

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

國道隧道速限影響交通事故之研究

Effects of Speed-limits on Crash Frequency in Freeway Tunnels

研究生：許書銘

指導教授：吳宗修教授

中華民國一〇七年一月

國道隧道速限影響交通事故之研究

Effects of Speed-limits on Crash Frequency in Freeway Tunnels

研 究 生：許書銘

Student：Shu-Ming Hsu

指導教授：吳宗修

Advisor：T. Hugh Woo

國立交通大學

運輸與物流管理學系

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

February 2018

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年一月

國道隧道速限影響交通事故之研究

研究生：許書銘

指導教授：吳宗修

摘要

隧道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，且國內少有關於隧道路段研究，多以整體路段以隧道為類別變數進行分析；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，使用不同變數轉換的方式建立安全績效函數，選擇表現較好的模式後，再透過事故調整因子(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，有別於針對事前事後的事故調整因子，本研究採用的是選取反應變數的基準狀態，並比較基準狀態以外對於事故發生的影響。在建立安全績效函數之前，本研究參考其他文獻對於變數處理的方式建立五種不同變數轉換型式的模式，其中包括不使用任何變數轉換、對日交通量取對數、對日交通量與隧道長度取對數、對日交通量取自然對數、對日交通量與隧道長度取自然對數等五種，並使用概似比指標與貝氏資訊準則選擇表現較好的變數轉換形式，其中對日交通量與隧道長度取自然對數的變數轉換型式表現最佳。本研究並使用實證貝氏分析法建立事故調整因子來估算不同速限之間的關係以及不同車道數之間的關係，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，結果顯示速限 80 公里/小時與 100 公里/小時以上均相較於 90 公里/小時會較少事故發生；設定三車道隧道為基準狀態，結果顯示雙車道隧道與四車道隧道相對於三車道隧道較少事故發生。

關鍵字：事故調整因子、安全績效函數、隧道、負二項

Effects of Speed-limits on Crash Frequency in Freeway Tunnels

Student: Shu-Ming Hsu

Advisor: T. Hugh Woo

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

Abstract

The effect of tunnels' environment on crash frequency has not been proved by empirical research or consensus model, and there are few crash researches about tunnels. Most researches treat tunnels as category variables. The focus of this research is on the effect measurement of crash frequency by geometric design and traffic characteristics. Different methods using transformed variables were used to establish safety performance functions. After choosing a better model, crash modification factors were applied to measure its effect to crash frequency within different ranges of variables. Different from before-after crash modification factors, this study adopts variables' baseline condition and measures relative effects in other conditions. Before establishing safety performance function, five models with different variable transformation, including original variables, logarithm of annual average daily traffic, logarithm of annual average daily traffic and tunnel lengths, natural logarithm of annual average daily traffic, and natural logarithm of annual average daily traffic and tunnel lengths. Likelihood ratio index and Bayesian Information Criterion were then applied to choose the model with better explanatory variable transformation. The results show that the model with natural logarithm of annual average daily traffic and tunnel length is more better. Empirical Bayesian approach was applied to estimate the relationship between each speed-limit and each lane numbers. By setting 90 km/h as the baseline condition, it appears that there are less crashes in 80 km/h and 100 km/h sections. By setting three-lane as the baseline condition, it appears that there are less crashes in two-lane and four-lane sections.

Keywords: crash modification factors, safety performance function, tunnel, negative binomial distribution

誌謝

原本大學期間準備碩士考試的時間很少，也是突然決定要讀碩士，感謝跟我一同準備考試的李佳約同學，一起在短時間內奮鬥也一起考上北交，儘管不再是自己熟悉的竹交環境，但是在北交認識了許多新同學，北交的風格與竹交的風格大不相同，在碩一的大通鋪一起準備考試與活動也是我難忘的回憶。

首先感謝 吳宗修教授兩年對我的指導，教我許多在學校學不到東西，讓我知道許多生活處事上的細節，還有認真做事的態度，有很多事情我常常不以為意，但其實往往會讓人觀感不佳，在這方面也多虧老師的多加提點和督促，讓我認識到自己以往沒有察覺到的不足；感謝老師提供交通工程助教的職位，在這門核心課程擔任助教不只讓我重新回顧大學的課程，也提供我安排課程考試與學生溝通的經驗，讓我與不同年齡的學弟妹認識以及了解彼此之間認知的差異；感謝老師常常提供車禍現場以及上法院的機會，讓我學到書本上不會教我的知識。感謝老師也祝老師與師母平安健康、萬事如意。

論文口試期間，感謝論文口試委員 吳昆峰教授與 張新立教授可以在忙碌的行程中撥冗參加我的論文口試，並給予許多寶貴的意見與指導，補足本論文不足之處。同時，在碩班期間從不管是北交或竹交老師的課程上都學到專業知識，同時也與實務做連結，讓我知道所學和實務之間的差異，也感謝 邱裕鈞老師在專討提供的諸多建議，讓我撰寫論文的時候有著更清晰的思緒。感謝所有老師在碩士期間對我的指導與提攜。

在這邊還要特別感謝 陳躍祥學長，學長提供的國科會計畫是我論文開始的起點，而在撰寫論文的時候，有著學長的意見以及提供相關論文的書單對我都是受益良多，當我遇到問題時，也總是盡速且努力解答我的疑惑。從碩一開始學長都非常的可靠，有著學長的幫助減少許多走歪路的時間，也不只在論文方面，不管是工作或是其他交通議題的意見也都非常寶貴，真的非常感謝學長。

吳家的同學們，不管是有著相似議題的逸儒、大家開心果的儀蓓，還有班上許多同學，有著革命情感的佳約，從大學開始就一直照顧我就像太陽的聖學，還有像大家長的安迪，常常讓我搭便車回鶯歌的怡均，在生活上常常幫助我的姍姍與雅津等。有著大家的幫助才能讓我的碩班生活過得多采多姿，謝謝你們讓我碩班可以過的不苦悶。

最後，感謝我的家人，謝謝他們支持我讀碩班的決定，儘管常常念我，但都是對我督促與期許，也謝謝老哥常常帶我出去玩，還有吃飯，帶我排解愁緒，在此也祝福我的家人身體健康、萬事如意，也希望畢業的我可以不再被支持，而是可以支持你們。

許書銘 謹誌於
國立交通大學運輸與物流管理學系
中華民國一〇七年一月

目 錄

摘要	i
Abstract	ii
誌謝 iii	
目 錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	vii
一、緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究對象	2
1.4 研究範圍	3
1.5 研究流程與架構	3
二、文獻回顧	5
2.1 公路安全手冊	5
2.1.1 安全績效函數及其運用	6
2.1.2 事故調整因子	7
2.2 貝氏方法	7
2.3 模式分配	11
2.4 事故預測相關文獻	12
2.4.1 速限的影響	12
2.4.2 隧道的影響	13
三、研究方法	14
3.1 國道安全績效函數分析	14
3.2 模式配適與檢定	15
3.3 建立國道隧道事故調整因子	16
四、資料蒐集與整理	17
4.1 資料蒐集	17

4.2 因變數.....	20
4.3 自變數.....	22
4.4 變數處理.....	23
4.5 變數關係.....	23
五、模式建立與分析	26
5.1 模式比較.....	26
5.2 安全績效函數分析	29
5.2.1 各年份的安全績效函數	29
5.2.2 整體事故模式分析	39
5.3 事故調整因子	41
5.3.1 速限事故調整因子	41
5.3.2 車道數事故調整因子	42
六、結論與建議	45
6.1 結論.....	45
6.2 建議.....	46
參考文獻	47
一、中文文獻	47
二、英文文獻	47
附錄一 2011 年至 2015 年各隧道事故數目	51
附錄二 2011 年至 2015 年各隧道預測事故數目	53

圖目錄

圖 1 研究流程圖	4
圖 2 日交通量與事故件數關係圖(依速限區分).....	24
圖 3 日交通量參考值與事故件數散佈圖(依車道數區分).....	25
圖 4 2011 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分).....	30
圖 5 2011 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分).....	31
圖 6 2012 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)	32
圖 7 2012 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分).....	33
圖 8 2013 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)	34
圖 9 2013 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分).....	34
圖 10 2014 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)	36
圖 11 2014 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分).....	36
圖 12 2015 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)	38
圖 13 2015 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分).....	38
圖 14 總體日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)	40
圖 15 總體日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)	40
圖 16 逐年速限事故調整因子變化	42
圖 17 逐年車道數事故調整因子變化	43

表目錄

表 1 高速公路局日交通量參考值範例	17
表 2 隧道編號	19
表 3 高速公路隧道事故年份統計	21
表 4 三種車道數隧道的事故頻次	21
表 5 2011 年至 2015 年每車道日平均交通量參考值	22
表 6 自變數之敘述性統計(連續變數)	22
表 7 自變數之敘述性統計(虛擬變數)	22
表 8 兩變數的虛擬變數	23
表 9 日交通量參考值(LN)與實際值對照表	23
表 10 模式參數示意	26
表 11 安全績效函數概似比指標與 BIC	27
表 12 安全績效函數對照表	28
表 13 2011 年安全績效函數估計結果	30
表 14 2012 年安全績效函數估計結果	31
表 15 2013 年安全績效函數估計結果	33
表 16 2014 年安全績效函數估計結果	35
表 17 2015 年安全績效函數估計結果	37
表 18 總體安全績效函數估計結果	39
表 19 2011 至 2015 年速限事故調整因子	41
表 20 整體速限事故調整因子	41
表 21 2011 年至 2015 年車道數事故調整因子	42
表 22 整體車道數事故調整因子	43
表 23 逐年和整體研究參數	44

一、緒論

1.1 研究動機

碰撞事故調整因子(crash modification factors, CMFs)為衡量某項措施實行後對於事故發生的影響，由於其可計算實行某措施後發生事故的期望值，因此可從事故調整因子的大小判斷某措施對於事故安全的影響，有別於一般事故預測模式以係數判對於事故發生的影響，事故調整因子藉由比值的大小更可直觀的瞭解某措施對於事故發生的影響，因此若能在實施某項對於道路用路人會有影響的措施前有事故調整因子作為參考，或能避免道路事故的發生。

事故調整因子不只可用於比較某項措施實施前面對於事故發生的影響，也可以用於比較道路設施不同狀態下對於事故發生的影響，而所謂的道路設施的不同狀態指的是如速限有 80 公里/小時、90 公里/小時等不同的狀態，最早由 Lord and Bonneson(2007)和 Washington et al.(2005)提出相關的研究，藉由設定選取變數的基準狀態(通常選擇佔樣本比例最大)，使用事故調整因子比較相對於基準狀態其他狀態對於事故的影響。

國道五號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，最早速限為 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，速限改變將不只是單純的數值，包括雪山隧道的車流量以及用路人的駕駛行為，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，對於速限更動對於事故發生的影響並沒有被詳細敘述，在一查之下發現國道速限主要分為 80 公里/小時、90 公里/小時、100 公里/小時和 110 公里/小時等，這不禁令人好奇不同速限對於事故發生的影響會是如何，因此本研究藉由不同速限的國道隧道估量速限對於事故發生的影響。

在高速公路隧道中發生交通事故不但造成交通壅塞，更造成用路人的受傷或財損，同時也會增加所付出的社會成本，因此，如何找出有效的解決方法，並研擬改善策略，一直是大家所關心的課題。而隧道的特性不同於高速公路，因隧道內視線不良且狹窄緊迫的環境往往給用路人心理上更大的負擔，造成事故的風險大大提高，再加上身處密閉的環境，交通事故所造成的影響遠較高速公路嚴重。

交通意外事故(traffic accident)本質上屬隨機事件(random event)且具有離散性、稀少性與非負性，因此在分析上無法使用一般統計方法進行事故頻次分析，如：常態分配之迴歸模式，故利用計數模式建構總體事故頻次模式，其中以卜瓦松迴歸(Poisson regression)、負二項迴歸(Negative binomial regression)。美國國家公路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)建議將交通意外事故(traffic accident)一詞以交通碰撞事故(traffic crash)取代，因碰撞事故(crash)代表此事件是可以預防其發生，或可由

改良駕駛者行為、車輛設計、道路幾何設計、駕駛環境等方式，降低發生碰撞事故之可能性並減緩其所造成損害。

美國非官方州際公路與運輸官員協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)於 2010 年發表第 1 版公路安全手冊(Highway Safety Manual, HSM)，提出具有科學基礎之分析技術，運用量化方式進行道路安全、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，因交通碰撞事故數發生數自然起伏變異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。

本研究以國道隧道為研究對象，參考公路容量手冊運用數值化方式分析速限、交通特性和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隧道在採取不同速限時，其碰撞事故調整因子(crash modification factors, CMFs)，評價國道隧道行車安全，所得結果可供新建隧道採行相關措施前評估援引。

1.2 研究目的

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，導致數百人受困，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，相信可以在一定範圍內降低事故發生率，因此本研究希望透過美國公路安全手冊(Highway Safety Manual)提供安全績效函數與事故調整因子的方法，把隧道資料如車道數和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。

綜合上述研究動機，本研究利用國道高速公路隧道的發生事故件數作為反應變數進行研究，並使用道路幾何特性與環境特性及交通特性二類作為解釋變數進行總體事故分析，將研究目的說明建構隧道的事故頻次及時間序列模式，並分別進行推估及預測隧道中逐年的事故頻次以及總體事故頻次，並藉由事故調整因子觀察解釋變數對與事故頻次的影響。

1.3 研究對象

事故型態依照道路交通事故處理辦法第二條所敘述「道路交通事故，指車輛或動力機械在道路上行駛，致有人受傷或死亡，或致車輛、動力機械、財物損壞之事故」。而交通事故區分為 A1、A2、A3 類等三種：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。

對於本研究來說，由於隧道內 A1 與 A2 類事故數目並不多，因此並不以嚴重度作為區分，本研究把 A1 和 A2 與 A3 的事故數合併為總事故發生數。

1.4 研究範圍

由於平面道路的隧道並無設置偵測器，故本研究主要探討高速公路的隧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，分別有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，總共有 52 座隧道。

1.5 研究流程與架構

首先確認好研究動機與目的後，蒐集相關事故研究文獻，瞭解國內外學者看待事故問題的想法與他們解決問題的方法後，擬定本研究欲建構之模型並開始蒐集國道隧道的基本規格資料與 2011 年至 2015 年的事故資料，再參照國外學者文獻採用的數學與統計方法，建立本研究使用的事故頻次預測模式後，分析國內的事故資料，並推估各解釋變數之參數值以及各解釋變數在不同範圍下所發生的事故頻次，最後建立事故調整因子分析結果並歸納出各項結論，再提出改善方法與後續未來可以研究的方向。

本研究之流程見圖 1 其內容敘述如下

1. 確定研究動機目的

瞭解過去如何使用事故調整因子，並提出交通特性和道路幾何設計可用於事故調整因子的部分。

2. 文獻回顧

文獻回顧可分為四個區域，首先本研究參考美國公路安全手冊(Highway Safety Manual, HSM)內道路事故的部分，瞭解對於事故名詞定義以及關於安全績效函數與事故調整因子的內容，提供本研究進行模式建構與分析參考；而後是貝氏方法了解如何運用貝氏分析法應用在事故分析與預測上；再來回顧事故預測所使用的模式分配類型，選擇符合事故分佈的分配類型；最後是回顧與事故預測相關的文獻，這部分包含速限與隧道的研究，從中獲取與隧道事故預測相關的資訊。

3. 資料分析

本研究採用 2011 年至 2015 的國道事故資料，依照隧道區分，總共有 25 個隧道，南北共 50 個區段，整理研究所需的資訊，如發生地點與速限等，以敘述性統計之方式，分析在不同年份下所發生之事故次數，同時也會針對反應變數與解釋變數進行基本的敘述性統計。

4. 模式建構與選擇

本研究使用安全績效函數與事故調整因子作為研究方法，將反應變數設為隧道發生事故件數，另外本研究比較不同的變數轉換型式對於安全績效函數的影響，選擇效

果最為凸出的變數轉換型式作為後續研究的使用模式。

5. 建立事故調整因子

選擇研究使用的模式後，依照研究方法所敘，建立事故調整因子，分別建立逐年事故調整因子與總體事故調整因子，解釋結果並與相關文獻研究結果比較相同或相異之處，若有相異之處討論或進行論證分析原因。

6. 結論與建議

由研究分析資料、研究分析過程及研究結果討論比較等，確認研究目的之最終研究結論。另將研究過程重點、應注意之處、疑義或可為後續研究之項目，於研究建議中說明，供後續研究之參考。

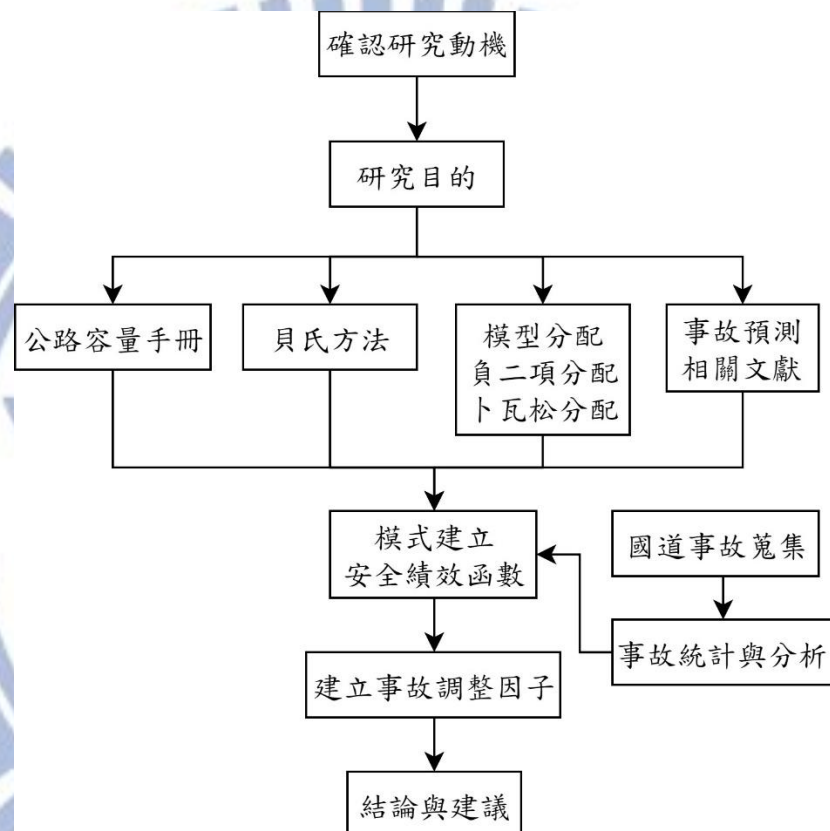


圖 1研究流程圖

二、文獻回顧

本研究文獻回顧主要可分為公路安全手冊、貝氏方法、事故分配相關之事故研究和事故預測相關文獻等四部分；第一部分藉由回顧美國公路安全手冊，瞭解對於事故名詞定義以及關於安全績效函數與事故調整因子的內容，進而提供本研究進行模式建構與比較分析參考；第二部分回顧貝氏分析法，介紹實證貝氏與充分貝氏分析法，以及實際在事故分析的運用；第三部分回顧事故分配相關之事故研究可得知過去事故分配相關之事故的研究內容以及所得的結論；第四部分回顧事故預測相關文獻，回顧本研究主要使用的研究變數速限對於事故預測的影響，以及過去隧道事故預測的相關研究。

2.1 公路安全手冊

美國非官方組織州際公路與運輸官員協會(AASHTO)於 2010 年發表第 1 版公路安全手冊(HSM)，提出具有科學基礎之數值化分析技術，運用量化方式針對道路安全、運輸經營、環境衝擊及建設經費等進行評估，改良傳統交通安全相關研究議題中，因交通事故發生數隨機起伏變異、迴歸趨於平均效應(regression-to-the-mean, RTM)下，而高估或低估各項交通政策或措施對於交通安全之影響，導致過度強調或忽略某項交通政策、道路特徵或交通量等可能影響交通事故發生之因子，不易通盤有效分析、安全預防及推廣運用之缺憾(AASHTO, 2010)。

公路安全手冊(HSM)提出結構性方法論，用以推估某路點(road site)、路段及路網，於特定期間、道路特徵、幾何設計、交通控制及交通量等因子影響下，長期碰撞事故發生頻次期望值，亦可推廣運用於預測尚未能獲得碰撞事故頻次(數)之路段，如新鋪築路段等，參考各項道路條件均類似之路段，推估該路段之期望碰撞事故數及評估其安全績效。某路段之長期平均碰撞事故發生頻次期望值(expected average crash frequency, N_{expected})，可運用碰撞事故發生頻次模型預測值(predicted average crash frequency, $N_{\text{predicted}}$)及碰撞事故發生頻次實際觀察值(observed crash frequency, N_{observed})進行推估，以降低碰撞事故發生頻次迴歸效應之影響，真實反應該路段之交通安全狀況(AASHTO, 2010)。

公路安全手冊中重要名詞及定義說明如下：

1. 碰撞事故(crash)：為一連串造成身體損傷、財物損害之事件，並且其中一方必須為機動車輛與其他機動車輛、自行車騎士、行人或其他物件發生碰撞，但不包含自行車與自行車、自行車與行人及發生於軌道上之車輛事故。
2. 碰撞事故發生頻次(crash frequency)：於特定路點、路段或路網，於某期間內發生碰撞事故之次數，期間多以年為基礎，單位為次/年。
3. 平均碰撞事故發生頻次期望值(expected average crash frequency)：推估長期某路點、設施、特定幾何道路幾何設計及交通量下平均碰撞事故發生頻次之期望值。碰撞事故本質上屬於隨機事件，觀察所得之發生頻次會產生自然增減波動，故短期碰撞事故發生頻次可靠度較低，故建議以長期年間為時間單位。

公路安全手冊(HSM)中進行碰撞事故分析應取得下列資料：

1. 碰撞事故案件資料(crash data)：包含碰撞事故案卷資料內記載之所有資訊，如發生地點、日期、時間、損傷嚴重程度、碰撞型態、道路基本資料、車輛資料及當事人資料。
2. 道路設施資料(facility data)：包含碰撞事故發生地之道路特徵組態，如道路等級、車道數、車道長度、有無分隔帶、路肩寬度等資料。
3. 交通量資料(traffic volume data)：公路安全手冊(HSM)中分析方法，需運用年平均日交通量(AADT)資料，若無法取得可利用平均日交通量(ADT)進行估算。

2.1.1 安全績效函數及其運用

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，如下公式(1) 和公式(2)此函數基本上由年平均日交通量、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)。

公路安全手冊中以針對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(1)(Park, J., et al., 2015)。

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

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，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，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(SPFS)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。
6. 依據函數診斷結果，再次修正安全績效函數，如此重複步驟5及步驟6。
7. 獲得有效之安全績效函數。

2.1.2 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)，如公式(3)及公式(4)，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， $CMF_Y = 1.81$ ，則此路口每年期望發生 6.8 次碰撞事故 ($7.9 \text{ 次/年} \times 0.81 \times 1.81 = 6.8 \text{ 次/年}$)。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)。

2.2 貝氏方法

傳統交通安全措施之研究，係直接觀察特定路段碰撞事故發生數及分析其肇事原因，續而採取預防再次發生相同肇事原因碰撞事故之措施，如因超速導致碰撞事故發生，則

採取加強執法強度之措施、因路面缺損導致事故發生而全面重新銑鋪路面等。由觀察實際碰撞事故發生數進行事前事後分析比較(before-and-after analysis, BA)擬定策略步驟時，容易發生觀察值起伏不定、無法代表長期期望值之迴歸效應(regression-to-the-mean)偏誤(bias)，另交通量、氣候環境等隨時間發生變化之現象，亦未能一併進行考量評估，不易取得事前明確且具有代表性之碰撞事故發生數期望值，亦即該特定路段於某一時段內觀察所得之實際碰撞事故發生數，並非該路段之長期平均碰撞事故發生數之良好估計值(estimate)，因此建議使用實證貝氏分析法(EB)解決此問題 (AASHTO, 2010, Hauer, E., 1997)。就交通安全議題可分由兩種方式進行研究及討論，可由特質(trait)變數進行分析，如駕駛者特性、交通特性及道路特徵等，另一種方式可由事故數值化分析，如碰撞事故發生頻次、碰撞事故發生率等，而實證貝氏分析法(EB)可整合此兩種資訊共同進行分析與推論(Hauer, E., 1997)。

貝氏分析法(Bayesian analysis approach)係基於對於研究主題之先備知識，再加入某些特定條件後，運用機率統計方式，推論衡量該研究主題於特定條件作用下之變化及影響。運用貝氏推論(Bayesian inference)時，於研究主體進行實驗或分析取得觀察值前，必需事先瞭解研究主題原始本質之內涵及特性，亦即先驗機率分布(prior probability distribution)，始能推論加入某特定條件或限制後，該研究主體於此條件或限制影響下之情狀，亦即後驗機率分布(posterior probability distribution)，貝氏分析方法依據獲取研究主體之先驗機率分布，以及結合目前獲得資訊之方法不同，可區分為實證貝氏分析法(empirical Bayesian approach, EB)及充分貝氏分析法(full Bayesian approach, FB)。

近期評估各種道路措施對行車安全影響之相關研究中，最常運用事前事後研究方法配合實證貝氏分析法(EB)或充分貝氏分析法(FB)進行分析(before-and-after study methodology with the empirical or full Bayes approach, BA with EB or FB)，公路安全手冊(HSM)亦建議使用實證貝氏分析法(EB)進行評估，不論運用實證貝氏分析法(EB)或充分貝氏分析法(FB)，係基於事前事後碰撞事故發生頻次之勝算比(odds ratio)概念，亦即碰撞事故發生頻次調整因子(CMF)，如下列公式(5) (Islam, M.T., El-Basyouny, K., 2015)，另評估執行某項措施後整體安全有效性(safety effectiveness)，可運用碰撞事故發生頻次變化之比率表示，如下列公式(6)。

$$CMF = OR_{overall} = \frac{\sum_{All\ sites} \lambda}{\sum_{All\ sites} \pi} \quad \text{公式(5)}$$

$$Safety\ effectiveness = 100\% \times (1 - OR_{overall}) \quad \text{公式(6)}$$

其中： λ 為某路段執行某項措施後（事後）觀察所得之碰撞事故數、 π 為該路段未執行該措施前長期平均碰撞事故發生頻次期望值，而長期平均碰撞事故發生頻次期望值 π ，可運用安全績效函數(SPF)配合實證貝氏分析法(EB)或充分貝氏分析法(FB)依據參考路段資料推估所得。

如運用實證貝氏事前事後分析法(BA with EB)推論事前未施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次期望值($N_{expected, B}$)，計算方式如公式(7)；事後施行措施之狀況下碰撞事故發生頻

次期望值($N_{\text{expected}, A}$)，計算方式如公式(8)；碰撞事故發生頻次調整因子(CMF)及其變異數 $\text{VAR}(\text{CMF})$ ，計算方式如公式(9)及(10)(Hauer, E. et al., 2000)：

$$N_{\text{expected}, B} = w(N_{\text{predicted}, B}) + (1 - w)(N_{\text{observed}, B}) \quad \text{公式(7)}$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times N_{\text{predicted}, B}}$$

$$N_{\text{expected}, A} = N_{\text{expected}, B} \times \frac{N_{\text{predicted}, A}}{N_{\text{predicted}, B}} \quad \text{公式(8)}$$

$$\text{CMF} = \frac{\frac{N_{\text{observed}, A}}{N_{\text{expected}, A}}}{\left[1 + \frac{\text{Var}(N_{\text{expected}, A})}{N_{\text{expected}, A}^2}\right]} \quad \text{公式(9)}$$

$$\text{VAR}(N_{\text{expected}, A}) = N_{\text{expected}, A} \times \frac{N_{\text{predicted}, A}}{N_{\text{predicted}, B}} \times (1 - w)$$

$$\text{VAR}(\text{CMF}) = \frac{\text{CMF}^2 \left[\left(\frac{1}{N_{\text{observed}, A}} \right) + \left(\frac{\text{Var}(N_{\text{expected}, A})}{N_{\text{expected}, B}^2} \right) \right]}{\left[1 + \frac{\text{Var}(N_{\text{expected}, A})}{N_{\text{expected}, A}^2} \right]^2} \quad \text{公式(10)}$$

其中：

$N_{\text{expected}, B}$ 為事前未施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次期望值

$N_{\text{expected}, A}$ 為事後施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次期望值

$N_{\text{predicted}, B}$ 為事前未施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值

$N_{\text{predicted}, A}$ 為事後施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值

$N_{\text{observed}, B}$ 為事前未施行措施之狀況下碰撞事故發生頻次觀察值

w 為權重因子(weight factor)

k 為負二項式安全績效函數過度離勢參數(over-dispersion parameter)

有關充分貝氏事前事後分析法(BA with FB)，為無訊息(non-informative)事前分布(prior distribution)，即對於事前分布各項參數均未知，可運用蒙地卡羅馬可夫鍊(Monte Carlo Markov Chain, MCMC)方法以迭代方式自未知參數之事前分布(prior distribution)配合 Metropolis-Hastings algorithm 或 Gibbs sampling 抽取樣本，直至參數估計量所構成之分布與事後分布(posterior distribution)相互收斂匯集(Pei, X., et al., 2011)。模擬分析電腦軟體過去以 Winbugs、Jags 為主流，近期發展迅速之 R 統計軟體(R-software)已有統計學者開發相關套件(package)，如 rbugs、rjags、coda 等，可進行充分貝氏方法(FB)及蒙地卡羅馬可夫鍊(MCMC)模擬計算及圖形化配適分析。

另實證貝氏比較分析法(comparison group with the empirical Bayes approach)先驗或事前資訊(prior information)取自與研究主體各項條件相似之參考群體(reference group)進行評估，由參考群體中獲得樣本平均數及變異，再進行後續計算及推論。於交通安全領域

中，先驗資訊可引用完成校估之安全績效函數(SPFs)所得之結果，獲得參考路段與研究路段某項相同特徵所致之平均碰撞事故發生頻次期望值($N_{expected, c}$)，視為該研究路段之先驗資訊，並假設碰撞事故發生頻次服從負二項式分配(negative binominal distribution, NB)，續配合研究路段觀察所得之碰撞事故發生頻次，以推論獲得研究路段之長期平均碰撞事故發生頻次期望值($N_{expected, t}$) (Persaud, 2010)(AASHTO, 2010)，如圖 2 所示。

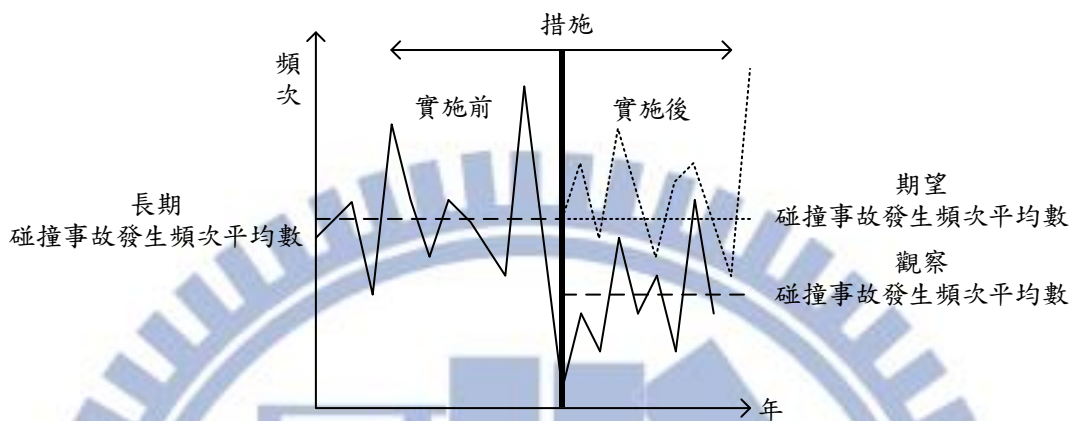


圖 2 運用貝氏分析法推論若未執行某措施下(after without measure)期望碰撞事故發生頻次（點虛線），與措施實施後觀察碰撞事故發生頻次（實施後短橫線），兩平均數之間之差異可運用事前事後法進行分析。

假設特定參考路段，經調查計算長期平均碰撞事故發生頻次期望值為 $E\{\kappa\}$ 、變異數 $VAR\{\kappa\}$ ，研究路段觀察所得之實際碰撞事故發生頻次為 K ，因選定參考路段時必須確認其各項特徵均與研究路段高度相似，各可將研究路段實際碰撞事故發生頻次 K ，視為參考路段長期平均碰撞事故發生頻次 κ 之子集，進一步將 $E\{\kappa|K\}$ 及 $VAR\{\kappa|K\}$ 視為研究路段於觀察得 K 件實際碰撞事故發生頻次條件(condition)下，長期平均碰撞事故發生頻次期望估計值及變異數期望估計值，示意如圖 3，可得下列公式(11)及公式(12)，但必須確認參考路段與研究路段有相同區間時間單位，如：次/年。

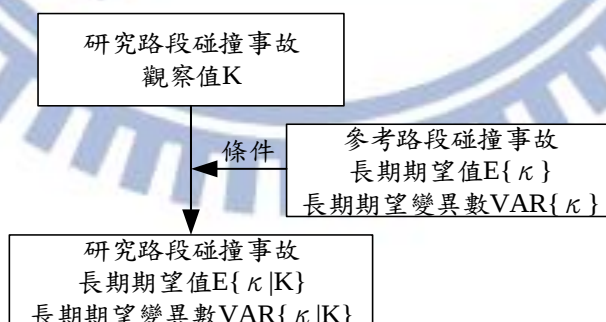


圖 3 實證貝氏分析方法示意圖

$$E\{\kappa|K\} = \alpha E\{\kappa\} + (1 - \alpha)K \quad \text{公式(11)}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{VAR\{\kappa\}}{E\{\kappa\}}} \quad \text{公式(12)}$$

其中：權重(weight) α 介於 0 至 1 之間，若權重 α 趨近於 1 則 $E\{\kappa|K\} = E\{\kappa\}$ 、若權重 α

趨近於 0 則 $E\{\kappa|K\}=K$ 。權重 α 受到參考路段之長期平均碰撞事故發生頻次期望值 $E\{\kappa\}$ 及變異數 $VAR\{\kappa\}$ 所影響，若變異數 $VAR\{\kappa\}=0$ ，即參考路段長期平均碰撞事故發生頻次為定值，如前要求參考路段與研究路段各項特徵高度相似，將研究路段視為參考路段之子集，故可獲得研究路段之長期平均碰撞事故發生頻次與參考路段長期平均碰撞事故發生頻次相同之推論；若參考路段長期平均碰撞事故發生頻次之變異數極大、 $VAR\{\kappa\}$ 遠大於 $E\{\kappa\}$ ，則權重 α 趨近於 0，參考路段之事故資料可能未達穩定，不適合用於推論研究路段之長期期望事故發生數。另一情況，若研究路段之觀察碰撞事故發生頻次 K 與參考路段長期平均碰撞事故發生頻次 $E\{\kappa\}$ 差異大時，公式(13)可修正此現象，即實證貝氏分析法(EB)可解決傳統碰撞事故數分析迴歸趨於平均(RTM)之現象。另研究路段於觀察得 K 件碰撞事故發生頻次下，長期平均碰撞事故發生頻次變異數期望估計值 $VAR\{\kappa|K\}$ ，計算方式如公式(13)(Hauer, E., 1997)。

$$VAR\{\kappa|K\} = (1 - \alpha)E\{\kappa|K\} \quad \text{公式(13)}$$

2.3 模式分配

交通事故可視為交通運行中進行試驗(trial)的結果，發生事故(成功)、未發生事故(失敗)，可依伯努利分配(Bernoulli distribution)表示，如公式(14)，若重複觀察某路段交通運行狀況事故發生數 X ，即重複進行 n 次交通運行試驗，可將事故發生數 k 之機率分配，以二項式分配表示，如公式(15)，若進一步長期觀察某路段交通運行狀況事故發生數 X ，即重複進行無限多次交通運行試驗，可將事故發生數 k 之機率分配，以卜瓦松分配(Poisson distribution)表示，如公式(16)，但卜瓦松分配必須服從隨機變數之期望值 λ 與變異數 σ^2 相等($\lambda = \sigma^2$)之假設(Hilbe, 2011)。

$$f(x) = p^x(1 - p)^{1-x} \quad \text{公式(14)}$$

其中： p 為發生事故(成功)之機率

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1 - p)^{(n-k)} \quad \text{公式(15)}$$

其中： p 為發生事故(成功)之機率、 q 為未發生事故(失敗)之機率($p + q = 1$)、 n 為試驗次數、 k 為事故發生數

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} [P(X = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)}] &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1 - p)^{n-k} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-k} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k!} \frac{\lambda^k}{n^k} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} = \frac{\lambda^k}{k!} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} = \\ &= \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \sim \text{Poisson}(\lambda) \end{aligned} \quad \text{公式(16)}$$

其中： p 為發生事故(成功)之機率、 q 為未發生事故(失敗)之機率($p + q = 1$)、 n 為試驗次數、 k 為事故發生數、 λ 為平均(期望)事故發生數($\lambda = np$)

卜瓦松分配必須服從隨機變量之期望值 $E(X)$ 與變異數 $V(X)$ 相等($E(X) = V(X) = \lambda$)之特性，但因交通事故之稀少性及隨機性，某路段特定期間內事故發生平均數與變異數難以相等，而呈現事故發生數變異數 $V(X)$ 大於期望值 $E(X)$ 之過度離勢(overdispersion)狀況，如以 2012 至 2015 年發生於國道五號之傷亡事故統計數為例，每年平均發生 23.5 件傷亡事故、傷亡事故變異數為 69.67 件、傷亡事故數之變異數大於平均數，未能符合卜瓦松分配特性，事故發生數之機率分配，不宜以卜瓦松分配進行後續分析。

負二項式分配(negative binomial distribution)克服未能符合卜瓦松分配期望值與變異數相等之要求(Shankar et al., 1995, Abdel-Aty and Radwan, 2000, Washington et al., 2010)。負二項式分配定義為進行一連串獨立且不相關之伯努利試驗，於第 r 次試驗成功前試驗失敗次數之分配，其數學推導結果為卜瓦松分配及伽瑪分配混合模型(Poisson-gamma mixture model)，符合負二項式分配隨機變量之變異數為 $\mu + \mu^2/v$ 或 $\mu + \alpha\mu^2$ ，其中 μ 為卜瓦松分配之變異數(或期望值)、 μ^2/v 或 $\alpha\mu^2$ 為伽瑪分配之變異數， v 或 $1/\alpha$ 為伽瑪分配之形狀參數(gamma shape parameter)、 α 為離勢參數(overdispersion parameter)，可修正隨機變量變異數 $V(X)$ 大於期望值 $E(X)$ 、過度離勢之問題。此外，可將卜瓦松分配視為負二項式分配之特例，當離勢參數 $\alpha = 0$ 時，負二項式分配降階為卜瓦松分配(Hilbe, 2011)。

2.4 事故預測相關文獻

2.4.1 速限的影響

Ellen et al.(2014)探討速限對於事故發生機率與嚴重度的影響。在西元 2001 年比利時的佛萊明大區政府決定降低大部分高速公路的速限從速限 90 公里/小時降低到速限 70 公里/小時，有 61 個道路區段總長度有 116 公里是受到速限改變的區段，而有 19 個道路區段總長度為 53 公里是速限維持在 90 公里/小時，而根據統計趨勢來看，在新的速限實施後降低 5% 的事故發生率，而最重要的是事故案例中牽涉到重傷以及致命的事故減少了 33%，因此作者認為速限的限制可以有效作用在交通安全上，尤其是控制事故的嚴重性。

NCHRP(2006)探討提高高速公路的速限對於交通安全的衝擊與意義，美國在 1987 年提高州際公路的速限從原來的 55 公哩/小時提高到 65 公哩/小時(只限通往人口數少於五萬的地區)，直到 1995 為止才廢除。而在這幾年的研究中發現速限提升後，總事故數目增加 3.3%，事故致死率則提高 24%，而致命事故的數目則增加了 28%。

Maria-Ioanna et al.(2016)對於速度研究方法提出不同的看法，作者認為儘管速限被視為影響事故發生的重要因素之一，但許多研究的發現其實是不一致的，這是因為許多事故頻次模型使用事故資料的方式是透過空間準則來整理事故資料，這個方法容易忽略事故的變化性，尤其是隨時間變化的變數如速度與容量。因此作者提出了一個新的事故

資料整合方法可以改善事故發生前道路狀態的表現形式，事故資料將會透過事故前的交通量及地理條件的相似性來整理與篩選，而這個方法被作者稱為條件基準方法。為了比較以上兩種不同的方法對於事故與速度之間的結果，作者使用英國 2012 年的路網資料以及全年的事故資料，結果顯示使用條件基準整合資料結果顯示高速度下將會引發事故發生；而使用空間準則來整合則呈現相反的結果，高速度下反而會降低事故的發生，所以作者認為處理資料的方法不同將會導致結果的不一致，作者認為自己提出的條件基準方法，在整合資料上更關注於事故發生時間以及地理條件。

2.4.2 隧道的影響

用路人透過隧道可以降低旅行時間增加用路人前往旅行目的地的便利性，因為隧道的存在讓用路人可以直接穿過擁擠的都市區域以及克服環境障礙如山區與河流，而隧道與一般開放式道路相比，因為隧道陰暗、狹窄的環境，讓用路人行駛在隧道內常產生焦慮的情緒(PIARC, 2008)。用路人害怕在隧道中與其他用路人發生衝突，因而調整自己的車速去降低風險，或是在用路人進入隧道時，突如其來的黑暗讓用路人需要時間適應環境，或是離開隧道時耀眼的陽光會導致用路人眼睛的不適等種種狀況都會造成用路人改變他們的駕駛行為，因此在隧道內行駛時，用路人需要更專注且更大的心理負荷能力(PIAR, 2008)。

有些研究指出越長的隧道越安全，但也有些研究認為隧道長度會影響事故發生頻次，隨著隧道長度增加，事故數目有會隨之增加，而這些原因可能來自於用路人的專注力會因隧道長度增加而遞減；此外隨著交通量增加並不總是會增加事故頻次，車流的狀態可分為自由車流與擁擠車流，在自由車流的狀態下，用路人可以有更多的自由去變換車道和超車，而這將會增加事故發生的風險，相反地在擁擠車流的狀態下，用路人會較謹慎注意道路狀況，因此降低事故發生的風險。

隧道事故預測最早開始於 1995 年發表在 Tunnel Safety 上，結果顯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 Raner, 2000)，事故頻次與隧道長度有正向相關，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，因此隧道得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受到隧道照明和隧道牆壁光亮與有所關連(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

本章節進一步介紹本研究採用之研究方法，研究方法主要分為安全績效函數與事故調整因子。在事故頻次模式將使用安全績效函數進行建構，在完成安全績效函數後使用事故調整因子評估變數結果。

3.1 國道安全績效函數分析

一般來說，使用安全績效函數廣泛選用的分配有負二項分配與卜瓦松分配，而卜瓦松分配假設需要平均數等於變異數，而從文獻提過 2012 至 2015 年發生於國道五號之傷亡事故統計數已經不符合卜瓦松分配的條件，且事故件數若來自不同路段且在不同時間區段下常是離散分布(Lord, 2005)，因此本研究將使用負二項分配進行安全績效函數的架構。

針對國道高速公路各隧道內之行車碰撞事故，逐個整理事故內容依年份、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與選取變數進行敘述統計分析外，須進行發生頻次模型配適(model fitting)，依據碰撞事故發生頻次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)，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(17)所示，代入國道高速公路隧道年日平均交通量建立國道高速公路隧道之安全績效模型及參數，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，研究隧道事故因子之情狀下，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。

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})) \quad \text{公式(17)}$$

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，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，本研究參考國外關於安全績效函數的變數處理方式(Kim, 2013)，該研究使用三種不同變數轉換的安全績效函數，分別為以公式(17)為基準無任何變數轉換、對 $AADT$ 取對數值以及對 $AADT$ 和路段長度取對數值等三種型式，而後再依據模型配適與模式績效選出最顯著的模式來代表使用。而本研究根據以上內容整理出了以下五種模式，首先模式一、二與模式三為參考上述學者的建構模式，模式一為無任何變數轉換的安全績效函數，模式二為對 $AADT$ 取對數值，模式三為對 $AADT$ 與隧道長度取對數

值，而本研究發現也有研究在使用安全績效函數時會對 AADT 取自然對數值(Lee, 2015)，因此本研究在根據前者模式二與三的狀況下建立了模式四與模式五，模式四為對 AADT 取自然對數值，模式五為對 AADT 與隧道長度取自然對數值。

- 模式一無變數轉換

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(AADT) + \beta_2(length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

- 模式二對 AADT 取對數值 $N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LogAADT) + \beta_2(length) \cdots \beta_k(X_{ki}))$

- 模式三對 AADT 與隧道長度取對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LogAADT) + \beta_2(Log length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

- 模式四對 AADT 取自然對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \beta_2(length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

- 模式五對 AADT 與隧道長度取自然對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \beta_2(LNlength) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

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，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 模式配適與檢定

一般而言，模式推估之統計特性主要包括檢定參數值是否顯著異於零及模式之配適度 (Goodness-of-Fit)，前者以卡方檢定，後者以概似比指標與貝氏資訊準則 (Bayesian Information Criterion；BIC) 來衡量，以下針對前述各指標分別說明。

1. 概似比指標

概似比指標之計算值如公式(18)，其結果須介於 0 至 1 之間，根據 McFadden(1977)研究指出，若 ρ^2 值介於 0.2 與 0.4 之間，模式會有較好的配適度。其中 $LL(\beta)$ 為將所有顯著變數及常數項均納入模式時之對數概似函數值 (log-likelihood)； $LL(C)$ 為模式僅考量常數項之對數概似函數值。

$$\rho^2 = 1 - \left(\frac{LL(\beta)}{LL(C)} \right) \quad \text{公式(18)}$$

2. 貝氏資訊準則(Bayesian Information Criterion；BIC)

BIC 考量到模式之複雜度，其計算方法如公式(19)所示，其值愈小，表示該模式相對有較佳之模式解釋績效，與無過度配適之情形，應予以先選用。其中 K 為該模式中顯著變數之個數， N 為總樣本數。

$$BIC = -2 \times LL(\beta) + K \times \ln(N) \quad \text{公式(19)}$$

3.3 建立國道隧道事故調整因子

本研究擬利用實證貝氏分析法建立事故調整因子推估與預測，參考文獻回顧關於實證貝氏分析法的部分，由於本研究係比較某項措施在不同情況對於事故頻次的影響，因此本研究套用該情境，假設 $N_{predicted,A}$ 為基準狀況以外的碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值， $N_{predicted,B}$ 為基準狀況的碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值，相對於原文獻是以事前事後有無實行該措施進行比較，本研究為比較該措施在不同情況下的變化。

$$N_{expected,B} = w(N_{predicted,B}) + (1 - w)(N_{observed,B}) \quad \text{公式(20)}$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times N_{predicted,B}}$$

$$N_{expected,A} = N_{expected,B} \times \frac{N_{predicted,A}}{N_{predicted,B}} \quad \text{公式(21)}$$

$$CMF = \frac{\left[\frac{N_{observed,A}}{N_{expected,A}} \right]}{\left[1 + \frac{Var(N_{expected,A})}{N_{expected,A}^2} \right]} \quad \text{公式(22)}$$

$$VAR(N_{expected,A}) = N_{expected,A} \times \frac{N_{predicted,A}}{N_{predicted,B}} \times (1 - w)$$

$$VAR(CMF) = \frac{CMF^2 \left[\left(\frac{1}{N_{observed,A}} \right) + \left(\frac{Var(N_{expected,A})}{N_{expected,B}^2} \right) \right]}{\left[1 + \frac{Var(N_{expected,A})}{N_{expected,A}^2} \right]^2} \quad \text{公式(23)}$$

其中：

$N_{expected,B}$ 為基準狀況下碰撞事故發生頻次期望值

$N_{expected,A}$ 為基準以外狀況下碰撞事故發生頻次期望值

$N_{predicted,B}$ 為基準狀況下碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值

$N_{predicted,A}$ 為基準以外狀況下碰撞事故發生頻次安全績效函數模型預測值

$N_{observed,B}$ 為基準狀況下碰撞事故發生頻次觀察值

w 為權重因子(weight factor)

k 為負二項式安全績效函數過度離勢參數(over-dispersion parameter)

四、資料蒐集與整理

4.1 資料蒐集

由於並非每一年每個隧道均有詳盡且正確的流量資料，本研究雖蒐集民國 100 年至 104 年的肇事資料，但流量資料並不包含星期一以及星期五如表 1 所示，向高速公路局詢問且獲悉沒有整理這兩天的流量，除非自行整理 VD 資料，而從高速公路局公開資料庫查詢 VD 資料後並非在研究年份民國 100 年至 104 年的資料都有的情況下，為解決星期一與星期五的缺失，本研究使用比重以代表該年度的日交通量，星期二至星期四佔有 60% 的比重，而星期六和星期日則各佔有 20% 的比重，而匯總得出即為該年的日交通量。另外蒐集的流量資料表示為各大區間段的日交通量參考值如表 1，區間段的表示形式為出入國道的位置，如基隆端-基隆、基隆-八堵、八堵-大華等，隧道流量按照隧道座落的區間段，得到相對應的流量，因此與實際數據或有些許落差。此外由於隧道事故本就稀少，若再考量嚴重度的問題將會影響分析結果，因此本研究把 A1、A2、A3 資料合併納入成為事故數。最後國道一號的大業隧道與中興隧道速限分別為 60 公里/小時和 70 公里/小時，此兩隧道與其他 25 座隧道的速限並不相同，且速限與一般國道規定的速限有不小的落差，因此排除大業隧道與中興隧道。

表 1 高速公路局日交通量參考值範例

路段方向	路段	週六	週日	週2-4
國1南向路段	基隆端-基隆	33,974	31,731	30,657
國1南向路段	基隆-八堵	31,262	30,190	28,312

單位:輛/天

本研究的研究地區為國道所有隧道，表 2 為國道隧道的基本資訊，包括隧道位置、隧道名稱、車行方向、隧道長度以及編號，編號為本研究為求整理資料方便而自行設定，編號並無任何意義僅代表排序，國道三號甲線編號為 1~4、國道三號編號為 5~34、國道五號編號為 35~44 和國道六號編號為 45~50，而國道隧道排除國道一號的中興與大業隧道後總共有 25 座，因為南北向隧道彼此之間互相獨立的關係，研究的區段總計有 50 個。

研究事故資料係以民國 100 年至民國 104 年國道三號、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，記錄的資料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。依據國內對交通事故嚴重程度的定義分為 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、A2 和 A3 事故過少將會併入事故資

料且依據事故發生地點歸納事故資料。。

年平均日交通量依據高速公路局提供 2011 年至 2015 年日交通參考值，另外前述有提過高速公路局並無提供星期一與星期五的交通量，因此推算日平均交通量，前述通過採用比重的方式，星期二至星期四佔有 60%，星期六和星期日各佔有 20%，並以此推算日平均交通量。隧道長度則以各自隧道的長度作為區分如表 2 所示，而國道隧道依照當初設計規格總共有三種車道數，分別為雙車道、三車道和四車道隧道。

本研究設計國道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：

1. 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。
2. 隧道長度：本研究並不會把隧道分區段進行分析，而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。
3. 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。
4. 速限：本研究依照高速公路局提供的國道速限表，依循隧道坐落區間段整理速限，而本研究把國道隧道速限分為三類，分別為速限80公里/小時、速限90公里/小時和速限100公里/小時以上。

國道高速公路六號於 2012 年 7 月改變其速限從 90 公里/小時增加到 100 公里/小時，而此交通管制措施的改變勢必會對分析結果產生重大的影響，或可在後續結果看到速限改變對於事故頻次發生帶來的影響，而從表 2 來看自 2012 年以後 A3 事故在雙車道隧道的比例有明顯大幅度的增加。

表 2 隧道編號本身並無特別意義純為研究方便而自行定義，事先使用 Excel 巨集定義各隧道事故發生範圍，分別依照不同國道、東西行和南北向來區分，再根據事故發生地點讓程式自行分配 2011 年至 2015 年的事故後，即得到各年在隧道編號下事故發生數目。

表 2 隧道編號

隧道位置	隧道名稱	車行方向	長度 (公尺)	編號	隧道位置	隧道名稱	車行方向	長度 (公尺)	編號
國道 3 號 甲線	臺北一號	東行	800	1	國道 3 號	景美	南下	564	15
		西行	790	2			北上	573	16
	臺北二號	東行	192	3		新店	南下	1,185	17
		西行	211	4			北上	1,222	18
國道 3 號	基隆	南下	1,255	5		碧潭	南下	521	19
		北上	1,278	6			北上	503	20
	七堵	南下	530	7		安坑	南下	466	21
		北上	555	8			北上	398	22
	汐止	南下	666	9		中和	南下	872	23
		北上	643	10			北上	831	24
	福德	南下	1,726	11		埔頂一號	南下	530	25
		北上	1,726	12			北上	555	26
	木柵	南下	1,848	13		埔頂二號	南下	335	27
		北上	1,875	14			北上	335	28
	大林	南下	154	29	國道 6 號	國姓一	東行	2,464	45
		北上	154	30			西行	2,447	46
	蘭潭	南下	1,254	31		國姓二	東行	535	47
		北上	1,212	32			西行	480	48
	中寮	南下	1,858	33		埔里	東行	1,309	49
		北上	1,825	34			西行	1,262	50

隧道位置	隧道名稱	車行方向	長度 (公尺)	編號
國道 5 號	南港	南下	456	35
		北上	455	36
	石碇	南下	2,698	37
		北上	2,720	38
	烏塗	南下	216	39
		北上	248	40
	彭山	南下	3,861	41
		北上	3,806	42
	雪山	南下	12,925	43
		北上	12,955	44

4.2 因變數

本研究採用的因變數為隧道發生事故件數(件數/年)，根據表 2 2011 年至 2015 年隧道事故數，依照 A1、A2、A3 和總事故數分類，A1 事故數目僅只有 3 件，A2 事故數目有 115 件，A3 事故數目有 2,405 件，總事故數有 2,531 件，從以上資訊可發現 A1 和 A2 的事故數目並不多，因此本研究不以嚴重度作為區分，而是以總事故數為因變數。

表 3 為各年事故在三個不同車道數的隧道中的分布情形，逐年來看整體隧道事故變化幅度並不是很大，從 2011 年 563 件事故數到 2015 年 563 件事故數，中間除了 2014 年突然增加將近 100 件事故，相當於前一年事故數的 16%，但在 2015 年又回落至 563 件事故數。以隧道數來看雙車道隧道事故數成長的幅度由 2011 年 50 件至 2015 年的 69 件，成長幅度約為 38%，三車道隧道 2011 年 491 件至 2015 年 474 件反而些微下降，但其在 2011 年至 2014 年之間三車道的事故數其實有些微增加，四車道隧道則穩定維持在 20 件事故數附近，除了 2013 大幅下降以外並沒有太多的變化。速限的部分 80 公里/小時 2011 年 27 件至 2015 年 18 件，下降三分之一的幅度，但其在 2011 年至 2014 其實是有上升的趨勢，速限 90 公里/小時 2011 年 510 件至 2015 年 484 件有些微下降的幅度，但除了在 2014 年的事故數突增以外，前幾年並沒有明顯增加的趨勢，速限 100 公里/小時以上 2011 年 26 件至 2015 年的 61 件成長將近 135%，而在 2013 年後突然增加的趨勢與國道六號改變速限有所關聯。

表 3 高速公路隧道事故年份統計

年份 事故類別	2011	2012	2013	2014	2015	合計
雙車道隧道	50	51	70	104	69	344
三車道隧道	491	504	497	540	474	2506
四車道隧道	22	17	8	24	20	91
合計	563	572	575	668	563	2941
速限80公里/小時	27	26	31	41	18	143
速限90公里/小時	510	523	519	582	484	2618
速限100公里/小時以上	26	23	25	45	61	180
合計	563	572	575	668	563	2941

單位:件

若以年份為時間分區，統計該年的事故頻次至相對應的隧道編號之中，可得到一年 50 個樣本五年總計有 250 個樣本數，而研究隧道的交通量則取決於當年該隧道的日交通量參考值，最後得到各隧道的每公里事故件數。表 4 為三種車道數隧道的事故頻次，可以發現三車道隧道樣本數大於其他兩者且事故頻次遠大於其餘兩者，而三車道隧道的每車道平均交通量也是最大；雙車道隧道的事故頻次也大於四車道隧道，但雙車道的每車道平均交通量卻小於四車道隧道的每車道平均交通量。以上觀察並不能代表三車道隧道較易發生車禍，因為三車道隧道的樣本數較多可能導致其曝光量也較多，但令人驚訝的是雙車道隧道與四車道隧道的比較結果看到交通量少的一方事故頻次卻比較大。

表 4 三種車道數隧道的事故頻次

車道數	樣本數	總隧道長度(公尺)	每車道平均交通量(輛/天)	事故頻次(件/年)
雙車道隧道	95	50,362	11,945	63.4
三車道隧道	135	25,910	21,695	485.2
四車道隧道	20	1,755	17,614	17.2

若依照年份分隔，可得出 2011 年至 2015 年之間事故頻次的變化如表 5 所示，近年來隧道事故發生頻次有略微上升的趨勢，特別是在 2014 年的時候最高隧道內每公里平均會發生 7 起事故，而從每車道平均交通量並無明顯變化維持在 13,000 輛/天左右。

表 5 2011 年至 2015 年每車道日平均交通量參考值

年份	每車道平均交通量(輛/天)	事故頻次(件/公里)
2011	13,431.11	6.18
2012	13,249.08	6.49
2013	12,864.54	6.82
2014	12,950.01	7.26
2015	13,046.88	6.12

4.3 自變數

本研究使用的自變數之敘述性統計如表 6 所示，分別為隧道長度、日交通量參考值和速限，其中隧道長度與日交通量參考值為連續變數，車道數和速限為虛擬變數。總觀測隧道長度有 78,279 公尺其中雙車道隧道總長度有 50,614 公尺，三車道隧道總長度有 25,910 公尺，四車道隧道總長度有 1,755 公尺。日交通量參考值的部分，從 2011 年至 2015 年間的車流量經高速公路局提供整理，資料內容可分為周六、周日以及周二至周四等三個時間區段按照 20%、20%和 60%的比例得出年平均日交通量參考值。而虛擬變數的部分，車道數可分為雙車道隧道、三車道隧道和四車道隧道，而各車道佔有總區段的比例分別為 38%、54%和 8%，四車道隧道呈現相當稀少的狀況，而速限的部分可分為速限 80 公里/小時、速限 90 公里/小時和速限 100 公里/小時以上，而各速限所佔的比例分別為 24%、44%和 32%，相較於車道數而言分佈較為平均。

表 6 自變數之敘述性統計(連續變數)

自變數		平均值	標準差	最小值	最大值
年平均日交通參考值(輛/天)		60,197	18,001	11,879	78,671
隧道長度 (公里)	雙車道隧道	2.664	3.814	0.192	12.955
	三車道隧道	0.960	0.572	0.154	1.875
	四車道隧道	0.439	0.120	0.335	0.555

表 7 自變數之敘述性統計(虛擬變數)

自變數	定義	數目(佔總比例)
車道數	雙車道	19(38%)
	三車道	27(54%)
	四車道	4(8%)
速限	速限80公里/小時	12(24%)
	速限90公里/小時	22(44%)
	速限100公里/小時	16(32%)

4.4 變數處理

本研究使用的研究變數中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，本研究並未如其他研究把速限當作連續變數使用，因為在台灣國道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，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 8 為兩變數的虛擬變數表示方式，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 8 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

4.5 變數關係

在使用負二項回歸之前，先確認因變數與自變數之間的關係，利用散佈圖觀察兩者的趨勢，依序帶入日交通量參考值與車道數或速限，為求觀察方便的因素，會調整變數的表現形式，日交量參考值會取 LN 值的方式表示，而為求了解方便，表 9 列出日交通量參考值的 LN 值對應的實際交通量。

表 9 日交通量參考值(LN)與實際值對照表

日交通量參考值(LN)	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2
日交通量參考值(輛/天)	5,432	6,634	8,103	9,897	12,088	14,765	18,034	22,026	26,903

圖 4 為速限與事件數的關係圖，直線與虛線代表的是簡單線性回歸，橫軸是日交通量參考值(LN)，縱軸事件數，可以發現速限在 80 公里/小時與 100 公里/小時以上隨

著日交通量參考值的變化幾乎不對事故件數產生影響，而速限 90 公里/小時則明顯看出日交通量參考值上升而事故件數增加的狀況，但在高日交通量參考值的情況下低事故件數仍佔有相當的比例。而從此圖也可以看到速限 80 公里/小時的事故數目僅在 8,100 至 15,000 輛/天的區間，速限 90 公里/小時則分佈在 6600 輛/天及 18,000 輛/天以上的區間和 12,000 輛/天也有一些零散的分佈，速限 100 公里/小時以上分佈在大約 5,500 至 7,500 輛/天之間和 18,000 輛/天附近。



圖 4 日交通量與事故件數關係圖(依速限區分)

圖 5 為車道數與事故件數的關係圖，車道數代表分別為雙車道隧道、三車道隧道與四車道隧道，橫軸為日交通量參考值(LN)，縱軸代表事故件數，由於四車道隧道樣本少且座落的區域範圍小因此未作簡單線性回歸，從圖可發現雙車道隧道和四車道隧道的事故件數均偏低，而三車道隧道則幾乎佔有了高事故頻次座落的區域，從日交通量參考值角度觀察可以發現雙車道隧道與三車道隧道的事故分佈都非常極端，幾乎沒有中間值的存在，雙車道隧道事故主要分佈在日交通參考值 8.9 以下(7,332 輛/天)與 9.4 至 9.6 之間(12,088 輛/天至 14,765 輛/天)，三車道隧道主要分佈在日交通參考值 8.8 以下(6,634 輛/天)和 9.8 以上(18,034 輛/天)，而從以上發現可以推斷對於雙車道隧道與四車道隧道而言，日交通量不論高或低皆容易導致事故發生。

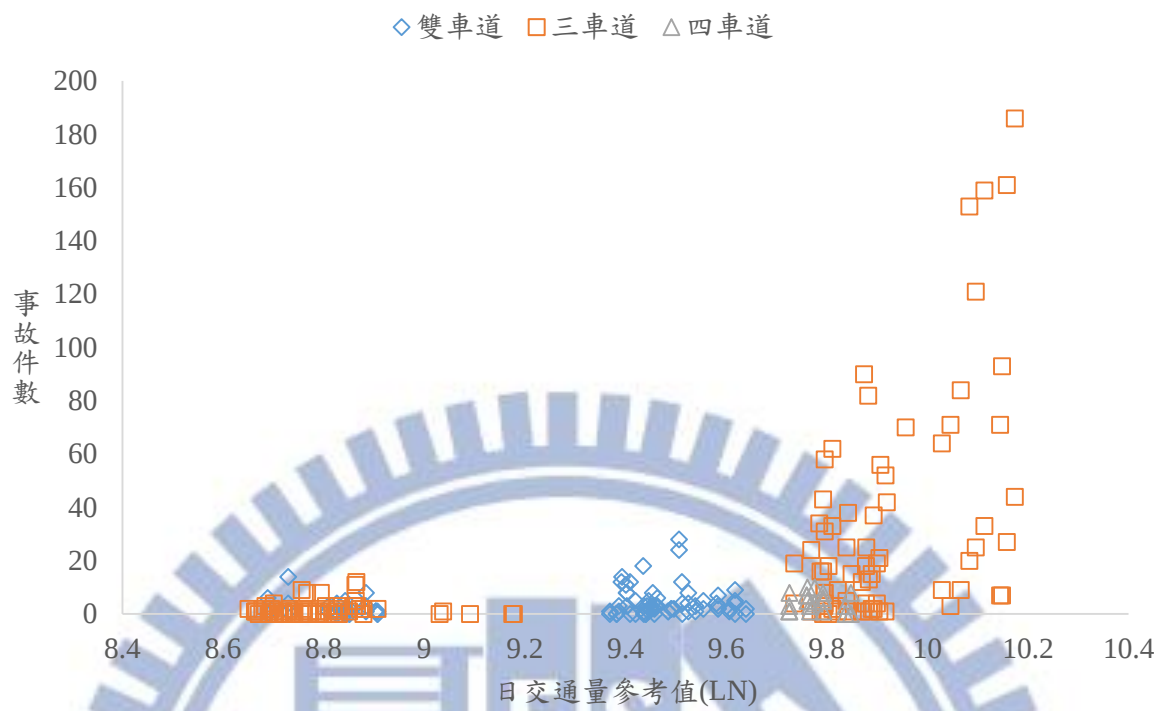


圖 5 日交通量參考值與事故件數散佈圖(依車道數區分)

五、模式建立與分析

本節內容就第四章整理的因變數和自變數建立安全績效函數，安全績效函數的因變數選用各隧道的事務數(件/年)並建立五種對應變數有不同處理方式的模式，使用概似比指標與貝氏資訊準則(BIC)選取表現較佳的變數轉換模式後，再使用選取的模式進行後續的分析，透過選取安全績效函數模式探討各項影響因素對於事故數是否有顯著影響。而分析以逐年和整體，兩種不同的時間序列進行分析，藉以判斷不同隧道交通量、隧道長度、車道數、速限與事故數有無顯著影響，最後在建立事故調整因子，表 10 為模式使用參數代號的示意，但實際上變數有取 Log 或 Ln 值均會在表格上註明。

表 10 模式參數示意

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

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。在參數求解上採用最大概似法進行推估，此外分析的區段有 50 個，而以 2011 年至 2015 年為止總共五年，則總共會有 250 個樣本。本研究在進行全盤分析以前，會先比較五種模式，爾後選擇表現較好做為之後分析使用的模式，而這五種模式在 3.1 小節已經介紹過，但仍在下面列出。

- 模式一無變數轉換

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(AADT) + \beta_2(length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$
- 模式二對 AADT 取對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LogAADT) + \beta_2(length) \cdots \beta_k(X_{ki}))$$
- 模式三對 AADT 與隧道長度取對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LogAADT) + \beta_2(Log length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$
- 模式四對 AADT 取自然對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \beta_2(length) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

- 模式五對 AADT 與隧道長度取自然對數值

$$N_{predicted,i} = \exp(\beta_0 + \beta_1(LNAADT) + \beta_2(LNlength) + \cdots \beta_k(X_{ki}))$$

表 11 為前述五種不同的安全績效函數的概似比指標與 BIC 的對照表，其中模式概似比指標分別為:0.1516、0.1463、0.1466、0.1463、0.1595；而 BIC 較小的為模式五，表示其有相對較佳的解釋績效，綜合考量概似比指標、BIC 值之結果，可得知模式五擁有較佳之模式配適度與模式解釋績效，因此選擇模式五作為後續分析使用的事故頻次預測模式，而本研究依據模式五的分析結果說明，以總體(2011 年至 2015 年)來看，速限 80 公里/小時相較於速限 90 公里/小時則會顯著降低事故的發生，隧道長度越長則會顯著增加事故的發生，四車道相對於三車道則會顯著降低事故的發生，日交通量參考值越大則會顯著增加事故的發生。

表 11 安全績效函數概似比指標與 BIC

	模式一	模式二	模式三	模式四	模式五
概似比指標	0.1516	0.1463	0.1466	0.1463	0.1595
BIC	1401.6011	1410.0282	1409.7492	1410.0282	1388.9421

表 12 為前述五種不同的安全績效函數比較表格，使用 2011 年至 2015 年的事故及各事故因子資料，可以發現模式一中速限 80 公里/小時、四車道、隧道長度與日交通量參考值是非常顯著；模式二中速限 80 公里/小時、四車道與日交通量參考值是非常顯著；模式三中速限 80 公里/小時非常顯著，而四車道、隧道長度與日交通量參考值是顯著；模式四中速限 80 公里/小時、四車道與日交通量參考值是非常顯著，而隧道長度是顯著；模式五中速限 80 公里/小時、四車道、隧道長度與日交通量參考值是非常顯著。從以上資訊可以得到在以上五種不同變數轉換的安全績效函數中各顯著變數均相同，速限 80 公里/小時相較於速限 90 公里/小時較不容易發生事故，隧道長度越長越容易發生車禍(除模式三以外)，四車道相對於三車道較不容易發生事故，日交通量參考值越大越容易發生事故。

表 12 安全績效函數對照表

模式一				模式二			
參數	係數	標準差	p-value	參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-0.7255	0.2974	0.0147	Intercept	-21.274	1.9489	<.0001
SPEEDLIMIT1	-1.1222	0.3414	0.0010	SPEEDLIMIT1	-1.4336	0.3429	<.0001
SPEEDLIMIT3	-0.1482	0.2930	0.6131	SPEEDLIMIT3	-0.0138	0.3068	0.9642
Lanenu2	0.0198	0.2965	0.9466	Lanenu2	-0.0391	0.3024	0.8971
Lanenu4	-1.0382	0.3592	0.0038	Lanenu4	-1.4497	0.3825	0.0002
Length	0.1065	0.0400	0.0077	Length	0.0769	0.0403	0.0567
Traflow	1.9185	0.1536	<.0001	Log of Traflow	5.7041	0.4620	<.0001
模式三				模式四			
參數	係數	標準差	p-value	參數	係數	標準差	p-value
Intercept	290.5445	149.19	0.0515	Intercept	-21.274	1.9489	<.0001
SPEEDLIMIT1	-1.6986	0.2696	<.0001	SPEEDLIMIT1	-1.4336	0.3429	<.0001
SPEEDLIMIT3	-0.5906	0.3147	0.0605	SPEEDLIMIT3	-0.0138	0.3068	0.9642
Lanenu2	0.6214	0.2539	0.0144	Lanenu2	-0.0391	0.3024	0.8971
Lanenu4	-0.7303	0.4540	0.1077	Lanenu4	-1.4497	0.3825	0.0002
Log of Traflow	67.0590	29.4832	0.0229	Ln of Traflow	2.4773	0.2007	<.0001
Log of length(km)	-578.10	277.16	0.0370	Length(km)	0.0769	0.0403	0.0567

模式五			
參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-20.9381	1.8468	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7844	0.288	0.0021
SPEEDLIMIT3	0.0187	0.2818	0.9472
Lanenu2	-0.2682	0.2618	0.3057
Lanenu4	-1.1217	0.3644	0.0021
Ln of Traf flow	2.4485	0.1904	<.0001
Ln of length(km)	0.4721	0.0945	<.0001

5.2 安全績效函數分析

5.2.1 各年份的安全績效函數

針對各年份的安全績效函數進行分析，並以各區段該年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每年的安全績效函數，2011 年的安全績效函數分析結果如表 13，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)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，也就是速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時會使事故數目減少；車道數(Lanenu)雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，雙車道和四車道相對於三車道會使事故數目減少；日交通量參考值(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中以日交通參考值最為顯著，隧道長度較為顯著，其餘變數均不顯著。

圖 6 為 2011 年對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事故件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事故數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上對於事故數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事故數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故。

圖 7 為 2011 年車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間並沒有中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道僅只有 4 個樣本且分佈集中無法直接推論對於事故發生的影響。

表 13 2011 年安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-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 Trawflow	2.3071	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.4725	0.2051	0.0212
Log Likelihood	-128.4876		

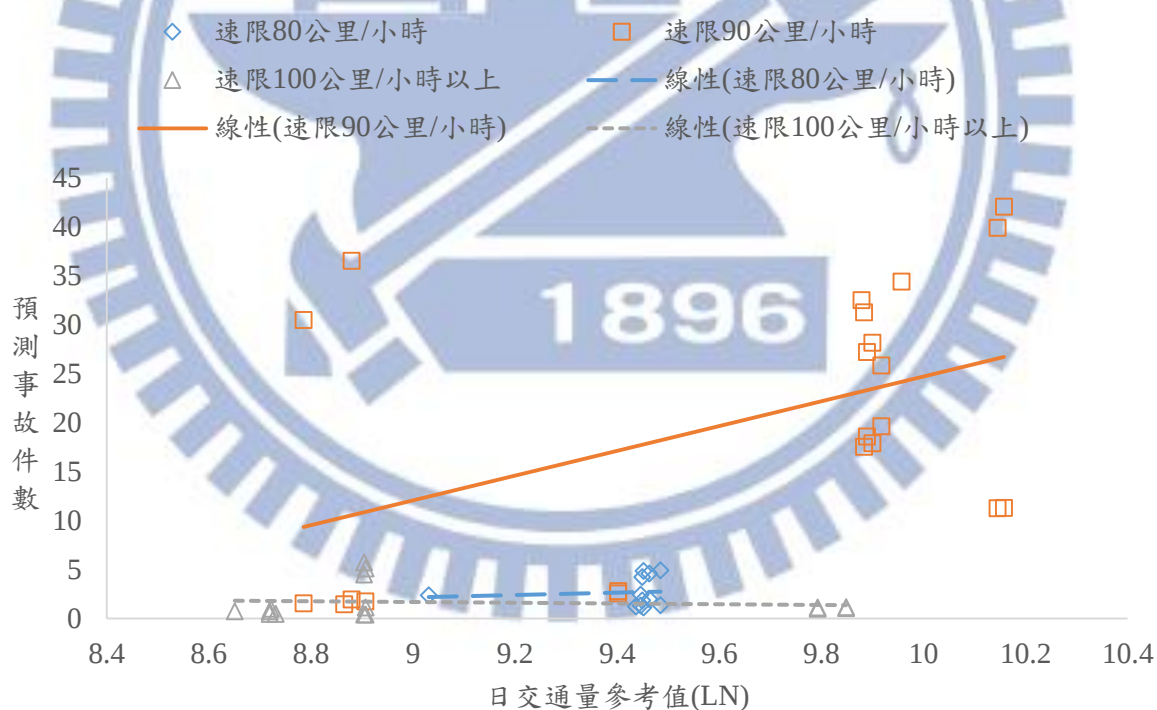


圖 6 2011 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)

2012 年的安全績效函數分析結果如表 14，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)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(Lanenu)雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，雙車道和四車道相對於三車道會使事故數目減少；日交

通量參考值(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中以日交通參考值最為顯著，隧道長度較為顯著，其餘變數均不顯著。。



圖 7 2011 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

表 14 2012 年安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-18.7596	3.6997	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.6923	0.7231	0.3383
SPEEDLIMIT3	-0.6184	0.6232	0.321
Lanenu2	-0.845	0.6077	0.1644
Lanenu4	-0.5446	0.7962	0.494
Ln of Traf flow	2.2247	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.4613	0.2127	0.0301
Log Likelihood	-126.145		

圖 8 為 2012 年對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事故件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事故數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時

以上對於事故數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事故數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故。

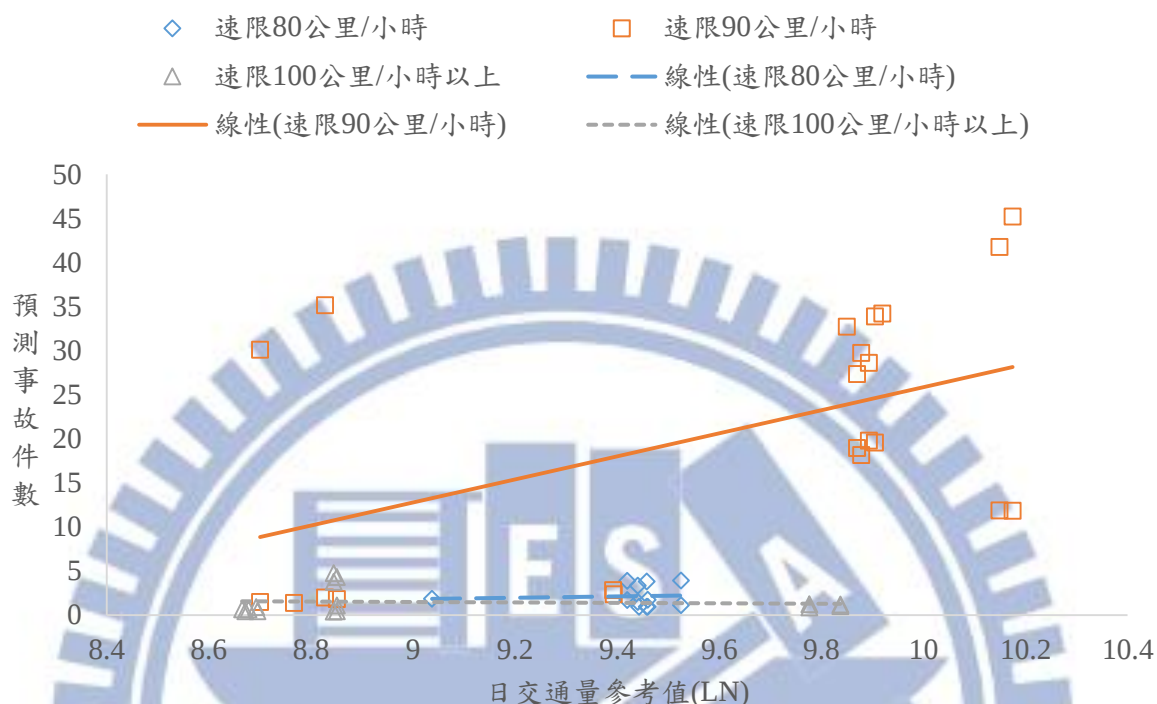


圖 8 2012 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)

圖 9 為 2012 年車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間並沒有中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道僅只有 4 個樣本且分佈集中無法直接推論對於事故發生的影響。

2013 年的安全績效函數分析結果如表 15，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)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(Lanenu)雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，雙車道和四車道相對於三車道會使事故數目減少；日交通量參考值(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中以日交通參考值最為顯著，四車道隧道較為顯著，其餘變數均不顯著。。

圖 10 為 2013 年對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事故件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事故數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上對於事故數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事故數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發

現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故。



圖 9 2012 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

表 15 2013 年安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-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 Traf flow	2.4975	0.3869	<.0001
Ln of length(km)	0.3299	0.1908	0.0839
Log Likelihood	-132.1137		

圖 11 為 2013 年車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間並沒有中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨

日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道僅只有 4 個樣本且分佈集中無法直接推論對於事故發生的影響。

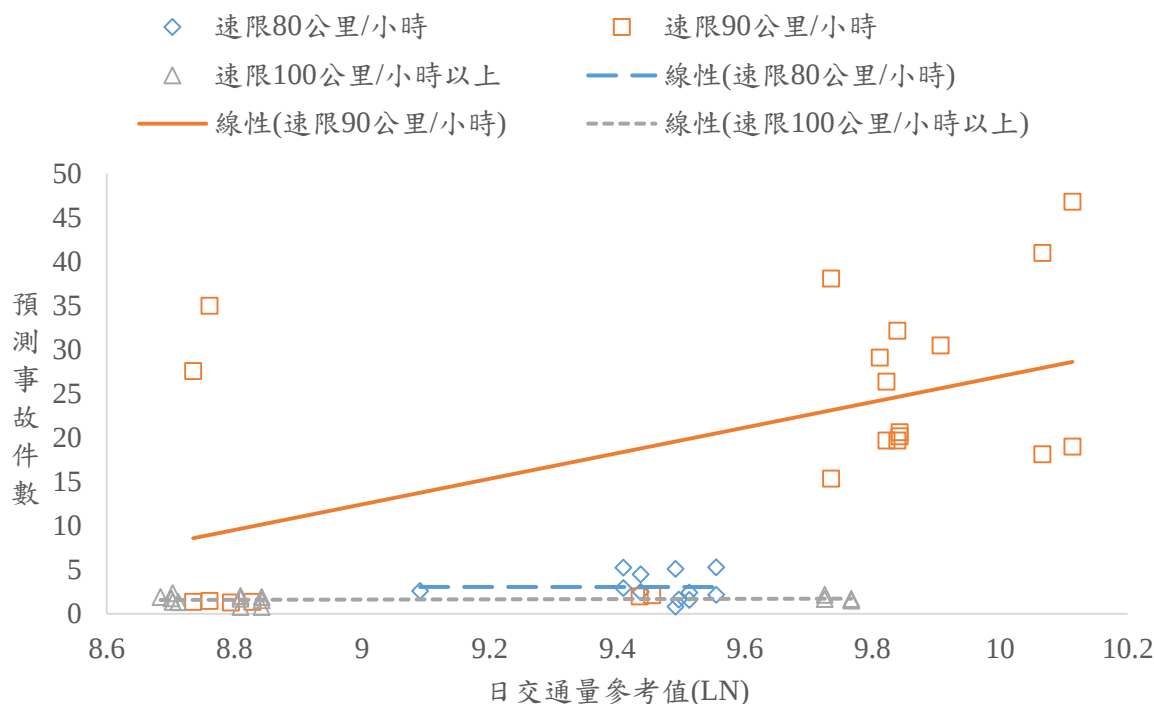


圖 10 2013 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)

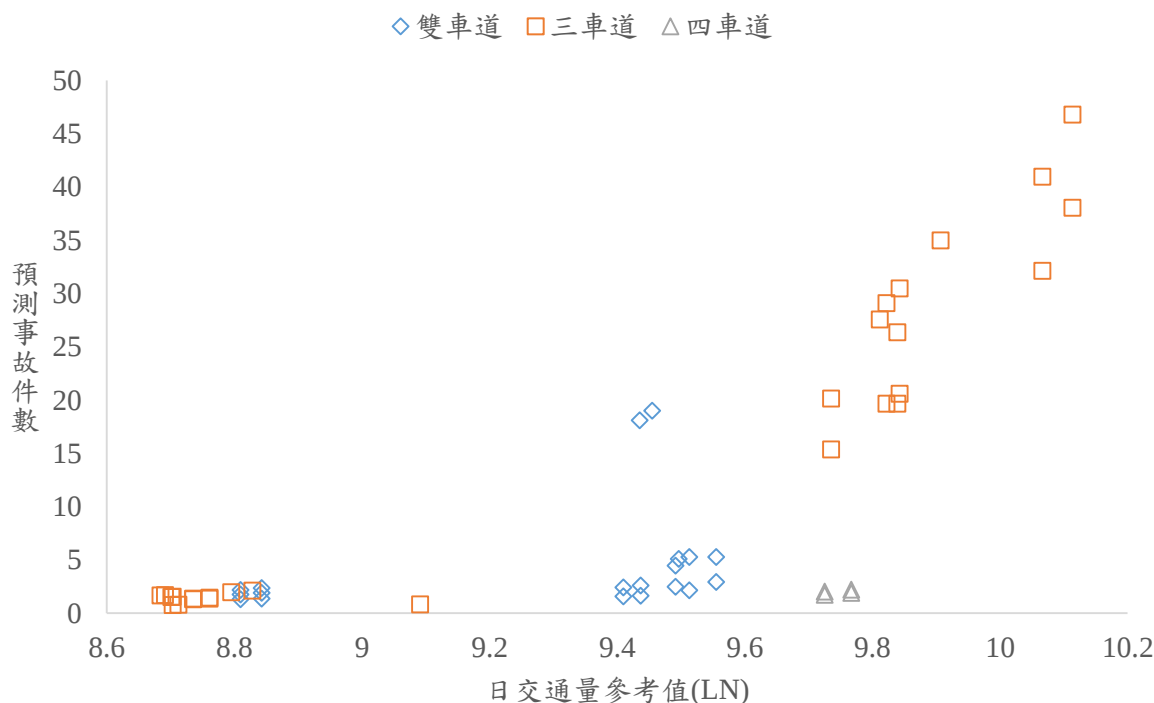


圖 11 2013 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

2014 年的安全績效函數分析結果如表 16，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關

係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)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(Lanenu)雙車道和四車道相對於三車道對事故數有負向關係，雙車道和四車道相對於三車道會使事故數目減少；日交通量參考值(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中以日交通參考值最為顯著，隧道長度較為顯著，其餘變數均不顯著。

圖 12 為 2014 年對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事件數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上對於事件數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事件數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故。

表 16 2014 年安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-20.6071	4.484	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7217	0.7819	0.356
SPEEDLIMIT3	-0.0838	0.6508	0.8975
Lanenu2	-0.3526	0.6118	0.5643
Lanenu4	-0.7387	0.8604	0.3906
Ln of Traf flow	2.4302	0.4649	<.0001
Ln of length(km)	0.6154	0.2282	0.0301
Log Likelihood	-141.4042		

圖 13 為 2014 年車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間並沒有中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道僅只有 4 個樣本且分佈集中無法直接推論對於事故發生的影響。

2015 年的安全績效函數分析結果如表 17，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)80 公里/小時相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有正向關係；車道數(Lanenu)雙車道相對於三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，雙車道相對於三車道會使事故數目增加，四車道相對於三車道會使事故數目減少；日交通量參考值(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中以日交通參考值最為顯著。

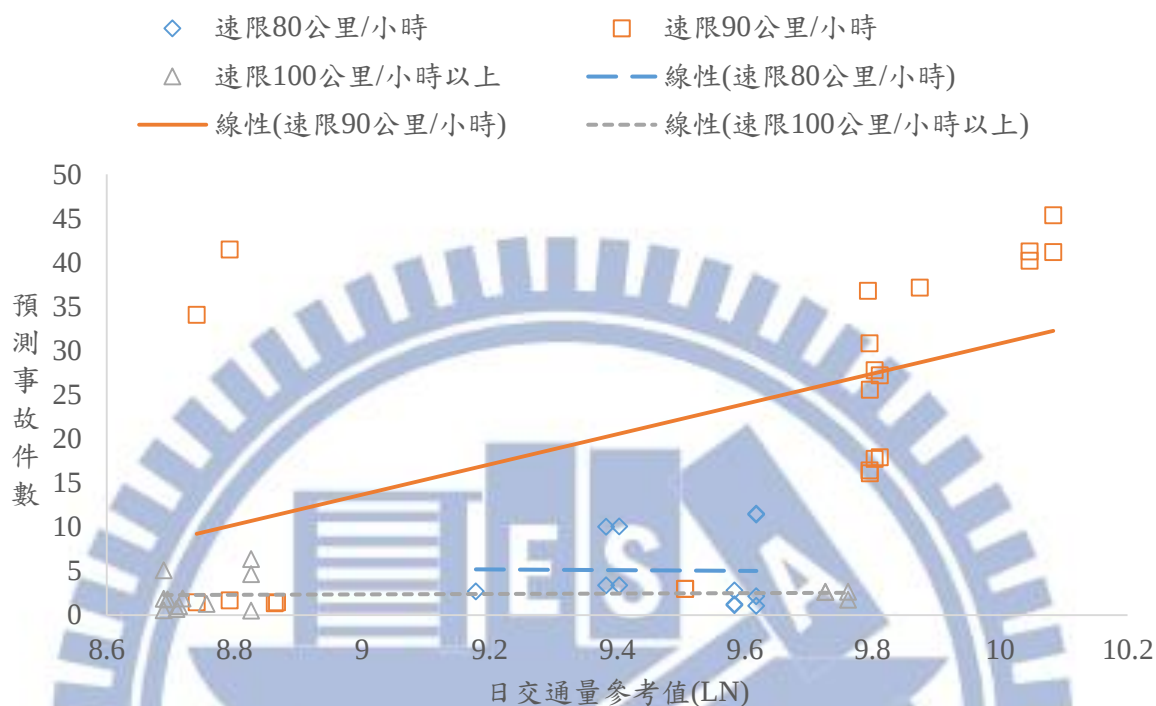


圖 12 2014 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)



圖 13 2014 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

圖 14 為 2015 年對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事故件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事故數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上對於事故數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事故數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故，與前 4 年不同的地方在於低日交通量參考值的區域裡，速限 100 公里/小時以上區段的預測事故件數遠大於速限 90 公里/小時，這是導致 2015 年安全績效函數速限 100 公里/小時以上的係數從負轉為正的關鍵，讓速限 100 公里/小時以上會影響事故件數增加。

表 17 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		

圖 15 為 2015 年車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間則稀稀落落散佈一些中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道僅只有 4 個樣本且分佈集中無法直接推論對於事故發生的影響。

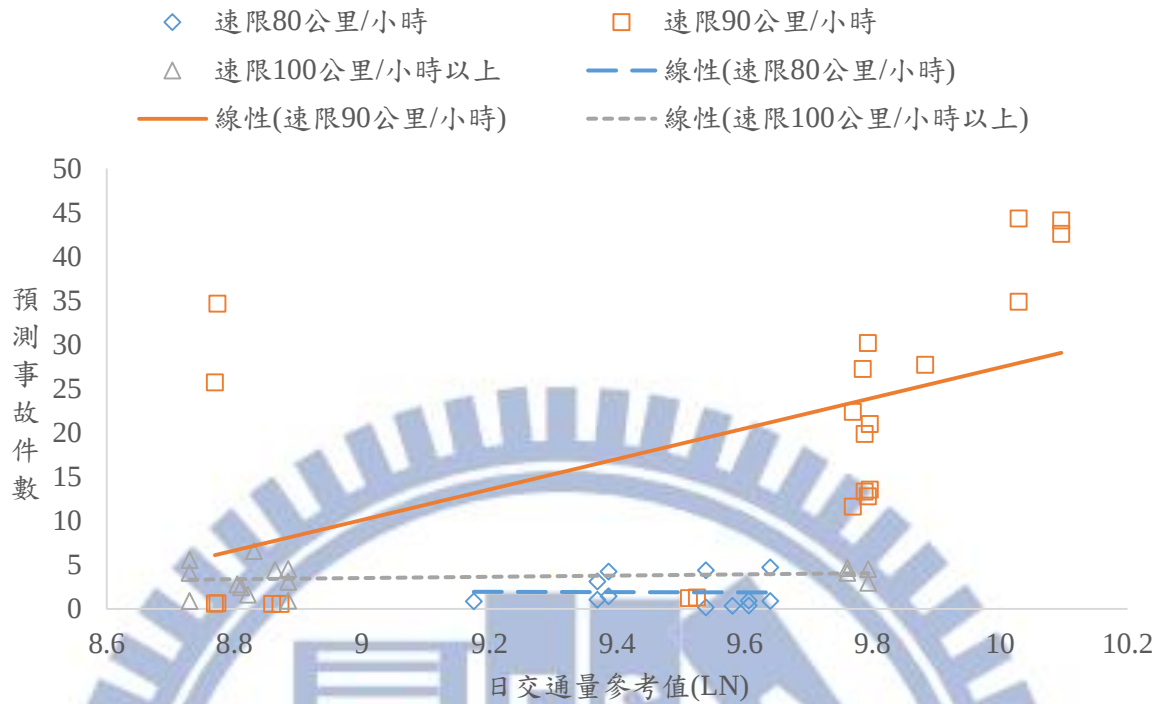


圖 14 2015 年日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)



圖 15 2015 年日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

綜合以上 6 年，可發現前五年的模式的結果皆大同小異，速限 80 公里/小時以及 100 公里/小時以上相對於 90 公里/小時對事故數有負向關係，而最後 2015 年結果卻與前 5 年不同，會導致此原因發生的可見於圖 10，發現在日交通參考值 9 以下時速限 100 公

里/小時以上的事故數遠大於 90 公里/小時，而前 5 年的關係卻恰好相反，根據回顧事故資料發現在 2015 年的國道六號 A3 事故比 2014 年多了 31 件，2014 年 A3 事故也只有 10 件，但在仔細回顧 2015 年的相關新聞與事件並不見關於國道六號的交通安全政策或措施與事故高發生有任何關係，因此推測為該年高浮動而產生的極端變化。

5.2.2 整體事故模式分析

總體安全績效函數分析結果如表 18，隧道長度(Ln of length)對事故數有正向關係，隧道長度增加時會導致事故增加；速限(SPEEDLIMIT)80 公里/小時相對於速限 90 公里/小時對事故數有負向關係，100 公里/小時以上相對於速限 90 公里/小時對事故數有正向關係；車道數(Lanenu)雙車道與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(LN of Traf flow)對事故數有正向關係，日交通量增加會使事故數目增加。以上變數之中除速限 100 公里/小時與雙車道較不顯著以外，其他變數表現均為顯著。

表 18 總體安全績效函數估計結果

參數	係數	標準差	p-value
Intercept	-20.9381	1.8468	<.0001
SPEEDLIMIT1	-0.7844	0.288	0.0021
SPEEDLIMIT3	0.0187	0.2818	0.9472
Lanenu2	-0.2682	0.2618	0.3057
Lanenu4	-1.1217	0.3644	0.0021
Ln of Traf flow	2.4485	0.1904	<.0001
Ln of length(km)	0.4721	0.0945	<.0001
Log likelihood	-672.38		

圖 16 為總體對日交通量參考值(LN of Traf flow)及預測事故件數使用簡單回歸分析並區分出不同速限的狀況，橫軸為日交通量參考值，縱軸為模式預測事故數，從圖中可以明顯得知速限(SPEEDLIMIT)90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上對於事故數的影響是隨日交通量參考值增加而上升，而速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上則對於事故數目幾乎不受日交通量參考值的變化而影響；而圖中也可以發現速限 90 公里/小時相對於速限 80 公里/小時和 100 公里/小時以上較容易發生事故。

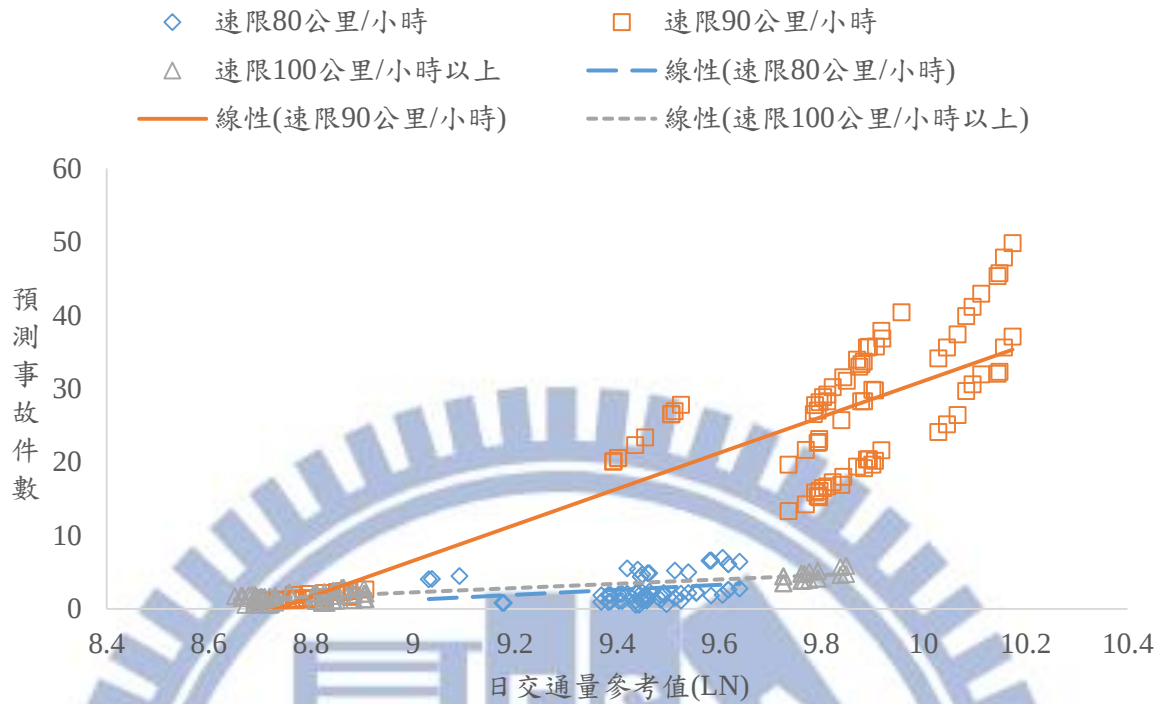


圖 16 總體日交通量參考值與預測事故數目的關係圖(依速限區分)

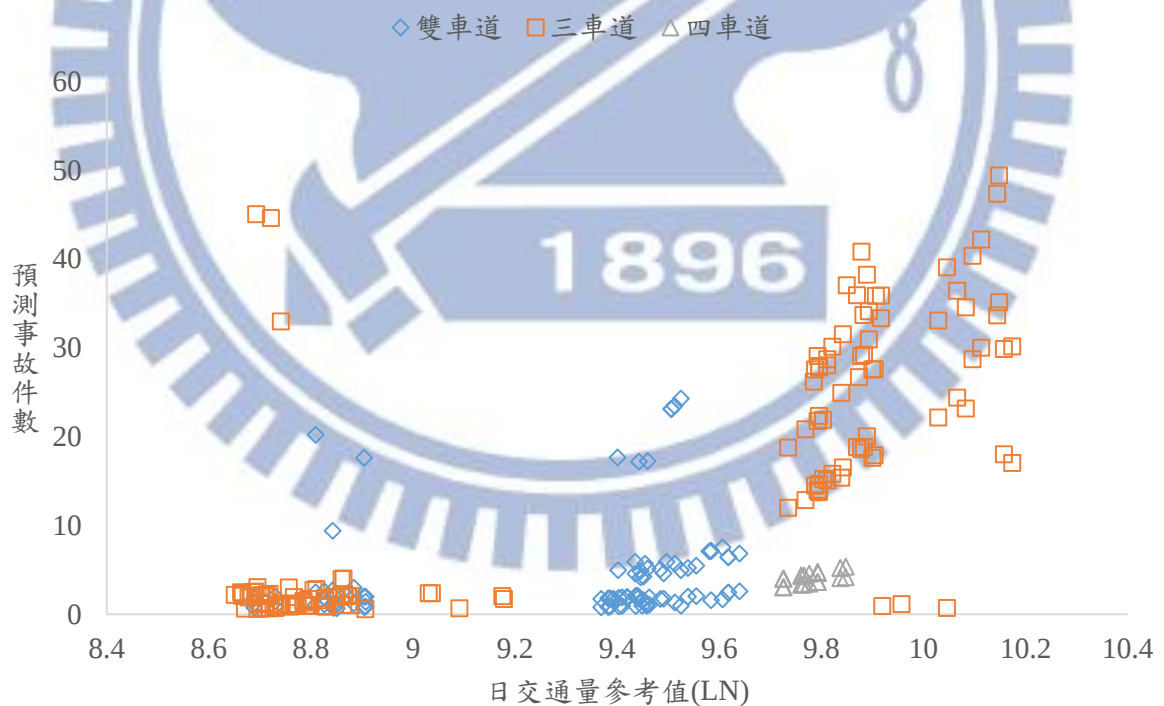


圖 17 總體日交通量參考值與事故預測件數的散佈圖(依車道數區分)

圖 17 為總體車道數及事故預測件數的散佈圖，因四車道隧道僅只有四個區段因此未作回歸僅以散佈圖表示，從圖 7 中可看到雙車道與三車道呈現較為極端的分佈，分別座落於日交通參考值小跟大各一區域，而日交通參考值大跟小之間則稀稀落落散佈一些

中間值的狀況；四車道隧道則較為集中。對於事故預測件數目的影響可看到三車道與四車道皆有隨日交通量參考值上升而事故預測件數增加，而四車道即使以整體的角度來看其分佈仍十分集中，但可看出隨日交通量增加事故數有略為上升的趨勢。

5.3 事故調整因子

5.3.1 速限事故調整因子

表 19 為 2011 年至 2015 年速限事故調整因子，基準狀態是速限 90 公里/小時，所有的事務調整因子均是使用 3.3 節公式(22)計算得來。從結果來看在逐年的事故調整因子速限 80 公里/小時或速限 100 公里/小時以上均小於一，代表相較於速限 90 公里/小時較不容易發生事故。表 20 為整體 2011 年至 2015 年的速限事故調整因子發現速限 80 公里/小時與 100 公里/小時以上小於一，代表當速限變更為速限 80 公里/小時時事故數會減少。

表 19 2011 至 2015 年速限事故調整因子

速限種類	2011 年		2012 年		2013 年		2014 年		2015 年	
	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE
80 公里/小時	0.7	0.51	0.72	0.51	0.74	0.43	0.57	0.3	0.68	0.53
100 公里/小時以上	0.86	0.67	0.86	0.61	0.88	0.64	0.94	0.53	0.91	0.44

表 20 整體速限事故調整因子

速限種類	2011 年至 2015 年	
	CMF	SE
80 公里/小時	0.69	0.41
100 公里/小時/以上	0.88	0.56

圖 18 呈現逐年速限事故調整因子變化，速限 80 公里/小時相較於 90 公里/小時會減少事故數目，逐年來看儘管 2014 年事故調整因子下降到 0.57，但在 2015 年回升到 0.68；而速限 100 公里/小時以上則有些微上升的幅度，但仍未超過 1，也代表相較於速限 90 公里/小時會減少事故數目。兩者結果相比速限 80 公里/小時相較於速限 100 公里/小時以上較能減少事故數目，而 2012 年國道六號速限從 90 公里/小時變更為 100 公里/小時以上，從事故調整因子來看儘管速限 100 公里/小時在 2012 年後有些為上升的幅度，但仍未超過 1，也代表相較於速限 90 公里/小時會減少事故數目，速限改變的效果並不明顯。

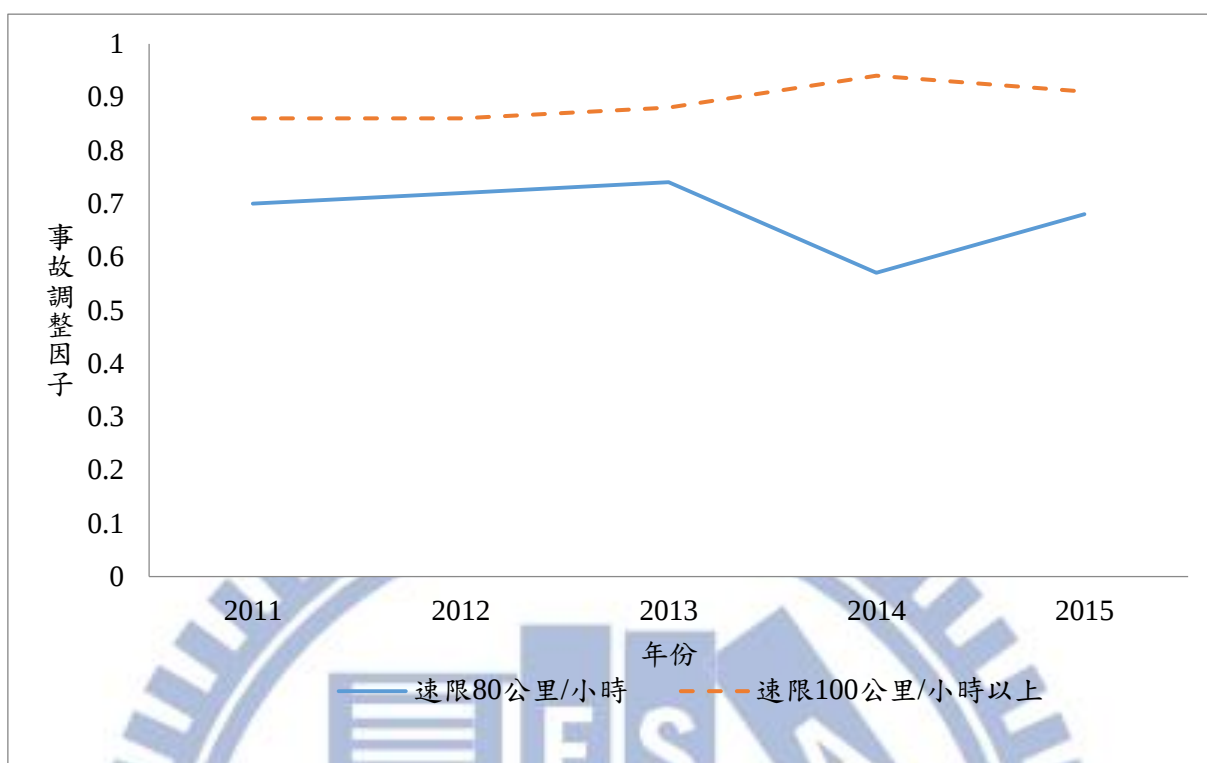


圖 18 逐年速限事故調整因子變化

5.3.2 車道數事故調整因子

表 21 為 2011 年至 2015 年車道數事故調整因子，基準狀態是三車道隧道，所有的事故調整因子均是使用 3.3 小節的公式(22)計算得來。從結果來看在 2011 年至 2015 年車道數事故調整因子雙車道隧道與四車道隧道事故調整因子均小於一，代表相較於三車道隧道會使事故發生減少。逐年來看雙車道隧道的事務調整因子在 2012 年後呈現逐年下降的趨勢。

表 22 為整體 2011 年至 2015 年的車道數事故調整因子，發現雙車道隧道與四車道隧道的事務調整因子小於一，代表相較於三車道隧道會減少事故，但經由前面時間序列可得知雙車道隧道事故調整因子在 2012 年開始逐年下降，而四車道隧道則維持在 0.8。

表 21 2011 年至 2015 年車道數事故調整因子

隧道種類	2011 年		2012 年		2013 年		2014 年		2015 年	
	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE	CMF	SE
雙車道隧道	0.71	0.42	0.81	0.47	0.68	0.34	0.54	0.23	0.39	0.2
四車道隧道	0.84	0.34	0.78	0.36	0.83	0.56	0.83	0.33	0.73	0.32

表 22 整體車道數事故調整因子

隧道種類	2011 年至 2015 年	
	CMF	SE
雙車道隧道	0.65	0.33
四車道隧道	0.87	0.39

圖 19 呈現逐年車道數事故調整因子變化，可以明顯觀察到雙車道隧道的事務調整因子在 2011 年至 2012 年是上升的趨勢，但在經過 2012 年開始逐年下降；相反地四車道隧道事故調整因子一直都維持在 0.8。而在 2012 年國道六號速限上升從 90 公里/小時提升至 100 公里/小時且國道六號均為雙車道隧道，該下降時間段與速限變更吻合，應是雙車道隧道事故調整因子下降的原因，速限變高會減少雙車道隧道的事務數目。

表 23 為逐年和整體研究參數，從逐年來看，2011 年至 2015 年的參數中僅只有日交通量參考值(LN of Traf flow)在統計上表現為顯著，而整體年份，速限 80 公里/小時日交通量參考職和隧道長度表現為顯著。而逐年因為樣本數少(50 個)，又以類別變數區分後導致逐年的參數檢定表達大多為不顯著，整體年份則因為樣本數多表現較好。

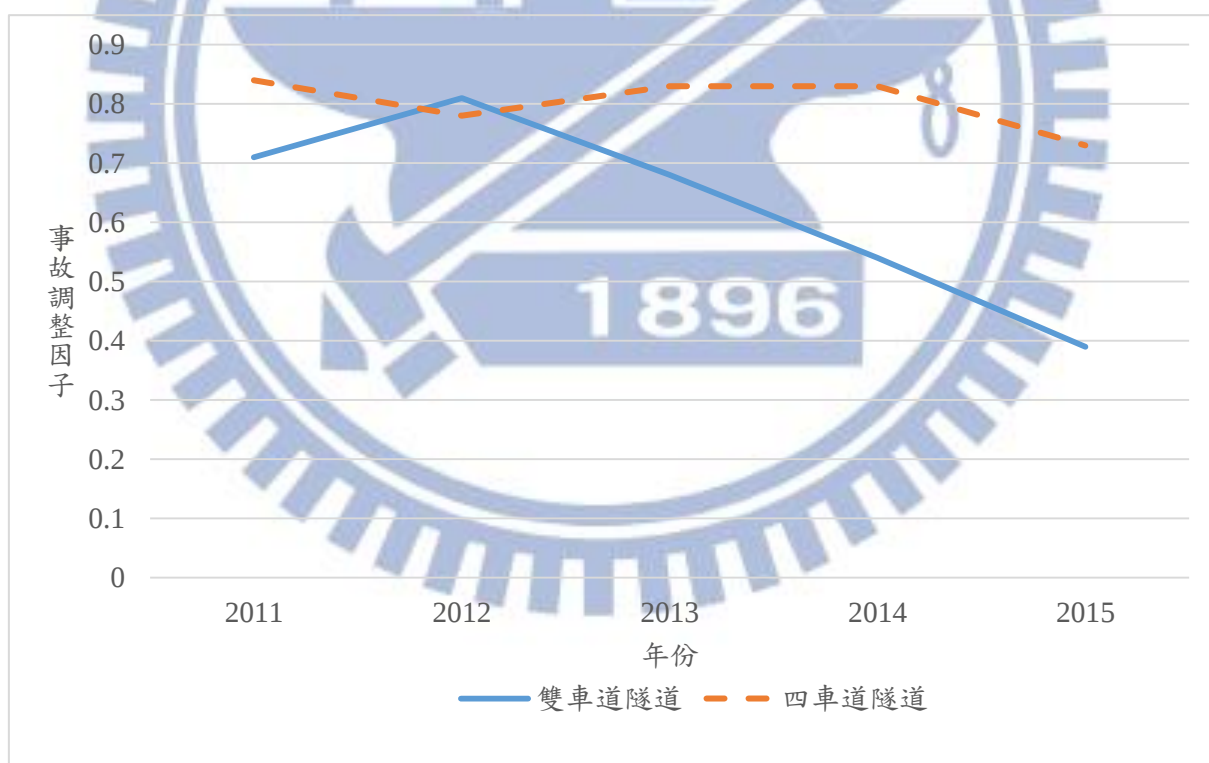


圖 19 逐年車道數事故調整因子變化

表 23 逐年和整體研究參數

參數 \ 年份	2011	2012	2013	2014	2015	整體
SPEEDLIMIT1	-0.3552	-0.6923	-1.0215	-0.7217	-1.7482*	-1.0028**
SPEEDLIMIT3	-0.509	-0.6184	-0.0091	-0.838	1.0596	0.0187
Lanenu2	-0.8459	-0.845	-0.1458	-0.3526	0.1222	-0.2682
Lanenu4	-0.4305	-0.5446	-2.0118*	-0.7387	-1.8301*	-1.1217**
LN of Traf flow	2.3071**	2.2247**	2.4975**	2.4302**	3.0577**	2.4485**
Ln of length(km)	0.4725	0.4613*	0.3299	0.6154**	0.6036**	0.4721**

註:*代表 P 值小於 0.05，*代表 P 值小於 0.01

六、結論與建議

本研究使用 2011 年至 2015 年國道隧道資料，分別建構五個使用不同變數轉換的安全績效函數，用於推估整體的事故預測，並藉由概似比指標與貝氏資訊準則找出最佳的安全績效函數，再使用此安全績效函數建構逐年的事故預測模式，最後使用實證貝氏分析法建立事故調整因子，探討速限與車道數對於事故發生的影響，藉以提供欲實行相關措施的參考。

6.1 結論

1. 建立五種不同變數轉換的安全績效函數，其中包括不使用任何變數轉換、對日交通量取對數、對日交通量與隧道長度取對數、對日交通量取自然對數、對日交通量與隧道長度取自然對數等五種，在使用概似比指標與貝氏資訊準則後，發現對日交通量與隧道長度取自然對數的模式表現最佳。
2. 透過安全績效函數把國道各隧道的速限、車道數、日交通量參考值、車道數和隧道長度納入變數，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變數變化。結果發現：隧道長度對事故數均為正向關係，隧道長度越長事故數增加；從逐年與整體模式都可以看出日交通量參考值對事故數而言是正向關係，交通量越大事故數目越多，且在取自然對數的狀況下，在橫軸為日交通量(Ln)，縱軸為事故件數的狀況下，呈現偏指數函數的圖形；儘管整體來看，速限100公里/小時以上相較於90公里/小時事故數目較多，但逐年分析卻可看到在2012年以後才開始逐年增加，此結果代表在2012年之後速限100公里/小時以上的區段，事故數目有逐漸增長的趨勢。
3. 以逐年的安全績效函數變數顯著程度來看，少量的樣本數（隧道區段數僅50個）得到的模式在反應變數中並未有太好的表現，速限與車道數均不顯著，但以整體2011年至2015年的模式來看卻有較好的表現。
4. 總體來看，速限80公里/小時與速限100公里/小時以上相對於90公里/小時均顯現事故數目較少；逐年來看，速限100公里/小時以上在2013年開始有些微增長，而速限80公里/小時則維持在0.8。另外，速限100公里/小時事故調整因子開始上升的時間點與國道六號速限改變的時間點相符合，應是導致事故調整因子增加的原因，但增長的幅度並不明顯。
5. 2012年國道六號速限從90公里/小時變更為100公里/小時，此變動導致原先速限90公里/小時的總區段數減少，而速限100公里/小時以上的區段數增加，此一來一往之間應是導致速限100公里/小時以上的事故調整因子增加的主因。但令人驚訝的是原本預期會有相當大的變化，實際推算來看其實效果並不明顯，而這可能代表國道六號速限變更對於隧道事故的影響並不是非常大。最後對於整體隧道速限來看，速限80公里/小時減少事故發生會比速限100公里/小時以上明顯。
6. 2012年以後雙車道隧道的事務調整因子逐年下降與國道六號速限提高的時間點相符合，雙車道隧道區段分布於國道三號甲線、國道五號以及國道六號，該時期國道三號甲線與國道五號並無重大措施改變，顯示事故調整因子逐年下降安全績效模式

高估國道六號速限變更影響雙車道隧道的事故數，並造成預測值與觀測值的差異。

7. 在安全績效函數中，速限100公里/小時以上相較於90公里/小時較多事故數，但在使用貝氏分析法取觀測值與預測值之權重便可發現結果恰好相反，實際上速限100公里/小時以上事故數反而較少，因此對於安全績效函數的結果須謹慎對待，需要與觀測值比較後再作最後結論。

6.2 建議

1. 本研究以隧道南北向各自獨立為一個區段，但並未針對不同隧道做區別，如隧道之間彼此的距離和隧道內環境等，建議後續研究可朝隧道環境設計差異的方向研究；亦可單獨針對單一隧道或是同一國道上的各隧道進行研究減少模式的誤差。
2. 本研究以逐年分析來看樣本數目並不多，後續研究若以長時間跨度進行分析，倘樣本數目仍不足，建議可以兩年或三年為一時間區間的方式進行分析，但需注意在時間區間內是否有重大交通措施改變。
3. 從本研究的敘述統計分析來看，在2014年與2015年的事故頻次有大幅度的變動，而此勢必對於模式預測產生重大的影響，導致事故調整因子在這兩年的變化太大而不利於分析，也較難作出正確的評斷，後續研究在進行時應注意個別年份的波動對於事故預測模式的影響。
4. 安全績效函數的事故預測值與實際觀測值在雙隧道預測的部分有相當的落差，這可能是漏掉某些重要解釋變數或是未考量隧道之間變異所導致的，建議未來可再加入相關解釋變數，例如坡度的長度、平均的坡度、坡度變化率、曲率影響的長度、駕駛人等變數，以便較能精準地預測事故發生件數，或再針對環境類似的隧道進行比較研究。
5. 本研究未考量隧道速限與地域之間的關係，如速限80公里/小時只分布在國道五號，速限90公里/小時只分布在北部等。地域關係在本研究裡與速限的重疊性過高，為避免重複校估的情形發生而未採用，後續研究可在設計研究之初便將地域關係納入考量。

參考文獻

一、中文文獻

中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，民國 105 年 4 月，日交通量參考值，
<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=1652>

(最後瀏覽日期:民國 106 年 12 月 1 日)

中華民國內政部警政署，民國 95 年 7 月，「道路交通事故處理規範」

邱裕鈞、傅強，民國 104 年 9 月，「不同嚴重程度及碰撞型態之多變量高速公路事故頻次模式」，運輸學刊，第二十七卷第三期，頁 345-384

維基百科，民國 106 年 7 月，蔣渭水高速公路，

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%94%A3%E6%B8%AD%E6%B0%B4%E9%AB%98%E9%80%9F%E5%85%AC%E8%B7%AF>(最後瀏覽日期:民國 106 年 12 月 1 日)

二、英文文獻

1. AASHTO, 2010. Highway Safety Manual 1e., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
2. Abdel-Aty, M., Radwan, E., 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. Accident Analysis and Prevention. 32, 633-642.
3. Akgügör, A.P., Yıldız, O., 2007. Sensitivity analysis of an accident prediction model by the fractional factorial method. Accident Analysis and Prevention. 39, 63-68.
4. Amundsen, F.H., Ranes, G., 2000. Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 15 (1), 3-11.
5. Carter, D., Srinivasan, R., Gross, F., Council, F., 2012. Recommended Protocols for Developing Crash Modification Factors. NCHRP 20-7(314) Final Report.
6. De Pauw, E., Daniels, S., Thierie, M., Brijs, T., 2016. Safety effects of reducing the speed limit from 90 km/h to 70 km/h. Accident Analysis and Prevention. 62, 426-431.
7. FHWA, 2010. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. Federal Highway Administration Office of Safety, Washington, D.C., USA
8. 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
9. Griffin, L.I., Mak, K.K., 1987. The Benefits to be Achieved from Widening Rural, Two-Lane Farm-to-Market Roads in Texas, Report No. IAC(86-87) - 1039. Texas

Transportation Institute, College Station, Texas.

10. Gross, F., Jovanis, P.P., Eccles, K., 2009. Safety effectiveness of lane and shoulder width combinations on rural, two-lane, undivided roads. *Transportation Research Record*. 2103, 42–49.
11. Gross, F., 2013. Case–control analysis in highway safety: accounting for sites with multiple crashes. *Accident Analysis and Prevention*. 61, 87–96.
12. Gross, F., Jovanis, P.P., 2007. Estimation of the safety effectiveness of lane and shoulder width case–control approach. *Journal of Transportation Engineering*. 133, 362–369.
13. Haleem, K., Gan, A., Lu, J., 2013. Using multivariate adaptive regression splines (MARS) to develop crash modification factors for urban freeway interchange influence areas. *Accident Analysis and Prevention*. 55, 12–21.
14. Hilbe, J.M., 2011. *Negative Binominal Regression*, New York: Cambridge University Press.
15. Harwood, D.W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., Vogt, A., 2000. Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways. Publication No. FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration, McLean, Virginia.
16. Hauer, E., 1997. *Observational before-after studies in road safety*. Pergamon, Elsevier Science Inc., New York, USA.
17. Hauer, E., 2000. Lane width and Safety
<http://ezrahauer.files.wordpress.com/2012/08/lane-width-and-safety.pdf>
18. Hauer, E., Harwood, D., Council, F., Griffith, M., 2002. Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. *Transportation Research Record*. 1784, 126-131. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA.
19. Imprialou, M. I. M., M. Quddus, D. E. Pitfield, and D. Lord. Re-visiting crash–speed relationships: A new perspective in crash modelling. *Accident Analysis and Prevention*. 86, 173-185.
20. Islam, M.T., El-Basyouny, K., 2015. Full Bayesian evaluation of the safety effects of reduction. *Accident Analysis and Prevention*. 80, 18-25.
21. Kim, D., Kim, D., and Lee, C., 2013. Safety Performance Functions Reflecting Categorical Impact of Exposure Variables for Freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2398, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2013, pp. 67–74.
22. 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.

23. Labi, S., 2011. Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways. *Journal of Safety Research*. 42, 231–239.
24. Lee, C., et al., 2015. Development of crash modification factors for changing lane width on roadway segments using generalized nonlinear models. *Accid. Anal. Prev.* 76, 83-91.
25. Lemke, K., 2000. Road safety in tunnel. *Transportation Research Record* 1740, Paper No. 00-0155.
26. Lord, D., Bonneson, J.A., 2007. Development of accident modification factors for rural frontage road segments in Texas. *Transportation Research Record*. 2023, 20–27.
27. McFadden, Daniel (1977). "Modelling the choice of residential location." Institute of Transportation Studies, University of California.
28. 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.
29. NCHRP, 2006. Research Results Digest 303. National Cooperative Highway Research Program.
30. Nussbaumer, C., 2007. Comparative analysis of safety in tunnels. Young Researchers Seminar 2007, Brno. www.ectri.org/YRS07/Papiers/Session-9/Nussbaumer.pdf
31. 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. *Accident Analysis and Prevention*. 74, 179-191.
32. Persaud, B, et al., 2010. Comparison of Empirical Bayes and full Bayes approaches for before-after road safety evaluation. *Accident Analysis and Prevention*. 42, 38-42.
33. PIARC, 2008. Human factors and road tunnel safety regarding users. PIARC Technical Committee C3.3, Road Tunnel Operation, Report R17, Paris. ISBN 2-84060-218-0. <http://www.piarc.org>
34. PIARC, 1995. Road safety in tunnels. PIARC Technical Committee C5 Road Tunnels. <http://www.piarc.org>
35. Qin, X., Ivan, J.N., Ravishanker, N., 2004. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 183–191.
36. SAFESTAR, 2002. Safety Standards for Road Design and Redesign. Final Report. Coordinated by SWOV, funded by the European Commission.
37. Salvisberg, U., Allenbach, R., Cavegn, M., Hubacher, M., Siegrist, S., 2004. Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes BFU- Report, Bern. ISBN 3-908192-17-X.

38. Shankar, V., Mannering, F.L., Barfield, W. 1995. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequency. *Accident Analysis and Prevention*. 50, 539-553.
39. 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.
40. 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.
41. Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L., 2010. Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Florida: CRC Press.
42. Xie, Y., Lord, D., Zhang, Y., 2007. Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: an empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention*. 39, 922–933.
43. Yanmaz-Tuzel, O., Ozbay, K., 2010. A comparative full Bayesian before-and-after analysis and application to urban road safety countermeasures in New Jersey. *Accident Analysis and Prevention* . 42, 2099–2107.
44. Yang, Q., Overton, R., Han, L., Yan, X., Richards, S.H., 2013. The influence of curbs on driver behaviors in four-lane rural highways—a driving simulator based study. *Accident Analysis and Prevention*. 50, 1289–1297.
45. Zegeer, C.V., Reinfurt, D.W., Hummer, J., Herf, L., Hunter, W., 1988. Safety effects of cross-section design for two-lane roads. *Transportation Research Record*. 1195, 20–32.

附錄一 2011 年至 2015 年各隧道事故數目

ID	里程	方向	速限	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
臺北一號	2k+026～ 2k+826	東行	80	2	0	3	0	1
	2k+008～ 2k+798	西行	80	3	0	0	3	1
臺北二號	0k+705～ 0k+897	東行	80	2	0	0	0	0
	0k+682～ 0k+893	西行	80	6	5	12	8	3
基隆	0k+805～ 2k+060	南下	90	2	1	1	3	3
	0k+840～ 2k+118	北上	90	12	8	8	11	2
七堵	5k+795～ 6k+325	南下	90	2	3	1	0	1
	5k+745～ 6k+300	北上	90	0	0	0	1	0
汐止	8k+160～ 8k+826	南下	90	0	2	2	1	0
	8k+175～ 8k+818	北上	90	1	1	1	1	1
福德	18k+268～19k+994	南下	90	70	42	56	90	82
	18k+185～19k+911	北上	90	25	15	33	43	34
木柵	21k+888～23k+736	南下	90	52	37	38	62	58
	21k+860～23k+735	北上	90	15	12	9	18	16
景美	23k+939～24k+503	南下	90	1	2	1	2	4
	23k+919～24k+492	北上	90	2	1	1	0	1
新店	27k+219～28k+404	南下	90	13	21	19	8	16
	27k+170～28k+392	北上	90	19	18	25	31	24
碧潭	28k+559～29k+080	南下	90	1	1	4	3	0
	28k+541～29k+044	北上	90	4	4	5	8	1
安坑	32k+626～33k+092	南下	90	27	44	33	20	25
	32k+710～33k+108	北上	90	7	7	9	3	9
中和	34k+223～35k+095	南下	90	161	186	159	153	121
	34k+262～35k+093	北上	90	71	93	84	71	64

註:速限單位為公里/小時，事故單位為件數

ID	里程	方向	速限	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
埔頂一號	59k+510～60k+040	南下	110	8	3	3	10	5
	59k+510～60k+065	北上	110	8	4	3	8	7
埔頂二號	60k+300～60k+635	南下	110	0	0	1	5	1
	60k+325～60k+660	北上	110	6	10	1	1	7
大林	281k+696～281k+850	南下	110	0	0	0	0	0
	281k+696～281k+850	北上	110	0	0	0	0	0
蘭潭	292k+880～294k+134	南下	110	2	2	1	0	1
	292k+880～294k+092	北上	110	1	1	4	2	3
中寮	378k+780～380k+638	南下	110	2	2	3	9	5
	378k+780～380k+605	北上	110	1	1	0	0	3
南港	0k+238～ 0k+694	南下	80	3	2	2	9	3
	0k+235～ 0k+690	北上	80	1	1	2	0	0
石碇	0k+783～ 3k+481	南下	80	2	0	2	4	1
	0k+795～ 3k+515	北上	80	1	4	5	5	2
烏塗	7k+677～ 7k+893	南下	80	0	1	0	0	0
	7k+646～ 7k+894	北上	80	1	3	0	3	1
彭山	9k+442～ 13k+303	南下	80	1	3	2	2	4
	9k+457～ 13k+263	北上	80	5	3	4	7	2
雪山	15k+203～ 28k+128	南下	90	8	12	8	28	12
	15k+179～ 28k+134	北上	90	11	14	18	24	8
國姓一	17k+678～ 20k+142	東行	100	1	2	3	4	14
	17k+690～ 20k+138	西行	100	1	2	5	6	8
國姓二	24k+502～ 25k+037	東行	100	1	0	1	1	1
	24k+522～ 25k+002	西行	100	0	0	1	0	1
埔里	27k+469～ 28k+778	東行	100	1	0	1	0	4
	27k+466～ 28k+728	西行	100	0	0	1	0	3

附錄二 2011 年至 2015 年各隧道預測事故數目

ID	里程	方向	速限	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
臺北一號	2k+026～ 2k+826	東行	80	2.37	1.83	2.61	2.68	0.89
	2k+008～ 2k+798	西行	80	2.43	1.73	2.43	2.79	0.93
臺北二號	0k+705～ 0k+897	東行	80	1.21	0.95	1.63	1.11	0.38
	0k+682～ 0k+893	西行	80	1.3	0.94	1.57	1.28	0.42
基隆	0k+805～ 2k+060	南下	90	2.79	2.82	2.13	2.95	1.25
	0k+840～ 2k+118	北上	90	2.55	2.36	1.97	2.96	1.32
七堵	5k+795～ 6k+325	南下	90	1.74	1.8	1.35	1.45	0.57
	5k+745～ 6k+300	北上	90	1.43	1.38	1.29	1.31	0.58
汐止	8k+160～ 8k+826	南下	90	1.94	2	1.46	1.67	0.66
	8k+175～ 8k+818	北上	90	1.54	1.48	1.35	1.44	0.63
福德	18k+268～19k+994	南下	90	36.52	35.15	34.96	41.49	34.66
	18k+185～19k+911	北上	90	30.48	30.1	27.57	34.05	25.72
木柵	21k+888～23k+736	南下	90	34.41	34.22	30.47	37.16	27.73
	21k+860～23k+735	北上	90	32.5	32.73	29.07	36.77	27.26
景美	23k+939～24k+503	南下	90	19.64	19.79	20.6	17.9	13.54
	23k+919～24k+492	北上	90	18.56	18.94	19.66	17.73	13.33
新店	27k+219～28k+404	南下	90	25.83	28.6	20.13	27.18	21
	27k+170～28k+392	北上	90	27.2	27.34	26.35	27.76	19.89
碧潭	28k+559～29k+080	南下	90	17.52	19.58	15.35	16.39	12.79
	28k+541～29k+044	北上	90	17.87	18.15	19.66	16.08	11.64
安坑	32k+626～33k+092	南下	90	31.27	33.88	38.04	30.83	30.21
	32k+710～33k+108	北上	90	28.17	29.75	32.12	25.56	22.37
中和	34k+223～35k+095	南下	90	42.04	45.23	46.77	45.34	44.09
	34k+262～35k+093	北上	90	39.89	41.78	40.95	40.21	34.89

ID	里程	方向	速限	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
埔頂一號	59k+510~60k+040	南下	110	6.35	5.31	2.21	6.71	5.99
	59k+510~60k+065	北上	110	5.71	4.74	2.03	6.33	5.57
埔頂二號	60k+300~60k+635	南下	110	5.12	4.3	1.9	5.06	4.54
	60k+325~60k+660	北上	110	4.51	3.75	1.71	4.64	4.1
大林	281k+696~281k+850	南下	110	0.41	0.41	0.77	0.52	0.93
	281k+696~281k+850	北上	110	0.4	0.39	0.79	0.51	0.91
蘭潭	292k+880~294k+134	南下	110	1.12	1.07	1.54	1.85	3.11
	292k+880~294k+092	北上	110	1.07	0.99	1.52	1.75	2.99
中寮	378k+780~380k+638	南下	110	1.17	1.24	1.68	2.64	4.64
	378k+780~380k+605	北上	110	1.15	1.19	1.69	2.62	4.54
南港	0k+238~ 0k+694	南下	80	1.87	1.46	2.48	3.35	1.07
	0k+235~ 0k+690	北上	80	1.97	1.7	2.91	3.35	1.45
石碇	0k+783~ 3k+481	南下	80	4.23	3.33	4.47	10.01	3.12
	0k+795~ 3k+515	北上	80	4.59	3.88	5.25	10.06	4.27
烏塗	7k+677~ 7k+893	南下	80	1.13	0.95	0.83	1.03	0.2
	7k+646~ 7k+894	北上	80	1.35	1.11	2.15	2.12	0.91
彭山	9k+442~ 13k+303	南下	80	4.83	3.79	5.1	11.49	4.4
	9k+457~ 13k+263	北上	80	4.91	3.91	5.28	11.39	4.72
雪山	15k+203~ 28k+128	南下	90	11.29	11.83	18.98	41.19	42.58
	15k+179~ 28k+134	北上	90	11.27	11.88	18.1	41.25	44.31
國姓一	17k+678~ 20k+142	東行	100	0.98	0.88	2.17	2.62	4.12
	17k+690~ 20k+138	西行	100	0.99	0.89	2.36	1.87	6.59
國姓二	24k+502~ 25k+037	東行	100	0.48	0.43	1.31	1.02	1.64
	24k+522~ 25k+002	西行	100	0.46	0.42	1.38	0.69	2.47
埔里	27k+469~ 28k+778	東行	100	0.79	0.66	1.76	1.77	2.82
	27k+466~ 28k+728	西行	100	0.72	0.65	1.89	1.24	4.42