

## 高速公路隧道區段之安全績效函數

吳宗修<sup>1</sup>  
陳逸儒<sup>2</sup>

### 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。本研究以美國州際公路與運輸官員協會(AASHTO)於 2010 年發表第 1 版公路安全手冊中，提出之量化方式評估道路事故發生頻率的方法，以評估交通事故發生之機率。根據美國公路安全手冊指出，公路與高速公路之事故數與頻率會呈現負二項分配(Negative Binomial Distribution, NB)之性質，故以負二項分配之模式研究國道隧道，在隧道前後不同區段之安全績效函數。過去文獻指出年平均日交通量、隧道長度等為影響事故發生之可能因素，本研究另增加考慮隧道內是否有設置行車管制標誌、劃設禁止變換車道線等資料，使用公路安全手冊建議之安全績效評估方法予以預估，分別建立進隧道前一定距離、隧道內、以及出隧道後一定距離之安全績效函數。依據回歸結果，可以得知各個區段之年平均日交通量 AADT、隧道長度等變數，對於事故數之發生頻率均有顯著影響，可作為後續評估隧道事故之安全改善措施之參考。

**關鍵字：**高速公路、隧道、安全績效函數 (SPF)

## 一、前言

### 1.1 研究問題

台灣為一狹長型的海島型國家，本島陸地總面積約為 3 萬 5,882 平方公里(內政部地政司，2015)，其中平地的面積僅佔本島總面積約 3 分之 1，其餘部分地區為山地與丘陵地形，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，以台灣經濟貿易為旺盛的北部為例，若以台北市為起點，欲以前往台東市、花蓮市等地區，可以選擇的道路有穿越山脈的北宜公路(即省道台 9 線)，以及沿基隆、宜蘭沿岸的海岸線道路行駛的海岸線道路(即省道台 2 線)而已，此二公路皆為國道五號與雪山隧道興建前，聯繫台灣東西

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

<sup>2</sup> 交通大學運輸與物流管理學系碩士班研究生

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，無法再更有效提升公路運輸效率；而沿海岸線行駛之台 2 線沿台灣北部蜿蜒曲折之岸邊興建，台 2 線沿途因發展較早，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，例如：拓寬道路、將道路截彎取直等措施之實施上會有較多阻礙，而鑒於目前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現今對公路運輸越發旺盛的需求，國道高速公路局為解決此瓶頸，即規劃並興建國道五號高速公路，此高速公路中部分路段穿越雪山，其中又以穿越雪山山脈的雪山隧道以及眾多隧道群賦名，可見得本島居民對於往返東西部之公路隧道需求仍相當旺盛。

隨著 2006 年國道五號的雪山隧道通車，並在 2012 年發生自雪山隧道通車以來最嚴重之火燒車事故，社會大眾對於隧道安全與事故處理越發重視，但是有關整體評估隧道裡易發生事故地點的區段分析的研究卻相當稀少，國內以隧道事故為研究之碩博士論文計 144 篇(於台灣碩博士論文加值系統以隧道事故為關鍵字搜尋)，而期刊論文計 11 篇(於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 155 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，但對於預測隧道何處易發生事故之研究卻相當缺乏，鑒於台灣有越來越多的公路隧道，公路隧道亦有逐漸上升之使用率，且參考高速公路局近 4 年的國道事故分析檢討，對於隧道相關事故均只以統計隧道中事故比率為主，較少比較進隧道前或出隧道後的事故的成因，以及為何會造成事故的可能因素等，本研究遂以目前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，以計算各分區可能發生事故之數量，以期望能讓隧道管理單位能針對易發生事故的區域做改良措施，以減少事故發生。研究目的在於以數學方式，建立能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裡這三個區域的安全績效函數(safety performance functions, SPFs)，對於事故數的預估上可以提供國道高速公路局更適當的事故評估方式。

## 1.2 研究課題與範圍

本研究預計以國道高速公路目前已通車之隧道做研究對象，針對其交通管理及管制措施運用科學性量化方式，針對進隧道前與進隧道後各分區裡之事故數，以及各隧道之工程數據做分析。根據國道高速公路局 2015 年之年報所寫，高速公路目前已通車路段共有隧道 58 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。

因探討之內容不僅包含國道高速公路隧道之路線、里程等地理因素，尚包含許多不同嚴重等級之交通事故資料，所以高速公路之隧道事故亦為本研究所需討論之課題與研究範圍，因目前國道高速公路之事故資料主要為交通部台灣區國道高速公路局與內政部國道公路警察局所提供，故使用此二個單位之 2010 至 2015 年台灣高速公路地區之 A1、A2 與 A3 的事故資料，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之交通事故(即 A2)之事故內容，與僅有造成財物損傷之交通事故(即 A3)。因研究之對象為高速公路隧道之事故數量與會造成研究，目前將 A1、A2 與 A3 之事故數統一併入高速公路隧道事故之資料中，以便做各區段之事故資料分析，後續章節會對 A1 與 A2 之事故數作較詳盡之列表比較。

## 二、文獻回顧

### 2.1 事故頻次模式

事故發生之資料具備隨機性、間段性、稀少性與非負性等特性，因此無法使用一般常態分佈之回歸模式進行事故頻次之分析，故以負二項回歸模式做事故頻次預估的說明。

交通事故可視為交通運行中進行試驗的結果，發生事故(成功)、未發生事故(失敗)，可依伯努利分配(Bernoulli distribution)表示，如公式(1)，若重複觀察某路段交通運行狀況事故發生數  $X$ ，即重複進行  $n$  次交通運行試驗，可將事故發生數  $k$  之機率分配，以二項式分配表示，如公式(2)，若進一步長期觀察某路段交通運行狀況事故發生數  $X$ ，即重複進行無限多次交通運行試驗，可將事故發生數  $k$  之機率分配，以卜瓦松分配(Poisson distribution)表示，如公式(3)，但卜瓦松分配必須服從隨機變數之期望值  $\lambda$  與變異數  $\sigma^2$  相等( $\lambda = \sigma^2$ )之假設(Hilbe, 2011)。

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

其中： $p$  為發收事故(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

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

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、 $\lambda$  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之期望值  $E(X)$  與變異數  $V(X)$  相等( $E(X) = V(X) = \lambda$ )之特性。但因交通事故之稀少性及隨機性，某路段特定期間內事故發生平均數與變異數難以相等，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。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 and Radwan, 2000; Shankar, Mannering, and Barfield, 1995; Washington, 2010)。而卜瓦松分配可視為負二項分配之特例，因呈現負二項分配之模式均具有  $V(X)$  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)。

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一給定之連結函數(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，當負二項式迴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)。

## 2.2 分析方法

分析方法有相當多方法，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)，分析前後兩次同一研究主體中研究變項或現象之改變情形，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)、對照事前事後分析法(before-and-after study with comparison group)及實證貝氏事前事後分析法(before-and-after study with the empirical Bayes approach)等 4 項事前事後分析法。

## 2.3 安全績效函數(Safety Performance Function, SPFs)

安全績效函數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之道路特徵、道路組態與交通量等資訊，蒐集與碰撞事故相關之資料，再以碰撞事故發生之頻次或發生數符合負二項式分配(negative binominal distribution, NB)之前提下，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。

根據美國公路安全手冊(HSM)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酌運用(AASHTO, 2010)。以負二項式函數配適安全績效函數如下公式(4)(Park, Abdel-Aty, Lee, and Lee, 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、 $\beta_k$  為變數校估所得之參數，單位：件/年

$\text{AADT}_i$  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

$i$  長度，單位：英哩

$X_{ki}$  為某路段  $i$  其他變數  $k$

若以公路安全手冊(HSM)中針對鄉間雙向雙車道公路之安全績效函數模型校估結果為例：

$$N_{\text{SPF}} = \text{AADT} \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{-0.4865} \quad \text{公式(5)}$$

其中：

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

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

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

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(SPFs)之建議方式如下(Srinivasan, 2013)：

- (一) 確認設施類型。必須先行確認道路分析類型始能決定使用何種等級安全績效函數分析方式，如進行專案等級分析(project-level analysis)或進行路網分析。
- (二) 取得及彙整必要資料。依據分析等級取得必要資料，如年平均日交通量、事故嚴重程度、道路種類，並且決定樣本大小。
- (三) 初步決定安全績效函數(SPFs)分布型式，如負二項式分配、普瓦松分配或伽瑪分配等。依據相關研究負二項式分配之配適結果較為良好。
- (四) 安全績效函數參數校估。運用統計軟體進行函數校估及判斷變數顯著性。
- (五) 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。
- (六) 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、有無轉彎專用車道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)。在不同 SPF 之績效函數模型中，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為 AASHTO 所提出之安全績效函數模型做基礎，並以交通量為單一解釋變數；完整安全績效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，經研究發現，完整安全績效模型有較佳之模型配適結果(Naznin et al., 2016)。

### 三、研究方法

因目前有關隧道分區跟 SPF 相關的文獻，均為分別以隧道跟平面道路所做之研究，沒有以隧道裡或是進隧道前或出隧道後的 SPF 之研究，故首先會參考目前有關隧道前後區段事故數的文獻，依據台灣高速公路隧道之長度、事故數分布等特性，選用較適當之長度予以分成不同區段分析。區段長度選擇完成後，依據所取得之隧道事故分布資料、進隧道前與出隧道後與隧道內工程數據等資料，放入由 HSM 所建議之 SPF 函數，且考量進隧道前的分區或隧道裡的分區可能有不同的影響變數，故會對不同背景在 SPF 的函數裡加入不同的調整參數，以符合不同地區之道路特性或當地車流情形。後使用 SAS 軟體將此 SPF 函數以廣義線性回歸或是廣義非線性回歸分析之方式，分析與比較回歸分析之後的結果，以求得最接近真實情形之 SPF 模式。

### 3.1 定義隧道前後區段

拿到資料後，先將隧道初步分為進隧道前與進隧道後以及出隧道後三個部分，此三個部分一開始所考慮的因素大致相同，例如都會考慮車道寬、車流量、車道速限等可能之影響因素，多數相關研究對於隧道事故較少做考量的變數為時間因素，不同時間帶的太陽、光線位置與強度並不相同，發生事故之時間帶與地點對於發生事故之可能性亦有其影響，於參考相關研究之後，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)以上之的區段長度較為適中，考量台灣地區高速公路的隧道長度，為避免過長之區段長度易造成過多事故樣本與再部分隧道區段易造成出隧道前區段與其他隧道之出隧道後區段重疊，為減少隧道前後區段的重疊，使用 200 公尺做區段長度。

### 3.2 事故資料處理

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之 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之交通事故(即 A2)，以及僅有造成財物損傷之交通事故(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。以下為高速公路在隧道中之總 A1、A2 與 A3 事故於各年份中的事故數量總計表格以及在不同區段之 A1、A2 與 A3 事故數量的各年份統計。

表 1 高速公路總 A1、A2 與 A3 各年份事故數量統計

年份 \ 事故類別	2010	2011	2012	2013	2014	2015
A1	67	61	57	65	59	14
A2	939	880	1082	1184	1302	323
A3	12672	16125	16460	17487	18046	18631

單位：件

表 2 高速公路隧道不同區段之 A1、A2 與 A3 各年份總事故數量統計

年份 \ 隧道區段	2010	2011	2012	2013	2014	2015
進隧道前	102	115	110	133	135	177
隧道內	428	614	626	569	613	521

出隧道後	53	63	43	69	94	95
------	----	----	----	----	----	----

單位：件

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，從每件事務之發生里程數是位在何隧道前後發生之事故，並判斷此事故之里程數位於該隧道知哪一區段，並進行後續歸類，例如：事故 1 位於隧道 1 之進隧道前區段，便將此事故歸類於進隧道前之類別，而交通事故發生之位置位於隧道內、出隧道後之區段的判斷方式亦相同。

### 3.3 研究假設與模型選擇

本研究為以高速公路隧道各隧道之年平均日交通量、隧道長度、時間帶、速限、車道數、與是否有行車管制號誌等因素，對於傷亡事故發生數，亦即事故發生頻次之影響，使用前項研究所建議之負二項式迴歸模型進行分析。迴歸模型應變數(independent variable)為傷亡事故發生數，即事故發生頻次，屬計數變數(count variable)；自變數包含路段年平均日交通量、隧道長度、時間帶、速限、車道數及是否有行車管制號誌等。

而其中路段年平均日交通量及隧道長度為連續型變數(continuous variable)套入模型求解，時間帶、速限、車道數及是否有行車管制號誌等，依國道高速公路隧道各隧道之實際狀況，以類別變數(categorical variable)套入模型求解，類別變數設定如下：時間帶(18-24 時 = 1、12-18 時 = 2、06-12 時 = 3、00-06 時 = 4)、速限(小於或等於 90 公里/小時 = 1、大於或等於 100 公里/小時 = 0)、車道數(2 車道 = 2、3 車道 = 3、4 車道 = 4)、是否有行車管制號誌(有設置 = 1、無設置 = 0)。資料內之年平均日交通量因數字皆較大，故 AADT 皆乘以 0.001 以方便帶入模型計算與模擬比較。

不同區段(例如：進隧道前、隧道內、出隧道後等)考量之假設變數亦有所不同，本研究之模型假設為參考假設 AASHTO 所提的美國公路安全手冊(HSM)之 SPF 建議變數，以年平均日交通量、路段長度以及其他變數等做模型變數假設基礎，進隧道前、隧道內與離開隧道區段之假設變數皆包含年平均日交通量(即曝光量)，而進隧道前區段考量之假設變數包含欲進入之隧道長度與時間帶、速限、車道數、是否有行車管制號誌等變數，於進隧道前區段之所以會考慮欲進入之隧道長度之原因為考量交通事故發生頻次可能會受到駕駛人預期心理而有所影響，例如：駕駛人在進入較長隧道前(例如：雪山隧道等長隧道)，可能會在進隧道前降低車速或提高警覺性，以減少接下來進隧道可能發生事故的可能性，但是不確定提前降低車速是否會造成在進隧道前更容易發生事故，故於進隧道前區段將欲進入隧道的隧道長度納入考量。

隧道內區段考量之假設變數包含年平均日交通量之變數，並一併考量時間帶、速限、車道數、是否有行車管制號誌等變數，惟隧道內之模型因所建立之記數變數為傷亡發生事故頻次，此變數已為隧道內單位長度之發生事件數之頻次的預測，已將隧道內交通事故發生件數計算成隧道每單位隧道長度之交通事故發生件數的頻次，若再以隧道長度代入模型之假設變數，有重

複預測之疑慮，故隧道內之區段模型不納入隧道長度之假設變數。

出隧道後區段考量之假設變數與進隧道前區段相同，包含欲進入之隧道長度與時間帶、速限、車道數、是否有行車管制號誌等變數，而出隧道後區段亦考量經過的隧道長度的影響，因考量駕駛人於駕駛經過長隧道或短隧道後的對精神上影響可能不同，例如：駕駛經過長隧道可能因駕駛人已長時間經過隧道內單調無變化道路路線型後，讓精神疲乏，並導致於出隧道後無法及時觀察出隧道後之車況而容易出事故等。以下為各區段之模型與假設說明：

### 3.3.1 進隧道前之假設編號：

1. 假設：當交通量與欲進入隧道長度固定時，不同時間帶對事故之影響不同，某一時間帶的事故發生頻次較高。  
模型：建立年平均日交通量、欲進入隧道長度，在不同時間帶的事故發生頻次之關係。
2. 假設：當交通量與欲進入隧道長度固定時，不同之速限類別對事故之影響不同，速限較高的隧道區段事故發生頻次較高。  
模型：建立年平均日交通量、欲進入隧道長度，在不同速限類別的事故發生頻次之關係。
3. 假設：當交通量與欲進入隧道長度固定時，是否有設置行車管制號誌對事故可能之影響不同，無設置的隧道區段事故發生頻次較高。  
模型：建立以年平均日交通量、欲進入隧道長度，有無設置行車管制號誌的事故發生頻次之關係。
4. 假設：交通量與欲進入隧道長度固定時，進隧道前之車道數對事故可能之影響不同，車道數較多的隧道區段事故發生頻次較高。

模型：建立以年平均日交通量、欲進入隧道長度，車道數的事故發生頻次之關係。

### 3.3.2 隧道內之假設編號：

1. 假設：當交通量固定時，曝光量固定，不同時間帶對事故之影響不同，某一時間帶的事故發生頻次較高。  
模型：建立年平均日交通量，在不同時間帶的事故發生頻次之關係。
2. 假設：當交通量固定時，曝光量固定，不同之速限類別對事故之影響不同，速限較高的隧道區段事故發生頻次較高。  
模型：建立年平均日交通量，在不同速限類別的事故發生頻次之關係。
3. 假設：當交通量固定時，曝光量固定，是否有設置行車管制號誌對事故可能之影響不同，無設置的隧道區段事故發生頻次較高。  
模型：建立以年平均日交通量，有無設置行車管制號誌的事故發生頻次之關係。

4. 假設：當交通量固定時，曝光量固定，隧道內之車道數對事故可能之影響不同，車道數較多的隧道區段事故發生頻次較高。

模型：建立以年平均日交通量，車道數的事故發生頻次之關係。

### 3.3.3 出隧道後之假設編號：

1. 假設：當交通量與離開之隧道長度固定時，不同時間帶對事故之影響不同，某一時間帶的事故發生頻次較高。

模型：建立年平均日交通量、離開之隧道長度，在不同時間帶的事故發生頻次之關係。

2. 假設：當交通量與離開之隧道長度固定時，不同之速限類別對事故之影響不同，速限較高的隧道區段事故發生頻次較高。

模型：建立年平均日交通量、離開之隧道長度，在不同速限類別的事故發生頻次之關係。

3. 假設：當交通量與離開之隧道長度固定時，是否有設置行車管制號誌對事故可能之影響不同，無設置的隧道區段事故發生頻次較高。

模型：建立以年平均日交通量、離開之隧道長度，有無設置行車管制號誌的事故發生頻次之關係。

4. 假設：交通量與離開之隧道長度固定時，進隧道前之車道數對事故可能之影響不同，車道數較多的隧道區段事故發生頻次較高。

5. 模型：建立以年平均日交通量、離開之隧道長度，車道數的事故發生頻次之關係。

本研究之模型選擇方式以赤池信息量準則(Akaike information criterion, AIC)為判斷標準，此方法由學者日本學者赤池弘次(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)結果為較佳之模型，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之概似函數值，則該模型具有較佳之配適結果。運用AIC值進行模型選擇時，AIC值較小之模型為較佳之選擇，AIC值計算方式如以下公式 (Park and Abdel-Aty, 2016)：

$$AIC = 2k - 2 \ln(L)$$

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)

## 四、資料分析

分別將不同的變數，包含各隧道之年平均日交通量、隧道長度、速限等不同變數使用 SAS 之統計軟體進行負二項回歸之模式分析，並得到以下結果：

## 4.1 隧道前

表 3 進隧道前之模型變數校估結果

編號	變數	估計值	標準誤差	P 值	AIC (AICc)
1	常數項	-0.7176	0.1207	<0.0001	4,996.8838 (4,997.0304)
	AADT	0.1599	0.0048	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.0001	
	時間帶 (TIME)(均以時間帶 1 為基礎)				
	時間帶 2	-0.1323	0.0639	0.0384	
	時間帶 3	-0.1107	0.0622	0.0750	
	時間帶 4	-0.2749	0.2282	0.2486	
2	常數項	-0.3670	0.1133	<0.0001	4,977.1373 (4,977.2156)
	AADT	0.1396	0.0064	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.0612	
	速限(SL)	0.4062	0.0874	<0.0001	
3	常數項	-0.8108	0.1120	<0.0001	4,995.3525 (4,995.4308)
	AADT	0.1606	0.0048	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	<0.0001	
	有無號誌 (SIGNAL)	-0.0895	0.0537	0.0956	
4	常數項	-0.8350	0.1288	<0.0001	4,924.519 (4,924.6291)
	AADT	0.1471	0.0050	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.0447	
	車道數(LN)(均以車道數 2 為基礎)				
	車道數 3	0.3783	0.1164	0.0012	
車道數 4	-0.6396	0.1557	<0.0001		

## 4.2 隧道內

表 4 隧道內之模型變數校估結果

編號	變數	估計值	標準誤差	P 值	AIC (AICc)
1	常數項	-3.0156	0.0641	<0.0001	18,528.8460 (18,528.8709)
	AADT	0.2502	0.0025	<0.0001	
	時間帶 (TIME)(均以時				

	間帶 1 為基礎)	-0.0269	0.0261	0.3024	
	時間帶 2	-0.1376	0.0265	<0.0001	
	時間帶 3	-0.4196	0.1032	<0.0001	
	時間帶 4				
2	常數項	-3.0467	0.0599	<0.0001	18,501.1595 (18,501.1714)
	AADT	0.2638	0.0029	<0.0001	
	速限(SL)	-0.3759	0.0412	<0.0001	
3	常數項	-3.0518	0.0614	<0.0001	18,565.1280 (18,566.1398)
	AADT	0.2518	0.0026	<0.0001	
	有無號誌 (SIGNAL)	-0.0879	0.0211	<0.0001	
4	常數項	-1.7406	0.1029	<0.0001	22,998.2771 (22,998.2771)
	AADT	0.2176	0.0025	<0.0001	
	車道數(LN)(均 以車道數 2 為基 礎)				
	車道數 3	-0.5285	0.1009	<0.0001	
	車道數 4	-0.9600	0.1434	<0.0001	

### 4.3 隧道後

表 5 出隧道後之模型變數校估結果

編號	變數	估計值	標準誤差	P 值	AIC (AICc)
1	常數項	0.0723	0.1577	0.6468	2,150.7720 (2,151.0458)
	AADT	0.0939	0.0064	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.4635	
	時間帶(TIME)(均 以時間帶 1 為基 礎)				
	時間帶 2	-0.2667	0.0987	0.0069	
	時間帶 3	-0.1294	0.0959	0.1773	
2	常數項	-0.0671	0.1417	0.6357	2,153.9998 (2,154.1458)
	AADT	0.0907	0.0073	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.6957	
	速限(SL)	0.0964	0.0902	0.2855	
3	常數項	-0.0692	0.1420	0.6260	2,154.6189 (2,154.7649)
	AADT	0.0945	0.0064	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.5719	
	有無號誌 (SIGNAL)	-0.0750	0.1037	0.4696	

4	常數項	-0.8350	0.1288	<0.0001	4,924.5193 (4,924.6291)
	AADT	0.1471	0.0050	<0.0001	
	隧道長度(TL)	0.0000	0.0000	0.0447	
	車道數(LN)(均以 車道數 2 為基礎)				
	車道數 3	0.3783	0.1164	0.0012	
	車道數 4	-0.6396	0.1557	<0.0001	

## 五、資料分析結果

從前一章之表格中，可以得知在各區段在使用負二項回歸之方式得出之 SPF 的評估參數為何，利用統計軟體可以產生進隧道前、隧道內、出隧道後三個區段在不同年平均日交通量(即曝光量)下之模擬預測事故頻次量圖，經由 AIC 與 AICc 等數值的選擇後，可以得到各區段有不同的模型，分別為：

1. 隧道前：年平均日交通量、不同車道數等之變數的模型
2. 隧道內：年平均日交通量、不同速限等之變數的模型
3. 隧道後：年平均日交通量、不同時間帶等之變數的模型

在隧道內區段之模型之選擇與 Caliendo 等學者在隧道事故之研究中同樣以最大概似估計法的負二項方式迴歸分析隧道內事故之影響因子的研究結果相符合，因此學者所得之結果亦是以年平均日交通量與車道數多寡等變數為影響隧道內事故發生之重要影響因子，依據負二項式回歸結果，以及模型模式選擇結果，隧道各區段之安全績效函數列表如下：

1. 隧道前： $N_{\text{事故發生件數/單位長度}} = \exp [-0.835 + 0.1471 * \text{AADT} + 0.3783 * (\text{LN}_3) - 0.6396 * (\text{LN}_4)]$
2. 隧道內： $N_{\text{事故發生件數/單位長度}} = \exp [ -3.0518 + 0.2638 * \text{AADT} - 0.3759 * (\text{SL}) ]$
3. 隧道後： $N_{\text{事故發生件數/單位長度}} = \exp [ 0.0723 + 0.0939 * \text{AADT} - 0.2667 * (\text{TIME}_2) - 0.1294 * (\text{TIME}_3) - 0.3947 * (\text{TIME}_4) ]$

上述之變數分別為：

AADT：連續變數，年平均日交通量(輛/年)

LN<sub>3</sub>：類別變數，表示發生地點之車道數為 3 之情況(即三車道)，若車道數為 3 則 LN<sub>3</sub> 為 1，反之為 0

LN<sub>4</sub>：類別變數，表示發生地點之車道數為 4 之情況(即四車道)，若車道數為 4 則 LN<sub>4</sub> 為 1，反之為 0

SL：類別變數，表示隧道速限，若速限在 100 公里/小時以上，則為 0，若速限在 90 公里/小時以下，則為 1

TIME<sub>k</sub>：類別變數，k 值為 2 至 3 的數值，2 表示為發生時間介於 12-18 時，3 表示發生時間 06-12 時，4 表示發生時間為 00-06 時

## 六、結論與建議

隧道不同區段對肇事頻次有不同影響因素，因傳統交通量分析常用之卜瓦松分配模式須有整體事故發生之變異數與平均值相等之限制，且隧道事故經常有 0 事故之現象出現，亦有離勢過大之現象，故使用負二項回歸模式進行在隧道不同區段之事故分析。針對不同區段提出不同之可能影響變數，並參考 HSM 所提之 AASHTO 的 SPF 建議使用變數，以 AADT、隧道長度與其他變數以不同假設後經負二項迴歸分析之後，得到 AADT 與不同車道數之間有最小之 AIC 與 AICc，並依此得到不同區段之 SPF。從各區段之 SPF 可知各區段之交通事故頻次均會受 AADT 之影響，但影響大小不相同，尤以隧道內之交通事故頻次影響最大，此外，各區段之 SPF 的變數亦不相同。在出隧道後區段之交通事故頻次不會受到經過的隧道長度所影響，此結果與原始假設不同。隧道前區段之 SPF 的交通事故發生頻次在車道數為 4 時有最小值；隧道內區段速限應以 90 公里/時以內為佳；隧道後區段之事故發生頻次在 18-24 時最高。

本研究之進隧道前與出隧道後之隧道長度假設變數影響為使用連續變數，後續若有其他研究可把隧道長度改成類別變數作分析，並增加考慮使用零膨脹的負二項分配回歸模型，可增進對於事故發生頻次模擬之精準度，以及減少誤差之產生，便利其他管理單位能更快速評估隧道裡分區易產生事故數的可能性，並能做好較充足的改善措施。

## 參考文獻

- 中華民國交通部臺灣區國道高速公路局，民國 105 年 4 月，「104 高速公路年報」
- 中華民國內政部警政署，民國 95 年 7 月，「道路交通事故處理規範」
- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual* (1 ed.). Washington, D.C., USA: American Association of State Highway and Transportation Officials
- Abdel-Aty, M. A., and Radwan, A. E. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement *Accident Analysis & Prevention* (Vol. 32, pp. 633-642).
- 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.

- Park, J., and Abdel-Aty, M. (2016). Evaluation of safety effectiveness of multiple cross sectional features on urban arterials *Accident Analysis & Prevention* (Vol. 92, pp. 245-255).
- Park, J., Abdel-Aty, M., Lee, J., and 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* (Vol. 74, pp. 179-191).
- Shankar, V., Mannering, F., and Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies *Accident Analysis & Prevention* (Vol. 27, pp. 371-389).
- Srinivasan, R., et al. (2013). *Safety performance function decision guide: SPF calibration vs SPF development*. . North Carolina, USA.
- Washington, S. P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L. (2010). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Florida: CRC Press.

