡報，說明鐵道交通量之需求，完工後預期提供之時間節省、運量效益；施工工法解說、工程進度報告、隧道結構等，並預告本隧道將於 105 年 12 月正式營運。而後裝備包含安全帽、連身反光衣、緊急氧氣背包、GPS 定位裝置、無線耳機之全套安全設備，搭乘專用火車進入隧道參觀。其中隧道內設置之 2 座多工程車站 Sedrun 及 Faido 兼具疏散乘客之功用，且隧道內每隔 315 公尺設置之人行聯絡通道之安全設計，值得我國對於長隧道之安全逃生路線規劃參考。

(十二)、工程參觀 Ceneri Base Tunnel

Ceneri Base Tunnel 位於 Gotthard Base Tunnel Bodio 工區之南方，隧道全長約 15.4 公里，最大覆蓋深度約 900 公尺，屬於 AlpTransit 整體

建設計畫之一。

首先至工區聽取簡報，了解隧道工程人力組織配置、旅客及貨運量之演進、瑞士之新建鐵路隧道線網、隧道系統(包含每 325 公尺設置共 48 處橫坑、逃生路線及機電設施)及軌道鋪設流程。而後穿著包含之安全帽、反光背心、3M 白色防護服、雨鞋、無線耳機等安全設備，分兩組分別參觀隧道開挖產生碴料回收再利用之設備及前往隧道工作面參觀。其中利用開挖碴料從開挖面利用履帶運輸至洞口進行分類、碎解、洗選再作為隧道施工過程之骨材，兼具環保與經濟效益，值得我國相關隧道工程參考。至隧道工作面時，置於頂拱之照明設施使隧道內如白晝般明亮，通風系統維持工作面溫度不致高於 28 度，雖深入地底但卻無陰暗悶熱感，其工作環境之維持亦能間接保障工程人員施工品質，工欲善其事，必先利其器，而環境之整潔舒適亦是利其器之一部分，可供勞安及工程品質相關管理機制參考。

(十三)、考察交通市政

本次研討會與下榻處往返多仰賴日內瓦公車系統，長途運輸則採用瑞士鐵路系統，另大會安排搭乘全景冰川特快(Panorama Glacier Express)兼具運輸與觀光特色。

公車部分分為一般汽車及輕軌列車，輕軌列車雖有較環保之優點，然而羅織密布之供電天線對景觀有不良影響，且容易受天候狀況損壞，對於受颱風、地震影響之台灣，實際應用層面需多做考量。每站公車站皆設有售票機及各線公車時刻表，無須分神管理乘客是否上下車投票的司機可以更專心在駕駛專業上，有效提升行車安全。令人印象深刻的是公車之準時，數日搭乘公車經驗中，尚無發生公車逾時未到站事件，顯示時刻的安排充分考量旅客上下車時間及道路壅塞情形，以上皆受尖峰或離峰交通量影響，且預留緩衝時間供司機彈性調整到站時間，製作鐘錶聞名的瑞士對時間精準掌控，值得製作高科技晶片的台灣仿效，發揮我國堅持高品質、高水準的精神。

瑞士鐵路系統為歐洲之最，完善的交通網絡及精準的火車班次提供乘客準確掌握行程的優勢，瑞士以觀光資源享譽世界，加上德國、法國、義大利等國環繞，因此列車之設計考量觀光客及跨國旅客攜帶行李之便利性，可置於座椅之間的空隙及上層之行李專用架上。相關設計可供我國積極發展觀光之載具參考，依照不同客層之特性進行載具設計，如長途旅客之舒適性及行李放置安全性，觀光列車如瑞士之全景冰川特快採用特殊設計之車頂窗口，可將明媚風光一覽無遺。相信功能導向之設計對我國積極發展觀光及公共運輸甚有助益。

在盧加諾的街上，可以發現在彎道、需減速路段、中央分向或車道強制分流處無法施作實體分隔之路段、或在蘇黎世的隧道內之緊用專用車道等，以交通板予以區隔；另就需減速之車道則採黃色折線讓用

路人產生車道寬度縮減之視覺降速效果。



圖 4-18、盧加諾街道之交通板

國內公路隧道之出口指示標誌，多採直立內照式燈箱或反光鋁板附掛於左右兩側隧道壁。而在瑞士的隧道出口地名指示，則採內照式標誌附掛於車道上方之隧道上方隔板，另為保持淨高而將多處地名及距離資訊分別以一個內照燈箱標示。



圖 4-19、蘇黎世隧道內出口地名指示內照式標誌
在瑞士街道上空，除電車的電纜線之外，還有街道照明的路燈電纜

線，路燈即懸掛於車道上方，無需路燈桿柱的基礎施作，初判與瑞士位處歐洲內陸無颱風侵襲的環境下始屬可行。



圖 4-20、瑞士街道照明纜線及路燈

在瑞士的蘇黎世、琉森或日內瓦等市區街道，都有規劃自行車專用道供自行車行駛，惟在電車及汽車交錯較複雜的路段，亦將自行車導引改至路旁人行道行駛。瑞士之專用車道係採黃色標線，在日內瓦之自行車專用道於通過路口時，則特別以彩色鋪面提醒汽車駕駛人注意。



圖 4-21、日內瓦自行車道標示

在歐洲、紐澳及大陸等地區的郊區公路上，不難發現路邊設有所謂

的輪廓標，用以標示出該路線的範圍，避免車輛駛出路外。國內設置規則第 162 條，則有反光導標及危險標記，用以標示於彎道、危險路段、路寬變化路段及路上有障礙物，以促進夜間行車安全。



圖 4-22、瑞士輪廓標

在前往隧道參訪的路上，發現方形的反射鏡，與國內交通工程手冊所規定的圓形凸透鏡設計不同。

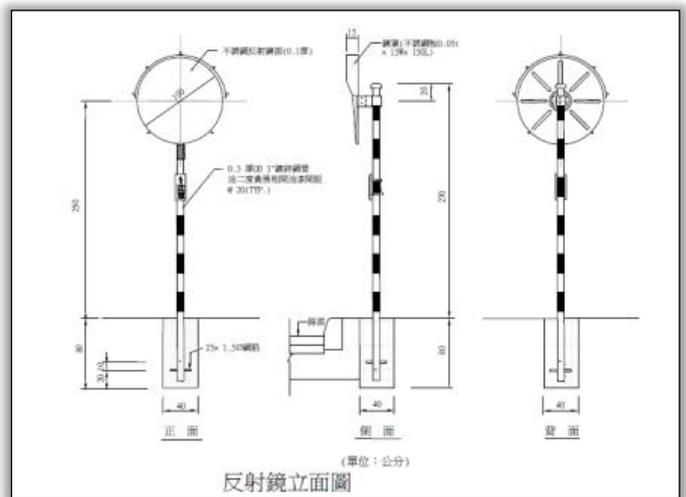


圖 4-23、瑞士反射鏡(左圖)與我國圓形凸透鏡(右圖)之比較

圖形化標誌可提供前方路段之行駛動線管制情形與通往地點。



圖 4-24、瑞士之圖形化標誌

在蘇黎世市區之非號誌化路口，可看到設置倒三角形之讓路標誌及路口之倒三角形白色讓路線（自行車道之讓路線則為黃色標線）。與國內設置規則之讓路標誌及標線型式不同。



圖 4-25、蘇黎世街道之讓路標誌及讓路線



圖 4-26、自行車專用讓路標誌及標線

在蘇黎世或日內瓦的市區街上之號誌，除一般常見的三色行車管制號誌燈外，還可以看到一組別於三色燈號的號誌，初判係供電車駕駛使用。目前國內高雄市政府針對行經都會區內與街道共構的輕軌捷運研提適用之輕軌專用號誌，建議可參考瑞士等國外之電車專用號誌予以修訂。



圖 4-27、電車專用號誌

在日內瓦的郊區鄰近學校的街道，可看見將標誌圖案標繪至路面，提醒用路人當心行人及兒童。



圖 4-28、當心行人及兒童之路面標誌

五、結論

(一)、與世界接軌，向各國交流

國際隧道協會(ITA)於瑞士舉辦之 2013 年世界隧道研討會及 39 屆世界隧道年會，除聆聽多場國際級大師精湛之演講外，並實地參觀世界知名隧道，其工程施工、交控、防災軟硬體設施可為我國參考。另與國際工程人員、交控消防營運人員、國內隧道界之專家學者就所見所聞分享心得，獲益良多，也開拓心胸，以更遼闊的視界觀察別人的優點，作為自我精進的標竿。

(二)、國際工程經驗為他山之石可以攻錯

本次 2013 年世界隧道研討會之討論重點包括隧道整修、建築技術發展、隧道營運、專案規劃與實施、設計與分析方法和注意事項，案例討論包括水力發電和其他水利隧道、特殊地質之隧道。在我國遇到施工困境時，可適當參考國外施工經驗及類似案例借鏡，藉由各式交流機會邀集各國工程人員集思廣益，對我國工程技術之進步，成效可期。

(三)、重大工程引領地下空間的開拓

研討會的主題:Underground-the way to the future，顯示出隧道工程人員的雄心壯志。本次研討會不只探討隧道工程技術，亦涵括地底工程，換言之，廣義的隧道工程即是任何在地底下施作的一種工程概念。相較於我國地狹人稠的地理背景，擁有較多土地資源的先進國家也逐漸

感受到土地利用在未來可能受到的限制。除了積極往高處發展，加強建築結構性，以高樓向天空爭地外，向下紮根，發展地下空間亦是相當有潛力且可行的方向之一。我國現有的重大工程如蘇花公路改善工程與南迴公路改善工程皆是未來重要技術經驗來源，無論站上世界舞台，在重要的研討會或相關場合中發表論文，或是留下工程紀錄，供我國工程人員培訓學習，都是往未來世界邁進的腳步。發揚工程人員越挫越勇，堅忍不拔的剛毅形象，將我們克服困境的智慧以及精湛工程技藝充分包裝成展覽、模型、紀錄片等等方式，讓社會大眾知道我們做的努力，並一起分享工程人員建設台灣的成就。

(四)、先進國家的隧道防災觀念

除了技術及經驗交流外，本次參訪學習到最大的收穫即是觀念的昇華。首先，由於隧道的建設是在公投通過的前提下展開的，要說服眾人同意耗費鉅資執行國家建設，其規劃作業必須做到使人民信服，因此推動一件重大工程在規劃階段需要相當謹慎且較為困難，然而在通過公投後，於民意的充分支持下，施工中所受到的阻礙也會降低，制度面上迫使規劃階段的重要性提升，間接產生對工程品質的正面影響。本次耳聞工程追加預算超過 300%仍獲得全民公投通過，可見國民對國家建設的支持與對工程多變性的包容。節省的瑞士對防災設施的建設毫不吝惜，體會到了「什麼都能省，安全不能省」的真諦，Uetliberg Tunnel 特別額外設置之緊急隧道，展示出追求安全第一的決心。

另一點值得學習的是，沿途經過的隧道及工程參訪的隧道，其逃生通道均採用醒目之綠色 LED 及綠漆標示，SOS 緊急電話及消防栓則統一用紅漆標示且內部採光充足，達到用路人容易辨識的目的而不致產生突兀感，整體的和諧性設計使得用路人於發生緊急事件時降低慌亂程度，迅速判斷事件嚴重性，如尚能控制之小規模事故可循紅色標示使用滅火器初步控制火勢或撥打 SOS 緊急電話通報後逃生，如大規模災害則循綠色標示迅速逃生。

此次參訪，體驗到「凡事豫則立，不豫則廢」的精神，從 Uetliberg Tunnel 特別額外設置之緊急隧道、整齊排列並以顏色區分的管線設備、特別設置之管線維修通報(緊急時亦可充作逃生通道)、醒目放置之維修材料、孔洞、操作手冊等，處處觀察到「豫」字的實現，趁早於尚有餘裕之時，為未來埋下充分準備之因，當緊急事件發生時就能享受「豫」所埋下之善果。

(五)、易於辨識之隧道里程碑及逃生、消防等指示牌

目前國內隧道內之里程碑，從早期為避免影響行車及人員逃生動線安全而採黏貼於隧道壁，惟因平行於行車方向不易辨識，故國道 5 號雪山隧道內已採與一般路段之豎立式標誌方式，將里程碑垂直於行車方向。在瑞士的 Uetliberg 隧道內，可以發現里程碑及相關逃生指示標

誌，係以兩個斜面組成，除增加與行車道之橫向淨距外，並可同時提供雙向辨識。

人行橫坑之逃生門外框除以 LED 燈警示非常明顯外，逃生標示亦採內照式斜面燈箱設置，使從兩側往逃生門之用路人可以容易辨識位置。

綜上，目前國內台 9 線蘇花公路改善計畫之隧道內，里程碑或消防栓箱、逃生門等標示方式，得採斜面內照式或 LED 邊框設計，用以有效提供雙向之用路人辨識。

(六)、標誌標線及交通板等交控設施再進化

目前國內部頒「道路交通標誌標線號誌設置規則」第 141 條，交通板（寬度至少 20 公分、高度至少 60 公分，得黏貼水平或斜紋方向之反光材料）用以輔助拒馬阻檔或分隔交通。故本局轄管路段若受限地形路寬限制者，目前僅於易侵入對向車道之彎道或下坡路段採回復式軟質交通桿（直徑至少 5 公分）加強區隔交通，惟該交通桿易遭車輛撞損與油污，故建議可於路幅寬度足夠且無實體分隔之易肇事路段、交通量大之路段，採交通板加底座固定方式設置，可彌補無法設置護欄及交通桿無法阻檔車輛等情事。另台 9 線蘇花公路改善計畫於隧道內外側 1 車道屬緊急用專用車道，平時不開放供車輛行駛，故可考量於隧道開始前採用交通板與行車道區隔，避免用路人誤闖或違規行駛。

本局轄管隧道上方多為圓拱形之襯砌，並無裝設隔板，而未來台 9 線蘇花公路改善計畫路段之隧道群，則採集中點排式通風系統設計，於隧道上方設至通風隔板，故如隧道出口前需提供出口地名資訊等，除依「公路隧道消防安全設備設置規範」於隧道內需設置之資訊可變標誌(CMS)外，建議亦可考量於隧道上方增設內照式地名指示標誌。

(七)、工程結合文化 展示中心行銷推廣兼教育

我國重大公共工程計畫以往並不注重工程行銷推廣及教育工作，只會按步就班將工程計畫完成便好，惟歐洲國家對於重大公共工程，會將工程結合在地文化，並成立展示中心將工程規劃設計、工程進展及施工特色等，透過工程實物、模型互動及影音照片文字等完整紀錄並予以包裝呈現，提供其國人及國外各界參訪教育使用，深具意義，未來我國重大公共工程計畫成立時，建議可將展示中心概念納入計畫內，推動工程文化深根。

(八)、從細節作起 建立工地紀律

我國工程施工在現場之工人一般穿著隨便而骯髒，反觀此次參訪之隧道工程工地工人，進入工地時均被要求換裝穿著連身反光工作服，除可增加工人辨識度、提升安全性外，亦充分展現工地紀律，所謂魔鬼藏在細節中，唯有從細節中要求，方可面面俱到無所遺漏，可見歐

洲工地對於工地紀律及工人安全注重層度之高，我國重大公共工程執行時可參考此精神，要求一定金額以上(如 10 億以上)工程工地工人全面穿著工作服施工，惟考量地理位置不同，工作服設計要能符合台灣施工環境特性。

(九)、全功能考量 隧道功能再升級

我國近年來在台 9 線蘇花改計畫或南迴公路後續計畫內對於隧道斷面設計除一般功能外，亦已考量最新防災需求如排煙道之隔版空間及水霧系統等，隧道工程技術可謂與國際接軌同步，然歐洲隧道斷面設計除上述考量外，更全面性功能考量地利用車道下方空間配置水資源收排系統或共同管道空間，讓隧道整體服務功能再升級，此一觀念可供台灣未來隧道設計借鏡。

(十)、編足公共建設預算 健全公路全生命週期服務

在本屆世界隧道工程研討會的開幕專題演講，係由瑞士聯邦公路局局長 Dr. Rudolf Dieterle 發表瑞士公路及隧道未來展望，其中特別提及瑞士近年來遭遇重大問題及挑戰，在人、車數量持續增長情況下，政府供給之交通容量相對需增加，而且民眾對於公路及隧道之軟硬體等交通服務品質之要求亦逐漸提高，可是在此需更多預算改善問題之當下，政府卻無法編列足夠之公共建設預算來支持，因此只能就問題嚴重性予以排列優先順序逐年改善。此一現象與台灣目前所面臨問題相同，以公路次類別之政府建設公務預算來看，除台 9 線蘇花改及南迴公路改善等 2 建設計畫屬政府施政承諾最優先已編列外，其餘快速公路路網健全計畫或一般省道整體改善計畫等次優先計畫預算，在政府中長程計畫預算匡列額度均不足夠，另外既有省道提供服務所需預算，則由年度徵收之汽燃費中分配支應，因應省道里程增加、民眾要求交通服務品質提高等額外需求，理應增加預算改善，可是很遺憾地此項最讓民眾有感之省道路網服務品質改善預算卻逐年降低，導致公路服務品質連維持都很難，遑論再改善提升，尤其在「安全回家道路」之庶民基本期待下，山區省道改善採隧道方式闢建與歐美日等先進國家作法一致，是時勢所趨，而隧道新建及日後管養所需經費亦將隨之提高，所謂「工欲善其事必先利其器」，沒有足夠預算支應，公路管理機關將面臨「巧婦難為無米之炊」之窘境，因此建議未來無論是公路建設計畫或汽燃費公路養護預算之分配，政府均應適度增加，以健全公路全生命週期服務，讓所有用路人對於政府施政有感，大大疏解民怨。

(十一)、我國隧道工程展望

我國隧道工程技術雖已漸成熟，隨著消防安全觀念的崛起，對隧道消防的重視使得工程之初始規劃階段即須考量後續營運之消防機制，建議工程人員可建立起與專業消防、防災學者專家之交流管道，且規

劃邀請國際專業人士赴台分享經驗或安排至國外參與演習、訓練或考察，使隧道工程人員獲得基本必需之隧道消防觀念與知識。建議持續推動國際交流，參與國際工程研討會及相關活動，不僅了解世界工程之潮流與趨勢，引入先進技術，並建立國際工程人員良好互動，對我國工程技術之演進有正面助益。