

## 公路隧道安全與管理之國際近況

曾平毅 Pin-Yi Tseng<sup>1</sup>  
林豐博 Feng-Bor Lin<sup>2</sup>  
張瓊文 Chiung-Wen Chang<sup>3</sup>

### 摘要

本文主要探討近年來國際上對於公路隧道安全及隧道管理的經驗。研究結果發現，歐盟於 2004 年發佈一指令，規定在歐洲跨國公路網上長度等於或超過 500 公尺之隧道須符合之最低安全標準；此指令除了劃分管理隧道之權責外，也訂定隧道作業之程序（例如每 6 年須提出一安全報告），並規定隧道作業之安全措施須符合歐盟之要求及個別國家的標準。美國 AASHTO 則在 2010 年將一 2004 年用於規劃、設計、施工及養護隧道的手冊加以更新，並決定進一步編訂有關隧道安全的規範；此外，FHWA 亦建議立法以強制執行隧道安全檢查。此外，聯合國及許多民間團體及個別國家曾陸續提供規範、標準或法令，以保障隧道行車安全。這些國際上對於公路隧道之最新經驗，可以提供高速公路管理單位之參考。

**關鍵字：**公路隧道、隧道安全、隧道管理、交通管制

### 一、前言

臺灣的公路經過山區時常須設置隧道以利交通。在臺北與宜蘭之間的國道 5 號公路更特殊，有一連串長的隧道；在國道 3 號的北部路段也有一連串的公路隧道。隧道之建設、養護及交通管理系統相當昂貴。如何從規劃、設計及交通控制來讓車流能安全而且高效率的通過隧道，是世界各國交通界所關切之議題。目前 2011 年臺灣地區公路容量手冊沒有隧道交通作業特性的資料可參考，故交通部運輸研究所正進行國道 3 號及 5 號交通作業特性之研究，撰寫一新章「公路隧道」（交通部運輸研究所，2011a），希望有助於國內將來公路隧道之規劃、設計及作業分析。而臺灣地區陸續開闢且使用雪山隧道、八卦山、玉長隧道等長隧道之後，迫切地面臨如何管理長隧道的通行問題，尤其是危險物品的管制運送及重車之行駛管理議題。於此之際，本文主要回顧與整理國際上對於公路隧道安全及隧道管理的經驗，這些國際上對於公路隧道之最新經驗，可以提供高速公路管理單位之參考。

<sup>1</sup> 中央警察大學交通系教授兼系主任（聯絡地址：桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號，電話：03-3281991，E-mail: una139@mail.cpu.edu.tw）。

<sup>2</sup> 美國 Clarkson 大學土木與環境工程學系教授。

<sup>3</sup> 交通部運輸研究所運輸計畫組簡任研究員兼副組長。

## 二、歐盟對於公路隧道安全的作法

美國的聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA) 在訂定隧道檢查標準(FHWA, 2010)時，決定不用長度對隧道下定義，其檢查標準指出，「隧道」為在設計時，須特別考量照明、通風、防火系統及緊急疏散之需要的結構體。公路隧道最受關切的作業是行車安全，因此有關隧道的文獻偏重設計及相關安全之考量。有關隧道內車流特性的資料則非常缺乏。

歐洲國家則將隧道定義為長度最少 100 公尺，而且是除了兩端外皆為封閉的結構體(FHWA, 2006)。這些國家對長隧道沒有下定義，但一般隧道大約有 5 公里長方屬長隧道。美國 National Fire Protection Association (NFPA) Standard 502 (NFPA, 2011)將公路隧道定義為車輛僅能從兩端進出之封閉式公路。

公路隧道的肇事率常低於隧道外之路段(FHWA, 2006; Lemke, 2000; Sala, 2003)，例如挪威(Norway)隧道內每百萬公里之肇事率有 0.13 件，隧道外之肇事率達 0.30 件(FHWA, 2006)。但是一有車禍，其後果可能相當嚴重。1982 年 4 月 7 日，美國加州 24 號公路上之 Caldecott 隧道 (900 公尺長)，因一酒醉司機碰撞緣石引起一載運油料之大貨車起火，造成 7 人死亡；1999 年 3 月 24 日，在義大利及法國之間的 Mont Blanc 隧道 (11.6 公里長)，一滿載麵粉及人造奶油之大貨車起火，造成 39 人死亡，並使該隧道封閉 3 年。同年 5 月 29 日奧地利 Tauern (6 公里長) 隧道之車禍造成 12 人死亡 50 人受傷，隧道封閉 3 個月。隨後在 2001 年 10 月 20 日，瑞士之 Saint Gotthard 隧道 (16.4 公里長)，兩貨車正面相撞，造成 11 人死亡，隧道封閉 2 個月(交通部運輸研究所, 2011b)。這一連串重大車禍加強了世界各為對隧道安全之重視。

為了改善隧道之行車安全，歐盟(EU)在 2001 年起展開一連串的大型計畫(Khoury, 2003)。這些計畫的名稱及主要目的如下：

### 1. Fire in Tunnels

蒐集資料，建立資料庫，建立選擇設計火(Design Fire)之標準，制訂防火設計之規範，訂定火災處理(fire response management)之最佳程序。

### 2. Durable and Reliable Tunnel Structures

建立選擇經濟效益最佳之隧道型態及施工方法。

### 3. Safe Tunnel (Innovative Systems and Frameworks for Enhancing of Traffic Safety in Road Tunnels)

訂定防災措施以減少事故，訂定控制隧道內車速的策略。

### 4. Safety Improvement in Road and Rail Tunnels Using Advanced Information Technology

發展創造性(innovative)方法以：(1)減少衝突及緊急事件，(2)協助隧道之管理，(3)整合隧道及公路路網之運作，及(4)改善偵測及監視系統。

### 5. Virtual Fire (Virtual Real-Time Emergency Simulator)

發展使用電腦產生之虛擬環境(virtual environment)的模擬器(simulator)進行訓練。

## 6. Upgrading Existing Tunnels

發展經濟效益高、永續性(sustainable)及創造性(innovative)之方法，以改善現存隧道之消防安全(fire safety)。

## 7. Safety in Tunnel

從管理(management)及跨國界(cross-border)立場，統一各國適用之規範(guidelines)。

歐盟之 European Commission 並於 2004 年發佈一指令(directive)，規定在歐洲跨國公路網上長度等於或超過 500 公尺之隧道須符合之最低安全標準(European Commission, 2004)。此指令除了劃分管理隧道之權責外，也訂定隧道作業之程序(例如每 6 年須提出一安全報告)，並規定隧道作業之安全措施須符合 European Commission 之要求，及個別國家的標準。這些需求涉及設施(infrastructure)、作業(operation)、隧道車輛，以及隧道使用者之資訊(user information)。

### 三、美國對於公路隧道安全的作法

美國之 FHWA 在 2004 年時編訂了公路隧道設計規範(FHWA, 2004)。美國民間之 NFPA 也陸續更新其有關隧道及其他車輛進出受限制之公路設施之設計標準(NFPA, 2011)。但一般而言，美國仍缺乏隧道設計、施工、安全檢查、事故處理、養護及安全之規範、標準或規格。因此，從 2005 年起，美國 FHWA、州立交通部、及數個其他機構，包括國家聯合公路研究計畫(National Cooperative Highway Research Program, NCHRP)，開始組織考察團，在國內外探討有關隧道之設計及作業(FHWA, 2001; 2006; NCHRP, 2011)。其目的在發掘可採用之作法。國外考察團之主要建議如下：

- 1.發展一通用(universal)、一致性(consistent)而且高效率的標誌，以標明逃生路線。
- 2.要求美國州公路及運輸協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)發展設計、規劃、建造及養護之標準。
- 3.推動研究並發展隧道緊急事件之處理(emergency management)系統(包括人為因素)。
- 4.推動隧道使用者應對事件行為之教育。
- 5.評估自動事件偵測系統及智慧型影像(video)之效益。
- 6.採用風險管理(risk management)之方法作為安全檢查及養護之依據。

美國 AASHTO 在 2010 年將一於 2004 年用於規劃、設計、施工及養護隧道的手冊(FHWA, 2004)加以更新(AASHTO, 2010)，並決定進一步編訂有關隧道安全的規範。此外，FHWA(2010)亦建議立法以強制執行隧道安全檢查。

## 四、各國隧道安全的規範

除了上述針對公路隧道安全所推動之工作之外，聯合國及許多民間團體及個別國家曾陸續提供規範、標準或法令，以保障隧道行車安全(NCHRP, 2008)。表 1 及表 2 分別列舉數國家及非國家機構所制訂之規範、標準或法令。另一方面，工程界及負責管理隧道之機構，對隧道設施（如火災偵測系統）的效益、火勢特性、隧道使用者對隧道設計所產生的駕駛行為、及在緊急事件時隧道使用者之反應等項的了解，仍很缺乏。因此，有關隧道作業之研究仍陸續展開。

表 1 個別國家有關隧道之法規、標準或規範

<b>澳洲 Australia</b> (Australasian Fire Authorities Council) <i>Fire Safety Guidelines for Road Tunnels, 2001</i>
<b>奧地利 Austria</b> <i>Design Guidelines Tunnel Ventilation, RVS 9261:9262, 1997</i>
<b>法國 France</b> <i>Inter-Ministry Circular No. 2000-63—Safety in the Tunnels of the National Highways Network, Ministry of the Establishment, Transport and Housing, France, 2000</i>
<b>德國 Germany</b> <i>Forschungsgesellschaft für Strassenand Verkehrswesen, Richtlinien fuer Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln (RABT), Germany, 2006</i>
<b>日本 Japan</b> <i>National Safety Standard of Emergency Facilities on Road Tunnel, Japan Road Association, Japan, 2001</i>
<b>荷蘭 Netherlands</b> <i>Recommendations Ventilation of Road Tunnels, RWS Bouwdienst, Steunpunt Tunnelveiligheid, 2005</i>
<b>挪威 Norway</b> <i>Norwegian Design Guide—Road Tunnels, Public Roads Administration, Norway, 1990</i>
<b>北歐國家 Nordic Countries</b> <i>Ventilation of Road Tunnels, Sub-Committee 61, Nordisk Vejteknisk Forbund (NVF), Report No. 6, 1993</i>
<b>瑞典 Sweden</b> <i>Tunnel 2004—General Technical Specification for new tunnels and upgrading of old tunnels, Swedish National Road Administration, Pub. 2004,124, Sweden 2004</i>
<b>瑞士 Switzerland</b> <i>Ventilation for Road Tunnels, Swiss Federal Roads Authority (FEDRO),</i>
<b>英國 United Kingdom</b> <i>Design Manual for Roads and Bridges, Part 9, BD 78/99, Design of Road Tunnels, 1999</i>

表 1 個別國家有關隧道之法規、標準或規範 (續)

<p><b>美國 United States</b>  <i>Road Tunnel Design Guidelines</i> Federal Highway Administration,                  FHWA-IF-05-023, 2004.</p>
---

資料來源：NCHRP (2008)。

表 2 聯合國及民間團體制訂之標準或規範

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. United Nations Economic and Social Council, Inland Transportation Division, <i>“Recommendations of the Group of Experts on Safety and Road Tunnels,”</i> Final Report, 2001.</li> <li>2. European Union Commission, <i>“Minimum Safety Requirements for Tunnel in the Trans-European Road Network,”</i> Directive 2004/54/EC, 2004.</li> <li>3. PIARC (Permanent International Association of Road Congress, or the World Road Association) Technical Committee on Road Tunnel, <i>“Fire and Smoke Control in Road Tunnels,”</i> 1999.</li> <li>4. National Fire Protection Association, <i>“NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highway,”</i> 2011.</li> <li>5. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.), <i>“HVAC Applications Handbook, Chapter 13- Enclosed Vehicular Facilities,”</i> 2007.</li> <li>6. International Tunnel Association, <i>“Guidelines for Structural Fire Resistance for Road Tunnels,”</i> 2004.</li> </ol>
---

資料來源：NCHRP (2008)。

例如因工程界對偵測火災之系統 (fire detection system) 的功能缺乏了解，加拿大之 National Research Council 及美國 Fire Protection Research Foundation 在 2003 年時組織了一國際性的測試研究工作 (Liu, *et al.*, 2010a; 2010b; 2010c)，以探討五種偵測器系統之功能。其測試對象包括在歐洲常用之線性熱偵測器 (linear heat detector)、日本用的火焰偵測器 (flame detector)、CCTV 影像偵測器 (image processing detector)、煙偵測器 (smoke detector) 及定點偵測器 (spot detector)。測試結果 (Kashef, 2008) 顯示偵測器的效果受引起火災之燃料種類 (fuel type)、火焰大小、火勢成長率及偵測方法等因素的影響。挪威之 the Norwegian Fire Research Laboratory 是全世界在近似實況火災測試 (full-scale fire tests) 最先進的機構。此機構曾實驗過溫度高達 1400°C 之 40 megawatts 火災 (FHWA, 2006)。

除了火災試驗外，有些研究探討隧道牆壁 (tunnel wall) 之型式及材料的構造 (texture) 對駕駛行為之影響 (Manser and Hancock, 2007)。歐洲國家亦常用駕駛模擬器 (driving simulator) 探討隧道使用者在緊急事件時之可能行為 (FHWA, 2006; Amundsen, 1994)。另一些研究則探討人為因素 (Yousif, and Al-Obaedi, 2010; Thamm, 2002)。

## 五、通行車輛與物品之管理

在隧道管理方面，管理機構常對進入隧道之車輛及物品加以管制。歐洲的跨國隧道常是經濟大動脈，因此很難完全禁止大型車輛或危險物品通過隧道。因此歐洲國家常用風險管理的觀念及方法，來決定是否讓某種車輛或物品通過某隧道(FHWA, 2006)。例如法國採用 OECD (Organization for Economic Cooperation Risk Development)及世界道路協會(World Road Association)所發展之數量化風險評估(Quantitative Risk Assessment)模式。此模式應用之第一步驟是估計因危險物品通過隧道所造成之年平均死亡率。如果死亡率在 1~3 人以下，則危險物品不算是重要的風險(risk factor)。在這種情況下，危險物品應可使用那一條路線可根據其他因素來考量。

隧道管理機構通常限制隧道內之速率。速限可分為上限、下限及可變速限。最高速限隨隧道之設計及隧道所在地點土地使用及交通狀況而變。設置下限的一目的是減少慢車阻擋車流，造成壅塞之可能。另一目的是減少因速率相差太大而產生事故的可能性。一般最高及最低速限之差距在 20~30 公里/小時之範圍。可變速限也是為了減低塞車及事故嚴重性而設定。表 3 顯示幾個隧道之速率限制。

表 3 隧道速率限制之樣本

隧道 (位置, 國家)	長度 (公里)	速限 (公里/小時)		
		最高	最低	可變
白朗峰 Mont Blanc (法國—義大利)	11.6	70	50	—
伯恩利 Burnley (墨爾本, 澳洲)	3.4	80	—	60 (尖峰)
卡拉漢 Callahan (波士頓, 美國)	1.54	56	—	—
特得威廉 Ted William (波士頓, 美國)	2.6	64	32	—
麥克亨利堡 Fort McHenry (巴爾的摩, 美國)	2.2	小車 80 貨車 60	—	—
卡林 Carlin (內華達, 美國)	0.48	120	—	—
哈伯 Habor (雪梨, 澳洲)	2.3	72	—	—
雪山 (臺灣)	12.9	90	60	—

除了速限之外，多數的隧道禁止變換車道及超車，同時亦對車輛尺寸加以限制，以避免車輛撞上隧道之結構或設施。有些隧道限制大貨車之流量，例如在瑞士的 Saint Gotthard 隧道發生嚴重車禍後，瑞士聯邦公路局(Swiss Federal Bureau of Roads)規定在幾個隧道內大貨車必須保持 150 公尺之距離，

並且在雙向行車之隧道採取大貨車輪流單向行車，每小時之大貨車流量限於 240 輛。這些措施預期可加強行車安全，但每天能通過 Saint Gotthard 隧道之大貨車從 5,000 輛減少到 3,500 輛(CNN, 2010)，造成嚴重延滯。

國道 5 號主要聯絡臺北及宜蘭，目前臺灣最長的公路隧道即為國道 5 號上的雪山隧道。雪山隧道自從 2006 年通車之後，一直未允許大貨車通行。此隧道也有最小行車間距之規定。根據國道高速公路局之規定，車輛在正常情況下必須保持 50 公尺以上之行車距離；如因道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致速率低於每小時 20 公里/小時或停止時，仍應保持 20 公尺以上之距離。最近一有關雪山隧道之研究（張瓊文等人，2010）發現雪山隧道內之跟車距離比鄰近之彭山隧道內之跟車距離長很多，但差距逐年縮小而且已有成穩定狀況之趨勢。

在車流量不大的路段上，最小行車間距的規定可改善行車安全。但是在流量大的公路上這種規定很容易顯著地降低公路容量，因而造成嚴重壅塞。例如美國 Washington 州交通部(State Department of Transportation)及 Washington 州警(State Patrol)在 2006 年合辦一計畫以期改善該州第 5 號公路上一長 3.2 公里路段之行車安全。該計畫之策略是在所選擇的公路上每隔 49 公尺畫一白點，並用標誌要求駕駛員保持最少 2 白點的距離。但這種間距規定違反正常行車行為，因而導致嚴重塞車。結果本來預定執行一年的計畫，在 8 月實施一天之後就被迫終止(Washington State Department of Transportation, 2006)。

從交通管理之觀點，美國阿拉斯加(Alaska)州之 Anton Anderson Memorial Tunnel 很特殊(Alaska State Department of Transportation, 2010)，此隧道只有一車道，而且火車及汽車共用，因此火車及汽車輪流通過該隧道。此外，進入隧道之前車輛必須先在一地區分類，然後依車種分類輪流進入隧道。小車進入隧道之車距控制在大約 2.5 秒，大貨車之行車距離則大約 4.5 秒。

目前有限的資料顯示，公路隧道的容量有相當大的差異性。例如一早期的研究(Levinson, et al., 1985)估計在 Boston 海港底下之 Callahan 隧道的容量可達 1,650 輛/小時/車道。此隧道與市區道路連接，而且原來在隧道的一端有收費站。在收費站未廢除之前，隧道的容量只有 1,500 輛/小時/車道左右。相對而言，美國加州之 Caldecott 隧道(900 公尺)容量達 2,200 小車/小時/車道(Chin and May, 1991)。根據統計資料(New York Metropolitan Transportation Council, 2008)，進入美國紐約市之 Queen Mitown 隧道(1,955 公尺長)的尖峰小時流率達 2,058 輛/小時/車道。換言之，其容量超過 2,000 輛/小時/車道。日本公路隧道容量常在 1,100~1,350 輛/小時/車道(Koshi, et al., 1992)之範圍，但其幾何設計及隧道附近土地使用及道路設置之狀況不詳。韓國公路容量手冊(Korea Ministry of Construction, 1992)將高速公路在狀況良好情況之容量訂為 2,200 小車/小時/車道。根據此一基本容量及隧道的橫向淨距，韓國 Shingal-Ansan 高速公路上之隧道容量估計值為  $2,200 \times 0.98 = 2,156$  小車/小時/車道。實際的容量則不詳。

臺灣國道 5 號高速公路有 3 個長度最少 2.7 公里之隧道。其中雪山隧道長達 12.9 公里。每一隧道單向各有一孔道，每孔道及隧道外之公路主線皆有

雙車道。這些隧道皆在頭城交流道北上路段，其速限在民國 96 年 10 月之前為 70 公里/小時。但雪山隧道之外的隧道不受最小行車間距之限制。民國 96 年 10 月起，雪山隧道除外，在頭城交流道以北之國道 5 號路段的速限提高為 80 公里/小時。民國 96 年 11 月起，雪山隧道開放大客車通行。民國 97 年 3 月及 99 年 11 月，雪山隧道的速限又兩度從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時及 90 公里/小時。目前國道 5 號上隧道中只有雪山隧道曾被仔細的分析過(張瓊文等人，2010；林豐博與蘇振維，2009)。在民國 96 年 9 月及 10 月，速限為 70 公里/小時之期間，雪山隧道南北向在隧道中點附近的容量各約 2,250 及 1,850 小車/小時(林豐博與蘇振維，2009)。這些容量比鄰近的彭山隧道(長約 4 公里)約低 600 小車/小時(林豐博與蘇振維，2009)。在民國 97 年 6 月，速限為 80 公里/小時而且大客車已通行之期間，南北向之容量各稍微增高到 2,300 及 2,250 小車/小時(張瓊文等人，2010)。

國道 5 號公路在隧道內外有很多車輛偵測器不斷地蒐集速率、流量及佔有率等車流資料。這些資料應用來評估上述速限之演變及行車間距之規定對隧道容量及其他車流特性的影響。評估結果不僅可用來建立分析隧道容量及服務水準的方法，亦可用來建立改善隧道交通作業之策略。臺灣公路容量手冊(交通部運輸研究所，2001；2011)及美國 Transportation Research Board 的公路容量手冊(Transportation Research Board, 2010)皆沒有分析隧道容量及服務水準之方法可參考。

## 六、結語

基於運輸之需要，公路隧道之開闢與使用有其必要性。有鑑於近年來公路長隧道之重大災害、交通事故，國際上已陸續針對公路長隧道之設計規範與防救災設施與設備，重新檢視且訂定新的規章或命令。本文回顧與整理了一最近的歐盟及美國 AASHTO、FHWA 的作法，而聯合國及許多民間團體及個別國家亦陸續提供規範、標準或法令。這些國際上對於公路隧道之最新經驗，可以提供高速公路管理單位之參考。

為維護公路隧道之通行安全，世界各國多認為對於隧道通行車輛進行管制有其必要性，且主要管制的項目包括通行車種、裝載物品、通行時間、行駛規則(如最高速限、行車安全距離)等。然而，公路隧道之設計及交通管制會對隧道容量及運輸功能有所影響。若交通機構僅以行車安全為優先考量，欠缺對公路隧道內之車流特性進一步研究，則各種管制措施可能限制了公路隧道之運輸功能。目前臺灣地區長公路隧道已陸續設置自動蒐集車流特性資料之系統，但平時僅用於路況報導、展示、隧道廣播或匝道儀控，尚未妥善用於細緻的交通管制。建議為來進一步詳加分析隧道中、隧道群之車流特性、容量及如何有效的改善隧道交通作業。

## 參考文獻

交通部運輸研究所(2001)，2001 年臺灣地區公路容量手冊，90-16-1183。



- 交通部運輸研究所(2011)，2011年臺灣地區公路容量手冊，100-132-1299。
- 交通部運輸研究所(2011a)，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(1/3)。
- 交通部運輸研究所(2011b)，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(2/3) (期末報告初稿)。
- 林豐博、蘇振維(2009)，「國道5號雪山隧道車流特性之研究」，*運輸計劃季刊*，第38卷第1期，頁85-120。
- 張瓊文、林豐博、曾平毅(2010)，「雪山隧道內車流特性與容量之分析」，*中國土木水利工程學刊*，第22卷第3期，頁141-148。
- AASHTO (2010), *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements*.
- Alaska State Department of Transportation (2010), Anton Anderson Memorial Tunnel, Retrieved December 26, 2010, website: [www.dot.state.ak.us](http://www.dot.state.ak.us).
- Amundsen, F. H. (1994), “Studies of Driver Behavior in Norwegian Road Tunnels,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 9, Issue 1, pp. 9-15.
- Chin, H. C. and May, A. D. (1991), “Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1320, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.75-82.
- CNN (2010), Gotthard Tunnel Reopens, Dec. 21, 2001, Retrieved December 26, 2010, website: [Articles.cnn.com](http://Articles.cnn.com).
- European Commission (2004), Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network, *Official Journal of the European Union* L 201/56 of 7 June, 2004.
- FHWA (2001), *European Road Lighting Technologies*, FHWA-PL-01-034, USDOT, International Technology Exchange Program.
- FHWA (2004), *FHWA Road Tunnel Design Guidelines*, FHWA-IF-05-023, USDOT, Washington, D.C.
- FHWA (2006), *Underground Transportation Systems in Europe: Safety Operations and Emergency Response*, FHWA-PL-06-016, USDOT, Washington, D.C.
- FHWA (2010), *National Tunnel Inspection Standards*, USDOT, Washington, D.C., Retrieved July 22, 2010, website: <http://www.federalregister.gov>
- Kashef, A., Liu, Z. G., Lougheed, G., Crampton, K., Yoon, G., Hadjisphocleous, and Almand, K. H. (2008), “Findings of the International Road Tunnel Fire Detection,” *Fire Technology*, Vol. 45, No. 2, pp. 221-237.
- Khoury, G. A. (2003), “EU Tunnel Fire Safety Action,” *Tunnels and Tunnelling International*, pp.20-23.

- Korea Ministry of Construction (1992), *Highway Capacity Manual*.
- Koshi, M., Kuwarara, M., and Acahane, M. (1992), "Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways," *ITE Journal*, Vol. 62, No.5, pp.17-22.
- Lemke, K. (2000), "Road Safety in Tunnels," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1740, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 170-174.
- Levinson, H. S., Golenberg, M., and Howard, J. (1985), "Callahan Tunnel Capacity Management," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1956, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1-10.
- Liu, Z. G., Kashef, A., Lougheed, G., and Crampton, G. P. (2010c), "Investigation on the Performance of Fire Detection Systems for Tunnel Applications - Part 2: Full-Scale Experiments under Longitudinal Airflow Conditions," *Fire Technology*, Vol. 47, No. 1, pp. 191-220.
- Liu, Z. G., Kashef, A., Lougheed, G., Su, J. Z., Benichou, N., and Almand, R. H. (2010a), "An Overview of the International Road Tunnel Fire Detection Research Project," Retrieved December 26, 2010, website: [www.nfpa.org/assets/files/PDF/Proceedings](http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/Proceedings).
- Liu, Z. G., Kashef, A., Lougheed, G., and Crampton, G. P. (2010b), "Investigation on the Performance of Fire Detection Systems for Tunnel Applications - Part 1: Full-Scale Experiments at a Laboratory Tunnel," *Fire Technology*, Vol. 47, No. 1, pp. 164-189.
- Manser, M. P. and Hancock, P. A. (2007), "The Influence of Perceptual Speed Regulation on Speed Perception, Choice and Control: Tunnel Wall Characteristics and Influence," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, No. 1, pp. 69-78.
- NCHRP (2008), "Regulations, Standards and Guidelines," *Workshop on Safety and Security in Roadway Tunnels*, NCHRP 20-7 Task 230, Irvine, California, Nov. 28-29.
- NCHRP (2011), *Best Practices for Roadway Tunnel Design, Construction, Maintenance, Inspection and Operations*, NCHRP20-68A, Scan 09-05, U.S. Domestic Scan Program (Completion date: 12/26/2011).
- New York Metropolitan Transportation Council (2008), *Hub Bound Travel Report*.
- NFPA (2011), *NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highway*, Quincy, Massachusetts.
- Sala, G., Brignolo, R., Carrubba, E., Jallasse, U., and Shinar, D. (2003), "Improvement of Accident Prevention in Road Tunnel through Intelligent Infrastructures and Intelligent Vehicles Operation," *Proceedings of Intelligent Transportation Systems*.
- Thamm, B. (2002), "Human Factors of Road Tunnel Safety," *Roads*, World Road Association – PIARC, Vol. 315, No. 314, pp.43-53.
- Transportation Research Board (2010), *HCM2010 Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.

Washington State Department of Transportation (2006), News Archives, "State Re-evaluate Safety Campaign," Access May 2008, <http://www.wsdot.wa.gov/news>.

Yousif, S. and Al-Obaedi, J. (2010), "Close Following Behavior: Testing Visual Angle Car Following Model Using Various Sets of Data," *Transportation Research F: Traffic Psychology and Behavior*, Dec.

