

國立交通大學  
運輸與物流管理學系

碩士論文

高速公路隧道區段之  
安全績效函數建立與應用  
Establishment and Application of Safety  
Performance Functions for  
Sections of Highway Tunnels



研究生：陳逸儒

指導教授：吳宗修

中華民國一〇七年八月

高速公路隧道區段之安全績效函數建立與應用

Establishment and Application of Safety Performance Functions for  
Sections of Highway Tunnels

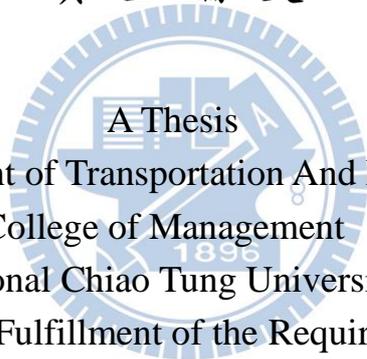
研究生：陳逸儒

Student: Yie-Ru Chen

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  
August 2018  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年八月

# 高速公路隧道區段之安全績效函數建立與應用

研究生：陳逸儒

指導教授：吳宗修

國立交通大學 運輸與物流管理學系 碩士班

## 摘要

交通事故發生之次數、發生頻率是一般評估道路交通安全的常見指標，此指標多以道路之多年事故資料做交通事故發生次數之研究。但此指標目前多以一般道路做為研究對象，較少以進出隧道前後以及是否位於隧道內之事故情形做探討。本研究將隧道區分為一般型跟連續型隧道，一般型隧道有前內後三區段，而連續型隧道有前內後間四區段。首先建立兩類型隧道各區段的事故調整因子，以得知不同區段間的事故頻次期望值的差異。接著以《公路安全手冊》所建議的量化方式，利用負二項分配的方式，建立兩類型隧道考慮年平均日交通量、區段長度、區段位置與速限的安全績效函數模式，並繪出在不同情形下，使用安全績效函數可得到的各區段的有效性指數的分布。經計算各區段的事故調整因子後，發現隧道內以外區段的事故調整因子均小於 1。在求得一般型與連續型隧道的安全績效函數後，可以得知一般型與連續型隧道在不同區段與不同道路特性條件下，所預估的事故發生頻次期望值；在一般型隧道內，當速限小於 90 公里時，各區段均有觀測的事故頻次期望值大於預測的事故頻次期望值的情形，但在速限為 90 公里以及大於 90 公里時，各區段多為預測的事故頻次期望值大於觀測的事故頻次期望值。在連續型隧道中，各種速限的觀測事故頻次期望值均大致等於預測的事故頻次期望值，僅在速限為 90 公里/時的情況下，在車流量較低時有預測的事故頻次期望值大於觀測事故頻次期望值的現象。

關鍵字：高速公路、隧道、事故調整因子(CMF)、安全績效函數 (SPF)

# Establishment and Application of Safety Performance Functions for Sections of Highway Tunnels

Student: Yie-Ru Chen

Advisor: T. Hugh Woo

Department of Transportation and Logistics Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

The number and frequency of traffic crashes on roads are the common indices for evaluating traffic safety of the road. These indices utilize multi years of accident data for traffic crash analysis. However, most analyses focus on general road sections. Only few had mentioned the difference between entering the tunnel or leaving the tunnel as compared to inside the tunnel. This study focuses on the crash attributes of sections of tunnels, by separating them into normal and continuous tunnel. Normal tunnels have three sections including before, within and after sections. Continuous tunnels have four sections including before, within, after and between sections. This study first calculated the CMF of different sections. Secondly, following the method suggested by HSM, negative binomial distribution was used to establish the SPF considering AADT, segment length, section location and speed limit. The index of effectiveness by estimated SPF was then plotted to show the different effectiveness of the sections. It is found that all the sections aside from within section have CMF smaller than 1. The SPF's of normal and continuous tunnels were established. For normal tunnels, the index of effectiveness shows that when the speed limit is smaller than 90 km/h, the observed frequency of crashes is mostly greater than predicted crash frequency in every section. However, when the speed limit comes to 90 km/h and greater than 90 km/h, the observed frequency of crash are mostly smaller than predicted crash frequency in every section. For continuous tunnel, the index of effectiveness shows that the observed frequency of crashes is mostly close to the predicted crash frequency in every section. Only when the speed limit is under 90 km/h and lower AADT, the observed frequency of crashes is smaller than the predicted crash frequency.

Keyword: Freeway, Tunnel, Crash Modification Factors (CMF), Safety Performance Function (SPF)

## 致 謝

碩士生涯中，首先要感謝的是指導教授 吳宗修老師，對於題目的發想、數學模式的判讀、結果的解讀等，都給予許多的指導與修正，並教導許多課本上所無法提供的寶貴的人生道理與經驗，讓全部實驗室的同學都能一起成長，獲益良多。另外，感謝論文口試委員交通大學運管系 吳昆峯老師，以及交通大學運管系的 張新立老師，在口試過程中給予我研究上改良的寶貴建議，針對我可以加強的地方給予修正方向，讓我的論文架構更加充實且完整。

接著，要感謝的是交通部高速公路局規劃組規畫科的科長與 胡天麒先生等職員，感謝他們為了這項研究所需的地理資料，特別在繁忙的工作中抽空翻遍了資料庫，找尋國道一號與其他高速公路上隧道周圍的竣工圖，此外，還感謝將資料分類為便於翻閱的排列方式，提升分析的速度。感謝 陳躍翔學長對於論文題目的發想與 SPF 跟 CMF 的知識給予想法與協助；以及同學很多年的奮戰好友許書銘，在我遇到資料處理瓶頸時給予我協助，經常跟我聊天紓壓；還有北交整個所的同學們，跟你們一起出去玩或是參與活動真的很開心，有資料處理問題也能問，讓人放心，感謝你們。

最後，要感謝的是我的家人們，在我要念研究所時給予肯定與支持，在沒有足夠經濟來源時資助我，讓我能無後顧之憂去研究，在我遇到低潮時給予我協助跟一起思考解決方法，跟我一起度過徬徨無助的難關，順利完成論文，讓我能完成碩士學業，感謝你們！能完成這個研究，要感謝的人太多了，在此一起對於求學與完成論文中給予協助與鼓勵的所有朋友，真誠地說聲「非常感謝！」。



陳逸儒 謹試  
于 交通大學運輸與物流管理研究所  
中華民國 107 年 8 月

# 目 錄

摘 要 .....	i
Abstract.....	ii
致 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
圖 目 錄 .....	vi
表 目 錄 .....	vii
一、 緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	3
1.3 研究課題與範圍 .....	4
1.4 研究流程 .....	5
二、 文獻回顧 .....	7
2.1 公路事故分析背景知識與名詞定義 .....	7
2.2 事故頻次模式 .....	9
2.3 安全績效函數與事故調整因子 .....	10
2.4 隧道事故與交通事故 .....	17
2.5 隧道區段 .....	21
2.6 分析方法 .....	24
2.7 文獻結論 .....	25
三、 研究方法 .....	26
3.1 研究流程 .....	26
3.2 安全績效函數分析 .....	27
3.3 建立隧道事故調整因子 .....	30
四、 資料蒐集與處理 .....	33
4.1 資料蒐集 .....	33
4.2 隧道前後區段長度 .....	35
4.3 事故資料處理 .....	42
4.4 敘述性統計 .....	46
4.5 研究變數 .....	57
五、 研究結果 .....	61
5.1 一般型隧道 .....	62

5.1.1	確認車流量與區段長度的轉換方式.....	62
5.1.2	建立一般型隧道的安全績效函數.....	66
5.2	連續型隧道.....	75
5.2.1	確認車流量與區段長度的轉換方式.....	75
5.2.2	建立連續型隧道的安全績效函數.....	78
六、	結論.....	85
6.1	結論.....	85
6.2	結論之應用.....	86
6.3	建議.....	87
	參考文獻.....	88



## 圖目錄

圖 1-1 研究流程圖 .....	5
圖 4-1 判斷路段之曲線長度示意圖 .....	37
圖 4-2 隧道事故區段判斷示意圖 .....	38
圖 4-3 連續型隧道區段判斷圖 .....	39
圖 4-4 一般型隧道各區段在各年份的事故數散佈圖 .....	44
圖 4-5 連續型隧道各區段在各年份的事故數散佈圖 .....	45
圖 4-6 一般型隧道各速限的事故件數分布圖 .....	49
圖 4-7 連續型隧道各速限的事故件數分布圖 .....	50
圖 4-8 一般型隧道車道數與事故件數分布圖 .....	52
圖 4-9 連續型隧道車道數與事故件數分布圖 .....	53
圖 4-10 一般型隧道各區段的實際事故數散佈圖 .....	54
圖 4-11 連續型隧道各區段的實際事故數散佈圖 .....	56
圖 5-1 一般型隧道在速限 90 公里以下的有效性分布圖 .....	70
圖 5-2 一般型隧道在速限 90 公里的有效性分布圖 .....	71
圖 5-3 一般型隧道在速限 90 公里以上的有效性分布圖 .....	72
圖 5-4 連續型隧道在速限 90 公里的有效性分布圖 .....	81
圖 5-5 連續型隧道在速限 90 公里以上的有效性分布圖 .....	81

## 表 目 錄

表 1-1 各年份的事故件數 .....	2
表 2-1 隧道事故與研究變數相關文獻彙整表 .....	20
表 2-2 各研究對進隧道前與隧道內分區之定義 .....	22
表 4-1 高速公路局日平均交通量範例 .....	34
表 4-2 連續型隧道里程 .....	39
表 4-3 一般型隧道各區段的區段長度 .....	40
表 4-4 連續型隧道各區段的區段長度 .....	41
表 4-5 2010-2015 高速公路的事故類型統計 .....	43
表 4-6 2010-2015 一般隧道的隧道區段交通事故數量統計 .....	44
表 4-7 2010-2015 連續型隧道的隧道區段交通事故數量統計 .....	45
表 4-8 連續變數之敘述性統計 .....	46
表 4-9 高速公路各車道數之隧道數量統計 .....	47
表 4-10 兩類型隧道之年平均每日交通量(AADT) .....	47
表 4-11 兩類型隧道的速限隧道數 .....	48
表 4-12 一般型隧道各區段之事故數總計 .....	48
表 4-13 連續型隧道各區段之事故數總計 .....	49
表 4-14 兩類型隧道各車道數的隧道數 .....	50
表 4-15 一般型隧道區段之各車道數的事故數 .....	51
表 4-16 連續型隧道區段之各車道數的事故數 .....	51
表 4-17 一般型隧道各區段的 CMF 值 .....	55
表 4-18 連續型隧道各區段的 CMF 值 .....	56
表 4-19 各連續型變數之定義與單位列表 .....	59
表 4-20 類別變數的虛擬變數表 .....	59
表 4-21 所有隧道區段之類別變數 .....	60
表 5-1 兩隧道的統計分配模型配適結果 .....	61
表 5-2 一般型隧道整體模式比較表 .....	63
表 5-3 一般型隧道內各變數的定義與代號 .....	63

表 5-4 一般型隧道各模式比較表 .....	65
表 5-5 一般型隧道考量各區段的 SPF 模式 .....	66
表 5-6 隧道長度小於 1 公里的一般型隧道 SPF 模式 .....	67
表 5-7 隧道長度大於 1 公里的一般型隧道 SPF 模式 .....	67
表 5-8 考量不同變數的 SPF 配適度表格 .....	68
表 5-9 一般型隧道考量各區段與速限變數的 SPF 模式 .....	68
表 5-10 一般型隧道各區段的有效性指數列表 .....	72
表 5-11 一般型隧道考量各區段與車道數變數的 SPF 模式 .....	73
表 5-12 一般型隧道考量各區段與各年份差異的 SPF 模式 .....	74
表 5-13 連續型隧道整體模式比較表 .....	75
表 5-14 連續型隧道的類別變數定義與代號 .....	76
表 5-15 連續型隧道各模式比較表 .....	77
表 5-16 連續型隧道考量各區段的 SPF 模式 .....	78
表 5-17 連續型隧道的連續型變數定義與代號 .....	79
表 5-18 連續型隧道考量各區段與速限變數的 SPF 模式 .....	79
表 5-19 連續型隧道各區段的有效性指數列表 .....	82
表 5-20 連續型隧道考量各區段與車道數變數的 SPF 模式 .....	82
表 5-21 連續型隧道考量各區段與各年份差異的 SPF 模式 .....	83

# 一、緒論

## 1.1 研究背景與動機

台灣為一狹長型的海島型國家，陸地總面積約為 3 萬 5,886 平方公里(內政部地政司，2016)，其中平地的面積僅佔本島總面積約 3 分之 1，其餘地區為山地與丘陵地形，而可用以發展產業的平地地區，主要分布在西部與東部地區。主因本島山地地形縱貫台灣南北，故台灣的道路發展，易受到南北縱貫之山脈影響。若需要往來台灣東西部地區，必須要透過穿越山脈，或是沿著海岸線的道路行駛。

以台灣經濟貿易最為旺盛的北部為例，民國 95 年之前，若以台北市為起點，欲開車前往宜蘭、台東、花蓮等地區，可選擇的道路只有穿越山脈的「北宜公路」(即省道台 9 線)，以及沿基隆、宜蘭的海岸開闢的「海岸線道路」(即省道台 2 線)而已，此二公路皆為國道五號高速公路與雪山隧道興建前，聯繫台灣東西部往返，相當重要的聯絡道路。但北宜公路的道路曲折多彎，且行經山區道路，所以無法有效提升公路運輸效率；海岸線行駛之台 2 線，沿台灣北部蜿蜒曲折的岸邊興建，沿途因發展較早，已有相當多村落與住宅，若想進一步提升此路線之公路運輸效能—拓寬道路、道路截彎取直等措施在實施上會有較多阻礙。

鑒於當時兩重要公路運輸通道，均面臨道路曲折，道路容量已無法滿足對公路運輸越發旺盛的需求，所以國道高速公路局乃規劃興建「國道五號高速公路」，但此高速公路中，部分路段必須穿越中央山脈，其中又以穿越雪山山脈的雪山隧道以及眾多隧道群最賦盛名。

隨著 2006 年國道五號的雪山隧道通車，交通便利，車輛激增，惟在 2012 年發生自雪山隧道通車以來，最嚴重的火燒車事故後，民眾對於隧道安全，與事故處理方式才越發重視。而在隧道會影響事故發生的因素，有人為因素，機械因素、天候因素等，是否還有其他因素？這些因素是否可量化分析？量化分析後，是否可以活用？這些都是本研究的探討動機。

目前有關整體評估隧道的易發生事故地點的區段式分析研究相當稀少；國內以隧道事故為研究課題之碩博士論文計 154 篇(使用「台灣碩博士論文加值系統」以隧道事故為關鍵字搜尋)，期刊論文計 32 篇(本校購置之「華藝線上圖書館」以隧道事故為關鍵字搜尋)，總計 186 篇。關於隧道事故安全相關之研究內容，多以隧道事故處理、火災事故、隧道通信、隧道逃生措施等，為主要研究方向。但對於「預測隧道周邊何處易發生事故」之研究卻相當缺乏。

國內對於隧道相關的數據，經常以雪山隧道進行分析，探究長隧道內的火災相關事故、車流量管理、逃生策略等問題，且檢視高速公路隧道多年份的事故資料(含 A1、A2 及 A3)，可以製成以下表格：

表 1-1 各年份的事故件數

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015
隧道事故數	437	648	644	607	593	519

單位：件

從整體各個年份的隧道內事故，大致可以看出隧道的事故件數，隨著年份而逐漸下降，但是若檢視各個隧道單獨的全部年份的事故數資料，卻可發現各個隧道的事故數，並非全部為逐年下降的趨勢。且本研究即在仔細檢視後，思考在隧道前或後的區段，是否可能會跟隧道內的事務發生頻次有相關，而且在行駛隧道時，從隧道前進到隧道內，或是從隧道內駛出隧道後，進隧道或出隧道是否可能對事故有不同影響，故本研究對於進隧道前與出隧道後的路段進行分析。

本研究透過更數據化方式，瞭解可能影響交通事故發生的變數，並區分為隧道的進隧道前、隧道內、出隧道後區段，對各區段的事務發生件數進行探討。

而參考高速公路局近年的國道事故分析檢討報告，對於隧道相關事故，均只以統計隧道中事故比率為主，以下是進行本研究的背景：

1. 國內較少針對「進隧道前」或「出隧道後」的事務的成因進行比較
2. 未檢討不同隧道區段的事務數量、事務成因是否有差異
3. 對於為何會造成事務的可能因素的研究也不多，而研究結果亦多著重於在單一隧道的單一交通事故案例分析，或某一隧道的事務逃生、火場逃生、車流堵塞、車隊停等等之研究
4. 此種研究僅可得知某一隧道，在一定時間內的隧道內事務成因，與僅限於與此相關或類似的隧道地點，範圍小
5. 若想瞭解其他隧道或是進隧道前、出隧道後等區段的事務成因的研究，則缺少有關的研究成果可供參考

考量在隧道前或後的不同地方可能有不同的影響因素，例如：進隧道前的位置，可能會受到日照光線影響，或是進入隧道前的雨量影響；或是在出隧道後的位置，可能有不同的地理條件或日照光線的因素，亦有可能造成不同的影響。國內有關隧道之研究為以單一隧道的單一事件進行研究與分析，或以隧道逃生、火場逃生、隧道內車流狀態等為研究方向，較少以全部隧道做研究的對象，除此之外，隧道的進隧道前與隧道內或與出隧道後的影響因子比較亦無相關研究，故本研究以全部隧道的進隧道前、隧道內以及出隧道後區段進行影響因素的比較。

國外亦有隧道相關之研究成果，部分研究以隧道內的重大事務做研究對象，探討其交通事故的成因，亦有部分係探討在隧道前，或隧道內的事務因素影響差異；進出隧道間，是否會造成交通事故？或是比較在隧道不同區段的事務數量等，而給予評論與改善建議。

目前國內對於高速公路交通事故之研究較少以數據、量化之方式，分析統計發生在道路的事務總量、事務發生時的各項「地理環境背景」因素。對於交通事故之預測，僅能以遠通電收股份有限公司，架設於高速公路上的電子收費系統

資料 (Electronic Toll Collection, ETC)，或是由交通部國道高速公路局，所建置的車輛偵測器(Vehicle Detector, VD)系統等所蒐集的車流量，年平均日交通量(AADT)等資料做判斷基準，較少加入考量不同可能影響交通事故的因素。

因交通事故的造成原因相當複雜，有人為(用路人)因素、道路因素、車輛因素、天氣因素等多項因素，人為因素與車輛因素的資料蒐集取得較為困難；故本研究以較能公開取得之道路因素做研究，蒐集資料有各事故發生的時間地點，及地理環境數據內容，希望以可調整與改變的因素，減少交通事故的產生，並從各種道路因素的環境數據中，透過在「負二項回歸」下建立的數學模式，建立對於交通事故發生的初步預測。

本研究參考美國《公路安全手冊》所建議的數學模式，以及國外許多對於隧道以及高速公路交通事故的研究，選擇能以多項地理環境變數數據，進行交通事故預測的數學模式，即「安全績效函數」的方式，以台灣高速公路之隧道做研究對象；並將隧道分隔為不同區段，以計算各區段，可能發生事故之頻次模式，以比較各區段的事務發生成因的函數，以及可以初步預測不同區段的交通事故可能發生頻率，進一步能讓隧道管理單位，能透過此函數，對易發生事故的區段，做改良或預防措施，以減少事故發生。

本研究以數據方式，建立能初步預測，進入隧道前一定距離、進入隧道後，以及出隧道後一定距離內，三個區段的安全績效函數(safety performance functions, SPFs)，以得知在不同區段可能影響交通事故的因子與影響大小為何；對於事故數的預估上，提供國道高速公路局或相關單位，更快速的評估隧道區段事故方式。

## 1.2 研究目的

欲增加高速公路在隧道區段的行車安全，可以從現有高速公路隧道的事務資料分析，以得知在目前有發生交通事故的隧道區段，有那些因素可能造成交通事故的發生，並得知這些變數對於交通事故的影響大小，可讓後續隧道管理單位參考。

1. 提供其他一般道路地區的隧道，可以用較客觀，以及數據化的方式，評估當地可能發生車禍的機率跟數量
2. 可以得到隧道各區段，以歷史資料進行分析後，不同區段之間事故發生頻次的差異性
3. 計算隧道的安全績效函數，地方政府或是相關單位，可以透過安全績效函數，推估得隧道不同區段，可能發生事故的頻次高低
4. 能清楚知道隧道較易發生事故的區段，並對此區段進行改良
5. 可以用其他設施，減少用路人於隧道地區發生交通事故的機率
6. 若有增建隧道工程時，各級政府相關部門，亦可據此作為初步規劃，與細部設計時之參考

### 1.3 研究課題與範圍

所謂隧道泛指穿鑿山岳、興建於河海或地面下方的通道可稱之為隧道。本研究以發生於高速公路目前已通車的進隧道前、隧道內、出隧道後等區段的交通事故為研究對象。針對進隧道前、隧道內與出隧道後各區段之交通事故，以及各隧道之工程數據，選擇需要的工程數據做分析。

根據國道高速公路局 2015 年的年報顯示，高速公路目前已通車路段，共有隧道 52 座，其中國道 1 號 2 座、國道 3 號甲線 4 座、國道 3 號 30 座、國道 5 號 10 座、國道 6 號 6 座等，總長度約 79.231 公里。「交通事故」為以內政部警政署國道公路警察局所提供之 2010 至 2015 年台灣地區高速公路，所有 A1、A2 與 A3 的交通事故資料，此事故資料包含事故發生地點、里程位置、事故地點之道路環境資訊等資料，另因隱私問題，並無駕駛人、受害者等的個人相關資料，亦無車輛的相關資料，僅有事故發生當時，由警察所記錄的地理相關資料，每一筆資料均包含事故發生當時的各種地理資料、道路資料、傷亡人數等。

本研究內容是以發生在隧道附近，包含進隧道前一定距離、隧道內，出隧道後一定距離，以及部分連續的隧道與隧道間區段，增加考量隧道間區段，此四個區段的交通事故的可能影響因素做研究主體，使用廣義非線性回歸分析的方法，進行可能影響交通事故發生頻次的預測，為便於後續說明，本研究將進隧道前一定距離區段稱為「隧道前區段」；隧道內區段稱為「隧道內區段」；出隧道後一定距離區段稱為「隧道後區段」；部分相鄰的連續隧道群，其隧道與隧道之間的區段稱為「隧道間區段」。



## 1.4 研究流程

本研究之研究步驟包含一、研究背景及問題分析；二、確認研究問題；三、文獻回顧；四、確認研究分析方法；五、資料蒐集；六、進行研究分析；七、歸納分析結果與結果討論比較；八、獲得研究結論及建議，研究流程如圖 1-1：

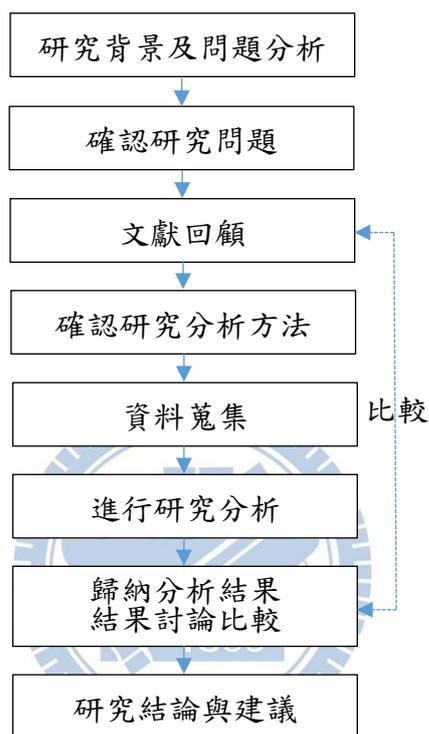


圖 1-1 研究流程圖

### 一、研究背景與問題分析：

首先須確認研究的問題，並需針對問題背景做研究與分析，以為後續聚焦研究之背景與問題。研究背景可聚焦在尚未有較多研究的項目，並對該項目進行相關的研究內容閱讀與比較分析，例：類似研究對象、類似研究方法、或是有跟推論結果上相似的研究。而後於聚焦後的範圍中，界定研究的主體，並確認欲研究的問題。

### 二、確認研究問題：

在經過不同的研究背景，跟相關研究問題的分析與比較後，斟酌選出多個，目前尚未有較多研究，或可進行更深入分析結果的問題；並思考此問題是否能利用目前的科學研究方法，進行問題的比較與分析，並針對欲研究探討的問題進行研究問題的確認。

### 三、文獻回顧：

對欲研究的問題，進行相關的文獻回顧，藉由閱覽與比較，分析其他研究，有無可解決問題的方法，並在整理與綜合比較，各研究之分析方法後，依照問題所需確認適合之研究分析方法。

### 四、確認研究分析方法：

從文獻中，參考其他相關研究，確認與選擇適合的研究分析方法；確認分析方法後，依照分析方法內，所需要之資料，進行資料的蒐集與分析。若資料不足或蒐集有困難，則需再回溯至文獻回顧的部分；參考不同研究，對於資料過少，或資料樣本數不夠時的處理辦法，修改資料分析方法，或資料來源等，以便蒐集更適當的資料內容，便於分析。

### 五、搜集資料：

從研究背景中，歸納出所需要研究的主體，思考需使用的研究資料，可參考相似研究的使用資料，例如：某地區多年的事故資料、年車流量資料、不同地點的地理特性等；此步驟需向相關單位申請資料，或是自政府公開資料網頁等搜集與整理；此步驟所需之時間較龐大，且須針對不同資料，確認其資料可信度與是否可用。

### 六、進行研究分析：

將整理與調整過的資料，進行研究與分析，例如：本研究為建立隧道不同區段的安全績效函數分析，故須對隧道不同區段的事故，與地理資料等進行整理，並使用數學統計軟體，以事故、地理資料等，建立各區段的不同安全績效函數，並從各區段中，選出該區段的配適度最好安全績效函數。

從各區段的安全績效函數進行解讀，了解各區段的安全績效函數中，有明顯影響的變數。

### 七、歸納分析結果與結果討論比較：

對資料分析結果(即各區段的不同安全績效函數)列表，並比較各區段的安全績效函數與其他區段之函數差異，歸納與分析有何共通的結果，與類似研究的結果進行比較；可比較不同地區、研究資料的結果，是否有差異；彙整與相關文獻研究結果，相同或相異之處，說明討論研究結果，與文獻結果相異之原因，或進行論證，並且確認是否能解決研究問題，而視分析結果，決定是否需再次進行研究分析。

### 八、研究結論與建議：

由研究分析資料、研究分析過程及研究結果討論比較等，確認研究問題的最終研究結論或解決方案。另將研究過程重點、應注意之處、疑義，可為後續研究之項目，在後續待研究課題中說明，以供後續研究之參考

## 二、 文獻回顧

本章首先回顧公路事故相關研究會使用到的相關背景知識跟名詞定義、交通事故發生模式常用的分配、安全績效函數與事故調整因子、隧道相關的文獻以及回顧將隧道分區段進行研究分析的文獻，最後則是研究方法的相關文獻回顧。

### 2.1 公路事故分析背景知識與名詞定義

美國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)，提出具有科學基礎的分析技術，以量化方式進行道路安全、運輸經營、環境衝擊，及建設經費等事項之評估；改良一般交通安全相關的研究中，因交通碰撞事故發生數受到環境改變影響甚大，可能有回歸趨於平均(regression-to-the mean)的效應，並有註明，若忽略某些特定路段，則無法進行通盤性的分析與運用的缺憾(AASHTO, 2010)。

《公路安全手冊》提出了結構性的方法論，用以推估某路點(site)、設施及路網，於特定期間、幾何設計、道路特徵及年平均日交通量(AADT)等條件下，平均碰撞事故發生頻次之期望值，此預測方法亦可運用在未能取得有效碰撞事故發生頻次(數)資料、預測模型等狀況下，推估碰撞事故發生頻次(數)。平均碰撞事故發生頻次的期望值(expected average crash frequency) $N_{\text{expected}}$ ，使用碰撞事故發生頻次預測模式的預測值(predicted average crash frequency) $N_{\text{predicted}}$ ，及碰撞事故發生頻次觀測值(observed crash frequency) $N_{\text{observed}}$ 進行推估。

預測模型為利用與研究路段(點)道路特徵相似之參考路段(點)，觀察或調查所得之發生碰撞事故資料，以統計方法進行評估。《公路安全手冊》中提到實證貝式分析方法(empirical Bayesian approach, EB)，結合預測模型之預測值 $N_{\text{predicted}}$ ，及參考路段實際碰撞事故頻次觀測值 $N_{\text{observed}}$ ，此二變數為實證貝式分析方法之重點變數，配合權重因子(weighting factor)，預估某研究路段之平均碰撞事故發生頻次期望值，後續對事故發生頻次(crash frequency)使用事故調整因子(crash modification factors, CMFa)、事故調整函數(crash modification functions, CMFs)及安全績效函數(safety performance functions, SPFs)等方法，評估及比較此措施對於行車安全之影響(AASHTO, 2010)。

《公路安全手冊》中對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，發生於軌道上的車輛事故。
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的次數，期間多以年為基礎，單位為次/年。
3. 碰撞事故數推估(crash estimation)：即運用各種方式，預報(forecast)或預測(predict)碰撞事故發生頻次，包含現有道路於現狀下，現有道路於其他狀況下、未來碰撞事故發生頻次推估，以及新設道路於特定狀況下，未來碰撞事故發生頻次推估。
4. 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，因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。
5. 碰撞事故評估(crash evaluation)：判斷執行某項特定措施計畫的有效性(effectiveness)，而有效性指的是某特定某路點、路段或路網執行措施後，平均碰撞事故發生頻次期望值之改變量。

《公路安全手冊》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)：包含碰撞事故案件資料內，記載的所有資訊，如發生地點、日期、時間、損傷嚴重程度、照明程度、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點的道路特徵型態資料，如道路等級、速限、車道數、車道寬度、有無分隔帶、路肩寬度、曲線半徑、坡度等資料。
3. 交通量資料(traffic volume data)：公路安全手冊中的分析方法，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。

## 2.2 事故頻次模式

事故發生的資料具備隨機性、間斷性、稀少性與非負性等特性，因此無法使用一般常態分佈的回歸模式，進行事故頻次的分析，故以「負二項回歸模型」做事故頻次預估的說明。(Abdel-Aty et al., 2000; Hilbe, 2011; Poch et al., 1996)

交通事故可視為交通運行中進行多次試驗的結果，分為發生事故(成功)、未發生事故(失敗)，此事故的出現機率分配可以伯努利分配(Bernoulli distribution)的方式表示，如公式(1)。若想重複觀察某路段交通運行狀況事故發生數  $X$ ，即需重複進行  $n$  次試驗，可得事故發生數之機率分配  $k$ ，將公式(1)的伯努利分配進行  $n$  次試驗，以二項式分配的形式表示，如公式(2)。

若更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試驗，可將事故發生數之機率分配  $k$ ，以卜瓦松分配(Poisson distribution)表示，如公式(3)，而卜瓦松分配必須服從隨機變數之期望值與變異數相等之假設(Hilbe, 2011)。

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

其中： $p$  為發生事故(成功)的機率

$$P(x = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{(n-k)} \quad \text{公式(2)}$$

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

$k$  為事故發生數之機率分配

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} [P(x = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)}] &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{(n-k)} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{(n-k)} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k!} \frac{\lambda^k}{n^k} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} \\ &= \frac{\lambda^k}{k!} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \sim \text{Poisson}(\lambda) \quad \text{公式(3)} \end{aligned}$$

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

$k$  為事故發生數之機率分配

$\lambda$  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的期望值  $E(X)$  與變異數  $V(X)$  相等 ( $E(X) = V(X) = \lambda$ ) 之特性。但因交通事故有稀少性及隨機性，某路段在特定期間內，事故發生平均數與變異數難以相等，容易呈現事故發生數變異數  $V(X)$  大於期望值  $E(X)$  之過度離勢狀況。而根據其他交通安全相關的研究，負二項式分配克服未能符合卜瓦松分配期望值與變異數相等之要求 (Abdel-Aty & Radwan, 2000; Shankar et al., 1995; Washington, 2010)。而卜瓦松分配可視為負二項分配之特例，因呈現負二項分配的模式，均具有  $V(X)$  大於期望值  $E(X)$  之情況，而離勢參數  $\alpha$  亦偏大，故當離勢參數  $\alpha = 0$  時，負二項式分配即視為卜瓦松分配 (Hilbe, 2011)。

而負二項式分配之回歸模型，為運用最大概似估計函數 (Maximum Likelihood function)，進行參數校估與模擬；部分統計模式亦可使用廣義線性模型 (Generalized Linear Models, GLMs)，進行參數模擬與校估；若以廣義線性模型進行參數校估，須先選擇欲校估之資料，並給定一連結函數 (link function)。典型之連結函數包含常態分佈函數、指數函數、Gamma 函數、逆高斯分布函數 (反函數)、卜瓦松函數、二項式函數等函數形式。須以原始資料之散佈形式，選擇較適合之連結函數。選擇適合之連結函數後，方可建立解釋變數，與擬合值  $\mu$  之線性關係，當負二項式回歸模型之連結函數為自然對數、反連結函數時，可運用牛頓法 (Newton-Raphson maximum likelihood) 或迭代再加權最小平方法 (Iteratively Re-weighted Least Squares, IRLS)，進行廣義線性模型校估 (Hilbe, 2011)。

一個研究的樣本內可能會出現過多 0 的情形，在此情形可分為真實的 0 與假設的 0，真實的 0 在本研究中，為整年的路段中零事件數；而假設的 0 為缺乏樣本，而以 0 作為代表的數值。若樣本中有較多真實的 0，則可參考使用普瓦松或負二項分配的形式，作為樣本預估的形式。

若樣本因過多 0 而造成過度離散 (Over-dispersion)，則可考慮使用零膨脹的普瓦松模型 (Zero-inflated Poisson model, ZIP) 進行預估。若樣本 ZIP 模型無法預估或預估效果不好，則可以考慮使用負二項分配，抑或是零膨脹的負二項分配 (Zero-inflated Negative Binomial model, ZINB) 進行分析。

本研究為求得在負二項分配模式下，隧道各區段的安全績效函數，故在負二項式回歸或其他模型下，使用最大概似函數，進行安全績效函數的模型配適度檢測，並選出配適度較高的模式進行研究。本研究所使用的安全績效函數，為參考《公路安全手冊》對安全績效函數的定義，使用各路段的車流量、路段長度，以及其他變數等，作為安全績效函數公式的自變數。

## 2.3 安全績效函數與事故調整因子

安全績效函數 (Safety Performance Function, SPFs) 為一個可以用於預估某一特定路段，或路網的期望碰撞事故、發生頻次的統計基礎模型。(AASHTO, 2010) 此模型運用某一路段或路網，長期下來所觀察的道路特徵、道路組態與交通量等資訊，蒐集與碰撞事故相關之資料，再以碰撞事故發生的頻次或發生數符合負二項式分配

(negative binominal distribution, NB)前提下，使用統計上之回歸，或複回歸技術(multiple regression technique)進行參數校估與預測，同時判斷變數之顯著性。

根據《公路安全手冊》中，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考使用(AASHTO, 2010)。以負二項式函數配適的安全績效函數，可稱為完整安全績效函數，如下公式(4)(Park et al., 2015)。

$$N_{\text{predicted},i} = \exp [\beta_0 + \beta_1(\text{AADT}_i) + \beta_2(L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})] \quad \text{公式(4)}$$

其中：

$N_{\text{predicted},i}$  為某路段  $i$  預測碰撞事故發生頻次，單位：件/年

$\beta_k$  為變數校估所得之參數

$\text{AADT}_i$  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的安全績效函數模型校估結果為例，考量車流量與路段長度，此安全績效函數可稱為簡單安全績效函數，公式如下：

$$N_{\text{SPF}} = \text{AADT} \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{-0.312} \quad \text{公式(5)}$$

其中：

$N_{\text{SPF}}$  為安全績效函數預測的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的年平均日交通量(AADT)，單位：輛次/天。

$L$  為此研究對象鄉間雙向雙車道公路的路段長度，單位：英哩(mile)。

根據《公路安全手冊》所寫以及 Srinivasan 學者所寫，建構及研究安全績效函數之建議方式如下(Srinivasan, 2013)：

1. 確認設施類型：須先行確認道路分析類型，才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)或不同等級的路網分析。
2. 取得及彙整必要資料：依據分析等級，取得必要的資料，如：年平均日交通量、事故資料、道路特性資料等，並且決定樣本數量。
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、零膨脹的負二項分配等。而依據相關研究，通常以負二項式分配的配適結果較為良好。
4. 安全績效函數參數校估：使用統計軟體進行函數校估，及判斷變數顯著性。

5. 診斷安全績效函數：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。

安全績效函數，為建立事故發生數(頻次)與交通量、道路幾何特徵，及相關影響因子之關聯性，以預測平均或期望碰撞事故發生數(頻次)。參考 HSM 所建議之 SPF 預估方法與使用變數，會選擇使用研究路段，於長期觀察得到的年平均日交通量(AADT)、路段長度等參數來組成。若對於不同道路特徵或特性，進行安全性研究時，可再納入其他相關變數，如道路車道數、有無照明、有無測速取締裝置等不同特性進行分析，同時進行安全績效函數模型校估(AASHTO, 2010)。在安全績效函數模型中，可再區分為簡單安全績效函數模型，與完整安全績效函數模型。簡單安全績效函數模型，是以 AASHTO 所提出之安全績效函數模型做基礎，並以交通量(ADT 或 AADT)為單一解釋變數；完整安全績效函數模型，除包含交通量外，再加入道路幾何設計、路段長度、速限等，與事故發生數相關之解釋變數。

進行安全績效函數相關的推估後，可以發現，在推估之模式的統計特性，主要包括檢視模式的參數值是否顯著異於零，以及觀察模式之配適度(Goodness-of-Fit)。前者使用卡方檢定，後者多以概似比指標、貝氏資訊準則與赤池信息量準則(Akaike information criterion, AIC)等作為模式比較與選擇的標準。以下為各模式選擇指標的說明：

### 1. 概似比指標

概似比指標之計算結果須介於0至1之間，其計算方法如下所示，而根據 McFadden(1977)研究指出，若 $\rho^2$ 值介於0.2與0.4之間，模式會有較好的配適度。

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad \text{公式(6)}$$

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。

### 2. 貝氏資訊準則(BIC)

為考量模式的複雜度，其計算方法如下所示，其值愈小，表示此模式相對有較佳之模式解釋效果，以及沒有過度配適的情形，應優先選用。

$$BIC = -2 \times LL(\beta) + K \times \ln(N) \quad \text{公式(7)}$$

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)， $K$ 為該模式中顯著變數之個數， $N$ 為總樣本數

### 3. 赤池信息量準則

為由日本學者赤池弘次(Hirotsugu Akaike)於 1974 年發表，目前多已用於判斷或挑選配適模型，以避免變數過多，而誤判過度配適(overfitting)為較佳的模型，AIC 值為取得變數個數，與最大概似函數值之平衡，即模型變數少，但可獲得良好的概似函數值，則該模型具有較佳的配適結果。運用 AIC 值進行模型選擇時，AIC 值較小之模型為較佳的選擇，AIC 值計算方式如以下公式 (Park & Abdel-Aty, 2016)：

$$AIC = 2k - 2 \ln(L) \quad \text{公式(8)}$$

其中：k 為模型中變數個數、L 為模型最大概似函數值(maximum value of the likelihood function)

#### 4. 改良版赤池信息量準則

AICc 值為 AIC 值的改良版，也是判斷模式配適度的指標之一，此方法是由日本學者 Nariaki Sugiura 於 1978 年提出。AICc 值會考量較小且有限的樣本大小，並對模型的樣本數，跟變數數量進行計算，並加於 AIC 中，稱之為倒扣值(Penalty)。計算方式即以 AIC 做基準，針對整體模型內的變數個數、樣本數進行計算，若模型中變數個數越多，則較易有較高的倒扣值，此值為可增加 AIC 的準確度，以及減少因樣本數較小的不利。隨著樣本大小增加，AICc 和 AIC 都會隨之收斂，而 AICc 可收斂成 AIC。(Sugiura, 1978)

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad \text{公式(9)}$$

其中：k 為模型中變數個數，n 為觀測數

本研究的模型選擇方式，參考道路交通事故的相關文獻，並以概似比指標、BIC、AIC 值與 AICc 值，做判斷模型好壞的標準。AIC 值為目前安全績效函數相關研究，於判斷與選擇模式時所參考的數值，這些比較的數值為相對性的數值，樣本大小跟數值大小有密切相關，研究也提到探討 AIC 絕對值並無實質的意義，因 AIC 僅為比較的數值。(Park, Abdel-Aty, et al., 2016)此值為不同模式進行比較的數值，此數值越小，表示此模式具有越好的配適效果。在 Park, Abdel-Aty, et al., 等學者，對在不同道路情況下，路旁圍欄對於交通事故影響的研究中，亦在負二項回歸的情形下，進行安全績效函數的預估，而在其研究結果中可得知 AIC 的數值差異極大，最小者為 1733，最大者為 4086，並根據研究文獻選出有最小 AIC 數值的安全績效函數模式。而 AICc 值為 AIC 值的改良版，其值亦為比較函數模式的參考數值，並以 AIC 數值做基準，其數值跟 AIC 數值差距較小，僅能做輔助判斷的參考。

事故調整因子(CMFs)可以做為某路點、路段或路網，採取某項措施後，對於安全有效性之比例(AASHTO, 2010)，可計算某相似路段有無某項道路特徵(Feature)，對事故發生期望值的差異比較，此方法稱為跨區域(Cross-section)的 CMF 值。常用的 CMF 值計算方法為事前事後(Before-After)的 CMF 值，此方法為比較同一路段再實施某項措施前後，對事故發生頻次期望值的影響比較，但是要能找到剛好有路

段實施某項措施後，其多年的事故資料的路段不容易，所以另外有研究提出跨區域的 CMF 值，此方法又可稱為對照組的事前事後比較分析，此方法為得知一個路段是否有某項特徵對交通事故的影響，因不易找到道路特性完全相同的路段，故須找到某項特徵外，其餘特性相似的路段(Frank Gross, 2010)。而本研究所打算比較的事故頻次期望值，為隧道前或後等區段之間的比較，屬於跨區域的 CMF 值，故使用跨區域的 CMF 值。而 CMF 值的計算公式如下：

$$CMF = \frac{\text{實驗組的事故數觀測期望值}}{\text{對照組的事故數觀測期望值}} \quad \text{公式(10)}$$

其中：

實驗組為有某項特徵的路段

對照組為沒有某項特徵的路段

事故調整因子數值大小，可用以判斷某特徵對於行車安全的影響，其臨界判斷值為 1，若 CMF 值 < 1 代表沒有某項特徵的路段的事故數觀測期望值低於有該項特徵的路段，亦即該特徵會讓行車事故數下降；若 CMF 值 > 1 則該項特徵無助於甚至有害於行車安全；若 CMF 值 = 1 代表該項特徵不影響行車安全，假設某路口長期平均碰撞事故發生頻次為 10 次/年，若有相似度道路特性的路口，但是設置外觀尺寸較大之停等標誌(stop sign)，而此路段的長期平均碰撞事故發生頻次為 8 次/年，則此特徵之碰撞事故修正因子(CMF)為 0.8，可推測設置外觀尺寸較大之停等標誌，會使路口碰撞事故發生頻次期望值下降為 8 次/年或降低 20%，故有助於提升路口安全。

事故調整因子可與安全績效函數(SPFs)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，以說明某措施或情形，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 10 次碰撞事故，若同時採取某措施 X， $CMF_X = 0.8$  及開放某限制 Y， $CMF_Y = 1.81$ ，則此路口每年期望發生 14.4 次碰撞事故（10 次/年  $\times$  0.8  $\times$  1.81 = 14.4 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、檢查成本效益分析中各項假設之有效性等功能。

在求得安全績效函數後，為得知預估值與實際值的差異性，經常使用有效性指數(Index of Effectiveness)以評估預估的效果。計算有效性指數的方法有兩種，方法 1 為將透過模式預測到的事故頻次期望值的加總，減去觀測到的事故發生頻次期望值的總和，此方法通常用於比較某措施實施後，對同一路段的事務頻次期望值改變量；方法 2 為預測的事務發生頻次期望值的加總，除以觀測到的事故發生頻次期望值的總和(NCHRP)。

從閱讀文獻中，可以得知大部份交通安全措施相關之研究，常為直接觀察某一路段或是路口的碰撞事故發生數，並分析此路段的肇事原因，接著採取預防再次發生相同肇事原因事故之措施，如某路段常因超速導致碰撞事故發生，則採取增加超速取締與增加警告標誌等措施；某路口號誌設計不良，導致事故頻頻發生，則應重新設置號誌時相的秒數，或是行車路權的重新安排等。若以實際碰撞事故發生數，進行常見的事前事後分析比較(before-and-after analysis, BA)，以擬定事故預防措施時，容易因為觀察值每年數據大小不一、無法控制的環境因素、用路人因素等資料無紀錄，可能影響事故發生的因素情形、無法代表長期期望值之迴歸效應(regression-to-the-mean)偏誤(bias)。此外，BA亦未考量每一年份的交通量，是否影響量均相同等，諸多因素未能一併進行評估，此外，部分路段可能不易取得事前明確且具有代表性之碰撞事故資料，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，因此公路安全手冊建議使用實證貝氏分析法解決此問題 (AASHTO, 2010, Hauer, E., 1997, 許書銘, 2017)。以交通相關的安全議題，可分為兩種方式進行研究及討論，一種為由特質(trait)變數進行分析，如駕駛者特性、交通特性及道路特徵等，或是影響交通安全的人、車、路等三大因素。另一種方式可由事故數值化分析，如事故發生次數、事故發生頻次等，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)。

關於本研究所參考使用的貝氏分析法(Bayesian analysis approach)，為基於對於研究主題之先備知識，再加入特定條件後，使用機率的方式，推論某主題於加入考量某項特定條件後，此研究主題所發生的影響。而使用貝氏推論(Bayesian inference)時，於研究主題進行實驗或分析取得的資料前，需事先瞭解研究主題原始的本質與統計特性，亦即先驗機率分布(prior probability distribution)，比較與理解資料是否適合使用貝氏推論，始能推論加入某特定條件或限制後，此研究主題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題的先驗機率分布，以及結合目前獲得資訊的方式不同，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)，此二方法的差異為實證貝氏方法為使用先驗機率的方式，進行推論後驗機率的分布形式；而充分貝氏方法為利用馬可夫鍊蒙地卡羅模擬法(Markov Chain Monte Carlo Simulation, MCMC)方式進行模擬，以推論得後驗機率的分布情形(許書銘, 2017)。

在求得最適當的安全績效函數後，透過此安全績效函數建立每個隧道在不同地理條件下的預測事故數，以實證貝氏方法撫平事件預估的隨機性，貝氏方法為以先驗機率的方法，針對一個路段所預測到的事故頻次，以加權的方式，加入長期下來所觀察得到的事故頻次期望值，並可得到較符合現況的事故頻次期望值，亦即後驗機率分布。要使用貝氏方法進行調整，則需先計算權重，權重的計算公式如下：

$$w = \frac{k}{k+n*N_{\text{predicted}}} \quad \text{公式(11)}$$

其中：

w 為權重

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

$N_{\text{predicted}}$  為預測的事故頻次期望值

n 為事故資料的總年數

求得權重之後，計算經實證貝氏方法調整後的預期事故數，其計算公式如下：

$$N_{\text{expected}} = w * N_{\text{predicted}} + (1 - w) * N_{\text{observed}} \quad \text{公式(12)}$$

其中：

$N_{\text{expected}}$  為經實證貝氏調整後的事務頻次期望值

w 為權重

$N_{\text{predicted}}$  為安全績效函數模式的事務頻次預測值

$N_{\text{observed}}$  為觀察到的長期事務頻次觀察值

而為了得知兩類型隧道各區段，在不同類別下的有效性分布情形，故計算其有效性指數，其計算公式如下：

$$\pi = \frac{\tau}{\theta} \quad \text{公式(13)}$$

其中：

$\pi$  為有效性指數的計算值

$\tau$  為經實證貝氏調整後的事務頻次期望值的加總

$\theta$  為觀察到的長期事務頻次觀測值的加總

有效性指數為得知預測的事務發生頻次與觀測到的事務發生頻次差距的指數，若  $\pi > 1$ ，則表示預測的事務發生頻次大於觀測到的事務發生頻次，即此事故預測模式可能會高估事務發生頻次；若  $\pi = 1$ ，預測的事務發生頻次與觀測到的事務發生頻次相近，即預測的事務發生頻次與觀測到的相近；若  $\pi < 1$ ，則表示預測的事務發生頻次小於觀測到的事務發生頻次，此事故預測模式會低估這個路段的事務發生頻次。

## 2.4 隧道事故與交通事故

關於隧道相關之事故研究，以國內之隧道相關研究為例，主要包含隧道之逃生策略規劃、隧道防災、隧道內火災之傷患緊急運送的研究、隧道內火災的用路人疏散研究，及隧道內的交通控制策略等，且多以國道五號的雪山隧道做研究對象，較缺乏其他隧道之特性與資料。

俞學者在 2006 年曾介紹安全評估方法之應用，此方法為針對隧道內，會影響火災等事故的不同設施進行評分，並從最後總分中，得知哪一隧道具有經過評估之最大事故頻次的結果，而此學者是以雪山隧道為示範對象，從結果中可以得知，此安全評估模式考量之因素為八大類，包含隧道系統、照明與電力、交通與交控等五項，可以得知，照明度亦為影響安全的因素。該項研究僅就隧道內，照明設施所產生的照度進行評分，並未針對隧道前後，因天候因素及不同光度時段的日照強度所造成的光線變化，對隧道事故做進一步的分析與探討(俞裕中, 2006)。

Ma 等學者針對可能影響，或造成隧道事故的因素研究，此研究探討的因素，包含高速公路隧道的流量、隧道環境、隧道幾何設計、天氣等因素；所使用的資料為中國警察所記錄的高速公路隧道事故資料。此研究使用多項次序羅吉特模型 (generalized ordered logit model) 進行分析，所得之結論為五項因素會對隧道中事故的嚴重性造成影響，分別是季節、在一天裡的時間點、事故地點、隧道長度、惡劣天氣；且在接近隧道入口或是隧道出口的事故通常會較嚴重，這篇研究提供了選取變數的參考(Ma et al., 2016)。

Caliendo 等以義大利 2006 至 2009 年間，260 座隧道的事故資料做研究，分析可能造成隧道事故的不同車流、道路幾何設計、環境等因素。此研究使用隨機負二項分配模型與最大概似估計法的負二項回歸模型，進行分析；使用的可能影響變數，包含隧道長度、隧道裡每一車道的年平均日交通量(AADT)、卡車比例、車道數、以及有無人行道等變數。經分析包含無嚴重事故，以及有嚴重事故的資料後，其模型預估結果顯示，隧道長度、AADT、卡車比例、車道數，為影響隧道事故的明顯因子；此研究較不同之處，為加入考慮卡車比例，以及是否有人行道的因素(Caliendo et al., 2013)。

Hadi 等學者在 1995 年，分析美國佛羅里達州 1988 至 1991 年間的交通事故資料，依照畫分路段加以整理，建立與比較可能影響事故產生的各項因素。此研究指出交通事故資料可能有過度離散的現象，若使用卜瓦松回歸模式進行分析，雖然可以分析校估出較一致的參數，但是參數的變異性將不符合一致性，故選擇負二項回歸模式分析公路橫斷面的設計對交通事故的影響。此研究所參考的可能影響變數，包含路段長度、AADT、車道寬、內側與外側的路肩鋪面跟寬度、中央分隔帶寬度與類型、速限等變數。而此研究的路段劃分原則，是參考道路有相似幾何特性的路段，即視為同一路段。作者將每一路段的區段長度，訂在 0.05 英哩(約 80.4 公尺)以上，目的為減少受鄰近路段長度的影響，過短的路段長度無法呈現此路段的特性，

減少因過短路段，可能跟鄰近的也是相似道路特性的路段，有類似的事務頻率呈現 (Hadi et al., 1995)。

Abdel-Aty 等學者於 2000 年使用美國加州、佛羅里達州 1992 至 1994 年 3 年間，發生在佛州主要幹道之 1606 件交通事故資料，作影響事故產生模式之研究。此研究以 AADT、道路水平彎度、道路路肩寬度、分隔帶寬度、分區長度等因素作分析之變數，使用負二項模式作為回歸分析之方法。在此研究中，得知較大的車流量、超速、較小的車道寬、較多車道數、較小的車道區隔寬度、較小的路肩寬度等因素，會導致相關事故的產生 (Abdel-Aty & Radwan, 2000)。

Caliendo 等學者在 2007 年，曾以義大利之雙向二線道道路，做預估事故發生模式之評估，此研究使用 1999 至 2003 年之 1916 件交通事故資料，在調查路段並無行人與自行車等因素。此研究使用卜瓦松、負二項、負多元回歸 (Negative Multinomial regression) 等方式進行模擬，並使用最大概似估計與廣義相似度等方式進行預估，其研究為以分段長度、視距、道路側摩擦係數、縱向坡度、堵塞出現次數等，作可能影響變數的因子。研究結果為分段長度、道路曲度與 AADT 為影響事故的顯著因子 (Caliendo et al., 2007)。

Anastasopoulos 等學者使用美國印第安那州 1995 至 1999 年的州際高速公路事故資料，將高速公路分為 322 個路段，其路段長度介於 0.1 至 11.53 英哩間 (約 161 公尺至 18555 公尺之間)，平均長度為 0.9 英哩 (約 1448 公尺)，每一路段的界定依據為路段內均具有相同的道路地理特徵，例如：內外側路肩的寬度、中央分隔帶寬度、道路鋪面、車道數與速限等變數，並使用負二項迴歸分析的方法，進行資料的分析，並從中推論哪些因素，可能會對交通事故發生頻次造成影響，其所使用的變數包含：路段長度、路面水平曲率、路面粗糙指數、年平均日交通量 (AADT)、卡車比率、內側路肩寬度、中央分隔帶寬度、是否有中央分隔護欄等。而此研究指出，在道路幾何類型中，道路路段長度、中央分隔帶類型與寬度、斜坡與橋樑數量、水平與垂直曲度、路肩寬度等為顯著變數；而年平均日交通量 AADT 與卡車比率也對交通事故發生頻次有顯著影響 (Anastasopoulos et al., 2009)。

Ma 等學者以中國 2006 至 2008 年間，567 件高速公路事故資料做研究資料，並將發生事故的高速公路以固定長度做分區段依據，並以有相同縱向坡度之路段，使用最大概似估計法之負二項回歸，與隨機現象的負二項回歸 (random effect negative binomial, RENB) 分析。此研究以縱向坡度、道路曲度所佔百分比、每單位長度改變角度、水平曲度、超高、道路寬度、坡度等因素，做為考量變數，得到縱向坡度、道路寬度、坡度百分比、彎度等因子，為有顯著影響之變數。且其研究結果顯示，以隨機現象的負二項回歸做研究方式，可以得到較好之結果。此外，若以相同長度，做分區段長度，會有比以相同縱向坡度之路段做分區長度有更好之效果 (Ma et al., 2017)。

Russo 等學者以義大利 2006 至 2010 年間共 1295 件事務的資料進行研究，此研究將義大利高速公路的資料，依照 HSM 所建議的基礎 (鄉間雙向二線道道路) 與非基礎路段，將事故區分為：1. 死亡，當場死亡或是在送往醫院路上死亡或在抵達醫

院 48 小時內死亡(類似國內的 A1)，與 2.受傷，僅有輕微受傷與需要搭乘救護車且未在抵達醫院途中死亡(類似國內 A2 與 A3)，其研究分成僅考慮死亡、考慮死亡與受傷等不同情境進行 SPF 分析。此研究所以分類顯著變數的方法為，分類與回歸樹演算法(Classification And Regression Tree, CART)所得，此方法透過將全部樣本透過每個變數進行純度的檢測，並不斷試驗直到得到最佳的分類樹為止。此研究所使用的變數為 AADT、坡度、路段長度、車道寬、曲線半徑變化量等因素。而此研究結果為得到(1)在基礎路段以及僅考量死亡時的 SPF 模式、(2)兩個當考慮至少有一件死亡與受傷同時發生時，預估死亡與受傷的 SPF 模式，及(3)一個在每個路段都是同樣性質時，預估全部死亡與受傷的模式(Russo et al., 2016)。

根據交通部公路類公路工程所出版之交通工程規範所寫，公路照明之目的在於提高交通安全及行車效率，而在許多地點均需要考慮設置照明裝置，例如：交流道區、服務區、隧道等地點，而在這之中，在輝度與照度不同之交界，應有緩和照明之設置，例如：隧道前與隧道內的交界處，或是隧道內與隧道後的交界處，本研究所研究之範圍內有包含此類型的隧道交界。

另外，外部照明的光線不得對駕駛人產生眩光，此考量與在出隧道前的日照相同，能減少駕駛人行駛的困難。隧道在設計隧道內照明時，應視隧道進行分區，將入口區之輝度調整為接近區的 5-10%為原則。而出口區之加強照明以內部區基本照明之 5 倍為原則，若須增減加強照明之長度，依車速、線形等情況決定之。可以從交通工程規範中得知，隧道前或隧道後區段，其區段內的照明設計，會受到周遭的光度時段影響而有所不同。而照明為影響行車安全重要的因素之一，雖然目前汽車上均配有頭燈等照明配備，但是在隧道內仍須進行照明，以增加清楚度，減少進出隧道的光線，對於駕駛人的眩光影響。

表 2-1 隧道事故與研究變數相關文獻彙整表

作者 (年分)	研究事故 範圍	研究變數	顯著變數	研究方法
Hadi 等 (1995)	美國之 雙向道路	長度、AADT、車道寬、內側與 外側的路肩鋪面跟寬度、中央 分隔帶寬度與類型、速限	AADT、中央 分隔帶寬度與 類型、外側與 內側路肩寬度	負二項回歸
Abdel- Aty 等 (2000)	美國之 雙向道路	AADT、道路水平彎度、道路路 肩寬度、分隔帶寬度、分區長 度、超速、車道數	AADT、超速、 車道寬、車道 數、車道區隔 寬度、路肩寬 度	負二項回歸
Caliendo 等 (2007)	義大利之 雙向道路	分段長度、視距、道路側向摩擦 係數、縱向坡度、堵塞出現次數	AADT、分段 長度、 道路曲度	卜瓦松、負 二項、負多 元回歸
Anastaso- poulos 等 (2009)	美國之 高速公路	路段長度、路面水平曲率、路面 粗糙指數、日平均交通量 (AADT)、大車比率、內側路肩 寬度、中央分隔帶寬度、是否有 中央分隔護欄	道路路段長 度、中央分隔 帶類型與寬 度、斜坡與橋 梁數量、水平 與垂直曲度、 路肩寬度、 AADT、卡車 比例	負二項回歸
Caliendo 等 (2013)	義大利之 隧道	隧道長度、AADT、卡車比例、 車道數、有無人行道	隧道長度、 AADT、卡車 比例、車道數	負二項回歸
Ma 等 (2016)	中國之 隧道	AADT、隧道環境、隧道幾何設 計、天氣 季節、在一天裡的時 間點、事故地點、隧道長度、天 氣、車道數	季節、時間點、 事故地點、隧 道長度、惡劣 天氣、車道數	多項次序羅 吉特模型
Russo 等 (2016)	義大利之 雙向道路	AADT、坡度、長度、車道寬、 曲線半徑變化量	AADT、坡度、 長度、車道寬、 曲線半徑變化 量	負二項回歸
Ma 等 (2017)	中國之 高速公路	縱向坡度、道路曲度所百分比、 每單位長度改變角度、水平曲 度、超高、道路寬度、坡度	縱向坡度、道 路寬度、坡度 百分比、彎度	負二項、隨 機現象的負 二項回歸

## 2.5 隧道區段

一般駕駛人對於隧道內與隧道前或隧道後後區段最大的不同感受，莫過於隧道前或隧道後區段與隧道內最明顯的光線強度差異現象，根據會影響的高速公路駕駛人駕駛行為的相關書籍，可以得知人因因素(Human Factor)是會影響駕駛行為與行駛安全的因素。從交通工程中，可以知道駕駛人在從隧道前方進入到隧道內，會因為在不同光線強度下，須調整視覺靈敏度，此眼睛調整視覺過程稱為視覺的調適能力(Adaption)(陳惠國, 2013)。

不同地區的光線強度的對比則稱為光線對比(Contrast)，即兩相鄰地區的相對照度。(Fuller et al., 2002) 光線強度的常用單位為照度(Illumination)，即每單位面積所接受到的光通量，1 勒克斯(lux) = 每平方公尺接收到 1 流明的光通量。而流明則為一個光源發射 1 燭光的光線能量到一個立體角的範圍，則該立體角所見到的光通量即為 1 流明。不同的光線對比現象經常發生在從隧道前進入到隧道內，或是從隧道內到隧道後區段，在隧道前、隧道內、隧道後區段，其光線強度不完全相同，有光線強度的對比。

隧道前、隧道內或隧道後之間的差異，除了照度上的差異之外，也有可能與在隧道內是封閉的密閉空間有關，有研究指出隧道內的事故較一般開放路段的事故頻次高，其可能與隧道內是封閉的環境有關，尤其隧道內所見景色只有隧道牆壁，單調而無變化，可能會造成駕駛人視覺疲勞，而較慢察覺車輛前的情況，並發生事故。以下為不同研究針對隧道內或隧道前與隧道內的研究內容。

Lemke 以德國 68 處隧道，其中包含 46 處平均長度為 650 公尺，位於高速公路上之隧道，以及 22 處位於郊區，且平均長度為 800 公尺的雙車道隧道做研究，此研究發現有人員傷亡的事故數，在高速公路的雙向隧道中較高，而僅有財物損失的事故，在沒有路肩的高速公路隧道中發生機率較高，此外，事故在隧道中所造成的損失，比在一般開放道路還要少(Lemke, 2000)。

Amundsen and Ranes 使用當地警察所記錄的事故資料做研究，此資料紀錄挪威地區 587 處道路隧道，長達 5 年(1992 至 1996 年)的資料，隧道長度從 0.1 公里到 3 公里皆有。作者發現在隧道內區段，發生的事故的嚴重性，常會比在一般開放式道路還要嚴重，有較嚴重的傷者與死亡人數。此研究所採用的隧道分區方法，為將隧道分為 4 個區段，並計算各區段裡的事故值與事故率。此研究所得到的結果為在隧道前區段有較高的事故發生率，以及就長隧道的整體而言，有較低的事務發生率(Amundsen et al., 2000)。

Ma 等學者以中國地區高速公路隧道為研究對象，使用的資料，亦為當地警察所記錄的事故資料，資料裡為中國地區，4 處高速公路隧道的事務資料，這 4 處隧道長度介於 0.2 公里到 3 公里。此研究主要探討隧道裡的事務，是否有隨著月份或是小時呈現變化，但經過不同橫斷面分析後，並未得到明顯的發現。此研究於隧道分區上，採用類似 Amundsen and Ranes (2000) 的研究，將隧道分為 4 個區段，但此研究的區段長度劃分跟定義與 Amundsen and Ranes (2000) 的研究不盡相同。而

此研究所得到的結果為，在第 3 區有最高的事故發生率與受害者，此研究結果與 Amundsen and Raner (2000) 所得到的結果並不相同(Ma et al., 2009)。

Nussbaumer 分析了奧地利 50 個隧道，其中包含 18 個平均長度為 4.79 公里的雙向隧道與 32 個平均長度為 2.01 公里的單向隧道，此研究使用的資料，亦為當地警察所記錄的隧道事故資料。此研究亦將隧道分區，並發現在隧道內，較一般開放道路有較高的事故發生率，而且在隧道前的區段有較高的事故發生率，以及在雙向隧道裡的事務嚴重性，較單向隧道較為嚴重(Nussbaumer, 2007)。

Yeung and Wong 以新加坡當地警察所紀錄之隧道事故資料為研究對象，此資料包含 3 處均為單向的隧道，3 年(2009 至 2011 年)共 608 件隧道裡的事務，此研究與其他研究不同之處，為探討的隧道並非為穿越山脈之隧道，而是穿越都市建築、道路下的隧道。此研究將隧道分成 3 區，並研究各區段裡事務發生頻次變化。此研究得到的結果，事務發生頻次在轉換區段(即隧道前區段)，較內部區段(即隧道內區段)為高，且大部分為多車輛的事務，但在內部區段(隧道內區段)裡，每件交通事務的嚴重性卻較高，整體而言，在進入隧道時，事務發生的可能性較離開隧道時更高(Yeung et al., 2013)。

表 2-2 各研究對進隧道前與隧道內分區之定義

文獻作者	分區 1	分區 2	分區 3	分區 4
Amundsen and Raner (2000)	進隧道前 50 公尺	進隧道後 0 至 50 公尺	進隧道後 50 至 150 公尺	隧道其餘部分
Ma 等 (2009)	進隧道前 100 公尺	進隧道後 0 至 100 公尺	進隧道後 100 至 400 公尺	隧道其餘部分

關於分區長短的探討，Ma et al.對於隧道前區段與進隧道內分區之長度，是以駕駛人之認知反應時間(Perception-Reaction Time, PRT)計算區段的長度，Ma et al.以駕駛人之認知反應時間 4 秒為計算駕駛人偵測、辨識、決策、反應，直至車輛停下之煞停反應時間，當地高速公路之速限為隧道外與隧道內分別為 100 與 80(公里/時)，透過認知反應時間 4 秒，可以求得兩者的距離分別為 111.1 與 88.9 公尺，而為了便於計算，採用 100 公尺作為隧道前區段跟隧道內區段的分區長度。Miaou et al. 建議過短的路段，或是小於 80 公尺的分段，可能會對部分線性函數的評估上造成誤差，但若事務分布呈現普瓦松分配的情形，則不會受此影響(Miaou et al., 1993)。而 Ogle et al.亦說明，過短的分段或是小於 160 公尺的分段，可能會對事務分析造成不確定結果的影響(Ogle, 2011)。Cafiso and Silvestro 表示了如果想要增加分析的正確性，應依據不同 AADT 大小，進行不同長度的分段，例如：較少 AADT 的路段應給予較長的分段長度。(Cafiso et al., 2011)

Anastasopoulos 等使用美國的高速公路事務資料，將高速公路分為 322 個路段，其路段長度介於 0.1 至 11.53 英哩間(約 161 公尺至 18555 公尺之間)，平均長度為 0.9 英哩(約 1448 公尺)。(Anastasopoulos & Mannering, 2009) Zeng et al.對於一般高速公路的分段長短，有作多份文獻的整理，此研究使用的是美國華盛頓州 4 年份的高速公路事務資料，分段長短為高速公路路段線型有變更的部分，作分段的依據，故此研究包含多段不同長度的分段。此研究的平均分段長度為 2342.11 英尺(約

713.88 公尺)，中位數為 1372.8 英尺(約 418.43 公尺)，且考量美國的高速公路，線形變化長度普遍較台灣長。台灣擁有相同地理特性的道路長度均較短，此情形與美國不同，因此僅參考此研究，整理出分段長短，對研究結果的影響。(Zeng et al., 2017)

本研究根據文獻所閱讀結果，可以了解不同研究對於分區段長短有不同的定義方法，有的研究為隧道前後長度固定，有的會因 AADT 而改變分區長短，而本研究對於分區段長短認為應考量各隧道前後的道路環境，區分各隧道的前後長度，因固定長度可能會無法包含到每個隧道可能會影響該區段事故的變數，且固定長度的長短取捨，除參考相關文獻的研究外，可進行不同長度的敏感性分析，以求得各區段有最多事故數或預測效果最好的長度。而本研究的目的是為求得隧道各區段的事故調整因子，並求得能預測各區段的安全績效函數，故將隧道前或後區段的路段定義參考《公路安全手冊》所建議的公路路段定義，讓每個路段的同質性維持相同。《公路安全手冊》建議分析時，應每個路段內維持九項特徵相同(AASHTO, 2010)，分別是：

- (1) 年平均日交通量(AADT)
- (2) 路肩寬度
- (3) 路肩類型
- (4) 道路旁私人車道(Driveway)密度(車道數/英里)
- (5) 路旁危險指數(Roadside Hazard Rating)
- (6) 交叉路口
- (7) 曲線半徑
- (8) 垂直曲度(坡度)
- (9) 雙向左轉車道(Two-way left-turn lane, TWLTL)的起始或結束點

若上述特徵有所改變，則應另外劃分為新的路段。



## 2.6 分析方法

分析交通事故之統計比較方法相當多，其中，事前事後分析方法為較常見之方法(Hauer, 1997)。事前事後分析法，係針對同一研究主體，進行兩次橫斷面研究調查(Cross-sectional study)，分析同一研究主體中，研究變項或現象，前後兩次之改變情形，以利後續探索其導因。於交通安全研究領域中，經常使用事前事後分析法(before-and-after study, BA)，包含單純事前事後分析法(Naïve before-and-after study)、共軛連結比較事前事後分析法(Before-and-After study with yoked comparison)、對照組事前事後分析法(Before-and-after study with comparison group)、實證貝氏事前事後分析法(Before-and-after study with the empirical Bayes approach) 等四種事前事後分析法。(Cafiso et al., 2010; Hauer, 1997; Islam et al., 2015; ITE, 2009; Persaud et al., 2010; Saha et al., 2017)

單純事前事後分析法，為最常見之比較分析法，此方法為以同一路段，做研究主體；就此研究主體經過某一研究變項或現象前後的情形做研究基礎，分析經過某一研究變項之後，整體研究主體的差異。共軛連結比較事前事後分析法為單純事前事後分析法之進階版，此方法同樣須建立研究主體，但是其研究主體為挑選出與研究主體擁有類似設施、地理條件的相似路段做共軛研究主體，並研究變項在共軛研究主體上，對此研究主體之影響；並可用研究主體與共軛研究主體的差異做事前事後之比較與分析，共軛連結比較事前事後分析法，需每一研究主體對應到，一個共軛研究主體(ITE, 2009)。

而對照組事前事後分析法，則為共軛連結比較事前事後分析法的改良版，其研究主體，不需一個對應至一個共軛研究主體，而共軛研究主體總數，可多於原本之研究主體的總數；主因其放寬原本共軛連結，比較事前事後分析法的需要一對一的規定，並可透過更多的共軛研究主體，增加比較之差異性，與樣本數個體，以減少研究誤差。實證貝氏事前事後分析法為基於對於研究主體之先備知識，再加入某些特定條件後，運用機率統計方式，推論衡量該研究主體，於特定條件作用下的變化及影響。

而本研究即採用對照組事前事後分析法，對隧道的不同區段，進行事前事後的分析。而在本研究中，所謂「事前」即為隧道內的事故發生頻次，而「事後」則為隧道內以外區段的事故發生頻次，因為大部分對於隧道相關的研究，僅研究有關隧道內的事務發生頻次與相關的情形，並無針對位於隧道前或隧道後等區段的事務發生頻次進行研究，故本研究使用此分析法，對隧道的不同區段進行事故發生頻次的分析與比較。

運用貝氏推論(Bayesian interference)時，於研究主體進行實驗或分析取得觀測值前，必需事先瞭解研究主體原始本質的內涵及特性，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)，因貝氏

分析方法依據獲取研究主體的先驗機率分布，以及結合目前獲得資訊的方法不同；可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)。(Islam & El-Basyouny, 2015; ITE, 2009) 而貝氏方法為使用同一地點於不同年份下的安全績效函數或事故調整因子，針對單一變數進行不同年份下，使用安全績效函數、原始數值與貝氏理論方法推估的數值的比較。

## 2.7 文獻結論

本研究為探討隧道前後不同區段的事務發生情形，故需參考其他文獻對於隧道前與隧道後，區分區段長度的作法。而以往研究對於隧道前或後的區段長度定義有不同的長度與分析結果，區分的長度根據文獻建議，不應過長或過短，過短之定義為建議區段長度應至少為 50 公尺，考量固定長度可能無法包含到隧道前或隧道後區段可能影響行車安全的因素，故參考《公路安全手冊》對於同質路段的定義，將每個隧道依據各隧道自身的幾何特性區分各自的區段長度，以進行隧道各區段的事務調整因子與安全績效函數的分析。

經閱讀國外文獻可以發現國外的隧道相關交通事故研究，都是以隧道前一定距離，與進隧道內一定距離的事務發生頻次進行研究，並無針對各隧道定義各自的隧道前後區段的長度，且國外研究僅進行統計與簡單的敘述性統分析，並無使用如安全績效函數或是 CMF 值等方法進行比較與建立模式；而國內隧道相關的交通事故的研究，亦僅以各隧道的防災與逃生方法分析、案例分析、隧道火災防治、隧道災害逃生演練，主要為各隧道單獨的分析，並無針對整體隧道前跟隧道內等不同區段之間事務頻次進行研究，更無針對不同區段間進行建立模式的比較方式進行分析，故本研究對此建立國內隧道不同區段間的安全績效函數，並以此進行分析。

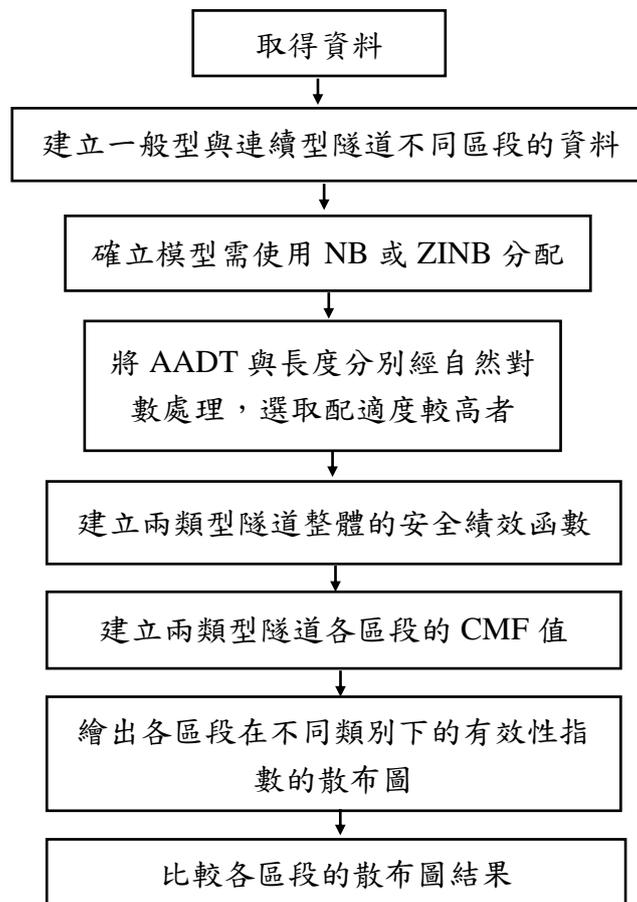
區分好隧道不同區段後，就可以針對隧道各區段的事務發生期望值，使用對照組事前事後分析法，計算隧道各區段的 CMF 值，例如：隧道前區段相較於隧道內區段的事務發生期望值的比較值。然後計算隧道整體考量隧道不同區段的安全績效函數，參考《公路安全手冊》對於建立安全績效函數的定義，以建議的車流量、區段長度等變數建立安全績效函數，並增加區段與其他不同變數，以求得配適度最好的安全績效函數，並以此安全績效函數去建立隧道各區段的有效性指數分布，以得知在哪一情況下，使用安全績效函數去預估，會有預估事務期望值高於、等於或小於觀測事務數期望值的情況。

### 三、 研究方法

本研究之目的為：透過既有資料，建立考量隧道各區段的安全績效函數，並探討各區段模式的影響變數，在本章節，分成研究流程、安全績效函數分析，與研究假設三個部分進行敘述。

#### 3.1 研究流程

本研究的研究架構為：先對相關研究進行文獻回顧，並觀察相關文獻內所使用的可能顯著變數，而後，分別建立一般型隧道與連續型隧道的資料，觀察其隧道內樣本數的呈現，為讓建立模式的樣本內更好評估，分別去除一般型與連續型隧道內的離群值，再分別比較在一般型與連續型隧道中，應將 AADT 與長度分別取自然對數與否，選擇配適度較高者，以較能符合變數對模式的呈現，最後及建立兩類型隧道各區段的安全績效函數，並對建立的函數進行驗證。而後，為得知在一般跟連續型隧道各區段在不同變數情形下，所有年份的隧道事故數樣本，為比較推論後的預期事故頻次跟觀察事故頻次的差異性，本研究分別建立一般型跟連續型隧道，在不同的類別下，各區段的有效性指數散布圖，並於最後比較結果。



### 3.2 安全績效函數分析

在以往安全績效函數的研究中，多選用在交通事故為卜瓦松或負二項分配之形式做分析，但是卜瓦松需要符合平均數與變異數相等的假設，以國道五號的事故件數為例，在 2012 年至 2015 年間，每年平均發生 23.5 件傷亡事故，而傷亡事故變異數為 69.67 件，傷亡事故數的變異數大於平均數，不符合卜瓦松分配的特性，故不使用卜瓦松分配進行分析。

檢視目前有關隧道、隧道分區與安全績效函數相關的文獻，國內隧道的學術研究，均以探討隧道內的交通事故的形成原因分析，或是如何預防事故的發生等，探討內容為單一事故的內容；安全績效函數的研究均為以平面道路、高速公路所做的研究，並未區分為隧道內、隧道前或隧道後等的安全績效函數的研究，也沒有更細分為一般型或連續型隧道。

故本研究為補足目前現有研究尚未分析的一般型隧道的隧道前、隧道內、隧道後，以及連續型隧道的隧道間區段，各區段的安全績效函數形式，以及各區段的影響事故的成因，故將國內隧道事故，區分為發生在一般型與連續型隧道的事故，並針對這兩種隧道，各區分為隧道前、隧道內、隧道後，以及連續型隧道，增加考量兩隧道間的區段為隧道間區段，以比較與分析各區段的差異性。

依據各個區段可能的影響變數，分別建立隧道前、隧道內、隧道後、隧道間四區段的安全績效函數。延續文獻回顧中，《公路安全手冊》(HSM)中，對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，進行安全績效函數校估，美國《公路安全手冊》建議美國各州政府，於設計道路時參酌運用安全績效函數的模式(AASHTO, 2010)。本研究亦參考使用以負二項式函數配適的安全績效函數，如公式(4)(Park et al., 2015)。

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})] \quad \text{公式(4)}$$

其中：

$N_{predicted,i}$  為某路段  $i$  預測碰撞事故發生頻次、 $\beta_k$  為變數校估所得之參數，

單位：件/年

$AADT_i$  為某路段  $i$  年平均日交通量(AADT)，單位：輛次/天

$L_i$  為某路段長度，單位：英哩

$X_{ki}$  為某路段  $i$  其他變數  $k$

參考《公路安全手冊》所提之不同安全績效函數預估模式與使用變數，因為對於研究主體會使用不同隧道，於長期觀察得到的年平均日交通量(AADT)、區段長度等參數，而在文獻回顧中，可以得知《公路安全手冊》所提的安全績效函數，有

分成完整與簡單兩種安全績效函數之預估方式。簡單安全績效函數為以曝光量的AADT、路段長度等數值做預估之方式，其顯著程度與模擬程度可能較不完整。

本研究預計使用廣義線性回歸或負二項回歸，針對目前兩類型隧道，以及隧道的前、內、後、間區段的交通事故，進行安全績效函數的分析與校估。在研究中發現，越完整的安全績效函數，可以有較佳的配適結果(Naznin et al., 2016)。

根據集群分析(Cluster Analysis)，若單一模式內有過多變數，易因模式分析內有過多可能影響的變數，造成模式內部分會有顯著影響的變數的效果不明顯，或反之造成不會有顯著影響的變數有過大的影響。此舉會造成此模式的預測可信度降低，因預期會改變交通事故預測頻次的變數，無法適當呈現，而不影響的因素則過度放大，讓整體函數的配適度下降，並導致函數的結果，無法呈現交通事故的分佈頻次情形；故應慎選會影響交通事故頻次的變數，並避免在模式內使用過多變數，以減少模式配適度的誤差。

故在建立安全績效函數前，再將樣本數分為一般與連續兩類型隧道的樣本，將這兩類型隧道的樣本進行去除離群值後，再參考國外文獻對AADT與長度兩變數的轉換方式，進行不同模式的檢測，並以檢測結果良好的轉換模式，建立模型，以利後續驗證。

於建立安全績效函數模式之前，本研究參考相關文獻，部分研究使用普瓦松或負二項分配進行預測，而普瓦松分配因為需要滿足事故發生頻率的變異數等於平均數的條件，此條件較難以達成，故較多研究使用負二項分配進行預估。但在估交通事故的發生時，有特殊的現象，即部份路段可能整年均無發生事故，意即此路段的樣本為0，針對此現象，部分文獻使用零膨脹的負二項分配來進行預估。本研究亦參考此方法，建立負二項分配與零膨脹的負二項分配的比較，以求得配適度最好的模式，以建立SPF模式。

本研究參考國外文獻對安全績效函數對變數轉換的處理方式，將模式內的連續變數，以不同方式進行轉換(Ducknyung Kim, 2013)。如公式(4)所示，分別為(一)AADT與路段長度無轉換，(二)僅對AADT取自然對數，(三)對AADT與路段長度均取自然對數(四)僅對路段長度取自然對數等處理方式，將連續變數進行轉換，得到四種模式，另外因考量隧道長度之差異較大，若對隧道長度取自然對數，可減少因變化量過大而導致之不顯著，故增加考量，(四)只對隧道長度取自然對數之模式，共有四種模式。並依據模式配適度，選出有最佳顯著程度的模式作為使用的模式。

本研究之路段長度變數為使用隧道長度的變數，代表在不同隧道下，不同隧道長度對進階安全績效函數的影響，並參考前述文獻所寫之假設方式，建立四種模式，分別為：

- 模式一，使用原始之AADT與隧道長度的變數
- 模式二，對AADT取自然對數，其餘變數相同
- 模式三，對AADT與隧道長度取自然對數，其餘變數相同
- 模式四，對隧道長度取自然變數，其餘變數相同

以下為不同模式之下的安全績效函數形式：

- 模式一：使用原始變數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式二：對AADT取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(\ln AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式三：對AADT與隧道長度取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(\ln AADT_i) + \beta_2(\ln L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式四：對隧道長度取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(\ln AADT_i) + \beta_2(\ln L_i) + \dots \beta_k(X_{ki})]$$

對於選擇每一區段最適合的模式，會採用配適度指標赤池信息量準則(AIC)跟概似比指標作為選擇的方式，AIC 值為目前安全績效函數相關研究在判斷與選擇模型時，所參考之數值，此數值越小，表示此模式具有越好的配適效果，而 AICc 值為 AIC 值的改良版，其值亦為比較函數模式的參考數值，並為以 AIC 數值做基準，加上倒扣值的變數，其數值跟 AIC 數值差距較小，僅做輔助判斷的基準，其判斷方式亦為數值越小具有越好的配適效果。

此外，本研究在文獻回顧中，注意到年平均日交通量變數，在各研究中均為會影響安全績效函數的因素，而車流量(即年平均日交通量)在一般認知中，也是會影響車禍事故發生的因素之一，車流量為交通事故曝光量的因素，車流量越高，曝光量越大，則車禍事故發生的可能性越大。本研究將一般型與連續型隧道，在各種車流量情形下的事故件數以散佈圖方式呈現，可以得知在不同車流量下的事故發生件數。而從一般型跟連續型隧道，在不同車流量的事故件數中，可以得知事故件數分布的情形在一般型與連續型隧道不同，故可推測在一般型與連續型隧道，在不同車流量的區間內，可能有不同的車流量影響的模式呈現。

### 3.3 建立隧道事故調整因子

本研究為建立與比較隧道在不同區段下，事故頻次的差異性，故延續文獻回顧所提到橫斷面的事故調整因子，研究某項差異或特徵對該地點的事故頻次的影響，此方法的特點為以部分有某項特徵的路段做實驗組，並找出足量且有相似的地理條件，僅一項或少數地理特徵不同的路段作為對照組，計算實驗組跟對照組路段的平均事故數比較值，做為觀察實驗組與對照組的差異值。而 CMF 值的計算如下：

$$CMF = \frac{\text{實驗組的事故數觀測期望值}}{\text{對照組的事故數觀測期望值}}$$

以往對於使用橫斷面的事故調整因子的研究，均會以所有可能影響對照組與實驗組的變數，都納入多元變數回歸的預測模式，也就是期望透過此模式去解釋所有可能影響交通安全的因素，而此模式可以得知某項變數的改變，對預期改變事故數的影響。

本研究的對照組為隧道內區段，而實驗組為隧道前、隧道後、隧道間區段，因本研究為找出不同區段，以及不同因素可能對事故發生的影響，故以有較多相關研究的隧道內區段作為對照組，並比較隧道前、隧道後或隧道間等區段，對事故發生的相對影響，同時使用從各隧道的部分地理資料，逐步建立考量不同因素的多元變數回歸模型，即前一章所提的安全績效函數，而本研究對於所使用的變數，從最一開始僅考量 HSM 所建議的車流量、路段長度兩變數，再增加考量本研究所想知道的隧道不同區段、速限與車道數的變數。本研究進行每個隧道的各區段分類與紀錄時，觀察到有部分隧道之間的距離相當接近，若以 HSM 所建議的路段的區別方式進行區別，則會有相鄰的兩隧道的隧道前跟隧道後區段相重疊的情形，故本研究對於此類型隧道命為連續型隧道，相較於連續型隧道的前後沒有相鄰隧道的隧道，則命為一般型隧道，而連續型隧道包含兩個相鄰的隧道，以及四個隧道的區段，包含隧道前、隧道內、隧道間與隧道後區段；一般型隧道則為隧道前、隧道內與隧道後區段。

本研究對於這兩類型隧道，均建立其各自的 CMF 值，以及考量不同區段和不同變數對事故數影響的事故預測模式，另外，為知道不同隧道長度對預估事故的可能影響，將一般型隧道分為隧道長度大於 1 公里與小於 1 公里兩種樣本進行模式的預估，以觀察不同隧道長度對於安全績效函數的係數影響關係與大小。根據高公局每年的施工報告，可以得知國道每年可能都有路段通車或進行會影響行車安全的調整措施，例如：施工截彎取直、改變速限等，所以本研究對於兩類型隧道每年的樣本，建立了考量每年對於事故發生影響的安全績效函數，以觀測每年份事故數發生的不同影響。並於最後繪出以車流量、區段長度、以及某項變數的安全績效函數，在不同變數的情形下，各區段預估事故的有效性分布情形。

而計算有效性分布的方法，則參考文獻回顧，內關於計算有效性指數的文獻內容，在求得最適當的安全績效函數後，透過此安全績效函數，建立每個隧道在不同地理條件下的預測事故數，以實證貝氏方法撫平事件預估的隨機性，貝氏方法為以先驗機率的方法，針對一個路段所預測到的事故頻次，以加權的方式，加入長期下來所觀察得到的事故頻次期望值，並可得到較符合現況的事故頻次期望值。要使用貝氏方法進行調整，則需先計算權重，權重的計算公式如下：

$$w = \frac{k}{k + n * N_{\text{predicted}}}$$

其中：

w 為權重

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

$N_{\text{predicted}}$  為預測的事故頻次期望值

n 為事故資料的總年數

求得權重之後，計算經實證貝氏方法調整後的預期事故數，其計算公式如下：

$$N_{\text{expected}} = w * N_{\text{predicted}} + (1 - w) * N_{\text{observed}}$$

其中：

$N_{\text{expected}}$  為經實證貝氏調整後的事故頻次期望值

w 為權重

$N_{\text{predicted}}$  為安全績效函數模式的事故頻次預測值

$N_{\text{observed}}$  為觀察到的長期事故頻次觀察值

而為了得知兩類型隧道各區段，在不同類別下的有效性分布情形，故計算其有效性指數(Index of Effectiveness)，其計算公式如下：

$$\pi = \frac{\tau}{\theta}$$

其中：

$\pi$  為有效性指數的計算值

$\tau$  為經實證貝氏調整後的事故頻次期望值的加總

$\theta$  為觀察到的長期事故頻次觀察值的加總

原始設計隧道區段之研究範圍時，乃參考類似之隧道相關文獻研究的分區方法進行分區，例如：區分成隧道前一定距離為一部分、進隧道內一定距離為另一部分，並以隧道口做起點，將進隧道內一定距離作二個分區，並將分區以外的隧道內區段至隧道後的部分，做其他的分區，使用安全績效函數模擬的方式，計算各分區之交通事故發生頻次，或不同分區間之關係。但在做初步敘述性統計時，即遭遇不同問題，例如：隧道過短，無法進行充足之隧道內分區、部分高速公路隧道為隧道後即有明隧道連接至下一隧道，此明隧道不確定歸為何分區。另外，將隧道細分成不同分區之結果，會導致分區內之交通事故數量過少，若以負二項回歸模式進行回歸分析，會因為有過多零事故之分區，超出卜瓦松、負二項等一般離散分布模式的預測能力，導致各分區之回歸結果不明顯，影響判斷之可信度，需要以零膨脹(Zero-inflated models)的卜瓦松或負二項回歸模式進行分析。故本研究修改為以一般型隧道的隧道前、隧道內、隧道後，以及連續型隧道新增隧道間區段，使用 A1、A2、A3 之交通事故資料，可以使區段內之交通事故數量充足，減少區段內樣本數不足之情形。



## 四、 資料蒐集與處理

本研究探討的範圍，包含高速公路全部的隧道，因為需要瞭解各隧道的車流量、隧道位置里程數、隧道前與後區段里程等資訊，以及發生在隧道各區段的事務數量與頻次等，所以須決定隧道前後區段的長度，以便判斷事故位於隧道哪一區段，以及處理隧道的車流量，並在判斷事故位於哪一區段之後，進行變數的敘述性統計。

為便於程式的判斷，將每一隧道 2 個行車方向進行編號。本研究之編號為將位於南北向的國道一號的隧道區段編號為 51 至 52，國道三號甲線編號為 1 至 4，國道三號的編號為 5 至 34，國道五號的編號為 35 至 44，另外將東西向的高速公路國道六號編號為 45 至 50，南北向隧道的奇數編號為南下，偶數編號為北上；東西向隧道的編號為奇數為向東方向，而偶數為向西方向。

### 4.1 資料蒐集

本研究所使用的資料，包含高速公路之交通事故資料，與高速公路各隧道的地理位置、行駛方向、隧道起訖里程，以及各隧道於不同時間點之交通流量等資料。隧道之地理特性資料，與交通流量的資料，為自交通部高速公路局網頁內查詢與整理而得；交通事故資料，為由國道公路警察局所提供的資料，包含 2010-2015 年之高速公路事故資料，此資料為由國道警察所記錄之交通事故資料，包含發生時間、發生地點(里程)、發生地點之基本地理資訊、天氣情形等資訊，發生地點的里程經詢問警察，因為牽涉保險理賠、肇事責任歸屬等責任，故紀錄的里程點均為發生碰撞點(Point of impact, POI)，此外，部分設施為搭配實際乘車與開車觀察隧道後所得。

為便於進行區分隧道各區段長度的步驟，需要使用各隧道前後的道路幾何特性資料，以便於判斷每區段應有的曲線半徑、坡度等資料，所以本研究向高公局申請所有國道上隧道前後一定距離的高速公路道路竣工圖，包含國一、國三、國三甲、國五、國六上的隧道周圍的施工竣工圖。此完竣工圖內包含有該路段的橫斷面圖、縱斷面圖、排水設施、路旁設施等內容，其中，平面圖通常包含該路段的曲線半徑、圓曲線起點、緩和曲線起點等資訊，而斷面圖內則包含有該路段周圍地面高低、以及該路段的坡度，這些資料則足以供本研究判斷隧道前後各區段的區段長度。

交通流量的資料是以 2010-2015 年間，高速公路所有隧道之年平均日交通量的資料作分析，因目前政府極力將施政數據，以及各項統計資料透明化，例如：人口數、戶籍數、車輛登記數量等。故原本考量，從政府資料開放平台的網頁下載，交通量等資料使用，但因政府資料開放平台並無高速公路交通量的資料，且網頁上之資料為即時之資料，須持續上網更新資料；故以高速公路局網頁所提供，現有台灣高速公路各交流道間，年平均日交通量資料，做交通量的資料來源，但高公局網頁上下載的資料，仍需要做調整方能使用。

本研究在高速公路局網頁，下載高速公路年平均日交通量資料後，發現其數年之資料，均缺少星期一與星期五的流量資料，向高速公路局詢問，得知高速公路局沒有整理這兩天之流量資料，若有需求，可從其網頁的 VD 資料自行彙整，經由高速公路局之交通資料庫後，可以觀察得知其 VD 資料，為間隔固定時間即更新的資料，每隔 1 分鐘即上傳 1 全高速公路各 VD 的資料，但因部分 VD 資料有缺失的問題。為考量研究資料之完整性與合理性，決定採用高速公路局所提供的年平均日交通量資料，並參考交通工程手冊上建議的比重，以評估各年之星期一與星期五的交通量。

高速公路局所提供之年平均日交通量資料，格式如表 4-1 所示，此範例為高速公路局，所提供的日平均交通量之格式，可得知高速公路，不同區段的日平均交通量，路線方向，可以得知為第幾號高速公路的哪一行車方向，路段為表示此日交通量區段位於哪兩交流道之間，例如：基隆端-基隆、基隆-八堵、八堵-大華等，而本研究所需的車流量，即透過判斷隧道前至隧道後，位於哪一路段，即可判斷得相對應的日平均交通量。

表 4-1 高速公路局日平均交通量範例

路線方向	路段	週六	週日	週2-4
國1南向路段	基隆端-基隆	34,090	32,454	29,468
國1南向路段	基隆-八堵	32,948	31,493	28,286

單位：輛/天

本研究探討之內容，不僅包含國道高速公路隧道的路線、里程等地理因素，尚包含不同嚴重等級的交通事故資料。不同國家對於交通事故有其各自的定義，而本研究依據道路交通事故處理規範第 1 點(二)「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。」使用由內政部國道警察局所提供的 2010 至 2015 年，台灣高速公路地區之 A1、A2 與 A3 的事故資料，因研究的對象為高速公路隧道之事故數量，交通事故之發生本就稀少，故其樣本數也較為稀少，所以將 A1、A2 與 A3 之事故數統一併入高速公路隧道事故的資料中，以便做各區段的事故資料分析，後續章節會對 A1、A2 與 A3 的事故數，作較詳盡之列表比較。

## 4.2 隧道前後區段長度

本研究因為需要對隧道前跟後進行安全績效函數分析，所以需要將隧道前與後一定距離畫分為隧道前與隧道後區段，根據《公路安全手冊》對路段劃分的建議，每一個路段內應該有相似的地理特徵。若以鄉間雙向雙車道道路為例，公路安全手冊建議，路段內應保持以下數項道路幾何特性相同，若以下數項幾何特性，有任何一項變更，則應區分為新的路段：

- (1) 年平均日交通量(AADT)
- (2) 路肩寬度
- (3) 路肩類型
- (4) 道路旁私人車道(Driveway)密度(車道數/英哩)
- (5) 路旁危險指數(Roadside Hazard Rating)
- (6) 交叉路口
- (7) 曲線半徑
- (8) 垂直曲度(坡度)
- (9) 雙向左轉車道(Two-way left-turn lane, TWLTL)的起始或結束點

在高速公路安全手冊所建議的九點特性內，有部分項目為美國公路特有的設施，例如：介於各家戶車庫與主要道路之間的私人車道(Driveway)，以及雙向左轉車道等設施。因國內地狹人稠，較少地區的家戶有私人車道的設置，且本研究所探討的對象為高速公路，國內並無家戶使用私人車道，銜接於車庫與高速公路之間的案例。而雙向左轉車道則為美國特有的左轉車道設計，不僅國內平面道路無此設施，高速公路亦無左轉車道的設置，故此二項目在判斷隧道前後長度的路段時可以忽略。故參考HSM的方法後，本研究用以劃分隧道前後區段長度的地理特性為：

- (1) 年平均日交通量(AADT)
- (2) 路肩寬度
- (3) 路旁危險指數(Roadside Hazard Rating)
- (4) 曲線半徑
- (5) 垂直曲度(坡度)

另外參考各文獻對隧道前與隧道後區段之定義，斟酌國內高速公路隧道整體之長度做考量，並須注意選擇隧道區段長度不可過小，否則長度較短之路段，易因過短之長度，而無法仔細區分內部的事務發生位置與發生的地理資料，亦較難區別隧道內，或隧道外之影響因素。

其他文獻之區段長度，大多將隧道前之長度、進隧道內之分區分開考慮，並無考慮隧道後區段之區段長度，且分區長度並不一定要使隧道前長度，與隧道後區段之長度相同。據文獻所寫，分區段的長度，應依照分區段後，區段內是否能有效反映隧道內外，此區段的事實情形、地理特性等為考慮方向。另外，年平均日交通量，亦為容易影響分區段長度之因素之一，單位路段若有較高的年平均日交通量，則此路段的區段長度可予以減少。因單位長度內通過之車流量較多，事故發生機率與可能性，較容易隨車流量較多而增加，故減少區段長度可以減少過長區段，產生區段內的事實數量過多的可能；反之，若單位路段內的年平均日交通量較少，則可斟酌將此路段內之區段長度增加，以讓路段內的區段，能更加反映此路段內的事實分布與地理情形。(Caliendo et al., 2013)

參考前述研究與 HSM 的方法後，可得知若在一般高速公路上，分析的區段長度若小於 80 英尺(約 24.4 公尺)，易造成線性模式上預估的誤差，進而使預估的模型與真實情形造成偏差，降低預估的正確性，故區段長度應以 80 英尺(約 24.4 公尺)或以上之區段長度較為適中。

在 Ma et al.的研究中，採用駕駛人認知與反應時間 4 秒，搭配當地隧道內外速限分別為 80 與 100(公里/時)做計算，得到汽車煞停距離分別為 88.9 與 111.1 公尺，故取煞停距離 100 公尺。而本研究觀察資料內之交通事故，發生於隧道周圍的事實，最多事實件數的類型為追撞之事實(佔 68.57%)；其次為同側擦撞的交通事故(佔 6.55%)，可見得高速公路在隧道區段的交通事故，以追撞的事實居多；追撞之定義為兩車以同方向(一前一後)行駛，碰撞點為後車之前保險桿與前車之後保險桿，通常因未注意車前狀況，或前車突然煞停所造成。

部分隧道在隧道前或後的區段會有交流道，例如：雪山隧道往北方向的北口，以隧道口往北約 500 公尺即有坪林交流道，若隧道前或後的區段長度過長(例如：每一區段的長度為 500 公尺或以上)，則過長的區段會包含車輛在交流道內的行為，若以上長度做區段長度的標準，則可能因車輛在交流道內有交織的行為，會有不同的影響因素，進而影響到分析隧道前後區段對事實變數分析的準確度，故區段長度不宜使用過長的長度。

經本研究向高速公路局申請後，取得國內高速公路在隧道區段前後各約 10 至 15 公里的工程竣工圖資料，此資料有高速公路在施工完成及改善後，各隧道前、隧道內、與隧道後等區段詳盡的曲線半徑、坡度、緩和曲線等工程數據，以及隧道內或隧道前的路肩寬度、車道數、邊坡或隧道前後的橋梁等的工程數據。本研究依據高公局所提供的高速公路隧道區段的竣工圖，針對每一隧道的隧道前與隧道後區段進行判讀。依照 HSM 對路段所提供的建議，路段內應有相同的車流量、路肩寬度、車道數、曲線半徑、坡度、路旁危險指數等，因國內隧道前後區段會影響車流輛大小的因素為交流道，故多以隧道前後是否有交流道做為判斷路段長短的大致分類。後

再對交流道至隧道洞口之間的路段，以曲線半徑、坡度等資料進行判讀，並選出各隧道前後路段有相同道路特性的區段長度。

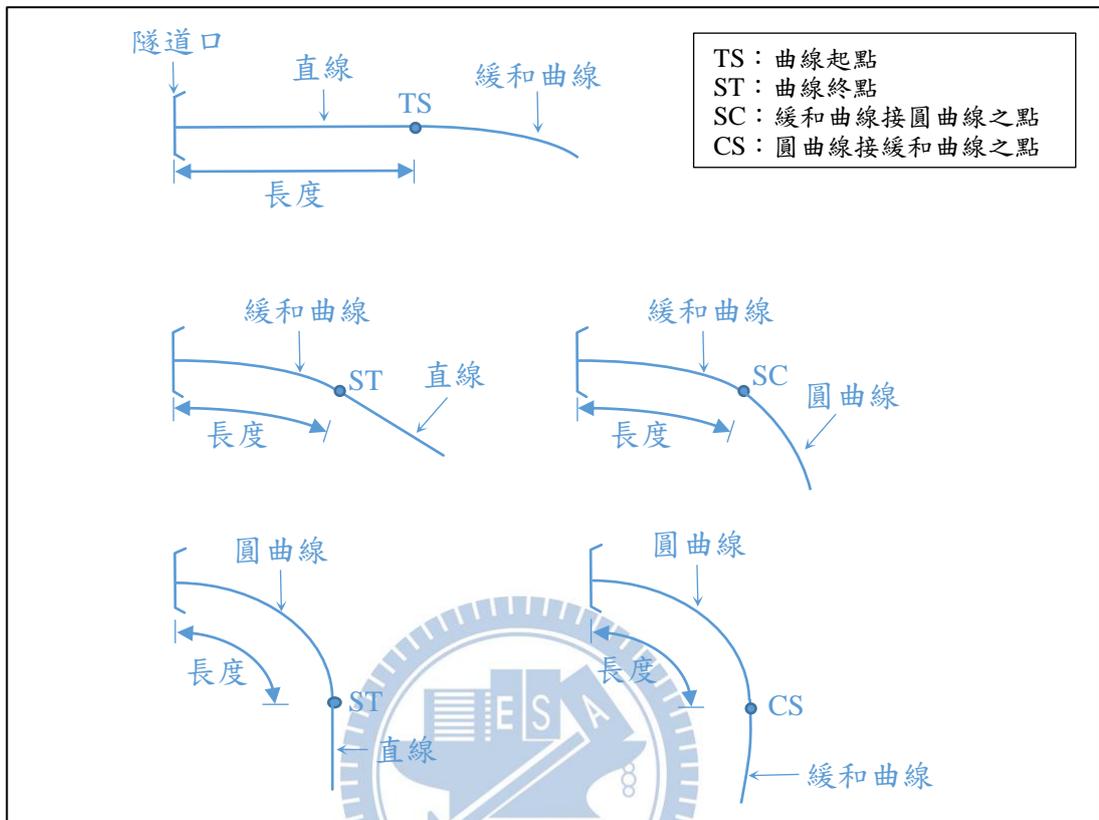


圖 4-1 判斷路段之曲線長度示意圖

而後，依照隧道前後路段的竣工圖，判讀高速公路線型的曲線半徑，以隧道口作為出發點，若為直線道路，則以隧道口開始計算路段長度，直至道路平曲線的起點為止；若為平曲線道路，則分為隧道口銜接路段為緩和曲線或圓曲線兩種情形，若為緩和曲線，則以隧道口開始計算路段長度，直至緩和曲線終點或圓曲線起點為止。但考量部分文獻指出，過短的路段長度，因路段內事故件數過少，可能會影響事故預估的準確性，且完整的平曲線設計，應包含緩和曲線、圓曲線等規劃，若僅依照緩和曲線的曲線半徑做事故的判斷，可能會因緩和曲線路段長度過短，路段內可能無足夠的事故資料能計算，且以國內高速公路速限最低為90公里/小時計算，過短的路段在駕駛人行駛時，僅用相當短的時間就通過，並無法看出道路彎曲程度對事故的影響，且緩和曲線的曲線半徑較圓曲線大，亦無法明確看出道路彎曲程度對事故的影響，故若以隧道口做起算點，洞口至緩和曲線終點的距離過短，則此區段長度可延長至下一圓曲線或直線的起點，做為此區段的長度，並以圓曲線或緩和曲線的曲線半徑做為此區段的曲線半徑的數據資料；若隧道口銜接路段為圓曲線，則同樣以隧道口做計算長度的起點，直至圓曲線終點或圓曲線接緩和曲線之點為止。

路段內應有相同的坡度、車道數、路肩寬度等特性，若為坡度的判讀，則應以一長度夠長且同樣坡度路段，與下一長度夠長且有同樣坡度的延伸交點，做為此路段的坡度分隔點，路段長度的判定亦以此為分界點。

為判斷交通事故位於隧道前、隧道內或隧道後區段，本研究透過事故的隧道里程位於哪一區段進行判斷，地點編號 2 為隧道洞口，也是隧道起點；地點編號 4 為隧道出口，也是隧道迄點。例如：以一號隧道為例，可以得知編號 1 至 5 的事故位置，均標為一號隧道的範圍，將一號隧道的起迄點里程數標出，並以隧道洞口起點 2 往車流上游方向一定距離內的里程數編號 1，在編號 1 至編號 2 的範圍內為隧道前的里程，此距離為隧道前距離，在此範圍內的事務地點，即給予隧道前的編號。在比編號 1 更上游的事務地點，因為已位於隧道洞口上游隧道前距離的範圍以外，故不給予隧道事故區段的編號；編號 3 的事務地點，位於隧道起點 2 與迄點 4 的里程數中間，所以可以得知為一號隧道的隧道內事故，而交通事故發生的位置位於隧道後之區段的判斷方式亦相同。所以從圖 4-2 中，可以知道在一號隧道的事故地點中，發生地點位於編號 1 至 2 之間為隧道前；發生地點位於編號 2 至 4 之間為隧道內；發生地點位於編號 4 至 5 之間為隧道後。

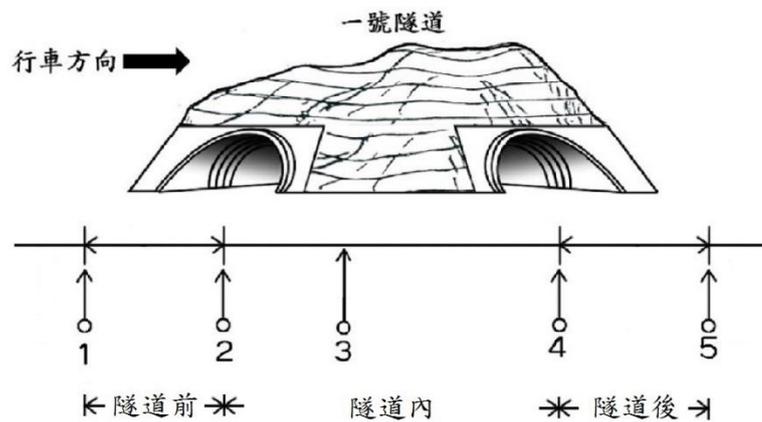


圖 4-2 隧道事故區段判斷示意圖

部分連續型隧道的隧道出口，與下一個隧道的入口距離相當接近，若根據前項判斷原則，會有部分隧道的隧道前區段與另一隧道的隧道後區段重疊的問題，若有事故發生於此區段內，則需另外檢視與辨別為何隧道。若以前述判斷路段長度的方式來判斷，部分上游隧道的隧道後區段可直接包含下游隧道的隧道前區段，甚至到下游隧道的隧道口地點，使上游隧道的隧道後區段，與下游隧道的隧道前區段重疊，若事故發生於重疊區段內，會有重複計算的疑慮。在連續型隧道區段判斷圖中，一號與二號隧道為相近的兩個隧道，一號隧道的隧道後區段與二號隧道的隧道前區段有相互重疊。4 號為一號隧道的出隧道洞口的的位置，而 5 號位置則位於一號隧道的隧道後區段，因兩隧道距離相近，故 5 號位置也能歸為二號隧道的隧道前區段，同理，6 號位置可以歸為一號隧道的隧道後區段，也可以歸為二號隧道的隧道前區段，則事故地點位於哪一區段的判斷可能會重複計算。

本研究原將距離上游隧道，與下游隧道相同距離的位置，做為判斷事故發生，應歸屬何隧道之區隔點，若交通事故介於區隔點，與上游隧道間之地點，則歸為上游隧道之隧道後區段，例如：在圖 4-3 中，一號隧道的出隧道口 4 號位置與二號隧道的進隧道洞口 7 號位置的中間點，令為區隔點 A，則 5 號位置歸為一號隧道的隧道後區段，6 號歸為二號隧道的隧道前區段。

但經實際事故資料的測試後，認為此區分方法，無法明確說明發生於重疊區的事故，應歸於哪一區段，所以改將上游隧道與下游隧道間隔距離過近，會導致兩隧道前後區段相重疊的隧道群，視為單一之隧道，本研究將此類型的隧道命為連續型隧道。而在上游隧道與下游隧道之間，區段重疊的交通事故視為隧道間區段，並給予此事故地點的隧道間區段的編號。原始在上游隧道或下游隧道內的交通事故，仍給予隧道內的編號。在連續型隧道區段判斷圖中，本研究將一號與二號隧道令為單一的隧道，並編號為上游先遇到的隧道編號，1 號與 2 號位置之間同樣為隧道前區段；2 號為一號隧道的進隧道口位置 S1；3 號位置原為一號隧道的隧道內區段，8 號位置原為二號隧道的隧道內區段，在變更為連續型隧道的編號後，3 號位置與 8 號位置均令為隧道內區段；4 號為一號隧道的出隧道口位置 E1，一號隧道與二號隧道之間 5 與 6 號位置的點即令為隧道間區段，9 號位置為二號隧道的出隧道口位置 E2；10 號位置原為二號隧道的隧道後區段，在變更為連續型隧道後同樣為隧道後區段。

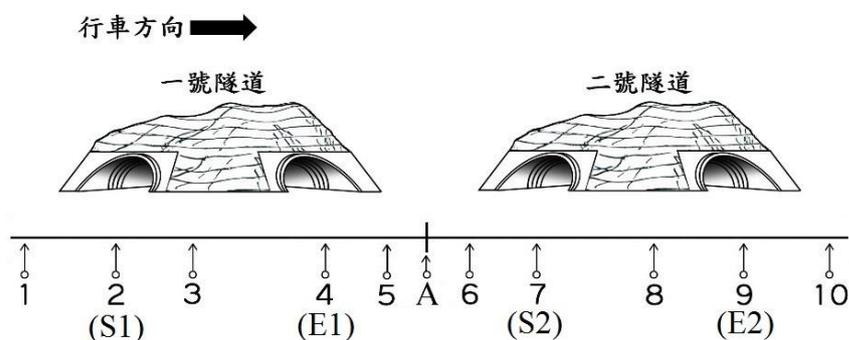


圖 4-3 連續型隧道區段判斷圖

在表 4-2 可以得知在國道三號與國道五號中，連續型隧道的隧道名稱、隧道起迄里程、各隧道的長度，以及各連續型隧道間隔的距離。從間隔距離中，可以看出這些隧道之間的距離相當接近，若以隧道前後區段的方式進行判斷，容易出現區段重疊的情形，故將這些隧道命為連續型的隧道。

表 4-2 連續型隧道里程

道路編號	行車方向	隧道名稱	起訖里程	隧道長度(公尺)	間隔距離(公尺)
國道三號	南	木柵	21k+888~23k+736	1,848	203
		景美	23k+939~24k+503	564	

	北	景美	23k+919~24k+492	573	184
		木柵	21k+860~23k+735	1,875	
	南	新店	27k+219~28k+404	1,185	155
		碧潭	28k+559~29k+080	521	
	北	碧潭	28k+541~29k+044	503	149
		新店	27k+170~28k+392	1,222	
	南	埔頂一號	59k+510~60k+040	530	260
		埔頂二號	60k+300~60k+635	335	
	北	埔頂二號	60k+325~60k+660	335	310
		埔頂一號	59k+510~60k+065	555	
國道五號	北	石碇	0k+795~ 3k+515	2,720	105
		南港	0k+235~ 0k+690	455	

國道五號的南港-石碇隧道間在南下方向有設置明隧道，駕駛人行駛於明隧道內的感受，與行駛於隧道內相當，均為室內的感受，且此明隧道的長度相當短(僅89公尺)，故將南下方向的南港與石碇隧道視為單一一個隧道，交通事故若發生在此明隧道內的路段令為隧道內，並取消南港隧道南下方向的隧道後區段，以及石碇隧道南下方向的隧道前區段，而若原本發生於南下方向的南港隧道內，或石碇隧道內區段的事故，仍令為隧道內的交通事故；北上方向的南港-石碇隧道間無設置明隧道，故不視為同一隧道。

表 4-3 一般型隧道各區段的區段長度

一般型隧道			
編號\區段	前	內	後
1	57	800	147
2	200	790	333
3	360	192	53
4	157	211	141
5	290	1255	260
6	166	1278	238
7	110	530	200
8	260	555	151
9	77	666	120

10	505	643	245
11	528	1726	500
12	406	1726	200
21	910	466	155
22	107	398	200
23	137	872	136
24	68	831	243
29	950	154	1170
30	1170	154	950
31	735	1254	2120
32	2120	1212	735
33	1240	1858	650
34	650	1825	1240
35	270	456	214
39	200	216	173
40	170	248	182
41	318	3861	275
42	317	3806	320
43	260	12925	141
44	271	12955	357
45	158	2464	700
46	700	2447	105
47	235	535	140
48	120	480	267
49	168	1309	509
50	293	1262	416
51	57	396	120
52	200	556	57

單位：公尺

表 4-4 連續型隧道各區段的區段長度

連續型隧道				
編號\區段	前	內	後	間
13	161	2412	86	217
14	250	2448	200	200
17	200	1706	264	189
18	307	1725	200	190
25	165	865	576	237

26	774	890	170	250
36	211	3154	87	221

單位：公尺

將所有隧道區分為一般型與連續型隧道後，可以得到一般型隧道共 37 個隧道，6 年的隧道前內後 3 個區段的事務資料，以及連續型隧道共 7 個隧道，6 年隧道前內後間 4 個區段的事務資料。隧道總數量有下降，是因為原本的 52 個隧道為高速公路每一個隧道的每個行駛方向都給予單一的編號，而連續型隧道因為是兩個相近的隧道視為單一的隧道，故兩個隧道的編號僅使用較小的編號做為此隧道編號，所以總隧道數量會有差異。另外，有兩個隧道雖然為相近的隧道，但是這兩個隧道間有明隧道的設施，故將這兩個隧道視為一個隧道，所以一般型與連續型隧道的編號為基數。所以，一般型隧道總共有 666 個樣本，而連續型隧道則有 168 個樣本。

### 4.3 事故資料處理

本研究因使用不同類型與來源的資料，例如：國道事故資料、年平均日交通量 (AADT)、隧道的基本地理特性資料等，而不同來源與格式之資料常有格式不一、檔案類型不同、分類方式不同等問題，故需要先檢視各個資料內容，針對所需要之資料內容，進行資料篩選、格式整合、日期統一、整理成表格等手續，以便後續程式所需。資料處理與分析是後續進行回歸分析模式之基礎。

對於事故資料處理上，使用的資料為交通部高速公路局與內政部警政署國道公路警察局所提供的 2010 至 2015 年之高速公路事故資料，做研究分析對象，此事故資料包含造成人員當場或二十四小時內死亡之交通事故(即 A1)、造成人員受傷或超過二十四小時死亡的交通事故(即 A2)，以及僅有造成財物損傷的交通事故(即 A3)。資料中亦記載事故發生的國道里程位置，大致的道路事故發生環境，以及基本的道路地理特徵，例如：是否為彎道、天氣型態、死傷人數等基本資料，為之後對於分析事故之地理環境特徵的重要依據，因事故發生的國道里程位置，牽涉到肇事責任的鑑定，與保險公司的理賠，因此，國道警察局均以實際發生事故的地點，作為事故發生里程位置之正式紀錄。有部分文獻將事故區分為不同嚴重等級，建立不同安全績效函數並進型比較，所以本研究將國內高速公路各年份不同嚴重等級的事故數進行列表，以評估國內隧道相關事故是否適合區分為不同嚴重程度。以下為高速公路所有之 A1、A2 與 A3 事故於各年份中的事故數量總計表。

表 4-5 2010-2015 高速公路的事故類型統計

事故類別\年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
A1	67	61	57	65	59	14	323
A2	939	880	1,082	1,184	1,302	323	5,710
A3	12,672	16,125	16,460	17,487	18,046	18,631	99,421

單位：件

從各年份的不同嚴重程度的事故數量列表中，可以看出 A1 事故的數量均較少，且此表格為針對高速公路所有路段的 A1 事故數量進行統計，若再仔細區分為隧道周圍的事故，則事故數量更少，部分年份可能會出現某些隧道相當少甚至沒有 A1 事故的情形，假如參考文獻將安全績效函數分成兩個模式：1. 僅考量 A1 事故的隧道安全績效函數 2. 考量 A1、A2 與 A3 事故的隧道安全績效函數，則此情況會影響僅考量 A1 的隧道安全績效函數，故本研究考量樣本數的數量，將 A1、A2 與 A3 的事故都列入安全績效函數的研究裡。

本研究使用台灣微軟公司之 Excel 軟體，搭配 Excel 內之 VBA 等程式整理數據，例如原始資料為每一事故一筆資料，每筆資料具有其發生當時的地理特徵等資料，故透過 Excel 內建之 VBA 程式，進行歸類與轉換成類別變數等，依據每一筆的交通事故資料，先判斷此事故位於哪一高速公路，將此事故發生的行車方向、里程進行判斷，並在判斷後，給予每一交通事故對應的隧道編號。

因本研究為針對一般型，跟連續型隧道進行隧道前、隧道內與隧道後，或隧道間各區段的事故，進行安全績效函數的分析，故在判斷每件事務位置時，是使用判斷此事故的里程數，位於該隧道的哪一區段，並進行後續歸類，而此區段的範圍，是從隧道前，大於或等於決定的隧道區段長度，直至出隧道後，大於或等於隧道區段長度為止。

最後將所有交通事故判斷之後，可以整理得到表 4-6、表 4-7 並能得知一般型跟連續型隧道的不同區段中，各年份的 A1、A2 與 A3 事故數量的統計。從表 4-6 中可以看出一般型隧道的隧道內的總事故數最多，總件數為 316 至 513 之間；其次為隧道前區段，總件數為 99 至 134 件之間；而在隧道後區段的每年事故件數則最少，介於 44 至 59 之間。

表 4-6 2010-2015 一般隧道的隧道區段交通事故數量統計

年份 區段	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
隧道前	116	127	134	110	107	99	693
隧道內	316	506	513	486	414	367	2602
隧道後	53	59	53	44	52	48	309
合計	369	692	700	640	573	514	3604

單位：件

將一般型隧道各區段各年份統計事故繪製成散佈圖，則可以看到隧道內的總事故數在每一年份中，均大於隧道前跟隧道後的事數，且在 2010 年隧道內的事數為最少，2012 年最高。隧道前跟隧道後在各年份之間的總事故數差異較小。

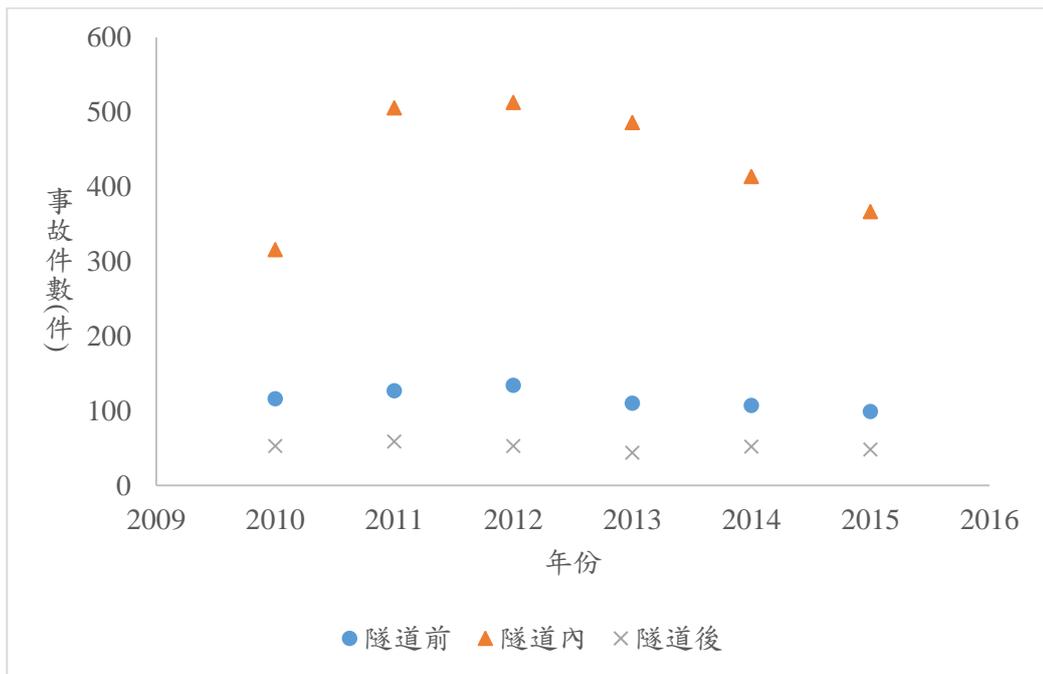


圖 4-4 一般型隧道各區段在各年份的事故數散佈圖

連續型隧道的隧道總數量較少，故總件數較少，但從表 4-7 可以得知跟一般型隧道一樣以隧道內的總事故數最多，總件數為 121 至 179 之間；其次為隧道前區段，總件數為 13 至 31 件之間；而在隧道間區段的每年事故件數則最少，介於 8 至 18 件之間。

表 4-7 2010-2015 連續型隧道的隧道區段交通事故數量統計

年份 區段	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
隧道前	26	30	31	13	20	20	140
隧道內	121	142	131	121	179	152	846
隧道後	17	28	16	22	32	19	134
隧道間	8	18	7	12	15	16	76
合計	172	218	185	168	246	207	1196

單位：件

若將連續型隧道各區段各年份的事故數繪製成散佈圖，則可同樣看到隧道內的總事故件數均為最多。

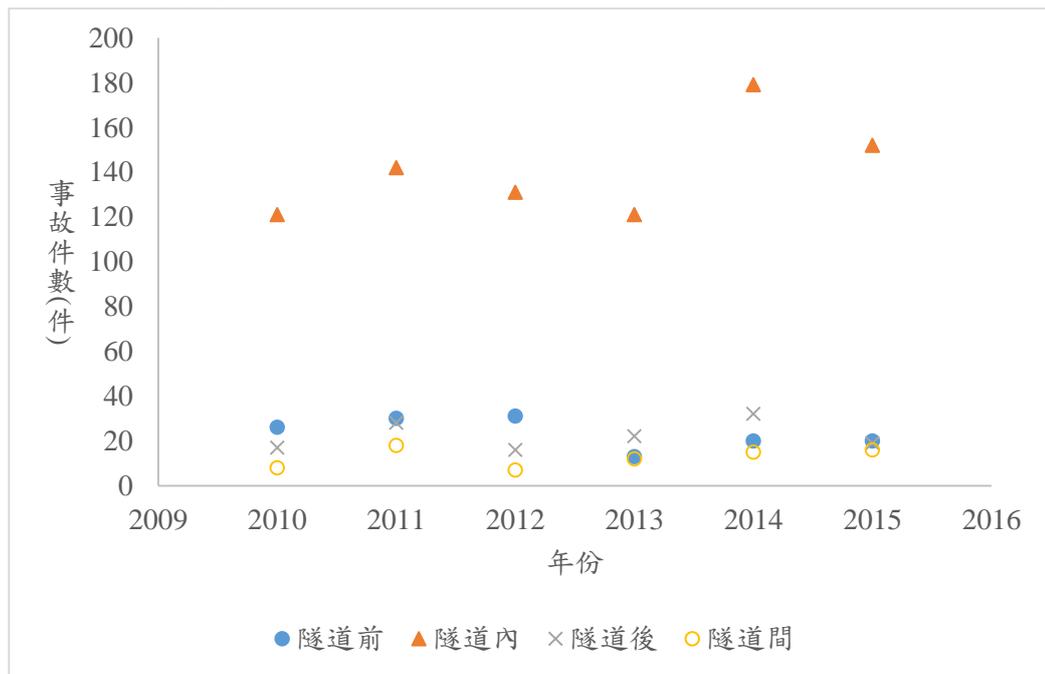


圖 4-5 連續型隧道各區段在各年份的事故數散佈圖

整體而言，一般型隧道各區段在各年份的總件數數量差異不明顯，僅 2010 年隧道內的總件數較少。連續型隧道在各年份的事故總件數的差異也不明顯，僅 2014 年隧道內區段有較高的事故數。

#### 4.4 敘述性統計

本研究針對隧道前、隧道內，以及隧道後進行不同分區的研究，根據前面的研究對於不同區段(即隧道前、隧道內、隧道後與隧道間四個區段)，知道可能會有不同的事故分佈表現，對於類似的區段，例如：進入隧道前的區段，有不同的研究，並呈現了不同之結果；為了更清楚得知這些因子以及其他變數的分布情形，對於不同分區內的事實資料的部分特性進行了敘述性的統計，以瞭解不同區段內事故數的分布型態，並可以初步知道，部分變數在不同區段的數據多寡，是否需要歸類、分群等。

因為國內高速公路的幾何設計，都有實體分隔，高速公路之隧道，亦為實體分隔，如此分隔可以避免隧道南、北向車輛跨越分向限制線的交互影響，造成事故數量分析上的複雜度。隧道分隔設施，在東西向高速公路的隧道中亦相同，所以在東西向高速公路的隧道中，亦用相同於南北向高速公路隧道的方法進行分析。因隧道前、隧道內、以及隧道後一定距離的事故產生，與隧道位於南北向或東西向高速公路的關係較少，故將南北向與東西向之高速公路隧道事故，與不同區段的事實一併做敘述性統計比較。有些交通事故發生特性，具有假設與研究的可行性，本研究對交通事故部分資料特性進行敘述性統計，觀察其資料特性，以做為後續分析。

表 4-8 連續變數之敘述性統計

變數名稱	最大值	最小值	平均值	標準差
年平均日交通量 (AADT)(輛)	26,224	3,959	19,406.13	6,491.304
隧道長度(公尺)	12,955	154	1,523.67	2,443.89

將高速公路隧道的連續變數，進行概要的敘述性統計，可得知高速公路路段的年平均日交通量的最大值為 26,224 輛，最小為 3,959 輛。而隧道長度的長短差距亦較大，最長的隧道為雪山隧道的 12,955 公尺，最小(短)的隧道為大林隧道的 154 公尺，隧道長短可能為影響不同區段的交通事故發生頻次的因素之一，且隧道的長短差異大，根據相關研究以及常理推測，不同長度的隧道對駕駛人在不同區段可能會有不同影響。

表 4-9 高速公路各車道數之隧道數量統計

國道 車道數	國道一號	國道三甲	國道三號	國道五號	國道六號	總合
雙車道	2	4	0	9	6	21 (40.4%)
三車道	0	0	26	1	0	27 (51.9%)
四車道	0	0	4	0	0	4 (7.7%)
合計	2	4	30	10	6	52(100%)

單位：座

以高速公路隧道的車道數為統計，車道數量為以三車道的隧道居多，其次則為雙車道的隧道以及四車道的隧道。從隧道的不同車道數所占比例中，可以得知過半的隧道為三車道的隧道，另有將近一半的隧道為雙車道隧道。

本研究對於隧道各區段的研究，有再區分為一般與連續型隧道的不同區段，故以下的敘述性統計，是分別對於一般型與連續型隧道的敘述性統計。

表 4-10 兩類型隧道之年平均每日交通量(AADT)

隧道類型	最大值	最小值	平均值	標準差
一般隧道	26,223.87	3,959.73	11,510.71	6,202.901
連續隧道	20,278.93	13,163.13	17,749.72	1,871.15

單位：輛/日

表 4-10 統整一般型隧道前、隧道內與隧道後三區段，6 年來的年平均日交通量的最大值、最小值、平均值等。因同一隧道地點之同一年份之隧道前、隧道內、隧道後三個區段，具有相同的年平均日交通量，故可以得知在此三個區段中，事故發生之隧道地點的年平均日交通量的最高值，均位於同一年份之相同路段，亦即位於相同交流道之間的路段。根據里程等資訊，可以得知是國道 3 號的安坑隧道與中和隧道的南下方向。而最小之年平均日交通量之地點，為國道 6 號之國姓一號、國姓二號與埔里隧道向西行駛方向的路段。

表 4-11 兩類型隧道的速限隧道數

速限 類別	80公里/時	90公里/時	100公里/時	110公里/時	總合
一般隧道	9	20	2	6	37
連續隧道	1	4	0	2	7
合計	10	24	2	8	44

單位：座

從表格中，隧道總數與表 4-9 的總數不同，是因為原先為對每個隧道每個行車方向進行編號，而區分為一般型與連續型隧道後，連續型隧道因為是 2 個隧道合併為 1 個連續型隧道，故在編號上使用編號數值較少的隧道編號，作為此連續型隧道的隧道編號，故總隧道編號數從 52 個隧道，在區分為一般型與連續型隧道後，可得隧道總數為 44 個隧道。而從表 4-11 可以看出一般型隧道大部分的速限都是 90 公里/時，而連續型隧道大部分的速限也是 90 公里/時。

表 4-12 一般型隧道各區段的事務數總計

速限 區段	80公里/時	90公里/時	100公里/時	110公里/時	總合
隧道前	59 (8.51%)	572 (82.54%)	183 (4.76%)	29 (4.18%)	693 (100%)
隧道內	123 (4.73%)	2,230 (85.70%)	173 (6.65%)	76 (2.92%)	2,602 (100%)
隧道後	39 (10.99%)	221 (62.25%)	19 (5.35%)	30 (8.45%)	355 (100%)
合計	221 (6.13%)	3,023 (83.88%)	225 (6.24%)	135 (3.75%)	3,604 (100%)

單位：件(百分比)

發生交通事故之件數，在一般型隧道各區段的事務多發生在 90 公里/時的隧道，因為一般型隧道的速限多為 90 公里/時。而此統計表格可看出，隧道前區段發生在速限 80 公里/時的事務數的比例較其他區段為高，且在速限 110 公里/時的事務數比例也是較其他區段為高。此表格僅為列出一一般型隧道個區段在不同速限的隧道內，所擁有的事務件數，尚未考量在不同速限的地方，其隧道數量是否相近，或是考量在不同速限的隧道內，其車流量是否相近等，故僅為得知不同區段在不同速限的事務件數與所佔比例之用。

表 4-13 連續型隧道各區段的事務數總計

速限 區段	80公里/時	90公里/時	100公里/時	110公里/時	總合
隧道前	18 (12.86%)	55 (39.29%)	0 (0%)	67 (47.86%)	140 (100%)
隧道內	26 (3.07%)	641 (75.77%)	0 (0%)	179 (21.26%)	846 (100%)
隧道後	2 (1.49%)	101 (75.37%)	0 (0%)	31 (23.13%)	134 (100%)
隧道間	1 (1.32%)	27 (35.53%)	0 (0%)	48 (63.16%)	76 (100%)
合計	221 (3.93%)	3,023 (68.90%)	0 (0%)	135 (27.17%)	1,196(100%)

單位：件(百分比)

連續型隧道發生交通事故的件數，跟一般型隧道各區段的呈現相似，一般型隧道的事務大都集中在速限 90 公里/時的路段，而在連續型隧道的各區段，則大致分布於速限 90 公里/時與 110 公里/時的路段。在隧道前，速限 110 公里/時的事務數較速限 90 公里/時多；在隧道內跟隧道後，則以速限 90 公里/時的總事務數較多；而在隧道間區段，則以 110 公里/時的總事務數較多。

因不確定一般型跟連續型隧道的速限變數，應以哪一數值做為區分不同類別的標準，故繪出一般型跟連續型隧道在不同速限內，各速限的事務數分布情形，以找出能代表不同類別的數值，讓各類別內有足夠的樣本數的數值。

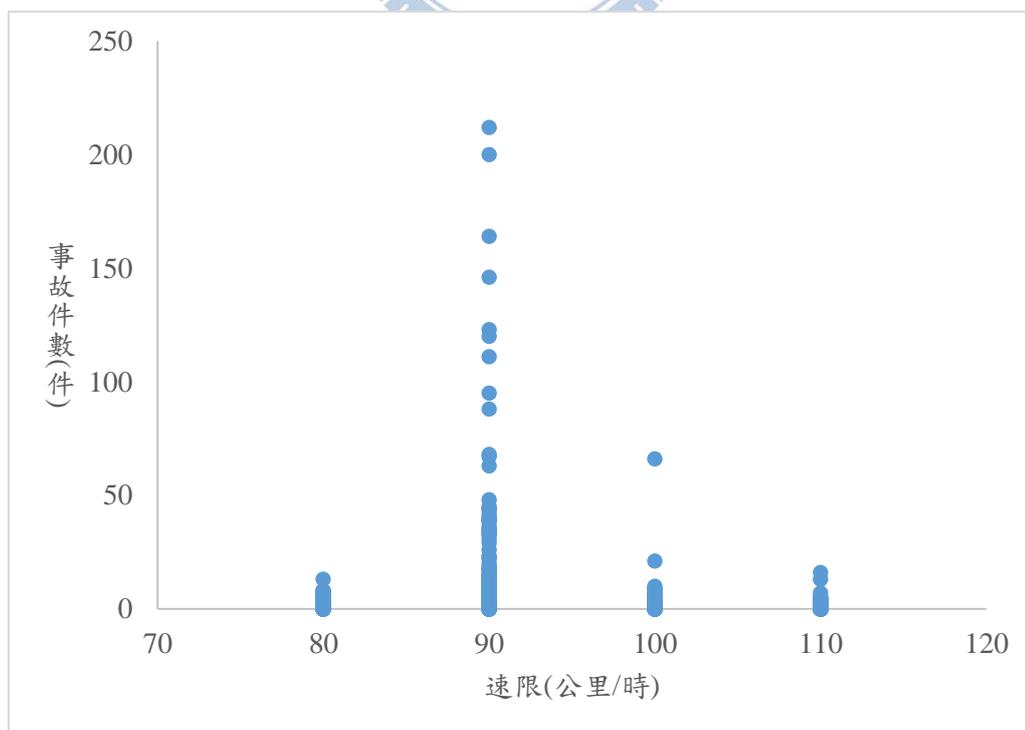


圖 4-6 一般型隧道各速限的事務數分布圖

從一般型隧道各速限的事故件數分布圖中，可以看出在速限 90 公里/時有相當多的事故數樣本，而速限為 80 公里/時的樣本數較少，當速限為 100 公里/時與 110 公里/時，速限的樣本數亦較少，故在一般型隧道區分速限成為不同類別時，應考量速限為 90 公里/時的樣本數較多，且樣本的事故件數也較大，故令其為一個類別。而小於 90 公里/時跟大於 90 公里/時則分別令為不同類別，故一般型隧道的速限變數應分為小於 90 公里/時、90 公里/時和大於 90 公里/時三個類別。

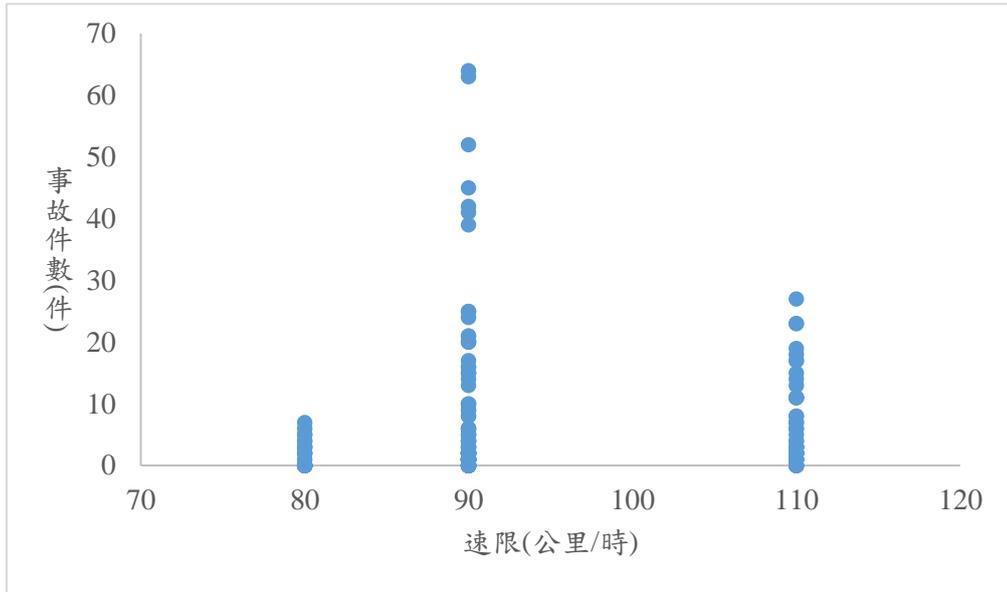


圖 4-7 連續型隧道各速限的事故件數分布圖

從連續型隧道各速限的事故件數分布圖中，可以看出因連續型隧道所包含的隧道為國三、國六，而位在國三的隧道又多位於國道三號中和交流道以北的部分，故其隧道的速限多為 90 公里/時；速限 80 公里/時的樣本地點則位於國道五號的部分，故延續在一般型隧道的判斷原則，因在速限 90 公里/時的樣本點較多，且恰好為三個類別，故連續型隧道的速限變數同樣分為小於 90 公里/時、90 公里/時和大於 90 公里/時三個類別。

表 4-14 兩類型隧道各車道數的隧道數

車道數 類別	雙車道	三車道	四車道	總合
一般隧道	5	32	0	37
連續隧道	1	4	2	7
合計	6	36	2	44

單位：座

從兩類型隧道各車道數的隧道數中可以看出一般型隧道所包含的隧道，有雙車道與三車道的隧道，而連續型的隧道則有雙車道、三車道以及四車道的隧道，其中又都以三車道的隧道數最多。

表 4-15 一般型隧道區段之各車道數的事故數

車道數 區段	雙車道	三車道	總合
隧道前	38 (5.48%)	655 (94.52%)	693 (100%)
隧道內	76 (2.92%)	2,526 (97.08%)	2,602 (100%)
隧道後	28 (9.06%)	281 (90.94%)	309 (100%)
合計	142 (3.94%)	3,462 (96.06%)	3,604 (100%)

單位：件(百分比)

搭配表 4-9 可以觀察得知全部高速公路隧道之車道數數量總計，以及發生在隧道不同車道數的交通事故數量統計的關係。從比較後得知，雙車道的隧道佔總比例的 40.4%，而三車道的隧道則佔 51.9%，但從本表格可知道，發生在三車道隧道之交通事故數量，卻遠大於發生在雙車道隧道的區域，能觀察到雖然三車道隧道所佔的百分比僅較雙車道隧道的百分比略高，但是發生在三車道隧道的交通事故的數量與百分比，卻遠大於在雙車道隧道的交通事故比例，故推測車道數量對於交通事故的發生可能受到其他因素的影響，或是有非線性的關係存在。在一般型隧道的所有區段內沒有四車道的路段，故表格內無四車道的數據。

表 4-16 連續型隧道區段之各車道數的事故數

車道數 區段	雙車道	三車道	四車道	總合
隧道前	18 (12.86%)	55 (39.29%)	67 (47.86%)	140 (100%)
隧道內	26 (3.07%)	641 (75.77%)	179 (21.16%)	846 (100%)
隧道後	2 (1.49%)	101 (75.37%)	31 (23.13%)	134 (100%)
隧道間	1 (1.32%)	27 (35.53%)	48 (63.16%)	76 (100%)
合計	47 (3.93%)	824 (68.90%)	325 (27.17%)	1,196 (100%)

單位：件(百分比)

搭配表 4-9 可以觀察得知全部高速公路隧道之車道數數量總計，以及發生在隧道不同車道數的交通事故數量統計的關係。四車道的隧道僅位於連續型隧道的路段內，經比對里程後為埔頂一號與埔頂二號隧道。從前述一般型隧道的比較可得

知雖然雙車道的隧道比例較三車道隧道為低，但是發生在三車道隧道的事務數卻遠多於雙車道隧道的事務數，在連續型隧道的區段亦有此現象，其中，四車道變數亦有相當高比例的事務件數，尤其於隧道間區段，但是四車道隧道的數量僅此兩座隧道而已，故推測車道數量對於交通事務的發生，可能受到其他因素的影響，或是有其他關係存在。

從前述一般型跟連續型隧道在不同區段及不同車道數的表格中，可以得知兩類型隧道在不同區段，不同車道數對事務數可能有其相關性，為便於後續建立模式內車道數此變數的不同類別，本研究對一般型跟連續型隧道的不同車道數，分別建立不同車道數與事務數的分布圖，以得知是否應以各車道數做為不同的類別進行分析。

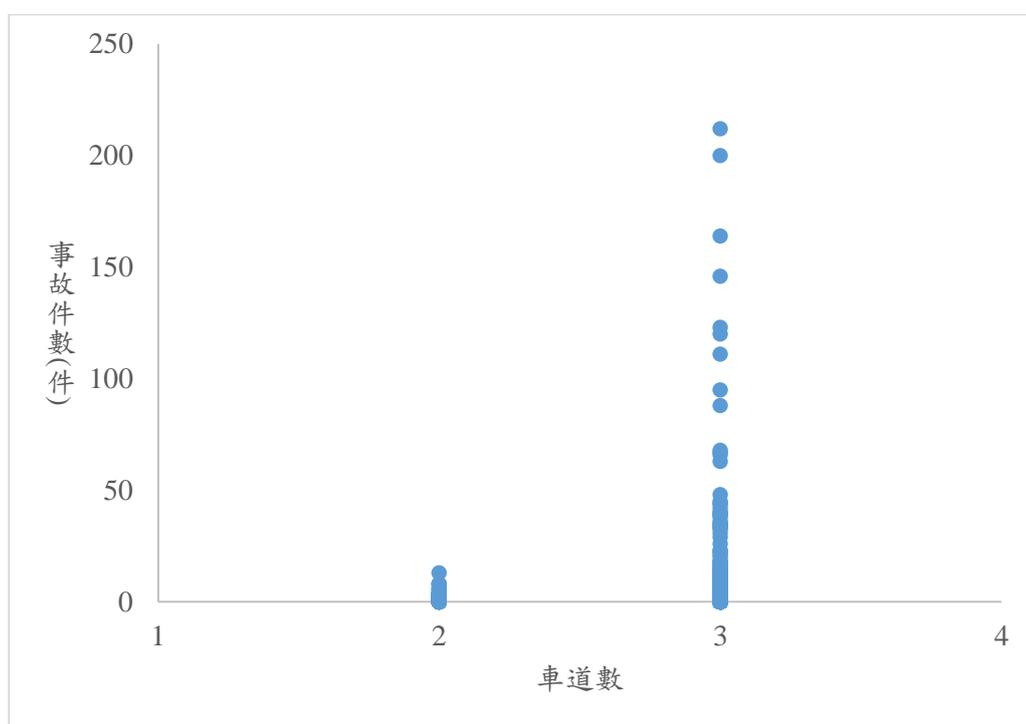


圖 4-8 一般型隧道車道數與事務件數分布圖

一般型隧道雖包含較多的隧道，但這些隧道多為雙車道或三車道，並無四車道的隧道，故僅有雙車道跟三車道的分布資料。從一般型隧道車道數與事務件數分布圖中，可以知道事務數較多為發生在三車道的地方。為呈現不同車道數對事務發生的關係，故以雙車道跟三車道做為一般型隧道的不同類別進行分析。

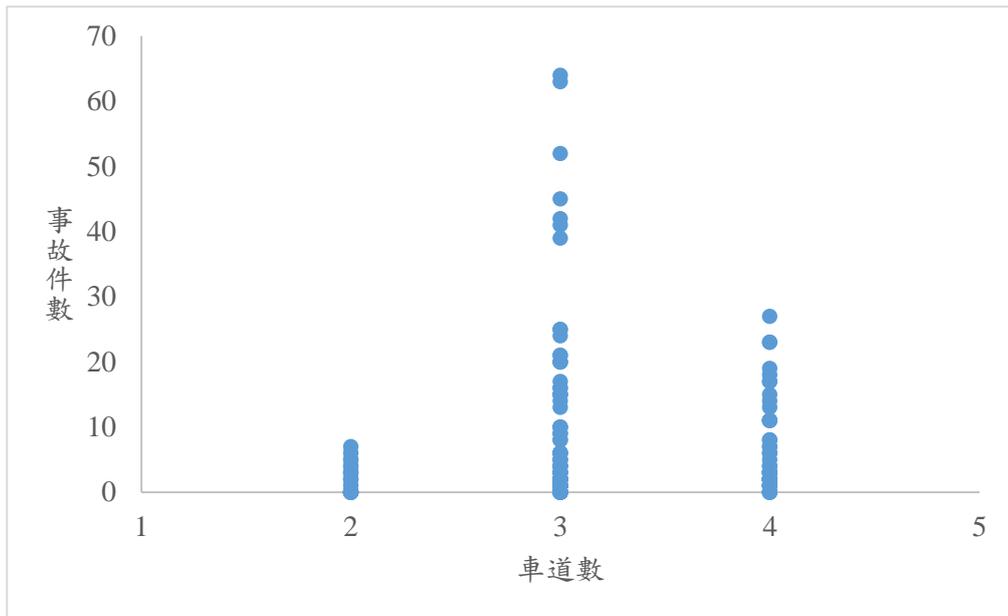


圖 4-9 連續型隧道車道數與事故件數分布圖

連續型隧道的隧道則包含有雙車道、三車道與四車道的隧道，故可以得知三種車道數的事故數的分布情形。從中可以看出三車道有較多的樣本點，故三車道應為一個分類的數值，分為小於三車道、三車道與大於三車道的類別，所以連續型隧道的車道數變數，應區分為雙車道、三車道與四車道三個類別。

最後，將一般型與連續型隧道各隧道各區段，所發生的事故件數與年平均日交通量 AADT 交通量繪製成散布圖，並計算一般型跟連續型隧道各區段，相較於隧道內的 CMF 值，以得知一般型跟連續型隧道，在隧道區段的事務發生頻次期望值的相對性。可以看出在一般型隧道的事務件數在年平均日交通量較少時，發生件數也較少，但是在年平均日交通量 20,000 輛以上時，各區段的事務件數卻相較於較少的年平均日交通量時大幅上升，故可推測各個區段內的事務件數，跟交通量均為正相關的關係。

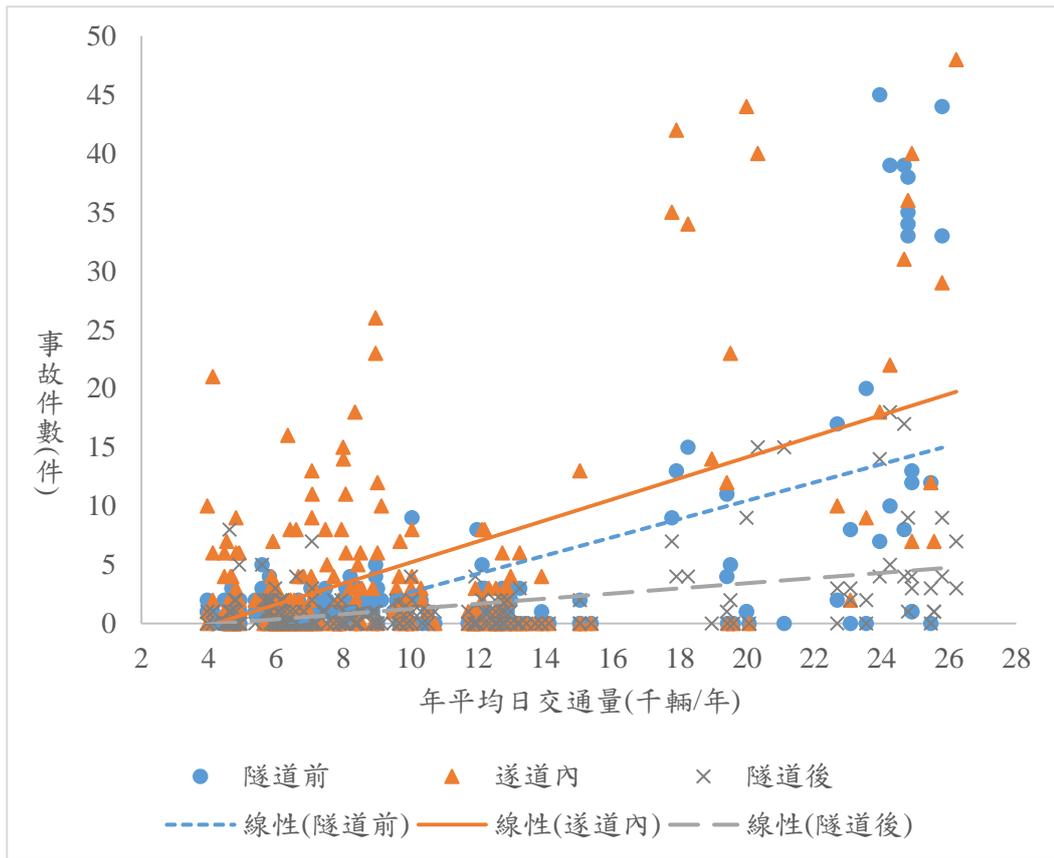


圖 4-10 一般型隧道各區段的實際事故數散布圖

從前面整理各隧道各區段的事故發生件數後，可進一步整理各個隧道各區段的事故發生頻次期望值。整理得到各隧道的事故發生頻次期望值之後，繼續計算得一般型隧道在隧道前、隧道內與隧道後區段，所有隧道的各區段的總事故頻次期望值。此每一區段的總事故頻次期望值為加入考量以每 200 公尺的長度作為一個單位的情形下，每隧道每區段的事故發生頻次。

會使用 200 公尺作為一個長度單位，而不是使用較常見的 1000 公尺作為長度單位的原因，是因為從表 4-3 中，可以看出隧道前或後區段的長度，普遍較隧道內區段短，隧道前區段最短有 57 公尺，最長則有 2120 公尺，且大部分隧道前區段的長度均為小於 1 公里；而隧道後區段也是大部分的長度均為小於 1 公里，若以較常見的 1 公里作為一個長度單位，因部分隧道該區段的長度不足 1 公里，則容易將區段內的事務數，跟區段長度一起等比例的放大，故原本長度不足 1 公里的區段，則容易被高估。此區段長度若為 500 公尺，事故發生頻次為 5 件/年，則計算此區段每公里長度的事故數時，即會以 2 倍方式去估算，故此區段的每單位長度的事故數為 10 件/年，但是實際上事故發生頻次並非等比例的放大。

所以本研究使用小於大部分隧道的隧道前、隧道後區段的長度作為單位長度，以比較各隧道在不同區段的隧道事故發生頻次的期望值，而隧道前與隧道後區段長度的中位數為 393 公尺，若以 300 公尺或 400 公尺進行單位長度的計算，則 300 公尺或 400 公尺仍會面臨跟 1 公里時類似的問題，且 300 公尺的計算較不

方便，若單位長度再加長則不適宜，因為大部分的隧道前或隧道後區段的長度均小於 393 公尺，故應以更小的長度作為單位長度，故考慮選用 200 公尺或 100 公尺，但是因為 100 公尺的長度過短，可能導致跟使用 1 公里作為單位長度的不同現象，即因為單位長度過短，每單位長度的事故發生件數過少或甚至為 0，造成計算事故發生頻次期望值的誤差過大，故使用 200 公尺作為較適當的單位長度。而有部分隧道的隧道前、隧道後區段的長度未達 200 公尺，故對於未達 200 公尺的區段以 200 公尺計算，而區段長度超過 200 公尺未達 400 公尺的路段，以 400 公尺計算，以此類推。

隧道前區段每年每個隧道的事務發生頻次期望值為 2.1348 件/年；隧道內區段每年每個隧道的事務發生頻次期望值為 2.2309 件/年；隧道後區段每年每個隧道的事務發生頻次期望值為 0.9803 件/年，所以可以推算得各區段的 CMF 值如下表：

表 4-17 一般型隧道各區段的 CMF 值

區段 數值	隧道前	隧道內	隧道後
CMF 值	0.9569	1.0000	0.4394

從結果中，可以看出隧道與隧道後區段的整體事故數均較隧道內少，且以 200 公尺作為單位長度，隧道前的 CMF 值為接近 1，表示整體事故發生頻次期望值跟隧道內是接近的；而隧道後同為 CMF 值小於 1，表示其事故發生頻次的期望值是較低的，因為有相當多的隧道的隧道後區段是沒有發生事故的，亦即有部分樣本的隧道後區段的事務發生頻次期望值為 0，所以雖然總隧道數相同，但是隧道後因為發生的事故數較少，甚至有部分隧道的隧道後區段的事務發生數為 0，所以讓 CMF 值較小，故 CMF 值可以做為觀察隧道前、內、後不同區段間，每單位長度事故發生頻次的比較值的參考，所以需要建立考量隧道前內後，以及不同變數影響的安全績效函數，以得知各變數的相對關係。

本研究與文獻回顧所得結果有所不相同的原因，可能為計算與統計分析的方法不同。文獻回顧內對於隧道前或隧道內的事務頻次統計方法為固定隧道前一定距離作為隧道前區段，隧道內是從隧道口開始計算，進隧道內一定距離作為隧道內區段，與本研究的隧道前、隧道後區段的長度定義不相同，所以事故發生頻次並不一定相同。此外，本研究在此 CMF 所計算得到的事故發生頻次，統計整理每個隧道每個區段長度內的總事故頻次，再透過計算每單位長度的事故發生次數，作為事故發生頻次的數值，與其他研究為隧道前區段固定長度，或隧道內區段固定長度的計算方法不同，故可能導致計算的結果有所不同。

接著是連續型隧道各區段的事務件數散布圖與 CMF 值計算，連續型隧道較一般型隧道多了隧道間區段，故散布圖的圖例較多，且計算的 CMF 值比一般型隧道多。

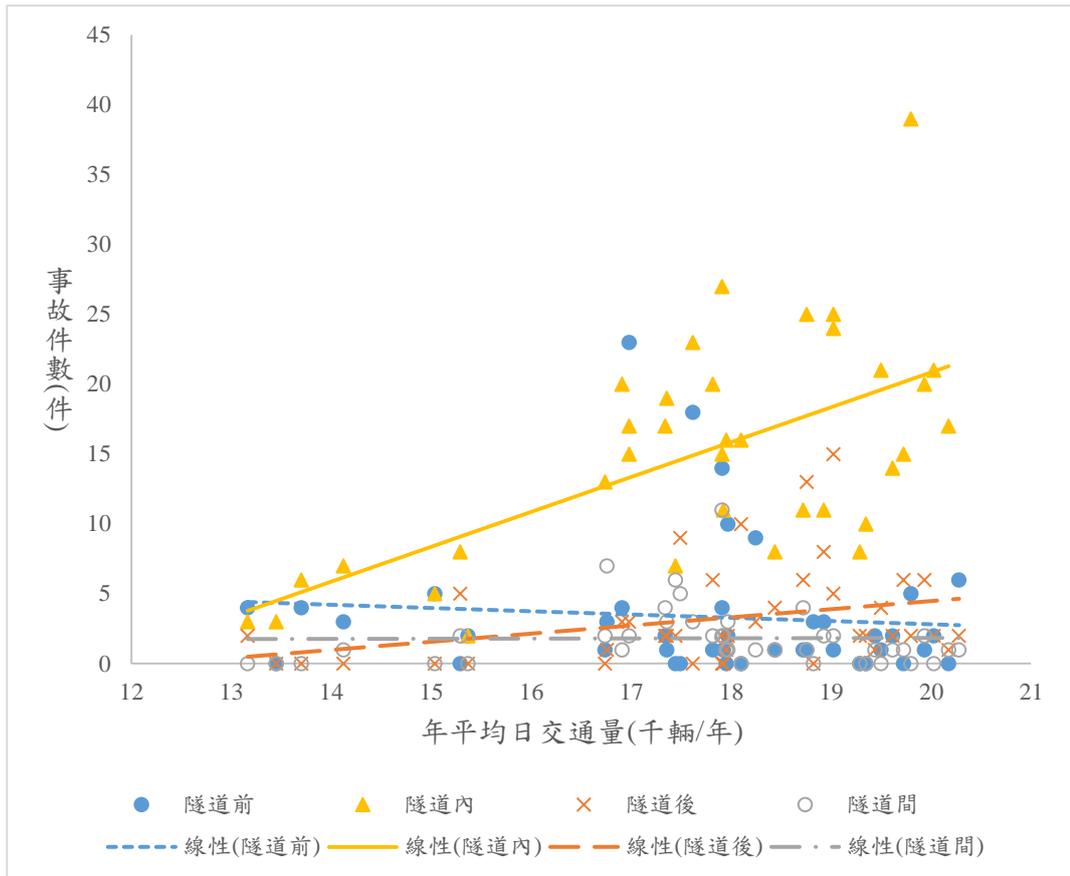


圖 4-11 連續型隧道各區段的實際事故數散布圖

從連續型隧道的事數件數散布圖中，可以得知發生在連續型隧道的所有區段的事數件數跟年平均日交通量的關係，亦可得知連續型隧道內的關係圖跟一般型隧道的散布圖呈現不同的變化，此原因可能為發生於連續隧道的事數件數較少，故累積的事數件數亦較少。而在連續型隧道的件數亦為在高車流量時，各區段均有較高的事故數，但是其上升的數量與一般型隧道不同，故本研究亦認為事故件數跟年平均日交通量亦有正相關的關係，但上升的趨勢可能不相同。

連續型隧道的 CMF 值計算方法跟一般型隧道相同，同樣為計算每個隧道每個區段，在單位長度 200 公尺的情形下，各隧道的事數發生頻次期望值，並於整理後，再計算所有隧道各區段的總事數發生頻次期望值。隧道前區段每年每個隧道的事數發生頻次期望值為 2.1944 件/年；隧道內區段每年每個隧道的事數發生頻次期望值為 2.2767 件/年；隧道後區段每年每個隧道的事數發生頻次期望值為 1.7268 件/年；隧道間區段每年每個隧道的事數發生頻次期望值為 1.1785 件/年。

表 4-18 連續型隧道各區段的 CMF 值

區段	隧道前	隧道內	隧道後	隧道間
數值				
CMF值	0.9639	1.0000	0.7585	0.5176

從 CMF 值可以看到，隧道前、隧道後跟隧道間區段的事務件數發生頻次期望值，均小於隧道內的事務發生頻次期望值，有此現象的原因，可能跟隧道前、隧道後跟隧道間區段的區段長度，均小於隧道長度有關，且連續型隧道的隧道前與隧道後跟隧道間區段，有較多沒有發生事故區段，亦即事故發生頻次期望值為 0，而每個隧道的隧道內區段，在每年的事故數中，均沒有 0 事故的情形，故會導致隧道前與隧道後區段，在計算事故發生頻次期望值時，可能會因事故頻次期望值為 0 的樣本，造成事故頻次期望值較為低估。此數值是以假設事故發生頻次期望值與區段長度為比例的關係，且各年度各隧道的年平均日交通量均相近的情形下而得，故可能會因為部分隧道的部分區段的事務頻次期望值為 0，讓部分區段的事務頻次期望值被降低。而以表 4-18 的結果，可以得知在隧道前、後、間區段中，又以隧道前區段的每單位長度的事務發生頻次期望值為最高，表示在連續型隧道的隧道前區段，其事務發生頻次的期望值為隧道前、後、間三個區段中最高的，且可以推測隧道前的事務發生頻次期望值，可能會因為是位於連續型隧道的隧道前區段而有影響。

## 4.5 研究變數

進行模式之建立與選擇之前，需針對模式所需的變數，確認適當的定義與單位，以便後續使用程式模擬安全績效函數等模式時，避免因不同單位，造成之回歸誤差過大或不顯著等情形。

### 一、應變數

應變數即不同的自變數於某一數學模式中顯示變化量的數值，可以作為不同變數，在某一數學模式下所呈現結果的比較數值。本研究之應變數為延續文獻回顧中《公路安全手冊》對於安全績效函數之應變數定義，即應變數為交通事故發生，不同區段可能會影響交通事故的因素。而目前關於道路隧道事故，或是隧道分區事故之探討的研究，均以交通事故發生數量，或是交通事故發生頻次作為應變數，即將事故數量作為應變數，可使分析結果易於呈現與分析，若需做後續其他數值模式上的分析結果探討與比較，亦較客觀方便。

在交通事故發生數量與交通事故發生頻次中，考量一般型隧道有隧道前區段、隧道內區段與出隧道後區段，連續型隧道還有隧道間區段，若將各區段使用不同應變數，或不同單位的應變數，會讓不同區段間的比較基準不同，而無法比較，故探討之應變數統一為交通事故發生頻次，參考《公路安全手冊》中，對安全績效函數的應變數定義，其單位為每年某一區段或隧道地區發生之交通事故件數（件/年）。

### 二、自變數

自變數為由研究者操控，藉由不同數值，經由某一數學模式中，影響應變數大小的數值。自變數可分為連續變數，與類別變數二種，連續變數為自變數以數字呈現的變數，並無一定是正或負，有可能為小數的數值，例如：年平均日交通量、車道寬度、長度等變數；而類別變數則為表示不同類型的變數，其數值不做計算，僅

做指示使用，此數值通常為整數或 0 與 1 的數字，例如：是否有人行道、是否有號誌、車道的數量等變數。

在取得資料後，已先將隧道，初步分為隧道前、隧道內，以及隧道後三個部分，原始分析方法為將隧道分為不同區段個別進行分析，連續型隧道為增加考量隧道間區段，此四個區段一開始所考慮的影響因素大致相同，例如：會考慮車道寬、車流量、車道速限等可能之影響因素。此外，於隧道前以及隧道後，預計增加考量天氣(即雨量因素)，考量駕駛人在隧道前的天氣，若為陰雨天，可能會對進隧道後的行駛方式有不同影響。

另外，多數相關研究，對於隧道事故較少做考量的變數為光度時段因素。不同時間點的太陽、光線位置與強度並不相同，根據實際訪問有多次行駛於高速公路隧道區段的汽車駕駛人可以得知：光度時段或是隧道外天空為白天或黑夜，可能影響駕駛人於進出隧道前後之行駛穩定性，並進而影響可能發生事故之可能機率。(發生事故之光度時段與地點，對於發生事故亦有受其影響)，例如：清晨時段行駛於出隧道區段，可能因離開隧道時，過度強烈之光線，自隧道出口直接照進隧道，造成駕駛人，準備駛出隧道時，因直視太陽光而造成眼睛不適，影響駕駛者之視覺感官，無法完全注意車況，而在隧道內快要出隧道區域，或剛出隧道區域發生事故。

本研究在參考文獻，針對同樣類似隧道前與隧道中，以及高速公路的事故後，預定選取年平均日交通量、隧道長度、雨量等數值，作為自變數中的連續變數，隧道長度為與隧道內之事故有關聯，而雨量則是因為考量在進出隧道前後，以及隧道內亦有其他因素，可能會對事故造成影響，故對隧道前與隧道後增加選取變數。

雨量因素因為考量到隧道區域之出入口，可能屬不同縣市，而不同縣市之雨量又易受不同之地形而造成雨量多寡受到影響。此外，同一縣市於某一時間點，氣象局公布之累積雨量可能會受到地形影響而不同，例如：山區之降雨量與平地之降雨量不同，若觀測站僅設於平地或某一山區，則其所提供之累積雨量，與真實情況可能有所不同，無法反映真實之雨量數據等情形，可能造成變數與模式的誤差太大，故將此變數移除。

本研究參考 HSM 對 SPF 的規定以及其他相關文獻，找出共同且大都具有影響的連續型變數，並透過從道路資料所有的內容與變數，歸納出所使用的連續型變數，其中，並參考部份研究，原本加入如路線曲線半徑、坡度、路肩寬度等變數，增加考量可能影響各區段事故頻次的可能因子。部分研究中所使用的曲線半徑變數有經過倒數的處理，以避免直線路段的曲線半徑為無限大的現象，並減少曲線半徑的數值，因變化差異較大，不易顯示此數值對事故數的影響，本研究也將曲線半徑倒數處理，其餘變數均使用以下原始的單位進行後續估算。

本研究後來考量，若為不同區段建立各自的 SPF，則最後所考量的顯著變數可能不同，且並無法以不同 SPF 進行事故數量與頻次的比較，且部分連續型變數的影響不夠顯著，像是曲線半徑、坡度等變數，可能跟高速公路的道路標準較嚴格有相關，故本研究改成考量隧道的不同區段、速限、車道數等變數為考量變數，對於連

續型變數考量亦予以簡化，僅考量 HSM 所建議考量的連續型變數 AADT 跟區段長度，以方便後續建立隧道前、內、後、的 CMF 值比較。

表 4-19 各連續型變數之定義與單位列表

變數名稱	定義	單位
年平均日交通量	此路段全年日交通量觀測結果的平均值	輛/天
長度	此路段的長度	公里

類別變數則延續前一章節，選擇可能對隧道前、隧道內、隧道後或隧道間有可能影響的類別變數，做為後續研究的變數。因類別變數需針對不同類別，指定不同的虛擬變數，以表達不同類別的對應變數的影響，本研究的虛擬變數表達方式，是以每一個類別變數的樣本數最多的類別作為此變數的參考類別(參照組)。參照組的條件內，各變數的情況為三車道、速限 90 公里/時；假設虛擬變數 1 為  $x_1$ ，虛擬變數 2 為  $x_2$ ，虛擬變數 3 為  $x_3$ ，以安全績效函數可表達為  $N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(x_1) + \beta_2(x_2) + \beta_3(x_3)]$ 。

在類別變數中，不同的類別，分別透過在不同虛擬變數使用 1 或 0，以代表不同類別相較於參考類別對交通事故頻次的影響大小。以連續型隧道的車道數為例，雙車道時，安全績效函數模式可寫為  $N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(1) + \beta_2(0)]$ ；參照組的三車道，其安全績效函數模式可寫為  $N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(0) + \beta_2(0)]$ ；四車道時，安全績效函數模式可寫為  $N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(0) + \beta_2(1)]$ ，其餘變數的虛擬變數處理跟車道數相同，但是其虛擬變數的假設值不同，以下以表格說明。

表 4-20 類別變數的虛擬變數表

變數名稱	變數內容		虛擬變數		
			1	2	3
隧道區段	一般	隧道前	1	0	
		隧道內	0	0	
		隧道後	0	1	
	連續	隧道前	1	0	0
		隧道內	0	0	0
		隧道後	0	1	0
		隧道間	0	0	1

速限	小於90公里		1	0	
	90公里		0	0	
	大於90公里		0	1	
車道數	一般	雙車道	1		
		三車道	0		
	連續	雙車道	1	0	
		三車道	0	0	
		四車道	0	1	

以下為所有區段的各個類別變數的定義與敘述，包含各變數內每一數字的計數與百分比。

表 4-21 所有隧道區段之類別變數

變數名稱	定義
隧道區段	事故發生地點位於隧道前令為1 事故發生地點位於隧道內令為2 事故發生地點位於隧道後令為3 事故發生地點位於隧道間令為4
速限	速限90公里/時以下令為1 速限90公里/時令為2 速限90公里/時以上令為3
車道數	事故發生位置之車道數為2者令為2 事故發生位置之車道數為3者令為3 事故發生位置之車道數為4者令為4

## 五、 研究結果

本研究的研究結果，分為建立安全績效函數，跟建立事故調整因子兩部分，在建立安全績效函數的部分中，包含有參考 HSM 的變數處理方式，對一般跟連續型隧道進行 NB 跟 ZINB 的確立，並透過對年平均日交通量跟區段長度分別進行自然對數轉換的交叉比較，並在確立使用的分配方式跟年平均日交通量等變數的轉換方式後，建立一般型跟連續型隧道整體的安全績效函數。然後，建立兩類型隧道各區段的事務調整因子，並列出各年份的事務調整因子變化量，進行比較，最後為整體的結論。

為建立一般與連續型隧道在不同區段的事務調整因子，須建立兩類型隧道各自的安全績效函數，並按照 HSM 所建議使用的變數，包含年平均日交通量跟區段長度等變數，在本研究中，再增加區段的變數，以得知此樣本是位於隧道前、內、後或間，故本研究的模式內變數有年平均日交通量、區段長度以及區段的變數。因本研究的研究對象為不同區段內各路段的事務件數，有相關研究認為有的路段整年度的事務件數為 0，本研究稱之為零事務路段，若以 NB 方式進行分析，可能會讓模型的準確性下降，故本研究對一般跟連續型隧道，先確立需使用的分配模式，後續才能建立安全績效函數。

由於零事務路段對於整體的安全績效函數模型可能會有影響，故本章節使用 HSM 的建議，對車流量與區段長度都進行自然對數轉換的比較，使用統計軟體 SAS 的 PROC COUNTREG 等程式碼進行計算，可以得到在不同分配下的，一般型跟連續型隧道的 AIC 值。其比較方式為比較各模型的配適度 AIC，選擇配適度較高的模型做後續研究，以下為比較結果：

表 5-1 兩隧道的統計分配模型配適結果

統計分配模型	一般	連續
普瓦松分配	4270	981
零膨脹普瓦松分配	3582	986
負二項分配	2575*	804*
零膨脹負二項分配	2591	818

\*為選擇的模型

從表格中可看出，在一般型隧道內，零膨脹普瓦松分配的 AIC 值較普瓦松小，意即零膨脹的普瓦松模型配適度較普瓦松模型好；而在負二項與零膨脹負二項分配的模型中，其 AIC 值均較普瓦松與零膨脹普瓦松分配的模型小，故可以得知負二項分配的配適度均較普瓦松分配好；在這之中，負二項分配的 AIC 值又較零膨脹的負二項分配小，故可得知負二項分配的配適度為四者中最好。而連續型隧道的結果跟一般型隧道的結果類似，惟在普瓦松跟零膨脹的普瓦松模型之間，以普瓦松

模型的 AIC 值稍小，即配適度稍高，但是最後仍以負二項分配的 AIC 值最小，配適度為最高，因此，本研究採用負二項分配進行後續的研究。

## 5.1 一般型隧道

### 5.1.1 確認車流量與區段長度的轉換方式

在確定使用負二項分配模型進行預估後，因參考相關研究，對於連續型變數經過不同的轉換，並觀察哪一種轉換模式可以得到最好的配適結果，以接續後續的建立安全績效函數。針對不同的連續型變數，本章節分別建立四個模式，以確保某模式之類別轉換方式，對函數的配適度最高。本研究使用 SAS 軟體，對兩類型隧道的各個模式的交通事故，進行負二項回歸式推估，並可得到各隧道之不同模式模擬結果，從中透過配適度之檢視，選擇表現較好之模式。

將四種模式在兩類型隧道使用 SAS 統計軟體的 PROC GENMOD 程式碼，進行負二項分配的推估分析，並在兩類型隧道中，各可得到四個不同的模式。在各個隧道中，使用配適度參數 BIC、AIC 選擇表現較好之模式，並可進行兩類型隧道的不同區段的安全績效函數分析。此舉之用意為，在進行預估兩類型隧道的安全績效函數分析之前，透過從參考文獻所曾使用過的不同模式中，選出表現較良好的模式，以做為安全績效函數的模式。兩類型隧道之模式列表：

- 模式一：使用原始變數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式二：對AADT取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(\ln AADT_i) + \beta_2(L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式三：對AADT與隧道長度取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(\ln AADT_i) + \beta_2(\ln L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})]$$

- 模式四：對隧道長度取自然對數

$$N_{predicted,i} = \exp[\beta_0 + \beta_1(AADT_i) + \beta_2(\ln L_i) + \dots + \beta_k(X_{ki})]$$

在一般型隧道內，首先將各個模式，分別代入一般型隧道內全部交通事故資料，進行配適度分析，選擇全部事故資料內，有最好配適度的模型，以作為在一般型隧道不同區段，安全績效模式的呈現。一般型隧道的總交通事故件數較多，以 A1、A2 與 A3 事故合計有 666 件樣本，事故的樣本數，可以讓不同模式均有良好的顯著程度與配適度，故須透過 AIC 與 AICc 等數值，選擇較能符合整體現況的模式，並透過觀察模式內各項變數之 P 值等數字，判斷該模式有哪些顯著的變數。(如表 5-2)在一般型隧道的不同模式內，可看出在模式三時，有最小之 BIC、AIC 與 AICc 值，分別是 2538.6610、2511.4496 與 2511.5727，其次為模式四與模式二，最後則為模式一。AIC 之數值較大，可推測為樣本數較多，導致樣本群內樣本的分布較廣，

而使得樣本內漸進有效性較低，AIC 數值較大；但是 AIC 為判斷模式有效性的依據之一，從數值之大小，可做為判斷模式較合適的標準之一，並應搭配各模式內，各變數顯著程度做解讀，方可選出較好之模式。在一般型隧道的模式選擇中，依照 AIC 與 AICc 的數值，選擇模式三做為表現最佳之整體模式。

表 5-2 一般型隧道整體模式比較表

模式 數值	模式一	模式二	模式三*	模式四
概似比指標	0.1319	0.1512	0.1961	0.1738
BIC	2602.2404	2588.1050	2538.6610	2555.9597
AIC	2575.0290	2560.8935	2511.4496	2528.7483
AICc	2575.1522	2561.0167	2511.5727	2528.8714

\*為選擇的模式

後續各模式內所使用的變數的代號與定義如表 5-3 所示，在表 5-3 內的連續型變數均未進行自然對數的轉換，因不同模式內，年平均日交通量與區段長度有不同的轉換形式，所以在表 5-4 表達不同模式內的年平均日交通量與區段長度變數時，會依據模式的需求加上 ln 以做為區別。表 5-3 亦列表呈現一般型隧道各個類別變數的定義與代號，除了不同區段位置的類別變數，包含速限、車道數、年份等變數，後續建立不同安全績效函數會使用到這些變數。

表 5-3 一般型隧道內各變數的定義與代號

變數名稱		定義	變數代號
連續	年平均日交通量	此路段全年日交通量觀測結果的平均值(輛/天)	AADT
	區段長度	此路段的長度(公里)	TL
類別	區段位置	事故發生於隧道前令為 1 事故發生於隧道內令為 2 事故發生於隧道後令為 3	LOT
	速限	速限小於 90 公里/時令為 1 速限等於 90 公里/時令為 2 速限大於 90 公里/時令為 3	SL
	車道數	該區段為雙車道則令為 2 該區段為三車道則令為 3	LN
	年份	發生於 2010 年的事故令為 2010 發生於 2011 年的事故令為 2011 以此類推	YEAR

從表 5-4 可以得知在模式一內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道長度、隧道前與隧道後等變數；在模式二內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道前與隧道後等變數；在模式三內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道前與隧道後等變數；而在模式四內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道前與隧道後等變數。從不同模式的顯著變數之中，可以得知非常顯著的變數均大致相同，僅模式三中區段長度的變數為顯著；模式一跟模式四的年平均日交通量變數，雖然都是相當顯著，但預估所得的係數均相當小，僅 0.0001，意即影響相當小，此情況跟相關研究所寫的情形有所不同故模式一跟模式四的參考性較低。不過由各個模式中可以得知，如年平均日交通量、隧道前與隧道後等變數，均為共同會影響的變數，而年平均日交通量與隧道長度的變數，與相關研究中所寫的相同，均為會影響之變數。



表 5-4 一般型隧道各模式比較表

模式一					模式二				
參數	類別	估計值	標準差	P-Value	參數	類別	估計值	標準差	P-Value
Intercept		-0.3751	0.1407	0.0077	Intercept		-12.5399	0.9105	<.0001
AADT		0.0001	0.0000	<.0001	ln(AADT)		1.5000	0.0992	<.0001
TL		0.1423	0.0306	<.0001	TL		0.1263	0.0333	0.0001
LOT	1	-0.7057	0.1427	<.0001	LOT	1	-0.6917	0.151	<.0001
LOT	3	-1.1805	0.1489	<.0001	LOT	3	-1.2051	0.1565	<.0001
Log- likelihood	-1281.5145				Log- likelihood	-1274.4468			
模式三					模式四				
參數	類別	估計值	標準差	P-Value	參數	類別	估計值	標準差	P-Value
Intercept		-12.8101	1.0130	<.0001	Intercept		-0.1459	0.1352	0.2805
ln(AADT)		1.5605	0.1109	<.0001	AADT		0.0001	0.0000	<.0001
ln(TL)		0.1265	0.0530	0.0171	ln(TL)		0.1865	0.0522	0.0004
LOT	1	-0.7172	0.1789	<.0001	LOT	1	-0.6685	0.1703	<.0001
LOT	3	-1.2747	0.1711	<.0001	LOT	3	-1.1979	0.1651	<.0001
Log- likelihood	-1249.7248				Log- likelihood	-1258.3741			

從表 5-2 與表 5-4 一般型隧道各模式比較表，可以得知一般型隧道的連續型變數應進行自然對數的轉換，為便於後續表達不同模式的這兩個變數與其他變數間的關係，一般型隧道所使用的 AADT 與 TL 均代表為已轉換成自然對數型式的 AADT 與 TL。

### 5.1.2 建立一般型隧道的安全績效函數

本研究之主要方向為建立考量隧道不同區段，對事故發生頻次有影響的安全績效函數，故參考公路安全手冊對安全績效函數的建議，使用年平均日交通量與路段長度的變數，並加入考慮不同類別變數或不同條件下，逐步建立安全績效函數以下分別為初步加入考量隧道不同區段的 SPF，再區分隧道長度為大於或小於 1 公里的情形下的 SPF；然後加入速限與車道數變數，並選擇配適度較好的 SPF；以及比較各年份的資料的係數大小與影響差異性。

#### 1. AADT+TL+LOT

表 5-5 一般型隧道考量各區段的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-13.8866	0.9074	<.0001
AADT		1	1.7183	0.0975	<.0001
TL		1	0.1535	0.0673	0.0225
LOT	1	1	-1.0032	0.2208	<.0001
LOT	3	1	-1.8387	0.1492	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.68	0.1336	

一般型隧道的車流量係數是正的，表示對事故發生頻次為正相關，區段長度係數也是正的，表示區段長度跟事故數也是正相關。隧道前跟隧道後區段，其係數均為負，代表跟事故數相較於隧道內的事務數為負相關的關係。因考量不同隧道長短可能對於前內後區段的係數有不同正負影響，所以延伸將資料分為隧道長度小於 1 公里或大於 1 公里的資料，使用 AADT+TL+LOT 的 SPF 模式進行分析比較：

(1)隧道長度小於 1KM

表 5-6 隧道長度小於 1 公里的一般型隧道 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-24.8789	1.3062	<.0001
AADT		1	2.8007	0.1351	<.0001
TL		1	0.1977	0.0836	0.018
LOT	1	1	-0.1832	0.3032	0.5457
LOT	3	1	-1.563	0.191	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.1412	0.1399	

(2)隧道長度大於 1KM

表 5-7 隧道長度大於 1 公里的一般型隧道 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-7.9767	1.3797	<.0001
AADT		1	1.0696	0.1556	<.0001
TL		1	0.6318	0.1794	0.0004
LOT	1	1	-0.6993	0.353	0.0476
LOT	3	1	-1.7502	0.1939	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.143	0.1476	

從分成隧道長度小於或大於 1 公里所建立的 SPF 模式中，可以看出隧道長度小於 1 公里的 SPF 模式，其常數的數值較小，表示在小於 1 公里的隧道內，事故數的預測值均較隧道長度大於 1 公里的事務數為高。整體而言，在大於 1 公里或小於 1 公里隧道所建立的安全模式中，隧道前跟隧道後的係數對整體事故發生頻次的影響跟整體的 SPF 模式的影響正負相關性相同，惟影響的大小不相同。

2.AADT+TL+LOT+不同變數

除了考慮隧道不同區段的變數以外，因考量相關文獻對於不同的變數均有影響的可能性，故在 AADT+TL+LOT 的模式以外，增加考量不同的可能影響變數，為知道可能影響變數的影響，故分別建立考量速限、車道數的模式，並選擇各模

式 AIC 值較低的模式，去比較在此變數的不同類別下，各區段對車流量的預測事故頻次期望值，對於觀測事故頻次期望的有效性指數( $\pi$ )。以下為各模式經由 SAS 程式所計算的配適度表格：

表 5-8 考量不同變數的 SPF 配適度表格

模式	AIC	BIC
AADT+TL+LOT+SL	2634*	2675*
AADT+TL+LOT+LN	2669	2701

\*為選擇的模式

而考量車道數的事故預測模式的 AIC 值為 2669，BIC 值為 2701；考量速限的事故預測模式的 AIC 值為 2634，BIC 值為 2675，故從 AIC 值與 BIC 值中選擇最小的，即考量速限的模式進行後續比較與分析。

(1)速限

表 5-9 一般型隧道考量各區段與速限變數的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-14.9698	1.1133	<.0001
AADT		1	1.8449	0.1171	<.0001
TL		1	0.1743	0.0676	0.0099
SL	1	1	-1.1502	0.148	<.0001
SL	3	1	0.1568	0.161	0.3301
SL	2	0	0	0	.
LOT	1	1	-0.8704	0.2145	<.0001
LOT	3	1	-1.7241	0.1422	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.415	0.1189	

所得模式為：

$$y = \exp[-14.9698 + 1.8449(\ln AADT) + 0.1743(\ln TL) - 1.1502(SL_1) + 0.1568(SL_3) - 0.8704(LOT_1) - 1.7241(LOT_3)]$$

在考量速限的事故預測模式中，常數為負的係數，車流量的影響對事故數為正相關，速限較低的係數為負相關，而速限較高的係數為正相關，不同區段的係數均為負相關。

在選取使用包含速限的 SPF 模式後，比較 HSM 所建議的評估鄉間雙向多車道的 SPF 模式，可以發現 HSM 所建議的 SPF 模式為：

$$y = \exp[-3.63 + 0.53(\ln AADT) + (\ln TL)]$$

與此相比較，可以發現在常數部分，均為負的係數，而在交通量的部分，同樣為正相關的係數，但是本研究所得的交通量係數的影響大小，較 HSM 所建議的雙向多車道 SPF 的交通量的係數大，而隧道長度的係數則較 HSM 的雙向多車道的 SPF 係數小，表示其影響大小較小，HSM 所建議的 SPF 為計算最基礎情況的 SPF 預測事故頻次，後續還需要透過不同的 CMF 與調整係數進行調整，而 HSM 所得到的 SPF 模式與本研究的結果差異，可能為本研究為考量隧道不同區段，以及各區段的速限的 SPF 所導致。

許書銘的 SPF 模式如下(許書銘, 2017)：

$$y = \exp[-20.9381 + 2.4485(\ln AADT) + 0.4721(\ln TL) - 0.0187(SL_1) + 0.2682(SL_3) - 0.2682(LN_2) - 1.1217(LN_4)]$$

其研究所得結果的差異，可能因為本研究多考量了隧道不同區段，以及不同地點有不同的速限，另外，本研究有多區分為一般型與連續型隧道，不同隧道內的速限可能不同，且其 SPF 為考量速限與車道數等變數，故可理解不同變數的係數可能不同，但是其影響的正負相關性為相同。此外，許書銘所使用的資料與本研究相近但有所不同，許書銘所使用的資料不包含國道一號的隧道事故資料以及隧道的地理相關特徵，且本研究多考量隧道前、隧道後等區段的事務資料與隧道道路特性資料，考量的範圍與特性更多，故研究所得到的數據與其不同，係數大小亦有所差異，但是整體研究的結果與趨勢是相近的，模式也呈現合理的趨勢，故可以得知本研究所使用的速限的 SPF 為多考量不同區段，且符合相關研究所得到的數據趨勢的結果。

速限與區段等因素對於事故發生頻次的期望值有不同的影響，也有不同有效性指數，故後續計算不同區段在不同變數類別下，使用實證貝氏方法，計算在不同速限的隧道，各隧道的有效性指數( $\pi$ )，並將有效性指數分布圖呈現如下(圖 5-1 至圖 5-3)。

(A)速限 90 公里/時以下

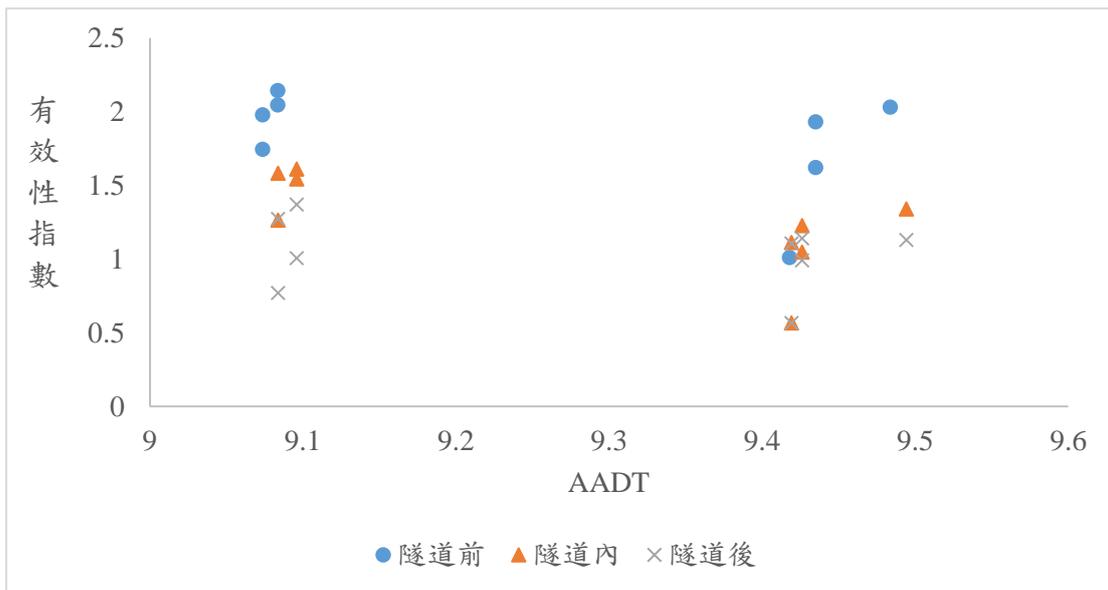


圖 5-1 一般型隧道在速限 90 公里/時以下的有效性分布圖

在速限 90 公里/時以下的分布圖中，可以得知事故分布大致分為在車流量較低與車流量較高的部分，在車流量較低的部分，可以看出隧道前區段的有效性指數大都為大於 1，表示事故數的觀測值都會是大於 SPF 的事故數預測值，隧道內亦有此情形，而隧道前在較低車流量的部分，則較接近 1。而在車流量較高的部分，各區段的有效性指數均較接近 1，而隧道前的的有效性指數則大都大於 1，表示在預估速限小於 90 公里/時各區段的事務數時，在車流量較高的時候，預估隧道內與隧道後區段，其觀測的事務頻次期望值跟預測的事務頻次期望值都是較接近的。在車流量較低時，隧道前跟隧道內區段的觀測事務頻次期望值事務數是大於預測的事務頻次期望值的。

(B)速限 90 公里/時

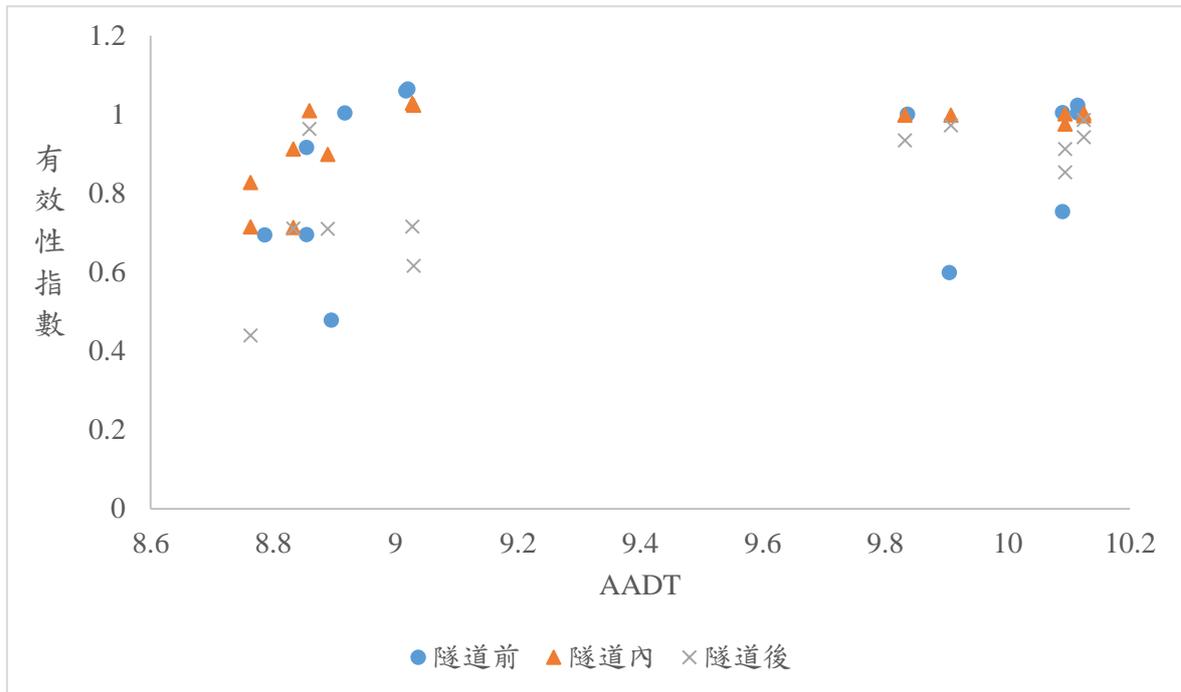


圖 5-2 一般型隧道在速限 90 公里/時的有效性分布圖

在速限為 90 公里/時的情況下，可以看出事故數分布一樣集中在車流量較低與車流量較高兩個部分，在車流量較低的部分，各區段的樣本的 CMF 值分布較鬆散，且各區段的有效性指數大都小於 1，表示預測到的事故頻次期望值為大於觀測到的事故頻次期望值，僅隧道前與隧道內有部分地點的有效性指數大於 1。而在交通量較高的部分，可以看出各區段的有效性指數大都小於 1，且以隧道前有部分地點的有效性指數最低。故可以得知，當在速限為 90 公里/時的時候，欲使隧道各區段的預測事故頻次期望值接近觀測到的事故頻次期望值，可以將預測的事故頻次期望值調降以較符合觀測到的事故頻次期望值。

(C)速限大於 90 公里/時

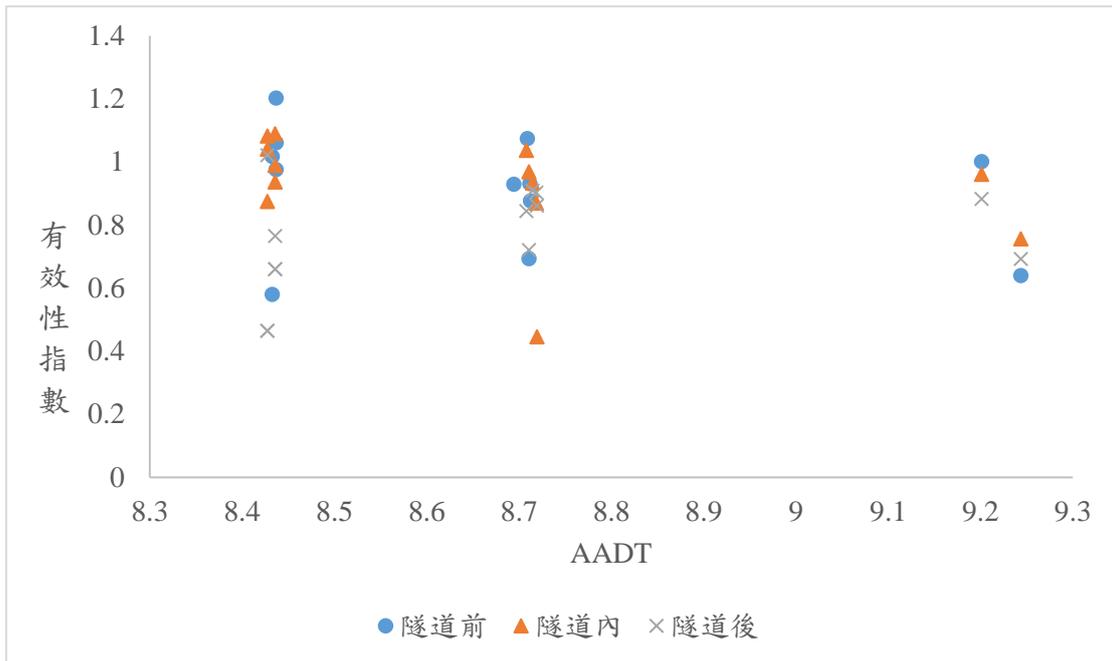


圖 5-3 一般型隧道在速限 90 公里/時以上的有效性分布圖

在速限大於 90 公里/時的有效性分布圖中，可以看到事故數大致分成在三個車流量的部分，在車流量較低的部分，三個區段的有效性指數分布都較分散，有部分大於 1，也有部分為小於 1，而在車流量中間的部分，大部分區段的有效性指數集中在 0.9 左右，而在車流量最高的部分，各區段的有效性指數則均小於 1。故可以得知，在速限大於 90 公里/時，各區段在不同流量的有效性指數大都小於 1，在車流量較小的部分，隧道後區段的預測事故頻次期望值應調升，以較符合觀測到的事故頻次期望值，而各區段整體在車流量低或中間的部分，大致上有效性指數都是接近 1 的，表示觀測到的事故頻次期望值跟預測事故頻次期望值，在各區段都是接近的。

最後，計算在不同速限下，各隧道區段的事務頻次發生期望值的貝氏估計法所得的有效性指數，可以總整理成以下表格：

表 5-10 一般型隧道各區段的有效性指數列表

區段\速限	小於90公里	90公里	大於90公里
隧道前	2.1422	1.0039	0.9811
隧道內	1.3354	1.0006	1.0148
隧道後	1.0973	0.9347	0.8366

從表格中，可以得知在速限小於 90 公里時，各區段的有效性指數均為大於 1，表示預測而得的事故頻次均會大於觀測的事故頻次；速限為 90 公里則大都相當接近；速限大於 90 公里時各區段的有效性指數大小不一。

(2)車道數

表 5-11 一般型隧道考量各區段與車道數變數的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-14.5824	0.915	<.0001
AADT		1	1.8008	0.0987	<.0001
TL		1	0.1719	0.0675	0.0108
LN	2	1	-1.1752	0.1785	<.0001
LN	3	0	0	0	.
LOT	1	1	-0.911	0.2167	<.0001
LOT	3	1	-1.7526	0.1448	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.5134	0.125	

在車道數的事故預測模式中，常數為負值，車流量的係數為正值，表示車流量對事故預測為正相關的影響，而隧道前後的預測事故數相較於隧道內均為負相關的影響。因一般型隧道僅有雙車道與三車道兩類型，故僅可以得知雙車道相較於三車道間的影響，而雙車道的係數為負，表示雙車道的預測事故頻次較三車道少。

3. AADT+TL+LOT+YEAR

本研究對考量隧道的車流量、區段長度、區段等的模式，加入考量年份的變數，並建立事故預測的模式，以觀察各年份間相對的影響大小。

表 5-12 一般型隧道考量各區段與各年份差異的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-14.2654	0.9377	<.0001
AADT		1	1.7361	0.0985	<.0001
TL		1	0.1636	0.0677	0.0157
YEAR	2011	1	0.1471	0.2087	0.4808
YEAR	2012	1	0.2708	0.2093	0.1957
YEAR	2013	1	0.3683	0.2087	0.0776
YEAR	2014	1	0.2010	0.2077	0.3332
YEAR	2015	1	0.1379	0.2092	0.5096
YEAR	2010	0	0	0	
LOT	1	1	-0.9598	0.2237	<.0001
LOT	3	1	-1.8109	0.1502	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	1.6612	0.1327	

在考量年份的事故預測模式中，車流量一樣為正相關的影響，隧道數也是正相關的影響，而各年的係數都是正值，表示相較於 2010 年的，各年份的事故數預測值都是正相關的影響，而以 2013 年為稍高，2010 年為最低，但是，從 P-value 中可看出各年份的顯著性都是較低的，因此若以年份作為區分的變數，其預測的能力是較普通的。隧道前或後區段的係數也是負的，表示相對於隧道內是負相關的影響。

## 5.2 連續型隧道

### 5.2.1 確認車流量與區段長度的轉換方式

在連續型隧道的樣本中，使用跟一般型隧道一樣的變數轉換假設方式，建立四個不同的變數轉換模式進行配適度的檢驗。首先將各個模式，分別代入連續型隧道內全部交通事故資料，進行配適度分析，選擇全部事故資料內，有最好配適度的模型，以作為在連續型隧道不同區段，安全績效模式的呈現。連續型隧道的總交通事故件數較少，有 168 件樣本，為了讓不同模式均有良好的顯著程度與配適度，故須透過 AIC 與 AICc 等數值，選擇較能符合整體現況的模式。

在連續型隧道的不同模式內，可看出在模式三時，有最小之 BIC、AIC 與 AICc 值，分別是 826.2156、804.6025 與 805.3297，其次為模式四與模式一，最後則為模式二。AIC 之數值較大，可推測為樣本數較多，導致樣本群內樣本的分布較廣，而使得樣本內漸進有效性較低，AIC 數值較大；但是 AIC 為判斷模式有效性的依據之一，從數值之大小，可做為判斷模式較合適的標準之一，並應搭配各模式內，各變數顯著程度做解讀，方可選出較好之模式。在連續型隧道的模式選擇中，依照 AIC 與 AICc 的數值，選擇模式三做為表現最佳之整體模式。

表 5-13 連續型隧道整體模式比較表

模式 數值	模式一	模式二	模式三*	模式四
概似比指標	0.308	0.3144	0.3965	0.3957
BIC	838.2097	836.9092	826.2156	827.4501
AIC	816.5965	815.296	804.6025	805.8369
AICc	817.3238	816.0233	805.3297	806.5642

\*為選擇的模式

後續連續型隧道各模式內所使用的連續型變數代號與定義同表 5-3 所示，在表 5-3 內的連續型變數均未進行自然對數的轉換，考量不同模式內，年平均日交通量與區段長度有不同的轉換形式，所以在表 5-15 表達不同模式內的年平均日交通量與區段長度變數時，會依據模式的需求加上 ln 以做為區別。

表 5-14 連續型隧道的類別變數定義與代號

變數名稱	定義	變數代號
區段位置	事故發生於隧道前令為1 事故發生於隧道內令為2 事故發生於隧道後令為3 事故發生於隧道間令為4	LOT
速限	速限小於90公里/時令為1 速限等於90公里/時令為2 速限大於90公里/時令為3	SL
車道數	該區段為雙車道則令為2 該區段為三車道則令為3 該區段為四車道則令為4	LN
年份	發生於2010年的事故令為2010 發生於2011年的事故令為2011 以此類推	YEAR

表 5-14 為連續型隧道類別變數的定義與代號，跟一般型隧道的類別變數列表不同之處，為區段位置的類別數不同，一般型隧道僅隧道前、內與後三個區段，而連續型隧道則有前、內、後與間四個區段，故有四個類別。另外，在車道數變數上有所差異，因一般型隧道僅有雙車道與三車道的情形，所以在車道數變數上僅有兩個類別，但是在連續型隧道，有雙車道、三車道與四車道等不同情形，所以在連續型隧道的車道數變數有三個類別。除了這些變數之外，其餘類別變數的定義均與一般型隧道的類別變數定義相同。

表 5-15 為不同模式，在連續型隧道內，交通事故的安全績效函數模擬結果，可以得知各項變數，在不同模式內的係數，與顯著的程度。在模式一內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道前、隧道後與隧道間等變數；在模式二內，顯著的變數有年平均日交通量、隧道前、隧道後與隧道間等變數；在模式三內，顯著的變數有年平均日交通量、區段長度、隧道前與隧道間等變數；而在模式四內，顯著的變數有年平均日交通量、區段長度、隧道前與隧道間等變數。從不同模式的顯著變數之中，可以得知非常顯著的變數均大致相同，僅模式三中區段長度的變數為顯著；模式一跟模式四的年平均日交通量變數，雖然都是相當顯著，但預估所得的係數均相當小，僅 0.0001，意即影響相當小，此情況跟相關研究所寫的情形有所不同，故模式一跟模式四的參考性較低。不過由各個模式中可以得知，如年平均日交通量、隧道前與隧道後等變數，均為共同會影響的變數，而年平均日交通量與隧道長度的變數，與相關研究中所寫的相同，均為會影響之變數。

表 5-15 連續型隧道各模式比較表

模式一					模式二				
參數	類別	估計值	標準差	P-Value	參數	類別	估計值	標準差	P-Value
Intercept		0.5391	0.9497	0.5703	Intercept		-18.3995	7.8862	0.0196
AADT		0.0001	0.0000	0.0164	ln(AADT)		2.1439	0.8015	0.0075
TL		0.0489	0.1826	0.7889	TL		0.0585	0.1811	0.7467
LOT	1	-1.3765	0.3124	<.0001	LOT	1	-1.3601	0.3109	<.0001
LOT	3	-1.4855	0.3313	<.0001	LOT	3	-1.4732	0.3291	<.0001
LOT	4	-2.0046	0.3447	<.0001	LOT	4	-1.9916	0.3426	<.0001
Log-likelihood		-401.2983			Log-likelihood		-400.648		
模式三					模式四				
參數	類別	估計值	標準差	P-Value	參數	類別	估計值	標準差	P-Value
Intercept		-18.4596	7.6783	0.0162	Intercept		0.4139	0.8554	0.6284
ln(AADT)		2.1403	0.7840	0.0063	AADT		0.0001	0.0000	0.0134
ln(TL)		0.4962	0.1518	0.0011	ln(TL)		0.4994	0.1526	0.0011
LOT	1	-0.6520	0.3133	0.0374	LOT	1	-0.6521	0.3145	0.0381
LOT	3	-0.5788	0.3577	0.1056	LOT	3	-0.5726	0.3593	0.1110
LOT	4	-1.1326	0.3547	0.0014	LOT	4	-1.1270	0.3561	0.0016
Log-likelihood		-395.3012			Log-likelihood		-395.9185		

從表 5-13 與表 5-15，可以得知連續型隧道的連續型變數均應進行自然對數的轉換，為便於後續表達不同模式的這兩個變數與其他變數間的關係，連續型隧道所使用的 AADT 與 TL 均代表為已轉換成自然對數型式的 AADT 與 TL。

## 5.2.2 建立連續型隧道的安全績效函數

連續型隧道同樣為建立考量隧道不同區段，對事故發生頻次的影響的安全績效函數，而連續型隧道較一般型隧道多了隧道間的區段，隧道區段此變數會有 4 個類別，其餘分析步驟與一般型隧道相同，同樣參考公路安全手冊對安全績效函數的建議，使用年平均日交通量與路段長度的變數，並加入考慮不同類別變數或不同條件下，逐步建立安全績效函數。以下分別為初步加入考量隧道不同區段的 SPF，惟連續型隧道沒有再進行隧道長度區分為大於或小於 1 公里的情形下的 SPF；然後加入速限與車道數變數，並選擇配適度較好的 SPF；以及比較各年份的資料的係數大小與影響差異性。

### 1. AADT+TL+LOT

表 5-16 連續型隧道考量各區段的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-18.4596	7.6783	0.0162
AADT		1	2.1403	0.7840	0.0063
TL		1	0.4962	0.1518	0.0011
LOT	1	1	-0.6520	0.3133	0.0374
LOT	3	1	-0.5788	0.3577	0.1056
LOT	4	1	-1.1326	0.3547	0.0014
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	0.5847	0.1058	

連續型隧道的車流量係數是正的，表示對事故發生頻次期望值為正相關，區段長度係數也是正的，表示區段長度跟事故數也是正相關。隧道前、隧道後與隧道間區段，其係數均為負，代表跟事故頻次期望值相較於隧道內的事務數均為負相關的關係。而連續型隧道因隧道總長度包含兩座隧道的長度，而以連續型隧道內每一隧道的長度來看，其前後的長度相加則均為大於 1 公里的長度，僅國道三號的埔頂一、二號隧道的總長度相加小於 1 公里，故連續型隧道不比較總長度是否大於 1 公里的模式分析。

## 2. AADT+TL+LOT+不同變數

與一般型隧道相同，除考慮隧道不同區段的變數以外，考量相關文獻對於不同的變數均有影響的可能性，故在 AADT+TL+LOT 的模式以外，增加考量不同的可能影響變數。為知道可能影響變數的影響，故分別建立考量速限、車道數的模式，並選擇各模式 AIC 值較低的模式，去比較在此變數的不同類別下，各區段對車流量的預測平均事故數對於觀測的平均事故數的有效性指數。變化

表 5-17 連續型隧道的連續型變數定義與代號

模式	AIC	BIC
AADT+TL+LOT+SL	861*	889*
AADT+TL+LOT+LN	864	892

\*為選擇的模式

考量車道數的事故預測模式的 AIC 值為 864，BIC 值為 892；考量速限的事故預測模式的 AIC 值為 861，BIC 值為 889，即從 AIC 值與 BIC 值中選擇最小的，及考量速限的模式進行後續比較與分析。

### (1)速限

表 5-18 連續型隧道考量各區段與速限變數的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-8.2769	15.8283	0.601
AADT		1	1.0604	1.5951	0.5062
TL		1	0.4316	0.1408	0.0022
SL	1	1	-1.3583	0.2689	<.0001
SL	3	1	0.2357	0.1603	0.1416
SL	2	0	0	0	.
LOT	1	1	-0.0715	0.699	0.9186
LOT	3	1	-1.0069	0.3646	0.0058
LOT	4	1	-1.6671	0.3302	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	0.5357	0.0961	

$$y = \exp[-8.2769 + 1.0604(\ln AADT) + 0.4316(\ln TL) - 1.3583(SL_1) + 0.2357(SL_3) - 0.0715(LOT_1) - 1.0069(LOT_3) - 1.6671(LOT_4)]$$

在考量速限的事故預測模式中，常數為負的係數，車流量的影響跟事故數為正相關，速限較低的係數為負相關，而速限較高的係數為正相關，而不同區段的係數均為負相關。

在選取使用包含速限的 SPF 模式後，同樣比較 HSM 所建議的評估鄉間雙向多車道的 SPF 模式，可以發現 HSM 所建議的 SPF 模式為：

$$y = \exp[-3.63 + 0.53(\ln AADT) + (\ln TL)]$$

與此相比較，可以發現在常數部分，均為負的係數，而在交通量的部分，同樣為正相關的係數，但是本研究所得的交通量係數的影響大小，較 HSM 所建議的多車道 SPF 的交通量的係數大，而區段長度的係數則較 HSM 的雙向多車道的 SPF 係數小，表示其影響大小較小，而 HSM 所建議的 SPF 為計算最基礎情況的 SPF 預測事故頻次，後續還需要透過不同的 CMF 與調整係數進行調整，而 HSM 所得到的 SPF 模式與本研究的結果差異，可能為本研究為考量隧道不同區段，以及各區段的速限的 SPF 所導致。

許書銘的 SPF 模式如下：(許書銘, 2017)

$$y = \exp[-20.9381 + 2.4485(\ln AADT) + 0.4721(\ln TL) - 0.0187(SL_1) + 0.2682(SL_3) - 0.2682(LN_2) - 1.1217(LN_4)]$$

其研究所得結果的差異，可能因為本研究多考量了隧道不同區段，且此 SPF 模式為更細分為連續型隧道的模式，相較於許書銘的研究僅以隧道作研究範圍，考慮的區段更多，也更加考慮不同隧道區段之間可能的影響，故係數大小會有所不同。另外，因為本研究有多區分為一般型與連續型隧道，各隧道內的速限可能不同，且其 SPF 為考量速限與車道數等變數，故可理解不同變數的係數可能不同，但是其影響的正負相關性為相同。

而許書銘所使用的資料不包含國道一號的的隧道事故資料以及隧道的地理相關資料，且本研究多考量隧道前、隧道後跟隧道間等區段的事務資料與隧道道路特性資料，考量的範圍與特性更多，故研究所得到的數據與許書銘的不同，係數大小亦有所差異，但是整體研究的結果與趨勢也是相近的，模式也呈現合理的趨勢，故可以得知本研究所使用的速限的 SPF 為多考量不同區段，且符合相關研究所得到的數據趨勢的結果。

而速限與區段等因素，對於事故發生頻次的期望值有不同的影響，也有不同有效性指數，故後續計算不同區段在不同變數類別下，使用實證貝氏方法，計算在不同速限的隧道，各隧道的有效性指數( $\pi$ )，並將有效性指數分布圖呈現如下。

#### (A) 速限 90 公里/時以下

因連續型隧道位於速限 90 以下的隧道路段僅國道五號的南港隧道與石碇隧道往南方向的路段，故不畫出各區段在速限小於 90 公里以下的事務數分布。

(B) 速限 90 公里/時

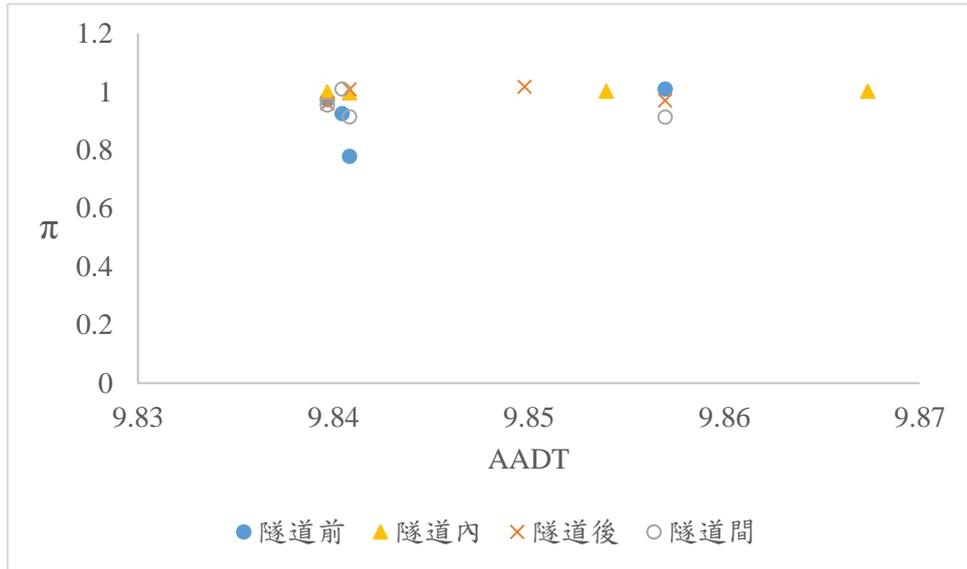


圖 5-4 連續型隧道在速限 90 公里/時的有效性分布圖

在速限 90 的情形下，大部分區段的 CMF 值都為 1，僅隧道前跟隧道間區段在車流量較小的部分，有部分有效性指數小於 1 的樣本，但是整體而言，在速限為 90 時，各區段的有效性指數都是接近 1，表示觀測的事故期望值跟預期的事故期望相近。

(C) 速限大於 90 公里/時

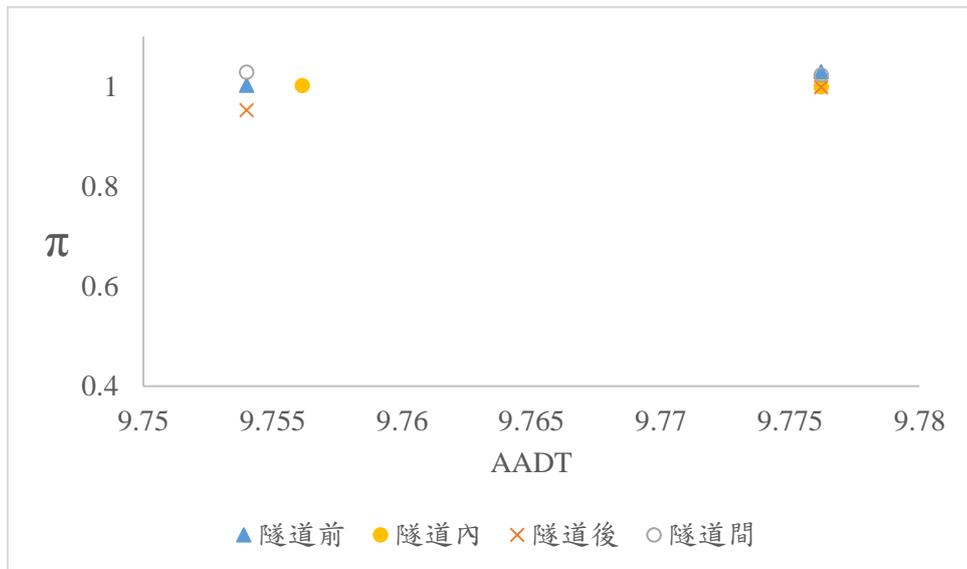


圖 5-5 連續型隧道在速限 90 公里/時以上的有效性分布圖

速限大於 90 公里/時，其有效性指數大約也是分為在車流量低跟高時，有兩部分的區別，各區段在車流量低或高時，其有效性指數均相當接近 1，表示觀測的平均事故數也相當接近預測的平均事故數。

最後，同樣對在不同速限下各隧道區段的事務頻次發生期望值的有效性指數，可以總整理成以下表格：

表 5-19 連續型隧道各區段的有效性指數列表

速限 區段	小於90公里	90公里	大於90公里
隧道前	1.1024	0.9811	1.0048
隧道內	0.8955	1.0008	1.0262
隧道後	0.8125	1.0047	1.0006
隧道間	0.9932	0.9670	0.9589

在連續型隧道所得到的各區段的有效性指數列表中，可以得到連續型隧道各區段的有效性指數大都相當接近於 1，但是各隧道的區段可能因連續型隧道的樣本數較少，而造成預估的準確性稍低，有效性指數的差異較大，故讓大部分的有效性指數大都接近於 1，惟速限小於 90 公里時，各區段的有效性指數差異較速限為 90 公里跟速限大於 90 公里時大。

(2) 車道數

表 5-20 連續型隧道考量各區段與車道數變數的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-9.9758	15.9202	0.5309
AADT		1	1.2314	1.6042	0.4427
TL		1	0.4363	0.1419	0.0021
LN	2	1	-1.3247	0.2732	<.0001
LN	4	1	0.2201	0.1609	0.1713
LN	3	0	0	0	.
LOT	1	1	-0.0246	0.7049	0.9722
LOT	3	1	-0.98	0.3673	0.0076
LOT	4	1	-1.6458	0.332	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	0.5469	0.0976	

在車道數的事故預測模式中，常數為負的，車流量的係數為正的，表示車流量對事故預測為正相關的影響，而隧道前後間的預測事故數，相較於隧道內均為負相關的影響，隧道各區段的影響大都為顯著，唯獨隧道前區段的 P-value 卻是較高的，表示在此 SPF 模式中，隧道前區段的影響是不顯著的。因連續型隧道有雙車道與三車道與四車道的隧道，故可以得知雙車道四車道相較於三車道間的影響，而在這之中，四車道的係數為正，表示其相較於三車道，是有正相關的影響；而雙車道的係數為負，表示雙車道相較於三車道為負相關的影響。

### 3. AADT+TL+LOT+YEAR

在進行統計各年份的隧道事故時，同樣可觀察到各區段在各年份的事故數大小均非完全一致，故本研究對考量隧道的車流量、區段長度、區段等的模式，加入考量年份的變數，並建立事故預測的模式，以觀察各年份間相對的影響大小。

表 5-21 連續型隧道考量各區段與各年份差異的 SPF 模式

參數	類別	自由度	估計值	標準誤差	P-Value
Intercept		1	-22.6996	8.0753	0.0049
AADT		1	2.5308	0.8239	0.0021
TL		1	0.3775	0.1432	0.0084
YEAR	2011	1	0.2892	0.2600	0.2660
YEAR	2012	1	-0.0021	0.2606	0.9937
YEAR	2013	1	0.0743	0.2626	0.7770
YEAR	2014	1	0.4091	0.2562	0.1104
YEAR	2015	1	0.2470	0.259	0.3402
YEAR	2010	0	0	0	.
LOT	1	1	-0.5346	0.4676	0.2530
LOT	3	1	-1.2330	0.2915	<.0001
LOT	4	1	-1.7397	0.3041	<.0001
LOT	2	0	0	0	.
散佈		1	0.6277	0.1051	

在考量年份的事故預測模式中，車流量一樣為正相關的影響，隧道長度也是正相關的影響，各年的係數大都是正值，表示相較於 2010 年，各年份的事故數預測值大都是正相關的影響，以 2013 年為稍高，其中 2012 年的係數為負，表示 2012 年為相對最低。而隧道前、後或間區段的係數也是負的，表示相對於隧道內都是負相關的影響。但是，各年份以及隧道前區段的 P-value 都是較高的，表示各年份的預測結果不夠顯著，是故在以年份作為變數的模式中，其預測效果的能力較低，僅能大略看出各年份間事故發生頻次的差異性。



## 六、 結論

本研究建立了國內對於隧道不同區段的事務發生頻次的預測模式，除了與類似研究係數表現相近，並得到國內在隧道不同區段的事務頻次比較，此外，跟國外類似的隧道交通安全相關研究相比，本研究更進階建立了安全績效函數的分析，將單純事務統計敘述性圖表，加入了數據化的分析與預測方式，比單純進行敘述性統計的呈現，更能有效呈現跟估算事務發生的可能性。

本研究使用高速公路 2010 年至 2015 年隧道的相關資料，包含：不同隧道的區段長度、區段曲線半徑、坡度、交通量以及隧道周圍的事務資料。本研究將事務區分為發生於一般型隧道的三個區段，分別為隧道前、隧道內跟隧道後區段；以及連續型隧道的四個區段，分別是隧道前、隧道內、隧道後以及隧道間區段。

### 6.1 結論

1. 本研究使用 NB 與 ZINB 等不同分配模式，分別建立一般與連續型隧道的安全績效函數後，從配適度的數值，可以得到以負二項分配所建立的事務預測模式，有較佳的配適度。
2. 參考《公路安全手冊》定義的簡單安全績效函數，建立考量更多變數的進階安全績效函數，並對此進階安全績效函數，建立四種不同的模式，包含沒有對變數進行轉換，只對車流量取自然對數，對車流量與隧道長度取自然對數，以及只對隧道長度取自然對數四種模式，透過配適度指標的概似比指標跟赤池信息量準則的選擇後，以對車流量與隧道長度取自然對數的模式表現最佳。
3. 在一般型與連續型的隧道中，可以知道交通量的參考值與區段長度對事務數均是正相關的關係。
4. 以 200 公尺做單位長度所計算的 CMF 值中，一般型隧道的隧道前與隧道後區段的 CMF 值都是小於 1，表示隧道前與隧道後的事務發生頻次期望值都是小於隧道內的事務發生頻次期望值。連續型隧道的隧道前、隧道後與隧道間區段，這些區段的 CMF 值也都是小於 1，尤以隧道間區段為最小，可以得知這些區段的事務發生頻次期望值也都是小於隧道內，此原因可能跟這些區段的區段長度均小於隧道內區段的長度有關。
5. 區段長度對事務發生是有正相關的影響，而在一般型隧道的隧道前、隧道後區段，與連續型隧道的隧道前，隧道後與隧道間區段均為相較兩類型隧道的隧道內區段為負相關的影響。在兩類型隧道的速限類別變數中，一般型隧道小於 90 公里/時的速限類別，相較於 90 公里/時類別對於事務發生頻次期望值為負相關的影響，但是大於 90 公里/時的速限類別相較於速限 90 公里/時則為正相關的影響。而連續型隧道的這兩個速限類別也有相同現象，僅係數大小不同。

6. 從一般型與連續型隧道在不同速限下的有效性分布圖中，可以得知在不同車流量下，各區段在預測事故數時，使用事故預測模式預估各區段的事務頻次期望值，應針對事務頻次期望值進行調升或調降的處理，以較符合觀測到的事務頻次期望值。
7. 一般型隧道中，當要預測的地點為速限小於 90 公里/時，在車流量高或低的地點預測時，各區段均會有觀測的事務頻次期望值大於預測的事務頻次期望值的情形，但是在速限為 90 公里以及大於 90 公里/時的圖中，可以得知各區段的事務多為預測的事務頻次期望值多於觀測的事務頻次期望值。
8. 連續型隧道中，各個區段的有效性指數在車流量的值均相當接近 1，僅速限為 90 公里/時的情況下，在車流量較低時有預測的事務頻次期望值大於觀測事務頻次期望值的現象，但是在整體而言，預測的事務頻次期望值跟觀測的事務頻次期望值都是相當接近的。

## 6.2 結論之應用

1. 可評估以目前的行車管制措施、地理條件等，預測事故的可能數量，並考慮是否可以採用其他措施，改善目前隧道各區段容易發生事故的可能性，增加行車安全。
2. 若有增建隧道，可於初步規劃與細部設計階段，針對隧道不同區段，考量該區段容易造成事故的因素，選擇適當的行車管制條件，以降低事故發生的可能性。
3. 本研究的結果，可以提供其它隧道的相關管理單位參酌使用，於不同地區可透過增加或調整參數，或加入考量不同可能影響事故發生頻次的變數，以符合其他隧道的實際事故發生情形。
4. 地方政府或是相關單位，可透過隧道的不同車流量、區段長度、速限等資料，得到在隧道不同區段，可能發生的事故數量，並可透過有效性指數進行調整，以更接近真實的事故發生頻次，並可針對可能發生事故的區段進行安全上的預防措施，或是增加宣導、增加科技執法等，以降低可能發生事故的風險。
5. 提供後續以隧道、隧道不同區段、或隧道的安全績效函數等為主題的研究參考使用，包含本研究所使用的判斷每區段長度，可使用相較於國外的隧道前區段為固定長度的研究方法外，更接近真實情況的隧道前、以及隧道後區段長度的判斷方式，以及兩類型隧道的 SPF 預估結果等。

### 6.3 建議

1. 本研究僅考量影響因子較顯著且 HSM 建議的車流量與長度兩個變數，以及速限、車道數等變數，無考量各隧道周圍是否有其他可能影響的因子，後續研究可以更深入針對隧道的不同類型或其他影響因子進行分析，針對各個隧道進行更仔細的研究，可能各隧道不同區段有不同的影響因子，
2. 本研究以國道高速公路做研究對象，所考慮的研究項目與對象較狹小，故其他隧道相關管理或是相關單位，可參考本研究之模型，在隧道前、中、後各區段，使用不同的數據進行安全績效函數的預估，並可加入考慮其他可能對事故數產生影響之變數，例如：於平面路段可以考慮加入是否有機車、自行車、人行道、大車比例等因素；或增加考量不同的撞擊型態，例如：追撞、側撞等，以達到更貼近真實情形之事故數分佈情形，減少誤差的產生，並能進行改善。
3. 本研究僅針對影響較顯著的變數與模式進行比較，但在比較時，未探討若隧道前、隧道內的車道數不同，是否可能影響事故產生，亦即進出隧道間的車道數縮減或改變，對於交通事故的影響，可以針對進隧道前與隧道內，若為不同車道數，進行車道數與影響交通事故發生頻次的分析。
4. 部分隧道路段的速限，在研究範圍內有速限改變的政策，例如國道五號在 2010 年，從 80 公里/小時提升為 90 公里/小時，因本研究僅探討在各區段中事故的影響成因與安全績效函數，並未對部份隧道的區段中，速限改變是否對事故造成影響進行分析，故可針對速限變化是否對事故頻次有影響或改變作後續研究。

## 參考文獻

### 一、中文文獻

1. 許書銘，「建立國道隧道事故調整因子之研究」，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文，民國106年10月
2. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，「104高速公路年報」，民國105年4月
3. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，「104年國道事故檢討分析報告」，民國105年
4. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，「103年國道事故檢討分析報告」，民國104年
5. 中華民國交通部，「交通工程規範」，民國104年12月
6. 邱裕鈞、傅強，「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，345-384頁，民國104年9月
7. 顏愉，「應用貝氏方法針對肇事碰撞型態建立號誌化交叉口機車交通事故因子分析模式」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國104年7月
8. 盛郁淳，「分時段高速公路事故頻次模式」，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文，民國103年6月
9. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，「102年國道事故檢討分析報告」，民國103年
10. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，「101年國道事故檢討分析報告」，民國102年
11. 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠，「交通工程」，民國102年3月
12. 李宏徹，「長公路隧道安全管理策略：以雪山隧道為例」，民國96年7月
13. 黃盈琇，「公路長隧道交通控制策略評估—以雪山隧道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國96年6月
14. 俞裕中，「公路隧道安全評估方法與應用-以雪山隧道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國95年6月
15. 中華民國內政部警政署，「道路交通事故處理規範」，民國95年7月
16. 中華民國內政部地政司，<https://www.land.moi.gov.tw/chhtml/index.asp> (最後瀏覽：2018.5.31)
17. 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局全球資訊網，<http://www.freeway.gov.tw/> (最後瀏覽：2018.5.31)

18. 中華民國內政部警政署警政治安全全球資訊網，<https://www.npa.gov.tw/> (最後瀏覽：2018.5.31)
19. 中華民國交通部統計查詢網，<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100> (最後瀏覽：2018.5.31)

## 英文文獻

- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual* (1 ed.). Washington, D.C., USA: American Association of State Highway and Transportation Officials
- Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32(5), 633-642.
- Amundsen, F. H., & Ranes, G. (2000). Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(1), 3-11.
- Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. (2009). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 153-159.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1072-1079.
- Cafiso, S., & Silvestro, G. D. (2011). Performance of Safety Indicators in Identification of Black Spots on Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2237, 78-87.
- Caliendo, C., De Guglielmo, M. L., & Guida, M. (2013). A crash-prediction model for road tunnels. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 107-115.
- Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 657-670.
- Ducknyung Kim, D.-K. K., and Chungwon Lee. (2013). Safety Performance Functions Reflecting Categorical Impact of Exposure Variables for Freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2398, 67-74.
- Frank Gross, B. P., and Craig Lyon. (2010). *A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors*.
- Fuller, R., & A.Santos, J. (2002). *Human Factors for Highway Engineers*: Pergamon.
- Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L.-F., & Wattleworth, J. A. (1995). Estimating Safety Effects

- of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1500), 169-177.
- Hauer, E. (1997). *Observational before-after studies in road safety*. New York, USA: Pergamon, Elsevier Science Inc.
- Hilbe, J. M. (2011). *Negative Binominal Regression*. New York: Cambridge University Press.
- Islam, M. T., & El-Basyouny, K. (2015). Full Bayesian evaluation of the safety effects of reducing the posted speed limit in urban residential area. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 18-25.
- ITE. (2009). *BEFORE-AND-AFTER STUDY TECHNICAL BRIEF*
- Lemke, K. (2000). Road safety in tunnels. *Transportation Research Record*, 1740, 170-174.
- Ma, Z., Chien, S. I. J., Dong, C., Hu, D., & Xu, T. (2016). Exploring factors affecting injury severity of crashes in freeway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 59, 100-104.
- Ma, Z., Shao, C., & Zhang, S. (2009). Characteristics of traffic accidents in Chinese freeway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24(3), 350-355.
- Ma, Z., Zhang, H., Chien, S. I. J., Wang, J., & Dong, C. (2017). Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 214-222.
- Miaou, S.-P., & Lump, H. (1993). MODELING VEHICLE ACCIDENTS AND HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN RELATIONSHIPS. *Accident Analysis & Prevention*, 25(6), 689-709.
- Naznin, F., Currie, G., Logan, D., & Sarvi, M. (2016). Application of a random effects negative binomial model to examine tram-involved crash frequency on route sections in Melbourne, Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 92(Supplement C), 15-21.
- Nussbaumer, C. (2007). *Comparative analysis of safety in tunnels*. Paper presented at the Young Researchers Seminar 2007, Brno.
- Ogle, J., Alluri, P., Sarasua, W. (2011). *MMUCC and MIRE: The role of segmentation in safety analysis*. Paper presented at the Transportation Research Board Annual Meeting Proceedings, Washington D.C.
- Park, J., & Abdel-Aty, M. (2016). Evaluation of safety effectiveness of multiple cross sectional features on urban arterials. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 245-255.
- Park, J., Abdel-Aty, M., & Lee, J. (2016). Use of empirical and full Bayes before–after approaches to estimate the safety effects of roadside barriers with different crash

- conditions. *Journal of Safety Research*, 58(Supplement C), 31-40.
- Park, J., Abdel-Aty, M., Lee, J., & Lee, C. (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 & Prevention*, 74, 179-191.
- Persaud, B., Lan, B., Lyon, C., & Bhim, R. (2010). Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before–after road safety evaluations. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 38-43.
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2).
- Russo, F., Busiello, M., & Dell'Acqua, G. (2016). Safety performance functions for crash severity on undivided rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 75-91.
- Saha, D., Alluri, P., & Gan, A. (2017). A Bayesian procedure for evaluating the frequency of calibration factor updates in highway safety manual (HSM) applications. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 74-86.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.
- Srinivasan, R., et al. (2013). *Safety performance function decision guide: SPF calibration vs SPF development*. North Carolina, USA. 96
- Sugiura, N. (1978). Further analysts of the data by akaike' s information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 7(1), 13-26.
- Washington, S. P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L. (2010). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Florida: CRC Press.
- Yeung, J. S., & Wong, Y. D. (2013). Road traffic accidents in Singapore expressway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 534-541.
- Zeng, Z., Zhu, W., Ke, R., Ash, J., Wang, Y., Xu, J., & Xu, X. (2017). A generalized nonlinear model-based mixed multinomial logit approach for crash data analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 99, Part A, 51-65.

## 附錄 1 路旁危險等級(Roadside Hazrd Ratings)的定義

美國維吉尼亞州於 2000 年對鄉間雙線高速公路進行安全績效評估，此研究使用此定義，針對美國維吉尼亞州鄉間雙線高速公路路旁的危險性，給予不同的指數，此指數為 7 個等級，1 為最佳，7 為最差，各等級的定義如下；

指數 = 1

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度大於或等於 9 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度小於 1:4
- 可復原的

指數 = 2

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度 6 至 7.5 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度約為 1:4
- 可復原的

指數 = 3

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度約 3 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度約為 1:3 或 1:4
- 表面不平整的路旁區域
- 可少量地復原的

指數 = 4

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度介於 1.5 至 3 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度約為 1:3 或 1:4
- 可能有護欄(距鋪面邊緣 1.5 至 2 公尺)
- 可能有露出的樹、桿、或其他物體(距鋪面邊緣 3 公尺)
- 可少量容許失誤的，但可能增加會被回報的道路旁碰撞的機會

指數 = 5

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度介於 1.5 至 3 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度約為 1:3
- 可能有護欄(距鋪面邊緣 0 至 1.5 公尺)
- 可能有堅固的物體或路堤(Embankment)(距鋪面邊緣 2 至 3 公尺)
- 可少量容許失誤的，但可能增加會被回報的道路旁碰撞的機會
- 幾乎無法復原的

指數 = 6

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度小於或等於 1.5 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度約為 1:2
- 沒有護欄
- 有露出的堅固物體 (距鋪面邊緣 0 至 2 公尺)
- 無法復原的

指數 = 7

- 從鋪面邊緣起算，具有直線長度小於或等於 1.5 公尺，寬敞且無物的區域
- 邊坡坡度為 1:2 或更陡峭
- 路旁為懸崖或裸露岩石
- 沒有護欄
- 無法復原的，且路旁碰撞有很高可能性會造成嚴重事故



附錄 2 國道高速公路局所提供之各隧道起訖里程與長度列表：

高速公路隧道分布與里程

道路編號	隧道名稱	車行方向	起迄里程	長度(公尺)
國道 1 號	中興	南下	0k+000~ 0k+396	396
	大業	北上	0k+000~ 0k+556	556
國道 3 號甲線	臺北一號	東行	2k+026~ 2k+826	800
		西行	2k+008~ 2k+798	790
	臺北二號	東行	0k+705~ 0k+897	192
		西行	0k+682~ 0k+893	211
國道 3 號	基隆	南下	0k+805~ 2k+060	1,255
		北上	0k+840~ 2k+118	1,278
	七堵	南下	5k+795~ 6k+325	530
		北上	5k+745~ 6k+300	555
	汐止	南下	8k+160~ 8k+826	666
		北上	8k+175~ 8k+818	643
	福德	南下	18k+268~ 19k+994	1,726
		北上	18k+185~ 19k+911	1,726
	木柵	南下	21k+888~ 23k+736	1,848
		北上	21k+860~ 23k+735	1,875
	景美	南下	23k+939~ 24k+503	564
		北上	23k+919~ 24k+492	573
	新店	南下	27k+219~ 28k+404	1,185
		北上	27k+170~ 28k+392	1,222
	碧潭	南下	28k+559~ 29k+080	521
		北上	28k+541~ 29k+044	503
	安坑	南下	32k+626~ 33k+092	466
		北上	32k+710~ 33k+108	398
	中和	南下	34k+223~ 35k+095	872
		北上	34k+262~ 35k+093	831
	埔頂一號	南下	59k+510~ 60k+040	530
		北上	59k+510~ 60k+065	555
	埔頂二號	南下	60k+300~ 60k+635	335
		北上	60k+325~ 60k+660	335
大林	南下	281k+696~ 281k+850	154	
	北上	281k+696~ 281k+850	154	

	蘭潭	南下	292k+880~294k+134	1,254
		北上	292k+880~294k+092	1,212
	中寮	南下	378k+780~380k+638	1,858
		北上	378k+780~380k+605	1,825
國道 5 號	南港	南下	0k+238~ 0k+694	456
		北上	0k+235~ 0k+690	455
	石碇	南下	0k+783~ 3k+481	2,698
		北上	0k+795~ 3k+515	2,720
	烏塗	南下	7k+677~ 7k+893	216
		北上	7k+646~ 7k+894	248
	彭山	南下	9k+442~ 13k+303	3,861
		北上	9k+457~ 13k+263	3,806
	雪山	南下	15k+203~ 28k+128	12,925
		北上	15k+179~ 28k+134	12,955
國道 6 號	國姓一	東行	17k+678~ 20k+142	2,464
		西行	17k+690~ 20k+138	2,447
	國姓二	東行	24k+502~ 25k+037	535
		西行	24k+522~ 25k+002	480
	埔里	東行	27k+469~ 28k+778	1,309
		西行	27k+466~ 28k+728	1,262
國道隧道合計		52 座	79,231	

附錄3 一般型與連續型隧道各隧道各區段的事件件數合計：

一般型隧道的隧道事件件數

B:隧道前 I:隧道內 A:隧道後

道路 編號	隧道 名稱	車行 方向	隧道 編號	區 段	年份						合計
					2010	2011	2012	2013	2014	2015	
國道1號	中興	南	51	B	0	0	1	0	1	0	2
				I	0	1	1	2	0	0	4
				A	1	0	1	0	0	1	3
	大業	北	52	B	2	5	9	2	2	1	21
				I	4	8	5	3	3	1	24
				A	1	0	1	4	3	0	9
國道3號 甲線	臺北一號	東	1	B	0	0	0	0	1	0	1
				I	4	2	1	3	0	1	11
				A	3	2	0	1	0	1	7
		西	2	B	0	1	0	1	3	0	5
				I	0	4	0	0	2	1	7
				A	0	2	0	0	2	0	4
	臺北二號	東	3	B	0	0	0	0	0	0	0
				I	0	1	0	0	0	0	1
				A	0	1	0	0	0	0	1
		西	4	B	0	4	2	3	5	1	15
				I	5	3	4	9	8	3	32
				A	1	2	2	1	3	4	13
國道3號	基隆	南	5	B	5	2	1	1	0	3	12
				I	3	0	2	0	3	2	10
				A	1	1	1	1	0	0	4
		北	6	B	2	0	0	0	1	1	4
				I	10	13	8	9	10	3	53
				A	3	3	1	4	8	0	19
	七堵	南	7	B	1	2	1	1	0	1	6
				I	0	0	2	2	0	0	4
				A	0	0	0	0	0	0	0
		北	8	B	1	0	0	0	0	1	2
				I	1	2	0	0	0	0	3
				A	0	0	0	0	1	0	1

國道3號	汐止	南	9	B	0	0	0	0	0	0	0
				I	0	0	0	0	0	0	0
				A	0	0	0	0	0	0	0
		北	10	B	0	0	0	0	0	0	0
				I	1	1	1	1	1	2	7
				A	0	0	0	0	1	0	1
	福德	南	11	B	0	0	0	0	0	0	0
				I	0	0	0	0	0	0	0
				A	0	0	0	0	0	0	0
		北	12	B	11	6	4	15	13	9	58
				I	13	27	15	33	45	35	168
				A	1	3	0	4	4	7	19
	安坑	南	21	B	13	12	6	8	7	10	56
				I	36	30	48	32	19	22	187
				A	1	4	3	4	4	5	21
		北	22	B	1	0	1	0	0	2	4
				I	8	12	7	10	2	10	49
				A	3	0	2	2	2	0	9
	中和	南	23	B	33	33	38	40	46	39	229
				I	126	200	213	165	148	120	972
				A	9	9	7	17	15	18	75
		北	24	B	13	12	12	20	8	17	82
				I	40	95	111	88	69	63	466
				A	4	3	1	0	3	3	14
大林	南	29	B	0	0	0	0	0	0	0	
			I	0	0	0	0	0	0	0	
			A	1	0	0	0	1	1	3	
	北	30	B	0	0	0	0	0	0	0	
			I	0	0	0	0	0	0	0	
			A	0	0	0	0	0	0	0	
蘭潭	南	31	B	1	0	2	1	0	0	4	
			I	1	3	1	1	0	2	8	
			A	0	1	1	0	0	0	2	
	北	32	B	0	0	0	1	0	2	3	
			I	4	1	2	4	2	4	17	
			A	1	1	1	0	1	0	4	

國道3號	中寮	南	33	B	2	0	0	0	1	0	3	
				I	2	3	4	7	16	13	45	
				A	0	1	0	0	0	2	3	
		北	34	B	1	2	0	0	0	0	0	3
				I	3	2	1	1	0	4	11	
				A	2	1	1	0	0	0	4	
國道5號	烏塗	南	39	B	0	0	0	0	0	0	0	
				I	0	0	0	0	0	0	0	
				A	0	0	0	0	0	0	0	
		北	40	B	1	3	0	2	1	0	7	
				I	1	1	3	0	2	1	8	
				A	0	1	1	0	1	1	4	
	彭山	南	41	B	1	0	1	2	2	2	8	
				I	3	2	3	3	2	4	17	
				A	1	0	0	1	3	0	5	
		北	42	B	0	0	1	0	1	0	2	
				I	2	7	3	6	7	2	27	
				A	1	0	1	0	0	0	2	
	雪山	南	43	B	2	2	1	2	6	3	16	
				I	9	8	15	7	28	12	79	
				A	0	1	0	1	0	0	2	
		北	44	B	2	2	1	3	4	2	14	
				I	8	12	14	20	24	10	88	
				A	1	0	1	0	1	0	3	
國道6號	國姓一號	東	45	B	0	0	0	0	0	0	0	
				I	1	3	3	6	7	21	41	
				A	0	0	1	0	0	0	1	
		西	46	B	0	0	0	1	1	0	2	
				I	4	2	5	7	11	9	38	
				A	1	0	1	0	0	2	4	
	國姓二號	東	47	B	0	0	1	3	0	1	5	
				I	1	2	0	1	0	2	6	
				A	0	0	0	0	0	1	1	
		西	48	B	1	0	0	2	1	1	5	
				I	0	0	1	2	1	3	7	
				A	0	0	0	1	1	0	2	

國道6號	埔里	東	49	B	0	1	0	0	0	0	1
				I	1	6	1	4	1	6	19
				A	1	1	0	0	0	1	3
	西	50	B	0	0	0	1	1	2	4	
			I	2	1	2	2	0	6	13	
			A	1	0	0	0	0	1	2	

連續型隧道的隧道事故件數

B:隧道前 I:隧道內 A:隧道後 T:隧道間

道路 編號	隧道 名稱	行車 方向	隧道 編號	區 段	年份						合計
					2010	2011	2012	2013	2014	2015	
國道3號	木柵	南	13	B	2	8	5	3	9	10	37
				I	57	54	39	42	66	59	317
				T	1	1	0	0	1	1	4
	景美	南	15	I	1	2	2	2	2	4	13
				A	1	2	2	5	3	2	15
	景美	北	16	B	0	0	0	1	0	1	2
				I	3	2	1	1	0	1	8
				T	0	1	1	1	1	2	6
	木柵	北	14	I	9	15	12	9	18	19	82
				A	2	6	2	4	10	6	30
	新店	南	17	B	1	2	2	4	0	4	13
				I	21	15	19	19	12	15	101
				T	1	1	0	1	0	2	5
	碧潭	南	19	I	3	1	3	4	5	0	16
				A	1	0	1	3	1	0	6
碧潭	北	20	B	1	1	1	1	2	0	6	
			I	2	4	4	5	10	1	26	
			T	2	2	0	2	2	5	13	
新店	北	18	I	28	18	18	24	32	23	143	
			A	5	6	4	13	15	9	52	

國道 3 號	埔頂一號	南	25	B	0	4	1	0	1	1	7
				I	7	12	10	6	14	7	56
				T	3	2	3	6	2	2	18
	埔頂二號		27	I	1	2	1	1	7	4	16
				A	2	2	0	2	2	0	8
	埔頂二號		北	28	B	3	4	6	1	3	2
		I			9	14	17	4	6	9	59
		T			3	11	3	2	4	4	27
埔頂一號	26	I		6	15	6	9	11	9	56	
		A		4	2	1	0	1	2	10	
國道 5 號	南港	南		35	B	1	0	8	3	2	1
			I		0	4	3	4	9	3	23
			T		0	0	0	0	0	4	4
	石碇		37	I	2	2	0	2	4	1	11
				A	0	0	10	3	2	0	15
	石碇		北	38	B	0	4	4	3	5	2
		I			3	2	6	6	5	2	24
		T			0	0	0	1	0	0	1
	南港	36		I	1	1	1	2	0	0	5
				A	0	2	0	0	1	0	3