

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

赴瑞士參加隧道救援訓練報告書

服務機關：內政部消防署

姓名職稱：黃副隊長博村等 4 名

派赴國家：瑞士

出國期間：95 年 11 月 26 日至 12 月 10 日

報告日期：96 年 3 月 9 日

目 次

壹、前言.....	3
貳、目的.....	3
參、訓練成員.....	4
肆、訓練行程.....	5
伍、訓練過程與心得	
一、隧道設施部分	
(一) Gotschna 公路隧道.....	6
(二) Uetliberg 公路隧道.....	10
(三) Gotthard Base 地下鐵路隧道.....	12
(四) St. Bernardino 公路隧道.....	13
(五) 上開訓練過程心得.....	15
二、行控中心部分	
(一) Mels 地區行控中心.....	16
(二) Kt. Uri (烏里州) 與 Kt. St.Gallen (聖加侖州) 緊急應變中心.....	17
(三) 上開訓練過程心得.....	19
三、救災單位(消防隊)部分.....	19
四、Siegfried 化災訓練中心部分.....	27
五、ICST 國際隧道安全中心部分.....	30
陸、結論與建議.....	35

赴瑞士參加隧道救援訓練報告書

壹、前言

隨著時代變遷，在建築樣式比以往更加多元（如超高樓、化學工廠或隧道、捷運等地下結構）情況下，災害形式也變得更為複雜化與不可控制化，讓傳統消防單一組織作戰方式（憑藉本身救災資源即可因應，不需使用到外在資源）逐漸無法滿足救災任務需求。是故現行救災模式更需強化現場周邊救災資源運用與協調能力，方足以因應特殊災害日益增加之需求。

尤其，在國內長達 12.9 公里之雪山及 4.9 公里之八卦山等長公路隧道陸續通車啓用後，雖能提供諸多用路人一個快捷舒適的用路環境，大幅縮短渠等往來各地的行車時間，但其內部空間具有一旦發生火災事故，即容易發生「聯絡困難」、「狀況不明」、「救援急迫性」及「進入搶救可及性低」等危害境況，讓救災工作遠比一般建築物更為困難。

貳、目的

內政部消防署鑑於隧道救災工作困難度遠甚於一般建築物，並在署與地方消防機關於災害救援角色上定位不同，應對救災決策擬訂更為重視之情況下，特派員前往境內具有眾多長公路隧道之瑞士學習因應知能，除於極具盛名的 ICST（國際隧道安全防治中心）學習諸如「隧道內危險物品事故處理」等相關課程外，另有安排「Zurich（蘇黎士）附近多座新建單孔雙向公路隧道防救災設施」、「Gotthard Base 地下鐵路隧道（長度約 57 公里為世上最長）」與瑞士境內多處防救災單位等地實地教學與「瑞士國鐵路消防火車」功能介紹，藉以瞭解瑞士當局是如何提昇長隧道公路事故災害應變能力，俾能強化國內整體隧道防救災機制。

參、訓練成員

姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等
黃博村	內政部消防署	特種搜救隊	副隊長	警監 4 階
陳瑞民	內政部消防署	災害搶救組	科員	警正 3 階
許佑銓	內政部消防署	特種搜救隊	隊員	警正 4 階
曾旭鴻	內政部消防署	特種搜救隊	隊員	警正 4 階

肆、訓練行程

日期	行程
11月26日(星期日)	搭機經香港轉往瑞士。
11月27日(星期一)	抵達瑞士後，赴ICST參觀其隧道事故救援訓練設施。
11月28日(星期二)	赴Mels地區行控中心與Quarten消防隊訓練。
11月29日(星期三)	先在ICST學習隧道構築的風險分析及隧道防護課程，後轉往Gotschna隧道(位於Kt. Graubunden近Davos)訓練。
11月30日(星期四)	赴St. Bernardino隧道行控中心與Kt. Uri(烏里州)緊急應變中心訓練。
12月1日(星期五)	在ICST學習隧道安全概觀課程。
12月2日(星期六)	整理蒐集資料暨赴Lucerne、Zurich參觀當地消防設施。
12月3日(星期日)	
12月4日(星期一)	赴St.Gallen消防隊與Kt. St.Gallen(聖加侖州)緊急應變中心訓練。
12月5日(星期二)	赴Siegfried化災訓練中心與Bauamt消防隊訓練。
12月6日(星期三)	赴Zurich附近之Uetliberg隧道訓練。
12月7日(星期四)	赴Gotthard Base地下鐵路隧道(Faido路段)訓練
12月8日(星期五)	赴Zurich附近Rapperswil-Jona與Winterthur兩消防隊訓練。
12月9日(星期六)	搭機經香港返台。
12月10日(星期日)	返抵國門。

伍、訓練過程與心得

一、隧道設施部分

本節訓練地點包含 Gotschna、St.Bernardino 等已經開始營運的公路隧道，以及興建中之 Uetliberg 公路隧道與 Gotthard Base 地下鐵路隧道。

(一) Gotschna 公路隧道：

公路隧道是一為滿足交通運輸需求且因應地形而設計之特殊空間，這種特殊空間具有密閉化、地下化等特性，故除了在交通管理上有別於一般開放性行車空間，在各項救災工作執行上亦有別於一般建築物之應變救援。

此次參觀之Gotschna隧道長約4.2公里，鄰近瑞士著名滑雪聖地Davos地區，係為去（2005）年始開始運作之新建單孔雙向隧道，在ICST人員陪同前往，並由隧道管理人員介紹其隧道各項設施，包含獨立維修控制中心、人行避難橫坑、常亮式求救（SOS）緊急電話、滅火設備、車行橫坑、專用救援隧道、排送風機間及排煙口與電力機間等。另於回程當中尚有見到連結Klosters與Vereina兩地專門用來載運行駛車輛的火車（如圖1、圖2），其功能類似我國的航行旗津與鹽埕區的交通接駁船；只是前者利用隧道穿越山岳，後者則橫渡海洋達成人車運送目的，惟二者均具高環保性與低災害發生風險性等優點，頗值得我國後續規劃相關交通建設時參考。



圖1、停靠於月台旁的車頭與車箱



圖2、載運車輛的車箱

本隧道結構概要及設備特色如下：

1、專用排煙管道通風系統（如圖3至圖8）：

本系統與國內雪山與八卦山等隧道利用風機進行隧道內部之排煙方式不同，其特色是透過每 75 公尺設置一處之排煙風門來將煙流導入隧道中專用排煙管道，並使其排出主隧道。其優點是可使煙流不易於主隧道中竄流，造成人員逃生之困難，但缺點則需加大隧道挖掘斷面積及加設排送風管道，使得整體興建費用較單純使用風機者昂貴，惟目前瑞士當地新建隧道多採取此種方式來設計。



圖 3、位於隧道上方之一處排煙風門



圖 4、位於隧道壁下方之一處進氣管道



圖 5、排煙風門實體



圖 6、隧道中位於上方排煙管道之出口



圖 7、排煙管道內的風機



圖 8、隧道中位於上方排煙管道之入口

2、交控標示系統（如圖 9 至圖 12）：

包含車道兩旁人行道設置高亮度標示燈，藉以增加用路人行車與避難逃生時之安全性（避免誤入車行道）；火災警示閃光燈，可強化用路人避難指示性。另人行避難橫坑進出口的避難燈（非避難標示）為長條式形狀設計，並沿進出口門兩旁高度設置，平日常時亮綠燈，火警時閃綠燈標示，其標示面積及效果大幅提升，與國內只設置避難指示及出口裝置，在引導人員避難措施上，確實有其獨到之處並可供借鏡。



圖 9、人行道旁所設置高亮度標示燈



圖 10、人行道旁之一處火災警示閃光燈



圖 11、人行避難橫坑外部避難燈側照



圖 12、人行避難橫坑入口與避難燈

3、SOS 室（如圖 13 至圖 16）：

室內為常時亮設計，並具有與主隧道隔離效果的防火門設置（含可觀察外面及室內狀況之強化玻璃，類似國內乙種防火門），除可有效排除危險因子（熱、煙等）供初期避難之用，並得接序再通往救援避難隧道。此外，更特別之處在於將「對外通報對講機」與「滅火器」同置於室內，這與我國將後者另擺放在消防栓箱處顯有不同，據悉可避免影響用路人避難動線。



圖 13、SOS 室外觀



圖 14、SOS 室標示



圖 15、SOS 室內設備



圖 16、由 SOS 室可進入救援避難隧道

4、人行避難橫坑（如圖 11、圖 12）：

每 200m 設置一個，具橫推式防火門可隔絕主隧道之熱煙，除密閉性效果較推拉式防火門（國內常用）為佳外，其內部空間採正壓式送風設計，亦能透過壓差來使避難性能大幅提升。

5、救援避難隧道（如圖 17 至圖 19）：

本隧道設置方向約與主隧道平行，可供救援人員進入主隧道執行救災工作使用，並透過人行避難橫坑與主隧道連接，惟渠等進入前亦需開啓防止火煙侵入之固定防火門。



圖 17、救援避難通道



圖 18、救援避難通道內標示牌

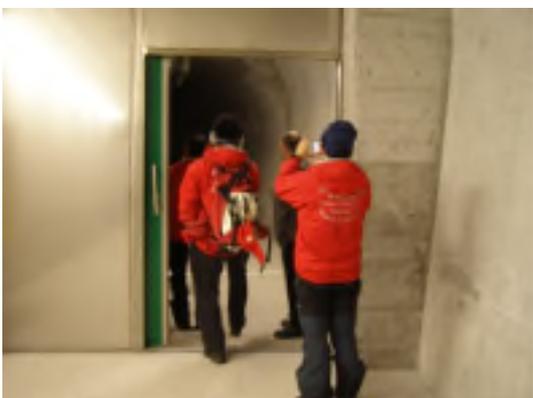


圖 19、由人行避難橫坑進入救援避難隧道前



圖 20、隧道內消防栓

6、防災設備（如圖 20）：

監視設備及火警（差動式分佈型電阻式探測器、每 15M 設一感知中繼器）、CO、風速等探測設備等監測設備及滅火設備（消防栓每 250m 設置一支，與一般隧道無異）。

（二）Uetliberg 公路隧道（如圖 21 至 30）

Uetliberg 隧道為 Zurich 附近一處正在興建中的隧道，管理人員為我們簡報有關隧道施工的重要工法（支撐）及內部空間設置的情形後，再帶我們實際深入工地內部，體驗原始隧道中的惡劣環境與工程人員施工情形及運作方式，茲將簡報內容摘要如下：

- 1、本隧道興建目的係為連結 Zurich 市區東、西兩側既有公路群，藉以形成一個公路網，使道路使用性及便利性增加。
- 2、本隧道長度約為 4.42 公里，採雙孔單向式設計（與我國雪山隧道及八卦山隧道相同），並於每 300 公尺設置一處人行連絡道、每 900 公尺設置一處車行聯絡道、每 150 公尺設置一處 SOS 室。
- 3、本隧道其施工方法依其周邊地質狀況而有所改變，其支撐方法也依其而有所變化。於施工法方面分為機械式 TBM、TBE（用於當 TBM 先貫穿直徑約 5 公尺大的導坑後，再透過 TBE 撐開導坑面積以加快施工速度，但碰到軟土層時則不適用）與人工式（如使用炸藥，惟其施工慢，但適合用於地質狀況較差的地質）。另在支撐法方面則有栓定法、鐵絲網加混凝土牆化工法、鋼筋工法等。
- 4、本隧道通風系統除於兩端出入口設有數具噴流式風機外，主要係透過主隧道上方獨立排煙管道與豎井進行排煙工作。

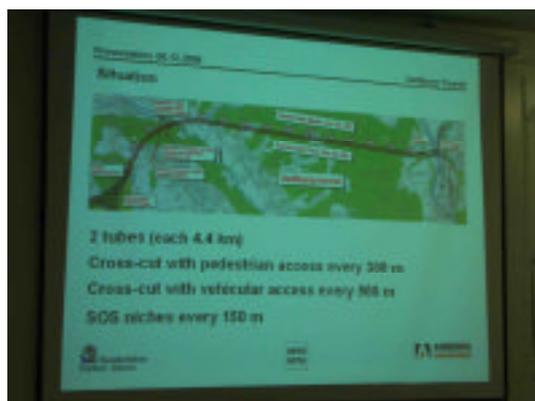


圖 21、Uetliberg 隧道設計方式

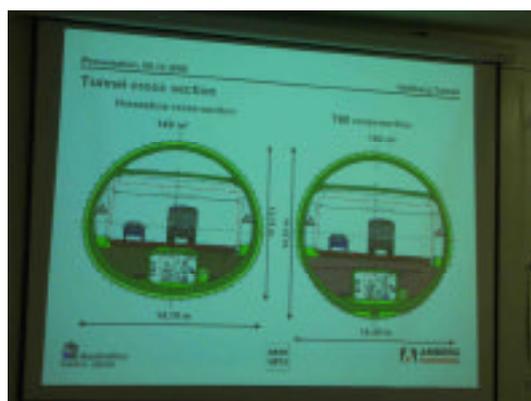


圖 22、Uetliberg 隧道剖面（下方為導坑）



圖 23、Uetliberg 隧道剖面（下方為導坑）

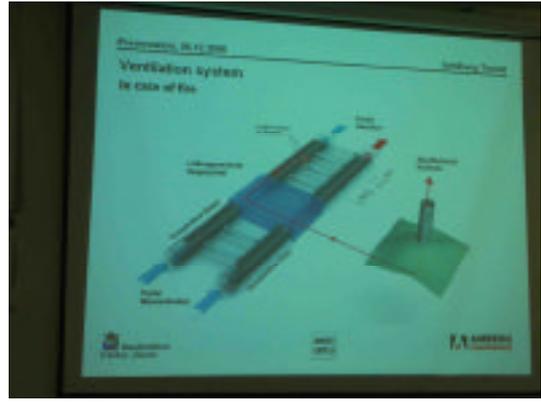


圖 24、Uetliberg 隧道可透過豎井排煙



圖 25、Uetliberg 隧道上方獨立排煙管道



圖 26、排煙管道內（右為排煙風門）



圖 27、排煙風門近照



圖 28、排煙管道一角



圖 29、排煙管道內欲裝設巨型風機處



圖 30、Uetliberg 隧道下方導坑出口處

(三) Gotthard Base 地下鐵路隧道 (如圖 31 至 36):

Gotthard Base 地下鐵路隧道全名為 Gotthard Base Tunnel，簡稱 GBT，係位於瑞士南部欲通往義大利的一處雙孔單向地下鐵路隧道，由瑞士國鐵局負責興建，全長約 57 公里，完工後可使瑞士 Zurich 與義大利 Milano 兩城市間交通運輸時間自原本所需 4 小時 10 分鐘縮短至 2 小時 40 分，整體興建費用粗估約 100 億瑞士法郎 (折合新台幣約 2,600 億元)。

本次訓練地點為該隧道位於 Faido 地區路段 (長約 14.6 公里)，因本隧道為當今世界最長之隧道極具代表性，在強烈學習心態驅使下，雖其尚未落成 (於 1999 年開工，預計 2016 年營運) 且深入阿爾卑斯山下數千公尺致令現場環境十分燥熱，但派訓人員仍不顧自身安危簽下同意書乘車深入地底瞭解其防救災設施之設計。綜觀本隧道之設計特色，在於其排煙與人員避難疏散設施均以車站為固定點來設計，並非如一般公路隧道為全線設置排煙及避難設施，據施工人員表示，這對於整體結構安全、人員避難與搶救進行皆有其優點。

在這次見到 GBT 位於 Faido 地區全長 14.6KM 的路段中，所設二條雙孔單向行車隧道，除平時可供火車行駛外，亦有相互交錯之設計以供會車使用，據悉此舉是為使後續行進中的列車，可借此預設供會車使用的交會空間來閃避事故地點以避免發生追撞。此外，萬一事故發生時，鐵道公司會要求司機不能馬上停車，而必須儘量將列車開到此處將來會設置的車站處停靠，以利透過其內部風機與高約 800 公尺之豎井來進行後續排煙與乘客避難作業。而由於車站亦是未來救援單位來深入地底執行搶救工作的主要路徑，故日後在 Faido 地區亦會設置專業事故救援單位 (應為消防隊)，惟今因 GBT 仍未完工，故此行未能再對該單位有更深一步的瞭解，有待其日後成立後再加探索。

此行於 GBT 施工現場尚有發現多個外掛有綠色燈管的貨櫃頗為特殊，經詢問後發現係工程單位提供給工作人員進行緊急避難使用，並設置有眼睛沖洗液、空氣呼吸器、氧氣瓶、醫療包、滅火器與對外聯絡電話等，可有效延長渠等在隧道內意外事故發生後等待救援單位前來的生存時間，頗值得國內工程單位參考。



圖 31、GBT 位置圖



圖 32、GBT 排煙與人員避難方式設計



圖 33、參訓人員在 GBT 內討論一景



圖 34、GBT 內雙孔單向行車設計



圖 35、GBT 工地人員緊急避難貨櫃



圖 36、緊急避難貨櫃內一角

(四) St. Bernardino 公路隧道 (如圖 37 至 44)：

隧道行控中心係為消防人員執行救災最重要的夥伴，其功能包含了通報、救災訊息提供、管理整合現場救災資源（人及設備）等功能，故吾等更應需對其設施與所能提供之服務多加了解。

本次選擇訓練地點 St. Bernardino 公路隧道全長 6.596 公里，位於瑞士南部負責連結北端 Hinterrhein 與南端 San Bernadino 兩地，並於 1967 年落成啓用迄今，且其隧道行車設計與 St. Gotthard（聖哥達）公路隧道相同，均為單孔雙向。另 St. Bernardino 隧道的行控中心人員除有工程隊、維修部門（維修隧道設施如風機）等部門配置外，尚有專屬消防隊之設立，囿於瑞士當地人事成本頗高，故專屬消防隊成員係由中心內所有 32 名全職人員內，以每班 4 人每日分 2 班的方式來選派，必要時再由其他編組外之人員予以支援。

此外，St. Bernardino 公路隧道在主隧道下所設置長約 6.7 公里之救援（兼維修）用途之隧道（類似我國雪山隧道之導坑），其更為特別之處在於事先將救援（災）路線與民眾逃生路線區隔分開，亦即原本 1 條進出路線透過水泥牆區分為 2 線（兩者間尚有鐵門可互通），可避免彼此間行動相互干擾。且行控中心所屬消防隊更配置有專門針對隧道火災設計的消防車輛（如具有可原地升起腳架 360 度迴旋變換車頭方向，便於在隧道內有限空間中，能即時脫離危險環境之功能）與設備（如循環式呼吸器），並有專屬的救災器材保養中心。

而據行程中行控中心主管表示，該行控中心平日透過隧道內所設置多處溫度感知器與 151 個監視器來掌控行車狀況，當中心內監控電腦發現隧道內有地方溫度超過攝氏 30 度即會產生警示訊號，到達 35 度則會派員前往現場查看，當確認發生火災等意外狀況時，其所採取的應變程序一般如下：

- 1、封閉全線車道。
- 2、隧道內照明設備全開。
- 3、隧道內通風設備全速啟動。
- 4、透過隧道內廣播設備及插播用路人車上的收音機來引導避難路徑。
- 5、通知專屬消防隊與其他支援單位派員趕往處理。



圖 37、St. Bernardino 公路隧道洞口



圖 38、參訓人員聽取行控中心簡報



圖 39、參訓人員於行控中心前留影



圖 40、主隧道下方救援用途之隧道



圖 41、依救援與避難不同目的將救援隧道分為 2 線



圖 42、救援隧道內 2 線間之鐵門



圖 43、行控中心供隧道救災用消防車



圖 44、行控中心用循環式空氣呼吸器

(五) 上開訓練過程心得：

- 1、Uetliberg 公路隧道與 Gotthard Base 地下鐵路隧道於訓練當時雖尚未完工，但由於工程人員所在的作業環境極為惡劣，致渠等所面對污濁的空氣品質、四面八方傳來的刺耳噪音及不可預知的風險，均與消防人員遭遇的實際救災現場有類似之處。而參訓人員藉由親身空著工作服暨攜帶急救設備實際深入工地體會後，從工程人員的施工環境、施工情形與管理措施中，也從中得到一些搶救作為上可資借鏡之處如下。
 - (1) 在隧道內執行搶救工作時，必須佈署獨立穩定之救災水源、照明、通風、電力系統與各項偵測危害物質的設備，不能太依賴隧道本身設備，以備不時之需。如欲使用必須事先對其性能與限制有所深入了解，並於平日做好定期性能檢測暨與管理單位間溝通聯繫工作。
 - (2) 當進入隧道時，個人防護裝備絕不可少，並應先設置管制站管制進出人員，俾確實控管人員進入時間、安全及救災進度等。若有大型災害需長時間作業狀況發生，更需建立人員輪替措施與後勤物資補給措施，其中通訊與緊急通報措施更是安全管理環節不可或缺的設施。
 - (3) 隧道整體不僅只有隧道本體而已，而是由各個機間建築及隧道主體所構成之廣域空間，即整個隧道的組成有隧道主體、通風、排水、線路、救援及避難管道、維修控制中心、行控中心、排煙、送風、配電等機間等，共同組成一複雜之密閉空間，再由防火門等設施加以隔絕區劃各個空間，是故救援人員應善用隧道救災圖說等資訊，事先標定搜索區域或任務屬性，以期能充分利用有限之作業時間來執行各項救援任務，並確保自身不致迷失於隧道空間之內。
 - (4) 在救援過程中作好隧道結構防護工作，隨時注意週遭環境之變化與各項警報訊息，是執行搶救作業時亦應同步注意的另項課題。此行發現 Uetliberg 公路隧道及 Gotthard Base 地下鐵路隧道在執行爆破工程等高危險性作業前，都會事先廣播警報，讓隧道作業人員有心理準備及其他應變措施。同理，大型搶救現場在執行通風等會危及周遭人員安全等戰術前，也應有充

分之告知動作。

- (5) 每個隧道依其運輸內容特性與環境資源，各有不同設計之防災設施及專屬的應變措施設計，應深入了解其差異性，才能有效訂定適合之作業程序。
- (6) 隧道內避難系統之設計應考量避難弱勢（如老人、兒童或殘障人士）可能遭遇避難狀況。
- (7) 隧道路面坡度與隧道內各排煙口、排水渠道分佈，對人員逃生、排煙對策及危險物品管理皆有重大影響，消防人員在執行搶救任務時應一併納入考量。
- (8) 行控中心是消防人員執行隧道火災救援最為重要的據點之一，它能提供救災組織重要的救災訊息及可做為現場救災資源之整合平台，故執行救災任務前必須先與其取得聯繫，獲取災害初期資訊，以做為搶救佈署之參考。大型災害發生時，更須配置連絡官於此，並配有多種通訊設備，以提供正確之救災訊息及應變措施。
- (9) 行控中心功能雖能快速提供救災等資訊，但平時也應建立隧道相關救災資訊，如甲乙種防護圖等資訊；此行發現行控中心與消防隊執勤室救災車輛上都備有隧道相關救災資訊及作業程序等文件，亦為可取之處。
- (10) 此行藉由前往瑞士幾座新設隧道發現，最大的感受乃是其對於隧道避難系統的用心，這也充分展現了瑞士在隧道工程界中對於人命安全防災設計的重視程度，的確值得學習。
- (12) 隧道開放通車之後如欲進行維修工程，因會造成事故風險大增，如縮編車道、關閉其他防災設施等，確實不能掉以輕心，管理或工程單位應比事先做好施工中防護計畫、並適時通知相關單位知照，以因應事故發生。
- (13) 為因應大型災害的發生，隧道儲備救災用水可能會有用罄之虞，且隧道建造處所多位於高山地區，水源取得不易，故相關單位實有必要事先建妥長距離中繼送水機制以資因應。

二、行控中心部分

本節訓練地點包含 Mels 地區行控中心、Kt.Uri（烏里州）緊急應變中心與 Kt.St.Gallen（聖加侖州）緊急應變中心。

（一）Mels 地區行控中心（如圖 45 至 48）：

本中心負責受理 Mels 地區內各項事故的報案（由警察人員擔任），並配有交通警察及道路維修部門等 18 名工作人員。若遇轄內隧道發生火災事故，則會另行通知地區消防單位派員配合該中心的警察與道路維修人員共同前往處理，其功能類似我國路況監控中心與消防局救災救護指揮中心之結合。此外，當地平日警察與消防單位所使用之無線電頻道並不互通，僅在災害發生時方才切換到同一頻道以共通訊息。



圖 45、行控中心主任介紹作業流程



圖 46、行控中心作業情形



圖 47、行控中心主任向參訪人員授課



圖 48、行控中心主任向參訪人員授課

(二) Kt. Uri (烏里州) 與 Kt. St.Gallen (聖加侖州) 緊急應變中心 (如圖 49 至 56):

本二緊急應變中心的設置目的亦為受理管理區域內發生事故的報案(前者由警察人員擔任, 後者尚有醫護人員加入), 遇有火災事件受理時, 則同步通知當地消防、醫療與直昇機派遣單位前往, 並會要求上開單位適時派員進駐以聯合作戰。

其中 Kt. Uri (烏里州) 緊急應變中心設有消防部門並配有供隧道災害搶救使用之消防車, 可於災害發生時率先派往現場進行處理, 惟若災情擴大或有化災情形發生, 該中心則會考慮向鄰近救災能量較強之 Altdorf 地區消防隊請求支援。另該中心所設消防部門人員每班係以 4 至 6 人之數量來配置, 平時負責執行道路養護或鏟雪等工作(即由工程維修人員兼任消防工作, 類似我國自衛消防編組), 並需固定每 3 天接受 2 個小時的消防救災訓練。

至於 Kt. St.Gallen (聖加侖州) 緊急應變中心雖不像 Kt. Uri (烏里州) 緊急應變中心設有消防部門, 但該中心平時於負責接聽報電話之 6 名值勤人員中, 卻包含有 2 名專責受理救護事件的人員, 整體功能更為貼近我國縣市消防局救災救護指揮中心。



圖 49、Kt. Uri 緊急應變中心入口



圖 50、Kt. Uri 緊急應變中心主任介紹作業流程



圖 51、Kt. Uri 緊急應變中心作業手冊



圖 52、Kt. Uri 緊急應變中心配屬消防人車



圖 53、Kt. St.Gallen 緊急應變中心



圖 54、專責受理救護案件通報值勤員



圖 55、值勤員切斷電話用腳踏板



圖 56、可判別值勤員通話與否標示板

(三) 上開訓練過程心得：

- 1、行控中心除了具有傳統式能即時透過閉路電視掌握隧道內行車狀況之功能外，更應強化資源整合協調平台功能，如可考慮透過最新科技在災害發生時，能與相關協力單位同時於線上展開視訊會議，以期共同擬定對策縮短意見溝通時間。
- 2、此外，行控中心亦應強化用路人自救通報功能，如可將事故訊息強制介入車輛收音機之廣播頻道，使駕駛人能即時得知之強制插播功能（本項我國雪山與八卦山等長公路隧道已有採行）。另行控中心若得知有隧道不幸發生意外事故時，一般最少將立即採取下列必要行動：
 - (1) 通知地區消防隊及相關單位（如警察、醫護人員等）前往處理。
 - (2) 自中心內直接降低隧道內的行車速度顯示看板或封閉車道，藉以協助救災工作進行。
 - (3) 將平日所使用之警用通訊無線電頻道切換至可與消防單位互通之頻道。
- 3、此行所經地區行控中心與 2 處緊急應變中心等門禁均極為森嚴，途中從大門至控制中心內至少經過 3 個門禁管制點，而據 Kt. St.Gallen（聖加侖州）緊急應變中心主任表示，前述保護措施係為避免外界人事對於內部作業可能產生干擾所為，值得我國參考。
- 4、隧道一旦發生災害時，災害現場周邊道路的交管作業非常重要，除需避免讓一般車輛再進隧道外，另外也得維持道路動線至少保持一線暢通，才能讓支援救災車輛得以進入災害現場，故在整體災害應變機制中，交通管制措施的重要性，其實並不亞於消防搶救作為。

三、救災單位（消防隊）部分

本節訓練地點包含Quarten（義消編制，位於Walensee附近，如圖57至63）、St.Gallen（警消編制，如圖64至70）、Bauamt（義消編制，如圖71至79）、Rapperswil-Jona（義消編制，如圖80至88）、Winterthur消防隊（警消編制，如圖89至94）等救災單位，並發現瑞士救災單位都會配置器材保養維護單位，有些更成立訓練中心，一般瑞士只有在大城市（人口數達70,000人以上）才會有警消編職之全職消防隊設置，一些小村莊通常都只有義務消防隊之配置。而對於平日少有人在隊上的義務消防隊而言，遇有事故發生時，則由地區行控中心（如前面介紹的Mels）或州緊急應變中心（如前面介紹的Kt. Uri與Kt. St.Gallen）以傳呼簡訊的方式（類似我國早期使用之B.B.Call）來通知各成員返隊集結。

其次，瑞士消防隊還有個特色，就是特別重視救災單位救災裝具建置工作，而其建經費來源有二，一是在該國特殊的用人制度，大部分救災單位成員都由義務職消防員擔綱的情況下，可有效省人事成本來供建置使用；二是保險業者願意出錢投資，因業者普遍認為這項花費與置之不理所可能引發的事故理賠金額相較，顯然較為經濟。

有關本節各次行程課程訓練心得綜整如下：

- 1、當隧道內意外事故發生引起火災時致使某處溫度上昇至 1200℃時，則其周邊 200~300 公尺範圍內的東西都有可能因輻射熱而被點燃；故如不能在事故發生後的 10~15 分鐘內完成救災工作，之後所面臨的挑戰難度可能會倍增而更為艱困。
- 2、隧道內火災剛開始發展時，所產生的濃煙僅會在隧道內壁頂部下方 2~3 公尺範圍內蓄積，因此初期地面仍為安全逃生空間，但如用路人不能在 5 分鐘內順利逃生，則前述不斷蓄積的濃煙將會開始向地面接近對人員造成生命危害（即事故發生後 5 分鐘為用路人安全自救容許時間）。
- 3、在隧道內火災事故處理過程中，派遣救災車輛進入現場不是越多越好，除因隧道空間有限可能侷限車輛操作範圍外，現場空氣中的氧氣含量是否會隨火勢發展而減少致車輛出現熄火亦是重要考量因素。
- 4、如何避免隧道內部結構因火勢所產生的高溫而被破壞非常重要，因為若不幸發生剝落甚至倒塌時，將會嚴重妨礙後續各項救援行動之進行，故當消防人員在佈設水線對起火車輛進行射水攻擊前，應指派專責人員負責從事如適時對隧道內壁頂部進行射水隧道結構防護之工作。換言之，對於隧道結構之防護應優先於滅火或人命搜救工作。
- 5、歐洲隧道不願裝設灑水滅火設備的原因，多是考某些通行車輛所裝載貨物為禁水性物質，可能會因為啟動灑水而使災情擴大，故而改採通行時段管制來處理這類車輛；此外，裝設灑水滅火設備將使隧道興建與後續維護成本大符提昇也是另一項原因。
- 6、由於瑞士該國境內消防單位編制多由義消組成，以Quarten義務消防隊為例，在全隊58位義消成員中，平日除專職車輛及器材保養之1人會來上工外，餘多於定期訓練時段方會出現在隊上；故為確保災害發生時之人車出動效率（全隊人員會事先以定時輪值方式約定返隊優先梯次，並應於人具返隊後5分鐘內將車輛及所需裝備駛離隊部），各員均配有信息傳呼裝置（類似我國早期使用之呼叫器），並具備能同時接收兩個電信服務公司訊號之功能，可維持傳呼系統穩定性，以順利接收由地區行控中心或州緊急應變中心通報而來的災情狀況與召集通知。
- 7、針對鐵路行經可能人跡罕至致消防力較為薄弱無法即時馳援地區，管理單位會建置消防火車以資因應，該火車特色如下（如圖 95 至 108）：
 - （1）透過鐵軌行駛可較一般車輛具有更高機動性，得以爭取救援契機。
 - （2）於車頭頂端前後分裝有固定式砲塔、車頭前端設置可一人獨立操作之消防水帶（類似我國第二種室內消防栓型式），可於抵達事故現場時，同時利用車頭內所儲水量優先執行滅火工作。
 - （3）車箱中事先備妥空氣呼吸器、水帶、破壞器材、消防衣帽鞋、通訊話機等救災常用裝備，可供隨行管理單位人員或同車消防人員就地取用。
- 8、為因應各類型災害並爭取出動時效，平日可先將救援目的相近之裝備器材同置於模組車台或貨櫃中，俾於出動前能視需要移上消防車來強化戰力。

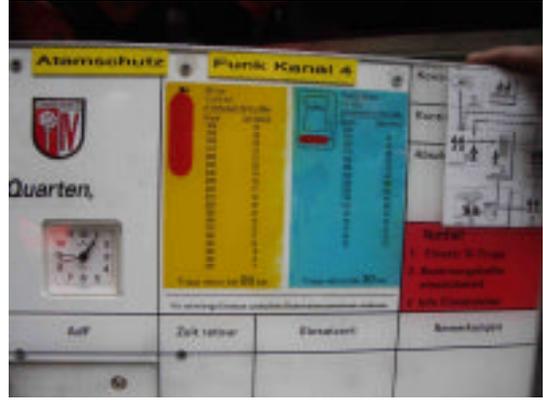


圖 57、圖 58、Quarten 消防隊於隧道救災所使用之空氣呼吸器管制面板



圖 59、用於通知成員撤退的喇叭

圖 60、參訓人員於 Quarten 消防隊訓練



圖 61、通知義消集結之簡訊傳呼器

圖 62、Quarten 隊長為參訓人員授課



圖 63、聆聽 Quarten 消防隊隊長授課

圖 64、St. Gallen 消防隊外觀

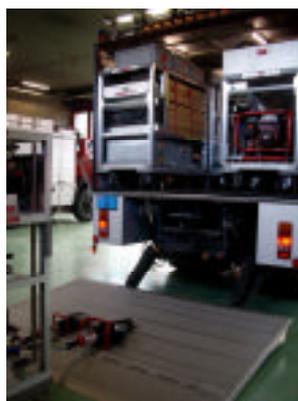


圖 65、圖 66、St. Gallen 消防隊置放救災裝備的模組車台（可快速移上消防車）



圖 67、置於消防車後的水帶鋪設器

圖 68、水帶鋪設器近照



圖 69、St. Gallen 消防隊內水帶清洗機

圖 70、聆聽 St. Gallen 消防隊隊長授課



圖 71、Bauamt 消防隊外觀

圖 72、Bauamt 消防隊使用之高壓水槍



圖 73、高壓水槍槍頭近照



圖 74、Bauamt 消防隊使用之水帶車



圖 75、移動式砲塔拖車



圖 76、搭載模組貨櫃之消防卡車



圖 77、裝有救災裝備器材之模組貨櫃



圖 78、消防人員快速運送車



圖 79、聆聽 Bauamt 消防隊長授課



圖 80、Jona 消防隊外觀



圖 81、Jona 消防隊使用之水帶鋪設車

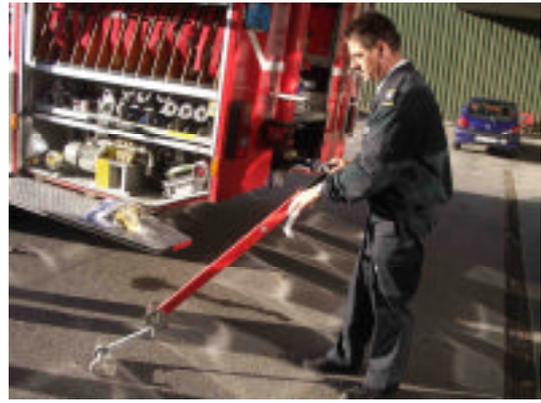


圖 82、個人用水帶捲收器



圖 83、Jona 消防隊長示範水帶捲收器



圖 84、Jona 消防隊室內搜索訓練教室



圖 85、室內搜索訓練教室一角



圖 86、室內搜索訓練教室中控室



圖 87、聆聽 Jona 消防隊長授課



圖 88、與 Jona 消防隊長於該隊前合影



圖 89、聆聽 Winterthur 消防隊副隊長授課



圖 90、供隧道救災使用移動式排煙機



圖 91、圖 92、Winterthur 消防隊救災裝備器材模組化貨櫃與載運卡車



圖 93、不明物質與氣體分析攜行電腦



圖 94、與 Winterthur 消防隊隊長合影



圖 95、消防火車車頭與車箱



圖 96、消防火車車頭固定式砲塔射水



圖 97、消防火車車頭駕駛艙側照



圖 98、消防火車車頭側照



圖 99、車頭前端可一人操做消防水帶



圖 100、消防火車車箱與車尾側照



圖 101、置於車箱下方之救災裝備器材



圖 102、置於車箱內部之空氣呼吸器



圖 103、置於車箱內部之救災裝備器材



圖 104、置於車箱內部之通訊話機



圖 105、置於車箱內部之破壞器材

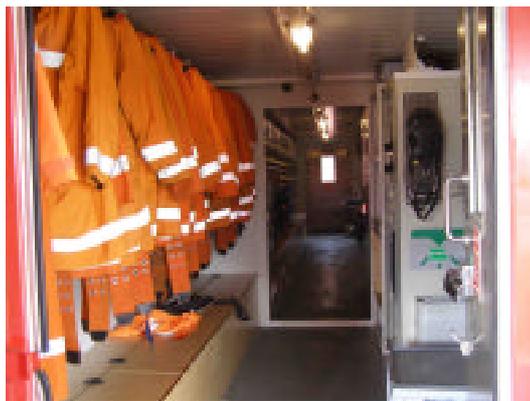


圖 106、置於車箱內部之消防服裝



圖 107、置於車箱內部之消防服裝



圖 108、置於車箱內部之呼吸面罩

四、Siegfried 化災訓練中心部分（如圖 109 至 126）

位於 Zofingen 的 Siegfried 化災訓練中心早期在 Siegfried 化學工廠僅是一個訓練所屬員工的部門，後來才獨立出來並逐漸發展成現今可對外營業之規模。目前該廠內亦設有專屬的消防隊，本節行程主要於該中心教室內接受危險物品處理方式課程講授，並有實地瞭解其戶外各類災害處理模擬訓練場地與 Siegfried 化學工廠內部防災設施，期間過程與心得概述如下：

- （一）目前訓練中心戶外設有火場搶救訓練貨櫃車、傾斜火車救災空間模擬場、化學災害處理醫護訓練場等各項災害處理模擬訓練場地，且上述訓練場地的設計理念，頗值得我國參考。如火車內部傾斜空間的救援空間設計，在參訓人員實際進入體驗後，發現在未經訓練的情況下，其實大腦是有點不太能適應此種空間特性，會有類似暈眩等狀況產生，且在人員行進與救災器材操作上，也有其困難性存在，的確是個不錯的設計方式，暨符合實際救災狀況，在國內高鐵通車之後，更有其設置之必要性，當可提昇消防人員對火車事故處理的熟悉度。另外火災訓練貨櫃車具有高度機動性，也是項不錯的設計，可擴大訓練對象避免學員舟車往返。至於其他像化學災害處理訓練場地，除有考量訓練需求外，其採用可拆式地板設計方式，亦能讓授課人員免除實際使用危險物品來模擬救災現場時，可能會連帶破壞訓練場地之虞。

- (二) 俗話說：「政府力量有限，民間力量無窮」，像此行參訪的 Siegfried 化學工廠雖然只是一個民間事業單位，卻能自己成立化災訓練中心，利用本身化學領域上的經驗，來為外界訓練救災人員。參訓人員皆認為此舉非但對於公司本身形象有所提昇，對於整個國家的化災事故應變能力，亦能有效強化，值得我國構思如何鼓勵民間投入。
- (三) 另在訓練中心的課程結束後，藉由順道前往 Siegfried 化學工廠瞭解其防災設施的過程中，更發現化學災害的處置絕不可掉以輕心，尤其看過化學工廠內部管路密佈與各項鍋爐、化學藥品等設施後，對於事故發生將會引發後續的連鎖效應，實在令人無法想像。其實化學災害首應從預防層面著手，如工廠平時作好自身流程管理與員工自衛消防編組訓練工作，甚至進一步投資設置消防隊，都是不錯的選擇；而萬一災害真的不幸發生時，「對的處理原則永遠比快速救災為佳」，因此救災人員到達化災現場執行各項處置作為前，一定要先弄清楚所處理的物質是什麼，再來針對其特性或是運用緊急應變指南等資訊，查出因應措施，並以人命安全為優先原則，方能順利完成每次任務。



圖 109、Siegfried 化學工廠外觀



圖 110、Siegfried 化災訓練中心教室

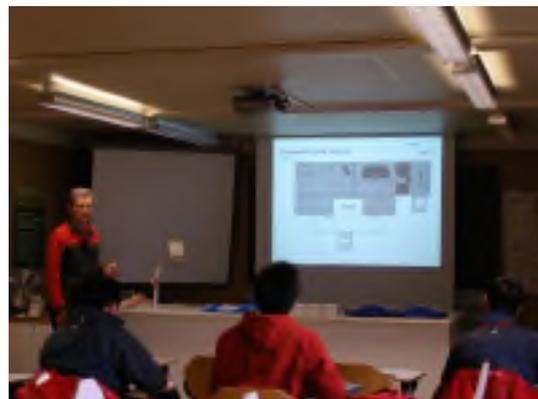


圖 111、圖 112、參訓人員聆聽 Siegfried 化災訓練中心講師聯合授課



圖 113、講師使用教具搭配授課



圖 114、講師帶領瞭解戶外訓練場地



圖 115、圖 116、化災事故處置模擬訓練場



圖 117、場地下挖避免污染物擴散設計



圖 118、模擬火場搜救訓練貨櫃



圖 119、模擬鐵路槽車事故訓練場



圖 120、模擬公路槽車翻覆搶救訓練場



圖 121、採用可拆式地板設計之場地



圖 122、進行化學災害處理醫護訓練



圖 123、傾斜火車救災空間模擬場



圖 124、傾斜火車內部



圖 125、火場搶救訓練貨櫃車



圖 126、化災事故處置兵推台

五、ICST 國際隧道安全中心部分

ICST 國際隧道安全中心於 1970 年創立，位於瑞士國土東北角的 Sargans 地區，並為該國著名 VSH 集團（Versuchs Stollen Hagerbach AG，事業版圖主要為隧道工程）旗下成員之一。本次參訓人員在該中心主任 Mr. S. Seirer 帶領之下，發現該中心整體結構係由許多開挖於山壁之內且錯縱複雜的隧道所共同組成，據統計總長度已逾 5 公里且仍持續增加中。另其間除有 4 條隧道分別設有火車、小客車、大貨車與槽車等可視課程需求實際點火燃燒，俾讓受訓人員得以親身從事滅火或人命搜救工作，成立至今並有超過 10 個國家以上包含消防等各種單位來此接受相關訓練外，該中心亦設有研究隧道開挖技術與測試送驗供隧道使用之防火

門、防火被覆等多項防火設施可用性能之作業部門。

另為增加因應隧道事故處置知能，並考量本署救災定位與日前同來此地訓練之地方消防局有所不同，此行 ICST 國際隧道安全中心亦有特別為參訓人員安排 Mr. Volker Wetzig、Mr.等講師分別教授「隧道風險分析及隧道防護 (Risks for tunnel constructions & Methods to protect tunnels)」，以及「隧道安全概觀 (Safety aspects for intervention and rescue in tunnels)」等專業課程，其重點分別摘述如後。

(一) 有關隧道風險分析及隧道防護方面：

- 1、隧道是人類為了克服翻山越嶺造成往來不便問題所產生，有其生活上不可或缺之必要性，並具備了「快速 (quick transports)」、「機動 (mobility)」、「環保 (environmental aspects)」、「與大眾運輸化 (municipal traffic)」等特性。依瑞士當地統計數據顯示如下：

年份 (西元)	隧道數量 (座)	隧道興建長度 (公里)	隧道平均長度 (公尺)
1999	188	169	890
2015	265	280	1057

由上表中可以發現隧道數量、總建造長度及平均長度皆有與日劇增的趨勢，這也意味著隧道災害事故的發生及其複雜性，亦會隨之而增加，所以搶救人員必須積極地面對此一課題。

- 2、隧道內部基本上是個安全空間，可免除天氣 (風、雨、雪、冰等) 及陽光等因素的干擾，造就一個相對安全的駕駛空間。但在火災或是其他災害發生時，它同時也是一個密閉空間 (closed room)，會產生熱量無法順利排出 (heat can not escape) 與人員進出困難 (restricted escape possibility) 等特性 (避難與搶救方面皆然)。
- 3、隧道內部路面在工程設計上通常都是具有斜度，以便讓污水得以迅速流入排水系統；但此舉也提供了自車輛油箱洩漏出來的汽油一個絕佳的流竄管道，可能會在下水溝裡突然產生氣爆，或者是流到救災人員後方再被引燃，而讓渠等為火焰所包圍身陷險境，所以這種現象在救災佈署時應予納入考量。
- 4、隧道災害發生的成因，據統計一般有兩大因素，分別是「車輛追撞 (rear-end collision)」與「偏差的駕駛行為 (missing sense of responsibility)」。另外隧道安全機制的建立，則由下列各個環節所組成，缺一不可，包含「興建規劃 (infrastructure)」、「管理模式 (operating method)」、「用路人教育宣導 (user)」、「管理及支援單位間良好的互動 (company + organization)」等。
- 5、隧道的防火安全程度，在設計規劃之初，即應考量「救援人員需求 (rescuing persons)」、「救援期間要求的結構強度 (stability of construction during rescue)」、「災害擴大的危害性 (follow up damages)」與「可承受重建等外在成本花費 (external costs)」等因素，來為結構選擇適合的抗火性能曲線 (fire load curve，如圖 127) 以進行後續興建工作。

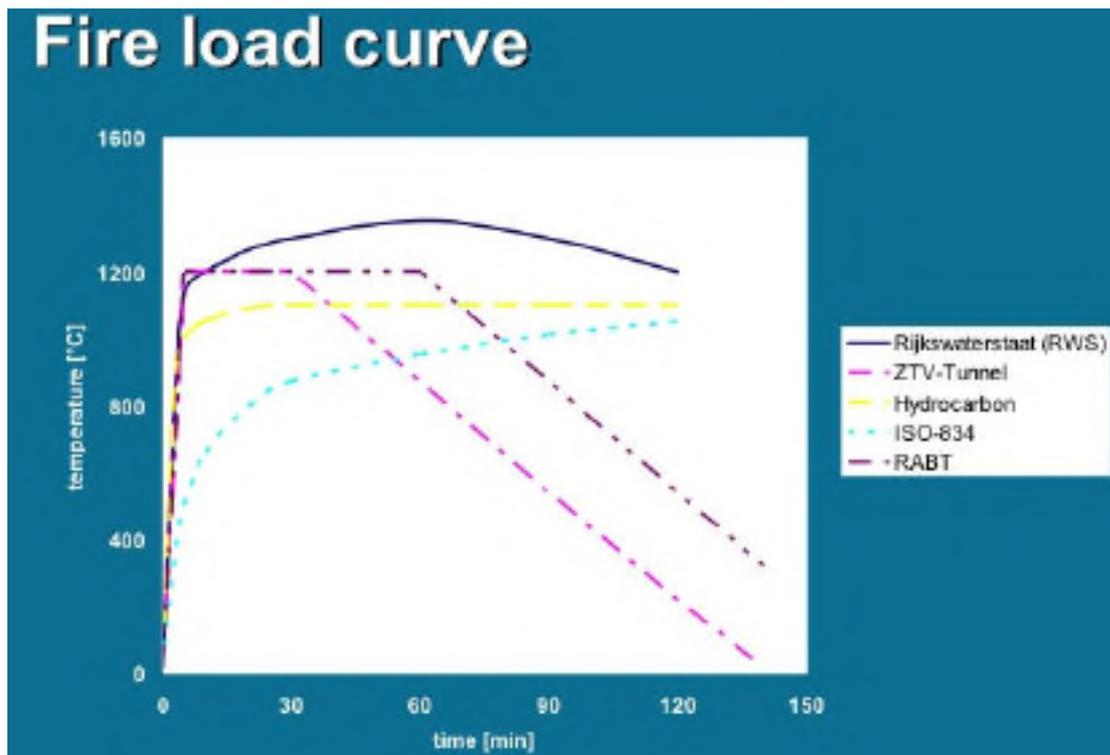


圖 127、防火性能曲線圖（資料來源：ICST）

6、用路人所駕駛車輛若不幸於隧道內著火，其釋熱率因周邊空間近趨密閉，會導致比發生於一般道路開放空間來得大，所以救災人員有必要知道各類車輛的火載量，以便結合隧道結構設計所採用的防火性能曲線，來擬訂出合適的戰術作為。至於各類車輛的火載量一般分析如下：

車種	熱釋率 (百萬瓦)	燃燒時間 (分鐘)
轎車 (motor car)	5 到 10	30 到 60
卡車 (truck)	100	120
槽車 (tank truck)	300	120 到 240
公車 (bus)	40	90 到 120
火車 (train)	300	120 到 240

7、隧道襯壁所敷設的混凝土在火場當中，除了原本隱藏於其內的水分，會因溫度上昇產生物理變化導致體積劇烈膨脹，而使得其結構強度遭致破壞，另外混凝土本身也會因為高溫所伴隨之化學變化，讓龜裂暨剝落的速度增快，對救災人員的人身安全造成威脅。有關化學變化的過程如下：

- (1) 溫度達 350°C 即會陸續因「脫水」(dehydration, $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) 及脫炭 (decarbonisation, $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) 等作用，造成岩石在過程中因而碎裂。
- (2) 溫度達 500°C 會發生「石英化」(transformation of quartz) 現象，而所產生出來的石英物質，其體積在 575°C 即會開始膨脹而擠壓周邊結構造成破壞。

8、隧道內活塞效應引起的風速，會讓著行進中著火車輛所產生的熱量一直被稀釋，因而使得火警探測器可能遲至車輛完全停妥後才查覺到火災發生，但此時往往火勢已經到達難以控制階段。所以在隧道安全設計當中，可以搭配火焰式探測器來爭取事故預警時間，亦或適時反向啓動風機來降低隧道內的風速。

(二) 有關隧道安全概觀方面

1、隧道一般依所在地勢及經費多寡等因素，而會產生「雙孔 (twin bore)」或「單孔 (single bore)」等兩種截然不同的規劃模式，其各自特色為：

(1) 雙孔隧道

甲、兩孔隧道方向通常是彼此並行緊靠的。

乙、通常每孔隧道都是單向行車，只有在進行工程維修時，才會將一孔內的車流導入另一孔，因而在單孔內產生雙向行車的情形。

丙、通常兩孔隧道間會橫向設置緊急逃生門來提供人員避難使用。

丁、在一孔隧道發生事故或火災時，另一孔未被波及的隧道就可以提供用路人逃生，以及救援單位安全趕抵現場使用。

戊、有時雙孔隧道還會為因緊急事件處理所需，而多開挖出第三條坑道（如我國雪山隧道所設的導坑）。

(2) 單孔隧道

甲、隧道內通常是雙向行車並存，萬一要進行工程維修時，則必須靠交通號誌來引導車流，但此時卻會使得車輛追撞事故發生機率大為提昇。

乙、有時為強化單孔隧道的安全性，也會為其另行開挖一條避難（救援）坑道或設立緊急避難室 (emergency shelter)。

2、據統計，大部分隧道內的火災都是起因於車輛機械的故障，而非碰撞。

3、大型隧道火災往往會因為「溫度高」、「煙霧產生率高」、「燃燒時間長」、「逃生與救援可能性低」等因素而難以控制，但確可以藉由「先進且足夠的安全設施」、「安全管理」及「充分的救援準備」等方式來降低其發生機率與可能造成的損傷。

4、設於隧道路面下方的排水管道對於救災工作影響甚鉅，因為在具有大量油品等可燃性液體外洩的火場中，如果能確保其內擁有足夠的水量保持流動，就可以降低現場發生氣爆的可能性。根據瑞士 Alp Transit 研究計畫顯示，在直徑 30 公分、流量每秒 5 公升的環境下，就算真的發生也只有約 1bar 的爆炸壓力。因此，在救災人員到達具有可燃性液體外洩的救災現場時，應優先考慮讓地下排水管道保持穩定的水流，必要時可延伸水帶送水來完成。但若排水系統被堵塞，其反而會成為可燃性液體流竄蓄積的管道，讓燃燒區域擴大，甚至讓救災人員腹背受敵為火海所包圍。

5、為提昇長隧道安全效能，除了預先規劃妥善的逃生路徑、警報設施、通風系統，以及前述的排水管道外，還有下列措施值得採行：

(1) 使用移動式灑水頭 (mobile sprinklers) 或像 LUF60 (如圖 128) 一般的移

動式通風滅火機。

- (2) 成立可快速抵達隧道展開應變作為的作戰單位(如管理單位之自衛消防編組或洞口消防隊)。
 - (3) 透過各類媒體持續對用路人宣導隧道使用方式與緊急作業程序。
 - (4) 訂定行車速限，對於交通尖峰時段或重型貨車甚至可以限速低至每小時 60 公里。
 - (5) 要求於隧道內行駛的重型貨車不得超載。
 - (6) 要求隧道內行車保持 150 公尺的間距(尤其是重型貨車)，在瑞士某些特殊隧道或路段甚至為此而另設明顯標識以資辨別。
 - (7) 規劃並落實路邊管制作為(road side control)，對象包含重型貨車、危險物品載運車輛、行車間距與行車速限。
 - (8) 於隧道內外為救援單位提供專用的有線電話線路。
- 6、隧道內部發生事故引起火災所產生出來濃煙的行進方向，因初期會受用路人駕駛車流活塞效應影響，後期受隧道風機影響，所以隧道內部排煙對策應考量通風系統型式、行車方向、人員避難及兩隧道洞口氣壓差異等因素。而排煙設備的運作方式，初期是由電腦依設定模式進行，後期則可視整體救援戰術適時調整為手動控制。
- 7、當隧道內部襯壁表面溫度受火煙薰烤達到 150 至 200°C 時，就會使水泥開始破裂，經由下列幾個程序，將導致原先工程上對整體結構所作的強化，會隨溫度的升高而轉為脆弱，增加消防滅火行動的風險，甚至最導致崩塌。：
- (1) 溫度逐漸升高，水泥內部結構、以及水泥與強化鋼樑間隙開始擴大。
 - (2) 水泥開始釋出結構內部的水氣。
- 8、然而，為避免隧道結構因火場高溫遭受破壞，救援人員進入現場時，亦不能未經判斷驟然對其直線射水，此舉易使溫度升高的水泥結構急速冷卻而剝落，故救援人員在滅火過程中，即應安排人員預先對可能遭受火煙侵襲區域，適時以水霧進行防護。



圖 128、於隧道救災中使用 LUF60（資料來源：ICST）

陸、結論與建議

臺灣地區地勢多山，隧道為交通建設中不可或缺的一項設施，能大幅縮短民眾南來北往的通勤時間，並帶動地區產業發展與經濟活動。但也由於隧道內部近趨密閉的空間特性，致使其內部一旦發生意外事故，處理起來的難度將遠較同樣發生在開放路面的事件更高。此行有幸奉派前往與我國環境相當的瑞士，去學習該國為因應隧道事故救援所做的相關努力，對於返國後相關工作的推動實是助益良多，參訓人員除依規定撰寫本份出國報告外，後續亦將扮演火車頭的角色，主動為地方消防機關規劃相關訓練，以期強化消防人員針對隧道事故之處理能力。

其次，瑞士國鐵局基於自身財產與旅客安全維護，針對鐵路行經可能人跡罕至致消防力較為薄弱無法即時馳援地區所設置的消防火車，對照臺灣消防單位設置密度遠較瑞士為高，亦可配合空中勤務總隊直昇機來共同建置起完善的立體救災機制，現階段國內應不致於會發生前述瑞士國鐵局所擔心的救災窘境，惟考量消防火車對於鐵路事故處理確擁有較高之機動性，並已能具備基本滅火能力等因素，未來若在經費許可情況下，或可引進國內作為長期建置的目標。此外，此行所見 Gotthard Base 地下鐵路隧道雖因迄今尚未完工致未能一窺全貌，惟因其為世上最長之隧道，瑞士當局為因應通車所需，日後勢必會有更為明確且特殊之救災規劃，當地亦值得做為未來出國學習對象的選項之一。