

出國報告（出國類別：其他）

2013年參加
國際隧道工程學會研討會

服務機關：交通部臺灣區國道新建工程局

姓名職稱：正工程司 王信權

派赴國家：瑞士

出國期間：102年5月30日~6月7日

報告日期：102年7月

目 錄

一、前言.....	1
二、行程紀要.....	3
三、國際隧道工程會議及日內瓦交通建設參訪	5
3.1 國際隧道工程會議.....	5
3.2 日內瓦交通建設參訪.....	29
四、瑞士隧道工程參訪.....	33
4.1 Gotthard Base 隧道工程概要及施工特色	33
4.2 Gotthard Base 隧道 Bodio 工區參訪.....	38
4.3 Ceneri Base 隧道 Sigirino 工區參訪.....	40
五、心得與感想.....	43

一、前言

世界隧道會議(World Tunnel Congress, 簡稱WTC)係由國際隧道協會(ITA)舉辦, 為隧道領域年度最具影響力會議。WTC不但為各國專家學者提供技術與學術交流的機會, 透過會議期間之展覽, 也成為各國相關企業和研究機構展現最新隧道工程研究成果、技術、設備的平臺。今年(2013年)於6月2日至7日在瑞士日內瓦舉行, 有來自世界各國家會員和地區的專家及學者與會。

本次會議經過隧道協會邀集國內預計參加之相關單位, 組成台灣參訪團成員計有台灣大學黃燦輝教授、台北科技大學王泰典教授、公路總局計有吳盟分局長、夏明勝副局長、蘇花改工程處邵厚潔處長、西濱南工程處蘇文崎副處長、卓明君科長、連育群副工程司等6人、本局本人參加、台灣世曦工程顧問公司陳正勳副理、聯合大地工程顧問公司李佳翰博士、福清營造公司林崇賢與林宏達協理、威建公司許世儒經理等與會, 參訪團人員名單如表1-1。參訪團藉由交流和經驗分享, 共同促進隧道工程技術的創新和發展。

由於本次會議舉辦的地點在歐洲瑞士日內瓦, 藉由參加會議之機會, 除了參訪日內瓦公共建設與交通設施外, 另參加大會安排之工程參觀, 包含瑞士最長隧道Gotthard Base 隧道(長約57公里)及施工中Ceneri Base 隧道(長約15.4 公里)等設施。

表 1-1 台灣參訪團人員名單

編號	姓名	職稱	單位
1	黃燦輝	教授	台灣大學土木系
2	王泰典	教授	台北科技大學材資系
3	吳盟分	局長	公路總局
4	夏明勝	副局長	公路總局
5	邵厚潔	處長	公路總局
6	蘇文崎	副處長	公路總局
7	卓明君	科長	公路總局
8	連育群	副工程司	公路總局
9	王信權	正工程司	國道新建工程局
10	陳正勳	副理	台灣世曦工程顧問公司
11	李佳翰	博士	聯合大地工程顧問公司
12	林崇賢	協理	福清營造公司
13	林宏達	協理	福清營造公司
14	許世儒	經理	威建公司

二、行程紀要

本次參加於瑞士日內瓦舉行之2013年國際隧道工程會議及瑞士隧道工程參觀行程，參訪團成員（除台灣世曦公司公司陳正勳副理及本人外）已於5月29日先行前往，於5月30日參訪Uetliberg公路隧道、5月31日參訪Gotthard Base鐵路隧道之Erstfeld工區，至於陳正勳副理及本人於5月31日啟程，6月1日搭乘火車前往琉森(Luzern)與其它團員會合，6月9日返台，主要行程包括6月2日至6月5日參加研討會及6月6日至6月7日參觀瑞士相關隧道工程等，詳見表2-1。

表 2-1 行程概要表

日期	上午	下午
5/31(五)		桃園→新加坡(轉機)(新航)
6/01(六)	新加坡→瑞士蘇黎世/新航 抵達蘇黎世，搭乘火車前往琉森 (Luzern)與其它團員會合	由琉森搭乘火車前往日內瓦(Geneva)
6/02(日)	■ 世界隧道會議報到 ■ 考察日內瓦(Geneva)市交通建設	■ 考察日內瓦(Geneva)市交通建設
6/03(一)	世界隧道會議 Opening Lecture/ Keynote Lecture	世界隧道會議 Technical Session/Working group meeting
6/04(二)	世界隧道會議 Report of working group	世界隧道會議 Technical Session
6/05(三)	世界隧道會議 Technical Session	世界隧道會議 Technical Session
6/06(四)	大會工程參觀(行程2) ■日內瓦(Geneva)→Brig → Andermatt→ Airolo	大會工程參觀(行程2) ■Gotthard Base 隧道1 (Switzerland Greatest Tunnel Project) 工程參觀
6/07(五)	大會工程參觀(行程2) 考察盧加諾(Lugano)市交通建設	大會工程參觀(行程2) 盧加諾(Lugano) →AlpTransit Sigirino ■AlpTransit Sigirino Site ■Ceneri Base 隧道工程參觀
6/08(六)	盧加諾→蘇黎世(/瑞航)	蘇黎世→新加坡(新航)
6/09(日)	08:35 新加坡→桃園(/新航)	抵達桃園

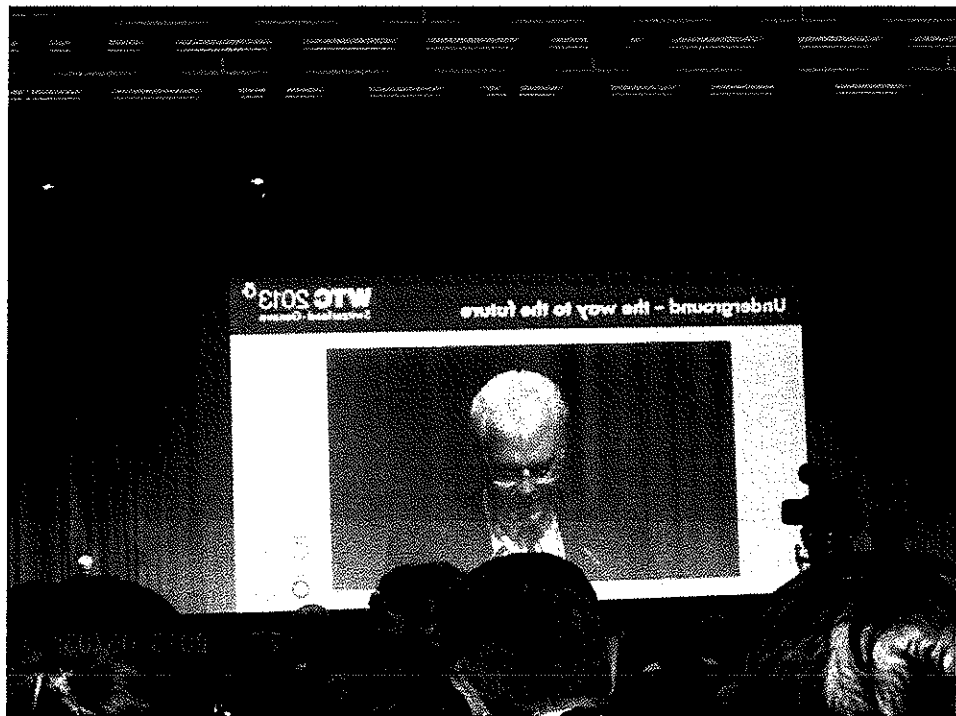
三、國際隧道工程會議及 日內瓦交通建設參訪

3.1 國際隧道工程會議

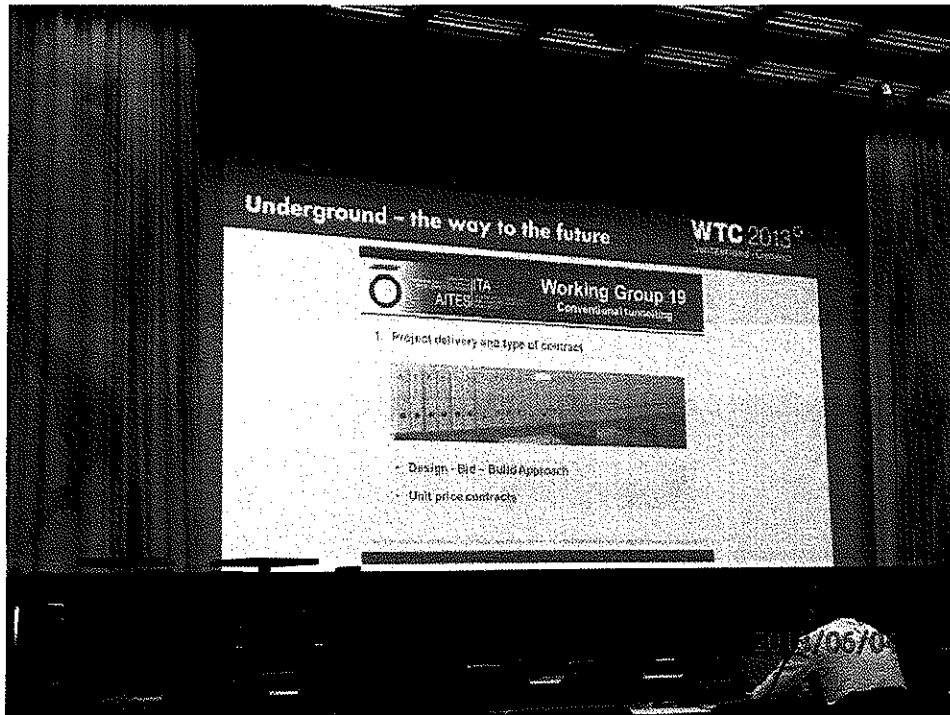
國際隧道工程會議主題為” Underground-the way to the future” ， World Tunnel Congress 2013 研討會主題及議程表如圖3.1-1，參訪團於6月2日會議報到及6月3日參加會議開幕如照片3.1.1及3.1-2，瑞士貴賓於會議開幕致詞如照片3.1-3，國際隧道協會Working group工作報告會議情況照片3.1-4。本次大會期間除可和國內外專家、學者與相關單位進行交流，聆聽國際著名專家的報告，並進行面對面的交流和討論，同時在本次大會展覽會場也發現了許多先進技術，對隧道工程相關領域的實務工作有啟發和促進作用。另值得一提，經由台灣世曦公司辦理台九線蘇花改計畫及安朔草埔計畫等之日本顧問太田先生(Mr. OTA)介紹，該公司陳正勳副理與台北科技大學王泰典教授、聯合大地公司李佳翰博士共同參加Working group小組工作會議，似為台灣第一次較正式參加ITA之Working group小組工作會議。此外，本次參加大會的各國政府官員、專家、學者和國際組織會員廣泛交流隧道工程領域的最新學術成果，於本屆會議為期3天期間舉行多場次的專題報告，以及論文展覽等更值得了解學習。



照片 3.1-2 參訪團於 6 月 3 日參加會議開幕合影



照片 3.1-3 瑞士貴賓會議開幕致詞



照片 3.1-4 Working group 報告會議

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 utilisation；(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) Air transit tunnels；(14) Underground construction for hydropower；(15) Other hydraulic tunnels；(16) Cases with particularly

demanding geological conditions ; (17) Other construction case histories 等，本報告擷取其中幾篇文章並簡要說明如後。

3.1.1 決定更好及活化城市 (Deciding on better and resilient cities)

WTC年會暨研討會訂定極具前瞻性主題為” The way to the future”，會中除技術面研討外，並針對全球隧道與地下工程舉辦未來相關遠景之公開議題討論 (ITA GLOBAL Perspective Open Session)，並以決定更好及活化城市 (Deciding on better and resilient cities) 為議題討論，共有來自如瑞士、加拿大、美國、香港等專家以執行中或構想遠景等案例提出討論，並列舉地下城市空間發展之特性及優點，營造更好及活化城市意象圖如圖3.1-2。此議題跳脫傳統隧道與地下工程常僅以交通功能為主要考量之模式，可供多山區域或地下工程等國土開發之另類思維。

3.1.2 鐵路隧道安全等級提升 (Chabot, 2013)

自1847年起瑞士鐵路隧道數發展情況如圖3.1-3，1991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、緊急逃生引導照明設施、救援列車、逃生廊道等，如圖3.1-3 ~圖3.1-7所示，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。



圖 3.1-2 營造更好及活化城市意象圖

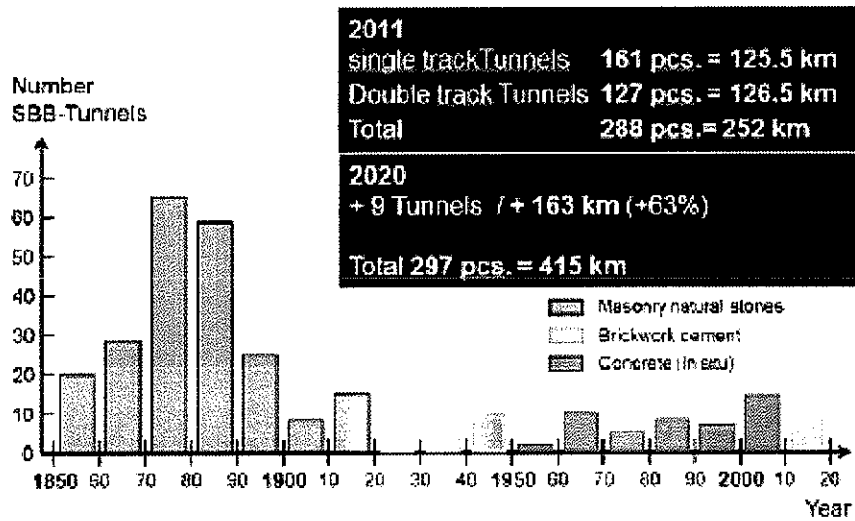


圖 3.1-3 自 1847 年起瑞士鐵路隧道數發展情況

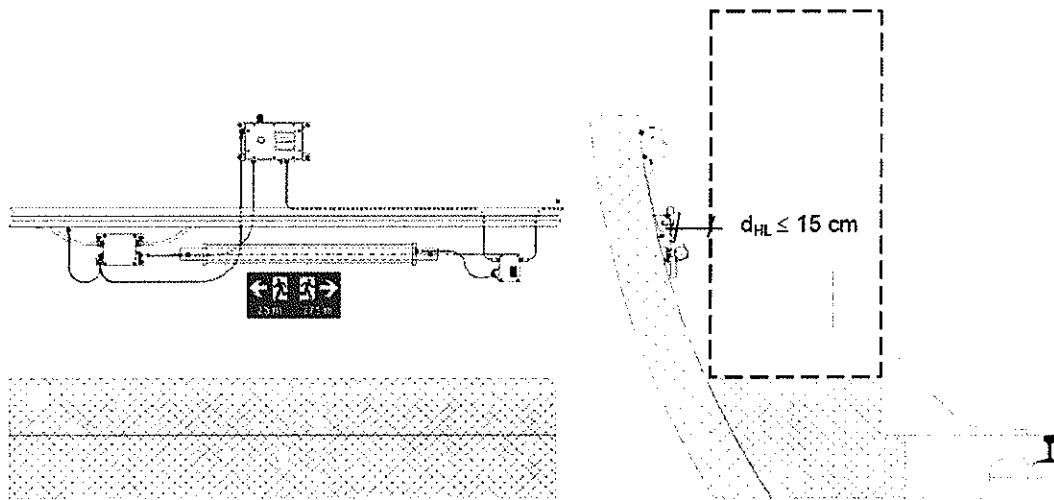


圖 3.1-4 乘客自我逃生導引設備

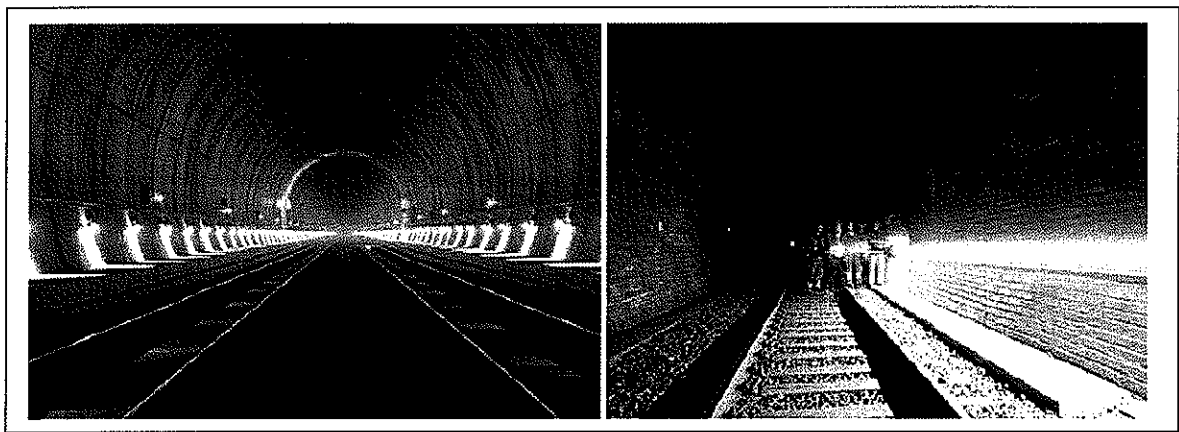


圖 3.1-5 Zimmerberg Base 隧道(左照片)及 Simplon 隧道(右照片)
緊急逃生引導照明設施



圖 3.1-6 Gotthard Base 隧道救援列車

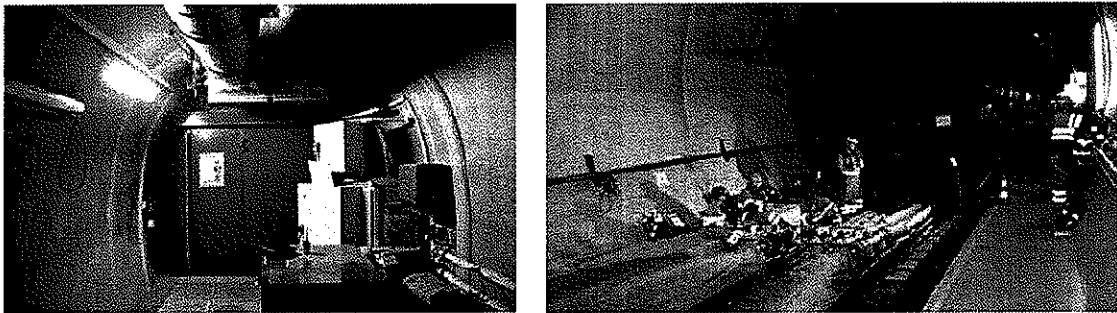


圖 3.1-7 Gotthard Base 隧道 連絡通道內自動安全門及監測系統

3.1.3 瑞士公路隧道安全發展

瑞士公路與鐵路隧道數量與長度逐年增加，鐵路隧道至2013年有559座，長度720公里，公路隧道至2013年有361座，長度423公里，如圖3.1-8及表3.1-1。隧道安全及車輛進入隧道之管制情況，特別值得一提的是交通管制方面，則於行控中心採24小時監控隧道內有無超速情況，另於隧道口採大車夾小車方式並保持車距，以確保行車安全。歐洲近年來所發生長隧道火災案例，已促使世界各國專研隧道火災，特別於如何提昇隧道安全及改善設施方面更不遺餘力。Gotthard隧道為目前世界第三長之公路隧道，為瑞士境內穿越阿爾卑斯山脈主要公路隧道之一，長約16.9公里，交通量自通車後逐年增加，隧道通風

方式採用全橫流式通風系統，正常通風情況採側邊底部送風而由固定於天花上方之排氣口將廢氣排除。Gotthard隧道於2001年發生火災後，排煙系統已由全區排煙改為集中排煙方式，主要原因是考量火災發生時採全區排煙易導致濃煙擴散而影響逃生，若採火災附近集中排煙，則有利濃煙直接排除而不致擴散，當隧道火警時，則開啟離火源最近之三個排煙口予以集中排煙。

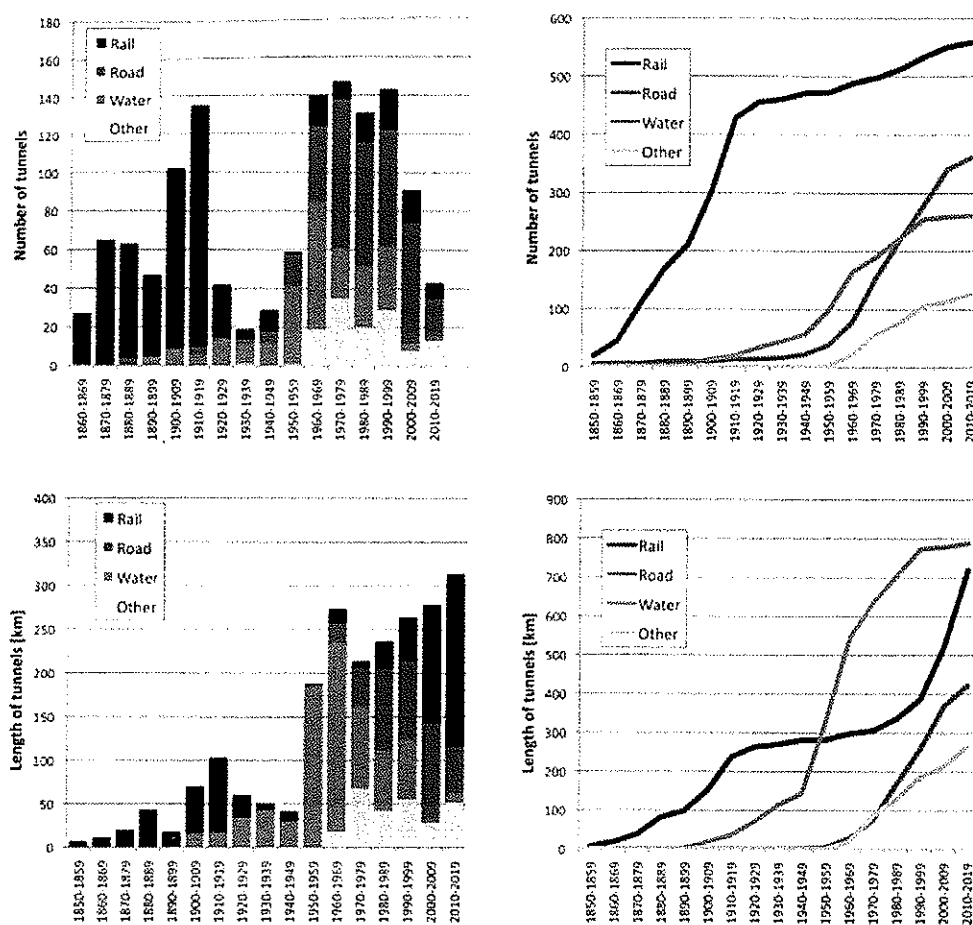


圖 3.1-8 瑞士隧道座數及總長度統計

表 3.1-1 2011 年及 2013 年瑞士隧道座數及總長度統計

Category	Number		Total length (km)		Total excavated volume (Mio. m ³)	
	2001	2013 ¹⁾	2001	2013 ¹⁾	2001	2013 ¹⁾
Railway Tunnels	539	559	392	720	19 969	44 015
Road Tunnels	314	361	258	423	24 422	40 409
Water galleries	256	261	776	789	8 020	8 200
Miscellaneous	77	126	124	265	1 324	7 491
Total	1186	1307	1550	2197	53 735	103 365

¹⁾ Stock of underground structures at the end of 2012

^{*)} The data for 2013 takes into account all tunnel and gallery structures under construction or in operation on the 01.01.2012, whereas the data for 2001 is exclusively for the tunnels and galleries in operation on the 01.01.2001

依瑞士聯邦道路局(Federal Roads Office, 簡稱FEDRO)局長Dr.Rudolf Dieterle 於本會議專題演講” Challenges of Swiss motorway tunnels in the past and the future” 之報告, 瑞士公路隧道安全及通風考量, 已改為類似點排縱流式通風型式, 與目前蘇花公路改善計畫長隧道相近, 亦顯示國內長隧道安全考量, 已跟上國際先進國家腳步。瑞士近期開通或將開通隧道斷面, 例如2009年營運之瑞士國道A3號 Aesch 隧道(長度L=2.15公里)、2009年營運之國道A4號 Isliberg 隧道(L=4.95公里)、2005年營運之國道A4號Fluelen隧道(L=2.596公里)、預訂2016年營運國道A28號之Kublis隧道(L=2.255公里)等, 如圖3.1-9~圖3.1-12, 其斷面之通風管道及隔板設置, 顯示與台9線蘇花公路改善計畫及安朔草埔段計畫等長隧道相近。

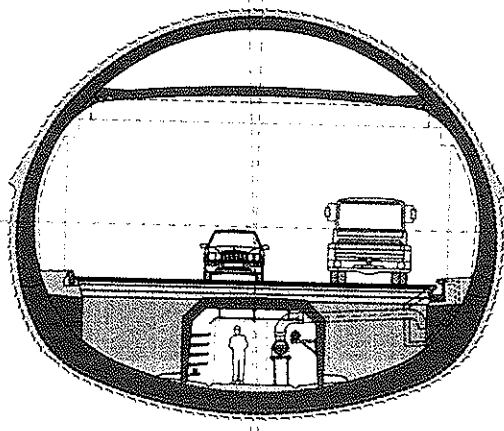


圖 3.1-9 瑞士國道 A3 號之 Aesch 隧道斷面

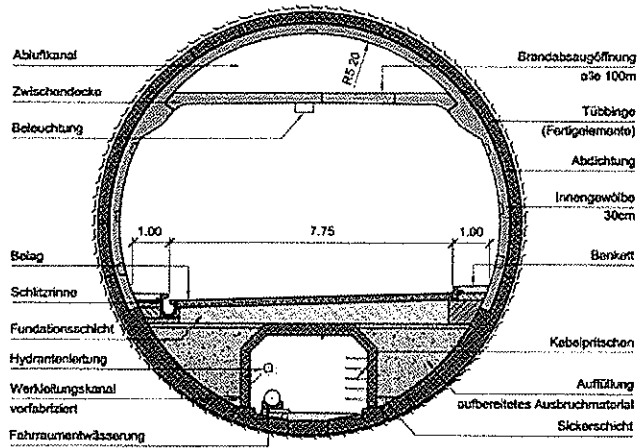


圖 3.1-10 瑞士國道 A4 號之 Isliberg 隧道斷面

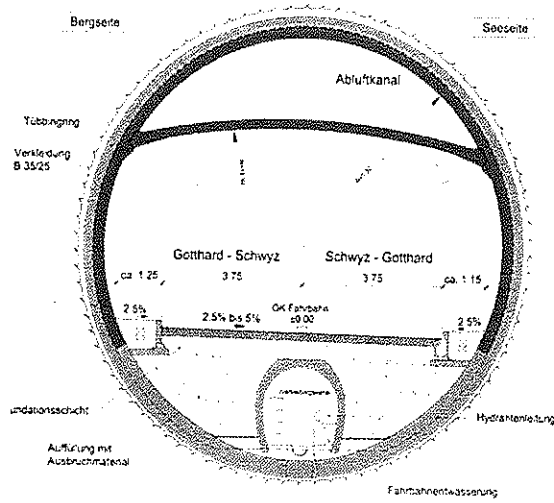


圖 3.1-11 瑞士國道 A4 號之 Fluelen 隧道斷面

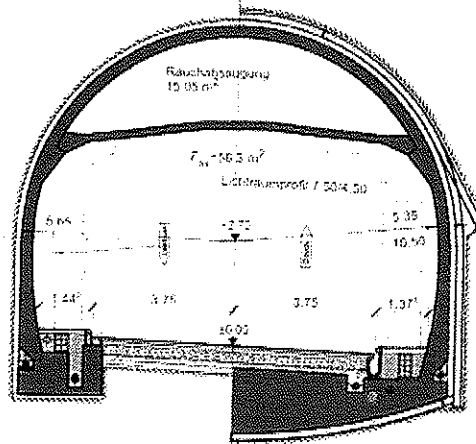


圖 3.1-12 瑞士國道 A28 號之 Kublis 隧道斷面

3.1.4 公路隧道水霧系統試驗

依 R. Leucker, F. Leismann 發表論文：“Fire tests for water mist fire suppression systems in road tunnels”，德國自 2009 年起至 2011 年進行隧道安全相關研究計畫，名稱為 Safety of Life in Tunnels 2” (SOLIT2)，其主要對象包括隧道水霧及通風，火災規模考量 30~100MW。模擬以 1:1 之全尺寸隧道進行試驗，隧道長度為 600m，隧道寬 9.55 m 及高 8.10 m，縱坡坡度為 2%，如圖 3.1-13。模擬隧道水霧系統及火源設置如圖 3.1-14，試驗之火載重、水霧及通風等相關條件如表 3.1-2。30 或 100MW 及有無水霧情況火源後方之溫度-時間曲線如圖 3.1-15~圖 3.1-18，結果顯示，火載重 30 MW 情況下水霧系統具有明顯降溫效果，但火載重 100 MW 情況下接近火源位置之水霧系統降溫效果較差，離火源稍遠(如後方 10m)，其降溫即具有明顯效果。依此全尺度隧道火災試驗結果，水霧於隧道火災尚在較小規模時啟動，其效果最佳。

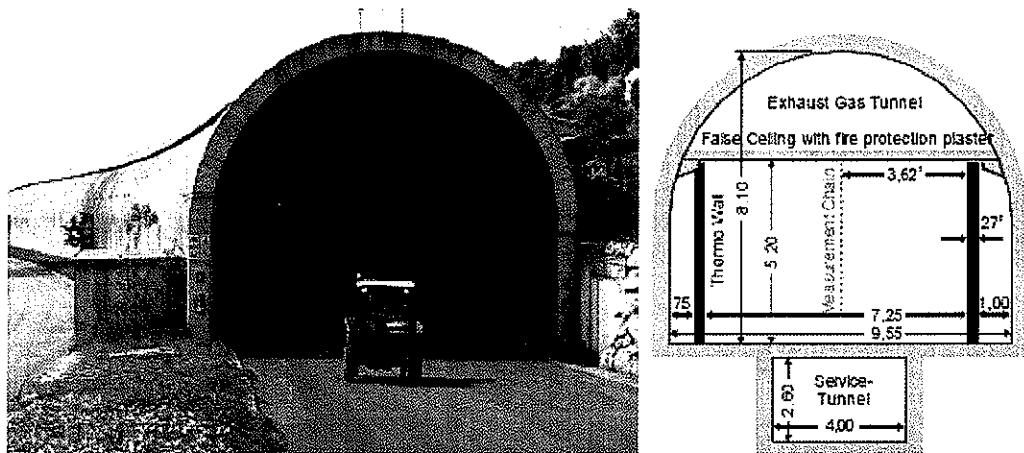


圖 3.1-13 1:1 之全尺寸試驗隧道及斷面尺寸

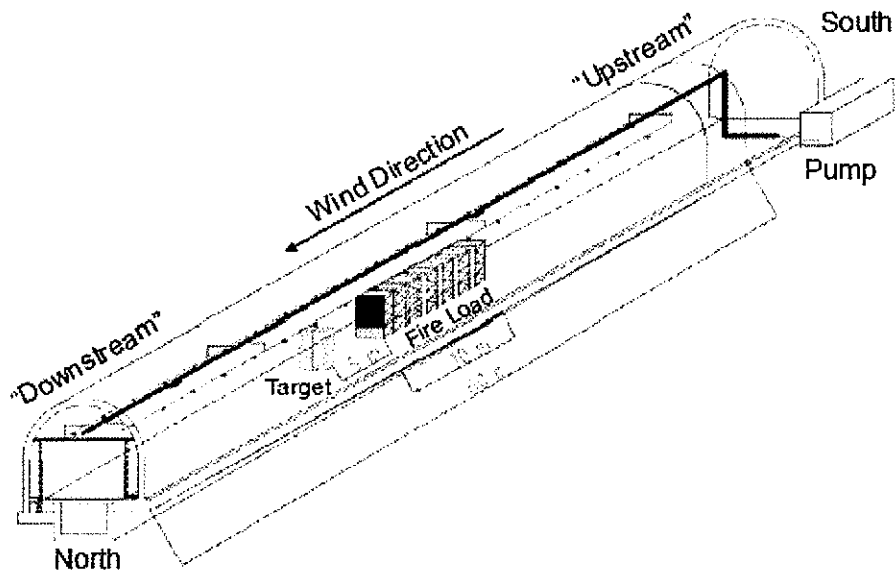


圖 3.1-14 模擬隧道水霧系統及火源設置

表 3.1-2 試驗之火載重、水霧及通風等相關條件

	"small" Fire without water mist (No. 11052601)	"small" Fire with water mist (No. 11052602)	"big" Fire with water mist (No. 11060601)
Fire load (calculated)	30 MW	30 MW	100 MW
Longitudinal ventilation Flow speed	3.0 m/s	3.0 m/s	3.0 m/s
Semi-trans. ventilation	—	—	—
Height of nozzle above carriageway	—	5.00 m	5.00 m
Delay in activation for water mist system	4 minutes (No. 11061401)	12 minutes (No. 11062401)	
Fire load (calculated)	100 MW	100 MW	
Height of upper edge fire load	4.00 m (with PVC tarpaulin)	4.00 m (with PVC tarpaulin)	
Longitudinal ventilation, Flow speed	3.0 m/s	3.0 m/s	
Semi-transversal venti- lation, Exhaust volume	120 m ³ /s	—	
Height of nozzle above carriageway	5.00 m	5.00 m	

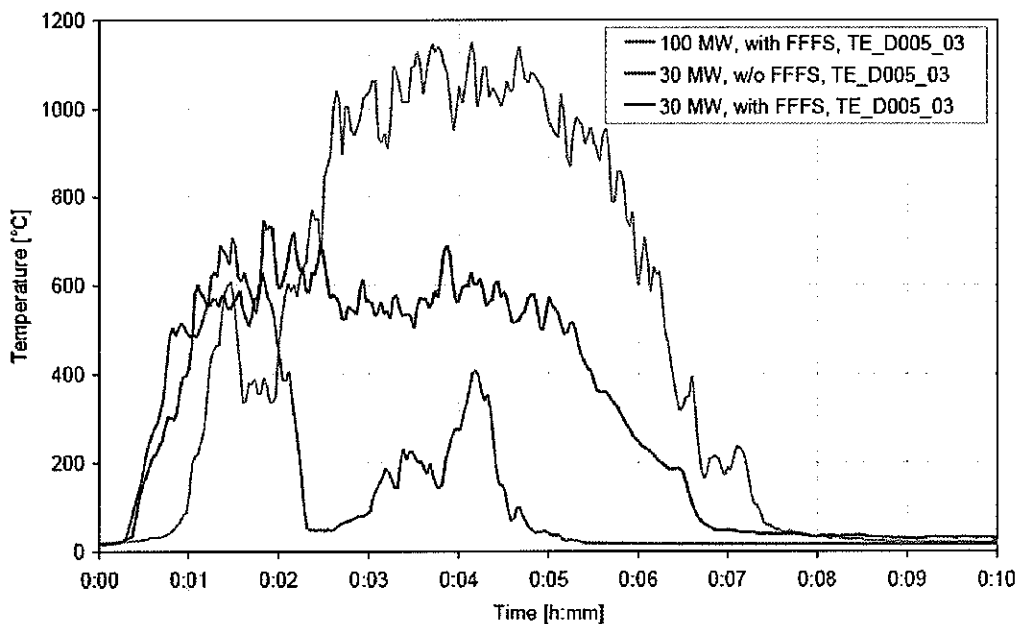


圖 3.1-15 30 或 100MW 及有無水霧情況火源後方 5m 之溫度

-時間曲線

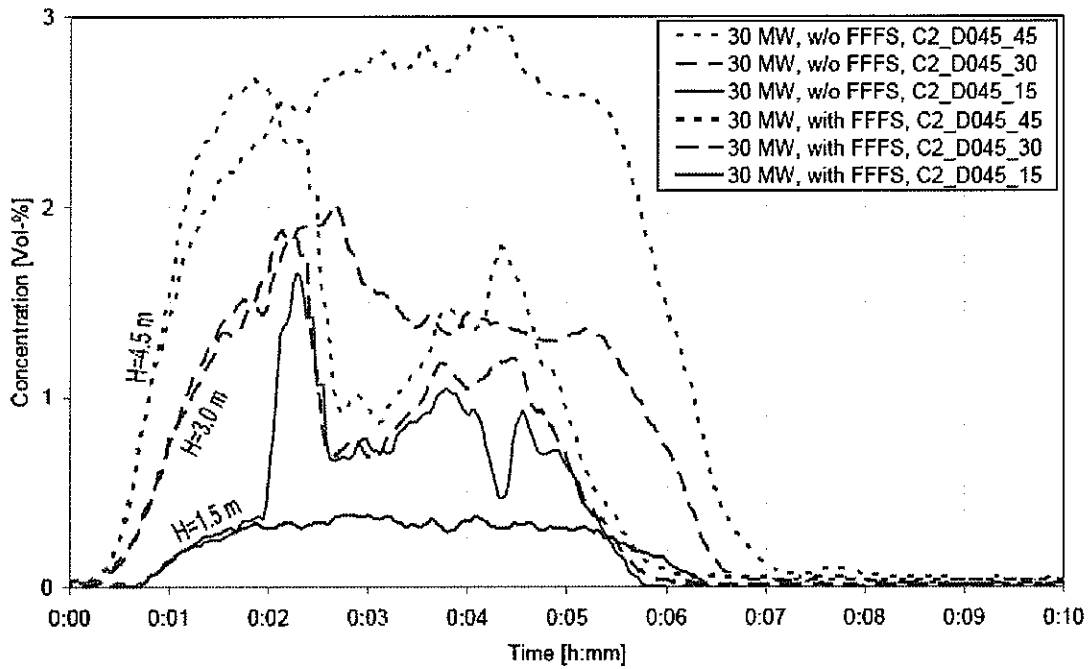


圖 3.1-16 30 MW 及有無水霧情況火源後方 45m 之 CO2 濃度

-時間曲線

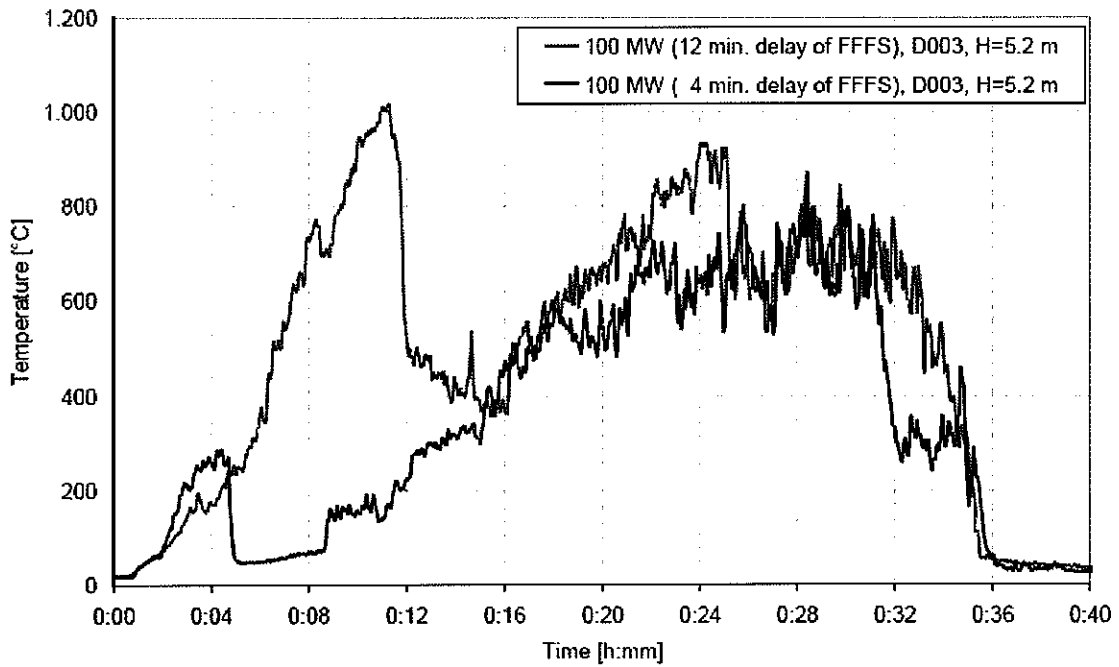


圖 3.1-17 100MW 及有無水霧情況火源後方 3m 隧道隔板下之溫度

-時間曲線

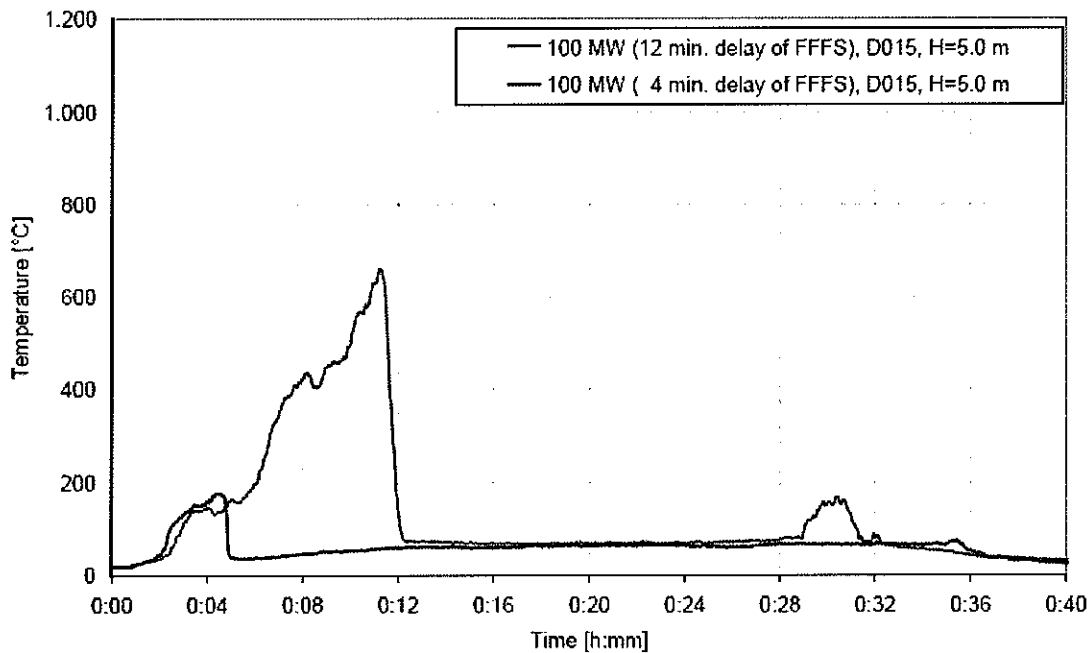


圖 3.1-18 100MW 及水霧延後 4 或 12 分鐘情況火源後方 10m 隧道隔板下之溫度-時間曲線

3.1.5 整合型隧道內監控系統(Thienert et al., 2013)

德國高速公路總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，如圖3.1-19及圖3.1-20所示。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。

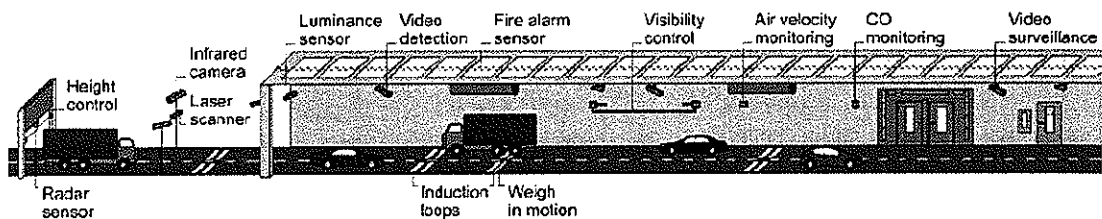


圖 3.1-19 公路隧道安全設備

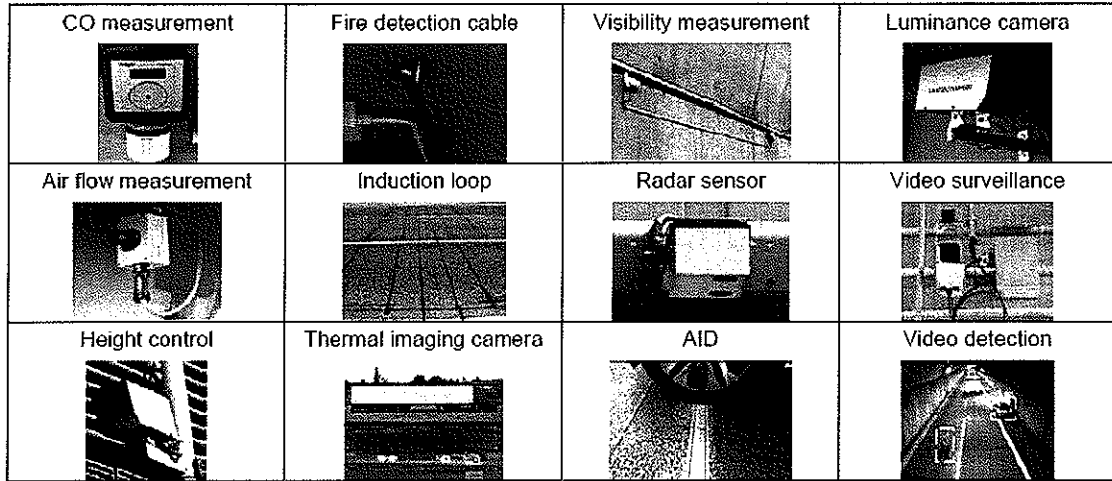


圖 3.1-20 公路隧道安全偵測設備

3.1.6 隧道安全設計

M. Bettelini, S. Rigert 於發表文章” Scenario-oriented safety design of underground traffic infrastructures”，介紹以風險分析手法進行隧道安全設計，隧道風險分類例及隧道例風險分析及對策如圖3.1-21及圖3.1-22，此為隧道安全評估之另一手法。

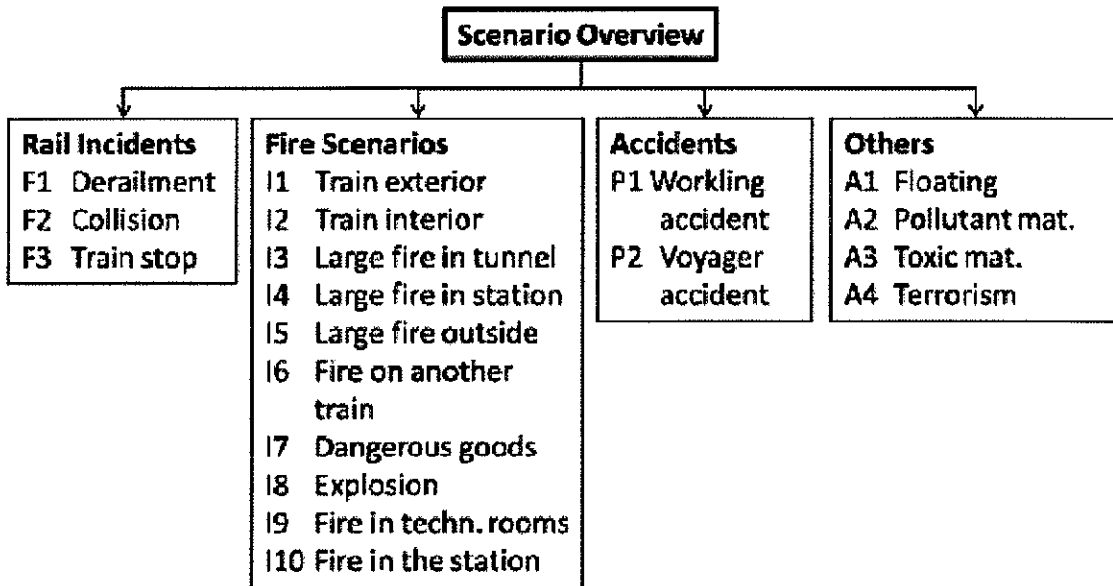


圖 3.1-21 隧道風險分類例

Frequency	> 100	A Frequent					
	10 - 100	B Probable	F3				
	1 - 10	C Occasional	I1	I2, P1, P2			
	0.1 - 1	D Remote	A1	I9, I10	I5, F1	I4	I3
	0.01 - 0.1	E Improbable	A2		I8, A3	F2, I6, A4	
	< 0.01	F Incredible					I7
	(cases/100 y)		I	II	III	IV	V
		Insignificant	Marginal	Critical	Very Critical	Catastrophic	
	victims/case	0	1	2 - 9	10 - 50	> 50	
		Severity Level					

	Shall be eliminated
Undesirable	Shall be only accepted when risk reduction is impracticable
Tolerable	Acceptable with adequate control
Negligible	Acceptable

圖 3.1-22 隧道例風險分析及對策

3.1.7 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：GRP500、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補強設計，可謂新世代鐵路隧道維護管理策略。Choo等人發表之”The enhancement of performance on road tunnel lining by repair and rehabilitation”，提及韓國公路總局鑑於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(圖3.1-23)，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(如照片3.1-5及3.1-6)，

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。

有關國內李佳翰等人(2013)於執行眾多隧道檢測案後發現，目前國內外之隧道檢測大多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。依論文彙整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(圖3.1-24)；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(yieldingsupports)、降低地下水壓等(圖3.1-25)。

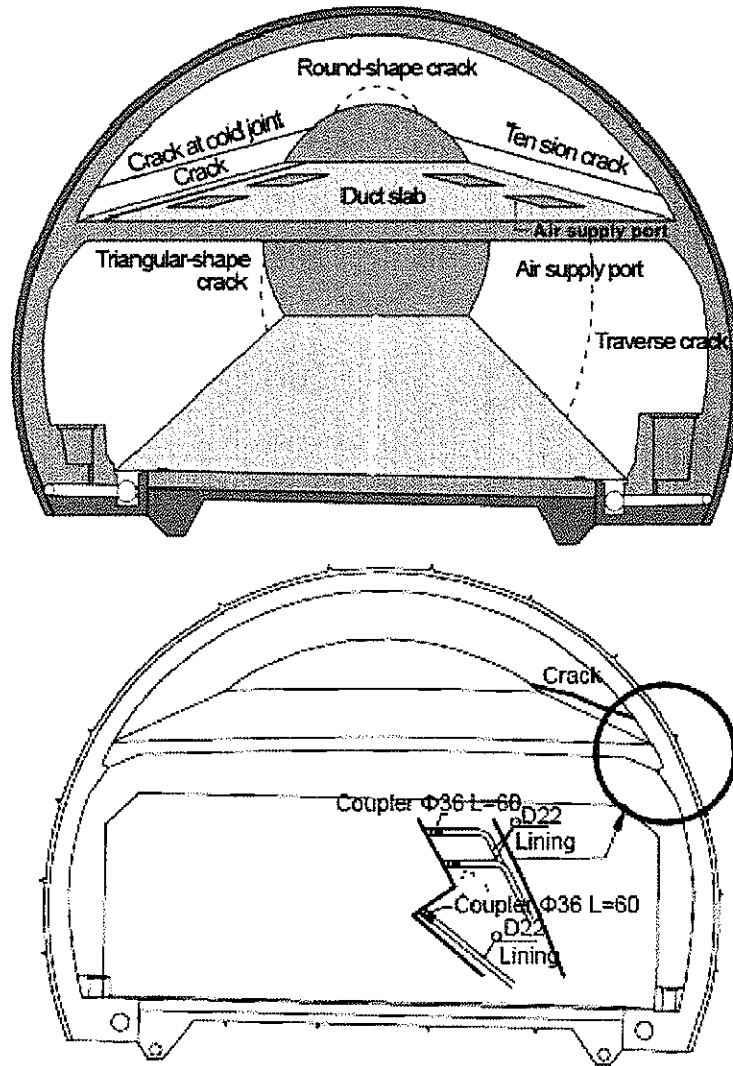


圖 3.1-23 隧道通風管道隔板發生之裂縫型態

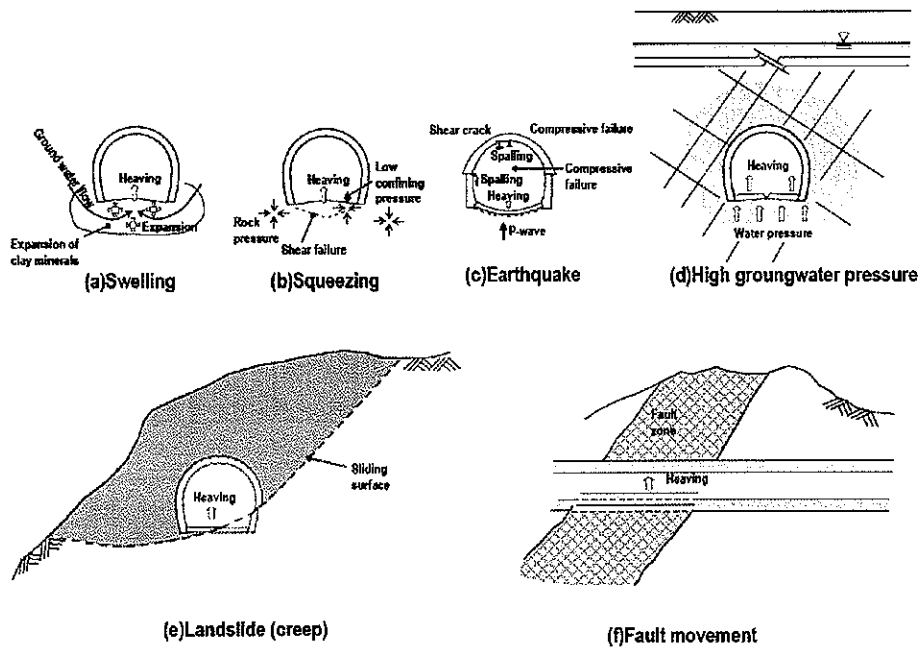


圖 3.1-24 隧道仰拱隆起破壞原因

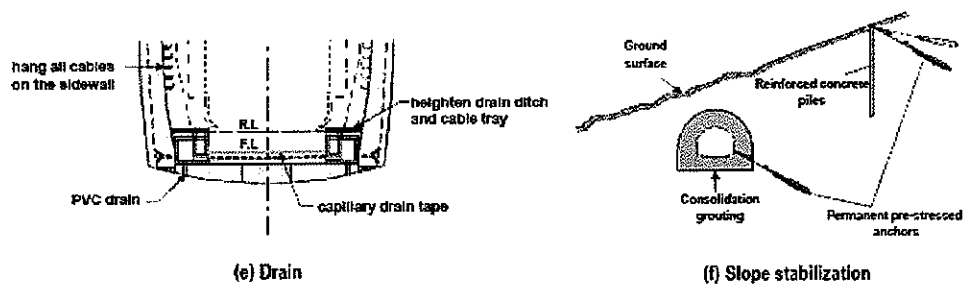
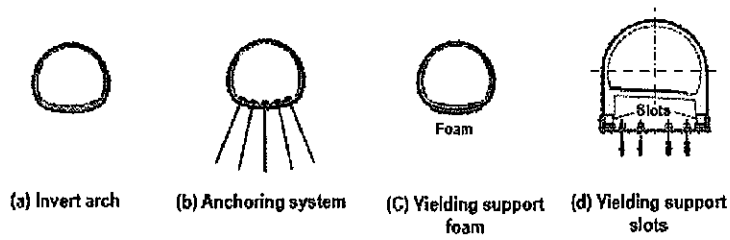
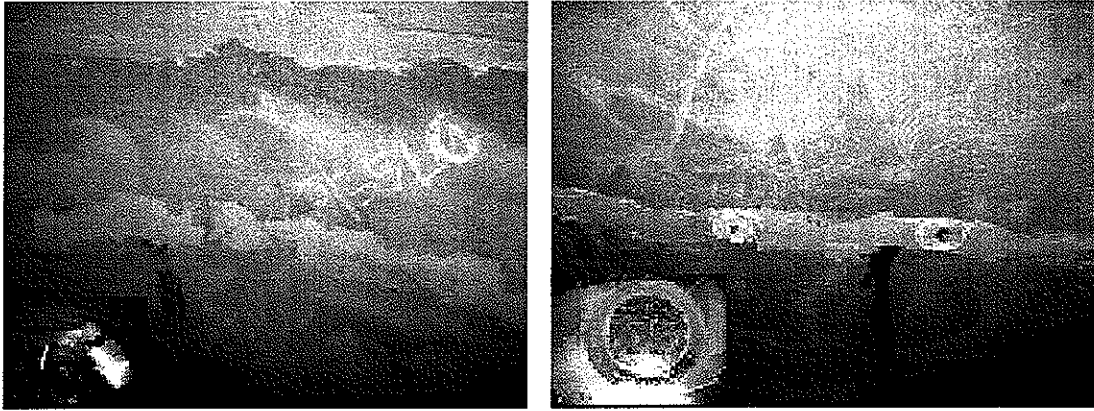
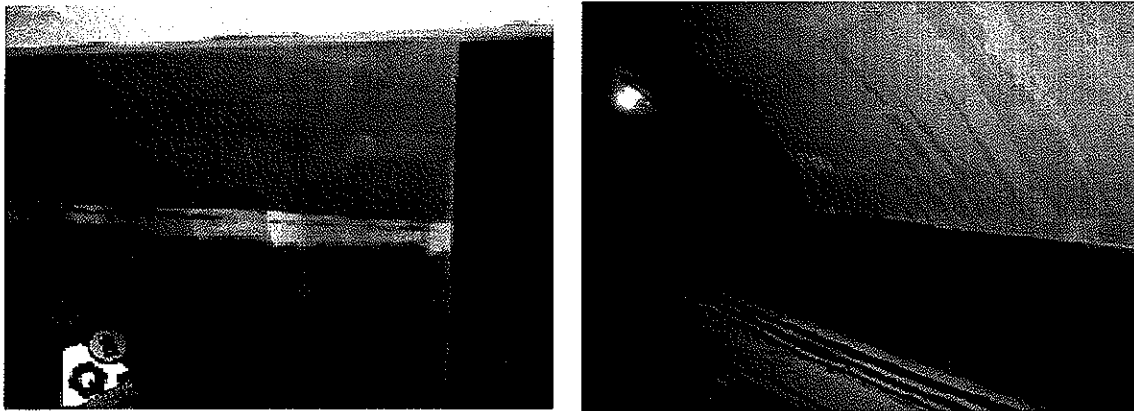


圖 3.1-25 隧道仰拱隆起破壞對策



照片 3.1-5 裂縫以 epoxy 注射補強



照片 3.1-6 張力區以碳纖維布補強

3.1.8 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，致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(圖3.1-26)：(1)淺覆蓋；(2)地質狀況差；(3)斷層。並利用一系列之模型試驗(圖3.1-27)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，山岳隧道受震破壞之模型試驗結果與實際隧道案例比較如圖3.1-28。

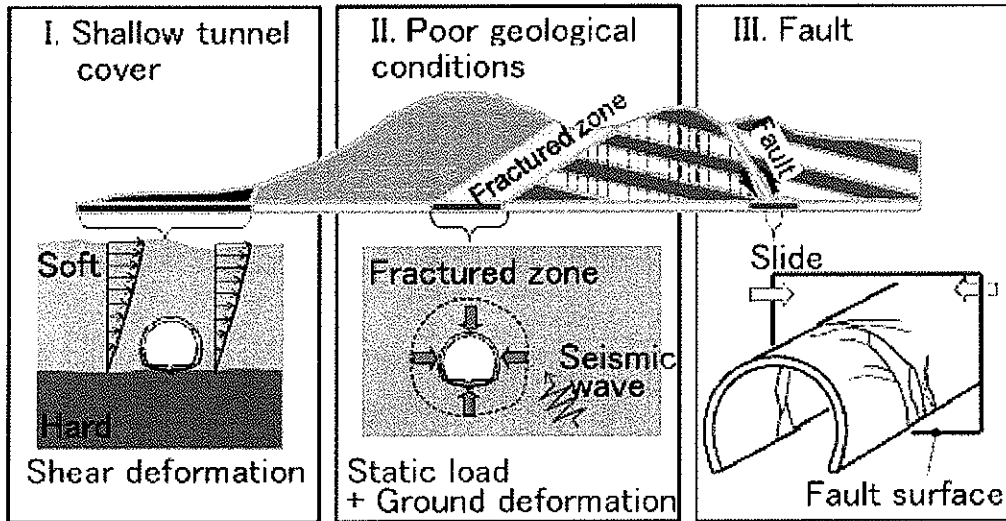


圖 3.1-26 山岳隧道之受震破壞型態

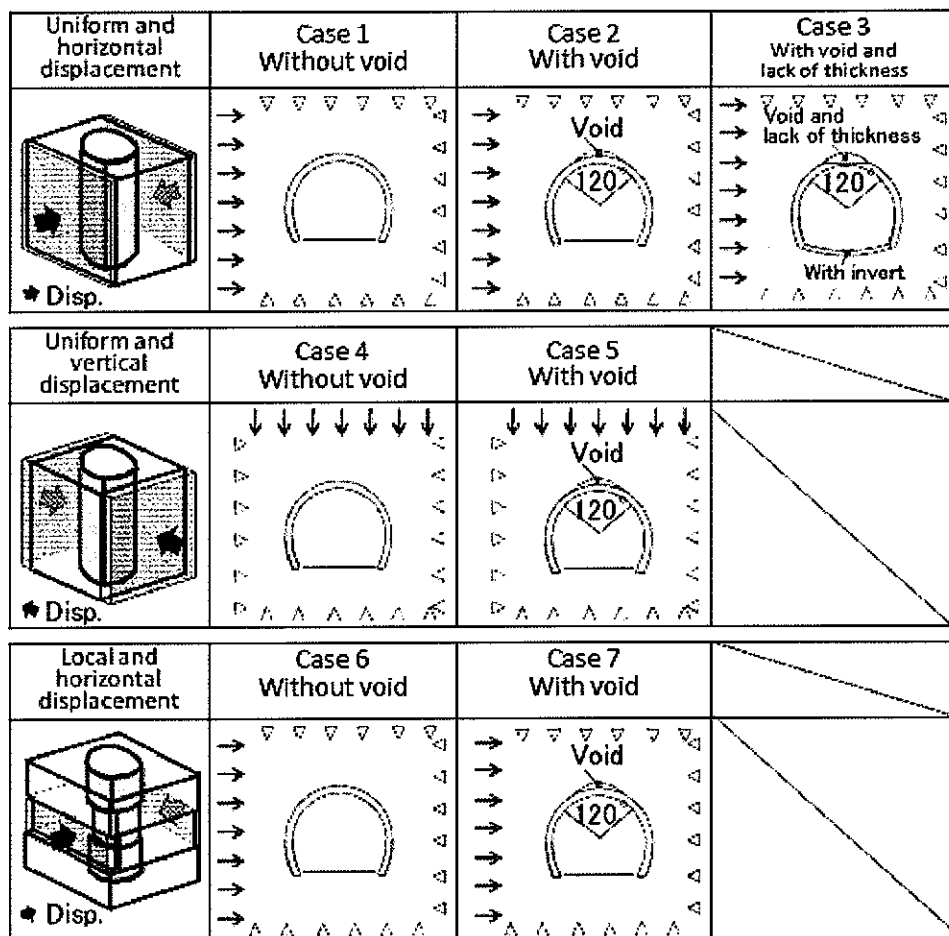


圖 3.1-27 模型試驗模擬之各種情況

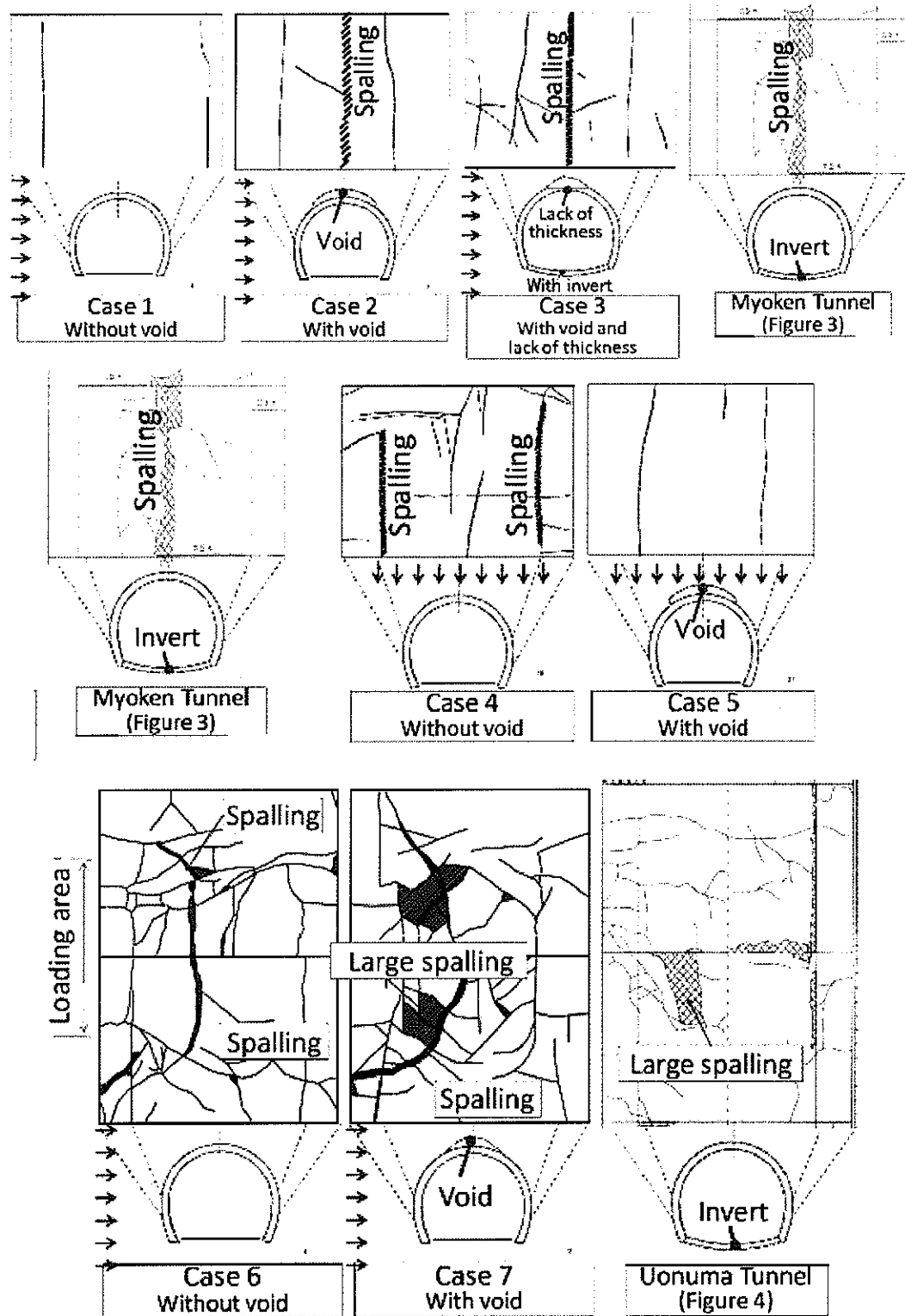


圖 3.1-28 山岳隧道受震破壞之模型試驗結果與實際隧道案例比較

3.1.9 隧道施工新知

依Chamberlin & Combe(2013)論文所提懸吊式隧道開挖與支撐系統，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、支保組立臂等大部分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。

有鑒於都會區對於隧道工程開炸作業噪音減低標準要求較嚴格，加上為避免開炸作業所引致之粉塵影響施工人員之健康，Noda 等人(2013)論文提及，日本針對隧道開炸噪音衰減與集塵設備等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，便可大幅度降低其分貝；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。

3.2 日內瓦城市及交通建設參訪

日內瓦（法語：Genève；德語：Genf；義大利語：Ginevra）是瑞士第二大城市，日內瓦州首府，在日內瓦湖的西南角流入羅訥河之處，東面臨湖，南北西三面則被兩大山脈環繞，南為阿爾卑斯山山脈，其中包括屬於法國的著名景點薩萊夫山，北、西兩面則為侏羅山山脈的一部分。日內瓦在國際上享有的高知名度，主要得益於這裡無數的國際組織，包括聯合國日內瓦辦事處。日內瓦是一座著名的國際都市，在兩次世界

大戰之間，國際聯盟的總部就是設立在此地。今天仍有許多國際組織在日內瓦設立總部或辦事處，包括有紅十字會的總部。屬於聯合國的組織有世界衛生組織等。在2006年的世界最佳居住城市評選中日內瓦高據全球第二位。第一條日內瓦公約於1864年簽訂，以保護戰時的傷患；加爾文於1536年定居日內瓦並在此發表《基督教原理》；1712年影響了法國以至全歐洲的著名文學家，哲學家，教育家，社會學家和思想家的盧梭在這裡誕生。

瑞士聯邦鐵路公司（SBB-CFF-FFS）提供的地區性火車服務連接著日內瓦主要火車站與機場以及市外小火車站。鐵路也和法國國營鐵路公司的路網聯通，包括直通巴黎和馬賽的高速列車線路。瑞士的鐵路線網發達，各主要車站保證每小時一班列車，各站間轉車等候的時間也極為短暫，以準時、安全、舒適、高效出名。鐵路分為國鐵和私鐵。國鐵（縮寫為：SBB或CFF或FFS）以EC和IC線的火車最快，並只停於大城市。Regionalzüge線的列車屬於區域性的，速度慢、停站多，但也途經多個風景區。私鐵是私營的鐵路，遍佈瑞士境內多個城市。透過瑞士鐵路網路的便捷，和瑞士到處的湖光山色，瑞士當局將鐵路結合旅遊而規劃多條景觀列車線路。當中最響譽盛名的有8條景觀路線：

- 冰河快車（Glacier Express）：往來聖莫里茨－策馬特
- 黃金快車（Golden Pass）：往來蘇黎世－日內瓦（景觀列車）
- 貝爾尼納快車（Bernina Express）：往來庫爾－蒂拉諾
- 威廉·泰爾快車（William Tell Express）：往來琉森－羅卡諾（Locarno）或盧加諾（Lugano）
- 棕櫚快車（Palm Express）

- 洛書堡—琴投瓦里快車 (Lotschberg Centovalli Express)
- 瓦拉攀快車 (Voralpen Express)
- 阿拉林快車 (Allalin Express)

參訪期間所搭乘火車如照片3.2-1~3.2-4所示。



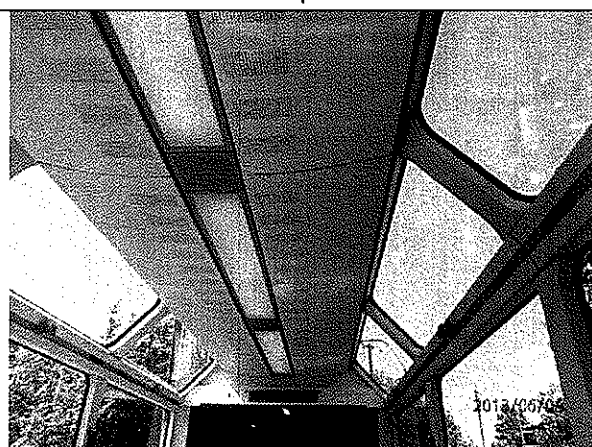
照片 3.2-1 蘇黎世至琉森雙層火車



照片 3.2-2 琉森車站停駐之單層火車



照片 3.2-3 冰河快車



照片 3.2-4 冰河快車車廂內寬闊視野設計

日內瓦公共運輸服務包括公共汽車和有軌電車，由日內瓦公共運輸 (TPG) 提供，除了負責市中心的交通，其網路遍布全州，並還延伸至周邊的法國城鎮。日內瓦海鷗公司 (Mouettes genevoises) 提供的船上公共運輸連接著湖的兩岸，主要用於旅遊業 (http://www.ceva.ch/menu/CEVA_accueil)。此外，日內瓦公路還連接著瑞士A1高速公路和法國的高速公路。至於發展有

軌電車(TRAM)其優點說明如後：

- 對於中型城市來說，路面電車是實用廉宜的選擇。無需在地
下挖掘隧道，車站無需昂貴的環控設備，乘客乘降便利無需
上下很長的距離。
- 架空的單軌鐵路及輕便鐵路系統往往只能在特別的市區環境
建造（如寬闊的大街），路面電車一般毋需架空路軌。
- 相較無軌電車，因為有軌道引導，駕駛操作較容易。
- 路面電車因為以電力推動關係，車輛不會排放廢氣，是一種
無污染的環保交通工具。

日內瓦電車平時行駛情形如照片3.2-5~3.2-8所示。



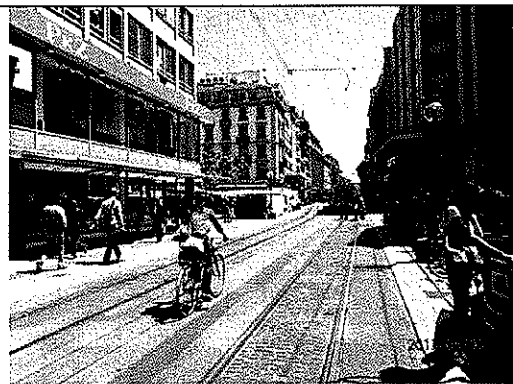
照片 3.2-5 日內瓦電車進駐車站



照片 3.2-6 日內瓦電車內裝



照片 3.2-7 日內瓦電車於街道行
駛



照片 3.2-8 電車道上騎腳踏車

四、瑞士隧道工程參訪

本次工程參觀於102年6月06~07日舉行，大會有多項工程供與會人士選擇，台灣參訪團所選擇參訪之工程為Technical Excursion 2 - AlpTransit, Switzerland' s largest-ever tunnel project。謹就參訪內容與心得，簡要敘述如後。

4.1 Gotthard Base 隧道工程概要及施工特色

4.1.1 隧道工程概要

全球最長的鐵路隧道—瑞士Gotthard Base隧道全長57公里(圖4.1-1)，最大覆蓋深度達2,500公尺，建設經費約70億瑞士法郎，經公民投票程序同意後推動，隧道西北側起自Erstfeld，向東南穿越阿爾卑斯山，東南迄Biasca。隧道基於行車安全和施工考量採用雙孔各為單線鐵路隧道設計，另包含2座多功能車站(Sedrun&Faido)，且每隔315公尺設一連絡坑道，並有4個橫越隧道以供列車轉換軌道至另一主隧道的橫渡線(圖4.1-2)，隧道斷面及連絡通道設施如圖4.1-3，隧道防災設施及救援車如圖4.1-4。AlpTransit 整體建設計畫完工後，從瑞士蘇黎世搭火車至義大利米蘭原需4小時可縮短至2小時30分鐘，並可大幅縮減德國至義大利之旅運時間，成為將來歐洲主要鐵路運輸路網之樞紐(李佳翰等，2011)。Gotthard Base隧道自1996年4月15日開工，開挖期間遭遇擠壓、岩爆、地熱等惡劣地質區段，歷經多次的研析與變更設計，終於2010年10月東線貫通、2011年3月西線貫通，目前正進行襯砌澆置、鋪軌、號誌、電力與通訊設備安裝等事宜。

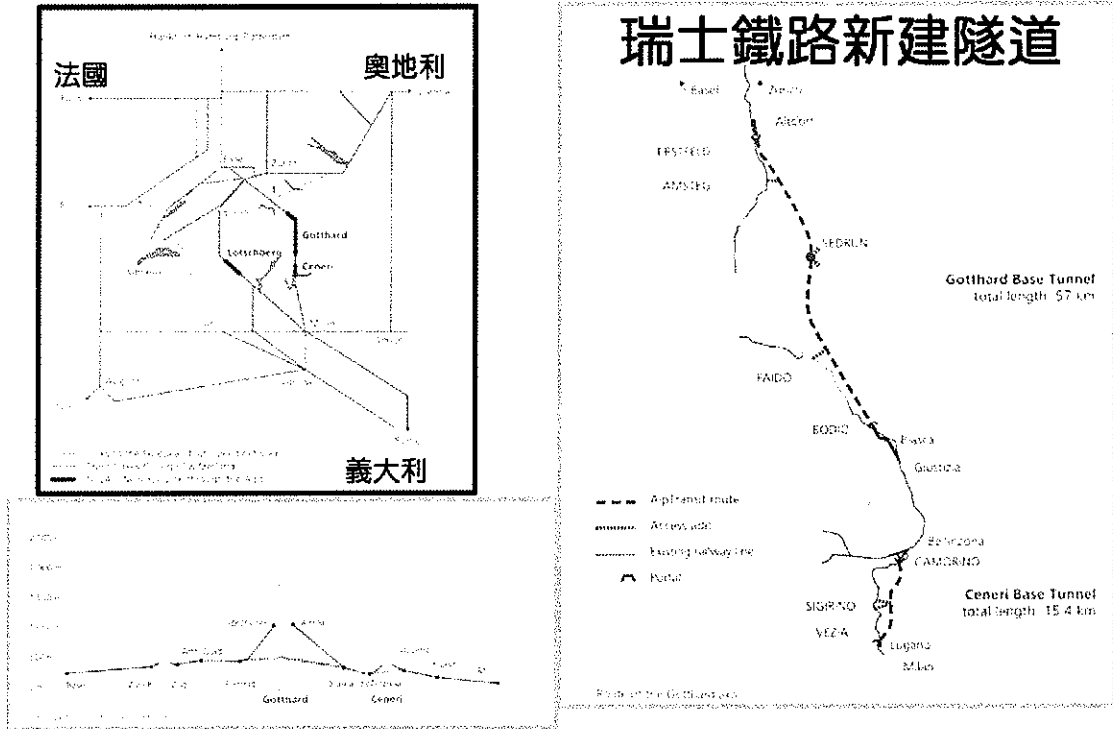


圖 4.1-1 Gotthard Base 隧道平面位置及縱斷面

- 客車車速250km/hr
- 貨運車速160km/hr

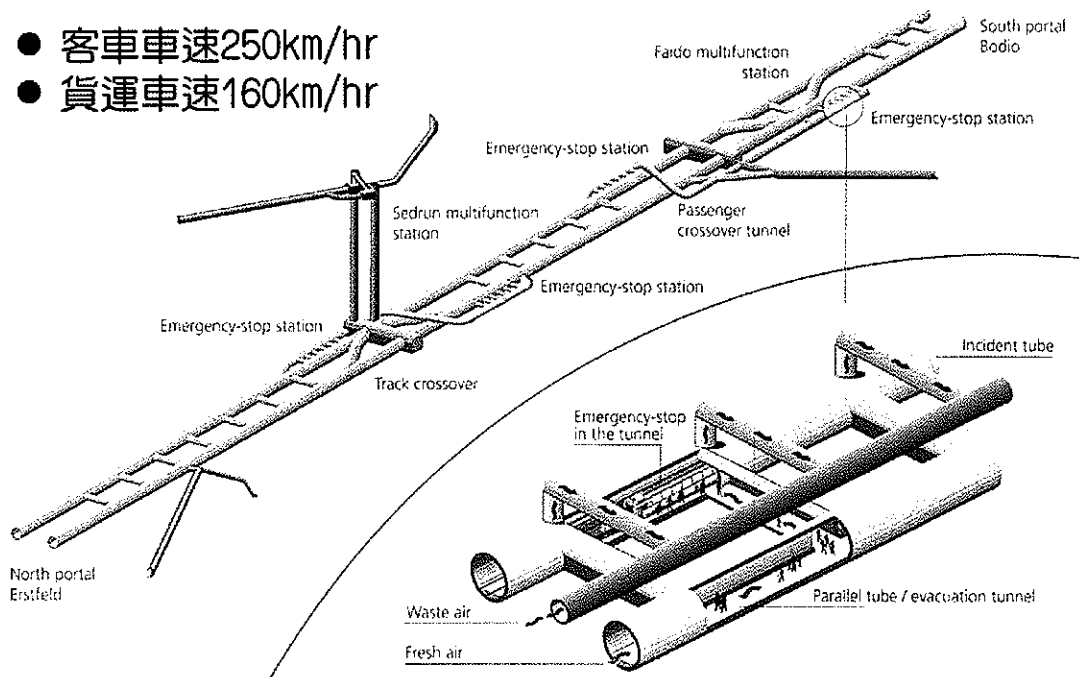


圖 4.1-2 Gotthard Base 隧道相關設施及緊急停靠站

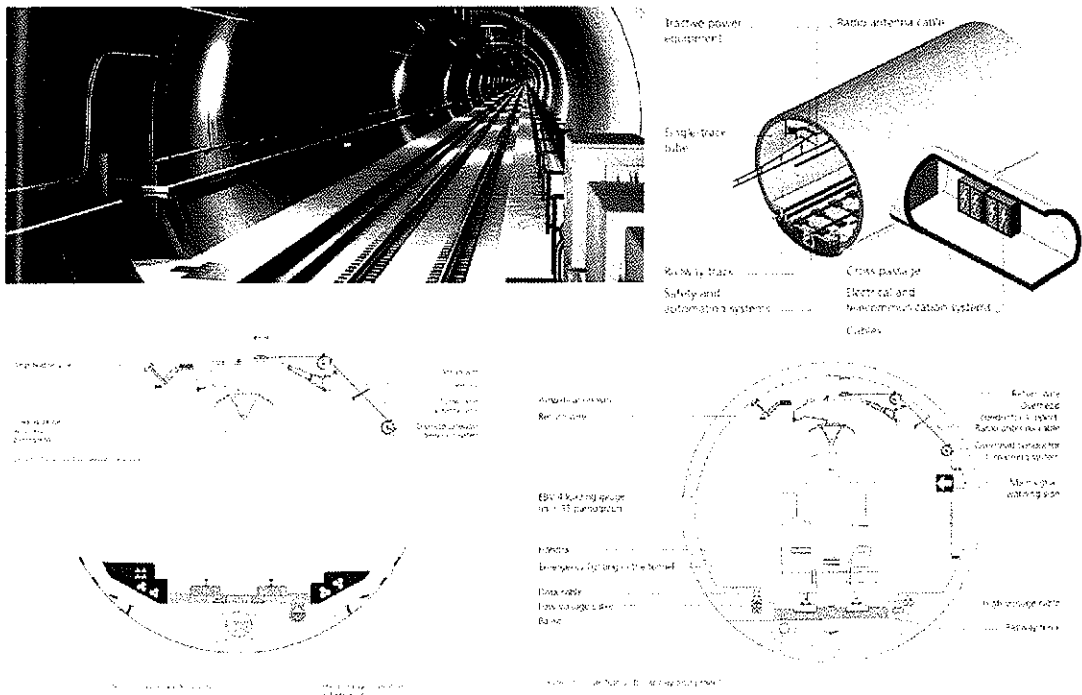
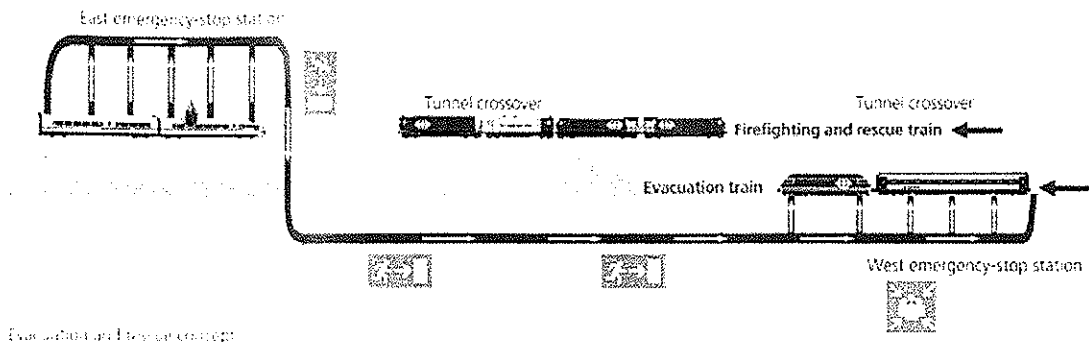


圖 4.1-3 Gotthard Base 隧道斷面及連絡通道設施



Evacuation and fire-fighting concept



Rescue train (SBB CFF FFS)



Rescue train (SBB CFF FFS)



Rescue train (SBB CFF FFS)

圖 4.1-4 Gotthard Base 隧道防災設施及救援車

4.1.2 施工特色

依既有國內外資料，Gotthard Base 隧道57公里中，53公里之地質包括三主要片麻岩區，即Aar-Massif，Gotthard-Massif和Pennine片麻岩區。此三區屬於有利施工區，隧道技術困難段為Middle Tavetsch Massif和三層較年青的沉積岩區。Aar-Massif之主要岩性為片麻岩和花岡片麻岩；Gotthard Massif之主要岩性為絹雲母板岩和絹雲母千枚岩；Pennine片麻岩區則為片麻岩。如圖4.1-5所示。

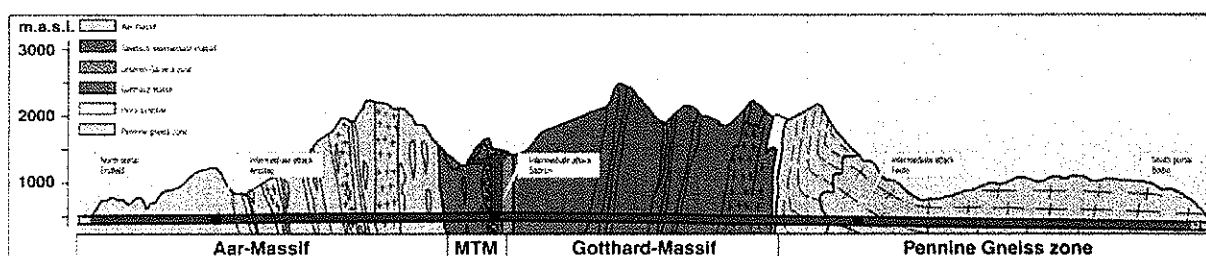


圖 4.1-5 Gotthard Base 隧道地質縱剖面

隧道主要段之覆蓋非常厚。有35公里長隧道覆蓋超過1,000公尺，20公里長隧道之覆蓋大於1,500公尺，5公里長隧道之覆蓋大於2,000公尺，最大覆蓋為2,300公尺。在Middle Tavetsch Massif及Clavaniev zone，隧道開挖後變形甚大，因此其斷面採圓形，全斷面開挖，開挖面系統式岩栓，擴大開挖以容納收斂變形，鋼支保需可滑移且構成一環，環狀岩栓支撐及噴凝土環形閉合。Gotthard Base 隧道於2004~2008年施工期間更遭遇多次嚴重之岩爆現象，故瑞士聯邦鐵路公司於2005年10月成立微震(micro tremors)工作團隊，於2005年10月至2008年2月間持續監測Faido工區多功能車站附近地表9處微震監測站之量測資料，並於隧道內增設2處微震監測站，同時委由瑞士Amberg工程顧問公司以UDEEC 軟體進行數值模擬，以探討微震波(岩爆)對隧道之影響。監測期間共量測到112次微震事

件，其中最大之微震事件為芮氏規模2.4，同時造成隧道內仰拱之隆起與破壞（李佳翰等，2011）。除了上述高覆蓋力學效應及施工課題外，隧道內岩石溫度可達45°C。此高岩溫加上施工機具和施工車輛之發熱，致使隧道施工中需空調設備。

為建立可接受的長隧道施工工期，設置中間工作點，此等橫坑及斜井在完工後做為通風之用。五個工作點包括：(1)Erstfeld(北口)，(2)Amsteg橫坑(1.2公里長)，(3)Sedrun橫坑(1公里長)及豎井(800公尺深)，(4)Faido橫坑(2.7公里長，坡度12%)，(5)Bodio(南口)。本工程隧道施工方式，選擇鑽炸法或TBM開挖，施工段之地質及開挖方式如表4.1-1。

表 4.1-1 Gotthard Base 隧道各施工段之地質及開挖方式

段別	長度 (公里)	覆蓋 (m)	主要地質 (岩性)	進洞 方式	其他限 制條件	邀標開挖方式
Erstfeld	7	300~600	片麻岩	洞口	-	TBM
Amsteg	11.5	300~2,100	片麻岩、 花崗岩	通達 隧道	-	TBM
Sedrun	7	1,000~1,700	千枚岩、片 岩 T&M-North	豎井	瓶頸	鑽炸法並儘速完 成閉合
Faido	14.5	1,200~2,300	片麻岩、 花崗岩	斜坑	瓶頸	開放式或帶盾 TBM；或鑽炸法 及 Roadheader
Bodio	16.5	100~1,100	片麻岩	外環隧 道/洞 口	需儘速 與 Faido 段相連	東孔採用帶盾 TBM，西孔則可 為開放式或帶盾 式 TBM

Gotthard Base 隧道相當重視施工前調查，茲摘要說明如下：

Piora Basin 區介於北方 Gotthard Massif 和南方 Pennine Gneiss Zone 之間，為一沉積岩侵入，自1993年起就開始詳細且有系統的調查。一條長5.5公里之調查隧道在主隧道上方350

公尺已開挖完成。在此標高之岩層為碳質三疊系岩層，包括白雲岩、角礫化白雲岩、白雲岩—石膏/硬石膏，其間包括糖粒狀白雲岩，某些區域地下水壓高。Piora Basin厚約230公尺，本標並經由此探查隧道再鑽4傾斜孔至主隧道之標高，詳如圖4.1-2所示。

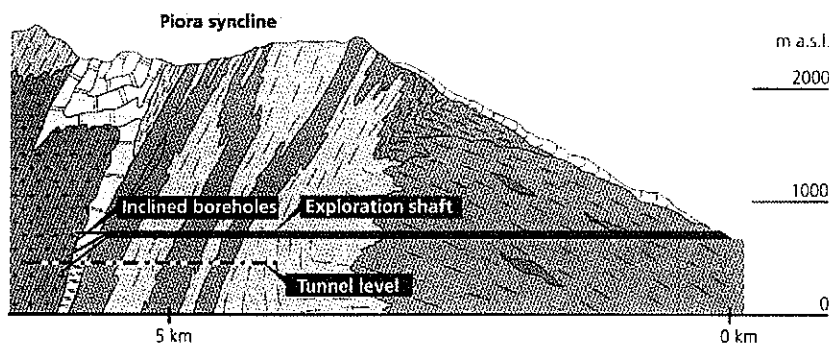


圖 4.1-2 Piora 背斜調查隧道及鑽孔

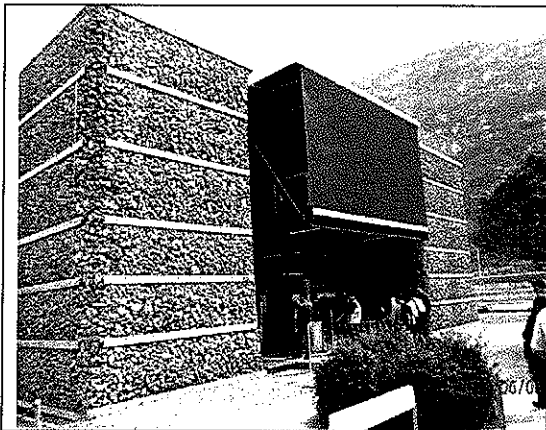
Middle Tavetsch Massif 岩盤屬片麻岩、千枚岩和片岩，除3傾斜孔之外，在1995~1997年間曾鑽探2傾斜孔深及於本岩層之南部及北部，孔深最大達1,750公尺。此深孔已達Gotthard Base隧道。5孔共長5,622.3公尺。

4.2 Gotthard Base 隧道 Bodio 工區參訪

Gotthard Base 鐵路隧道當時共規劃了五個工區，由北而南分別為：(1) Erstfeld；(2) Amsteg；(3) Sedrun；(4) Faido；(5) Bodio。102年6月6日大會所安排參訪之Bodio則位於最南端之工區。Bodio 工區長度約15.8 公里，採用2部直徑8.8公尺之開放式TBM 往Faido 工區掘進。

參訪團首先抵達Pollegio 參觀中心(Visitor Centre Pollegio，照片4.2-1)聽取簡報，Pollegio 參觀中心係利用隧道開挖之石碴建造而成，充分達到資源回收再利用；參訪人員穿著全套安全設備(安全帽、連身反光衣、緊急氧氣背包、

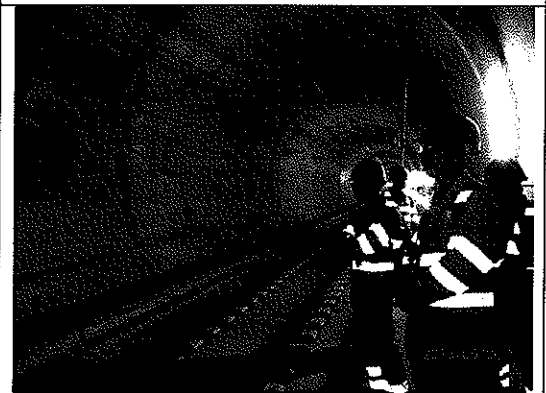
GPS 人員定位裝置、無線耳機，如照片4.2-2，接著參訪人員搭乘專用火車進入Gotthard Base鐵路隧道之Bodio 工區。Bodio 工區亦已完成襯砌暨軌道鋪設作業，目前正進行電力、號誌與通訊設備之安裝，隧道內完成情況如照片4.2-3，參訪人員搭乘專用火車如照片4.2-4。由於Gotthard Base鐵路隧道營運後將同時供歐洲各種高鐵與一般鐵路列車行駛，故現場解說人員詳細講解其隧道內淨空、供電系統、號誌與通訊設備、連絡通道等之設計理念(如照片4.2-5及4.2-6)，連絡通道自動安全門如照片4.2-7及4.2-8所示。雖其安全逃生設計理念係採用隧道內2處多功能車站(Sedrun & Faido)疏散乘客，惟2座隧道間每隔315公尺仍設置人行聯絡通道，堪稱新世代鐵道工程。



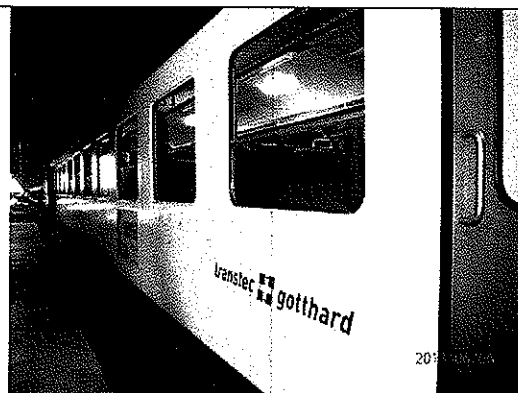
照片 4.2-1 Pollegio 參觀中心



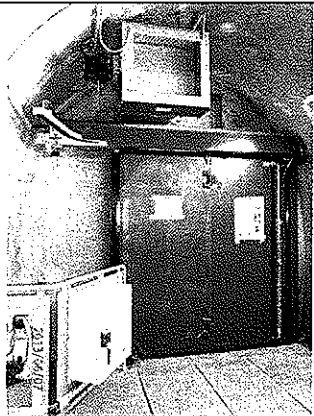
照片 4.2-2 參訪人員穿著全套安全設備



照片 4.2-3 隧道內完成情況



照片 4.2-4 參訪人員搭乘專用

	火車
	
<p>照片 4.2-5 連絡通道監控 與機電設備(1)</p>	<p>照片 4.2-6 連絡通道監控 與機電設備(2)</p>
	
<p>照片 4.2-7 連絡通道自動 安全門(1)</p>	<p>照片 4.2-8 連絡通道自動 安全門 (2)</p>

4.3 Ceneri Base 隧道 Sigirino 工區參訪

Ceneri Base 隧道係位於 Gotthard Base 鐵路隧道之南方，屬於 AlpTransit 整體建設計畫之一，其工程佈設如圖 4.3-1。其隧道全長約 15.4 公里，最大覆蓋深度達 900 公尺，隧道開挖施工方式係規劃分別由北口 (Vigana 工區) 2 個工作面、中央 (Sigirino 工區) 4 個工作面以及南口 (Veza 工區) 2 個工作面同時採用鑽炸法開挖施工 (因隧道沿線地質狀況較差，經評估後不採用 TBM 開挖)。且為充分瞭解其地質狀況，早於 1997 年便於 Sigirino 工區開挖一 3.1 公里長之地質探查橫坑，並進行相關試驗，據以完成設計後，於 2007 年才正式開工，預定 2019 年

完工通車。

參訪團抵達Sigirino 工區後，首先聽取簡報(照片4.3-1)，並穿著安全設備(安全帽、反光背心、3M白色防護服、雨鞋)，其後搭乘專車進入隧道內參觀，目前此工區正進行隧道開挖與支撐作業，其施工規劃係短台階開挖並採用雙臂式鑽堡(照片4.3-2)，且將開挖面之臨時照明設備置於隧道頂拱，並採用履帶式出碴系統，碴料全程經由履帶輸送至洞口之分類、碎解、洗選設備(照片4.3-3及4.3-4)後，無法回收再利用之碴料用於洞口之加勁回填；其餘碴料則直接用於將來襯砌混凝土之骨材，充分展現節能減碳與綠色環保新思維之落實，十分值得國內隧道工程界借鏡與參考。

Ceneri i base tunnel

Galleria di base del Ceneri

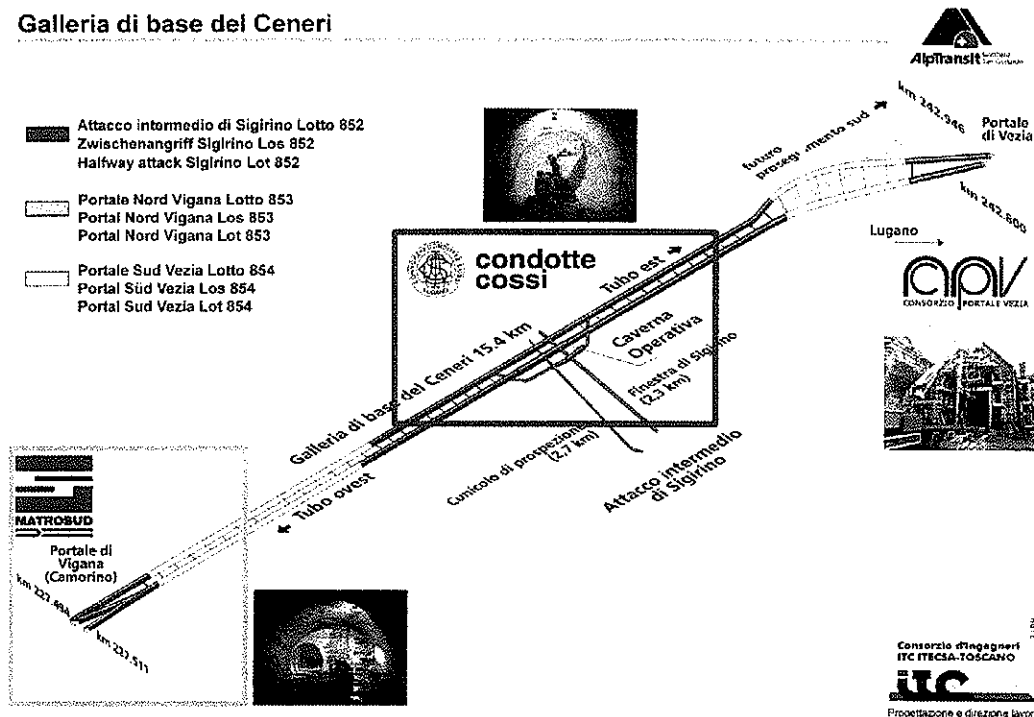
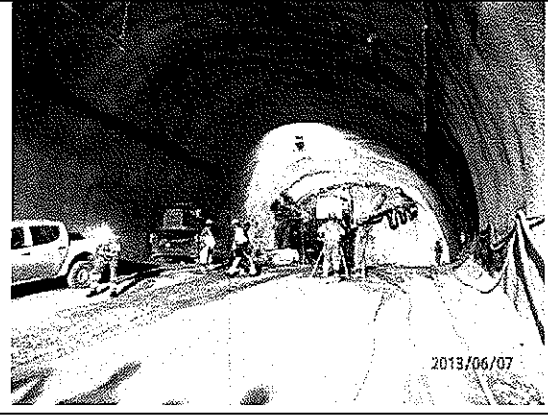


圖 4.3-1 Ceneri Base 隧道工程佈設



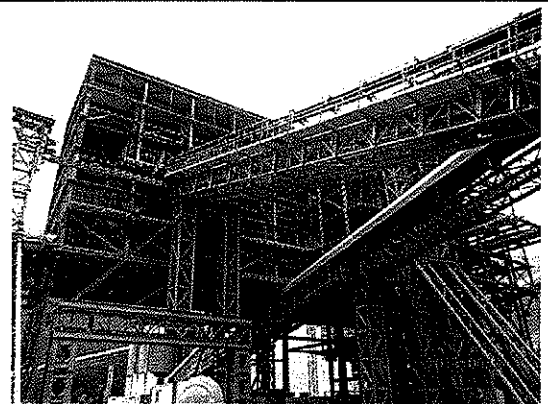
照片 4.3-1 抵達工區後聽取簡報



照片 4.3-2 隧道開挖情況



照片 4.3-3 洞口履帶式出碴系統



照片 4.3-4 碴料分類、碎解、洗
選設備

五、心得與感想

參加2013年國際隧道工程會議及瑞士隧道工程參訪，除有多場精湛之技術演講外，參觀瑞士最長隧道Gotthard Base 隧道及施工中Ceneri Base隧道，與隨行之教授、公路總局人員、顧問公司及工程先進們互相交流，可說是獲益良多，謹將此行之心得感想列述如後。

1. 1970年代瑞士公路隧道之通風設計理念為採用半橫流式通風系統，惟目前新建公路隧道之通風系統，考量當隧道內之能見度較低或發生火災事故時，隧道內之通風系統自動改為強制抽風(煙)模式，以利人員疏散與救難人員之搶救，例如Gotthard公路隧道於2001年發生火災後，排煙系統已由全區排煙改為集中排煙方式，當隧道火警時，則開啟離火源最近排煙口予以集中排煙，此與目前國內台9線蘇花公路改善計畫及安朔草埔段計畫等長隧道相近，亦顯示國內長隧道安全考量，已跟上國際先進國家腳步。
2. Gotthard Base鐵路隧道也已完成襯砌澆置與軌道鋪設作業，現正進行電車線與號誌等機電系統安裝，即將於2016年運轉測試後正式投入運營，其對長隧道防救災設施之考量，例如雙孔各為單線鐵路隧道、多功能車站、定距離設連絡通道，供列車轉換軌道至另一主隧道的橫渡線、隧道救援車等，雖其安全等級高及相對相關經費亦較高，但其思維模式可供國內長鐵路隧道規劃參考。
3. 由於歐洲之交通隧道相繼發生火災事故，國際間早已十分重視交通隧道之安全與防災課題，各國之學術機構、政府研究單位與材料或設備供應商均投入大量人力研究與發展隧道襯砌耐火材料與隧道自動化滅火系統，甚至進行全尺度試驗，台灣可多注意相關研究發展，或尋找試驗隧道進行火災相關試驗，建立台灣本土化資料庫，並與世界技術接軌。

4. 營運中隧道之安全檢測與維修補強課題已逐漸受國際重視，尤其是地質年代較輕、地質構造複雜、地震活動頻繁之國家，例如日本政府相關單位已分別制定水利隧道、公路隧道、鐵路隧道、高鐵(新幹線)隧道之定期與不定期安全檢測之頻率與標準，並採用先進之隧道影像掃描儀建立隧道襯砌初始狀態之影像資訊，以利後續之異狀判釋比對、安全等級評估與維護管理，必要時則進行維修補強作業，以延長隧道之生命週期。上述國外作法值得政府相關單位重視及推動，以落實全生命週期與永續發展之理念。