

建立國道高速公路隧道事故調整因子之研究

吳宗修¹
許書銘²

摘 要

有別一般開放式道路，隧道獨特且封閉的環境對於事故頻次的影響尚未經實證研究或具有共識的模式。國內有關隧道路段研究多以整體路段使用類別變數區分隧道進行分析，少有專門針對隧道進行的研究；本研究針對國道高速公路隧道進行研究，衡量隧道的幾何設計與交通特性對於事故頻次的影響，透過使用事故調整因子(*crash modification factors, CMF*)衡量各個因素在不同範圍下對於事故頻次的影響變化。本研究蒐集 2011 年至 2015 年的國道高速公路隧道事故資料、車流量、速限與車道數，建立負二項模式預測事故頻次後，運用事故修正因子發現相對於時速限制 90 公里的隧道路段，時速限制 80 與 100 公里以上的隧道路段事故頻次在 2015 年以前均較低，而在 2015 年時速限 100 公里/小時相對於 90 公里/小時會較易發生事故，交通流量對於事故頻次則有正向關係。此一結果與國外結果有所不同，國外研究顯示速限越高事故數目會越多。

關鍵字: 事故修正因子、高速公路事故、隧道、負二項、*crash modification factors*、*negative binominal distribution*、*safety performance functions*

一、前言

1.1 研究動機

國道五號高速公路的雪山隧道自建設以來多次改變速限，剛通車時，為了讓用路人熟悉長隧道的環境，速限規範採取漸進式，當時速限為 70 公里/小時，爾後在 2008 年 3 月提高到 80 公里/小時，在 2010 年提高到 90 公里/小時。改變不只是單純的速限，還有雪山隧道的車流量，高速公路局估計雪山隧道每小時車流量可從 2400 量增加至 2600 輛，但國道五號其他路段速限仍是 80 公里/小時，不過速限更動對於事故發生的影響並沒有被詳細敘述。國道高速公路速限主要分為 80 公里/小時、90 公里/小時、100 公里/小時和 110 公里/小時等，本研究藉由不同速限的國道高速公路隧道來評估速限對於事故發生的影響。

美國州際公路與運輸官員協會(American Association of State Highway

¹ 交通大學運輸與物流管理學系副教授 (聯絡地址：30010 新竹市大學路 1001 號，電話:03-5731998，E-mail: thwoo@g2.nctu.edu.tw)

² 交通大學運輸與物流管理學系碩士班研究生

and Transportation Officials, AASHTO)於 2010 年發表第 1 版公路安全手冊 (Highway Safety Manual, HSM)，提出具有科學基礎(science-based)的分析技術，運用量化方式對道路安全、運輸經營、環境衝擊及建設經費等事項進行評估，改良傳統安全相關議題研究中，因交通碰撞事故發生數自然起伏變異(regression to the mean)效應下，而特別重視或忽略某些特定路段，無法進行通盤性分析與運用之缺憾。

本研究以國道高速公路隧道為研究對象，運用數值化方式分析速限、交通特性與幾何特性對於隧道內行車安全之影響，並且運用歷史交通資料及事故資料建構國道高速公路隧道在採取不同速限時，其碰撞事故調整因子(crash modification factors, CMFs)，評估國道高速公路隧道行車安全。

1.2 研究目的與範圍

隧道的環境封閉，一旦發生事故往往產生重大傷亡，如雪山隧道在 2012 年 5 月 7 日發生的事故意外，造成 2 死 31 傷，同時肇事車輛起火燃燒導致隧道內煙霧瀰漫，並致數百人受困，因此若能在當初設計隧道的時候，有相關資料如交通特性對於事故影響的估算，或是隧道設計速率對於事故的影響，或許可以對降低事故發生有幫助。本研究希望透過美國公路安全手冊所提供關於事故調整因子的方法，把隧道資料如車道數、車道寬與設計速限等納入考量，建立事故預測模式並提供客觀且可信的數據。

由於一般道路的隧道並無設置偵測器，故本研究僅探討高速公路的隧道。目前國道高速公路已通車路段隧道共有 52 座，其中國道一號 2 座，國道三號甲線 4 座，國道 3 號 30 座，國道五號 10 座，國道六號 6 座，總長度約 81.402 公里；分別為國道一號的中興和大業隧道，國道三號甲線的臺北一號與臺北二號隧道，國道三號的基隆、七堵、汐止、福德、木柵、景美、新店、碧潭、安坑、中和、埔頂一號、埔頂二號、大林、蘭潭、中寮隧道，國道五號的南港、石碇、烏塗、彭山和雪山隧道，國道六號的國姓一、國姓二、埔里隧道。

二、文獻回顧

2.1 安全績效函數

安全績效函數(safety performance functions, SPFs)可用於預估某特定路點、路段或路網之平均碰撞事故發生頻次之統計基礎模型，藉由長期觀察收集發生於與欲研究分析道路之特徵、組態及交通量相似之道路或路段上之碰撞事故資料，於假設碰撞事故發生頻次符合負二項式分配(negative binominal distribution, NB)前提下，運用統計學上複迴歸技術(multiple regression technique)校估所得；函數基本上由年平均日交通量(AADT)、研究路段長度(L)等參數所組成，當對於不同道路特徵及組態進行研究時，可再納入其他不同之參數，如道路寬度、有無照明、有無轉彎專用車道等，同時進行安全績效函數模型校估(AASHTO, 2010)。

公路安全手冊中已將鄉間雙向雙車道公路(rural two-lane two-way highway)、鄉間多線道公路(rural multilane highway)及都市和郊區幹道(urban and suburban arterials)等，完成安全績效函數模型校估，供美國各州政府於設計道路時參酌運用。以負二項式函數配適安全績效函數如下公式(Park, J., et al., 2015)。

$$N_{predicted,i} = exp(\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(1)}$$

其中：

$N_{predicted,i}$ 為某路段 i 預測碰撞事故發生頻次、 β_k 為變數校估所得之參數
 $AADT_i$ 為某路段 i 年平均日交通量(AADT)，單位：輛次/天、 L_i 為某路段 i 長度，單位：英哩
 X_{ki} 為某路段 i 其他變數 k

若以公路安全手冊中針對鄉間雙向雙車道公路之安全績效函數模型校估結果為例：

$$N_{SPF} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{-0.4865} \quad \text{公式(2)}$$

其中：

N_{SPF} 為安全績效函數預測之鄉間雙向雙車道公路平均碰撞事故發生頻次基準數(base)，單位：件/年。

AADT 為此研究對象鄉間雙向雙車道公路之年平均日交通量(AADT)，單位：輛次/天。

L 為此研究對象鄉間雙向雙車道公路之路段長度，單位：英哩(mile)。

發展及研究安全績效函數之建議方式如下(Srinivasan, R., et al, 2013)：

1. 確認設施類型。必須先行確認道路分析類型始能決定使用何種等級安全績效函數分析方式，如進行專案等級分析(project-level analysis)或進行路網分析。
2. 取得及彙整必要資料。依據分析等級取得必要資料，如年平均日交通量、事故嚴重程度、道路種類，並且決定樣本大小。
3. 初步決定安全績效函數分布型式，如負二項式分配、卜瓦松分配或珈瑪分配等。依據相關研究，負二項式分配之配適結果較為良好。
4. 安全績效函數參數校估。運用統計軟體進行函數校估及判斷變數顯著性。
5. 評斷安全績效函數，如利用殘差圖或累積殘差圖檢視殘差值，或使用適當統計技巧檢視極端值及進行函數配適度分析。

2.2 事故調整因子

碰撞事故調整因子(crash modification factors, CMFs)為某路點、路段或路網有無採取某措施之情況下，對於安全有效性之比例(AASHTO, 2010)，如下式，可計算某路段執行某項措施後發生特定事故之期望值(FHWA, 2010)。

$$CMF = \frac{\text{某地點由狀況 A 轉變為狀況 B 後平均碰撞事故發生頻次(數)期望值}}{\text{某地點於狀況 A 之期望平均碰撞事故發生頻次(數)期望值}} \quad \text{公式(3)}$$

$$\text{事故減少百分比} = 100 \times (1.00 - CMF) \quad \text{公式(4)}$$

碰撞事故調整因子數值大小可用以判斷某措施是否有助於提升行車安全，其臨界判斷值為 1，若 $CMF < 1$ 代表採取某措施後碰撞事故發生數低於先前未採取該措施之碰撞事故發生數，亦即該措施有助於提升行車安全；若 $CMF > 1$ 則為該措施無助於甚至有害於行車安全；若 $CMF = 1$ 代表採取該措施前後碰撞事故發生數相同，對於行車安全並無影響，如某路口長期平均碰撞事故發生頻次為 10.5 次/年，若採取於該路口設置外觀尺寸較大之停等標誌(stop sign)，經研究此措施之碰撞事故調整因子為 0.81(Gan, A., Shen, J., 2005)，預期該路口碰撞事故發生頻次期望值應下降為 8.5 次/年或降低 19%，故有助於提升路口安全。碰撞事故調整因子可與安全績效函數所得碰撞事故發生頻次預估值或與某地碰撞事故觀察值以連乘方式連結，以說明某措施或情狀相對於對照情狀事故數之差異(AASHTO, 2010)，如某路口以安全績效函數預估或實際觀察每年期望發生 7.9 次碰撞事故，若同時採取某措施 X， $CMF_X = 0.81$ 及開放某限制 Y， $CMF_Y = 1.06$ ，則此路口每年期望發生 6.8 次碰撞事故 (7.9 次/年 $\times 0.81 \times 1.06 = 6.8$ 次/年)。碰撞事故調整因子於道路安全研究領域中，尚具有評估各種措施之安全效果、比較不同措施及地點間之安全效益、由碰撞事故所造成之影響確認執行措施之成本效益策略(cost-effective strategies) 及執行地點、查核評估施行某項措施結果之合理性、查核成本效益分析中各項假設之有效性等功能(FHWA, 2010)。

2.3 隧道事故

隧道事故預測最早開始於 PIARC Committee 在 1995 年發表在 Tunnel Safety 上，委員會表示雙向隧道會比單向隧道容易發生事故。事故頻次相對在隧道入口處較高，但隧道長度、年平均日交通量和隧道寬度與事故頻次有反向關係(Amundsen and Ranes, 2000)；事故頻次與隧道長度有正相關，但與路肩存在與否有反向關係(Lemke, 2000)。有研究指出事故受傷頻次在單向隧道中相較於開放式道路都有上升或下降的現象存在，因此隧道的安全與否不應與開放式道路比較後下結論(SAFESTAR, 2002)。長隧道的事故發生風險會比短隧道小，而事故發生風險會隨著年平均交通量和大車比例上升而增加(Salvisberg et al., 2004)。用路人對於速度的感知和反應會受到隧道牆壁的外觀與圖示影響(Manser and Hancock, 2007)。隧道中單向車流發生事故風險會比雙向車流低(Nessbaumer, 2007)。用路人在隧道的駕駛行為會與隧道照明和隧道牆壁光亮有所關連(Kircher and Ahlstorm, 2012)。

從上述不同國外學者的研究可得到隧道事故與交通量和隧道的幾何設計有很大的關係，但以上研究均是國外針對自己國家的研究，如同駕駛型態、交通量等等均不會與國內相符合，而本研究會根據國內資料發展隧道事故預測模型後，進而計算國道隧道的事務調整因子。

三、研究方法

3.1 建立安全績效函數

針對國道高速公路各隧道內之行車碰撞事故，逐案重新審視事故調查案卷內容，依年份、隧道別、發生路段及公里數等進行碰撞事故發生數統計分析，並計算年碰撞事故發生頻次（單位：次/年），作為後續研究分析之基礎資料。除採用碰撞事故發生頻次平均數及變異數進行分析外，須進行發生頻次模型配適(model fitting)，依據碰撞事故發生數及頻次本質及參酌文獻回顧結果，碰撞事故發生頻次符合本研究使用的負二項式分配(Negative binomial distribution)，將運用配適度卡方檢定等，確認國道高速公路各隧道之碰撞事故發生頻次模型是否有顯著性。

參照文獻回顧中安全績效函數公式，本研究使用的模式如下公式(5)所示，代入國道高速公路隧道年日平均交通量(AADT)進行迴歸，建立國道高速公路隧道之安全績效模型及參數，並且針對年平均日交通量進行敏感度分析，確認分析模型之可靠性。另再進一步與本研究中碰撞事故調整因子進行組合，研究於不同措施組合之情狀下，推估國道高速公路隧道長期碰撞事故發生頻次期望值。若不同嚴重程度之碰撞事故資料充足，則進一步建立國道高速公路隧道不同嚴重程度事故之安全績效函數。最後，本研究以國道高速公路隧道為例建立安全績效函數模型，將彙整建立安全績效函數模型之流程、步驟及注意事項進行歸納，以供後續其他道路行車安全研究之援引及參考。

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(5)}$$

其中：

$N_{predicted,i}$ 為某路段 i 預測碰撞事故發生頻次、 β_k 為變數校估所得之參數
 $AADT_i$ 為某路段 i 年平均日交通量(AADT)，單位：輛次/天、 L_i 為某路段 i 長度，單位：英哩
 X_{ki} 為某路段 i 其他變數 k

建立模式時，本研究參考國內外關於事故預測模式的變數處理方式，整理出了以下四種模式，而此四種模式以公式(6)至公式(9)在下面展示，首先模式一、二與模式三、四的差異在於其因變數，兩者因變數分別為 $F_{predicted,i}$ 為某路段 i 預測碰撞事故發生頻次(件/公里)和 $N_{predicted,i}$ 為某路段 i 預測碰撞事故發生次數(件)，前者考量為事故曝光量，隧道區段距離越長而事故曝光量也會隨之增加，衍生的事故數目愈多。以致路段長度與事故數存在強烈相依性，影響到其他的重要變數(如速限)的解釋能力，而隧道長度在實務上很難有相對應措施，因此不適合作為解釋變數，而後者則相反。模式一與二差別在於 AADT 轉換的方式，前者以 Log 為尺度，後者以 LN 為尺度；模式三與四差別在於模式三之 AADT 和 Length 皆取 Log，模式四為皆取 LN。

$$1. \quad F_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(\text{Log}AADT) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(6)}$$

$$2. F_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(7)}$$

$$3. N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LogAADT) + \beta_2(Loglength) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(8)}$$

$$4. N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \beta_2(LNlength) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(9)}$$

本研究運用負二項式分配模型，並使用隧道幾何特性、年平均日交通量和隧道長度作為解釋變數如公式(5)，其中隧道長度和年平均交通量會是研究中的控制變項去確認其他線性預測子在事故頻次上的效應。

3.2 模式比較

在同一分析基礎下(事件數及變數個數)下，綜合比較模式相對優劣，可以使用概似比檢定(likelihood ratio test)。概似比檢定為在建立統計模型時，用於檢定結果是否支持某個複雜的模式(變數多)優於簡單的模式(變數少)，其中簡單模式所使用的變數全部包含於複雜模式中，概似比數值越大則模式表現越優秀。

3.3 建立事故調整因子

依據國道高速公路隧道所採取之各項措施及執行期間，將該措施執行期間碰撞事故發生頻次觀察值，預測所得各項措施執行前期間內，與文獻提到CMF的公式(3)和公式(4)不同的是，本研究使用的CMF方法為在各項措施中選出各項措施的基準狀態，並比較該設施在基準狀態以外與基準狀態比較的CMF值(Lord and Bonneson, 2007; Stamatiadis et al., 2009; Carter et al., 2012)，下列公式(10)用來計算各項措施之碰撞事故調整因子。

本研究著重在單一措施在不同狀態下相對於基準狀態時CMF值的影響，舉例來說以速限為例，設定速限90公里/小時為基準狀態，建立的事故調整因子會是速限80公里/小時相對於速限90公里/小時的狀態。

$$CMF = \exp(\beta_k \times (x_{kt} - x_{kb})) \quad \text{公式(10)}$$

其中 x_{kt} 為該地點其他狀態下的碰撞事故發生頻次(數)期望值； x_{kb} 為該地點在基本狀態下的碰撞事故發生頻次(數)的期望值。

四、資料蒐集與整理

4.1 資料蒐集

研究事故資料係以民國 100 年至民國 104 年國道高速公路三號、三號甲線、五號以及六號隧道內的碰撞事故統計案例，碰撞事故資料針對其發生之時間日期、所在路段、損傷嚴重程度等記錄在案；記錄資料的形式可參考內政部警政署提供的道路交通事故調查報告表。事故資料的部分可依據國內對交通事故嚴重程度的定義而分為 A1、A2 和 A3；A1 類指造成人員當場或二十四小時內死亡之交通事故；A2 類指造成人員受傷或超過二十四小時死亡之交通事故；A3 類指僅有車輛財物受損之交通事故。本研究目的為事故預測，因此並不因事故嚴重程度而區隔事故資料，因此 A1 和 A2 事故數量過少將會併入 A3 事故資料，且依據事故發生地點來歸納事故資料。

本研究探討國道高速公路隧道事故的影響變數有隧道交通量、隧道長度、車道數、速限，各事故影響因素分別詳述如下：

路段交通量：車輛在隧道間行駛並不受到上下國道的影響，因此隧道內交通量可視為一致不會變動，而南北向隧道之間也並無相通之處，因此南北向隧道可視為互相獨立。

1. 隧道長度：本研究並不會把隧道分區段進行分析，整段隧道的交通與幾何特性差異並不多，因此隧道長度即為高速公路局提供的隧道設計長度。
2. 車道數：本研究依照隧道設計車道數整理出三類車道數，即雙車道隧道、三車道隧道和四車道隧道。
3. 速限：本研究依照高速公路局提供的國道高速公路速限表，依循隧道座落區間段整理速限，而把國道高速公路隧道速限分為三類，分別為速限 80 公里/小時、速限 90 公里/小時和速限 100 與以上公里/小時。

4.2 變數處理

本研究使用的速限與車道數並非連續變數；連續變數通常指可量化的數值如身高、體重等，而類別變數為把非量化的一些特質，如性別、血型等類型資料套入模式而產生。本研究並未把速限當作連續變數使用，因為在台灣國道高速公路隧道速限僅分為三種，所以決定把速限視為特質進行分析，而車道數則無此問題，表 1 為上述兩變數的內容，在使用類別變數時，本研究分別選擇速限 90 公/小時和三車道為參照組，選擇的原因是這兩類佔有的比例是該變數中最大的。

表 1 類別變數內容

變數名稱	內容	變數名稱	內容
速限	80 公里/小時	車道數	雙車道
	90 公里/小時		三車道
	100 公里/小時以上		四車道

表 2 為兩變數的虛擬變數表示，身為參照組的 90 公里/小時和三車道在虛擬變數 1 和 2 皆表達為 0，而若以虛擬變數 1 為變數 x_1 ，虛擬變數 2 為 x_2 ，則使用安全績效函數可表達為 $N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(x_1) + \beta_2(x_2))$ ，以速限為例當速限為 80 公里/小時時，模式可寫為 $N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(1) + \beta_2(0))$ ，若速限為 90 公里/小時時，模式可寫為 $N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(0) + \beta_2(0))$ ，若速限為 100 公里/小時以上時，模式可寫為 $N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(0) + \beta_2(1))$ 。

表 2 兩變數的虛擬變數

變數名稱	內容	虛擬變數 1	虛擬變數 2
速限	80 公里/小時	1	0
	90 公里/小時	0	0
	100 公里/小時以上	0	1
車道數	雙車道	1	0
	三車道	0	0
	四車道	0	1

五、建立與分析

5.1 模式比較

模式係參照文獻回顧中提及之安全績效函數，利用 SAS 軟體使用 PROC GEMOD 選擇負二項模式進行分析。在參數求解上採用概似法進行推估，此外分析的區段有 50 個，而以 2011 年至 2015 年為止總共六年，則總共會有 250 個樣本資料。在進行全盤分析以前，會先比較四種模式，爾後選擇表現較好做為之後分析使用的模式，下表 3 是安全績效函數變數的代號示意表。

表 3 模式參數代號示意表

變數	代號
隧道長度	Length
日交通量參考值	Traflow
速限 80 公里/小時	SPEEDLIMIT1
速限 90 公里/小時	SPEEDLIMIT2
速限 100 公里/小時以上	SPEEDLIMIT3
雙車道	Lanenu2
三車道	Lanenu3
四車道	Lanenu4

表 4 為前述四種不同的安全績效函數比較表格，使用 2011 年至 2015 年的事故及各影響因素資料，可以發現第一種安全績效函數中，參數中僅只有日交通量參考值是顯著，而 Log likelihood 也是四者之中最小；第二種安全績效函數結果與第一種完全相同；第三種安全績效函數中，參數速限 80 公里/小時和四車道隧道較為顯著，而 Log likelihood 是次小的；第四種安全績效函數中，參數速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上、日交通量參考值和隧道長度較為顯著，而 Log likelihood 是最大的。從以上資訊可以得到第四種不管是參數表現或是 Log likelihood 表現都是三者之中最好的，因此後續研究分析即會使用第四種安全績效函數進行分析。

5.2 安全績效函數分析

5.2.1 各年份的安全績效函數

首先針對各年份的安全績效函數進行分析，以各區段事故頻次數作為負二項模式的因變數，以不區分事故類別方式逐年推估，2011 年的安全績效函數分析結果如表 5，隧道長度對事故數有正向關係，速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，車道數雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係；而以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時與 100 公里/小時以上都較不易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道與四車道都較不易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事務數目也會增加。

2012 年的事故頻次模式分析結果如表 6 所示，隧道長度對事故數有正向關係，速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，車道數雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係，僅有日交通量參考值為顯著；而以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時與 100 公里/小時以上都較不易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道與四車道都較不易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事務數目也會增加。

表 4 各安全績效函數比較表格

模式一			
參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-22.6475	1.9413	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.0004	0.318	0.9989
SPEEDLIMIT3	0.1982	0.3084	0.5205
Lanenu2	-0.5203	0.2858	0.0687
Lanenu4	-0.8102	0.4065	0.0462
Log of Traf flow	6.0266	0.4633	<.0001
Log likelihood	-702.63		
模式二			
參數	係數	標準差	p-value

Intercept	-22.647	1.9413	0.2914
SPEEDLIMIT1	-0.0004	0.318	0.9989
SPEEDLIMIT3	0.1982	0.3084	0.5205
Lanenu2	0.5203	0.2858	0.0687
Lanenu4	-0.8102	0.4065	0.0462
LN of Traf flow	2.6173	0.2012	<.0001
Log likelihood	-702.63		
模式三			
參數	係數	標準差	p-value
Intercept	132.5	148.12	0.2914
SPEEDLIMIT1	-1.419	0.2679	<.0001
SPEEDLIMIT3	0.0973	0.2980	0.7439
Lanenu2	0.3483	0.2432	0.1521
Lanenu4	-1.5067	0.445	0.0007
Log of Traf flow	36.859	29.311	0.2086
Log of length(km)	-288.91	275.36	0.2941
Log likelihood	-688.17		
模式四			
參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-22.444	1.7523	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7844	0.288	<.0001
SPEEDLIMIT3	0.4103	0.2586	0.0006
Lanenu2	-0.3782	0.2412	0.1126
Lanenu4	-1.4551	0.3533	0.1169
LN of Traf flow	2.6	0.1811	<.0001
Ln of length(km)	0.5124	0.088	<.0001
Log likelihood	-671.47		

2013 年的安全績效函數分析結果如表 7 所示，隧道長度對事故頻次有正向關係，速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，車道數雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係；而以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時與 100 公里/小時以上都較不易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道與四車道都較不易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事故數目也會增加。

2014 年的安全績效函數分析結果如表 8 所示，隧道長度對事故數有正向關係，速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，車道數雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係而：以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時與 100 公里/小時以上都較不易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道與四車道都較不易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事故數目也會增加。

表 5 2011 年安全績效函數估計結果

參 數	係 數	標 準 差	<i>p</i> -value
Intercept	-19.6322	3.7678	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.3552	0.7272	0.6253
SPEEDLIMIT3	-0.509	0.6216	0.4129
Lanenu2	-0.8459	0.5968	0.1564
Lanenu4	-0.4305	0.7692	0.5756
LN of Traflo	2.3071	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.4725	0.2051	0.0212
Log Likelihood	-128.4876		

表 6 2012 年安全績效函數估計結果

參 數	係 數	標 準 差	<i>p</i> -value
Intercept	-18.7596	3.6997	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.6923	0.7231	0.3383
SPEEDLIMIT3	-0.6184	0.6232	0.3210
Lanenu2	-0.845	0.6077	0.1644
Lanenu4	-0.5446	0.7962	0.4940
LN of Traflo	2.3071	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.4613	0.2127	0.0301
Log Likelihood	-126.145		

表 7 2013 年安全績效函數估計結果

參 數	係 數	標 準 差	<i>p</i> -value
Intercept	-21.3686	3.8843	<.0001
SPEEDLIMIT1	-1.0215	0.6733	0.1292
SPEEDLIMIT3	-0.0091	0.5947	0.9878
Lanenu2	-0.1458	0.5457	0.7893
Lanenu4	-2.0118	0.8027	0.0122
LN of Traflo	2.3071	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.3299	0.1908	0.0839
Log Likelihood	-132.1137		

表 8 2014 年安全績效函數估計結果

參 數	係 數	標 準 差	<i>p</i> -value
Intercept	-20.6071	4.484	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7217	0.7819	0.356
SPEEDLIMIT3	-0.838	0.6508	0.8975
Lanenu2	-0.3526	0.6118	0.5643
Lanenu4	-0.7387	0.8604	0.3906
LN of Traflo	2.4302	0.4649	<.0001
Ln of length(km)	0.6154	0.2282	0.0301
Log Likelihood	-141.4042		

2015 年的安全績效函數分析結果如表 9 所示，隧道長度對事故頻次有正向關係，速限 80 公里/小時相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，而與前 5 年不同之處在速限 100 公里/小時以上則相對於速限 90 公里/小時有正向關係，車道數雙車道對事故數有正向關係，四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係；而以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時較不易發生事故而 100 公里/小時以上較容易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道較容易發生事故而四車道較不易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事務數目也會增加。

表 9 2015 年安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-27.0023	4.7017	<.0001
SPEEDLIMIT1	-1.7482	0.6794	0.0101
SPEEDLIMIT3	1.0596	0.6457	0.1008
Lanenu2	0.1222	0.5491	0.8238
Lanenu4	-1.8301	0.7848	0.0197
LN of Traf flow	3.0577	0.4817	<.0001
Ln of length(km)	0.6036	0.2057	0.0033
Log Likelihood	-130.9923		

5.2.2 總體績效函數分析

總體安全績效函數分析結果如表 10，隧道長度對事故頻次有正向關係，速限 80 公里/小時相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，而在速限 100 公里/小時以上則相對於速限 90 公里/小時有正向關係，車道數雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，日交通量參考值對事故數有正向關係；而以上分別代表速限相對於 90 公里/小時，80 公里/小時較不易發生事故而 100 公里/小時以上較容易發生事故；車道數相對於三車道，雙車道和四車道較易發生事故；隧道越長事故數目也越多以及車流量越大事務數目也會增加。

表 10 總體安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-22.444	1.7523	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7844	0.288	<.0001
SPEEDLIMIT3	0.4103	0.2586	0.0006
Lanenu2	-0.3782	0.2412	0.1126
Lanenu4	-1.4551	0.3533	0.1169
LN of Traf flow	2.6	0.1811	<.0001
Ln of length(km)	0.5124	0.088	<.001
Log likelihood	-671.47		

5.3 事故調整因子

事故調整因子的基準狀態選擇速限 90 公里/小時，分別依照逐年、每兩年以及整體計算對應的事故調整因子。表 11 列出逐年的事故調整因子值，可以發現在 2011 年至 2014 速限不論是 80 公里/小時或是 100 公里/小時以上在這幾年都是小於 1，代表較不容易發生事故，但兩者趨勢卻大不相同，速限 80 公里/小時呈現逐年下降的趨勢，相反地速限 100 公里/小時以上卻是在 2012 年以後有急遽上升的傾向，也導致了在 2015 年時速限 80 公里/小時事故調整因子小於 1，而速限 100 公里/小時以上事故調整因子大於 1 的狀況發生，在 2015 年開始速限 100 公里/小時以上會較速限 90 公里/小時易發生事故，而 80 公里/小時則相反。

表 11 2011 至 2015 年個別年份的速限事故調整因子值

CMF	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
80 公里/小時	0.7	0.5	0.36	0.49	0.17
100 公里/小時以上	0.6	0.54	0.99	0.92	2.88

表 12 為整體 2011 年至 2015 年對應的事故調整因子，發現速限 100 公里/小時以上事故調整因子大於 1，代表速限 100 公里/小時以上會較速限 90 公里/小時易發生事故，而 80 公里/小時則相反。但經由前面時間序列可得知其實 2011 年至 2014 年的速限 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時影響事故數是比較少。

表 12 整體年份速限事故調整因子值

CMF	2011~2015 年
80 公里/小時	0.46
100 公里/小時以上	1.5

六、結論

本研究透過安全績效函數把國道高速公路各隧道的速限、車道數、日交通量、車道數與隧道長度納入為參考變數，考量個別變數對事故數的影響並嘗試使用時間帶變化的方式觀察其變化。就隧道長度而言，歷年來對事故數均為正向關係，而此情形也實屬正常概因於曝光量的關係；從各個模式都可以看出日交通量參考值對事故數而言，也是正向關係且呈現偏指數函數的圖形。使用事故調整因子來估算不同速限之間的關係，透過設定速限 90 公里/小時為基準狀態，比較其他速限相對於基準狀態下對於事故數的影響，而從總體 2011 年至 2015 年來看速限 80 公里/小時相對 90 公里/小時是有負向關係，

而速限 100 公里/小時以上情況相反，但逐年來看速限 100 公里/小時以上卻是在 2013 年開始才從負向關係轉變為正向關係，直到 2015 年事故調整因子才從小於 1 變為大於 1，而速限 80 公里/小時則維持下降的趨勢；以上結果代表在 2013 年來時速 100 公里/小時以上的區段，事故數目有逐漸增長的趨勢。

檢視各個速限樣本數發現並未有一家獨大的情況發生，但實際分析中卻可看到各速限範圍受限於特定日交通量參考值，如速限 100 公里/小時以上日交通量參考值並無法突破 9,800，而速限 80 公里/小時樣本的日常交通量更是明顯只分布在 8,900 至 9,700；因此無法觀測到更為完整的趨勢分布。同時因為本研究使用六年的資料進行分析，在逐年分析中發現隨著年份變化事故調整因子也隨之改變從小於 1 變為大於 1，後續在分析較長時間序列的研究應注意時間對於變數的影響。

另外本研究使用四種模式並選出最為顯著的一種，可以明顯發現使用 LN 作為變數轉換的形式最為符合隧道事故頻次模式，最後在本研究中 2015 年的事故調整因子相較於前幾年呈現一個極端高的數值，而在本研究搜尋 2015 年關於速限 100 公里/小時以上的區段並未有符合相關政策或是交通管制的措施，這有可能是單一特例而這凸顯出使用逐年分析方法的缺點，因此若有後續研究在時間序列方面研究事故影響時，必須注意單一年份的大幅度變動可能會導致模式在參數的部分產生過度解釋的情形發生。

參考文獻

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual 1e., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- Amundsen, F.H., Raner, G., 2000. Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 15 (1), 3–11.
- FHWA, 2010. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. Federal Highway Administration, Office of Safety, Washington, D.C., USA
- Gan, A., Shen, J., 2005. Update of Florida Crash Reduction Factors and Countermeasures to improve the Development of District Safety Improvement Projects. State of Florida Department of Transportation, Florida, USA
- Kircher, K., Ahlstrom, C., 2012. The impact of tunnel design and lighting on the performance of attentive and visually distracted drivers. *Accident Analysis and Prevention* 47, 153–161.
- Lemke K., 2000. Road safety in tunnel. *Transportation Research Record* 1740, Paper No. 00-0155.
- Lord, D., Bonneson, J.A., 2007. Development of accident modification factors for rural frontage road segments in Texas. *Transp. Res. Rec.* 2023, 20–27.
- Manser, M.P., 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* 39, 69–78.
- Nussbaumer, C., 2007. Comparative analysis of safety in tunnels. Young Researchers Seminar 2007, rno.
- Park, J., et. al., 2015. Developing crash modification functions to assess safety effects of adding bike lanes for urban arterials with different roadway and socio-economic characteristics. *Accid. Anal. Prev.* 74, 179-191.
- SAFESTAR, 2002. Safety Standards for Road Design and Redesign. Final Report. Coordinated by SWOV, funded by the European Commission.
- Salvisberg, U., Allenbach, R., Cavegn, M., Hubacher, M., Siegrist, S., 2004. Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des National-strassennetzes BFU- Report, Bern. ISBN 3-908192-17-X.
- Stamatiadis, N., Pigman, J., Sacksteder, J., Ruff, W., Lord, D., 2009. Impact of Shoulder Width and Median Width on Safety. NCHRP Report 633, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Srinivasan, R., et al., 2013. Safety performance function decision guide: SPF calibration vs SPF development. Highway Safety Research Center University of North Carolina, North Carolina, USA

