

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

歷經十多年施工的北宜高速公路(國道五號)共有南港頭城段、頭城蘇澳段、蘇澳花蓮段、花蓮台東段四項計畫，其中南港頭城段已經在民國 95 年 6 月 16 日全線通車，這條高速公路起於南港系統交流道，迄於宜蘭頭城交流道，全長約為 30 公里，國道五號其間包含南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道及雪山隧道五個隧道，及石碇、坪林和頭城交流道，路線配置狀況，如圖 1.1 所示。國道五號位於坪林與頭城間的雪山隧道長達 12.9 公里係目前全世界第六長之隧道以及國內最長之公路長隧道，因此其行車安全一直受到高度的關切與重視，自通車起國道高速公路管理局即規定隧道內跟車距離最少保持 50 公尺及全線行車速限 70km/hr，亦可能因此造成國道五號每逢例假日、連續假日車輛過度集中時即發生塞車現象。

國道五號通車至今已滿一年多，已累積相當之車流特性資料，有關長隧道車流特性及相關管制策略之研究亦已逐漸展開[1]，如運研所研究發現雪山隧道內車流行為特性，在南下與北上進入隧道後十公里其車流行為便趨於穩定，而行車速率若變小其跟車距離亦呈現遞減效應，且往往若行車速率小於 20 km/hr 時其跟車距離都比雪山隧道要求的 20m 還短[2]，本研究亦在此背景下，擬進行隧道長度對車流特性影響之研究，對國道五號不同長度隧道之車流特性資料，分析隧道長度之影響，俾更深入了解不同長度隧道車流特性之差異及與開放路段車流特性之差異。

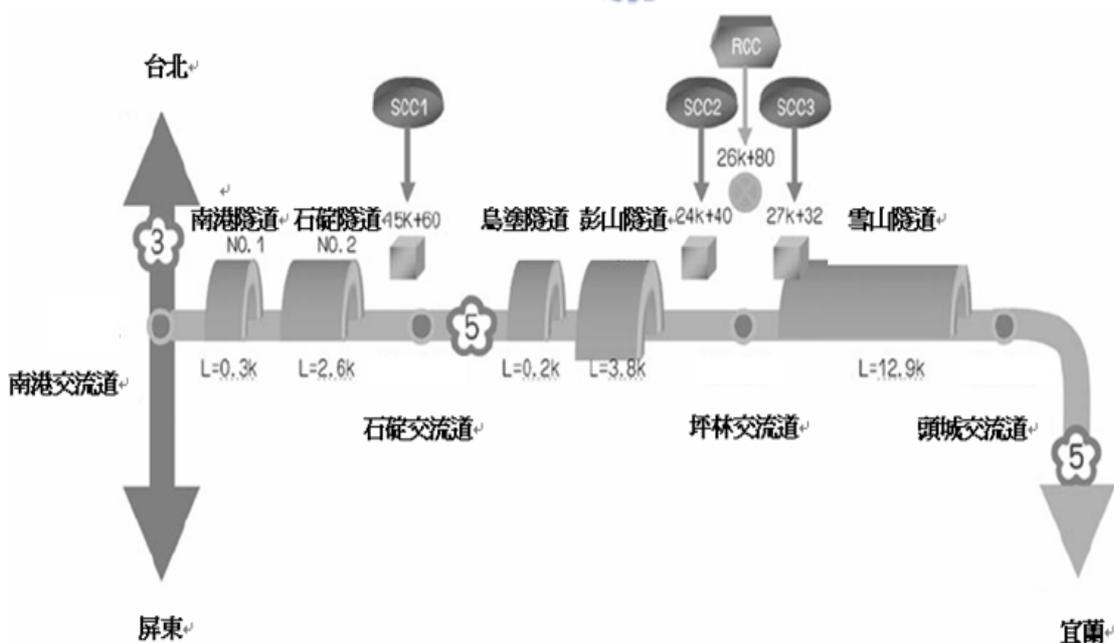


圖 1.1 國道五號路線示意圖

1.2 研究目的與課題

本研究目的在於運用國道五號之車流特性資料，分析隧道長度對車流特性之影響，在此目的下將進行之研究課題包含以下六項。

- (1) 分析國道五號南港頭城段之車流特性
- (2) 運用國道五號車流特性資料，建立隧道內外不同斷面之車流模式(Q-U 關係)
- (3) 分析一隧道在不同斷面區位車流特性之差異性
- (4) 分析不同長度隧道對應相同斷面區位之車流特性差異性
- (5) 比較開放路段與前後鄰近隧道之車流特性差異性(黑洞效應)
- (6) 車流特性在不同長度隧道的變化趨勢

1.3 研究範圍

本研究主要將針對國道五號之主線進行研究，五座隧道位置及斷面資料如表 1.1 所示。分析之資料係透過運研所的協助得到高公局國道五號佈設各偵測器之車流特性資料，國道五號平均約 300-400 公尺即佈設一處偵測器，共佈設南下 95 處，北上 97 處偵測器。

資料時間範圍為 96 年 1 月至 8 月每 5 分鐘有一筆流量與速率資料。本研究只針對主線部分進行研究，人行橫坑及導坑內偵測器之資料將予以捨棄。

表 1.1 國道五號各隧道位置與斷面資料

隧道名稱	長度(m)	起點里程	終點里程	斷面尺寸	車道數/單向
南港隧道南下	456	0.245	0.7	10.8*8.75	二車道
棚架式明挖隧道南下	89.4			10.8*8.75	二車道
南港隧道北上	331	0.71	0.255	10.8*8.75	二車道
石碇隧道南下	2697.6	0.803	3.5	10.8*8.75	二車道
石碇隧道北上	2720	3.51	0.79	10.8*8.75	二車道
烏塗隧道南下	215.63	7.695	7.911	14.4*9.63	二車道
烏塗隧道北上	247.29	7.93	7.682	10.8*8.75	二車道
彭山隧道南下	3861.2	9.439	13.3	10.8*8.75	二車道
彭山隧道北上	3806.4	13.297	9.491	10.8*8.75	二車道
雪山隧道南下	12924.6	15.2	28.15	TBM:11.8	二車道
雪山隧道北上	12954.46	28.112	15.2	D&B:12.5*12.64	二車道

註: 1.長度,斷面尺寸,單位均為公尺

2.隧道斷面尺寸係指隧道之寬度及高度,均含內襯砌厚度在內

3. TBM 為雙盾式 (double shield) TBM 施工

4. D&B 為鑽炸工法

1.4 研究架構

本研究架構如圖 1.2 所示，先把國道五號實體配置區分為隧道路段、開放路段、交流道位置及路線線型四類，依序再選擇分析斷面與偵測器的佈設位置，且收集各偵測器車流特性資料並檢討與篩檢，在了解各斷面的屬性後，把所收集的資料建立各斷面車流 Q-U 關係，然後分析其他因素影響和比較各斷面車流特性差異，最後分析隧道長度對車流特性之影響。

1、國道五號實體配置區分出來，包含：

- (1) 隧道路段：把南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道及雪山隧道五個隧道表示出來，研究時以偵測器代號表示。
- (2) 開放路段：各隧道以外的路段，研究時以偵測器代號表示。
- (3) 交流道位置：有南港、石碇、坪林、頭城、宜蘭、羅東及蘇澳交流道，研究時以偵測器代號表示。
- (4) 收費站位置：有頭城收費站，並標示收費孔道口數。
- (5) 路線線型：把國道五號的坡度、曲率半徑以及車道數與車道寬標示出來。

2、斷面的選取與偵測器的佈設：

- (1) 研究時把要分析的隧道斷面、開放路段斷面先挑選出來，再選其偵測器位置。
- (2) 收集選定的偵測器之車流與速度資料作為數據資料來源。
- (3) 檢討與篩選有問題的時段其車流特性資料數據。

3、了解各斷面屬性，如：隧道入口、隧道中間及隧道出口斷面和隧道外面的開放路段，並加以建立各斷面車流 Q-U 之關係。

4、比較各斷面車流特性差異，如：各斷面其速率與流量的變化。

5、分析其他因素影響，如：坡度、線對各斷面其速率與流量的變化。

6、分析不同隧道長度對車流特性之影響。

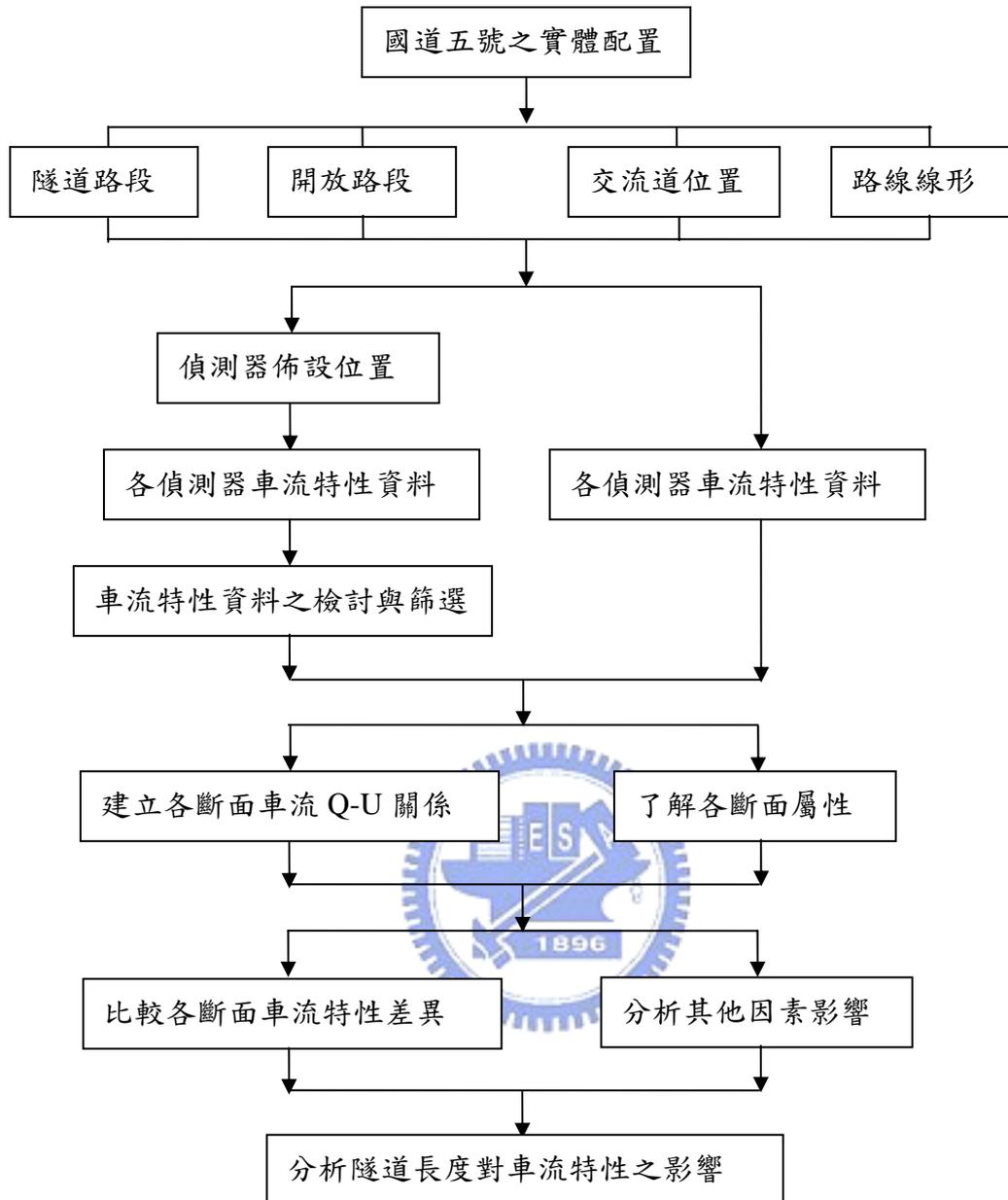


圖 1.2 研究架構圖

1.5 研究方法與流程

本研究之主要研究流程如圖 1.3 所示，研究方法說明如下：

1、設定研究目的

雪山隧道從 95 年 6 月 16 日通車至今，每逢特殊連續假日常發生交通擁塞的問題，而隧道安全議題更為政府與人民所重視，因此本研究目地在於運用國道五號之車流特性資料，分析隧道長度對車流特性之影響。

2、界定研究範圍

本研究之研究範圍為國五高速公路隧道路段之主線部分，包含隧道外開放路

段和隧道內各斷面，藉由從已累積相當之車流特性資料分析，建立隧道路段之 Q-U 關係，及分析隧道長度對車流特性之影響。

3、文獻回顧

蒐集國內外探討有關隧道長短分類、車流理論及隧道路段分析評估等相關文獻，作為本研究之參考依據。

4、研擬斷面與偵測器佈置及車流特性資料之檢討與篩選

把分析之斷面給予選定並挑選其相關偵測器位置，收集其車流特性之資料。資料之整理與分析為研究之基本依據，故斷面與偵測器的佈置適當與否會影響研究成果之品質，相當重要。

國道五號高速公路現有隧道 5 處，本研究首先依據高速公路平面設計圖，並篩選符合需要之斷面後，再確定調查計畫，包括時間、斷面之安排。

5、隧道路段車流特性資料蒐集整理與分析

參考交通部運輸研究所民國 86 年所訂定之「高速公路基本容量分析手冊」[3]及「2001 年台灣地區公路容量手冊」[4]所提供之基本路段相關交通特性分析方法，本研究將所蒐集之隧道路段車流特性，包含隧道外開放路段與隧道內各斷面處之雙車道各區段每五分鐘之流量、速度資料，據以建立相關車流模式。

本研究分析其時間上的變化，便挑選南北向各依個完整的偵測器分析其在 1~8 月每日的總車流量變化(以 VD-5S-PST-10.495 彭山隧道入口端和 VD-5N-PST-11.178 彭山隧道中間端作為代表)，主要分析國五車流特性項目包括：

- (1) 每月總流量
- (2) 每月各日流量
- (3) 每週各日流量
- (4) 平假日每小時流量

6、車流模式建構與檢定

利用所收集的車流資料，利用迴歸方法建立各斷面車流 Q-U 關係。

以調查所得之流率、速率的資料，建構隧道路段車流模式。除了以 R^2 值作為模式解釋能力之參考外，亦將進行各變數符號之合理性探討，以 t 值與 F 值是否顯著等統計檢定，檢核模式之正確性與合理性。

7、分析隧道不同斷面車流特性之差異性

用建構出的車流模式，分析各隧道內前中後路段最大流率及自由速率的差異性，以及各隧道容量的差異性。

8、結論與建議

總結本研究所得之成果做出結論，並對後續研究提出建議。

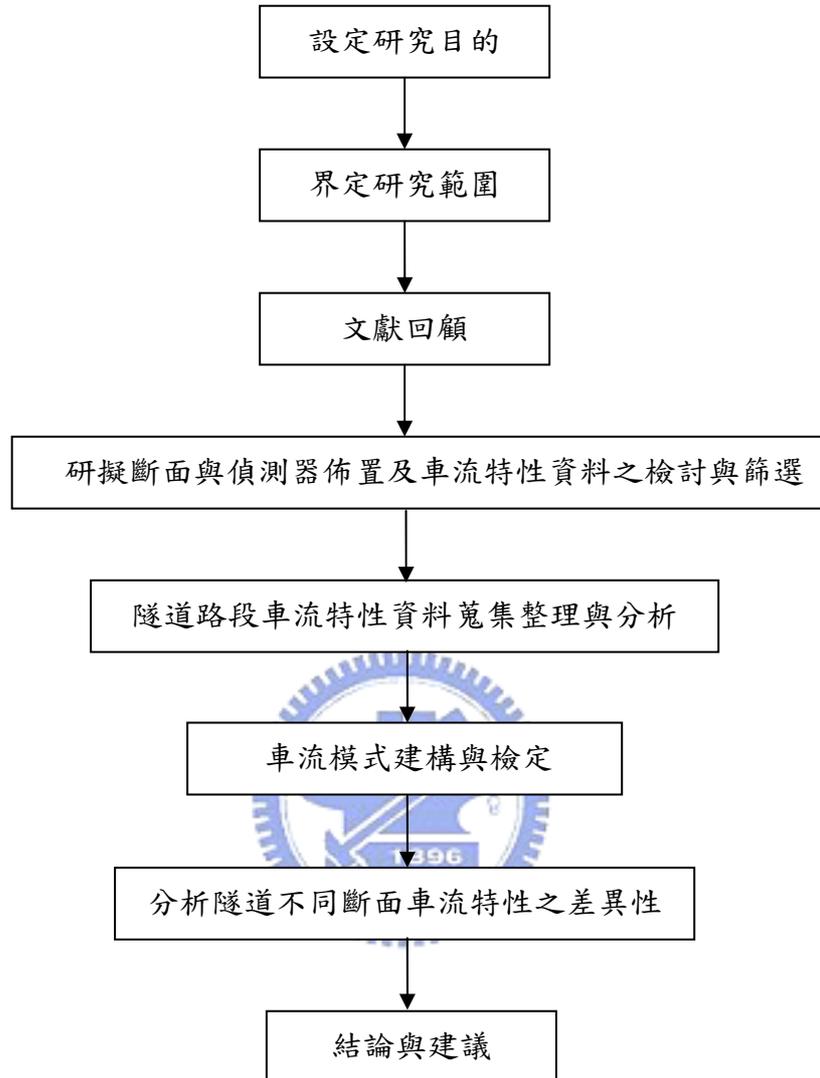


圖 1.3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

蒐集國內外探討有關隧道長短與形式的分類、車流理論及隧道路段分析評估等相關文獻，作為本研究之參考依據。

2.1 隧道特性分析

2.1.1 隧道長短與形式的分類

隧道之分類[5]可依其功能、長度、形式、位置、交通組成以及設施需求等標準不同而有不同分類。由於世界各國隧道分類之因素不同，一般依隧道長度可簡要劃分為長隧道及短隧道，然而長隧道與短隧道之劃分也無絕對長度標準，例如日本將長度 3 公里以上之隧道認定為長隧道，歐洲則是長度 4 公里以上之隧道定義為長隧道。

德國西門子公司依其實務經驗，依不同之隧道長度劃分為短、中、長三型，分別為長度小於 300 m 的短型隧道、長度介於 300 m 至 1,000 m 的中型隧道、長度超過 1,000m 的長型隧道[6]。目前國內有兩座隧道被世界道路協會定義為長隧道，分別為長度約 4.9 公里之八卦山隧道，以及長度約 12.9 公里國道北宜高速公路雪山隧道。

PIARC[7]在 1995 年歸納影響隧道分類之因素包含：1. 隧道長度 2. 結構與型式 3. 交通量 4. 交通組成 5. 路線性質（國際、國內、市區、郊區等） 6. 幾何特性 7. 單向或雙向運轉 8. 運作基礎（人員配置、緊急事件反應等） 9. 投資成本 10.道路等級。

若由交通控制與管理之層面來看，隧道可依隧道斷面型式、路網與旅次結構、隧道長度與交通量等加以分類[5, 6]。由表 2.1 依隧道斷面形式分隧道種類可知，主要可分為單向運轉隧道（雙孔或多孔雙向隧道）與雙向運轉隧道（單孔雙向隧道）兩種，單向運轉隧道採實體分隔雙向車流，因此無車流對撞之危險，且當事故發生時，可提供救援、緊急避難或逃生、車道調撥之優點；雙向運轉隧道之優點為建造成本低、日後可依交通需求擴建為單向運轉隧道，但缺點是對向行駛容易造成對撞，若隧道內發生事故對向交通皆會受到影響，如 St. Gotthard、Mont Blanc、Fréjus 等多屬單孔雙向隧道。

表 2.1 依隧道斷面形式分隧道種類

項目	適義	優點	缺點
單向運轉隧道	雙孔(多孔)雙向隧道，每一隧道孔單一方向至少具有兩車道供通行使用	1 車流無對撞之危險，行車安全性較高 2 若發生事故不影響對向車流 3 對向隧道孔可供車道調撥、救援、緊急避難或逃生之用 4 通風效果比較好	1 建造成本較高 2 使用較多土地面積 3 隧道內所需設施費用較高
雙向運轉隧道	單孔雙向隧道，雙向交通共同使用同一隧道孔	1 建造成本較低 2 使用較少土地面積 3 隧道內所需設施費用較低 4 日後可依交通需求擴建為單向運轉隧道	1 雙向車流對向行駛易產生對撞 2 事故發生後雙向交通受到影響 3 通風效果不佳

資料來源[5]

綜合以上各項隧道分類，本研究所探討之對象如圖 1.1 所示—南港隧道，長度為 0.3 公里，為中型隧道。石碇隧道，長度為 2.6 公里，為中長隧道。烏塗隧道，長度為 0.2 公里，為短型隧道。彭山隧道，長度為 3.8 公里，為長型隧道。而雪山隧道，長度為 12.9 公里，屬東南亞第一之公路長隧道，且為國道五號北宜高速公路隧道群中之一條長公路隧道，北宜高速公路西起台北市，經石碇、坪林，向東南延伸經宜蘭頭城至蘇澳，克服地形上的困難連接兩都會區屬於郊外隧道，且國道五號採雙孔單向設計（單向運轉隧道），在安全上已排除車輛對撞之可能性。

2.1.2 隧道空間及環境特性

隧道內部因其通風、照明、幾何條件等特性與一般路段有明顯差異，致駕駛行為亦有差異，因而車輛行駛於隧道內與非隧道路段之車流現象會有所不同，茲將隧道環境特性說明如下[8]：

(1) 幾何特性：

隧道內一般考慮興建之成本，因此其行駛空間較小，會對駕駛人造成心理之影響，同時也會影響事故處理之可及性，增加救援之困難。隧道之幾何設計與一般路段最主要之差異有側向淨寬及隧道淨高，隧道之側向淨寬扣除行人步道後亦無路肩，此除了將影響駕駛行為、道路容量外，亦將影響事故之處理相關車輛之通行；在一般路段雖有高度限制但不會影響事故時車輛翻覆之起重作業，但隧道內之高度限制則會影響事故處理之時效。此外，隧道內之單調景觀、視野使得駕駛人容易疲勞，增加肇事之機率，尤其是在長隧道。

(2) 照明：

隧道為一封閉空間，光線無法進入，因此須有照明設備，以維護行車安全，尤其白天車輛由亮度較高的地區進入近似黑暗的隧道內，由於亮度的變化過份激烈因此駕駛人的眼睛可能無法立即適應來辨識隧道內的情形，此即所謂的黑洞現象或視覺適應性發生遲延的眩光消除現象。一般隧道內之照明系統將隧道分成隧道入口區、漸變區及一般區段三區，隧道入口區照明係配合隧道外光線強弱變化予以設計，以使隧道內外之亮度差異不致太大，影響行車安全；漸變區段則將亮度逐漸降低至一般區段之所需之亮度。在危險事故如火災等，則可藉由隧道照明全亮及逃生指示燈之引導進行人員疏散逃生。

(3) 通風：

隧道路段車輛所排放之廢氣並無法如一般路段直接擴散於大氣之中，必須藉由通風系統將污染物排出隧道外，駕駛人才能有較佳之空氣品質及視線。隧道中車輛所排放之污染物主要包括懸浮微粒、一氧化碳、二氧化碳、碳化氫、氮氧化物、鉛及二氧化硫等。其中懸浮微粒累積濃度若太高會影響駕駛人視線，而影響行車安全；而一般一氧化碳濃度超過一定值時，駕駛人吸入之一氧化碳會破壞血液中紅血球輸氧之能力，引起反應遲鈍、緊張等症狀，因此，須經由通風系統，將前述污染物之濃度降至不影響行車安全之程度。此外，隧道內事故，如擁塞、交通事故、火災等所造成污染物濃度過高或濃湮，亦須藉由通風系統之功能來降低其危險性。

(4) 其他設施：

隧道除本體之土木建築結構外，必須輔以完善自動監測控制之隧道機電系統，除上所述照明及通風設備外，另有電力、火警偵測、消防、監控等相關機電設施。隧道內亦有橫坑連繫對向車道，以供隧道內發生緊急事件或事故時，供車輛疏散或用路人逃生。

2.1.3 隧道交通特性

興建公路隧道的優點在於不僅可以解決道路幾何設計、保育等問題，亦可縮短道路長度，但隧道本身具有封閉性、情況不明性、聯絡與救援困難等特性存在，以致隧道交通狀況與一般開放路段截然不同。當駕駛人行經隧道時因隧道內視距不足、光線變換、受限隧道半封閉特性與法規規定的影響，駕駛人進入隧道後多會提高警覺，隧道內的駕駛行為與車流特性亦與一般開放路段不同。本研究就交通需求而言，綜合整理隧道群之管制策略與車流特性之相關特性，說明如下：

一、隧道群之管制策略[9]

(1) 隧道內禁止變換車道：

由於隧道內受地形之限制，大多無路肩之設置，一旦發生行車事故，若無法

立即有效排除，勢必影響主線車道之進行。一般除有行車速度之限制外，另亦限制車輛變換車道之行為，因此在隧道內均畫設禁止變換車道線(雙白實線)，以期能降低在隧道內因變換車道不當而發生之事故。另外在部分隧道出口處，由於緊臨交流道匝道，因此於該路段亦畫設允許單邊變換車道之單虛單實白線。但由於國人普遍對於標線、標誌之漠視，需藉由強力執法乃為最有效之宣導，在 87 年全年取締在隧道內任意變換車道之違規件數高達 11,951 件[10]，可見用路人行駛隧道路段，與其他行駛一般路段之心態、習性並未做適當調整，而易忽略潛在之危險。

(2) 禁行載運危險物品車輛：

各國鑑於隧道內發生危險物品事故將會引起重大危害，故在研擬危險物品運送車輛行駛隧道區之管制規則時，均一致主張應予以通行之管制。一旦於隧道內發生運送危險物品之事故，會有洩漏、爆炸、火災等危害，由於隧道係一封閉空間，除緊急救援不易，對於在隧道內用路人之生命、財物造成重大損失外，另隧道本身特殊結構、硬體損壞之修復，將耗費時日甚至無法修復。為斷絕災害發生之可能性，因此以完全禁止之手段來限制載運危險物品車輛行駛隧道群路段。除主管機關能持續進行宣導之工作外，對於違反規定者取締告發後，並應強制載運危險物品車輛至最近交流道下匝道，以維用路人在於隧道群之行車安全。

(3) 隧道內開頭燈：

由於隧道內燈光不足，特別是隧道內外光線差異較為明顯時段，駕駛人常因光線不足或眩光現象，造成駕駛人對於前後方車輛辨識不易，影響行車安全，因此，高速公路管制規則第 9 條第 1 項 13 款規定，行經隧道內應開頭燈，加以隧道內光源，便於顯示本車與前後車之相關位置，增進行車安全。然而目前國內駕駛人行駛於隧道路段，尚未普遍能打開車燈之習性，加以執法環境及技術上存在問題，以致其執行成效並未有效落實。

二、車流特性

車輛在車流中行駛時會與其他車輛產生互相干擾或影響的現象，並同時也會受到邊界條件包括車道數目、車道寬度、路肩淨寬、靠近路障程度等設計所影響。影響隧道區段車流運作之因素相當多，其中主要因素包括：

- (1) 幾何設計：如車道數、車道寬度、曲率、坡度及車道距離隧道壁面之距離。
- (2) 車流狀況：如車流之需求、車種之組成、駕駛人行為。
- (3) 照明度
- (4) 事故
- (5) 隧道維修或養護作業
- (6) 車流控制與管理措施

本研究針對上述影響隧道內車流運作之因素，以國道五號為例，說明其車種組成、幾何特性、車流控制與管理措施。

1. 車種組成

依據收費法規規範，我國收費車種可分為小客車、小貨車、大客車、大貨車及聯結車，惟偵測器所蒐集車輛類型為小型車、大型車及聯結車，且目前現行法令規定雪山隧道僅開放小型車通行，暫不開放大型車通行，故該路段之偵測器亦以小型車為車種之主要。

2. 幾何特性

國道五號其中之一的雪山隧道雖非世界排名最長之隧道，卻是目前世界上規模最大之雙孔結構公路隧道。鑒於隧道之半密閉行車空間及相關法規規定皆有別於一般開放路段。例如：在幾何特性方面，隧道幾何設計與一般路段最主要之差異有側向淨寬及隧道淨高，隧道之側向淨寬扣除行人步道後亦無路肩

2.2 車流理論

一般車流基本模式可分為微觀 (Microscopic) 與巨觀 (Macroscopic) 兩種模式，微觀車流模式視車輛為獨立質點，主要是在探討個別車輛的運行特性；巨觀車流模式探討車流整體之運行特性：如流量、密度、平均速度，使用平均、總和的觀念，發展出流量、速度、密度三個基本變數之間的數學關係式。

流量、密度和速度是車流理論中三個重要的參數，本節就流量、密度和速度三要素之基本定義加以說明 [18]，有關國道五號之速度、流量、密度關係及車流模式建構可參見第三章說明。

2.2.1 流量、密度和速度三要素之基本定義

➤ 車流量(率)

1. 流量(Flow, Q)：

流量係指一段時間內通過單一車道或多車道某特定斷面之車輛數。流量單位通常為每小時通過車輛數 (輛/小時) 或每車道每小時通過車輛數 (輛/小時/車道)。

2. 流率(Rate of Flow)：

流率為單位時間內通過一定點的車輛數或人數，相當於一小時內通過定點單一車道或多車道某特定斷面之車輛數。一般量測單位以小於一小時為宜 (通常為 15 分鐘)，但不管量測單位為何均需要轉換為一個小時的量。

➤ 速度 (Speed, U)

係指單位時間內所行駛或移動的距離，單位通常為每小時所行駛的公里數

(km/hr)，根據台灣地區公路容量手冊〔4〕的定義，一般可分為時間平均速率 (Time-Mean Speed, TMS) 及空間平均速率 (Space-Mean Speed, SMS)。

1. 時間平均速率 (Time-Mean Speed, TMS)

時間平均速率係指在某一瞬間內，通過某一特定點之各車輛行駛速率的算術平均數，其數學式為：

$$U_t = \frac{\sum U_i}{n} \quad (2.1)$$

其中， U_t ：時間平均速率

U_i ：車輛 i 的瞬間速率 (Spot Speed)

n ：車輛數

2. 空間平均速率 (Space-Mean Speed, SMS)

又稱為平均旅行速率 (Average Travel Speed)，意指車輛或車隊通過某路段的距離與所需時間的比值，其數學式為：

$$U_s = \frac{D}{\sum t_i / n} = \frac{n}{\sum (1/U_i)} \quad (2.2)$$

其中， U_s ：空間平均速率

D ：旅行距離

t_i ：旅行時間



一般利用雷達測速器和偵測器所量出的速率稱為現點速率 (Spot Speed)，係指在某一瞬間內，某一特定地點之車輛行駛速率。由現點速率的算術平均數可得時間平均速率，現點速率的幾何平均數可得空間平均速率，一般而言時間平均速率會大於空間平均速率。而在本研究中所指的速率，是透過偵測器所量出的速度則為空間平均速度。

➤ 密度 (Density, K)

其定義為在單一車道或多車道中單位長度內之車輛數，單位通常為輛 / 公里或輛 / 公里 / 車道。然而要直接測量出密度是相當不容易的工作，除非能利用拍照或攝影道路上某路段，方能計算出密度值。通常間接透過下列三種方式求得密度：1. 由典型的車流模式求算；2. 透過佔有率之量測推導而得；3. 透過車間距及線點速率之量測推導而得。

流量、密度、速率三個車流基本要素之間維持著以下的關係：

$$Q = K \times U \quad (2.3)$$

式 (2.3) 表示車流量由車流密度及速率決定之，但在實際的車流測量工作上，流量與速率較車流密度容易量測，所以通常車流密度需藉由流量與速率求

得。圖 4 為流量-密度-速率三者的關係圖。於圖 4 中，假設速率與密度為一線性關係，圖中 q_m 為最大流量、 k_m 為最大流量時之密度、 u_m 為最大流量時之速率、 u_f 為自由車流時之速率（freespeed）及 k_j 為最大擁擠密度（jam density）。

在車流理論方面，以流量 Q （單位為 vehicle/hr）、密度 K （單位為 vehicle/km）及速率 U （單位為 km/hr）之間的關係 $Q = K \times U$ ，以圖 4 說明密度與流量之關係，其斜率代表自由速率。

由圖 4 當車流密度達 k_m ，即平均速率為 u_m 時，路段之流量可達到最大值，此一最大流量即為該路段之容量。另一方面，我們也來探討流量與速率之間的關係。當車流量 $q=0$ 時，速率為 u_f 稱為自由車流速率；隨著車流量 q 漸漸增加，速率 u 逐漸下降；當流量達到 q_{max} 時，速率達到最適速率 u_m ；但當車流密度大於 k_0 ，流量 q 及速率 u 都減少，這個現象表示已進入壅塞狀態，直到最後壅塞不動時 q 及 u 都等於零。其相關圖形如圖 2.1 所示。

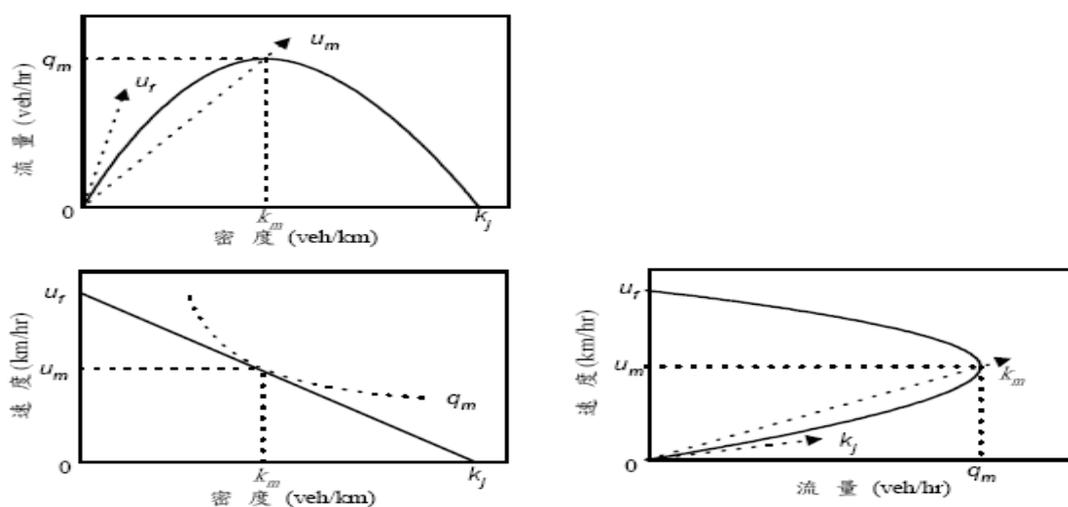


圖 2.1 流量-密度-速率關係圖

2.2.2 巨觀車流理論

巨觀車流理論主要是將車輛運行特性視為一種流動現象，早期多採用空中影像拍攝技術，觀察車流整體行為特性，並以質化描述車流現象，進而描繪車流密度與速度的關係，然而此法不符經濟效率，一般化程度較低，若要建構車流相關的模型，仍須蒐集相關資料，如 Greenshields 於 1934 年觀察俄亥俄州的二車道公路，獲得 7 個觀察點，圖 2.2 所示，建立密度與速度的線性關係。

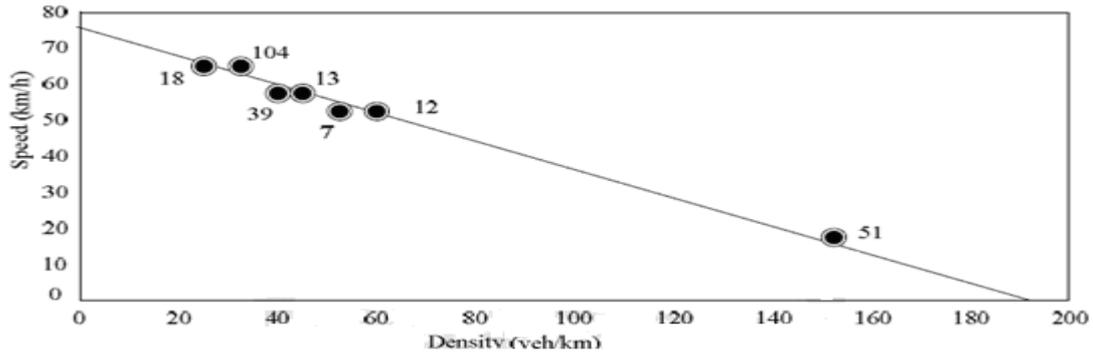


圖 2.2 Greenshields 速度－密度關係圖 資料來源：Greenshields (1935)

1960 年代初期，車流研究開始利用輸入－輸出法，透過進入點到離開點的距離與時間關係，求算密度與速度關係，其適用在單一車道且無超車行為下，因此應用不廣。另一方面，有利用流量與速度去推導密度，如式

$$k=q/u$$

其中， k 為密度(veh/hr)、 q 為流量(veh/hr)、 u 為空間平均速率(km/hr)，該方法須假設在恆等式成立下，因此在混合車流下是否同樣適用，仍需進一步討論。

在巨觀車流模式的構建上，主要可分為兩大方法[11]：其一利用觀測的流量、密度與速度，以數學迴歸法配適最佳曲線；另一則利用動力波推導之波動方程模式。茲簡述如下：

1. 數學迴歸法：

該方法是以觀察到的流量、密度與速度資料，利用配適曲線求算其關係式，又分成單一階段模式 (Single-Regime Models) 與多階段模 (Multi-Regime Models)。前者為一連續的曲線，如 Greenshields、Greenberg、Underwood、Northwestern University、Pipes-Munjjal 模式等，表 2.4；後者將曲線分成多階段校估其曲線，如 Edie、Northwestern University 的多階段模式，表 2.5，而如何去決定中斷點為其主要的困難點。

表 2.2 單階巨觀車流模式

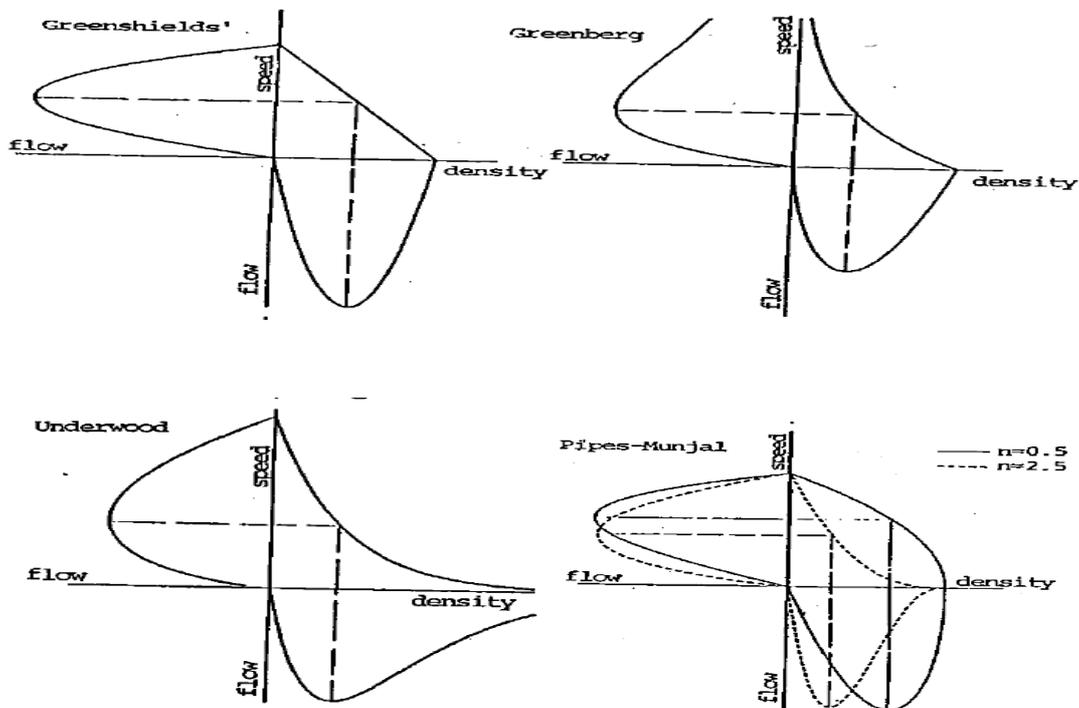
發展者	模式	適用範圍及特色
Greenshields	$U = U_f \times (1 - \frac{K}{K_j})$	速度與密度為線性關係
Greenberg	$U = U_m \times \ln(1 - \frac{K_j}{K})$	1. 速度與密度的對數關係式 2. 適用於擁擠車流
Underwood	$U = U_f \times e^{-\frac{K}{K_m}}$	1. 速度與密度為指數關係 2. 適用於低密度車流
Northwestern	$U = U_f \times e^{-\frac{1}{2}(\frac{K}{K_m})^2}$	1. 在高密度車流狀態具有凹型的U-K關係；在低密度時具有凸型的U-K關係 2. 不適合描述擁擠的車流狀況
Drew	$U = U_f \times [1 - (\frac{K}{K_j})^{\frac{n-1}{2}}]$	以 Greenshields 模式為基礎推導出的車流模式通式
Pipes & Munjal	$U = U_f \times (1 - \frac{K}{K_j})^n$	推導出單一階段車流曲線模式更一般化的通式

參數說明 U：速度 K：密度
 U_f：自由速率 K_j：擁擠密度
 U_m：臨界速率（車流量最大時） K_m：臨界密度

資料來源：May (1990)



一般單階模式曲線關係圖



資料來源[2]

表 2.3 多階巨觀車流模式

多階段車流模式	自由流區段	過渡區段	擁擠區段
Edie 模式 (1961)	$u = 54.9e^{\frac{-k}{163.9}}$ ($k \leq 50$)	—	$u = 26.8 \ln\left(\frac{162.5}{k}\right)$ ($k \geq 50$)
兩階線性模式 (1967)	$u = 60.9 - 0.515k$ ($k \leq 65$)	—	$u = 40 - 0.265k$ ($k \geq 65$)
修正 Greenberg 模式 (1967)	$u = 48$ ($k \leq 35$)	—	$u = 32 \ln\left(\frac{145.5}{k}\right)$ ($k \geq 35$)
三階線性模式 (1967)	$u = 50 - 0.098k$ ($k \leq 40$)	$u = 81.4 - 0.913k$ ($40 \leq k \leq 65$)	$u = 40.0 - 0.265k$ ($k \geq 65$)

資料來源：May (1990)

巨觀車流理論可利用數學迴歸配適出最佳曲線建構出車流模式，間接求出容量，過程如下：

- (1) 將蒐集資料建立出密度-速度關係圖
- (2) 利用迴歸分析校估參數，求出速度-密度回歸式
- (3) 利用速度-密度模式 $U = U_f \times \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$ 代入 $Q=U \times K$ 的基本關係，

$$\therefore Q = U_f K \times \frac{U_f}{k_j} K^2 \quad \text{求出流量-密度關係式}$$

- (4) 將所建構之流量-密度關係式，利用微分方式推算出最大流量 (Q_m) 所對應之臨界密度 (K_m)，再利用流量-速度關係式與邊界條件推算出最大流量 (Q_m) 所對應之臨界速度 (U_m)，最後進而求得隧道容量 $Q_m = K_m * U_m$ 。

2. 波動方程式：

車流的波動方程式又稱為連續方程式，最早由 Lighthill 與 Whitham 於 1955 年提出，其將車流視為一維空間的可壓縮流體，並以守恆方程式推導出波動方程式，式 (2.3)，Richards 於 1956 年亦提出類似的車流理論，因此，一階連續波動方程，又被稱為 LWR 模式。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2.4)$$

其中 k (密度) 與 q (流量) 為 x (距離) 與 t (時間) 的函數，即 $k = f(x, t)$ 、 $q = g(x, t)$ 。假設速度為密度的函數 $u = f(k)$ ，則守恆方程可被改寫成式

$$[f(k) + k \frac{dk}{df}] \frac{\partial k}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0 \quad (2.5)$$

波動理論假設 $u=f(k)$ 的關係式，然而速度並非即時反映密度的改變，而會存在某段延滯時間才反應在下游車流之中，此外，運動學的波動理論會有突然性的變化，而在車流卻以漸進式的改變，產生所謂的遲滯現象（hysteresis phenomena）。由於一階波動方程假設車流為連續性，因此當流量不高時，理論的應用上也會有錯誤(Kuhne & Michalopoulos, 1992)。為解決一階波動方程不合理的假設，Whitham (1974) 和 Payne (1979) 加入動量方程，發展成高階波動方程。其假設速度會受到駕駛者反應時間的影響，並計算車輛在加速及慣性作用的動態效果，如式(2.6)。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{\tau} [U_e(k) - u] - c_0^2 \frac{k_x}{k} \quad (2.6)$$

其中， $U_e(k)$ 為速度與密度的關係式， τ 為車流改變至均衡狀態的延滯時間，右式第一項代表車流具有移動到均衡狀態的傾向，第二項則反映駕駛者行為會根據前方車流狀況不同而改變。高階波動方程的結果會比一階模式更接近實際狀況，然而其求解過程相較更為繁複。

該方法係在一定假設之下，以理論推演的方式，搭配蒐集的車流相關資料，推導車流行為模式。其一般化程度高、重複應用性大，且耗費時間與成本較少，但真實性不高，且推導後的模式僅能解釋車流行為狀態，無法充分描述個別車輛行為現象。

2.3 容量定義

2.3.1 理想狀況下容量

指「在理想道路、交通與管制狀況下，單位時間通過某一特定地點或某路段之最大小時流率」，「理想狀況」指無法再以任何改進措施增進路段容量之狀況，其定義如下：

- (1) 每一車道寬度不小於12 英尺(3.6 公尺)
- (2) 外側車道邊緣距最近建築物或障礙物(含中央分隔島)間的側向淨寬在6英尺(1.8 公尺以上)
- (3) 多車道公路設計速率為70mph(112 公里/小時)，雙車道公路設計速率為60 mph(98 公里/小時)
- (4) 車流中僅含小客車
- (5) 道路設施良好
- (6) 無交通事故發生
- (7) 天候良好
- (8) 平坦道路，即無坡道

2.3.2 實際狀況下容量

但在多數情形下，現有道路與交通狀況未能達到「理想狀況」，因此必須就實際狀況加以調整。即所謂實際狀況下容量，指「在現有道路與交通狀態下，某車道或某一特定路段單位時間內可通過最大車量數」。因此，在實際狀況下容量，需依道路本身實質條件、交通狀況與理想狀況下之差異，修正路段基本容量。其方法乃將基本容量乘上一系列調整因子，一般採用方法如下：

$$SF_i = MSF_i \times N \times F_w \times F_{hv} \times F_p$$

其中：

SF_i ：指 i 級服務水準時， N 車道單方向在現有交通與道路狀態下之服務流率，單位為 vph

MSF_i ：指在理想狀態下 i 級服務水準時，基本路段單車道單方向服務流率，單位為 pcphpl

N ：車道數

F_w ：車道寬與側向淨寬調整因子

F_{hv} ：重型車輛調整因子

F_p ：駕駛人所屬群體調整因子

2.3.3 容量推估之方法

容量推估之主要方法有四種，說明如下：

1、流量~密度~速率(k~Q~U)關係曲線配試法

本法屬巨觀方法，藉由實際調查所獲得之車流特性資料，建立「流量~密度~速率」關係式，進而建立車流模式，而後由「流量~速率」曲線之轉折點，找出容量與臨界速率；其特點：

- (1) 需大量實測資料用來配試適當之曲線
- (2) 觀測點之散佈趨勢可能是多階段而非單階段，若為多階段則其尋優過程相當複雜。

2、間距量測法

本法屬微觀方法，假設車流由「穩定車流」與「擁擠車流」共同組成，以兩者之間之臨界情況為取樣基礎，由現場觀測所得之個別車輛間距分配加以分析，以「最小平均安全間距」推估容量。

3、極值法

本法之基本理念在於公路流量達到飽和流量為瞬間發生之狀況，並不會一直延續，故此法將調查時段分成適當單位時間，以求取某特定時段內之最高單位時間流率(極值)，再將該極值放大為小時流量以估計容量。極值法之優點為資料蒐集分析十分容易，缺點則若選取之單位時間太短，會產生容量高估情形，選取之單位時間太長，會產生容量低估情形。

4、模擬法

由於車流特性、交通特性極為複雜，調查現場不易控制，且調查成本相當高，故有相關研究運用電腦來模擬道路狀況，應用模擬法來進行容量推估。

模擬法之優點為成本低且可進行各項敏感分析，缺點為模擬模式愈接近真實則愈複雜，任何假設、校估、驗證過程若稍有偏誤，都將造成錯誤結果，此乃使用模擬法時應

2.4 隧道路段分析相關研究

簡俊能等[12]以汐止系統交流道至土城交流道為例，針對高速公路隧道群(區)路段特殊的道路型態，探討車流所產生的變化及對行車安全的影響情形。發現隧道群(區)各區段有以下幾個特徵：

- (1)車流量受到鄰近市鎮地理位置及鄰接要道之影響而有所不同。
- (2)各時段流量在上、下午尖峰時段有明顯增加情形。
- (3)若大型車違規行駛內側車道進而對隧道內整體行車速率有相當衝擊與影響。
- (4)隧道內行駛速率明顯比隧道外低。
- (5)一般日間時段隧道內行車速率差異不大，尖峰時段及深夜其差異頗大。
- (6)隧道出口臨近交流道路段，在上下午尖峰時段，車流量多甚至回堵至主線或隧道內。

對行車安全影響方面也發現幾個重點：

- (1)隧道路段及臨近隧道路段受道路封閉之特性、光線變化及執法困難之影響，產生駕駛行為改變，肇事率明顯偏高。
- (2)隧道出口臨近交流道路段為易肇事地點所在，多因未保持安全距離或未注意前方動態而發生追撞事故。
- (3)臨近隧道路段因光線變化及雨天之關係，對駕駛者有極大影響。

林豐博等[19]以北宜高速公路為例，針對高速公路隧道群(區)特殊路段的道路型態，探討車流所產生的變化影響情形。發現其隧道群(區)各區段有以下幾個特徵：

- (1) 雪山隧道容量約只有 740vphpl 其歸因於跟車距離 50m 的交通管制。
- (2) 國道五號在交通順暢時，開放路段平均車速都大於 80km/hr，很少低於 70 km/hr。
- (3) 當流量小於 700vphpl 時，平均速度也都大於 70 km/hr，但不超過 80km/hr。
- (4) 當跟車距離大於 90m 時，車流量都可維持穩定，車速至少都 60 km/hr。
- (5) 隧道入口前一公里，平均車速至少都 60 km/hr，且車距都大於 50 km/hr。
- (6) 調查發現當 headway $\leq 80m$ 時，平均速度便有下降的趨勢，顯示兩者有相互關係，且很難保持跟車距離 50m。

- (7) 當平均車速 ≤ 60 km/hr 時，跟車距離很難達到雪隧要求的 50m，且當平均車速 ≤ 60 km/hr 時，跟車距離甚至下降到 10m。

殷鼎棋[13]藉由蒐集、調查高速公路隧道路段的車流特性資料，探討隧道路段服務水準的瓶頸地點做為主要的評估對象，據以建立高速公路隧道路段車流模式並進行容量推估，最後研擬隧道路段服務水準評估程序與方法，發展出一套適合我國車流特性的高速公路隧道路段容量與服務水準評估方法。研究結果發現隧道路段各時段各處各車道之平均速率皆為內側車道大於中間車道大於外側車道；擁擠車流時，以隧道入口處之速率最低，愈往隧道出口處的方向行駛則速率愈高；服務水準最差地點並非固定，而是隨著流率的大小而變。

蘇振維等[2]藉由蒐集、調查國道五號隧道路段的車流特性資料，研析雪山隧道車流特性，得出以下結論：

- (1) 尖離峰時段部分：有明顯南下北上車流具方向性、尖峰日與尖峰時段，尖峰時段更持續長達 8 至 10 小時。
- (2) 駕駛車速特性部分：車流在進入隧道開始處，車流速率會受隧道影響而降低，駕駛者在行駛隧道約 10 公里適應後，此一影響便會消失，而提高行駛速率。
- (3) 車道容量值部分：雪山隧道路段之內外車道容量值並不相同（南下內側車道約為 1,200pcphpl，外側車道約為 1,100pcphpl；北上內側車道約 1,000pcphpl，外側車道約為 950pcphpl），僅為一般高速公路容量之 50% 強；速率流量曲線中最高流量下之速率約為 30-55kph，也僅約台灣西部高速公路約 60kph 的 75%。在前述駕駛適應點（南下、北上均發生在進入隧道約 10 公里處）以後之偵測點，其速率流量曲線將不會發生低流量低速率的車流，此一特性對容量之影響值得繼續深入研究。
- (4) 隧道內前中後路段流量及速率是否具一致性：經隧道前中後路段流量及速率成對檢驗，發現同一 5 分鐘之流量較無顯著差異，而速度在各區段均有顯著差異。
- (5) 內側車道流量及速率是否大於外側車道部分：根據檢定結果顯示，內側車道流量及速率均在統計上顯著大於外側車道，此與一般駕駛習慣有關，行駛速率較快者，會選擇內側車道，行駛速率較慢者，會選擇外側車道，且反映在實際行駛速率上。

2.5 文獻評析

由上述隧道路段分析相關研究整理發現，若大型車違規行駛內側車道對隧道內整體行車速率有相當衝擊與影響，且隧道內行駛速率明顯比隧道外低，而車流量多且隧道出口臨近交流道路段時，甚至回堵至主線或隧道內。

在高速公路隧道路段的車流特性資料發現：隧道路段各時段各處各車道之平均速率皆為內側車道 > 中間車道 > 外側車道，且在擁擠車流時，以隧道入口處之速率最低，愈往隧道出口處的方向行駛則速率愈高。

在研析雪山隧道車流特性則發現：尖離峰時段部分有明顯南下北上車流具方向性的差異，且車流在進入隧道開始處，車流速率會受隧道影響而降低，駕駛者在行駛隧道約 10 公里適應後，此一影響便會消失，而提高行駛速率，其速率流量曲線將不會發生低流量低速率的車流，而雪山隧道容量甚低，其原因判斷出跟車距離 50m 的交通管制，將是導致容量甚低主因。



第三章 國道五號實體配置與斷面區位選擇

3.1 國道五號之實體配置

高速公路隧道路段由於隧道環境特性、法令規定與一般開放路段不同，故在車輛進入隧道路段時其駕駛行為特性會產生變化。為瞭解長短不同隧道其車流特性，本章節首先針對車流到達實體配置之位置進行資料蒐集，包含隧道路段、開放路段之位置以及其車道數與車道寬，交流道位置與形式，收費站位置與收票口匝道數，再者，篩選車流偵測器（流量、速度）之分析斷面，進而分析車流相對關係，以利後續車流模式之建立。

3.1.1 國道五號之設施配置

一、隧道設施配置：

全線雙向共五座隧道(其中另一座為棚架式明挖隧道南下)，包括南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道及雪山隧道雙向五座。

其中南下隧道長度(m)排序為雪山隧道(12924.6)、彭山隧道(3861.2)、石碇隧道(2697.6)、南港隧道(456)、烏塗隧道(215.63)。

北上隧道長度(m)排序為雪山隧道(12954.46)、彭山隧道(3806.4)、石碇隧道(2720)、南港隧道(331)、烏塗隧道(247.29)。

表 3.1 國道五號各隧道起迄里程位置

方向	隧道名稱	起點里程	終點里程	長度(m)	車道數/單向
南下	南港隧道	0.245	0.7	456	二車道
	棚架式明挖隧道			89.4	二車道
	石碇隧道	0.803	3.5	2697.6	二車道
	烏塗隧道	7.695	7.911	215.63	二車道
	彭山隧道	9.439	13.3	3861.2	二車道
	雪山隧道	15.2	28.15	12924.6	二車道
北上	南港隧道	0.71	0.255	331	二車道
	石碇隧道	3.51	0.79	2720	二車道
	烏塗隧道	7.93	7.682	247.29	二車道
	彭山隧道	13.297	9.491	3806.4	二車道
	雪山隧道	28.112	15.2	12954.46	二車道

二、開放路段配置：

開放路段主要以隧道與隧道間的配置、隧道與交流道間之配置及隧道至收費站之配置，分成南下與北上兩個配置。

主要配置如下：

表 3.2 國道五號各開放路段起迄里程位置

開放路段(南下)	起點里程	終點里程	長度(m)	車道數/單向
南港交流道至南港隧道	0	0.245	245	二車道
南港隧道至石碇隧道	0.7	0.803	103	二車道
石碇隧道至烏塗隧道	3.5	7.695	4195	二車道
烏塗隧道至彭山隧道	7.911	9.439	1528	二車道
彭山隧道至雪山隧道	13.3	15.2	1900	二車道
雪山隧道至頭城收費站	28.15	29.669	1519	二車道
頭城收費站至蘇澳交流道	29.669	54.33	24661	二車道

開放路段(北上)	起點里程	終點里程	長度(m)	車道數/單向
南港交流道至南港隧道	0.255	0	255	二車道
南港隧道至石碇隧道	0.79	0.71	80	二車道
石碇隧道至烏塗隧道	7.682	3.51	4172	二車道
烏塗隧道至彭山隧道	9.491	7.93	1561	二車道
彭山隧道至雪山隧道	15.2	13.297	1903	二車道
雪山隧道至頭城收費站	29.669	28.112	1557	二車道
頭城收費站至蘇澳交流道	54.33	29.669	24661	二車道

三、交流道設施配置：

全線設置區分為南港頭城段與頭城蘇澳段共九處交流道，且各交流道形式也不盡相同。其中南港與頭城為喇叭型，蘇澳為 Y 型之外，其餘交流道形式皆為鑽石型。

以下將分別介紹各交流道的統一里程與型式(表 3.3)

路段	交流道	統一里程	型式
南 港 頭 城 段	南港交流道	0k	喇叭型
	石碇交流道	4K+033	鑽石型
	坪林行控中心專用道	14K+683	鑽石型
	頭城交流道	29K+700	喇叭型
頭 城 蘇 澳 段	宜蘭（北）交流道	36K+190	鑽石型
	宜蘭（南）交流道	41K+090	鑽石型
	羅東（北）交流道	45K+540	鑽石型
	羅東（南）交流道	47K+790	鑽石型
	蘇澳交流道	54K+330	Y 型

國公局提供

3.1.2 國道五號之線形配置

一、車道數與車道寬

國道五號主要由南港頭城段與頭城蘇澳段所組成，兩段雙向都是兩車道且南港頭城段車道寬 3.5m 而頭城蘇澳段車道寬 3.65m。

二、縱坡度與曲率設計

國道五號共區分八個路段，各路段檢核項目包含了最小半徑(M)、停車視距(M)、超高(%)、最大縱面坡度(%)等數值，以及相對可滿足速率。

表3.4縱坡度與曲率設計表

北宜高里程	0~300		300~3+600		3+600~4+800		4+800~14+300	
路段類別	南港系統交流道				石碇交流道			
路段長度(M)	300		3300		1200		9500	
設計速率(KPH)	80		80		80		80	
檢核項目	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)
最小半徑(M)	-	-	1000	120	700	120	400	100
停車視距(M)	-	-	154	90	129	80	98	70
超高(%)	2	120	3.4	103	4.5	100	6.6	93
最大超高漸變率	-	120	1/324	120	1/294	120	1/268	110
最大縱面坡度(%)	1.065	120	1.304	120	2.205	120	5.0	80
K 值	419	120	70	120	70	120	50	80

北宜高里程	14+300~15+200		15+200~28+150		28+150~29+400		29+400~30+800	
路段類別	坪林交流道		雪山隧道				頭城交流道	
路段長度(M)	900		12950		1250		1400	
設計速率(KPH)	80		80		80		80	
檢核項目	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)	數值	可滿足速率(KPH)
最小半徑(M)	600	110	1000	120	700	120	1250	120

停車視距(M)	119	80	159	100	129	80	168	100
超高(%)	5.1	100	3.4	100	4.5	100	2.8	104
最大超高漸變率	1/312	120	1/381	120	1/381	120	1/272	110
最大縱面坡度(%)	3.578	120	1.257	120	4.075	90	0.905	120
K 值	86	120	-	-	57	80	167	120

資料來源：國公局提供

三、國5平曲線與豎曲線統計表

國道五號以順樁方向為依據，起迄樁代表國道五號各起訖點的里程，以下為國道五號各路段之平曲線(半徑)與豎曲線(縱坡度)之統計資料。其中平曲線半徑數值為正代表為上凸曲線，數值為負為下凹曲線；坡度數值為正代表由起樁到迄樁為上坡，坡度數值為負代表為下坡。

在下表中發現曲率半徑小於1000者發生在起迄樁號(半徑數值)，代表如下：4.384(700)、5.879(-755)、6.485(400)、7.337(-400)、8.055(700)、8.863(700)、13.287(950)、14.157(600)、28.584(-700)，以上幾處由於曲率半徑較小，所以彎曲較大。

坡度大於3%者發生在起迄樁號(坡度數值)，代表如下：4.670(+5.000%)、5.633(+4.000%)、13.333(-3.578%)、28.213(-4.075%)、32.850(+3.700%)，以上幾處為坡度較大的地方。

表3.5平曲線與豎曲線統計表

項次	平曲線(半徑)				豎曲線(縱坡度)			
	起樁號	迄樁號	長度	半徑	起樁號	迄樁號	長度	坡度
1					0.000	0.493	0.493	+1.300%
2	0.380	2.253	1.873	+2238	0.493			+0.500%
3	3.343	3.617	0.274	-1000				+0.500%
4	4.384	4.617	0.233	+700		4.670	4.177	+0.500%
5					4.670	4.883	4.390	+5.000%
6					4.883	5.633	0.750	+1.500%
7	5.879	6.220	0.341	-755	5.633			+4.000%
8	6.485	6.615	0.130	+400		6.883	1.250	+4.000%
9	7.337	7.574	0.237	-400	6.883	7.533	0.650	+1.390%
10	8.055	8.187	0.132	+700	7.533			+2.493%
11	8.317	8.780	0.463	+1100		8.713	1.180	+2.493%
12					8.713			+1.894%

13	8.863	9.013	0.150	+700		9.362	0.649	+1.894%
14					9.362			+0.800%
15	9.402	9.754	0.352	-1000				+0.800%
16	10.114	10.780	0.666	+1250				+0.800%
17	11.163	12.968	1.805	-1600				+0.800%
18	13.287	13.544	0.257	+950		13.333	3.971	+0.800%
19					13.333			-3.578%
20	13.793	13.904	0.111	-1000				-3.578%
21	14.157	14.437	0.280	+600		14.523	1.190	-3.578%
22					14.523			-1.257%
23	15.216	15.490	0.274	-1500				-1.257%
24	15.232	15.506	0.274	-1500				-1.257%
25	15.823	16.045	0.222	+1500				-1.257%
26	16.452	18.621	2.169	-5025				-1.257%
27	20.492	22.011	1.519	+4975				-1.257%
28	23.269	24.323	1.054	-5025				-1.257%
29	26.402	27.530	1.128	+2500				-1.257%
30	28.130	28.287	0.157	+1000		28.213	13.690	-1.257%
31					28.213			-4.075%
32	28.584	28.857	0.273	-700		28.713	0.500	-4.075%
33					28.713			-0.917%
34	29.742	30.430	0.688	+1250		30.781	2.068	-0.917%
35					30.781	31.280	0.499	+0.350%
36	31.284	31.311	0.027	+1228	31.280			-0.457%
37	31.618	31.700	0.082	-1527				-0.457%
38	31.715					32.305	1.025	-0.457%
39					32.305	32.850	0.545	+0.280%
40					32.850	33.300	0.450	+3.700%
41		33.623	1.908	-1500	33.300			-0.344%
42						34.042	0.742	-0.344%
43					34.042	34.727	0.685	+0.571%
44					34.727	35.730	1.003	-0.300%
45					35.730			+0.364%
46	35.993	36.284	0.291	-2700		36.830	1.100	+0.364%
47	36.851	37.356	0.505	+2400	36.830	37.380	0.550	-0.545%
48					37.380			+1.167%
49	37.910					38.280	0.900	+1.167%

50					38.280	38.880	0.600	-1.374%
51		38.919	1.009	-2500	38.880			+0.349%
52	39.496					39.737	0.857	+0.349%
53		40.143	0.647	+2500	39.737	40.630	0.893	-0.434%
54	40.721				40.630	41.230	0.600	+0.583%
55		41.240	0.519	-2500	41.230	42.230	1.000	-0.550%
56					42.230	43.390	1.160	+1.345%
57					43.390	44.230	0.840	-1.235%
58					44.230	44.582	0.352	-0.300%
59					44.582	45.230	0.648	-0.300%
60	45.630	45.730	0.100	-3000	45.230			+0.333%
61	45.090					45.980	0.750	+0.333%
62		46.405	1.315	-4200	45.980	46.980	1.000	-0.300%
63					46.980	47.730	0.750	+0.333%
64					47.730			-0.300%
65	48.620					48.730	1.000	-0.300%
66		49.037	0.417	-2500	48.730	49.220	0.490	+0.400%
67					49.220	49.810	0.590	+2.951%
68	49.937				49.810	50.410	0.600	-2.926%
69		50.640	50.640	+2000	50.410	51.230	0.820	-0.347%
70					51.230			+0.314%
71	51.551	52.078	0.527	-3500		52.980	1.750	+0.314%
72					52.980			+0.600%
73	53.359					54.409	1.429	+0.600%
74		54.727	1.368	-4000	54.409	54.824	0.415	+1.350%

註1.以順樁號方向為依據。

高公局提供

2.R>5500者不列入統計。

3.1.3 國道五號車流管制措施

一、速限限制：

國道五號高速公路通車以來，因每逢假日車流量大，且因車速限制在七十公里，成為假日大塞車的主要原因，自九十六年十月一日起國道五號高速公路的行車速限再放寬，宜蘭縣頭城到台北南港間，除雪山隧道仍舊維持速限70公里、可行駛80公里外，其餘路段速限都放寬為80公里，可行駛90公里。

據了解，高公局同意分兩階段再提高北宜高速公路的行車速限；十月一日起先實施雪山隧道以外的路段，速限放寬為80公里，可行駛90公里，等大客車通行後，年底前再提高雪山隧道內的行車速限，希望能將現行速限70公里調高為80公里、可行駛90公里為目標。

國道五號各主要路段速限(96.10.1.起更新適用)

路線	路段	速限(公里/小時)
國道五號 	頭城交流道以北	80
	頭城交流道以南	90

註1:國道5號雪山隧道速限為每小時70公里。

註2:施工、收費站區等特殊路段與一般路段不同，行車時請依速限標誌指示行駛。

二、車流限制：

由於隧道為一特殊空間，與一般開放路段截然不同，具有長公路隧道的封閉性、情況不明性、聯絡與救援困難等特性存在，使得一旦發生擁擠或事故時，易引發重大死傷或災害。國道五號現階段規定禁止下列七項進入：

- (1) 行人
- (2) 慢車、機器腳踏車
- (3) 非屬汽車範圍之動力機械
- (4) 裝載危險物品之車輛
- (5) 裝載超長、超寬、超高、超重之車輛及砂石車
- (6) 排放超量廢氣或濃煙之車
- (7) 其他經公告禁止及限制可能危及隧道安全之車輛

而雪山隧道有主要四個交通管制措施：[21]

- (1) 雪山隧道在行車安全規定方面，車輛進入隧道內一律應開車頭燈，並規定進入隧道後禁止變換車道。
- (2) 正常情形下應保持最大速限每小時70 公里。
- (3) 50 公尺以上之行車安全距離，若因隧道內道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時20公里或停止時，仍應保持20公尺以上安全距離。
- (4) 禁止大型車通過雪山隧道，以避免增加肇事的機會。

(初期通車僅限小型車通行，自2007年11月15日起開放大客車通行)。

而國道五號「石碇交流道至頭城交流道」雙向採二階段通車，第一階段(通車初期)只開放小型車輛通行，不開放大貨車通行，且視通車狀況決定第二階段開放大客車通車時程，而開放大客車通行前仍將先對大客車駕駛施以相關教育訓練，故仍應俟小型車通車一段時間後，視通車狀況決定開放大客車之時程。因此，本研究時間背景下的內容只有小型車輛能通行，故無須轉換小客車當量數。

3.1.4國道五號偵測器之配置

北宜高速公路自國道3號銜接點(0K)起至蘇澳交流道(約54K)間，共佈設南下95處，北上97處偵測器，其中包含全線開放路段和石碇隧道、彭山隧道與雪山隧道三座隧道內的偵測器以及包括交流道的出入口部份和人行橫坑的

部份(以◎符號註記)，如：石碇交流道、坪林交流道、頭城交流道、宜蘭交流道、羅東交流道和蘇澳交流道，平均約 300~400 公尺即有一處偵測器。

表 3.6 各偵測器配製表

南下偵測器	里程數	編號(出入口)	北上偵測器	里程數	編號(出入口)
石碇隧道	1.072	S 石碇入口	開放路段	0.178	N1
石碇隧道	1.424	S 石碇 1/4	開放路段	0.706	N2
石碇隧道	1.766	S3	石碇隧道	1.068	N 石碇出口
石碇隧道	2.050	S 石碇 1/2	石碇隧道	1.435	N 石碇 3/4
石碇隧道	2.433	S 石碇 1/2	石碇隧道	1.788	N5
石碇隧道	2.835	S 石碇 3/4	石碇隧道	2.068	N 石碇 1/2
石碇隧道	3.178	S 石碇出口	石碇隧道	2.455	N 石碇 1/2
開放路段	3.506	S8	石碇隧道	2.849	N 石碇 1/4
石碇交流道	3.806	出口 S9	石碇隧道	3.198	N 石碇入口
開放路段	4.016	S10	石碇交流道	4.044	入口 N10
石碇交流道	4.178	入口 S11	開放路段	4.058	N11
開放路段	4.395	S12	開放路段	4.440	N12
開放路段	4.749	S13	石碇交流道	4.455	出口 N13
開放路段	5.523	S 石碇烏塗中間	開放路段	4.460	N14
開放路段	6.498	S15	開放路段	5.230	N15
開放路段	7.113	S16	開放路段	5.883	N 石碇烏塗中間
開放路段	7.553	S 烏塗鄰近入口	開放路段	6.413	N17
開放路段	7.923	S18	開放路段	7.113	N18
開放路段	8.669	S19	開放路段	7.636	N19
開放路段	9.063	S 彭山鄰近入口	開放路段	8.043	N 烏塗鄰近入口
彭山隧道	9.326	S 彭山入口	開放路段	8.703	N21
彭山隧道	9.840	S 彭山入口	開放路段	9.013	N22
彭山隧道	10.145	S23	彭山隧道	9.373	N 彭山出口
彭山隧道	10.495	S 彭山 1/4	彭山隧道	9.840	N24
彭山隧道	10.845	S25	彭山隧道	10.147	N25
彭山隧道	11.158	S 彭山 1/2	彭山隧道	10.506	N 彭山 3/4
彭山隧道	11.545	S 彭山 1/2	彭山隧道	10.866	N27
彭山隧道	11.895	人行橫坑◎S28	彭山隧道	11.178	N 彭山 1/2
彭山隧道	12.245	S 彭山 3/4	彭山隧道	11.555	N 彭山 1/2
彭山隧道	12.595	S30	彭山隧道	11.896	N30
彭山隧道	12.945	S 彭山出口	彭山隧道	12.238	N 彭山 1/4
開放路段	13.343	S32	彭山隧道	12.579	N32
開放路段	14.356	S 彭山雪山中間	彭山隧道	12.922	N 彭山入口

坪林交流道	14.483	出口 S34	開放路段	13.348	N 彭山鄰近入口
開放路段	14.540	S35	開放路段	13.763	N35
坪林交流道	14.691	入口 S36	開放路段	14.550	N 彭山雪山中間
開放路段	15.139	S 雪山鄰近入口	坪林交流道	14.583	入口 N37
雪山隧道	15.478	S 雪山入口	坪林交流道	14.683	出口 N38
雪山隧道	15.856	S39	開放路段	14.800	N 雪山鄰近出口
雪山隧道	16.201	S 雪山對應彭山 1/4	雪山隧道	15.488	N 雪山出口
雪山隧道	16.551	S41	雪山隧道	15.855	N41
雪山隧道	16.902	人行橫坑◎S42	雪山隧道	16.196	N 雪山對應彭山 3/4
雪山隧道	17.253	S43	雪山隧道	16.570	N43
雪山隧道	17.608	S44	雪山隧道	16.900	人行橫坑◎N44
雪山隧道	17.990	S45	雪山隧道	17.268	N45
雪山隧道	18.312	人行橫坑◎S46	雪山隧道	17.308	N46
雪山隧道	18.663	S 雪山 1/4	雪山隧道	17.998	N47
雪山隧道	19.013	S48	雪山隧道	18.313	人行橫坑◎N48
雪山隧道	19.363	S49	雪山隧道	18.662	N 雪山 3/4
雪山隧道	19.677	人行橫坑◎S50	雪山隧道	19.012	N50
雪山隧道	20.063	S51	雪山隧道	19.361	N51
雪山隧道	20.413	S52	雪山隧道	19.689	人行橫坑◎N52
雪山隧道	20.763	S53	雪山隧道	20.062	N53
雪山隧道	21.063	人行橫坑◎S54	雪山隧道	20.412	N54
雪山隧道	21.460	S 雪山 1/2	雪山隧道	20.752	N55
雪山隧道	21.807	S 雪山 1/2	雪山隧道	21.055	人行橫坑◎N56
雪山隧道	22.159	S57	雪山隧道	21.444	N 雪山 1/2
雪山隧道	22.506	人行橫坑◎S58	雪山隧道	21.808	N 雪山 1/2
雪山隧道	22.559	S59	雪山隧道	22.158	N59
雪山隧道	23.207	S60	雪山隧道	22.510	人行橫坑◎N60
雪山隧道	23.560	S61	雪山隧道	22.859	N61
雪山隧道	23.910	人行橫坑◎S62	雪山隧道	23.209	N62
雪山隧道	24.264	S63	雪山隧道	23.568	N63
雪山隧道	24.678	S 雪山 3/4	雪山隧道	23.911	人行橫坑◎N64
雪山隧道	24.962	S65	雪山隧道	24.264	N65
雪山隧道	25.312	人行橫坑◎S66	雪山隧道	24.677	N 雪山 1/4
雪山隧道	25.664	S67	雪山隧道	24.952	N67
雪山隧道	26.013	S68	雪山隧道	25.310	人行橫坑◎N68
雪山隧道	26.299	S69	雪山隧道	25.652	N69

雪山隧道	26.706	人行橫坑◎S70	雪山隧道	26.007	N70
雪山隧道	27.054	S 雪山對應彭山 3/4	雪山隧道	26.300	N71
雪山隧道	27.442	S72	雪山隧道	26.705	人行橫坑◎N72
雪山隧道	27.748	S 雪山出口	雪山隧道	27.056	N 雪山對應彭山 1/4
雪山隧道	28.236	S 雪山鄰近出口	雪山隧道	27.468	N74
頭城交流道	29.716	出口 S75	雪山隧道	27.779	N 雪山入口
開放路段	30.140	S76	頭城交流道	28.420	入口 N76
頭城交流道	30.249	入口 S77	開放路段	29.843	N 雪山鄰近入口
開放路段	30.266	S78	開放路段	30.100	N78
開放路段	32.618	S79	頭城交流道	30.407	出口 N79
開放路段	34.853	S80	開放路段	30.551	N80
宜蘭交流道	35.910	出口 S81	開放路段	32.743	N81
開放路段	37.270	S82	開放路段	34.898	N82
開放路段	39.776	S83	宜蘭交流道	35.868	入口 N83
開放路段	41.298	S84	開放路段	36.073	N84
宜蘭交流道	41.385	入口 S85	開放路段	37.225	N85
開放路段	42.269	S86	開放路段	39.686	N86
開放路段	44.207	S87	宜蘭交流道	41.370	出口 N87
羅東交流道	45.230	出口 S88	開放路段	42.359	N88
開放路段	46.561	S89	開放路段	44.252	N89
開放路段	48.040	S90	羅東交流道	45.162	入口 N90
羅東交流道	48.130	入口 S91	開放路段	45.240	N91
開放路段	49.115	S92	開放路段	46.516	N92
開放路段	51.138	S93	羅東交流道	48.130	出口 N93
開放路段	53.110	S94	開放路段	49.070	N94
蘇澳交流道	53.993	出口 S95	開放路段	51.095	N95
			開放路段	53.065	N96
			蘇澳交流道	54.080	入口 N97

表3.7為挑選偵測器位置與所對應的曲率半徑和坡度資料

偵測器編號(南下)	里程數	半徑(m)	坡度(%)	偵測器編號(北上)	里程數	半徑(m)	坡度(%)
S 石碇入口	1.072	2238	0.5	N 石碇出口	1.068	2238	0.5
S 石碇 1/4	1.424	2238	0.5	N 石碇 3/4	1.435	2238	0.5
S 石碇 1/2	2.05	2238	0.5	N 石碇 1/2	2.068	2238	0.5
S 石碇 3/4	2.835		0.5	N 石碇 1/4	2.849		0.5
S 石碇出口	3.178		0.5	N 石碇入口	3.198		0.5

S 石碇烏塗中間	5.523		1.5	N 石碇烏塗中間	5.883		4
S 彭山入口	9.326		1.89	N 彭山出口	9.373		0.8
S 彭山 1/4	10.495	1250	0.8	N 彭山 3/4	10.506	1250	0.8
S 彭山 1/2	11.158		0.8	N 彭山 1/2	11.178		0.8
S 彭山 3/4	12.245	-1600	0.8	N 彭山 1/4	12.238	-1600	0.8
S 彭山出口	12.945	-1600	0.8	N 彭山入口	12.922	-1600	0.8
S 彭山雪山中間	14.356	600	-3.578	N 彭山雪山中間	14.55		-1.275
S 雪山入口	15.478	-1500	-1.257	N 雪山出口	15.488	-1500	-1.275
S 雪山對應彭山 1/4	16.201		-1.257	N 雪山對應彭山 3/4	16.196		-1.275
S 雪山 1/4	18.663		-1.257	N 雪山 3/4	18.662		-1.275
S 雪山 1/2	21.807	1000	-1.257	N 雪山 1/2	21.808	4975	-1.275
S 雪山 3/4	24.678		-1.257	N 雪山 1/4	24.677		-1.275
S 雪山對應彭山 3/4	27.054		-1.257	N 雪山對應彭山 1/4	27.056		-1.275
S 雪山出口	27.748		-1.257	N 雪山入口	27.779		-1.275

註1：R>5500者不列入統計。

3.2 分析斷面之選擇

為瞭解國道五號隧道群內外之車流特性，本研究選定石碇、烏塗、彭山、雪山隧道，希冀透過實際資料蒐集與分析，了解隧道內外的車流特性變化情形。

在國道五號隧道群中，包含了開放路段、隧道路段、收費站與交流道等斷面，為了分析隧道長短對車流關係之影響，將分別詳細挑選各隧道與開放路段不同地方的斷面對車流關係的影響，並建立各斷面之Q-U關係以利後續研究。

3.2.1 分析斷面選擇之考量

本研究將探討不同長度隧道的車流特性是否有何變化，在國道五號隧道群中，由於斷面之間影響因素種類很多，包含車道數的多寡與寬度、坡度、交流道位置與線型曲率半徑等諸多干擾因素。

因此，在隧道部分將探討石碇、彭山及雪山隧道三處隧道，分析各隧道在不同長度之下其各隧道的出入口、中間斷面、以及在此三隧道的1/4與3/4長的地方，探討彼此之間是否隨著長度的變化而有不同的差異性。

在開放路段部份將包括在石碇和烏塗隧道之間以及彭山和雪山隧道之間，探討車流在隧道之間的開放路段是否有差異性。

3.2.2 選擇之分析斷面

首先隧道部分在石碇、彭山及雪山隧道三處在其隧道的頭尾各設置一個偵測器(6)，以及在此三隧道的1/4與3/4長的地方各設置一個偵測器(6)，在此三隧道中間的地方也各設置一個偵測器(3)，最後把彭山1/4(離隧道入口約1.1km)與3/4(離隧道出口約1.1km)長度的斷面對應到雪山隧道上，也就是在雪山隧道內離入口與出口約1.1km的斷面上也各設置一個偵測器(2)，而開放路段部份在石碇和烏塗隧道之間以及彭山和雪山隧道之間各設置一個(2)，以上共設置了19個偵測器。同理北上路段也依相同斷面設置19個偵測器。

3.3 分析資料之篩選

國道五號於民國95年6月16日開放通車，根據交通部運研所提供高公局坪林行控中心之車流資料，資料蒐集時間為民國96年1月~8月，每5分鐘1筆之24小時全天候資料，全日資料共有288筆。

本研究所收集到的偵測器資料內有國道五號每五分鐘收集一筆開放路段與隧道路段各斷面的速度與流量資料，後續將利用所挑選的斷面分析其Q-V的車流關係，以及當日的車流速率與流量的變化情形。

3.3.1 偵測器資料內涵與檢討修補

現有車流資料收集方法大致區分為傳統偵測器(例如：迴圈偵測器、超音波偵測器等)、影像式偵測器、探測車、自動車輛辨識、電子收費系統、人工調查以及人工配合攝影調查法等類型。本研究資料調查係透過交通部運輸研究所協助提供高公局國道五號之傳統偵測器(雙線圈式)所蒐集之車流特性資料，其資料內涵包含內外車道每五分鐘通過的車輛數(流量)外，亦包含每五分鐘通過車輛數的平均速度和占有率等相關資料以及兩車道合併在一起每五分鐘通過的車輛數(流量)與通過車輛數的平均速度。

由於原始偵測器檔案內容是將南下(95)與北上(97)共192個合併在一天，因此若要各別挑出所要斷面偵測器便要一一整理出來。首先為了想要了解國五由1/1~8/31在每日總流量的變化過程，過程中就是把所要偵測器資料表示成每個VD都由1/1連續到8/31，且某些偵測器會有缺漏的現象，如偵測器未滿一天共288筆資料(一筆資料5分鐘)，因此在一些未完整的偵測器便給予修補。

在缺漏時段的修補方式(3筆資料以內)用內插法的方式修補，若遇到連續大範圍的缺漏時段資料，便以一個月為單位加以修補，如某月的星期一缺漏大筆資料，便把當月的其他星期一流量加總便給予平均作為修補。

3.3.2 偵測器資料之國五車流資料分析

在挑選偵測器時段分析其時間上的變化，便挑選南北向各一個資料完整的偵測器分析其在1~8月每日的總車流量變化(以VD-5S-PST-10.495彭山隧道入口端和VD-5N-PST-11.178彭山隧道中間端作為代表)。本節將針對每月總流量、每月各日流量、每週各日流量和平假日每小時之車流特性做為分析。

(一) 每月總流量

在每月總流量變化中，以二月(67萬左右)、七月(75萬左右)為總流量高峰，並且南北向每月總流量波動很相似，此時正逢春節假期與暑假期間，以下為南下與北上的每月總流量直方圖，其中北上三月分由於缺漏太多筆資料，以至於無法修補，便只顯示有效天數總流量共13天(3/1~3/6、3/13、3/21~3/31)。

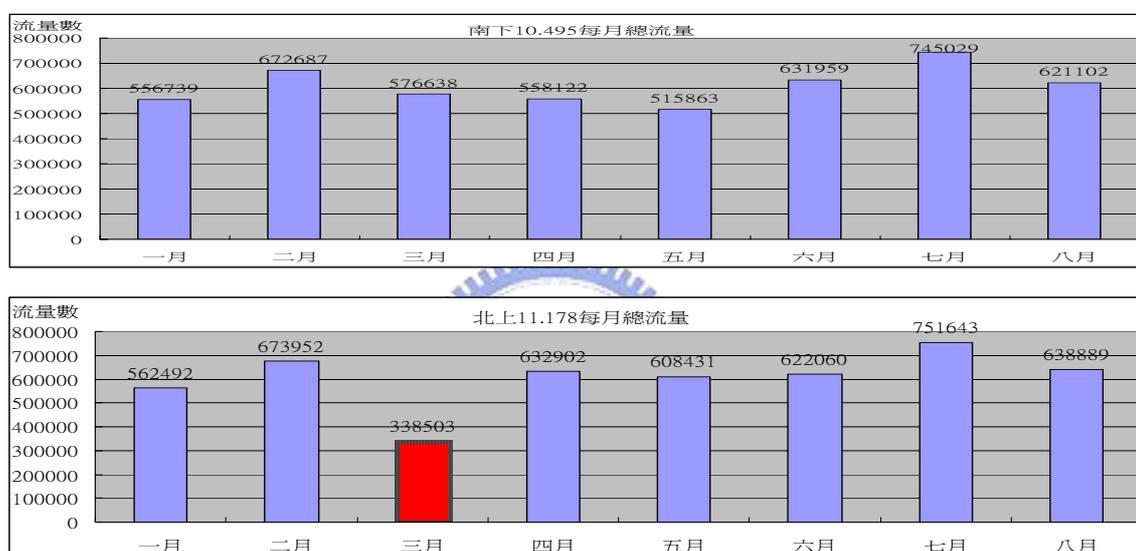


圖3.2、南北向每月車流總流量

(二) 每月各日流量

在每月各日流量的變化中，流量高峰都發生在六日這兩天，且南北向會有不同的呈現方式，在南下的車流中，星期六的車流量幾乎都大於星期日的車流量；在北上的車流中，星期日的車流量幾乎都大於星期六的車流量，顯示出國道五號主要為旅行旅次的車流型態。其圖放在附錄上。

(三) 每週各日流量

在2、4、7月三月中每週各日流量變化中，其圖表顯示出4、7兩月其每週各日車流型態的波動大約一致，由每週星期一開始下降，到了星期二、三到達波谷位置，之後又逐漸往上爬升，到了六、日達到波峰型態，然而在六日這兩天發現南北向有明顯不同的差異，在南下路段星期六流量大於星期日流量，而北上路段則是星期日流量大於星期六流量。在2月份每週各日流量變化由於2/17~2/22適逢春節假期，導致每週各日車流量與4、7兩月有明顯不同。

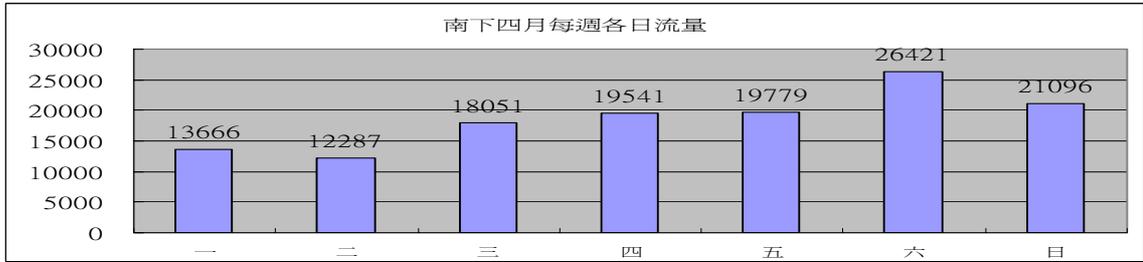
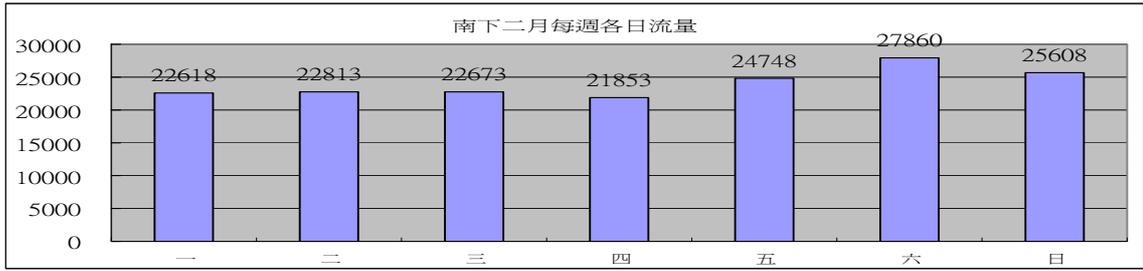


圖3.3 南下路段每週各日流量

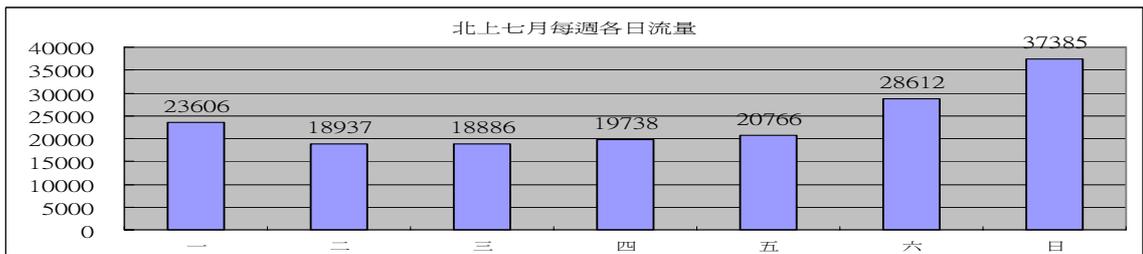
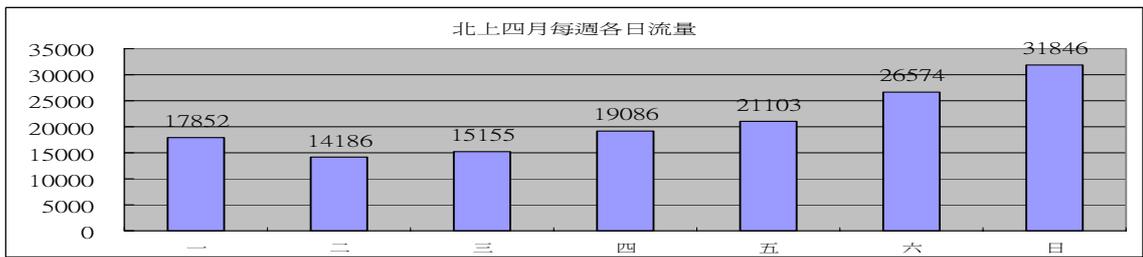
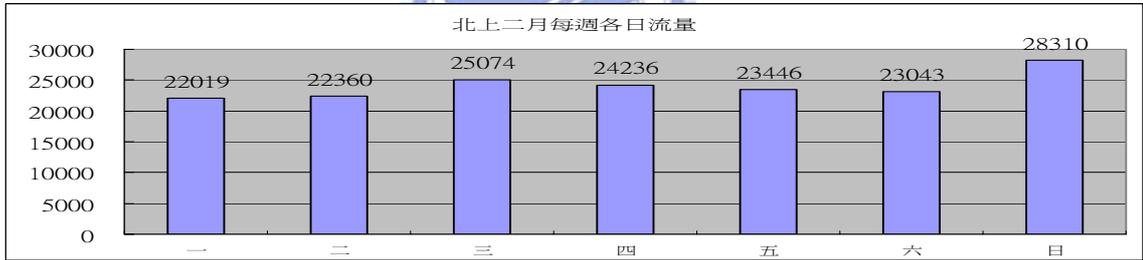


圖3.4北上路段每週各日流量

(四) 平假日每小時交通量

在平假日每小時交通量變化中，取南北向以4/25(星期三)與4/28(星期六)這兩天作為平假日代表，分析其每日每小時的尖離峰變化情形。

在平日時段，南北向的尖離峰大致相同，早上八、九點為尖峰時刻，流量約900 veh/hr。下午兩點至六點為另一高峰群，但南下路段會先從兩點的最大尖峰流量下降再逐漸上升至六點的另一尖峰流量，之後車流量又逐漸下降，而北上路段則從兩點的車流量逐漸上升至六點的最大尖峰流量。南下最大流量發生在下午兩點約在1200veh/hr，而北上最大流量發生在下午六點約在1200veh/hr。南北向的離峰時段都約發生在凌晨3點至5點左右，且流量都小於100veh/hr。

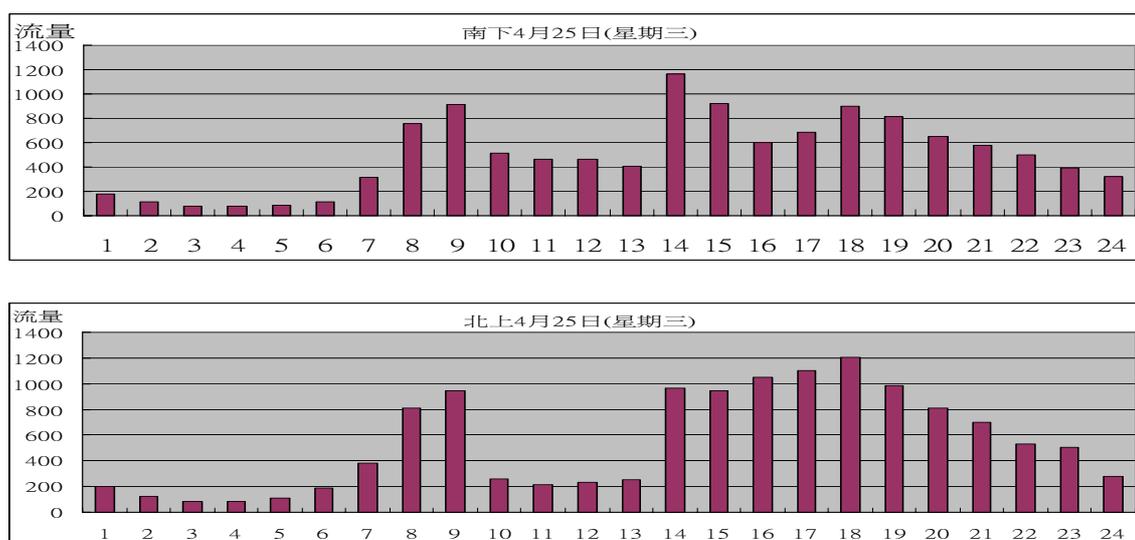


圖3.5平日每小時交通量

在假日時段，南北向的尖峰時段各有差異，在南下部份尖峰時段大約在早上十點至十二點左右，每小時最大流量約2400veh/hr。而北上路段尖峰時刻發生在下午四點至七點左右，每小時最大流量約2200veh/hr。

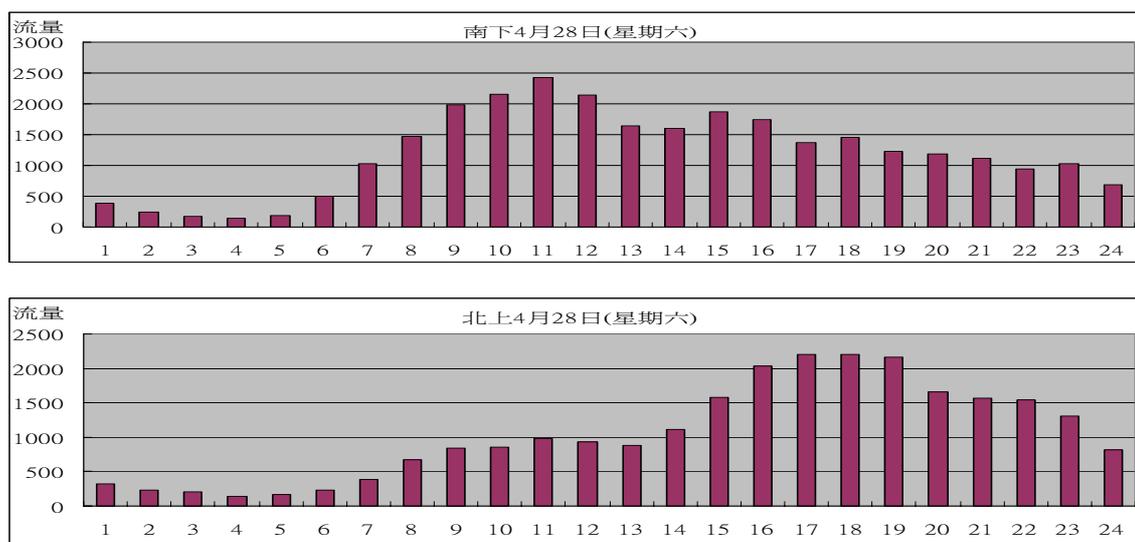


圖3.6假日每小時交通量

第四章 國道五號各斷面車流特性之模式與比較

4.1 國道五號車流模式之選擇與考量

為瞭解國道五號長短隧道各斷面車流基本特性，在南向選取了石碇、彭山及雪山這三座隧道的入口處、隧道長1/4處、中間處及隧道長3/4處、出口處的五個斷面共選取15個偵測器，最後把彭山1/4(離隧道入口約1.1km)與3/4(離隧道出口約1.1km)長度的斷面對應到雪山隧道上，也就是在雪山隧道內離入口與出口約1.1km的斷面上也各設置偵測器共2個，而開放路段則在石碇及烏塗隧道之間選取1個偵測器；在彭山及雪山隧道之間選取1個偵測器並蒐集其雙車道每5分鐘車流資料進行分析，同理在北上路段也依序南下路段的斷面選取模式共選出了19個斷面偵測器。收集資料時間為96年2月15日至2月20日。選擇2月15日至2月20日的主要原因是因為這六天包含了平日與連續假日的時間，並且使得各斷面在速率與流量散佈圖涵蓋的更廣泛。

在分析各斷面的程序上，首先會在南北向各挑一個斷面作車流模式選擇的工作，針對各車流模式將利用Excell與SPSS統計軟體，將多階車流模式Edie與單階車流模式如：Greenshields、Underwood、Pipes-Munjaj、Drew此四種單階車流模式做統計上檢定的工作，而一般迴歸分析所校估之參數可以用適當的統計方法予以檢定，其目的主要在檢定所構建的迴歸模式是否通過基本假設，以及是否為最佳的推估模式。本研究所欲進行檢定之項目有下列幾項；判定係數(R^2)、迴歸係數之t 檢定、F 統計量檢定此三項。

各項檢定之方式與內容說明如下：

(1) 判定係數(R^2)：判定係數應用於判定迴歸分析中是否代表整個模式的解釋能力，為可說明變動對總變動之比值，計算方式如下：

$$R^2 = \text{SSR} / \text{SST} = \text{可解釋的變異} / \text{總變異}$$

本研究亦將採用 R^2 值作為檢定依據，判定係數愈大，則表示所推估之迴歸模式解釋能力愈強，其預測能力愈大，且若相關係數 $0.7 \leq |R| < 1$ 為高度相關。

(2) 迴歸係數之t檢定：迴歸係數檢定之目的在檢定各個迴歸係數是否顯著，若有顯著性便不等於零，則表示該係數及其對應之說明變數，可以解釋對其目的變數之影響，一般採用t 分配檢定之，說明如下：

H_0 ：所有迴歸係數等於零

H_1 ：所有迴歸係數不全等於零

危險域為 $C\{|t| > t_{\alpha/2}(n-k-1)\}$

$$\text{統計檢定量 } t = \hat{\beta}_i / S_{\hat{\beta}_i}$$

若 $t > t_{0.025}$ ，拒絕 H_0 ，表示迴歸係數有顯著性。

若 $t < t_{0.025}$ ，接受 H_0 ，表示迴歸係數可能為零。

(3) 模式適合度F檢定：F 統計量檢定應用於回歸分析中式為判斷整個模式的適當性，一般採用F 分配檢定之，說明如下：

H_0 ：所有迴歸係數等於零

H_1 ：所有迴歸係數不全等於零

危險域為 $C\{|F| > F_{\alpha}(k, n-k-1)\}$

統計檢定量 $F = MSR/MSE$

若 $F > F_{0.05}$ ，拒絕 H_0 ，表示參數不全為零，即表示解釋變數與反應變數有線性迴歸關係。

若 $F < F_{0.05}$ ，接受 H_0 。

在各模式選擇程序上，會先挑選判定係數(R^2)比較高者作為第一修先考量，接下來再針對第一修先選擇的車流模式做更進一步的迴歸係數之t 檢定與F 統計量檢定。若南北向第一個挑選斷面都通過檢定，則往後的斷面都以此車流模式作為代表，但是後續分析斷面的車流模式若其判定係數(R^2)小於70%，將會在針對那一斷面從重新再作一次車流模式選擇的工作。

巨觀車流模式構建方面，本研究首先在國道五號南下與北上路段內各挑選一偵測器雙車道每五分鐘交通資料，利用速率-流量基本關係進行巨觀車流模式構建。

在南下路段挑選的偵測器是VD-5S-SDT-2.050，北上路段挑選的偵測器是VD-5N-SDT-1.068。

參考May [8] 一書中所提常見之單階巨觀車流模式進行數學模式配適，除了以判斷係數 (R^2 值) 做為模式選擇之判斷標準外，亦比較各迴歸模式參數的檢定與原始資料之曲線配適情形，用以選擇適合的各斷面雙車道之速度-流量模式。

為了瞭解各巨觀模式對本研究斷面之適用情形，將針對所挑選的南北向偵測器進行巨觀模式校估與檢定，由速度-流量的曲線可約略看出自由車流與擁擠車流兩部份，線型近似二階段曲線，因此本研究首先嘗試以二階段Edie模式進行數學模式之曲線配適，其自由車流配適結果之迴歸模式判定係數(R^2)雖然很高，但擁擠車流的判定係數(R^2)太低，顯示模式之解釋能力不足，因此本研究再根據樣本之分佈型態，進行單階段之車流模式配適，亦即包含Greenshields、Greenberg、Underwood、Pipes-Munjaj、Drew等數學模式之配適，配適結果如下表4.1所示，

整體而言經過分析比較，由於Greenshields 模式其判斷係數(R^2 值)較高最為合適，且各參數的t檢定與配適度F檢定都通過。因此本研究選擇以Greenshields 模式代表國道五號南北向雙車道之速度-流量模式。

以下為南北向挑選斷面偵測器之車流模式檢定結果與圖表。

表4.1南下偵測器(VD-5S-SDT-2.050)之車流模式檢定表

類型	迴歸模式	R ² 值	F 值	F0.05(2, ∞)	T 值(X 變數 1)	T 值(X 變數 2)	t0.025(∞)	檢定結果
Greenshields	$Q=10.6765U-0.1364U^2$	0.948	15816.481	2.3	103.681	-87.426	1.96	OK
Greenberg	$\ln(Q)=3.592-0.049U+\ln(U)$	0.587	2451.3135	2.3	57.013	-49.511	1.96	NO
Underwood	$Q=30.2497U-6.8307U\ln(U)$	0.933	12159.282	2.3	79.242	-74.759	1.96	OK
Pipes-Munjaj n=2	$Q=17.5038U-1.9514U^{1.5}$	0.941	13983.962	2.3	90.060	-81.326	1.96	OK
Pipes-Munjaj n=3	$Q=24.3285U-5.5133U^{4/3}$	0.939	13365.793	2.3	85.134	-79.163	1.96	OK
Drew n=1	$\ln(Q)=-4.7479+3.3242\ln U+3.4490\ln(1-U/U_f)^{(2/(n+1))}$	0.579	1190.059	2.3	25.691	36.871	1.96	NO
Edie 自由車流階段	$Q=52.8694U-12.2092U\ln(U)$	0.947	13229.699	2.3	66.004	-64.044	1.96	OK
Edie 擁擠車流階段	$\ln(Q)=2.5090-0.0239U+\ln(U)$	0.273	86.195	2.3	27.865	-9.284	1.96	NO

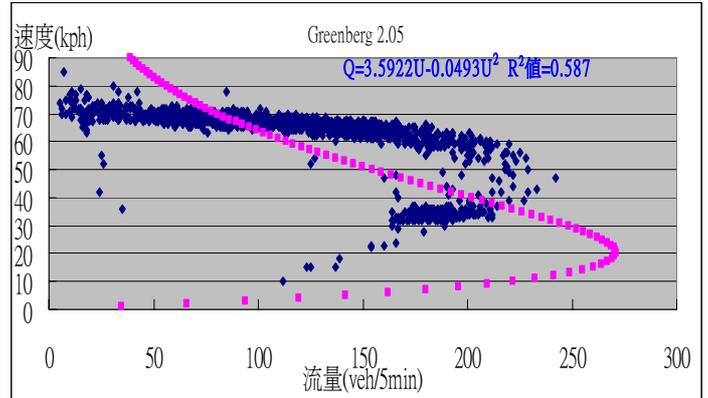
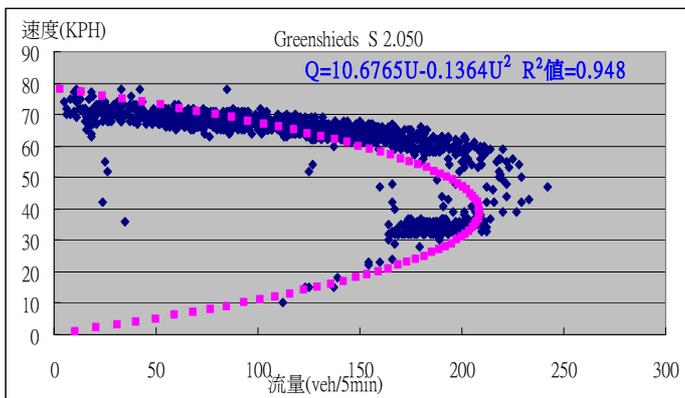
資料來源：本研究整理

表4.2北上偵測器(VD-5N-SDT-1.068)之車流模式檢定表

類型	迴歸模式	R ²	F 值	F0.05(2, ∞)	T 值(X 變數 1)	T 值(X 變數 2)	t0.025(∞)	檢定結果
Greenshields	$Q=12.8208U-0.1677U^2$	0.920	9951.125	2.3	85.967	-77.910	1.96	OK
Greenberg	$\ln(Q)=8.2528-0.1208U+\ln(U)$	0.604	2636.274	2.3	51.178	-51.345	1.96	NO
Underwood	$Q=47.3266U-10.8888U\ln(U)$	0.913	9079.871	2.3	75.726	-73.769	1.96	OK
Pipes-Munjaj n=2	$Q=23.7784U-2.7137U^{1.5}$	0.917	9616.797	2.3	80.461	-76.347	1.96	OK
Pipes-Munjaj n=3	$Q=34.6918U-8.1578U^{4/3}$	0.916	9459.885	2.3	78.359	-75.603	1.96	OK
Drew n=1	$\ln(Q)=-13.7445+5.8245\ln U+4.5584\ln(1-U/U_f)^{(2/(n+1))}$	0.642	1546.809	2.3	13.424	29.131	1.96	NO
Edie 自由車流階段	$Q=52.9028U-12.2027U\ln(U)$	0.939	13095.538	2.3	92.139	-90.050	1.96	OK
Edie 擁擠車流階段	$\ln(Q)=-2.4216-0.0711U+\ln(U)$	0.560	39.438	2.3	-4.309	6.280	1.96	NO

資料來源：本研究整理

圖4.1南下各車流速度-流量模式配適圖(VD-5S-SDT-2.050)



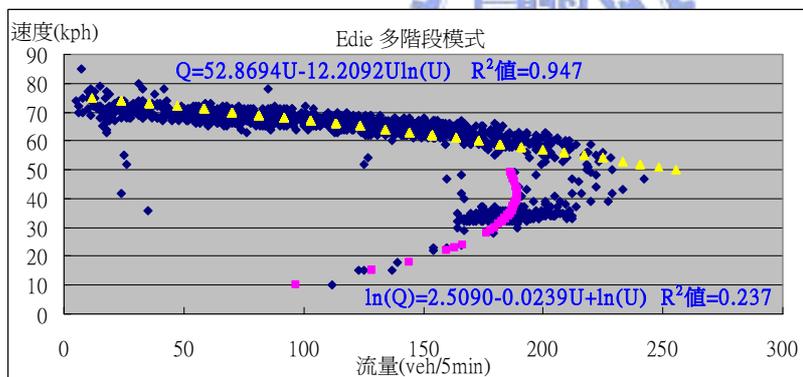
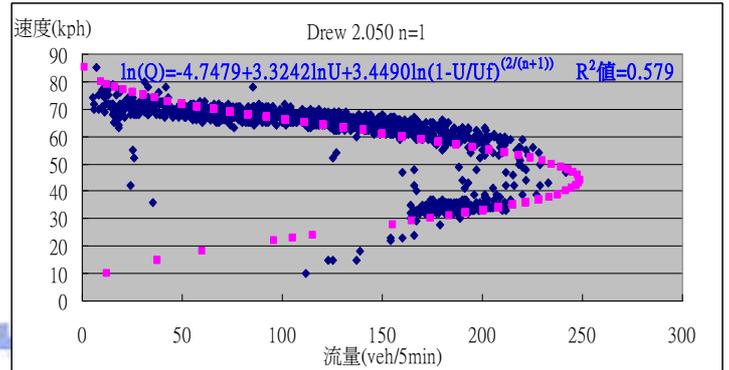
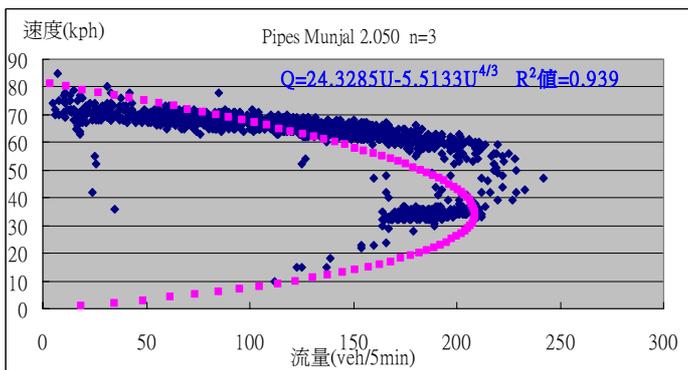
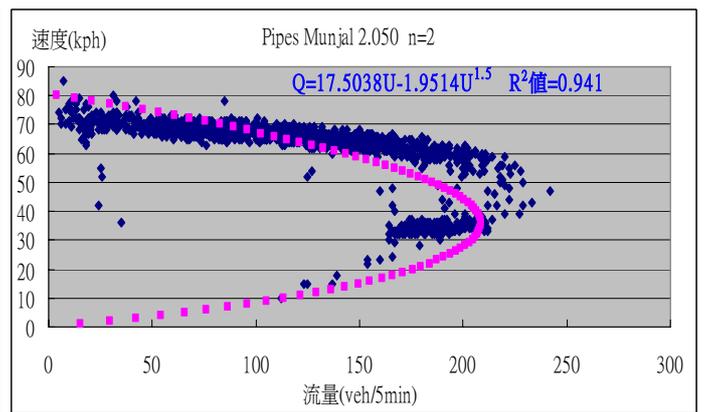
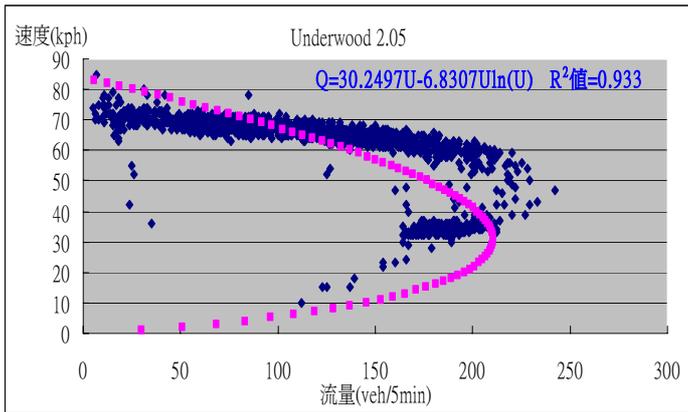
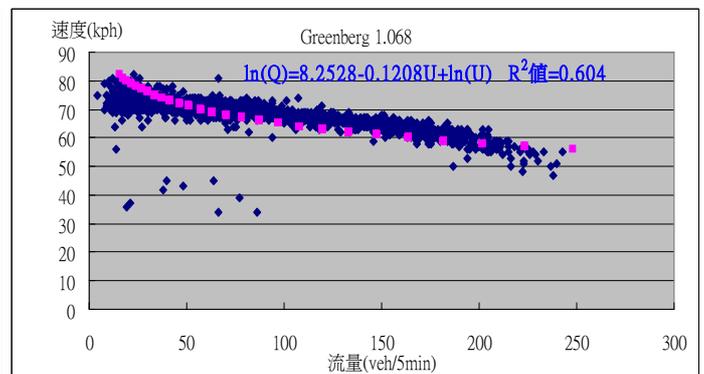
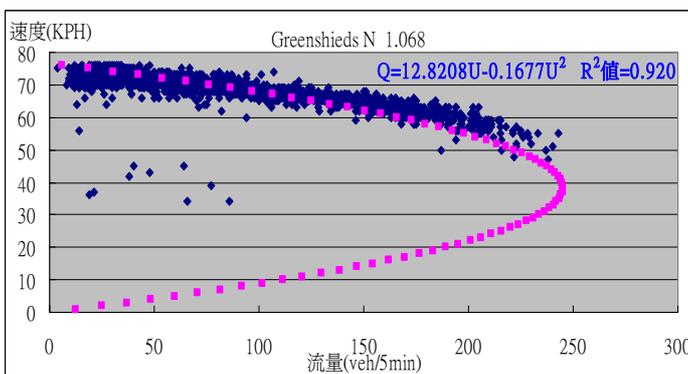
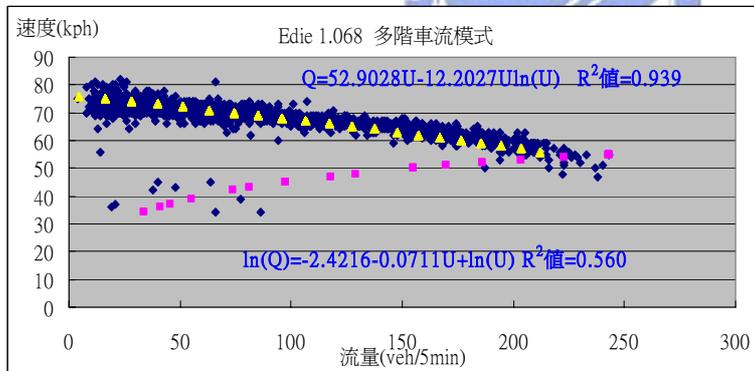
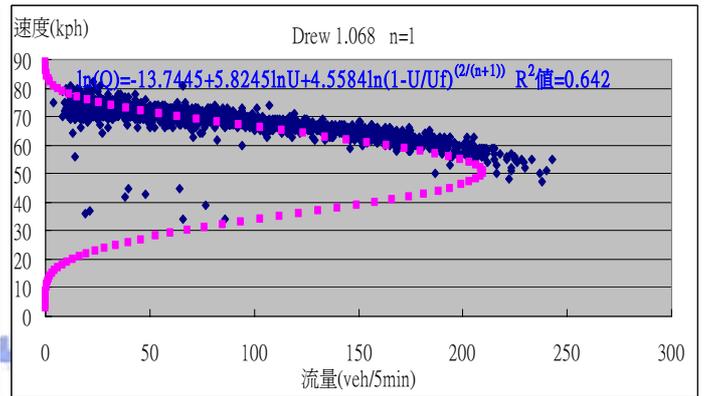
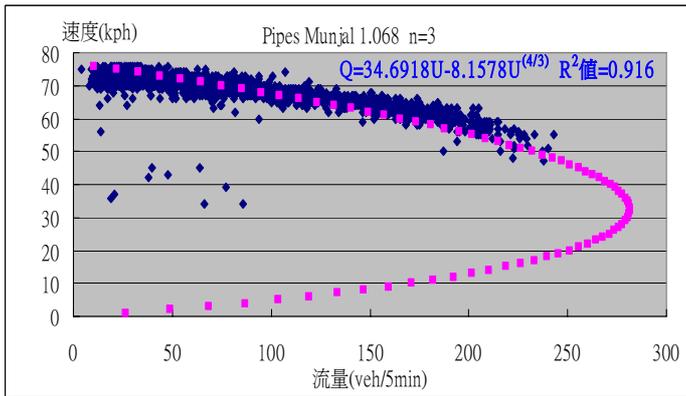
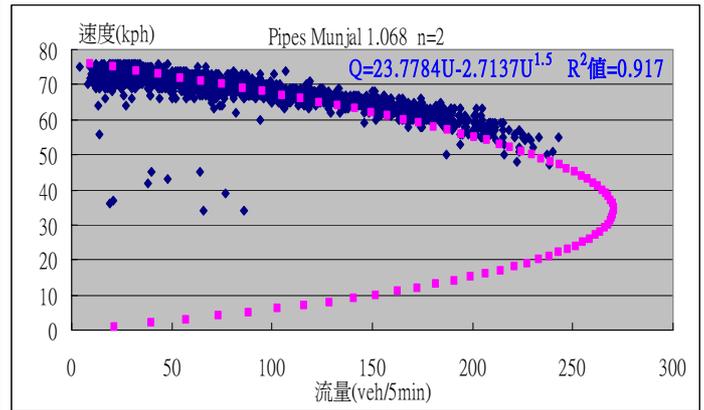
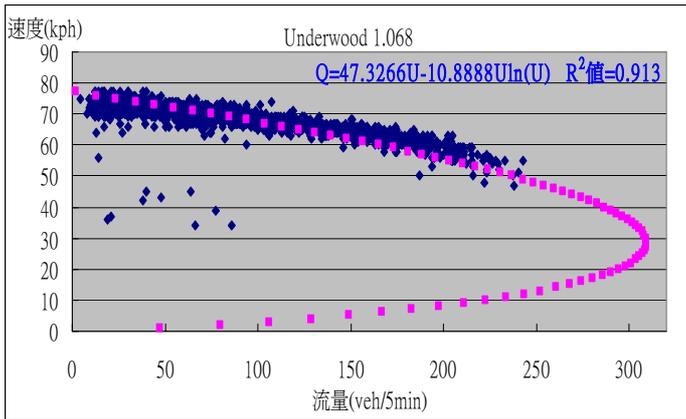


圖4.2北上各車流速度-流量模式配適圖(VD-5N-SDT-1.068)





4.2 國道五號各斷面車流特性模式

經由4.1節顯示Greenshieds的車流模式有較高的解釋能力，因此在南下路段與北上路段各斷面將由Greenshieds的車流模式來代表各斷面的車流模式，但是後續分析斷面的車流模式若其判定係數(R^2)小於70%，將會針對那一斷面重新再作一次車流模式選擇的工作。

4.2.1 國道五號各隧道斷面車流特性模式

由下表 4.2、4.3 得知各隧道斷面以 Greenshieds 模式所建構的車流模型其 R^2 值均在 0.9 以上，只有北上彭山出口處其 R^2 值是 0.864，因此整體來說，各個車流模式的解釋能力都很高。其各模式適合度檢定(F 統計量檢定)也都拒絕虛無假設

H_0 ，表示參數不全為零，即代表解釋變數與反應變數有線性迴歸關係，因此整個模式的適當性都不錯。又迴歸係數之 t 檢定也都拒絕虛無假設 H_0 ，表示各個迴歸係數也都顯著。

表4.3各南下隧道斷面以Greenshields模式所建構的車流模型統整表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	R ² 值	F值	F _{0.05(2, ∞)}	T值 (X變數1)	T值 (X變數2)	t _{0.025(∞)}	檢定結果
VD-5S-SDT-1.072	石碇入口處	Q=16.085U-0.272U ²	0.959	20358.029	2.3	125.284	-108.527	1.96	OK
VD-5S-SDT-1.424	石碇1/4	Q=11.712U-0.147U ²	0.954	17749.210	2.3	116.081	-100.487	1.96	OK
VD-5S-SDT-2.050	石碇中間點	Q=10.677U-0.136U ²	0.948	15816.481	2.3	103.681	-87.426	1.96	OK
VD-5S-SDT-3.178	石碇出口處	Q=5.764U-0.069U ²	0.919	9791.743	2.3	62.450	-51.348	1.96	OK
VD-5S-PST-9.326	彭山入口處	Q=14.143U-0.180U ²	0.928	11112.014	2.3	84.793	-75.254	1.96	OK
VD-5S-PST-10.495	彭山1/4	Q=12.099U-0.152U ²	0.949	16194.422	2.3	107.014	-92.750	1.96	OK
VD-5S-PST-11.158	彭山中間點	Q=12.087U-0.152U ²	0.951	16750.403	2.3	101.950	-88.100	1.96	OK
VD-5S-PST-12.245	彭山3/4	Q=12.582U-0.159U ²	0.951	16619.169	2.3	99.681	-86.701	1.96	OK
VD-5S-PST-12.945	彭山出口處	Q=12.416U-0.157U ²	0.949	16065.489	2.3	98.394	-85.338	1.96	OK
VD-5S-SST-15.478	雪山入口處	Q=12.310U-0.154U ²	0.949	15907.075	2.3	117.068	-102.902	1.96	OK
VD-5S-SST-16.201	雪山對應彭山1/4	Q=10.565U-0.130U ²	0.965	23506.594	2.3	143.304	-123.017	1.96	OK
VD-5S-SST-18.663	雪山1/4	Q=10.505U-0.134U ²	0.959	20306.929	2.3	119.254	-100.835	1.96	OK
VD-5S-SST-21.807	雪山中間點	Q=10.623U-0.137U ²	0.964	23437.642	2.3	129.083	-109.246	1.96	OK
VD-5S-SST-24.678	雪山3/4	Q=11.202U-0.148U ²	0.966	24847.721	2.3	128.982	-109.555	1.96	OK
VD-5S-SST-27.054	雪山對應彭山3/4	Q=11.456U-0.149U ²	0.954	17967.598	2.3	102.645	-87.767	1.96	OK
VD-5S-SST-27.748	雪山出口處	Q=11.879U-0.153U ²	0.951	16743.846	2.3	95.195	-82.022	1.96	OK

資料來源：本研究整理

表4.4各北上隧道斷面以Greenshields模式所建構的車流模型統整表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	R ² 值	F值	F _{0.05(2, ∞)}	T值(X變數1)	T值(X變數2)	t _{0.025(∞)}	檢定結果
VD-5N-SDT-1.068	石碇出口處	Q=12.821U-0.168U ²	0.920	9951.125	2.3	85.967	-77.910	1.96	OK
VD-5N-SDT-1.435	石碇3/4	Q=6.367U-0.082U ²	0.913	9052.672	2.3	78.676	-70.970	1.96	OK
VD-5N-SDT-2.068	石碇中間點	Q=7.609U-0.098U ²	0.909	8632.550	2.3	77.982	-70.191	1.96	OK
VD-5N-SDT-2.849	石碇1/4	Q=11.167U-0.142U ²	0.917	9527.467	2.3	86.675	-77.592	1.96	OK
VD-5N-SDT-3.198	石碇入口處	Q=10.961U-0.141U ²	0.917	9592.481	2.3	87.783	-78.445	1.96	OK
VD-5N-PST-9.373	彭山出口處	Q=14.916U-0.193U ²	0.864	5472.952	2.3	55.277	-51.265	1.96	OK
VD-5N-PST-10.506	彭山3/4	Q=14.750U-0.192U ²	0.932	11901.794	2.3	92.836	-86.108	1.96	OK

VD-5N-PST-11.178	彭山中間點	$Q=13.256U-0.172U^2$	0.942	13927.248	2.3	104.059	-95.674	1.96	OK
VD-5N-PST-12.238	彭山 1/4	$Q=13.248U-0.170U^2$	0.937	12888.760	2.3	99.139	-91.244	1.96	OK
VD-5N-PST-12.922	彭山入口處	$Q=14.498U-0.179U^2$	0.913	9084.637	2.3	77.460	-72.233	1.96	OK
VD-5N-SST-15.488	雪山出口處	$Q=11.273U-0.49U^2$	0.935	12281.474	2.3	96.611	-87.883	1.96	OK
VD-5N-SST-16.196	雪山對應彭山 3/4	$Q=10.449U-0.140U^2$	0.945	14928.625	2.3	110.910	-100.047	1.96	OK
VD-5N-SST-18.662	雪山 3/4	$Q=9.671U-0.129U^2$	0.957	18985.879	2.3	130.687	-116.945	1.96	OK
VD-5N-SST-21.808	雪山中間點	$Q=8.976U-0.119U^2$	0.959	20188.093	2.3	139.841	-124.229	1.96	OK
VD-5N-SST-24.677	雪山 1/4	$Q=3.085U-0.038U^2$	0.922	10259.547	2.3	94.633	-81.600	1.96	OK
VD-5N-SST-27.056	雪山對應彭山 1/4	$Q=8.938U-0.116U^2$	0.938	13146.832	2.3	124.112	-111.434	1.96	OK
VD-5N-SST-27.779	雪山入口處	$Q=9.536U-0.121U^2$	0.918	9510.766	2.3	105.694	-95.967	1.96	OK

資料來源：本研究整理

4.2.2 國道五號各開放路段斷面之車流特性模式

由下表 4.4 得知各開放路段斷面以 Greenshields 模式所建構的車流模型其 R^2 值均在 0.8 以上，因此整體來說，各個車流模式的解釋能力都很高。其各模式適合度檢定(F 統計量檢定)也都拒絕虛無假設 H_0 ，表示參數不全為零，即代表解釋變數與反應變數有線性迴歸關係，因此整個模式的適當性都不錯。又迴歸係數之 t 檢定也都拒絕虛無假設 H_0 ，表示各個迴歸係數也都顯著。

表 4.5 各開放路段斷面以 Greenshields 模式所建構的車流模型統整表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	R^2 值	F 值	$F_{0.05}(2, \infty)$	T 值(X 變數 1)	T 值(X 變數 2)	$t_{0.025}(\infty)$	檢定結果
VD-5S-5.523	石碇烏塗中間	$Q=10.997U-0.131U^2$	0.864	5469.074	2.3	49.145	-42.092	1.96	OK
VD-5S-14.356	彭山雪山中間	$Q=7.844U-0.089U^2$	0.823	4017.856	2.3	37.227	-31.014	1.96	OK
北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	R^2 值	F 值	$F_{0.05}(2, \infty)$	T 值(X 變數 1)	T 值(X 變數 2)	$t_{0.025}(\infty)$	檢定結果
VD-5N-5.883	石碇烏塗中間	$Q=16.816U-0.213U^2$	0.863	5413.786	2.3	53.149	-49.845	1.96	OK
VD-5N-14.550	彭山雪山中間	$Q=13.115U-0.171U^2$	0.848	4800.374	2.3	46.971	-43.474	1.96	OK

資料來源：本研究整理

4.3 國道五號各斷面車流特性之比較

4.3.1 車流通過各隧道特性變化

為瞭解國道五號長短隧道在同一隧道而不同斷面的車流基本特性，本研究選定南下與北上的石碇、彭山以及雪山隧道作為長短隧道的分析對象。其三隧道長度為石碇隧道(約2.7km) < 彭山隧道(約3.8km) < 雪山隧道(約12.9km)。分別在三隧道的入口處、中間點及出口處各選取一個斷面，總共在南下與北上隧道路段選取了18個偵測器並蒐集其雙車道每5分鐘車流資料進行車流通過各隧道特性推估。由於隧道內各區段雙車道 Greenshields 速率-流量模式之迴歸模式其判斷係數大多皆0.9以上，表示具有較佳的解釋能力。

本小節將推估各隧道內，其車流在各隧道的入口處、中間處與出口處的最大流率與自由速率，而隧道路段最大流率與自由速率推估方面，將以Greenshields迴歸模式進行隧道內各區段單車道之最大流率與自由速率的推估，利用速度-流量之彎折點求出隧道內各區段可通過之最大流率(容量 Q_m)，分析步驟如下所示：
 一、將蒐集資料建立出流量-速率關係圖(各斷面流量-速率關係圖放在附錄上)。
 二、利用迴歸分析校估車流模式的參數，求出流量-速率車流模式。

三、將所建構之流量-速率關係式，利用微分方式將車流模式做 $\frac{\partial Q}{\partial U} = 0$ ，算出

臨界速率 (U_m) 所對應之最大流率 (Q_m)，進而求得隧道容量 Q_m 。

四、將所建構之流量-速率關係式，利用 $Q=0$ 代入車流模式中，進而求得自由速率。

(1) 南下石碇隧道(約2.7km)各斷面推估：

整理發現南下車流經過石碇隧道後，其自由速率通過隧道入口後其自由速率會逐漸上升。而最大流率在入口是1428(veh/1hr/1lane)、中間點是1260(veh/1hr/1lane)、出口處是720(veh/1hr/1lane)整座隧道其流率最大值發生在入口處，最小值發生在出口處。

研究推算結果顯示，南下石碇隧道內之最大流率大概約為700(veh/1hr/lane)左右。

表4.6南下石碇隧道各斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 U_m (kph)	自由速率 U_f (kph)	最大流率 Q_m (veh/1hr/1lane)
VD-5S-SDT-1.072	石碇入口處	$Q=16.085U-0.272U^2$	29.6	59.1	1428
VD-5S-SDT-2.050	石碇中間點	$Q=10.677U-0.136U^2$	39.3	78.5	1260
VD-5S-SDT-3.178	石碇出口處	$Q=5.764U-0.069U^2$	41.8	83.5	720

(2) 南下彭山隧道(約3.8km)各斷面推估：

整理發現南下車流經過彭山隧道後，其自由速率由隧道入口至中間點會來逐漸增加，但由隧道中間點至出口時，其自由速率又下降，而最大流率在入口是1668(veh/1hr/1lane)、中間點是1440(veh/1hr/1lane)、出口處是1470(veh/1hr/1lane)，顯示整座隧道其流量最大值發生在入口處，最小值發生在中間點處。

研究推算結果顯示，南下彭山隧道內之最大流率大概約為1400(veh/1hr/lane)左右。

表4.7南下彭山隧道各斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 U_m (kph)	自由速率 U_f (kph)	最大流率 Q_m (veh/1hr/1lane)
VD-5S-PST-9.326	彭山入口處	$Q=14.143U-0.180U^2$	39.3	78.6	1668
VD-5S-PST-11.158	彭山中間點	$Q=12.087U-0.152U^2$	39.8	79.5	1440

VD-5S-PST-12.945	彭山出口處	$Q=12.416U-0.157U^2$	39.5	79.1	1470
------------------	-------	----------------------	------	------	------

(3) 南下雪山隧道(約12.9km)各斷面推估：

整理發現南下車流經過雪山隧道後，其自由速率由隧道入口至中間點會來逐漸下降，但由隧道中間點至出口時，其自由速率維持穩定，而最大流率在入口是1476(veh/1hr/1lane)、中間點是1236(veh/1hr/1lane)、出口處是1386(veh/1hr/1lane)，。顯示整座隧道其流量最大值發生在入口處，最小值發生在中間點處。

研究推算結果顯示，南下雪山隧道內之最大流率大概約為1200(veh/1hr/1lane)左右。

表4.8南下雪山隧道各斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Q_m (veh/1hr/1lane)
VD-5S-SST-15.478	雪山入口處	$Q=12.310U-0.154U^2$	39.9	79.9	1476
VD-5S-SST-21.807	雪山中間點	$Q=10.623U-0.137U^2$	38.8	77.6	1236
VD-5S-SST-27.748	雪山出口處	$Q=11.879U-0.153U^2$	38.8	77.6	1386

(4) 北上石碇隧道各斷面推估：

整理發現北上車流經過石碇隧道後，其自由速率會逐漸下降，最大流率在入口是1278(veh/1hr/1lane)、中間點是888(veh/1hr/1lane)、出口處是1470(veh/1hr/1lane)，顯示整座隧道其流量最大值發生在出口處，最小值發生在中間處。

研究推算結果顯示，北上石碇隧道內之最大流率大概約為900(veh/1hr/1lane)左右。

表4.9北上石碇隧道各斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Q_m (veh/1hr/1lane)
VD-5N-SDT-3.198	石碇入口處	$Q=10.961U-0.141U^2$	38.9	77.7	1278
VD-5N-SDT-2.068	石碇中間點	$Q=7.609U-0.098U^2$	38.8	77.6	888
VD-5N-SDT-1.068	石碇出口處	$Q=12.821U-0.168U^2$	38.2	76.3	1470

(5) 北上彭山隧道各斷面推估：

整理發現北上車流經過彭山隧道後，其自由速率由隧道入口至中間點會來逐漸減少，但由隧道中間點至出口時，其自由速率又上升，而最大流率在入口是1764(veh/1hr/1lane)、中間點是1530(veh/1hr/1lane)、出口處是1728(veh/1hr/1lane) 整座隧道其流量最大值發生在入口處，最小值發生在中間點處。

研究推算結果顯示，北上彭山隧道內之最大流率大概約為1500(veh/1hr/1lane)左右。

表4.10北上彭山隧道各斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Q _m (veh/1hr/1lane)
VD-5N-PST-12.922	彭山入口處	$Q=14.498U-0.179U^2$	40.5	80.9	1764
VD-5N-PST-11.178	彭山中間點	$Q=13.256U-0.172U^2$	38.5	77.1	1530
VD-5N-PST-9.373	彭山出口處	$Q=14.916U-0.193U^2$	38.6	77.3	1728

(6) 北上雪山隧道各斷面推估：

整理發現北上車流經過雪山隧道後，其自由速率速度由隧道入口至中間點會來逐漸減少，但由隧道中間點至出口時，其自由速率速度又上升，而最大流率在入口是1128(veh/1hr/1lane)、中間點是1014(veh/1hr/1lane)、出口處是1728(veh/1hr/1lane)整座隧道其流量最大值發生在出口處，最小值發生在中間點處。

研究推算結果顯示，北上雪山隧道內之最大流率大概約為1000(veh/1hr/1lane)左右。

表4.11北上雪山隧道各斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Q _m (veh/1hr/1lane)
VD-5N-SST-27.779	雪山入口處	$Q=9.536U-0.121U^2$	39.4	78.8	1128
VD-5N-SST-21.808	雪山中間點	$Q=8.976U-0.119U^2$	37.7	75.4	1014
VD-5N-SST-15.488	雪山出口處	$Q=11.273U-0.149U^2$	37.8	75.7	1278

4.3.2不同長度隧道車流特性之差異

為瞭解國道五號長短隧道中，在不同隧道而相同斷面的車流基本特性，本研究選定南下與北上的石碇、彭山以及雪山隧道作為長短隧道的分析對象。其三隧道長度為石碇隧道(約2.7km) < 彭山隧道(約3.8km) < 雪山隧道(約12.9km)。分別在三隧道的入口處、中間點及出口處各選取一個斷面，總共在南下與北上隧道路段選取了18個偵測器並蒐集其雙車道每5分鐘車流資料，探討車流通過不同長短隧道而相同斷面的車流特性變化。

(1) 南下入口處各隧道比較：

整理發現南下車流每經過各隧道入口後，其自由速率會逐漸增加，在經過石碇的自由速率是59.1(kph)，彭山的自由速率是78.6(kph)，雪山的自由速率是79.9(kph)，而通過各隧道入口的最大流率在石碇是1428(veh/1hr/1lane)、彭山是1668(veh/1hr/1lane)、雪山是1476(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，南下各隧道入口處最大流率以彭山隧道最高、石碇隧道最低，而雪山隧道次之。

表4.12南下各隧道入口斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5S-SDT-1.072	石碇入口處	$Q=16.085U-0.272U^2$	29.6	59.1	1428
VD-5S-PST-9.326	彭山入口處	$Q=14.143U-0.180U^2$	39.3	78.6	1668
VD-5S-SST-15.478	雪山入口處	$Q=12.310U-0.154U^2$	39.9	79.9	1476

(2) 南下中間點處各隧道比較：

整理發現南下車流經過各隧道中間點處後，其自由速率大致趨於一致，而通過各隧道中間點處的最大流率在石碇是1260(veh/1hr/1lane)、彭山是1440(veh/1hr/1lane)、雪山是1236(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，南下各隧道中間點處最大流率以彭山隧道最高、雪山隧道最低，而石碇隧道次之。

表4.13南下各隧道中間點斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5S-SDT-2.050	石碇中間點	$Q=10.677U-0.136U^2$	39.3	78.5	1260
VD-5S-PST-11.158	彭山中間點	$Q=12.087U-0.152U^2$	39.8	79.5	1440
VD-5S-SST-21.807	雪山中間點	$Q=10.623U-0.137U^2$	38.8	77.5	1236

(3) 南下出口處各隧道比較：

整理發現南下車流每經過各隧道出口後，其自由速率會逐漸下降，在經過石碇的自由速率是83.5(kph)，彭山的自由速率是79.1(kph)，雪山的自由速率是77.6(kph)，而通過各隧道出口的最大流率在石碇是720(veh/1hr/1lane)、彭山是1470(veh/1hr/1lane)、雪山是1386(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，南下各隧道出口處最大流率以彭山隧道最高、石碇隧道最低，而雪山隧道次之。

表4.14南下各隧道出口斷面車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5S-SDT-3.178	石碇出口處	$Q=5.764U-0.069U^2$	41.8	83.5	720
VD-5S-PST-12.945	彭山出口處	$Q=12.416U-0.157U^2$	39.5	79.1	1470
VD-5S-SST-27.748	雪山出口處	$Q=11.879U-0.153U^2$	38.8	77.6	1386

(4) 北上入口處各隧道比較：

整理發現北上車流每經過各隧道入口後，其自由速率大致趨於一致，在經過石碇的自由速率是77.7(kph)，彭山的自由速率是80.9(kph)，雪山的自由速率是78.8(kph)，而通過各隧道入口的最大流率在石碇是1278(veh/1hr/1lane)、彭山是1764(veh/1hr/1lane)、雪山是1128(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，北上各隧道入口處最大流率以彭山隧道最高、雪山隧道最低，而石碇隧道次之。

表4.15北上各隧道入口斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5N-SDT-3.198	石碇入口處	$Q=10.961U-0.141U^2$	38.9	77.7	1278
VD-5N-PST-12.922	彭山入口處	$Q=14.498U-0.179U^2$	40.5	80.9	1764
VD-5N-SST-27.779	雪山入口處	$Q=9.536U-0.121U^2$	39.4	78.8	1128

(5) 北上中間點處各隧道比較：

整理發現北上車流每經過各隧道中間點處後，其自由速率大致趨於一致，在經過石碇的自由速率是77.6(kph)，彭山的自由速率是77.1(kph)，雪山的自由速率是75.4(kph)，而通過各隧道中間點的最大流率在石碇是888(veh/1hr/1lane)、彭山是1530(veh/1hr/1lane)、雪山是1014(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，北上各隧道中間點處最大流率以彭山隧道最高、石碇隧道最低，而雪山隧道次之。

表4.16北上各隧道中間點斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5N-SDT-2.068	石碇中間點	$Q=7.609U-0.098U^2$	38.8	77.6	888
VD-5N-PST-11.178	彭山中間點	$Q=13.256U-0.172U^2$	38.5	77.1	1530
VD-5N-SST-21.808	雪山中間點	$Q=8.976U-0.119U^2$	37.7	75.4	1014

(6) 北上出口處各隧道比較：

整理發現北上車流每經過各隧道出口處後，其自由速率大致趨於一致，在經過石碇的自由速率是76.3(kph)，彭山的自由速率是77.3(kph)，雪山的自由速率是75.7(kph)，而通過各隧道出口處的最大流率在石碇是1470(veh/1hr/1lane)、彭山是1728(veh/1hr/1lane)、雪山是1278(veh/1hr/1lane)。

本研究結果顯示，北上各隧道出口處最大流率以彭山隧道最高、雪山隧道最低，而石碇隧道次之。

表4.17北上各隧道出口斷面車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5N-SDT-1.068	石碇出口處	$Q=12.821U-0.168U^2$	38.2	76.3	1470
VD-5N-PST-9.373	彭山出口處	$Q=14.916U-0.193U^2$	38.6	77.3	1728
VD-5N-SST-15.488	雪山出口處	$Q=11.273U-0.149U^2$	37.8	75.7	1278

4.4南北向開放路段在相鄰隧道間之車流特性差異

整理發現南下開放路段，其自由速率在石碇烏塗中間其值是83.9(kph)，最大流率為1386(veh/1hr/1lane)，而彭山雪山中間其自由速率值是88.1(kph)，最大流率為1386(veh/1hr/1lane)，發現自由速率在駛出隧道口時會增加，駛進隧道口時會減少，而最大流率在石碇烏塗中間其值介於兩隧道之間，而在彭山雪山中間其值皆低於前後兩隧道。

表4.18南下開放路段車流特性整理表

南下偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5S-SDT-3.178	石碇出口處	$Q=5.764U-0.069U^2$	41.8	83.5	720
VD-5S-5.523	石碇烏塗中間	$Q=10.997U-0.131U^2$	41.9	83.9	1386
VD-5S-PST-9.326	彭山入口處	$Q=14.143U-0.180U^2$	39.3	78.6	1668
VD-5S-PST-12.945	彭山出口處	$Q=12.416U-0.157U^2$	39.5	79.1	1470
VD-5S-14.356	彭山雪山中間	$Q=7.844U-0.089U^2$	44.1	88.1	1038
VD-5S-SST-15.478	雪山入口處	$Q=12.310U-0.154U^2$	39.9	79.9	1476

而北上路段，其彭山雪山中間其自由速率值是76.7(kph)，最大流率為1506(veh/1hr/1lane)，而自由速率在石碇烏塗中間其值是78.9(kph)，最大流率為1992(veh/1hr/1lane)發現自由速率在駛出隧道口時會增加，駛進隧道口時，進入彭山入口會增加，進入石碇入口會減少，而最大流率在彭山雪山中間其值介於前後兩隧道之間，而在石碇烏塗中間其值皆高於前後兩隧道。

表4.19北上開放路段車流特性整理表

北上偵測器位置	位置名稱	Greenshields 迴歸模式	臨界速率 Um(kph)	自由速率 Uf(kph)	最大流率 Qm(veh/1hr/1lane)
VD-5N-SST-15.488	雪山出口處	$Q=11.273U-0.149U^2$	37.8	75.7	1278
VD-5N-14.550	彭山雪山中間	$Q=13.115U-0.171U^2$	38.3	76.7	1506
VD-5N-PST-12.922	彭山入口處	$Q=14.498U-0.179U^2$	40.5	80.9	1764
VD-5N-PST-9.373	彭山出口處	$Q=14.916U-0.193U^2$	38.6	77.3	1728
VD-5N-5.883	石碇烏塗中間	$Q=16.816U-0.213U^2$	39.5	78.9	1992
VD-5N-SDT-3.198	石碇入口處	$Q=10.961U-0.141U^2$	38.9	77.7	1278

4.5小結

經過以上整理得知，結果發先在南下石碇隧道出口處其最大流率是720 (veh/lane/hr)與北上石碇隧道中間點其最大流率是888(veh/lane/hr)，與其他隧道相比明顯偏低很多，研判是偵測器收集的資料正確性有關，此將影響各隧道最大流率大小的比較，因此本研究將在下一章針對此現象作一檢核的動作。



第五章 隧道斷面車流特性之差異性分析

5.1 國道五號南北向各隧道斷面最大流量與自由速率的變化趨勢

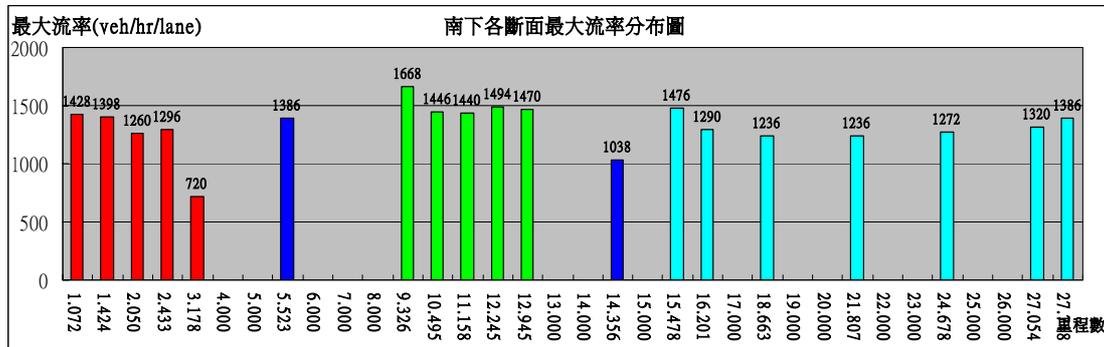


圖 5.1 國道五號南下各斷面最大流率分布圖

從南下國道五號直條圖來看各斷面其最大流量的變化趨勢得知，其最大流量在石碇隧道從入口處至出口處是呈現先降後升的趨勢，但在出口處卻突然異常下降很低，而彭山隧道其最大流量在入口處最高，越往下游行駛其最大流量呈現先降後升的變化趨勢，而雪山隧道其最大流量則呈現 U 字型的波動型態，在隧道入口處為流量最高，往中間處行駛其最大流量逐漸下降至最低，而開往出口處時其最大流量又逐漸上升。

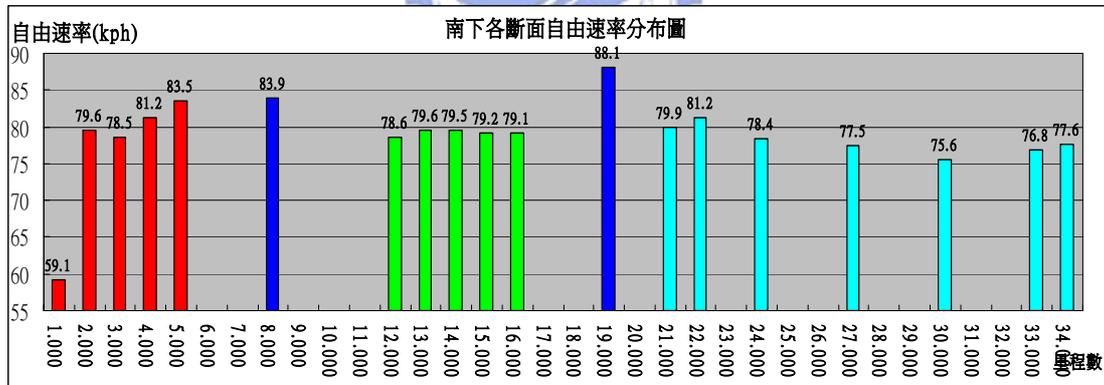


圖 5.2 國道五號南下各斷面自由速率分布圖

從南下國道五號直條圖來看各斷面其自由速率的變化趨勢得知，在石碇隧道入口處其自由速率異常的低只有 59.1(kph)，越往下游其自由速率越高，而彭山隧道其自由速率從入口處有先上升在下降的趨勢，而雪山隧道從入口處開往出口處時其自由速率也有先上升在下降的趨勢。

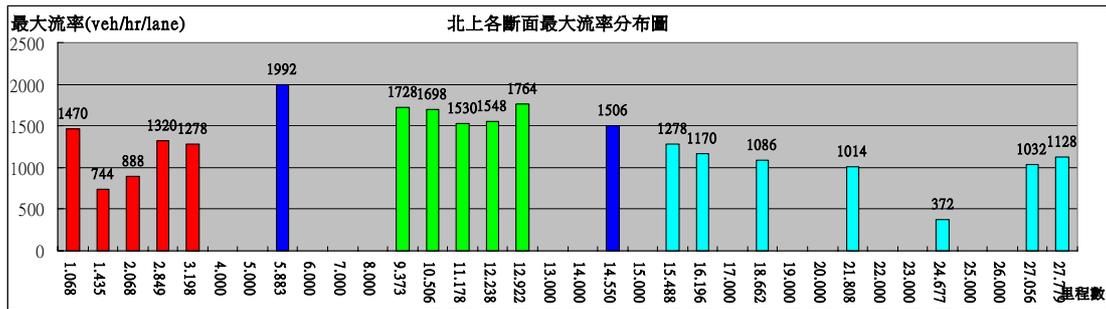


圖 5.3 國道五號北上各斷面最大流率分布圖

從北上國道五號直條圖來看各斷面其最大流量的變化趨勢得知，在石碇隧道其最大流量呈現 U 字型的波動型態，在出入口為流量的最高點，在中下游為流量最低點，而彭山隧道其最大流量亦呈現 U 字型的波動型態，在出入口為流量的最高點，在中上游為流量最低點，而雪山隧道其最大流量亦呈現 U 字型的波動型態，在出入口為流量的最高點，在中上游為流量最低點，而在里程數 24.677 的斷面處其最大流量異常的低。

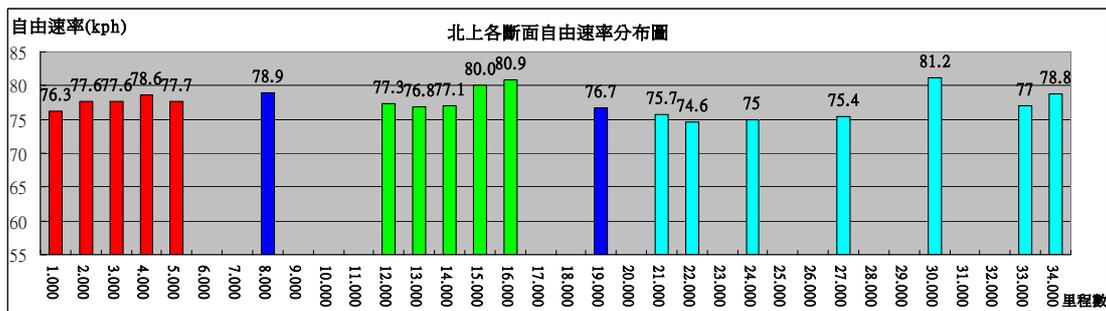


圖 5.4 國道五號北上各斷面自由速率分布圖

從北上國道五號直條圖來看各斷面其自由速率的變化趨勢得知，在石碇隧道其自由速率從入口至出口大致呈現先上升在下降的趨勢，而彭山隧道其自由速率有先下降再上升的變化趨勢，而雪山隧道其自由速率在入口處至隧道長度 1/4 處呈現先降後升的現象，過了之後其自由速率便呈現先降後升的趨勢。

5.1.2 國道五號偵測器資料準確度之檢核

從圖 5.1、5.3 得知，在南下斷面 3.178 與北上斷面 1.435、2.068 和 24.677 的里程上，均出現了最大流率偏低的現象，造成此現象原因不明。理論上國道五號各隧道內之各斷面均要維持流量守恆定律，若由圖 5.5、5.6 來看，各斷面每日總流量的確能發現大部分的偵測器斷面均有達到流量守恆定律，因此這些最大流率偏低的偵測器斷面將對車流特性造成相當大的影響，本研究將對此斷面作統計量的檢定，探討此斷面偵測器的準確度。

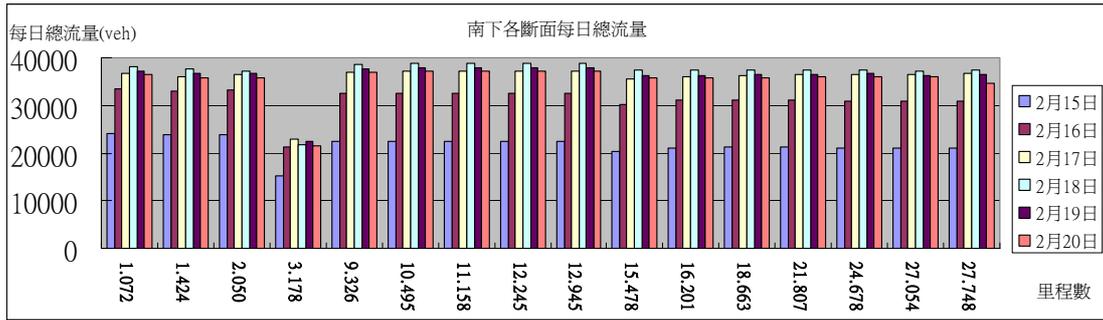


圖 5.5 國道五號南下各斷面每日總流量

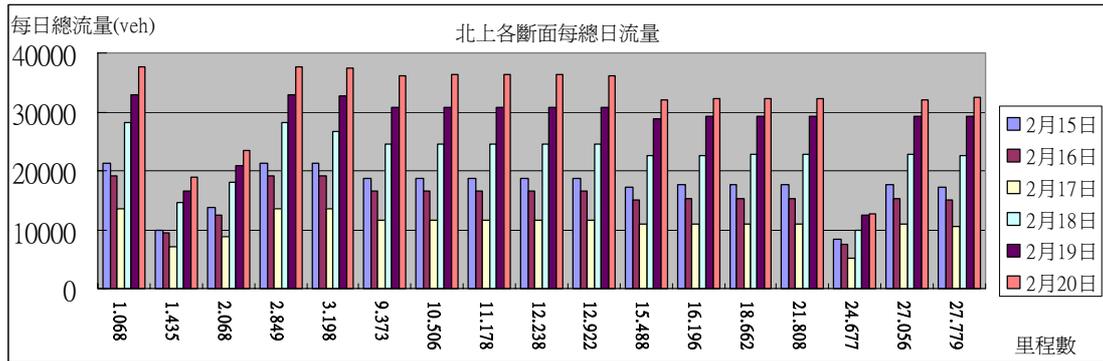


圖 5.6 國道五號北上各斷面每日總流量

過程中將針對有問題的斷面偵測器與各隧道內的全部偵測器，作流量一致性的統計量檢定。其統計檢定的方法如下：

偵測器流量的差異檢定

$$\text{假設 } H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

其中， μ_1 為有問題偵測器每日總流量的平均值， μ_2 為該隧道內全體每日總流量的平均值。用 t 檢定：兩母體平均數差的檢定，假設兩母體變異數相等，在 95% 信賴區間下，檢定各偵測器資料在不同地點內，全程不得超車，不可變換車道之條件下，探討流量是否具顯著差異。理論上若遵守流量守恆定律，則各斷面應接受虛無假設 H_0 。

(1) 南下石碇隧道里程處(3.178)

檢定結果顯示，南下石碇隧道里程處(3.178)與該隧道全體偵測器的檢定量值，為 $t(3.178) = -5.435$ ，臨界值 $t = -2.228$ ，得知南下石碇隧道里程處(3.178) 與南下石碇隧道全體平均數拒絕虛無假設。代表此偵測器與該隧道其他偵測器平均數不一致，顯示此偵測器準確度不佳，因此給予捨棄。

(2) 北上石碇隧道里程處(1.435，2.068)

檢定結果顯示，北上石碇隧道里程處(1.435)與(2.068) 與該隧道全體偵測器的檢定量值，分別為 $t(1.435) = -3.066$ 、 $t(2.068) = -2.720$ ，臨界值 $t = -2.228$ ，得知北上石碇隧道長 3/4 處(1.435)、北上石碇隧道長 1/2 處(2.068)與該隧道全體平均數拒

絕虛無假設。代表北上石碇隧道里程處(1.435)、北上石碇隧道長 1/2 處(2.068)與該隧道其他偵測器平均數不一致，顯示此兩偵測器準確度不佳，因此給予捨棄。

(3) 北上雪山隧道里程處(24.677)

檢定結果顯示，北上雪山隧道里程處(24.677)與該隧道全體偵測器的檢定量值，為 $t(24.677) = -3.322$ ，臨界值 $t = -2.228$ ，得知北上雪山隧道里程處(24.677)與該隧道全體平均數拒絕虛無假設。代表此偵測器與該隧道其他偵測器平均數不一致，顯示此偵測器準確度不佳，因此給予捨棄。

5.1.3 國道五號各隧道替代偵測器的挑選

由 5.1.2 節得知，南下石碇隧道里程處(3.178)、北上石碇隧道里程處(1.435，2.068)與北上雪山隧道里程處(24.677)此四個偵測器有資料不準確的影響，因此本節將針對這些有問題的偵測器另行挑選替代的偵測器，過程中將以此四個不準確性的偵測器，以它們鄰近的偵測器做為替代的代表，依序選擇南下石碇隧道里程處(3.506)、北上石碇隧道里程處(1.788，2.455)與北上雪山隧道里程處(24.952)作為替代偵測器的代表，然後也透過兩母體平均數差異檢定，若該斷面接受虛無假設 H_0 便以這些偵測器作為代表。

(1) 南下石碇隧道里程處(3.506)

檢定結果顯示，南下石碇隧道里程處(3.506)與該隧道全體偵測器的檢定量值，為 $t(3.506) = -0.426$ ，臨界值 $t = -2.228$ ，得知南下石碇隧道里程處(3.506)與南下石碇隧道全體平均數接受虛無假設。代表此偵測器與該隧道其他偵測器平均數有一致，顯示此偵測器準確度佳，因此給予替代南下石碇隧道里程處(3.178)。

(2) 北上石碇隧道里程處(1.788，2.455)

檢定結果顯示，北上石碇隧道里程處(1.788)與該隧道全體偵測器的檢定量值，為 $t(1.788) = 0.013$ 、 $t(2.455) = -0.029$ ，臨界值 $t = 2.228$ ，得知北上石碇隧道里程處(1.788，2.455)與北上石碇隧道全體平均數接受虛無假設。代表兩偵測器與該隧道其他偵測器平均數有一致，顯示兩偵測器準確度佳，因此給予替代北上石碇隧道里程處(1.435，2.068)這兩處的斷面。

(3) 北上雪山隧道里程處(24.952)

檢定結果顯示，北上雪山隧道里程處(24.952)與該隧道全體偵測器的檢定量值，為 $t(24.952) = 0.022$ ，臨界值 $t = 2.228$ ，得知北上雪山隧道里程處(24.952)與北上雪山隧道全體平均數接受虛無假設。代表此偵測器與該隧道其他偵測器平均數有一致，顯示此偵測器準確度佳，因此給予替代北上雪山隧道里程處(24.677)的斷面。

5.2 不同長度隧道最大流率之分布

5.2.1 南下不同長度隧道最大流率之變化

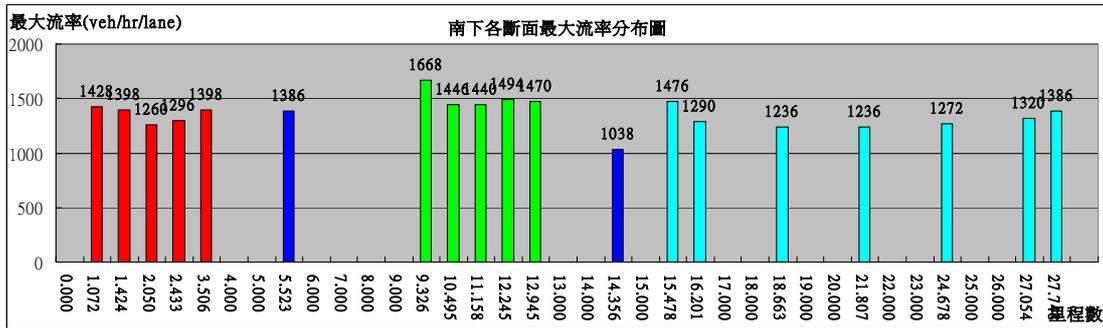


圖 5.7 南下各斷面最大流率分佈圖

經過替換偵測器修正過後，發現在南下石碇隧道其最大流量的變化情形呈現先降後升的趨勢，在隧道的中間處為最大流率最低的地方，出入口為最大流率較高的地方，在南下彭山隧道其最大流率的變化情形亦呈現先降後升的趨勢，在隧道的中間處為最大流率最低的地方，出入口為最大流率較高的地方，而南下雪山隧道其最大流率的變化情形亦呈現先降後升的趨勢，在進入隧道 1/4 長處為最大流率最低的地方，出入口為最大流率較高的地方。

在南下三座不同長度隧道中，皆可發現其最大流率都會從入口為最高，行經至隧道中間點處最大流率降至最低，然後行駛至出口時，最大流率又會逐漸上升，都有先降後升的特性。而且最大流率變化中，會發現隧道長度越長其最大流率會下降至最低。

經過替換偵測器修正過後，可發現南下石碇隧道最大流率約 1300(veh/lane/hr)、彭山隧道最大流率約 1400(veh/lane/hr)，雪山隧道最大流率約 1200(veh/lane/hr)，發現彭山的最大流率最高，石碇的最大流率次之，而雪山的最大流率最小，且最大流率最小的地點大多發生在隧道中間點的附近。

5.2.2 北上不同長度隧道最大流率之變化

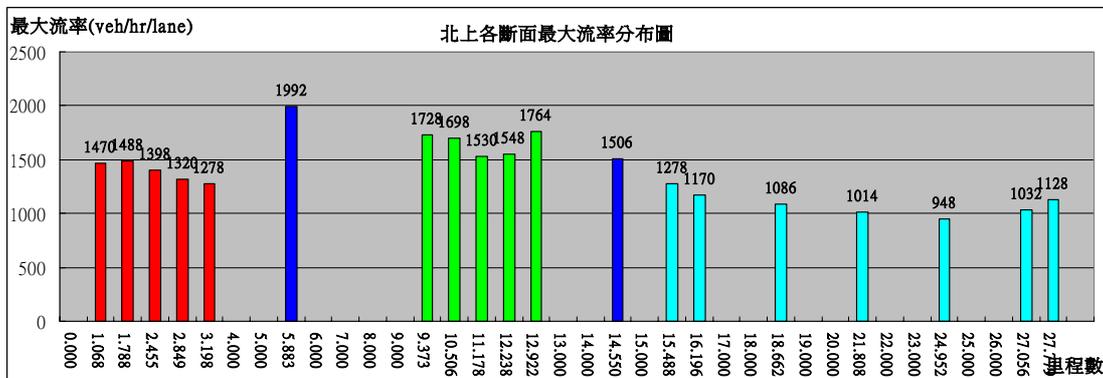


圖 5.8 北上各斷面最大流率分佈圖

經過替換偵測器修正過後，發現在北上雪山隧道其最大流率的變化情形亦呈現先降後升的變化趨勢，在進入隧道 1/4 長處為最大流率最低的地方，出入口為最大流率較高的地方，在北上彭山隧道其最大流率的變化情形亦呈現先降後升的變化趨勢，在隧道的中間處為最大流率最低的地方，出入口為最大流率較高的地方，而北上石碇隧道其最大流率的變化情形則呈現一路往上升的趨勢，在隧道的入口處為最大流率最低的地方，出口處為最大流率較高的地方。

在北上三座不同長度隧道中，亦可發現其彭山與雪山隧道其最大流率都會從入口為較高，行經至隧道中間點處會下降，然後行駛至出口時，最大流率又會逐漸上升，也有先降後升的特性。而且最大流率變化中，會發現隧道長度越長其最大流率會下降至最低。

而北上石碇隧道其出口處不遠剛好緊接南港系統交流道，因此其最大流率變化便沒有呈現先降後升的變化趨勢，卻呈現一直上升的現象。

替換偵測器修正過後，可發現北上石碇隧道最大流率約1300(veh/lane/hr)、彭山隧道最大流率約1500(veh/lane/hr)，雪山隧道最大流率約900(veh/lane/hr)，發現彭山的最大流率最高，石碇的最大流率次之，而雪山的最大流率最小，且最大流率最小的地點大多發生在隧道中間點的附近。

5.3 不同長度隧道自由速率之分布

5.3.1 南下不同長度隧道自由速率之變化

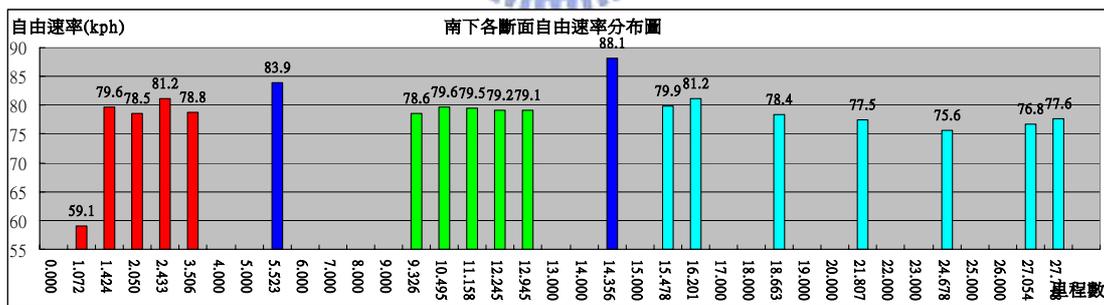


圖 5.9 南下各斷面自由速率分佈圖

從南下石碇隧道其自由速率變化情形中，發現其入口處自由速率異常的低，理由為車輛由南港系統交流道這大流量的車流，突然進入有封閉特性又不能變化車道的隧道裡，且又有速限的限制，因此產生車輛會在隧道入口前產生瓶頸現象，因此自由速率會明顯偏低。

在南下三長度不同的隧道中，發現進入隧道前半段其自由速率會先有上升的趨勢，之後自由速率又呈現下降再上升特性。若比較南下長度不同的隧道中其自由速率的變化幅度，會發現隧道長度越長其自由速率變化幅度最大。

5.3.2 北上不同長度隧道自由速率之變化

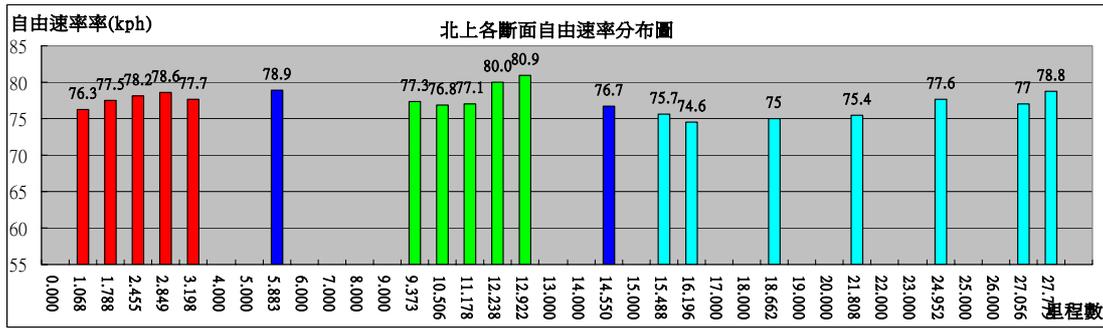


圖 5.10 北上各斷面自由速率分佈圖

在北上隧道其自由速率的變化情形，在雪山及彭山兩隧道中，其自由速率有先降後升的特性，而石碇隧道自由速率卻呈現先升後降的變化趨勢。同理比較北上長度不同的隧道中其自由速率的變化幅度，亦會發現隧道長度越長其自由速率變化幅度最大。

5.4 隧道車流特性之進一步分析

透過偵測器的檢討篩選過後，發現確有幾處偵測器資料內容是不具代表性的，經過替代偵測器的修補，後續將進一步分析不同長度隧道車流特性之比較。

5.4.1 自由流速率實際資料與模式推估值之比較分析

由於之前求得的自由速率是由 Greenshieds 車流模式求得而來，往後將由 Q-U 散佈圖原始的資料以及由 Greenshieds 車流模式求得的自由速率相互比較是否有差異，後續 Q-U 散佈圖求得自由速率的原始資料，將以每 5 分鐘得知的 VD 資料，只截取流量小於 10(veh/5min)的資料來算出自由速率的平均值。

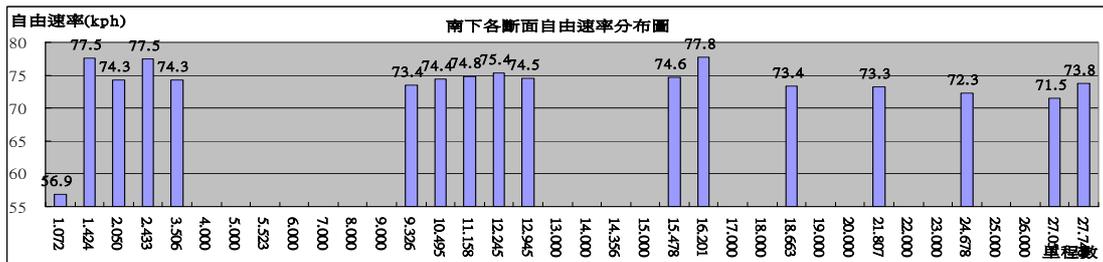


圖 5.11 南下各斷面自由速率分佈圖

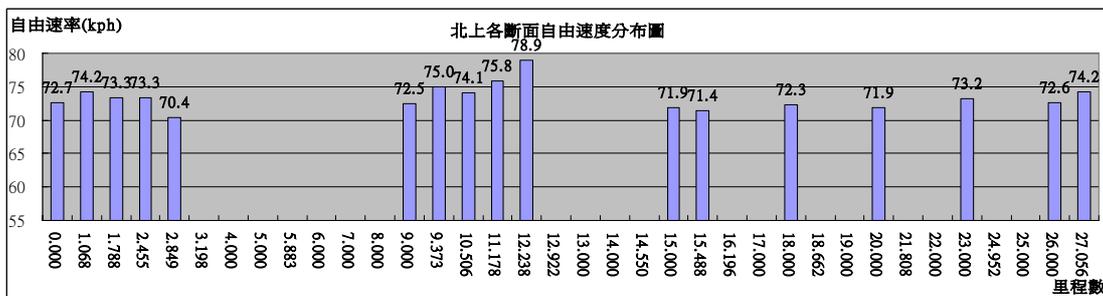


圖 5.12 北上各斷面自由速率分佈圖

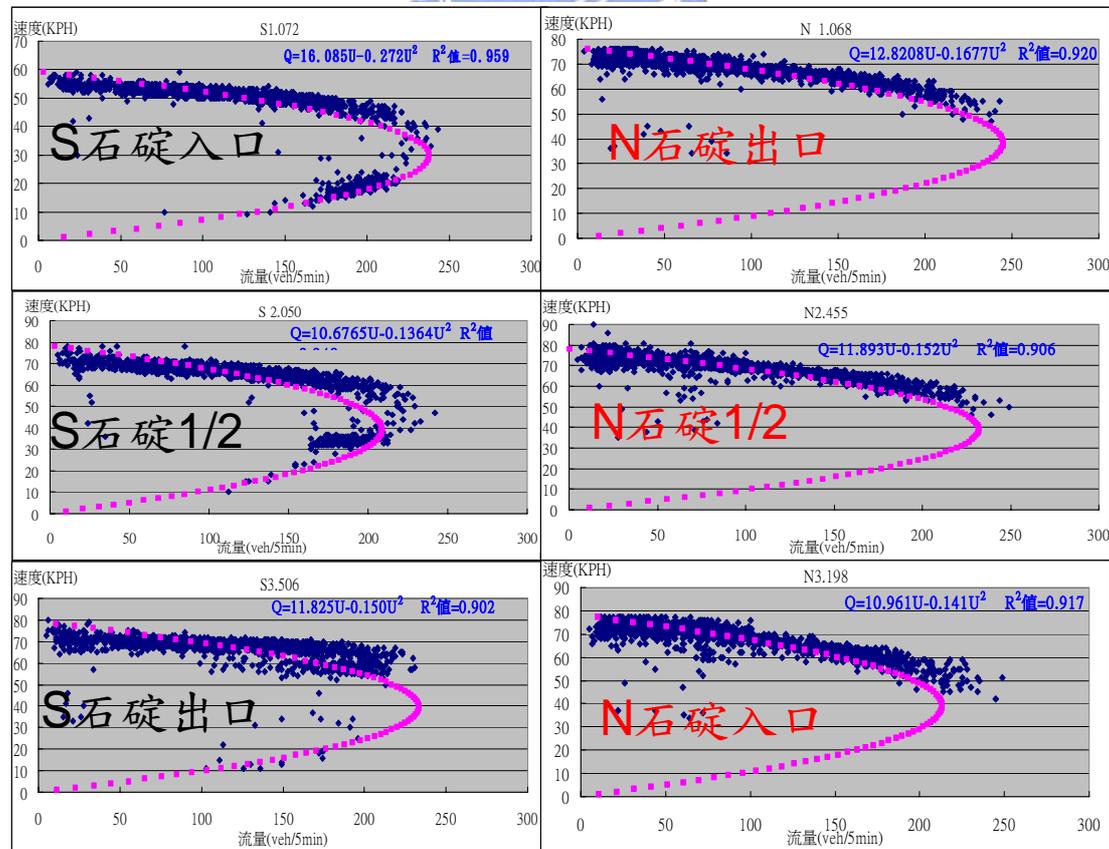
經由整理由圖 5.11 和圖 5.12 可得知由原始 Q-U 散佈圖以流量小於 10(veh/5min)得到的自由速率平均值，與 Greenshields 車流模式得到的自由速率波動型態是相似的。

在南下三長度不同的隧道中，發現進入隧道前半段其自由速率會先有上升的趨勢，之後自由速率又呈現下降再上升特性。而北上隧道其自由速率的變化情形，在雪山及彭山兩隧道中，其自由速率有先降後升的特性，而石碇隧道自由速率卻呈現先升後降的變化趨勢。

5.4.2 隧道不同断面最大流率之比較分析

由圖 5.13 得知，在南下各隧道断面最大流率的比較皆以入口處 > 出口處 > 中間處，而北上各隧道断面最大流率的比較則是彭山和雪山皆以中間最低，出入口較高，而石碇則逐漸增加。

由南北向各断面 Q-U 散佈圖來看，南北向相對應断面的比較則發現彼此最大流量差異不大，顯示坡度對各断面的最大流率影響不顯著。並且南下全線幾乎都有擁擠車流的現象，直到雪山出口才無此現象，而北上只有雪山入口有擁擠車流的現象，往後皆是非擁擠車流，顯示國道五號瓶頸處發生在南下雪山隧道出口處與北上雪山隧道入口處，通過瓶頸點過後便無擁擠車流的現象。



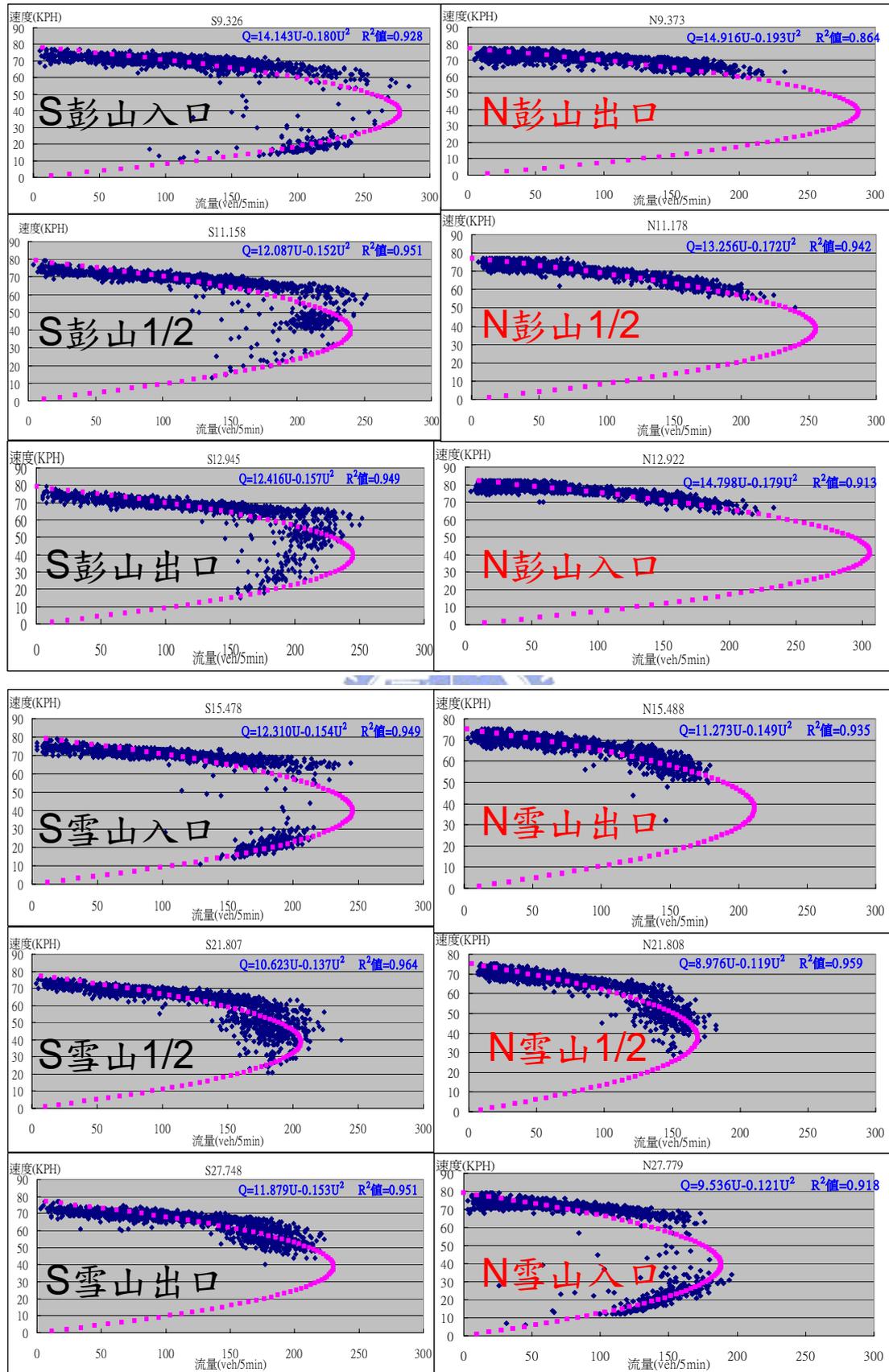


圖 5.13 各方向隧道前中後不同斷面 Q-U 散佈圖

5.4.3 不同長度隧道相同斷面最大流率之比較分析

在不同隧道相同斷面的最大流率比較，將比較石碇、彭山和雪山隧道其入口處、中間點與出口處的最大流率的差異，經由圖 5.13 可發現：

南下入口處的比較為彭山 > 石碇 \approx 雪山，而北上入口處亦為彭山 > 石碇 > 雪山，南下中間點的比較為彭山 > 石碇 \approx 雪山，而北上中間點亦為彭山 > 石碇 > 雪山，南下出口處的比較為彭山 > 石碇 \approx 雪山，而北上出口處亦為彭山 > 石碇 > 雪山。

透過整理發現在南北向入口處、中間點和出口處最大流率的比較皆已彭山隧道最高，石碇隧道次之，而雪山隧道最小。



第六章、結論與建議

本研究針對國道五號各長短不同隧道之車流特性進行分析，研究參考「2001年台灣地區公路容量手冊」及美國1994年「公路容量手冊」之分析方法，以國道五號各斷面偵測器之車流特性資料，建構出各隧道路段斷面之車流模式，並據以推估其最大流率及自由速率。以下將針對本研究的內容進行結論與建議。

6.1 結論

1、在每月各日流量的變化中，流量高峰都發生在六日這兩天，且南北向會有不同的呈現方式，在南下的車流中，星期六的車流量幾乎都大於星期日的車流量；在北上的車流中，星期日的車流量幾乎都大於星期六的車流量，顯示出國道五號主要為旅行旅次的車流型態，而每週各日流量變化中由每週星期一開始下降，到了星期二、三到達波谷位置，之後又逐漸往上爬升，到了六、日達到波峰型態。

2、在平日時段，南北向的尖離峰時段大致相同，而南北向的離峰時段都約發生在凌晨3點至5點左右。

3、在假日時段，南北向的尖峰時段呈現方向性尖峰差異性，在南下部份尖峰時段大約在早上十點至十二點左右。而北上路段尖峰時刻發生在下午四點至七點左右。

4、在車流基本模式構建方面，國道五號在各斷面的車流模式構建，以Greenshields模式的 R^2 值都比較好，因此本研究皆以Greenshields模式推估隧道內各區段雙車道之最大流率與自由速度。

5、在南北向不同長度隧道中，可發現其最大流率會從入口為較高，行經至隧道中間點處下降至最低，然後行駛至出口時，最大流率又會逐漸上升，都會有先降後升的特性。而且最大流率變化中，會發現隧道長度越長其最大流率在中間點會下降至最低。而北上石碇隧道其出口處不遠剛好緊接南港系統交流道，因此其最大流率變化便沒有呈現先降後升的變化趨勢，而呈現一直上升的現象。

6、在南北向長度不同的隧道中其自由速率的變化幅度，會發現隧道長度越長其自由速率變化幅度較大。

7、在經過替換偵測器修正過後，可發現南下石碇隧道最大流率約1300(veh/lane/hr)、彭山隧道最大流率約1400(veh/lane/hr)，雪山隧道最大流率約1200(veh/lane/hr)，而北上石碇隧道最大流率約1300(veh/lane/hr)、彭山隧道最大流率約1500(veh/lane/hr)，雪山隧道最大流率約900(veh/lane/hr)，整理發現南北向

皆以彭山的最大流率最高，石碇的最大流率次之，而雪山的最大流率最小，且最大流率最小的地點大多發生在隧道中間點的附近。

8、在各方向同一隧道前中後不同斷面的比較，發現最大流量比較，以入口處較高，出口處次之，中間點最低。

9、在南北向互相對應斷面的比較，發現彼此最大流量差異不大(顯示坡度影響不顯著)，且南下全線幾乎都有擁擠車流的現象，直到雪山出口才無此現象，而北上只有雪山入口有擁擠車流的現象，往後皆是非擁擠車流，顯示國道五號瓶頸點皆發生在雪山隧道內。

10、在不同長度隧道而相同斷面車流特性之差異比較，發現其最大流率比較在入口處、中間點、出口處，皆以彭山隧道最高，石碇隧道次之，雪山隧道最小。

6.2 建議

1、由於本研究的時間背景，國道五號全線只開放小客車通行，尚無大客車、大貨車、聯結車等大型車輛的干擾，因此在計算最大流率時，無考慮小客車當量值，而往後開放大型通行時，應該要考慮將大型車轉化為小客車當量值來計算其最大流率。

2、本研究在整理偵測器資料的過程中，發現其內容歸類方式不符合實際研究的整理方式，建議相關單位可把偵測器資料建檔型式，為一個偵測器其內容是全年的車流特性資料的檔案形式，而非一天所有偵測器的車流特性資料。

3、本研究分析各隧道路段斷面其車流特性時，未將曲率、坡度等因素列入考慮，建議未來分析時，可將之列入考慮因素之中。

4、由於最大流率的檢核機制可由各斷面皆遵守車流量守衡的定律來檢驗其正確性，但自由速率正確性的檢核機制，希望能有一套標準檢核流程。

參考文獻

1. 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
2. 蘇振維，雪山隧道車流特性之研析，交通運輸研究所，民國 96 年。
3. 交通部運輸研究所，「高速公路基本路段容量分析手冊」，民 86 年 11 月。
4. 交通部運輸研究所，「台灣地區公路容量手冊」，民 90 年 3 月。
5. 吳健生、周健捷，「公路隧道安全設施準則研訂」，交通部台灣區國道新建工程局，民國 87 年。
6. 楊冠雄、吳健生，「公路隧道機電及交通監控整合研究」，交通部台灣區國道新建工程局，民國 84 年 1 月。
7. 劉志堅譯，「隧道安全設施報告」，民國 80 年 1 月。
8. 國道高速公路局，隧道管理標準作業之研究，民國 84 年 5 月。
9. 簡俊能、王銘亨、兵界力，「高速公路隧道群（區）車流及行車事故特性分析」，道路交通安全與執法研討會，民國 88 年 6 月。
10. 國道公路警察局第六警察隊 87 年年報資料，民國 88 年 1 月。
11. 許義宏，「巨觀混合車流模型構建之研究」，碩士論文，國立成功大學交通管理科學研究所，民國 96 年 6 月。
12. 簡俊能、王銘亨、兵界力，「高速公路隧道群（區）車流及行車事故特性分析」，道路交通安全與執法研討會，307~321 頁，民國 88 年 6 月。
13. 殷鼎棋，「隧道公路容量推估與分析之研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程學研究所，民國 95 年 6 月。
14. 何煖軒，「高速公路隧道群段速率控制策略之研究」，博士論文，中華大管理研究所，民國 92 年 6 月。
15. 吳健生，「高快速公路速率控制系統設置研究」，財團法人中華顧問工程司，民國 83 年 8 月。
16. 吳健生、洪玉美，「公路隧道交通控制系統規劃研究」，中華民國運輸學會第十屆論文研討會，民國 84 年 10 月。
17. 蔣偉寧、何志宏、陳惠國，「整合性隧道管理控制系統之建立研究」，交通部台灣區國道新建工程局，民國 83 年。
18. Adolf D. May, "Traffic Flow Fundamentals", ty of CalifoUniversirnia at Berkeley, 1990.
19. Assessment of Traffic Control and Traffic Operation in the Shea-San tunnel F.B. Lin , C.W. Su & T.C. Lu August 1 , 2007
20. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report209, National Research Council, Washington, D. C.2000。

21. May, A. D., "Traffic Flow Fundamentals" , New Jersey,Prentice-HallInc.1990 ◦
22. Schatzmann, A., "Traffic Control and Safety in Long Vehicular Tunnels", Seminar on Urban and Highway Traffic Surveillance and Control Technology, pp.H-1~H-10, 1993.
23. H.C. Chin and A.D. May: Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel. In: Transportation Research Record 1320, Transportation Reserch Board (NRC, Washington, DC, 1991), pp. 1–15.
24. R.W. Rothery: Car following models. In: Traffic Flow Theory Transportation ResearchBoard, Special Report 165, ed. by N. Gartner, C.J. Messer, and A.K. Rathi(1992), Chap. 4.
25. Ihor Lubashevsky etc," State of Traffic Flow in Deep Lefortovo Tunnel(Moscow) : Empirical Data" ,arXiv : physics/0511136v1,15 Nov 2005.
26. W.Spencer Smith & Ferd L.Hall,"Comparing the Speed-Flow Relationship for Motorways with New Data from the M6",Transportion Res-A Vol.30,No2,pp89-101,1996.
27. Adolf D. May, "Traffic Flow Fundamentals", University of California at Berkeley, 1990.
28. <http://www.mcmaster.ca/graduate/flhall/sfrel.html>
29. Hall, F. L., Hurdle, V. F., Banks, J. H. (1992). "Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (or Density) Relationship on Freeways." Transportation Research Record, (1365): 12-17.
30. Smith, W. S., Hall, F. L., Montgomery, F. O. (1996). "Comparing the Speed-Flow Relationship for Motorways with the New Data from the M6." Transportation Research Part A, 30 (2): 89-101.