

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

匝道儀控對匯流區段容量之影響
The Impact of Ramp Metering on the Capacity of
Freeway Merge Locations

研究生：陳威瑜（Chen, Wei-Yu）
指導教授：黃家耀（Wong, Ka Io）

中華民國一一〇年七月
July 2021

匝道儀控對匯流區段容量之影響

The Impact of Ramp Metering on the Capacity of
Freeway Merge Locations

研究生：陳威瑜

Student：Wei-Yu Chen

指導教授：黃家耀 博士

Advisor：Dr. Ka Io Wong

國立陽明交通大學

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 Yang Ming Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

July 2021

Taiwan, Republic of China

中華民國一一〇年七月

國立陽明交通大學

博碩士論文紙本暨電子檔著作權授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之學位論文，為本人於國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 交通運輸 組，
109 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：匝道儀控對匯流區段容量之影響

指導教授：黃家耀

一、紙本論文授權

紙本論文依著作權法第15條第2項第3款之規定辦理，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者…推定著作人同意公開發表其著作」。

二、論文電子檔授權

本人授權將本著作以非專屬、無償授權國立陽明交通大學、台灣聯合大學系統圖書館及國家圖書館。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：	
中英文摘要	必需公開
本校及台灣聯合大學系統區域網路	■ 中華民國 111 年 8 月 31 日公開
校外網際網路及國家圖書館	■ 中華民國 111 年 8 月 31 日公開

說明：基於推動「資源共享、互惠合作」之理念與回饋社會及學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟或數位化等各種方式收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行線上檢索、閱覽、下載或列印。

授權人： 陳威瑜 (親筆簽名)

中華民國 110 年 08 月 30 日

國立陽明交通大學 碩士學位論文審定同意書

運輸與物流管理學系交通運輸碩士班 陳 威 瑜 君
所提之論文

題目：(中文) 匝道儀控對匯流區段容量之影響

(英文) The impact of ramp metering on the capacity of freeway
merge locations

經學位考試委員會審查通過，特此證明。

學位考試委員會 (簽名)

口試委員：許新銳 (召集人)

景家耀

胡守任

論文已完成修改

指導教授 景家耀 (簽名)

系主任 黃昭居 (簽名)

中 華 民 國 110 年 7 月 29 日

誌謝

歷經兩年的碩士班生涯，終於來到要撰寫誌謝的這天，首先感謝耐心指導我完成論文的指導教授黃家耀老師，在歷經許多次的論文 Meeting 的過程之中，老師總能耐心的解開我有所疑惑的地方，當遇到問題卡關時也總能指引我方向，同時也在這過程當中讓我領悟到許多待人處事的地方，也是一位能為學生設身處地著想的好老師，讓我能無後顧之憂的進行研究，也感謝林貴璽老師在我參與計畫案的途中給我幫助以及做論文的價值觀。另外，也感謝邱裕鈞老師與胡守任老師於論文審查以及口試階段給予寶貴的建議，讓我的研究成果更趨於完善。

回顧正式踏進學校的那一刻，來到一個新環境難免會格外的緊張與擔憂，且也擔心新竹這個號稱美食沙漠的地方，我是不是能夠生存，但幸好一開始我遇到了 KILab 的學長們晉毅、哲伸、人瑋、雲晨，帶領我進入 Lab 熟悉環境，並適應在新竹的生活，在 Lab 中也常互相聊天哈哈，讓我在 Lab 不覺得孤單，後續進來 KILab 的宣理及祐德，讓我意會到原來還有夥伴能夠一起奮鬥面對每次的 Meeting 以及完成論文，而學弟妹佳欣、群凱、宜芳，更讓 Lab 更增添幾分活絡色彩，讓整個 Lab 生氣勃勃，十分慶幸大家都那麼的好相處。

後續在統艙陸續認識了許多的同學，結伴回家但常害你趕車的楚文、吃飯聊天的好夥伴晟華、鐵道研究學者庭嘉、魔性笑聲的爽朗瑤妮、看似嚴肅但暖心的士軒、嗆人不嘴軟但又會關心我的庭緯、住在深海且容忍我的好室友先維、聲音有穿透魔力帶來歡樂的凱嫻、讓我心生畏懼但其實人很好的敏聞、點子很多又很會聊天的宗翰、好閨蜜且好相處的佳臨、運動細胞強大且很 High 的奕靜、很會替人著想的貞瑩、一同玩遊戲又相互問候的晴雯、人好又隨和的玫萱、講話有點犀利但又不失禮貌的羽嫻、課堂上相互幫助的家瑜、像媽媽一樣照顧我的玄鈺、暖到不能再暖的暖男啓洋、很會舉辦各種活動又熱情跟親切的采馨、外表看起來很酷但其實很好笑跟好聊的雅方、相互打氣的俊昇、邀約我出去玩的伯諭、給我很多東西吃的安然，寫到這裡有太多太多回憶湧上心頭，雖然在碩班兩年的過程中難免有未完成的遺憾，但是人生本來就不是完美的且不一定照自己所想的發展，把握當下調適自己且向未來看齊才是最實際的地方，畢業之後我會想念各位的，祝各位一帆風順並各自朝著未來的人生努力。

最後我要感謝我的母親，十多年前父親過世之後就獨力撫養我，沒有妳我無法完成此篇論文，也感謝我已經過世的父親，在我小時候帶給我許多美好的回憶，期許我未來在公部門會努力奮鬥，認真過好每一天，面對難關時能夠迎刃而解，為自己的人生寫下精彩的篇章。

陳威瑜 謹誌

2021 年 8 月 28 日

於陽明交大綜一 KILab 與研三 N518

匝道儀控對匯流區段容量之影響

學生：陳威瑜

指導教授：黃家耀

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

匝道儀控為高速公路交通管理手段最有效的措施，透過安裝於進口匝道上的號誌，控制由匝道匯入高速公路主線的車流量，以維持主線車流順暢運作，避免主線進入車流崩潰(traffic breakdown)的現象。匝道儀控技術已廣泛實施於國內之高速公路，但高速公路仍常常發生車流壅塞之情況，因此可進一步檢視目前國內匝道儀控的實施方式對高速公路運作績效的改善程度。

本研究的目的是要探討匝道儀控對高速公路匯流區瓶頸路段之運作績效所帶來的影響，因匝道儀控的效果與匝道儀控策略、實施方式、使用時機等有關，本研究蒐集國內匝道儀控及偵測器資料，並提出高速公路在發生壅塞情況下之運作績效的評估方式，包括有無儀控情況下之過渡時間、平均速率、平均流率、最大流率等，提出假說檢定檢視在不同地點、不同壅塞時段下匝道儀控對主線車流之影響。研究結果顯示，匝道儀控對於平均流率及平均紓解流率有顯著改善，但對於過渡時間及平均速率之改善不顯著。匝道儀控若能成功避免壅塞發生，其車流崩潰前最大流率會顯著提升；然而若無法避免壅塞發生、或壅塞發生後匝道儀控才啟動之情況，對容量之提升則較不顯著。另外，本研究使用隨機容量分析方法，建立車流崩潰與最大流率之機率模式，發現在大部分情況下，開啟匝道儀控後，容量均有提升，但亦有發現發生壅塞後才啟動匝道儀控的情況。本研究之分析結果可供相關交通管理單位參考，作為精進國內匝道儀控的實施方式，讓高速公路的車輛運行更有效率。

關鍵字：高速公路、匝道匯流區段、匝道儀控、車流崩潰、隨機容量分析

The Impact of Ramp Metering on the Capacity of Freeway Merge Locations

Student: Wei-Yu Chen

Advisor: Ka Io Wong

Department of Transportation and Logistics Management
College of Management
National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

Ramp metering is the most effective measure for freeway traffic management. The flow from the ramp to the mainline is controlled through the traffic light installed on-ramp to maintain the operation of the mainline and avoid the mainline from entering traffic breakdown. Ramp metering technology has been widely implemented on freeways in Taiwan, but freeways still often have traffic congestion. Therefore, it is necessary to examine the current implementation of ramp metering and the degree of improvement in freeway operation performance.

This research aims to explore the impact of ramp metering on the operating performance of the bottleneck section of freeway merge areas. Because the effect of ramp metering is related to ramp metering strategies, implementation methods, and timing of use. The study collects history metering rate and vehicle detector data and evaluates performance with or without ramp metering to mainline through the transition period, average speed, average flow, and maximum flow rate. After collecting these parameters, we propose a hypothesis method to examine different locations and different periods of congestion with or without ramp metering. Our results show that the improvement to average flow and average discharge flow are significant, whereas the improvement of transition time and average speed are not significant. If ramp metering can successfully avoid the occurrence of congestion, the maximum flow rate before the traffic breakdown will be significantly increased. However, it has also been found that ramp metering can't avoid the occurrence of traffic congestion, or the ramp metering is activated after the congestion occurs, which can't increase capacity significantly. In addition, the study uses the stochastic capacity analysis method to explore whether the capacities of different congestion periods are affected by the ramp metering strategy. It is found that the capacity are generally improved with ramp metering. But in some cases it is found that ramp metering is implemented after traffic

breakdown, and thus the capacity decreases. The results of this study can be helpful to the traffic operators for improvement the operational efficiency of our freeway system.

Keywords: Freeway, Merge locations, Ramp metering, Traffic breakdown, Stochastic capacity analysis

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍.....	4
1.4 研究流程.....	5
第二章 文獻回顧	7
2.1 容量分析.....	7
2.2 匝道儀控.....	9
2.2.1 國外匝道儀控策略.....	9
2.2.2 國內匝道儀控策略.....	15
2.3 匝道儀控對匯流區段容量之影響.....	18
2.4 小結.....	21
第三章 研究方法	23
3.1 車流崩潰辨別方式.....	23
3.2 匝道儀控實施成效.....	24
3.3 隨機容量分析方法.....	30
第四章 資料蒐集分析	32
4.1 調查地點篩選.....	32
4.2 匝道儀控率的資料取得及分析.....	35
第五章 統計檢定推論與容量分析	38
5.1 匝道儀控有效性檢核.....	38
5.1.1 相關參數之擷取	38

5.1.2 匝道儀控有效性之假說檢定	41
5.2 匝道儀控對匯流影響區容量的估算.....	55
5.2.1 隨機容量分析方法之比較.....	56
5.2.2 壅塞時段與匝道儀控情況組合下之隨機容量分布.....	56
5.3 討論與小結.....	65
5.3.1 討論	65
5.3.2 小結	69
第六章 結論與建議	70
6.1 結論.....	70
6.2 建議.....	71
參考文獻.....	72
附表.....	75
附表一 國道 3 號北上中和交流道 2019 年歷史儀控率分布次數.....	75
附表二 國道 3 號南下龍潭交流道 2019 年歷史儀控率分布次數.....	76
附表三 國道 1 號北上竹北交流道 2019 年歷史儀控率分布次數.....	77
附表四 國道 1 號北上新竹 A 交流道 2019 年歷史儀控率分布次數.....	78
附表五 國道 1 號南下新竹 B 交流道 2019 年歷史儀控率分布次數	79
附表六 平日上午匝道儀控有效性之參數.....	80
附表七 平日下午匝道儀控有效性之參數.....	81
附表八 例假日匝道儀控有效性之參數.....	82
附表九 國定假日匝道儀控有效性之參數.....	83

圖目錄

圖 1-1 流率與速率時間序列圖.....	2
圖 1-2 研究流程圖.....	6
圖 2-1 匝道儀控系統布設圖.....	10
圖 2-2 車流崩潰與匝道儀控組合下可能發生之流率變化.....	20
圖 3-1 車流崩潰判別方式.....	24
圖 3-2 匝道儀控實施成效相關參數位置（速率與時間）.....	25
圖 3-3 匝道儀控實施成效相關參數位置（流率與時間）.....	25
圖 4-1 使用之 VD 資料相關位置圖.....	33
圖 5-1 匝道儀控有效性檢驗參數蒐集之情況分類篩選流程.....	40
圖 5-2 國道 3 號北上中和交流道流率與速率時間序列圖.....	41
圖 5-3 極限乘積法與韋伯分布之車流崩潰累積機率分布圖.....	56
圖 5-4 平日上午各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖.....	58
圖 5-5 平日下午各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖.....	60
圖 5-6 例假日各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖.....	62
圖 5-7 國定假日各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖.....	64

表目錄

表 2-1 匝道儀控策略摘要.....	14
表 2-2 德州一車道匝道儀控之各燈號建議秒數.....	15
表 2-3 匝道儀控時制對應表.....	17
表 3-1 匝道儀控有效性相關參數表.....	28
表 3-2 假說檢定項目.....	29
表 4-1 有發生重現性壅塞及有匝道儀控之匯流區.....	34
表 4-2 國道 3 號北上中和交流道 2019 年 1 月歷史匝道儀控紀錄（節錄）.....	35
表 4-3 國道 3 號北上中和交流道歷史儀控率分布.....	36
表 4-4 調查地點於各時段最常使用之儀控率與儀控率使用總次數.....	37
表 5-1 匝道儀控與車流崩潰各情況交互關係.....	39
表 5-2 國道 3 號北上中和交流道匯流區車流相關特性資訊表（節錄）.....	40
表 5-3 研究假說 1 之假說檢定結果.....	44
表 5-4 研究假說 2 之假說檢定結果.....	46
表 5-5 研究假說 3 之假說檢定結果.....	48
表 5-6 研究假說 4 之假說檢定結果.....	50
表 5-7 研究假說 5 之假說檢定結果.....	52
表 5-8 研究假說 6 之假說檢定結果.....	54
表 5-9 各地點平日上午韋伯分布參數校估結果與容量值.....	58
表 5-10 各地點平日下午韋伯分布參數校估結果與容量值.....	60
表 5-11 各地點例假日韋伯分布參數校估結果與容量值.....	62
表 5-12 各地點國定假日韋伯分布參數校估結果與容量值.....	64
表 5-13 各調查地點各時段匝道儀控情況比例.....	65
表 5-14 各調查地點可進行檢定之壅塞時段.....	67
表 5-15 各壅塞時段地點顯著差異之研究假說.....	68

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

匝道儀控(Ramp metering)是高速公路最常用的交通管理策略之一，其目的是控制進口匝道車輛匯入高速公路主線的車輛數，以維持主線車流順暢運作，以避免車流進入不穩定之壅塞狀態。當車流量過大，匝道儀控是成本效益極高的管理措施，對於改善高速公路的運作有諸多效益（Mizuta *et al.*, 2014；陳一昌等人，2004；卓訓榮等人，2016）。過去研究發現，匝道儀控實施時，能夠提高匝道匯流區段的容量、提升速率、延後甚至阻止壅塞的發生(Cassidy & Rudjanakanoknad, 2005; Chaudhary *et al.*, 2014; Zhang & Levinson, 2010)。而雖然國內之高速公路已大量佈建儀控系統設備及於平日尖峰及假日期間實施儀控，但仍然常發生主線壅塞的情況，或許儀控的實施對於不同地點、時段、車流情況的改善績效有所不同，因此有需要進一步考證研究。

本研究以車流崩潰(traffic breakdown)定義車流壅塞，當交通量持續上升，車流速率於短時間內急劇下降，車流密度同時增加，通過量也隨之降低。以圖 1-1 之案例進行說明，地點為國道 3 號新店交流道北上入口，匯流區段下游的車輛偵測器資料顯示，主線之車流率於早上 06:45 (2,748 輛/小時) 持續增加直至 07:27 之高點 (5,352 輛/小時)，而車速於 07:21 已開始下降至 75 公里/小時並隨後急劇下降 (最低點 43 公里/小時)，壅塞時間持續直至 09:30 才恢復至車流順暢。參考匝道儀控的記錄 (圖 1-1 所劃分的兩實線紅線區段)，當天實施每週預設時制，在 07:00 啟動儀控、儀控率為 1,300 輛/小時 (紫色區塊)，並於 07:30 將儀控率調整為 1,400 輛/小時 (綠色區塊) 直至 09:30 結束。該地點雖有匝道儀控的實施，卻仍然產生流率高速率低的壅塞現象。由圖中可發現，車流崩潰的發生時間約為 07:30，正是儀控率由 1,300 輛/小時轉換為 1,400 輛/小時之時間，但資料中無法清楚判斷何者為先或其因果關係。推測速率急劇下降的原因有可能為儀控率放行的車流率高，導致匯流區內之匝道併入主線之大量的車流交織及車流密度高，產生車流崩潰的現象。

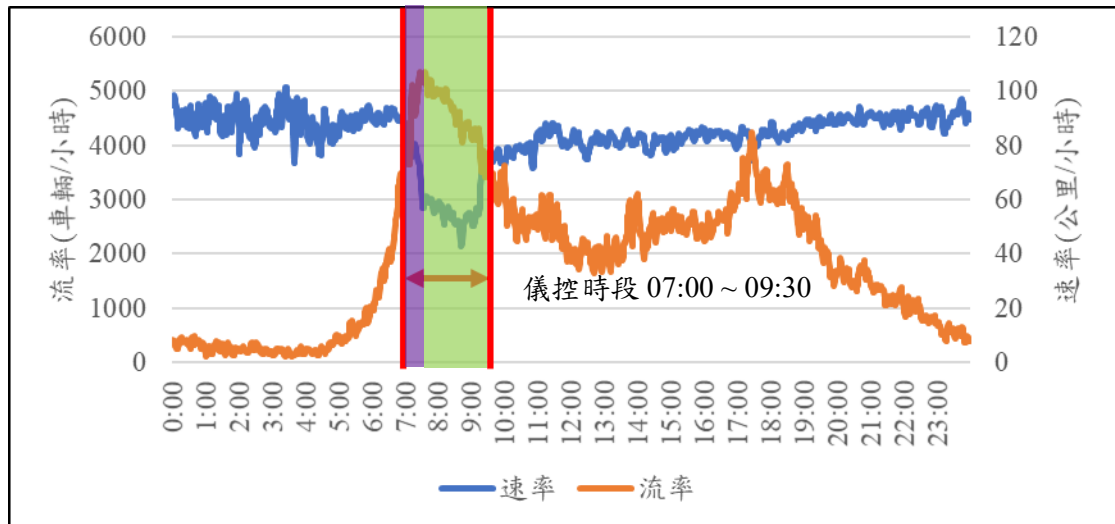


圖 1-1 流率與速率時間序列圖

依據國外近年的文獻發現(Persaud *et al.*, 2001; Kondyli *et al.*, 2013; Modi *et al.*, 2014; Asgharzadeh & Kondyli; Zechin *et al.*, 2020) ，容量會隨著現場道路幾何條件、氣候或是交通管制措施而有所不同，而容量值的依據與車流崩潰 (traffic breakdown) 相關，部分文獻將車流崩潰前的最大流量 (Pre-breakdown flow) 視為容量，由上述所提及的容量影響因素，表明容量事實上有隨機性 (stochastic) 的，故本研究將以隨機性容量探討匝道儀控對於容量的影響。

目前在高速公路匯流區較少有研究針對匝道儀控與高速公路容量之間的關聯進行研究，匝道儀控是否增加高速公路匯流區容量，這一重要問題尚未找到充分的定論。因此本研究欲探究匝道儀控的實行對於匯流區的影響，為交通管理者找出合適的匝道儀控時間。

1.2 研究目的

本研究主要的目的在於探究高速公路於匯流區段，匝道儀控的有效性以及其對於容量的影響。研究方式主要透過在匯流區範圍之主線車道及匝道上之車輛偵測器資料進行分析，並運用隨機容量分析模型，構建出不同組合情境下的容量值。

本研究欲達成之目的及其對應方法如下：

1. 探討匝道儀控對高速公路匯流區段的車流運作績效的影響：

提出一套高速公路在發生壅塞情況下之運作績效的評估方式，運用高速公路的車輛偵測器及儀控率歷史資料，檢視有無儀控情況下之過渡時間、平均速率、平均流率，以及最大流率等參數，由於匝道儀控可能並非對所有參數均有所改善，因此將上述提及之參數個別分析，檢視匝道儀控在不同地點實施後對高速公路的運作是否有顯著的差異。

2. 探究匝道儀控對匯流區段容量的影響：

容量具有隨機性，本研究針對特定的幾何條件之下進行隨機容量分析，並建構容量的累積機率分布，探討實施匝道儀控對瓶頸區段容量值是否有顯著改善。

3. 探討匝道儀控在不同時段的效益：

不同時段之交通需求及車流行為有所不同，如平日上下午之尖峰車流量較為固定，而假日之車流則較難精準預測，匝道儀控實施策略及效果可能有所不同。因此，本研究探討高速公路不同壅塞時段(包括平日上午、平日下午、例假日、國定假日)之運作對匝道儀控的成效是否有所不同。

期望所得出之研究成果，能夠往後讓高速公路交通管理當局，在不同的影響因素下決定是否要實行匝道儀控，以及設置較佳的匝道儀控開啟時機，進而舒緩或避免壅塞現象之發生。

1.3 研究範圍

本研究以臺灣國道 1 號及國道 3 號高速公路重車比例少於 10%之匯流區段為研究範圍，而匯流區段的幾何型態為主線為 3 車道、匝道 1 車道之類型，以未開放路肩但有常態實施匝道儀控的瓶頸區段為分析地點。分析地點須有符合分析條件之車輛偵測器可用，以進口匝道匯入主線後下游最鄰近之車輛偵測器為資料蒐集對象，此外為了確認偵測器資料之準確性，需要有匯流區上游主線以及進口匝道偵測器之資料，進行流量守恆之資料驗證。

本研究於匝道儀控儀控率分析方面，因歷史儀控率僅顯示固定時制或區域反應模式，所以其餘匝道儀控模式本研究並不考慮，如近期常用之「精進式匝道儀控」或是今年端午節所實施之「嚴格匝道儀控管制」臨時所採取儀控策略。

1.4 研究流程

本研究研究流程如圖 1-2 所示，其說明如下：

(一) 研究背景與動機

回顧車流量對於高速公路匯流區段運行的影響，並由匝道儀控之操作探究其對容量的關係。

(二) 研究目的與範圍

探究有無匝道儀控對車流運行的改善是否有助益以及建構高速公路匯流區段在匝道儀控下的隨機性容量模型，以及設立本研究之研究範圍。

(三) 文獻回顧

回顧道路容量界定的發展、匝道儀控的型態與運作方式，以及匝道儀控對於匯流區段容量的影響，以找出可用來評估匝道儀控成效的績效指標。

(四) 研究方法

利用車流崩潰判別方式先找出壅塞時段，擷取該時段內的相關車流特性參數，並藉由 6 個假說檢定，比較評估匝道儀控的績效指標在有無實施匝道儀控的情況是否有顯著差異，說明匝道儀控的實施成效，以及透過隨機容量分析方法決定容量值。

(五) 資料蒐集

篩選符合本研究所設立之條件針對國道 1 號及國道 3 號有匝道儀控的地點，利用偵測器蒐集與匝道儀控相關之車流特性資料以及取得歷史儀控率。

(六) 統計檢定推論與容量分析

1. 以可量化之績效指標檢定匝道儀控是否有改善交通的運行。
2. 分析有無匝道儀控下，不同壅塞時段匯流區段容量的差異。

(七) 結論與建議

統整研究結果，針對匝道儀控檢定與容量分析的結果提出彙整與相關建議。

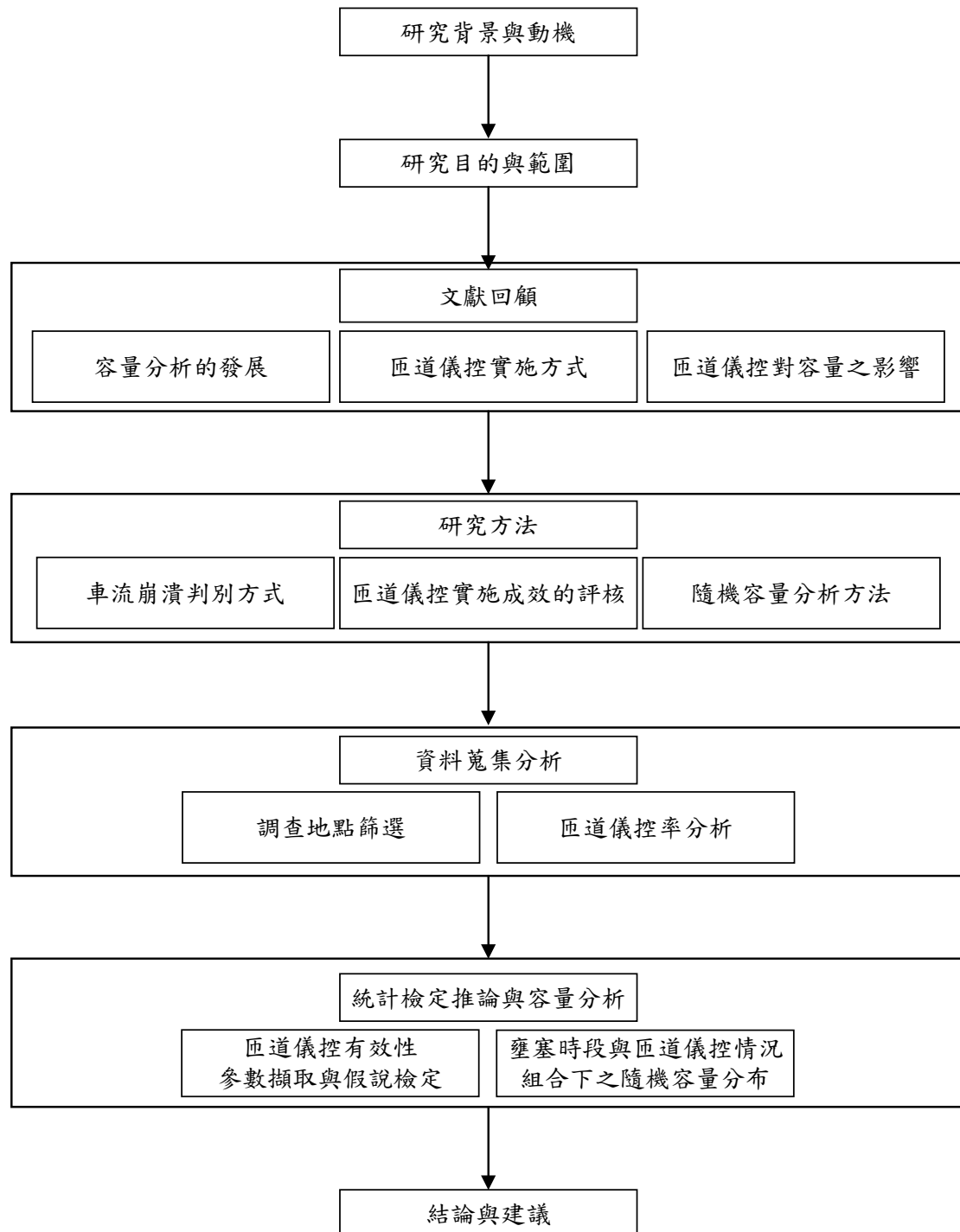


圖 1-2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

為找尋匝道儀控與匯流影響區容量之關係，需先理解容量在不同文獻中的看法說明，以及了解匝道儀控管控的型態與流率的控制。本章節將先針對容量進行探討與決定容量值的計算方式；接著，再回顧匝道儀控發展的脈絡、型態及儀控率的計算方式；最後，綜合兩者之關係，以了解並得到過往文獻的看法與建議，再得出本研究所欲分析之研究方法。

2.1 容量分析

為了要理解容量意涵及估算方式，本節回顧道路容量在不同文獻中所代表的意義，依數值而言容量可以是定值或隨機值，關於定值部分許多國家均依循美國所出版之公路容量手冊，因為公路容量研究在美國長期受聯邦政府、實務單位，以及學界之重視，在龐大之經費、人力投入之下，已成為各國發展公路容量研究的參考代表。

由 Elefteriadou (2014)與 Roess & Prassas(2014) 的整理，傳統上特定道路設施的容量被視為一個定值，但容量的定義和數值會隨著時間的推移而改變。美國公路容量手冊(Highway capacity manual, HCM)是最被常用於估計容量的參考書籍，以 HCM 2010 版本為例，其將一個設施的容量定義為「在當時的道路、環境、交通，以及控制條件下，可以合理預期人員或車輛通過車道或道路的一個點或均勻部分的最大持續每小時流量。」，但容量手冊中卻沒有具體說明測量高速公路設施容量的方式。

然而近年已有許多文獻發現容量事實上為隨機值，關於匝道儀控與容量隨機性的關係將會在 2.3 節的文獻介紹，此處先探討容量隨機性發展的脈絡與容量分析模式建構的方法，由於流率會因為每日的交通情況而有所變化，導致每日的最大通過流率不完全相同，因此近年來有許多研究朝著容量應為隨機之方向，利用壅塞前最大流量視為容量，如 Brilon *et al.* (2005) 為確認容量是否為一隨機值，利用高速公路上之偵測器資料所收集而得的流率進行實證分析，透過極限乘積法(Product limit method, PLM)來表示不同流率下車流崩潰(Traffic breakdown)的機率分布，該方法透過數次車流崩潰之統計數據進行存活分析，其模式適用於各型態

的高速公路，此外還能用於判別不同外部條件（如速度限制或天氣）對高速公路容量的影響。研究最後建議以車流崩潰機率 90% 的流率作為估算高速公路容量的參考值，供未來交通工程方面在新設或改建道路上有極大的助益。

Kondyli *et al.* (2013) 利用車輛偵測器針對五個匯流區進行車流的收集，該研究提出車流崩潰之定義為速度驟降，並維持低速率一段時間以上。此外提出三種不同的演算法，辨別出車流崩潰的發生時間點，再透過數次車流崩潰之統計數據進行存活分析，以車流崩潰前的流率視為容量，也考慮了匝道流率和高速公路流率的不同水平的組合對於交通崩潰的影響，因此可以更準確地預測交通崩潰機率與流率的關係，而研究最後建議以車流崩潰機率 85% 的流率作為估算高速公路容量的參考值。

Modi *et al.* (2014) 為了解決美國公路容量手冊沒有提供可用於計算容量值或在計劃執行層面上估計容量值的方法，因此無法確認所建議的容量值是否能適用於佛羅里達高速公路的服務水準分析，進行規劃和初步工程應用。於是採用容量估算非隨機之 Van Aerde 模型 (Van Aerde Model) 與容量估算隨機之極限乘積法進行容量的估算。結果發現兩者最終所得出之容量值，均與容量手冊所提供的容量值有差異，證明容量會隨著調查地點的條件不同而有所差異。

Asgharzadeh & Kondyli(2020) 為了要在不同的幾何型態與運作型態上量化其對於容量的影響，後續分別針對幾何型態的主線車道數，以及運作型態的進口匝道流率與匝道儀控的實施與否，以分別使用非參數校估之 KME 生存函數、參數校估之韋伯分布 (Weibull distribution)，還有半參數校估之 Cox 比例風險模型 (Cox proportional hazard model) 進行隨機容量分析，該研究建議以車流崩潰機率 85% 的流率作為估算高速公路容量的參考值，其中在有匝道儀控的調查地點，其容量會比沒有匝道儀控的調查地點高出 150 ~ 300 輛/小時/車道。

Zechin *et al.* (2020) 比較在不同的降雨量對於高速公路車流崩潰機率的影響，並應用兩種隨機性容量的估計方法乘積極限法和韋伯分佈型態的最大概似估計法來產生車流崩潰機率曲線，最終發現降雨和乾燥氣候的車流崩潰有顯著差異，在無降雨時的容量較降雨時的容量要高，但在高降雨強度之下，車流崩潰的機率則無顯著差異。

2.2 匝道儀控

高速公路為提供最高的可及性，主線車流運行上並不會受到交通號誌的影響，於車流運行上為非阻斷車流，但當車輛使用高速公路的需求提高時，會容易使需求大於高速公路的設計容量，此時車流就會從非壅塞進入到壅塞的狀況，造成高速公路營運績效下降，因此需要有透過運輸系統管理(Transportation System Management, TSM)的手段來解決此問題，而常應用於高速公路車流管理的措施，包含路肩開放、高乘載管制、駕駛人資訊導引及匝道儀控。以實務方面而言，匝道儀控是最迅速實施且最有效的方式，利用儀控率(metering rate)的變化調節進入高速公路車輛的流率。

匝道儀控最早由 May (1964)所提出，針對高速公路進口匝道進行了高速公路路網匝道控制的實驗。在實驗的六週當中，有三週為無匝道控制，另外三週則有匝道控制，而匝道控制的方式為關閉第一個進口匝道，使車輛無法由進口匝道進入高速公路主線，並在第二個進口匝道實施匝道控制，實驗結果透過各車輛在路網上或路段上的行駛時間及距離，評估了匝道控制的績效，結果顯示匝道控制減少了車輛於路網上旅行時間，以下將回顧國內外匝道儀控實施的方式。

2.2.1 國外匝道儀控策略

參考美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)委託 Mizuta *et al.* (2014)協助出版的技術報告內容，匝道儀控系統關鍵設施的組成主要有：

- (一) 匝道儀控號誌：通常使用兩個（紅、綠）或三個（紅、黃、綠）燈號所組成，以控制匝道車輛的匯入主線。
- (二) 控制箱：用於監測相關交通變數，如流率及佔有率等，能夠與匝道上的偵測器相互連結，以得知現況的交通情形，更能選擇或計算儀控率，進行號誌時制的調整。
- (三) 匝道儀控預警標誌：用以告知駕駛人該匝道是否有實施匝道儀控。

其餘相關系統之設置能夠更能使匝道儀控更有效率，像是主線上游偵測器的布設與連接，能偵測主線的車流來決定要進行儀控與否、駛入及駛出偵測器的布設能夠讓系統了解是否車輛有離開匝道、等候偵測器的布設則能偵測匝道上的車

輛是否過多，其相關匝道儀控系統布設如圖 2-1 所示。

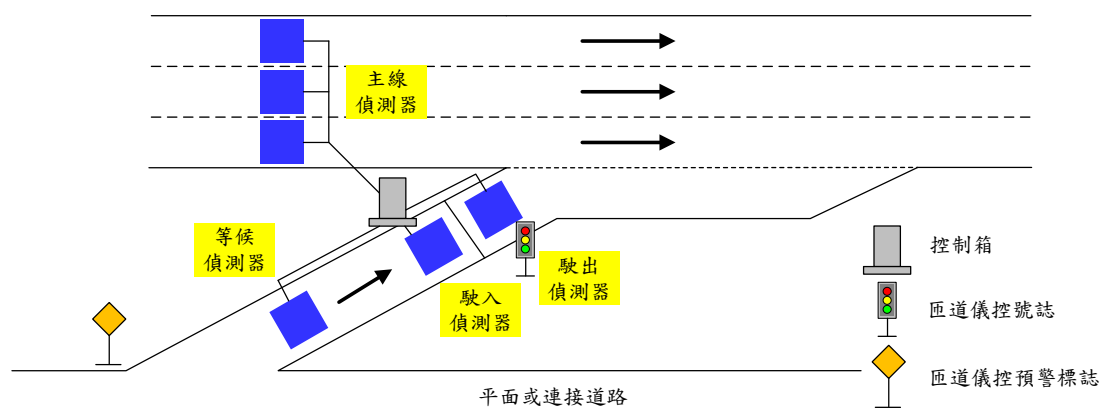


圖 2-1 匝道儀控系統布設圖

而匝道儀控的實施方式(李維珊, 2002; Jacobson *et al.*, 2006; 李怡穎, 2013; Chaudhary *et al.*, 2014; Mizuta *et al.*, 2014)可依照控制範圍及作業方式而有不同的組合，茲介紹如下：

(一) 依控制範圍

1. 地區儀控(Local metering)

各匝道儀控系統相互獨立，只專注在本身匝道的營運績效，儀控率彼此間無互動性。

2. 系統或地區整合儀控(System-wide or Area-wide metering)

在某範圍內的匝道儀控系統作業彼此關聯，根據範圍內的車流狀況為整個地區建立最佳化的儀控率。

(二) 依作業方式

1. 定時儀控(Pretimed ramp metering)

其方式為先參酌儀控地點的歷史車流資料，計算不同時段的最佳儀控率，並預先對應在往後某日期的某時段開啟匝道儀控，為紓解重現性壅塞所實施的交通管理措施，但其缺點為面對車禍或是車流型態產生改變時，無法即時的因應，可能會進一步的導致匯流區的车流壅塞情況影響加劇。

2. 交通反應式儀控(Traffic responsive ramp metering)

即時透過車輛偵測器所測得的交通變數值來估算所欲設定的儀控率，由於儀控率並非預先設置好，因此可避免定時式儀控策略無法即時反應的缺漏，但需要較多即時的資料蒐集設施，操作方式也較為複雜，依照相鄰匝道相互協調的情形又可分為獨立型、連鎖合作型、連鎖競爭型以及整合型交通反應式的操作方式，分別說明如下：

(1) 獨立型交通反應式

- a. 分區演算法(Zone Algorithm)：進入及離開各分區的交通量予以平衡，並以 30 秒為量測週期進行儀控率的計算，其算式如下：

$$[M+F = (X+B)-(A+U)]$$

其中，M+F 為匝道及系統匝道的儀控率；

X+B 為出口匝道流率及主線下游瓶頸容量；

A+U 為主線上游交通量及未實施匝道儀控的進口匝道交通量。

- b. ALINEA 演算法：考量匝道的佔有率及上一週期的儀控率，並每隔 20~60 秒將上時段平均交通量及佔有率納入模式重新進行儀控率的計算，其算式如下：

$$r(k) = r(k-1) + K_R[\hat{o} - o_{out}(k-1)]$$

其中，k 第 k 時段；

$r(k)$ 第 k 時段儀控率；

$\hat{o}$ 達到容量的佔有率值；

o_{out} 主線下游佔有率值；

K_R 調整權重。

(2) 連鎖合作型交通反應式

- a. 協助者匝道演算法(Helper Ramp Algorithm)：以上游主線佔有率狀況從中選擇先前設定的 6 個儀控率，每隔 20 秒讀取偵測器及儀控資料，若該匝道非屬最限制的儀控率且匝道等候車輛沒有超過門檻值，歸類非嚴重，但有匝道被歸類為嚴重時，則降低上游匝道儀控率，如未改善則逐漸接管上游儀控，直到改善為止。
- b. 關聯匝道演算法(Link-Ramp Algorithm)：上游匝道及主線容量利用歷史起訖及匝道流率資料推估，並劃分 16 等級的儀控率，將最大儀控率以匝道容量設定，最小儀控率透過匝道儲車空間及需求，各地方的儀控率取決於上游流量，當某一匝道降至某一等級儀控率時，上游相鄰匝道也降至相同等級或更低的儀控率，逐步向上游匝道推移直到恢復正常儀控率

(3) 連鎖競爭型交通反應式

- a. 周圍演算法(Compass Algorithm)：以控制分區決定進口匝道的儀控策略並將個別匝道分群整合，透過高速公路全線流率及各匝道地區交通狀況選擇一個儀控率，每 30 秒計算一次，再透過查表法決定儀控率，其會受到匯入處主線佔有率及上與下游主線佔有率所影響。
- b. 瓶頸演算法(Bottleneck Algorithm)：利用每個匝道的偵測器回應資料及瓶頸資料，計算地區性及瓶頸路段儀控率（選擇儀控率較低者實施）。此外，依據匝道車輛是否回堵及 HOV 車道(High-occupancy vehicle Lane)有無儀控進行微調當下游瓶頸路段的佔有率超過門檻值且上游分區或影響區的瓶頸開始累積車輛，則匝道儀控啟動。
- c. 整體適應性匝道儀控(System Wide Adaptive Ramp Metering, SWARM)：由兩個獨立的演算法 SWARM1 與

SWARM2 所組成，前者預測每一偵測站每個偵測時段的密度趨勢，後者則依據每個儀控匝道上游的偵測器所測得的車距（轉換為密度）來分派儀控率。兩個演算法同時運作，大多時段均同時執行，但設有最大及最小儀控率，避免極端值的產生。

(4) 整合型交通反應式

a. Sperry 匝道儀控演算法

該演算法包含了兩種進口匝道管制模組，第一種為非限制性儀控，為當匝道候車偵測器測得車輛回堵時，儀控率會提高直至回堵消失；第二種為限制性儀控，使每一偵測地點維持需求低於容量。由上兩種模組應用於高速公路所劃分之控制分區，每分區 1~10 個匝道儀控，其儀控率的設定為主線容量減去預期主線需求或是主線容量減去事先設定最低儀控率（選擇較大者實施），並將此程序重覆以一次一個匝道往上游進行。

b. 模糊邏輯演算法(Fuzzy Logic Algorithm)

該演算法的目標為最大化總行駛距離，最小化總行駛時間及車輛延滯並維持可接受的匝道候車長度，與其他演算法相似分成地區性與下游瓶頸儀控率的選擇。以 20 秒為週期量測資料，再依其值對應五等級的語意變數：非常小、小、普通、大以及非常大，並計算各等級之隸屬度，以解模糊化的方法產生明確的儀控率。

c. 線性規劃演算法(Linear Programming Algorithm)

以線性規劃為基礎，求取目標函數之最大或最小值，該演算法需要在主線及所有進出口匝道上密集佈設偵測器，獲取詳盡的資料。儀控率的計算方式為使用即時及事先界定的系統變數以及可調整的參數及各匝道權重進行求解。

d. METALINE 演算法

為 ALINEA 演算法的延伸，必須蒐集主線下游佔有率，計算高速公路各區段下游主線佔有率的變化與臨界佔有率的差異來計算儀控率，其公式如下：

$$[r(k) = r(k-1) - K_1 \{o(k) - o(k-1)\} - K_2 \{O(k) - O^c\}]$$

其中，

$r(k) : [r_1 \dots r_m]^T$ 為第 m 個控制匝道在時間 k 之儀控率向量；

$o(k) : [o_1 \dots o_m]^T$ 為在時間 k 下，第 m 個估算的佔有率向量；

O 、 O^c ：為第 m 個控制匝道下游的估算及理想之佔有率；

K_1 、 K_2 ：匝道權重因子。

以上兩種實施方式的摘要，整理如表 2-1 所示：

表 2-1 匝道儀控策略摘要

作業方式 控制範圍	定時儀控	交通反應式儀控
地區儀控	1. 適用於局部區域問題。 2. 不需要在現場進行監測。 3. 需要定期手動調整儀控率。 4. 在突發事件下無效率。 5. 與交通反應式系統相比，運營成本更高。	1. 適用於局部區域問題。 2. 需要在現場進行監測。 3. 與定時儀控相比維護成本更高。 4. 可以反應現場交通條件，因此儀控效果更好。
系統或地區 整合儀控	1. 適用於整體系統性問題。 2. 不需要在現場進行監測。 3. 與系統整合之交通反應式儀控相比較少使用。	1. 適用於整體系統性問題。 2. 需要在現場進行監測。 3. 對於路廊或整體系統範圍的應用上最有用。 4. 需要最大的投資和維護成本，但為最有效的儀控成果。

資料來源：Mizuta *et al.* (2014)

Chaudhary *et al.* (2004) 整理匝道儀控時號誌控制策略，依照車道數及允許通過車輛數制定了三種策略，第一種為單車道每綠燈週期一輛車 (Single-Lane One Car per Green)，允許一輛車在每個燈號週期內由進口匝道進入高速公路，設置綠色加黃色燈號的長度要確保一輛車有足夠的時間越過停車線，而紅色燈號的時間長度則應足以確保後續車輛在繼續行駛之前完全停止；第二種為單車道每綠燈週期多輛車 (Single-Lane Multiple Cars per Green)，也稱為車隊儀控 (Platoon metering)，允許在每個綠色綠燈時間內允許兩輛或更多輛車由進口匝道進入高速公路，表 2-2 提供了德州單車道匝道各燈號建議秒數值；第三種則為雙車道匝道燈號控制 (Dual-Lane Metering)，於進口匝道上是有兩個車道，各車道均有一號誌，週期可能同步也可能不同步，視各車道需求而定，能夠提供停等於匝道上的車輛更多的駐車空間。

表 2-2 德州一車道匝道儀控之各燈號建議秒數

燈號時間 (秒)						
燈號	每週期通過車輛數					
	1	2	3	4	5	6
紅燈	2.00	2.00	2.32	2.61	2.86	3.08
黃燈	1.00	1.70	2.00	2.22	2.41	2.58
綠燈	1.00	3.37	5.47	7.35	9.13	10.83
週期	4.00	7.08	9.78	12.19	14.40	16.49
儀控率 (輛/小時)	900	1,017	1,104	1,181	1,250	1,310

資料來源：Chaudhary *et al.* (2004)

2.2.2 國內匝道儀控策略

國內匝道儀控系統的功能方面，參考陳一昌等人(2004)、李怡穎(2016)、高速公路局交通工程手冊(2020)等資料，有以下之控制模式及策略：

- (一) 固定時制模式：控制中心人員可在任何時間強制設定儀控率，以執行匝道固定時制儀控。
- (二) 預設時制模式：此模式為備用方案，在控制中心與匝道現場通訊中斷或匝道無法蒐集相關即時交通資料時，系統即自動轉換為預設時制模式，一般可分為閃光號誌或固定時制模式運轉兩種。
- (三) 區域交通反應模式：依主線上游與匝道駛離之車輛偵測器所蒐集到的即時交

通資料為基準，由控制中心來實施個別匝道之儀控。

(四) 整合式交通反應模式：藉由多段交流道間之車輛數，群組匝道儀控，計算各交流道匝道儀控，協調管制可進入主線之車輛數。

(五) 地區彈性調整模式：配合固定時制、區域交通反應、預設時制等模式，執行到達/駛離偵測模式或延滯偵測模式。

另外，近年針對連續假期間之大量車潮，高速公路局有實施精進式匝道儀控，透過大數據分析電子收費(ETC)資料，分析壅塞路段車流量來自於各交流道之比例，針對車流量比例較高的交流道進行嚴格管制由匝道匯入主線車輛數，並依照車流量比例調整匝道儀控時制（交通部高速公路局網站，2021），對舒緩連續假期間的交通壅塞情況有相當大的幫助。

而目前國內匝道儀控時號誌控制策略，則與美國所採用每綠燈週期一輛車不同，為屬於每綠燈週期多輛車之「車輛群放」的號誌控制方式，依據進口匝道的型式（單車道、雙車道、三車道、匝環道）不同，有相對應各儀控率所對應之時制的表格，此處以單車道匝道儀控時制為例，如表 2-3 所示。其他於特殊情況使用的儀控方法說明如下：嚴格匝道儀控為透過較長之紅燈週期，讓趕時間之駕駛人提前改道，避免駛上高速公路，以達到分流之目的；連續假日匝道儀控，則是視各路段的壅塞情形實施儀控管制，必要時分路段實施精進式匝道儀控。

表 2-3 匝道儀控時制對應表

時制 編號	儀控率 (輛/小時)	週期(秒)	綠燈(G)	黃燈(Y)	紅燈(R)	每週期 (輛)
0	-	長紅	-	-	長紅	-
1	100	72	4	3	65	2
2	200	48	7	3	38	3
3	300	48	10	3	35	4
4	400	36	10	3	23	4
5	500	29	10	3	16	4
6	600	24	10	3	11	4
7	700	21	10	3	8	4
8	800	24	13	3	8	5
9	900	25	15	3	7	6
10	1,000	28	18	3	7	8
11	1,100	33	23	3	7	10
12	1,200	36	27	3	6	12
13	1,300	45	36	3	6	16
14	1,400	53	45	3	5	20
15	50	74	3	3	68	1
16	150	48	4	3	41	1
17	250	44	8	3	33	3
18	350	41	10	3	28	4
19	450	32	10	3	19	4
20	550	26	10	3	13	4
21	650	22	10	3	9	4
22	750	23	12	3	8	5
23	850	23	13	3	7	5
24	950	26	16	3	7	7
25	1,050	30	20	3	7	9
26	1,150	33	24	3	6	11
27	1,250	40	31	3	6	14
28	1,350	47	39	3	5	18
29	長綠	-	長綠	-	-	-
30	閃黃	-	-	閃黃	-	-
31	停止顯示	-	-	-	-	-

資料來源：高速公路交通工程手冊 (2020)

2.3 匝道儀控對匯流區段容量之影響

國外文獻指出匯流區段容量的影響因素，受到匝道流率、匝道儀控、路肩開放，以及駕駛人特性因素所影響，Sheng *et al.* (2015) 為了研究匝道上不同類型交通對高速公路進口匝道匯流區容量的影響，基於可接受間距模式(Gap-acceptance model)，分別從匝道車輛到達的隨機性和匝道駕駛行為差異性兩個方面建構了不同的高速公路進口匝道匯流區容量模型，結果顯示不同的駕駛行為對高速公路匯流區段的容量有顯著影響。Kondyli *et al.* (2016) 在北美 5 個瓶頸匯流區段實地調查，使用容量估計模型來決定容量值，其中估計模型中考量到匯流區上游流率以及匝道流率與匯流區上游流率比值，結果表明較高的匝道流率會使得匯流區段的容量變少。

由 2.2 節可以了解匝道儀控最終目的是高速公路車流過多時要控制進口匝道車輛匯入高速公路主線的车辆數，避免車流崩潰的發生，使車流運行進入不穩定的狀態，此不穩定的狀態會易使主線產生亂流，使上游的車輛不斷的進入到匯流區段，在匯流區段的車輛則無法有效的紓解，進而使流率超過容量，造成壅塞的發生。

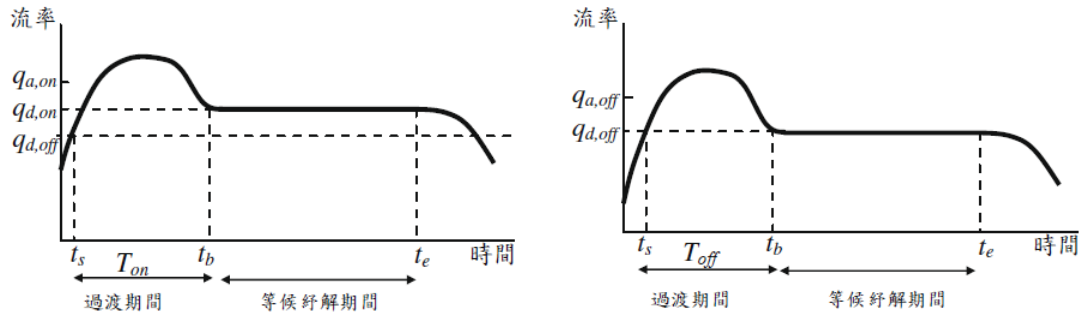
倘若匝道儀控無法在正確的時機實行，則就失去設立匝道儀控的意義，此時的高速公路營運績效就不是用路人及管理單位所樂見的，根據 Arnold *et al.* (1998) 統整匝道儀控有以下的缺點，如當進入匝道的車輛過多時，可能會由匝道回堵至平面道路、匝道儀控系統維護的成本、增加車輛等候時間造成能源的消耗、車輛怠速時排放廢氣的汙染，然而綜整匝道儀控上述特性，過去並無太多研究說明匝道儀控對於整個匯流區容量的影響，對於匝道儀控與容量關係的影響仍不明朗。

Persaud *et al.* (2001) 為了要了解確認匯流區車流崩潰與匝道儀控兩者關係，進而透過車流崩潰模型所觀察到的容量增減來檢視匝道儀控對於車流量改善的程度，在加拿大安大略省密西沙加(Mississauga)的單向三線道高速公路上，針對 71 個有發生車流崩潰的地點，透過電腦模擬進行定時儀控(Fixed metering)與可變式儀控(Variable rate)的作業模式。而模擬結果顯示最佳的定時儀控的儀控率為 16 輛/分鐘(veh/hr)，使最大的斷面流率為 6,460 輛/小時；最佳的可變式儀控則可約再增加為 6,600 輛/小時的流率，證明匝道儀控能有效的增加高速公路匯流區段主

線的流率，且可變式儀控(又稱交通反應式儀控)的效益又相較定時儀控來的高。

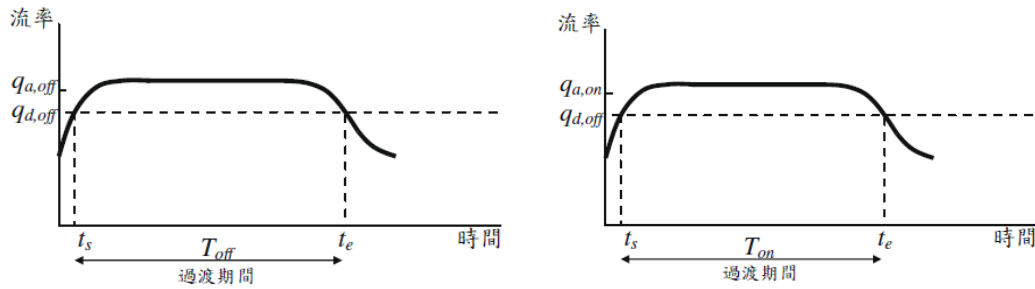
Cassidy *et al.* (2005) 透過在匯流區段錄影的方式以觀察匝道儀控在實施以及關閉時匯流區段車流的變化，發現匝道儀控實施時因為能限制由匝道進入主線能的車輛，使得匯流區段產生與主線車流產生交織的次數減少，進一步能夠在壅塞時提升較高的紓解流率，達到提升匯流區段容量的效果，此外也指出有效的匝道儀控控制策略更能進一步提升延長以及提升至更高的流率，達到增加匯流區段容量之效益。

Zhang & Levison (2010) 在雙城(Twin Cities)都會區對 27 個活動瓶頸(Active bottlenecks)的交通特性進行了研究，而活動瓶頸大都在高速公路分匯流區或者交織區段，透過實驗設計並控制變因以進行為期 14 週的調查作業，其中不使用匝道儀控的時間為 7 週，使用匝道儀控的時間為 7 週，以平日下午 13:00~21:00 為研究時間，並排除了假期、劇烈天氣變化，以及事故的資料，避免造成駕駛人群體的變異性。該研究提出了兩個佔有率門檻值，來識別活動瓶頸的存在，以找尋壅塞時間(Breakdown time, t_b)，以該時間點分界出車流崩潰前流率逐漸漸增之過渡期間(Transition period, T)以及車流崩潰後流率在紓解時之等候紓解期間(Queue discharge period)。透過等候紓解期間之流率資料計算出平均紓解流率(Queue discharge flow, q_d)，另外也計算出過渡期間與等候紓解期間之平均流率(Average flow, q_a)，並依照車流崩潰下匝道儀控的實施與否針對上述參數進行兩種情況的分類，不考慮無車流崩潰下之情況，圖 2-2 (a)~(d)呈現車流崩潰與匝道儀控組合下可能發生之流率變化，第一種情況為「匝道儀控啟動下，有發生車流崩潰」、第二種情況為「無匝道儀控下，有發生車流崩潰」、第三種情況為「無匝道儀控下，無發生車流崩潰」、第四種情況為「匝道儀控啟動下，無發生車流崩潰」。



(a) 匝道儀控啟動下，有發生車流崩潰

(b) 無匝道儀控下，有發生車流崩潰



(c) 無匝道儀控下，無發生車流崩潰

(d) 匝道儀控啟動下，無發生車流崩潰

圖 2-2 車流崩潰與匝道儀控組合下可能發生之流率變化

資料來源：Zhang & Levison (2010)

後續以所提及之第一種以及第二種情況，以過渡期間、平均紓解流率，以及平均流率做為績效指標，並提出 6 項假說進行統計檢定，其中第 1 項為與第 2 項假說為確認資料是否有符合分析要件，第 3 項至第 5 項則為核心檢查儀控的有效性，第 6 項為第 3 項至第 5 項成立的前提下，證明匝道儀控具有改善效益，其內容說明如下。

假說 1： T_{on} 和 T_{off} 不可忽略

為了判斷匝道儀控下是否能使過渡時間增加，故不論匝道儀控實施與否，車流流率漸增之過渡期間(T)均不可忽略。過渡期間之定義為車流開始大量湧入匯流區到發生壅塞的時間段。

假說 2： $q_{a,off} > q_{d,off}$ 和 $q_{a,on} > q_{d,on}$

不論在無實施或是有實施匝道儀控時，在過渡期間之平均流率(q_a)明顯高於進入壅塞時之等候平均紓解流率(q_d)。

假說 3： $T_{on} > T_{off}$

開啟匝道儀控後，應可延長壅塞前的過渡時間，甚至可以延遲或消除車流崩潰之現象發生。

假說 4： $q_{a, on} > q_{a, off}$

實施匝道儀控的平均流率要比不實施匝道儀控的平均流率高。此處之平均流率定義為過渡期間之平均流率。

假說 5： $q_{d, on} > q_{d, off}$

實施匝道儀控的平均紓解流率比不實施匝道儀控的平均紓解流率高。此處之紓解流率定義為車流進入壅塞到恢復順暢車流之期間，該時段的流率值。

假說 6： 匝道儀控可以增加高速公路瓶頸區段的容量

當假說 3~5 均成立時，假說 6 之敘述「匝道儀控可以增加高速公路瓶頸區段的容量」就可以得到證實，若假設 3~5 均被拒絕，則該假說即被拒絕。

研究結果顯示這些假說經由數據的實證都獲得了確認，匝道儀控能夠增加瓶頸路段容量，使車流崩潰發生時機延後，或是不發生。

Shehada & Kondyli (2019) 以堪薩斯城 (Kansas City) 8 英里長的高速公路路段為背景，以模擬方式使用兩種匝道儀控演算法 ALINEA 與 Heuristic Ramp-metering CoOrdination (HERO)，而 HERO 為使用主從結構來管理匝道儀控率，透過分配等候車隊長度和控制上游進口匝道儀控率來調整儀控率，其結果透過旅行時間、車隊長度、通過量以及壅塞時間之評估指標，檢視使用兩種演算法之匝道儀控以及在無匝道儀控下的差異，最終結果顯示 ALINEA 在大部分的評估結果均優於 HERO 以及無匝道儀控下之狀況。

2.4 小結

由以上文獻的回顧之中，可以發現容量手冊為使用者方便操作，將容量視為定值，而容量計算方式主要可採用容量為非隨機之 Van Aerde 模型或是容量為隨機的極限乘積法，然而國外與容量相關文獻的回顧發現事實上透過數次車流崩潰的觀察，容量事實上為一隨機值，該隨機值本研究採用最大崩潰前流率(Maximum

Pre-breakdown flow)。

而最大崩潰前流率透過車流崩潰現象所觀測而得，透過文獻可了解車流崩潰會因為許多因素而發生，造成其發生之因素可分為可控變因與不可控變因兩種。不可控變因如進口匝道流率、上游主線流率、天氣因素、該地點的幾何型態以及事故等，而可控變因如匝道儀控的實施，以及路肩開放與否。

本研究考量的主要變因為匝道儀控的實施與否，不考慮路肩開放變因。在匝道儀控實施與否的變因下利用車流崩潰所產生的最大崩潰前流率，測得多筆容量值，再利用極限乘積法與韋伯分布進行容量分析，但要採用此兩種方法的前提為必須要有足夠的車流崩潰樣本數才能建構有效的隨機性容量估計模型，本研究經檢驗後確認至少需 10 筆以上樣本才能建構有效的隨機性容量估計模型，此外也從相關文獻中找出合適用於評估匝道儀控之績效指標，對於各績效指標之結果進行說明與推論。

而考量匝道儀控為主要變數的原因為經由匝道儀控的文獻回顧後，可發現到匝道儀控對於高速公路的運行績效是有所助益的，其所採取號誌控制策略有許多方式，可為一次讓一輛車進入主線的點放式，也可以是以車隊形式的方式，讓多輛車進入到高速公路上，此外也能依據車流情況決定所需採取之匝道儀控策略，目前臺灣所進行的匝道儀控通常是一次讓多輛車及所預先設定好的定時制匝道儀控策略來進行儀控。

然而對於匯流區段容量與匝道儀控兩者的互動關係，過往的文獻甚少著墨於此，僅能得知匝道儀控對於容量提升有所助益，是故本研究欲針對匯流區段之車輛偵測器資料進行處理，找出有無匝道儀控下發生車流崩潰的時間點，並檢定該時間段匝道儀控的績效，同時以隨機容量分析方法進行容量分析，分別建構有無匝道儀控下的容量模型，並由模型找尋累積機率分布 85% 容量值決定匝道儀控啟動的時間點。

第三章 研究方法

為確認匝道儀控對於容量的影響，本研究透過文獻回顧中辨識車流崩潰的方式，確認匯流區段有匝道儀控地點是否存在車流崩潰，以探究匝道儀控對於車流崩潰影響的相關性。再利用文獻中匝道儀控的實施機制與衡量指標，探討匝道儀控對於車流崩潰的影響，透過數值的實證分析，驗證有無開啟匝道儀控下及其儀控策略，對於匯流區段容量的影響，並一同分析現場環境因素的影響，是否也是造成匯流區段容量差異的原因。

3.1 車流崩潰辨別方式

不同文獻上車流崩潰辨識方式有不同的看法，本研究參考 Kondyli *et al.* (2013) 及廖晉毅(2020)對於車流崩潰的辨識方式，總共有三種方式，分別為基於速度的算法、基於佔有率的算法或流率-佔有率相關性的算法，最後發現基於速度的算法為最佳辨別車流崩潰的方式，因為能及早發現車流崩潰的發生，步驟如下：

(一) 檢查現在時間點與下一時間點之間的速度差：

確認速率是否正在下降。若後一分鐘之速率比現在時間點之速率為低，則進行第二步的判別；否則結束辨別步驟。

(二) 檢視前後五分鐘速度平均差異是否有達到門檻值 X 公里/小時：

確認速率在短時間是否有發生驟降。此處以五分鐘速率下降超過 8 公里/小時 (或 5 英里/小時) 作為門檻值 (Kondyli *et al.*, 2013; 廖晉毅, 2020)，若通過，則進行第三步驟；否則結束辨別步驟。

(三) 確定接續的 Y 分鐘內的最大速度小於當下的速度：

資料波動或車流震盪可能會造成短暫之速率驟降，但此情況並非運行容量不足所產生之車流崩潰，因此需要予以排除。本步驟檢核速率於一段時間 (如五分鐘) 內，速率皆無法回至原本順暢車流之水準，若通過，可判斷分析之時間點有發生車流崩潰；否則結束辨別步驟。

當速率資料均通過上述三個步驟，紀錄時間點 $t = i$ 時為一個車流崩潰前的

時間點，此時間點後則即可確認有車流崩潰的發生，反之若是無通過則再找尋下個時間區間，步驟流程圖如圖 3-1 所示。

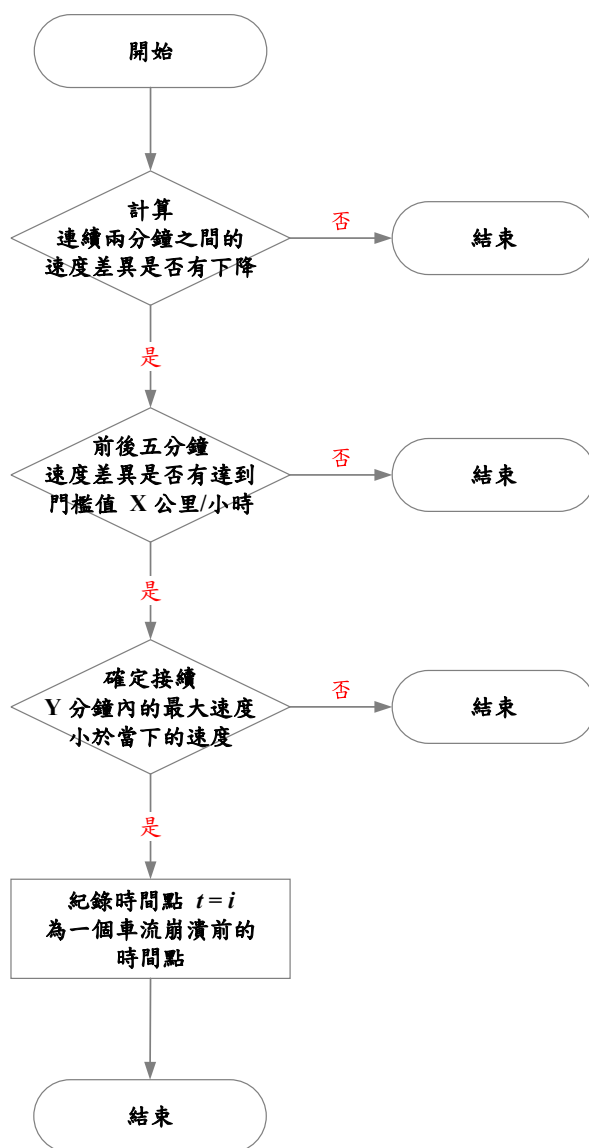


圖 3-1 車流崩潰判別方式

3.2 匝道儀控實施成效

本研究參考 Zhang & Levison (2010) 量化匝道儀控的有效性，以統計的假說檢定(Hypothesis testing)來證明匝道儀控的效益性，各類變數計算方式可先對照圖 3-2 某地點平日上午之流率與速率圖，先透過 3.1 節的車流崩潰判別的方式找尋

車流崩潰時間點(Breakdown time, t_b)及車流崩潰時速率(Critical speed)，再往後滾動檢視速率恢復時間，以紀錄壅塞結束時間(End time, t_e)。在車流崩潰時間點至結束時間能得到等候紓解期間 (Queue discharge period)，同時也能在該期間計算如圖 3-3 所示之平均紓解流率，再由平均紓解流率的值，往前找尋至車流崩潰前與平均紓解流率值相同的時間點(Start time, t_s)，以得到車流崩潰時間點與轉換開始時間之間之過渡期間(Transition period, T) 以及轉換開始時間與壅塞結束時間之平均流率(Average flow, q_a)。

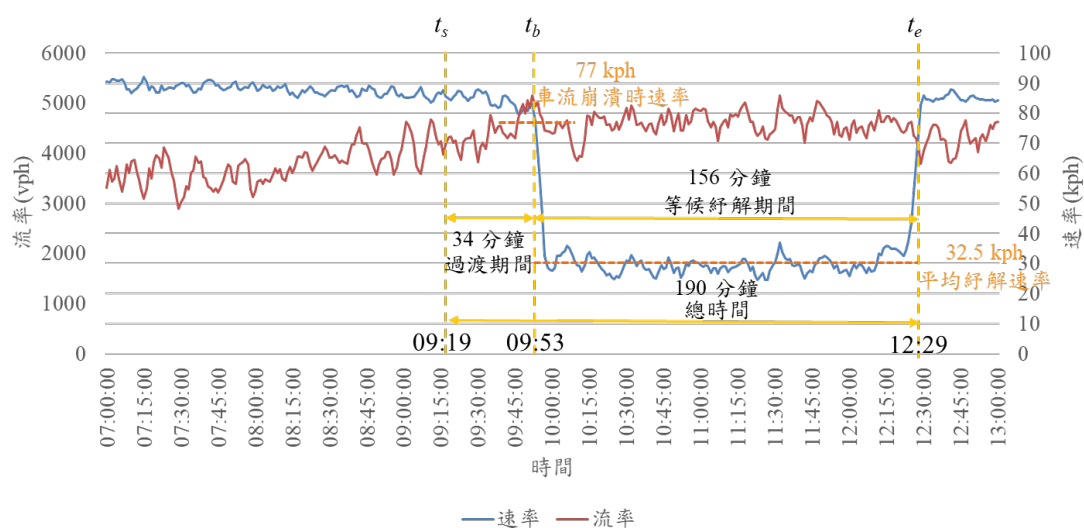


圖 3-2 匝道儀控實施成效相關參數位置（速率與時間）

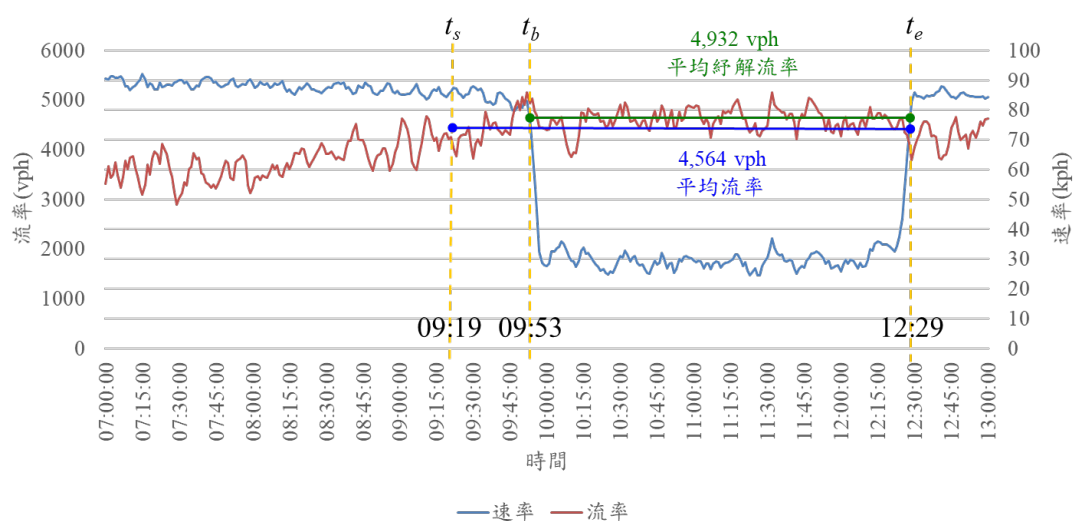


圖 3-3 匝道儀控實施成效相關參數位置（流率與時間）

後續將針對假說檢定流程進行說明，其資料處理的方式為先針對各調查地點進行兩樣本群的分類，該樣本群其一為有匝道儀控時的相關車流特性數據，另外一群為沒有匝道儀控時的數據，分別獲取匝道儀控與無匝道儀控時：

(一) 過渡期間 (Transition period, T) :

車流開始大量進入匯流區段至發生壅塞之時間長度；過渡時間越長，則代表壅塞延後發生，高速公路運作順暢之時間亦較長。

(二) 平均流率(Average flow, q_a) :

車流由非壅塞至壅塞再至車流紓解（恢復順暢）期間之平均流率。

(三) 等候紓解流率(Queue discharge flow, q_d) :

車流由壅塞至車流紓解（恢復順暢）期間之平均流率。

(四) 平均紓解速率(Average discharge speed, s_d) :

車流由壅塞至車流紓解（恢復順暢）期間之平均速率。

(五) 車流崩潰前流率(Pre-breakdown flow, q_{PBF}) :

有發生車流崩潰情況下，車流崩潰發生前之 5 分鐘最大流率。

(六) 5 分鐘最大流率值(Maximum 5-minute flow rate, $q_{\max(NB)}$) :

沒有發生車流崩潰情況下(No Breakdown)，尖峰時段內之 5 分鐘最大流率。

本研究針對以上六項參數進行假說檢定，將資料按地點、時段進一步分為有儀控、無儀控兩組樣本群，探討有無匝道儀控的實施對匯流區容量的增加是否有助益。第 1 項至第 3 項假說是參考 Zhang & Levison (2010)之研究，該研究之偵測器資料主要蒐集車流的流率及佔有率，可用偵測器中判斷壅塞時間及流率，適合本研究所使用。然而，國內之偵測器主要蒐集車流等流率及速率，佔有率之誤差較大，因此改以提出第 4 項之平均紓解速率進行檢定。而由於近年關於容量分析理論傾向於以車流崩潰前最大流率作為容量值之參考依據，因此本研究提出第 5、6 項檢視壅塞地點之容量值是否有所提升。

下列為各假說之內容及說明，其中下標 On 代表匝道儀控開啟時之資料，下標 Off 則為匝道儀控關閉時之資料。

(一) 假說 1： $T_{on} > T_{off}$

匝道儀控可以延長等候前的過渡時間，甚至可以延遲或消除車流崩潰。

(二) 假說 2： $q_{a, on} > q_{a, off}$

等候前過渡期間的平均流率要比不使用匝道儀控要高。

(三) 假說 3： $q_{d, on} > q_{d, off}$

在有匝道儀控時能夠增加匯流區段紓解流率。

(四) 假說 4： $s_{d, on} > s_{d, off}$

在匝道儀控開啟時平均紓解速率會高於匝道儀控關閉時。

(五) 假說 5： $q_{PBF, on} > q_{PBF, off}$

有匝道儀控能夠提升崩潰前的流率。

(六) 假說 6： $q_{\max(NB), on} > q_{PBF, off}$

無發生車流崩潰，但有實施匝道儀控之 5 分鐘最大流率值比無匝道儀控之 5 分鐘車流崩潰前流率高。

其中，

$q_{a, (on, off)}$	:	有（無）匝道儀控時平均流率
$q_{d, (on, off)}$	:	有（無）匝道儀控時平均等候紓解流率
T_{off}	:	無匝道儀控時等候前過渡期 （無匝道儀控時車流由順暢進入壅塞的過渡時間）
T_{on}	:	有匝道儀控時等候前過渡期 （有匝道儀控時車流由順暢進入壅塞的過渡時間）
$s_{d, (on, off)}$	:	有（無）匝道儀控時平均紓解速率
$q_{\max(NB), (on, off)}$	:	無車流崩潰下 5 分鐘最大流率值
$q_{PBF, (on, off)}$	:	有（無）匝道儀控時 5 分鐘車流崩潰前流率值

綜合上述能夠整理出表 3-1 所示之變數定義、計算方式，以及本研究參數所參考之文獻。

表 3-1 匝道儀控有效性相關參數表

參數	定義	計算方式	參考文獻
轉換開始時間 (Start time, t_s)	車流量逐漸漸增的時間點	車流崩潰後之平均等候紓解流率對應至車流崩潰前相同流率的時間點	Zhang & Levison (2010)
車流崩潰時間點 (Breakdown time, t_b)	速率急遽下降，並維持低速率一段時間以上的時間點	使用 3.1 節對於車流崩潰的辨別方式找出車流崩潰的時間點	Zhang & Levison (2010); Kondyli <i>et al.</i> (2013)
壅塞結束時間 (End time, t_e)	車流速率恢復至與轉換開始時相同的時間點	當速率恢復至與車流崩潰時間點(t_b)速率相同的時間點	Zhang & Levison (2010)
車流崩潰前流率 (Pre-breakdown flow, PBF)	車流崩潰前 5 分鐘平均流率	由車流崩潰時間點往前計算 5 分鐘的平均流率	Zhang & Levison (2010); Kondyli <i>et al.</i> (2013)
車流崩潰時速率 (Critical speed)	車流崩潰時間點當下車流速率	比對車流崩潰時間點(t_b)並記錄其速率	Zhang & Levison (2010); Kondyli <i>et al.</i> (2013)
等候紓解流率 (Queue discharge flow, q_d)	車流崩潰後至壅塞恢復前之平均流率	平均車流崩潰時間點到壅塞結束時間之間的流率	Zhang & Levison (2010)
過渡期間 (Transition period, T)	車流量逐漸漸增至車流崩潰前之期間	車流崩潰時間點(t_b)減去轉換開始時間(t_s)	
等候紓解期間 (Queue discharge period, QDP)	車流崩潰後至壅塞恢復前之期間	結束時間點(t_e)減去車流崩潰時間點(t_b)	
平均流率 (Average flow, q_a)	整段車流由非壅塞至壅塞再至車流紓解之平均流率	平均轉換開始時間點(t_s)到壅塞結束時間(t_e)之間的流率	
平均紓解速率 (Average discharge speed, s_d)	車流崩潰後至壅塞恢復前之平均速率	平均車流崩潰時間點(t_b)至壅塞恢復時間點(t_e)之間的速率	本研究新增

上述所提及之參數為透過撰寫程式之方式，以半自動方式判斷各參數的數值，後續再透過人工方式刪除或調整不合理的結果值，以維持資料的品質，主要為檢視不合理值當天之流率與速率關係圖去做人工的判斷，而篩選之規則有以下項目：

- (一) 等候紓解時間：當等候紓解時間之長度超過 180 分鐘時，有可能為事故或是偵測器故障所導致，故需檢視其長度合理性。
- (二) 車流崩潰時速率：當車流崩潰速率若高於該調查地點自由車流速率的 75% 時，則需檢核資料是否有異常之情形，同時也能避免過高的車流崩潰時速率，導致在判別壅塞時間長度時，會因為過高的恢復速率，導致誤判壅塞時間過長。

最後依據上述所提及之假說 1 到假說 6 逐一進行檢定，其檢定數目視調查地點當月在有車流崩潰情境下匝道儀控實施有無的次數而定，其檢定項目如彙整如表 3-2 所示：

表 3-2 假說檢定項目

項目	虛無假說 (Null hypothesis)	對立假說 (Alternative hypothesis)
假說 1	$T_{on} \leq T_{off}$	$T_{on} > T_{off}$
假說 2	$q_{a, on} \leq q_{a, off}$	$q_{a, on} > q_{a, off}$
假說 3	$q_{d, on} \leq q_{d, off}$	$q_{d, on} > q_{d, off}$
假說 4	$s_{d, on} \leq s_{d, off}$	$s_{d, on} > s_{d, off}$
假說 5	$q_{PBF, on} \leq q_{PBF, off}$	$q_{PBF, on} > q_{PBF, off}$
假說 6	$q_{\max(NB), on} \leq q_{PBF, off}$	$q_{\max(NB), on} > q_{PBF, off}$

以顯著水準 $\alpha = 0.05$ 進行司徒頓 t 檢定(Student's t -test)，計算出各假說的檢定統計量，若所求得之樣本觀察值 T_0 落入的拒絕域之中則拒絕虛無假說，並且視對立假說為真，當同個地點的上述虛無假說均被拒絕，即可視該地點的匝道儀控對所有衡量指標的改善為有效的，然而若是有部分假說不拒絕虛無假說，則討論不拒絕虛無假說的假說項目，由流率、速率、儀控率資料或該調查地點區位推論原因。

3.3 隨機容量分析方法

過去文獻發現設施之容量具有隨機性，每天發生車流崩潰的情況及其崩潰前最大流率都稍有不同，此發現有別於傳統的分析方法將容量訂定為一固定值，因此本節採用隨機容量(stochastic capacity)之概念進行容量分析。隨機容量之分析為存活分析(survival analysis)之應用，存活分析為用於推測產品之使用時間長度，判斷各產品使用時間的損毀機率，以及人類壽命長度之分析。在隨機容量分析上則可將車流崩潰視為高速公路運作所感興趣之事件，應用其崩潰前流率值所判斷其對應之車流崩潰機率，然而每一天的車流不一定會有車流崩潰的發生，即資料分析時所關心的事件尚未發生，若發生此種現象，則可將此案例視之為設限資料(censored data)，亦即無法觀察到正確的存活時間之資料。

由 3.1 節所提及車流崩潰辨識方式，本節利用最大崩潰前流率以建立隨機容量分布函數，回顧隨機容量分析文獻後可得知，常採用的模式為極限乘積法(Product limit method)及韋伯分布法(Weibull distribution) (Brilon 等人, 2005; Dehman & Drakopoulos, 2016)，極限乘積法為無參數模式，較適合用於資料樣本中有較多的無車流崩潰而最大通過量較高的情況；如樣本中主要為有發生車流崩潰之完整資料，或無發生車流崩潰之資料中其最大通過量較低者，韋伯分布法較為合適。將針對這兩種方法介紹如下：

(一) 極限乘積法：

極限乘積法原先應用在可靠度分析以及存活分析上，可用於推測各物品損毀機率，以及人類壽命長度之分析，後續在交通上則被應用於觀察車流崩潰前流率值所對應之車流崩潰機率。在資料蒐集上，極限乘積法除了會擷取「發生壅塞前之崩潰前流率」外，若在車流崩潰之判斷上發現單日無發生壅塞之現象時，也會擷取「無發生壅塞之最大流率值」，屬非參數校估之容量分析方法，其累積機率分布函數如式(1)：

$$F(q) = 1 - \prod_{i: q_i \leq q} \frac{k_i - 1}{k_i} \quad i \in \{B\} \quad (1)$$

其中，

- $F(q)$: 車流崩潰機率
 q : 流率 (輛/小時)
 q_i : 時間點 i 之崩潰前最大流率 (輛/小時)
 k_i : 時間點 i 發生之次數
 $\{B\}$: 發生車流崩潰的時間點

(二) 韋伯分布：

韋伯分布同樣應用於存活分析以及可靠度分析上，在應用上與極限乘積法相同，但不同處在於極限乘積法透過各筆「發生壅塞前之崩潰前流率值」以及「無發生壅塞之最大流率值」進行累積機率分布，而韋伯分布則是僅將「發生壅塞前之崩潰前流率值」，透過最大概似估計法進行比例參數 (scale parameter) 以及形狀參數 (shape parameter) 之校估，進而得出各流率值之車流崩潰機率，屬參數校估之容量分析方法，其累積機率分布函數如式(2)：

$$F(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2)$$

其中，

- $F(q)$: 車流崩潰機率
 q : 流率 (輛/小時)
 α : 形狀參數
 β : 比例參數

第四章 資料蒐集分析

本章說明資料蒐集以及確認匝道儀控對於不同情境下是否有效益。在分析過程中，本研究建立一個篩選地點的機制，決定合適的調查地點，並檢視該地點的資料品質，確保後續分析上資料的正確性，此外也將本研究所得之歷史儀控率進行匝道儀控在各時段的分布探討。

4.1 調查地點篩選

本研究針對國道 1 號及國道 3 號有實施匝道儀控的交流道進行資料分析，目前國道 1 號總共有 160 個進口匝道，而國道 3 號有 154 個進口匝道，然而並非所有調查地點適合調查，因此需訂定篩選規則，選出適當的調查地點。然而要觀察到最大流率的前提是該地點有車流崩潰的發生，為了要有足夠的車流崩潰地點，地點選定有重現性壅塞的匯流區段，為了符合以上要項，以下為篩選地點的步驟：

步驟 1：該地點有匝道儀控設備

由於並非所有進口匝道均設有匝道儀控設備，因此需排除未設有匝道儀控設備的匯流區，以契合本研究主題。經過篩選後國道 1 號共 137 個進口匝道設有匝道儀控設備，其約佔所有國道 1 號進口匝道的 85.63%；國道 3 號共 124 個進口匝道設有匝道儀控設備，其約佔所有國道 3 號所有進口匝道的 80.52%。此數據顯示大多數的匯流區均設有匝道儀控設備，供交通管理單位在主線車流量多時能夠啟動匝道儀控調節由匝道進入主線之車輛，而無設有匝道儀控設備之地點多為聯絡服務區之進口匝道或系統交流道，少數無設立匝道儀控設備之交流道如國道 1 號北上西螺交流道、國道 1 號南下林口交流道、國道 3 號北上崁頂交流道及國道 3 號南下南州交流道等。

步驟 2：該地點的幾何型態為主線 3 車道與匝道 1 車道

為了排除幾何條件型態對資料分析結果造成的影響，本研究固定匯流區幾何型態類型為主線 3 車道以及匝道 1 車道之型態，此型態為匯流區中占比最高的，此外也排除有實施主線路肩開放地點，該目的為開放路肩時會使該路段的容量增加，而使其幾何型態與上述的限制不一致，於分析上也有可能造成偏誤的發生。經過統計符合該篩選階段的幾何型態之匯流區，於國道 1 號共有 78 個地點符合

條件（占整體地點的 48.75 %），而國道 3 號共有 75 個地點符合條件（占整體地點的 48.7%）。

步驟 3：該地點有重現性壅塞

本研究之分析需要蒐集大量發生車流壅塞的樣本，因此選取有重現性壅塞的地點為主。判斷方式為透過交通部高速公路局歷史資料統計資料庫，選取匯流區段下游的主線資料(VD3)，經常有車流速率低於 40 公里/小時，或 30 分鐘內下降幅度達 40 公里/小時以上（如速率由 100 公里/小時下降至低於 60 公里/小時）（廖晉毅，2020）。

步驟 4：該地點有足夠可用的 VD 數量

要觀測到速率或是流率驟降的現象，以及確認 VD 資料是否正確，必須要有足夠的 VD 數目可供使用。VD 之位置示意圖如圖 4-1 所示，VD 須包含匯流區上游主線(VD 1)、進口匝道(VD 2)、匯流區下游主線(VD 3)以及匯流區結束時之主線下游(VD 4)，其中 VD1 與 VD2 為用來確認流量守恆，VD 4 為確認是否有下游回堵；VD3 為主要的分析對象，後續將針對 VD 擷取車流崩潰之相關參數，確認匝道儀控績效以及建構隨機容量分析之模型。

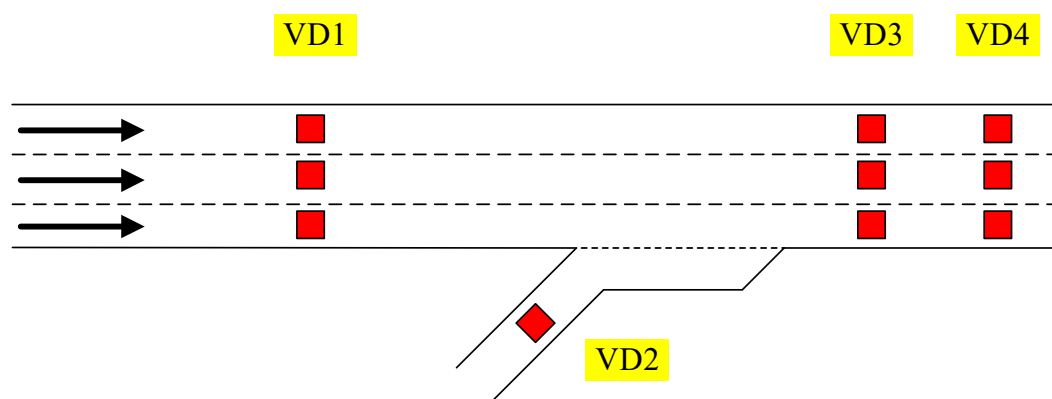


圖 4-1 使用之 VD 資料相關位置圖

步驟 5：檢視流量守恆以及下游回堵

所選出之地點尚需檢視其 VD 流率的正確性，因此需要進行流量守恆(Flow conservation)的檢驗，方法為匯流區主線下游之流率（圖 4-1 之 VD 3）需等於匝道流率（圖 4-1 之 VD 2）與匯流區主線上游（圖 4-1 之 VD 1）之流率加總，以

及透過 VD3 與 ETC 門架資料進行交互參照，以防 VD 3 之資料出現問題，此外，壅塞現象應為匝道車流匯入主線所產生之自然壅塞，故需要確認下游 VD（圖 4-1 之 VD 4）無壅塞發生，或是速率下降時間晚於 VD 3，若 VD 4 之壅塞時間早於 VD 3，則視為非自然壅塞之下游回堵事件，不在本研究所欲探討的範圍內，需將該時段資料剔除。

確認該地點是否通過流量守恆的判斷依據為針對該地點的 VD 資料以 1 個月抽樣進行檢核，通過檢核的門檻值則參考 2019 年交通部運輸研究所計畫《高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究-獨立進出口分匯流區》（黃家耀等人，2019），若該調查地點 1 個月內有 20 天以上誤差值在 5% 以內即視為通過流量守恆，並納入本研究之調查地點。

目前以 2019 年為主要之調查年期，若該年期某調查地點之 VD 妥善率不佳或是無重現性壅塞，則另選其他調查年期。而本研究不考慮 2020 年為調查年期的原因為 2020 年爆發新型冠狀肺炎疫情(COVID-19)，造成該年車流狀況與往年相比有很大的不同，許多用路人因為疫情因素較少外出活動，造成車流量下降，進而無法觀察到足夠的車流崩潰事件進行分析。匝道儀控也因為車流量的下降，而減少實施的次數，綜合以上兩者原因造成可分析的樣本數過少，在後續的分析研究上，其代表性可能不足以完全說明匝道儀控對於匯流區容量的影響。

目前經過上述步驟的檢核可供利用之地點如表 4-1 所示，包含國道 3 號北上中和、國道 3 號南下龍潭、國道 1 號北上竹北、國道 1 號北上新竹 A、國道 1 號南下新竹 B，共 5 個交流道為本研究合適進行匝道儀控影響分析的匯流區。

表 4-1 有發生重現性壅塞及有匝道儀控之匯流區

交流道	里程 (公里)	主線 車道數	匝道 車道數	主線速限 (公里/小時)	匯流區 VD 與進口匝道 之距離(公尺)
國 3 北上中和	35	3	1	100	300
國 3 南下龍潭	68	3	1	110	2,350
國 1 北上竹北	91	3	1	100	650
國 1 北上新竹 A	95	3	1	100	530
國 1 南下新竹 B	95	3	1	100	1,045

另外，本研究未考慮重車對於容量之影響，故所篩選的調查地點重車比大多

都在 10%以下，且經抽樣發現壅塞時段大車數量較少，另外國內之 VD 資料在車種的判別上為使用車長來分類，而有可能因為進口匝道車輛過多造成誤判，導致與實際所觀察到的數量比例差異較大，另外一方面通常非壅塞之時段不會有匝道儀控的實施，不影響本研究的結果，故本研究使用以輛/小時之流率單位。

4.2 匝道儀控率的資料取得及分析

匝道儀控率資料的取得方式為高速公路局所提供之原始資料，然而各區交通控制中心對於歷史儀控率的保存時間不同，依照本研究所需之調查期間，僅能蒐集到北區養護工程分局北區交通控制中心之資料，故本研究以國道 1 號北上竹北、國道 1 號北上新竹 A、國道 1 號南下新竹 B、國道 3 號北上中和，以及國道 3 號南下龍潭交流道為調查分析之對象。

經獲取歷史儀控率資料後，發現所提供原始資料未經篩選，需要將重覆之項目需刪除。經過資料處理後，所得出之資訊包含匝道儀控日期、匝道儀控開啟至結束時間、匝道儀控之儀控率，以及儀控的策略或號誌顯示的方式，此處以國道 3 號北上中和交流道的匝道儀控於 2019 年 1 月 7 日至 2019 年 1 月 12 日歷史紀錄為例，形式如表 4-2 所示。

表 4-2 國道 3 號北上中和交流道 2019 年 1 月歷史匝道儀控紀錄（節錄）

日期	星期	時段	時間	儀控率(輛/小時)
2019/1/7	一	上午	07:01:03	1,200
2019/1/7	一	上午	09:31:01	(儀控結束)
2019/1/8	二	上午	07:01:01	1,200
2019/1/8	二	上午	09:31:01	(儀控結束)
2019/1/9	三	上午	07:01:00	1,200
2019/1/9	三	上午	09:31:01	(儀控結束)
2019/1/10	四	上午	07:01:01	1,200
2019/1/10	四	上午	09:31:01	(儀控結束)
2019/1/11	五	上午	07:01:02	1,200
2019/1/11	五	上午	09:31:00	(儀控結束)
2019/1/12	六	上午	06:01:01	1,200
2019/1/12	六	上午	09:01:00	1,400
2019/1/12	六	下午	12:01:10	(儀控結束)

由 1 月份的歷史儀控率，可發現儀控策略多為預設時制，其儀控率固定在 1,200 輛/小時，且時間多在平日上午 7 點至 9 點之間，該時段為許多用路人的上班時段，推論由於上班時間相較於下班時間有一致性，車流的壅塞時段較好掌控，故儀控策略採取預設時制，在可能壅塞的時段內進行匝道儀控；至於假日方面，匝道儀控時間則較為彈性，如 1 月 12 日匝道儀控開啟時間為上午 6 時 01 分，結束時間為下午 12 時 01 分，與平日規律之開啟時間不同，且該地點假日儀控率在同時段較有所變化，其儀控率從原本的 1,200 輛/小時提升至 1,400 輛/小時。

歷史儀控率的統計結果可以顯示出該地點的儀控率使用趨勢，此處同樣以國道 3 號北上中和交流道為例（其餘地點儀控率使用趨勢詳見附表一～附表五），如表 4-3 所示，在平日時段最常使用儀控率為 1,200 輛/小時，且依照使用次數來看，可發現週一到週五使用該儀控率的次數相近。若是以一年 52 週來看，幾乎每週平日有匝道儀控，並使用 1,200 輛/小時之儀控率，其次為 1,400 輛/小時，至於例假日與國定假日同樣也經常使用 1,200 輛/小時之儀控率，由此可知國道 3 號北上中和交流道的儀控率分布趨勢在不同壅塞時段均相似，且該地點的儀控率傾向採用較大的儀控率，使進口匝道進入高速公路主線的车辆能夠在一個綠燈週期達到較多之通過數。

表 4-3 國道 3 號北上中和交流道歷史儀控率分布

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
100	0	0	0	1	0	0	0	1
300	1	0	1	1	0	1	0	0
400	0	0	0	0	0	0	1	0
800	0	0	1	2	1	2	0	5
900	0	1	1	2	0	2	1	0
1,000	0	1	1	3	3	3	1	8
1,200	37	41	43	41	42	46	0	16
1,400	6	8	6	8	11	25	5	10

為了確認不同地點於不同日期與時間是否有不同的儀控管理機制，本研究統整歷史儀控率於調查地點，於平日、例假日，以及國定假日最常採用之儀控率，以及在一年之中的各儀控率的總次數。表 4-4 顯示本研究調查地點最常使用之儀控率以及儀控率使用總次數，其中若是當天同時段出現相同儀控率，該儀控率僅

會被記錄一次。

表 4-4 調查地點於各時段最常使用之儀控率與儀控率使用總次數

交流道		平日	例假日	國定假日
國 3 北上 中和	儀控率(輛/小時)	1,200	1,200	1,200
	儀控總次數	204	46	16
國 3 南下 龍潭	儀控率(輛/小時)	1,400	1,000	800
	儀控總次數	18	28	10
國 1 北上 竹北	儀控率(輛/小時)	1,000	1,000	600
	儀控總次數	25	33	9
國 1 北上 新竹 A	儀控率(輛/小時)	1,000	600	800
	儀控總次數	43	40	11
國 1 南下 新竹 B	儀控率(輛/小時)	1,000	1,000	1,000
	儀控總次數	20	27	8

由上表可發現國道 3 號北上中和交流道，不論在平日、例假日、以及國定假日，主要的儀控率均為 1,200 輛/小時，且幾乎每天都有匝道儀控，而且平日同一天上午或下午可能均會開啟匝道儀控，可推論該地點每天都有固定發生的重現性壅塞或是車多的情況。其他地點於平日實施儀控的天數則較少，平均而言，例假日及國定假日實施儀控的天數比例較平日高出許多。

而國道 1 號北上竹北、國道 1 號北上新竹 A，以及國道 1 號南下新竹 B，匝道儀控主要在平日，其原因有可能為應付新竹科學園區平日上下班之車潮。此外也可以觀察到國道 1 號北上新竹 A 以及國道 1 號南下新竹 B，其主要儀控率在平日、例假日，以及國定日均相同，可能原因為在不同壅塞時段由匝道進入高速公路北上以及南下車流量均相似，但在儀控總天數比較方面，以國道 1 號南下新竹 B 的儀控天數相較國道 1 號北上新竹 A 多，主要原因為國道 1 號南下新竹 B 在例假日實施匝道儀控的次數較多。

第五章 統計檢定推論與容量分析

本章將資料透過車流崩潰的判別方式，獲取匝道儀控檢定所需之相關參數，依照相異車流崩潰時間（平日上午、平日下午、例假日與國定假日）確認不同地點與全地點的匝道儀控效益。相關參數除了包含參考文獻所提出之流率與壅塞時間長度外，本研究認為速率變化也適合作為觀察車流績效指標之一，故額外納入速率值作為探討。

此外，為了探討有無匝道儀控對於匯流影響區容量的差異，本研究將透過隨機容量模型來確認各地點在不同壅塞時段下最大流率的相異性。過往文獻指出建立隨機容量模型有兩種方法，分別為極限乘積法與韋伯分布，於後續會有此兩種方式的說明與比較。

5.1 匝道儀控有效性檢核

5.1.1 相關參數之擷取

本節將利用相關交通參數進行匝道儀控效益的探討，並分四情境進行探討，流程為先運用 3.1 節所提及之車流崩潰判別方式，判別出各調查地點有發生車流崩潰的時間，並比對交通部高速公路局所提供之歷史儀控率時間以確認匝道儀控的實施，本研究共整理出 4 種情況，茲介紹如下：

情況一：無匝道儀控下，有發生車流崩潰

情況一指在無啟動匝道儀控時，當天的車流狀況有發生車流崩潰的情況。在實務上，有重現性壅塞的時段通常有預設的儀控時制，此情況較常發生於非重現性壅塞的時段。

情況二：匝道儀控啟動下，有發生車流崩潰

情況二指在匝道儀控開啟的情況下，因車流過大仍有發生車流崩潰的現象。

情況三：發生車流崩潰後，才啟動匝道儀控

情況三指在車流崩潰發生後，匝道儀控才啟動實施。此情況為過去文獻中並未提及，但在整理儀控啟動時間及車流資料時，有發現此類情況的發生，推論原

因為國內目前大部分地區之匝道儀控啟動機制是以預設時制模式為主，依據歷史資料而預先設定儀控啟動時間及儀控率，但如當天的交通需求尖峰提前發生，則有可能導致車流崩潰現象後才開啟匝道儀控。

情況四：有匝道儀控下，無發生車流崩潰之現象

情況四指在匝道儀控已經啟動的情況下，當天並無車流崩潰的情況。匝道儀控策略能避免高速公路主線發生壅塞，屬於理想的情況。

以上四種情況可透過表 5-1，依照有無車流崩潰與匝道儀控的組合呈現，再利用 3.1 節車流崩潰判別方式，找到車流崩潰的時機，並結合 3.2 節對於車流崩潰前相關流率以及時間點之定義進行分析，再透過所利用的統計假說檢定項目確認匝道儀控是否有效。

表 5-1 匝道儀控與車流崩潰各情況交互關係

情況	有發生車流崩潰	無發生車流崩潰
無匝道儀控	情況一	可忽略
有匝道儀控	情況二：匝道儀控在車流崩潰前 情況三：匝道儀控在車流崩潰後	情況四

綜整以上的情況後，針對 4.2 節最後所確定之調查地點，進行匝道儀控有效性檢驗之參數蒐集，擷取 2019 年有發生車流崩潰的事件以及所需變數，此外紀錄匝道儀控實施的有無以及匝道儀控是否在車流崩潰前，前者匝道儀控時實施的有無可以分類出情況一與情況二、三，後者匝道儀控是否在車流崩潰前則可再對情況二與情況三分類，各樣本之情況分類篩選流程如圖 5-1 分類流程圖所示。

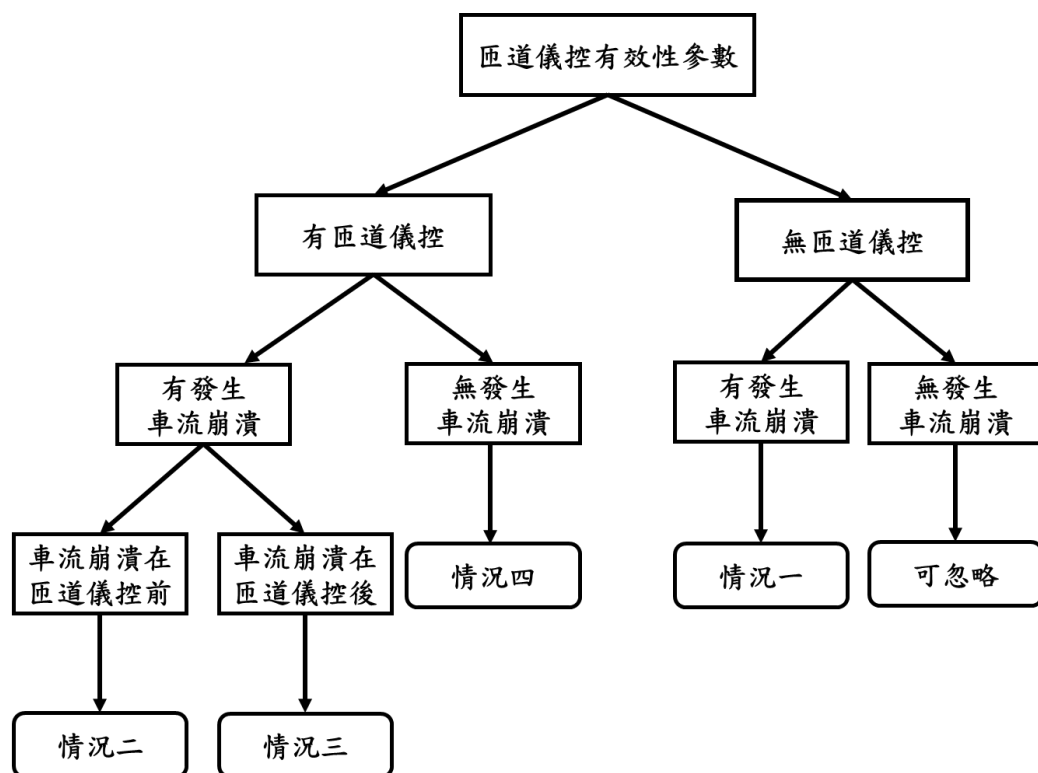


圖 5-1 匝道儀控有效性檢驗參數蒐集之情況分類篩選流程

以國道 3 號北上中和交流道資料為例，呈現方式如表 5-2，節錄了一筆於 2019 年 1 月 15 日關於匝道有效性檢驗所需變數及儀控情況相關資訊的資料樣本。

表 5-2 國道 3 號北上中和交流道匯流區車流相關特性資訊表（節錄）

日期	2019/1/15
車流漸增時間	07:14
壅塞時間	07:15
恢復時間	09:55
匝道儀控	有
儀控啟動時間	07:01
匝道儀控在車流崩潰前	是
崩潰前流率(輛/小時)	5,028
崩潰前速率(輛/小時)	75.95
平均紓解流率(輛/小時)	4,952
平均流率(輛/小時)	4,951
過渡期間長度(分鐘)	1
壅塞時間長度(分鐘)	160
總時間長度(分鐘)	161

上述資料可透過圖 5-2 的流率與速率時序圖來呈現以便詳細檢視流率與速率在時間方便的變動情形，透過該圖切分出上午時段的速率與流率分布，以便更詳細檢視其變化。可看出該日 07:14 時發生車流崩潰之情況，當下崩潰前的速率約為 80 公里/小時，直至 09:55 車流速率才恢復原有的情況，此車流壅塞時間為 160 分鐘，而該期間內的平均等候紓解流率約為 4,952 輛/小時，再由該平均流率回推至對應的轉換開始時間可發現其約在 07:14 時發生，此時就可得到在 07:14 至 09:55 之間的平均流率約為 4,951 輛/小時以及車流由順暢進入壅塞的轉換時間為 1 分鐘，而總時間之 161 分鐘為過渡期間長度與壅塞時間長度兩者加總而得。

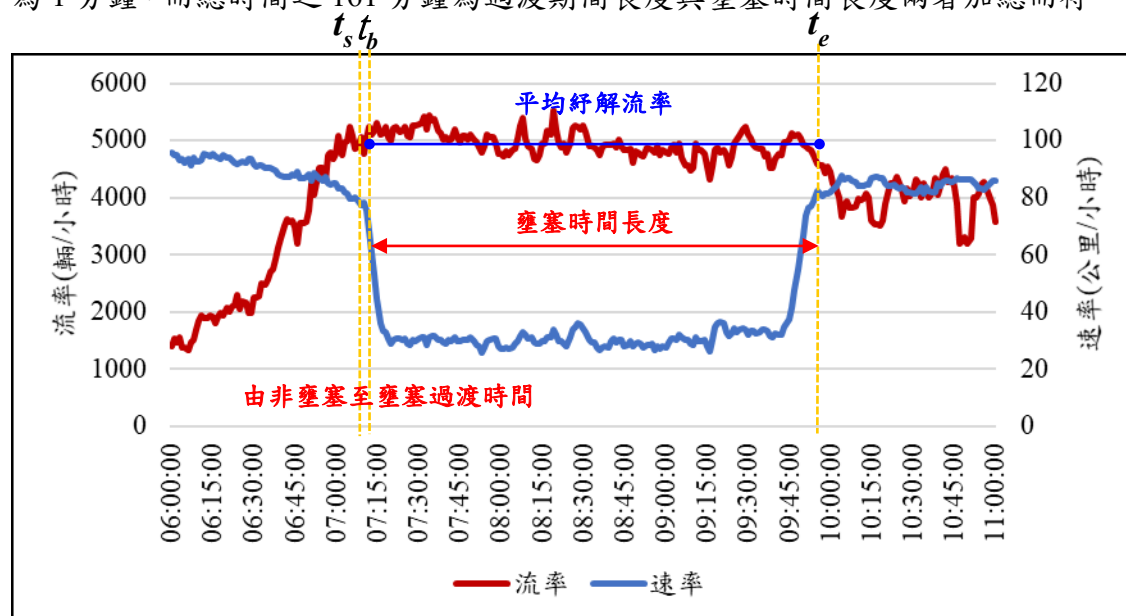


圖 5-2 國道 3 號北上中和交流道流率與速率時間序列圖

5.1.2 匝道儀控有效性之假說檢定

彙總完 5 個調查地點的相關車流崩潰資料後，為了要探討匝道儀控在流率以及速率在平日上午、平日下午、例假日，以及國定假日的在不同時段的改善程度，以 3.2 節所使用的檢定項目，加上本研究後續新增之參數，對車流特性資料進行統計的檢定與推論，檢定的項目除了最後所篩選出的 5 個地點，還包含本研究全地點的檢定，而全地點的檢定同樣依照上述的時段進行資料的切分。然而在進行檢定的過程中，由於會遇到樣本數不足之問題，其原因為在找尋有車流崩潰的資料時，尚須考慮匝道儀控的有無，此外因為不同時段的劃分，會使得所欲檢定之樣本因為分類的因素導致各類別內的樣本數變少，然而在統計實務上或是參考相關文獻只說明樣本數越多越好，並無一明確的參考值，後續之檢定項目若樣本數

過少，則不納入分析。

在統計分析上，若是想比較兩母體的樣本平均數是否有差異，且母體變異數未知的狀況下會使用 t 檢定來進行分析，而 t 檢定依樣本的獨立與否可分為獨立樣本 t 檢定(independent two-sample t test)與成對樣本 t 檢定(paired-sample t test)。回顧本研究主要目的之一是在檢驗有無匝道儀控對於車流運行的效益性，而有匝道儀控與無匝道儀控兩事件並不會重疊，因此採取獨立樣本 t 檢定，但若是要檢驗全部研究地點的匝道儀控是否有效，此時則要使用成對樣本 t 檢定，因為是檢驗同一地點有匝道儀控以及無匝道儀控的影響。

本研究在檢定的過程中發現某些情境樣本數過少，為了維持檢定結果的正確性，需訂定假說檢定前的資料篩選規則，才能進行後續的統計檢定與分析，以下為本研究在假說檢定的規範：

- 檢定項目若樣本數過少則不納入分析，但在附表六 ~ 附表九會完整呈現各地點匝道儀控有效性的樣本數以及參數蒐集結果。
- 主要為情況一分別與情況二或情況三進行有無匝道儀控的檢定，因此若是無匝道儀控的情況一樣本數不足，則無法進行假說檢定。
- 若有匝道儀控下的情況二與情況三樣本數均足夠，則以情況二為主進行假說假定，原因在於匝道儀控開啟時機在車流崩潰後，對於車流的影響僅在於車流紓解期間。

下列將依照不同假說項目分項說明檢定結果，並按壅塞時段進行分類。透過 5.1.1 所提及之前 3 種情況分類進行假說 1~3 之檢定，而第 4 種情況「匝道儀控下，無發生車流崩潰之現象」則是利用情況一所擷取之「車流崩潰前流率」與情況四所擷取之「最大流率」進行假說 6 之檢定，目的檢視當開啟儀控的情況時，能否避免車流崩潰的發生，並且更進一步提升匯流區段的容量。

各假說項目之間共可分為四個面向來檢視匝道儀控的績效，並非所有假說皆顯著才視匝道儀控對車流運行有助益，至於第一個面向為檢視匝道儀控對於延長壅塞前時間的顯著性（假說 1）、第二個面向為檢視匝道儀控對於流率提升的改善幅度（假說 2、假說 3）、第 4 個面向則是檢視匝道儀控對平均行車速率的維持（假說 4）、第 5 個面向為檢視匝道儀控對於容量提升的改善程度（假說 5、假說 6）。

假說 1：匝道儀控可以延長壅塞發生前的過渡時間

($H_0: T_{on} \leq T_{off}$; $H_a: T_{on} > T_{off}$)

本假說提出車流開始大量湧入匯流區到發生壅塞的此段時間為「過渡時間」，如過渡時間越長，則代表壅塞的開始時間比預期要晚，使高速公路運作順暢之時間較長。在匝道儀控開啟後，若在匝道儀控下的過渡時間比無匝道儀控的過渡時間長，則可說明此次儀控有能暫緩壅塞發生之效益。

此假說為唯一與時間有關的檢定，而表 5-3 結果顯示僅有國道 1 號北上竹北交流道的例假日壅塞前的過渡時間有達到顯著水準，其餘地點與時段均無達到顯著水準，甚至國道 3 號北上中和交流道的平日上午以及國定假日，還有國道 1 號北上新竹 A 交流道平日下午的有匝道儀控下的壅塞前的過渡時間反而較無匝道儀控來得少，可能的原因為在抽樣檢視這兩個地點的速率流率圖發現，壅塞前就已經維持在較高的流量，使得流量很容易就超過該地點的容量，推論匝道儀控可能在流率逐漸上升之後但尚未在車流崩潰前開啟，才導致有匝道儀控的壅塞前過渡時間與無匝道的壅塞前過渡時間差異不大的情形。

表 5-3 研究假說 1 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On, Off)	T _{on} 平均數 (分鐘)	T _{off} 平均數 (分鐘)	t 值	p-value
國 3 北上 中和	平日上午	(182,52)	3.4	3.7	-0.3090	0.6208
	平日下午	(1,182)	-	-	-	-
	例假日	(8,47)	6.6	3.7	0.7395	0.2409
	國定假日	(10,8)	2.3	2.9	-0.3870	0.6481
國 3 南下 龍潭	平日上午	(0,1)	-	-	-	-
	平日下午	(0,0)	-	-	-	-
	例假日	(5,1)	-	-	-	-
	國定假日	(8,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(3,60)	2.6	7.2	-2.0418	0.9751
	平日下午 [#]	(8,41)	12.5	10.1	0.1852	0.4270
	例假日	(14,23)	59.4	11.9	3.1257	0.0034***
	國定假日	(12,2)	70.8	3.5	3.4214	0.0028***
國 1 北上 新竹 A	平日上午 [#]	(66,4)	12.0	9.3	0.4210	0.3375
	平日下午 [#]	(24,155)	9	7.5	-1.9148	0.9693
	例假日 [#]	(29,50)	5.9	4.9	0.4346	0.3325
	國定假日 [#]	(12,7)	3.6	3.4	0.1075	0.4578
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(1,6)	-	-	-	-
	平日下午	(1,107)	-	-	-	-
	例假日	(5,10)	35	3	1.3969	0.1173
	國定假日	(5,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	T _{on} 平均數 (分鐘)	T _{off} 平均數 (分鐘)	t 值	p-value
全地點	平日上午	2	3.0	5.4	-1.1412	0.7710
	平日下午 [#]	2	6.1	8.8	-8.0495	0.9607
	例假日	3	23.8	6.86	1.1076	0.1917
	國定假日	3	26.2	3.3	1.0331	0.2051

註：(1)*表 p-value < 0.1；**表 p-value < 0.05；***表 p-value < 0.01

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「[#]」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

(二) 假說 2：有匝道儀控時較無匝道儀控時的平均流率高

$$(H_0 : q_{a, on} \leq q_{a, off} ; H_a : q_{a, on} > q_{a, off})$$

此處之平均流率定義為過渡期間之平均流率，若有匝道儀控之平均流率較無匝道儀控之平均流率為高，代表開啟匝道儀控時能夠使更多車輛通過，提升運作之績效。

經檢視表 5-4 有無匝道儀控的平均流率檢定結果後，在統計上顯著的地點時段為國道 3 號北上中和交流道平日上午以及例假日，在有匝道儀控下的平均流率相較於無匝道儀控下的平均流率，其差異分別為 104 輛/小時以及 218 輛/小時，此外可看出該地點在例假日有儀控的狀態下平均流率相較於平日還要高。另外一個統計上顯著的地點為國道 1 號北上新竹 A 交流道的例假日時段，在此時段中有匝道儀控的平均流率較無匝道儀控的流率高於 187 輛/小時。

表 5-4 研究假說 2 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On, Off)	$q_{a, on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{a, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
國 3 北上 中和	平日上午	(182,52)	4,932	4,828	3.7320	0.0005***
	平日下午	(1,182)	-	-	-	-
	例假日	(8,47)	4,647	4,429	1.7171	0.0459**
	國定假日	(10,8)	4,517	4,502	0.1150	0.4550
國 3 南下 龍潭	平日上午	(0,1)	-	-	-	-
	平日下午	(0,0)	-	-	-	-
	例假日	(5,1)	-	-	-	-
	國定假日	(8,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(3,60)	4,926	4,927	-0.0021	0.5008
	平日下午 [#]	(8,41)	4,715	4,741	-0.1208	0.5478
	例假日	(14,23)	4,331	4,534	-0.7002	0.7558
	國定假日	(12,2)	4,055	4,128	-0.1127	0.5439
國 1 北上 新竹 A	平日上午 [#]	(66,4)	4,662	4,872	-0.6859	0.7524
	平日下午 [#]	(24,155)	5,486	5,387	0.8425	0.2003
	例假日 [#]	(29,50)	5,335	5,148	1.3885	0.0845*
	國定假日 [#]	(12,7)	5,437	5,458	-0.0736	0.5289
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(1,6)	-	-	-	-
	平日下午	(1,107)	-	-	-	-
	例假日	(5,10)	4,971	5,254	-1.0223	0.8374
	國定假日	(5,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	$q_{a, on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{a, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
全地點	平日上午	2	4,929	4,878	0.9811	0.2530
	平日下午 [#]	2	5,100	5,064	0.5847	0.3316
	例假日	3	4,806	4,704	0.6627	0.2878
	國定假日	3	4,676	4,696	-0.7318	0.7298

註：(1)*表 p -value < 0.1；**表 p -value < 0.05；***表 p -value < 0.01

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「[#]」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

(三) 假說 3：有匝道儀控時較無匝道儀控時的平均紓解流率高

($H_0 : q_{d, on} \leq q_{d, off}$; $H_a : q_{d, on} > q_{d, off}$)

此處之紓解流率定義為車流進入壅塞到恢復順暢車流之期間該時段的流率值。若有匝道儀控之紓解流率較無匝道儀控之紓解流率為高，代表開啟匝道儀控時其車流之紓解效率能有效提升。

經由平均紓解流率的統計檢定結果如表 5-5，統計上顯著的地點與時段同假說 4 平均流率的結果，分別為國道 3 號北上中和交流道平日上午以及例假日，還有國道 1 號北上新竹 A 交流道。若個別檢視以上顯著項目有無匝道儀控的平均紓解流率，國道 3 號北上中和平日上午的有儀控的平均紓解流率高於無儀控的平均紓解流率 112 輛/小時，至於例假日的差異為 187 輛/小時，而國道 1 號北上新竹 A 例假日有儀控的平均紓解流率高於無儀控的平均紓解流率 203 輛/小時。

表 5-5 研究假說 3 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On, Off)	$q_{d, on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{d, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
國 3 北上 中和	平日上午	(182,52)	4,927	4,815	2.9644	0.0021***
	平日下午	(1,182)	-	-	-	-
	例假日	(8,47)	4,600	4,413	1.3353	0.0938*
	國定假日	(10,8)	4,509	4,498	0.0794	0.4689
國 3 南下 龍潭	平日上午	(0,1)	-	-	-	-
	平日下午	(0,0)	-	-	-	-
	例假日	(5,1)	-	-	-	-
	國定假日	(8,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(3,60)	4,921	4,859	0.1217	0.4518
	平日下午 [#]	(8,41)	4,686	4,667	0.0807	0.4680
	例假日	(14,23)	4,072	4,462	-1.3667	0.9098
	國定假日	(12,2)	3,887	4,113	-0.3504	0.6339
國 1 北上 新竹 A	平日上午 [#]	(66,4)	4,565	4,784	-0.6590	0.7439
	平日下午 [#]	(24,155)	5,472	5,350	1.0386	0.1502
	例假日 [#]	(29,50)	5,324	5,121	1.4310	0.0782*
	國定假日 [#]	(12,7)	5,421	5,560	-0.1398	0.5548
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(1,6)	-	-	-	-
	平日下午	(1,107)	-	-	-	-
	例假日	(5,10)	4,781	5,254	-1.5867	0.9317
	國定假日	(5,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	$q_{d, on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{d, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
全地點	平日上午	2	4,924	4,837	3.4933	0.0887*
	平日下午 [#]	2	5,079	5,009	1.3599	0.2018
	例假日	3	4,703	4,666	0.1714	0.4398
	國定假日	3	4,615	4,690	-0.9983	0.7884

註：(1)*表 p -value < 0.1；**表 p -value < 0.05；***表 p -value < 0.01

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「#」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

(四) 假說 4：有匝道儀控時較無匝道儀控時的平均紓解速率高

($H_0 : S_{d, on} \leq S_{d, off}$; $H_a : S_{d, on} > S_{d, off}$)

此處之紓解速率定義為車流進入壅塞到恢復順暢車流之期間，該時段的平均速率。若有匝道儀控之紓解速率較無匝道儀控之紓解速率為高，代表開啟匝道儀控時其車流之紓解效率能有效提升。

此假說的檢定結果如表 5-6 所示，在統計上有匝道儀控時平均紓解速率比無匝道儀控時的平均紓解速率顯著高的地點僅有國道 3 號北上中和交流道平日上午時段，其餘地點於統計上均不顯著，甚至國道 1 號北上竹北交流道例假日與國道 1 號北上新竹 A 交流道平日下午，反而無匝道儀控的平均紓解速率較高，但差異不大。推論車流崩潰後的壅塞時間，大多數地點的匝道儀控無法有效的控制由匝道進入主線的车辆數，使主線無法在時間內快速紓解車流量，讓維持車流在較高的行車速率。

表 5-6 研究假說 4 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On,Off)	<i>S_{d, on}</i> 平均數 (公里/小時)	<i>S_{d, off}</i> 平均數 (公里/小時)	<i>t</i> 值	<i>p</i> -value
國 3 北上 中和	平日上午	(182,52)	36.25	32.99	4.1370	0.0000***
	平日下午	(1,182)	-	-	-	-
	例假日	(8,47)	36.45	37.86	-0.3119	0.6218
	國定假日	(10,8)	33.39	34.87	-0.4070	0.6553
國 3 南下 龍潭	平日上午	(0,1)	-	-	-	-
	平日下午	(0,0)	-	-	-	-
	例假日	(5,1)	-	-	-	-
	國定假日	(8,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(3,60)	61.69	57.07	0.8552	0.1979
	平日下午 [#]	(8,41)	52.44	54.88	-0.6969	0.7553
	例假日	(14,23)	45.78	51.44	-1.6501	0.9461
	國定假日	(12,2)	49.82	67.33	-3.2860	0.9967
國 1 北上 新竹 A	平日上午 [#]	(66,4)	42.15	46.59	-0.9352	0.8235
	平日下午 [#]	(24,155)	47.71	48.85	-0.7398	0.7698
	例假日 [#]	(29,50)	51.58	51.48	0.0587	0.4767
	國定假日 [#]	(12,7)	53.3	55.7	-0.6929	0.7511
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(1,6)	-	-	-	-
	平日下午	(1,107)	-	-	-	-
	例假日	(5,10)	52.76	55.63	-0.4810	0.6756
	國定假日	(5,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	<i>S_{d, on}</i> 平均數 (公里/小時)	<i>S_{d, off}</i> 平均數 (公里/小時)	<i>t</i> 值	<i>p</i> -value
全地點	平日上午	2	48.97	45.03	5.8062	0.0543*
	平日下午 [#]	2	50.08	51.86	-2.7500	0.8990
	例假日	3	44.92	46.93	-1.0246	0.7933
	國定假日	3	45.50	52.48	-1.3270	0.8421

註：(1)*表 $p\text{-value} < 0.1$ ；**表 $p\text{-value} < 0.05$ ；***表 $p\text{-value} < 0.01$

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「[#]」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

(五) 假說 5：有匝道儀控時較無匝道儀控時的崩潰前流率高

($H_0 : q_{PBF, on} \leq q_{PBF, off}$; $H_a : q_{PBF, on} > q_{PBF, off}$)

崩潰前流率之定義為車流崩潰發生之時間點，其前 5 分鐘的平均小時流率。本研究使用 5 分鐘小時流率而不採用 15 分鐘小時流率之原因為車流通常會於短時間湧進瓶頸路段，若以壅塞前 15 分鐘擷取小時流率，可能導致數值無法呈現實際狀況下高速公路可負擔之最大流率。本假說為確認車流崩潰發生時，在有匝道儀控時的崩潰前流率，是否大於無匝道儀控下的崩潰前流率。

表 5-7 顯示了各地點與時段車流崩潰前有無匝道儀控的車流崩潰前的平均流率，檢定結果顯示國道 3 號北上中和交流道平日上午在有匝道儀控的情況下其崩潰前流率值有顯著提升，與無匝道儀控時相比崩潰前流率約提升了 113 輛/小時，另外一個崩潰前流率值有顯著提升的地點為國 1 北上新竹 A 的例假日，無匝道儀控時相比崩潰前流率約提升了 250 輛/小時，顯示這兩個地點該時段的匝道儀控有效的使崩潰前的流率值提升。

表 5-7 研究假說 5 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On, Off)	<i>QPBF, on</i> 平均數 (輛/小時)	<i>QPBF, off</i> 平均數 (輛/小時)	<i>t</i> 值	<i>p</i> -value
國 3 北上 中和	平日上午	(182,52)	5,217	5,104	2.0794	0.0193**
	平日下午	(1,182)	-	-	-	-
	例假日	(8,47)	4,841	4,744	0.7381	0.2319
	國定假日	(10,8)	4,752	4,811	-0.4597	0.6740
國 3 南下 龍潭	平日上午	(0,1)	-	-	-	-
	平日下午	(0,0)	-	-	-	-
	例假日	(5,1)	-	-	-	-
	國定假日	(8,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(3,60)	5,124	5,083	0.0700	0.4722
	平日下午 [#]	(8,41)	5,039	4,897	0.5143	0.3047
	例假日	(14,23)	4,847	4,885	-0.1288	0.5509
	國定假日	(12,2)	4,386	4,488	-0.1523	0.5593
國 1 北上 新竹 A	平日上午 [#]	(66,4)	4,941	5,362	-1.2084	0.8845
	平日下午 [#]	(24,155)	5,788	5,674	0.6777	0.2494
	例假日 [#]	(29,50)	5,647	5,397	1.9075	0.0301**
	國定假日 [#]	(12,7)	5,569	5,458	0.3099	0.3802
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(1,6)	-	-	-	-
	平日下午	(1,107)	-	-	-	-
	例假日	(5,10)	5,189	5,400	-0.7268	0.7599
	國定假日	(5,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	<i>QPBF, on</i> 平均數 (輛/小時)	<i>QPBF, off</i> 平均數 (輛/小時)	<i>t</i> 值	<i>p</i> -value
全地點	平日上午	2	5,171	5,094	2.1234	0.1401
	平日下午 [#]	2	5,413	5,285	9.5266	0.0333*
	例假日	3	5,048	5,008	0.9763	0.2159
	國定假日	3	4,970	4,919	0.3871	0.3680

註：(1)*表 $p\text{-value} < 0.1$ ；**表 $p\text{-value} < 0.05$ ；***表 $p\text{-value} < 0.01$

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「[#]」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

(六) 假說 6：「情況四：有匝道儀控下，無發生車流崩潰」的各時段之 5 分鐘最大流量值比「情況一：無匝道儀控下，發生車流崩潰」各時段之 5 分鐘車流崩潰前流率高。

$$(H_0 : q_{\max_5min, on} \leq q_{PBF, off} ; H_a : q_{\max_5min, on} > q_{PBF, off})$$

在未開啟匝道儀控之情況下，部分匯流區會發生車流崩潰，但交通管理人員經由過往的經驗，可得知車潮較多之時段，進而提前開啟匝道儀控，使壅塞事件能夠事先排除。

然而，若僅針對車流崩潰事件擷取崩潰前流率，部分匯流區在開啟匝道儀控後，因為無發生車流崩潰，而無法擷取崩潰前流率。故本假說擬確認開啟匝道儀控時，無發生車流崩潰之「最大流率」，其數值是否顯著高於無匝道儀控時，發生車流崩潰之「崩潰前流率」。若開啟匝道儀控時，無發生車流崩潰之「最大流率」較高，則可代表在開啟儀控後，該設施的運作績效有顯著之提升。

此假說的檢定結果如表 5-8 所示，在所有樣本數足夠之地點與時段的假說檢定均證明有匝道儀控下，但無發生車流崩潰的流率值，要比無匝道儀控下發生車流崩潰的流率值還要高，其中又以國道 3 號北上新竹 A 將流道的流率最高，平均而言有匝道儀控在平日下午的流率差可達到 936 輛/小時，至於例假日則是可達到 1,173 輛/小時。

推論匝道儀控確實對於匯流區段的通過量有顯著的提升，能夠在不發生車流崩潰的情況下，再提升通過量，利用不同壅塞時段的最大流率值當成一個地點的隨機容量。此外匝道儀控也能避免車流崩潰的發生，使得流率能夠再往上提升，增加高速公路的容量。

表 5-8 研究假說 6 之假說檢定結果

地點	時段	樣本數 (On, Off)	$q_{\max(NB), on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{PBF, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
國 3 北上 中和	平日上午	(5,52)	5,434	5,104	2.1330	0.0187**
	平日下午	(3,182)	5,628	4,972	12.4814	0.0000***
	例假日	(27,47)	5,193	4,744	6.4414	0.0000***
	國定假日	(6,8)	5,082	4,811	1.8514	0.0444**
國 3 南下 龍潭	平日上午	(2,1)	-	-	-	-
	平日下午	(4,0)	-	-	-	-
	例假日	(53,1)	-	-	-	-
	國定假日	(18,0)	-	-	-	-
國 1 北上 竹北	平日上午	(9,60)	5,496	5,083	1.1784	0.1214
	平日下午	(21,41)	5,449	4,897	2.4896	0.0078***
	例假日	(26,23)	5,607	4,886	2.4269	0.0096***
	國定假日	(13,2)	5,562	4,488	1.7293	0.0537*
國 1 北上 新竹 A	平日上午	(4,66)	5,805	5,362	1.2695	0.1043
	平日下午	(19,155)	6,609	5,673	5.0992	0.0000***
	例假日	(18,50)	6,570	5,397	7.4643	0.0000***
	國定假日	(4,7)	6,434	5,458	3.1501	0.0045***
國 1 南下 新竹 B	平日上午	(2,6)	5,478	4,076	3.4473	0.0068***
	平日下午	(4,107)	6,567	5,590	3.1315	0.0011***
	例假日	(36,10)	5,964	5,400	3.6707	0.0003***
	國定假日	(20,0)	-	-	-	-
地點	時段	地點數	$q_{\max(NB), on}$ 平均數 (輛/小時)	$q_{PBF, off}$ 平均數 (輛/小時)	t 值	p -value
全地點	平日上午	5	5,382	4,739	3.2854	0.0152**
	平日下午 [#]	4	6,069	5,283	7.4800	0.0025***
	例假日	5	5,748	5,105	4.3018	0.0063***
	國定假日	3	5,693	4,918	3.0612	0.0461**

註：(1)*表 p -value < 0.1；**表 p -value < 0.05；***表 p -value < 0.01

(2)斜體數值為樣本數不足之檢定結果，結果僅供參考，而「-」表相應之情況無資料

(3)「[#]」表情況二樣本數不足，故以情況三與情況一進行比較

各調查地點經過 6 項假說檢定後，其結果大致彙整如下：

1. 研究結果顯示，在 5 個分析的調查地點中，匝道儀控國 3 北上中和與國 1 北上新竹 A 績效有顯著改善、對國 1 北上竹北與國 1 南下新竹 B 之績效改善不顯著、國 3 南下龍潭資料不足而無法判定。
2. 由壅塞時段來看，例假日的匝道儀控績效表現最佳，除了國道 3 號南下龍潭交流道無任何假說被拒絕，其餘地點均至少有一項拒絕虛無假說之研究假說。
3. 由研究假說項目來看，假說 6 為各調查地點最為顯著之假說，其中又以國道 3 號北上中和交流道之匝道儀控表現最佳，於各壅塞時段均有顯著的提升。至於假說 1 為各調查地點檢定結果不顯著數目最多之假說，在樣本數充足之情況下，僅有國道 1 號北上竹北交流道的例假日壅塞前的過渡時間有達到顯著水準。
4. 由調查地點來看，國道 3 號北上中和交流道在所有 5 個調查地點當中所拒絕虛無假說的假說數目最多，且以平日上午的匝道儀控表現最佳，原因為該地點於平日上午有預設時制式儀控，績效較佳，其餘地點因為壅塞時段較不固定，匝道儀控帶來之績效較不一致。

5.2 匝道儀控對匯流影響區容量的估算

檢視完匝道儀控對於相關車流特性參數的績效後，針對本研究的目的，進行匝道儀控對匯流影響區容量的估算，本節容量的估算是利用 Brilon *et al.*(2005)、Asgharzadeh & Kondyli(2020)，以及 Zechin *et al.*(2020)所使用的極限乘積法以及韋伯分布，利用各地點所得的最大流率值，分別透過不同壅塞時間以及不同情況探討有匝道儀控及無匝道儀控的影響下的隨機容量分布，但由於極限乘積法以及韋伯分布在容量推估在操作上有所不同，因此會進行兩種方法其隨機容量分布的比較，找到較合適的推估方法。

5.2.1 隨機容量分析方法之比較

極限乘積法與韋伯分布兩種方法最主要的不同處在於極限乘積法為使用非參數校估之容量估算方法，其累積機率分布為個別的车流崩潰前流率資料與無车流崩潰前的最大流率值，透過極限乘積法的分布函數計算累積疊加而成。而韋伯分布則是利用车流崩潰前流率資料以最大概似估計法進行比例參數(scale parameter)以及形狀參數(shape parameter)的校估，得出連續的累積機率分布。

本研究以國道 3 號北上中和交流道平日上午有匝道儀控下的數筆车流崩潰前流率資料，進行兩種分析方法的測試，所得到之车流崩潰累積機率之分布如圖 5-3 所示，顯示兩種隨機容量分析方法所得出之隨機容量模型並無太大的差異，推論其原因為國內高速公路的车流在進入高流率時均會發生壅塞現象，較少發生高流率但無壅塞的現象，因此才會使得這兩種方法的车流崩潰累積機率分布圖相似，本研究因為韋伯分布在進行研究的過程中，其操作程序較為方便與快速，此外能夠以卡方檢定，檢定有無匝道儀控情況與時段下的樣本數是否足夠校估出參數，故主要以韋伯分布來獲得隨機容量分布。

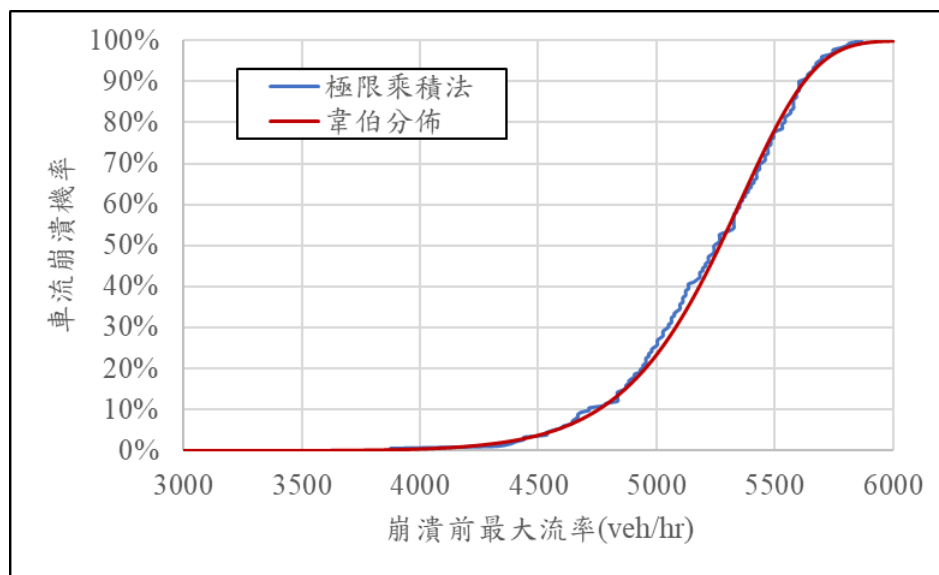


圖 5-3 極限乘積法與韋伯分布之车流崩潰累積機率分布圖

5.2.2 壅塞時段與匝道儀控情況組合下之隨機容量分布

確認完極限乘積法與韋伯分布车流崩潰累積機率分布並無太大之差異後，本小節將探討使用最大概似估計法進行韋伯分布之參數校估後，所呈現之车流崩潰

機率分布圖，依照不同地點壅塞時段與匝道儀控情況，建立隨機容量分布，決定各組合下合適之容量值。

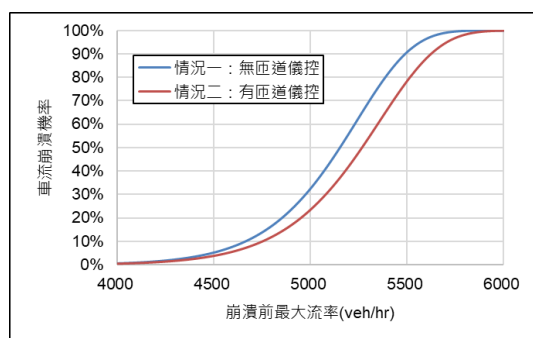
容量基準值的選定並無一定論，若選擇累積機率較低之最大流率作為容量值，可能在匝道儀控管理策略上需要提早限制匯入主線之車輛，雖較能抑止車流崩潰發生，但可能會減少實際能通過之車流量，屬於較為保守之訂定標準；若選擇累積機率較高之最大流率作為容量值，可讓高速公路於短時間能負荷更多的車輛，但也會增加車流崩潰的風險。經由文獻回顧後發現常使用之累積機率容量值有 85% 及 90%，且 2016 年美國公路容量手冊(HCM 2016)於第四冊之應用說明提及建議以 85% 累積機率容量值作為容量估算的基準值，故本研究選定以累積機率 85% 之容量值作為容量值的基準。

本研究由於考量之情境切分至各地點、各壅塞時段，以及各匝道儀控情況下的車流崩潰事件，使得部分情境下的樣本數不足，並無法完全呈現各情況的組合，故在後續的容量分析方面，並不會針對樣本數不足 10 筆之情境建立韋伯分布的隨機容量分布，因為本研究發現樣本數在 10 筆以上較能校估韋伯分布的兩個參數，且較容易通過卡方檢定，而進行檢定之意涵為確認該組資料是否符合韋伯分布。

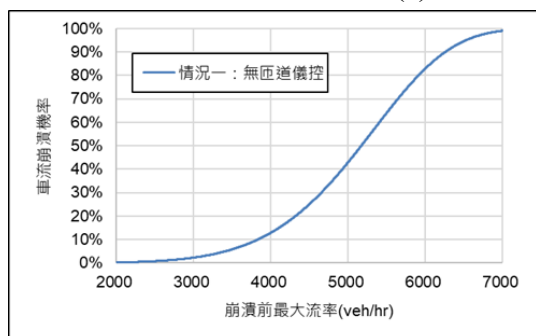
(一) 平日上午

在平日上午的壅塞時段中，樣本數足夠可供分析地點為國道 3 號北上中和交流道、國道 1 號北上竹北交流道，以及國道 1 號北上新竹 A 交流道，其車流崩潰機率累積分布圖如圖 5-4 的(a)~(c)所示。結果顯示平日上午僅有國道 3 號北上中和交流道能比較有匝道儀控以及無匝道儀控對於容量的影響，本研究發現在平日上午有匝道儀控的情況下，容量值比無匝道儀控的情況還要高，由表 5-9 可看出有匝道儀控可以增加 130 輛/小時的容量。

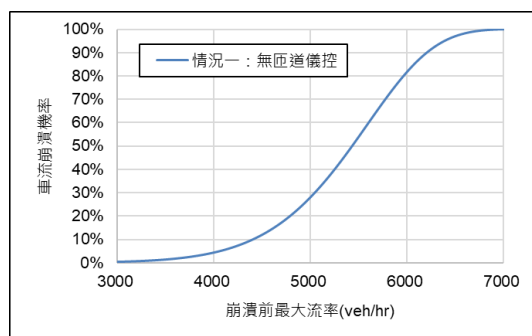
本研究發現該地點的匝道儀控確實能夠增加容量值，此外由於國道 3 號北上中和交流道有定時的匝道儀控，且開啟時機幾乎均在車流壅塞前，能提前對進口匝道進入主線之車輛進行管控，雖然無法避免車流崩潰的發生，但對於總容量值的提升是有所助益的。其餘地點因為樣本數過少故無法比較有無匝道儀控對於容量的差異，需待後續進一步的探究。



(a) 國道 3 號北上中和



(b) 國道 1 號北上竹北



(c) 國道 1 號北上新竹 A

圖 5-4 平日上午各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖

表 5-9 各地點平日上午韋伯分布參數校估結果與容量值

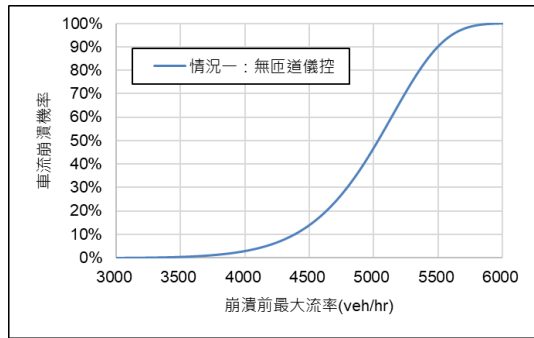
地點	情況一				情況二				情況三			
	無儀控下發生車流崩潰				儀控啟動後仍發生車流崩潰				發生車流崩潰後才啟動儀控			
	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值
國 3 北上 中和	52	5,253	18.9	5,429	182	5,373	18.3	5,559	2	-	-	-
國 1 北上 竹北	60	5,479	6.3	6,072	3	-	-	-	2	-	-	-
國 1 北上 新竹 A	66	5,657	9.0	6,096	0	-	-	-	4	-	-	-

註：「-」表該地點樣本數不足，無法校估韋伯分布參數

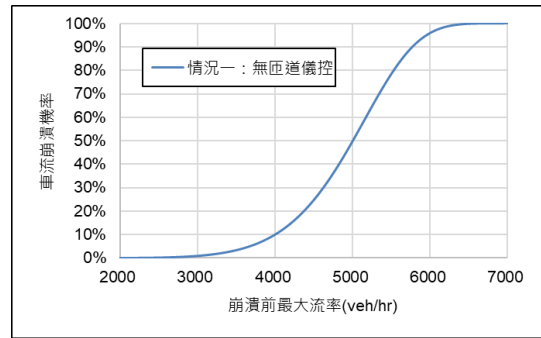
(二) 平日下午

在平日下午的壅塞時段中，樣本數足夠可供分析地點為國道 3 號北上中和交流道、國道 1 號北上竹北交流道、國道 1 號北上新竹 A 交流道，以及國道 1 號北上新竹 B 交流道，其車流崩潰機率累積分布圖如圖 5-5 的(a)~(d)所示。結果顯示，此 4 個調查地點之情況二的樣本數均不足，情況三則是國道 1 號北上新竹 A 交流道能夠與情況一進行比較，本研究發現該地點在匝道儀控部分影響的情況三，由表 5-10 可看出車流崩潰後匝道儀控啟動的情況下可以增加約 52 輛/小時的容量。

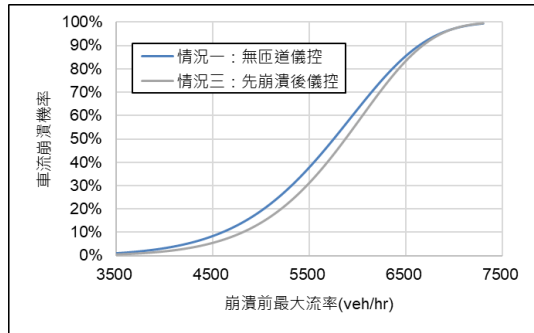
本研究發現雖然平日下午無法比較有無匝道影響的容量值差異，但若是比對平日上午無匝道儀控的容量值，發現容量值確實會隨著時段的不同而有所差異，以國道 1 號北上新竹 A 交流道為例，平日下午的容量值要比平日上午還高，推論該匯流區為服務新竹科學園區下班時間北上要返家的車潮。



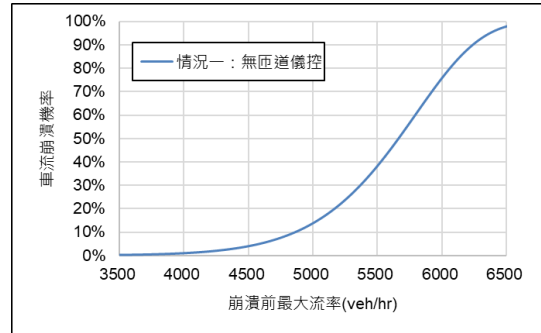
(a) 國道 3 號北上中和



(b) 國道 1 號北上竹北



(c) 國道 1 號北上新竹 A



(d) 國道 1 號南下新竹 B

圖 5-5 平日下午各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖

表 5-10 各地點平日下午韋伯分布參數校估結果與容量值

地點	情況一 無儀控下發生車流崩潰				情況二 儀控啟動後仍發生車流崩潰				情況三 發生車流崩潰後才啟動儀控			
	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值
國 3 北上 中和	182	5,173	13.6	5,424	0	-	-	-	1	-	-	-
國 1 北上 竹北	41	5,233	8.4	5,655	2	-	-	-	8	-	-	-
國 1 北上 新竹 A	155	6,008*	8.4*	6,495	7	-	-	-	24	6,106	9.4	6,547
國 1 南下 新竹 B	107	5,834	12.4	6,140	0	-	-	-	1	-	-	-

註：(1)「-」表該地點樣本數不足，無法校估韋伯分布參數

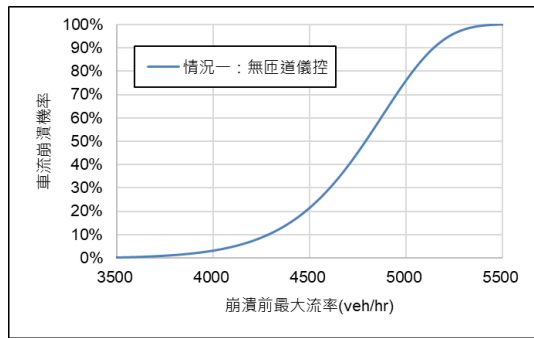
(2)「*」表該地點之樣本組合並未通過卡方檢定

(三) 例假日

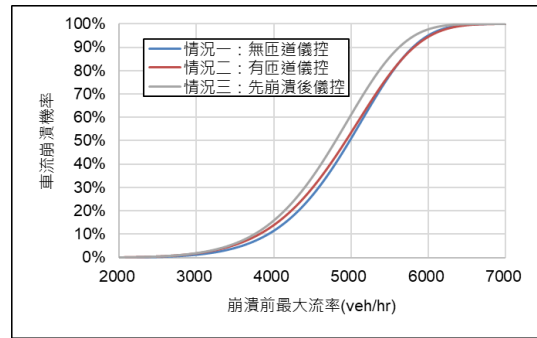
在例假日的壅塞時段中，樣本數足夠可供分析地點為國道 3 號北上中和交流道、國道 1 號北上竹北交流道、國道 1 號北上新竹 A 交流道，以及國道 1 號北上新竹 B 交流道，其車流崩潰機率累積分布圖如圖 5-6 的(a)~(d)所示。能夠完整的比對各匝道儀控情況的地點為國道 1 號北上竹北交流道以及國道 1 號北上新竹 A 交流道，由車流崩潰分布機率累積分布圖可發現國道 1 號北上竹北交流道在情況一與情況二的累積機率分布相似，而情況三之容量較低，代表該地點例假日有無匝道儀控對容量並無太大影響，至於國道 1 號北上新竹 A 交流道，其車流崩潰累積機率分布曲線於各匝道儀控情況先後交錯顯示，原因為資料不足或者是容量為隨機性的因素，導致曲線有一定範圍的差異，但在累積機率 85%容量值顯示在有匝道儀控的情況下，其容量值均比無匝道儀控時高。

由表 5-11 可更進一步看出國道 1 號北上竹北交流道累積機率 85%之容量值在有無匝道儀控下差異不大，差距僅有 1 輛/小時，至於國道 1 號北上新竹 A 交流道有匝道儀控之情況二比無匝道儀控的情況一的容量值約提升 668 輛/小時。

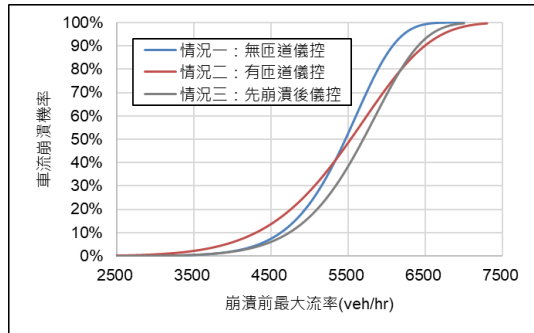
至於例假日與平日能夠進行比較的地點為國道 3 號北上中和交流道、國道 1 號北上竹北交流道，以及國道 1 號北上新竹 A 交流道，在無匝道儀控的情況下，結果發現平日比假日高的地點為國道 3 號北上中和交流道以及國道 1 號北上新竹 A 交流道，推論這兩個地方為住宅以及工作密集區域，故平日容量比假日高，至於國道 1 號北上竹北交流道的原因有待後續的研究。



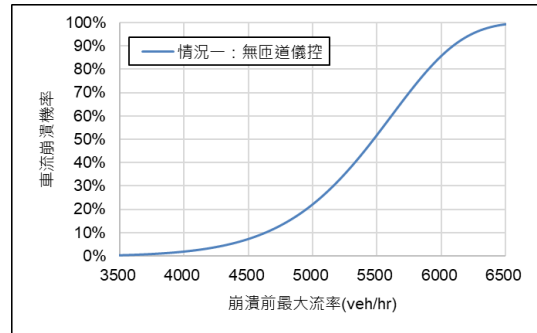
(a) 國道 3 號北上中和



(b) 國道 1 號北上竹北



(c) 國道 1 號北上新竹 A



(d) 國道 1 號南下新竹 B

圖 5-6 例假日各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖

表 5-11 各地點例假日韋伯分布參數校估結果與容量值

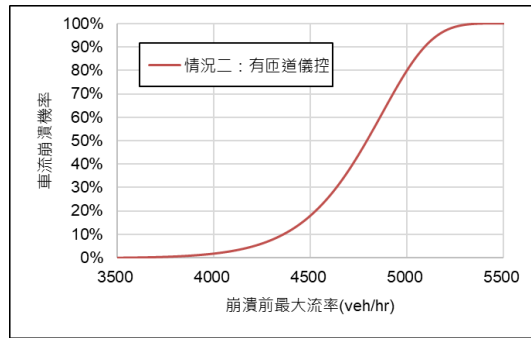
地點	情況一 無儀控下發生車流崩潰				情況二 儀控啟動後仍發生車流崩潰				情況三 發生車流崩潰後才啟動儀控			
	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值
國 3 北上 中和	47	4,895	16.8	5,087	8	-	-	-	0	-	-	-
國 1 北上 竹北	23	5,275	9.1	5,651	14	5,189	7.3	5,652	15	5,041	7.6	5,472
國 1 北上 新竹 A	50	5,644	11.3	5,965	11	5,809	7.5	6,312	29	5,903	10.2	6,276
國 1 南下 新竹 B	10	5,656	11.2	5,980	5	-	-	-	2	-	-	-

註：(1)「-」表該地點樣本數不足，無法校估韋伯分布參數

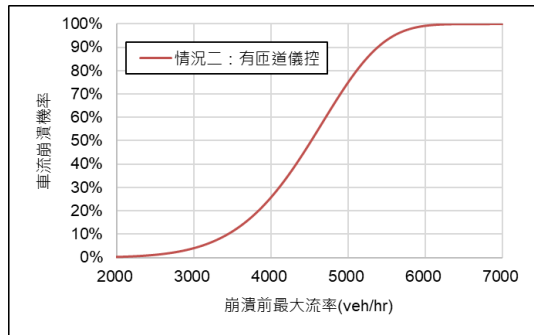
（四）國定假日

在國定假日的壅塞時段中，其車流崩潰機率累積分布圖如圖 5-7 的(a)~(c)所示，結果顯示無任何一個地點有足夠的樣本數能比較有匝道儀控以及無匝道儀控之差異。僅能由表 5-12 比較在國定假日方面有實施匝道儀控的地點，以國道 1 號北上新竹 A 交流道最高。

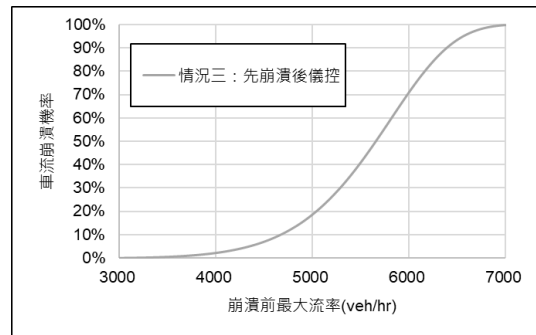
本研究認為由於一年之中國定假日天數的佔比相對於前三個時段還要來得少，導致其無法有足夠的樣本數進行比較，另外透過匝道儀控歷史儀控率顯示，大部分的地點均會在國定假日時實施匝道儀控，但啟動之時間非常不規律，推測國定假日的車流情況比例假日更難預測，以同樣例假日有開啟之國道 1 號北上竹北交流道為例，例假日的累積機率 85%之容量值比國定假日高，但由於僅有一個地點之對照，故此推論是否成立，需要後續更詳細的研究與分析。



(a) 國道 3 號北上中和



(b) 國道 1 號北上竹北



(c) 國道 1 號北上新竹 A

圖 5-7 國定假日各地點與情況之車流崩潰機率累積分布圖

表 5-12 各地點國定假日韋伯分布參數校估結果與容量值

地點	情況一 無儀控下發生車流崩潰				情況二 儀控啟動後仍發生車流崩潰				情況三 發生車流崩潰後才啟動儀控			
	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值	樣本數	比例參數	形狀參數	累積機率 85% 之容量值
國 3 北上 中和	8	-	-	-	10	4,881	19.8	5,038	0	-	-	-
國 1 北上 竹北	2	-	-	-	12	4,772	6.9	5,224	1	-	-	-
國 1 北上 新竹 A	7	-	-	-	4	-	-	-	12	5,871	9.8	6,257

註：「-」表該地點樣本數不足，無法校估韋伯分布參數

5.3 討論與小結

5.3.1 討論

本研究針對各壅塞時段、匝道儀控實施情況，以及所設立的各個假說進行假說檢定，但檢定前須先彙整各情況樣本數，各情況樣本數足夠才能進行後續的檢定流程，各地點之不同壅塞時段匝道儀控情況比例如表 5-13 所示。

表 5-13 各調查地點各時段匝道儀控情況比例

地點	時段	儀控與壅塞情況				天數
		情況 1	情況 2	情況 3	情況 4	
國 3 北上 中和	平日上午	22%	76%	1%	2%	241
	平日下午	98%	0%	1%	2%	186
	例假日	57%	10%	0%	33%	82
	國定假日	33%	42%	0%	25%	24
國 3 南下 龍潭	平日上午	33%	0%	0%	67%	3
	平日下午	0%	0%	0%	100%	4
	例假日	2%	8%	5%	85%	62
	國定假日	0%	30%	4%	67%	27
國 1 北上 竹北	平日上午	81%	4%	3%	12%	74
	平日下午	57%	3%	11%	29%	72
	例假日	29%	18%	19%	33%	78
	國定假日	7%	43%	4%	46%	28
國 1 北上 新竹 A	平日上午	89%	0%	5%	5%	74
	平日下午	76%	3%	12%	9%	205
	例假日	46%	10%	27%	17%	108
	國定假日	24%	14%	41%	21%	29
國 1 南下 新竹 B	平日上午	67%	0%	11%	22%	9
	平日下午	96%	0%	1%	4%	112
	例假日	19%	9%	4%	68%	53
	國定假日	0%	20%	0%	80%	25
總計	次數	818	276	106	296	1,496
	百分比	55%	18%	7%	20%	100%

註：(1)情況 1：無匝道儀控下，發生車流崩潰

(2)情況 2：匝道儀控啟動下，發生車流崩潰

(3)情況 3：發生車流崩潰後，才啟動匝道儀控

(4)情況 4：有匝道儀控下，無發生車流崩潰

此處可發現一個重要的結論，檢視全部的調查地點，在情況 2 與情況 4，同時都是有匝道儀控的情況下，情況 4 的樣本數比情況 2 多，代表匝道儀控確實成功的避免數次車流崩潰發生之機會，但也發現若是情況 2 與情況 3 比對時，有部份調查地點的壅塞時段，情況 3 的樣本數比情況 2 多，如國道 1 號北上竹北交流道平日下午、國道 1 號北上新竹 A 交流道平日下午、國道 1 號北上新竹 A 交流道例假日，以及國道 1 號北上新竹 A 交流道國定假日，代表以上地點的匝道儀控對於車流崩潰的發生，無法確切掌握車流崩潰時間點，於該時間點提前開啟匝道儀控。

而可進行檢定之壅塞時段如表 5-14 所示，其中「O」表樣本數足夠之情況，「X」表樣本數不足之情況，黑色粗框表可進行有無匝道儀控之地點與壅塞時段組合。

表 5-14 各調查地點可進行檢定之壅塞時段

地點	壅塞時段							
	平日上午		平日下午		例假日		國定假日	
國 3 北上 中和	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	X
	情況 2	O	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	O
	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X
	情況 4	X	情況 4	X	情況 4	O	情況 4	X
國 3 南下 龍潭	情況 1	X	情況 1	X	情況 1	X	情況 1	X
	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	O
	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X
	情況 4	X	情況 4	X	情況 4	X	情況 4	X
國 1 北上 竹北	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	X
	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	O	情況 2	X
	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	O	情況 3	O
	情況 4	X	情況 4	O	情況 4	O	情況 4	X
國 1 北上 新竹 A	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	X
	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	O	情況 2	X
	情況 3	X	情況 3	O	情況 3	O	情況 3	X
	情況 4	X	情況 4	O	情況 4	O	情況 4	X
國 1 南下 新竹 B	情況 1	X	情況 1	O	情況 1	O	情況 1	X
	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	X	情況 2	X
	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X	情況 3	X
	情況 4	X	情況 4	X	情況 4	O	情況 4	X

註：(1)情況 1：無匝道儀控下，發生車流崩潰

(2)情況 2：匝道儀控啟動下，發生車流崩潰

(3)情況 3：發生車流崩潰後，才啟動匝道儀控

(4)情況 4：有匝道儀控下，無發生車流崩潰

經彙整各壅塞時段後，有足夠樣本數進行有無匝道儀控之假說檢定地點為國道 3 號北上中和交流道平日上午、國道 1 號北上竹北交流道例假日、國道 1 號北上新竹 A 交流道平日下午、國道 1 號北上新竹 A 交流道例假日，完全於各壅塞時段無法進行檢定之地點為國道 3 號南下龍潭交流道以及國道 1 號南下新竹 B 交流道，其餘樣本數不足地點雖然能進行假說檢定，但檢定結果僅能作為參考，表 5-15 顯示各地點壅塞時段其樣本統計量與虛無假說有顯著差異，因此拒絕虛無假說之研究假說項目，以「✓」表示。

表 5-15 各壅塞時段地點顯著差異之研究假說

地點	時段	研究假說					
		假說 1	假說 2	假說 3	假說 4	假說 5	假說 6
國 3 北上 中和	平日上午		✓	✓	✓	✓	✓
	平日下午						✓
	例假日		✓	✓			✓
	國定假日						✓
國 3 南下 龍潭	平日上午						
	平日下午						
	例假日						
	國定假日						
國 1 北上 竹北	平日上午						
	平日下午						✓
	例假日	✓					✓
	國定假日	✓					✓
國 1 北上 新竹 A	平日上午						
	平日下午						✓
	例假日		✓	✓		✓	✓
	國定假日						✓
國 1 南下 新竹 B	平日上午						✓
	平日下午						✓
	例假日						✓
	國定假日						
全地點	平日上午			✓	✓		✓
	平日下午					✓	✓
	例假日						✓
	國定假日						✓

由以上結果可由地點、壅塞時段，以及與有顯著差異的假說項目，3 個面向來說明。由地點來看，國道 3 號北上中和交流道在所有 5 個調查地點當中所通過的假說數目最多，且以平日上午的匝道儀控表現最佳，共有 5 項假說於統計上顯著，其次為例假日，共有 3 項假說於統計上顯著，表現次佳的為國道 1 號北上新竹 A 交流道，以例假日之匝道儀控表現最佳，有 4 項假說在統計上顯著，而若將全部地點的平均進行比較則僅有假說 6 於各壅塞時段為顯著有改善的項目，因受限各調查地點樣本數並非都完全足夠，此處僅能得到在目前調查階段，國道 3

號北上中和交流道的匝道儀控在平日上午以及例假日之交通情況有得到顯著的改善。

5.3.2 小結

最後綜整第四章各壅塞時段之假說檢定以及隨機容量分析結果：

1. 由壅塞時段來看，例假日的匝道儀控表現最佳，除了國道 3 號南下龍潭交流道無充分資料可比較實施匝道儀控之變化可比較，其餘地點均至少有一項拒絕虛無假說之研究假說，尤其在例假日實施的匝道儀控通常能掌握交通情況，適時開啟匝道儀控使車流狀況得到改善，若在樣本數足夠的情況而言，平日的匝道儀控也能對車流量有顯著的助益。
2. 由研究假說項目來看，假說 6 於各地點以及各壅塞時段拒絕虛無假說的數目為最多，此假說主要是想證明或許匝道儀控確實能夠避免車流崩潰發生而與無匝道儀控下車流崩潰的流率值進行比較，結果證明匝道儀控確實能在避免車流崩潰的發生的情形下，提高一個地點的最大流率值，也與過往的研究所提出的看法一致，由本結果可說明：儀控若能避免壅塞發生，其容量值會有所提升，但若無法抑止壅塞發生時，其對於車流疏解的績效並不會有顯著性的提升。
3. 由調查地點來看，易壅塞路段之平日上午多採用預設時制式儀控，績效較佳，如國道 3 號北上中和，且比對該地點之每日壅塞時間與匝道儀控啟動時間，該地點通常能在壅塞前啟動匝道儀控，提前舒緩高速公路主線之流量，並適時使匝道之車輛匯入主線。

總括而言，由隨機容量分析所得出之容量值，於有足夠可用的樣本組所進行之有無匝道儀控的比較中，由韋伯分布參數校估結果而得之累積機率 85%之容量值，不論情況一與情況二，或是情況一與情況三之比較，可發現在開啟匝道儀控後，容量均有提升。在有限的資料分析結果顯示，平日上午有匝道儀控可增加 130 輛/小時的容量（中和）、平日下午可增加約 52 輛/小時的容量（新竹 A）、例假日可增加約 668 輛/小時的容量（新竹 A）；但亦有發現個別例子，例假日有發生車流崩潰後才啟動儀控的情況，其容量值較壅塞前預先啟動儀控為低（竹北、新竹 A）。而國定假期間，因分析地點大多於預的壅塞時段前已開啟匝道儀控，沒有無儀控資料作對照，因此無法量化匝道儀控相對無匝道儀控對容量值的改善。

第六章 結論與建議

本研究探討臺灣高速公路匝道儀控對匯流區段的影響，透過 VD 資料的篩選以及蒐集，找出合適的調查地點，再使用車流崩潰辨別流程，找尋出車流壅塞的時間點，結合歷史儀控率資料，將壅塞時匝道儀控的情況加以分類。本研究提出以統計假說檢定及隨機容量模式，評估匝道儀控之啟動對高速公路運作車流運作的改善績效。評估匝道儀控成效之方式為透過六項假說檢定評定調查地點於各參數在有匝道儀控下其績效（包括壅塞時間、流率、速率）是否比無匝道儀控下為高。另外，本研究以韋伯分布模式建立車流崩潰機率與最大流率間之機率分布，以車流崩潰機率之對應最大流率作為運作容量的建議值。

6.1 結論

1. 六項統計檢定之研究結果發現：

(1)在實施匝道儀控後仍發生壅塞之狀況下，壅塞前之過渡時間並無顯著長於無匝道儀控之情況（假說 1）。

(2)匝道儀控實施後，對於平均流率及平均紓解流率，同樣有顯著的提升，且此兩項參數在檢定結果方面有一致性（假說 2、假說 3），意即當匝道儀控下之平均紓解流率提升時，平均流率同樣也會提升。

(3)大部分的地點及時段資料顯示，在實施匝道儀控後仍有車流崩潰之發生，則對於壅塞後之平均紓解速率及最大通過量之改善較不明顯，只有在個別資料能觀察到有顯著提升（假說 4、假說 5）。

(4)在匝道儀控實施且有效抑制車流崩潰發生之情況，大部分的地點及時段都能對最大通過量有顯著的提升（假說 6）。

2. 在 5 個分析的地點當中，匝道儀控對 2 個地點之運作績效有顯著改善（國 3 北上中和、國 1 北上新竹 A）、2 個地點之績效改善不顯著（國 1 北上竹北、國 1 南下新竹 B）、1 個地點資料不足無法判定（國 3 南下龍潭）。

3. 如匝道儀控能成功避免壅塞的發生，最大通過量會顯著提升（假說 6）；但也有發現匝道儀控無法避免壅塞發生、或壅塞發生後匝道儀控才啟動之情況，對最大通過量之提升也較不顯著（假說 5）。

4. 隨機容量分析的結果顯示，在開啟匝道儀控後，容量均有提升。但亦有發現個別例子，例假日有發生車流崩潰後才啟動儀控的情況，容量值較壅塞前預先啟動儀控為低。

6.2 建議

1. 由於本研究考慮了有無匝道儀控與車流崩潰組合的 4 個情境，以及依壅塞時段分類，導致資料分組切分過細，而無法得到足夠的樣本數進行分析。本研究只有採用 1 年的資料，建議未來可將資料收集時間擴充，增加有效樣本數。
2. 本研究只探討儀控啟動、未考慮儀控率以及機動開放路肩的影響，而原因為目前的儀控率大多為固定值，無法探討不同儀控率對主線運作的影響程度。後續研究若能與相關單位協調，進行儀控率之控制實驗，有機會進一步發現目前的儀控率設定是否有改善空間。
3. 本研究旨在討論匝道儀控的策略，在儀控的實施方式方面，國外之儀控實施方式（表 2-2）多採用短週期（4~16.49 秒），在儀控率較低的情況下採用每綠燈週期一輛車(Single-lane one car per green)。國內儀控之實施方式則採用時制對應表（表 2-3），號誌週期較長（21 ~ 74 秒）並採用每週期多輛車(Single-lane multiple cars per green or platoon metering)的方式，一次讓多台車輛匯入主線。由現場調查之資料顯示（黃家耀等人，2020），綠燈時間內匝道車流以高流率併入主線，可能讓主線之車流密度於短時間內大幅提高、產生亂流，並導致車流崩潰提前發生。建議未來可進一步檢討匝道儀控之實施方式。
4. 本研究於隨機容量分析上僅分別考慮有參數校估之韋伯分布以及無參數校估之極限乘積法，並未使用近期 Asgharzadeh & Kondyli(2020)所使用之半參數校估 Cox 比例風險模型 (Cox proportional hazard model) 進行隨機容量分析，該模型該方法可再考慮匝道不同流率對於車流崩潰的影響，並可依據所欲分析之風險，與其他潛在因素做結合，後續研究可再探究半參數校估之方法與韋伯分布以及極限乘積法在容量估算上之差異。

參考文獻

1. Arnold, E. D. (1998). *Ramp metering: a review of the literature* (No. VTRC 99-TAR5). Virginia Transportation Research Council.
2. Asgharzadeh, M., & Kondyli, A. (2020). Effect of Geometry and Control on the Probability of Breakdown and Capacity at Freeway Merges. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 146(7), 04020055.
3. Brilon, W., Geistefeldt, J., and Regler, M. (2005, July). Reliability of freeway traffic flow: a stochastic concept of capacity. In *Proceedings of the 16th International symposium on transportation and traffic theory* (Vol. 125143). College Park Maryland.
4. Cassidy, M. J., & Rudjanakanoknad, J. (2005). Increasing the capacity of an isolated merge by metering its on-ramp. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(10), 896-913.
5. Chaudhary, N. A., Tian, Z., Messer, C. J., and Chu, C. L. (2004). Ramp metering algorithms and approaches for Texas. *Texas Transportation Institute Technical Report*.
6. Elefteriadou, L. (2014). *An introduction to traffic flow theory* (Vol. 84). New York: Springer.
7. Jacobson, L., Stribiak, J., Nelson, L., and Sallman, D. (2006). *Ramp management and control handbook* (No. FHWA-HOP-06-001; NTIS-PB2006114641). United States. Federal Highway Administration.
8. Kondyli, A., Elefteriadou, L., Brilon, W., Hall, F. L., Persaud, B., and Washburn, S. (2013). Development and evaluation of methods for constructing breakdown probability models. *Journal of transportation engineering*, 139(9), 931-940.
9. Kondyli, A., Gubbala, P., & Elefteriadou, L. (2016). The contribution of ramp demand in the capacity of merge bottleneck locations. *Transportation Research Procedia*, 15, 346-355.
10. May, A. D. (1964). Experimentation with manual and automatic ramp control. *Highway research record*, (59).
11. Mizuta, A., Roberts, K., Jacobsen, L., Thompson, N., and Colyar, J. (2014). *Ramp Metering: A Proven, Cost-Effective Operational Strategy: A Primer* (No. FHWA-HOP-14-020). United States. Federal Highway Administration.

12. Modi, V., Kondyli, A., Washburn, S. S., and McLeod, D. S. (2014). Freeway capacity estimation method for planning applications. *Journal of Transportation Engineering*, 140(9), 05014004.
13. Persaud, B., Yagar, S., Tsui, D., and Look, H. (2001). Breakdown-related capacity for freeway with ramp metering. *Transportation Research Record*, 1748(1), 110-115.
14. Roess, R. P., and Prassas, E. S. (2014). The highway capacity manual: a conceptual and research history.
15. Shehada, M. K., & Kondyli, A. (2019). Evaluation of ramp metering impacts on travel time reliability and traffic operations through simulation. *Journal of Advanced Transportation*, 2019.
16. Shen, J., Li, W., Qiu, F., & Zheng, S. (2015). Capacity of freeway merge areas with different on-ramp traffic flow. *Promet-Traffic&Transportation*, 27(3), 227-235.
17. Zechin, D., Caleffi, F., and Cybis, H. B. B. (2020). Influence of Rain on Highway Breakdown Probability. *Transportation Research Record*, 0361198120919754.
18. Zhang, L., and Levinson, D. (2010). Ramp metering and freeway bottleneck capacity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(4), 218-235.
19. 交通部(2019)，公路路線設計規範，交通部。
20. 交通部高速公路局(2020)，高速公路交通工程手冊（標誌標線篇），交通部高速公路局。
21. 李怡穎(2013)，高速公路整合控制之啟動時機研究，國立交通大學，碩士論文。
22. 李怡穎(2016)，高速公路上匝道儀控策略模擬與分析，中華顧問工程司，研發計畫成果報告。
23. 李維珊(2002)，連鎖式即時匝道儀控方法論研究，國立臺灣大學，碩士論文。
24. 陳一昌、黃運貴、朱珮芸(2004)，高速公路匝道儀控智慧化之研究，交通部運輸研究所。
25. 黃家耀、林貴璽、廖晉毅、溫雲晨、陳威瑜(2019)，高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究(1/3)-獨立進出口分匯流區，交通部運輸研究所委託計畫。

26. 廖晉毅(2020)，高速公路入口匝道匯流區之隨機容量分析，國立交通大學，碩士論文。

附表

附表一 國道3號北上中和交流道 2019 年歷史儀控率分布次數

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
100	0	0	0	1	0	0	0	1
300	1	0	1	1	0	1	0	0
400	0	0	0	0	0	0	1	0
800	0	0	1	2	1	2	0	5
900	0	1	1	2	0	2	1	0
1,000	0	1	1	3	3	3	1	8
1,200	37	41	43	41	42	46	0	16
1,400	6	8	6	8	11	25	5	10

註：若當日同一時段多次出現相同儀控率，則該儀控率僅計算一次

附表二 國道3號南下龍潭交流道2019年歷史儀控率分布次數

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
400	0	1	1	2	3	3	0	7
500	0	0	1	1	1	1	0	3
600	0	1	2	2	5	15	0	9
700	0	0	1	1	0	3	0	2
800	0	0	1	5	5	19	0	10
900	0	0	0	0	0	1	0	0
1,000	0	1	1	4	5	28	0	7
1,100	0	0	0	1	0	0	0	1
1,200	0	0	0	1	1	8	1	2
1,400	5	3	4	3	3	3	3	2

註：若當日同一時段多次出現相同儀控率，則該儀控率僅計算一次

附表三 國道 1 號北上竹北交流道 2019 年歷史儀控率分布次數

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
400	0	0	2	1	1	2	2	3
500	0	0	1	1	0	1	1	2
600	0	1	3	1	7	6	14	9
700	1	2	1	0	2	2	4	3
800	0	3	2	2	8	6	29	9
900	1	0	0	0	1	0	3	0
1,000	3	1	5	6	10	11	22	5
1,050	0	0	0	0	0	0	1	0
1,100	0	0	0	0	0	1	1	0
1,150	0	0	0	0	0	0	1	0
1,200	1	0	0	3	1	2	4	1
1,250	0	0	0	0	0	1	1	0
1,300	0	0	0	0	0	0	1	0
1,400	8	8	7	8	12	7	6	4

註：若當日同一時段多次出現相同儀控率，則該儀控率僅計算一次

附表四 國道 1 號北上新竹 A 交流道 2019 年歷史儀控率分布次數

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
400	0	0	2	2	0	2	5	3
500	0	0	1	1	0	1	5	2
600	0	1	2	1	7	9	31	9
700	0	1	1	0	1	2	10	4
800	0	2	3	3	7	10	27	11
900	1	0	1	0	0	0	7	0
1,000	6	4	10	10	13	9	19	6
1,100	0	0	1	1	0	1	0	0
1,150	0	0	0	0	0	0	0	0
1,200	4	4	2	3	4	1	6	2
1,250	1	0	0	0	0	0	0	0
1,300	0	0	0	0	0	1	1	0
1,400	4	5	5	1	7	2	4	3

註：若當日同一時段多次出現相同儀控率，則該儀控率僅計算一次

附表五 國道 1 號南下新竹 B 交流道 2019 年歷史儀控率分布次數

儀控率 (輛/小時)	平日					例假日		國定 假日
	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日	
400	1	2	1	2	1	10	0	3
500	0	0	0	2	1	0	0	0
600	0	0	2	5	4	23	2	2
700	0	0	0	0	0	1	0	1
800	1	0	1	3	5	23	1	5
900	0	0	1	0	0	0	0	0
1,000	1	0	4	9	6	24	3	8
1,100	0	0	0	0	0	1	0	0
1,200	0	0	0	0	2	4	1	2
1,400	5	3	3	4	1	5	2	2

註：若當日同一時段多次出現相同儀控率，則該儀控率僅計算一次

附表六 平日上午匝道儀控有效性之參數

平日上午																							
地點	資料筆數				等候紓解流率(q_d)			過渡期間(T)			平均流率(q_a)			等候紓解速率(s_a)			壅塞前後速度差(s_d)			車流崩潰前流率(PBF)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
3N 中和	52	182	2	6	4,815	4,927	4,843	3.65	3.36	4.50	4,828	4,933	4,852	32.99	36.25	35.45	45.92	40.83	39.43	5,104	5,217	5,304	4,986
1N 竹北	60	3	2	9	4,859	4,921	4,267	7.17	2.67	45.5	4,927	4,926	4,802	57.08	61.69	39.46	23.43	20.48	40.23	5,083	5,124	5,472	5,496
1N 新竹 A	66	0	4	4	4,756	0	4,565	9.54	0	12.00	4,846	0	4,662	46.79	0	42.15	31.67	0	41.07	5,352	0	4,941	5,805
1S 新竹 B	6	0	1	2	3,994	0	3,964	5.67	0	1.00	4,051	0	3,962	52.97	0	34.55	26.92	0	33.32	4,076	0	4,080	5,478
3S 龍潭	1	0	0	2	4,129	0	0	2	0	0	4,148	0	0	28.73	0	0	53.31	0	0	4,068	0	0	4,698

註：情況 4 之車流崩潰前最大流率(PBF)以該時段平均 5 分鐘最大流率替代

附表七 平日下午匝道儀控有效性之參數

平日下午																							
地點	資料筆數				等候紓解流率(q_d)			過渡期間(T)			平均流率(q_a)			等候紓解速率(s_a)			壅塞前後速度差(s_d)			車流崩潰前流率(PBF)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
3N 中和	182	0	1	3	4,815	4,927	4,843	3.65	3.36	4.50	4,828	4,933	4,852	32.99	36.25	35.45	45.92	40.83	39.43	5,104	5,217	5,304	5,628
1N 竹北	41	2	8	26	4,667	4,300	4,686	10.12	12.50	7.75	4,741	4,367	4,715	54.88	41.87	52.44	25.01	40.97	25.75	4,897	4,794	5,039	5,289
1N 新竹 A	155	7	24	19	5,350	5,149	5,472	7.50	9.14	4.46	5,387	5,207	5,486	48.85	46.41	47.71	25.75	27.88	29.90	5,674	5,470	5,788	6,609
1S 新竹 B	107	0	1	4	5,407	0	4,633	6.42	0	44	5,450	0	4,780	38.92	0	54.65	25.63	0	42.95	5,589	0	5,400	6,567
3S 龍潭	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,954

註：情況 4 之車流崩潰前最大流率(PBF)以該時段平均 5 分鐘最大流率替代

附表八 例假日匝道儀控有效性之參數

例假日																							
地點	資料筆數				等候紓解流率(q_d)			過渡期間(T)			平均流率(q_a)			等候紓解速率(s_a)			壅塞前後速度差(s_d)			車流崩潰前流率(PBF)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
3N 中和	47	8	0	27	4,414	4,600	0	3.74	6.63	0	4,429	4,647	0	37.86	36.45	0	42.52	40.88	0	4,744	4,841	0	5,193
1N 竹北	23	14	15	21	4,462	4,072	4,173	11.91	59.43	28.27	4,534	4,331	4,302	51.44	45.78	51.45	26.21	30.55	25.18	4,886	4,847	4,711	5,849
1N 新竹 A	50	11	29	14	5,121	5,437	5,324	4.92	5.36	5.90	5,148	5,440	5,335	51.48	52.53	51.58	28.59	15.70	28.84	5,397	5,457	5,647	6,807
1S 新竹 B	10	5	2	17	4,781	5,535	5,071	4.60	34.60	1.00	5,078	4,971	5,520	53.77	52.76	70.18	22.89	28.85	10.51	5,321	5,189	4,662	5,875
3S 龍潭	1	5	3	77	4,627	4,981	4,737	7.0	4.6	6.3	4,662	4,989	4,764	43.95	61.71	56.81	15.81	20.63	27.30	5,100	5,282	5,188	5,323

註：情況 4 之車流崩潰前最大流率(PBF)以該時段平均 5 分鐘最大流率替代

附表九 國定假日匝道儀控有效性之參數

國定假日																							
地點	資料筆數				等候紓解流率(q_d)			過渡期間(T)			平均流率(q_a)			等候紓解速率(s_a)			壅塞前後速度差(s_d)			車流崩潰前流率(PBF)			
	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 1	情況 2	情況 3	情況 4
3N 中和	8	10	0	6	4,498	4,509	0	2.88	2.30	0	4,502	4,517	0	34.48	33.39	0	42.06	45.37	0	4,811	4,752	0	5,082
1N 竹北	2	12	1	13	4,113	3,887	5,338	3.5	70.8	3	4,128	4,055	5,344	67.33	49.83	55.15	16.27	26.18	26.38	4,488	4,386	5,676	5,562
1N 新竹 A	7	4	12	6	5,460	5,448	5,421	3.43	5.50	3.67	5,458	5,456	5,437	55.66	53.27	53.31	22.95	15.74	25.75	5,458	5,772	5,569	6,434
1S 新竹 B	0	5	0	20	0	4,013	0	0	158.6	0	0	4,576	0	0	30.60	0	0	47.02	0	0	5,033	0	5,744
3S 龍潭	0	8	1	18	0	4,967	4,483	0	10.6	11.0	0	4,993	4,521	0	40.73	38.14	0	41.88	27.50	0	5,513	4,968	5,460

註：情況 4 之車流崩潰前最大流率(PBF)以該時段平均 5 分鐘最大流率替代