

114-081-1482
MOTC-IOT-113-PDB011

高速公路交織路段容量及服務水準 分析之研究(2/3)-非典型路段

著者：黃家耀、陳彥佑、林貴璽、江品翰、朱彥蓁、
陳毓芬、蔡佩宏、王寶儀、鍾仕賢、郭品峯、
林佳萱、張舜淵、呂怡青、歐陽恬恬、洪瑋鍾

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究
(2/3)-非典型路段/黃家耀, 陳彥佑, 林貴璽, 江品
翰, 朱彥蓁, 陳毓芬, 蔡佩宏, 王寶儀, 鍾仕賢, 郭品
峯, 林佳萱, 張舜淵, 呂怡青, 歐陽恬恬, 洪瑋鍾. --
初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 114. 12
面 ; 公分

ISBN 978-986-531-723-2(平裝)

1. 公路容量手冊 2. 高速公路交織路段 3. 非典型
交織路段 4. 容量分析 5. 服務水準分析

557

1011201617

高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(2/3)-非典型路段

著 者：黃家耀、陳彥佑、林貴璽、江品翰、朱彥蓁、陳毓芬、蔡佩宏、王寶
儀、鍾仕賢、郭品峯、林佳萱、張舜淵、呂怡青、歐陽恬恬、洪瑋鍾

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 114 年 12 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 57 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：580 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組・電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號・電話：(04)2226-0330

GPN：1011401528

ISBN：978-986-531-723-2(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所
書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(2/3)-非典型路段			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-723-2(平裝)	政府出版品統一編號 1011401528	運輸研究所出版品編號 114-081-1482	計畫編號 113-PDB011
本所主辦單位：運輸計畫及陸運組 主管：張舜淵 計畫主持人：張舜淵 研究人員：呂怡青、歐陽恬恬、洪瑋鍾 聯絡電話：02-2349-6807 傳真號碼：02-2545-0428	合作研究單位：國立陽明交通大學 計畫主持人：黃家耀 研究人員：陳彥佑、林貴璽、江品翰、朱彥蓁、陳毓芬、蔡佩宏、王寶儀、鍾仕賢、郭品峯、林佳萱 地址：300093 新竹市東區大學路 1001 號 聯絡電話：03-571-2121		研究期間 自 113 年 3 月 至 113 年 12 月
關鍵詞：公路容量手冊、高速公路交織路段、非典型交織路段、容量分析、服務水準分析			
摘要： <p>本所自民國 80 年起開始進行長期性之容量本土化研究工作，逐步修訂民國 79 年之公路容量手冊，以適用於國內之分析。由於多年來均尚未蒐集交織路段的資料並進行車流特性分析，因此並未檢討交織路段的容量分析方法的適用性，爰本所辦理本研究探討高速公路交織路段之車流特性、容量及服務水準分析方法進而修訂「臺灣公路容量手冊」之第七章「高速公路交織區段」。</p> <p>本計畫全程工作分 3 年期執行，針對不同路型類別，各年之研究主題分別為(1)典型交織路段、(2)非典型交織路段、(3)銜接系統交流道之交織路段，最後一年將同時進行公路容量手冊之修訂工作。本年為全程工作第 2 年期，研究重點為非典型交織路段，指典型交織路段以外之交織路段型態，如主線上下游車道數不對稱，以致兩股交織車流中，有一股無須變換車道，另一股需變換車道之交織車流型態；本年度研究已完成交織路段相關文獻回顧、四處非典型交織路段之現場調查、車流特性分析、容量與速率估算模型研發，並研提適合長期資料蒐集之地點。其中調查作業採用無人機進行高解析車流錄影，建立多種飛行策略供未來參考；分析結果顯示，不同車流類型對交織運作影響顯著，且交織行為多集中於路段前端。模型方面，已建立具良好預測效果之速率與容量估算模式。最後於快速公路容量研究地點評估作業中，經資料篩選與比對，提出 15 處建議設置車輛偵測器之路段，作為後續長期觀測之據點。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
114 年 12 月	292	580	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註： 1. 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。 2. 本研究係使用交通部高速公路局經費辦理。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Analysis of Traffic Capacity and Level of Service of Freeway Weaving Segments – Non-typical Segments			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-723-2(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011401528	IOT SERIAL NUMBER 114-081-1482	PROJECT NUMBER 113-PDB011
DIVISION: Transportation Planning and Land Transport Division DIVISION DIRECTOR: Shuen-Yuan Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shuen-Yuan Chang PROJECT STAFF: Yi-Ching Lu ,Tien-Tien Ou-Yang, Wei-Chung Hung PHONE: 886-2-2349-6807 FAX: 886-2-2545-0428			PROJECT PERIOD FROM March 2024 TO December 2024
RESEARCH AGENCY: National Yang Ming Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ka-Lo Wong PROJECT STAFF: Yen-Yu Chen, Guey-Shii Lin, Pin-Han Chiang, Yen-Chen Chu, Yu-Fen Chen, Pei-Hung Tsai, Pao-Yi Wang, Shih-Hsien Chung, Pin-Fong Kuo, Chia-Hsuan Lin ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, 30010, Taiwan PHONE: (03)571-2121#31219			
KEY WORDS: Highway Capacity Manual, Freeway Weaving Segments, Non-Typical Weaving Sections, Capacity Analysis, Level-of-Service Analysis			
ABSTRACT: <p>The Institute of Transportation (IOT) of the Ministry of Transportation and Communications is preparing to revise Chapter 7 of the “Taiwan Highway Capacity Manual” (THCM), entitled “Freeway Traffic Weaving Segments.” The analysis methodology used still employs that of the 1985 Highway Capacity Manual (1985 HCM) of the Transportation Research Board (TRB) of the United States, as traffic data for weaving road segments had not been collected for many years for traffic flow characteristics analysis, and the applicability of the analysis methodology for weaving road segments has not been assessed. Therefore, the IOT is conducting relevant research to study traffic flow characteristics, roadway capacity, and level of service analysis methodologies for weaving freeway segments, as well as to revise the relevant chapters of the THCM.</p> <p>The project will be executed over three years, focusing on various road configurations. The research topics for each year are as follows: (1) Typical weaving segments, (2) Non-typical weaving segments, and (3) Weaving segments with system interchanges. The revisions to the Highway Capacity Manual will be conducted in the final year of the project. This year marks the second year of the project, with a research emphasis on non-typical weaving segments, which refer to weaving configurations that go beyond the scope of typical weaving segments. Examples include asymmetric lane configurations on upstream and downstream mainlines, where one weaving traffic flow does not need to change lanes while the other does. This year’s study has completed a literature review on weaving segments, conducted field investigations at four atypical weaving sites, analyzed traffic flow characteristics, developed speed and capacity estimation models, and identified suitable locations for long-term data collection. High-resolution traffic recordings were obtained using drones, with various flight strategies established as references for future surveys. The analysis revealed that different traffic flow types have significant impacts on weaving operations, with most weaving maneuvers concentrated at the upstream end of the segment. In terms of modeling, speed and capacity estimation models with strong predictive performance have been developed. Lastly, through data screening and comparison in the evaluation of freeway capacity study sites, 15 locations were recommended for the installation of vehicle detectors as long-term observation points.</p>			
DATE OF PUBLICATION December 2025		NUMBER OF PAGES 292	PRICE 580
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by Freeway Bureau, M.O.T.C.			

目 錄

目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	IX
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 計畫目的	1-5
1.3 工作項目	1-5
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 交織路段類型盤點及分類	2-1
2.2 各國交織路段容量計算方法論概要	2-4
2.3 分析方法評析	2-18
2.4 小結	2-20
第三章 現場調查工作與車流特性分析	3-1
3.1 交織路段調查流程規劃	3-1
3.2 現場調查工作	3-7
3.3 車流特性資料整理方式	3-20
3.4 車流特性資料分析	3-33
3.5 小結	3-82
第四章 交織路段之分析模式	4-1
4.1 研究架構	4-1
4.2 分析路段與偵測器資料	4-2
4.3 交織路段容量估算	4-7
4.4 速率模型	4-19
4.5 專家學者座談會	4-33
4.6 高速公路交織路段分析方法初議	4-36
4.7 小結	4-56
第五章 快速公路適合長期蒐集資料之地點	5-1
5.1 快速公路現況	5-1
5.2 國內相關研究	5-3

5.3 偵測器建議設置地點篩選	5-4
5.4 小結	5-20
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-3
參考文獻.....	6-5
附錄 A：國道 1 號、3 號交織區列表.....	附 A-1
附錄 B：期中審查會議回覆意見.....	附 B-1
附錄 C：專家學者座談會會議紀錄.....	附 C-1
附錄 D：期末審查會議意見與回覆表.....	附 D-1
附錄 E：期末審查會議簡報及海報.....	附 E-1
附錄 F：重要模式變數定義表	附 F-1

圖目錄

圖 1.1-1	交織路型結構示意圖	1-1
圖 1.1-2	典型、非典型交織路段示意圖	1-3
圖 1.1-3	銜接系統交流道之交織路段示意圖	1-4
圖 2.1-1	交織路段基本型式	2-1
圖 2.1-2	非典型交織路段子類別示意圖	2-3
圖 2.2-1	HCM 1985 交織路型結構示意圖	2-9
圖 2.2-2	HCM 2010 交織路段長度定義	2-10
圖 2.2-3	交織路段型態之換道次數示意圖	2-15
圖 3.1-1	交織區調查路段示意圖	3-1
圖 3.1-2	速率、密度、車道變換區間示意圖	3-2
圖 3.1-3	調查地點篩選流程圖	3-4
圖 3.1-4	霧峰~霧峰系統路段拍攝資訊整理	3-6
圖 3.2-1	國 1 北上高公局~五股路型幾何示意圖	3-8
圖 3.2-2	國 1 北上高公局~五股交織路段拍攝畫面	3-8
圖 3.2-3	國 1 北上高公局~五股 無人機飛行與 VD 資料對照	3-9
圖 3.2-4	國 3 南下霧峰~霧峰系統路型幾何示意圖	3-10
圖 3.2-5	國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段拍攝畫面	3-10
圖 3.2-6	國 3 南下霧峰~霧峰系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照	3-11
圖 3.2-7	國 3 南下霧峰~霧峰系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照	3-12
圖 3.2-8	國 1 南下中壢服務區~內壢路型幾何示意圖	3-13
圖 3.2-9	國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段拍攝畫面	3-13
圖 3.2-10	國 1 南下中壢服務區~內壢-北側無人機飛行與 VD 資料對照	3-14
圖 3.2-11	國 1 南下中壢服務區~內壢-南側無人機飛行與 VD 資料對照	3-15
圖 3.2-12	國 1 南下桃園~機場系統路型幾何示意圖	3-16
圖 3.2-13	國 1 南下桃園~機場系統交織路段拍攝畫面	3-16
圖 3.2-14	國 1 南下桃園~機場系統發生事故之 CCTV 影像資料	3-17
圖 3.2-15	國 1 南下桃園~機場系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照	3-18
圖 3.2-16	國 1 南下桃園~機場系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照	3-19
圖 3.3-1	影像辨識分析流程圖	3-20
圖 3.3-2	接續拍攝之車流軌跡時空圖	3-21
圖 3.3-3	車輛通過斷面判斷示意圖	3-22
圖 3.3-4	時空圖測量方式	3-23
圖 3.3-5	國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段南側流率時空圖	3-24

圖 3.3-6	國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側密度時空圖.....	3-25
圖 3.3-7	國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側速率時空圖.....	3-26
圖 3.3-8	車道變換判斷示意圖.....	3-27
圖 3.3-9	車道變換頻次示意圖.....	3-27
圖 3.3-10	DataFromSky 車流特性分析流程圖.....	3-29
圖 3.3-11	抽樣之 Data From Sky 速率-空間(V-X)圖(劃設於 350m 處)...	3-31
圖 3.3-12	抽樣之 Data From Sky 速率-空間(V-X)圖(劃設於 450m 處)...	3-31
圖 3.3-13	Data From Sky 判斷線示意圖.....	3-32
圖 3.4-1	國 1 北上高公局～五股交織路段幾何配置圖.....	3-34
圖 3.4-2	國 1 北上高公局～五股交織路段不同車流狀態示意圖.....	3-35
圖 3.4-3	國 1 北上高公局～五股交織路段速率、流率與密度之關係圖	3-37
圖 3.4-4	不同車流狀態下之速率及車道變換圖.....	3-45
圖 3.4-5	國 1 北上高公局-五股主線至匝道車流之車道變換位置分布	3-47
圖 3.4-6	國 1 北上高公局-五股匝道至主線車流之車道變換位置分布	3-48
圖 3.4-7	國 3 南下霧峰～霧峰系統幾何配置圖.....	3-49
圖 3.4-8	國 3 南下霧峰～霧峰系統流率、密度、速率資料選取範圍示意圖.....	3-49
圖 3.4-9	國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段不同車流狀態示意圖.....	3-50
圖 3.4-10	國 3 南下霧峰～霧峰系統速率、流率與密度之關係.....	3-52
圖 3.4-11	國 3 南下霧峰～霧峰系統各交織類型 V-T 散點圖.....	3-53
圖 3.4-12	國 3 南下霧峰～霧峰系統不同壅塞情況下速率及車道變換...	3-55
圖 3.4-13	國 3 南下霧峰～霧峰系統非壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖.....	3-56
圖 3.4-14	國 3 南下霧峰～霧峰系統非壅塞進入壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖.....	3-57
圖 3.4-15	國 3 南下霧峰～霧峰系統壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖.....	3-58
圖 3.4-16	國 3 南下霧峰～霧峰系統各交織類型車道變換頻次圖.....	3-59
圖 3.4-17	國 3 南下霧峰-霧峰系統主線至匝道車流之車道變換位置分布.....	3-60
圖 3.4-18	國 3 南下霧峰-霧峰系統匝道至主線車流之車道變換位置分布.....	3-61
圖 3.4-19	違規行為 1 示意圖.....	3-63
圖 3.4-20	違規行為 2 示意圖.....	3-63

圖 3.4-21	違規行為 3 示意圖	3-64
圖 3.4-22	國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率、流率與密度資料選取範圍示意圖	3-65
圖 3.4-23	國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率、流率與密度資料選取範圍示意圖	3-65
圖 3.4-24	國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段不同車流狀態示意圖	3-66
圖 3.4-25	國 1 南下中壢服務區~內壢速率、流率與密度之關係	3-68
圖 3.4-26	國 1 南下中壢服務區~內壢各交織類型 V-T 散點圖	3-68
圖 3.4-27	國 1 南下中壢服務區~內壢不同壅塞情況下速率及車道變換	3-70
圖 3.4-28	國 1 南下中壢服務區~內壢各交織類型車道變換頻次圖	3-71
圖 3.4-29	國 1 南下中壢服務區~內壢主線至匝道車流之車道變換位置分布	3-72
圖 3.4-30	國 1 南下中壢服務區~內壢匝道至主線車流之車道變換位置分布	3-72
圖 3.4-31	國 1 南下桃園~機場系統幾何配置圖	3-73
圖 3.4-32	國 1 南下桃園~機場系統流率、密度、速率資料選取範圍示意圖	3-73
圖 3.4-33	國 1 南下桃園~機場系統交織路段不同車流狀態示意圖	3-74
圖 3.4-34	國 1 南下園~機場系統速率、流率與密度之關係	3-76
圖 3.4-35	國 1 南下園~機場系統不同壅塞情況下速率及車道變換	3-77
圖 3.4-36	國 1 南下桃園~機場系統各交織類型 V-T 散點圖	3-78
圖 3.4-37	國 1 南下桃園~機場系統各交織類型車道變換頻次圖	3-79
圖 3.4-38	國 1 南下桃園-機場系統主線至匝道車流之車道變換位置分布	3-81
圖 3.4-39	國 1 南下桃園-機場系統匝道至主線車流之車道變換位置分布	3-82
圖 4.1-1	非典型交織路段模式建立流程圖	4-1
圖 4.2-1	分析地點篩選流程圖	4-2
圖 4.2-2	交織路段旅次路徑方向示意圖	4-3
圖 4.2-3	ETC 資料計算範例	4-3
圖 4.3-1	車流崩潰前狀態與最大通過流率狀態說明	4-8
圖 4.3-2	國 1 北上內湖~東湖之流率-速率散布圖	4-9
圖 4.3-3	流率-速率範例圖	4-12
圖 4.3-4	各區間非壅塞資料點之流率次數範例圖	4-12

圖 4.3-5	各區間車流崩潰前流率資料點之流率次數範例圖	4-13
圖 4.3-6	各區間發生車流崩潰之機率範例圖	4-14
圖 4.3-7	國 1 北上內湖～東湖 韋伯分布之容量建議值	4-15
圖 4.3-8	國 1 北上內湖～東湖流率－速率圖	4-15
圖 4.3-9	模式估計容量 vs. 現調容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)	4-19
圖 4.4-1	交織路段型態之換道次數示意圖	4-21
圖 4.4-2	速率模型校估地點之速率與流率關係	4-24
圖 4.4-3	Model 1 速率估計值與觀察值比較	4-27
圖 4.4-4	Model 2 速率估計值與觀察值比較	4-27
圖 4.4-5	Model 3 速率估計值與觀察值比較	4-28
圖 4.4-6	Model 4 速率估計值與觀察值比較	4-28
圖 4.4-7	Model 5 速率估計值與觀察值比較	4-29
圖 4.4-8	典型交織路段之 Model 4 速率估計值與觀察值比較	4-32
圖 4.4-9	典型交織路段之第 1 期結果速率估計值與觀察值比較	4-32
圖 4.4-10	典型交織路段之 Model 5 速率估計值與觀察值比較	4-33
圖 4.6-1	交織路段主要車流起迄動線示意圖	4-37
圖 4.6-2	國內常見典型交織路段示意圖	4-38
圖 4.6-3	國內常見非典型交織路段示意圖	4-39
圖 4.6-4	國內較特殊非典型交織路段示意圖	4-39
圖 4.6-5	特殊路段線形設計示意圖	4-40
圖 4.6-6	交織路段分析流程圖	4-41
圖 4.6-7	研判交織路段與類型分析流程圖	4-45
圖 4.6-8	典型交織路段示意圖	4-47
圖 4.6-9	非典型交織路段示意圖	4-47
圖 4.6-10	交織路段之交織車道第 1 類	4-50
圖 4.6-11	交織路段之交織車道第 2 類	4-50
圖 4.6-12	交織路段之交織車道第 3 類	4-50
圖 4.6-13	交織路段之交織車道第 4 類	4-51
圖 4.6-14	模式估計容量 vs. 現調容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)	4-52
圖 5.3-1	建議設置偵測器之快速公路地點篩選流程圖	5-5

表目錄

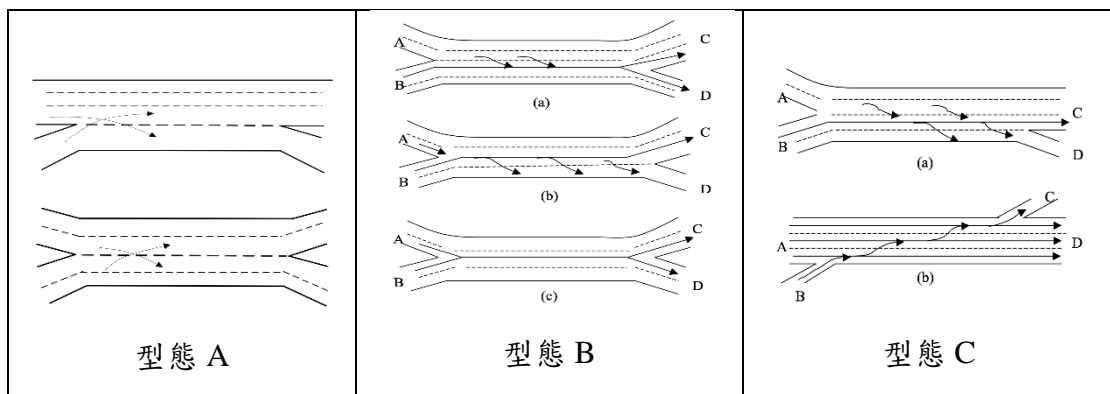
表 2.1-1	交織路段分類結果統計	2-4
表 2.2-1	交織路段服務水準評估表	2-5
表 2.2-2	THCM 各種交織路段型態平均行駛速率估算式與車道檢驗式..	2-8
表 2.3-1	各國交織路段分析方法論變數對照概要表	2-20
表 3.1-1	交織路段調查地點盤點	3-5
表 3.2-1	拍攝結果整理.....	3-7
表 3.3-1	Data From Sky 上下游通過量檢核表	3-30
表 3.3-2	Data From Sky 數據與偵測器資料比對表	3-32
表 3.4-1	各地點分析項目表.....	3-33
表 3.4-2	不同車流狀態下車輛上游起點至下游終點統計表	3-39
表 3.4-3	不同車流狀態下車輛上游起點至下游終點平均車速	3-40
表 3.4-4	不同車流狀態下四股車流流率(veh/hr)	3-41
表 3.4-5	不同車流狀態下四股車流之平均速率(kph).....	3-42
表 3.4-6	不同車流狀態下四股車流之變換車道頻次	3-42
表 3.4-7	國 3 南下霧峰~霧峰系統不同交織類型平均車道變換頻次	3-59
表 3.4-8	不同車流狀況下違規行為次數及占比	3-62
表 3.4-9	國 1 南下中壢服務區~內壢不同交織類型平均速率	3-69
表 3.4-10	國 1 南下中壢服務區~內壢不同交織類型平均車道變換頻次 ..	3-71
表 3.4-11	國 1 南下桃園~機場系統不同交織類型平均速率	3-78
表 3.4-12	國 1 南下桃園~機場系統不同交織類型平均車道變換頻次	3-79
表 4.2-1	各股車流與通過 ETC 站點之關係表	4-4
表 4.2-2	分析地點篩選結果.....	4-6
表 4.2-3	分析交織路段用途一覽表	4-7
表 4.3-1	交織路段幾何條件表.....	4-16
表 4.3-2	交織路段容量分析結果	4-17
表 4.4-1	速率模型校估資料特性	4-23
表 4.4-2	速率模型校估地點幾何參數	4-23
表 4.4-3	Model 1 校估參數結果	4-25
表 4.4-4	Model 2 校估參數結果	4-25
表 4.4-5	Model 3 校估參數結果	4-26
表 4.4-6	Model 4 校估參數結果	4-26
表 4.4-7	Model 5 校估參數結果	4-29
表 4.4-8	資料平衡方法之 Model 5 校估誤差結果	4-30

表 4.4-9 速率模型校估資料特性	4-30
表 4.4-10 典型交織路段之 Model 4 校估參數結果	4-31
表 4.4-11 典型交織路段之 Model 5 校估參數結果	4-32
表 4.6-1 需求流率 / 容量比 (V/C) 之服務水準等級劃分表	4-42
表 4.6-2 平均速率 / 速限比 (S/S_L) 之服務水準等級劃分表	4-42
表 4.6-3 公路設施速限與自由車流速率對照建議表	4-47
表 4.6-4 交織路段進口匝道容量建議表	4-53
表 4.6-5 各類型交織路段車道檢核項之平均速率估算式表	4-54
表 5.1-1 臺灣快速公路列表	5-2
表 5.1-2 快速公路路段特性表	5-2
表 5.2-1 國內快速公路容量分析研究之資料蒐集概況一覽表	5-4
表 5.3-1 快速公路易壅塞路段統整結果	5-6
表 5.3-2 建議設置偵測器地點篩選結果	5-9
表 5.3-3 VD 位置檢核結果	5-10
表 5.3-4 VD 流量守恆檢核結果	5-13
表 5.3-5 VD 設置位置與 VD 流量守恆之檢核結果	5-15
表 5.3-6 建議設置 VD 或校正 VD 之路段	5-16
表 5.3-7 建議設置或校正 VD 位置示意圖	5-17

第一章 緒論

1.1 計畫背景

本所於民國 79 年、90 年、100 年、111 年陸續出版更新「臺灣公路容量手冊」，其中第七章「高速公路交織區段」仍援引美國運輸研究委員會(Transportation Research Board, TRB) 1985 年公路容量手冊的分析方法，且該方法將交織路段型態分為三種類型，根據交織的兩股車流的變換車道次數分為型態 A、型態 B、型態 C，如圖 1.1-1 所表示。並根據國內高速公路之設計及特性，其分析方法僅著重於型態 A 之交織車流分析。然而 TRB1985 年之分析方法已於後續版本大幅更新其分析方法論。



資料來源：「2022 年臺灣公路容量手冊」(2022)

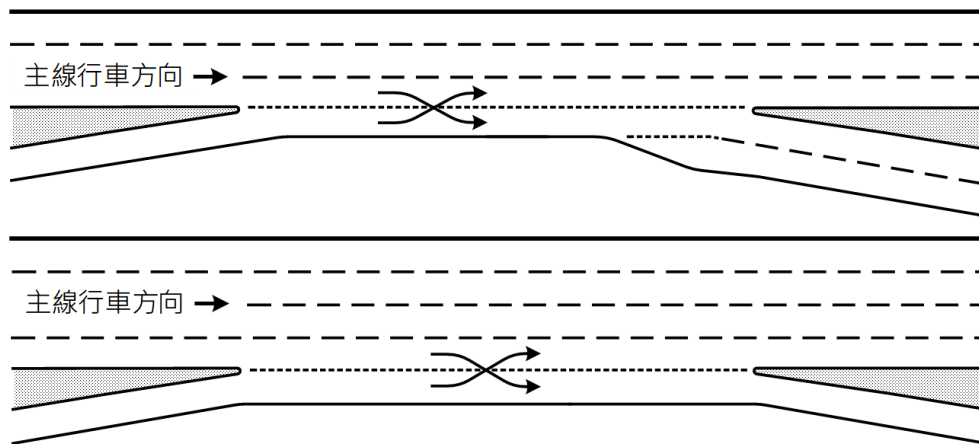
圖 1.1-1 交織路型結構示意圖

本所自民國 80 年起開始進行長期性之容量本土化研究工作，逐步修訂公路容量手冊以適用於國內之分析。由於多年來均尚未蒐集交織路段的資料並進行車流特性分析，因此未檢討交織路段的容量分析方法的適用性。國內之相關建設依賴公路容量手冊之分析方法及程序，因此有需要展開相關研究，探討高速公路交織路段之車流特性、容量及服務水準分析方法。

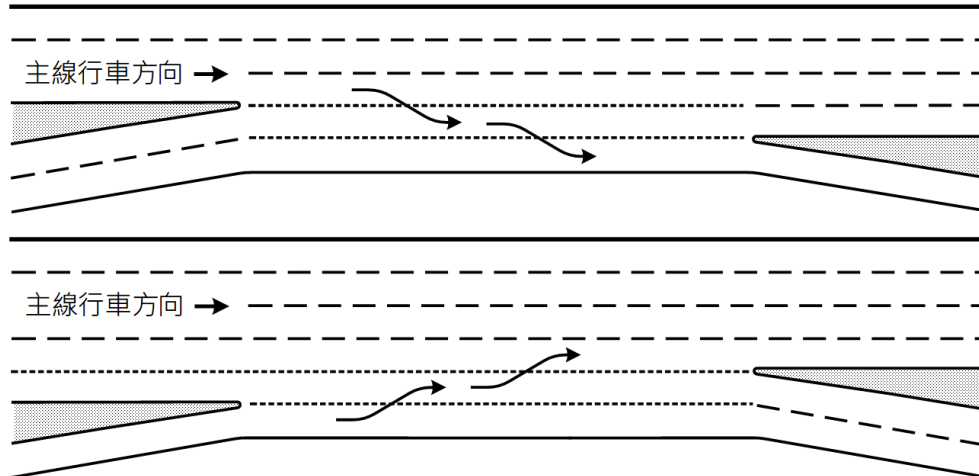
本所已於 111 年執行「交織路段公路容量及服務水準研究先期規劃」案(交通部運輸研究所，2022)，藉由文獻回顧及盤點國內現況，並探討車流資料蒐集之方法及地點，訂定後續研究之工作之重點方向，

主要發現及建議包括：(1) 以幾何配置作為交織路段的分類原則、(2) 過去交織長度超過 760 公尺視作為分匯流區之觀點應再探討、(3) ETC 之 M06A 資料可用於蒐集四股交織車流量的資訊、(4) 高速公路路段之現場調查可採用無人機配合影像辨識技術進行微觀車流特性的資料蒐集及分析。

該研究建議以幾何配置及車道布設形式等依據，將有交織行為路段之主要類別劃分為(1)典型交織路段、(2)非典型交織路段、(3)銜接系統交流道之交織路段。典型交織路段指入口與出口匝道間以輔助車道連接、交織路段上、下游主線車道數相等、且交織路段內沒有其他特殊設計之地點；而非典型交織路段則是主線上下游車道數不對稱，以致兩股交織車流中，有一股無須變換車道，另一股需變換車道之交織車流型態；其他特殊的幾何設計如輔助車道不明確、交織斷面存在禁止變換車道標線或隧道等亦納入此交織路段類別，如圖 1.1-2 所示。另外，既有交織路段分析程序一般認為匝道-匝道流量應極低，此種假設係基於進、出兩匝道都銜接一般道路時，用路人應不會選擇刻意繞行至高速公路之推測；當交織路段其中一處匝道銜接至系統交流道時，車流會經由交織路段前往或離開另一座高速公路，因此匝道至匝道的流量會遠高於不包含系統交流道之交織路段，如圖 1.1-3 所示；因包含系統交流道之交織路段的車流特性與一般交織路段應有明顯不同，有需要進一步探討一般交織路段分析方法之適用性或需發展新的分析方法。根據國內高速公路現況的盤點結果顯示，國道 1 號及國道 3 號合共 59 個交織路段中，典型交織路段共 31 個（52.54%）、非典型交織路段共 28 個（47.46%）；其中有銜接系統交流道之交織路段有 33 個（55.9%）。

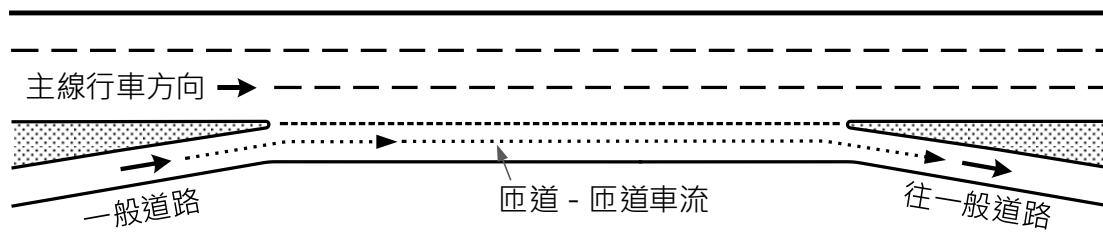


(a) 典型交織區範例(上下游車道數不同仍屬典型)

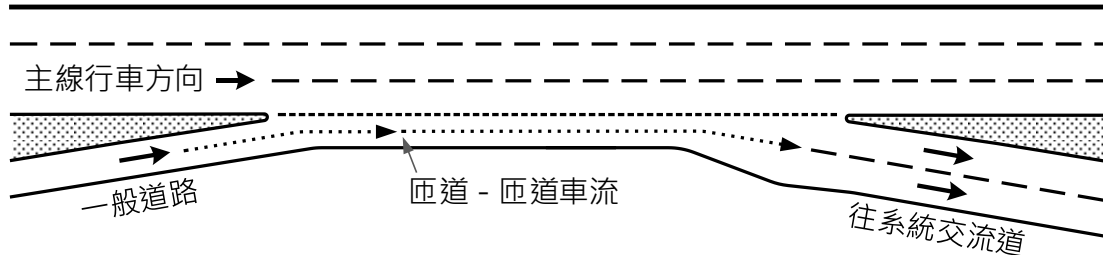


(b) 非典型交織區範例(上下游主線不對稱)

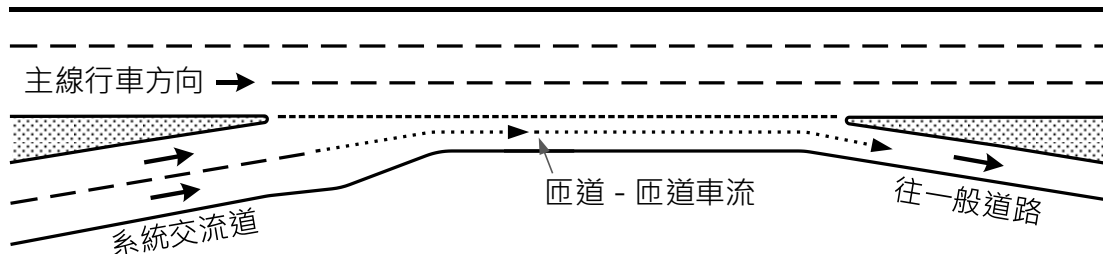
圖 1.1-2 典型、非典型交織路段示意圖



(a) 一般道路與進出口匝道銜接



(a) 出口匝道與系統交流道銜接



(c) 系統交流道與進口匝道銜接

圖 1.1-3 銜接系統交流道之交織路段示意圖

此外，本所於 112 年度辦理「高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(1/3)-典型路段」(黃家耀等人，2023)，針對典型路段進行車流特性分析以及提出典型交織路段之分析方法，包括建立平均速率估算模型以及容量估算方式。在分析方法上，該研究建議容量值的估算方法除了可採用較傳統的曲線擬合法(Curve-fitting)外，亦可以考慮採用隨機容量(Stochastic Capacity)的分析方法，以將設施之長期運作表現及車流隨機性等因素納入模式考量。另外，在服務水準評估指標方面，過去方法論採用平均值代表整個交織路段的服務水準，該研究認為當主線內側、外側及輔助車道之運作績效有較大差異時，平均值會無法充分反映現況，導致評估結果與現實情況有所差異，建議可針對此議題進一步探討，如可透過設定全車道、主線外側車道、及輔助車道之檢核點進行評估。

1.2 計畫目的

本計畫之目的為透過現場調查及資料整理，了解國內高速公路交織路段之車流特性，並建立本土之交織路段之容量及服務水準分析方法，並完成「臺灣公路容量手冊」第七章之修訂工作。本(113)年期為第 2 年研究，對「非典型交織路段」進行探討。

1.3 工作項目

本計畫全程工作預計分 3 年期執行，針對不同路型類別，各年之研究主題分別為(1)典型交織路段、(2)非典型交織路段、(3)銜接系統交流道之交織路段，各主題之主要工作包含文獻探討、現場調查、資料整理、模型發展，建立適合國內車流特性之分析方法，最後一年將同時進行公路容量手冊之研訂工作。

本(113)年期為第 2 年之工作辦理情形如下：

1. 蒐集並回顧國內外非典型交織路段之車流特性、容量及服務水準分析等相關研究，以做為調查計畫研擬及分析方法建構之參考。
2. 已調查 4 處非典型交織路段：
 - (1) 調查時段包含車流由中高密度之穩定狀態轉變為壅塞不穩定狀態之過程，若可行再包含由壅塞不穩定狀態回復為車流穩定狀態之過程，並儘可能於平日調查。
 - (2) 由現場調查及資料整理，有效地蒐集所需之車流特性。
 - (3) 應用新興科技精進交通資料蒐集，採用無人機空拍結合 AI 視覺影像辨識技術判讀車流資料。
3. 依據現場調查資料，進行車流特性分析。
4. 建立非典型交織路段之分析方法。
5. 針對計畫重要成果，製作海報電子檔及調查過程影片(相片示意如附錄 E)。
6. 已投稿「2024 年會暨學術論文國際研討會」。
7. 已於 113 年 10 月 18 日辦理專家學者座談會。

8. 鑒於「2022 年臺灣公路容量手冊」缺乏快速公路分析內容，盤點快速公路幾何資料與交通量，就基本路段、匝道分匯流區及交織路段等不同設施，研提適合進行資料長期蒐集之地點，俾利協調公路局布設相關設施。
9. 綜整摘要說明 112 至 113 年各年度階段成果如第 1 章及第 6 章。

第二章 文獻回顧

交織車流 (Weaving)是由兩股不同路徑車流在公路某一路段相互交叉而成，當某一流動必須在設施的某一區段內與另一流動的路徑相交叉，則會發生交織運行。此種情況經常發生在分流區緊接在匯流區下游之路段，那些由匯流區的左股進入，而準備由分流區的右股離開的車流必須與由匯流區的右股進入，而欲由分流區的左股離開的車流交叉。高速公路沿線進口匝道匯流點緊鄰出口匝道分流點之間會形成交織路段 (Weaving segment)，如圖 2.1-1 所示：

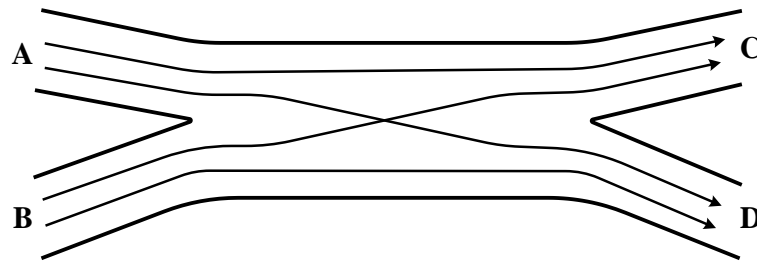


圖 2.1-1 交織路段基本型式

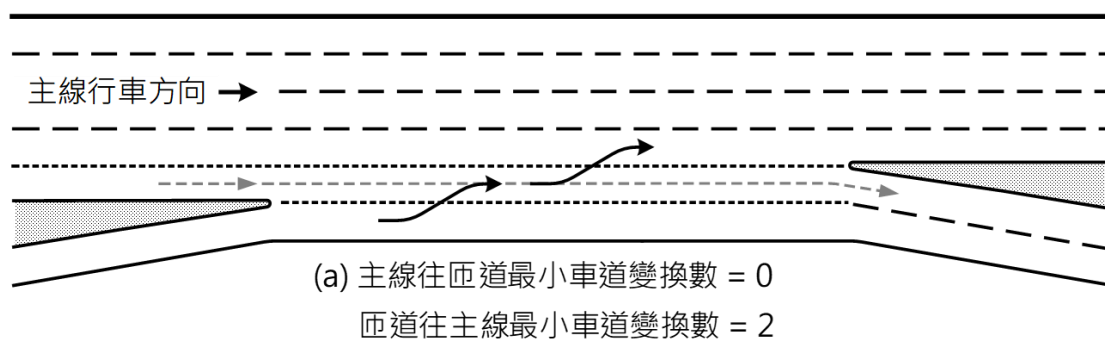
公路交織路段常因分流緊鄰匯流的特殊結構而導致瓶頸，因而是公路設施中最關鍵的組成部分之一。車流在這類型路段會經歷較多的干擾，目前對這種亂流干擾並沒有較普遍通用的量度方法，遭遇干擾的車流也不能單純用基本路段的方法來分析。交織路段除了駕駛人必須有較高警覺外，其最主要的特色在於車流須進行較頻繁的車道變換、較大幅度的速率變化，以及比基本路段為低的平均速率。

2.1 交織路段類型盤點及分類

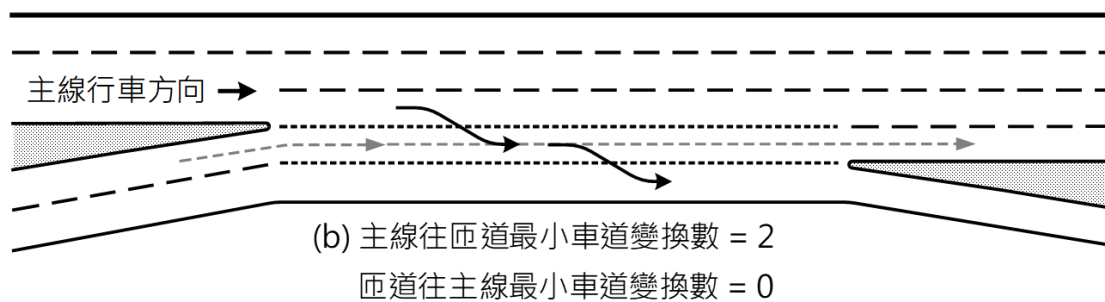
「交織路段公路容量及服務水準研究先期規劃」(2022b)已對國道1號、國道3號主線之交織路段進行盤點及分類。國道1號及國道3號符合「上游進口匝道匯流點與下游出口匝道分流點之間有輔助車道連接」之定義者共有59處，包含幾何車道配置資訊之完整列表請參閱附錄表A-1；再依據幾何型態、交織路段長度、是否包含系統交流道三種屬性進行分類，結果請參閱附錄表A-2。

由先期研究之盤點分類結果得知，國內高速公路之交織路段幾何型態類型有限，發現僅型態 A(a)、型態 C(a)（見圖 1.1-1）較為常見，其他型態並不常見，因此捨棄過去以型態 A、型態 B、型態 C 的分類方式，將幾何型態分類法並依據車道布設形式簡化為「典型」與「非典型」兩大類，如圖 2.1-2 所示。「典型」交織路段指上、下游主線車道數相等、且路段內沒有其他特殊設計之地點；反之，「非典型」交織路段則是上下游車道配置不對稱，以及輔助車道不明確、交織斷面存在禁止變換車道標線或隧道等特殊的幾何設計亦納入此類別。非典型交織路段又可再根據「主線往匝道最小車道變換次數」及「匝道往主線最小車道變換次數」分為 3 類，依序如圖 2.1-2 (a)、(b)、(c)。第 1 類交織路段之主線往匝道最小車道變換次數為 0、匝道往主線最小車道變換次數為 2，代表上游主線車道數大於下游主線車道數，主線車輛可不必要變換車道直接往匝道行駛。第 2 類則為主線往匝道最小車道變換次數為 2、匝道往主線最小車道變換次數為 0，上游主線車道數小於下游主線車道數，匝道車輛可不必要變換車道直接駛入下游主線。其餘類型則被歸類為第 3 類，通常具有較特殊的幾何型態，如匝道往主線最少須變換三次車道、路段內包含隧道等。各類交織區數量統計如表 2.1-1 所示。

第一類



第二類



第三類

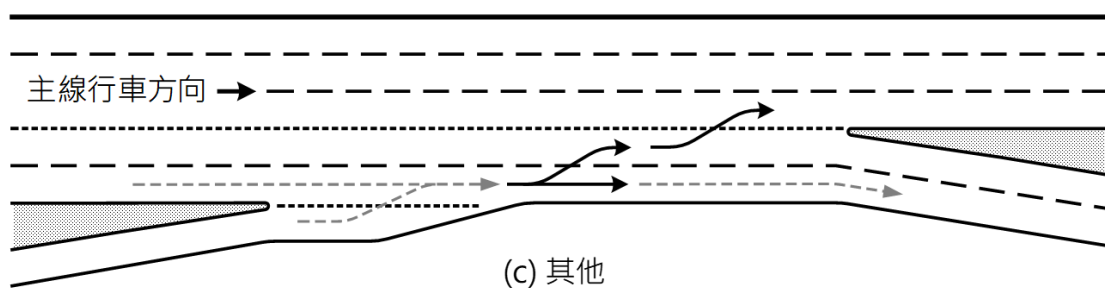


圖 2.1-2 非典型交織路段子類別示意圖

表 2.1-1 交織路段分類結果統計

交織路段	交織長度(m)		總計	比例
	≤760	>760		
典型	5	26	31	52.54%
非系統	3	8	11	18.64%
系統	2	18	20	33.90%
非典型-第 1 類	3	9	12	20.34%
非系統	3	4	7	11.86%
系統	0	5	5	8.47%
非典型-第 2 類	3	8	11	18.64%
非系統	3	2	5	8.47%
系統	0	6	6	10.17%
非典型-第 3 類	1	4	5	8.47%
非系統	1	2	3	5.08%
系統	0	2	2	3.39%
總計	12	47	59	100%
比例	20.34%	79.66%	100%	

2.2 各國交織路段容量計算方法論概要

2.1.1 臺灣 THCM 交織路段方法論概要

一、發展背景

臺灣於民國 79 年發行包含基本概論、高速公路、一般郊區公路、市區街道等四部份初期研究成果之公路容量手冊，其中高速公路交織路段部份，基於當時國內並無相關研究資料，故從交織路型分類、分析程序、公式樣式、參數值、服務水準評估標準等均參照美國 HCM 1985 方法論編纂。其後雖然分匯流區、多車道公路等部分已陸續修訂本土化內容，惟 2001、2011，以及 2022 年臺灣公路容量手冊之交織路段分析方法仍係以民國 79 年版內容為基礎，交織分析類型亦僅限於型態 A 類交織路段。

二、方法論概要

1. 確認交織路段長度

交織路段長度定義為匝道併入點上游與分流點下游與路肩橫向距離 0.6 公尺處間之距離。若交織路段長度超過 760 公尺，則視

為各別進、出口匝道，容量分析以匝道分析方式處理。

2. 確認交織路段型態

美國 HCM 1985 將交織路段型態分為三種類型。型態 A 為分、匯流鼻端之間設有穿越虛線，兩股交織車流均必須跨越穿越虛線進行車道變換；型態 B 為兩股交織車流中，有一股無須變換車道，另一股最多只變換一次車道；型態 C 為兩股交織車流中，有一股無須變換車道，另一股至少須變兩次以上車道。根據臺灣目前高速公路之特性，THCM 聚焦在型態 A 之交織車流型態。

3. 參酌交織路段服務水準評估準則

交織路段服務水準主要分別以交織車輛和非交織車輛的平均行駛速率 S_W 與 S_{NW} 作為評定準則，分為 A~F 共 6 個等級，各等級服務水準範圍如下表 2.2-1 所示。其中交織車流平均行駛速率是指由匝道進入主線、由主線進入匝道兩股車流之平均速率，非交織車流平均行駛速率則是指由主線至主線、由匝道至匝道兩股車流之平均速率。

表 2.2-1 交織路段服務水準評估表

服務水準	交織車流平均速率 S_W (公里/時)	非交織車流平均速率 S_{NW} (公里/時)
A	79	85
B	71	76
C	64	68
D	56	60
E	45	45
F	< 45	< 45

4. 確認受限制與不受限制之交織車流

交織車流如欲在交織路段上有充分時間與空間轉換車道，且能維持一穩定而不低之行車速率，則交織車輛在 A 型交織路段平均可用之交織車道數不超過 1.4，B 型及 C 型交織路段則各不超過 3.5 及 3.0。若交織車流欲維持穩定速率所需之交織車道數超過在穩定行車

狀況下可用之車道數，則交織車輛須大幅降速以進行變換車道，致使交織路段的車流運作不穩定，此種車流狀況稱為「受限制」交織車流；反之，如穩定交織所需之車道數少於可用之交織車道數，則稱為「不受限制」交織車流。在分析交織路段時，有必要知悉交織車流是否受限制。關於各型態下交織車流所需之車道數之計算方式，請見表 2.2-2。

5. 界定幾何、交通狀況，並估計尖峰 15 分鐘基本狀況下之對等流率

實質幾何包括交織路段長度、車道數、車道寬、路肩寬、坡長、坡度等；交通狀況包括尖峰 15 分鐘需求流率，以及相關之交織流率與車種組成。

在基本狀況下，動線方向 i 之尖峰 15 分鐘對等流率 v_i 為

$$v_i = \frac{Q_i}{PHF \cdot f_{HV} \cdot f_W} \quad (\text{小車/時})$$

其中 Q_i 動線方向 i 之尖峰小時流率 (輛/時)

PHF 尖峰小時係數

f_{HV} 大型車種調整因素

f_W 車道寬與側向淨寬調整因素

6. 估計不受限制車流之平均速率

(1) 交織車流平均行駛速率 S_W

$$S_W = 0.88 \left(24 + \frac{80}{1 + 0.078(1 + V_R)^{2.2} (v/N)^{1.0} / L^{0.9}} \right) \quad (\text{公里/時})$$

(2) 非交織車流平均行駛速率 S_{NW}

$$S_{NW} = 0.88 \left(24 + \frac{80}{1 + 0.006(1 + V_R)^{4.0} (v/N)^{1.3} / L^{1.0}} \right) \quad (\text{公里/時})$$

其中 V_R 交織總流率 V_W 與路段總流率 v 之比率

v 交織路段尖峰 15 分鐘總流率 (小車/時)

N 交織路段總車道數

L 交織路段長度（公尺）

7. 檢驗交織車流是否受限制

(1) 估計在不受限制下，所須占用之交織車道數 N_W

$$N_W = 2.70 \cdot N \cdot V_R^{0.571} (L/30.48)^{0.234} / S_W^{0.438}$$

A 類交織路段可讓交織車流使用的最大車道數 $N_W(\max) = 1.4$ ，當 $N_W > 1.4$ 時，交織車流受限制，當 $N_W \leq 1.4$ 時，交織車流不受限制。若交織車流受限制，則需重新計算平均速率 S_W 、 S_{NW} 。

(2) 交織車流平均行駛速率 S_W

$$S_W = 0.88 \left(24 + \frac{80}{1 + 0.096(1 + V_R)^{2.2} (v/N)^{1.0} / L^{0.9}} \right) \text{ (公里/時)}$$

(3) 非交織車流平均行駛速率 S_{NW}

$$S_{NW} = 0.88 \left(24 + \frac{80}{1 + 0.01(1 + V_R)^{4.0} (v/N)^{0.88} / L^{0.6}} \right) \text{ (公里/時)}$$

8. 決定服務水準

由 S_W 與 S_{NW} 決定交織與非交織車流服務水準；交織車流最大流率限制為 2,000 小車/時，若交織需求流量超過此值，則交織路段可能發生阻塞，路段服務水準預計降至 F 級。

9. 非型態 A 交織路段之分析

前述程序僅以型態 A 為分析對象，而其他型態交織路段的分析程序皆相同，只是其平均行駛速率計算方式有所差異，各型交織路段平均行駛速率計算式如下表 2.2-2 所示：

表 2.2-2 THCM 各種交織路段型態平均行駛速率估算式與車道檢驗式

S_W 或 $S_{NW} = 0.88 \left(24 + \frac{80}{1+a(1+V_R)^b(v/N)^c/L^d} \right)$									
型態	項目	交織車流				非交織車流			
		a	b	c	d	a	b	c	d
A	無限制	0.078	2.2	1.0	0.90	0.006	4.0	1.30	1.0
	受限制	0.096	2.2	1.0	0.90	0.006	4.0	0.88	0.6
B	無限制	0.0055	1.2	0.77	0.50	0.006	2.0	1.42	0.95
	受限制	0.0088	1.2	0.77	0.50	0.005	2.0	1.30	0.90
C	無限制	0.0055	1.8	0.80	0.50	0.008	1.8	1.10	0.50
	受限制	0.0055	2.0	0.85	0.50	0.007	1.6	1.00	0.50
交織車流是否受限制之檢驗式									
型態	需交織車道數檢驗式 N_W					最大交織車道數 $N_{W(max)}$			
A	$2.70N \cdot V_R^{0.571} \frac{(L/30.48)^{0.234}}{S_W^{0.438}}$					1.4			
B	$N \left(0.085 + 0.703V_R + \left(\frac{71.57}{L} \right) - 0.011(S_{NW} - S_W) \right)$					3.5			
C	$N(0.761 - 0.004L + 0.047V_R - 0.003(S_{NW} - S_W))]$					3.0			

2.2.2 美國 HCM 交織路段方法論概要

美國公路容量手冊(HCM)是交通規劃、設計和運行分析最廣泛使用的參考資料之一，HCM 提供了評估高速公路基本路段、交織路段、匯流和分流路段、高速公路系統的容量分析，以及高速公路設施旅行時間可靠性評估方法。美國自 1960 年代初期以來已有不少關於交織區的研究，開發了許多分析方法。以下簡要說明目前臺灣公路容量手冊主要參考的 HCM 1985、2010 及 2016 之方法論。

一、HCM 1985 交織分析法

鑑於路型結構仍是一個重要核心概念，因此初步定義三個主要類別（如圖 2.2-1 共包括七種路型結構，由於每一類別所含路型都有一些結構的相似性，且發現資料庫的資料屬性也大致分屬這三類，故最終決定區分三大交織類型，這些類型在 HCM 2000 中繼續沿用。

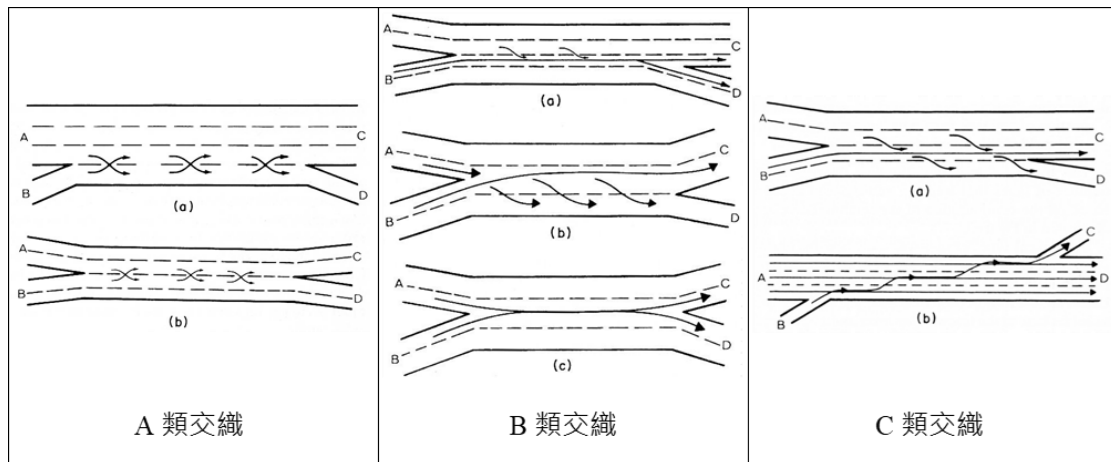


圖 2.2-1 HCM 1985 交織路型結構示意圖

修訂後的方法對三種類型共需校估 12 個獨立的速度公式，一半用於交織速率，一半用於非交織速率，每一種類型又依受限制與無限制運行劃分。然而因來自 NCHRP 3-15 的舊資料已無法再代表當時情況，故「重新校估」交織方法的作業於 1984 年底展開，並經 HCQSC 在 1985 年 1 月批准，所謂「重新校估」是一個不斷測試錯誤的過程，直到使用新蒐集資料的預測結果明顯優於原來的方法，且對一些關鍵變數的敏感性都合理為止。

HCM 1985 方法基於速率公式並未對不合理輸入資料進行檢核，故又增訂一套對交織路段關鍵變數的限制，這些限制是根據當時對現有資料的審查和專業判斷所制定的。最後，此方法論對交織和非交織車輛的服務水準的速率標準是分開評估的，該標準反映了比舊版本所使用方法更高的速率。

此方法論的分析程序也被納入 1987 年發行的公路容量套裝軟體 (HCS)，解決了許多計算難處，且方法一直被廣泛採用，直到 2000 年更新為止。

二、HCM 2010 後之交織分析法

美國 NCHRP 在 2006 年贊助了一項重要研究 NCHRP 3-75 計畫 (Roess, R., et al., 2008)，主要在修訂交織路段的分析程序（包括蒐集

建置一個新資料庫)，此研究發現最能呈現路型結構與受限 / 不受限運行（在某有限範圍內）效果的參數就是「變換車道」，因此，新訂方法要能預測在任何類型交織路段發生的車道變換量。最早採用車道變換數量直接衡量路型結構對運行影響的是由 Fazio 在 1985 年伊利諾大學的碩士論文中提出，但因當時資料數很少，Fazio 不得不假設交織車輛進入車道的分布行為來估測車道變換的情況 (Fazio, J. and Rouphail N., 1986)，此方法論概述如下：

1. 資料蒐集

全部資料在六個州的七個不同城市蒐集，包括 A、B、C 三類路型，路段長度從 540 到 2,820 英呎（約 160~860 公尺）不等，路寬從 3 到 6 車道不等。

2. 重新定義交織路段長度

依照圖 2.2-2 所示，圖中長度較短的 L_S 是預測交織路段運行情況較可靠的指標，因 L_S 相較 L_B 不會限制交織車輛變換車道，儘管 L_B 運用標線直接限制交織車輛換道，但因很多交織車輛駕駛人常會違規跨越禁止換道線，故 L_S 比 L_B 提供更準確的預測結果。

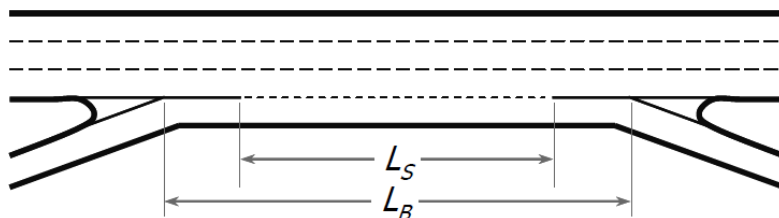


圖 2.2-2 HCM 2010 交織路段長度定義

3. 交織路段的變換車道行為

交織路段的變換車道分為交織車輛「必要的」和「任意的」換道，以及非交織車輛「任意的」換道三類。在已知交織流量下，可推算交織車輛在每一種路型必要的最小總換道數量 LC_{min} ，再經由長度 L_S 、交流道密度 ID 、交織路段車道數 N 等影響因素放大調整後，可得交織車輛在交織路段的估計總換道數 LC_w 。

校估非交織車輛在交織路段的換道次數經證實相當困難，因為校估資料分為三個群組，每個群組有不同特點，經多次試驗，決定用一個含長度 L_S 、交流道密度 ID 、非交織流量 v_{nw} 等因素的指標 INDEX 來描述這些群組 ($\leq 1,300$, $1,300 \sim 1,950$, $\geq 1,950$)，並發展出對應每一群組的非交織車輛換道次數 LC_{nw} ，於是交織路段發生的換道總數 $LC_{ALL} = LC_w + LC_{nw}$ 。

4. 空間平均速率預測

此方法論提供可預測交織和非交織車輛速率的迴歸式，其中交織速率公式與自 1985 年起一直採用的 Reilly 公式相似，預測速率範圍在 15 mi/h 到自由車流速率之間：

$$S_w = 15 + \frac{FFS - 15}{1 + W_w},$$

$$\text{交織速率強度係數 } W_w = 0.226 \left(\frac{LC_{ALL}}{L_S} \right)^{0.789} \quad R^2 = 0.787$$

此法將交織強度係數 W_w 直接和車道變換活動關連，由於 LC_{ALL}/L_S 變數是指交織路段每單位長度的換道率，因此，「車道變換」應是衡量交織亂流最直接的測度指標。然而，對非交織車輛速率預測完全偏離 Reilly 格式，這是此方法論中最薄弱的部分，在測試許多不同方法後，沒有一個有合理的迴歸係數，但因這程序還需要一個非交織車輛速率公式來完成，因此才建議以下公式：

$$S_{nw} = FFS - 0.0072 LC_{min} - 0.0048 R^2 = 0.50$$

NCHRP 3-75 期末報告(Roess, R., et al., 2008) 評論「速率預測一向是出了名的難題，而且很少能獲得統計上可接受的結果，但因必須對非交織速率進行預測，這公式應該是目前能從資料中找到的最佳預測式。」有了交織和非交織速率預測值，便可使用與 HCM 2000 相同公式估算交織路段所有車輛的空間平均速率：

$$\text{交織路段空間平均速率 } S \text{ (mi/h)} = \frac{v_{nw} + v_w}{\left(\frac{v_{nw}}{S_{nw}} \right) + \left(\frac{v_w}{S_w} \right)}$$

5. 服務水準

此方法論界定服務水準的過程與 HCM 2000 幾乎沒改變，根據交織路段的平均速率計算出平均密度(如下式)，這套利用密度指標來界定服務水準作法與 HCM 2000 相同，唯一的細微變化是詮釋「只要需求流量超過交織路段的容量，就視為發生 LOS F」。

$$\text{交織路段平均密度 } D (\text{pc/mi/ln}) = \frac{(v / N)}{S}$$

三、美國 HCM 2016 交織區段分析方法後續研究

Rouphail 等人(2021)認為 HCM6(指美國公路容量手冊第 6 版，因該手冊於 2016 年發布，也可稱為 HCM 2016)之交織區段分析方法之程序繁瑣，且其預測結果有若干缺陷，因交織路段分析方法論承襲自 HCM 2010，從當年一些實證案例顯示由於交織模式形式的差異，產生與高速公路各路段運行特性無法連續、對交織長度缺乏敏感性、不易現場校估或驗證速率模式，以及估計交織段密度與 LOS 程序繁複等問題 (Zhou et al., 2015; Xu et al., 2020)。他們有進行後續研究，新建了一套可描述從交織路段到基本路段具相同車道數與自由流速率的連續交通運行模式架構，由於模式可區別因高 v/c 導致的壅塞和因分匯流或交織導致的亂流狀況，因此可大量簡化模式形式，並擴大應用到其他高速公路交織路段類型，提升模式預測的準確度。

該針對 A 類交織或匝道交織路型，除運用 NCHRP 3-75 資料庫外，另蒐集其他五個地點現場調查，以增加取樣資料數。他們透過改進交織路段關鍵分析程序的建模與校估方法，開發了一個運用高速公路基本路段模式與代表交織區亂流的速率阻抗因數的新架構，來評估高速公路交織區的運作，新建模式目標相當簡單，在假設交織段與基本路段具有相同車道數和容量，以及採用少數經校估過模式參數的基礎上，分析交織段整體平均速率 (S_o)與等效基本路段速率(S_b)的差異。因此，他們假設的簡化通式為：

$$S_o = S_b - SIW$$

其中 S_o	交織段整體空間平均速率
S_b	在相同總需求量 V 、車道數 N 、自由流速 FFS 之下的基本路段空間平均速率
SIW	因交織亂流所造成之速率阻抗值

在這個架構下，他們研提並評估了以下兩個替選模型：

- 模型 1： $S_o = S_b - \alpha(\beta \cdot v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_1} - 500\right)^l \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta$
- 模型 2： $S_o = S_b - \alpha \left(\frac{\beta \cdot v_{RF} + v_{FR}}{N_1^\varepsilon}\right)^\gamma \left(\frac{v}{N_1} - 500\right)^l \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta$

其中 S_o	交織路段空間平均速率
S_b	在相同需求流率 V 下，基本路段之空間平均速率
v_{RF}	匝道至主線流率
v_{FR}	主線至匝道流率
v	交織路段總流率
L_S	交織路段長度
C_w	交織路段容量
N	交織路段車道數
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$	參數

此模型的特色之一為可考慮匝道至主線及主線至匝道之交織車流對交織路段有不同之影響，並導入一參數用以估算其相對權重，有別於過去 HCM 分析方法中將兩股車流合併為交織車流($v_w = v_{RF} + v_{FR}$)並以 VR (Volume Ratio，即 v_w/v) 作為交織車流的影響因子，並未考慮兩股交織車流有不同影響之情況。此模型亦呼應過去研究 (Lertworawanich & Elefteriadou, 2001, 2003, 2007) 發現匝道至高速公路的交織需求對運作的影響大於高速公路至匝道的交織需求的觀點。

研究團隊由檢視兩模型的 RMSE 值，認為模型 2 較適合，且由兩模型的差異性 F 檢驗，亦顯示模型 2 在 5% 顯著性水準上更佳。因而最終推薦採用模型 2，校估後的參數如下：

- 模型 2： $S_o = S_b - 0.025 \left(\frac{17.3 \cdot v_{RF} + v_{FR}}{N_1^3}\right)^{0.344} \left(\frac{v}{N_1} - 500\right)^1 \left(\frac{1}{L_S}\right)^{0.369}$

此研究對所開發模型 2 的驗證結果發現可直接預測交織路段的平

均速率，而不必再使用中介模式來預測車道變換的數量；進一步將模式 2 的輸出與現場資料比對，HCM 2016 模式傾向低估交織路段的速率，敏感性分析也顯示新模式可合理地預測匝道交織的速率和容量，證明比 HCM 2016 中的模式更簡單、準確。

該系列研究之第二期（Rouphail 等人，2023）進一步分析交織路段型態 B 及型態 C（major weaves），並整合第一年期（Rouphail 等人，2021）之研究成果，提出適用於各種交織路段型態之速率模型及容量估算分析。該研究建議之最終速率模型為：

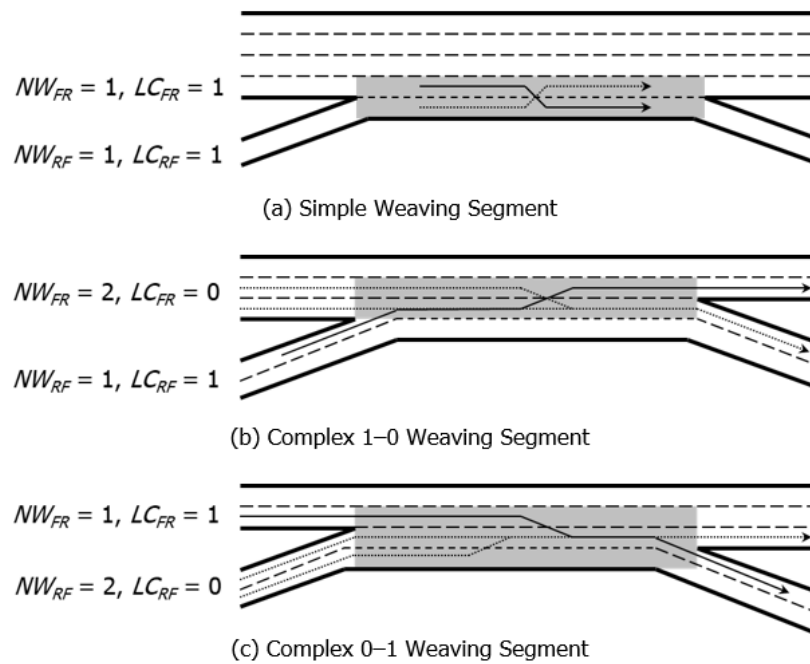
交織路段型態 A：

$$S_o = S_b - 20 \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N^{10.19}} \right)^{0.44} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.79}$$

交織路段型態 B 及型態 C：

$$S_o = S_b - 20 \left(\frac{\left(\frac{LC_{RF}+1}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{LC_{FR}+1}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)}{N^{3.85}} \right)^{0.4} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^{1.12}$$

其中新增參數包括： LC_{RF} 代表匝道至主線交織車流中最小換道次數， LC_{FR} 代表主線至匝道交織車流中最小換道次數， NW_{RF} 代表可以在 0 或 1 次車道變換的情況下從匝道進入主線的車道數， NW_{FR} 代表可以在 0 或 1 次車道變換的情況下從主線進入匝道的車道數，見圖 2.2-3。



資料來源：Schroeder et al. (2023)

圖 2.2-3 交織路段型態之換道次數示意圖

透過車道配置參數，上述之交織路段速度模型架構能適用於所有交織類型，其模型的驗證結果的均方根誤差（RMSE）分別 2.56 英里/小時（型態 A）及 4.7 英里/小時（型態 B 及型態 C），具有優異的預測結果。該模型對於路段長度的敏感性顯著高於 HCM6 模型，而 HCM6 模型對交織比的敏感性略高。總體而言，所提出的模型在所有類型的交織中表現出一致性，並且與基本的速度-流量-容量關係相吻合。

同年，美國 TRB 發布了一份名為「Update of Highway Capacity Manual: Merge, Diverge, and Weaving Methodologies」之技術報告（下稱 NCHRP 07-26）（Schroeder et al., 2023），該報告說明目前美國公路容量手冊在分匯流區及交織區之分析方法是基於 25 年前由現場蒐集之有限資料進行發展，並明確指出此方法論之不足之處，因此其研究目的為發展一套分析方法用以更新分匯流區及交織區之分析模型，用以提升 HCM 之適用性。報告書中採用之模式樣態係根據 Rouphail 等人（2021、2023）之模型，加入新資料後進行校估，針對不同交織類

型之速率模型如下：

$$S_o = S_b - 0.025 \times \left(\frac{V_{RF} + V_{FR}}{N_{l-GP^{3.0}}} \right)^{0.156} \times \left(\frac{V}{N_{l-GP}} - 500 \right)^1 \times \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.311}$$

$$S_o = S_b - 0.056 \times \left[\frac{\left(\frac{LC_{RF}+1}{NW_{RF}+1} \right) V_{RF} + \left(\frac{LC_{FR}+1}{NW_{FR}+1} \right) V_{FR}}{N_{l-GP^{3.0}}} \right]^{0.300} \times \left(\frac{V}{N_{l-GP}} - 500 \right)^1 \times \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.400}$$

變數定義與前述相同，唯一改變是將車道數之變數調整為 N_{l-GP} ，當中 GP 代表一般用途（General Purpose），強調交織路段車道數不包含特殊用途車道（例如高乘載車道 HOV lane）。另外，該研究提出之容量估算模型：

$$\frac{C_w}{35} = S_b(C_w) - SIW$$

其中 C_w 交織路段之容量值
 $S_b(C_w)$ 交織路段容量值其對應之基本路段速率
 SIW 因交織行為及車道配置導致之速率阻力
(speed impedance)

其概念係假設交織路段容量等於容量發生時之速率(speed at capacity)乘以密度(density at capacity)，即一般理解的臨界速率(critical speed)及臨界密度(critical density)。在求解 C_w 時，先將 SIW 代入上述之速率模對應項，並套用 HCM 基本路段的對應速率 $S_b(C_w)$ ，因其計算過程需要代入 C_w 值，可將 C_w 表達為一項一元二次方程式，並得解析解如下：

$$C_w = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

其中 $a = 1$
 $b = \frac{W}{B} + \frac{1}{35B} - 2BP$
 $c = BP^2 - \frac{FFS}{B} - \frac{500W}{B}$
 $B = \frac{FFS - S_c}{(C_b - BP)^2}$
 $W = \alpha \left[\frac{\left(\frac{LC_{RF}+1}{NW_{RF}+1} \right) V_{RF} + \left(\frac{LC_{FR}+1}{NW_{FR}+1} \right) V_{FR}}{N^\varepsilon} \right]^\gamma \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$
 C_w 交織路段之容量值 (pc/h/ln)
 a, b, c 計算過程之參數
 W 交織路段密度

B	基本路段要素
BP	基本路段的分界點，參考 HCM 圖表 12-6 (pc/h/ln)
FFS	自由車流速率 (mph)
S_c	等效基本路段的容量速率= $C_b/45$ (mph)
C_b	等效每車道基本路段容量
$\alpha, \gamma, \delta, \epsilon$	迴歸係數

2.2.3 其他國家 HCM 交織路段方法論概要

前述章節回顧美國及臺灣交織路段分析方法的演進，然而其他諸如韓國、荷蘭、德國、瑞典、印尼、日本等國家之公路容量手冊皆有包含交織路段之分析方法，並已於前期研究報告詳細描述，本期僅摘要重點如下：

- 一、韓國：以三個步驟計算平均密度，並作為衡量交織路段運行之指標，步驟包含：藉由速度估算模式或實地調查，獲得交織路段的交織車流速率和非交織車流速率、根據獲得的速率估算交織路段密度、根據估算的密度，判斷交織路段的服務水準。
- 二、荷蘭：手冊大都以查表方式界定交織路段容量，並羅列影響交織路段容量之因素，同時也建議若有表格內無法對應之情形，可使用內插法或 FORSIM 模式進行模擬。此外，手冊亦有定義交織路段最大長度應為 1,500 公尺。
- 三、德國：採用飽和度 (v/c) 作為績效評估及服務水準衡量指標。計算過程中需分別求算匯流區主線上遊、分流區主線下游、進口匝道、出口匝道、匯流區、分流區之共六處地點之飽和度。此外，手冊中定義交織路段之最大長度為 500 公尺，若超過此長度則視為獨立分匯流區。
- 四、瑞典：使用主線車道總容量 (2 直進車道)、進口匝道流量、出口匝道流量及交織路段長度計算交織路段容量，手冊中明訂最大交織長度不超過 1,250 公尺。

五、 印尼：使用之方法主要以經驗為基礎，以應對該國複雜的讓行規則、車道使用紀律及排隊等候習慣。交織路段之績效指標共有四項，分別為：容量、飽和度、旅行速率、旅行時間。

六、 日本：主要使用 HCM 方法進行調整，同時考量交織（主線-匝道、匝道-主線）與非交織（主線-主線、匝道-匝道）流量、交織路段長度、平均速率，推估交織區容量。

2.3 分析方法評析

前期研究已回顧若干國家公路容量手冊或文獻關於交織路段的內容，如表 2.3-1。表格整理各國交織路段方法論所引用之變數對照概要，包括實質幾何資料輸入、車流相關資料輸入、計算過程、結果變數輸出，以顏色區塊依序區分。各國公路容量手冊或文獻在分析交織路段多使用相同的分析變數如交織路段長度、各方向流量等。在交織路段通行車流方面，高速公路主線與進口匝道各通行方向車流是發展分析模式時最為基本、必要的變數，而引用尖峰期間的尖峰小時係數、交通組成、坡道實質狀況、路段行駛速率等資料，因各國分析模式的需求，有不同取捨。

在交織類型方面，除美國 HCM 外，大多數國家仍採先界定交織類型的方式來進行分析；在交織路段長度方面，德國公路容量手冊 (HBS 2015) 是其中唯一未引用交織路段長度變數的國家；在交織路段車道數方面，荷蘭公路容量手冊 (Dutch HCM 2015) 與 STRIDE 研究 (Rouphail et al., 2021; 2023) 均有引用，而印尼公路容量手冊 (IHCM 1993) 則是採用平均車道寬為分析變數，可能是在該國交通環境和駕駛行為影響下，不適合以車道數作為容量分析依據的考量；在輸出車流速率與密度績效方面，美國 HCM 2022、Rouphail et al. (2021; 2023)、NCHRP 07-26 (Schroeder et al., 2023)、韓國公路容量手冊 (KHCM 2013) 與日本公路容量手冊 (JHCM) 都有交織路段速率、密度的估計方法，並以密度為主要評估服務水準的輸出績效。

在交織路段的幾何型態方面，美國 HCM 1985 將交織路型結構分為交織類型 A、類型 B、類型 C 三種類型並分別提供估算公式，此

方法論對交織和非交織車輛的服務水準的速率標準是分開評估，校估所需的資料蒐集困難且難以驗證，方法一直被廣泛採用到 2000 年更新為止。HCM2010 改以密度為服務水準評估指標，其交織方法論的最大貢獻是在定義可反映路型結構影響參數的方法上，由於不必將路型劃歸三個過於簡單的類別，故無論何種交織型態，此法都可進行分析；此方法的一個優點是以交織路段運行的資料基礎，提供一些更合邏輯的方法來界定交織路段的容量。

HCM6 (HCM 2016) 繼續沿用 HCM 2010 交織分析法，惟近年有很多從業人員發現最常見的 A 類匝道交織路型在某些運行條件下，該分析法還不能模化或呈顯對一些重要參數的敏感性(Rouphai et al., 2021、Rouphai et al., 2023)。例如，非交織車輛的速率對較短長度的交織路段（即交織路段前後兩個鼻端頂點間的距離）不敏感。此外，非交織車輛速率對該路段內車道變換數的高低也不敏感，這和交通實況直覺不符，同時亦發現 HCM6 有低估速率、高估容量的情況，並高估交織路段密度達 22% 的情況，這些問題也使大家開始關注包含交織段分析在內的整體設施系統或旅行時間的可靠度議題，顯示 HCM 2016 方法在容量、速率估算模式，以及與高速公路基本路段估計績效的一致性方面需要進一步改進。

近期研究 NCHRP 07-26 (Schroeder et al., 2023) 提出新的模型架構，開發了一個適用於所有交織類型的速度模型，並提出了一種替代的容量估算方式，透過新增兩個車道配置的參數，該方法能適用於所有交織路段的類型。此方法克服了 HCM6 模型對路段長度的敏感性不高之缺點，在所有類型的交織類型中表現一致，且分析結果也能夠與車流理論的速度-流量-容量關係相吻合。

表 2.3-1 各國交織路段分析方法論變數對照概要表

項 目	台灣 THCM	美國 HCM	美國 Rouphail	美國 NCHRP 07-26	印尼 IHCM	瑞典 SHCM	德國 HBS	荷蘭 DHCM	韓國 KHCM	日本 JHCM
交織型式		●								
路型結構	●							●		
交織路段長度			●	●	●	●	●	●	●	●
交織路段總寬度					●					
入口匝道車道寬					●					
車道數			●	●				●		●
主線往匝道之最小換道次數 (單側交織)		●	●	●						
匝道往主線之最小換道次數 (單側交織)		●	●	●						
匝道往匝道之最小換道次數 (兩側交織)		●	●	●						
換道換次數為 0 或 1 之車道數 (單側交織)		●	●	●						
交織路段內非交織車輛總換道次數		●	●	●						
交織路段內所有車輛之總換道次數		●	●	●						
基本路段容量		●	●	●		●				
主線至匝道流率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
匝道至主線流率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
交織路段總流率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
尖峰小時係數	●	●	●	●						
重車比	●	●			●		●	●		
重車在一般地形下當量質	●	●								
重型車調整因素	●	●								
自由車流速率	●	●								
交織路段設計速率									●	
車道間速度差								●		
交織強度係數	●				●					
交織強度係數 (交織車輛)	●				●					
交織強度係數 (非交織車輛)	●									
駕駛人特性調整因素	●	●								
交織路段交織比	●									
都市規模等級					●					
都市規模調整因素					●					
路側淨寬影響調整因數					●					
交織路段車流速率	●	●	●	●				●		
交織路段容量		●	●	●	●	●	●	●		●
交織路段交織車流平均速率	●	●								
交織路段非交織車流平均速率	●	●								
交織路段平均速率		●	●	●						
交織路段平均每車道密度		●	●	●					●	

資料來源：「高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(1/3)-典型路段」，黃家耀等人（2023）

2.4 小結

透過本章節之文獻回顧，可發現各國交織路段分析方法都有所差異，而大部分國家都是以美國方法論為基礎再進行本土化調整，考慮國內在公路容量及服務水準分析之使用習慣，本研究可參考美國方法論為參考基礎，進一步發展符合國內車流情況之分析方法論。

美國公路容量手冊最新版本 HCM7（指美國公路容量手冊第 7

版，該手冊發布於 2022 年，亦稱為 HCM 2022）沿用 HCM 2010/2016 交織分析法之核心模型，惟近年有很多實務從業人員發現該分析法還不能模化或呈顯對一些重要參數的敏感性，使用「43 pc/mi/ln (27pc/km/ln)」作為臨界密度(Density at capacity)也有高估的情況，因此有 Rouphail et al. (2021; 2023)、NCHRP 07-26 (Schroeder et al., 2023)等後續研究，進一步更新 HCM7 之容量及速率估算模型，該分析方法亦有將典型及非典型交織路段型態加以考慮。NCHRP 07-26 模型校估之所需資料，可透過國內之 VD 及 ETC 偵測器資料取得，因此可參考 HCM7 之架構，並以 NCHRP 07-26 模型為基礎進行本土化分析。

值得一提的是，美國方法論之主要是以密度作為服務水準評估指標，與臺灣公路容量手冊採用流率容量比、速率速限比之雙指標，於美國方法論並不相同，後續再發展模型時需要進行調整。

第三章 現場調查工作與車流特性分析

交織路段之容量及服務水準分析需要運用現場調查資料，以了解交織路段的微觀車流特性。高速公路交織路段長達 1 公里以上，調查範圍較大，且現場不容易布設攝影機，因此本所運用無人機進行空拍，觀察並錄製車流影片，再以電腦視覺的方式分析影片萃取車流資料，以下將說明簡要說明調查之規劃、資料整理方式，以及調查地點的選擇建議。

3.1 交織路段調查流程規劃

3.1.1 車流資料蒐集目的及資料內容

車流資料蒐集的目的為補充現有偵測器資料的不足，能更細緻的反映交織路段內及其上下游的車流變化，車流資料蒐集項目有以下四項，分別為車流量、速率、密度以及車道變換。

交織路段蒐集流率資訊之關鍵調查位置如圖 3.1-1 所示，共分為 A、B、C、D、E 四個區域，主線之調查路段長度在 80~100 公尺範圍。圖中之 A 路段位於進口匝道口，B 路段位於主線與進口匝道交接點上游，C 路段位於主線與進口匝道交接點至主線與出口匝道交接點之間，D 路段位於出口匝道口，E 路段位於主線與出口匝道交接點下游。

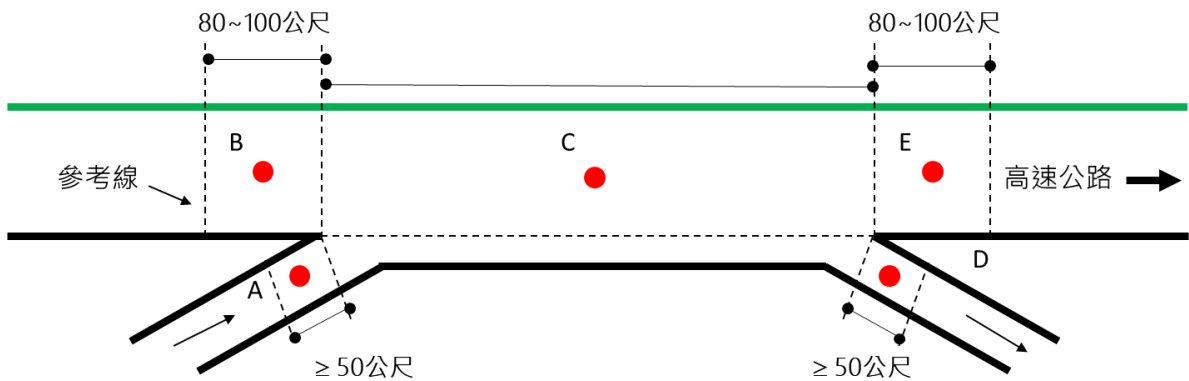


圖 3.1-1 交織區調查路段示意圖

為分析交織區中車流速率、密度隨時間與空間之變化情形以及交織路段使用行為，可將輔助車道於車道範圍分別劃分數個 50 公尺之觀察區，如圖 3.1-2 所示。於各車道與各區間中計算各個區域每分鐘

之平均速率與密度，並於匝道區低、中、高流率狀況下各蒐集至少 30 分鐘，記錄車道變換的頻次與位置。

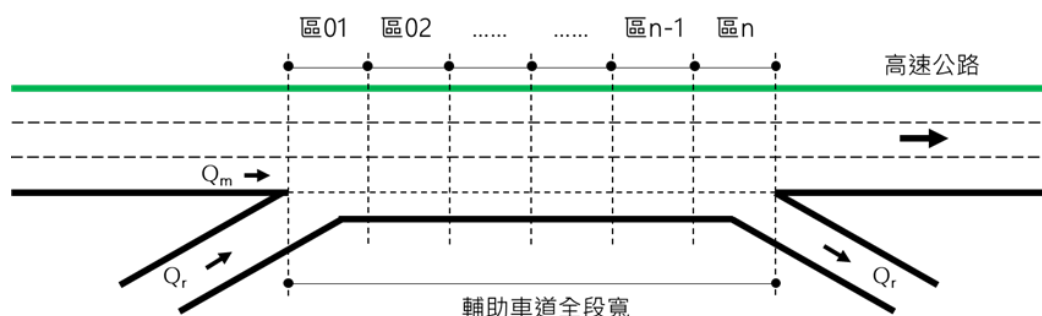


圖 3.1-2 速率、密度、車道變換區間示意圖

另外，為進一步了解交織路段車流交匯之特性，將透過追蹤交織路段內每一輛車的進口及出口，將車流資料依 4 股車流型態（主線到主線、主線到匝道、匝道到主線、匝道到匝道）進一步區分，以取得圖 3.1-2 之各股車流之流率、速率、車道變換之位置及頻次等資訊。

3.1.2 調查地點之選擇原則

為建立交織地點的容量分析模型，本研究將接續前期計畫，對非典型交織路段進行現場調查。本節將說明調查地點的篩選原則以及初步篩選結果。

調查地點的篩選應考慮該地點之幾何條件、車流條件應符合本年期研究的需求，以及運用無人機空拍執行現場調查之合適性。幾何條件方面，先選擇非典型交織路段且未銜接系統交流道之地點，並排除特殊設計的匝道如地磅站，建立候選地點清單。

本研究使用無人機空拍作為現場調查方式，無人機空拍能觀察交織區域的微觀車道變換情形，但其也受到諸多條件限制。首先，由於民航局的遙控無人機管理規則，飛航管制紅區內無人機不得飛行、黃區與綠區則可在事前提出申請及派員進駐塔台的前提下，放寬既有之飛行高度限制，故本研究優先考慮位於綠區的交織路段。

依據本所過往運用無人機調查之經驗，一個無人機拍攝畫面可以

涵蓋長度最多為 900 公尺，同時採用兩台無人機將拍攝畫面拼接最多可以涵蓋 1,600 公尺，因此本研究優先考慮 1,600 公尺以下的交織路段作為候選調查地點。

最後，調查地點應可觀察到車流壅塞，且壅塞原因應為較頻繁的交織行為所引起。對此，本研究以下列 3 點條件作為判斷依據：

1. 車流壅塞且非下游回堵：壅塞之判斷方式為透過交織路段 VD 資料之速率資訊，當車道斷面平均車速及外側車道（或輔助車道）速率低於至 60 公里/小時且至少持續 30 分鐘以上，可視為發生壅塞。下游回堵則需檢視下游主線與出口匝道之 VD，若其速率驟降之發生時間較交織路段更早，則判定為下游回堵，並應予以排除。但若該地點可觀察到頻繁之交織行為則不在此限。
2. 交織車流量大（ETC 資料）：以 ETC 之 M06A 資料（各旅次路徑原始資料）估算 4 股車流型態（主線到主線 V_{FF} 、主線到匝道 V_{FR} 、匝道到主線 V_{RF} 、匝道到匝道 V_{RR} ），當中交織車流 V_{FR} 與 V_{RF} 各超過 400 輛/小時，且相加超過 1200 輛/小時為佳。
3. 交織車流量大（VD 資料）：交織路段之進口匝道流率和出口匝道流率相加超過 1200 輛/小時為佳。

條件 2 及條件 3 之門檻值為執行計算時所採用的經驗法則，兩者的評估目標皆為是否有較頻繁的交織行為。根據以上判斷依據篩選出可觀察到車流壅塞情形以及出現較頻繁的交織行為的交織路段。

為了更有效地蒐集有發生交通壅塞的車流資料，調查地點應該選在平日或週末會出現重現性交通壅塞的路段。如果找不到合適的調查日期，則可以選擇在假日或連假期間容易發生交通壅塞的地點和時間進行調查。

綜上所述，本研究將調查地點篩選流程整理如圖 3.1-3 所示：

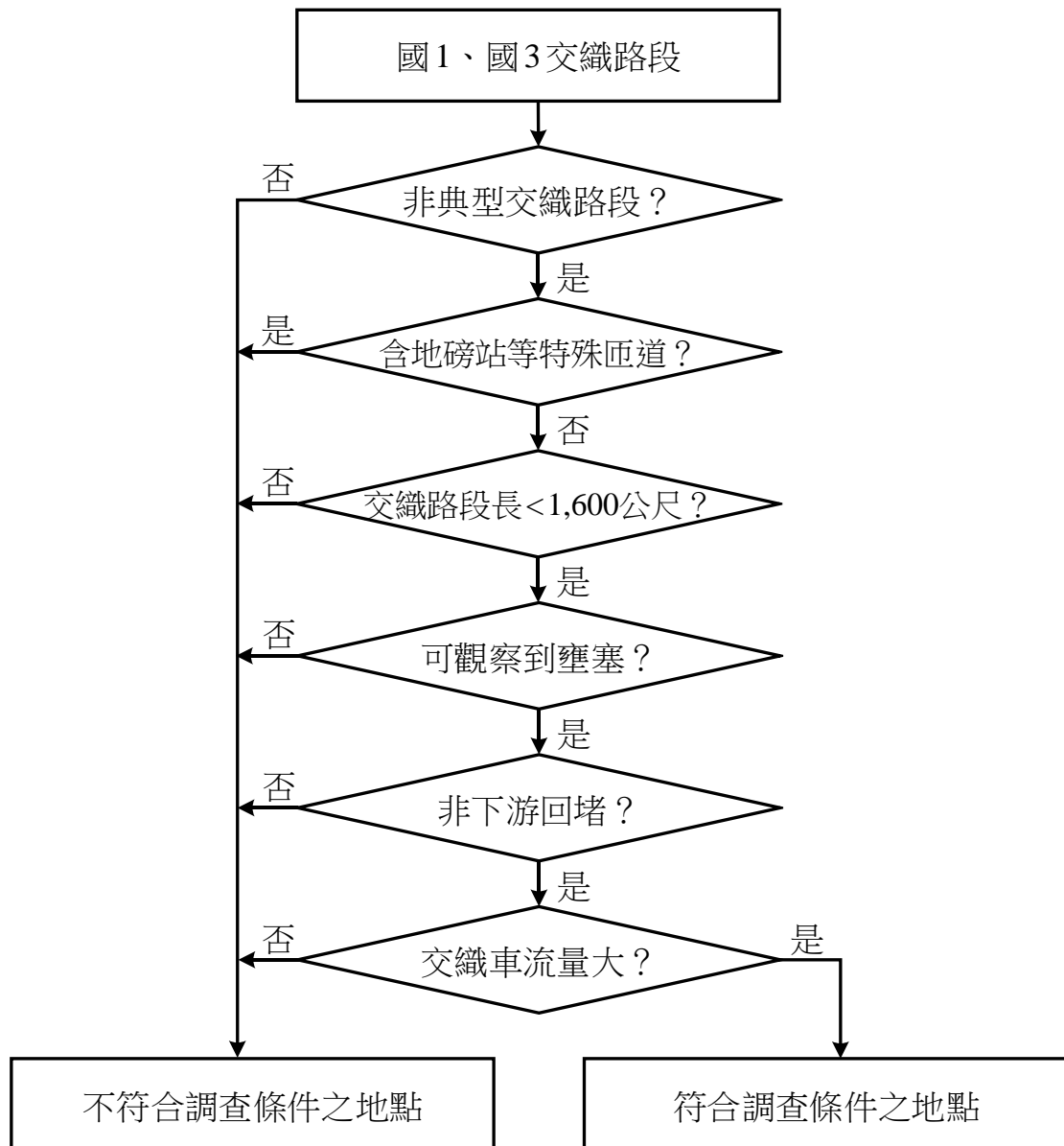


圖 3.1-3 調查地點篩選流程圖

由前述之地點篩選原則，決定本期調查地點如表 3.1-1 所示，並一併整理第一期、第三期候選之調查地點。

表 3.1-1 交織路段調查地點盤點

調查期別	地點	分類	系統交流道	Ls(m)	拍攝地點特性	限禁航區
第一期 — 典型交織區	國 3 南下 烏日~中投	典型	不包含系統	630	假日、連假具重現性壅塞，原因為下游回堵。	否
	國 1 北上 內壢~中壢服務區	典型	不包含系統	1,300	平日上、下午具重現性壅塞。	否
	國 1 北上 豐原~台中系統	典型	包含系統	1,360	假日、連假具重現性壅塞。	否
	國 3 北上 新竹系統~寶山	典型	包含系統	870	平日早上出口匝道回堵，交織比例高。	否
第二期 — 非典型交織區	國 1 南下 桃園~機場系統	非典型	包含系統	1,250	無出口匝道 VD，平日壅塞原因為出口匝道回堵	否
	國 1 南下 中壢服務區~內壢	非典型	不包含系統	1,020	主線先發生壅塞，交織行為足夠。	否
	國 3 南下 霧峰~霧峰系統	非典型	包含系統	1580	周六上午外側車道具重現性壅塞，符合拍攝條件。	否
	國 1 北上 高公局~五股	非典型	不包含系統	450	平日外側車道壅塞，有交織行為。	是*
第三期 候選地點	國 3 南下 中興系統~中興	非典型	包含系統	870	假日、連假具重現性壅塞。交織比例低，壅塞原因為下游回堵。	否
	國 1 北上 五甲系統~高雄	非典型	包含系統	1,410	外側車道週五具重現性壅塞。	是*
	國 3 南下 寶山~新竹系統	典型	包含系統	820	平日早上出口匝道回堵，交織比例高。	否
	國 1 北上 五堵~大華系統	典型	包含系統	590	受限航區限制。	是
	國 3 南下 南港~南港系統	典型	包含系統	1,030	平日上午交織比例高，符合拍攝條件，受塔台管制。	是*
	國 3 北上 南港系統~南港	典型	包含系統	570	平日上午交織比例高，符合拍攝條件，受塔台管制。	是*
	國 1 北上 機場系統~桃園	非典型	包含系統	1,060	無重現性壅塞，不符合拍攝條件。	否

*限航區以低空（60 公尺）飛行方式斜拍，以其他方式萃取車流軌跡資訊

3.1.3 現場調查之流程規劃

本次現場調查工作以無人機完整、連續拍攝目標路段並進行影像辨識作業進行車流分析。實地拍攝前需進行預期拍攝畫面、空域申請等資訊整理，用以確認拍攝畫面範圍及現場調查工作支援，資訊如圖 3.1-4。

空拍範圍需涵蓋交織路段及其上、下游約 100 公尺範圍，依據團隊過往運用無人機調查之經驗，交織路段長度小於 900 公尺可用一台無人機拍攝；900 公尺以上至 1,700 公尺以下需使用兩台無人機同時拍攝，並將兩個畫面經影像辨識後的車流軌跡銜接。

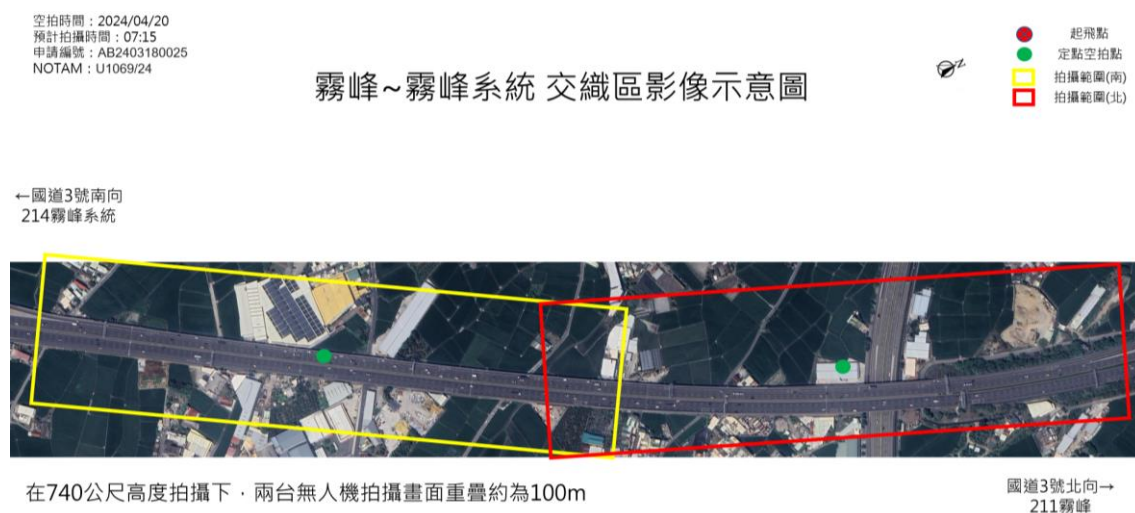


圖 3.1-4 霧峰~霧峰系統路段拍攝資訊整理

此外，為了達成連續、不中斷的拍攝畫面，同一個拍攝畫面需藉由兩架次無人機交替拍攝已完成任務。在第一台無人機結束拍攝任務前，會派遣第二台無人機升空準備接替拍攝畫面，待第二台無人機就定位可接替拍攝畫面後，第一台無人機始得返航。透過此種方式，經後續影像辨識處理後的車輛軌跡可確保達到連續不中斷。而不同架次無人機拍攝點為則是經由飛手溝通過後，以不同的拍攝中心點、飛行航線分隔，避免兩台無人機碰撞。

3.2 現場調查工作

本期計畫將進行 4 處現場調查，地點為非典型且不包含非系統交流道之交織路段，由於部分地點屬禁航區不適合空拍調查，或車流條件不符合分析條件，導致可供調查地點不足。經分析後，認為如系統交流道之匝道至匝道流率不高，其運作可視為非系統交流道之交織路段，因此本期計畫將兩處包含系統交流道的交織路段納入，同時也為明年探討系統交流道相關分析模型作準備。最終的調查地點整理如表 3.2-1 所示：

本所於 2024 年 4 月 11 日、4 月 20 日、5 月 7 日、6 月 20 日、6 月 25 日及 7 月 31 日，分別對國 1 北上高公局~五股、國 3 南下霧峰~霧峰系統、國 1 南下中壢服務區~內壢、國 1 南下 桃園~機場系統進行現場調查。其中 5 月 7 日於國 1 南下中壢服務區~內壢拍攝時受到臨時塔台管制，無人機無法升空拍攝，因此在 6 月 20 日時重新進行現場拍攝；另外，6 月 25 日則是因設備原因導致調查不成功，並未能蒐集足夠車流資料，因此在 7 月 31 日時重新進行現場拍攝。拍攝結果整理如表 3.2-1 所示，壅塞熱時是透過歷史 VD 資料中判斷某一車道速率開始下降進入壅塞至壅塞結束之時間範圍，用以決定現場調查時間，原則上，現場調查應於壅塞熱時開始前半小時以上就進行空拍作業，以利能蒐集到由非壅塞進入壅塞之車流資料。

表 3.2-1 拍攝結果整理

國道	地點	$L_S(m)$	日期	壅塞熱時	調查時間	拍攝時長
國 1 北上	高公局~ 五股	450	04/11(四)	07:50~10:45	06:30~11:20	296 分
國 3 南下	霧峰~霧 峰系統	1,580	04/20(六)	08:00~10:30	07:00~09:45	北:134 分 南:141 分
國 1 南下	內壢~中 壢服務區	1,020	06/20(四)	09:10~12:00	06:50~10:10	北:182 分 南:201 分
國 1 南下	桃園~機 場系統	1,250	07/31(三)	06:50~11:00	06:25~10:55	北:258 分 南:254 分

3.2.1 國 1 北上高公局~五股之調查情況

國 1 北上高公局~五股交織路段為非典型分類中的第 1 類，路型幾何如圖 3.2-1 所示。此調查地點為空拍限航區，空域上方為松山機場航線頻繁經過路線，研判申請空拍的成功機率不高，只能以 60 公尺高度進行拍攝。由於飛行高度 60 公尺正射拍攝無法涵蓋交織路段，因此本次調查採用斜拍的方式（圖 3.2-2），以兩架無人機輪流接替拍攝任務。本調查方法需要依據調查之交織路段長度，調整拍攝位置與角度，以確保畫面包含進出口匝道之鼻端及可完整觀察交織行為之交織路段範圍。其中第 0 架次為試飛測試，拍攝效果良好可用於分析，透過正式開拍及開始下降之時間差可求出有效拍攝時長，最終影片有效長度為 296 分鐘。

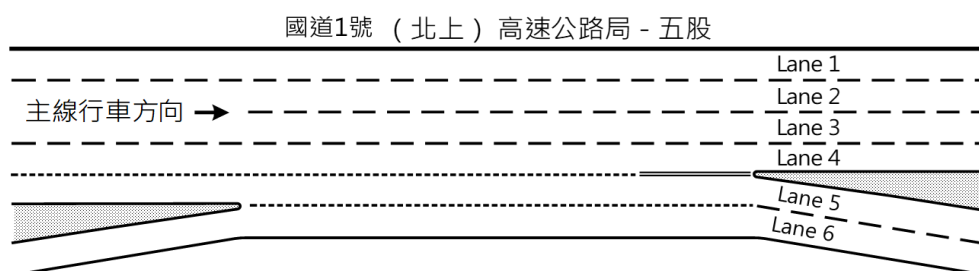


圖 3.2-1 國 1 北上高公局~五股路型幾何示意圖



圖 3.2-2 國 1 北上高公局~五股交織路段拍攝畫面

拍攝完成後將當日無人機每趟飛行時間與國 1 北上高公局~五股交織路段主線之 VD 資料進行比對，如圖 3.2-3 所示，拍攝影片涵蓋車流非壅塞狀態時間約為 60 分鐘，由非壅塞進入壅塞狀態約為 15 分鐘，壅塞狀態則約為 220 分鐘。第 1 趟次至第 4 趟次有兩台無人機連續拍攝之影像，車流由非壅塞至壅塞發生，達成拍攝之目標。

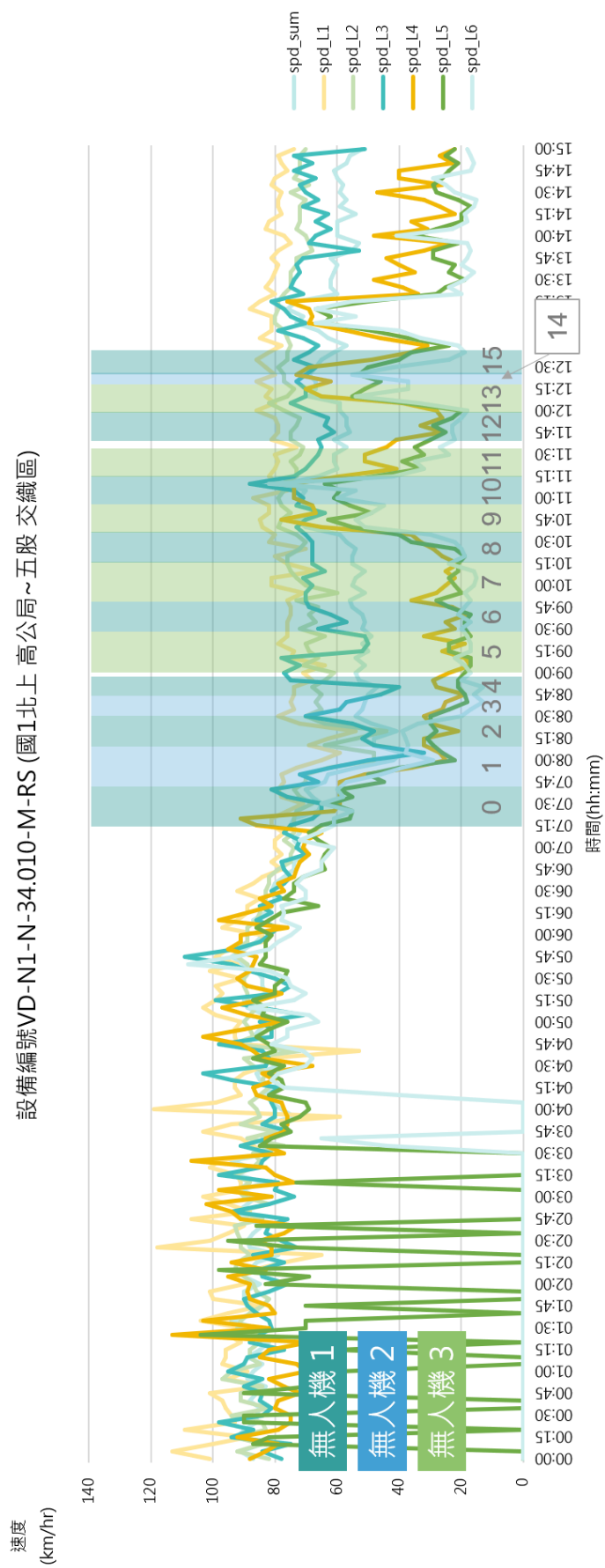


圖 3.2-3 國 1 北上高公局~五股 無人機飛行與 VD 資料對照

3.2.2 國 3 南下霧峰~霧峰系統之調查情況

國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段為非典型分類中的第 2 類，路型幾何如圖 3.2-4 所示。此路段長度為 1580 公尺，進行空拍拍攝需分為南側及北側，兩側同時進行 2 台無人機交替飛行以獲得調查所需之車流資料，為本期調查地點中路段最長，無人機飛行高度最高之處。當日北側（上游）影片有效時長為 134 分鐘，南側（下游）有效時長為 141 分鐘，每一側拍攝畫面範圍約為 900 公尺，畫面重疊約 100 公尺。

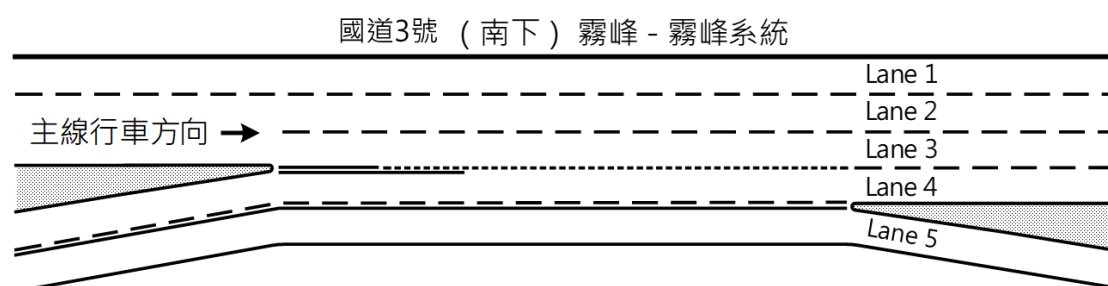


圖 3.2-4 國 3 南下霧峰~霧峰系統路型幾何示意圖



圖 3.2-5 國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段拍攝畫面

兩側連續拍攝時段涵蓋外側車道非壅塞狀態約 40 分鐘，由非壅塞進入壅塞約 15 分鐘，壅塞狀態約 80 分鐘如圖 3.2-6 及圖 3.2-7 所示，經判斷符合車流特性分析之需求。

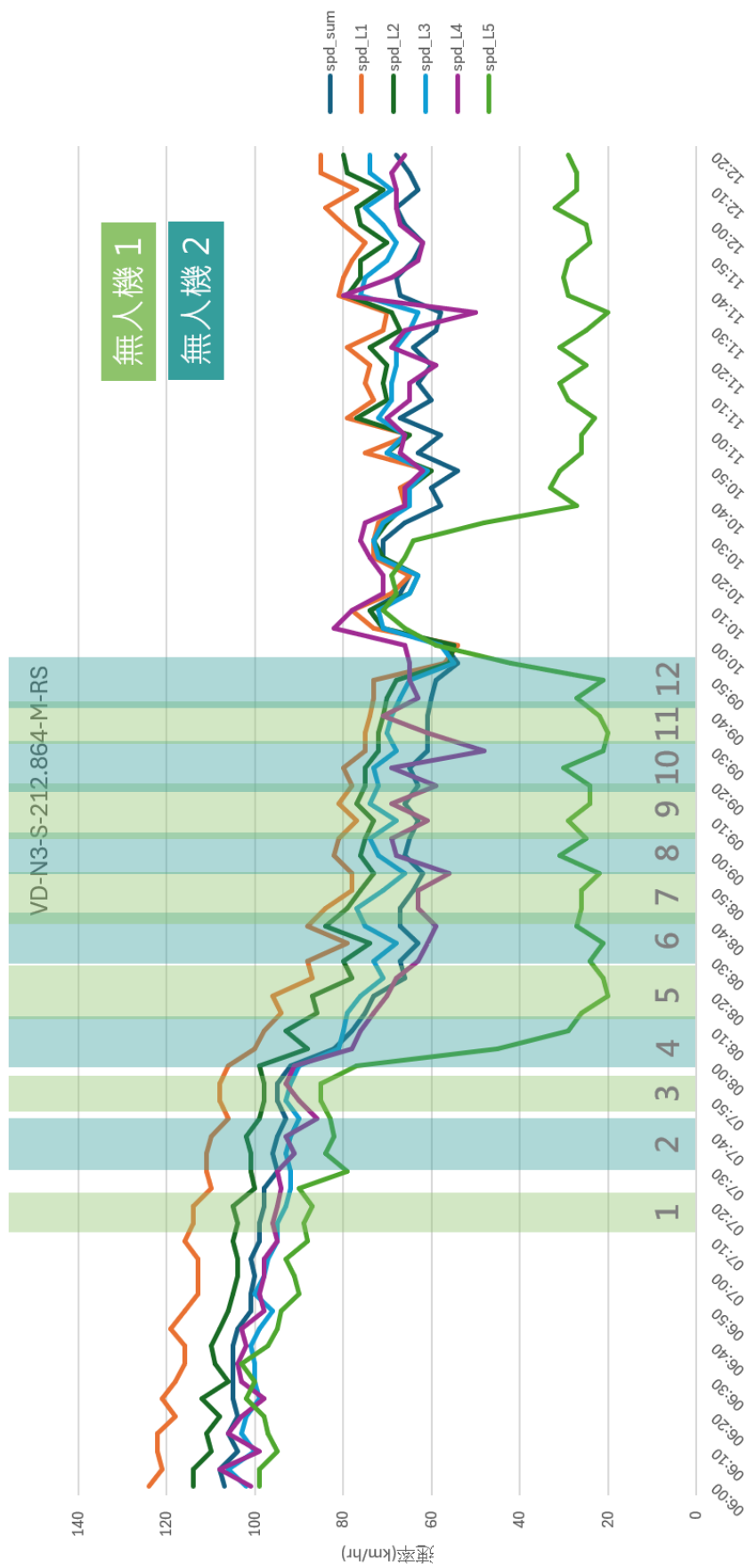


圖 3.2-6 國 3 南下霧峰~霧峰系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照

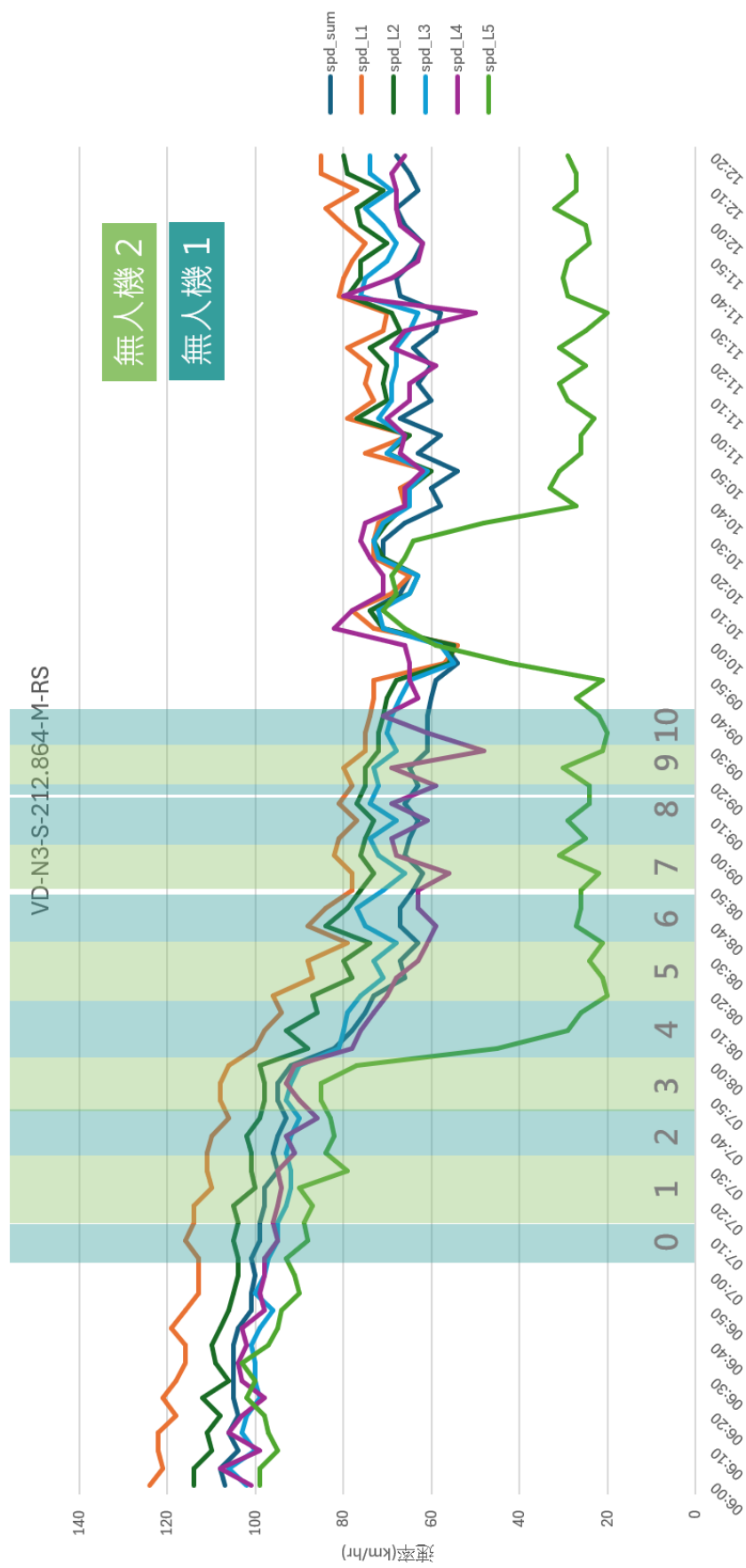


圖 3.2-7 國 3 南下霧峰~霧峰系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照

3.2.3 國 1 南下中壢服務區~內壢之調查情況

國 1 南下中壢服務區~內壢因交織路段為非典型分類中的第 3 類，路型幾何如圖 3.2-8 所示。該路段長度為 1020 公尺，進行空拍拍攝需分為北側（上游）及南側（下游），兩側同時進行 2 台無人機交替飛行以獲得調查所需之車流資料。北側影片有效時長為 182 分鐘，南側影片有效時長為 201 分鐘，畫面如圖 3.2-9 所示。

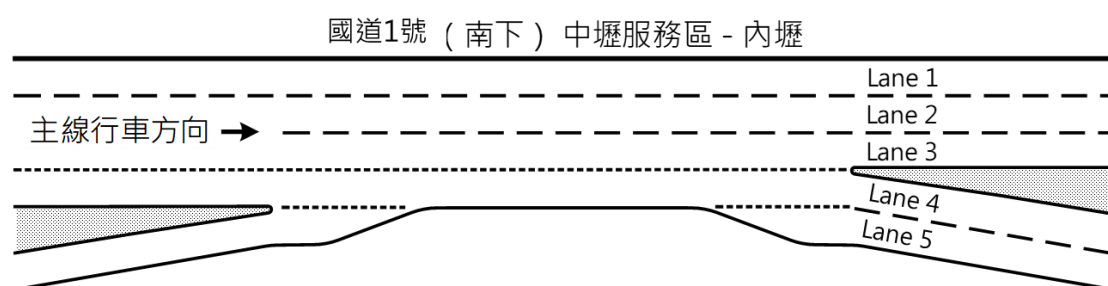


圖 3.2-8 國 1 南下中壢服務區~內壢路型幾何示意圖



圖 3.2-9 國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段拍攝畫面

調查過程中，南側皆順利連續拍攝，北側則中斷連續拍攝情形，如圖 3.2-10 及圖 3.2-11 所示，非壅塞狀態拍攝時間約為 140 分鐘，由非壅塞進入壅塞約 15 分鐘，壅塞狀態約 30 分鐘。經判斷，此次調查有足夠由非壅塞進入壅塞樣本，符合車流特性分析之需求。

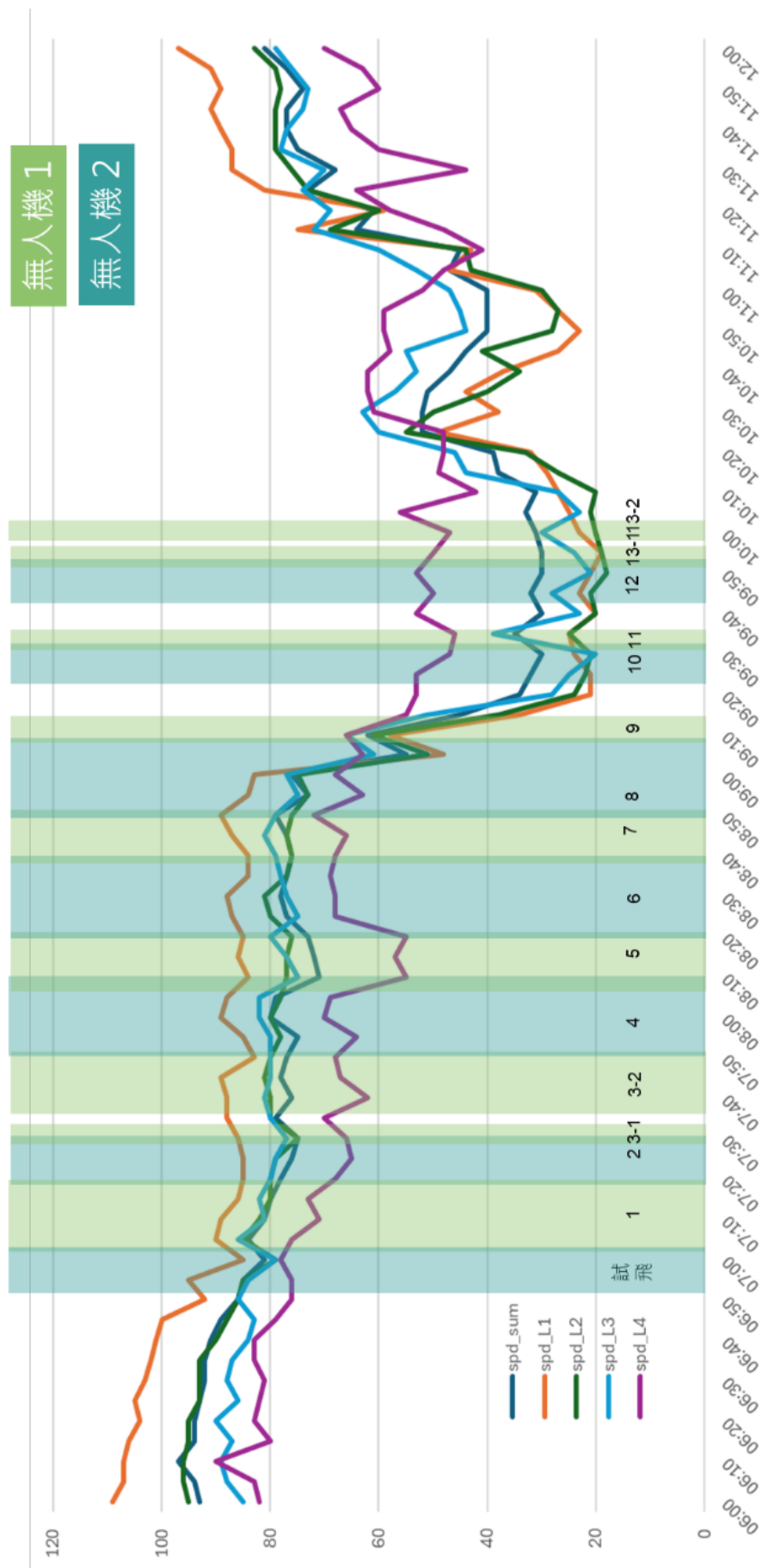


圖 3.2-10 國 1 南下中壢服務區~內壢-北側無人機飛行與 VD 資料對照

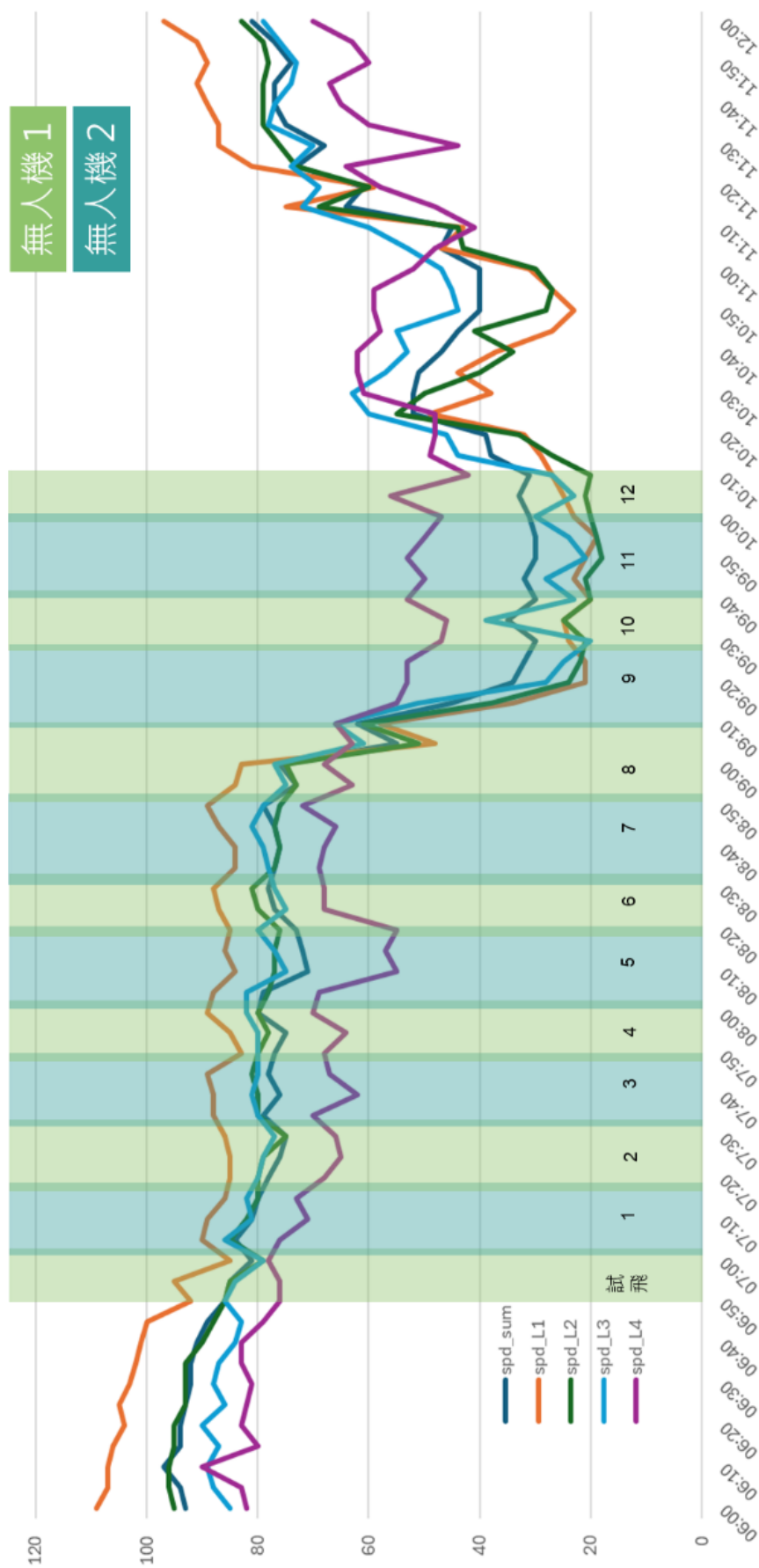


圖 3.2-11 國 1 南下中壢服務區~內壢-南側無人機飛行與 VD 資料對照

3.2.4 國 1 南下桃園~機場系統之調查情況

國 1 南下桃園~機場系統交織路段為非典型分類中的第 3 類，路型幾何如圖 3.2-12 所示，內側車道為 Lane 1，最外側車道為為 Lane 5。此路段長度為 1250 公尺，進行空拍拍攝需分為南側及北側，兩側同時進行 2 台無人機交替飛行以獲得調查所需之車流資料（圖 3.2-13）。當日北側（上游）影片有效時長為 258 分鐘，南側（下游）有效時長為 254 分鐘，每一側拍攝畫面範圍約為 700 公尺，畫面重疊約 50 公尺。

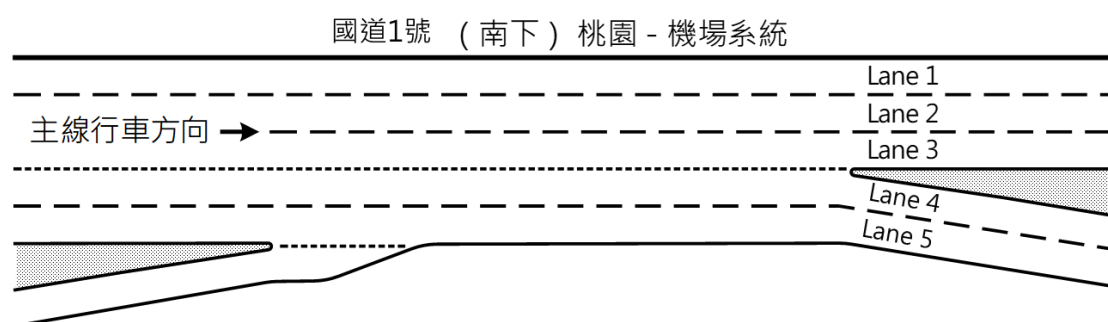


圖 3.2-12 國 1 南下桃園~機場系統路型幾何示意圖



圖 3.2-13 國 1 南下桃園~機場系統交織路段拍攝畫面

兩側連續拍攝時段涵蓋外側車道非壅塞狀態約 120 分鐘，由非壅塞進入壅塞約 15 分鐘，由於現場調查當日上午 9:10 在國 1 南下桃園~機場系統約 51.8 公里處有事故發生，CCTV 影像如圖 3.2-14，因此僅能採用 9:10 前之資料。當天車流在 9:00 已開始發生速率下降，如圖 3.2-15 及圖 3.2-16 所示，經判斷，此次調查已成功收集到由非壅塞

進入壅塞狀態之樣本，符合車流特性分析之需求。



圖 3.2-14 國 1 南下桃園~機場系統發生事故之 CCTV 影像資料

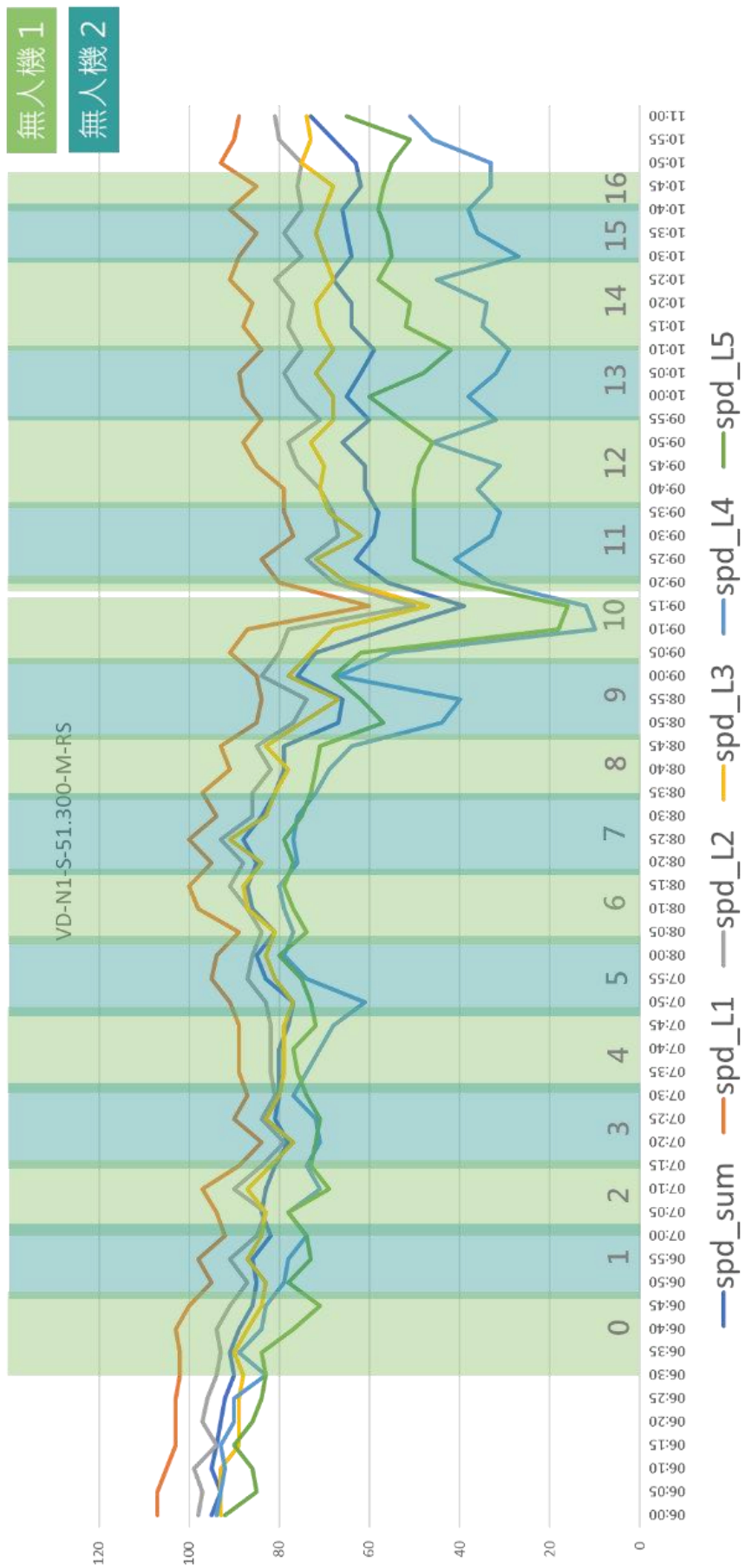


圖 3.2-15 國 1 南下桃園~機場系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照

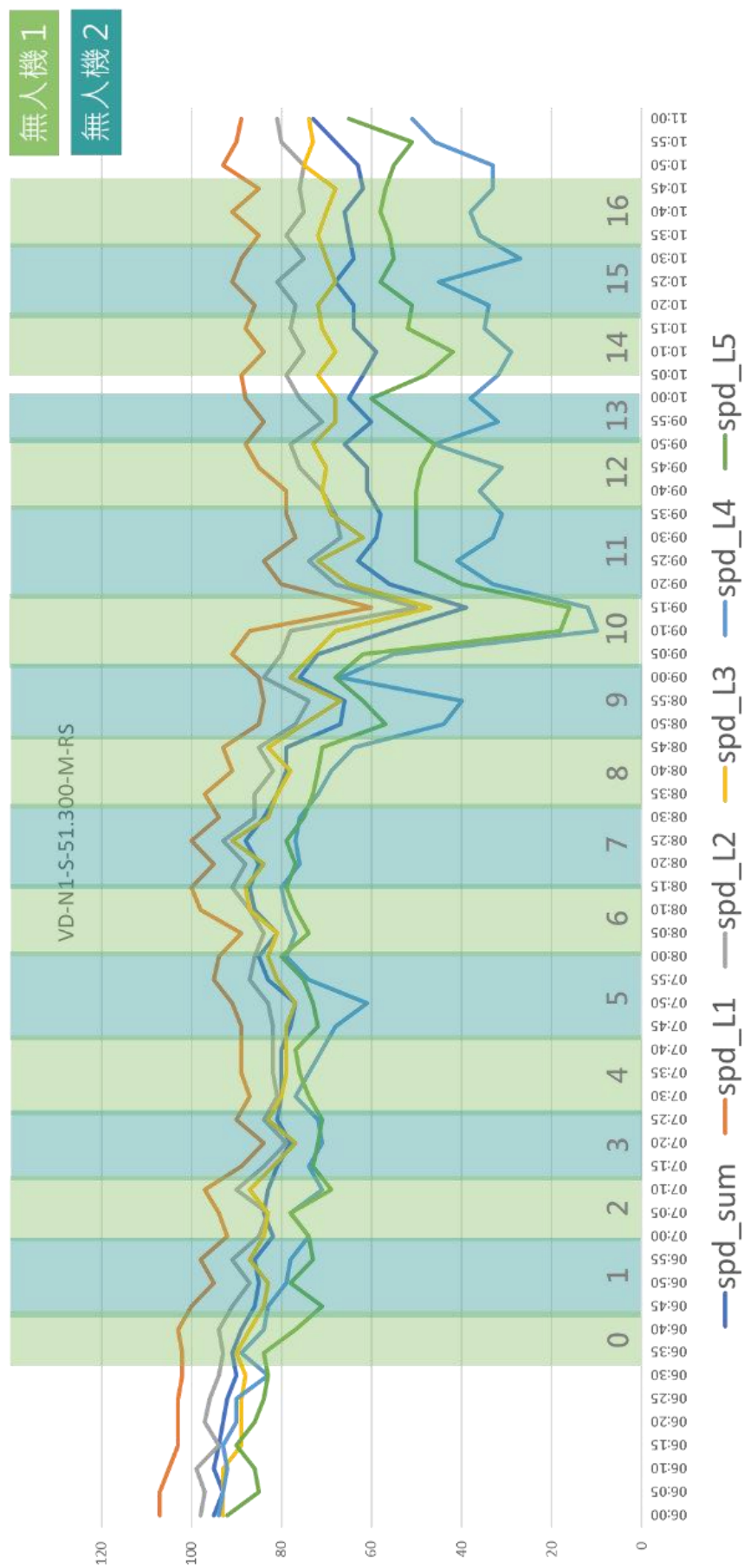


圖 3.2-16 國 1 南下桃園~機場系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照

3.3 車流特性資料整理方式

本節將說明由無人機空拍所蒐集的拍攝畫面中記錄車流軌跡資料以及資料整理的方式。本研究參考黃家耀等人(2020)採用電腦視覺方式，運用深度學習之影像辨識技術，分析無人機的空拍影像，萃取車流軌跡，推算觀測區域內各重要車流特性參數之方法，除了能提升現場調查暨資料整理之作業效率，更能補足資料收集項目的多樣性及準確性。

3.3.1 影像辨識及車流軌跡產出

影像辨識之處理程序可分為四個步驟，包括影片前處理、區域穩態、目標路段剪裁、分析車流軌跡等步驟，如圖 3.3-1 所示。車流軌跡影片紀錄每一台車輛的編號與當前幀 (Frame)，以及車輛於當前幀車身矩形框四點的 x 坐標與 y 坐標。接著將影像辨識結果之座標單位由像素(Pixel)轉為公尺 (Meter)進行資料同步，克服無人機各個架次坐標系統差異的狀況，以及透過曲線擬合 (Curve fitting)的方式，在各條車道線上選取數個坐標點位進行校估，能精確判斷每個時間點下車輛所在的車道，以利後續車流資料的計算與分析。(如圖 3.3-1)

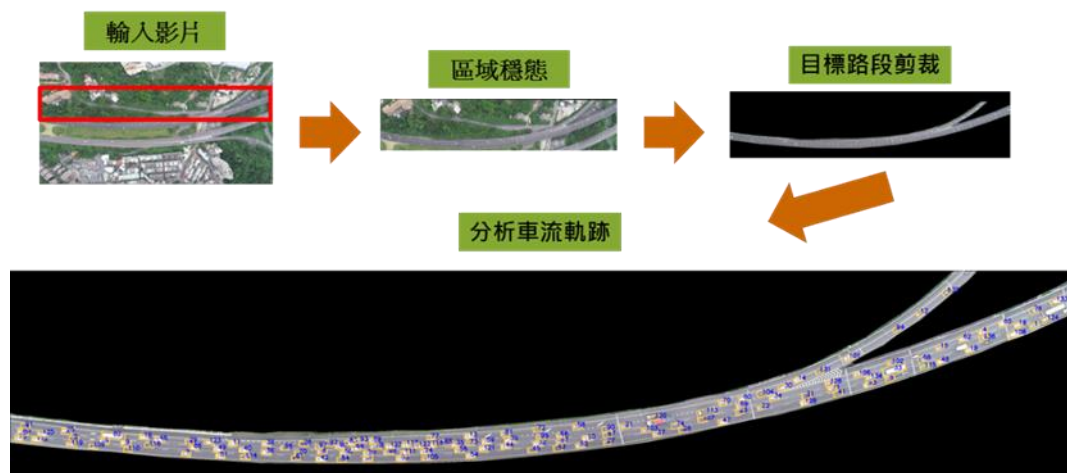


圖 3.3-1 影像辨識分析流程圖

經由上述影像辨識以及資料處理，可獲取調查範圍內每一輛車之車流軌跡，分析結果產製車流軌跡圖（如圖 3.3-2），將調查範圍內的車流演變進行視覺化。該圖中橫軸為時間每 0.1 秒，縱軸為空間每公尺，每一條線代表一台車從進入空拍畫面到離開的軌跡，此外在時空圖中斜率即代表速率，可參照右方的顏色條 (Color bar)，若速率低，所呈現之顏色會接近紅色；若速率快，所呈現之顏色會接近綠色，後續將依各調查地點說明之影像辨識結果以及軌跡資料的產出。

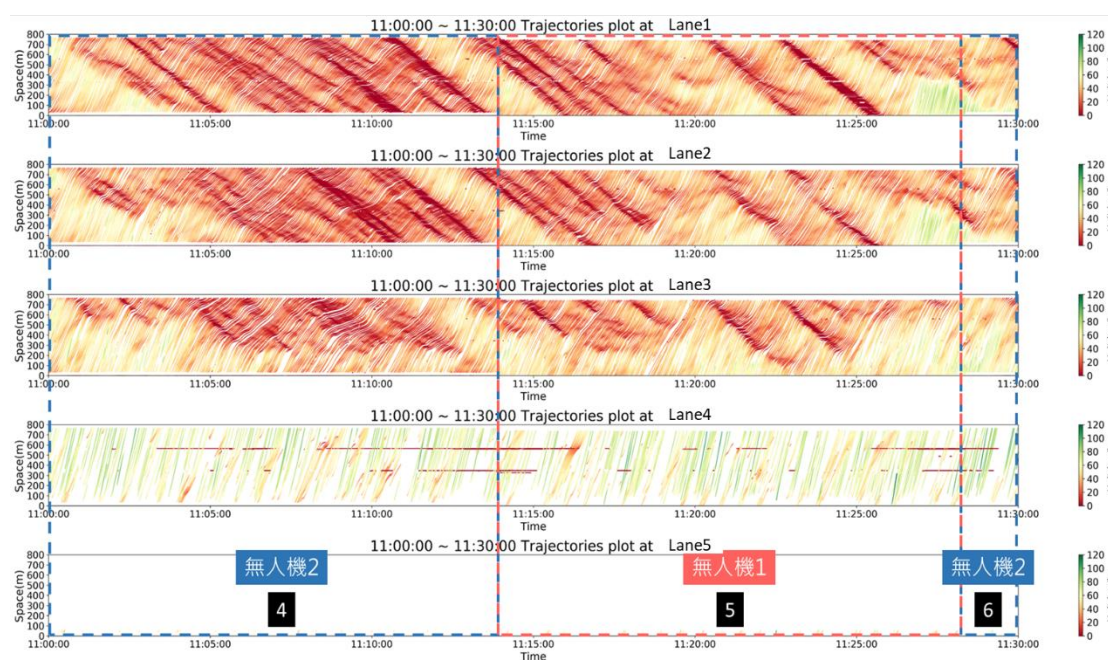


圖 3.3-2 接續拍攝之車流軌跡時空圖

3.3.2 車流特性分析方式說明

經由影像辨識以及後續資料處理流程，可得到調查範圍中車輛所行使之軌跡資料作為後續分析資料依據。本研究著之分析項目包括車流之巨觀特性以及微觀特性之計算，其中巨觀特性包括速率、流率與密度，而微觀特性則車道變換頻次等，以下詳細說明計算方法：

一、車流量

以每連續 1 分鐘為時段紀錄一筆數據，依據上述所劃分之斷面記

錄在該時段內通過各斷面的車流量，車流量的記錄以該車輛的車頭中心位置是否跨越界線為基準，以示意圖為例，設置兩條斷面「Flow_1」與「Flow_2」，該車輛於時間 $t+1$ 與 $t+i$ 通過斷面，計算所有車輛通過斷面的次數與時間，即可計算斷面流率。

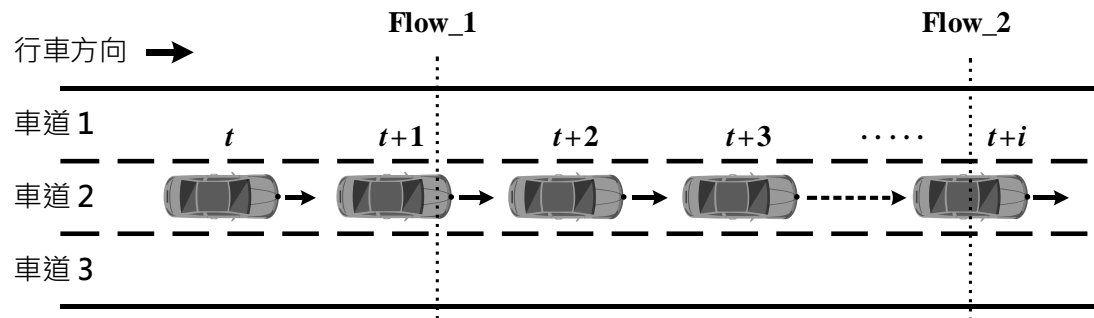


圖 3.3-3 車輛通過斷面判斷示意圖

二、車流密度、車流速率

根據上述資料同步所述，透過坐標轉換將所有的軌跡資料轉換為共同的影像基礎，坐標單位從像素轉為公尺，可使用於車輛位移與速率的計算。流量、速率與密度的計算將參考 Edie (1963) 提出的方式，公式如~所示：

$$k = \sum_{i=1}^n t_i / |S| \quad (3-1)$$

$$q = \sum_{i=1}^n x_i / |S| \quad (3-2)$$

$$u = q / k = \sum_{i=1}^n x_i / \sum_{i=1}^n t_i \quad (3-3)$$

其中， k 、 q 、 u 分別代表密度、流量與速率； S 為任意區域， $|S|$ 為區域 S 的面積； t_i 與 x_i 分別代表第 i 輛車行駛於區域 S 的時間與距離，概念如圖 3.3-4 所呈現。本研究區域 S 設定之空間維度為 50 公尺、時間維度為 1 分鐘。

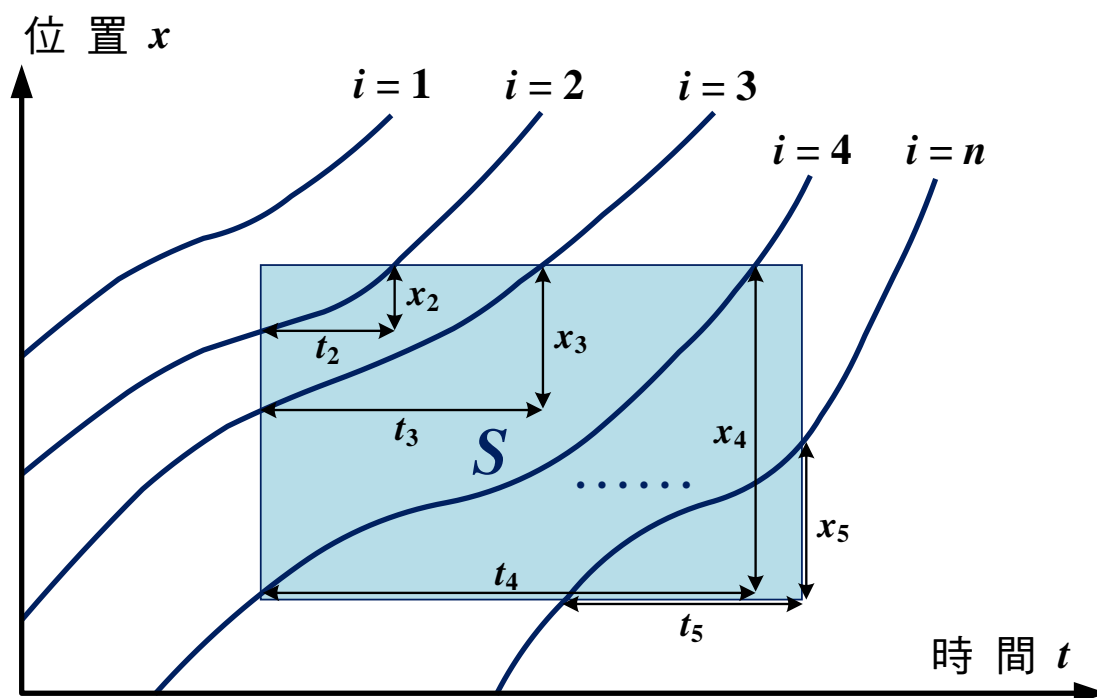


圖 3.3-4 時空圖測量方式

以下將針對國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側的調查資料，說明上述各車流特性的初步產出的結果。將車流軌跡資料運用公式~，並以 1 分鐘、50 公尺為時空維度，能計算出每一車道、每 1 分鐘、每 50 公尺網格內之流率、密度、速率，並繪製熱區圖如圖 3.3-5、圖 3.3-6、圖 3.3-7，進行視覺化呈現。原則上，每一網格的流率、密度、速率資料皆可視為一個巨觀車流特性的資料點，用於建立流率-密度-速率之關係。微觀軌跡資料有很大彈性，分析人員可自由設定網格的時空範圍大小，作為微觀資料轉換為巨觀資料的尺度區間，也可針對不同車道、交織路段的上中下游選取不同區間的資料進行巨觀車流模型及分析比較。

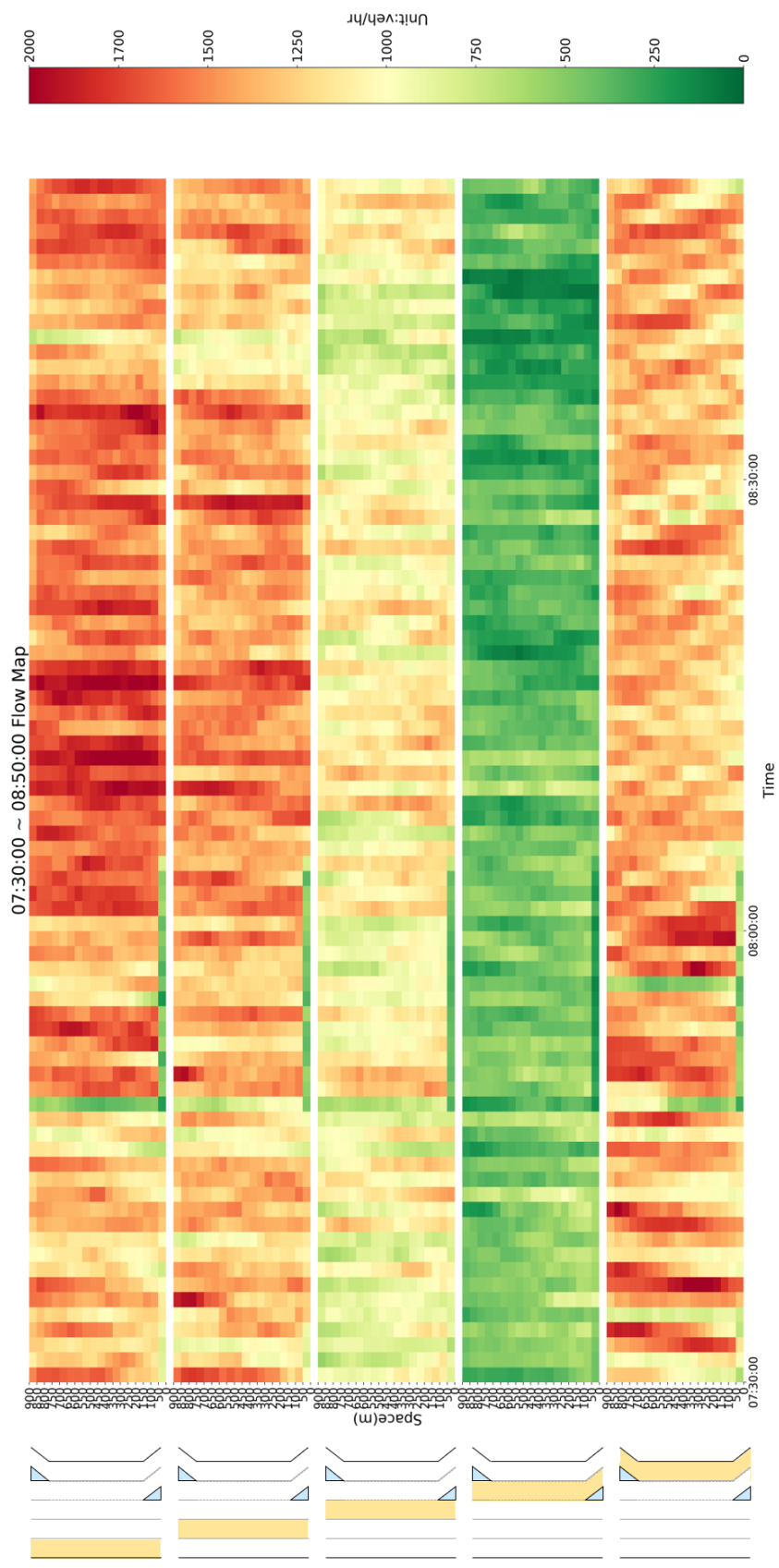


圖 3.3-5 國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側流率時空圖

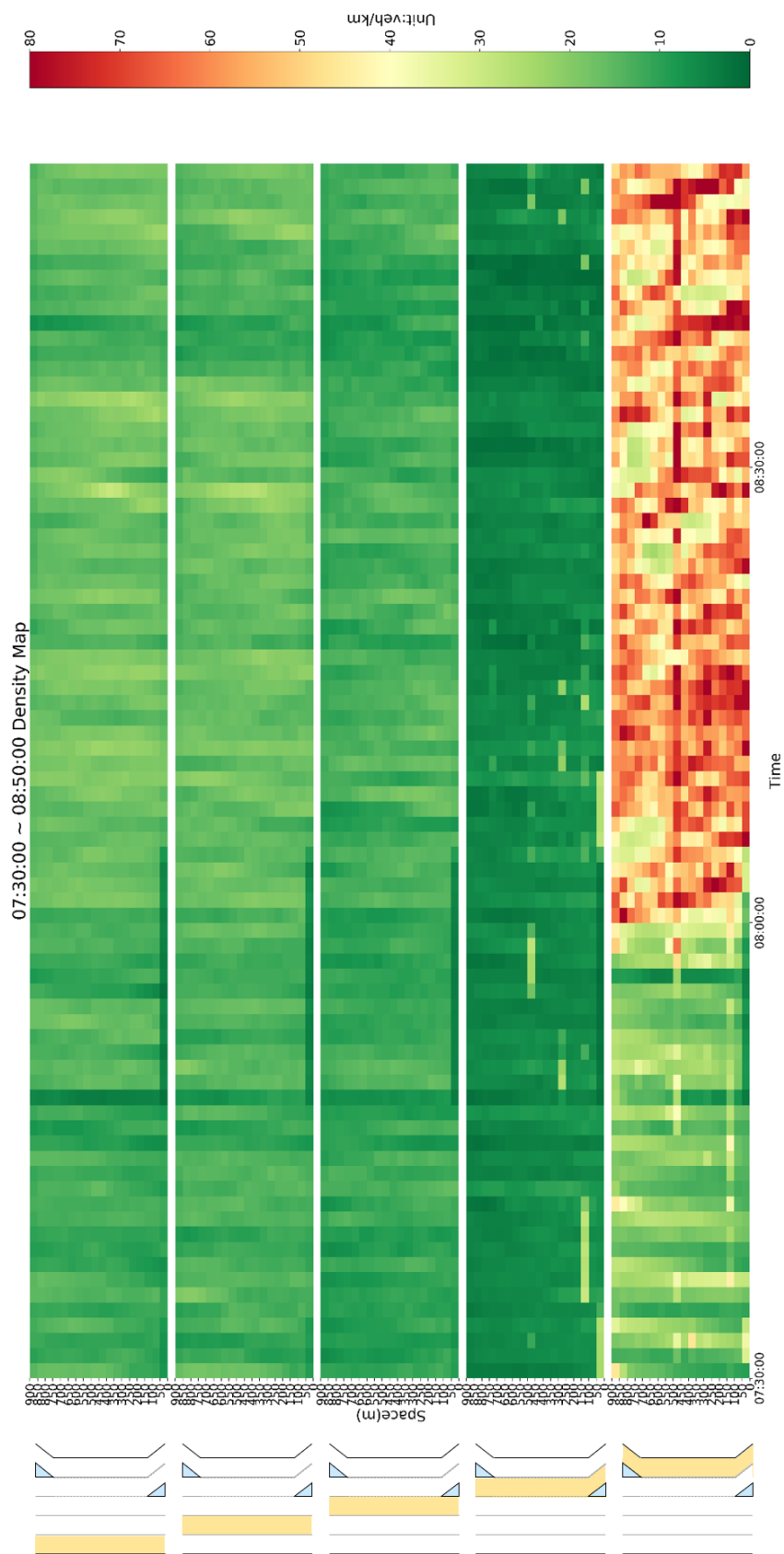


圖 3.3-6 國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側密度時空圖

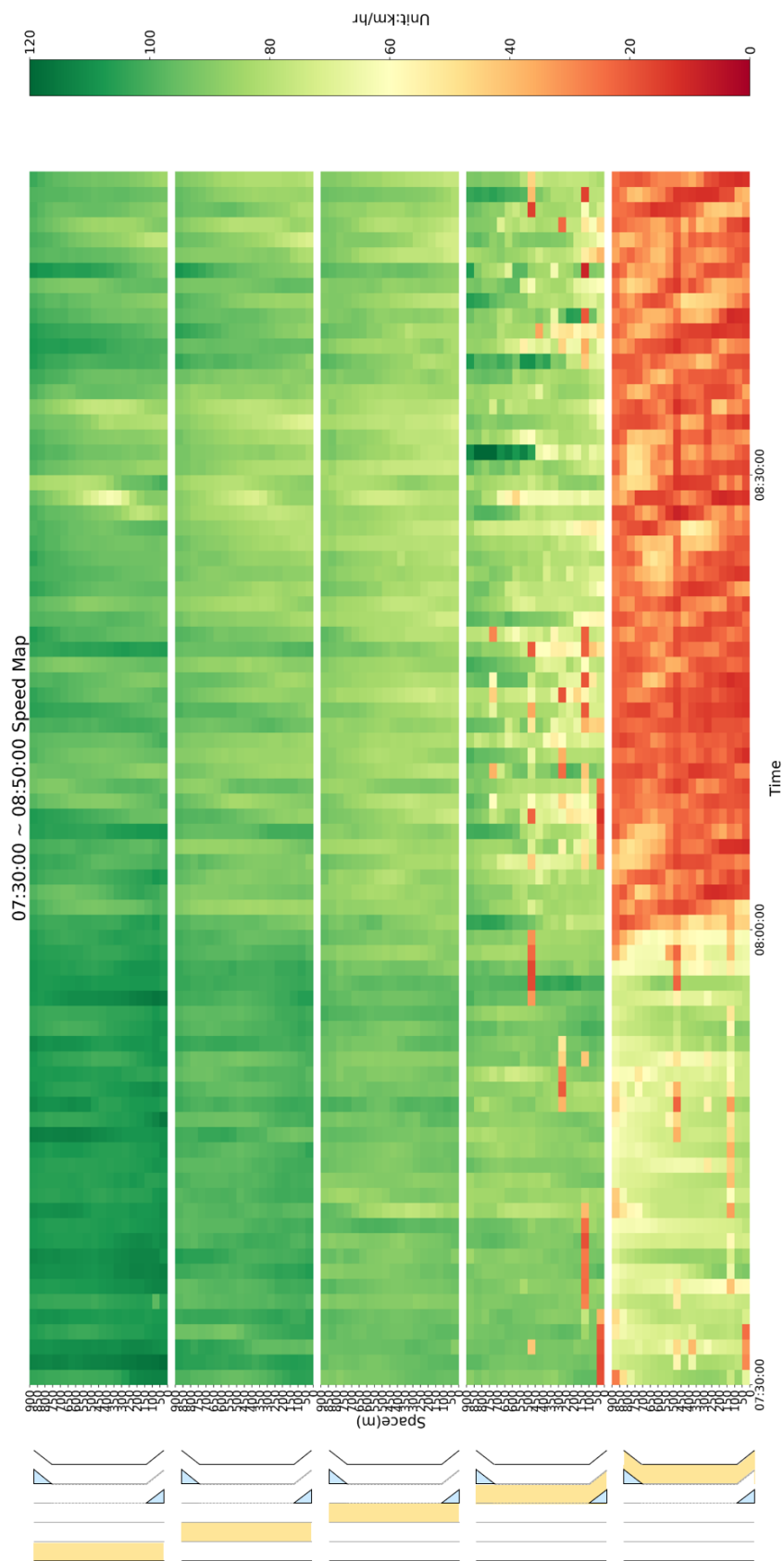


圖 3.3-7 國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側速率時空圖

三、車道變換

車道變換的判斷方式與流率相同，同樣以車輛的車頭中心位置是否跨越車道線為基準，以圖 3.3-8 為例，該車輛從車道 1 變換至車道 2，接著再從車道 2 變換至車道 3，連續追蹤車頭中心位置即可依序紀錄車輛所在的車道位置。

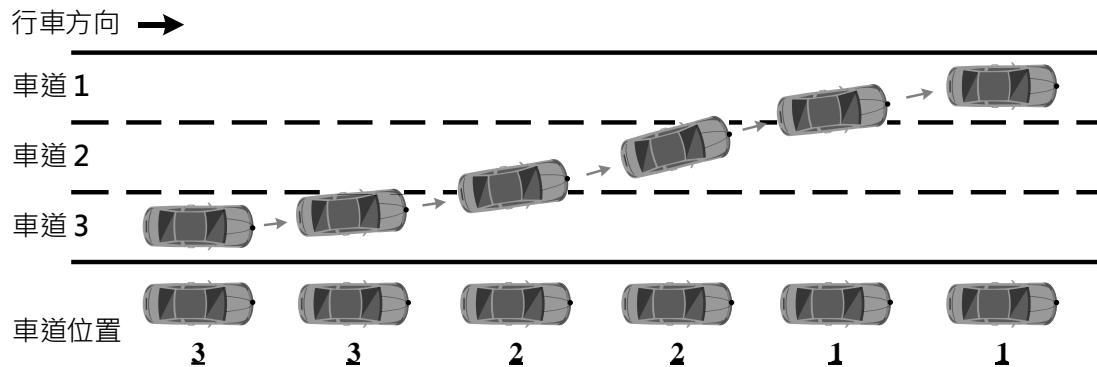


圖 3.3-8 車道變換判斷示意圖

依據前述之區間劃分記錄某時段內於各區間中，車道變換行為之發生次數，同樣以車頭中心位置作為判斷基準，可紀錄車輛車道變換的位置與頻次，若車道變換發生於定義外之區間則不記錄，如圖 3.3-9 所示。

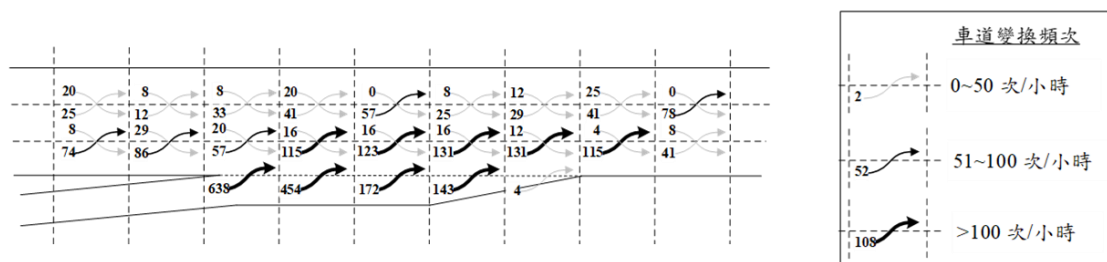


圖 3.3-9 車道變換頻次示意圖

3.3.3 斜拍路段之分析程序

本研究過去採用空拍正射方式錄影，並開發影像分析軟體，而本期計畫的其中一個調查地點國 1 北上高公局~五股，因屬空拍限航區且位於臺北松山機場進場降落航線上，飛行高度限制為 60 公尺，因此採用「斜拍」方式進行攝影，並以商業車流分析軟體服務 DataFromSky(下稱 DFS, <https://datafromsky.com/>)進行車流特性分析。由於研究團隊首次採用 DFS 軟體，需要對車流軌跡資料的品質進行檢核，因此提出以下的分析程序，共七個步驟，包含：1. 影片剪輯、2. 上傳平台進行影像辨識、3. 地理對位 (Georeference)、4. 繪製進出口與變換車道判斷線(Gate)、5. 檢查穩態是否異常、6. 人工檢核判斷線通過量、7. 車流特性分析，流程圖如所示。該軟體之使用是將影片進行簡單剪輯，去除無人機起飛降落時的影片，將符合車流分析的影片上傳至 DFS 之線上平台，待軌跡分析完畢後，下載至實驗室電腦 (PC) 進行地理對位及判斷線等設定，再輸出車流相關分析結果如流量、平均速率等資訊。其中，第 5 步驟之穩態異常是指 DFS 無法有效對有晃動之影像進行影片穩態，此狀況會導致無人機受風吹影響導致面偏移，進而導致判斷線(Gate)無法正計算通過車輛之狀況。而第 6 步驟判斷線通過異常狀況是指車輛在辨識過程可能有異常之抖動現象，在異常抖動時可能觸及到繪製之判斷線，導致該判斷線被高估之現象。經以上程序確認該影片無誤後，可再進行車流特性分析，並藉由 Data From Sky 軟體內繪製的判斷線輸出車流特性資料。

本調查地點在飛行高度 60 公尺斜拍情況下，拍攝範圍約可達 450 公尺，涵蓋本次調查之國 1 北上高公局-五股交織路段，但影像畫面遠端（路段末端）之車輛影像較小，斜拍方式會導致畫面遠端小車遭到大車或門架遮蔽 (Occlusion)，導致軌跡不完整。在車流均質的情況下，一段時間內上游通過總量應等於下游通過總量；當車流密度上升中，上游通過總量應會大於下游通過總量，因此進行上下游之通過總量及平均速率進行檢查，以下說明本研究資料品質的檢核方式：

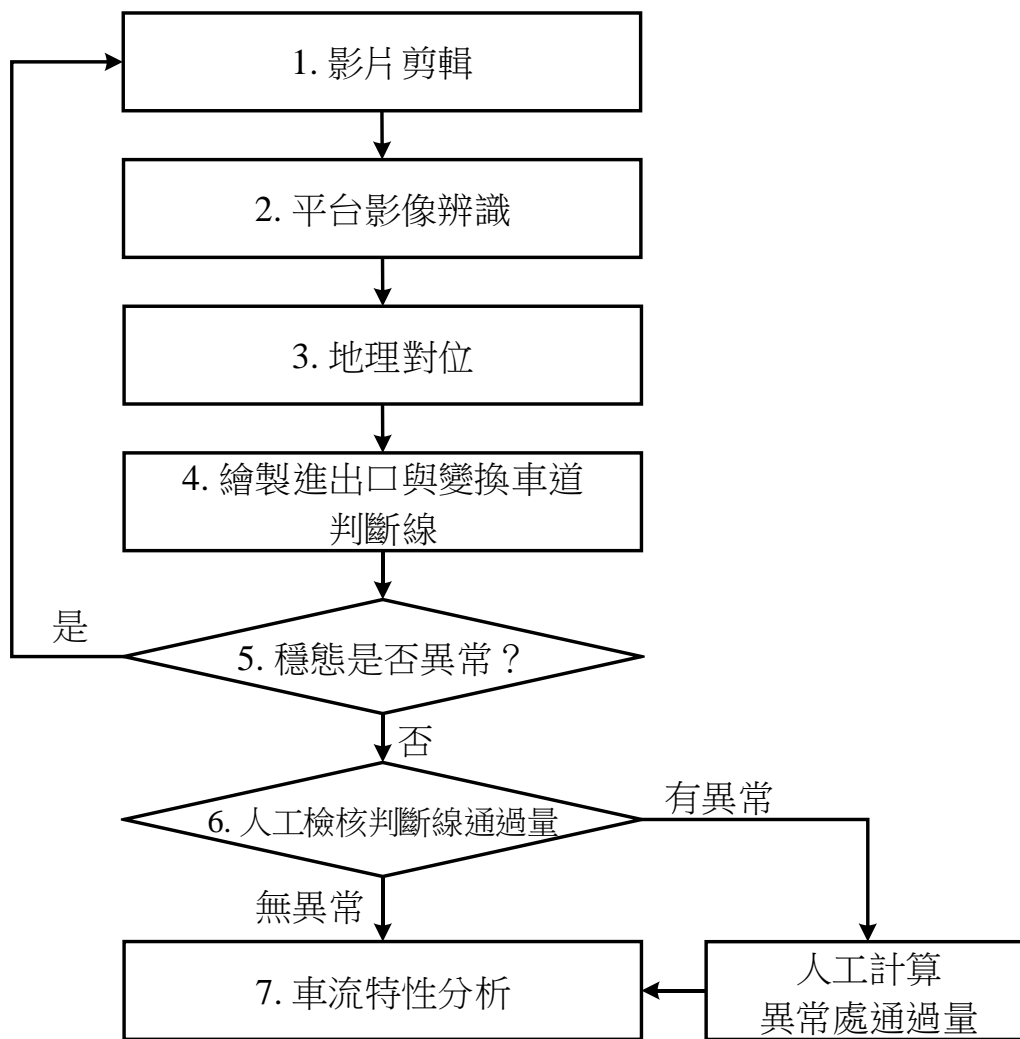


圖 3.3-10 DataFromSky 車流特性分析流程圖

七、上下游通過量檢核：

目前已分析之影片趟次上下游通過量檢核如表 3.3-1 所示，上游通過量為主線上游及進行匝道之車流量加總、下游通過量為主線下游及出口匝道之車流量加總。其中，影片 01 因後半部穩態異常，故採用影片前 12 分 52 秒之正常區間；影片 03 因無人機於拍攝過程中因通訊異常自動返航導致影片中間有錯誤，因此切分為 03a 與 03b 兩部影片；影片 5 因穩態異常，未納入分析。

從表中結果可看出，在自由車流情況下，上下游通過量之差異較小（影片編號 00，差異為 1%），可說明 DFS 在車流量估算有相當高的準確度。當車流密度增加，上下游通過量差異上升，符合車流理論

中流量守恆及及流量密度之關係，整體而言，其差異範圍約在 1%~12% 之間。另外，分析過程中發現當車流量上升或大型車比例提升時，遮蔽問題將隨之增加，也可能會導致上下游通過量差異上升，因此可觀察表 3.3-1 之主線上游與進口匝道加總之車輛數皆大於主線下游與出口匝道加總之車輛數。在車流總量的計算上，本研究將採用主線上游及進口匝道之總量為準。

表 3.3-1 Data From Sky 上下游通過量檢核表

影片編號	時間長度	主線上游 (車輛數) (a)	進口匝道 (車輛數) (b)	主線下游 (車輛數) (c)	出口匝道 (車輛數) (d)	上下游差異 (車輛數) (a)+(b)-(c)-(d)
00	19 分 28 秒	3,209	144	2,411	809	133 (1%)
01	12 分 52 秒	1,945	105	1,322	472	256 (8%)
02	21 分 21 秒	3,132	287	2,280	889	250 (7%)
03a	02 分 17 秒	321	34	222	111	22 (6%)
03b	06 分 01 秒	768	85	540	233	80 (9%)
04	22 分 22 秒	2,808	301	1,878	922	309 (10%)
05	19 分 34 秒	-	-	-	-	穩態異常
06	22 分 15 秒	2,518	260	1,759	681	338 (12%)

八、速率正確性檢核：

在車流狀況不壅塞的情況下，車輛之車速應不會發生劇烈改變。為確認軌跡不會因斜拍之地理對位導致變形，透過 DFS 軟體內點選單一車輛了解速率-空間(V-X)圖以抽樣方式進行檢核，同時可觀察斜拍情況下之軌跡有效範圍。圖 3.3-11 及圖 3.3-12 為各車道抽樣速率-空間(V-X)圖，其中縱軸單位為速度(公里/小時)、橫軸單位為距離(公尺)，各圖內垂直於橫軸的淺綠線為進口判斷線(Gate，劃設於交織區上游鼻端處)、藍線為 VD 檢驗判斷線、紅線為通過出口判斷線(Gate，劃設於交織區下游鼻端處)，橫軸為車輛行駛於交織路段之速度。

本研究將出口判斷線分別劃設於交織區 350 公尺處與 450 公尺處，可觀察到車輛於交織區上下游鼻端處的區間內，車輛速度大多穩定具參考性。惟越靠近影片遠端與 450 公尺處，車流軌跡易有急速上升/下降之狀況，考量分析結果之正確性與穩定性，本研究採用 350 公尺處作為出口判斷線(圖 3.3-13)，並進行車道四股車流分析之區間。

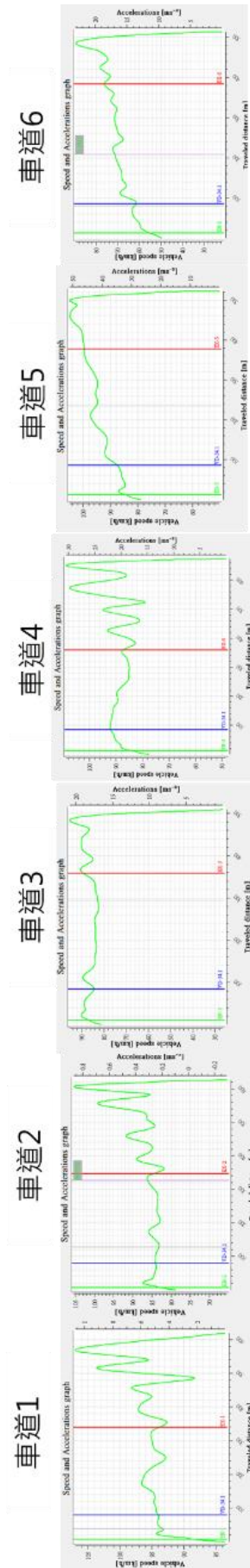


圖 3.3-11 抽樣之 Data From Sky 速率-空間(V-X)圖(劃設於 350m 處)

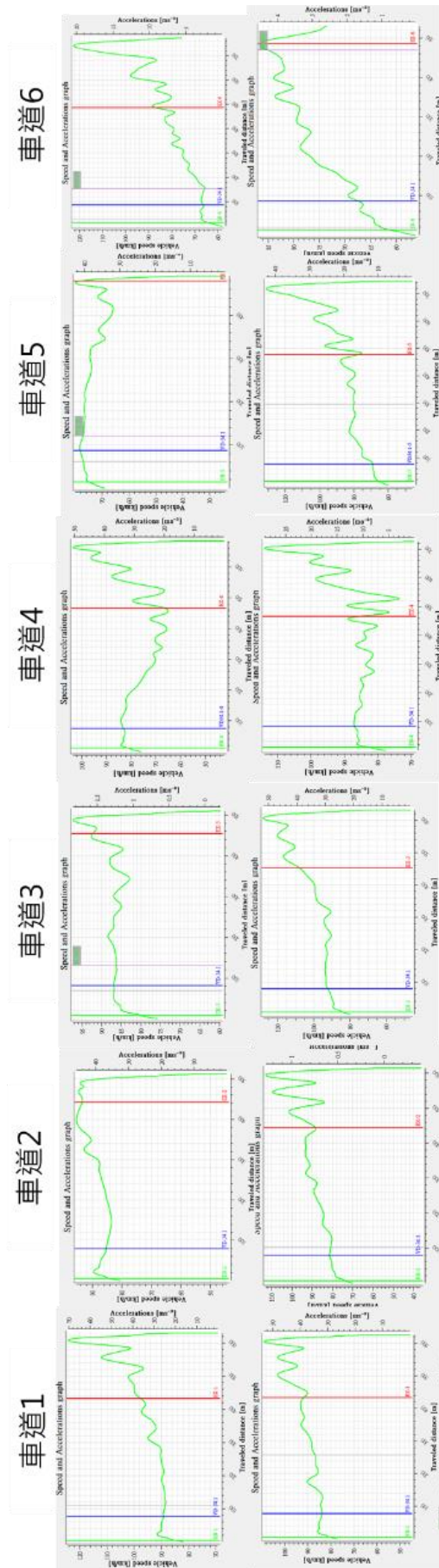


圖 3.3-12 抽樣之 Data From Sky 速率-空間(V-X)圖(劃設於 450m 處)

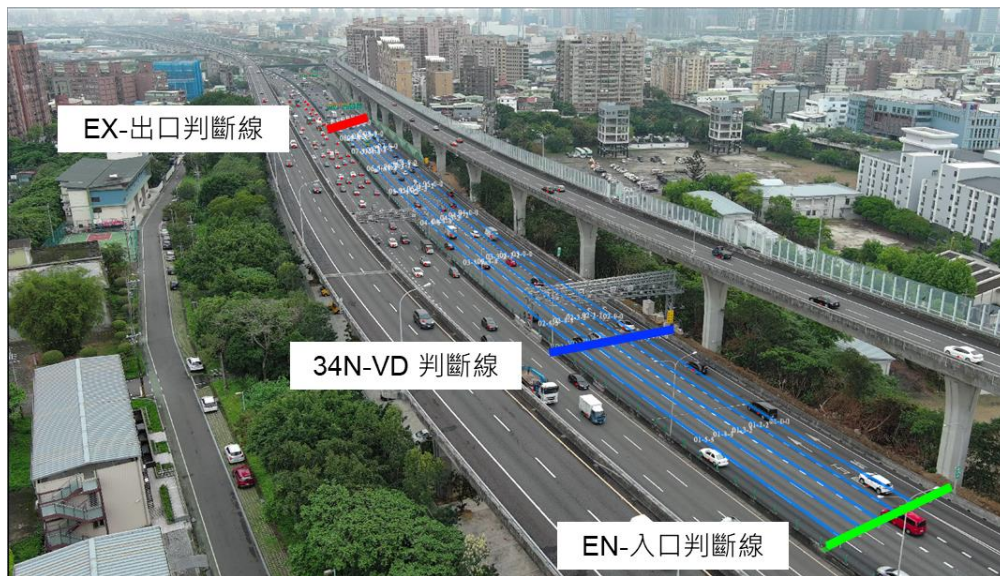


圖 3.3-13 Data From Sky 判斷線示意圖

九、偵測器資料檢核：

為檢核 DataFromSky 辨識之車流量及速率之正確性，本研究將該軟體內約 10 分鐘的軌跡資料所產生之通過量及速率，與相同地點及時段之 VD 偵測器資料進行比對，比對結果如表 3.3-2 所示。整理而言，通過總量之差異約為 2.2%、及車道平均速率之差異約為 2.0%，兩個資料來源的車流特性結果相近，DFS 之結果應屬可靠。另外，表中個別車道的差異較大，如車道 5 (Lane-5) 中 DFS 與 VD 之通過量差異達 96 輛車，經過人工檢核後並未發現 DFS 有明顯誤判車道別之狀況，推測可能是車輛影像遮蔽或 VD 資料來源等原因。

表 3.3-2 Data From Sky 數據與偵測器資料比對表

偵測器資料檢核								
		Lane-1	Lane-2	Lane-3	Lane-4	Lane-5	Lane-6	SUM
車輛數 (veh/車道)	VD	729	618	516	664	612	192	3331
	DFS	741	611	538	644	516	214	3264
		Lane-1	Lane-2	Lane-3	Lane-4	Lane-5	Lane-6	AVG
速度 (km/hr)	VD	91.52	87.81	82.48	76.14	73.52	70.05	80.25
	DFS	88	85.43	82.37	77.24	69.74	68.36	78.52

3.4 車流特性資料分析

本節將說明四處調查地點之車流特性分析結果，由於各處調查地點之調查技術不一，且有不同之幾何與車流特性，因此各地點分析項目不一，整理各地點分析項目如下表 3.4-1 所示。

表 3.4-1 各地點分析項目表

分析項目	調查地點 1 國 1 北上高 公局~五股	調查地點 2 國 3 南下霧 峰~霧峰系統	調查地點 3 國 1 南下中 壢服務區~內 壢	調查地點 4 國 1 南下桃 園~機場系統
速率、流率與密度關係	✓	✓	✓	✓
上游起點至下游終點之 統計、平均車速	✓			
四股車流流率	✓	✓	✓	✓
四股車流速率	✓	✓	✓	✓
四股車流變換車道頻次	✓	✓	✓	✓
交織車流之車道變換位 置分布	✓	✓	✓	✓
違規行為次數及比例		✓		

3.4.1 調查地點 1：國 1 北上高公局~五股

國 1 北上高公局~五股交織路段是透過 Data From Sky 軟體完成影像軌跡辨識再進行車流特性分析。該交織路段長度為 450 公尺，空拍涵蓋上下游調查範圍，拍攝畫面中交織路段長度約為 450 公尺，此交織路段共有 6 車道，主線上游為 5 車道、進口匝道為 1 車道、主線下游為 4 車道、出口匝道 2 車道，幾何配置如圖 3.4-1 所示。本調查地點因為是以 Data From Sky 進行影像辨識，因此部分的分析輸出結果與分析項目會與調查地點 2~4 略有不同。調查地點 1 會分析：速率、流率與密度之關係、再依照不同車流狀態分析車輛上游起點至下

游終點之統計、平均車速、四股車流流率、四股車流速率與四股車流變換車道頻次，最後再分析交織車流之車道變換位置分布。不同車流狀態示意圖如圖 3.4-2。

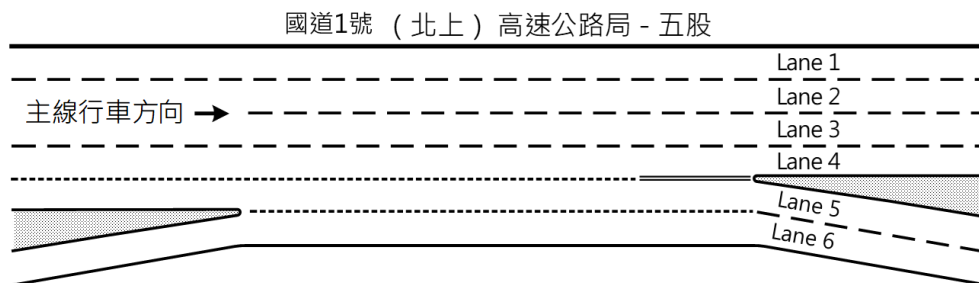


圖 3.4-1 國 1 北上高公局~五股交織路段幾何配置圖





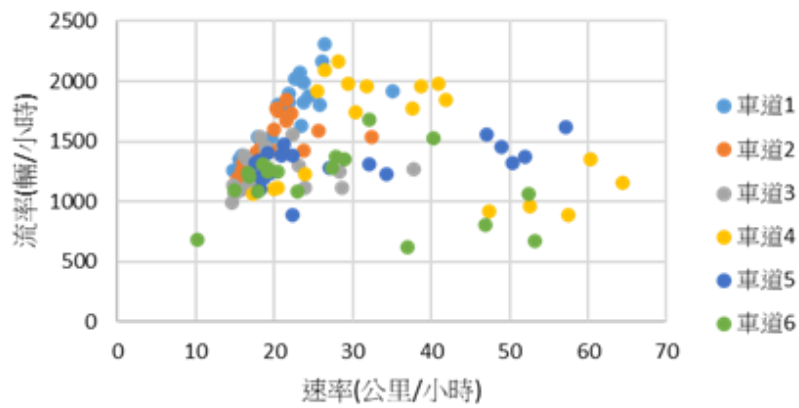
圖 3.4-2 國 1 北上高公局~五股交織路段不同車流狀態示意圖

圖 3.4-3 顯示了國 1 北上高公局-五股交織路段速率、流率與密度之關係，其中圖 3.4-3 (a)至(c)為各車道之關係圖為車輛經過交織區第 200 公尺處之速率、流率與密度關係，將資料由 1 分鐘滾動 5 分鐘後取第五分鐘倍數之資料。由圖中觀察出該地點之各車道之資料範圍有明顯差異，車道 1、車道 2 與調查時間內並未發生壅塞，其最大通過流率可達 2,000 輛/小時以上，車道 3~車道 6 皆有進入壅塞，而車道 6 之流率明顯較其他車道低，最高值不高於 1,600 輛/小時，在相同的速率之下，也相較其餘車道有較低的流率。另外，車道 3~6 之流率-速率-密度關係，與理論之圖形不盡相同，例如車道 4 (黃點)、車道 5 (藍點)及車道 6 (綠點)有兩個不連繫的曲線，在速率 20 至 40 kph 處有密度在 35 至 65 veh/km 之資料點與在非壅塞狀態下的資料點不連貫，推測是外側車道及輔助車道是交織行為最多的車道，而交織行為會導致流率、速率、密度難以正確估算方式。

而圖 3.4-3 (d)至(f)為將 6 個車道進行加權平均，流率加權平均為總流率除車道數，速率則以車道流率為權重，分母為各車道之加總。並以 1 分鐘滾動 5 分鐘後之所有資料呈現，V-K 圖較符合理論曲線，而 Q-V 圖、Q-K 圖中可看出明顯有兩個不連續的曲線，推測原因為在壅塞狀態下，僅車道 3~6 進入壅塞，車道 1~2 之速率仍維持在 65 kph 以上，導致車道平均之速率較高、密度較低，並非全部車道進入壅塞後之狀態。說明在交織路段之內側車道、外側車道車流狀態不一

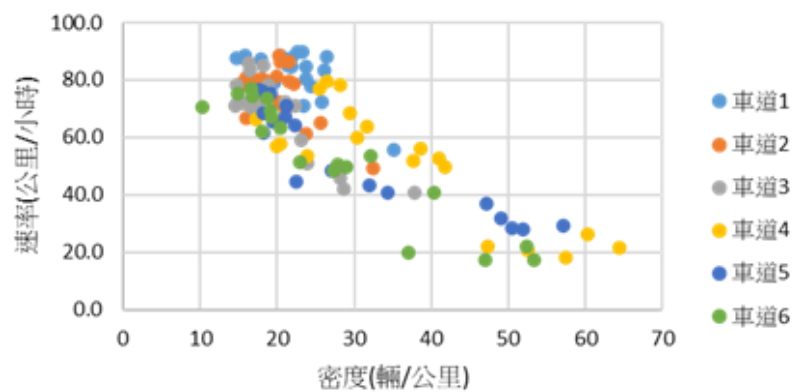
致時，可能不能直接將斷面資料之流率-速率-密度關係套用傳統之巨觀交通流模型。

國1北上 高公局-五股交織路段Q-K圖



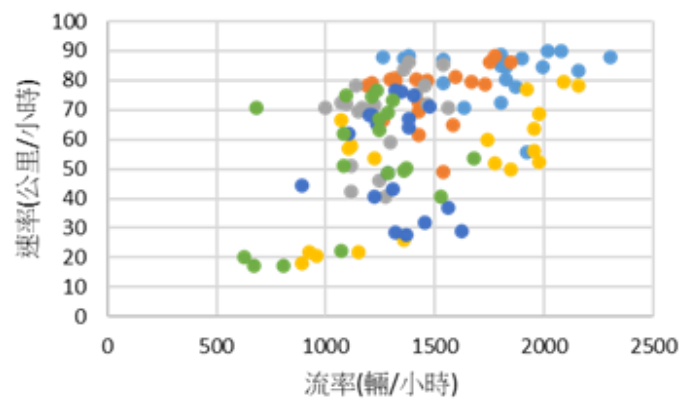
(a) 各車道 Q-K 圖

國1北上 高公局-五股交織路段V-K圖



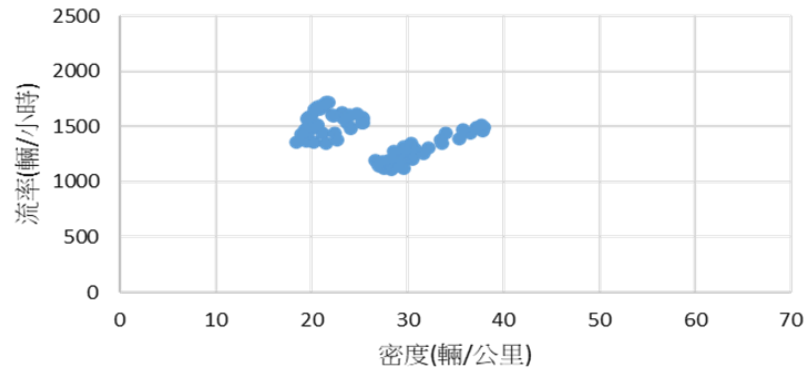
(b) 各車道 V-K 圖

國1北上 高公局-五股交織路段V-Q圖



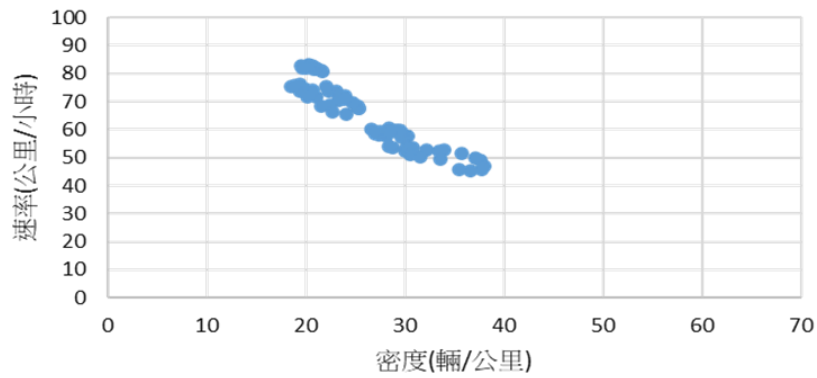
(c) 各車道 V-Q 圖

國1北上 高公局-五股交織路段Q-K圖



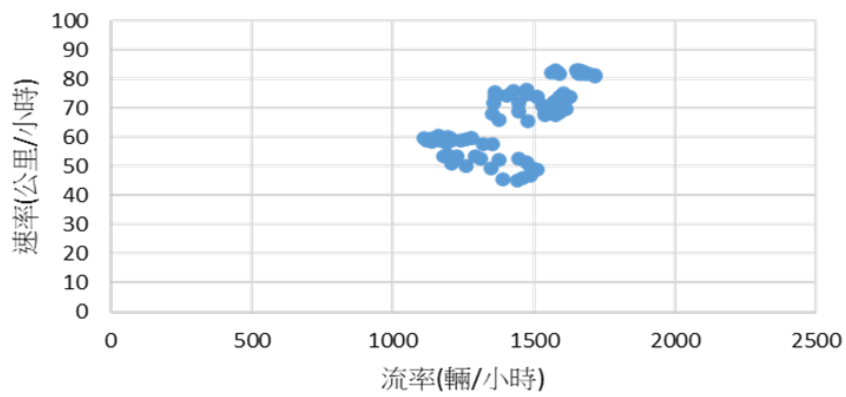
(d) 車道平均 Q-K 圖

國1北上 高公局-五股交織路段V-K圖



(e) 車道平均 V-K 圖

國1北上 高公局-五股交織路段V-Q圖



(f) 車道平均 V-Q 圖

圖 3.4-3 國 1 北上高公局~五股交織路段速率、流率與密度之關係圖

V_{FF} (主線至主線流率)、 V_{FR} (主線至匝道流率)、 V_{RF} (匝道至主線流率)、 V_{RR} (匝道至匝道流率) 為交織路段上的 4 股車流，根據每一車輛軌跡之起訖點可分類至上述 4 種類型。目前已透過 Data From Sky 影像辨識之車流軌跡動態資料之影片趟次中，經計算約有 64~89% 之車輛可完整追蹤車輛進入畫面至離開之軌跡不中斷，可以被分類出車流交織類型；而影響完整追蹤率主要受車輛多寡影響，在飛行高度 60 公尺斜拍情況下，觀察範圍約可達 450 公尺，但影像遠端（路段末端）之車輛影像較小，大型車輛及高速公路告示牌容易造成車流遮蔽，因此當車流密度上升時，軌跡完整度會下降，且該軌跡為軟體使用者無法補救或調整之項目。

在探討以下的四股交織車流量、四股交織車流之平均速率及車道變換頻次中，按照當天車流狀態的演變，將資料分為三個狀態：壅塞前（影片 0-2）、非壅塞進入壅塞（影片 3）、以及壅塞後（影片 4 與 6），作為車流情況的比較。

表 3.4-2 為車流未壅塞、車流由非壅塞進入壅塞及車流已壅塞之三種狀態下，交織區上游至下游可被完整追蹤軌跡資料的起點終點統計表，依據車輛進入畫面通過進口判斷線與通過出口判斷線進行計算，表中之 EN 為某車道進口判斷線，EX 為某車道出口判斷線。亦可由此表格再計算，在車流未壅塞狀態時 V_{FF} (7085 輛 73%)、 V_{FR} (2164 輛 22%)、 V_{RF} (98 輛 1%) 及 V_{RR} (393 輛 4%)；在車流由非壅塞進入壅塞之狀態下 V_{FF} (5938 輛 68%)、 V_{FR} (1921 輛 22%)、 V_{RF} (87 輛 1%) 及 V_{RR} (786 輛 9%)；車流已壅塞之狀態下 V_{FF} (5621 輛 71%)、 V_{FR} (1742 輛 22%)、 V_{RF} (79 輛 1%) 及 V_{RR} (475 輛 6%)。在三種車流狀態下， V_{FR} 與 V_{RF} 之比例皆接近，而 V_{FF} 與 V_{RR} 之比例則隨車流狀態的變化，有些微上升或下降。

表 3.4-2 不同車流狀態下車輛上游起點至下游終點統計表

非壅塞(veh/hr)							
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6	SUM
EN-1	1,976	124	22	4	0	0	2,126
EN-2	98	1,433	190	40	1	0	1,762
EN-3	7	203	982	338	20	2	1,552
EN-4	0	6	51	1,550	162	35	1,803
EN-5	0	0	1	1	1,186	751	1,939
EN-6	0	9	63	48	29	406	555
SUM	2,082	1,775	1,310	1,981	1,397	1,194	9,738

進入壅塞(veh/hr)							
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6	SUM
EN-1	1,916	151	0	0	0	0	2,067
EN-2	143	1,283	285	0	0	0	1,711
EN-3	18	134	936	276	27	0	1,390
EN-4	0	0	0	784	241	71	1,096
EN-5	0	0	18	1,078	535	0	1,631
EN-6	0	9	27	36	62	704	838
SUM	2,076	1,577	1,248	1,114	1,408	1,310	8,733

壅塞後(veh/hr)							
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6	SUM
EN-1	1,736	191	77	13	0	0	2,017
EN-2	69	1,322	379	105	10	4	1,889
EN-3	4	50	668	582	101	25	1,431
EN-4	0	2	13	423	423	109	970
EN-5	0	0	0	2	662	417	1,081
EN-6	0	13	57	25	36	400	530
SUM	1,810	1,577	1,194	1,150	1,232	955	7,917

表 3.4-3 為不同車流狀態下，可被完整追蹤之車輛由交織區上游至下游之平均車速，並可由此表 3.4-4 之資訊進而計算四股交織車流之平均速率。四股車流中，主線-主線車流於三種階段之平均車速皆維持在時速 60 公里/小時以上，除了至下游第 4 車道的車流量較高導致壅塞回堵外，其餘車道之車速皆維持在較高之速度。而主線-匝道、匝

道-匝道之車流皆隨著車流狀態進入壅塞及壅塞後逐漸下降，匝道-主線之車流也隨著車流狀態進入壅塞及壅塞後逐漸下降，然而該股車流於進入壅塞階段與壅塞後階段會受出口匝道車流與壅塞回堵車流影響以致於速度降低幅度更高。表 3.4-5 為不同車流狀態下，四股交織車流流率(veh/hr)，該表為透過進口判斷線偵測到之通過車輛數與先前提及之四股車流交織比例相乘，再換算為單位小時之流率通過量。

表 3.4-6 為不同車流狀態下，可被完整追蹤之車輛由交織區上游至下游之變換車道頻次，該頻次計算假設車輛只會往左或往右變換車道，未考慮車輛往左/往右頻繁切或激進變換車道之情況。可觀察不同股車流之變換車道頻次(LCR)， LCR_{FF} 、 LCR_{FR} 與 LCR_{RR} 皆有隨著車流狀態趨於壅塞而略為增加，而 LCR_{RF} 之變換車道頻次皆大於 2 是因該交織區幾何特性，導致該股車流至少需變換兩次車道才可以進入主線。

表 3.4-3 不同車流狀態下車輛上游起點至下游終點平均車速

壅塞前 (km/hr)						
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6
EN-1	90.9	93.2	84.4	71.6	-	-
EN-2	91.2	84.5	80.2	73.1	-	-
EN-3	89.8	83.0	77.1	66.8	67.3	64.1
EN-4	-	70.8	68.6	60.9	65.5	69.7
EN-5	-	-	-	61.8	64.1	64.3
EN-6	-	61.5	60.1	51.9	64.5	62.5

進入壅塞 (km/hr)						
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6
EN-1	83.1	89.4	-	-	-	-
EN-2	77.5	76.9	75.2	-	-	-
EN-3	68.8	76.6	65.3	48.4	50.6	-
EN-4	-	-	-	38.6	43.8	45.1
EN-5	-	-	-	15.2	43.6	45.0
EN-6	-	28.1	21.7	32.2	50.8	44.5

壅塞後 (km/hr)						
	EX-1	EX-2	EX-3	EX-4	EX-5	EX-6
EN-1	84.1	82.5	76.7	79.9	-	-
EN-2	80.5	71.5	67.0	51.0	35.0	23.5
EN-3	77.3	63.1	53.0	41.7	35.0	27.8
EN-4	-	42.4	53.0	31.5	29.7	25.5
EN-5	-	-	-	19.5	27.8	27.5
EN-6	-	29.7	31.9	23.8	30.4	26.7

表 3.4-4 不同車流狀態下四股車流流率(veh/hr)

車流交織類型	壅塞前	進入壅塞	壅塞後
V_{FF}	8,671	5,938	5,621
V_{FR}	2,649	1,921	1,742
V_{RF}	120	87	79
V_{RR}	482	786	475
加總	11,922	8,732	7,917
車道平均	1,987	1,455	1,320

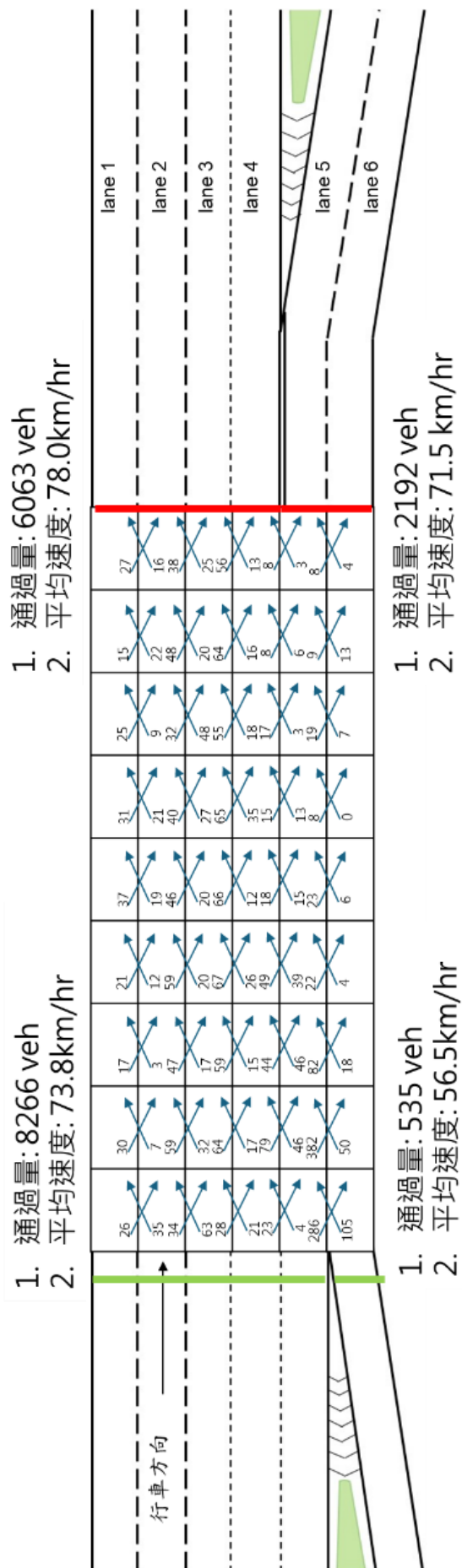
表 3.4-5 不同車流狀態下四股車流之平均速率(kph)

車流交織類型	壅塞前	進入壅塞	壅塞後
V_{FF}	78.0	65.0	60.9
V_{FR}	57.8	45.7	29.0
V_{RF}	65.8	27.4	28.5
V_{RR}	63.5	46.4	28.5
平均	66.3	46.4	36.7

表 3.4-6 不同車流狀態下四股車流之變換車道頻次

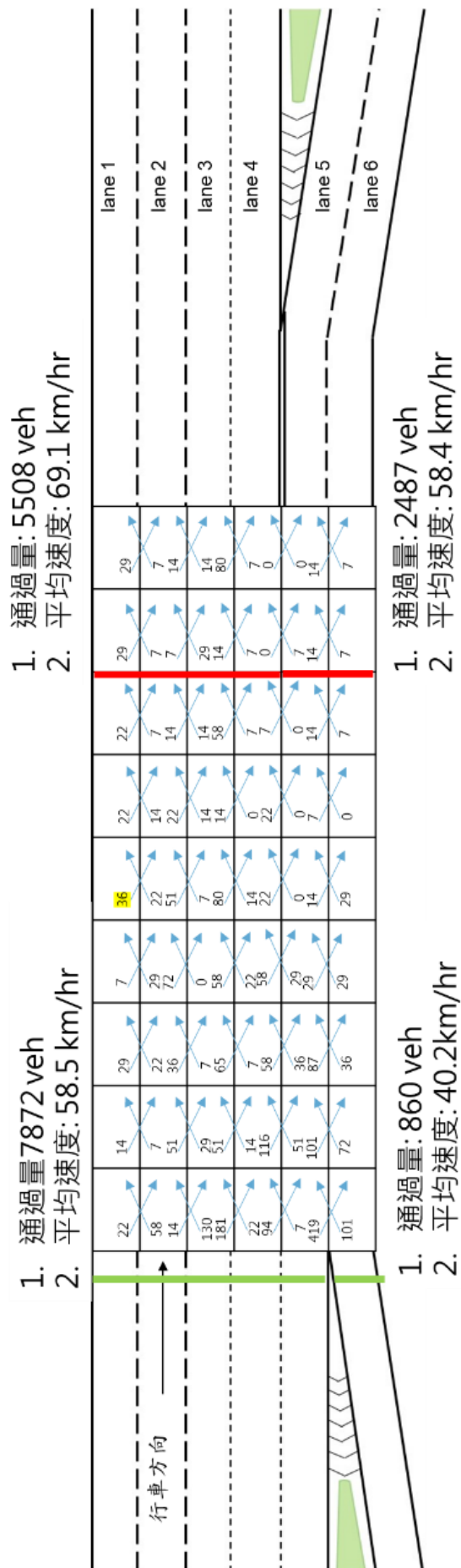
車流交織類型	壅塞前	進入壅塞	壅塞後
LCR_{FF}	0.17	0.18	0.30
LCR_{FR}	0.48	0.50	0.79
LCR_{RF}	2.67	2.63	2.87
LCR_{RR}	0.07	0.08	0.08

圖 3.4-4 中(a)至(c)為不同車流狀態下的變換車道頻次圖，該圖以每 50 公尺為一區間，計算車輛在各區間之變換車道次數，其中綠線處與紅線處分別為進口與出口判斷線(Gate)，用於檢視車輛通過交織路段上游與下游之通過量及速度。可由該圖觀察出於各階段皆為下游車速高於上游車速，該現象推測是受到幾何與交織車輛大多於交織上游進行交織行為之影響。而在變換車道頻次方面，可發現各階段之車流狀況在交織路段上游之變換車道次數較高，顯示駕駛大多傾向於上游處先匯入主線或匯出輔助車道，此駕駛行為推測是駕駛若未依規定排隊則無法進入出口匝道所致。



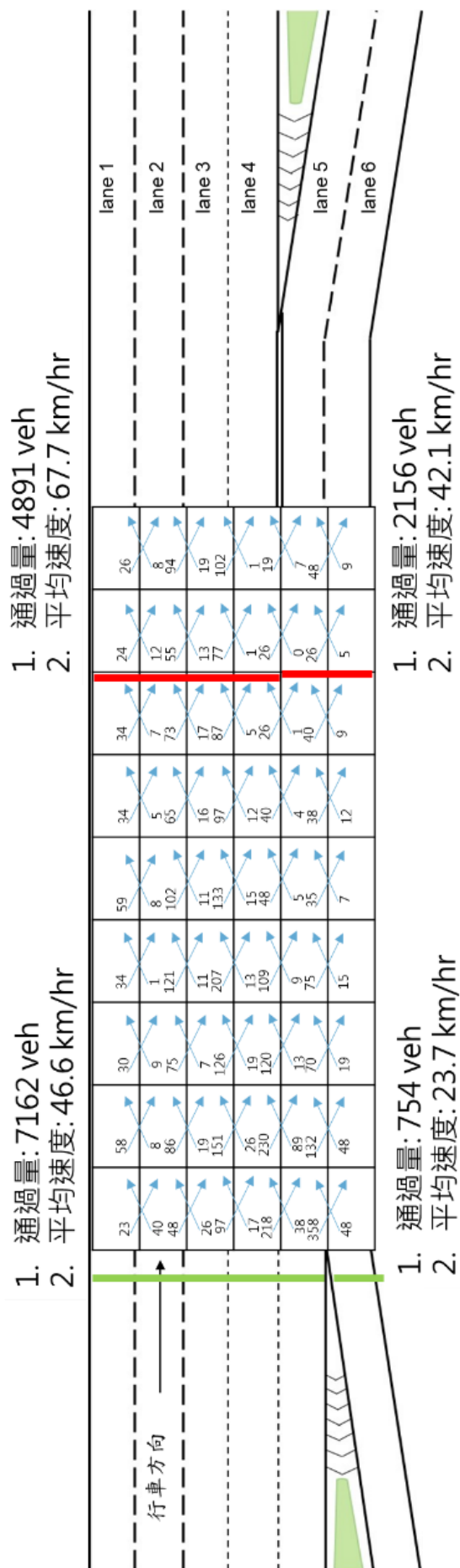
(a) 壅塞前狀態

圖 3.4-4 不同車流狀態下之速率及車道變換圖



(b) 進入壅塞狀態

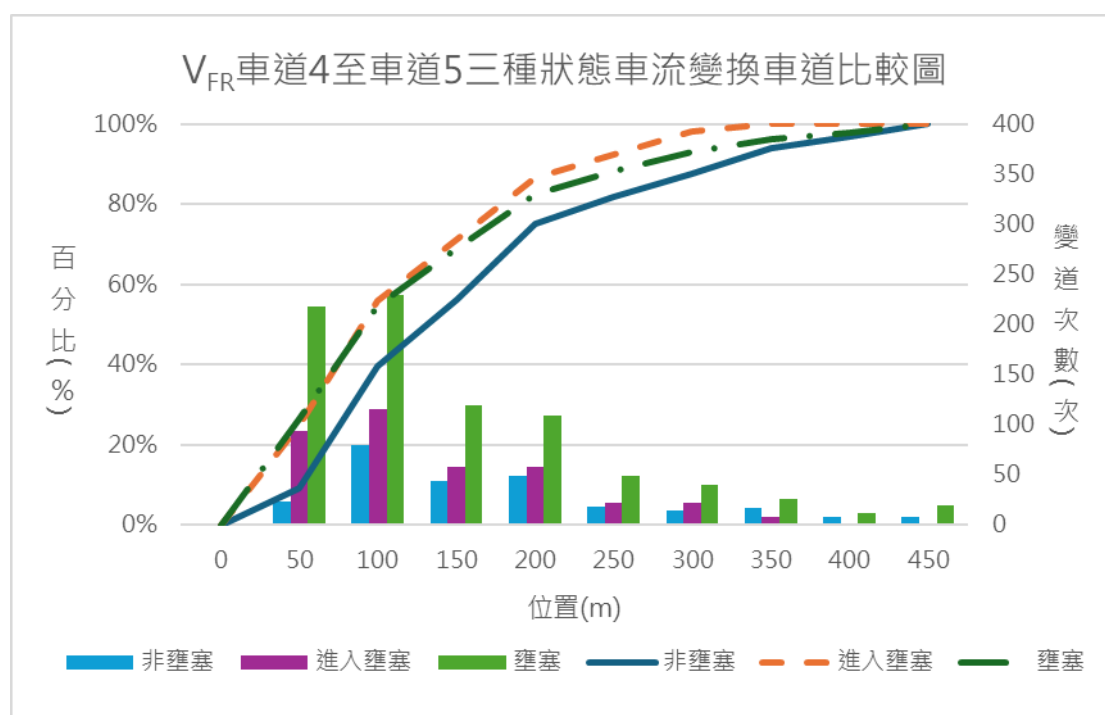
圖 3.4-4 不同車流狀態下之速率及車道變換圖



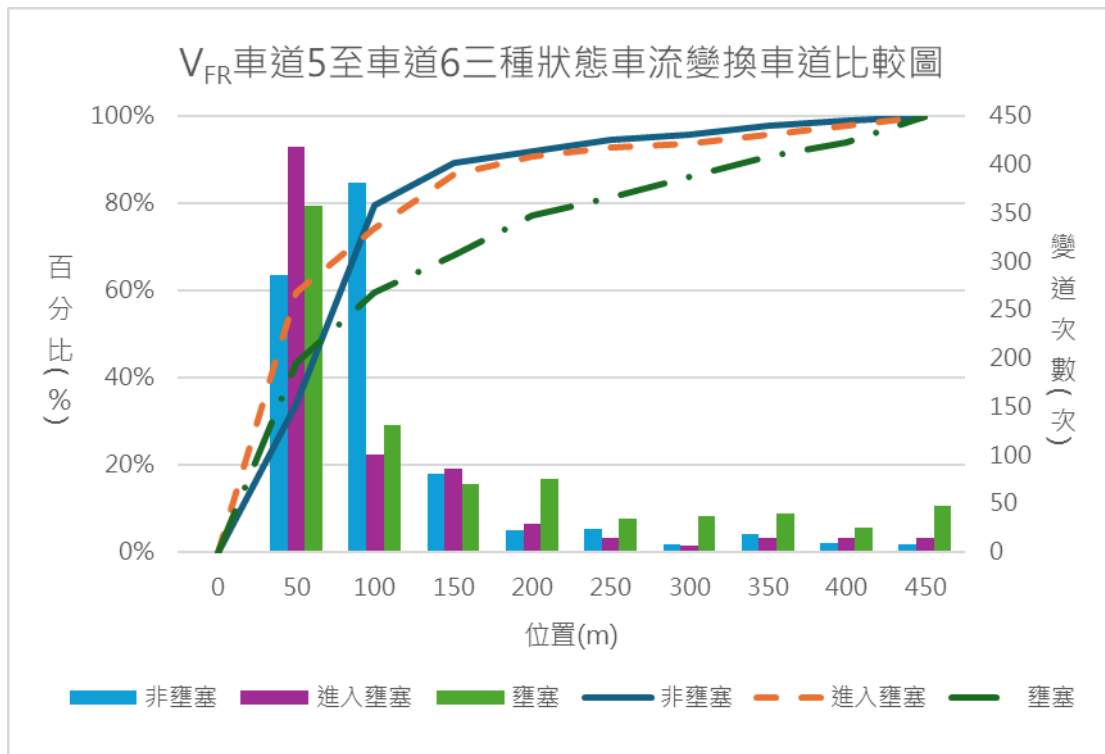
(c) 壅塞後狀態

圖 3.4-4 不同車流狀態下之速率及車道變換圖

圖 3.4-5 (a)可以觀察到國 1 北上高公局~五股交織路段 V_{FR} 車輛在非壅塞狀態下，在交織區段前 33%完成 50%的車輛車道變換，而在進入壅塞及壅塞狀態下完成相同比例的車輛車道變換則會在交織區段前 22%，可以發現圖表中 0-150 公尺處有較陡的斜率，該區間在非壅塞狀態、進入壅塞及壅塞狀態的變換車道比例分別為 56%、71%及 69%。由圖 3.4-5 (b)可以觀察到三種車流狀態皆在交織區段前 11%~22%的區間中完成 50%的車道變換，在圖表中可以發現 0-150 公尺的位置能發現三種車流狀態的變換車道比例分別為 89%、87%、68%。



(a) 車道 4 至車道 5



(b) 車道 5 至車道 6

圖 3.4-5 國 1 北上高公局-五股主線至匝道車流之車道變換位置分布

由圖 3.4-6 (a)可以觀察到在非壅塞狀態下有 50%的車輛交織區段前 33%完成車道變換，而車流在進入壅塞的狀態下則會在交織區段前 22%完成相同比例的車道變換，壅塞狀態下完成相同比例的車道變換區間會更進一步縮短成交織區段前 11%~22%，可以發現壅塞情形越明顯，更多的駕駛人傾向於提早變換車道。由圖 3.4-6 (b)可以觀察到車流在非壅塞狀態下有 50%的車輛在交織區段前 11%完成車道變換，而車流在進入壅塞狀態下，完成相同比例的車道變換的區間會稍微延長為交織區段前 11%~22%，壅塞狀態下完成相同比例的車道變換為更進一步延長到交織區段前 22%，在上游鼻端到鼻端後 150 公尺的觀測區間，三種狀態的車流在此區間的車道變換比例為 83%、73%、67%，可以發現在這個位置的 V_{RF} 與之前觀測到的變換車道習慣較不相同，此地點越趨於壅塞時，變換車道位置越趨於下游，推測是因為壅塞狀態主線車流量越大，使駕駛人沒有更多機會進行變換車道，所以導致此現象的發生。

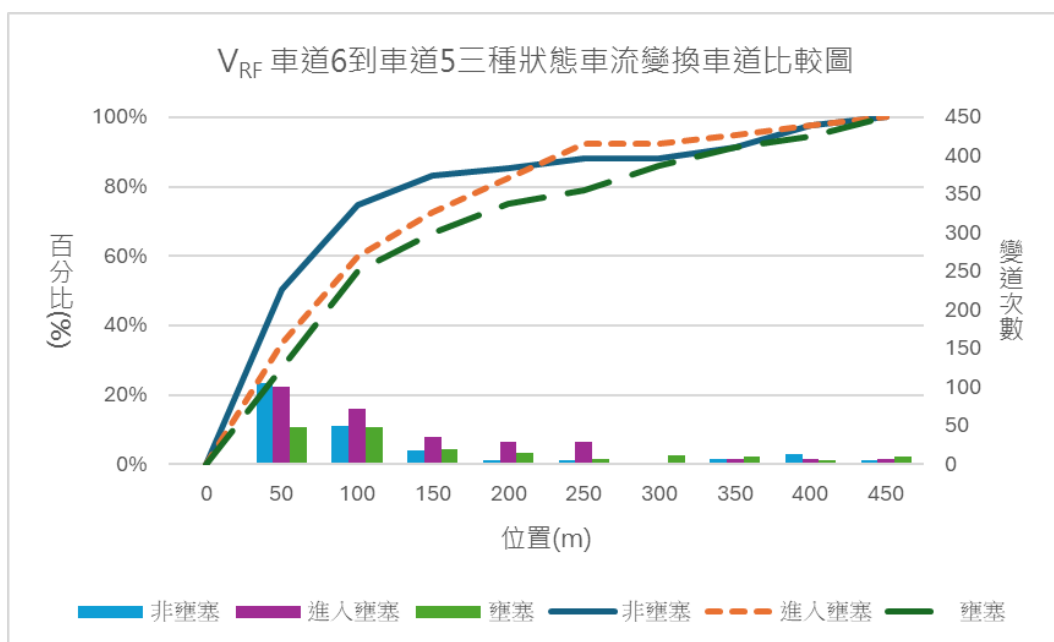
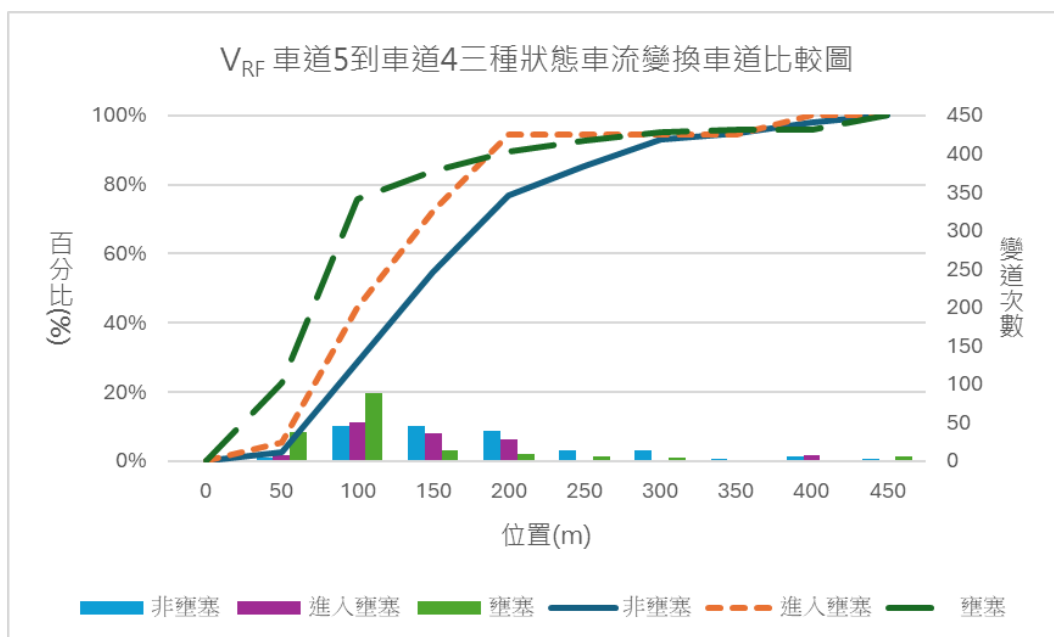


圖 3.4-6 國 1 北上高公局-五股匝道至主線車流之車道變換位置分布

3.4.2 調查地點 2：國 3 南下霧峰~霧峰系統

國 3 南下霧峰~霧峰交織路段長度為 1580 公尺，空拍範圍涵蓋交織路段及其上游和下游 50 公尺。此交織路段共有 5 車道，主線上游有 3 車道、進口匝道 2 車道，主線下游有 4 車道、出口匝道 1 車道，在交織區段內，鼻端後有延伸雙白實線及左虛右實白線，最外側之輔助車道有左虛右實白線禁止單邊變換車道，幾何及車道配置如圖 3.4-7。選擇此交織路段中間 50 公尺，並以每 5 分鐘資料做為分析單位，繪製流率、密度、速率之關係圖，資料選擇範圍示意如圖 3.4-8 所示。本調地點會分析：速率、流率與密度之關係、再依照不同車流壅塞狀態分析四股車流速率、變換車道頻次及交織車流之車道變換位置分布。不同車流狀態示意圖如圖 3.4-9。本調查地點因幾何特殊，故另外分析違規行為次數及占比。



圖 3.4-7 國 3 南下霧峰~霧峰系統幾何配置圖

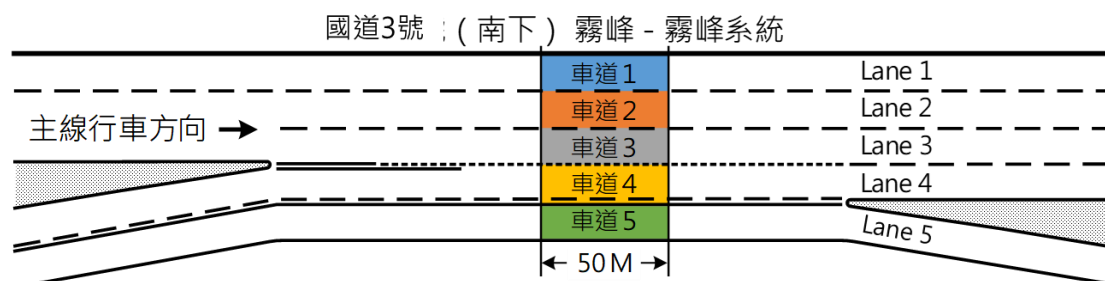


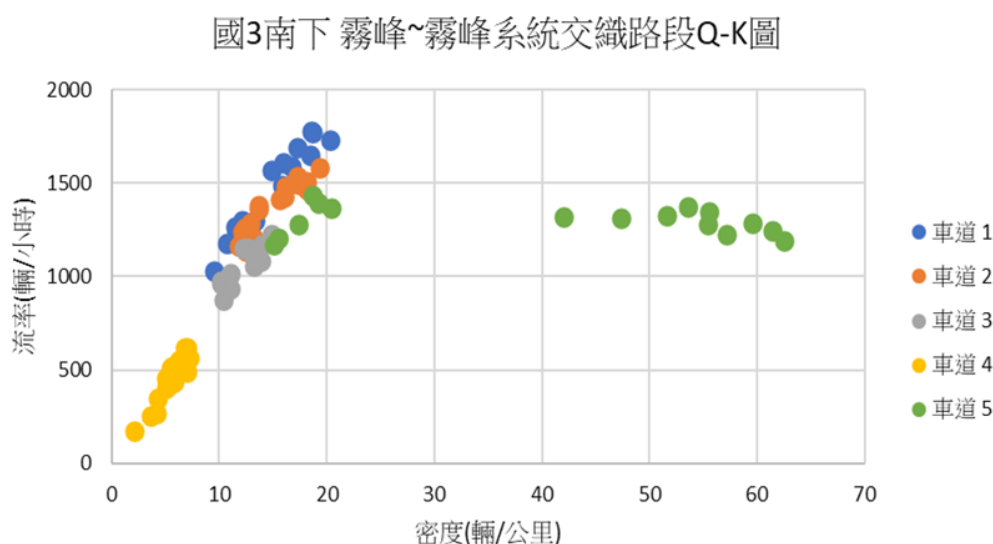
圖 3.4-8 國 3 南下霧峰~霧峰系統流率、密度、速率資料選取範圍示意圖



圖 3.4-9 國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段不同車流狀態示意圖

圖 3.4-10 (a)至(c)顯示國 3 南下霧峰~霧峰系統速率、流率與密度之關係，圖中可看出車道 4 之流率較車道 1~3、車道 5 低，流率皆低於 1,000 輛/小時，密度皆在 0~10 輛/公里之間。出口專用的車道 5 則是有發生壅塞前、壅塞後兩段不同密度之資料，壅塞後密度約落在 40~65 輛/公里，最高流率約接近 1,500 輛/小時。內側之車道 1~3 則皆未發生壅塞，密度皆在 0~20 輛/公里之間，最內側之車道 1 最高流率約 1,750 輛/小時。

整體而言國 3 南下霧峰~霧峰系統此路段壅塞皆發生於外側，交織行為發生較頻繁之車道，內側車道則是較少受到干擾，還並未達到壅塞，無法觀察到流率最大值。值得注意的是，車道 4 呈現一個低密度、低流率的車流狀態，比起發生壅塞的車道 5 還有著更低的流率。以現場調查空拍影片觀察，在車道 5 密度較高情況下，車道 4 存在許多欲變換車道往車道 5 之車輛，在尋找合適的變換車道間隙而降低車速，而這些車輛大部分集中在交織路段的前半段完成匯出至車道 5(出口專用車道)，因此在路段的後半段(如圖中車流參數之萃取位置)所觀察到的流率會較低。



(a) 各車道 Q-K 圖

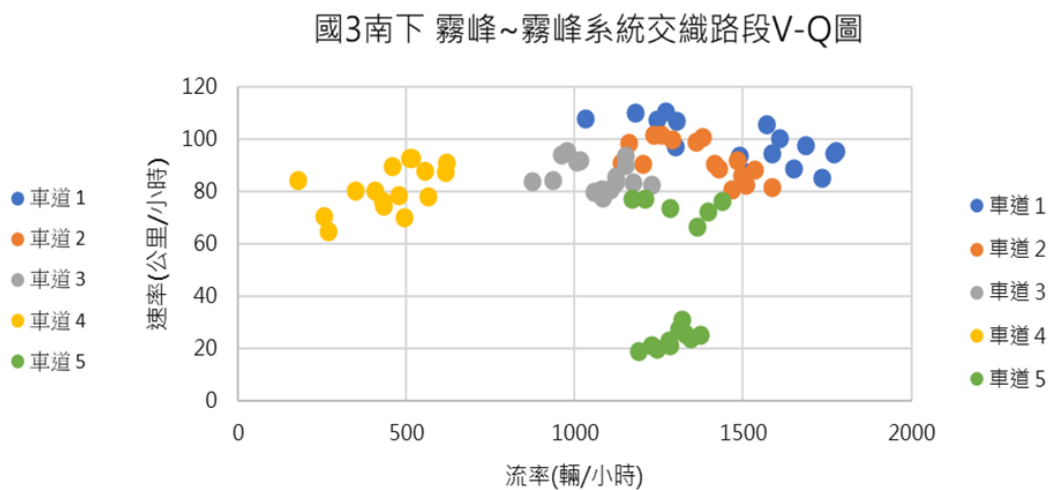
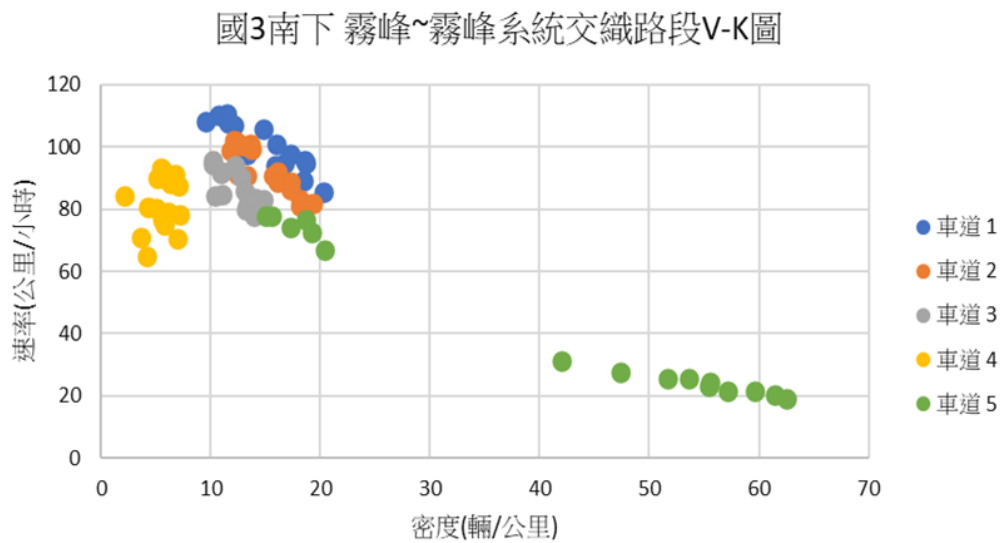


圖 3.4-10 國 3 南下霧峰~霧峰系統速率、流率與密度之關係

V_{FF} (主線至主線流率)、 V_{FR} (主線至匝道流率)、 V_{RF} (匝道至主線流率)、 V_{RR} (匝道至匝道流率) 為 4 股不同的交織車流型態，根據每一車輛軌跡之起訖點可分類至上述 4 種類型。本期現場調查地點中，使用兩架無人機拍攝之調查地點，需經後處理將兩個影片的軌跡進行軌跡拼接，因空拍技術限制使得上下游影片無法達到時空上完全重疊，導致追蹤率無法達到 100%。經後處理後，約有 45% 的車輛軌跡可被

完整追蹤。追蹤車輛起迄分析交織類型是為了4股車流之平均速率及換道頻次，並非用於車流量計算，因此目前的追蹤率是尚可接受的。

圖 3.4-11 為國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖，以一分鐘作為單位，依據車輛進入空拍畫面時間為水平軸，以車輛通過交織路段起、迄鼻端時間、距離計算其空間平均速率，並分類成 4 種不同的交織車流。圖中空白區域為現場調查中斷拍攝的部分，進入壅塞前、後， V_{FF} 皆擁有最高的速率， V_{RR} 則是速率最低的類別。而兩股交織車流 V_{FR} 、 V_{RF} ，又屬 V_{FR} 受外側壅塞影響較多，擁有較低的速率。

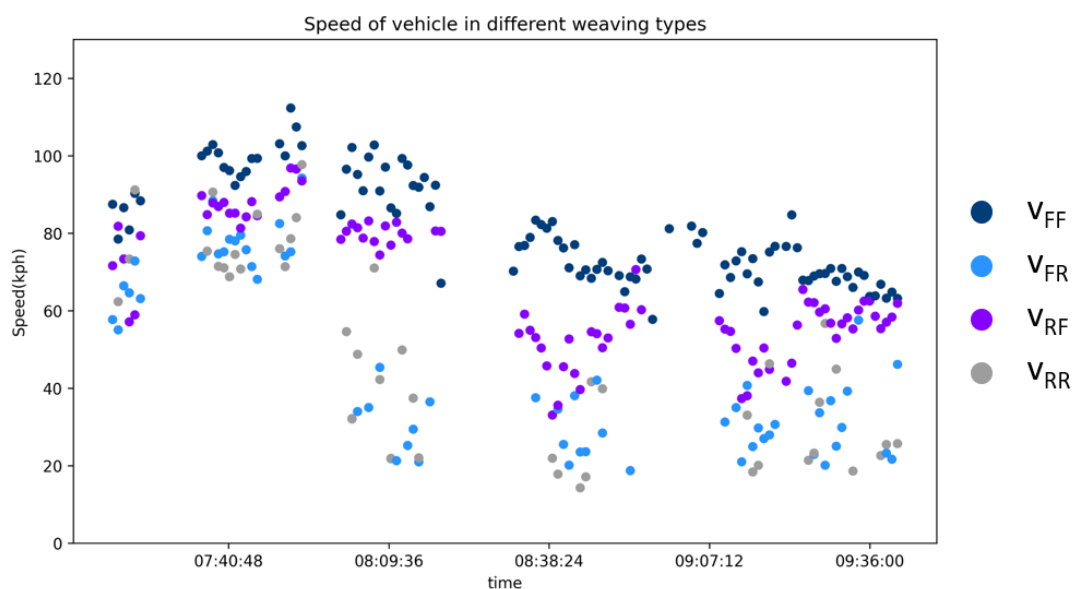
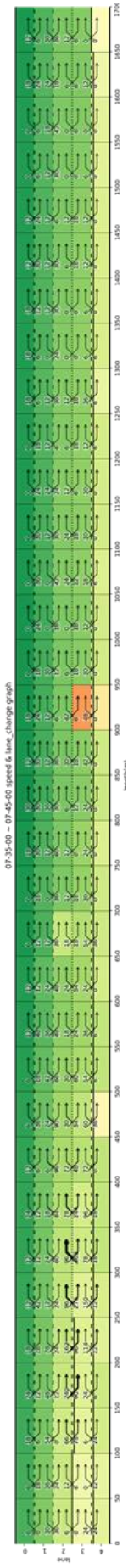


圖 3.4-11 國 3 南下霧峰~霧峰系統各交織類型 V-T 散點圖

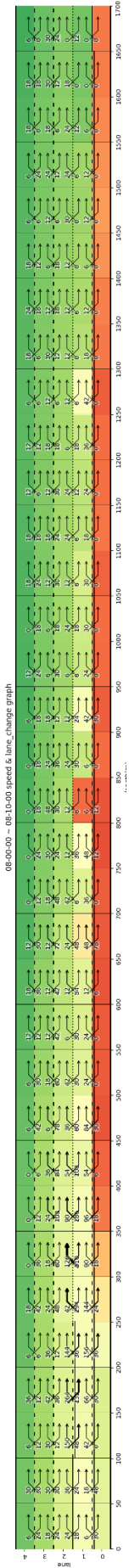
圖 3.4-12 為此地點在不同壅塞情況下，根據 10 分鐘資料樣本下每 10 公尺各車道平均速率圖以及每 50 公尺內車道變換的呈現，車道變換次數轉換成以次數/小時為單位。選擇三個時段樣本，包括壅塞(07:35~07:45)、非壅塞進入壅塞(08:00~08:10)及壅塞後(08:35~08:45)，作為不同速率情況的比較對象。其中，鼻端位置分別位於路段前、後約 60 公尺處，進口鼻端下游約有 50 公尺雙白實線與 100 公尺單邊禁止變換車道線。各壅塞狀態之速率及車道變換局部放大圖如圖 3.4-13 至圖 3.4-15 所示。

經本研究參考 109-112 年國道都會地區路段交通改善成果（交通部高速公路局，2024），國道 3 號霧峰交流道於 2023 年 5 月有進行南向入口改善，其中調查地點之進口匝道（台 74）鼻端處延伸雙白實線 100 公尺延後國 3 主線進入出口匝道（匯入至國 6）之車流，且延伸左虛右實白線 150 公尺，以限制車流交織情況。以下將探討駕駛者對於以上標線管制的遵守情況。

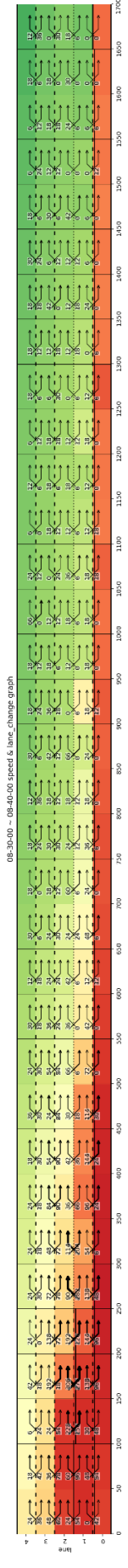
圖 3.4-16 為國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段現場調查時間範圍各種交織類型車流車道變換頻次統計圖。圖中橫軸為車輛離開交織路段時間，縱軸為每 1 分鐘內該種交織類型車輛平均變換車道次數，詳細不同交織類型頻次平均如圖 3.4-16 所示。可以看出表 3.4-7，交織車流 V_{FR} 、 V_{RF} 明顯比起非交織車流 V_{FF} 、 V_{RR} 有更多的車道變換頻次。而交織車流中 V_{FR} 有較高的車道變換頻次，因此地點路型幾何，從主線欲往匝道至少需變換車道 2 次才能到達出口車道。



非壅塞



非壅塞進入壅塞



壅塞

圖 3.4-12 國 3 南下霧峰~霧峰系統不同壅塞情況下速率及車道變換

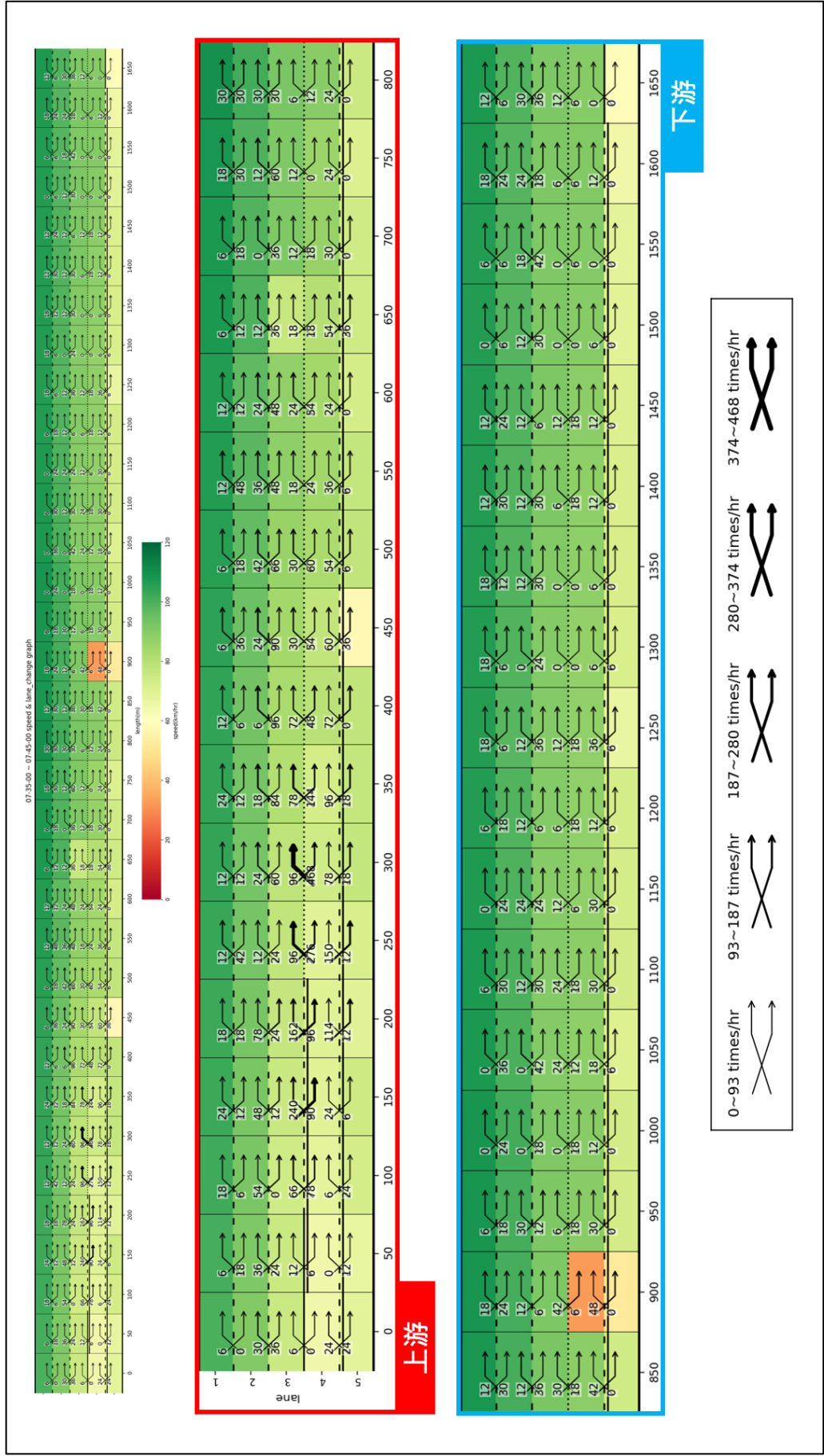


圖 3.4-13 國 3 南下霧峰~霧峰系統非壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖

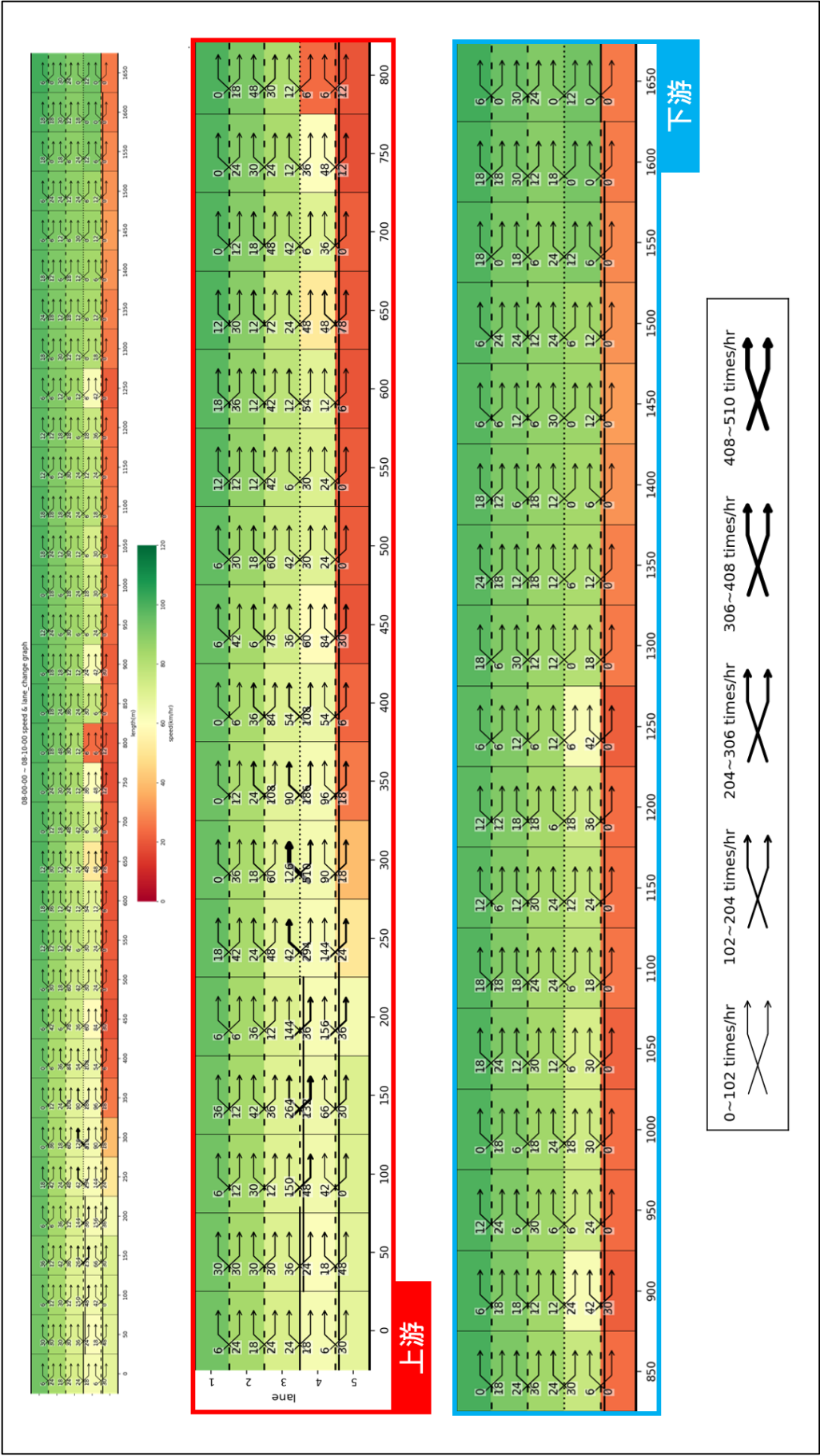


圖 3.4-14 國 3 南下霧峰~霧峰系統非壅塞進入壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖

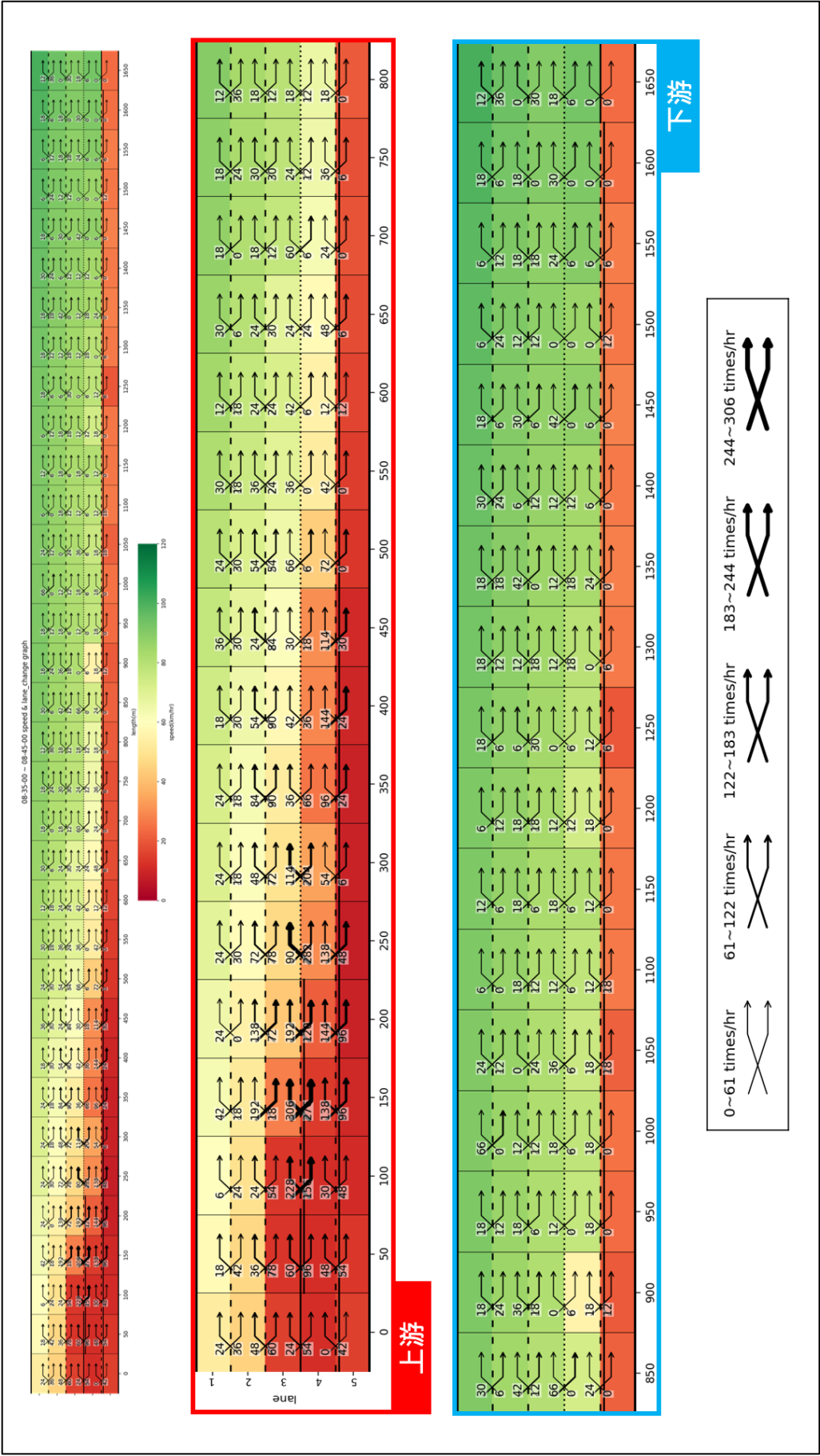


圖 3.4-15 國 3 南下霧峰~霧峰系統壅塞情況下速率及車道變換局部放大圖

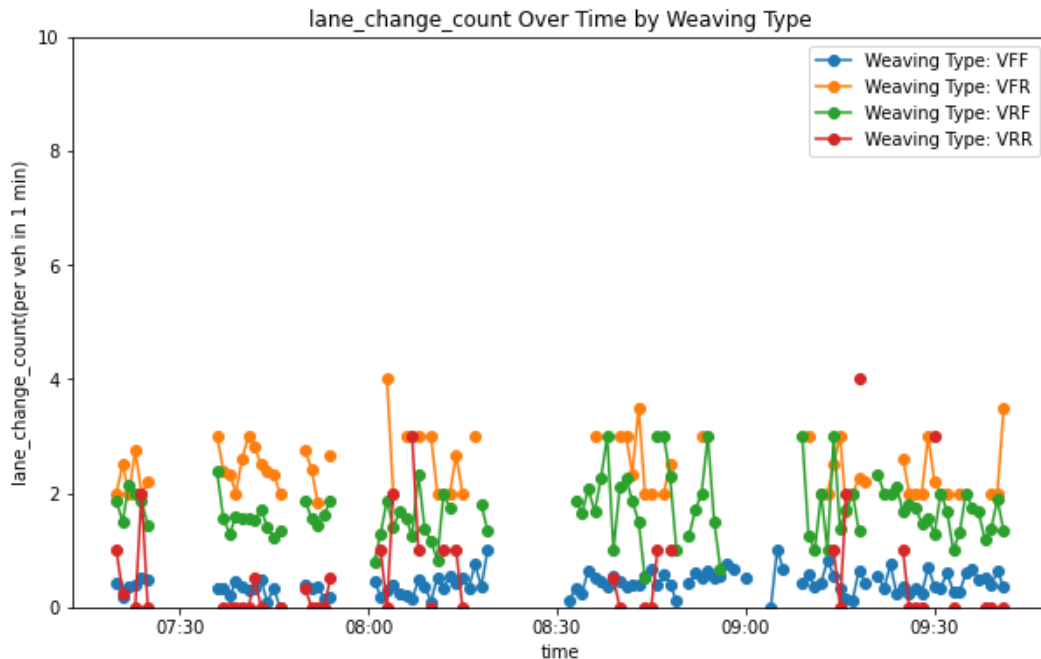


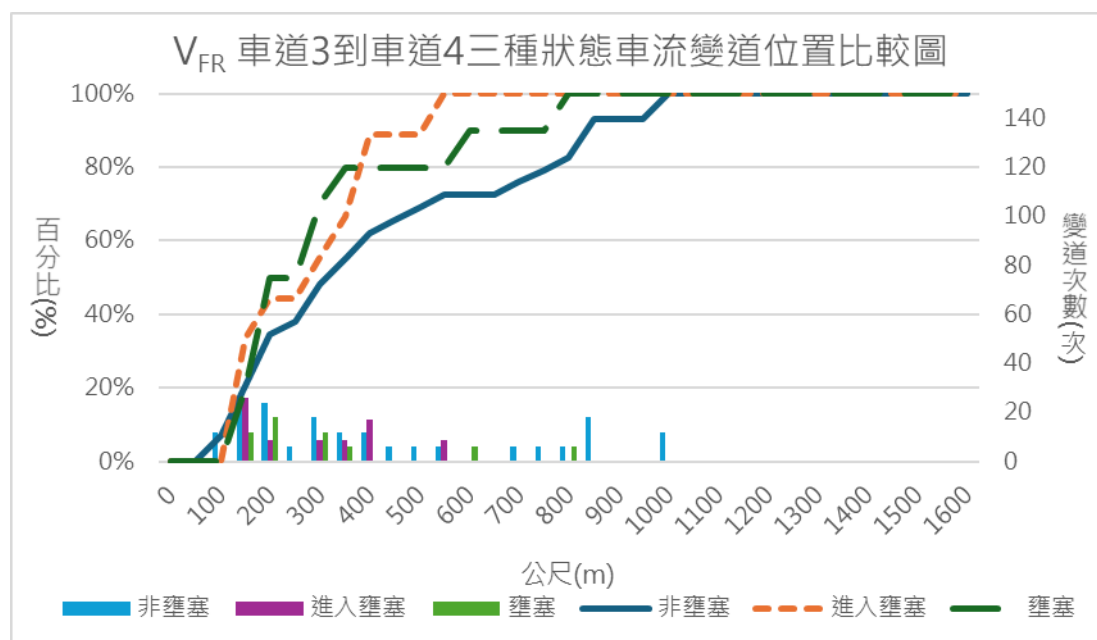
圖 3.4-16 國 3 南下霧峰~霧峰系統各交織類型車道變換頻次圖

表 3.4-7 國 3 南下霧峰~霧峰系統不同交織類型平均車道變換頻次

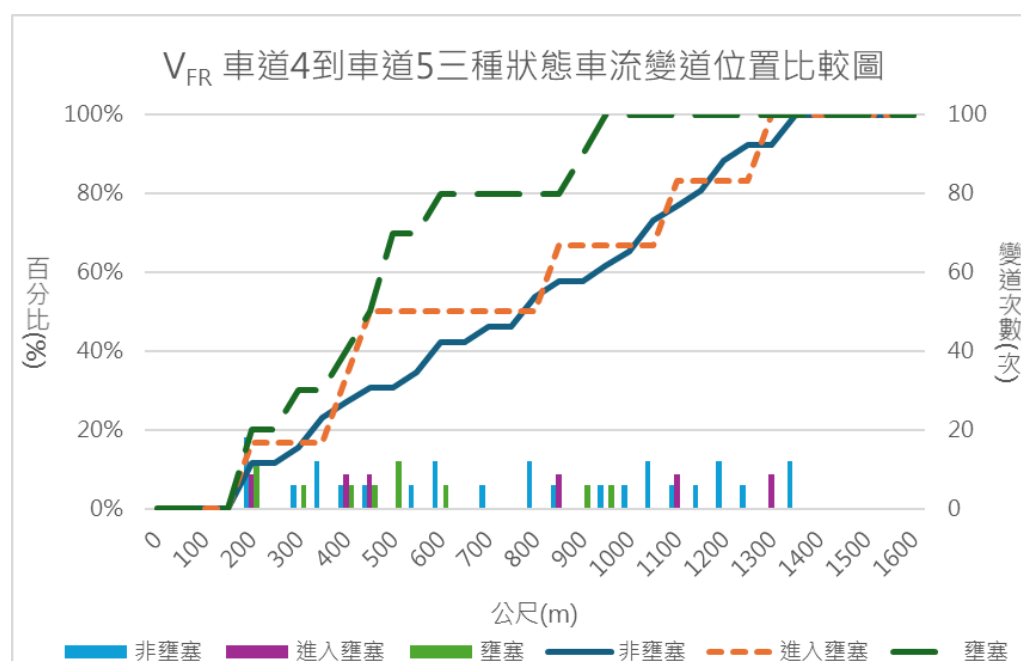
壅塞狀態\交織類型 平均變換車道頻次	主線至主線 V_{FF}	主線至匝道 V_{FR}	匝道至主線 V_{RF}	匝道至匝道 V_{RR}
非壅塞	0.31	2.51	1.57	0.08
非壅塞進入壅塞	0.29	2.55	1.52	0.18
壅塞	0.45	2.60	1.94	0.16
調查時間平均	0.42	2.42	1.68	0.49

圖 3.4-17 (a)為國 3 南下霧峰-霧峰系統 V_{FR} 在三種車流狀態下由車道 3 變換到車道 4 的變道位置圖，可以觀察到車流在非壅塞狀態下，有 50%的車輛在交織區段前 22%完成車道變換，車流在進入壅塞和壅塞狀態下在完成相同比例的車輛車道變換，分別是在交織區段前 19%和 16%，由此可以發現越靠近壅塞發生，駕駛人會更傾向即早變換車道。圖 3.4-17 (b)可觀察到車流在壅塞狀態下有 50%的車輛在交織區段前 31%完成車道變換，非壅塞狀態及進入壅塞這兩種狀態皆在交織區段前 50%完成相同比例的車輛車道變換，雖然兩種狀態車流皆在相同區間段完成 50%的車輛車道變換，但由於在非壅塞狀態下由出口匝道駛出高速公路的車輛較多所以其下降的線條相對平滑，且上游

鼻端到下游鼻端的距離長 1600 公尺，所以在非壅塞的狀態下並沒有發現車輛在通過上游鼻端後就急於變換車道的行為，而是完整使用了上游鼻端到下游鼻端之距離，在每個觀測區間的車道變換都算均勻。



(a) 車道 3 至車道 4

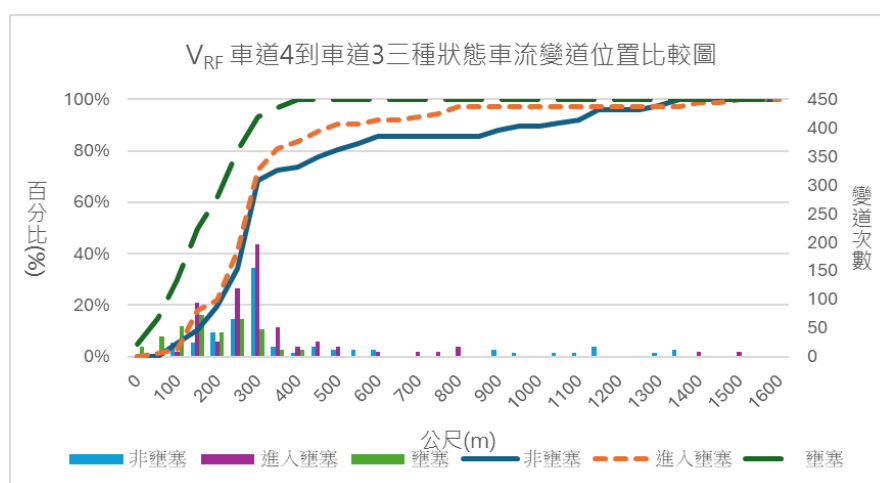


(b) 車道 4 至車道 5

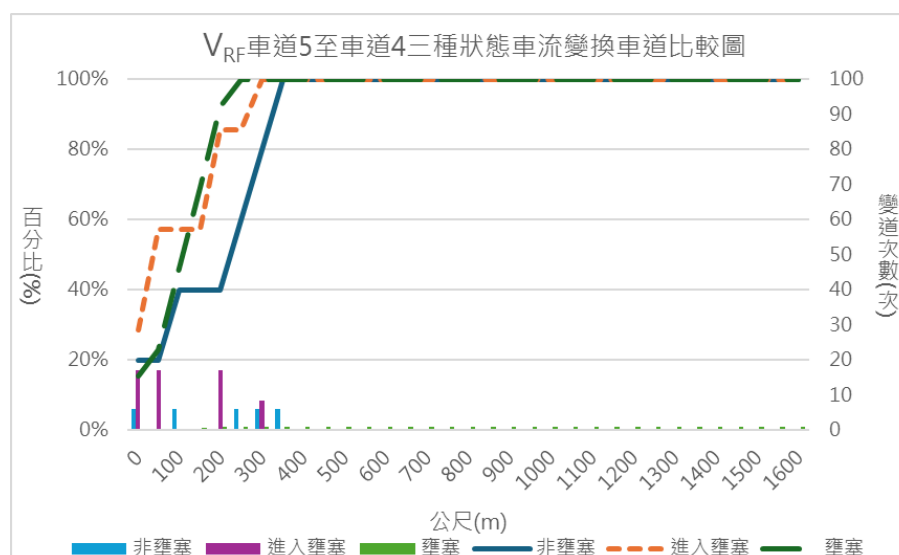
圖 3.4-17 國 3 南下霧峰-霧峰系統主線匝道車流之車道變換位置分布

圖 3.4-18(a)可以觀察到在壅塞狀態下，有 50%的車輛在交織區段前 10%就完成車道變換，而非壅塞及進入壅塞兩種狀態皆交織區段前

19%才完成 50%的車道變換，該圖可發現在壅塞狀態下駕駛人傾向在更上游進行車道變換，而在非壅塞狀態在各位置變換車道比例與非壅塞狀態相差不大，可以發現在 V_{RF} 在三種車流狀態下由車道 4 變換到車道 3 幾乎都在交織區段前 22%進行車道變換。圖 3.4-18 (b) 由於車道 5 到車道 4 繪有單邊禁止變換車道線，故在圖 3.4-18 (b) 的車輛均屬違規，進一步由空拍影片中還是有觀察到此種行為發生，且較多發生於進入壅塞狀態，推測是有較激進的駕駛人不想排隊進入主線所以直接從輔助車道變換車道進入主線車道以縮短其行車時間。



(a) 車道 4 至車道 3



(b) 車道 5 至車道 4

圖 3.4-18 國 3 南下霧峰-霧峰系統匝道主線車流之車道變換位置分布

從圖 3.4-19 至圖 3.4-21 國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段壅塞發生於外側車道，上游鼻端附近內側車道逐漸受外側壅塞影響，回堵至路段上游。另外交織行為多半發生於靠近上游鼻端處，隨著壅塞情形加劇，車輛越傾向提早變換車道，甚至是提早跨越雙白實線、單邊禁止變換車道線的違規行為。可觀察空拍調查影片，探討此地點發生較頻繁 3 種的違規行為：

以前述之壅塞（07:35~07:45）、非壅塞進入壅塞（08:00~08:10）及壅塞後（08:35~08:45）各取 10 分鐘資料樣本，統計 3 種違規行為其發生次數及比例，結果如表 3.4-8 所示：

表 3.4-8 不同車流狀況下違規行為次數及占比

壅塞狀態	違規行為 1 次數 (比例)	車道 5 進入 總車輛數	違規行為 2 次數 (比例)	車道 4 進入 總車輛數	違規行為 3 次數 (比例)	車道 3 進入 總車輛數
非壅塞	15 (12.3%)	121	30 (9.8%)	307	3 (1.9%)	155
非壅塞進入壅塞	23 (18.4%)	125	27 (9.3%)	291	10 (5.6%)	180
壅塞	45 (35.4%)	127	77 (42.3%)	182	14 (9.2%)	152

結果顯示，國 3 南下霧峰~霧峰系統交織路段違規行為 1、2 發生頻率高，且隨著車流狀態進入壅塞越頻繁發生。而違規行為 3 則是發生比率較低，可發現國內駕駛人對於單邊禁止變換車道線之認知及守法意識仍有不足。從空拍影片觀察發現，當外側車道發生壅塞時，車輛可能改變原本目的地（匯入國 6），形成違規行為 1。因主線匯出至出口匝道車流（ V_{FR} ）阻擋車道 3 空間，導致進口匝道車流（ V_{RF} ）無法順利匯入至主線，形成違規行為 2。該處之標線設施改善於 2023 年 5 月實施，另可推論違規行為可能係駕駛人對標線改善及路況不熟悉所導致，建議相關單位可持續追蹤此地點的車流行為。

一、違規行為 1：車道 5 車輛跨越單邊禁止變換車道線至車道 4，如圖 3.4-19。

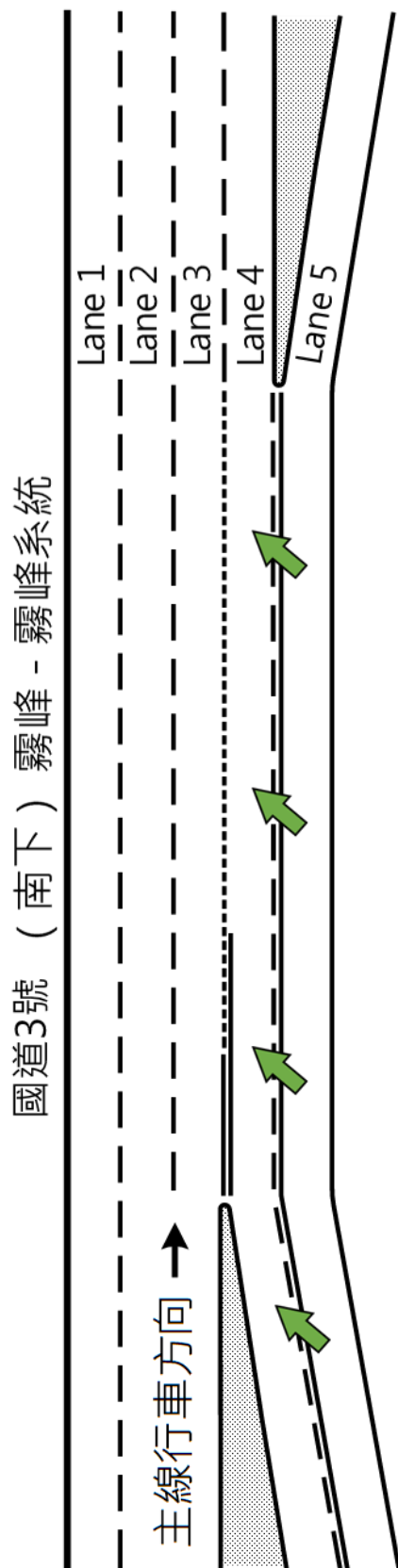


圖 3.4-19 違規行為 1 示意圖

二、違規行為 2：車道 4 車輛跨越雙白實線或單邊禁止變換車道線，提前變換車道至車道 3，如圖 3.4-20。

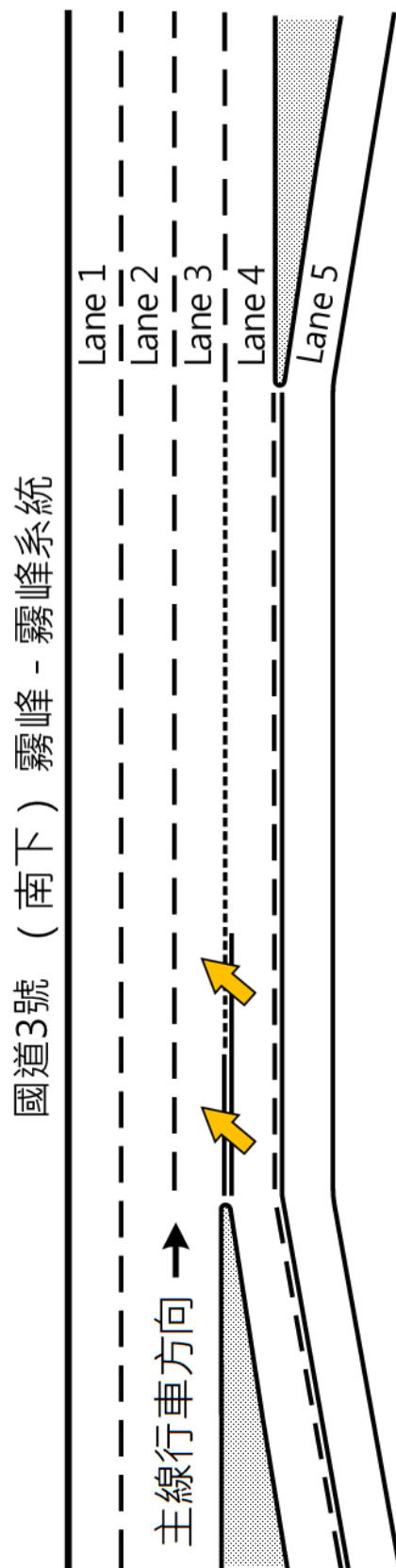


圖 3.4-20 違規行為 2 示意圖

三、違規行為 3：車道 3 車輛尚未行駛至鼻端處，或跨越雙白實線提前變換車道至車道 4，如圖 3.4-21。

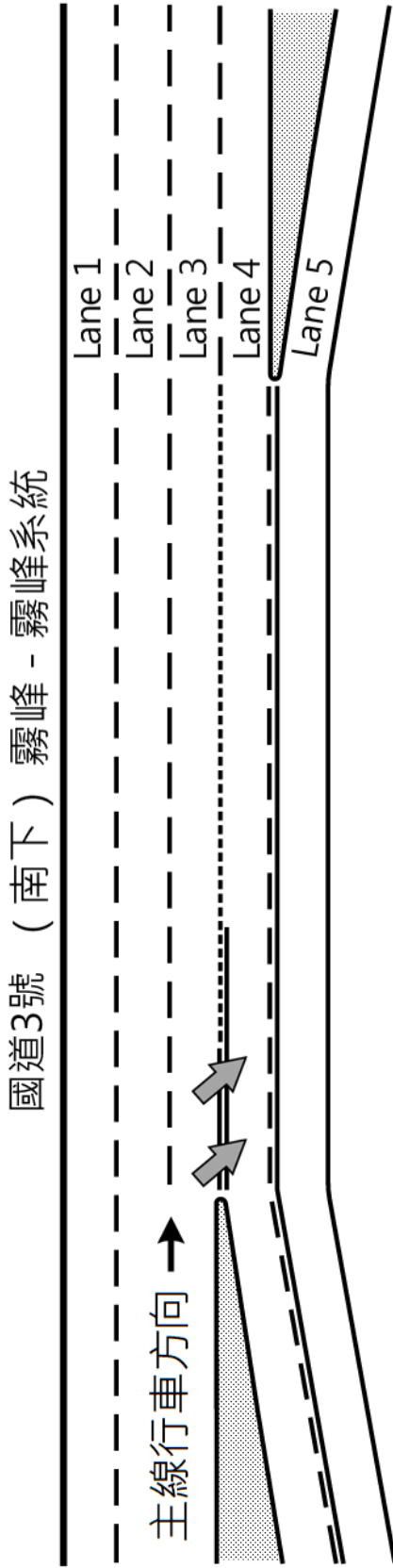


圖 3.4-21 違規行為 3 示意圖

3.4.3 調查地點 3：國 1 南下中壢服務區~內壢

國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段長度為 1020 公尺，空拍範圍涵蓋交織路段及其上游和下游 50 公尺以上。此交織路段共有 5 車道，主線上游有 3 車道及 1 輔助車道、進口匝道 1 車道，主線下游有 3 車道、出口匝道 2 車道。在交織區段內，在上游鼻端處 250 公尺後，第 5 車道縮減，行駛於第 5 車道之車輛需要匯入至第 4 車道，欲要再行駛第 5 車道，則需要駛至下游鼻端處約 100 公尺前方可匯出。幾何及車道配置如圖 3.4-22。選擇此交織路段中間 50 公尺，並以每 1 分鐘資料做為分析單位，再以 5 筆 1 分鐘資料進行滾動平均，繪製流率、密度、速率之關係圖，資料選擇範圍示意如圖 3.4-23 所示。當中，因本地點幾合較為特殊，雖進出口匝道處共有 5 車道，但交織路段中間處僅 4 車道。本調地點會分析：速率、流率與密度之關係、再依照不同車流壅塞狀態分析四股車流速率、變換車道頻次及交織車流之車道變換位置分布。不同車流狀態示意圖如圖 3.4-24：

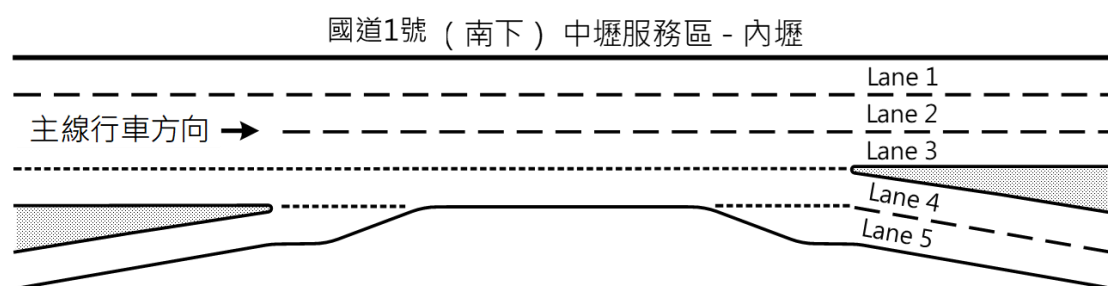


圖 3.4-22 國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率、流率與密度資料
選取範圍示意圖

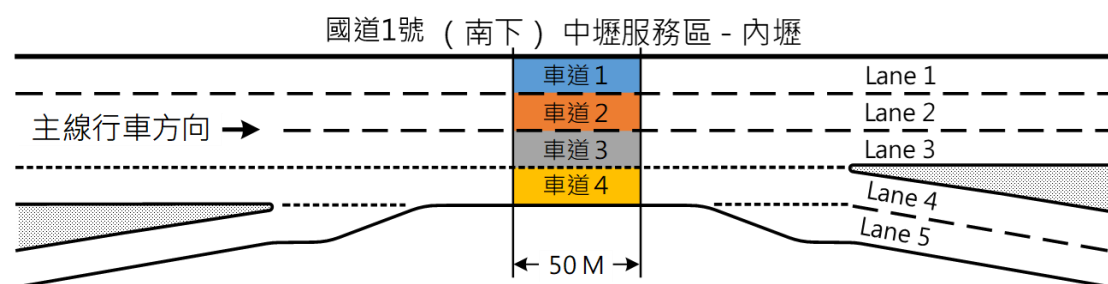


圖 3.4-23 國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率、流率與密度資料
選取範圍示意圖




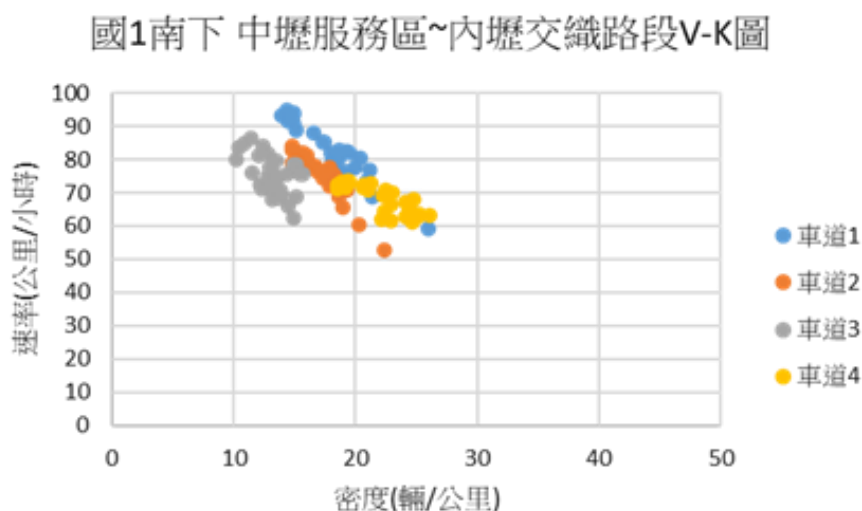
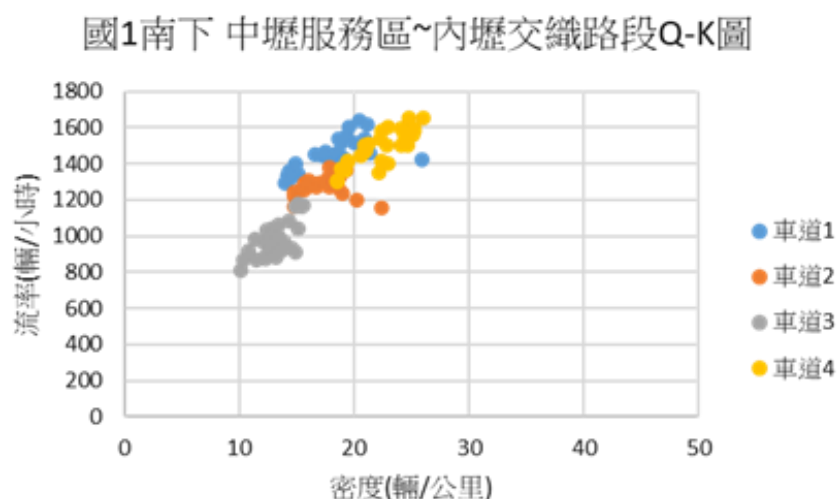
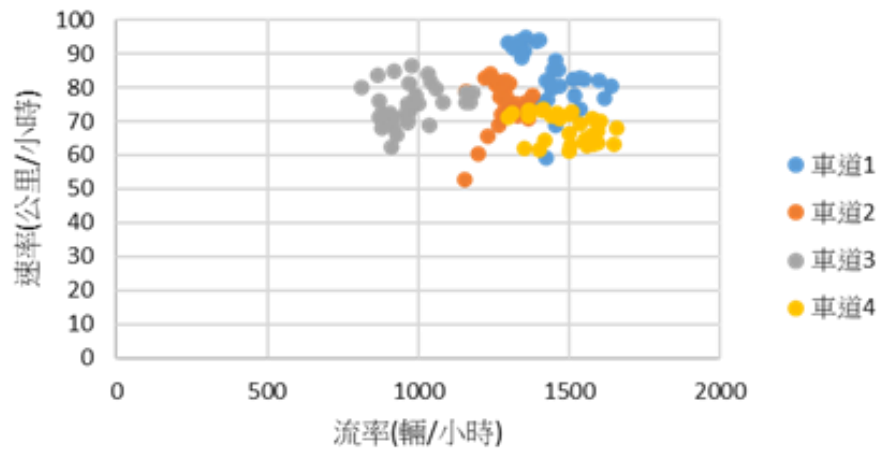
非壅塞	
進入壅塞	
壅塞	

圖 3.4-24 國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段不同車流狀態示意圖

圖 3.4-25 (a)至(c)顯示了調查時間內國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率、流率與密度之關係，圖中可看出車道 4 之流率較車道 1~3 高，流率最高達約 1660 輛/小時，其餘車道之最高流率則在 1100~1650 輛/小時之間。本地點第 4 車道(輔助車道)並未發生壅塞，因此調查時段內密度在 18~26 輛/公里之間，最高流率約 1660 輛/小時。主線 1~3 車道之中以車道 1 最為壅塞，密度介於 13~26 輛/公里之間，最高流率約 1640 輛/小時；車道 2 密度介於 14~22 輛/公里，最高流率約 1400 輛/小時；車道 3 密度介於 10~15 輛/公里，最高流率約 1200 輛/小時。整體而言國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段壅塞發生於主線下游車道，車道 4 並沒有壅塞狀況發生，該地點之壅塞並不是受到交織車輛之影響。



國1南下 中壢服務區~內壢交織路段V-Q圖



(c) 各車道 V-Q 圖

圖 3.4-25 國 1 南下中壢服務區~內壢速率、流率與密度之關係

國 1 南下中壢服務區~內壢，也是使用兩架無人機拍攝之調查地點，需經後處理將兩個影片的軌跡進行軌跡拼接。經後製處理後，有高達七成以上的車輛軌跡可被完整追蹤。圖 3.4-26 為國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖，此路段進入壅塞 V_{FF} 、 V_{RF} 之速率較 V_{FR} 、 V_{RR} 低，屬於主線下游回堵之狀況。

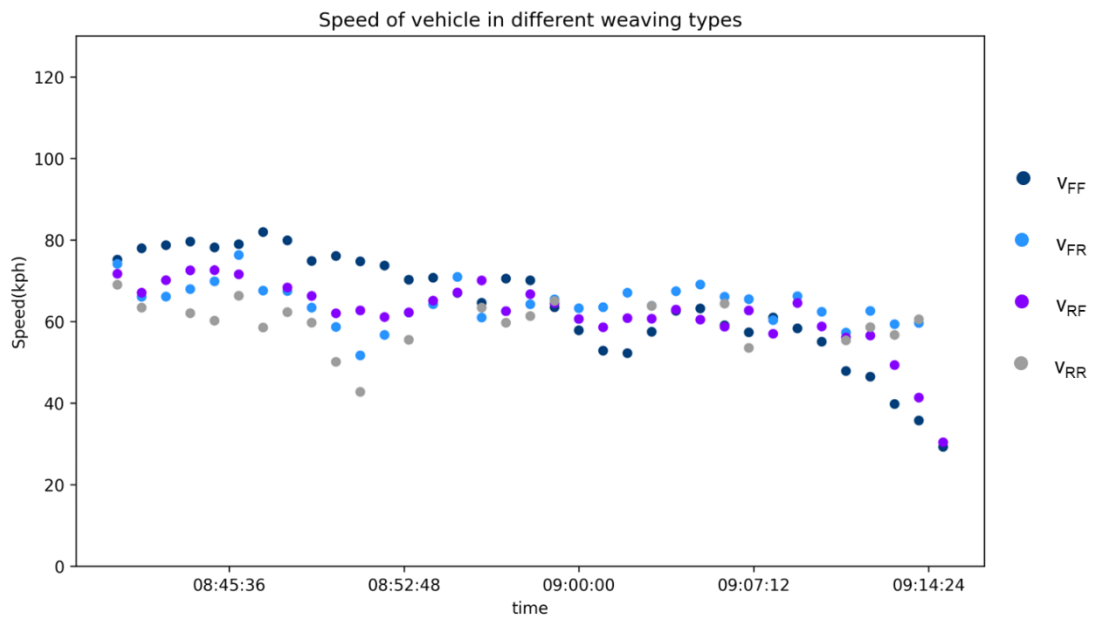


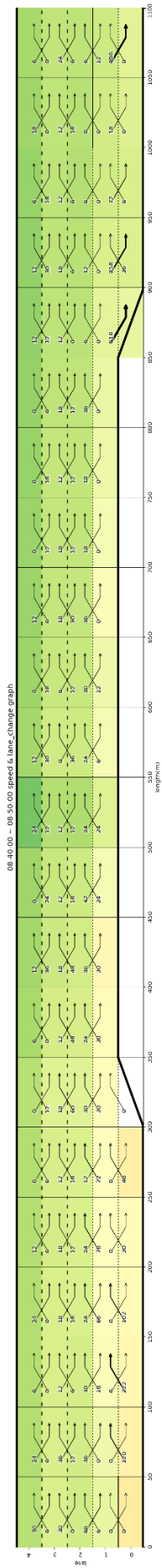
圖 3.4-26 國 1 南下中壢服務區~內壢各交織類型 V-T 散點圖

圖 3.4-27 為此地點在不同壅塞情況下，根據 10 分鐘資料樣本下每 10 公尺各車道平均速率圖以及每 50 公尺內車道變換的呈現，車道變換次數轉換成以次數/小時為單位。表 3.4-9 選擇三個時段樣本，包括非壅塞 (08:40~08:50)、非壅塞進入壅塞 (08:55~09:05) 及壅塞 (09:05~09:15)，作為不同速率情況的比較對象。在非壅塞狀況之下主線與輔助車道之速率皆為穩定狀態，惟進入壅塞狀態下，主線車道即出現壅塞回堵現象，並持續至壅塞狀態，也隨著越趨於壅塞，回堵也蔓延至上游。而在進口匝道與出口匝道之第 4 車道，整體而言速率並沒有明顯上升或下降之情況。

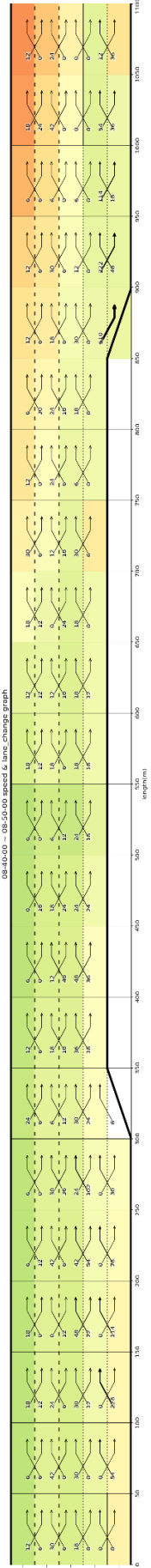
表 3.4-9 國 1 南下中壢服務區~內壢不同交織類型平均速率

壅塞狀態\交織類型 平均速率	主線至主線 V_{FF}	匝道至主線 V_{RF}	主線至匝道 V_{FR}	匝道至匝道 V_{RR}
非壅塞	78.06	69.02	68.46	62.96
非壅塞進入壅塞	61.84	62.86	65.15	63.04
壅塞	52.76	54.88	62.59	58.11
調查時間平均	65.06	61.90	64.35	60.49

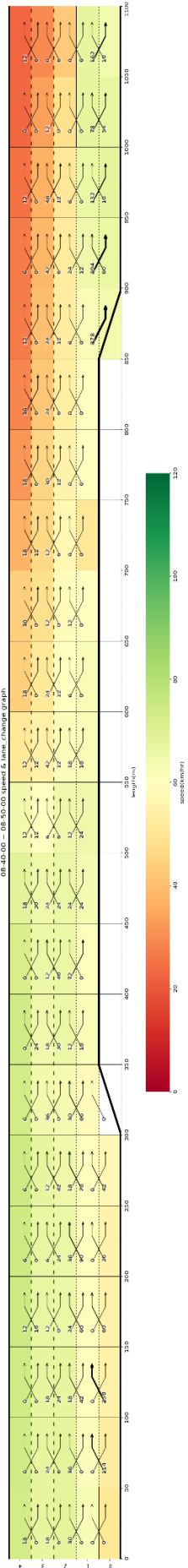
圖 3.4-28 為國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段現場調查時間範圍各種交織類型車流車道變換頻次統計圖。圖中橫軸為車輛離開交織路段時間，縱軸為每 1 分鐘內該種交織類型車輛平均變換車道次數，交織類型頻次分析結果整理如圖 3.4-28 所示。表 3.4.10 可以得知，交織車流 V_{RF} 為四股車流之中變換車道次數最高，因該地點之幾何配置導致匝道車流進入主線需至少變換 2 次車道。另外，在部分資料點中沒有觀察到 V_{RR} 車流，輔助車道鋪面上之文字會對影像辨識之準確度造成一些影響，導致其變換車道次數有誤差，因此本地點之 V_{RR} 平均變換車道頻次僅分析調查時間平均之結果；經 ETC 資料確認，此地點之 V_{RR} 車流較少，僅為斷面平均流率之 0.5%，故對分析結果不造成影響。



非壅塞



非壅塞進入壅塞



壅塞

圖 3.4-27 國 1 南下中壢服務區~內壢不同壅塞情況下速率及車道變換

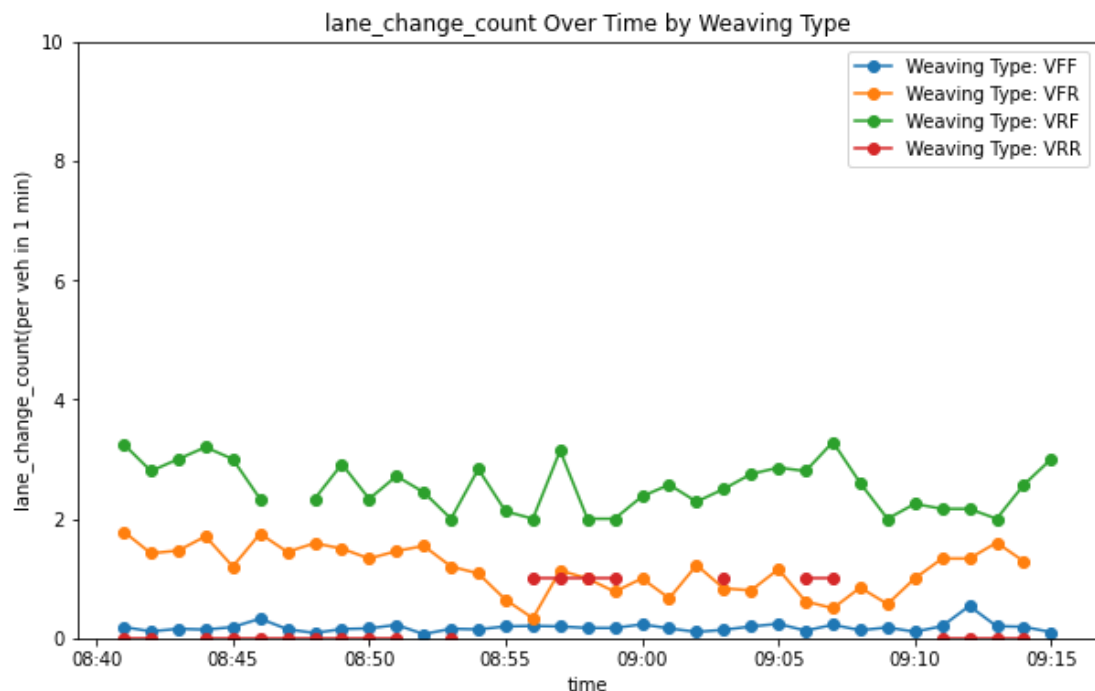


圖 3.4-28 國 1 南下中壢服務區~內壢各交織類型車道變換頻次圖

表 3.4-10 國 1 南下中壢服務區~內壢不同交織類型平均車道變換頻次

壅塞狀態\交織類型 平均變換車道頻次	主線至主線 V _{FF}	匝道至主線 V _{RF}	主線至匝道 V _{FR}	匝道至匝道 V _{RR}
非壅塞	0.17	2.84	1.52	-
非壅塞進入壅塞	0.17	2.43	0.86	-
壅塞	0.20	2.49	1.09	-
調查時間平均	0.18	2.59	1.21	0.21

由圖 3.4-29 可以觀察到車流在非壅塞的狀態下有 50%的車輛在交織區段前 52%完成車道變換，在完成相同比例的車輛車道變換，在進入壅塞狀態下此區間縮短成交織區段前 43%，而進入壅塞狀態後此區間會在更進一步縮短成交織區段前 38%，在靠近壅塞發生車輛駕駛人會更傾向於提早變換車道，且我們可以發現雖然下降斜率有些不同但曲線都相對平滑，可表示此交織路段長有被妥善利用於變換車道。由圖 3.4-30 可以觀察到不管在何種車流狀態下，都交織區段前 24%完成 50%的車輛車道變換，也因此推測在各種車流狀態下大部分的車輛駕駛人都習慣在前端完成車流變換。

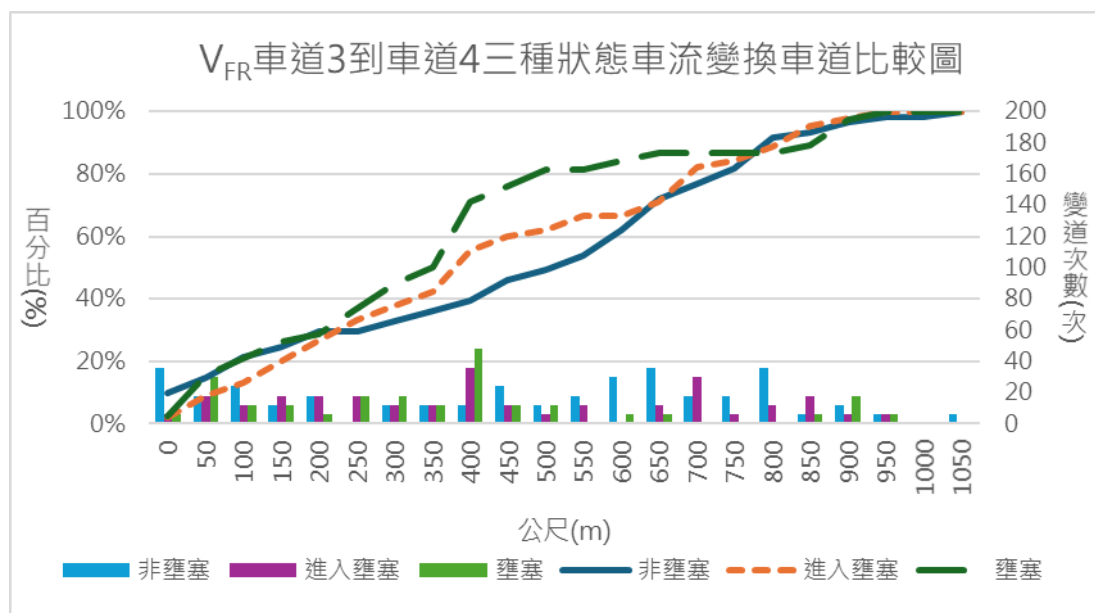


圖 3.4-29 國 1 南下中壢服務區~內壢主線至匝道車流之車道變換位置分布

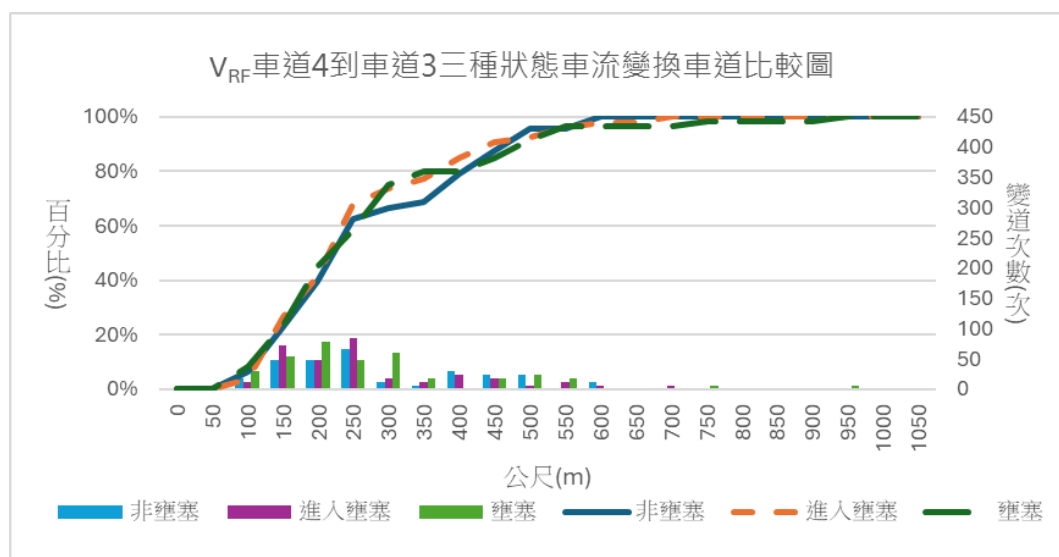


圖 3.4-30 國 1 南下中壢服務區~內壢匝道至主線車流之車道變換位置分布

3.4.4 調查地點 4：國 1 南下桃園~機場系統

國 1 南下桃園~機場系統交織路段長度為 1,250 公尺，空拍範圍涵蓋交織路段及其上游 50 公尺至下游鼻端處。此交織路段共有 6 車道，主線上游有 3 車道及 2 輔助車道、進口匝道 1 車道，主線下游有

3 車道、出口匝道 2 車道。在交織區段內，在上游鼻端處約 400 公尺後，第 6 車道（進口匝道）縮減，行駛於第 6 車道之車輛需要匯入至第 5 車道。本地點幾何及車道配置如圖 3.4-31 國 1 南下桃園~機場系統。因交織路段中間約 600 公尺處有門架遮蔽，因此選擇此交織路段第 700 公尺處，並以每 1 分鐘資料做為分析單位，再以 5 筆 1 分鐘資料進行滾動平均，繪製流率、密度、速率之關係圖，資料選擇範圍示意如圖 3.4-32 國 1 南下桃園~機場系統所示。本調地點會分析：速率、流率與密度之關係、再依照不同車流壅塞狀態分析四股車流速率、變換車道頻次及交織車流之車道變換位置分布。不同車流狀態示意圖如圖 3.4-33。

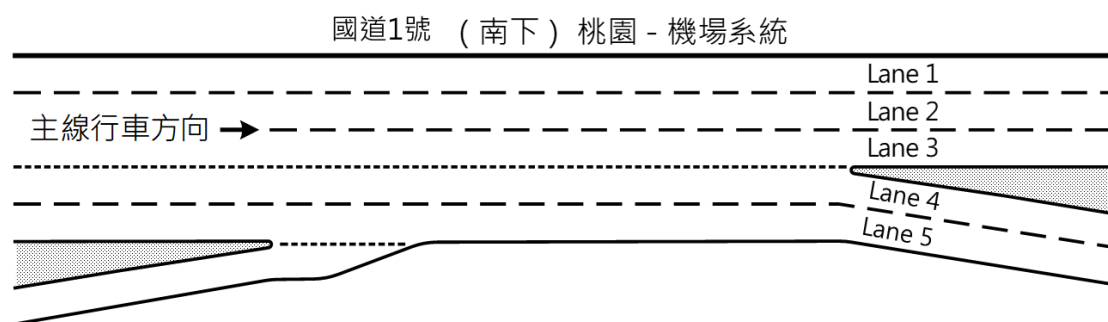


圖 3.4-31 國 1 南下桃園~機場系統幾何配置圖

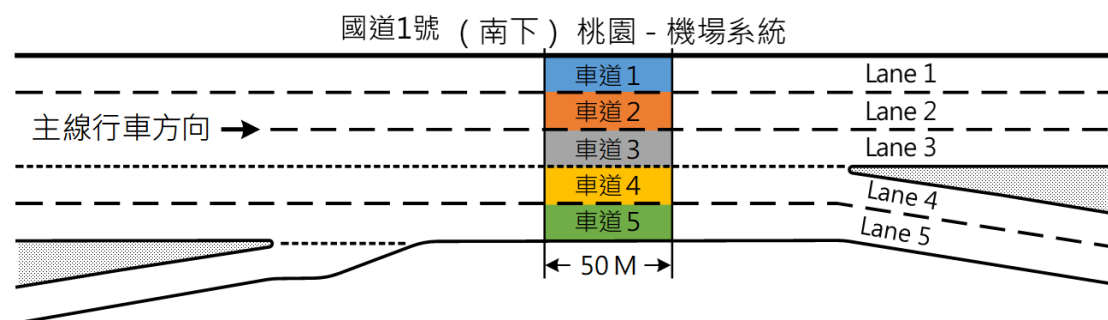





圖 3.4-32 國 1 南下桃園~機場系統流率、密度、速率資料選取範圍示意圖

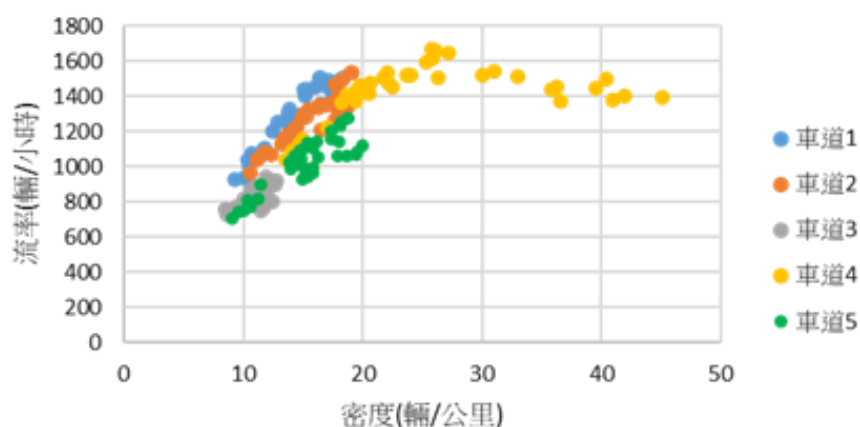
非壅塞	
進入壅塞	
壅塞	

補充說明：現場調查時主線無壅塞之情形，外側兩車道觀察到車速下降之情形。

圖 3.4-33 國 1 南下桃園~機場系統交織路段不同車流狀態示意圖

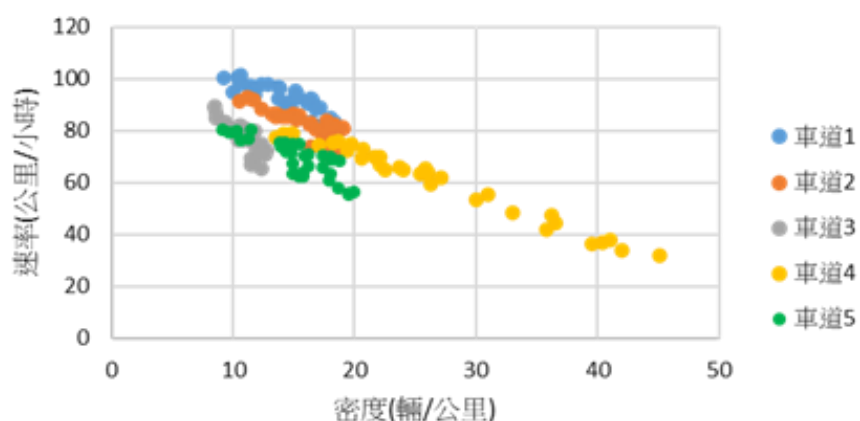
圖 3.4-34 (a)至(c)顯示了調查時間內國 1 南下桃園~機場系統交織路段速率、流率與密度之關係，在調查時間中，車道 4 的流率有達到 1600 輛/小時，剩下的車道 1、2、5 之最高流率皆在 1200~1550 之區間，而車道 3 在調查時段內之最高流率僅約 945 輛/小時。本地點僅車道 4 有明顯發現壅塞的狀況，該車道調查時段內密度在 13~45 輛/公里之間，最高流率為 1670 輛/小時。主線 1~3 車道之皆呈現密度不高之狀況，可由圖 3.4- 29 發現僅車道 4 在 V-K 與 Q-K 關係圖有呈現一低速率高密度、高密度且流率下降之狀況。整體而言國 1 南下桃園~機場系統交織路段壅塞發生於車道 4，其餘車道無觀察到壅塞情形。

國1南下 桃園~機場系統交織路段Q-K圖

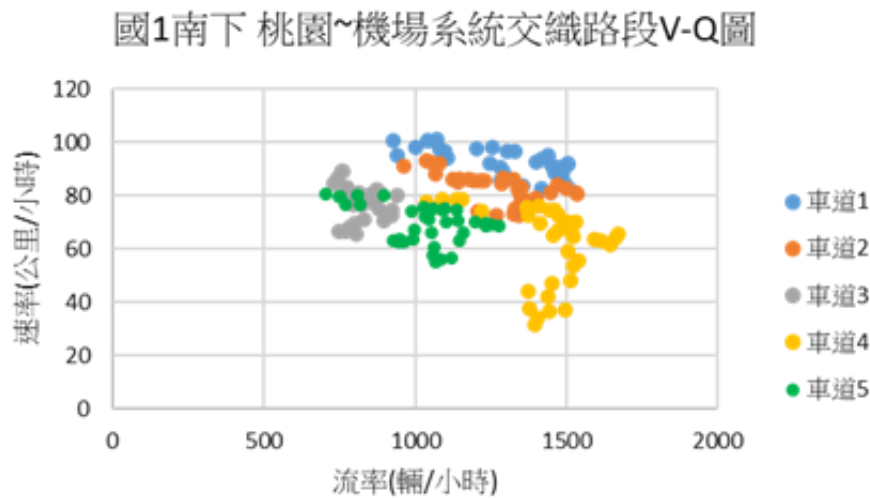


(a) 各車道 Q-K 圖

國1南下 桃園~機場系統交織路段V-K圖



(b) 各車道 V-K 圖



(c) 各車道 V-Q 圖

圖 3.4-34 國 1 南下園~機場系統速率、流率與密度之關係

圖 3.4-35 為此地點在不同壅塞情況下，根據 10 分鐘資料樣本下每 10 公尺各車道平均速率圖以及每 50 公尺內車道變換的呈現，車道變換次數轉換成以次數/小時為單位。選擇三個時段樣本，包括非壅塞(08:20~08:30)、非壅塞進入壅塞(08:30~08:40)及壅塞(08:45~08:55)，作為不同速率情況的比較對象。其中，鼻端位置分別位於該圖之 50 公尺區間與 1250 公尺之區間內。本調查地點之下游鼻端處位於第 1250 公尺的區間，但該區間有門架遮蔽影響，在速率以及變換車道頻次會有被干擾的情形發生，也因此第 1250 公尺區間會有低估速率與高估變道頻次之狀況，數值參考性較低，但以本地點而言，大多車輛都已在更上游之部分完成變道，因此對於車流特性抑或是四股車流量之追蹤結果並無影響。觀察下圖在非壅塞狀況之下主線與輔助車道之速率皆為穩定狀態，進入壅塞狀態下，第 4 車道速率有略為降低，至壅塞狀態時，速率更降低至約 40 kph。

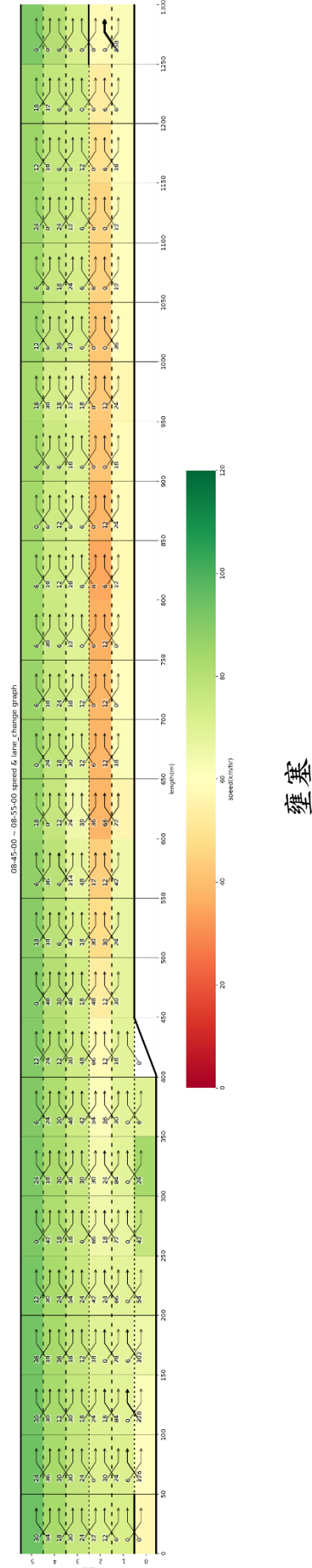
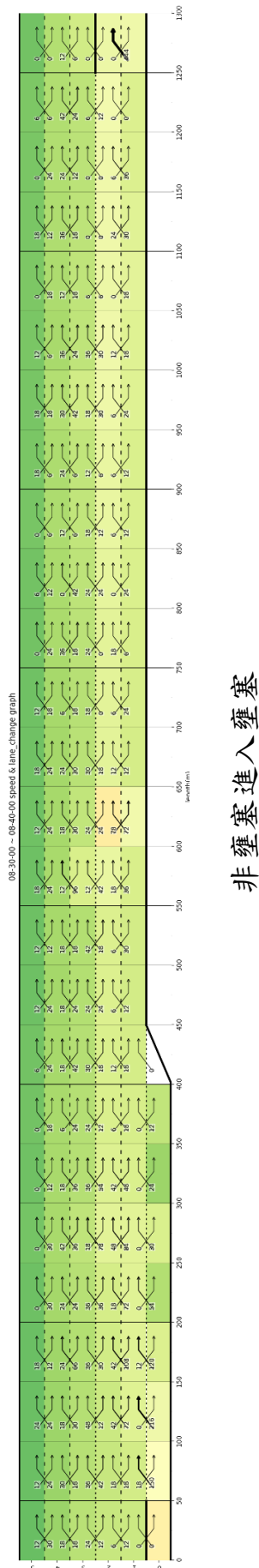
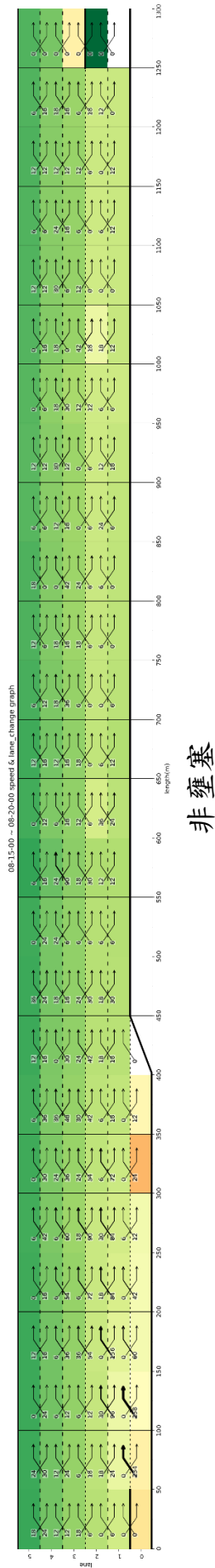


圖 3.4-35 國 1 南下園~機場系統不同壅塞情況下速率及車道變換

國 1 南下園~機場系統交織路段，也是使用兩架無人機拍攝之調查地點，需經後處理將兩個影片的軌跡進行軌跡拼接。經後處理後，有六成以上的車輛軌跡可被完整追蹤。圖 3.4-36 為國 1 南下園~機場系統交織路段根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖，此路段 V_{FF} 之速率為四股車流中最高的一股， V_{RF} 次之， V_{FR} 與 V_{RR} 速率則相較之下較低。表 3.4.11 詳細呈現了本地點在各車流狀態四股車流之平均速率，整體而言四股車流之平均速率皆有隨著車流狀態由非壅塞、進入壅塞，至壅塞的階段而漸漸降低，但可以發現 V_{FR} 與 V_{RR} 車流狀態在壅塞後速率降至 60kph 以下，主要是該調查地點出口匝道車輛較多所致。而 V_{FF} 與 V_{RF} 速率雖有隨著車流狀態趨於壅塞而降低，但到了壅塞狀態皆維持在 70kph 的速度以上。

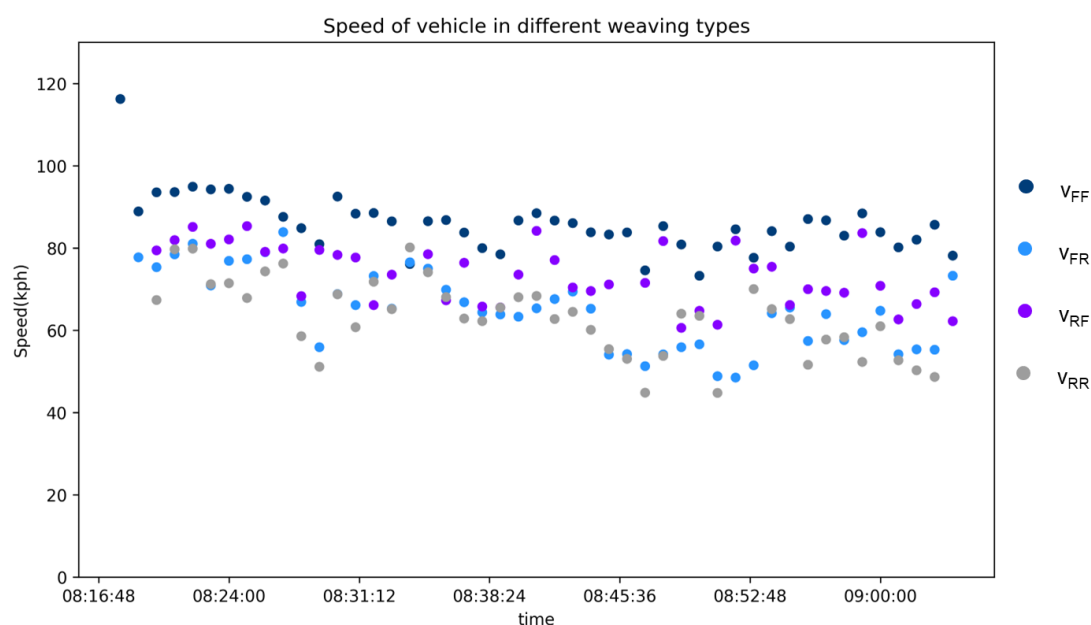


圖 3.4-36 國 1 南下桃園~機場系統各交織類型 V-T 散點圖

表 3.4-11 國 1 南下桃園~機場系統不同交織類型平均速率

壅塞狀態\交織類型 平均速率	主線至主線 V_{FF}	匝道至主線 V_{RF}	主線至匝道 V_{FR}	匝道至匝道 V_{RR}
非壅塞	92.52	81.97	76.90	72.02
非壅塞進入壅塞	84.19	72.91	68.46	67.10
壅塞	80.14	70.82	54.10	55.85
調查時間平均	84.68	73.32	65.28	64.07

圖 3.4-37 為國 1 南下桃園~機場系統交織路段現場調查時間範圍各種交織類型車流車道變換頻次統計圖。圖中橫軸為車輛離開交織路段時間，縱軸為每 1 分鐘內該種交織類型車輛平均變換車道次數，詳細不同交織類型頻次平均如圖 3.4-37 所示。表 3.4.12 可以看出，交織車流 V_{RF} 變換車道次數明顯高於其他 3 股車流，在非壅塞狀況下， V_{RF} 變道次數更高達 4 次之多，該結果屬於正常，因為以本地點之幾何特性導致 V_{RF} 車輛至少需要變換 3 次車道才可以進入主線。另外，觀察 V_{FF} 、 V_{FR} 與 V_{RR} 三股車流之平均變緩車道頻次皆有隨著車流由「非壅塞」至「非壅塞進入壅塞」再至「壅塞」的階段而上升。

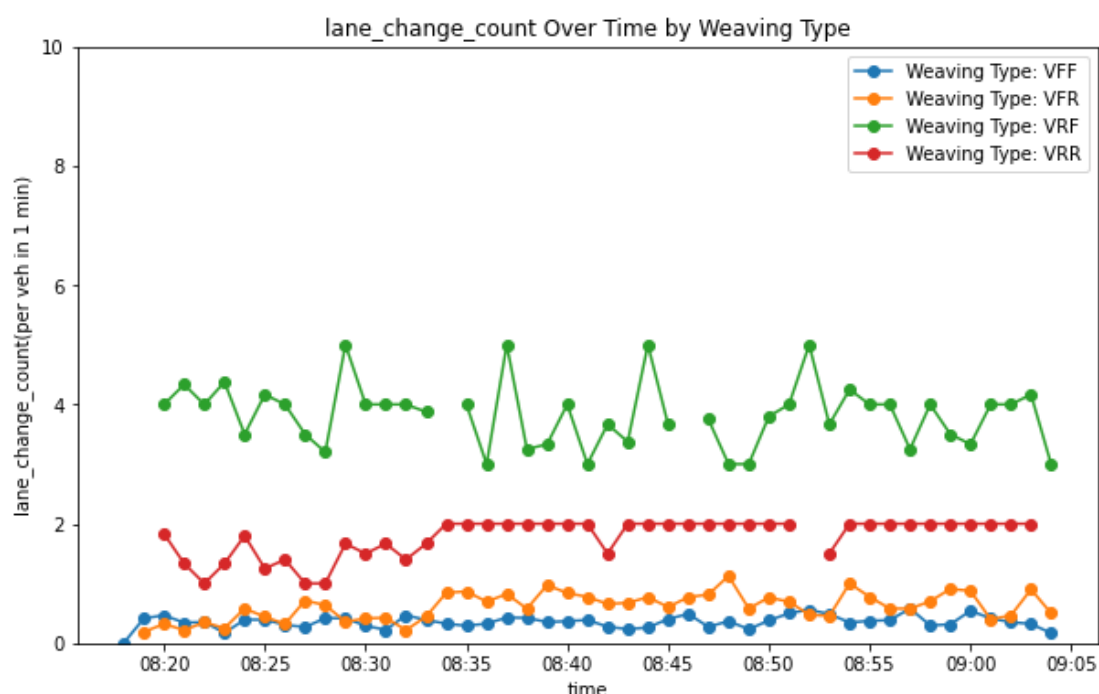
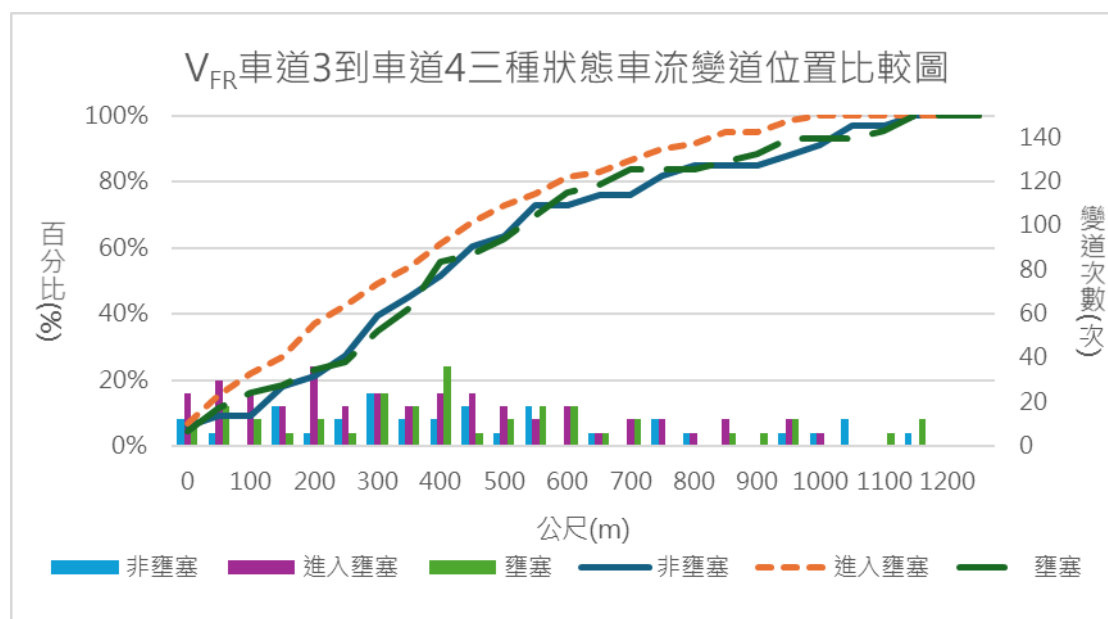


圖 3.4-37 國 1 南下桃園~機場系統各交織類型車道變換頻次圖

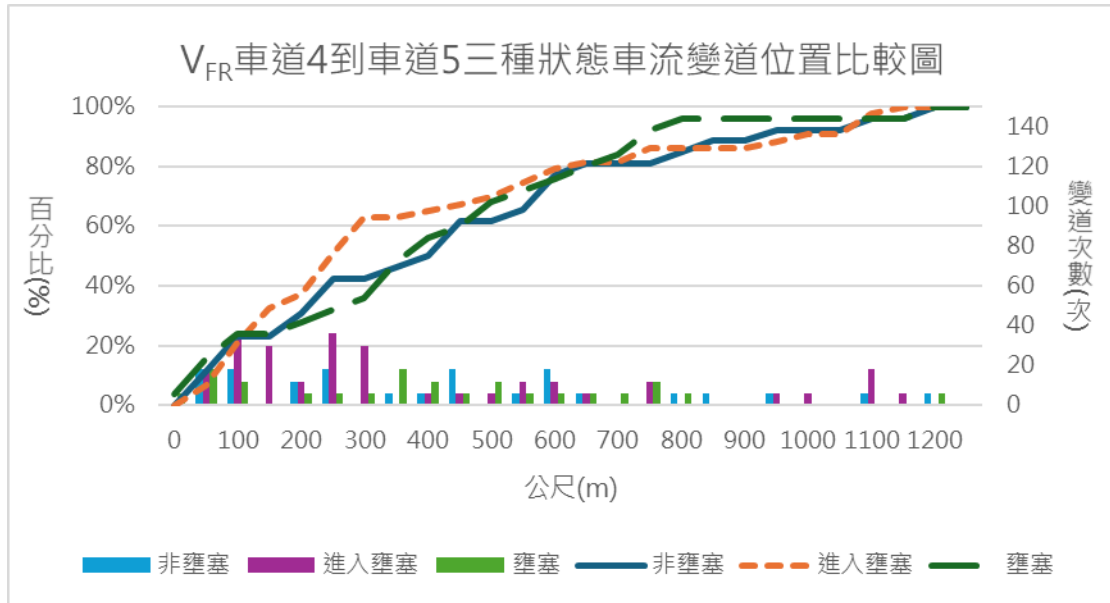
表 3.4-12 國 1 南下桃園~機場系統不同交織類型平均車道變換頻次

壅塞狀態\交織類型 平均變換車道頻次	主線至主線 V_{FF}	匝道至主線 V_{RF}	主線至匝道 V_{FR}	匝道至匝道 V_{RR}
非壅塞	0.34	4.06	0.36	1.48
非壅塞進入壅塞	0.36	3.81	0.61	1.77
壅塞	0.39	3.77	0.70	1.96
調查時間平均	0.37	3.84	0.61	1.78

由圖 3.4-38(a)可以觀察到，車道 3 到車道 4 在非壅塞狀態下和壅塞狀態下在相同觀測區間的變換車道比例差距不大，這兩種狀態皆在交織區段前 36%完成 50%的車輛車道變換，而車流在進入壅塞狀態下完成相同的車輛車道變換比例，區間則會縮短變成交織區段前 28%，在桃園~機場系統這個交織路段可以發現到在即將進入壅塞的時段駕駛人會更傾向於及早變換車道，但下降曲線相對平滑並沒有特別在某個觀測區間有大幅度的變換車道比例。由圖 3.4-38 (b)可以觀察到，車道 4 到車道 5 在非壅塞狀態下會在交織區段前 36%完成 50%的車道變換，車流在壅塞狀態下則區間會稍微縮短變成交織區段前 32%，而車流進入壅塞狀態下，區間會再進一步縮短變成交織區段前 24%，在桃園~機場系統這個交織路段可以發現到在即將進入壅塞的時段駕駛人會更傾向於及早變換車道，可以發現在進入壅塞的車流狀態下，大部分車駕駛人更傾向在上游鼻段到鼻端後 300 公尺這段區間進行車道變換，推測是往機場方向的出口匝道的需求較多，所以駕駛人及早進行排隊。



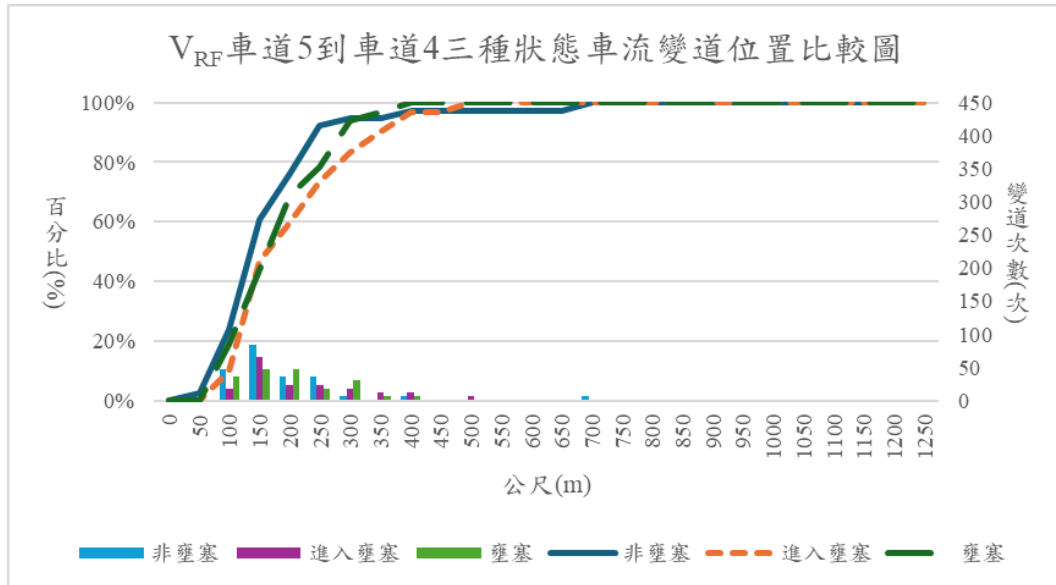
(a) 車道 3 至車道 4



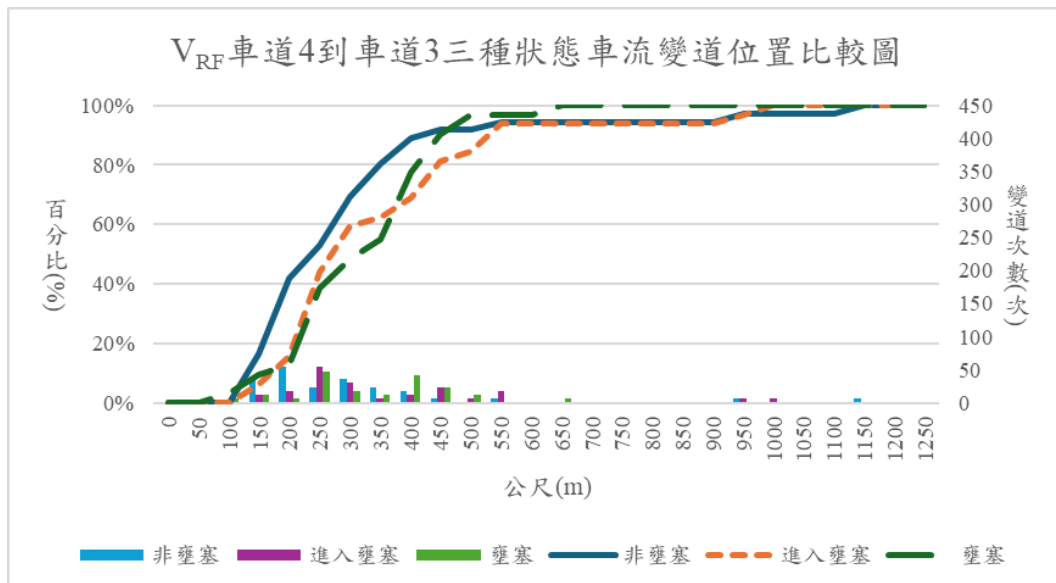
(b) 車道 4 至車道 5

圖 3.4-38 國 1 南下桃園-機場系統主線至匝道車流之車道變換位置分布

由圖 3.4-39(a)可以觀察到，不管在何種車流狀態下皆在交織區段前 12%完成 50%的車道變換，且車道變換的比例相差不大。由圖 3.4-39 (b)可以觀察到，在非壅塞狀態下，車流在交織區段前 20%完成 50%的車道變換，而車流在進入壅塞狀態下則會稍微延長變成交織區段前 20%~24%，而在壅塞狀態下此區間會再進一步延長變成交織區段前 24%，國 1 南下桃園-機場系統從匝道進入主線須透過 3 次的車道變換，所以可以發現在完成 50%的車道變換區間段為層層遞進，而在此交織路段的非壅塞狀態反而會比壅塞狀態更早變換車道的原因應該是在非壅塞狀態下車輛駕駛人可以順暢的進行連續車道變換，而進入壅塞及壅塞狀態後則無法進行連續車道變換而是要找機會才能進行車道變換。



(a) 車道 5 至車道 4



(b) 車道 4 至車道 3

圖 3.4-39 國 1 南下桃園-機場系統匝道至主線車流之車道變換位置分布

3.5 小結

本研究透過空拍調查及影像分析，對 4 處交織路段進行現場調查，包括國 1 北上 高公局~五股、國 3 南下 霧峰~霧峰系統、國 1 南下 內壢~中壢服務區、國 1 南下 桃園~機場系統。在調查技術方面，在無人機飛行空域綠區範圍時，飛行高度約 500 公尺正射方式拍攝並採用路段上下游雙機同時拍攝，觀察範圍可達約 1,600 公尺。其中 1 處

調查地點因屬無人機飛行空域黃區，採飛行高度 60 公尺斜拍方式拍攝，觀察範圍約可達 450 公尺。

透過影像分析得到車流軌跡資料進行車流特性分析，發現交織路段之四股車流（主線至主線、主線至匝道、匝道至主線、匝道至匝道）之速度有顯著不同。各車道之運作也會受到四股車流之大小所影響，國 1 北上高公局至五股之壅塞主要集中於輔助車道及主線外側車道、國 3 南下霧峰至霧峰系統之壅塞主要集中輔助車道、國 1 南下中壢服務區至內壢之壅塞集中於主線內側及中間車道、以及國 1 南下桃園至機場系之壅塞集中於輔助車道之左側車道，以上四個地點的壅塞車道各異，也可說明交織路段中可能會發生全部車道壅塞或只有部分車道壅塞的情況。本研究亦發現，如出口匝道為 2 車道且各自引導至不同的目的地，也會對用路人的車道選擇行為造成影響。

在車流運行特性方面，顯示主線至匝道及匝道至主線兩股交織車流之車道變換行為主要集中於鼻端後之穿越虛線而非平均分攤於整個交織車道，顯示駕駛人傾向於盡快完成車道變換，交織行為集中於交織路段的前端，也是容易造成壅塞瓶頸之處，因此交織路段越長可能對於舒緩關鍵範圍之交織情況幫助有限。建議未來可進一步探討駕駛者在交織路段中之用路行為與車道標線設計之關係，例如在交織路段長度足夠長的情況下，將穿越虛線的前段和後段分別畫設為單邊變換車道線（左虛右實、右虛左實），以利將主線至匝道、匝道至主線車流之車道變換位置錯開，降低換道行為集中於特定位置造成壅塞。本研究之相關特性分析結果可提供高速公路局在未來以標線方式作為車流管理策略時作為參考。

最後，在國 3 南下霧峰至霧峰系統中，有觀察到車輛違規跨越禁止變換車道線並提前變換車道，此地點已進行交通工程改善，建議未來可再觀察變化情形。

第四章 交織路段之分析模式

4.1 研究架構

為發展非典型交織路段(包含系統交流道之交織路段)之容量分析模式，本研究提出研究架構如所示。首先，本研究將依照前述之地點選取準則，選取適合之分析地點後，進行空拍、VD 與 ETC 等動態資料，與道路幾何等靜態資料蒐集工作，接著再進行動態資料之整合，以利後續分析使用。

由於目前臺灣公路容量手冊與其他文獻上已有交織區容量估計之模式，本研究將先檢視該些模型是否適用於本計畫目標路段之各種情境，包含不同路段長度、交織與非交織車流、以及不同之交織車流比例。因此，資料整合完成後，即進行既有模式評估。本計畫選取之既有模式包含 HCM (2016)與 THCM (2022)之交織區模式，以及 NCHRP 之模型。待評估既有模式後，本研究將針對此些模型之參數，利用所蒐集之資料來評估其參數，並比較其績效。

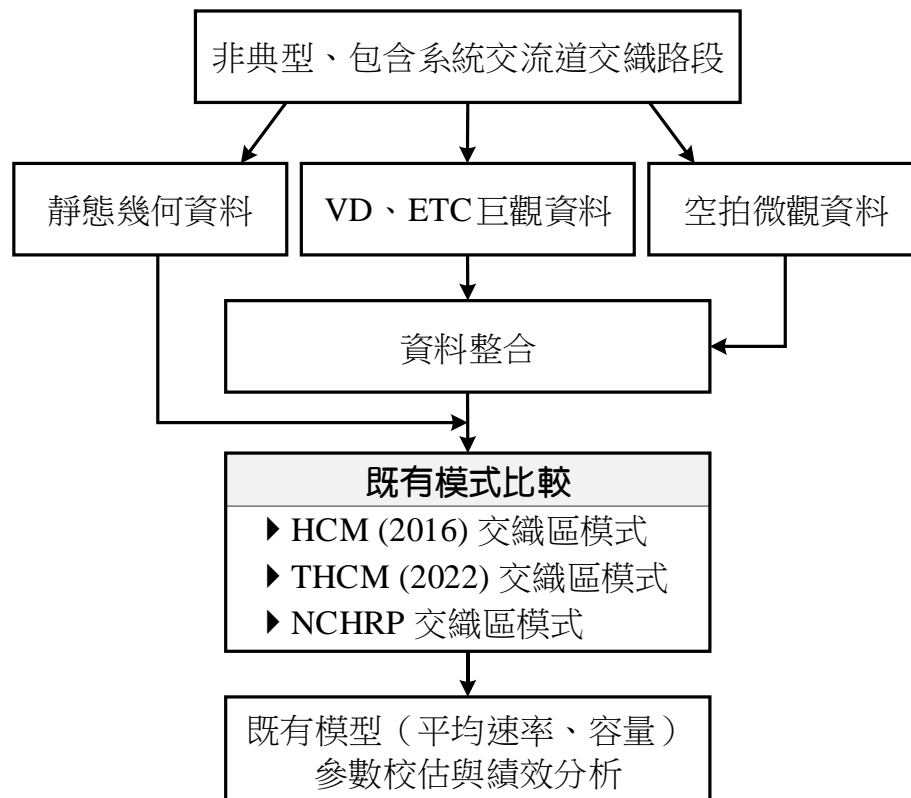


圖 4.1-1 非典型交織路段模式建立流程圖

4.2 分析路段與偵測器資料

本期研究對象為非典型、不包含系統交流道之交織路段，根據「交織路段公路容量及服務水準研究先期規劃」（2022b）整理，國 1 與國 3 共有 15 處交織路段符合此條件。然而，並非每一處地點所呈現的車流型態都適用於速率模型與容量模型的校估。本研究將篩選分析地點之流程整理為圖 4.2-1 所示：

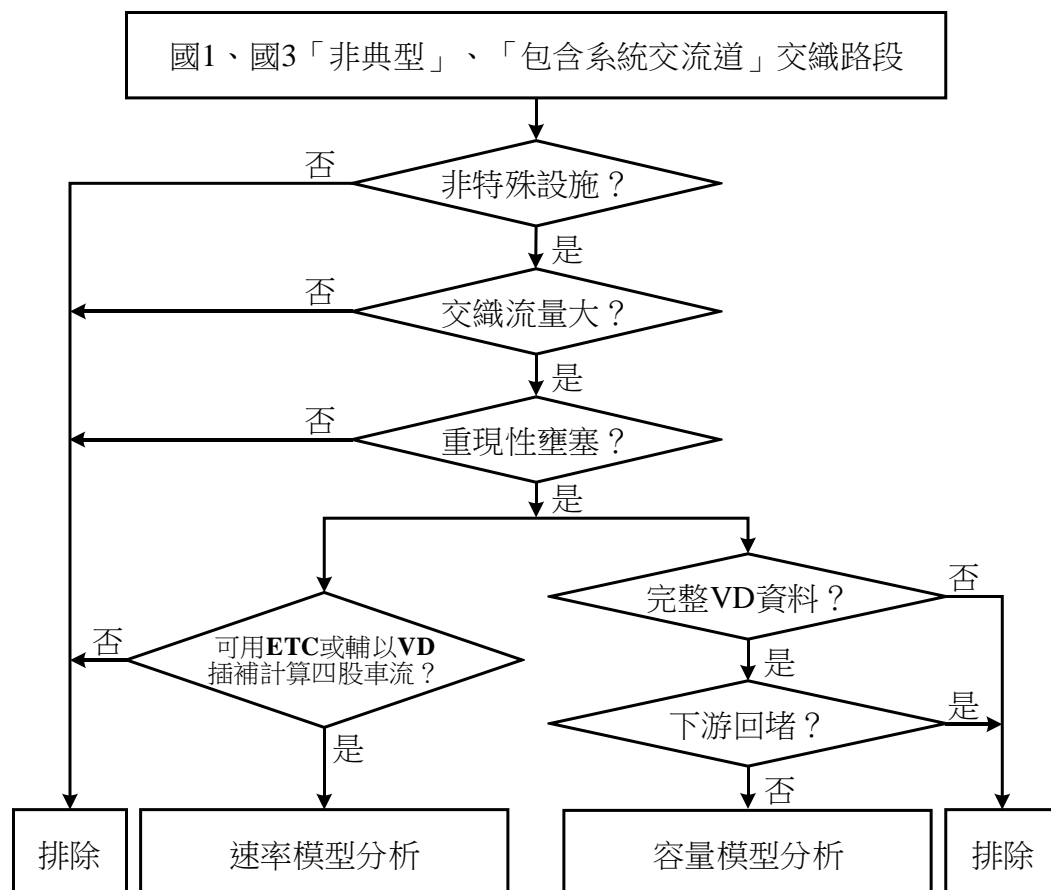


圖 4.2-1 分析地點篩選流程圖

首先，本研究針對特殊設施及交織車流量進行初步篩選，若不符合此部分條件，則不再進行後續車流資料的蒐集。第一項篩選條件為特殊設施，若交織路段位於轉接道、地磅站等特殊設施，車流行為與特性勢必與一般匝道進出口所不同，故不納入分析對象。

ETC 的 M06A 資料包含車輛代碼與該車通過之門架編號與時間，藉由此資訊，可拆分交織路段中旅次路徑方向，並蒐集其交通量。於

分析交織路段容量與速度時，交織車流量係其中一項重要的影響因素。而交織車流量包含以下四種路徑之車流，示意圖如圖 4.2-2 所示：

1. 維持行駛主線(主線-主線，FtoF)
2. 由主線前往匝道(主線-匝道，FtoR)
3. 由匝道進入主線(匝道-主線，RtoF)
4. 由進口匝道至出口匝道(匝道-匝道，RtoR)

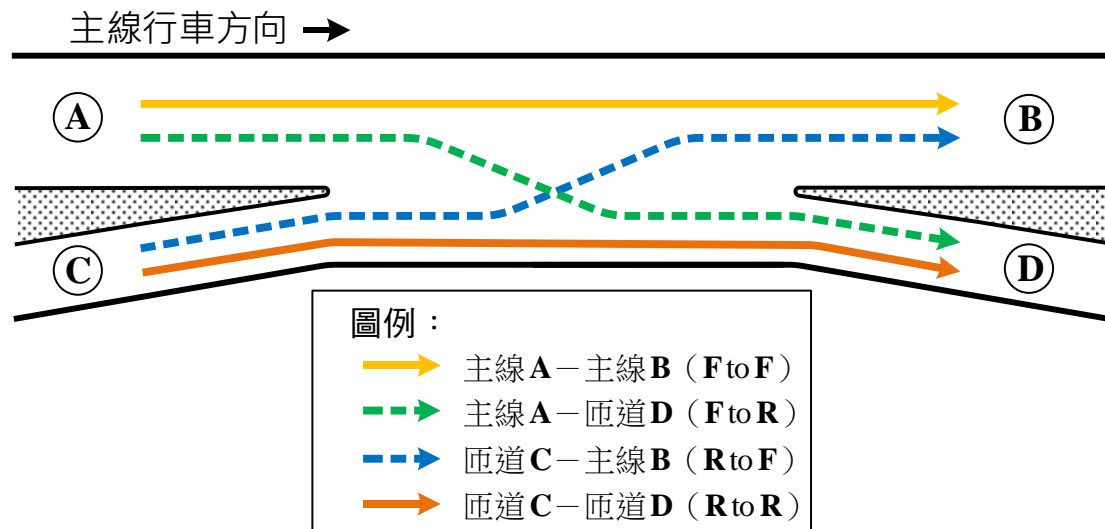


圖 4.2-2 交織路段旅次路徑方向示意圖

由於僅有主線上設有電子收費門架，因此需藉由比對多個門架內通過的車輛代碼，再拆分車輛的行駛路徑，以圖 4.2-3 為例，當車輛通過 W，也通過 UP 與 D，可知其在交織路段的行駛路徑為 FtoF；而當車輛通過 UP 與 W，在 D 卻沒有被觀察到，即可對應 FtoR 行駛路徑。以此方式類推，便可整理出交織路段中四種行駛路徑的交通量。各股車流量與對應 ETC 資訊之關係如表 4.2-1 所示。

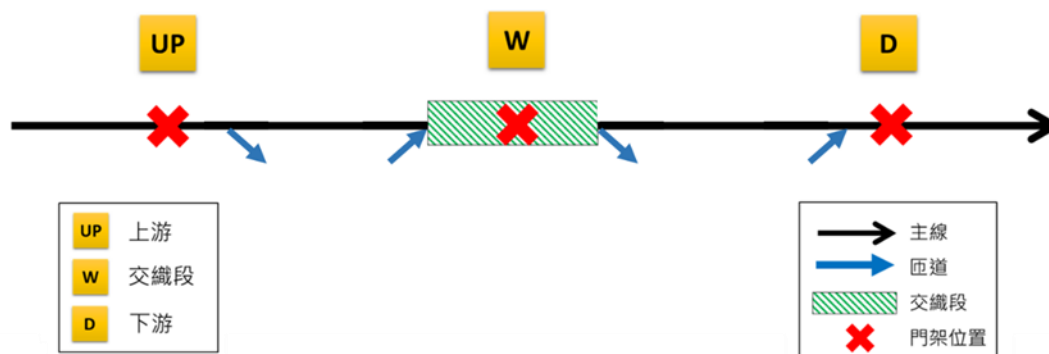


圖 4.2-3 ETC 資料計算範例

表 4.2-1 各股車流與通過 ETC 站點之關係表

各股車流	上游 ETC (UP)	交織路段 ETC (W)	下游路段 ETC (D)
FtoF	O	O	O
RtoF	X	O	O
FtoR	O	O	X
RtoR	X	O	X

而於交織車流量方面，本研究使用交通部高速公路局交通資料庫中的車輛偵測器(Vehicle Detector，VD)資料以及電子收費(Electronic Toll Collection，ETC)資料來計算之。VD 資料可提供每分鐘在單一地點每條車道上不同車種的流量、平均速度，以及占有率資訊。而 ETC 資料則提供各旅次的路徑原始資料 (M06A)，其包含了各車輛在同一旅次中通過的所有門架編號以及通過時間。

若交織路段上下游皆布設有 ETC 門架，且兩 ETC 門架間，僅有一組出口與進口匝道(也就是交織路段的進出口匝道)，則可利用 ETC 資訊計算出各車輛交織路段中的旅次路徑方向，而再予以累加後，即可取得交織路段中四種行駛路徑每 5 分鐘的交通量。如當 ETC 門架的布設位置無法直接求算四股車流之流量時，例如兩收費門架之間有兩個進口或出口匝道，可透過 VD 資料估算兩處匝道流入量並依其比例以插補方式計算四股車流的車流量 (黃家耀等人，2023)。

分析地點需具備一定水準的交織流量，以確認該路段的壅塞係由交織行為導致。除了交織車流外，本研究亦利用 2023 年全年的 VD 與 ETC 資料來檢視候選交織路段是否發生重現性壅塞。本研究採用的壅塞判斷標準為車速低於 70%自由車流速率(FFS)，且至少持續 30 分鐘以上。

若候選地點符合前述條件之要求，則再分別判斷其是否適用於後續速率模型及容量模型之探討。速率模型需利用 ETC 資料或輔以 VD 插補方式計算出完整的四股車流流量方能進行校估；容量模型則需具備完整的 VD 資料，包括交織斷面、下游主線以及出口匝道 VD 資

料，判斷是否發生下游回堵等車流特性。其中，下游回堵又可再細分為下游主線與出口匝道回堵。下游回堵則是透過比對交織斷面及最接近之下游主線或出口匝道 VD 資料進行判斷，若下游主線或出口匝道流量達高峰且速率快速下降之發生時間較交織斷面更早，則可判定為下游回堵。由於容量模型校估時，必須要能確實觀察到因交織車流量高或交織區內出口匝道容量不足，所導致之車流崩潰。因此下游回堵之地點將無法供容量模式校估使用。

經過上述篩選步驟，本研究從 14 處非典型、不包含系統交流道交織路段中，選取 8 處交織路段(如表 4.2-2 中以粗體字加底線標示之地點)供後續速率模型或容量模型分析使用。其中有 2 處地點具備完整的 ETC 資料。國 1 南下三重～五股南出、國 1 南下中壢服務區～內壢交織路段之收費門架布設完整，可直接計算四股車流之流量。而國 1 南下東湖～內湖、國 1 南下圓山～台北以及國 1 南下高雄～瑞隆路出口交織路段之收費門架布設，由於缺少上游或下游的門架，無法直接計算四股車流之流量，因此可透過 VD 插補方式進行估算。這 5 處地點皆符合交織車流量高以及重現性壅塞之標準，適合用於後續章節的速率模型之探討。

此外，有 5 處地點具備完整的 VD 資料。國 1 南下東湖～內湖、國 1 南下五股～高公局、國 1 南下中壢服務區～內壢、國 1 北上高公局～五股以及國 1 北上台北～圓山 5 處交織路段，符合交織車流量高、重現性壅塞以及非下游回堵之標準，適合用於後續章節的容量模型之探討，篩選後交織路段資料的用途整理如表 4.2-3 所示。

然而，當偵測器資料可能存在缺漏或不準確的情況，用於分析前一般需經過合適性及準確性的檢查。本研究採用流量守恆原則進行檢查，以確認資料的正確性。流量守恆係指高速公路主線及匝道之上游總流率與下游總流率應符合流量守恆，單日總流量差異應在 5% 以內，並視情況可採用更嚴格或更寬鬆的條件。此外，ETC 之各類車種通行量統計 (M03A) 資料亦用作流量守恆的檢驗標竿。

表 4.2-2 分析地點篩選結果

地點	非特殊設施	交織車流量高	重現性壅塞	可用 ETC 或輔以 VD 插補計算四股車流	完整 VD 資料
國 1 南下五堵～汐止	O	X	-	X	X
國 1 南下東湖～內湖	O	O	O	O	O
國 1 南下圓山～台北	O	O	O	O	X
國 1 南下三重～五股南出	O	O	O	O	X
國 1 南下五股～高公局	O	O	O	X	O
國 1 南下高公局～泰山轉接道	X	-	-	-	-
國 1 南下中壢服務區～內壢	O	O	O	O	O
國 1 南下高雄～瑞隆路出口	O	O	O	O	X
國 1 南下五甲～高雄端	O	X	-	X	X
國 1 北上高雄端～五甲	O	X	-	X	X
國 1 北上泰山轉接道～高公局	X	-	-	-	-
國 1 北上高公局～五股	O	O	O	X	O
國 1 北上台北～圓山	O	O	O	X	O
國 1 北上圓山～圓山	O	X	-	X	X

註：O 為符合條件、X 為不符合條件或資料不足無法判斷、- 為前項目不符合條件因此未進一步檢視。非特殊設施係指交織路段位於轉接道、地磅站等特殊設施。

表 4.2-3 分析交織路段用途一覽表

交織區名稱	速率模型分析	容量模型分析
國 1 南下東湖～內湖	O	O
國 1 南下圓山～台北	O	X
國 1 南下三重～五股南出	O	X
國 1 南下五股～高公局	X	O*
國 1 南下中壢服務區～內壢	O	O
國 1 南下高雄～瑞隆路出口	O	X
國 1 北上高公局～五股	X	O*
國 1 北上台北～圓山	X	O*

註：O 為符合條件、X 為不符合條件；*無法直接用 ETC 資料或以 VD 插補方式計算出四股車流，因此只能估算容量值，無法探討交織車流比例對容量之影響。

4.3 交織路段容量估算

「2022 臺灣公路容量手冊」對於服務水準的評估主要採用了兩大指標：需求流率與容量比 (v/c) 和平均速率與速限比，交織路段分析則以交織及非交織車流的平均速率作為服務水準的評估指標，未能與公路容量手冊的其他章節一致。該分析方法也不需要對交織路段之容量值進行估算，如果要改為使用 v/c 作為評估指標，有需要對交織路段的容量值進行分析。

4.3.1 容量估算方法

目前臺灣公路容量手冊有提供各設施的容量值估算結果，但未有明述由現場調查或偵測器資料去估算容量值之分析程序。參考國內外文獻後，容量值估算主要可以分為兩個方法，方法一為曲線擬合法 (curve-fitting)，利用巨觀車流模型，運用偵測器所蒐集資料繪製流率-速率散布圖並進行曲線擬合；方法二為考慮車流隨機性之隨機容量分析 (Stochastic capacity) 方法，採用之車流崩潰 (Traffic breakdown) 條件找出最大崩潰前流率 (Maximum pre-breakdown flow)，並建立韋伯分布 (Weibull distribution) 或存活分析模型 (Product limit method) (Brilon et al., 2005；Geistefeldt and Brilon, 2009；廖晉毅，2020；HCM 7，2022)。曲線擬合法採用較短期（數天）的資料進行建模，優點為簡單易用，但未能考慮運輸設施在長期之車流運作

表現是否存在差異；隨機容量法則運用長期資料（數個月至 1 年），估算程序較為複雜，可反映車流及設施運作表現之隨機性。

過去曾以最大通過流率作為容量值參考依據之觀點。然而，當公路設施之通過流率達到最大值時，通常車流已經崩潰且速率降至壅塞狀態。因此，近年研究建議應以車流崩潰前的流率狀態作為容量值的參考。以圖 4.3-1 為例，A 點可視為車流崩潰前狀態，而 B 點則為最大通過流率狀態，A 點的流率約為 5,850 輛/小時，B 點的流率約為 6,050 輛/小時，A 點的速率約為 75 公里/小時，尚未進入不穩定狀態；而 B 點速率下降至 55 公里/小時，顯示車流已經崩潰。因此，就考慮車流運作而言，應採用 A 點而非 B 點作為容量值之參考依據，並於上述之容量估算方法二中納入考量。

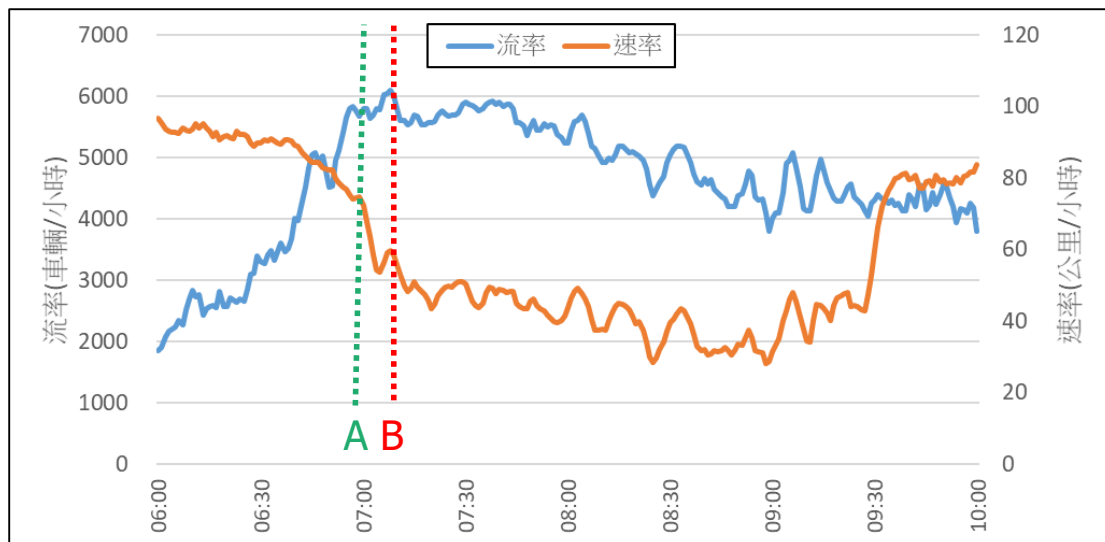


圖 4.3-1 車流崩潰前狀態與最大通過流率狀態說明

圖 4.3-2 為國 1 北上內湖～東湖地點取 7 天資料的流率-速率散點圖，可看出資料點有相當分散的情況，每一天的圖形趨勢都有所差異，有部分天數的最大流率值達 1,400 輛/小時/車道，但亦有天數其最大流率值只能達到 1,200 輛/小時/車道，似乎難以由圖中直接訂定合理的容量值。因此，本節分析以隨機容量分析為主，並配合曲線擬合法進行容量估算值的合理性檢核。

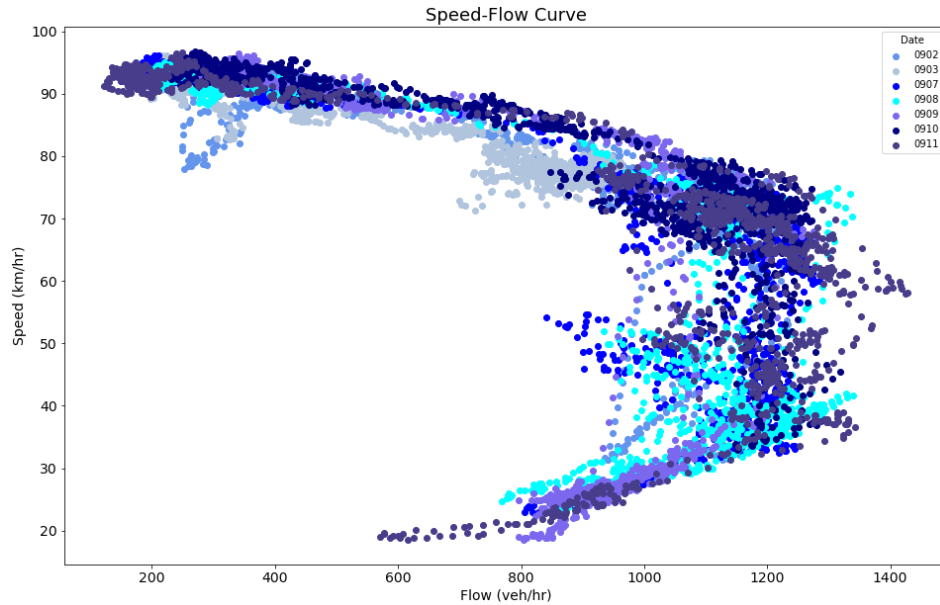


圖 4.3-2 國 1 北上內湖～東湖之流率-速率散布圖

4.3.2 偵測器資料前處理

根據公路容量手冊對於容量計算之說明，公路設計品質的好壞宜根據尖峰 15 分鐘或尖峰小時的車流狀況來評估，容量應根據車流從穩定進入不穩定狀況之前 15 分鐘或 15 分鐘以上之最高流率樣本的平均值估計。國內之車流偵測器 (VD) 之原始資料普遍為 1 分鐘，而過去研究發現高速公路之車流狀態由速度高且穩定進入至車流崩潰之過程很短暫，如將 15 筆 1 分鐘資料整合為一筆 15 分鐘資料，則 1 小時只有 4 筆資料，很可能會過度整合而無法充分反映車流崩潰前的狀態演變。因此本研究採 15 分鐘滾動平均之方式，以一筆資料代表其過去 15 分鐘之平均值，並產製每 5 分鐘資料進行模型建立，一方面可符合容量分析中採過去 15 分鐘之最高流率樣本，同時也可讓時間序列資料保有更細膩之分析尺度。

本研究先將各車道之車流參數資料進行滾動平均，再計算斷面全部車道之車流參數。假設 i 為車道編號、 t 為 1 分鐘時間點，計算公式如下：

1. 各車道之車流資料：

- 車道 i 於時間 t 之流率：

$$V_{i,t} = 4 \cdot \left(\sum_{m=0}^{14} v_{i,t-m} \right) \quad (\text{小車/小時})$$

- 車道 i 於時間 t 之速率：

$$S_{i,t} = \frac{\sum_{m=0}^{14} (v_{i,t-m} \cdot S_{i,t-m})}{\sum_{m=0}^{14} (v_{i,t-m})} \quad (\text{公里/小時})$$

當中 $v_{i,t}$ 及 $S_{i,t}$ 為 1 分鐘 VD 原始資料中車道 i 時間 t 之流量（轉換為小車）及速率， $V_{i,t}$ 及 $S_{i,t}$ 為其過去 15 分鐘之加總或加權平均值。

2. 斷面全部車道平均之車流資料：

- 全部車道於時間 t 之車道平均流率：

$$V_t = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N V_{i,t} \right) \quad (\text{小車/小時/車道})$$

- 全部車道於時間 t 之車道平均速率：

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{i,t} \cdot S_{i,t})}{\sum_{i=1}^N (V_{i,t})} \quad (\text{公里/小時})$$

當中 N 為車道數， V_t 為時間 t 之車道平均流率、 S_t 為時間 t 之車道平均速率。

4.3.3 容量估算程序及步驟

本研究提出利用現場偵測器資料 (field data) 容量估算之方法，此方法主要參考 HCM 7 第 26 章之第 5 節“Guidance for Freeway Capacity Estimation”及 NCHRP 07-26 報告書中的分析方法，並考慮國內的車流特性加以調整。以下以國 1 北上內湖～東湖地點進行分析程序說明，使用 2023 年 1 年的 VD 偵測器 1 分鐘資料並進行偵測器資料前

處理。但因交織路段範圍內有 VD 出現無資料情況，並排除下游回堵資料，最後選用 66 天資料，其中 32 天有發生壅塞情形：

- 2023/01/01-03/15 交織區 VD (VD-N1-N-16.010-M-RS) 無資料。
- 2023/09/19-2023/12/31 交織區下游 VD(VD-N1-N-15.150-M-LOOP) 無資料。
- 2023/03/16-09/18 近六個月資料，選取有壅塞並排除下游回堵（主線回堵+匝道回堵）資料，選用其中 66 天資料。

容量估算之分析程序共分 9 個步驟：

1. 估算自由車流速率 (FFS)

取白天時段內側車道平均流率低於 500 輛/小時/車道之資料，將車速以流率進行加權平均。考慮到交織區外側車道及輔助車道受匝道速限所影響而可能有不同的車流特性，若路段之主線車道數為三車道或以上，則採內側兩車道進行計算，而若路段之主線車道數為兩車道，則採內側一車道進行計算。

2. 尋找車流崩潰事件及車流崩潰前流率

將車流資料分為四個狀態：(1)自由車流狀態 (Free flow)、(2)速率驟降狀態 (Dropping)、(3)車流壅塞狀態 (Congested)、(4) 車流恢復狀態 (Recovering)，將車流壅塞狀態的第一筆資料定義為車流崩潰，並將前一筆資料記錄為車流崩潰前流率 (Pre-Breakdown Flow, PBF)，圖 4.3-3 為示意圖，其中橘色線條代表速率，藍色線條代表流率。

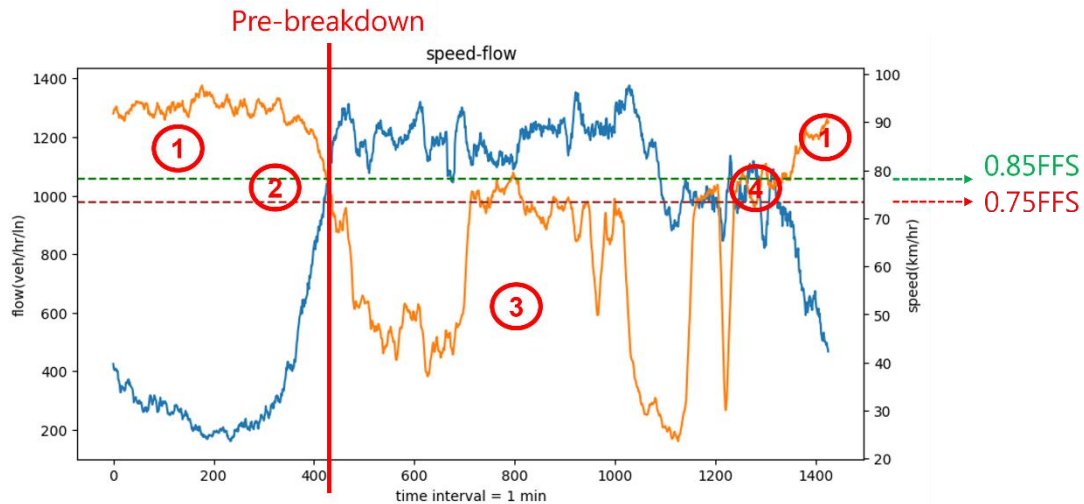


圖 4.3-3 流率-速率範例圖

本研究建議狀態 3 及狀態 4 之計算定義如下：

- 車流崩潰 (Traffic breakdown) 定義：車速低於 75%自由車流速率並穩定持續 15 分鐘以上。
 - 車流恢復期 (Breakdown recovery) 定義：車速恢復到 85%自由車流速率內持續至少 15 分鐘，且上游無瓶頸 (Bottleneck)。
3. 以 100 小車/小時/車道為區間（0 表示為 0-99 小車/小時/車道，100 表示為 100-199 小車/小時/車道，以此類推），將非壅塞狀態之流率資料分為 n 個區間。
 4. 計算每個區間之流率平均值，如圖 4.3-4 所示。

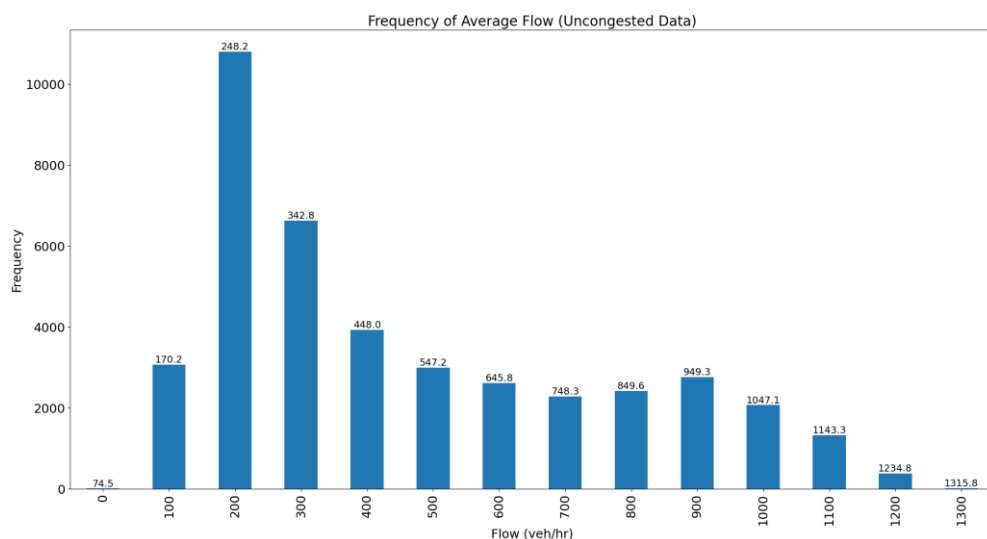


圖 4.3-4 各區間非壅塞資料點之流率次數範例圖

5. 根據步驟 2 之定義，找出發生車流崩潰前流率值。車流崩潰前之判斷條件為從狀態 1 或狀態 2 進入狀態 3，採進入狀態 3 之前 1 筆資料。
6. 以 100 小車/小時/車道為區間（0 表示為 0-99 小車/小時/車道，100 表示為 100-199 小車/小時/車道，以此類推），將車流崩潰前流率資料歸類至對應區間，如圖 4.3-5 所示：

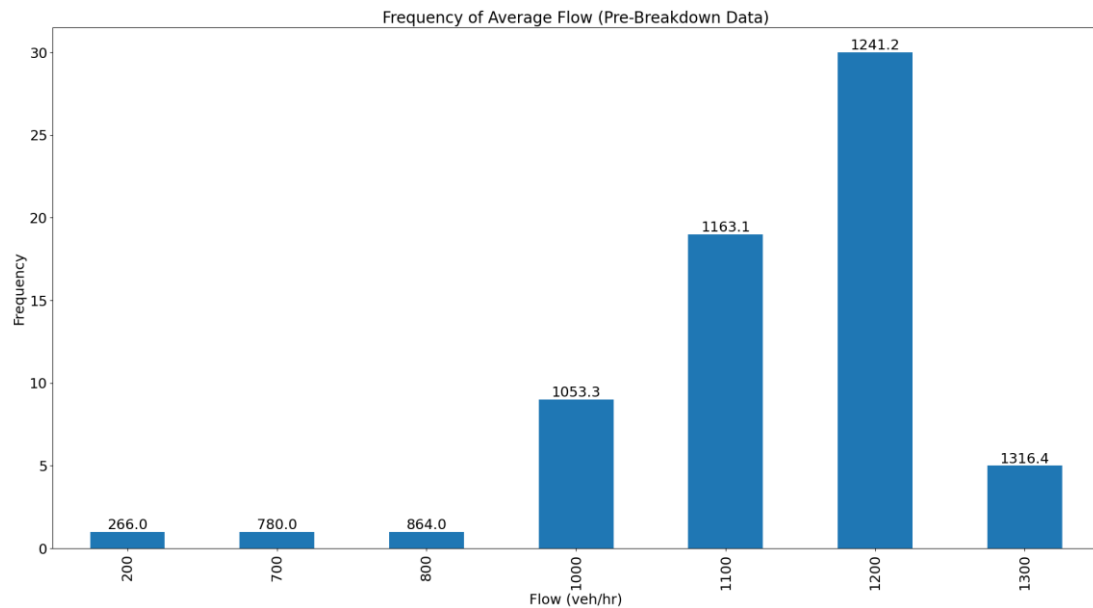


圖 4.3-5 各區間車流崩潰前流率資料點之流率次數範例圖

7. 利用各區間之車流崩潰前及非壅塞發生次數，計算車流崩潰機率 (Breakdown Probability)，當中 i 為區間編號，如圖 4.3-6 所示：

$$P_{B,i} = \frac{\text{Prebreakdown counts}_i}{\text{Uncongested counts}_i}$$

當中 i 為區間編號，如圖 4.3-6 所示。

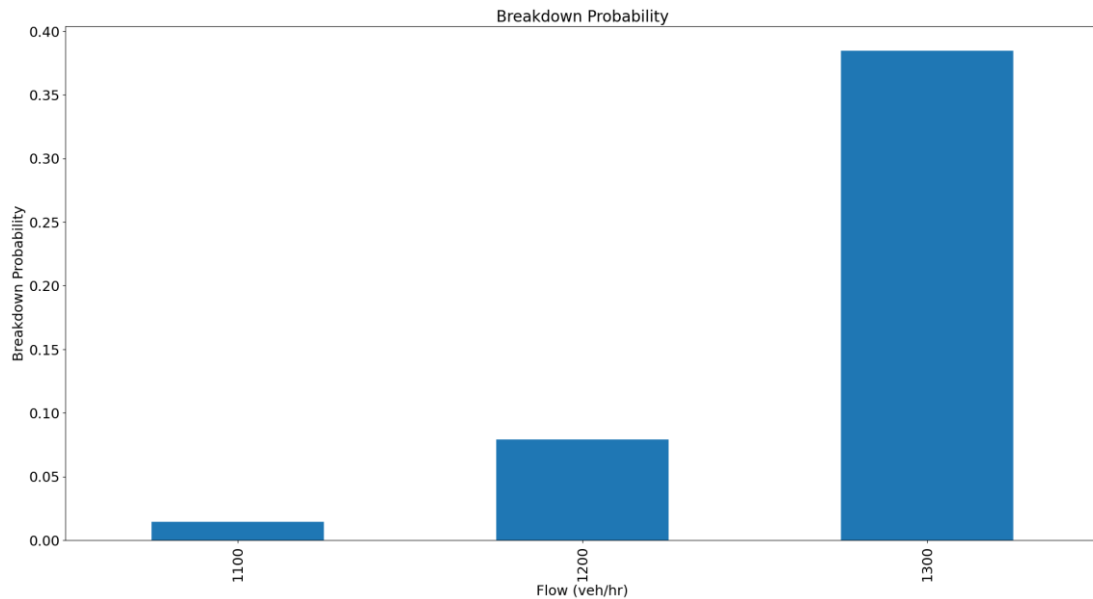


圖 4.3-6 各區間發生車流崩潰之機率範例圖

8. 利用步驟 4 之各區間非壅塞流率平均值及步驟 7 車流崩潰流率機率，校估韋伯分布之形狀 (Shape) 參數以及比例 (Scale) 參數。

- 只運用流率超過 1000 小車/小時/車道之資料區間，如該筆資料低於此門檻值，很可能為當天有發生施工、事故或事件等所導致，應與排除。
- 韋伯分布函數之累積分布函數 $F(X) = 1 - \exp\left(\frac{-(x-\gamma)^\beta}{\alpha}\right)$ ，其中 x 為各區間非壅塞流率值， α 為比例參數， β 為形狀參數， γ 為地點參數。以容量估算而言，一般只需要校估 α 及 β 數值，並假設 $\gamma = 0$ 。

9. 求出該交織路段容量值

- $Capacity = \alpha \times \sqrt[\beta]{-\ln(1-\lambda)}$ ，其中 λ 為車流崩潰發生之可接受率，此門檻值可由分析人員進行設定。
- 美國公路容量手冊建議以 $\lambda=0.15$ 時為該交織路段之容量值，代表在此容量設定下，車流崩潰發生之機率為 15%，在建立崩潰機率曲線後，以 15% 車流崩潰可接受率 (Acceptance rate of breakdown) 作為容量值。如採用更高之可接受率，會得到較高之容量值。

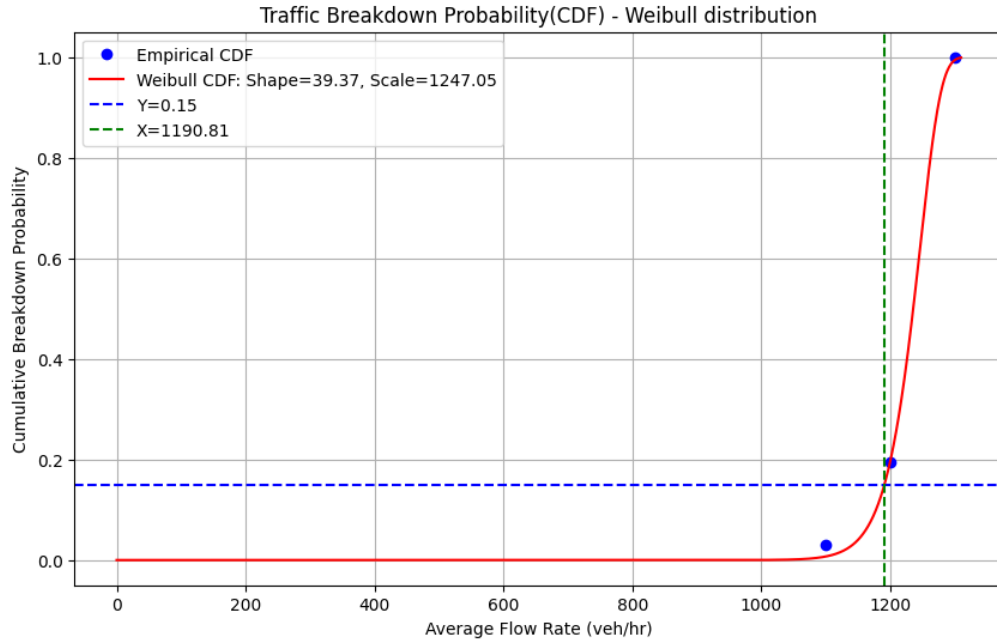


圖 4.3-7 國 1 北上內湖～東湖 韋伯分布之容量建議值

以上的容量估算方法將多筆車流崩潰事件的資料納入，考量車流崩潰事件的高度隨機性。而校估一統計分布模型，一般要求要有 30 筆或以上的資料，即觀察到過去發生 30 次以上的車流崩潰事件。當資料有限或車流崩潰事件較少時，韋伯曲線的擬合可能會導致不切實際的容量估算，則建議可採用傳統之速度-流量曲線的方法，由曲線中判斷最大流量及容量值。另外，在容量估算分析的過程中，需要排除異常情況（例如偵測器資料異常、下游瓶頸回堵），如圖 4.3-8 所示。

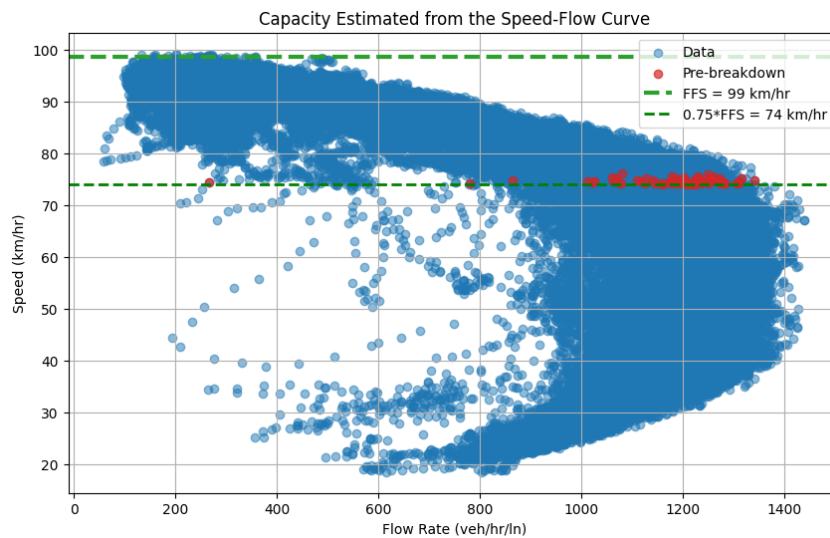


圖 4.3-8 國 1 北上內湖～東湖流率－速率圖

4.3.4 分析地點

經盤點後，符合容量估算條件的交織路段地點包括 2 個典型交織路段及 5 個非典型交織路段，其幾何資訊如表 4.3-1，其中 LC_{RF} 代表匝道至主線交織車流中最小換道次數， LC_{FR} 代表主線至匝道交織車流中最小換道次數。

表 4.3-1 交織路段幾何條件表

地點	交織路段型態	全車道之車道數	交織車道之車道數	LC_{RF}	LC_{FR}	交織車道長度(公尺)
國1北上 內湖～東湖	典型	3	2	1	1	960
國1北上 內壢～中壢服務區	典型	4	2	1	1	1,300
國1北上 高公局～五股	非典型	6	2	2	0	450
國1南下 中壢服務區～內壢	非典型	4	2	2	0	1,020
國1南下 東湖～內湖	非典型	3	2	2	0	880
國1南下 五股～高公局	非典型	6	2	0	2	630
國1北上 台北～圓山	非典型	4	2	2	0	1,210s

4.3.5 資料使用及參數假設

VD 資料使用位於交織路段能衡量全車道斷面的偵測器，以衡量路段全車道斷面之資料，如國 1 南下東湖～內湖。

使用 2023 年一整年之車輛偵測器 (VD) 資料，並扣除有偵測器故障無資料之情形後進行計算。惟其中地點國 1 南下東湖～內湖於 2023 年 4 月至 6 月期間偵測器更換，只採用 6 月後之資料。

因 VD 資料大型車流率之正確性有疑慮，故本研究採用上午 6 點至下午 6 點之 ETC 資料進行大車比例計算，以 ETC 車種 31 及 32 作為小型車，41 及 42 作為大型車、5 作為聯結車。參考 THCM2022 之基本路段之小車當量建議值，將大型車及聯結車之小車當量值假設為

1.4，即 $ET = 1.4$ 、 $EC = 1.4$ 。計算重型車調整因素後，套用上述之 VD 資料。

計算過程中，以全車道平均速度等於或低於 75%FFS 作為車流崩潰的發生條件，並採用其前一筆資料之流率作為車流崩潰前流率。如採用更高之門檻，應會得到較低之車流崩潰前流率。

4.3.6 容量估算結果及討論

將以上分析程序運用在典型及非典型交織路段包括 2 個典型交織路段及 5 個非典型交織路段，並套用各交織路段之大車比例進行容量值計算，計算結果如表 4.3-2。

表 4.3-2 交織路段容量分析結果

地點	交織路段型態	車道數	自由車流速率 (公里/小時)	大車比例	車流崩潰前 流率之平均值 (小車/小時/ 車道)	容量值 (小車/小時/ 車道)
國1北上 內湖～東湖	典型	3	98.6	14%	1,071.7	1,257.5
國1北上 內壢～中壢服務區	典型	4	103.4	15%	1,380.5	1,604.1
國1北上 高公局～五股	非典型	6	96.0	11%	1,046.7	1,303.9
國1南下 中壢服務區～內壢	非典型	4	101.0	15%	1,282.9	1,448.4
國1南下 東湖～內湖	非典型	3	103.0	16%	1,367.2	1,358.3
國1南下 五股～高公局	非典型	6	96.0	10%	1,501.4	1,452.5
國1北上 台北～圓山	非典型	4	95.0	13%	1,619.5	1,609.1

分析結果顯示，7 個交織路段地點的容量值約在 1200 至 1600 小車/小時/車道，較基本路段之容量值為低。進一步檢視各地點之流率-速率圖進行確認，如圖 4.3-8 所示，可看出資料點高度散布，每天發生車流崩潰的車流狀態有很大差異，可能是由於交織路段的車流運作複雜，交織車流會導致亂流，容量隨交織車流比例上升而降低，另一

可能原因是每筆資料之主線內側車道與主線外側及輔助車道之車流運作不同，如當交織流量高導致交織車道發生壅塞並判斷為車流崩潰，但主線內側車道之車流量低車流順暢狀況，則會發生車流崩潰前流率較低的情況。

4.3.7 容量估算模型

以下探討交織路段之容量值的估算模式，根據表 4.3-2 的結果，可觀察出容量值受全車道之車道數影響最大，交織路段的容量值主要受車道總數的影響，其中車道數為 3 時，容量值介於 1,257.5 至 1,358.3 小車/小時/車道之間，因主線僅 2 車道，大車可使用所有車道，導致流量受大車影響較大時，自由車流速率與容量值均偏低。當車道數增加至 4 時，容量值提高至 1,448.4 至 1,609.1 小車/小時/車道之間之間，接近基本路段的容量值，亦為國內常見的情況。若車道數增至 6，容量值反而下降至 1,303.9 至 1,452.5 小車/小時/車道之間，推測原因為車道數越多，使用率差異增大，加上 L_S 較短，當部分車道進入車流崩潰狀態時，平均流率會較低。而不同交織路段型態（典型與非典型）未顯示對容量值有明顯差異，推測其影響已透過其他因素內化。

交織路段之容量值的估算模型如下：

$$C = \beta_0 + \beta_1 \times N + \beta_2 \times FFS + \beta_3 \times L_S$$

當中 C 為容量值（小車/小時/車道）， N 為車道數， FFS 為自由車流速率（公里/小時）， L_S 為交織路段長度（公尺）， β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、為模型參數。運用前述資料進行估算，結果如下：

$$C = 359.97 + 98.23 \times N + 1.23 \times FFS + 0.58 \times L_S$$

模型校估結果顯示，交織路段容量值 C 受到變數 N 、 FFS 、及 L_S 的影響。各變數的校估係數顯示，車道數 N 與容量值有正向顯著相關，且其 t 值較高（ $t=2.97$ ），代表其影響力大；而 L_S 亦顯著影響容量值（ $t=4.66$ ），但 FFS 的影響則不顯著（ $t=0.13$ ）。整體而言，

回歸模型的 R^2 值為 0.88，RMSE 為 44.23（小車/小時/車道），以及由下圖 4.3.9 模式估計車道容量 c_l 相對於現調容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)，顯示本模型估算式已有不錯之解釋能力。目前先以此作為交織路段分析程序的容量估算模型，後續尚需進一步探討交織路段四股車流之流率與容量之間的關係。

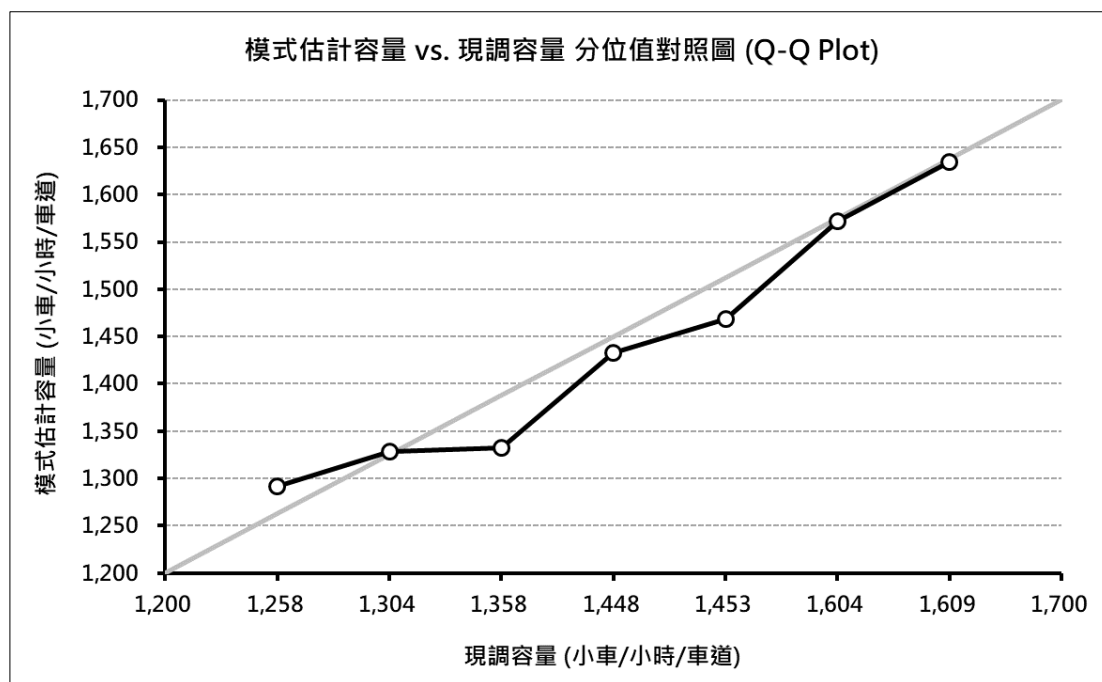


圖 4.3-9 模式估計容量 vs. 現場調查容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)

4.4 速率模型

4.4.1 速率估算模型

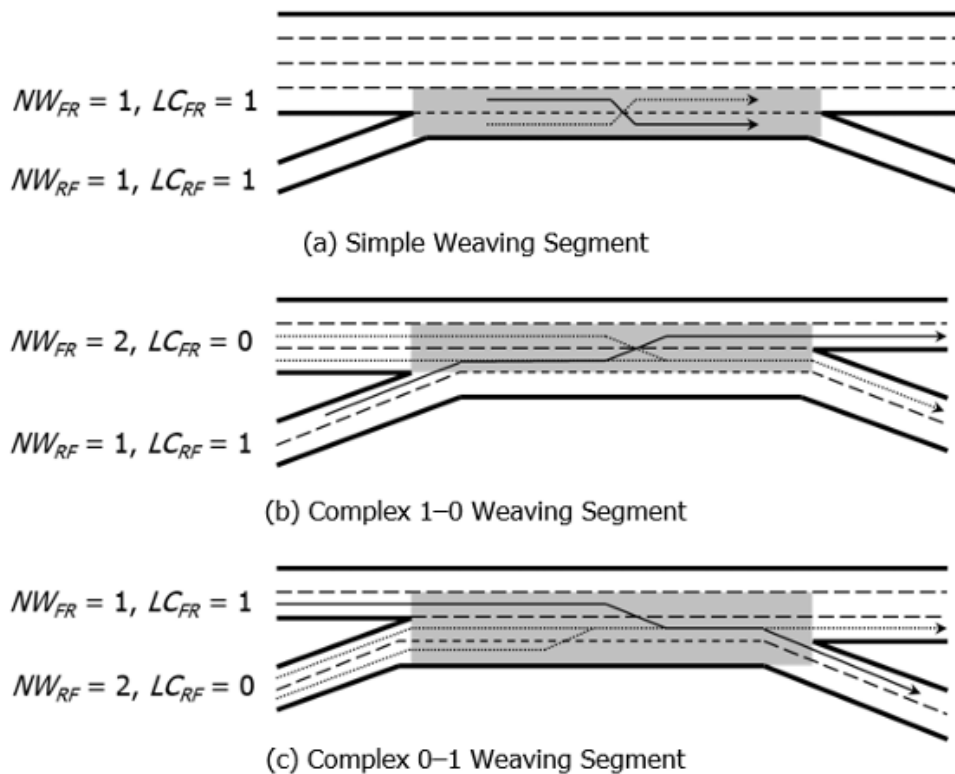
本節運用 VD 及 ETC 偵測器資料，建立適用於非典型交織路段之速率模型。該模型能在不同交織流率及總流率的條件下，估計車流的平均速率。本期研究將採用與第 1 期研究相同架構，參考 NCHRP 07-26 及 STRIDE Project K2 報告書（Schroeder et al., 2023; Roupail et al., 2021, 2023），加入非典型路段之新增變數，如交織車流最小換道次數以及主要發生交織車道數，提出非典型路段之速率模型：

$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{\frac{(LC_{RF} + 1)}{(NW_{RF} + 1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR} + 1)}{(NW_{FR} + 1)} v_{FR}}{N_l^\varepsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$$

其中	S_o	交織路段車輛平均速度(mph)
	S_b	在相同總需求量 V 、車道數 N 、自由流速 FFS 之下的基本路段空間平均速率
	LC_{RF}	匝道至主線交織車流中最小換道次數
	LC_{FR}	主線至匝道交織車流中最小換道次數
	NW_{RF}	在 0 或 1 次車道變換的情況下從匝道進入主線的車道數
	NW_{FR}	在 0 或 1 次車道變換的情況下從主線進入匝道的車道數
	v_{RF}	交織路段匝道至主線流率(pc/h)
	v_{FR}	交織路段主線至匝道流率(pc/h)
	N_l	交織路段車道數(主線車道+輔助車道)
	L_s	交織路段長度(ft)
	$\frac{V}{N_l}$	交織路段各車道流率(pc/h/ln)
	$\alpha, \gamma, \varepsilon, \delta$	參數

本模式之車流量皆為小車當量數，本研究參考 THCM 2022 第四章之圖表，將大型車及聯結車之小客車當量值設為 1.4。且為了符合我國使用習慣，所有後續校估過程均採用公制單位。

此交織路段速率模型的主要影響因素為自由車流速率、交織車流流率、平均車道流率、交織車流最小換道次數、主要發生交織車道數、交織路段長度、交織路段車道數，速率也應不高於相同車流及幾何條件下基本路段的平均速率。不同交織路段型態及車道配置之範例如圖 4.4-1 所示，當交織路段為典型路段時， LC_{RF} 、 LC_{FR} 、 NW_{RF} 、 NW_{FR} 等於 1，上述速率模型與典型路段之模型相同。



資料來源：Schroeder et al. (2023)

圖 4.4-1 交織路段型態之換道次數示意圖

本研究之自由車流速率定義為白天（上午 4 點至下午 4 點）流率較低（低於 500 輛/小時）時，車輛可不受周圍環境影響而自由行進之平均車速。此外，考慮到交織區外側車道及輔助車道受匝道速限所影響而可能有不同的車流特性，因此只採計內側二車道的車速，並以流率加權平均之。

4.4.2 速率模型校估資料

依 4.2 節所述之方式蒐集並處理 VD 與 ETC 之資料，並將資料整理為 5 分鐘 1 筆，並依以下原則進行資料篩選。本計畫後續利用這些資料對上述模型進行校估及調整：

1. 排除平均每車道流率較小資料點

當車流率過低，交織路段運作可視為基本路段，因此排除平均每車道流率小於 500 pc/hr/ln 的資料點，僅保留流率較高的做為校估樣本。

2. 排除壅塞後至回復前之資料點

速率模型僅針對車流崩潰前的車流狀況進行估算，因此模型不考慮車流進入車流崩潰後的情形。參考 NCHRP 07-26 文獻，將壅塞狀態門檻定義為 70% 自由車流速率，只保留高於門檻值的資料進行模型分析。壅塞結束後車速回復階段，相同速率下所能達到流率值比起壅塞發生前通常較低，因此排除壅塞回復後車速低於 85% 自由車流速率的資料點，直到車速恢復到自由車流速率 85% 以上。

3. 排除不合理資料點

偵測器資料有時會有異常，例如低速率且低密度的資料點。參考過去研究，初步將異常條件訂定為平均速率小於 0.75 倍速限值且密度小於 12 pc/km/ln，符合該條件之資料點判定為異常並以人工方式檢視後排除。

透過 4.2 節之分析地點篩選結果，可以得知有 5 處地點之資料適合用於校估速率模型。其分別為國 1 南下東湖～內湖、國 1 南下圓山～台北、國 1 南下三重～五股南出、國 1 南下 中壢服務區～內壢以及國 1 南下高雄～瑞隆路出口。本研究目前針對每處地點各篩選出 10 天有發生壅塞之 VD 與 ETC 資料，供速率模型校估使用。

自由車流速率計算之結果如表 4.4-1 所示。另外，表中亦包含在沒有現場資料下的自由車流速率建議值參考，當速限為 100 公里/小時或以上時，自由車流速率建議值為該路段速限加上 5 公里。結果可發現大部分地點之自由車流速率（偵測器資料）與自由車流速率建議值差異不大。惟國 1 南下圓山～台北交織路段在資料顯示自由車流速率較低，推測可能原因是該路段為上游主線為 2 車道，重車可行駛於內線車道，而重車之限速為 90 公里/小時，也因此降低整體車流之自由車流速度。圖 4.4-2 顯示速率模型校估地點的速率與流率之關係。本研究將壅塞狀態門檻定義為 70% 自由車流速率，僅保留高於此門檻值的資料進行模型分析。各地點之 70% 自由車流速率如圖中紅色虛線所示，而各地點之速率模型校估幾何參數整理如表 4.4-2：

表 4.4-1 速率模型校估資料特性

交織區	車道數	速限(kph)	自由車流速率建議值(kph)	自由車流速率偵測器資料(kph)	壅塞標準(kph)	資料點數量(5分鐘)
國1南下 三重～五股南出	4	100	105	105	74	1,624
國1南下 中壢服務區～內壢	4	100	105	102	71	1,112
國1南下 東湖～內湖	3	100	105	103	72	517
國1南下 圓山～台北	4	100	105	95	67	346
國1南下 高雄～瑞隆路出口	5	100	105	112	78	1,586

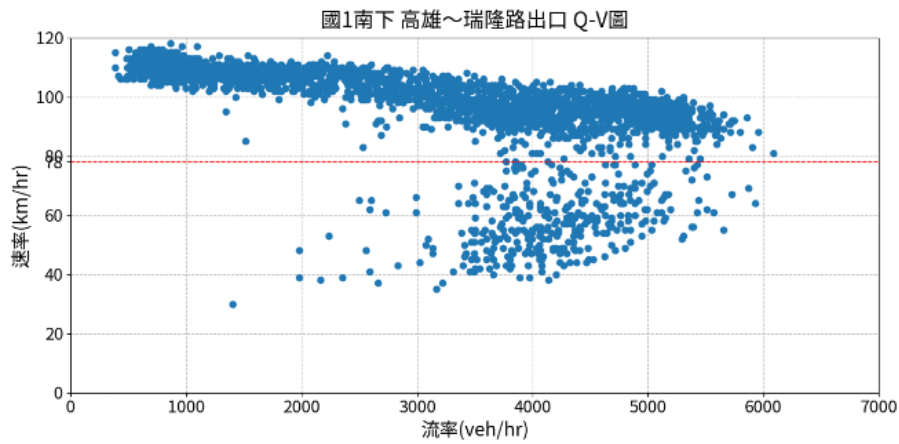


圖 4.4-2 速率模型校估地點之速率與流率關係

表 4.4-2 速率模型校估地點幾何參數

交織區	LC_{RF}	LC_{FR}	NW_{RF}	NW_{FR}	N_l	$L_s(m)$
國1南下 三重～五股南出	1	0	1	2	4	4,630
國1南下 中壢服務區～內壢	1	0	1	2	4	1,020
國1南下 東湖～內湖	1	0	1	2	3	880
國1南下 圓山～台北	0	2	2	0	4	1,370
國1南下 高雄～瑞隆路出口	0	1	2	1	5	1,500

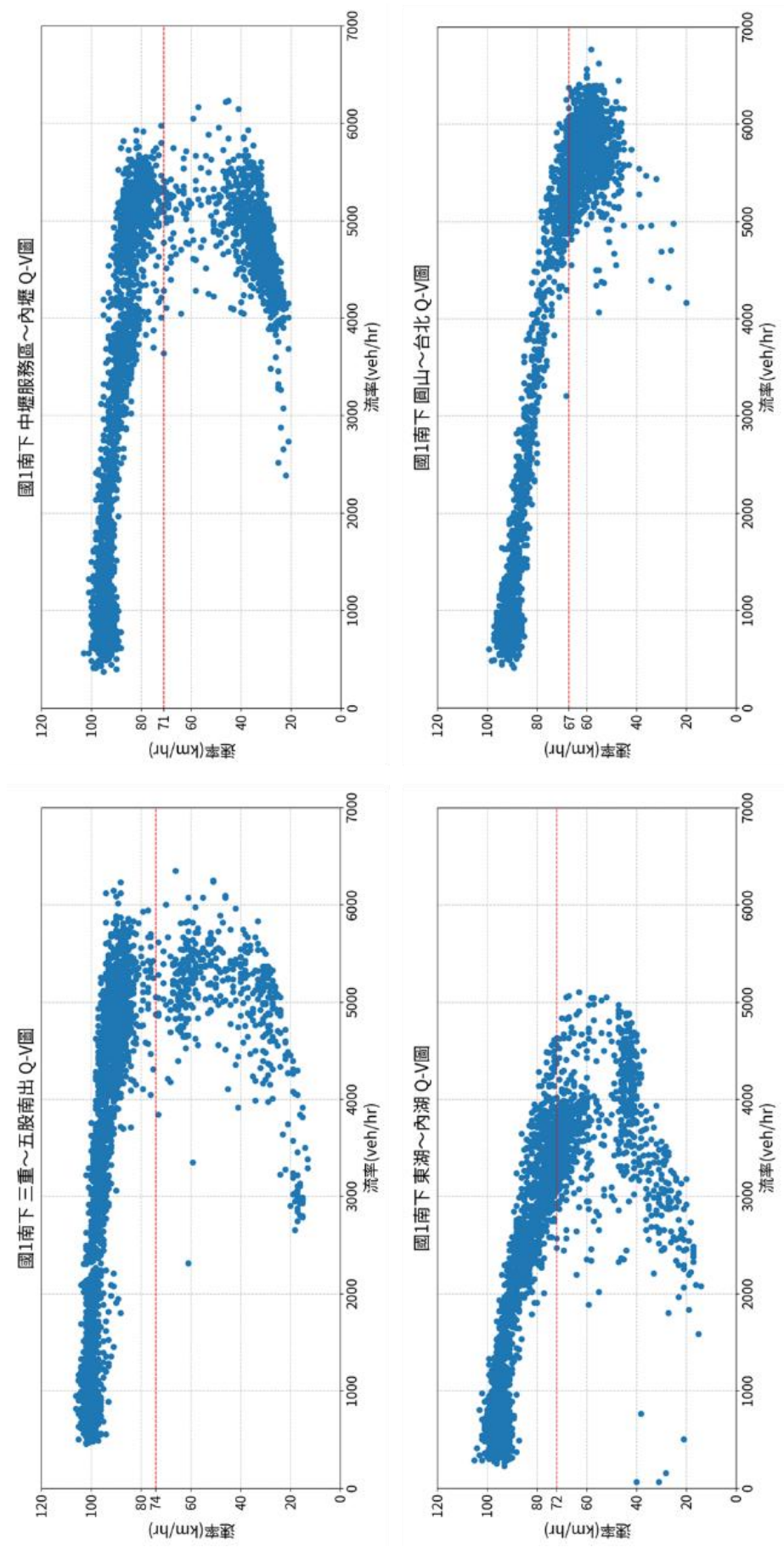


圖 4.4-2 速率模型校估地點之速率與流率關係 (續)

4.4.3 速率模型校估與驗證

本研究首先以所蒐集之資料，校估 4.4.1 節中所提出的速率模型(後稱 Model 1)。模式校估方式係將每 5 分鐘為單位的資料點帶入以下 Model 1 之中，輸入交織車流最小換道次數 LC_{RF} 、 LC_{FR} ，主要發生交織車道數 NW_{RF} 、 NW_{FR} ，交織車流流率 V_{RF} 、 V_{FR} ，每車道平均流率及交織路段長度資料，採用統計軟體，以最小化均方根誤差為目標，校估模式中 α 、 ε 、 γ 、 δ 等 4 個參數，校估結果如下表 4.4-3：

$$\text{Model 1: } S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF}+1)^{V_{RF}} (LC_{FR}+1)^{V_{FR}}}{(NW_{RF}+1)^{V_{RF}} (NW_{FR}+1)^{V_{FR}}} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

表 4.4-3 Model 1 校估參數結果

參數	α	ε	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 1	0.111	0.000	0.001	0.201	5.96
p 值	0.000	-	0.696	0.000	

在 Model 1 校估結果中，觀察發現調整交織路段車道數影響程度的參數 ε 比起 NCHRP 模型影響程度來的小，回顧 NCHRP 研究流程，參數 ε 是設定為一個無法自由校估的參數，並將其定義為 3。本節仿照該流程操作，將參數 ε 設定為常數，其值為 3，並將其定義為 Model 2，模型架構如下，校估結果如表 4.4-4 所示。

$$\text{Model 2: } S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF}+1)^{V_{RF}} (LC_{FR}+1)^{V_{FR}}}{(NW_{RF}+1)^{V_{RF}} (NW_{FR}+1)^{V_{FR}}} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

表 4.4-4 Model 2 校估參數結果

參數	α	ε	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 2	0.111	3	0.000	0.201	5.96
p 值	0.000	-	-	0.000	

在 Model 2 中，將 ε 定義為 3 之情況下，相較於 Model 1，Model 2 之整體誤差略微下降。考慮到校估模型使用資料多半為 4 車道路段，盤點臺灣非典型交織區在車道數上分歧不大且多半亦為 4 車道，本研究調整模型架構，刪除車道數 N_l^ε 影響調整項後，定義該模型為 Model 3，模型架構如下，校估結果如表 4.4-5 所示：

$$\text{Model 3: } S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF}+1)}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR}+1)}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$$

表 4.4-5 Model 3 校估參數結果

參數	α	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 2	0.111	0.001	0.201	5.96
p 值	0.000	0.696	0.000	

Model 3 之整體校估結果以及誤差指標與 Model 1 相比並無顯著差異。團隊欲了解交織流率與總流率對於速率模型影響程度之關係，決定在 Model 3 基礎下調整模型架構，在總流率影響調整項加入一個新的變數 ζ ，定義調整後的模型為 Model 4，模型架構如下，校估結果如表 4.4- 6 所示：

$$\text{Model 4: } S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF}+1)}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR}+1)}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^\zeta \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$$

表 4.4-6 Model 4 校估參數結果

參數	α	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 4	4.787	0.142	0.270	0.200	3.89
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	

Model 4 在誤差指標上比前三個模型有更好的表現。

圖 4.4-3 至圖 4.4-6 比較了 Model 1 至 Model 4 的速率估計值與 VD 速率觀察值之關係，並將不同交織路段使用不同標記以散點圖方

式呈現。觀察發現，多數資料點能被有效估計。在 Model 1、Model 2 和 Model 3 中，綠色標記的國 1 南下中壢服務區～內壢以及黃色標記的國 1 南下圓山～台北交織路段之速率估計有普遍低於實際觀察值之情況。而圖中橘色標記的國 1 南下高雄～瑞隆路出口交織路段則是有速率高估的趨勢。

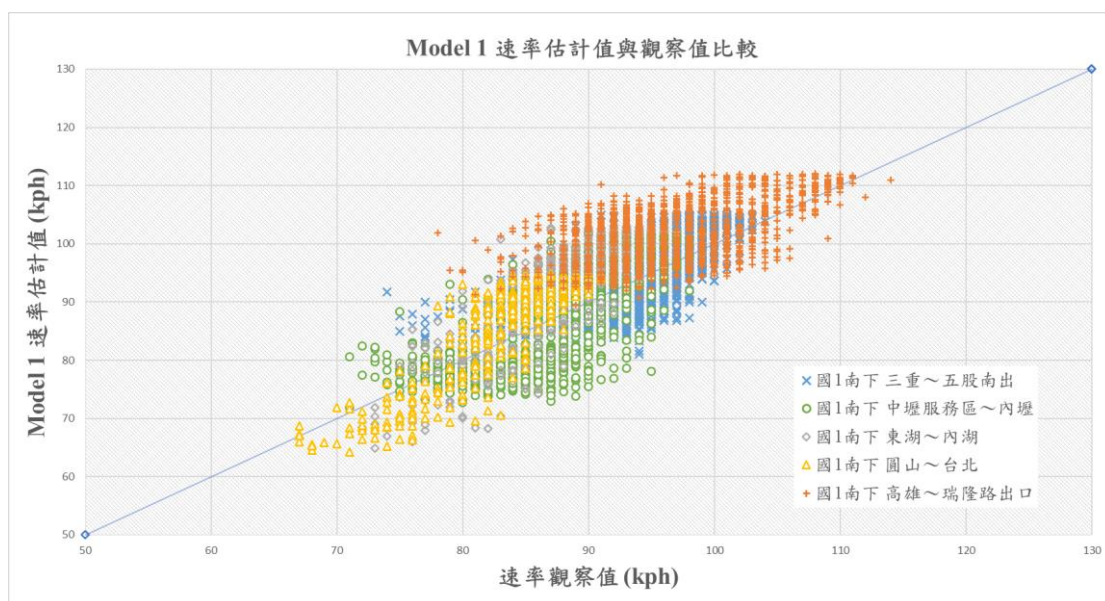


圖 4.4-3 Model 1 速率估計值與觀察值比較

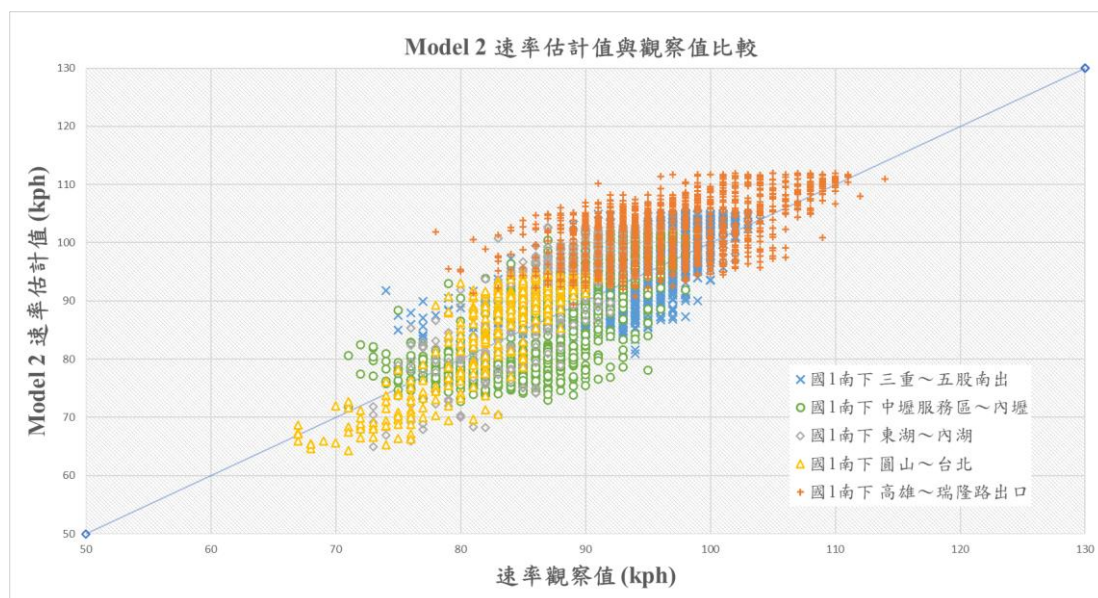


圖 4.4-4 Model 2 速率估計值與觀察值比較

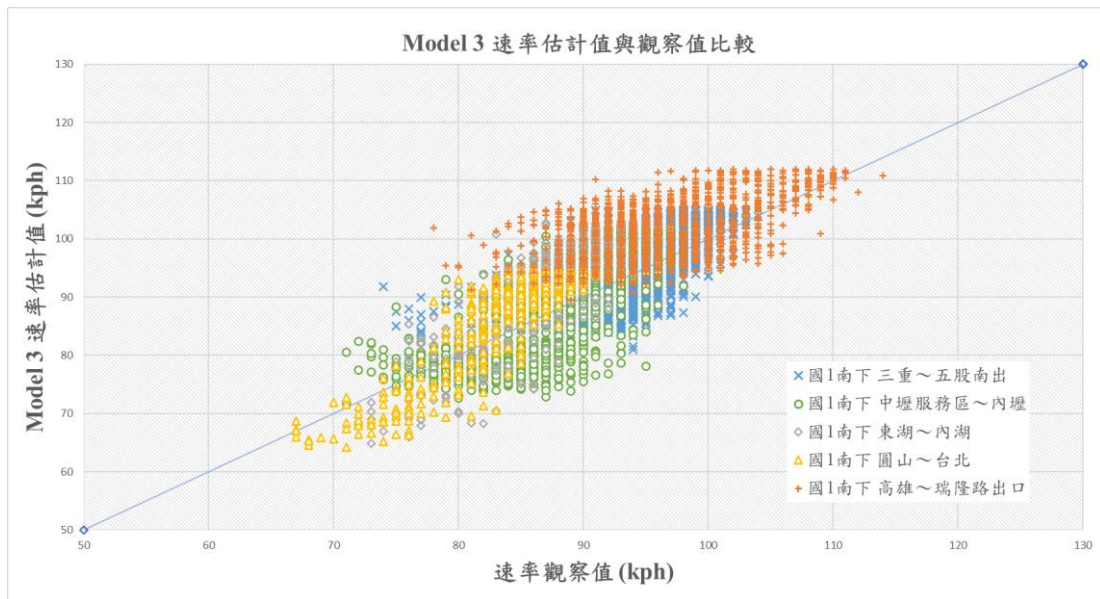


圖 4.4-5 Model 3 速率估計值與觀察值比較

在 Model 4 中，橘色標記的國 1 南下高雄~瑞隆路出口之速率高估的情況有顯著改善。綠色標記的國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段速率低估情況也有所改善。而在速率觀察值為 80 kph 以下，藍色標記的國 1 南下三重~五股南出交織路段、綠色標記的國 1 南下中壢服務區~內壢交織路段以及灰色標記的國 1 南下東湖~內湖交織路段有些微的資料則是明顯呈現速率高估之情況，但從整體觀察來看，Model 4 之速率估計結果顯示其分布較為擬合。但各地點在速率觀察值較低時，Model 4 存在高估之情形。

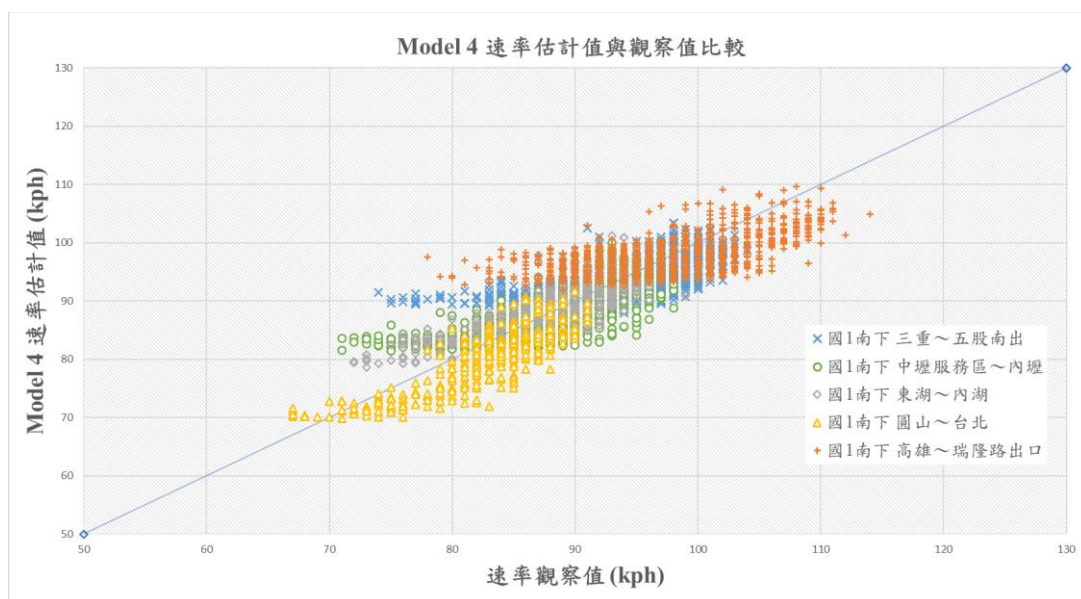


圖 4.4-6 Model 4 速率估計值與觀察值比較

為進一步精進速率模型，本研究參考 NCHRP 07-26 文獻，最先提出之模型是基於 STRIDE 模型進行修改，考量 v_{RF} 和 v_{FR} 兩股車流之差異性，因此在 v_{RF} 變數項加入一個 β 參數進行校估，修正後之模型定義為 Model 5。

$$\text{Model 5: } S_o = S_b - \alpha \left(\beta * \frac{(LC_{RF}+1)}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR}+1)}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

表 4.4-7 Model 5 校估參數結果

參數	α	β	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 5	4.472	0.485	0.136	0.267	0.179	3.88
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

在 Model 5 中加入 β 參數進行校估之情況下，從圖 4.4-7 分析結果來看，速率觀察值較低時的高估現象並未顯著改善，但整體誤差相較於 Model 4 略微下降。

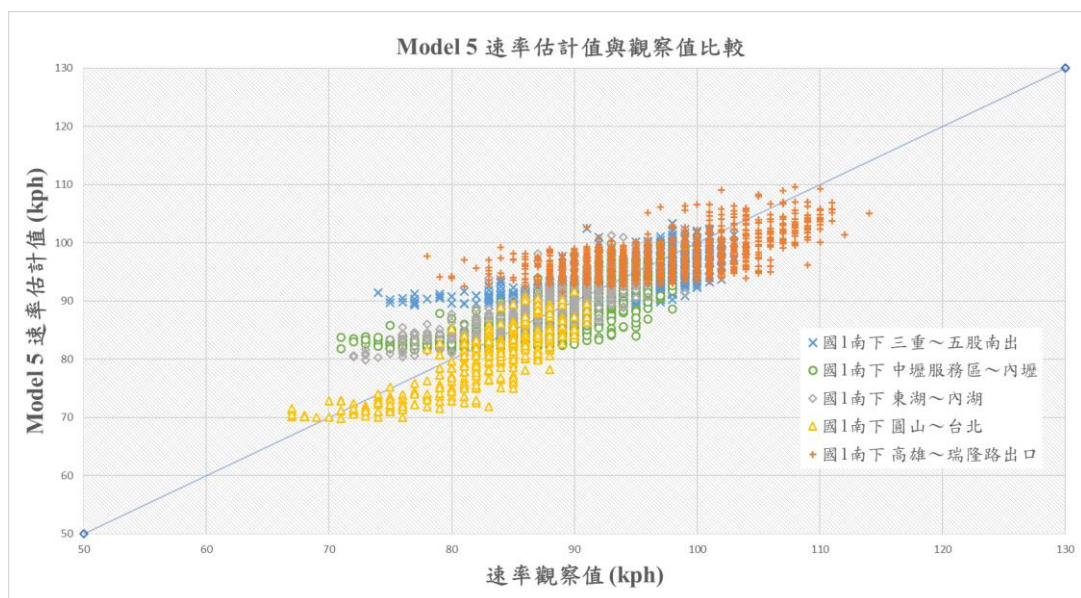


圖 4.4-7 Model 5 速率估計值與觀察值比較

本研究觀察各交織路段之資料分布情形顯示，各地點在速率觀察值較低時之資料分布較為稀少，顯示各交織路段可能存在資料不平衡

現象。本研究推測這可能對模型的校估結果造成影響，因此，進一步處理資料不平衡問題。

本研究採用兩種資料平衡方法，分別為 SMOTE 和 SMOTE + ENN。SMOTE 透過合成少數類別的新樣本來解決資料不平衡問題。而 SMOTE + ENN 則在此基礎上進一步使用 ENN 進行資料篩選與清理，進而提高計算的準確性。經 Model 5 校估後，分析結果顯示 SMOTE + ENN 方法相較於 SMOTE 方法在整體誤差指標上表現更佳，但兩者的誤差指標皆顯著高於資料平衡前之結果，如表 4.4- 8 所示。此外，這兩種資料平衡方法仍無法有效解決速率觀察值較低時之高估問題。

表 4.4-8 資料平衡方法之 Model 5 校估誤差結果

方法	均方根誤差(RMSE)(kph)
SMOTE	5.57
SMOTE + ENN	5.29

4.4.4 非典型與典型交織路段之比較

在第 1 期速率模型之研究中，建議以 Model 4 的架構為主。本研究相較於前期研究，已針對 VD 和 ETC 資料的處理方式，以及自由車流速率的計算方法進行了若干調整。因此，本小節重新以本研究提出之資料處理與計算方式，整理典型交織路段之資料，並重新校估之。典型交織路段之速率模型校估資料特性如表 4.4-9：

表 4.4-9 速率模型校估資料特性

交織區路段	車道數	速限(kph)	自由車流速率建議值(kph)	自由車流速率偵測器資料(kph)	壅塞標準(kph)	5 分鐘資料點數量
國 1 北上 內壢～中壢服務區	4	100	105	102	71	1,073
國 1 北上 內湖～東湖	3	100	105	99	69	254
國 3 南下 新台五路～南港	4	90	100	95	67	703
國 3 南下 烏日～中投	4	110	115	115	81	1,079
國 3 北上 中投～烏日	4	110	115	121	85	888
國 3 北上 南港～新台五路	4	90	100	99	67	1,070

模式校估方式係將每 5 分鐘為單位的資料點帶入 Model 4 模式之中，在典型交織路段中，輸入交織車流最小換道次數 LC_{RF} 、 LC_{FR} 以及主要發生交織車道數 NW_{RF} 、 NW_{FR} ，其數值皆為 1，如交織路段型態之換道次數示意圖圖 4.4-1 (a) 所示。

$$\text{Model 4: } S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF}+1)}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR}+1)}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

表 4.4-10 典型交織路段之 Model 4 校估參數結果

參數	α	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 4	2.871	0.000	0.317	0.05	4.51
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	
第 1 期 Model 4	0.894	0.972	0.255	0.838	8.15

典型速率模型之資料經重新整理後，在誤差指標方面，Model 4 的表現優於第 1 期研究之結果，整體誤差從原先的 8.15 kph 顯著下降至 4.51 kph，改善幅度達 44.66%。

圖 4.4-8 顯示了重新校估後的 Model 4 之速率估計值與實際觀察值之關係，並將不同交織路段使用不同標記以散點圖方式呈現。觀察發現，多數資料點能被有效估計。圖 4.4-8 中淺藍色標記的國 1 北上內壢～中壢服務區以及黃色標記的國 3 南下新台五路～南港交織路段有速率低估的趨勢。而各交織路段皆有出現速率高估之情況，國 3 雙向中投～烏日交織路段在速率低於 95 kph 時有較高的估計值；其他交織路段則是在速率低於 80 kph 時，有明顯高估現象。而圖 4.4-9 顯示第 1 期速率模型的速率估計值與 VD 速率觀察值之關係。從整體觀察來看，相較於第 1 期之結果，本期研究之速率估計結果顯示其分布較為擬合。

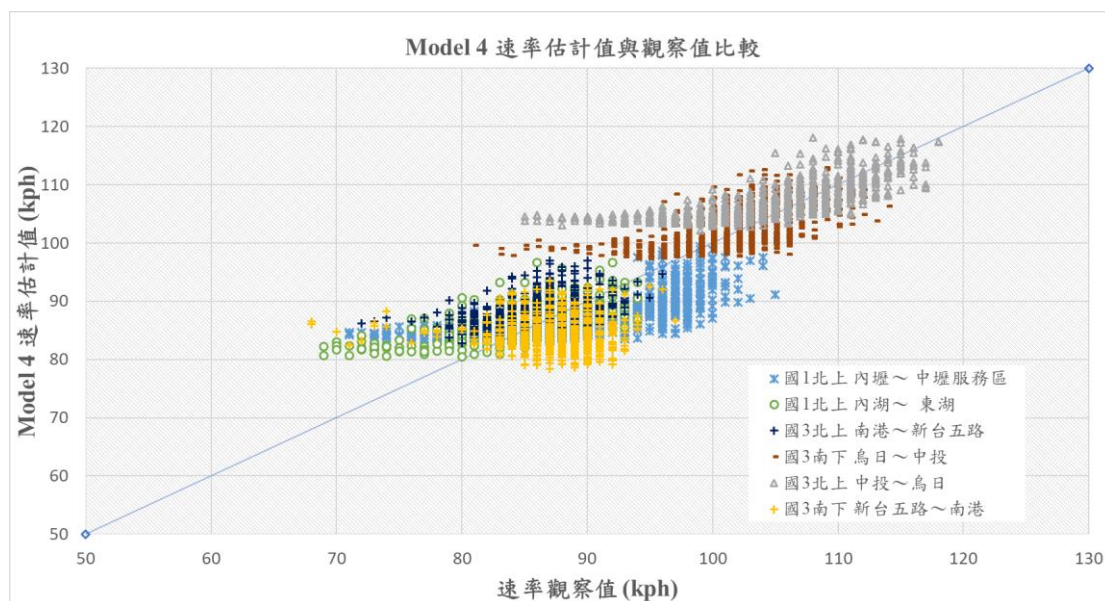


圖 4.4-8 典型交織路段之 Model 4 速率估計值與觀察值比較

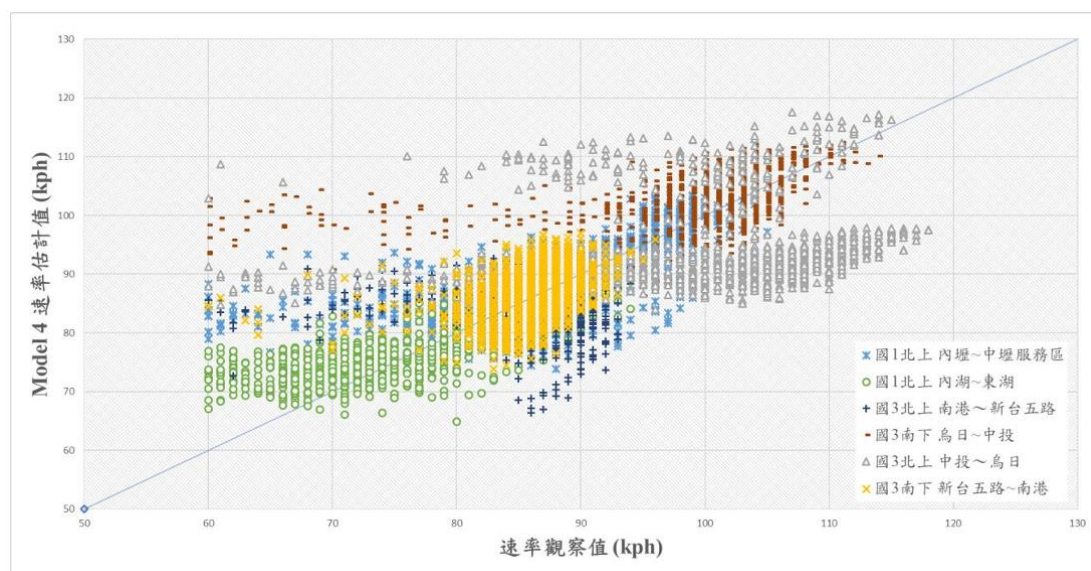


圖 4.4-9 典型交織路段之第 1 期結果速率估計值與觀察值比較

本研究亦使用 Model 5 對典型交織路段進行校估。從圖 4.4-10 分析結果來看，各交織路段速率觀察值較低時之高估情況並未顯著改善，國 3 雙向中投~烏日交織路段在速率低於 95 kph 時有較高的估計值；其他交織路段則是在速率低於 80 kph 時，有明顯高估現象，但整體誤差相較於 Model 4 略微下降。

$$\text{Model 5: } S_o = S_b - \alpha \left(\beta * \frac{(LC_{RF}+1)}{(NW_{RF}+1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR}+1)}{(NW_{FR}+1)} v_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

表 4.4-11 典型交織路段之 Model 5 校估參數結果

參數	α	β	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 5	1.08	0.000	0.098	0.332	0.000	4.37
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

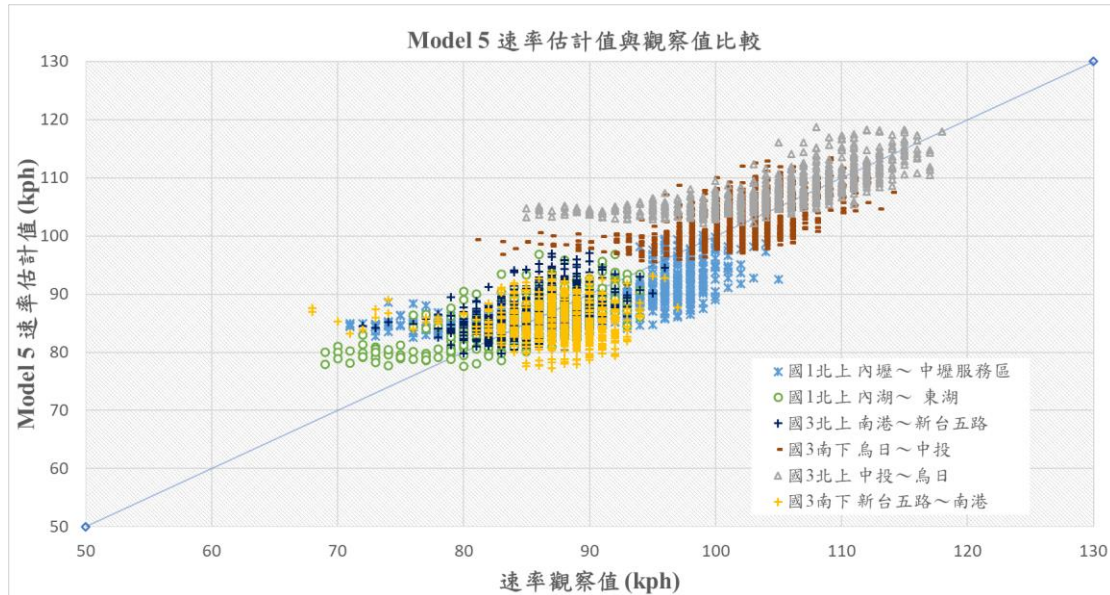


圖 4.4-10 典型交織路段之 Model 5 速率估計值與觀察值比較

4.5 專家學者座談會

本計畫於研究過程中在分析方法及資料處理方式有若干議題，期望蒐集產官學研各界的看法與建議，於 113 年 10 月 18 日上午在本所舉辦專家學者座談會議，當日邀請之專家學者包括：中央警察大學交通學系曾平毅教授、淡江大學運輸管理學系羅孝賢教授、逢甲大學智慧運輸與物流創新研究中心張建彥教授、交通部運輸研究所林大煜前所長、交通部公路局李忠璋副總工程司、交通部高速公路局楊淑娟組長（書面意見）、交通部高速公路局以及國內多家工程顧問公司主管、工程師。在說明本計畫的背景後，分別就兩項議題進行說明：

1. 議題一：高速公路路段大車之小客車當量值之建議值

「臺灣地區公路容量手冊」2011 版與 2022 版，在高速公路基本路段、匯流區、分流區、交織路段章節中，提供了不同的大車之小客車當量值之建議值。此外，關於 2022 年 THCM 基本路段章節提到，大車 PCE 調整為 1.4，較過去為低。議題一討論方向如下：

- (1) 在透過現場車流資料去估算容量值前，要先決定小客車當量值；
採用不同當量值時，最終的估算容量值也會稍有不同。
- (2) 在實務應用操作上，如何選取合適之小車當量值？
- (3) 對於本案交織路段容量分析，建議採用之小車當量值或考慮因素？

2. 議題二：交織路段容量及服務水準評估之新方法

實證資料發現，四股車流所使用之車道及運作都有所不同，交織路段可能會發生在全部車道或只有部分車道壅塞的情況。以全部車道平均作為評估對象，推論會得出與現實不符之結果，進行服務水準評估時應加以區分，思考容量及服務水準評估之評估對象（檢核點）。本計畫提出對全部車道、交織車道分別進行評估之分析方法，全部車道（N）之運作、交織車道（ N_{WL} ）之運作，但在交織路段特殊型態下， N_{WL} 之判斷方式需進一步討論。議題二討論方向如下：

- (1) 以「全部車道」、「交織車道」作為檢核點進行評估，是否適當？
- (2) 針對交織路段特殊幾何配置的情況，交織車道的認定方式是否適當？

4.5.1 議題一

議題一討論主要聚焦於大車小客車當量值（PCE）設定的相關議題，以及高速公路交織路段的容量及服務水準分析方法。大車 PCE 值受到坡度、大車比例及車道配置等因素的顯著影響，因此在不同地區和路段間存在顯著差異。例如，北部與南部路段、國道 1 號與國道 3 號的大車組成差異，使得 PCE 設定需要根據具體情況進行調整。經討論後與會專家建議採用適當範圍的 PCE 值，並在必要時進行敏感度分析，以確保容量分析的準確性和實務操作的簡便性。進一步細化對不同車種的影響分析，特別是在交織路段中，大車的干擾效應顯著，應納入考量，以提高服務水準及容量評估的精確度。

4.5.2 議題二

議題二關於交織路段的容量及服務水準評估，普遍認為交織路段的特殊性需要對不同車道進行獨立評估。例如，交織車道的幾何配置、

車流變道行為及壅塞情況需單獨分析，並與全部車道進行對比，以提高評估的精確性。交織路段的車流特性通常比普通路段更為複雜，尤其在高流量時段，交織車道的擁擠可能會影響整體交通運行。因此，針對交織路段的特殊交通情境，需進行更細緻的服務水準評估，才能有效反映不同車道在特定交通情境下的運作特性。

關於服務水準評估方面，應採用雙指標系統（速率與密度），可反映交通流量的狀況。現有的容量手冊及評估方法可能過於保守，未能完全反映現實交通中的複雜性。對於交織路段的服務水準評估，使用自由速率而非速限更能反映駕駛者的實際體驗。而速限受交通管理影響，以速限為分析評估標準可能導致評估結果與實際情況不一致。

4.5.3 其他討論

在綜合探討中，專家對交織路段容量的計算方式提出改進方向，現有的容量評估多集中於全車道的平均分析，但在實務中，交織路段各車道的擁擠程度往往不均，部分車道可能相對通暢，而其他車道則壅塞嚴重。因此，學者建議在交織路段的評估中，應對全部車道和交織車道分別進行檢核，以提高評估結果的準確性。此外，對於具有特殊幾何配置的交織路段，專家建議進行單獨分析，以針對這些路段的特殊性進行更深入的研究。這些改進將有助於更準確地評估交織路段的服務水準，並為後續的規劃和設計提供更科學的參考依據。

在資料蒐集方面，結合 VD 資料和 ETC 資料，並考慮不同車種和車道特性，以提高容量及服務水準分析的準確性。針對高比例大車或特定路段的壅塞情況，應進行個案研究，以反映各種交通條件下的實際運作情況。此外，對於交織路段的長度、車道配置及進出口匝道間距等幾何特性，應有明確界定，以確保評估結果的準確性和一致性。數據蒐集和分析是決定容量評估準確性的關鍵，特別是針對交織路段進行分析時，應儘量提高資料的準確度，以確保分析結果的科學性。

未來研究應更重視數據的本土化和現地驗證。由於臺灣的交通環境及駕駛行為與國外有顯著差異，直接引入國外標準可能導致錯誤的評估結果。因此，在容量及服務水準分析中，應根據臺灣的交通數據

進行本土化調整，以提高分析的適用性。此外，與會學者建議，未來應建立標準化的數據蒐集和分析方法，確保不同路段和不同情境下的評估結果具有對比性。這樣的標準化不僅有助於提高資料的可靠性，還能為政策制定和交通管理提供更有力的佐證。

整體而言，專學學者強調交織路段精細化分析的重要性，並呼籲未來研究納入臺灣交通狀況的多樣性和複雜性，以提供更加科學且符合臺灣交通特性的容量及服務水準分析方法。專家建議在後續研究中，將此次會議提出的各項建議納入考量，特別是在數據蒐集、模型應用和參數設定等方面進行改進，以進一步完善本計畫分析評估的科學性和實用性。

4.6 高速公路交織路段分析方法初議

4.6.1 前言

2022 年版臺灣公路容量手冊第四章介紹並說明高速公路基本路段容量和服務水準分析方法，然而此類路段若含有交織、匯流與（或）分流運作，則會因之產生額外亂流，車流中這種亂流特性常會導致無法採用基本路段方法論進行分析。

車流中的「亂流」目前雖並無普遍被接受的測度標準，但交織、匯流與（或）分流路段最顯著的運作特徵就是車流所造成的額外車道變換次數，此外，亂流的其他要素還包括駕駛人必須提高警覺、更頻繁的速率變化，以及車流平均速率可能會略低於基本路段。

公路設施除了引導與（或）警告標誌外，當一股車流動線在沒有號誌或其他交控設施輔助之下，必須在設施路段有限距離內穿越另一股車流動線的路徑時，就會發生交織。通常當一個匝道匯流區下游緊接著一個匝道分流區時，從上游匯流區左股主線進入、從下游分流區右股匝道離開的車流動線，會與從上游匯流區右股匝道進入、從下游分流區左股主線離開的車流動線在路段分流處相交。根據路段實際幾何形狀，這些車流可能需要變換車道才能完成交織。此外，路段中其他行進車輛（即那些不會從路段某一側穿越到另一側的車輛）也常會進行額外車道變換，以避開路段內亂流相對密集的車道。

圖 4.6-1 顯示一交織路段所涵蓋主要車流起迄動線，其中動線

A→D(FR) 與動線 C→B(RF) 會在進口匝道與出口匝道兩鼻端區之間路段相互交叉，這些稱為交織車流，而動線 A→B(FF) 與動線 C→D(RR) 雖不相互交叉，但仍可能進行零星換道以迴避亂流，這些稱為非交織車流或外部車流。

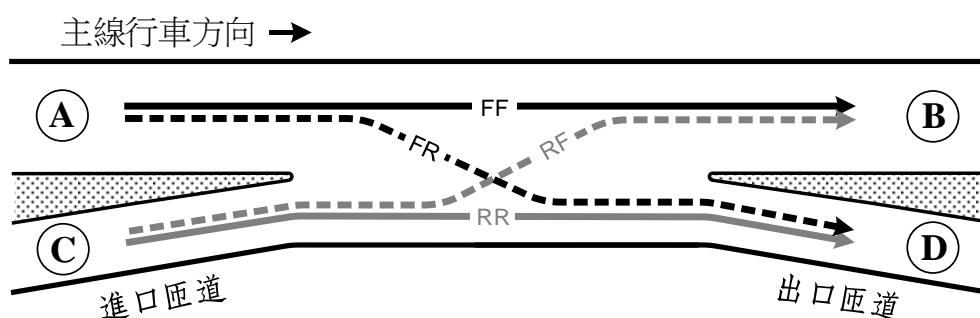


圖 4.6-1 交織路段主要車流起迄動線示意圖

交織運作與單獨匯流、分流運作之間的區別其實並不很清楚，只知道如果一個匝道分流區「緊隨」一個匝道匯流區，則會發生交織，但「緊隨」的意涵迄無明確定義。美國 HCM 1965 曾認可長達 8,000 英尺（約 2,440 公尺）的交織車流，使得之後凡長度超過 2,500 英尺的路段都被排除在交織路段考量之外，而 HCM 2000 統一採 2,500 英尺（約 760 公尺）作為交織運作的最大距離，惟後續的研究則顯示此距離並非固定值，其認定方法已被 HCM 2010 與之後版本採用。

在某些情況下，當交織路段的匯流端與分流端相距甚遠，以致其間交織車輛可以獨立運作時，匯流端與分流端會被分開處理，而兩者之間的路段則會被視為基本路段。此外，即使路段匯流端與分流端之間的距離不長，車流動線的類型也可能取決於幾何結構的附帶設計，例如單車道右側進口匝道後緊跟單車道右側出口匝道，通常只有在兩匝道由連續輔助車道銜接時，才會被視為交織路段；如果進、出兩匝道之間有獨立、不相接續的加、減速車道，則可分別視為獨立匯流區和分流區，與兩匝道之間的距離無關。

儘管交織路段與分、匯流路段的變換車道和其他亂流因素的性質很類似，但因兩種路段的分析方法並不相同，因此分別在不同章節中

闡述、示範。

4.6.2 國內交織路段類型

國內高速公路交織路段大致可依照路段上、下游兩匝道鼻端是否相互對稱的結構形式，區分為典型交織與非典型交織等兩類，各類型常見之幾何結構與特性概舉如下：

1. 典型交織路段（如圖 4.6-2）

- (1) 上、下游兩匝道之間有直通輔助車道
- (2) 上、下游兩匝道鼻端相互對稱，其間有劃設銜接兩鼻端頂點之穿越虛線
- (3) 路段每一股交織車流至少須變換車道一次

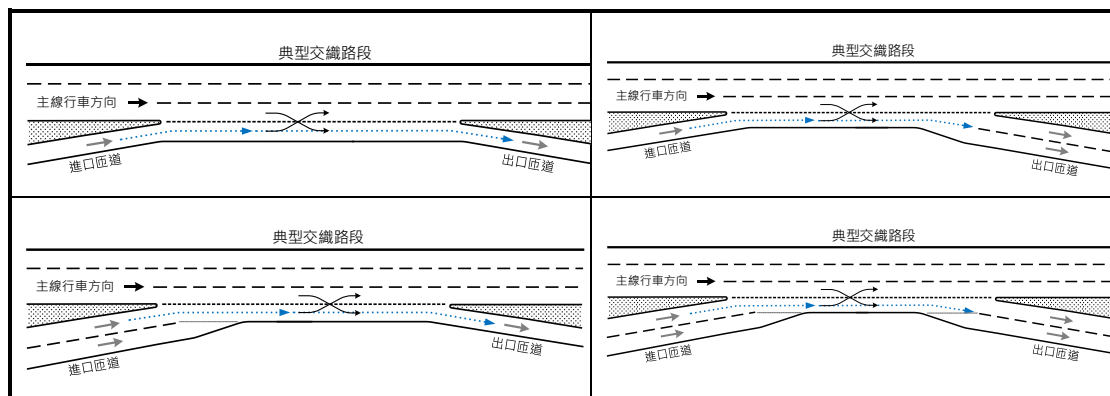


圖 4.6-2 國內常見典型交織路段示意圖

2. 非典型交織路段第 1、2 類（如圖 4.6-3）

- (1) 上、下游兩匝道之間有直通輔助車道
- (2) 路段交織車流中有一股不需變換車道，另一股至少須變換車道一次

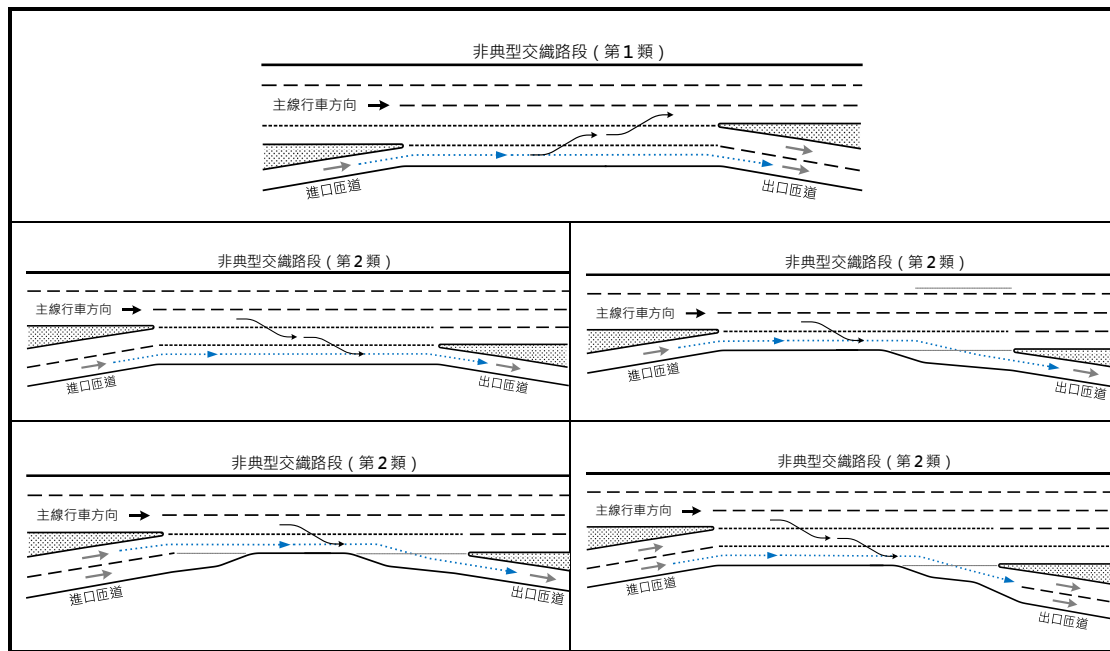


圖 4.6-3 國內常見非典型交織路段示意圖

3.特殊非典型交織路段第3類（如圖 4.6-4）

- (1) 上游匝道必須先經由併入輔助車道，再直通下游匝道
- (2) 路段交織車流中有一股不需變換車道，另一股至少須變換車道一次

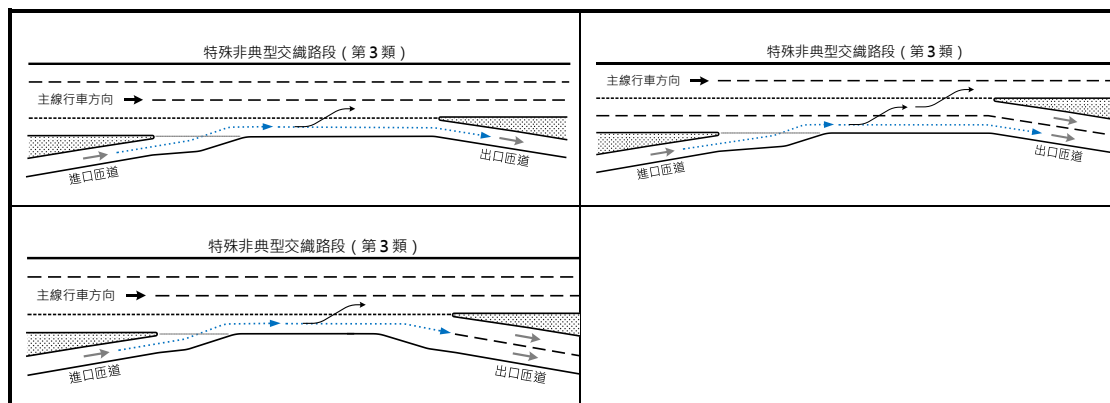


圖 4.6-4 國內較特殊非典型交織路段示意圖

此外，有些交織路段可能基於起訖需求、車道設計、標線管制等之特殊考量，即使是相同幾何結構，也可能形成不同之運作形態。圖 4.6-5 顯示之交織路段：(1)上、下游兩匝道之間設有相連直通輔助車道；(2)兩匝道鼻端相互對稱，但無銜接兩鼻端頂點之穿越虛線。其中左上圖顯示兩股交織車流可完全不需換道或僅一次換道進行運作，近

似美國 HCM 1985 之 B 類交織；左下圖顯示進口與出口匝道內都禁止變換車道，僅輔助車道與主線鄰接處允許換道，近似特殊 A 類交織，這種設計通常基於提早區分進口匝道不同起訖車輛使用之車道，或出口匝道下游不同轉向車輛使用之車道；右上圖則顯示在輔助車道與主線鄰接處禁止變換車道，此種設計強調車道專用功能，將起訖於兩匝道之直通車流導入輔助車道內，其餘由進口匝道流入主線或由主線轉入出口匝道車輛之運作，較類似匝道分、匯流區與主線車流之互動狀況。

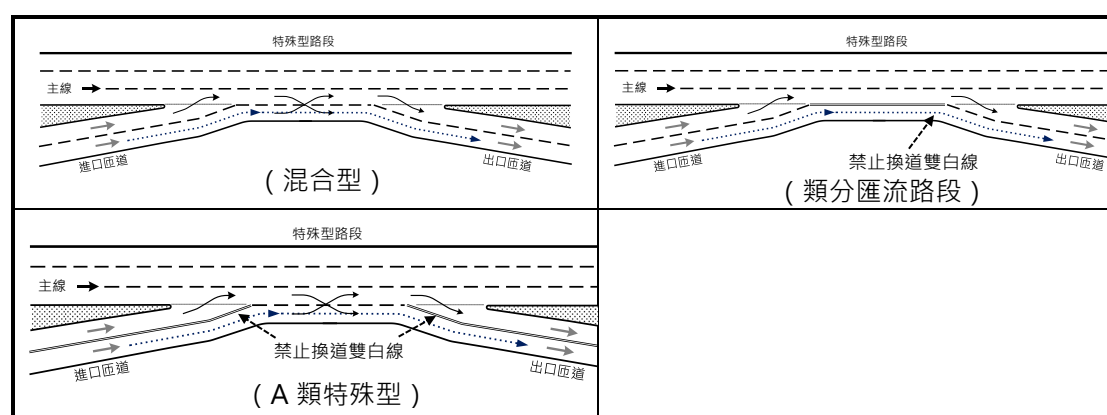


圖 4.6-5 特殊路段線形設計示意圖

4.6.3 分析架構

本方法論之分析程序主要在既有之實質幾何與交通特性條件下進行運作分析應用，以確認交織路段設施之容量與服務水準；交織路段分析程序主要含以下七個步驟（如圖 4.6-6）：

1. 步驟 1. 檢視上、下游匝道進出路段結構
2. 步驟 2. 研判交織路段與類型
3. 步驟 3. 輸入交通特性資料
4. 步驟 4. 調整現況流量為尖峰對等小車流率
5. 步驟 5. 決定交織路段各檢核項之容量
6. 步驟 6. 估計交織路段各檢核項之車流平均速率
7. 步驟 7. 評估交織路段各檢核項之服務水準

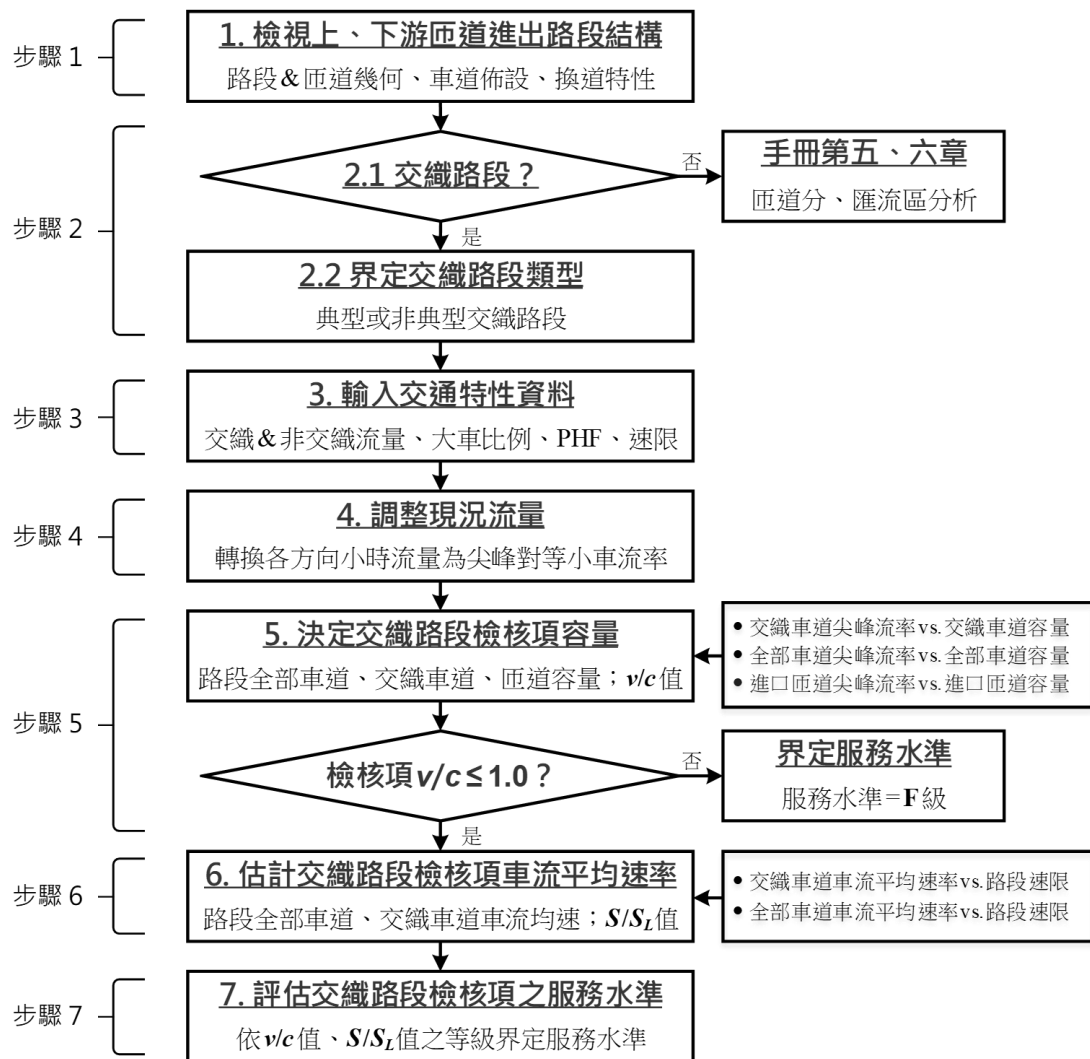


圖 4.6-6 交織路段分析流程圖

4.6.4 績效指標與服務水準劃分

公路設施服務品質可用一到數個量度績效指標 (Measure of Effectiveness; MOE) 來描述用路人對道路交通狀況的感受。預估需求量與容量比值(v/c 值)是服務水準分析中最常見的方式，可顯示目前或預計設施容量充足的程度。

在實測上，當車流處在壅塞狀況難以取得需求流率，或運作在上坡道或平曲線段時，上述 v/c 值常無法反映以速率衡量的行車效率，因此另制定可描述平均速率相對於速限的比值，作為評估服務水準的第二項指標。

基於高速公路主線各設施之服務水準評估應根據同樣標準之原則，因此，本分析法仍採高速公路基本路段之雙評估指標：「需求流

率/容量比(v/c)」與「平均速率/速限比(S/S_L)」，以及各指標之服務水準等級劃分標準（如表 4.6-1、4.6-2）。

表 4.6-1 需求流率/容量比(v/c)之服務水準等級劃分表

服務水準	需求流率/容量比 (v/c)	狀況說明
A	$v/c \leq 0.25$	穩定車流，車輛很容易換道、併入、分出，完全自由運作
B	$0.25 < v/c \leq 0.50$	穩定車流，駕駛人須稍留意，運作亦稍受其他車輛影響
C	$0.50 < v/c \leq 0.80$	穩定車流，駕駛人須多留意，各運作開始受其他車輛限制
D	$0.80 < v/c \leq 0.90$	車流仍穩定，速率下降，密度驟增，車輛運作受限很明顯
E	$0.90 < v/c \leq 1.00$	接近容量，車流幾無可用間距，運作稍有變化便即發生崩潰
F	$v/c > 1.00$	車流崩潰，緩慢車隊時走時停或回堵嚴重，運作變異甚大

表 4.6-2 平均速率/速限比(S/S_L)之服務水準等級劃分表

服務水準	平均速率/速限比(S/S_L)	狀況說明
1	$S/S_L \geq 0.90$	很理想
2	$0.80 \leq S/S_L < 0.90$	良好
3	$0.60 \leq S/S_L < 0.80$	可接受
4	$0.40 \leq S/S_L < 0.60$	不理想
5	$0.20 \leq S/S_L < 0.40$	很不理想
6	$S/S_L < 0.20$	無法接受

4.6.5 影響交織運作之相關要素

本方法論分析程序中含有許多輸入變數(例如車道數、換道次數、方向流量、自由車流速率等)，以及輸出變數(例如車道容量、平均速率等)，供進行路段車流運作服務水準之用。這些輸入變數的水準值會受交織路段若干幾何因素的影響，而輸出變數也連帶會在這些因素影響之下，呈顯研究路段之交通負荷與運行品質。

1. 幾何要素

(1) 交織路段車道配置型式(典型或非典型交織)

車道配置型式是指上、下游進口與出口匝道相互「銜接」的方式，此為交織路段關鍵特性，因它可決定交織車輛必須進行多少次車道變換才能成功完成穿越，這是強制變換換道之運作方式，因為換道必須在交織路段內進行。

(2) 交織路段寬度（車道數 N ）

交織路段總寬度常以可供路段車輛使用之直通車道數來衡量，此數量會影響車輛駕駛人進行交織換道時可選用的車道數。美國 HCM 2000 之後的研究顯示至少有三個可量化的關鍵要素可供描述交織路段車道配置對運作的難易程度，即：(1) 主線往出口匝道之最少換道次數 LC_{FR} ；(2) 進口匝道往主線之最少換道次數 LC_{RF} ；(3) 交織車流完成穿越運作最多只需換道 1 次的車道數 N_{WL} ；其中 LC_{FR} 和 LC_{RF} 通常是 0 或 1，但在某些情況下也可能是 2，而 N_{WL} 值可以是 2 或 3，不會有其他值。

(3) 交織路段長度 L_S

儘管車道配置對必須在交織路段內變換車道的次數有很大影響，但由於所有必要的換道運作都必須在交織路段進、出口匝道之間進行，因此交織路段長度是控制變換車道位置的另一要素。

2. 流量要素

(1) 交織車道容量 C_{WL}

通常反映在很多不同地點實地觀察到車道最高流率 $v_{w(Max)}$ 的平均值，故如果預測或預期會有更高的交織流量，則不論預測的車流速率或密度為何，該路段都很可能會癱瘓（即出現服務水準 F），這同時也意指交織流量一旦超過交織容量，績效估算模式的輸出結果可能會不太可靠。

(2) 車道最大平均流率 v/N

與交織車道容量有類似的特性，由於交織路段中亂流的影響，其每一車道最大流率會被限制為略低於高速公路基本路段的車道容量值，以致交織路段平均每車道流率會更容易達到車道最大

流率限制，一旦發生，很可能就會出現服務水準 F 之運作狀況，進行績效模式分析已無必要。

4.6.6 分析方法

本方法論與其他多數分析法相同，首先是蒐集交織路段之幾何配置、需求流量等資料；對於現有路段，這些資料通常可藉由實地量測取得，對於未來籌建之設施，其幾何型態常根據規劃或設計之建議，而需求流量特性則根據預測，惟若無法取得所需資料，則建議使用預設值。

對所蒐集資料之應用與分析，係在穩定車流運作（即非處於 F 級服務水準）情況下，採用下列兩種模式進行：

- 交織路段車道容量預測模式
- 交織路段平均速率預測模式

1. 步驟一：檢視上、下游匝道進出路段幾何結構

(1) 預設基本狀況

- i. 車道寬 3.65 公尺以上
- ii. 內側路肩寬 1.0 公尺以上，外側路肩寬 3.0 公尺以上
- iii. 交織路段位於平坦地區（坡度 $\leq 2\%$ ，坡道長 ≤ 500 公尺）
- iv. 交織路段是直線路段的一部分

本項旨在確認交織路段設施是否符合分析方法之理想條件，彙集資料時應加留意。基本狀況資料用來檢視目前問題設施之幾何現況可達到理想交通運作的程度，本分析法雖未探討目前路段設施在全符合基本狀況之下，對實際道路車流運作的影響程度，惟因臺灣高速公路沿線視距，以及車道寬、側向淨寬等斷面設計的一致性甚高，大都能滿足基本狀況。

(2) 蒐集交織路段實質幾何資料

- i. 全車道數 N

交織路段由進口匝道鼻端頂點至出口匝道鼻端頂點間之直通車道總數

- ii. 主線車道數 N_F

主線由進口匝道鼻端頂點進入交織路段之車道數

- iii. 進口匝道車道數 N_{RI}
由進口匝道進入交織路段之車道數
- iv. 出口匝道車道數 N_{RO}
由出口匝道離開交織路段之車道數
- v. 輔助車道數 N_A
銜接交織路段進、出口匝道之直通車道數
- vi. 交織路段長度 L_S

交織路段由進口匝道鼻端頂點至出口匝道鼻端頂點之總距離，若兩鼻端頂點之間有另劃設禁止穿越虛線，其合計長度應自總距離中扣減。實際上，經常可在禁止穿越虛線上，甚至在槽化區域標線上觀察到變換車道運作，只因這類標線的確會有局部阻嚇作用，以致可預見大部分換道運作都會在穿越虛線或車道線上進行。

如果要對未來設施進行規劃分析，則可參酌交通主管單位對交織路段標線的劃設構想或原則來決定合適的長度。

2. 步驟二：研判交織路段與類型

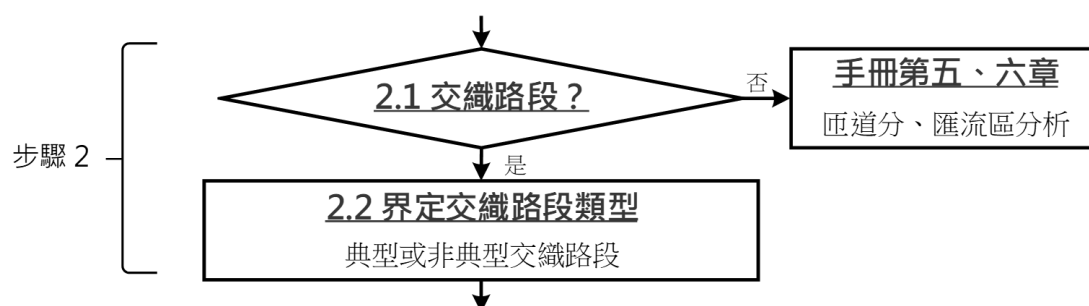


圖 4.6-7 研判交織路段與類型分析流程圖

基於交織路段僅為兩股交織車流動線相交的充分條件，若兩動線不相交，則非屬交織路段，惟兩動線可能先交會於同一車道，之後再由該車道分流。因此，交織路段的另一構成要件是兩股相交動線中，至少有一股會跨過路段車道線。以下為研判程序：

(1) 研判是否交織路段：同時滿足以下要件：

A. 幾何要件：主線 F 路段上、下游分別具有一進口匝道 R_{in} 與一出口匝道 R_{out} ，且兩匝道之間有直通輔助車道。

B. 動線要件：主線 F 最外車道至出口匝道 R_{out} 之車流動線(FR)與進口匝道 R_{in} 至主線 F 最外車道之車流動線(RF)相交，且其中至少有一條動線必須跨越上、下游兩匝道鼻端間之車道線。

- 是：交織路段
- 否：非交織路段；上、下游兩匝道仍可能因受相互緊鄰、車輛進出主線之影響，建議改採匝道分、匯流區分析。

(2) 研判是否為典型交織路段

交織路段上、下游進、出口匝道兩鼻端頂點相對稱，且其間劃有全部或局部長度之穿越虛線。

- 是：典型路段
- 否：非典型路段

3. 步驟三：輸入交通特性資料

(1) 蒐集道路交通特性資料

i. 主線往主線(FF)、主線往出口匝道(FR)、進口匝道往主線(RF)，以及進口匝道往出口匝道(RR)等四股車流之：

- 交通量 V_{FF} 、 V_{FR} 、 V_{RF} 、 V_{RR} (車輛/小時)
- 主線、進口匝道之尖峰小時係數 PHF_F 、 PHF_R
- 大型車(大貨車、大客車)比例 $P_{T(FF)}$ 、 $P_{T(FR)}$ 、 $P_{T(RF)}$ 、 $P_{T(RR)}$ (%)
- 聯結車比例 $P_{C(FF)}$ 、 $P_{C(FR)}$ 、 $P_{C(RF)}$ 、 $P_{C(RR)}$ (%)
- 大型車、聯結車當量值 E_T 、 E_C

ii. 主線、進口匝道之速限 $S_{L(F)}$ 、 $S_{L(R)}$ (公里/小時)

iii. 主線自由車流速率 FFS (公里/小時)

自由車流速率 FFS 可由臨近交織路段之主線 VD 或實地現調取得，此資料以蒐集研究路段在白天期間(約 05:00~17:00)，車道 VD 流率(通常為 5 分鐘時段)之放大小時流量低於 500 輛/小時下之平均速率為原則。如果無法取得研究路段之 FFS 資料時，可酌參下表 4.6.3 之主線速限與自由車流速率對應關係建議值。

表 4.6-3 公路設施速限與自由車流速率對照建議表

公路設施	速限 S_L (公里/小時)	自由車流速率 FFS (公里/小時)
快速公路	80	90
高、快速公路	90	100
高、快速公路	100	105
高速公路	110	115

(2) 輸入車輛變換車道參數資料

- 主線往出口匝道交織車輛所須之最小變換車道次數 LC_{FR}
- 進口匝道往主線交織車輛所須之最小變換車道次數 LC_{RF}
- 交織車道數 N_{WL} ：交織車輛只須換道 0 或 1 次便可完成交織運作之車道數
- 主線往出口匝道車輛可使用之交織車道數 NW_{FR}
- 進口匝道往主線車輛可使用之交織車道數 NW_{RF}

例 1：典型交織路段

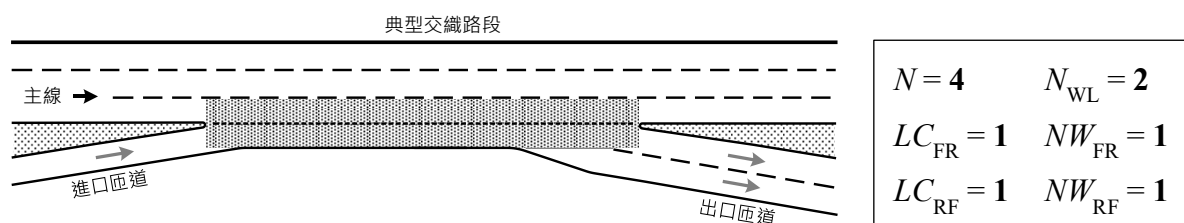


圖 4.6-8 典型交織路段示意圖

例 2：非典型交織路段

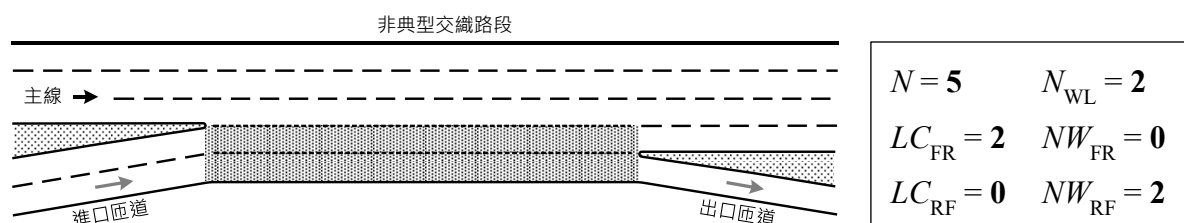


圖 4.6-9 非典型交織路段示意圖

4. 步驟四：調整現況流量為尖峰對等小車流率

定義交織路段車流方向 ij (i = 車流動線起點; j = 車流動線訖點), 由步驟三所蒐集之交通特性資料, 可估算交織路段各車流方向 ij 之尖峰對等小車流率。

(1) 交織路段重型車種 (大型車、聯結車) 之當量

THCM 2022 第四章對於重型車當量值設定之見解：(1) 小車當量主要影響因素為車種與車速；(2) 在常見之車種組成範圍內，重型車輛比例對小車當量的影響很小；(3) 容量分析之主要對象為高速穩定狀況，建議採用固定當量值 1.4 是一個保守且可接受的作法。

依據上述見解，並考量國內車長、小車當量值範圍，本分析法論建議將交織路段容量分析之各車種當量值 (PCE) 設定如下：

- 小型車 (小客車、小貨車) $E_P = 1.0$
- 大型車 (大客車、大貨車) $E_T = 1.4$
- 聯結車 $E_C = 1.4$

應注意：採以上當量值進行各類車種轉換為對等小車流率時，如果流量資料取自 VD 數據，建議另檢視其中大型車類數量中可能屬於小型車類之比例 (例如以 ETC 資料比對)，預作調整，以免誤計對等小車總流率。

(2) 交織路段車流方向 ij 之重型車種調整因素 $f_{HV(ij)}$

$$f_{HV(ij)} = \frac{1}{1 + (E_T - 1) \cdot P_{T(ij)} + (E_C - 1) \cdot P_{C(ij)}}$$

其中 ij = FF；主線往主線方向

FR；主線往出口匝道方向

RF；進口匝道往主線方向

RR；進口匝道往出口匝道方向

其他變數 如之前定義

(3) 交織路段車流方向 ij 之尖峰小時對等小車需求流率 v_{ij}

交織路段四股車流方向之對等小車需求流率 v_{ij} 係將四股車流方向之尖峰小時流量 V_{ij} 經大型車、聯結車當量 (E_T 、 E_C) 調整後，再除以對應之尖峰小時係數 PHF_i 而得，若其他實質幾何（如車道寬、側向淨寬、坡度等）近乎基本狀況而不考慮調整，則：

$$v_{ij} = \frac{V_{ij}}{f_{HV(ij)} \cdot PHF_i} \quad (\text{小車/小時})$$

其中

V_{ij} = 交織路段車流方向 ij 之尖峰小時流量（車輛/小時）

i = F（主線）或 R（匝道）

ij = FF、FR、RF、RR（定義如前）

其他變數如之前定義

5. 步驟五：決定交織路段檢核項與車道容量

(1) 車道群檢核項

本方法論主要針對以下交織路段斷面兩個車道群之車流運作進行評析：

i. 交織路段之全部車道

當路段全部車道發生壅塞之主因非因交織車道發生壅塞所致時所採用之評估方式，類似 THCM 2022 第七章所提「未受限制車流」狀況，評析對象為交織路段斷面全部全車道。

ii. 交織路段之交織車道

當路段交織流量過大而導致交織車道（一般位於主線外側及輔助車道）產生壅塞時，所採用之評估方式，類似 THCM 2022 第七章所提「受限制車流」狀況，評析對象為交織車道。

依定義，交織車道係交織車輛只須變換車道 0 或 1 次的車道，其車道組成與車道數會因交織路段幾何配置之不同而異，本法將其區分為四種：

► 第 1 類：交織車道數 $N_{WL} = 2$ （如下圖例）

- 主線外側 1 車道
- 匝道/輔助道 1 車道（匝道車道 0 + 輔助車道 1）
- 預估尖峰對等小車流率 $v_{(WL)} = v_W + v_{RR}$

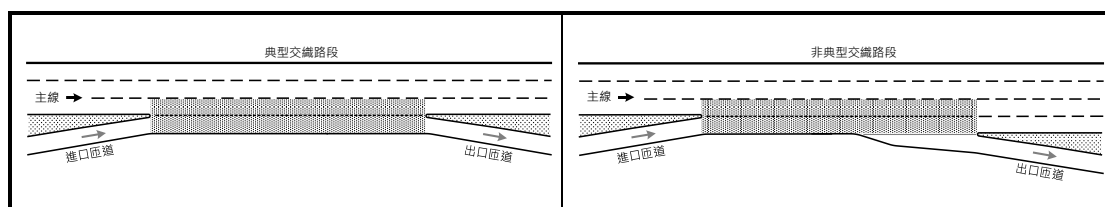
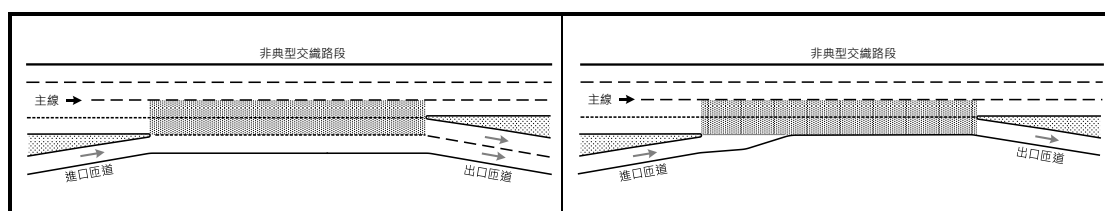


圖 4.6-10 交織路段之交織車道第 1 類

► 第 2 類：交織車道數 $N_{WL} = 2$ （如下圖例）

- 主線外側 2 車道
- 匝道/輔助道 0 車道（匝道車道 0 + 輔助車道 0）
- 預估尖峰對等小車流率 $v_{(WL)} = v_W$ （圖 4.6-11 左；第 2-1 類）
或 $v_W + v_{RR}$ （圖 4.6-11 右；第 2-2 類）（小車 / 小時）



(a) 第 2-1 類

(b) 第 2-2 類

圖 4.6-11 交織路段之交織車道第 2 類

► 第 3 類：交織車道數 $N_{WL} = 3$ （如下圖例）

- 主線外側 3 車道
- 匝道/輔助道 0 車道（匝道車道 0 + 輔助車道 0）
- 預估尖峰對等小車流率 $v_{(WL)} = v_W + v_{RR}$ （小車 / 小時）

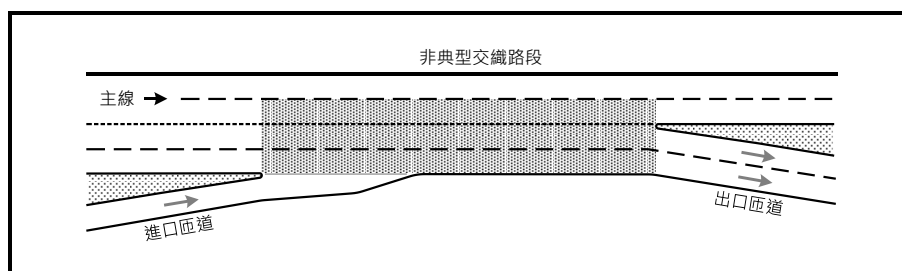


圖 4.6-12 交織路段之交織車道第 3 類

► 第 4 類：交織車道數 $N_{WL} = 2$ （如下圖例）

- 主線外側 0 車道
- 匝道/輔助道 2 車道（匝道車道 1 + 輔助車道 1）
- 預估尖峰對等小車流率 $v_{(WL)} = v_W + v_{RR}$ （小車 / 小時）

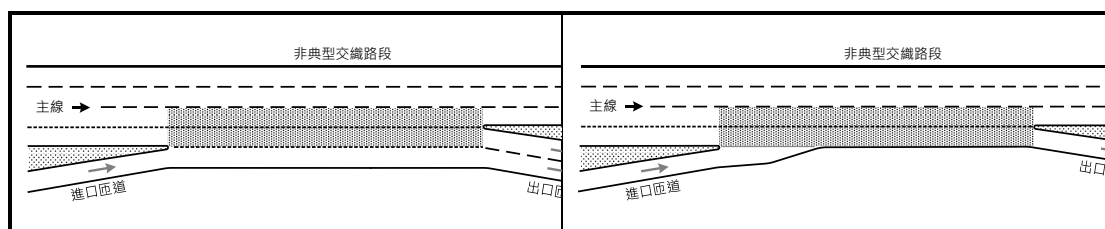


圖 4.6-13 交織路段之交織車道第 4 類

2. 車道容量

本分析方法要求在蒐集運作相關變數以評估服務水準之前必須先確定容量，這是因為用來估計交織路段容量的模型僅適用在穩定車流狀況（步驟六之平均速率模型亦然），即車流運作並非處在預計需求流量超過路段容量的 F 級服務水準之下。所以從分析邏輯來看，必須先界定容量，才能判斷車流是否處於穩定狀態，也才能進一步評估設施之服務水準。

由於交織路段普遍存在交織車輛換道與較急遽加減速所導致的亂流現象，以及部分交織車道因車輛頻繁併入與分出而無法被充分利用的限制，故可合理預設在稍低密度時就可能發生車流崩潰。美國 HCM 2010 高速公路交織路段車流崩潰密度採 43 小車/英哩/車道，其實就是從基本路段經校估的車流崩潰密度 45 小車/英哩/車道邏輯引申而來。因此，亦可推斷車流崩潰前的密度所對應的車道容量也會小於相同自由車流速率下的基本路段車道容量。

由 4.3 節車道容量模型發展中，因不同類型交織路段（典型與非典型）並未顯示對容量值有明顯差異，推測其影響可能已透過其他因素內化，故本分析法在初始研議階段僅暫將較關鍵之變數納入車道容量模型之校估式中。

交織路段車道容量估算式如下：

$$c_1 = \beta_0 + \beta_1 \times N + \beta_2 \times FFS + \beta_3 \times L_S$$

$$= 359.97 + 98.23 \times N + 1.23 \times FFS + 0.58 \times L_S$$

(t=2.97) (t=0.13) (t=4.66)

其中 c_1 = 交織路段車道容量 (小車/小時/車道)

N = 車道數

FFS = 自由車流速率 (公里/小時)

L_S = 交織路段長度 (公尺)

β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 為迴歸模型參數

上列模型經校估結果顯示交織路段車道容量 c_1 受變數 N 、 FFS ，以及 L_S 之影響。各變數之校估係數顯示車道數 N 、交織路段長度 L_S 與車道容量 c_1 正向顯著相關，且因兩者之 t 值較大，影響程度也較大；惟自由車流速率 FFS 之影響較不顯著。整體而言，由迴歸判定係數 $R^2=0.88$ ，均方差 $RMSE=44.23$ (小車/小時/車道)，以及由下圖 4.6-14 模式估計車道容量 c_1 相對於現調容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)，顯示本模型估算式已有不錯之解釋能力。

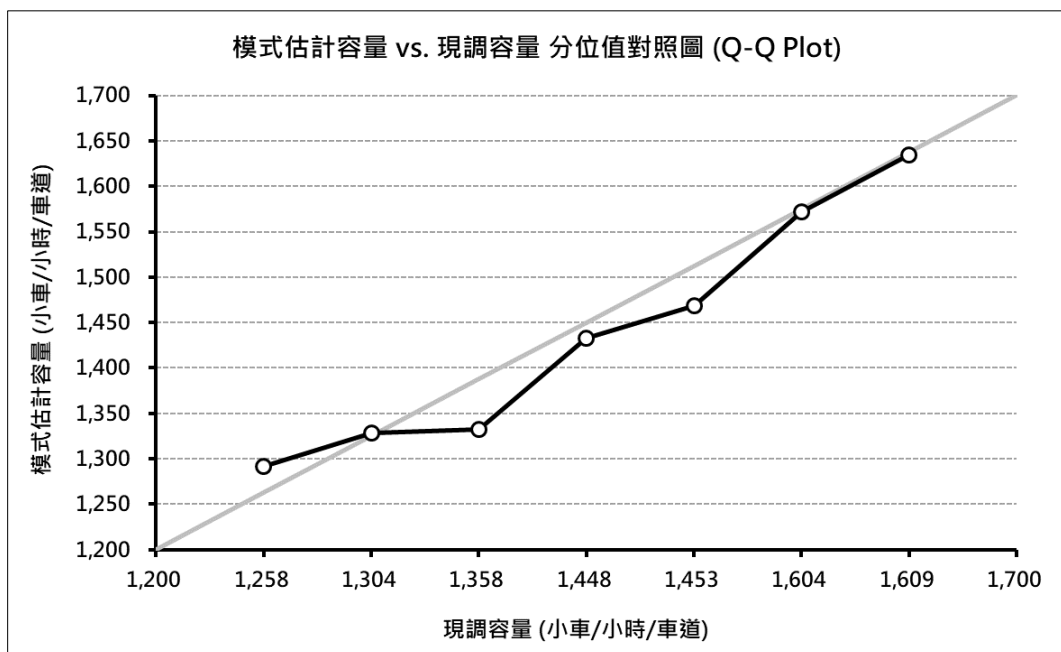


圖 4.6-14 模式估計容量 vs. 現調容量之分位值對照圖 (Q-Q Plot)

本方法論目前先以上式為交織路段分析程序之車道容量估算式，後續再進一步探討交織路段四股車流之流率與容量之間的關係。

3. 進口匝道容量

匝道容量分析在規劃和運作兩階段之訴求並不相同，規劃階段著重於研判新設匝道本身是否滿足預計進出需求流率所需的車道數，歷來採用多車道匝道容量是單車道匝道的倍數的作法，其通常是假設進口匝道在主線之匯入口有足夠之容量，或者是加速車道夠長，匝道車輛進入主線的匯入行為和一般自由變換車道無異的情況。

運作階段之分析，則需探討進口匝道車流能否順利紓解，視匝道與交織路段範圍內交織車道或輔助車道的銜接方式而定；若進口匝道車流可直通交織車道或輔助車道，則假設此匝道容量不會受匝道下游之車流運作之影響；反之，若進口匝道車流必須先匯入交織車道或輔助車道後才能通行，則此匝道容量可能受匝道下游端匯入口車流之影響。表 4.6-4 為交織路段進口匝道之預設容量建議表。

表 4.6-4 交織路段進口匝道容量建議表

速限 (公里/小時)	階段	車道數	匝道容量 CR (小車 / 小時)
50 或 60	規劃設計	1 車道	1,900
		2 車道	3,800
	運作分析 (直通交織或輔助車道)	1 車道	1,900
		2 車道	3,800
	運作分析 (非直通交織或輔助車道)	1 車道	1,800
		2 車道	3,000

6. 步驟六：估計交織路段車流平均速率

依據第 4.4 節分別對典型與非典型交織路段之車道檢核項速率模型校估結果，建議估算式如下表 4.6-5 所示：

表 4.6-5 各類型交織路段車道檢核項之平均速率估算式表

類型	檢核項	平均速率估算式（公里/小時）
典型 路段	全部車道	$S_{(ALL)} = FFS - 2.871 \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.317} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.05}$
	交織車道	$S_{(WL)} = FFS - 7.343 (0.001 \cdot v_{RF} + v_{FR})^{0.034} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.153}$
非典型 路段	全部車道	$S_{(ALL)} = FFS - 4.472 \left(0.485 \cdot \frac{LC_{RF} + 1}{NW_{RF} + 1} \cdot v_{RF} + \frac{LC_{FR} + 1}{NW_{FR} + 1} \cdot v_{FR} \right)^{0.136} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.267} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.179}$
	交織車道	$S_{(WL)} = FFS - 13.518 \left(\frac{LC_{FR} + 1}{NW_{FR} + 1} \cdot v_{FR} + \frac{LC_{RF} + 1}{NW_{RF} + 1} \cdot v_{RF} \right)^{0.039} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.234} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.177}$

註：表列各解釋變數定義請參考附錄 F。

7. 步驟七：評估交織路段檢核項之服務水準

本步驟根據路段現況（或預計）幾何條件與需求特性，藉由先前步驟所估算交織路段受評車道檢核項之容量，以及所有車輛之對等小車流率和平均速率，界定各該檢核項之服務水準。此評估資訊可供瞭解研究路段之預期運作特性，以及現有或潛在之運作問題。

(1) 交織路段服務水準

交織路段車道設施檢核項之服務水準如 4.6.4 節之說明，採用雙指標進行評估，各指標之服務水準等級劃分標準如表 4.6.1、4.6.2 所示：

i. 小車需求流率/容量比值 (v/c)

依交織路段類型分別計算兩個車道檢核項（全部車道、交織車道）之 v/c 比值，並參照表 4.6-1 決定各檢核項之服務水準等級：

- $v/c(ALL) = \text{全部車道對等小車流率 } v_{(ALL)} \div \text{全部車道容量 } c_{(ALL)}$
- $v/c(WL) = \text{交織車道對等小車流率 } v_{(WL)} \div \text{交織車道總容量 } c_{(WL)}$

ii. 平均速率 / 速限比值 (S/S_L)

依已知交織路段類型分別計算兩個車道檢核項（全部車道、交織車道）之平均速率與速限比值 (S/S_L)，並參照表 4.6-2 決定各檢核項之服務水準等級。

應注意：在運作分析與評估階段，由於需求流率難以調查（尤其交織路段發生壅塞時，現場調查所得僅為通過流量），若速率已大幅下降，即表示車流已進入壅塞狀態、需求流率/容量比值 (v/c) 超過 1.0。因此，若確認調查流率並非需求流率，且平均速率/速限比值等級不佳（4~6 級），則第一項指標 v/c 應為 F 級。

(2) 進口匝道服務水準

係匝道需求流率達到匝道原設計容量的程度，採用單一指標 v/c 進行評估，並參照表 4.6.1 決定其服務水準等級。匝道 v/c 比值的計算如下：

$$v/c \text{ 比值} = (\text{進口匝道對等小車流率 } v_R) \div (\text{匝道容量 } c_R)$$

4.7 小結

本章討論交織路段之分析方法，運用 VD 及與 ETC 資料建立全車道之容量估算模式及速率估算模型。在容量估算分析中，採用隨機容量分析法計算車流崩潰機率函數並估算交織路段之容量值，發現交織區段的容量值約在 1,200 至 1,600 小車/小時/車道，並運用典型及非典型路段共 7 個地點之資料建立容量估算模型，其主要變數包括車道數、自由車流速率、及交織路段長度，迴歸模型的 R^2 為 0.88，均方根誤差 (RMSE) 為 44.23 (小車/小時/車道)。在速率估算模型方面，運用典型路段及非典型路段共 6 個地點之資料進行效估及測試多個模型後，最終模型的均方根誤差 (RMSE) 為 4.51 公里/小時 (模式 4) 及 4.37 (模式 5)。

另外，在專家座談會中，進一步針對容量及服務水準的評估對象及評估指標進行討論，現場觀察發現有交織路段壅塞發生於交織車道、同時主線內側車道在車流順暢狀態之情況，建議除了對全車道之車道平均流率及速率進行分析外，可針對交織車道進行分析。相關評估方式已納入至交織路段分析程序中，但交織車道之分析模型尚需進一步探討。

第五章 快速公路適合長期蒐集資料之地點

快速公路之路段包含高架型式及平面型式，高架型路段不受平面路段號誌化路口之干擾且速限可達 100 公里/小時，其運作性質與高速公路相似。然而，快速公路缺乏符合車流分析條件之車輛偵測器資料，難以進行完整之車流特性分析，尚無法確認是否適用高速公路資料所發展之容量分析方法，因此「2022 臺灣公路容量手冊」之第四章至第七章並未將快速公路納入為分析對象。本研究盤點快速公路幾何資料與交通量，就基本路段、匝道分匯流區及交織路段等不同設施，研提適合進行資料長期蒐集之地點，俾利協調公路局布設相關設施，做為相關後續研究的基礎。

5.1 快速公路現況

根據《高速公路及快速公路交通管制規則》，快速公路之定義為除高速公路外，其出入口完全或部分控制，中央分隔雙向行駛，並得與主、次要道路立體相交或平面相交，專供汽車行駛之公路。快速公路的主要路段之速限為 60~100 公里/小時，並採取高架及平面型式運作。截至目前為止，臺灣公路系統中，符合上述規則所認定之省道快速公路共計 16 條，包含東西向（橫向）共計 13 條（其中 1 條為支線：台 68 甲線），以及南北向（縱向）共計 3 條（其中 1 條為支線：台 62 甲線）。表 5.1-1 顯示目前臺灣快速公路的編號列表、名稱、路線型式、啟用日期，以及路段通車情形。此外，參考交通部公路局各路線之路段特性整理如表 5.1-2 所示：

表 5.1-1 臺灣快速公路列表

編號	名稱	路線型式	啟用日期
台 61 線	南北向西部濱海快速公路	高架或平面	1991 年 7 月
台 62 線	東西向快速公路萬里瑞濱線	高架	2004 年 11 月 10 日
台 62 甲線	南北向快速公路基隆瑞芳線	高架	2013 年 12 月 19 日
台 64 線	東西向快速公路八里新店線	高架	2000 年 1 月 31 日
台 65 線	南北向快速公路五股土城線	高架	2010 年 12 月 8 日
台 66 線	東西向快速公路觀音大溪線	高架或平面	2001 年 1 月 20 日
台 68 線	東西向快速公路南寮竹東線	高架	1998 年 11 月
台 68 甲線	東西向快速公路竹東線	高架或平面	1998 年 11 月
台 72 線	東西向快速公路後龍汶水線	高架或平面	2001 年 1 月
台 74 線	東西向快速公路快官霧峰線	高架	1999 年 2 月
台 76 線	東西向快速公路漢寶草屯線	高架	1998 年 12 月 25 日
台 78 線	東西向快速公路臺西古坑線	高架	2002 年 2 月 6 日
台 82 線	東西向快速公路東石嘉義線	高架或平面	2000 年 10 月
台 84 線	東西向快速公路北門玉井線	高架或平面	1998 年 7 月
台 86 線	東西向快速公路臺南關廟線	高架或平面	1999 年 12 月 30 日
台 88 線	東西向快速公路高雄潮州線	高架	2000 年 11 月 18 日

表 5.1-2 快速公路路段特性表

路線	路段	里程	速限(kph)	路段特性
台 61 線	八里一 - 八里三	2K+000-6K+000	80	高架
	八里三 - 林口	6k+000-13k+000	90	高架
	林口 - 東華路口	13k+000-16k+300	70	平面
	東華路口 - 新豐二	16k+300-60k+500	90	高架
	新豐二 - 鳳山溪橋	60k+500-66k+082	70	平面
	鳳山溪橋 - 浸水橋	66k+082-76k+100	60	平面
	浸水橋 - 外埔	76k+100-101k+200	80	平面
	外埔 - 十份	101k+200-305k+750	90	高架
台 62 線	安樂端 - 瑞濱端	0k+000-18k+760	80	高架
台 62 甲線	基隆端 - 四腳亭	0k+000-5k+622	60	高架
台 64 線	台北港端-重翠橋	0k+000-14k+500	80	高架
	重翠橋-新店端	14k+500-28k+668	70	高架
台 65 線	五股端 - 跨新興橋	0k+000-9k+100	80	高架
	跨新興橋 - 土城	9k+100-12k+320	60	高架
台 66 線	觀音 - 市道 114 線	0k+000-10k+100	80	平面
	市道 114 線 - 大溪端	10k+100-27k+205	90	高架
台 68 線	南寮端 - 新中正橋	1k+000-16k+800	90	高架
	新中正橋 - 竹東端	16k+800-23k+541	70	高架
台 68 甲線	高架端-台 68 線	0K+940-0K+000	70	高架
	台 68 線-竹東市區	0K+000-1K+260	50	平面
	竹東市區-平面段末端	1K+260-0K+940	50	平面
台 72 線	後龍端 - 中興	2k+410-20k+800	90	高架
	中興 - 獅潭端	20k+800-31k+042	80	平面
台 74 線	快官 - 霧峰	0k+000-39k+235	80	高架
台 76 線	埔鹽 - 林厝	11k+400-27k+000	90	高架
	林厝 - 中興系統	27k+000-32k+600	80	長隧道

台 78 線	台西 - 古坑系統	0k+000-43k+520	100	高架
台 82 線	朴子 - 水上系統	8k+080-34k+740	100	高架
台 84 線	北門 - 頭社	0k+000-32k+487	100	高架
	頭社 - 走馬瀨	32k+487-37k+800	90	高架
台 86 線	台南端 - 關廟	0k+000-17k+900	90	高架
台 88 線	五甲系統 - 竹田端	0k+000-22k+391	90	高架

5.2 國內相關研究

國內目前對於快速公路容量分析之相關研究十分有限，除了早期本所針對都市快速道路-建國高架的調查研究（鼎漢國際工程顧問公司，1999）外，僅 2002 年針對西部濱海快速公路進行容量及車流特性研究（林豐博等人，2002）與該研究後續發表之期刊論文（曾平毅與林豐博，2004），以及另一篇運用相同調查資料之碩士論文（黃淑君，2002）。

於蒐集資料的部分，本所於 2002 年委託之研究案（林豐博等人，2002），利用美國 Nu-Metrics 公司之 NC-97 磁場偵測器、雷射測速槍以及人工紀錄之方式，蒐集西濱快速公路香山及通霄之間(83.7k-111.8k)的基本路段與號誌化路口路段之交通特性資料。而本所在 2022 年委託之「高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究」（黃家耀等人，2022），則是利用快速公路車輛偵測器(VD)資料進行車流特性分析。以上資料統整如表 5.2-1 所示。惟上述研究中，針對無偵測器之研究路段，皆採用短期的現地調查方式取得相關資料。而目前也尚未有研究，基於容量及服務水準分析為目的，提出快速公路偵測器的布設地點，以利長期蒐集相關資料並分析。

表 5.2-1 國內快速公路容量分析研究之資料蒐集概況一覽表

研究報告/論文	資料來源	調查地點		速限(kph)
臺灣地區城際快速公路容量及特性研究(西部濱海快速公路部分)(林豐博等人，2002)	偵測器、現場調查	主線基本路段-香山通霄之間	(1).86.3K 北上平坦路段	80
			(2).97.4K 北上平坦路段	80
			(3).107.9K 至 108.4K 南下坡度路段(坡度=4.49%)	80
			(4).92.3K 曲度路段(曲率半徑=1000 公尺)	80
		主線號誌化路口-香山通霄之間	(1).西濱 87.6K 處與竹南鎮崎頂海水浴場入口道路之交叉口(號誌週期長度=150 秒)	80
			(2).西濱 103K 處與縣道 126 (往外埔漁港及後龍)之交叉口(號誌週期長度=150 秒)	80
高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究(3/3)－快速公路分析及容量手冊研訂(黃家耀等人，2022)	偵測器	匯流區	台 88 線東向鳳山	90
		分流區	台 66 線東向平鎮二	90
		匯流區	台 86 線東向灣裡交流道	90
			台 88 線東向萬丹交流道	90
		分流區	台 86 線東向台南交流道	90
			台 86 線東向仁德系統交流道	90
		匯流區	台 62 東向七堵二	80
			台 88 東向鳳山	90
			台 78 東向雲林系統	100
		分流區	台 66 東向觀音一	80
			台 66 東向平鎮二	90
			台 78 東向虎尾	100

5.3 偵測器建議設置地點篩選

由於評估快速公路各設施容量時，需蒐集壅塞發生前之最大通過量，以利建立與校估相關之模式，本節在建議設置偵測器地點的選定以三點進行說明：(1) 快速公路易壅塞路段統整、(2) 建議設置偵測器地點篩選條件、(3) 建議設置偵測器地點篩選結果。建議設置偵測器之快速公路地點篩選流程如下：

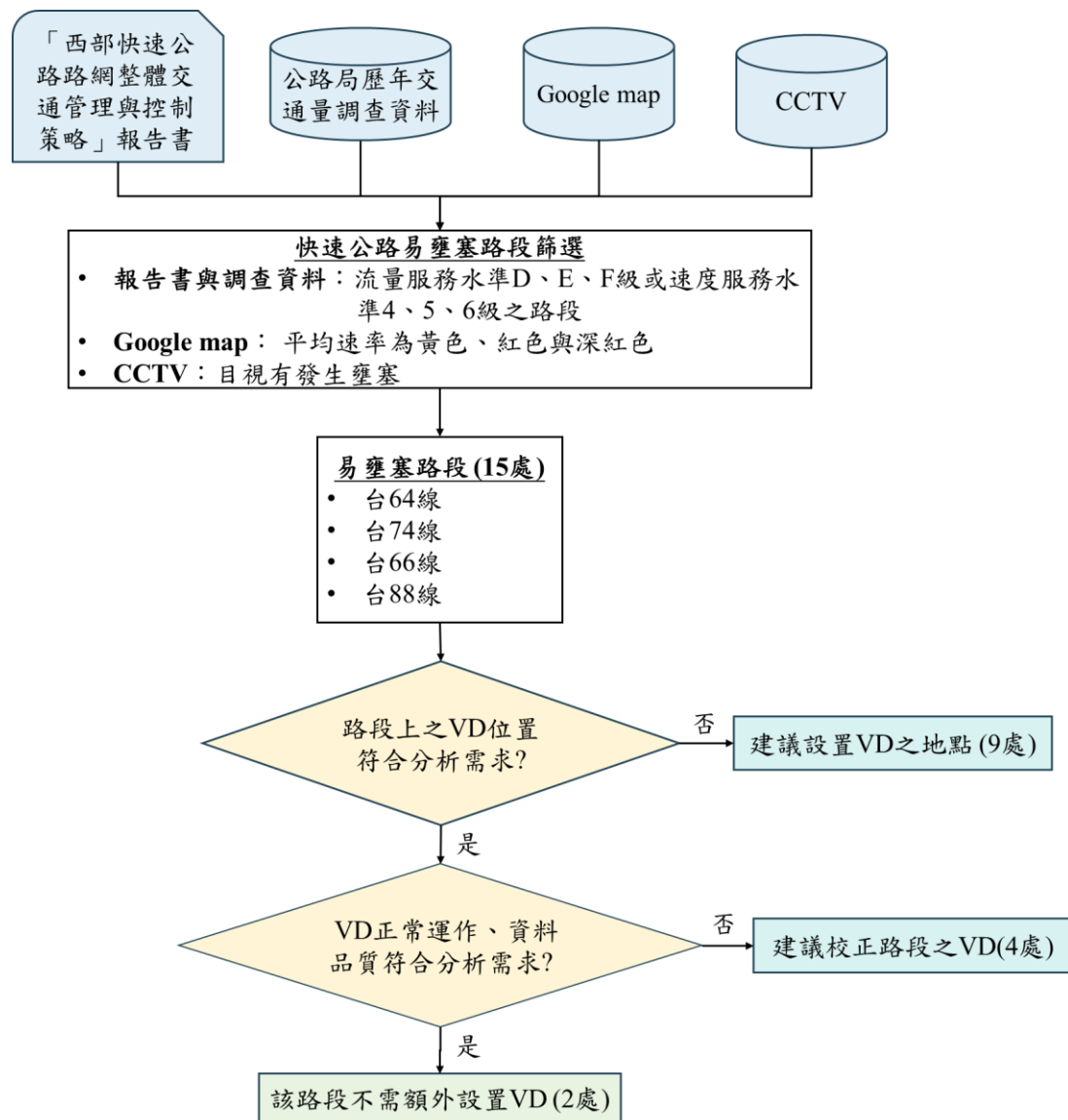


圖 5.3-1 建議設置偵測器之快速公路地點篩選流程圖

5.3.1 快速公路易壅塞路段統整

本研究將利用四種資料來源：公路局歷年交通量調查資料、「西部快速公路路網整體交通管理與控制策略」報告書（交通部公路局，2020、2021、2022、2023）、Google Map、CCTV，篩選全臺灣易發生壅塞之快速公路路段，並根據該壅塞路段之道路幾何分類，將路段分為基本路段、交織路段與匝道分匯流區。

以下為易發生壅塞之快速公路路段篩選程序：

1. 本研究參考公路局調查之歷年交通量資料與「西部快速公路路網整體交通管理與控制策略」報告書，篩選出流量服務水準 D、E、F 以及速度服務水準 4、5、6 的快速公路路段。
2. 以 Google map、CCTV 等資料來源驗證流量服務水準 D、E、F 以及速度服務水準 4、5、6 快速公路路段之壅塞情況，各資料來源之壅塞條件如下：
 - (1) Google map 調查之壅塞條件: Google map 路況地圖中，觀察到該路段在相同時段重複性出現黃色路況或紅色路況，並至少持續 30 分鐘以上。
 - (2) CCTV 調查之壅塞條件:自交通部高速公路局 1968 網站之 CCTV 畫面中，觀察到該路段在相同時段重複性出現壅塞情況，並至少持續 30 分鐘以上。
3. 將挑選出的 41 處易壅塞路段進行統整，結果如下表 5.3-1 所示：

表 5.3- 1 快速公路易壅塞路段統整結果

路線	路段	方向	道路幾何	流量/速度服務水準	Google map	Google map 調查壅塞時間	CCTV
台 64 線	板橋 20.6K	東	匯流區	F1	有壅塞	平日 7:00AM-10:00AM 5:00PM-7:00PM	有壅塞
台 64 線	板橋 21.5K	東	匯流區	F1	有壅塞	平日 7:00AM-10:00AM 5:00PM-7:00PM	有壅塞
台 64 線	板橋 21.6K	西	分流區	F1	有壅塞	平日 8:00AM-7:00PM	有壅塞
台 64 線	中和交流道 23.8K	西	匯流區	F1	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM 2:00PM-7:30PM	有壅塞
台 64 線	中和二交流道 25.6K	東	分流區	F1	有壅塞	平日 7:00AM-11:30AM 2:30PM-7:00PM	有壅塞
台 64 線	新店 28K	東	分流區	F1	有壅塞	平日 7:30AM-9:00AM	有壅塞
台 64 線	新店 26.5K	西	匯流區	F1	有壅塞	平日 7:00AM-7:00PM 假日 11:00AM-6:30PM	有壅塞
台 66 線	13.8 K	東	匯流區	C6	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	缺少 CCTV

台 66 線	13.8 K	西	分流區	C4	有壅塞	平日 9:00AM-10:00AM	缺少 CCTV
台 66 線	16.3K- 17.4K	東	基本路段	C6	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	缺少 CCTV
台 66 線	平鎮二交流 道 19K	東	分流區	C6	有壅塞	平日 4:00PM-7:00PM	缺少 CCTV
台 66 線	平鎮二交流 道 19K	西	匯流區	C4	有壅塞	平日 6:00AM-11:00AM	有壅塞
台 68 線	新竹二 7.7 K	東	匯流區	B6	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	無壅塞
台 68 線	新竹二-科園 8.7K	東	分流區	B4	有壅塞	平日 5:30PM-6:30PM	無壅塞
台 68 線	新竹二-科園 9.1K	西	匯流區	B4	有壅塞	平日 5:30PM-6:30PM	無壅塞
台 74 線	高鐵台中 4K	東	分流區	C3	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	高鐵台中 4.2K	東	匯流區	C3	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	西屯二 10 K	西	交織區	B5	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	西屯三 11.6 K	東	匯流區	C4	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	缺少 CCTV
台 74 線	北屯 12.5 K	東	分流區	C4	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	北屯 13.3 K	東	匯流區	C4	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	北屯 14.4 K	東	分流區	C4	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	崇德 17.7 K -18 K	西	交織區	C6	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	有壅塞
台 74 線	崇德 16K	西	匯流區	C6	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	缺少 CCTV
台 74 線	潭子 20.6K	東	匯流區	E6	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	松竹 21.5K	東	分流區	E6	有壅塞	平日 5:00PM-7:00PM	有壅塞
台 74 線	松竹 22.9K	東	匯流區	E6	有壅塞	平日 5:00PM-7:00PM	有壅塞
台 74 線	太原~松竹 23.5K	西	交織區	B1	有壅塞	平日 7:00AM-8:00AM 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	太原 23.7K	西	分流區	C4	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	有壅塞
台 74 線	大里二 32.7K	東	匯流區	E5	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	有壅塞
台 74 線	草湖 34K	西	分流區	D5	有壅塞	整周 4:30PM-6:30PM	有壅塞

台 74 線	霧峰 34.5K-36.5K	西	基本路段	D5	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	缺少 CCTV
台 74 線	霧峰 37K	西	匯流區	D5	有壅塞	平日 5:00PM-6:30PM	缺少 CCTV
台 88 線	國道一號~ 鳳山 0K	西	匯流區	C4	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	有壅塞
台 88 線	國道一號~ 鳳山 1.5K	西	匯流區	C4	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	有壅塞
台 88 線	鳳山交流道 2.8K	東	匯流區	C4	有壅塞	平日 7:00AM-11:00AM 2:00PM-3:30PM	有壅塞
台 88 線	鳳山-大寮 2.8k-5.2k	東	基本路段	C4	有壅塞	平日 7:00AM-9:00AM	有壅塞
台 88 線	鳳山交流道 2.6K	西	分流區	C4	有壅塞	平日 10:30AM- 11:30AM 5:00PM-6:00PM	有壅塞
台 88 線	大寮交流道 6.4K	東	分流區	C4	有壅塞	平日 2:00PM-5:00PM	有壅塞
台 88 線	大寮交流道 6.1K	西	匯流區	C4	有壅塞	平日 4:00PM-6:30PM	有壅塞
台 88 線	大寮~大發 7-8K	東	基本路段	C5	有壅塞	平日 7:00AM-8:00AM	無壅塞

5.3.2 建議設置偵測器地點篩選條件

在各路段中，各種資料來源顯示該路段是否壅塞的情形有不一致之情形，加上為因應後續可能需要以無人機進行空拍現場調查，因此本研究自上述 41 處易壅塞路段中，優先篩選出(1)各資料來源壅塞與否之結果一致；且(2)不在機場禁限航區範圍之路段。

依照以上條件篩選出之路段大多為台 64 線及台 74 線之分匯流區壅塞路段，為利完整蒐集各區域與各種道路幾何條件資料，因此納入位於限禁航區紅、黃區之台 66 線、台 88 線壅塞路段以及基本路段(台 66 線東向 16.3K-17.4.K 基本路段、台 66 線西向平鎮二交流道 19K 匯流區、台 88 線西向國道一號~鳳山 0K 匯流區、台 88 線西向國道一號~鳳山 1.5K 匯流區、台 88 線東向鳳山-大寮 3k-6k 基本路段)。下表 5.3-2 為挑選出的 15 個路段與各項調查結果：

表 5.3-2 建議設置偵測器地點篩選結果

路線	路段	方向	道路幾何	流量/速度服務水準	Google map	CCTV	禁限航區
台 64 線	中和二交流道 25.6K	東	分流區	F1	有壅塞	有壅塞	紅 (雙和醫院直昇機飛行場)
台 64 線	新店 28K	東	分流區	F1	有壅塞	有壅塞	綠
台 64 線	新店 26.5K	西	匯流區	F1	有壅塞	有壅塞	綠
台 66 線	16.3K-17.4K	東	基本路段	C6	有壅塞	無 CCTV	黃 (桃園機場)
台 66 線	平鎮二交流道 19K	西	匯流區	C4	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	崇德 17.7-18K	西	交織區	C6	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	松竹 21.5K	東	分流區	E6	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	松竹 22.9K	東	匯流區	E6	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	太原~松竹 23.5K	西	交織區	B1	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	大里二 32.7K	東	匯流區	E5	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	草湖 34K	西	分流區	D5	有壅塞	有壅塞	綠
台 74 線	霧峰 34.5K-36.5K	西	基本路段	D5	有壅塞	無 CCTV	綠
台 88 線	國道 1 號~鳳山 0K	西	匯流區	C4	有壅塞	有壅塞	紅 (小港機場)
台 88 線	國道 1 號~鳳山 1.5K	西	匯流區	C4	有壅塞	有壅塞	紅 (小港機場)
台 88 線	鳳山-大寮 2.8k-5.2k	東	基本路段	C4	有壅塞	有壅塞	紅 (小港機場)

而於此些路段中，有 9 個易壅塞路段已有設置 VD，且已取得該些 VD 資料。本研究針對此 9 個路段的 VD 位置與 VD 資料進行檢核：

1. VD 位置檢核

本項檢核主要在確認路段上之 VD 位置是否符合分析需求。因應不同道路幾何，符合分析需求的 VD 設置位置條件如下：

(1) 基本路段：

滿足分析需求的 VD 設置數量依照基本路段長度之壅塞長度決定，壅塞路段至少每 1 公里要有一個 VD，另外，壅塞路段的下游(非壅塞路段)至少要有一個 VD 可以蒐集壅塞時下游的通過量，且壅塞路段的上游(非壅塞路段)也至少要有一個 VD 可以蒐集進入的流量。

(2) 分(匯)流區：

滿足分析需求需要至少設置三個 VD，分(匯)流區下(上)匝道處需設置至少一個 VD，分(匯)流區上游及下游各需要設置至少一個 VD。

(3) 交織區：

滿足分析需求需要至少設置五個 VD，交織區進出口匝道處各需設置至少一個 VD，交織區域需設置至少一個 VD，上游及下游各需要設置至少一個 VD。

如 VD 設置位置不滿足以上條件，則為不符合分析需求，該路段不通過 VD 位置檢核，並將這些路段作為本期研究中優先建議設置偵測器之地點。下表 5.3-3 為 9 個路段 VD 位置檢核結果：

表 5.3-3 VD 位置檢核結果

地點	道路幾何	VD 位置檢核	VD 位置檢核結果
台 74 線 東向 松竹 21.5K	分流區		符合分析需求
台 74 線 東向 松竹 22.9K	匯流區		符合分析需求

台 74 線 西向 太原~松竹 23.5K	交織區	<p>VD</p>	符合分析需求
台 74 線 東向 大里二 32.7K	匯流區	<p>VD</p>	符合分析需求
台 74 線 西向 草湖 34k	分流區	<p>VD</p>	不符合分析需求 (缺少出口匝道 VD)
台 74 線 西向 霧峰 34K-37K	基本路段	<p>VD 需要新增VD位置</p>	不符合分析需求 (缺少壅塞路段 VD)
台 88 線 西向 國道一號~ 鳳山 0K	匯流區	<p>VD</p> <p>北上五甲系統 平面道路</p>	符合分析需求

台 88 線 西向 國道一號~ 鳳山 1.5k	匯流區		符合分析需求
台 88 線 東向 鳳山-大寮 2.8k-5.2k	基本路段		不符合分析需求 (缺少壅塞路段 VD)

上述 VD 位置檢核結果符合分析需求之快速公路路段有六處(台 74 線東向松竹 21.5K 分流區、台 74 線東向松竹 22.9K 匯流區、台 74 線西向太原~松竹 23.3K~23.9K 交織區、台 74 線東向大里二 32.7K 匯流區、台 88 線西向國道一號~鳳山 0K 匯流區、台 88 線西向國道一號~鳳山交流道 1.5k 匯流區)。

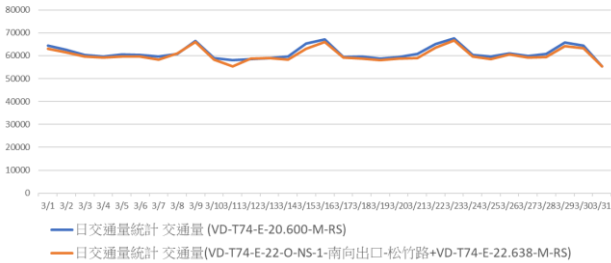
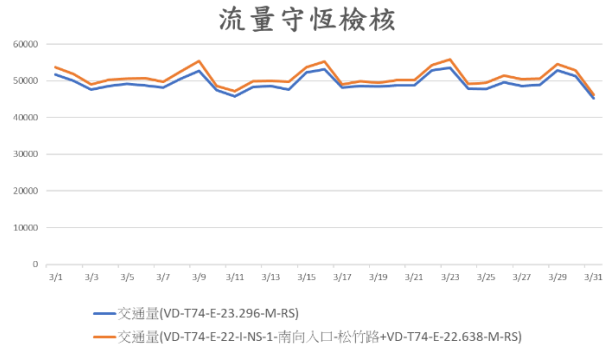
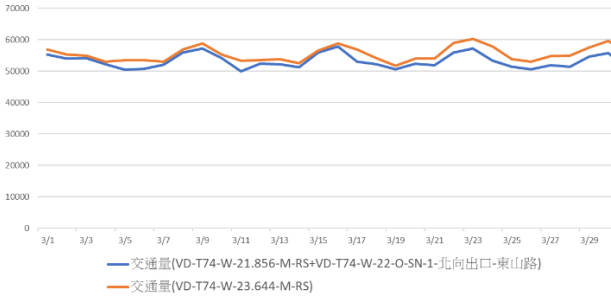
而不符合分析需求之快速公路路段有三處：台 74 線西向草湖 34k 分流區缺少出口匝道 VD；台 74 線西向霧峰 34K-37K 基本路段，不滿足基本路段之壅塞路段至少每公里需要一個 VD 的設置位置要求，建議在 VD-T74-W-33.028-M-RS 與 VD-T74-E-35.430-M-RS 兩個 VD 之間增設一個 VD，以符合分析需求；台 88 線東向鳳山-大寮 2.8k-5.2k 基本路段，不滿足基本路段之壅塞路段至少每公里需要一個 VD 的設置位置要求建議在 VD-T88-E-2.418-N-Loop 與 VD-T88-E-4.239-M-Loop 兩個 VD 之間增設一個 VD，以符合分析需求，以上三個地點為建議設置偵測器之地點。

2. VD 資料檢核

為確認 VD 所得之流量資訊的合理性，本研究對各路段的上下游 VD 進行流量守恆檢核。本研究採用一個月(2024 年 3 月)之 VD 資料，

以一天的總流量作為判斷依據，作為 VD 資料可用與否的確認。如每一天的流量守恒差異在正負 5%範圍內，或大部分天數差異在正負 5%之內但少部分天數差異在正負 10%內，則判斷 VD 為可用；如超過以上之誤差範圍，則為不符合分析需求，該路段不通過流量守恒檢核，並將這些路段作為本期研究中優先建議校正偵測器之地點。表 5.3-4 為六個 VD 設置位置路段的流量守恒檢核結果：

表 5.3-4 VD 流量守恒檢核結果

地點	道路幾何	VD 流量守恒檢核	流量守恒檢核結果
台 74 線 東向 松竹 21.5K	分流區	<p>流量守恒檢核</p> 	最大誤差:4.6 % 最小誤差:0.02% 平均誤差:1.6% 誤差> 5.0 %天數:0 天 通過 VD 流量守恒檢核
台 74 線 東向 松竹 22.9K	匯流區	<p>流量守恒檢核</p>  <p>* 2024年3月VD資料</p>	最大誤差:5.0 % 最小誤差:1.9% 平均誤差:3.1% 誤差> 5.0 %天數:0 天 通過 VD 流量守恒檢核
台 74 線 西向 太原~松竹 23.5K	交織區	<p>流量守恒 (下游出口&交織區)</p> 	最大誤差:8.6 % 最小誤差:0.9% 平均誤差:3.9% 誤差> 5.0 %天數:12 天 不通過 VD 流量守恒檢核

		<p>流量守恒(上游入口&交織區)</p> <p>最大誤差:21.4% 最小誤差:0.3% 平均誤差:11.3% 誤差> 5.0 %天數:22 天 不通過 VD 流量守恒檢核</p>	
台 74 線 東向 大里二 32.7K	匯流區	<p>流量守恒檢核</p> <p>最大誤差:9.3 % 最小誤差:3.9% 平均誤差:6.8% 誤差> 5.0 %天數:27 天 不通過 VD 流量守恒檢核</p>	
台 88 線 西向 國道一號~ 鳳山 0K	匯流區	<p>流量守恒檢核</p> <p>最大誤差:24.2 % 最小誤差:18.3% 平均誤差:20.9% 誤差> 5.0 %天數:31 天 不通過 VD 流量守恒檢核</p>	
台 88 線 西向 國道一號~ 鳳山 1.5k	匯流區	<p>流量守恒檢核</p> <p>最大誤差:9.9 % 最小誤差:4.5% 平均誤差:7.0% 誤差> 5.0 %天數:26 天 不通過 VD 流量守恒檢核</p>	

通過 VD 流量守恒檢核之快速公路路段有兩處(台 74 線東向松竹 21.5K 分流區、台 74 線東向松竹 22.9K 匯流區)，而未通過之路段有四處：

- (1) 台 74 線西向太原~松竹 23.3K~23.9K 交織區，下游出口匝道與交織區域的流量守恆檢核結果中，一個月中誤差> 5.0 %天數為 12 天，且上游入口匝道與交織區域的流量守恆檢核結果中，一個月中誤差> 5.0 %天數為 22 天，一個月中誤差> 5.0 %天數過多，因此該交織區路段不通過流量守恆檢核。
- (2) 台 74 線東向大里二 32.7K 匯流區，一個月中誤差> 5.0 %天數為 27 天，一個月中誤差> 5.0 %天數過多，因此該匯流區路段不通過流量守恆檢核。
- (3) 台 88 線西向國道一號~鳳山 0K 匯流區，一個月中誤差> 5.0 %天數為 31 天，一個月中誤差> 5.0 %天數過多，因此該基本路段不通過流量守恆檢核。
- (4) 台 88 線西向國道一號~鳳山交流道 1.5k 匯流區，一個月中誤差> 5.0 %天數為 26 天，一個月中誤差> 5.0 %天數過多，因此該基本路段不通過流量守恆檢核。

以上四個地點未通過 VD 流量守恆檢核，為建議校正或維修偵測器之地點。

依照上述分析，已設置 VD 的 9 個路段中，僅有台 74 線東向松竹 22.9K 的匯流區及台 74 線東向松竹 21.5K 的分流區之 VD 位置符合分析需求且通過流量守恆檢核，其餘路段皆建議增設 VD 或是校正 VD，下表 5.3-5 為各路段 VD 設置位置與 VD 流量守恆之檢核結果。

表 5.3-5 VD 設置位置與 VD 流量守恆之檢核結果

路線	路段	方向	道路幾何	VD 設置位置	VD 流量守恆檢核
台 74 線	松竹 21.5K	東	分流區	符合分析需求	通過
台 74 線	松竹 22.9K	東	匯流區	符合分析需求	通過
台 74 線	太原~松竹 23.3K~23.9K	西	交織區	符合分析需求	不通過
台 74 線	大里二 32.7K	東	匯流區	符合分析需求	不通過
台 74 線	草湖 34K	西	分流區	不符合分析需求	VD 數量不足無法判斷
台 74 線	霧峰 34.5K-36.5K	西	基本路段	不符合分析需求	不通過
台 88 線	國道 1 號~鳳山 0K	西	匯流區	符合分析需求	不通過
台 88 線	國道 1 號~鳳山	西	匯流區	符合分析需求	不通過

	1.5K				
台 88 線	鳳山-大寮 2.8k-5.2k	東	基本路段	不符合分析需求	VD 數量不足無法判斷

5.3.3 建議設置偵測器地點篩選結果

本研究透過蒐集多方資料來源，針對全臺易發生重現性壅塞之快速公路路段進行篩選與分析，並檢視這些路段上是否已設置符合分析需求的車輛偵測器。研究結果顯示，在符合篩選條件的 15 個壅塞路段中，有 9 個路段已設置 VD 並有取得 VD 資料，接著對這 9 個路段進行 VD 位置及流量守恒檢核，結果發現僅有台 74 線東向松竹 22.9K 匯流區及台 74 線東向松竹 21.5K 分流區符合分析需求。

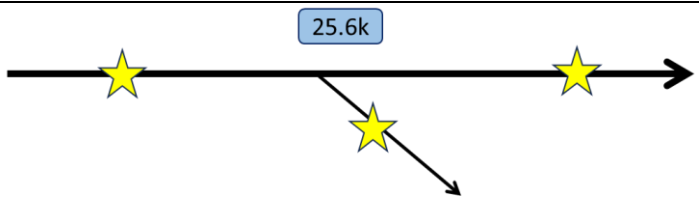
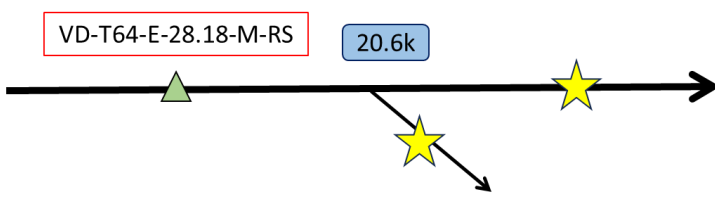
其餘 7 個路段中的 VD 不符合位置需求或流量守恒檢核未通過，因此建議進行偵測器的增設或校正。透過上述篩選條件，篩選出建議設置 VD 或校正 VD 之路段有下表 5.3-6 中的 13 個地點，其中，「需新增設置 VD」欄位描述該易壅塞路段是否需要新增 VD，並標註路段中需要新增 VD 之位置(主線、進口匝道、出口匝道)。「需校正 VD」欄位則表示該易壅塞路段之 VD 沒有通過流量守恒檢測，需要對 VD 進行校正以符合研究需求；「VD 數量不足無法判斷」則表示該路段 VD 設置數量不滿足流量守恒檢核所需求的最少數量(分匯流區:3 顆、交織區:5 顆、基本路段:壅塞路段每 1 公里 1 顆，壅塞路段上下游各 1 顆)，因此無法判斷該路段 VD 是否需要校正。表 5.3-7 則是以圖例標示出各路段需新增設置或校正 VD 之位置。

表 5.3-6 建議設置 VD 或校正 VD 之路段

路線	路段	方向	道路幾何	現有 VD 數量	需新增設置 VD	需校正 VD
台 64 線	中和二交流道 25.6K	東	分流區	0 顆	需新增 VD 3 顆 (上、下游主線、出口匝道)	該地點無設置 VD
台 64 線	新店 28K	東	分流區	1 顆	需新增 VD 2 顆 (下游主線、出口匝道)	VD 數量不足無法判斷
台 64 線	新店 26.5K	西	匯流區	2 顆	需新增 VD 1 顆 (上游主線)	VD 數量不足無法判斷

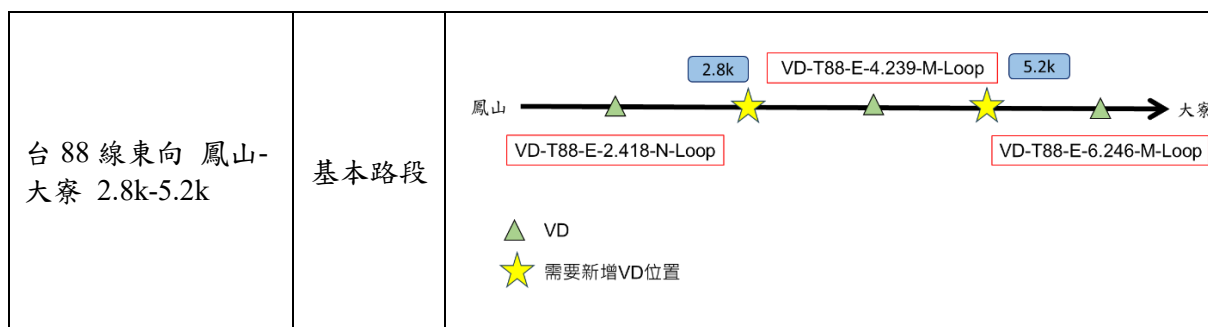
台 66 線	16.3K-17.4K	東	基本路段	2 顆	需新增 VD 1 顆 (下游主線)	VD 數量不足 無法判斷
台 66 線	平鎮二交流道 19K	西	匯流區	2 顆	需新增 VD 1 顆 (進口匝道)	VD 數量不足 無法判斷
台 74 線	崇德 17.7-18K	西	交織區	4 顆	需新增 VD 1 顆 (主線)	需校正 VD 4 顆
台 74 線	太原~松竹 23.3K~23.9K	西	交織區	5 顆	不需新增 VD	需校正 VD 5 顆
台 74 線	大里二 32.7K	東	匯流區	3 顆	不需新增 VD	需校正 VD 3 顆
台 74 線	草湖 34K	西	分流區	2 顆	需新增 VD 1 顆 (出口匝道)	VD 數量不足 無法判斷
台 74 線	霧峰 34.5K-36.5K	西	基本路段	2 顆	需新增 VD 1 顆 (34K-35K 主線)	需校正 VD 2 顆
台 88 線	國道 1 號~ 鳳山 0K	西	匯流區	3 顆	不需新增 VD	需校正 VD 3 顆
台 88 線	國道 1 號~ 鳳山 1.5K	西	匯流區	3 顆	不需新增 VD	需校正 VD 3 顆
台 88 線	鳳山-大寮 2.8k-5.2k	東	基本路段	3 顆	需新增 VD 2 顆 (2.4K-4.2K 主線 與 4.2K-6.2 主線)	VD 數量不足 無法判斷

表 5.3-7 建議設置或校正 VD 位置示意圖

地點	道路幾何	建議設置或校正 VD 位置
台 64 線東向 中和二交流道 25.6K	分流區	 <p>★ 需要新增VD位置</p>
台 64 線東向 新店 28K	分流區	 <p>▲ VD</p> <p>★ 需要新增VD位置</p>

台 64 線西向 新店 26.5K	匯流區	<p>VD-T64-W-25-I-1</p> <p>VD-T64-W-26.76-M-RS</p> <p>26.5k</p> <p>△ VD</p> <p>★ 需要新增VD位置</p>
台 66 線東向 16.3K-17.4K	基本路段	<p>16.3k</p> <p>VD-13-0660-016-003</p> <p>17.4k</p> <p>VD-13-0660-015-001</p> <p>△ VD</p> <p>★ 需要新增VD位置</p>
台 66 線西向 平鎮二交流道 19K	匯流區	<p>VD-13-0660-019-001</p> <p>VD-13-0660-020-004</p> <p>19k</p> <p>△ VD</p> <p>★ 需要新增VD位置</p>
台 74 線西向 崇德 17.7-18K	交織區	<p>VD-T74-W-16-O-EW-1-西向出口-崇德路</p> <p>VD-T74-W-18-I-EW-1-北向入口-潭子中山路</p> <p>VD-T74-W-16.076-M-RS</p> <p>17.7k</p> <p>18k</p> <p>VD-T74-W-18.578-M-RS</p> <p>需校正之VD</p> <p>★ 需要新增VD位置</p>
台 74 線西向 太原~松竹 23.3K~23.9K	交織區	<p>VD-T74-W-22-O-SN-1-北向出口-東山路</p> <p>VD-T74-W-24-I-SN-1-北向入口-太原路</p> <p>VD-T74-W-21.856-M-RS</p> <p>23.3k</p> <p>23.9k</p> <p>VD-T74-W-23.644-M-RS</p> <p>VD-T74-W-24.050-M-RS</p> <p>需校正之VD</p>

台 74 線東向 大里二 32.7K	匯流區	<p>需校正之VD</p>
台 74 線西向 草湖 34k	分流區	<p>VD 需要新增VD位置</p>
台 74 線西向 霧峰 34K-37K	基本路段	<p>VD 需要新增VD位置 需校正之VD</p>
台 88 線西向 國道 1 號~鳳山 0K	匯流區	<p>需校正之VD</p>
台 88 線西向 國道 1 號~鳳山 1.5K	匯流區	<p>需校正之VD</p>



根據結果，應優先針對不符合分析需求之路段，進行偵測器的增設或校正。特別是對於壅塞頻繁發生的路段，需確保 VD 設置位置符合分析需求，並且通過流量守恆檢核，確保數據的準確性和可靠性，以利長期蒐集相關資料，並達到容量分析目的。

5.4 小結

本研究先參考公路局調查之歷年交通量資料與「西部快速公路路網整體交通管理與控制策略」報告書，篩選出流量服務水準 D、E、F 以及速度服務水準 4、5、6 的快速公路路段，再透過 Google map、CCTV、VD 資料篩選出所有資料來源皆顯示為易壅塞之路段，共 15 處。接著再進一步逐一檢視路段上的 VD 位置及 VD 資料流量守恆狀況，發現有 2 處路段已符合 VD 位置及資料品質之檢核，分別為台 74 線東向松竹 22.9K 的匯流區及台 74 線東向松竹 21.5K 的分流區，另 13 處路段需新增設 VD，並(或)需或校正 VD。

第六章 結論與建議

本計畫目的為透過現場調查及資料整理，了解國內高速公路交織路段之車流特性，並建立本土之交織路段之容量及服務水準分析方法，並完成「臺灣公路容量手冊」第七章之修訂工作。而 113 年度為第 2 期計畫，對「非典型交織路段」進行探討。本年度研究完成了文獻回顧、現場調查、車流特性分析、研擬交織路段之分析方法與研提快速公路適合長期蒐集資料之地點等事項，相關結論與建議如下：

6.1 結論

1. 文獻回顧

本計畫回顧國內外交織路段分析方法的相關文獻，包括交織路段定義、交織路段容量的估算方法，以及各國公路容量分析在交織路段設施的發展概要，並整理典型及非典型之運作及分析模式，此外，透過文獻回顧也發現，各國對交織路段的分析方法雖不盡相同，但多以美國方法論為基礎再進行在地化調整。本研究亦建議以美國 HCM 方法為參考，並結合我國高速公路資料進行本土化修正。在服務水準評估指標部分，由於美國係以密度做為服務水準評估指標，與臺灣近期常採用之流率容量比與速率速限比不同，因此後續指標仍需與各界討論後再與確認較適合使用於臺灣的指標。

2. 完成 4 處非典型交織路段現場調查

已完成 4 處非典型交織路段之現場調查，包括國 1 北上高公局~五股、國 3 南下霧峰~霧峰系統、國 1 南下內壢~中壢服務區、國 1 南下桃園~機場系統。在調查技術方面，在無人機飛行空域綠區範圍時，飛行高度約 500 公尺正射方式並採用路段上下游雙機同時拍攝，觀察範圍可達約 1,600 公尺。其中 1 處調查地點因屬無人機飛行空域黃區，本研究首度採飛行高度 60 公尺斜拍方式拍攝，觀察範圍約可達 450 公尺，亦順利擷取車流畫面，後續研究在挑選適用路段時可參考此方式辦理。

3. 車流特性分析

依據現場調查資料，可透過無人機及影像分析得到車流軌跡資料，車流特性分析之發現如下：

- (1) 本計畫將車流區分為交織及非交織車流，依其由主線或匝道進出分類為四股車流：主線至主線、主線至匝道、匝道至主線、匝道至匝道，並分別計算其車速及變換車道位置及頻次。研究發現四股車流之速度有顯著不同，推斷在主線及輔助車道車流密度不同的情況下，主線至匝道車流、匝道至主線車流對於交織路段運作的影響程度亦可能有所不同，且匝道至匝道的車流會占用輔助車道空間，亦會對交織車道的運作組成影響。
- (2) 在車流運行特性方面，觀察到主線到匝道、匝道到主線的車道變換行為主要集中於槽化島鼻端處後之穿越虛線，顯示駕駛人傾向於盡快完成車道變換，交織行為集中於交織路段的前端。
- (3) 主線內側車道、主線外側車道以及輔助車道之車流運作有明顯差異，與基本路段及分匯流區全部車道會同時進入壅塞狀態之情況不同，交織路段有時會發生全部車道壅塞亦有可能出現僅部分車道壅塞的情況。

4. 交織路段之分析方法

已建立交織路段之分析程序，並發展全車道之速率估算模型、容量估算方式，說明如下：

- (1) 採用隨機容量分析法計算車流崩潰機率函數及估算交織路段之容量值，並運用典型路段及非典型路段共 7 個地點之資料建立容量估算模式，其主要變數包括車道數、自由車流速率、交織路段長度。
- (2) 建立全車道之車道平均速率模型，主要影響因素為自由車流速率、主線至匝道流率、匝道至主線流率、平均車道流

率、交織路段長度。運用典型路段及非典型路段共 6 個地點之資料進行效估及測試多個模型後，最終模型的表現為均方根誤差 (RMSE) 為 4.51 公里/小時 (模式 4) 及 4.37 (模式 5)，後續此模型將可做為公路容量手冊更新之參據。

5. 研提快速公路適合長期蒐集資料之地點

透過 Google map、CCTV、VD 資料進行篩選及檢查，找出 41 處易壅塞路段，再優先挑選出無設置 VD 與各調查結果一致的路段，最後挑選出 15 個路段。逐一檢視路段上的 VD 位置及 VD 資料流量守恆，發現有 2 處路段已符合 VD 位置及資料品質，另 13 處路段需新增設 VD 並(或)需校正 VD。

6.2 建議

1. 交織路段分析程序

交織路段可能會發生全部車道壅塞或只有部分車道壅塞的情況，在進行服務水準評估時應加以區分，經專家座談會討論後建議以「全車道」及「交織車道」分別評估。目前已完成全車道的模式建立，建議後續應針對交織車道之車流運作特性有更深入探討並建立模式。

2. 交織路段分析模式

過去文獻之分析模式是假設匝道至匝道之流率極低，交織路段之運作主要受交織車流（主線至匝道、匝道至主線）所影響。因國內之車流特性不同，資料顯示匝道至匝道之流率較高，不包含系統交流道之交織路段其匝道至匝道流率約在 200 至 500 車/小時，而包含系統交流道交織路段之匝道至匝道流率可高達 600 車/小時以上，因此將車流歸納為交織車流及非交織車道可能會過度簡化。因匝道至匝道之流率會占用輔助車道空間，進而影響交織車道之運作，建議後續研究可針對此議題進行深入探討，並納入至模式變數中。

3. 車流特性及車流換道位置

現場調查顯示主線至匝道及匝道至主線兩股交織車流之車道變換行為主要集中於鼻端後之穿越虛線，而非平均分配於交織車道，導致交織車道的前端為其運作能否順暢之關鍵區域(Critical region)，因此交織路段越長可能對於紓緩交織路段之車流助益有限。建議未來可進一步探討駕駛者在交織路段中之用路行為與車道標線設計之關係，例如在交織路段長度足夠長的情況下，將穿越虛線的前段和後段分別劃設為單邊變換車道線（左虛右實、右虛左實），以利將主線至匝道、匝道至主線車流之車道變換位置錯開，降低換道行為集中於特定位置造成壅塞。

4. 違規行為之情形

在國 3 南下霧峰至霧峰系統的現場調查中，有觀察到車輛跨越槽化線、雙白實線及左虛右實線的違規行為，且在車流進入壅塞狀態後違規行為比例大幅上升，相關單位在執法及宣導上可多加注意。另外，該地點在現場調查日後已施作「國 3 霧峰系統車流回堵改善」工程，於 2024 年 6 月 28 日起將霧峰系統南出車道由一車道拓寬為雙車道，以紓緩通往國 6 之車流壅塞情況，建議未來持續觀察變化情形。

5. 快速公路偵測器布設

本計畫已挑選出 15 個易發生壅塞的快速公路路段，未來相關研究可針對這些區域進行進一步的容量分析。為達此目的，建議新設及校正必要的偵測器，以提升資料分析的精準度。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所 (1990),「臺灣地區公路容量手冊」, 79-27-160, 民國 79 年 10 月。
2. 交通部運輸研究所 (2001),「2001 年臺灣公路容量手冊」, 90-16-1183, 民國 90 年 3 月
3. 交通部運輸研究所 (2011),「2011 年臺灣公路容量手冊」, 100-132-1299, 民國 100 年 10 月。
4. 交通部運輸研究所 (2022a),「2022 年臺灣公路容量手冊」, 111-043-1453, 民國 111 年 6 月。
5. 交通部運輸研究所 (2022b)「交織路段公路容量及服務水準研究先期規劃」, 期末報告書, 民國 111 年 12 月。
6. 林豐博、曾平毅、林國顯、蘇振維、鄭嘉盈 (2002),「臺灣地區城際快速公路容量及特性研究-西部濱海快速公路部分」, 91-54-1192, 交通部運輸研究所, 民國 91 年 06 月。
7. 曾平毅、林豐博 (2004),「西濱快速公路自由車流速率特性及其應用之研究」, 運輸計畫季刊, 民國 93 年。
8. 黃家耀, 林貴璽, 廖晉毅, 陳威瑜, 李祐德, 莊宜芳, 林佳欣, 張舜淵, 楊幼文, 歐陽恬恬, 洪瑋鍾 (2022),「高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究(3/3)-快速公路分析及容量手冊研訂」, 交通部運輸研究所。
9. 黃家耀, 林貴璽, 廖晉毅, 陳威瑜, 溫雲晨, 李祐德, 林宣理, 張舜淵, 楊幼文, 歐陽恬恬, 洪瑋鍾 (2021),「高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究 (2/3) —非獨立進出口分匯流區」, 交通部運輸研究所。
10. 黃家耀, 林貴璽, 廖晉毅, 陳威瑜, 溫雲晨, 張舜淵, 歐陽恬恬, 楊幼文 (2020),「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。

11. 黃家耀，陳彥佑，林貴璽，朱彥蓁，陳毓芬，蔡佩宏，江品翰，王寶儀（2023），「高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(1/3)-典型路段」期末報告書，交通部運輸研究所。
12. 黃淑君（2002），「西濱快速公路容量與服務水準分析方法之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 91 年。
13. 鼎漢國際工程顧問公司（1999），「都市快速道路與高速公路進口匝道車流特性之研究」，88-14-1151，交通部運輸研究所，民國 88 年 3 月。
14. 廖晉毅（2020）高速公路入口匝道匯流區之隨機容量分析，國立交通大學運輸與物流管理學系，碩士論文。
15. 交通部公路總局（2020）西部快速公路路網整體交通管理與控制策略。
16. 交通部公路總局（2021）西部快速公路路網整體交通管理與控制策略設計工作：110 年度基本設計報告-一工處、五工處轄區(修正版)。
17. 交通部公路總局（2022）西部快速公路路網整體交通管理與控制策略設計工作：111 年度基本設計報告-二工處轄區(修正二版)。
18. 交通部公路總局（2023）西部快速公路路網整體交通管理與控制策略設計工作：112 年度基本設計報告-三工處轄區(修正二版)。
19. 交通部高速公路局(2022)109-112 年國道都會地區路段交通改善成果。
20. Bergh, T., Nordqvist, K., Strömgren, P., Davidsson, F., Bång, K. L., & Carlsson, A. (2016). Capacity issues in Sweden-applications and research. *Transportation research procedia*, 15, 36-50.
21. Brilon, W., Geistefeldt, J., & Regler, M. (2005). Reliability of freeway traffic flow: a stochastic concept of capacity. *Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Vol. 125143, Maryland: College Park.
22. Fazio, J. and Roupail N. (1986). Freeway Weaving Sections - Comparison and Refinement of Design and Operations Analysis Procedures, Transportation Research Record 1091, TRB, Washington, D.C.
23. Geistefeldt, J., & Brilon, W. (2009). A comparative assessment of stochastic capacity estimation methods. *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*, Boston: Springer, pp. 583-602.

24. HRB (1950) Highway Capacity Manual (HCM 1950), Bureau of Public Roads, US. Department of Commerce, Washington, D.C.
25. HRB (1965) Highway Capacity Manual (HCM 1965), Special Report 87, Highway Research Board, National Research Council, Publication 1328, Washington, D.C.
26. Marler, N. W., Bergh, T., Bang, K. L., & Mertasudira, S. (1992). The Capacity of Urban Highways in Indonesia. In Seventh Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australasia, Proceedings, Singapore; volume 1.
27. Nederland, G. (2015). Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen, versie 4.
28. Roess, R. and Prassas, E., (2014). The Highway Capacity Manual- A Conceptual and Research History Vol.1: Uninterrupted Flow, Springer.
29. Roess, R. P., Ulerio, J. M., Prassas, E. S., Schoen, J., Vandehey, M., Reilly, W., & Kittelson, W. (2008). Analysis of Freeway Weaving Sections (Final Report for NCHRP Project 3-75). Transportation Research Institute, Polytechnic University, Brooklyn, NY.
30. Roess, R., (1987). Development of Weaving Area Analysis Procedures for the 1985 Highway Capacity Manual, TRR 1112, Washington, D.C.
31. Roess, R., Prassas, E., and McShane, W., (2019). Traffic Engineering, 5th Edition, Pearson.
32. Rouphail, N. M., Aghdashi, B., Elefteriadou, L., Amini, E., & Xu, D. (2021). Assessing and Addressing Deficiencies in the HCM Weaving Segment Analyses (No. Project K2). Southeastern Transportation Research, Innovation, Development and Education Center (STRIDE).
33. Rouphail, N., Elefteriadou, L., Aminil, E. and Ahmed, I. (2023) Assessing & Addressing Deficiencies in the HCM Weaving Segment Analyses (Phase 2). Final Report Project J5. Southeastern Transportation Research, Innovation, Development, and Education Center (STRIDE) and Transportation Institute, University of Florida.
34. Schroeder, B. J., Cesme, B., Wu, Z. L., Avr, A. A., Ryus, P., Rouphail, N. M., Wang, Y., Yin, S. and Sun, W. (2023). Update of Highway Capacity Manual: Merge, Diverge, and Weaving Methodologies (No. NCHRP Project 07-26).
35. Skabardonis, A. & Mauch, M. (2015). Evaluation of Methodologies for

Analyzing Freeway Ramp Weaving Transportation Research Record, 2483, 130–139.

36. TRB (1965). Highway Capacity Manual (HCM 1965), Special Report 87, Transportation Research Board, Washington D.C.
37. TRB (1980). Interim Procedures on Highway Capacity, Circular 212, TRB, Washington, D.C., 1980.
38. TRB (1985). Highway Capacity Manual (HCM 1985), Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
39. TRB (1994). Highway Capacity Manual (HCM 1994), Special Report 209 (Revised in 1994), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
40. TRB (2000). Highway Capacity Manual (HCM 2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
41. TRB (2010). Highway Capacity Manual (HCM 2010), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
42. TRB (2016). Highway Capacity Manual (HCM 2016), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
43. TRB (2022). Highway Capacity Manual (HCM 2022), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
44. Wu, N., & Lemke, K. (2016). The new procedures for diverge, merge, and small weaving segments in the new version of German Highway Capacity Manual (HBS 2015). Transportation research procedia, 15, 366-377.
45. Xu, D., Rouphail, N. M., Aghdashi, B., Ahmed, I., & Elefteriadou, L. (2020). Modeling framework for capacity analysis of freeway segments: application to ramp weaves. Transportation research record, 2674(1), 148-159.
46. Zhou, C., Rong, J., Wang, S., & Feng, X. (2015). An Assessment Research on the Predicted Model of Weaving Speed in the 2010 HCM. TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

附錄 A：國道 1 號、3 號交織區列表

國道 1 號及國道 3 號主線共有 59 處交織路段，表 A-1 整理各路段交織長度、車道數、限航區、遮蔽物等資訊，表 A-2 則為各路段依據三種分類方法之分類結果，兩表格之資料來源皆為「交織路段公路容量及服務水準研究先期規劃」(2022b)：

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_5 (m)	$L_5 > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限航航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
1	國1南下	大華系統~五堵		1,190	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	是	包含系統交流道	無
2	國1南下	五堵~汐止		3,200	> 760	非典型	3,2,3,1,1	1,0,2	是	不包含系統交流道	匝道遮蔽起點主線
3	國1南下	汐止系統~汐止高架		1,070	> 760	典型	3,3,5,2,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無
4	國1南下	東湖~內湖		880	> 760	非典型	3,2,3,1,1	1,0,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
5	國1南下	圓山~台北		1,370	> 760	非典型	2,3,4,2,1	0,2,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
6	國1南下	三重~五股南出		4,630	> 760	非典型	4,3,4,1,1	1,0,2	是	不包含系統交流道	其他公路遮蔽主線
7	國1南下	五股~高公局		630	≤ 760	非典型	4,5,6,2,1	0,2,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道

註⁽¹⁾：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註⁽²⁾：最小車道變換數之三數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_S (m)	$L_S > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道	空拍遮蔽物
9	國1南下	林口~桃園		5,770	> 760	非典型	4,3,5,1,2	2,0,2	否	不包含系統交流道	高架鐵路橫越
10	國1南下	桃園~機場系統		1,250	> 760	非典型	5,3,5,1,2	2,0,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
11	國1南下	機場系統~中壢服務區		1,740	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	否	包含系統交流道	高架遮蔽匝道
12	國1南下	中壢服務區~內壢		1,020	> 760	非典型	4,3,4,1,2	1,0,2	否	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
13	國1南下	中壢轉接道		1,580	> 760	典型	3,3,5,2,2	1,1,2	否	不包含系統交流道	無
14	國1南下	泰安服務區~后里		970	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	不包含系統交流道	一般道路橫越
15	國1南下	台中系統~豐原		1,830	> 760	典型	3,3,4,2,1	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
16	國1南下	彰化系統~彰化		4,400	> 760	典型	3,3,4,2,2	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L ₅ (m)	L ₅ > 760m?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道?	空拍遮蔽物
17	國1南下	彰化~埔鹽系統		7,860	> 760	非典型	3,4,4,1,1	0,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
18	國1南下	員林地磅站~北斗		1,010	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	否	不包含系統交流道	一般道路橫越
19	國1南下	斗南~雲林系統		2,040	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	無
20	國1南下	台南系統~永康		1,950	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無
21	國1南下	楠梓~鼎金系統		3,990	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	一般道路橫越
22	國1南下	鼎金系統~高雄		2,700	> 760	典型	4,4,5,2,2	1,1,2	是	包含系統交流道	一般道路橫越
23	國1南下	高雄~瑞隆路出口		1,500	> 760	非典型	3,4,4,1,2	0,1,2	是	不包含系統交流道	無
24	國1南下	五甲~高雄端		290	≤ 760	非典型	3,2,4,1,2	2,0,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_5 (m)	$L_5 > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
25	國1北上	高雄端~五甲		270	≤ 760	非典型	2,3,5,3,2	0,2,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽
26	國1北上	五甲系統~高雄		1410	> 760	非典型	3,4,4,2,1	0,1,2	是	包含系統交流道	無
27	國1北上	高雄~鼎金系統		2,700	> 760	非典型	4,3,5,1,2	2,0,2	是	包含系統交流道	無
28	國1北上	鼎金系統~楠梓		3,560	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	一般道路橫越
29	國1北上	斗南分隊~雲林系統		1,990	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
30	國1北上	雲林系統~斗南		1,980	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	無
31	國1北上	北斗~員林地磅站		820	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	否	不包含系統交流道	一般道路橫越
32	國1北上	員林~埔鹽系統		1,890	> 760	非典型	3,4,4,1,1	0,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_5 (m)	$L_5 > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
33	國1北上	埔鹽系統 ~ 彰化		7,790	> 760	非典型	4,3,4,1,2	1,0,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
34	國1北上	彰化 ~ 彰化系統		4,410	> 760	典型	3,3,4,2,2	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
35	國1北上	豐原 ~ 台中系統		1,360	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
36	國1北上	中壢轉接道		1,400	> 760	典型	3,3,5,2,2	1,1,2	否	不包含系統交流道	無
37	國1北上	內壢 ~ 中壢服務區		1,300	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	否	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
38	國1北上	中壢服務區 ~ 機場系統		1,880	> 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	否	包含系統交流道	高架遮蔽匝道
39	國1北上	機場系統 ~ 桃園		1,060	> 760	非典型	3,4,5,2,2	0,2,2	否	包含系統交流道	高架遮蔽、一般道路橫越
40	國1北上	泰山轉接道 ~ 高公局		320	≤ 760	非典型	4,5,6,2,1	0,2,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_5 (m)	$L_5 > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
41	國1北上	高公局~五股		450	≤ 760	非典型	5,4,6,1,2	2,0,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
42	國1北上	台北~圓山		1,210	> 760	非典型	3,2,4,1,2	2,0,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道及主線
43	國1北上	圓山交流道		210	≤ 760	非典型	2,3,3,1,1	0,1,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道及主線
44	國1北上	內湖~東湖		960	> 760	典型	2,2,3,1,1	1,1,2	是	不包含系統交流道	高架遮蔽匝道
45	國1北上	汐止高架~汐止系統		1,610	> 760	典型	2,2,4,2,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無
46	國1北上	五堵~大華系統		590	≤ 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無
47	國3南下	新台五路~南港		430	≤ 760	典型	3,3,4,1,1	1,1,2	是	不包含系統交流道	一般道路橫越
48	國3南下	南港~南港系統		1,030	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L ₅ (m)	L ₅ > 760m ?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
49	國3南下	三鶯~鶯歌系統		2,830	> 760	非典型	4,3,4,1,2	1,0,2	否	包含系統交流道	無
50	國3南下	寶山~新竹系統		820	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越
51	國3南下	烏日~中投		630	≤ 760	典型	3,3,4,2,1	1,1,2	否	不包含系統交流道	無
52	國3南下	霧峰~霧峰系統		1,580	> 760	非典型	3,4,5,2,1	0,2,2	否	包含系統交流道	無
53	國3南下	中興系統~中興		870	> 760	非典型	4,3,4,1,1	1,0,2	否	包含系統交流道	匝道橫越主線
54	國3北上	霧峰系統~霧峰		1,990	> 760	非典型	4,3,5,1,3	2,0,2	否	包含系統交流道	無
55	國3北上	中投~烏日		620	≤ 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	不包含系統交流道	無
56	國3北上	新竹系統~寶山		870	> 760	典型	3,3,4,2,1	1,1,2	否	包含系統交流道	一般道路橫越

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。
 註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

表 A-1 國道 1 號、國道 3 號交織路段一覽表(續)

序號	國道與方向	交織路段所在交流道	幾何型態示意圖	長度 L_5 (m)	$L_5 > 760\text{m}$?	典型或非典型	路段車道數 ¹	最小換道數 ²	限禁航區	含系統交流道 ?	空拍遮蔽物
57	國3北上	大溪 ~ 鶯歌系統		7,200	> 760	非典型	3,3,4,1,2	1,1,2	否	包含系統交流道	隧道
58	國3北上	南港系統 ~ 南港		570	≤ 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	包含系統交流道	無
59	國3北上	南港 ~ 新台五路		940	> 760	典型	3,3,4,1,2	1,1,2	是	不包含系統交流道	無

註(1)：各路段車道數分別為上游主線、下游主線、交織斷面、進口匝道、出口匝道數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

註(2)：最小車道變換數之三個數值，分別為匝道往主線最小車道變換數、主線往匝道最小車道變換數、僅需變換 0 或 1 次車道之車道數。

附錄 B：交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告會議

審查意見處理情形表

計畫名稱：高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(2/3)-非典型交織路段

執行廠商：國立陽明交通大學

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
陳委員宏仁(書面意見)			
1.	報告書 2.1 節 P.9 圖 2.1-3 上方說明資料與 P.8 重複，(b)圖與非典型第 2 類定義(主線至匝道最小車道變換次數為 2 次)不符，另缺圖 2.1-3(c)，建議補充。	謝謝委員指正，於期末報告 2.1 節修正。	同意
2.	報告書 3.2 節 P.34，系統交流道匝道至匝道流量不高，可視為非系統交流道，流量不高之量化標準為何？	謝謝委員意見，根據國內資料顯示，不包含非系統交流道之交織路段其 V_{RR} 約在 200 至 500 車/小時，而包含系統交流道交織路段之 V_{RR} 則可高達 600 車/小時以上。因此暫以 500 車輛/小時作為門檻，包含系統交流道交織路段之 V_{RR} 低於此門檻，則可視為不包含系統交流道之運作。	同意
3.	報告書 3.2 節 P.37 與 P.39 內文「如圖 3.2-9 與如圖 3.2-10」應修正為「如圖 3.2-10 與如圖 3.2-11」，兩路段之路型示意圖與拍攝畫面方向不同，建議調整一致。	謝謝委員指正，於期末報告 3.2 節修正。	同意
4.	報告書 4.2 節 P.71 表 4.2-1 國 1 南下林口~桃園距離超過 8 公里，應不屬於交織路段，另圓山交流道僅單一交流道，應無涉交織行為。	謝謝委員指正，於期末報告 4.2 節修正。	同意
5.	報告書 6.2 節 P.111 霧峰交流道南入匝道為改善壅塞情形調整標線布設，另霧峰系統交流道南往東匝道已於 7 月拓寬為 2 車道，本局後續將追蹤交通運轉情形。	謝謝委員意見。	同意
6.	報告書 5.2 節 P.92 快速公路之「支線」應修正為「東西向(台 18 甲線)」、「南北向(台 62 甲線)」各一條。	謝謝委員指正，於期末報告 5.2 節修正。	同意
羅委員仕京(書面意見)			
1.	本報告書 P.83 與 P.69 提及使用 ETC	當交織路段之上游、中間、下游有	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	M06A 資料取得交織車流，建議補充如何獲得 VRR 流率，並在圖 4.2-2 標註門架相對位置，報告書 P.101-104 有 VD 資料分析，建議補充門架部分。	ETC 門架，可透過車輛通過門架之組合進行比對，例如若某一車輛有通過上游門架及中間門架、但沒通過下游門架，可視為主線往匝道之車輛，依此類推四股車流量。 相關例圖之說明已於期末報告 4.2、4.3 節補充說明。	
2.	報告書 3.2 節之圖 3.2-3、3.2-6、3.2-7、3.2-10、3.2-11 均為速率圖，建議統一圖例。	依指示辦理，於期末報告 3.2 節修正。	同意
3.	報告書 3.4 節 P.53 建議說明各車道速率加權平均如何加權？	謝謝委員意見，本研究之流率加權平均係指總流率除車道數，速率則以車道流率為權重，分母為各車道之加總。將依指示辦理，於期末報告 3.4 節補充說明。	同意
4.	報告書 3.4 節 P.65 違規行為是否為工作項目律定之內容，為何僅霧峰交流道進行分析？違規行為是否會影響容量或容量阻抗值？	謝謝委員意見，違規分析並非工作項目律定之內容，進行分析之原因是希望透過現場調查了解車流運作特性是否與理論及法規相符，作為建模時之參考。違規行為很可能會影響容量值及容量阻抗值，但因缺乏有無違規資料的參考對照，目前難以由現場調查資料中確認此觀點是否成立。	同意
5.	報告書 4.4 節 P.82 建議公式加註幾何條件、車流資料(含調查方式)、校估參數或給定常數供使用者參考。	依指示辦理，於期末報告 4.4 節修正。	同意
6.	報告書 4.4 節 P.85 以四組資料校估，校估時是以各組資料個別校估，還是合在一起處理？圖 4.4-2 之資料型態是否一致？	該分析為四組資料一起校估，因各地點皆採用同一模型，因此得以一起校估，而 Ls 及車道配置則是每個地點有不同的資料。圖 4.4-2 之資料是由四個地點各篩選出 10 天之 VD 資料所繪製，採用自由車流狀態至發生壅塞前狀態之資料。	同意
7.	報告書 4.4 節 P.86-87，校估參數是否嘗試其他 ε 值？如 $\varepsilon=2$ 、 $\varepsilon=1$ 或 $\varepsilon=4$... 等。	ε 值是參考文獻原文之結果，3 為該文獻嘗試各數值之最佳結果，而本研究過程也有嘗試以不同 ε 值進行校估，仍以 3 為最佳結果。	同意
	報告書 P.34 第 2 段第 7 行，「7 約下旬」應為「7 月下旬」	謝謝委員指正，於期末報告 3.2 節修正。	同意
	報告書 P.43 變數字體統一為「斜體」、「下標」	謝謝委員指正，於期末報告 3.3 節修正。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	報告書 P.74 倒數第 3 行，公式符號之 i 建議修正為「車道編號」	謝謝委員指正，於期末報告 4.3 節修正。	同意
鍾委員智林(書面意見)			
1.	期中報告書內容均依計畫進度執行，符合預定成果。	謝謝委員意見。	同意
2.	報告書 P.4 的圖 1.1-2 與 P.8 的圖 2.1-2 相同，擇一即可。	謝謝委員指正，於期末報告 1.1、2.1 節進行調整。	同意
3.	報告書 P.8 非典型交織路段定義牽涉三項條件，(1) 上下游主線車道數不對稱、(2) 輔助車道不明確、(3) 交織路段存在特殊幾何設計，請釐清非典型路段各條件之間是 and 或 or 的關係。	謝謝委員意見，有關非典型路段之 3 點定義，若符合其中一項即為「非典型」，因此為「or」之關係，已於報告書中釐清。	同意
4.	報告書 P.31 的圖 3.1-3 為調查地點篩選流程，有一項判斷條件為較頻繁的交織行為，按照流程圖邏輯，會蓋掉可觀察到壅塞及壅塞為下游回堵所致這兩項判斷條件，只要有較頻繁的交織行為，不論是否壅塞、是否為下游回堵，都會列為調查地點，與 P.30 的內文說明不盡相同。	謝謝委員指正，調查地點篩選時會以可觀察到壅塞、非下游回堵、有較多交織行為之地點為目標，流程圖於期末報告 3.1 節進行修正。	同意
5.	報告書 3.4 節車流特性資料分析將資料分成壅塞前、進入壅塞、已壅塞等三種狀態，由於報告書無法參閱影片，建議比照 P.76 的圖 4.3-2 示意這三種狀態區間，並配合說明報告書 P.58 之圖 3.4-3 呈現進入壅塞狀態的車流通過量遠低於已壅塞的原因。	依指示辦理，於期末報告 4.3 節進行調整。另圖 3.4-3「進入壅塞」狀態的車流通過量遠低於已壅塞的原因是每一狀態之分析時間不同，進入壅塞樣本約 8 至 10 分鐘，而壅塞前、已壅塞資料則於 40 分鐘。已將數據之單位調整為每小時之流率，以利閱讀。	同意
6.	報告書 P.82 的原始公式採用英制與 pc，建議於內文提醒說明本研究採用的是公制與 veh。	謝謝委員意見，於期末報告 4.4 節進行修正。	同意
7.	報告書 P.83 排除「平均每車道流率」低於 500pc/h/ln 的樣本，P.85 圖 4.4-2 的 x 軸顯示資料點為「3-4 車道總流率」pc/h，似將造成許多低於 500pc/h/ln 的樣本納入模式校估？	本研究假設「平均每車道流率」低於 500 pc/h/ln 為自由車流並計算自由車流速率 (FFS)，因此在建立速率模型時排除平均每車道流率低於 500 pc/h/ln 之資料。圖 4.4-2 僅為全部資料點之顯示，低於 500pc/h/ln 的樣本不會納入模式校估。	同意
8.	期末報告可嘗試將非典型與典型交織路段分析結果進行對照討論，釐清	謝謝委員意見，將於期末報告進行典型路段與非典型路段模式結果之比	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	上下游車道數是否一致及特殊幾何設計對路段速率與容量之影響。	較。	
李委員忠璋			
1.	報告書 P.29 之圖 3.1-2 輔助車道全段寬為入口匝道鼻段~出口匝道鼻端。但 HCM 中提及 Ls 與 Lb，建議說明本研究採用 Ls 還是 Lb 做為分析。	謝謝委員意見，HCM 中提及統計分析顯示 Ls 在模式中之預測能力較高，故本研究也採用可合法變換車道之 Ls 做為分析。	同意
2.	報告書 P.30，「1.車流壅塞且非下游回堵」段落提及「當車道斷面平均車速及外側車道（或輔助車道）速率低於至 60 公里/小時且至少持續 30 分鐘以上」，當中外側車道與輔助車道定義是否相同？報告書部分使用外側車道，部分使用輔助車道，定義是否相同？	輔助車道是指短虛線外之車道，而外側車道為主線車道最外側車道，交織行為通常發生於這兩個車道，兩者之定義並不相同。於內文將“外側車道”修正為“主線外側車道”，避免混餉。	同意
3.	報告書 P.34，國 3 南下霧峰~霧峰系統調查日期為 4/20(六)，本調查地點為假日之原因為何？	謝謝委員意見，該路段選擇在假日進行調查，主要因為根據歷史資料顯示，該路段僅假日出現經常性壅塞。	同意
4.	報告書 P.49，再請補充說明「...將採用主線上游幾進行匝道之總量為準。」	謝謝委員意見，該段敘述為誤植，將於期末報告 3.3 節修正與補充說明。	同意
5.	報告書 P.56，相同車流狀態下四股車流與 P.58 圖 3.4-3 差異甚大，請教其差異之原因？	「進入壅塞」狀態的車流通過量遠低於已壅塞的原因是因該狀態樣本僅約 8 至 10 分鐘，而其餘兩狀態皆大於 40 分鐘，將於期末報告調整為每小時流率以利閱讀。	同意
6.	報告書 P.60，最後一段倒數第 3 行提及「圖中空白區域為現場調查中斷拍攝的部分，外側車道進入壅塞前、後...」，為何是以外側車道做為分析？	謝謝委員意見，該段敘述為誤植，此處係以所有車道進行分析，已於報告書進行修正。	同意
7.	報告書 P.83，第一期研究校估以 FFS 代替 Sb，而 FFS 以現場資料計算是否會受速限影響？	在模式校估上，本研究採用 VD 資料進行估算為主，FFS 大多超過速限，但仍有部分地點之 FFS 低於速限(國 1 南下圓山~台北)，推測原因為該地點主線只有 2 車道，大車之速限較低且可使用內側車道所導致。 在使用模式時，如缺乏現場資料(如規劃階段)則可採以下規則進行 FFS 估算：速限 100 以上，FFS 為速限+5；速限為 90，FFS 為速限+10。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
8.	報告書 P.76 與 P.84 對於車流崩潰之定義不同，前者為 75%，後者訂為 70%，應以何者為準？	75%及 70% 兩個不同的門檻數值為參考相關文獻並經內部測試後之門檻值。報告書 P.76 為容量模型部分，採用 75%FFS 作為車流崩潰之判斷，此為大量文獻所採用之門檻值；P.84 為速率模型部分，採用 70%FFS 為門檻可涵蓋臨界於車流崩潰前後之資料點，增加該速率範圍內之樣本數。	同意
9.	本局會再針對研究團隊提供之內容進行 VD 調整。	謝謝委員意見。	同意
交通工程技師公會			
1.	國 1 北上五股交流道之地點內側 2 車道受外側車道影響不大，目前尚在改善工程，未來可做事前事後之比較。	謝謝委員意見，惟事前事後比較已超出本計畫之研究範圍，建議後續研究可針對此議題進行分析。	同意
2.	國 1 南下桃園~機場系統路段，桃園交流道目前已新設一出入口距離機場更近，國 1 南下桃園~機場系統路段易受轉接國 2 車流回堵的狀況，建立模型時是否會考慮並分析？	謝謝委員意見，該路段已完成現場調查作業，車流回堵可透過現場調查之空拍影像觀察得知，以了解該地點之車流特性。模式建立會以偵測器之歷史資料為主，應不受影響。	同意
3.	簡報 P.50 影像有受高架道路陰影遮蔽，是否會影響影像辨識之計算？	謝謝委員意見，該地點於現場調查作業剛開始時確實因陽光照射角度以致於有陰影遮蔽，但車流進入壅塞及壅塞等重要過程已無該現象，本研究開發之軟體也已針對雲霧、陰影等狀況精進影像辨識演算法，因此不受影響。	同意
交通部高速公路局(書面意見)			
1.	文章內多處內容有出現「座」標，亦有出現「坐」標，請重新檢討統一用詞。	謝謝委員指正，於期末報告統一修正。	同意
2.	文章內容多處有「追蹤」，應為「追蹤」，請重新檢視修正。	謝謝委員指正，於期末報告統一修正。	同意
3.	文章內容多處有錯別、缺漏字、或排版混亂之情形，請於修正定稿時全面檢視修正。	謝謝委員指正，於期末報告統一修正。	同意
4.	報告書 P.5，3-2-(2)，「由於現場調查及資料整理...」，應修正為「由現場調查及資料整理...」。	謝謝委員指正，於期末報告 1.3 節修正。	同意
5.	報告書 P.9 圖 2.1-3： (1) 非典型示意圖子類別(B)文字敘	謝謝委員指正，於期末報告 2.1 節修正。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	述及示意圖有誤，另欠缺子類別 (C)示意圖，再請修正。 (2) 整段文字敘述重複，再請調整。		
6.	報告書 P.34，第 13 行，「另外，6 月 25 日則是因設備原因導致調查不成功，並能蒐集足夠車流資料，預計於 7 月下旬再次調查。」，應修正為「另外，6 月 25 日則是因設備原因導致調查不成功，並未能蒐集足夠車流資料，預計於 7 月下旬再次調查。」	謝謝委員指正，於期末報告 3.2 節修正。	同意
7.	報告書 P.39，「調查過程中，南側接順利連續拍攝...」，應修正為「調查過程中，南側皆順利連續拍攝...」。	謝謝委員指正，於期末報告 3.2 節修正。	同意
8.	報告書 P.40 圖 3.2-10 與圖 3.2-11，該處 VD 資料速度曲線呈現方式建議與高公局~五股、霧峰~霧峰系統路段統一。	依指示辦理，於期末報告 3.2 節修正。	同意
9.	報告書 P.49： (1) 第 5 行，「有表中結果可看出...」，應修正為「由表中結果可看出...」。 (2) 第 11 行，「...將採用主線上游幾進行匝道之總量為準。」語意不明？請說明。	謝謝委員指正，有關(2)為誤植，於期末報告 3.3 節修正與補充說明。	同意
10.	報告書 P.52，考量選擇地點 Ls 長度差異大，後續建議列表統整各研究地點幾何特性所造成之差異(交織長度、車道變換數、車道壅塞情形等)。	依指示辦理，於期末報告進行補充。	同意
11.	報告書 P.57： (1) 第 1 行，「...可被完整追蹤之車輛由織區上游至下游之變換車道頻次...」，應修正為「...可被完整追蹤之車輛由交織區上游至下游之變換車道頻次...」。 (2) 倒數第 5 行，「...可由該圖觀察出於個階段皆為下游車速高於上游車速...」，應修正為「...可由該圖觀察出於各階段皆為下游車速高於上游車速...」。 (3) 倒數第 3 行，「...而在換車道頻次方面...」，應修正為「...而在	謝謝委員指正，於期末報告 3.4 節修正。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	變換車道頻次方面...」。 (4) 倒數第 2 行，「個階段之車流狀況...」，應修正為「各階段之車流狀況...」。		
12.	報告書 P.59，本局於 113 年 6 月 28 日起將霧峰系統南出車道拓寬為雙車道，上游第 4 車道可供行駛國 3 及順接匝道轉國 6，第 5 車道維持國 6 出口專用，經觀察利用第 4 車道車輛數較調整前增加約 10~20%，後續研究請注意線形調整之時間點，並建議可更新拓寬後交織變化行為。	謝謝委員的寶貴資訊。目前在建立模式時是採用 2023 年之偵測器資料，分析結果應不受改善工程之影響。明年度可再視情況對霧峰地點進行調查，探討拓寬後之交織行為變化。	同意
13.	報告書 P.60，文字請將「烏日~中投」修正為「霧峰~霧峰系統」路段。	謝謝委員指正，於期末報告 3.4 節修正。	同意
14.	報告書 P.60 表 3.4-6 內容與表 3.4-7 重複，再請修正為交織類型車道變換頻次表。	謝謝委員指正，於期末報告 3.4 節修正。	同意
15.	報告書 P.63，第 1 行，「考國道都會地區路段交通改善成果...」，語意不明？另建議完整引用書籍名稱，「國道都會地區路段交通改善成果(109-112 年)」。	謝謝委員指正，於期末報告 3.4 節修正。	同意
16.	報告書 P.64-65，文章內容多處有「鼻段」，應為「鼻端」，請重新檢視修正。	謝謝委員指正，於期末報告 3.4 節修正。	同意
17.	報告書 P.71、75 表 4.2-2，近期相關路段進行重現性壅塞改善如下，請注意施工影響及調查時間點變化： (1) 國 1 南向東湖~內湖主線拓寬，113 年 4 月 7 日開工 (2) 台北交流道南出匝道拓寬為兩車道，112 年 3 月 3 日完工 (3) 國 1 五股增設北出及北入匝道，112 年 4 月 20 日開工 (4) 國 1 北向內湖~東湖主線拓寬，113 年 3 月 4 日開工	謝謝委員的寶貴資訊。	同意
18.	報告書 P.111，6.2-2，「...將於 7 月低...」，應修正為「...將於 7 月底...」。	謝謝委員指正，於期末報告 6.2 節修正。	同意
19.	簡報 P.18 之出口端為五股與新莊，並建議將「替代道路」移除。	謝謝委員提醒。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
1.	有關先前之商研會議： (1) 目前台 64、台 74 已由公路局接管，台 74、台 88 最晚將於 114 年底收回公路局接管，公路局將配合辦理 VD 布設。 (2) 線圈式 VD 布設與養護不易，路側式雖可能晃動但可再透過技術改善。	謝謝委員意見。	同意
本所運輸計畫及陸運組（書面意見）			
1.	有關文獻回顧中闡述臺灣目前公路容量手冊的內容，考量交織區段車流組成較複雜，僅摘錄文字敘述較不易了解，建議期末報告書除引用文字外，亦將原圖摘錄放入，以利讀者對照及了解。	謝謝委員意見，依指示辦理。	同意
2.	為利讀者檢視報告書中之代號意義，建議增加代號對照表，以利參照。	謝謝委員意見，依指示辦理。	同意
3.	報告書 P.28~P.66 第三章之現場調查工作及車流特性分析作業，針對每個調查地點之分析內容及呈現方式不盡相同，建議在每個地點車流分析前說明該地點欲分析的主要內容及目標，若分析內容相同建議採用同一種圖呈現，以利閱讀。(P.45~P.46 圖片請提升解析度)	謝謝委員意見，依指示辦理。	同意
4.	報告書 P.28~P.66 車流特性分析中內側車道的內側車道與外側車道間容量似有較大的落差，目前採用平均值方式處理，是否未來會造成實務上交織路段之外側車道壅塞情形被低估，後續再請研究團隊協助探討。	謝謝委員意見，此議題已於專家學者座談會進行討論，請參閱座談會之會議記錄。	同意
5.	報告書 P.51 有關 DFS 有明顯誤判車道別的情形，是否有後續的解決方式？建議補充說明。	謝謝委員意見，有關 P.51 之表 3.3-2 發現 DFS 偵測之車輛數與 VD 之通過量差異達 96 輛車，經人工檢核，確認 DFS 的通過量數據無誤，並未發現車道 5 的車輛被誤判至其他車道，因此推測該差異可能來自 VD 資料來源或 VD 判別時間的不同。此外，DFS 的影像辨識技術大多無法透過人工調整，未來若在研究中再次使用 DFS，將更加留意資料檢核部分。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
6.	報告書 P.54 考量報告書無法呈現影片，請團隊酌修表達方式。	謝謝委員意見，於期末報告 3.4 節補充示意圖。	同意
7.	報告書 P.108 請補充說明表 5.3-6 所撰寫「資訊不足」之意涵，另請團隊將表格繪製成示意圖，含建議新設、維修的 VD 點位，以利本所後續洽公路局及高公局協助布設及維修事宜。	謝謝委員意見，於期末報告 5.3 節補充「資訊不足」之意涵，並繪製示意圖。	同意
8.	報告書 P.112 公路容量手冊第 5、6 章發布前之資料校正及編修，後續仍有需調整及修正之處，再請研究團隊持續協助本所辦理編修作業。	依指示辦理。	同意
9.	考量本所後續出版作業時程能更為快速，請協助於期末報告時依據本所出版品報告格式編輯。	依指示辦理。	同意
主席結論			
1.	審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請國立陽明交通大學整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	依指示辦理。	同意
2.	本計畫經徵詢審查委員意見，期中審查原則通過，請國立陽明交通大學後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，並納入每月工作會議查核事項進行追蹤。	依指示辦理。	同意

附錄 C：專家學者座談會會議紀錄

「MOTC-IOT-113-PDB011 高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究（2/3）-非典型路段」 專家學者座談會會議紀錄

- 一. 時間：113 年 10 月 18 日（星期五）上午 10 時 00 分
- 二. 地點：交通部運輸研究所 2 樓會議室（105004 臺北市敦化北路 240 號）
- 三. 主席：運輸計畫組張舜淵組長（呂怡青副組長代）、國立陽明交通大學運輸與物流管理學系黃家耀副教授
紀錄：洪瑋鍾、楊昇燁
- 四. 出席專家學者與單位：（如會議簽到單）
- 五. 簡報內容（略）
- 六. 討論議題（重點節錄）

（一）議題一：高速公路路段大車之小客車當量值之建議值

1. 背景說明：

- （1）「臺灣地區公路容量手冊」2011 版與 2022 版，在高速公路基本路段、匯流區、分流區、交織路段章節中，提供了不同的大車之小客車當量值之建議值。
- （2）2022 年 THCM 基本路段，大車 PCE 調整為 1.4，較過去為低。

2. 討論方向：

- （1）在透過現場車流資料去估算容量值前，要先決定小客車當量值；採用不同當量值時，最終的估算容量值也會稍有不同。
- （2）在實務應用操作上，如何選取合適之小車當量值？
- （3）對於本案交織路段容量分析，建議採用之小車當量值或考慮因素？

（二）議題二：交織路段容量及服務水準評估之新方法

1. 背景說明：

- （1）實證資料發現，交織四股車流所使用之車道及運作都有所不同。交織路段可能會發生在全部車道或只有部分車道壅塞的情況。下圖現場調查顯示，在某些地點及情況下，壅塞只發生於主線車道或外側/輔助車道。
- （2）以全部車道平均作為評估對象，恐怕會得出與現實不符之結果，進行服務水準評估時應加以區分。需要進一步思考容量及服務水準評估之評估對象（檢核點）。
- （3）提出對全部車道、交織車道分別進行評估之分析方法。全部車道（N）之運作、交織車道（N_{WL}）之運作，但在交織路段特殊型態下，N_{WL}之判斷方式需進一步討論。

2. 討論方向：

- （1）以「全部車道」、「交織車道」作為檢核點進行評估，是否適當？
- （2）針對交織路段特殊幾何配置的情況，交織車道的認定方式是否適當？

七. 專家學者意見與建議

（一）中央警察大學交通學系 曾平毅 教授

1. 議題一：

- （1）大車之小車當量受坡度、大車比例影響較大，考量大車當量可以設比較大的值，建立一個合適的範圍，以簡化方向做處理。

- (2) 北部、南部路段、國道 1 號、國道 3 號大車的組成差異相當大，不易做明確的處理，因此不必以精細的角度來看這件事情。
- (3) 大車行駛車道及其影響：高速公路上的大車通常行駛於外側車道，因此大車的 PCE 值不需要過於細緻區分，因此其對分析的影響較小。
- (4) VD 資料的可靠性與大車比例的影響：大車比例較高的情況僅出現在少數案例中，如南部地區或特殊情境，大車比例超過 20% 較為罕見。可以考慮設定大車比例的門檻，例如超過 15% 或 20% 時調整 PCE 值（從 1.4 調整至 1.6）。

2. 議題二：

- (1) 研究團隊提出的全部車道檢核與交織車道檢核方法可行，應採用這種檢核方式。當前的研究多集中於檢討現有的服務水準，而非規劃設計，重點是找出問題並進行改善。
- (2) 需要統一定義交織區域的計算方式，確保有一致性的方法來分析交織區域特殊幾何配置。
- (3) 分析方向的建議：全部車道與交織車道分別的分析方向是可行的，建議繼續沿此方向進行研究和討論。

(二) 淡江大學運輸管理學系 羅孝賢 教授

1. 議題一：

- (1) 大車 PCE 實際影響在坡度，跟車速、壅塞情況差異不大。建議可按照 1.4 的假設去嘗試服務水準和容量值影響程度，再做後續評估。
- (2) 臺灣的職業駕駛行為特殊，使得 PCE 在實際應用中比國外標準更高，這與美國的案例有所不同。大車在混合車流中干擾效應較大，需深入分析其影響程度。
- (3) PCE 數據（如 1.4 或 1.5）是否需要精確到如此細微的程度取決於其對後續分析影響的大小。必須先釐清誤差的主要來源，確認 PCE 數據的影響程度，再決定是否需要進一步精確化。

2. 議題二：

- (1) 針對複雜的情況，應建立簡單的分析架構，進一步探討典型與非典型情境的處理方式。可以將典型情境如 C-D（集散車道）處理，非典型情境則根據具體情況進行個別分析。探討是否能將不同的配置狀況建模處理，或分成兩個不同的模型來應對。
- (2) 交織區段通常包括併入與分出的過程，C-D 車道可以用來處理併分出的過程，不影響主線車流。車流的匯入和分出情況使主線看似暢通，但外側車道混亂，如何定義為交織區段值得探討。
- (3) 建議從簡單的分析方法，逐步提升到更複雜和精確的模型。需要先考慮誤差的整體影響，再決定投入更多精力進行更精細的分析。精確有成本，根據其重要性及影響決定是否要更精確。

(三) 逢甲大學智慧運輸與物流創新中心 張建彥 教授

1. 議題一：

- (1) 交織區段的大車和平時路段上有差別，交織路段的各車種 PCE 應大於平時路段。以各車種流率去計算。大貨車、大客車、聯結車，不需要再進行細分，統一以大車 1.4 的值去進行就好。
- (2) 臺灣的當量值小於國外的數值（大部分 1.5 以上）。可嘗試以 QKV 圖估算車流量，以及小客車的車間距，再取得大車的車流特性，相減後就可以知道。可進行敏感度分析，觀察 PCE 的調整對於容量的影響。

- (3) 新版 HCM 將大車當量值定為 1.4 的原因是因為駕駛行為。在實務上，大車 PCE 定得太高，換算出的小客車當量會太高，根據過去從事的研究發現，臺灣大車的駕駛跟車距離都相當近，由於拉開距離易有其他車輛切入，因此在後續分析部分，當量值估算方面需要確認流率及容量值。
- (4) 美國公路容量手冊 (HCM) 的發展過程中，從早期的自信逐步演變成更謹慎，增加了敏感度分析與可靠度分析。PCE 值的影響可以通過敏感度分析來檢查，確認不同 PCE 值 (如 1.4) 對容量的影響是否顯著。如果影響不大，可以使用實際調查的數據作為參考。

2. 議題二：

- (1) 新版 HCM 提出了影響交織區段的三大因素：交織區段的長度、交通路段的寬度以及交織車流量的變道情況。必須清楚界定交織路段的長度，如從進口匝道到出口匝道的頂點範圍，並考慮交織區段的延伸範圍。若交織路段長度超過合理範圍，則需考慮將該區段視為分匯流區進行分析。
- (2) 在分析中需明確區分交織車流量和非交織車流量，因為這兩者影響後續的速率和容量估算。目前的方法依據車道區分速率與容量，但未來應考慮車流量的影響，並評估其應用的必要性。
- (3) 服務水準的評估基於容量模型與速率模型，新版 HCM 使用公式來估算容量，並依據交織車流量與總車流量的比例進行調整。臺灣常用雙指標系統 (速率與密度) 評估高速公路的服務水準，這需要進一步確認其合理性與準確性。
- (4) 在評估服務水準時，速限被用作基準，但使用自由速率可能更能反映駕駛人的主觀感受。自由速率相對穩定，而速限則純粹是交通管理的結果，可能導致不一致的評估結果。
- (5) 雙指標系統 (速率與密度) 的應用需加強推廣，特別是在交織計畫審查，以避免因不熟悉而導致誤解。本土化的交通分析方法應更加適合臺灣的交通特性，並避免過度依賴國外標準。

(四) 交通部運輸研究所 林大煜 前所長

會議中對圖表中車道編號的定義 (如最內側或最外側車道) 說明不清楚，需要澄清圖表中的車道位置與車速的對應關係，以避免誤解。

1. 議題一：

- (1) PCE 值應用在規劃與實務的差異，在規劃與實務評估中的應用不同。規劃階段的資料較少，建議使用簡化的 PCE 值；實務評估則有更多數據進行更精確的分析。如果 PCE 值對結果不敏感，可以簡化分析方法；若敏感，則需細分 PCE 值的影響。
- (2) 車流崩潰可能發生在所有車道或輔助車道，兩者情況不同，會影響到 PCE 值的運作方式。需要區分車流崩潰的具體情形，是否發生在輔助車道或全部車道。
- (3) 針對不同的車道設計，若能明確區分車流崩潰的模式，有助於後續 PCE 值及容量分析的精準度。如果能適當區分不同的路段特性，後續的 PCE 值界定和分析方法會更準確。
- (4) 當量值用於規劃時可用簡易數字，實務時 PCE 影響不敏感可以簡化，在容量分析簡報第十六頁提到車流崩潰發生地方 (全車道、輔助車道) 對分類 PCE 有幫助，找出車流特性、交流道形式，區分出明顯的型態。考量前提：交流道組成和區間情形 (包含第二議題)。

2. 議題二：

- (1) 除了幾何型態外，交管措施亦會對交通狀況有影響。例如：高乘載車輛、貨車限制、小貨車可通行的時段等，這些措施會直接、間接影響交織路段的車流狀態。
- (2) 交織區段的長度和交通特性複雜，特別是在高交通量區段，這些因素會影響整體的交通流分析。交通保護措施如同高乘載限制等，也對交通流動有顯著影響。
- (3) 交織分析流程中，可能會有分歧的情況產生，分析不僅涉及全車道的交通狀況，還可能集中於部分車道的壅塞或交織問題，尤其是在特定的高交通量時段。
- (4) 流程圖中可能會出現更多分支和分歧，需要清楚界定，這樣才能更好地進行後續的分析（4、5、6、7 部分）。雖然交通狀況複雜，但歸納出較為簡單的走向有助於研究進程的推進，並減少研究單位的工作負擔。
- (5) 將複雜的交通狀況簡化和歸納，能有助於後續的分析，特別是在面對複雜的交織區段時，研究單位應力求在保證分析準確性的基礎上進行合理的簡化。

(五) 交通部公路局 李忠璋 副總工程司

1. 議題一：

- (1) 把大車簡化單一 PCE，對實務估算來說較簡單。實際狀況，以高速公路來看，20 噸大車有限制，但大客車沒有。大客車和大貨車便是為相同當量值，實際上評估會有差異。
- (2) 坡度會影響車流流量較大，在非爬坡路段影響較小。關於車流管制問題，再考慮大車要不要做區分和 PCE 處理。

2. 議題二：

- (1) 快速公路和高速公路上的交織區段常出現車道使用不均的情況，評估路段的整體車流狀況變得複雜，難以用單一指標描述。不同車道的壅塞狀況可能需要更細的分析方式。
- (2) 交織路段的定義需要依據進出口匝道之間的距離。若進出口距離較短，外側車道容易壅塞，但內側車道可能維持暢通。
- (3) 標線劃設和車道配置方式的不同，可能影響交織路段的交通表現。透過調整標線，可改善壅塞情況。
- (4) 每個交織路段的配置和狀況可能不同，因此需要進行個案分析。針對不同的進出口距離、車道配置和壅塞特徵，應採取個別的處理方式，不能以單一標準進行判斷。

(六) 交通部高速公路局 楊淑娟 組長（書面意見）

基礎研究最為辛苦，感謝運研所持續就 THCM 編修提供公務部門推動相關建設或改善規劃研析之依循，交織路段型態眾多，研究團隊綜析後臚列具代表性型態進行深入探討，內容充實嚴謹，深表佩服。

1. 議題一：

- (1) 管理機關實務應用上，考量資料取得、內容及作業急迫性，大都以「輛」進行分析，若要換算 PCU，考量 VD 偵測誤差、道路條件、車種比例（高速公路大型車比例約 10%）等，建議採單純化，P11 所建議或許就是不錯之方式。
- (2) 建議交織路段容量分析成果，應再考量實際道路條件、交通工程限制等進行調整，並輔以 QV 圖探討臨界容量，並進而調整容量值，後續方能

較準確評估道路服務水準等。(以雪山隧道為例，單向 2 車道，惟現行最大通過量僅約一半左右，當時容量分析係以 QV 圖處理)。

2. 議題二：

- (1) 現有 VD 偵測條件下容易將小貨車判定為大貨車，因此在車種比例判定仍以 ETC 為主。有關不同噸位的貨車 (3.5 噸/5 噸) 對車流特性、道路容量的影響，需要進一步探討。

3. 個人意見參考：

- (1) 簡報 P8 匯流區、分流區之大車小客車當量差異甚大，是否合宜？
- (2) 道路常因標線、標誌設置而有不同之行為，甚而導致容量之變化，建議就標準或範例情境明確敘述，並提醒使用者應再行檢視道路上現有交通工程是否對容量產生影響，如是應調整之。

(七) 交通部高速公路局

1. 議題一：

- (1) P11 僅採用國 3 隧道內 VD 資料之平均車距推估小客車當量，是否足夠代表國道其他基本路段及交織分匯流路段？
- (2) 有關小車當量值需考量各區段標誌標線行車限制，因其影響交織區段大車組成，如：國 1 北向泰山 (36.25k) - 三重 (27.9k) 大型車禁行內側車道。
- (3) 實務應用操作上，如何選取合適小車當量值：實務上依 2011 手冊當量值 1.5 計算，2022 平坦路段當量值為 1.4，評估差異不大故本局比照調整；另坡度路段影響大車車速，建議亦可擬定當量值供參考。
- (4) 本案交織路段容量分析，建議採用小車當量值或考慮因素：考量大車行駛於外側車道，於交織路段較基本路段影響大，故其當量值應比基本路段更高以反映實際狀況。

2. 議題二：

- (1) 研究團隊分析內容細緻，但實際上車流資料 (交織車流、非交織車流平均速率) 無法蒐集齊全，建請考量使用單位該如何直接運用研究成果，是否有指標或查表等方式快速利用。
- (2) 另可考量各車道獨立計算數值後再合併觀察，以真實呈現分車道之特性。
- (3) 以「全部車道」、「交織車道」作為檢核點進行評估是否適當：P15 因兩者壅塞情形不同，若統一採全車道較不能真實反映狀況，建議可依實際情形況分類，惟全部車道及部分車道檢核點之壅塞定義亦請敘明 (如車道速差值訂定、壅塞幾車道屬外側車道、是否含輔助車道等)。
- (4) 特殊幾何配置交織車道認知方式：P24~27 交織分類為典型、非典型，其非典型又有特殊非典型路段，建議統一歸類為非典型，並敘明定義以避免使用者誤用。

(八) 易緯工程顧問股份有限公司

1. 議題一：

- (1) 資料蒐集來源有辦法配合未來模式收集，或是只能做簡化處理。現有的 VD 點位不一定充足，對於後續交織區資料研究方法的應用會有影響。需要考慮未來如何取得更完整的資料，配合研究需求。
- (2) 提到不同車種在內側與外側車道的當量數值可能不同，但在實務運用上有局限。當前資料來源主要依靠 ETC 和 VD，車種分類有限 (大車、小車、聯結車)，對分析有簡化，VD 點位不足資料取得有困難。

2. 議題二：

- (1) 傳統上，臺灣以 760 公尺的距離來界定交織路段，但由於大多數臺灣的路段長度超過 760 公尺，設計上通常會避免產生交織路段。這導致未來的分析方式可能不再以固定長度作為判斷依據，而需要新的方法來界定交織路段和分匯流區。
- (2) 高速公路上的交管措施，如開放路肩行駛等，對分析帶來挑戰。未來如何處理這些路段的分析，特別是當車道數超過目前定義的基本車道數時，現有的方法（如內插外插）可能不夠充分，需要進一步的處理方案。
- (3) 團隊是否會針對臺灣各個交流道的典型與非典型路段進行盤點，並提供具體的結果，讓使用者能清楚知道哪些路段應作為交織路段進行分析，這樣在遇到某些路段時，可以依此進行正確的分析判斷。
- (4) 全部車道的評估結果和交織車道的評估結果，皆使用雙指標。當兩個評估結果不同時（如一個評估結果是服務水準 B2 等級，另一個是不同的等級），該如何進行解釋與應用。

(九) 亞聯工程顧問股份有限公司

希望未來在資料取得上有更好的建議或方法，以提升實務應用的準確性和可靠性。使用者期待未來的研究成果，希望新的評估方法將比現有的手冊方法更加準確，能更好地反映實際交通狀況。

1. 議題一：

- (1) 在分析某區段時，若大車比例高，是否可以調整當量因子（如從 1.4 提高到 1.5 或 2）。實務上的計算還是依據現行手冊中的標準進行，但期待未來能有更合適的建議。

2. 議題二：

- (1) 現行方法與實際車流狀況的差異，當前的評估方法與實際車流狀況常存在較大的差異，這使得目前的手冊方法在某些情況下不夠準確。

(十) 臺灣世曦工程顧問股份有限公司

1. 議題一：

- (1) 資料來源主要依賴高公局的 VD 或 ETC 資料，車種分類僅限於三種類型。若未來需進行更多車種的分析，速率的分析若需要現場調查，對調查單位具有難度，因此建議團隊在未來研究中納入速率考量。
- (2) 在容量估算時，當量值（如 1.4）的使用可能偏保守。新版容量手冊第四章中的基本路段容量值比 2011 年版為低，確實有 THCS 的使用者提出疑問。
- (3) 目前 THCS 軟體時之預設值是依據手冊之建議值。如果使用者更改預設值，系統會發出警示，提醒與建議值不同的情況。

2. 議題二：

- (1) 目前在速率調查和現況資料的取得上存在一定困難。希望未來除了現場調查外，能有其他解決方法提供參考。
- (2) 在評估報告中，可能會出現全部車道的服務水準不錯，但交織車道的服務水準較差的情況。如何在報告中論述這種情況，將主線和交織區段分別描述，或是強調交織區段的車流崩潰問題。
- (3) 希望未來容量手冊能針對這種情況提供建議方向，幫助在撰寫報告時如何處理全部車道和交織區段服務水準不同的問題。

(十一) 美商美聯科技股份有限公司臺灣分公司、美華工程科技顧問有限公司

1. 議題一：

- (1) 當量值會隨著各種不同的狀況而變化，考慮所有變數非常複雜。顧問公司希望能採用簡單且快速的方法來取得資料與進行分析，以便更快地進行評估並提出改善方案。
- (2) 顧問公司注重應用層面，包括資料取得的容易性、評估的簡便性，以及如何進行相關的改善。
- (3) 依本研究對交織路段之定義，可能出現高達 4% 以上坡度的交織路段，這在高速公路的設計規範中通常不常見（規定坡度應小於 3%）。詢問該坡度是整體交織路段的情形，還是單獨部分路段（匯入或匯出）的坡度。

2. 議題二：

- (1) 顧問公司希望釐清，交織路段的評估應該是作為整體路段還是分為匯入、分出來看，因為這會影響到評估方法。
- (2) 有時候主線的交通狀況良好，但交織變換區段的狀況較差，這可能是因為下游壅塞或交織本身的問題。需要區分這種差異，以便更準確地分析交織路段的實際情況。
- (3) 在規劃設計中，一般不會一開始就設計非典型路段，由於車流需求變化，導致正常交織路段變成非典型。非典型交織路段的評估方法尚未成熟，可視為分析中的一大挑戰。
- (4) 如果採用雙指標進行評估，交織路段容量的計算可能變得更加複雜。美國 HCM 似乎沒有專門針對交織路段容量的操作說明，需要進一步探討。
- (5) 為了避免過度複雜，應先釐清一些核心問題，如交織路段的定義和非典型路段的評估方式，然後再考慮更廣泛的情況（如開放路肩等交管措施）。

(十二) 交通工程技師公會

1. 議題一：

- (1) 公會和顧問公司有類似的意見，主要在應用層面根據手冊建議進行調整。由於現場數據收集有限，且大部分工作屬於道路改善而非新建，因此在容量估算上會採取較為保守的態度。
- (2) 臺灣的公路並非處於無車流的理想狀態，因此在估算容量時應更為保守。小幅的數據偏差（如車流比例調查誤差）可能對結果產生影響，因此在應用上選擇較保守的數字。
- (3) 在實務應用中，每個車流量數據都有很大的假設與不確定性，因此當量值部分，通常會偏向保守估計，以減少風險和誤差。

2. 議題二：

- (1) 實務上經常遇到雙指標（1234 等級）不被接受的情況，被強制要求改成服務水準等級，建議加強雙指標系統的宣導和推廣。
- (2) 精確性的成本考量在理論上可行，但在實務上需要考慮執行成本。例如，收集每個車道的速率和車流量等數據在實務中可能難以執行，除非有足夠的經費支持。在研究和實務運用上，需要考慮精確性和成本效益（CP 值）是否匹配，是否有實際需求進行如此精細的分析。
- (3) 希望在研究中能提供簡單易行的運用原則，讓實務上能更容易操作，而不需要過於精確的數據分析。

八. 研究團隊補充：國立陽明交通大學 林貴璽退休教師

1. 議題一補充：

- (1) PCE 的界定方式過去一直存在不一致性。講者提到以相同速率下計算 PCE 值，但 PCE 值的界定涉及不同的參考標準，可能是速率或密度所影響。PCE 值在不同年份的公路容量手冊中不一致，導致應用時出現問題。

- (2) 國內外 PCE 值的差異：美國 HCM 手冊中的 PCE 值呈下降趨勢，隨著混合車流比增加，PCE 值下降(例如，2%的混合車流比為 2.39，20%為 1.85)。國內的 PCE 值呈上升趨勢，這與國外的趨勢不符，導致使用者在實務應用中產生困惑。
 - (3) 面臨一致性問題時，會依賴官方的標準文件，如公路容量手冊，但這些標準文件也可能因不同時間版本有差異。因此，該如何決定採用特定值或範圍，以及應該參考國外標準還是國內標準，成為一個重要的問題。
2. 議題二補充：
- (1) 美國 HCM 中的交織路段長度大多在 800 公尺以下，然而臺灣的交織路段通常較長，動輒 1000 至 2500 公尺，因此直接採用美國的公式會遇到困難，未來可能需要進行更深入的調查。
 - (2) 交織路段的定義不僅包括兩條交叉的動線，還要求至少有動線跨越多條車道，目前正在進行測試研究中。
 - (3) 雙指標系統中的「全車道」和「交織車道」是團隊自行發展的概念。雖然委員們認同這兩種分析方式，但全車道的定義仍有討論空間，因為不同的車道組合會影響容量計算。
 - (4) 美國 HCM 中的容量和速率估算是基於公式進行的，並包含 PCU 和大車調整因素。然而，由於臺灣的數據有限，估算過程可能面臨問題，特別是針對較長的交織路段。
 - (5) 自由速率與速限的關係在實際調查中難以精確獲得，因此臺灣通常根據速限來對應自由速率。例如，90 公里的速限對應 100 公里的自由速率。然而，如果自由速率在標準範圍之外，則需要進行內插計算。
 - (6) 雖然現場調查數據最準確，但在許多情況下無法獲得精確的數據，因此需要依賴公式和估算來進行分析。團隊正在測試一些內插方法，以解決數據不足的問題。
 - (7) 提到在界定交織路段與分匯流區時，應優先確定道路是否屬於交織路段，若不是，則進一步界定分匯流區。分匯流區的界定通常有較大的範圍。
 - (8) 道路設計中，交織路段和分匯流區的界定影響到模式的選擇和應用，尤其是在是否有輔助車道時，會影響使用的分析模式。

九. 主席結論：

今日與會人員熱烈討論並提供許多寶貴意見，反映出實務交通分析行為的複雜性，以及大家對於交通容量問題的高度關注和期許。請研究團隊在後續的研究中參考會議中提出的各項意見和建議，進一步完善研究成果。

十. 專家學者座談會簽到單

「高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(2/3)-非典型路段」

專家學者座談會

時間：民國 113 年 10 月 18 日上午 10 時

地點：交通部運輸研究所 2 樓會議室

主持人：張組長舜淵、黃副教授家耀

出席者：

受邀單位 / 委員	職稱	姓名
羅委員孝賢	教授	羅孝賢
張委員建彥	教授	張建彥
曾委員平毅	教授	曾平毅
林委員大煜	前所長	林大煜
李委員忠璋	副總工程司	李忠璋
楊委員淑娟	組長	請 假 (書面)
交通部高速公路局		游衣芸
交通部運輸研究所		B48 蕭 洪澤銘

易緯工程 顧問股份有限公司	工程師	洪承佑
亞聯工程 顧問股份有限公司	工程師	張翊棧
鼎漢國際工程 顧問股份有限公司		請 假
台灣世曦工程 顧問股份有限公司	工程師	吳台登
美商美聯科技 股份有限公司台灣分公司	總經理	劉信亨
美華工程科技 顧問有限公司	總經理	劉信亨
交通工程技師公會	副理事長	簡君珊
國立陽明交通大學		鍾仕賢 蘇柏維 江怡萱 蔡昕祐 江宛霖 鍾仕賢 蘇柏維 江怡萱 蔡昕祐 江宛霖 楊昇輝 王寶儀

附錄 D：交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告會議

審查意見處理情形表

計畫名稱：高速公路交織路段容量及服務水準分析之研究(2/3)-非典型交織路段

執行廠商：國立陽明交通大學

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
陳委員宏仁(書面意見)			
1.	報告書中多處文字說明多處遺漏對應之圖表編號(P.3、8、11、15、20、35、40、43、66、68、89、131、134、181)，請全面檢視修正。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
2.	報告書 P.37、P.43，圖 3.2-4 與圖 3.2-5 南北向不一致，上圖把交流道放在右側，下圖在右側；桃園~機場系統亦有相同情形，建議調整一致。	感謝委員意見，依指示辦理，已將示意圖與空拍圖之南北向調整一致。	同意
3.	報告書 P.40、43，P.161 非典型第 3 類並無中壢服務區~內壢之型式，建議補充，桃園~機場系統應為非典型第 3 類，請修正。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
4.	報告書 P.59、60，圖 3.3-12 應修正為 3.3-11；圖 3.3-13 應修正為 3.3-12。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
5.	報告書 P.122，表 4.2-2 選取 8 處交織路段未標示粗體字加斜線。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
6.	報告書 P.128，圖 4.3-3 建議補充藍色與橘色線形代表的意義。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
7.	報告書 P.181，「台 18 甲線」應修正為「台 68 甲線」。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
8.	報告書 P.170，換道標線請檢討是否修正為穿越虛線。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
9.	報告書附錄 D-2 與 D-3 可合併成一頁。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
曾委員平毅			
1.	速率模型當中，信心水準為什麼要採用 99%信心水準？99%信心水準是否會太容易推翻虛無假設。	感謝委員意見。針對 99%信心水準的檢定結果說明已修正為利用 p 值表示。	同意
2.	速率模型當中的係數是否顯著可能非關鍵因素，均方根誤差應相對較為重要，建議第三年期計畫可再進行整體模式適宜性之探討。	感謝委員意見。	同意
3.	速率模型當中影響的變數相較模式	感謝委員意見。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	複雜程度更重要，後續應著重在實務是否易於使用，以利後續推廣。		
4.	美國匝道到匝道流量極小，臺灣匝道到匝道流量則為 200-400 pcu 不等，初步看法推測為臺灣與美國匝道間的里程不同造成車流型態之差異。	感謝委員意見。	同意
5.	本次調查作業運用斜拍技巧，斜拍時可能面臨橫向、側向夾角的課題，建議運用示意圖並說明如何進行後製處理，以利經驗傳承。	感謝委員意見，本研究其中一處調查地點是以斜拍進行現場調查，目前本研究無紀錄確切之角度資訊，本調查方法需要依據調查之交織路段長度，調整拍攝位置與角度，以確保畫面包含進出口匝道之鼻端及可完整觀察交織行為之交織路段範圍。該段敘述已於期末報告書 P.35 補充說明。	同意
6.	有關快速公路容量探討部分，因部分快速公路有區間測速、定點測速照相相關.....等執法項目，其會對駕駛人的駕駛行為產生影響，因此若有區間平均速率執法之路段建議使用時宜特別留意駕駛行為之差異。	感謝委員意見及資訊提供。	同意
7.	從霧峰到霧峰系統交流道之路段可觀察到繪有單邊禁止變換車道線的標線有發生明顯的違規行為，這些交通管制設施民眾可能不清楚規範，透過本次調查可以確認標線設置是否合宜，是否有實務運用上會面臨之課題。	感謝委員意見。	同意
8.	報告書中「臺灣」需改正成「臺灣」。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
9.	V/C 與 v/c 有大小寫混用情形，請盡量統一。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
鍾委員智林			
1.	本期計畫在資料蒐集、篩檢、分析及報告撰寫都極為嚴謹，成果豐碩。	感謝委員肯定。	同意
2.	報告書 P.52 最外側車道 (lane 5) 密度甚高 (>50veh/km)，速度偏低且伴隨變換車道的行為，可否對應 P.51 最外側車道高流量 (> 1000veh/h)，請補充說明。	感謝委員意見，該圖為國 3 南下霧峰～霧峰系統交織路段南側之分析結果圖，在流率高的情況下(顏色最深)，其實尚未達到最大流率，也因此會出現高密度高流率但低速率的情況。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
3.	報告書 P.57 表 3.3-1 檢核上、下游通過車流量僅有小幅差異，顯示資料可靠度佳，該表另呈現(主線上游+進口匝道流量)皆大於(主線下游+出口匝道流量)，請補充說明原因。	感謝委員意見，該路段上游為空拍影片之近端，而下游為遠端，車輛可能會在影片之遠段處受到遮蔽而失去偵測，或是車流量上升或大型車比例提升時，遮蔽問題將隨之增加，也因此上游之流量皆會大於下游支流量。已於報告書 P.57 補充敘述。	同意
4.	報告書 P.66 提及因飛航管制致使無人機僅能低空斜拍 (本期有 1 處，國 1 北上高公局-五股)，造成影片遠端車流資料判讀若干限制；P.32 的第三期 7 處候選地點有 4 處位於限航區，對研究結果之影響宜預為因應。	感謝委員意見與建議，經本年計畫採低空斜拍後發現此方法在分析時無法進行軌跡串接，因此會有交織路段長度之限制，初步發現有效軌跡約在 350-450 公尺之間，將在後續針對未來年期空拍進行規劃。	同意
5.	速率估算模式已嘗試校估多種模型，並獲致比前期更理想的結果。考量早上與傍晚的天色因素、上下班的駕駛情緒因素，乃至於平日與假日的駕駛情緒因素，速率模式或可專注於使用平日上午資料，排除上述干擾因素，也許可獲得更佳的模式績效。	感謝委員意見。目前檢視各地點的分析資料，同時包含平日與假日。後續本團隊將進一步評估分析資料的適用性。	同意
6.	本計畫利用多元資料進行完整分析，並從用路者行為解釋分析結果的合理性，已能提供高速公路交織區分析之極佳學理依據，若能就 4 處交織區所發現的運轉問題提出改善建議，將可再進一步提升本計畫實務價值。	感謝委員建議，本研究對於運轉問題的觀察提出了一些改善建議，補充於 3.2 節之小結及 6.2 節之建議。	同意
7.	報告書 P.209 指出「不包含非系統交流道」之 V_{RR} 約為 200-500 車/小時，是否應是「不包含系統交流道」？	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
8.	P.137 的 4.4.1 節名應為速率估算模式？	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
李委員忠璋			
1.	報告書 P.82、100、111 之圖 3.4-11、圖 3.4-26、圖 3.4-36，V-T 散點圖在點分布的呈現上有差異，建議一致。	感謝委員意見，V-T 散點圖之縱軸為速度，橫軸為時間單位，各調查地點分析時間不一。以國 3 南下霧峰~霧峰系統為例，分析時間較長且不連續，故導致散點圖看似有五個分布區塊。而國 1 南下中壢服務區~內壢、國 1 南下桃園~機場系統分析時間連續不中斷，因此圖片點位分布均勻。	同意
2.	報告書 P.124，章節 4.3.1，要掌握從	感謝委員意見，如有交管措施，會導	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	車流穩定到不穩定前(車流崩潰)狀態不容易，例如：若是在崩潰前有人為的管制措施，車流崩潰前要到崩潰會延續很長時間，要如何做為容量值的參考？	致車速下降緩慢，不會出現速率驟降的情況。因此本研究採 75%FFS 作為車流崩潰的判斷依據，並以車流崩潰前的最大流率作為容量值的參考，此方法不受車速下降緩慢的影響。	
3.	報告書 P.125，章節 4.3.1，若是速率下降，且流率沒有跟著下降的話，是否需要提取那些時間點進行研究？	同上，本研究採車速低於 75%FFS 作為車流崩潰的判斷依據，並以車流崩潰事件發生前約 30 分鐘內的最大流率作為容量值的參考。	同意
4.	報告書 P.126，章節 4.3.2，請釐清滾動平均流率 $V_{i,t3}$ 及 $S_{i,t3}$ 中 t_i 是指 1~15 分鐘還是 3~18 分鐘？	感謝委員意見，將會重新檢視並修正 4.3.2 節的偵測器資料滾動方式說明。	同意
5.	報告書 P.127，章節 4.3.3，有關「車流壅塞狀態」之定義：並將車流雍塞狀態的第一筆資料，定義為車流崩潰，並將前一筆資料記錄為車流崩潰的流率，換句話說，這個車流雍塞狀態是第一筆的車流崩潰點，當作壅塞狀態；但是，與 p128「車流崩潰」的定義產生衝突，這兩個定義是否相同？壅塞跟崩潰是否相同？	4.3.3 節第二點之車流壅塞狀態是指「車流崩潰」事件與「車流恢復」事件之間的车流狀態，而當中的車流崩潰可了解為達到某一條件之事件，因此兩段意思應未有衝突。	同意
6.	章節 4.3.3, 4.4.2，在車流崩潰的時候，或是壅塞的定義，是低於 75%的自由車流流速，但是到了速率模型的時候，所使用壅塞門檻的定義是 70%的自由車流流速，這兩個差了 5%的自由車流流速，為什麼要用兩種的自由車流流速百分比呢？	在建立速率模型時，需要採用全天但排除壅塞狀態的資料點，如採 75%FFS，會導致車流順暢的資料點較多，但接近車流崩潰的資料點較少。因此權衡下將 75%FFS 至 70%FFS 的資料納入分析，避免低速資料點過少產生資料不平衡的情況。	同意
7.	報告書 P.175，有一交織路段的容量估算，算式裡的 N 表示為車道數，是否為交織車道數？亦或是全部的車道數？在報告書的前面，交織車道數應該用的是 N_{WL} ，需要調整。	交織路段中的「車道數」代表全部車道數，亦即主線車道數加輔助車道數，數學符合為 N；「交織車道數」之數學符合為 N_{WL} ，目前尚未包含在容量估算公式中。已再檢視內文之正確性。	同意
8.	報告書 P.188，表 5-3，關於 VD 的調查結果，近半年沒有 VD 的調查資料，例如：台 64 線、台 66 線，經過查證皆有資料，需再調查其中有何誤解。	感謝委員提醒，當初調查是使用高公局資料庫收集 VD 資料，後續會加入採用 TDX 與其他資料來源。	同意
9.	關於「調查時間」，調查時間平日會有 P.M.到 A.M 的狀況發生，例如：	感謝委員意見，經確認為誤繕，壅塞時間應為下午五點~六點半，已於期	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	台 66 線 13.8K，調查時間為下午五點~隔天早上六點半，需再釐清。	未報告書定稿修改。	
10.	針對曾委員提到的「區間測速」議題，若區間測速可能影響容量分析，定點測速是否也會有影響？由於部分路段設有定點測速，建議團隊研究其對容量分析的影響。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
交通工程技師公會			
1.	本研究中所建立之模式已趨於成熟，未來是否會考慮納入 THCS 系統中？	未來將配合運研所時程，將分析模式納入之 THCS 系統中。	同意
2.	部分快速道路有匝道設置在內側與外側之情況，例如：台北的市民大道高架、建國高架，或許可以考慮作為一個研究方向。	感謝委員意見，可供未來在制定快速公路議題時參考。	同意
交通部高速公路局(書面意見)			
1.	若未來考慮建置「全車道」及「交織車道」兩種評估模式，建議補充說明兩者適用之時機及定義，以避免使用者誤用。	感謝委員提醒，後續待分析模型完成後，將會提供「全車道」及「交織車道」的評估模式及使用時機。	同意
2.	未來第三期研究針對系統交流道，其中系統有區分連接縱向國道、橫向國道或是快速道路，其儀控管制及交通量變化亦有所不同，再請留意所調查地點之特性，避免樣本類型皆相似。	感謝委員提醒。	同意
3.	有關交織長度之探討僅限於國道與匝道間，實際上聯絡道、地區道路、匝道間亦存在有不少交織問題，因目前缺乏此部分之指引，常造成設計與決策上之困擾，建議後續可否將各道路間常發生之交織問題進行分析並制定處理標準，為工程配置之參考。	感謝委員意見，本期研究受限於人力物力尚無法做本項探討，建議未來研究計畫案可進一步探討。	同意
4.	報告書 P.29 之圖 3.1-2 速率、密度、車道變換區間示意圖，有關輔助車道全段寬係指 4 車道亦或匝道至匝道間之距離。	圖 3.1-2 中之“輔助車道全段寬”修正為“交織車道長度”，以免誤會。	同意
5.	本研究報告書第四章有許多數據圖表具解釋能力，建議於文字段落中補充說明圖示編號及所代表含意。	感謝委員意見，已於報告書內文中提及各個圖表編號。	同意
6.	請釐清圖 4.3-9 流率-速率散布圖應為 7 個交織路段而非僅高公局-五股	圖 4.3-9 為路段流量-速率散布圖之示意圖，實際各路段詳細容量估算結	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
	路段。	果以呈現在表 4.3-2。	
7.	報告書 P.75、P.90、P.103、P.114，建議 V_{FR} 累積百分比表達方式應與 V_{RF} 相同由 0%開始，另國 3 南下霧峰-霧峰系統折線圖類型應與其他地點一致。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
本所運輸計畫及陸運組（書面意見）			
1.	本年度研究計畫主要係探討高速公路非典型交織路段容量及服務水準相關課題，並原則希望蒐集非典型路段(不含系統交流道之車流)，惟受限於研究地點選擇不易，故放寬匝道至匝道流率不高路段，初步認為其運作特性可能與非系統交流道之交織路段相似，建議團隊協助確認於實際進行車流分析後，是否在運作模式確無差異，或在一定比例以上之匝道至匝道車流下，其車流特性與非系統交流道者將產生差距，以確保研究內容符合需要。	感謝委員提醒，本期現場的其中兩個調查地點包含系統交流道：國 3 南下霧峰～霧峰系統（地點 2）、國 1 南下桃園～機場系統（地點 4）。經調查後發現，地點 2 之匝道至匝道流率較高，初步認為其運作應屬系統交流道形式，地點 4 則應屬非系統交流道形式。 因目前對於含系統交流道之交織路段的運作尚未有充分了解，且此議題為（3/3）期的研究內容，將於（3/3）期研究進行綜合分析評論，比較不含系統交流道與含系統交流道之運作差異。	同意
2.	報告書 P.66 提及「使用 Data From Sky 影像辨識約有 64~89%車流被完整追蹤」一節，請補充說明此比例是否足以辨識車流行為，以及追蹤車流行為的目的是用於哪些項目，對於整體研究是否會有影響？	本研究是以空拍資料進行抽樣，車流完整追蹤比例 64-89%可視為由現場調查抽樣分析之比例，64-89%已具相當高之抽樣率，已可充分說明現場調查之樣態，並運用於該現場調查之車流特性分析項目。	同意
3.	報告書 P.114、P.115 車道變化位置 P.114 是從所顯示之百分比是從 100%至 0%，P.115 則是從 0%至 100%，呈現方式不一致，請修正	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
4.	第三章對於各個路段車流分析內容不一致，建議統一說明理由為何？並確保相同分析項目圖表呈現方式應一致，若有該路段特殊值得分析之處，則建議於本章開頭時說明以利讀者理解。	感謝委員意見，已整理各地點分析項目表於 3.4 節。	同意
5.	報告書 P.177 表 4.6-4 交織進口匝道容量建議表，請輔以圖例說明「直通車流」及「併入車流」之差異性。	感謝委員意見，依指示辦理。期末報告書圖 4.6-1~圖 4.6-3 有說明直通車流與併入車流在交織區上之運作情況。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
6.	報告書 P.188 台 64 線板橋、中和、新店等路線所呈現之服務水準為 F1，代表車流多但速率高，惟依據 google map 及 CCTV 所呈現的資料均有壅塞，建議再檢視服務水準之評估是否正確？	感謝委員意見，根據「西部快速公路路網整體交通管理與控制策略」報告書的調查結果，該路段的服務水準確定為 F1，速率服務水準之所以為 1，是因為該路段的速限較低（70 km/h）。	同意
7.	本計畫為利後續報告書出版事宜，請提供本研究之中英文版摘要，並依據本所出版品規範調整格式(如：版面配置、頁碼編列、期末簡報定稿等)。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
8.	有關期中審查回覆表為後續本所出版品之一部分，請就處理情形及說明建議以目前的時間點進行說明(如期中階段說明「後續將在期末報告呈現」可修正為「已納入期末報告」中)。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
9.	本研究有做駕駛人違規行為之情形分析，是否也可將初步結果納入研究建議，另有關快速公路資料蒐集部分也請彙整結論納入後續研究建議當中。	遵照辦理，於期末報告書 P.209 納入建議。	同意
10.	報告書 P.125 圖 4.3-2 自由車流速率是否受外車車道影響，導致速度可能無法做為自由車流速率，建議再檢視確認。	圖 4.3-2 是以全車道進行計算，主要用於說明選取的七天資料之流率-速率散點圖每日略有差異。FFS 則以內側車道進行計算，取容量 500 內的內側車道數據進行計算。後續會再於內文補充 FFS 的計算方式。	同意
11.	建議運用報告書 P.136 之模式，和 P.134 之各點狀況比較檢核，以了解模式之適用性。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
12.	報告書 P.9 非典型交織路段子類別示意圖，請加註第一類、第二類、第三類以利閱讀。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
13.	報告書 P.11 「4.確認受限制與不受限制之交織車流」一段似未完成。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
14.	報告書 P.34 「拍攝結果整理如……」圖說似有遺漏，請確認。	感謝委員提醒，該段敘述為遺漏，已於期末報告書修正為「拍攝結果整理如表 3.2-1 所示」。	同意
15.	報告書 P.57 第一段末句語意不清楚，請修正	感謝委員意見，已於內文修改為「橫軸為車輛行駛於交織路段之速度」。	同意
16.	報告書 P.61 圖 3.4-1 請於文字中描述。	感謝委員提醒，已於期末報告書補充「幾何配置如圖 3.4-1 所示」。	同意

項次	審查委員/單位 之意見	執行廠商處理情形	本所各組 及中心審 查意見
17.	報告書 P.99、P.108 建議圖片解析度提高。	感謝委員建議，依指示辦理。	同意
18.	報告書 P.110 圖示無法看到交織車 流圖的數值，建議參考 P.87 的呈現 方式修正。	感謝委員建議，依指示辦理。	同意
19.	報告書 P.166 「1.交織路段車道配置」 說明語句似不順暢，建議調整。	感謝委員意見，依指示辦理。	同意
主席結論			
1.	本年度期末審查原則通過，各委員及 單位代表提供之意見，請研究團隊檢 討修訂並製表回應，並請於 12 月 4 日(三)前提送修正定稿。	遵照辦理。	同意

附錄 E：期末審查會議簡報及海報



2

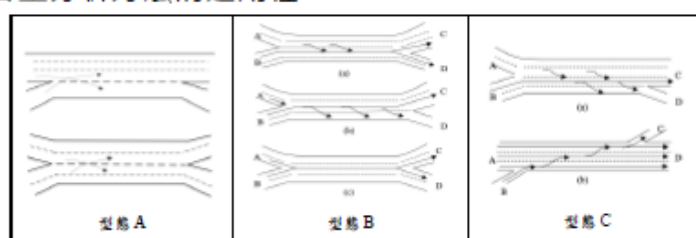
會議內容大綱

- 壹、計畫說明
- 貳、交織路段型態分類
- 參、現場調查及車流特性分析
- 肆、容量及速率估算模型
- 伍、專家學者座談會
- 陸、高速公路交織路段分析方法初議
- 柒、結論與建議

壹、計畫說明

背景說明

- 「臺灣公路容量手冊」分析法係引用美國1985年之公路容量手冊（1985 HCM），缺乏本土交通特性資料。
- 該方法根據交織的兩股車流的變換車道次數分為型態A、型態B、型態C，而1985 HCM在後續版本已大幅更新其方法論。
- 多年來尚未蒐集交織路段的資料並進行車流特性分析，因此未檢討交織路段的容量分析方法的適用性。



資料來源：「2022年臺灣公路容量手冊」



計畫目的

- 透過現場調查及資料整理，了解國內高速公路交織路段之車流特性。
- 建立本土之交織路段之容量及服務水準分析方法，並完成「臺灣公路容量手冊」第七章之修訂工作。



預期成果

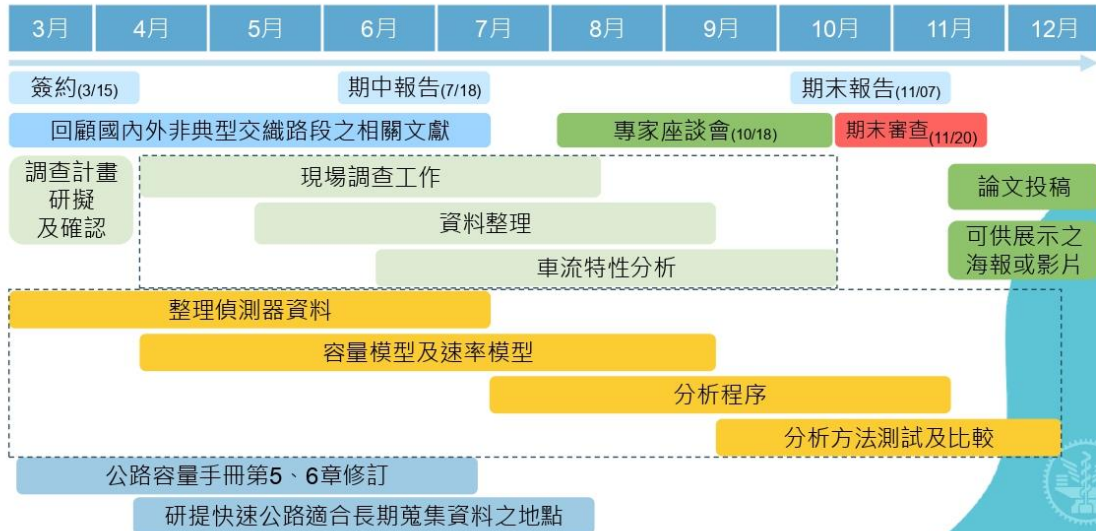
全程 3 年期預期達到以下目的：

1. 了解高速公路交織路段之本土車流特性。
2. 建立本土之交織路段之容量及服務水準分析方法。
3. 完成「臺灣公路容量手冊」第七章之修訂工作

成果將能提供交織路段規劃、設計及運轉分析之參考，做為各級公路主管機關與顧問公司於交通建設計畫、道路規劃設計及交通管理改善等評估之依據。



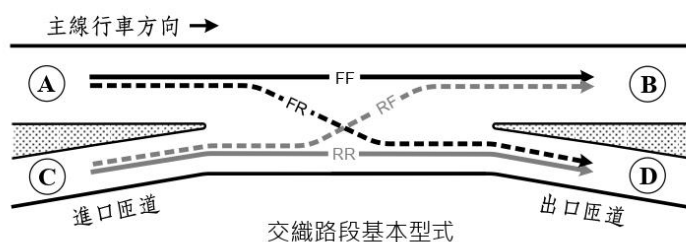
研究時程及工作內容



貳、交織路段型態分類

交織路段基本定義

交織 (weaving) 是兩股不同路徑車流在公路某一很短路段相互交叉而成；當道路沿線某匯入口下游很短距離緊接一分出口時便可能形成交織路段，這種路段特點是因交織導致之車道變換頻次超過常態，進而產生較大亂流與速度變化。



- 非交織車流：
- 主線至主線
 - 匝道至匝道
- 交織車流：
- 主線至匝道
 - 匝道至主線

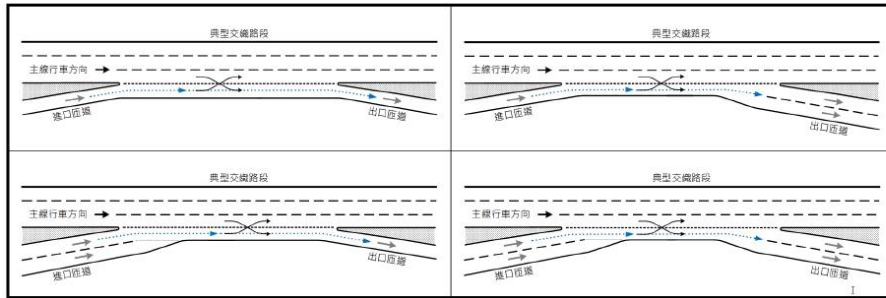
交織路段型態分類

- 盤點國內高速公路之交織路段幾何型態，發現僅型態A(a)、型態C(a) 較為常見，其他型態並不常見，因此簡化為「典型」及「非典型」兩大類：
 - 典型交織路段：上、下游主線車道數相等、且路段內沒有其他特殊設計之地點
 - 非典型交織路段：上下游車道配置不對稱，以及輔助車道不明確、交織斷面存在禁止變換車道標線或隧道等特殊的幾何設計亦納入此類別

各類型之幾何結構與特性

典型交織路段

1. 上、下游兩匝道之間有直通輔助車道
2. 上、下游兩匝道鼻端相互對稱，其間有劃設銜接兩鼻端頂點之換道標線
3. 路段每一股交織車流至少須變換車道一次

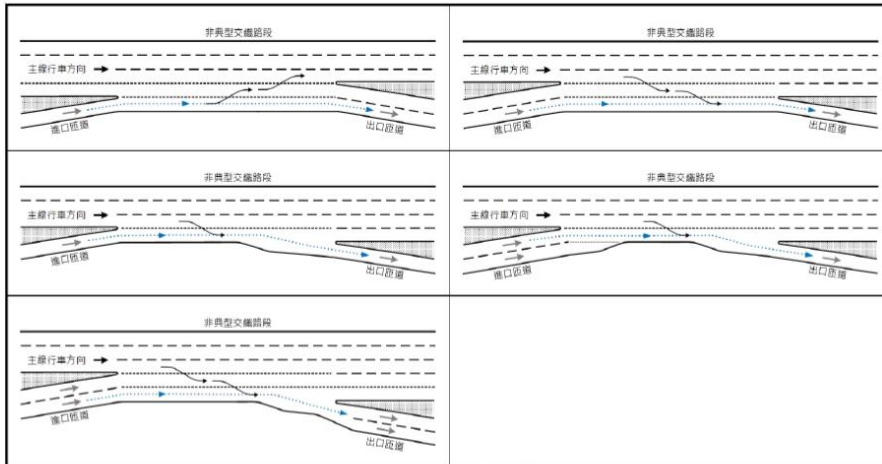


國內常見典型交織路段示意圖

各類型之幾何結構與特性

非典型交織路段第1、2類

1. 上、下游兩匝道之間有直通輔助車道
2. 路段交織車流中有一股不需變換車道，另一股至少須變換車道一次

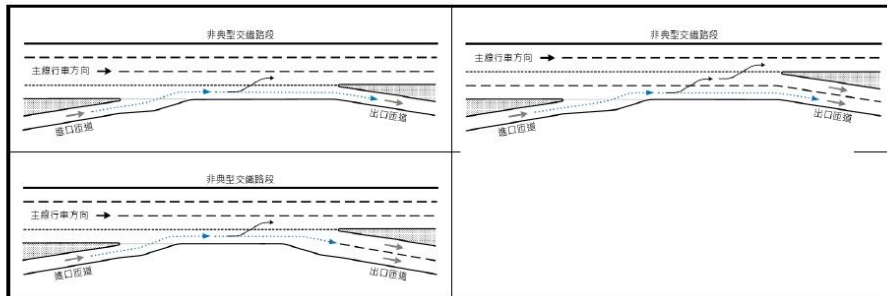


國內常見非典型交織路段示意圖

各類型之幾何結構與特性

特殊非典型交織路段第3類

1. 上游匝道必須先經由併入輔助車道，再直通下游匝道
2. 路段交織車流中有一股不需變換車道，另一股至少須變換車道一次



國內較特殊非典型交織路段示意圖

參、現場調查及車流特性分析

現場調查

現場調查方案（正射）

- 無人機完整、連續拍攝目標路段並進行影像辨識作業進行車流分析。
- 交織區路段長900公尺至1,700公尺需使用兩台無人機同時拍攝。
- 同一個拍攝畫面需藉由兩架次無人機交替拍攝完成任務。



現場調查

現場調查方案（斜拍）

- 無人機完整、連續拍攝目標路段並進行影像辨識作業進行車流分析。
- 無人機飛行限航區，飛行高度60公尺斜拍。
- 同一個拍攝畫面需藉由兩架次無人機交替拍攝完成任務。



調查地點

拍攝結果整理

國道與行車方向	地點	L _s (m)	日期	壅塞熱時	調查時間	拍攝時長
國1北上	高公局~五股	450	04/11(四)	07:50~10:45	06:30~11:20	296分
國3南下	霧峰~霧峰系統	1,580	04/20(六)	08:00~10:30	07:00~09:45	北:134分 南:141分
國1南下	內壢~中壢服務區	1,020	06/20(四)	09:10~12:00	06:50~10:10	北:182分 南:201分
國1南下	桃園~機場系統	1,250	07/31(三)	06:50~09:00	06:30~10:48	北:258分 南:254分

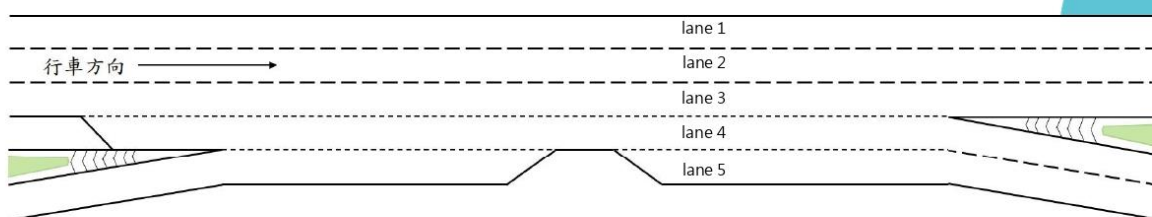
車流特性項目

拍攝結果整理

國道與行車方向	地點	方案	分析項目
國1北上	高公局~五股	斜拍	車道及斷面：QKV關係、車流量、平均車速 四股車流：流率、速率、車道頻次、車道變換位置分布 其他特性：違規行為次數及佔比（霧峰~霧峰系統）
國3南下	霧峰~霧峰系統	正射	
國1南下	內壢~中壢服務區	正射	
國1南下	桃園~機場系統		

0620 國1南下中壢服務區~內壢 車流特性分析

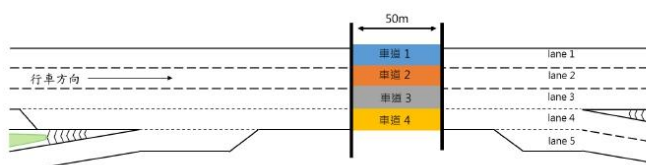
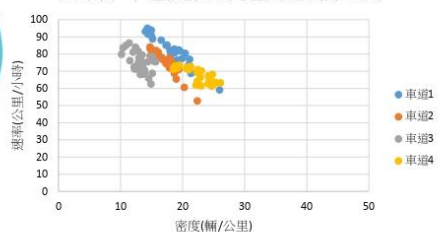
Ls : 1020 m



0620 國1南下中壢服務區~內壢 QKV圖

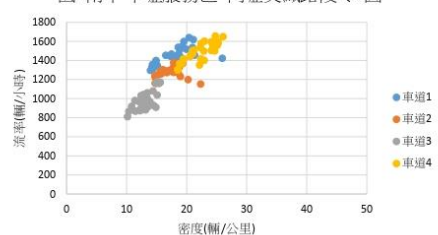
20

國1南下 中壢服務區~內壢交織路段V-K圖

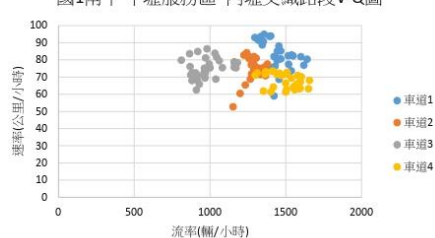


以交織路段鼻端起算500m~550m區間，各車道每1分鐘資料點計算QKV車流特性。

國1南下 中壢服務區~內壢交織路段Q-K圖



國1南下 中壢服務區~內壢交織路段V-Q圖



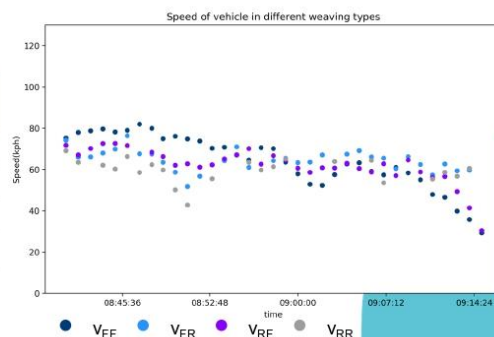
各車流狀態下之車流特性

1. 車道變換頻次 (次/車輛數) 2. 平均速度 (km/hr) :

交織車流類型	非壅塞	進入壅塞	壅塞
FF	0.17	0.17	0.20
FR	1.52	0.86	1.09
RF	2.84	2.43	2.49
RR	調查時間內平均 0.21		

交織車流類型	非壅塞	進入壅塞	壅塞
FF	78.1	61.8	52.8
FR	68.5	65.2	62.6
RF	69.0	62.9	54.9
RR	63.0	63.0	58.1

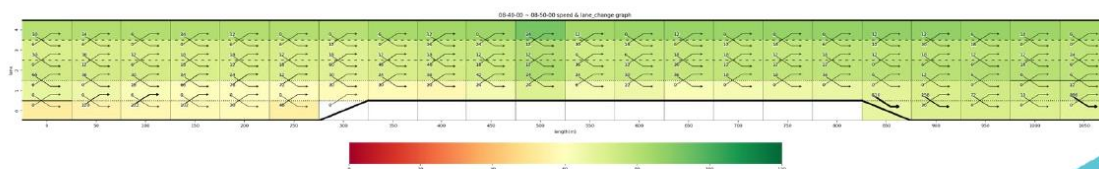
- 匝道至主線 至少需變換車道2次。
- 匝道-匝道 整體而言樣本較少
- 整體而言，變道頻次並沒有隨車流變化升高或降低
- 主線-主線 下降幅度最高



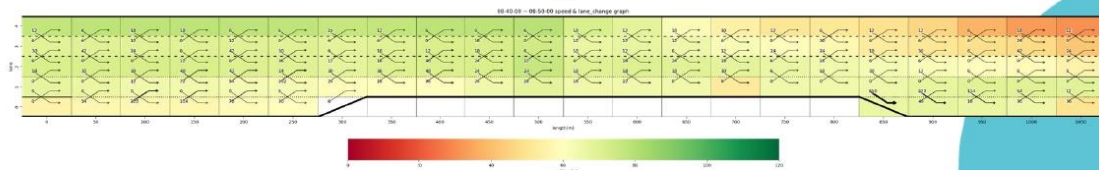
4股車流速率散點圖

不同車流狀態下車道變換與速率分析

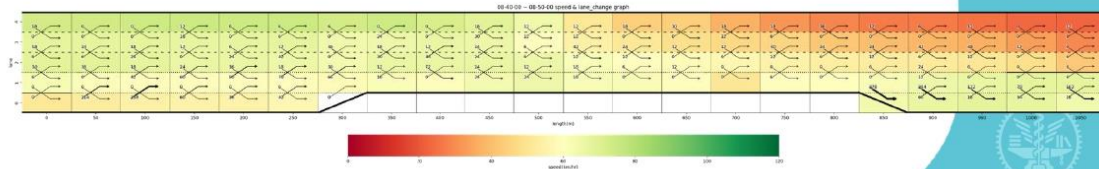
非壅塞



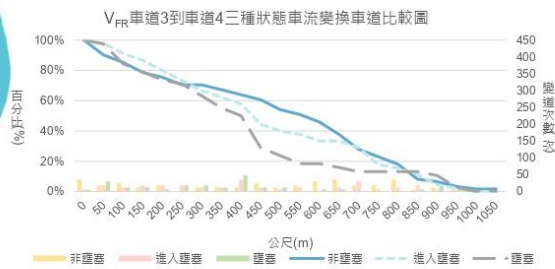
非壅塞
進入壅塞



壅塞



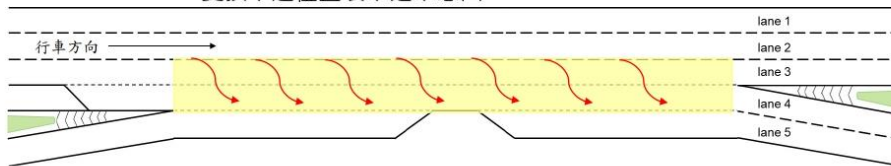
各狀態交織車流變換車道位置比例與數量



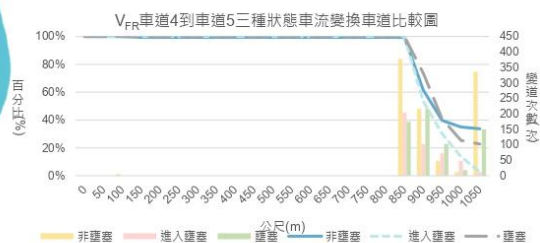
50%的車輛完成車道變換區間

- 非壅塞：鼻端後550公尺
- 進入壅塞：鼻端後450公尺
- 壅塞：鼻端後400公尺

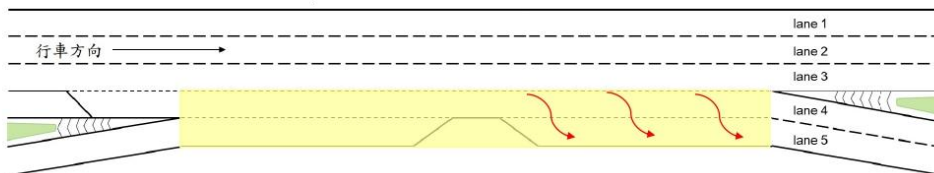
變換車道位置表示之示意圖



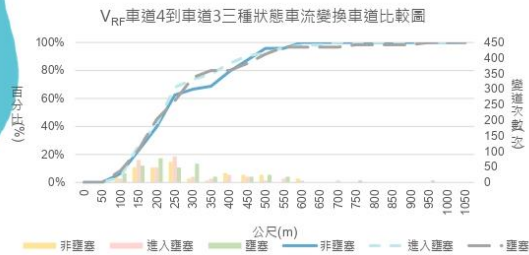
各狀態交織車流變換車道位置比例與數量



變換車道位置表示之示意圖

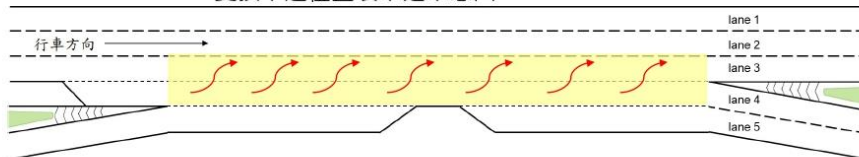


各狀態交織車流變換車道位置比例與數量

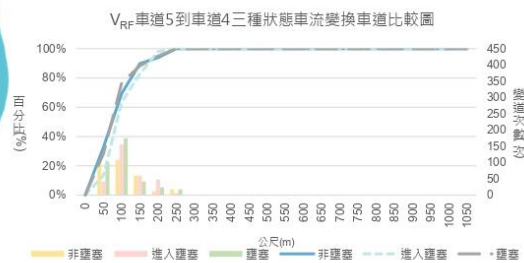


50%的車輛在鼻端處後250公尺這段區間完成車道變換

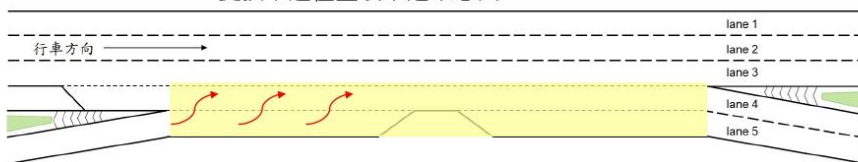
變換車道位置表示之示意圖



各狀態交織車流變換車道位置比例與數量

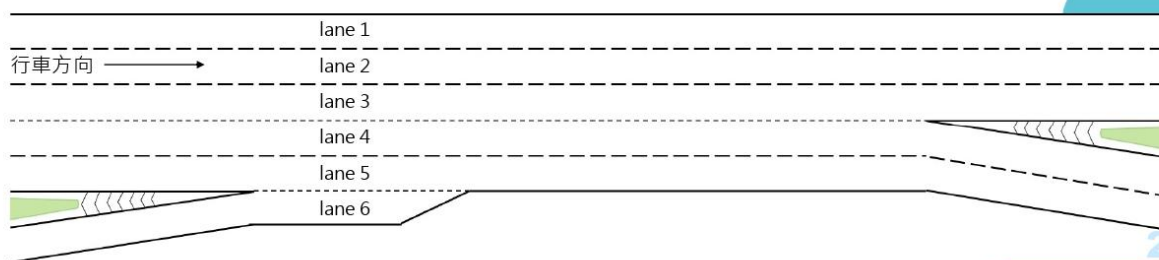


變換車道位置表示之示意圖



0731 國1南下桃園~機場系統 車流特性分析

Ls : 1260 m

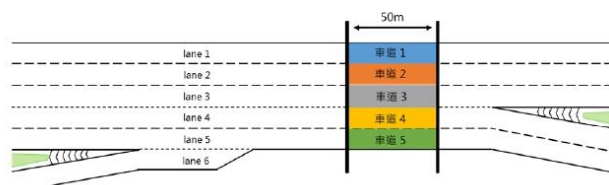
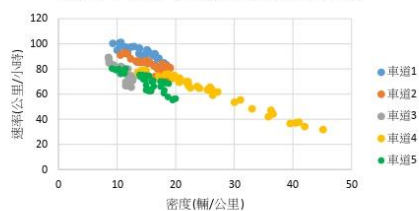


27

0731國1南下桃園~機場系統 QKV圖

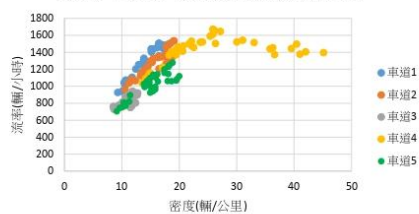
28

國1南下 桃園~機場系統交織路段V-K圖

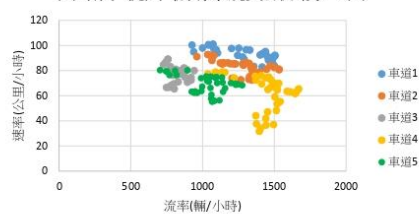


以交織路段鼻端起算700m~750m區間，各車道每1分鐘資料點計算QKV車流特性。

國1南下 桃園~機場系統交織路段Q-K圖



國1南下 桃園~機場系統交織路段V-Q圖



各車流狀態下之車流特性

1. 車道變換頻次 (次/車輛數)

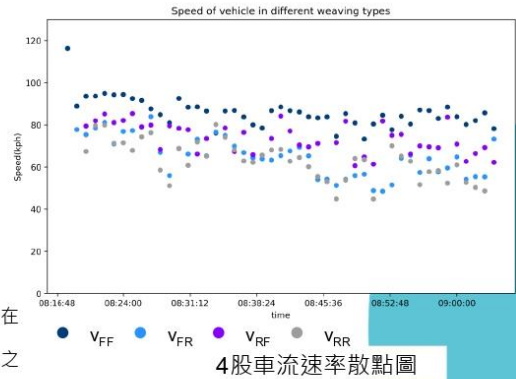
交織車流類型	非壅塞	進入壅塞	壅塞
FF	0.34	0.36	0.39
FR	0.36	0.61	0.70
RF	4.06	3.81	3.77
RR	1.48	1.77	1.96

- 匝道至主線 至少需變換車道3次。
- 匝道至匝道 至少需變換車道1次。
- 除匝道-主線 各階段變換頻次都在壅塞後升高

2. 平均速度 (km/hr) :

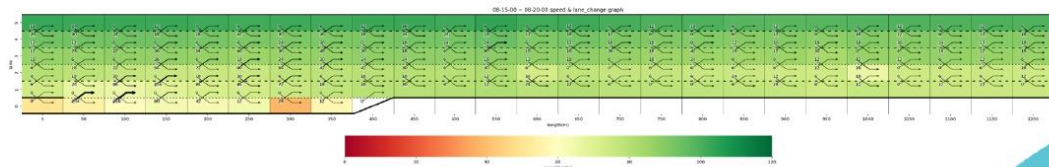
交織車流類型	非壅塞	進入壅塞	壅塞
FF	92.5	84.2	80.1
FR	77.0	68.5	54.1
RF	82.0	73.0	73.3
RR	72.0	67.1	64.1

- 主線-主線 各階段平均速度皆維持在80km/hr以上速率。
- 匝道-匝道、主線-匝道 於壅塞階段之速度較其他股車流低。

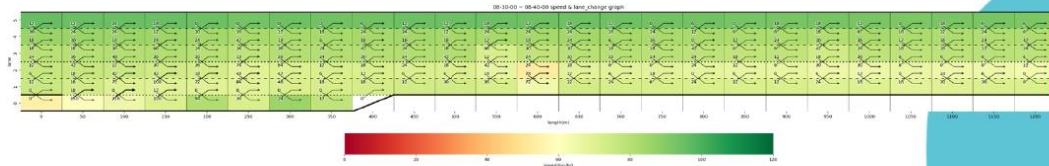


不同車流狀態下車道變換與速率分析

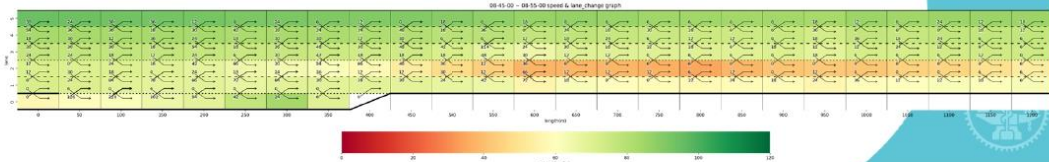
非壅塞



非壅塞
進入壅塞



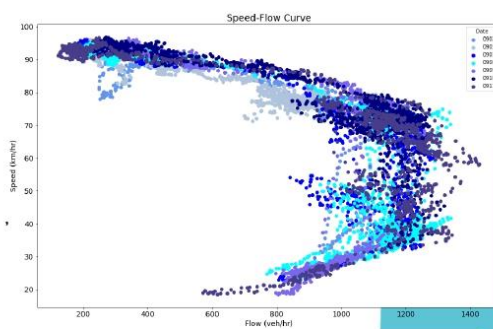
壅塞



肆、容量及速率估算模型

交織路段容量估算

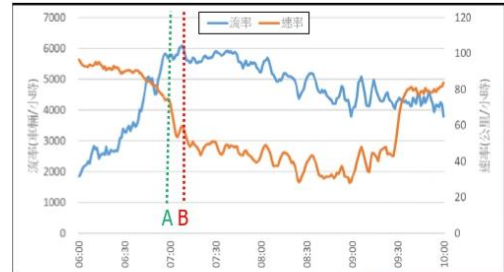
- 容量值估算主要可以分為兩個方法
 - 方法一：曲線擬合法 (curve-fitting) 方法
 - 方法二：隨機容量分析 (stochastic capacity) 方法
- 右圖可看出資料點有相當分散的情況，每一天的圖形趨勢都有蠻大的差異
 - 有部分天數的最大流率值達1400 輛/小時/車道，亦有天數其最大流率值只能達到1200輛/小時/車道
 - 難以訂定合理且有代表性的定值
- 本研究以隨機容量分析為主，並以曲線擬合法進行容量估算值的合理性檢核



國1北上內湖 ~ 東湖 7天資料

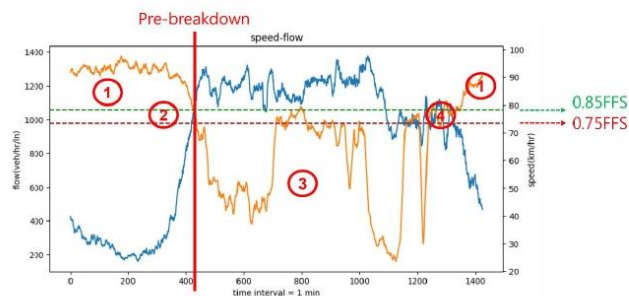
容量估算方法

- 過去曾以最大通過流率作為容量值參考依據之觀點
 - 當公路設施之通過流率達到最大值時，通常車流已經崩潰且速率降至壅塞狀態
 - 故近年研究建議應以車流崩潰前的流率狀態作為容量值的參考
- A點可視為車流崩潰前狀態，B點為最大通過流率狀態
 - A點的流率約為5850輛/小時，A點的速率約為75公里/小時，尚未進入不穩定狀態
 - B點的流率約為6050輛/小時，B點速率下降至55公里/小時，顯示車流已經崩潰
- 就考慮車流運作而言，應採用A點而非B點作為容量值之參考依據。



容量估算方法

- 提出利用現場偵測器資料(field data)容量估算之方法
- 估算程序共分9個步驟，透過車流崩潰前流率(Pre-Breakdown Flow, PBF)及非壅塞流率，計算各流率區段下會發生車流崩潰之機率，並校估韋伯分佈函數，在設定車流崩潰發生之可接受率的情況下，計算該交織路段之容量值。



分析地點

- 經盤點後，符合容量估算條件的交織路段地點包括2個典型交織路段及5個非典型交織路段

地點	交織路段型態	全車道之車道數	交織車道之車道數	交織車道程度 (公尺)
國1北上 內湖~東湖	典型	3	2	960
國1北上 內壢~中壢服務區	典型	4	2	1300
國1北上 高公局~五股	非典型	6	2	450
國1南下 中壢服務區~內壢	非典型	4	2	1020
國1南下 東湖~內湖	非典型	3	2	880
國1南下 五股~高公局	非典型	6	2	630
國1北上 台北~圓山	非典型	4	2	1210

資料使用與參數假設

- 使用2023年一年之車輛偵測器 (VD) 資料，並扣除有偵測器故障無資料之情形後進行計算
- 大車比例及小客車當量：採用白天時段 (0600-1800) 之ETC資料進行大車比例計算，以ETC車種31及32作為小型車、41及42作為大型車、5作為聯結車，並參考THCM2022之基本路段章節，將大型車及聯結車之小車當量值假設為1.4。
- 以全車道平均速度等於或低於 75% FFS 作為車流崩潰的發生條件，並採用其前一筆資料之流率作為車流崩潰前流率。



容量估算結果及討論

- 容量值約在1200至1600 小車/小時/車道
- 當交織流量高導致交織車道發生壅塞並判斷為車流崩潰，而主線內側車道之車流量低且在車流順暢之情況下，會發生車流崩潰前流率較低的情形。

地點	交織路段型態	車道數	自由車流速率 (公里/小時)	大車比例	車流崩潰前流率之平均值 (小車/小時/車道)	容量值 (小車/小時/車道)
國1北上 內湖~東湖	典型	3	98.6	14%	1071.7	1257.5
國1北上 內壢~中壢服務區	典型	4	103.4	15%	1380.5	1604.1
國1北上 高公局~五股	非典型	6	96.0	11%	1046.7	1303.9
國1南下 中壢服務區~內壢	非典型	4	101.0	15%	1282.9	1448.4
國1南下 東湖~內湖	非典型	3	103.0	16%	1367.2	1358.3
國1南下 五股~高公局	非典型	6	96.0	10%	1501.4	1452.5
國1北上 台北~圓山	非典型	4	95.0	13%	1619.5	1609.1

容量估算模型

- 容量值受全車道之車道數影響最大，交織路段的容量值主要受車道總數的影響。估算結果如下：

$$\begin{aligned}
 c_i &= \beta_0 + \beta_1 \times N + \beta_2 \times FFS + \beta_3 \times L_s \\
 &= 359.97 + 98.23 \times N + 1.23 \times FFS + 0.58 \times L_s \\
 &\quad (t=2.97) \quad (t=0.13) \quad (t=4.66)
 \end{aligned}$$

變數定義

C 為容量值(小車/小時/車道)
 N 為車道數
 FFS 為自由車流速率(公里/小時)
 L_s 為交織路段長度(公尺)

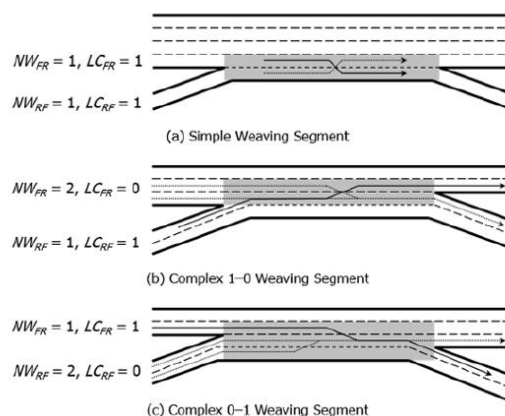
- 迴歸模型的 R^2 值為 0.88，RMSE 為 44.23(小車/小時/車道)



速率模型

$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF} + 1)V_{RF} + (LC_{FR} + 1)V_{FR}}{(NW_{RF} + 1)N_l^\varepsilon} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$$

S_o	交織路段車輛平均速度(mph)
S_b	在相同總需求量 V 、車道數 N 、自由流速 FFS 之下 的基本路段空間平均速率
LC_{RF}	匝道至主線交織車流中最小換道次數
LC_{FR}	主線至匝道交織車流中最小換道次數
NW_{RF}	可以在 0 或 1 次車道變換的情況下從匝道進入主線的車道數
NW_{FR}	可以在 0 或 1 次車道變換的情況下從主線進入匝道的車道數
V_{RF}	交織路段匝道至主線流率(pc/h)
V_{FR}	交織路段主線至匝道流率(pc/h)
N_l	交織路段車道數(主線車道+輔助車道)
L_s	交織路段長度(ft)
$\frac{V}{N_l}$	交織路段各車道流率(pc/h/ln)
$\alpha, \gamma, \varepsilon, \delta$	參數



資料來源：Schroeder et al. (2023)

速率模型校估資料特性

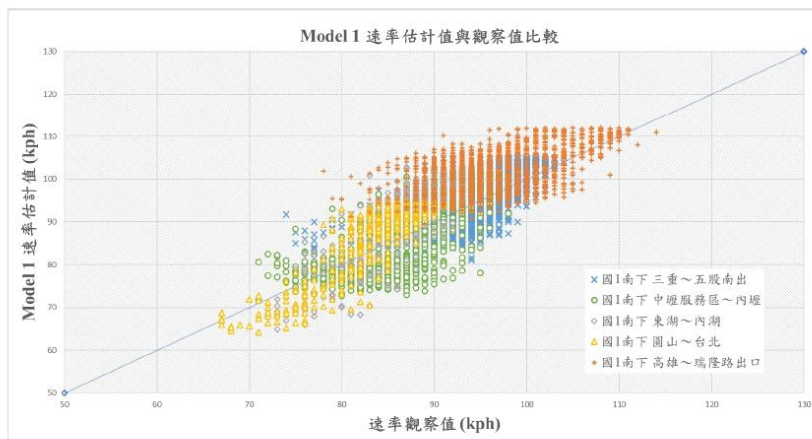
針對每處地點各篩選出 10 天有發生壅塞的 VD 與 ETC 資料，供速率模型校估。

交織區	車道數	速限(kph)	自由車流速率建議值(kph)	自由車流速率偵測器資料(kph)	壅塞標準(kph)	5分鐘資料點數量
國1南下 三重~五股南出	4	100	105	105	74	1624
國1南下 中壢服務區~內壢	4	100	105	102	71	1112
國1南下 東湖~內湖	3	100	105	103	72	517
國1南下 圓山~台北	4	100	105	95	67	346
國1南下 高雄~瑞隆路出口	5	100	105	112	78	1586

速率模型分析結果 - Model 1

$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF} + 1) V_{RF} + (LC_{FR} + 1) V_{FR}}{(NW_{RF} + 1) N_l^\varepsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta \quad 14$$

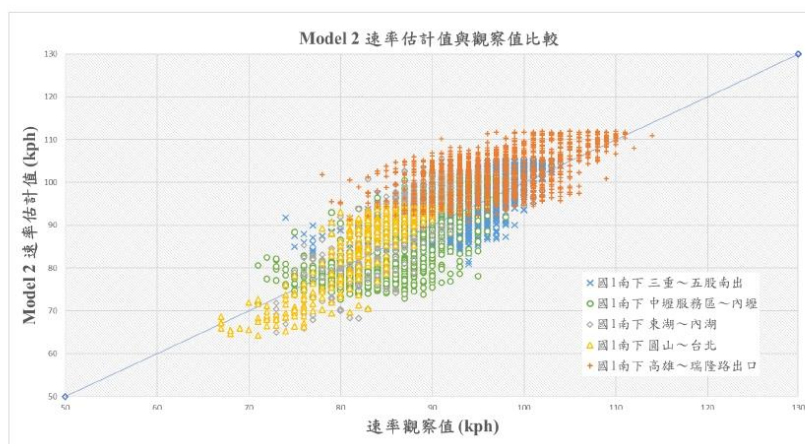
參數	α	ε	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 1	0.111	0.000	0.001	0.201	5.96



速率模型分析結果 - Model 2

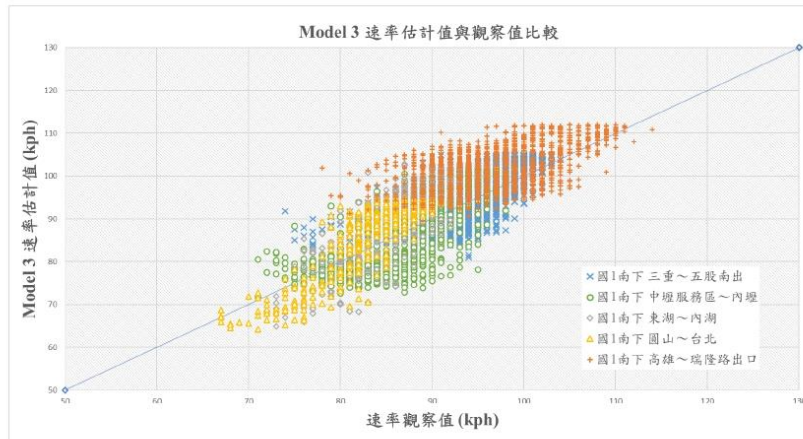
$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF} + 1) V_{RF} + (LC_{FR} + 1) V_{FR}}{(NW_{RF} + 1) N_l^3} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta \quad 15$$

參數	α	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 2	0.111	0.000	0.201	5.96



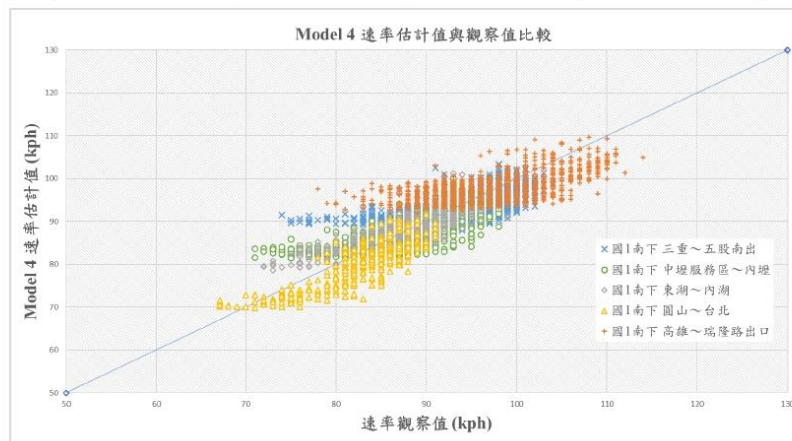
速率模型分析結果 - Model 3 $S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF} + 1)}{(NW_{RF} + 1)} V_{RF} + \frac{(LC_{FR} + 1)}{(NW_{FR} + 1)} V_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\delta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$ 46

參數	α	γ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 3	0.111	0.001	0.201	5.96



速率模型分析結果 - Model 4 $S_o = S_b - \alpha \left(\frac{(LC_{RF} + 1)}{(NW_{RF} + 1)} V_{RF} + \frac{(LC_{FR} + 1)}{(NW_{FR} + 1)} V_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$ 47

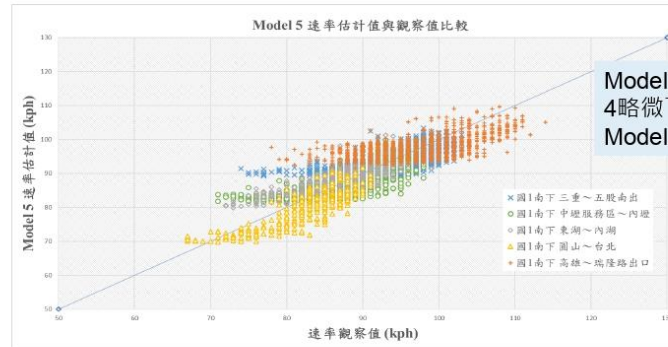
參數	α	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 4	4.787	0.142	0.270	0.200	3.89



速率模型分析結果 - Model 5 $S_o = S_b - \alpha \left(\beta * \frac{(LC_{RF} + 1)}{(NW_{RF} + 1)} v_{RF} + \frac{(LC_{FR} + 1)}{(NW_{FR} + 1)} v_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_t} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta}$ 48

- 參考NCHRP 07-26文獻，考量 V_{RF} 和 V_{FR} 兩股車流之差異性，因此在 V_{RF} 變數項加入一個 β 參數進行校估，修正後之模型定義為Model 5。

參數	α	β	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 5	4.472	0.485	0.136	0.267	0.179	3.88



資料平衡方法

- 觀察各交織路段速率觀察值較低時資料分布稀少，顯示可能存在資料不平衡現象，可能會影響模型的校估結果，因此進一步處理資料不平衡問題。
- 資料平衡方法：
- SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique)：透過合成少數類別新樣本，解決資料不平衡問題。
- SMOTE + ENN (Edited Nearest Neighbors)：在SMOTE基礎上，加入ENN技術過濾噪音樣本，提升分類邊界準確性。

資料平衡方法之校估結果

- 使用Model 5進行校估
- 結果顯示SMOTE + ENN方法相較於SMOTE方法在整體誤差指標上表現更佳，但兩者的誤差指標皆顯著高於資料平衡前之結果。
- 資料平衡方法仍無法有效解決速率觀察值較低時之高估問題。

方法	均方根誤差 (RMSE)(kph)
SMOTE	5.57
SMOTE + ENN	5.29



非典型與典型交織路段之比較

在第1期速率模型的研究中，建議以Model 4 的架構為主。本期針對VD和ETC資料的處理方式，以及自由車流速率的計算方法進行若干調整，並重新整理典型交織路段的資料，進行校估。

交織區	車道數	速限 (kph)	自由車流速率建議值 (kph)	自由車流速率偵測器資料 (kph)	壅塞標準 (kph)	5 分鐘資料點數量
國1北上 內壢 ~ 中壢服務區	4	100	105	102	71	1073
國1北上 內湖 ~ 東湖	3	100	105	99	69	254
國3南下 新台五路 ~ 南港	4	90	100	95	67	703
國3南下 烏日 ~ 中投	4	110	115	115	81	1079
國3北上 中投 ~ 烏日	4	110	115	121	85	888
國3北上 南港 ~ 新台五路	4	90	100	99	67	1070

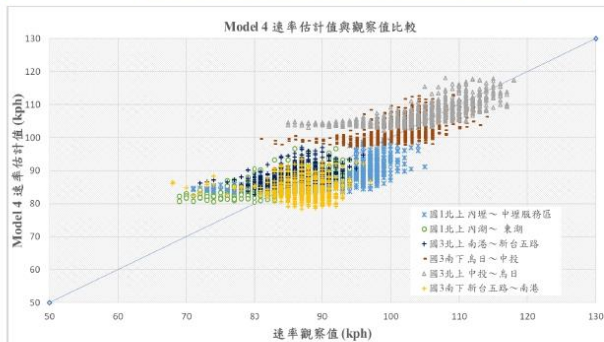


速率模型分析結果 - Model 4

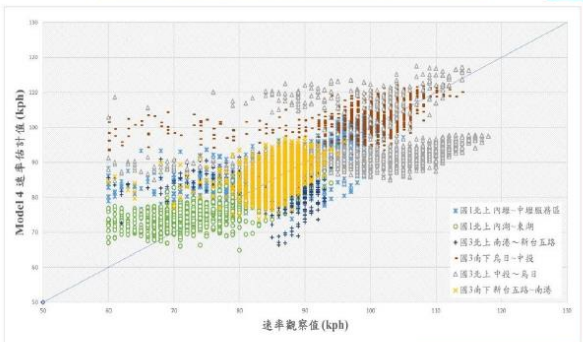
$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{LC_{RF} + 1}{(NW_{RF} + 1)} V_{RF} + \frac{LC_{FR} + 1}{(NW_{FR} + 1)} V_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_t} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta} \quad 52$$

參數	α	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 4	2.871	0.000	0.317	0.05	4.51
第1期Model 4	0.894	0.972	0.255	0.838	8.15

本期結果速率估計值與觀察值比較



第1期結果速率估計值與觀察值比較

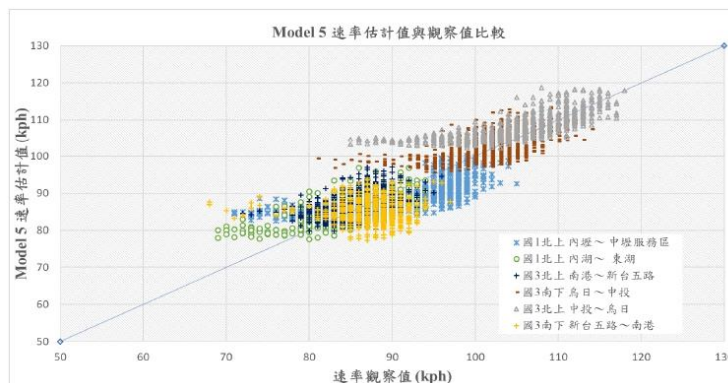


速率模型分析結果 - Model 5

$$S_o = S_b - \alpha \left(\beta * \frac{LC_{RF} + 1}{(NW_{RF} + 1)} V_{RF} + \frac{LC_{FR} + 1}{(NW_{FR} + 1)} V_{FR} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_t} - 500 \right)^{\zeta} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{\delta} \quad 53$$

本研究亦使用Model 5對典型交織路段進行校估。

參數	α	β	γ	ζ	δ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 5	1.08	0.000	0.098	0.332	0.000	4.37



伍、專家學者座談會

專家學者座談會

議題一：高速公路路段大車之小客車當量值之建議值

- 「臺灣地區公路容量手冊」2011版與2022版，在高速公路基本路段、匯流區、分流區、交織路段章節中，提供了不同的大車之小客車當量值之建議值。
- 2022年THCM基本路段，大車PCE調整為1.4，較過去為低。

結論及建議：

- 大車之 PCE 主要跟路段坡度、車種比例相關。
- 建議可簡化，大車（大客車、大貨車、聯結車）之PCE值以1.4進行分析。未來可嘗試進行敏感度分析，再細分PCE值的影響，坡度、車種比例



專家學者座談會

議題二：交織路段容量及服務水準評估之新方法

- 交織四股車流所使用之車道及運作有所不同。交織路段可能會發生在全部車道或只有部分車道壅塞的情況。

結論及建議：

- 交織區段的交通特性複雜，建議將複雜的交通狀況簡化和歸納
- 「全部車道」與「交織車道」檢核方法應可行，
- 需統一定義交織區域的計算方式，確保分析方法一致性，並適用於交織區域特殊幾何配置。
- 建議壅塞定義需再探討、將交管措施納入分析考慮。



陸、高速公路交織路段分析方法初議

高速公路交織路段分析方法初議

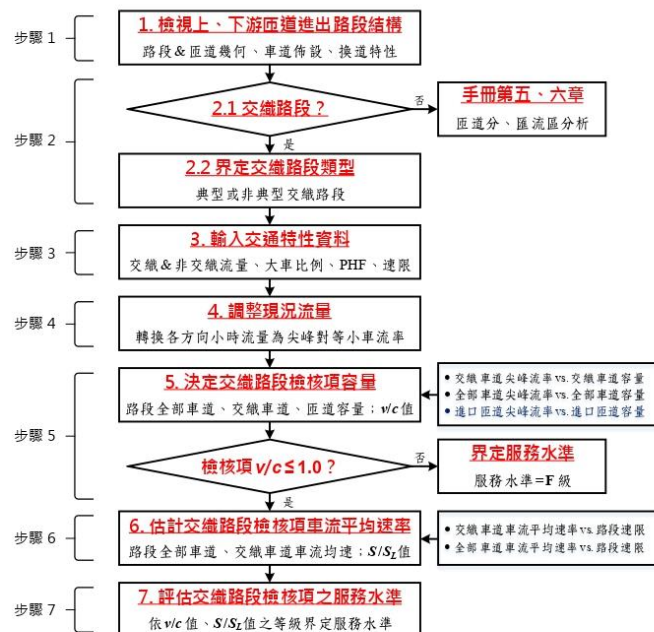
提出交織路段分析程序，包含七個步驟

- 步驟1. 檢視上、下游匝道進出路段結構
- 步驟2. 研判交織路段與類型
- 步驟3. 輸入交通特性資料
- 步驟4. 調整現況流量為尖峰對等小車流率
- 步驟5. 決定交織路段各檢核項之容量
- 步驟6. 估計交織路段各檢核項之車流平均速率
- 步驟7. 評估交織路段各檢核項之服務水準

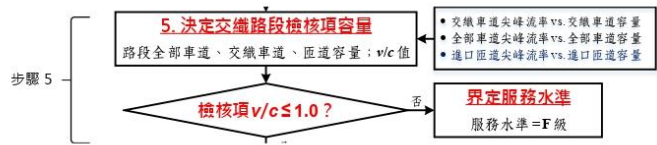


交織路段分析方法流程圖

59



交織路段分析（步驟5）



步驟5 包含三個檢核點：

- 交織車道（進行中）
- 全部車道（提供容量估算模型）
- 進口匝道（容量建議表）

全部車道之容量估算模型

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \beta_0 + \beta_1 \times N + \beta_2 \times FFS + \beta_3 \times L_S \\
 &= 359.97 + 98.23 \times N + 1.23 \times FFS + 0.58 \times L_S \\
 &\quad (t=2.97) \quad (t=0.13) \quad (t=4.66)
 \end{aligned}$$

交織路段進口匝道容量建議表

速限（公里/小時）	階段	車道數	匝道容量 CR （小車 / 小時）
50 或 60	規劃設計	1 車道	1,900
		2 車道	3,800
	運作分析 （直道車流）	1 車道	1,900
		2 車道	3,800
	運作分析 （併入車流）	1 車道	1,800
		2 車道	3,000

交織路段分析（步驟6）



步驟6 包含兩個檢核點：全部車道、交織車道

類型	檢核項	平均速率估算式（公里/小時）
典型 路段	全部車道	$S_{All} = FFS - 2.871 \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.317} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.05}$
	交織車道	$S_{WL} = FFS - 7.343 \left(0.001 \cdot \frac{LC_{FR} + 1}{NW_{FR} + 1} \cdot v_{FR} + \frac{LC_{RF} + 1}{NW_{RF} + 1} \cdot v_{RF} \right)^{0.034} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.153}$
非典型 路段	全部車道	$S_{All} = FFS - 4.472 \left(0.485 \cdot \frac{LC_{FR} + 1}{NW_{FR} + 1} \cdot v_{FR} + \frac{LC_{RF} + 1}{NW_{RF} + 1} \cdot v_{RF} \right)^{0.136} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.267} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.179}$
	交織車道	$S_{WL} = FFS - 13.518 \left(\frac{LC_{FR} + 1}{NW_{FR} + 1} \cdot v_{FR} + \frac{LC_{RF} + 1}{NW_{RF} + 1} \cdot v_{RF} \right)^{0.039} \left(\frac{v}{N} - 500 \right)^{0.234} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{0.177}$

柒、結論與建議

結論

1. 現場調查

- 已完成4處現場調查
 - 包括國1北上高公局~五股、國3南下霧峰~霧峰系統、國1南下內壢~中壢服務區、國1南下桃園~機場系統
- 調查技術
 - 採用無人機結合影像辨識
 - 在無人機飛行空域綠區範圍時，飛行高度約500公尺正射方式並採用路段上下游雙機同時拍攝，觀察範圍可達約1600公尺
 - 在無人機飛行空域黃區範圍時，飛行高度60公尺斜拍方式拍攝，觀察範圍約可達450公尺



結論

2. 車流特性分析

- 交織路段中的四股車流，速度有顯著不同，且匝道至匝道的車流會佔用輔助車道空間，亦會對交織車道的運作組成影響
- 主線到匝道、匝道到主線的車道變換行為主要集中於槽化島鼻端處後之穿越虛線，交織行為集中於交織路段的前端
- 主線內側車道、主線外側車道以及輔助車道之車流運作有明顯差異，與基本路段及分匯流區全部車道會同時進入壅塞狀態之情況不同，交織路段可能會發生全部車道壅塞或只有部分車道壅塞的情況



結論

3. 交織路段之分析方法

發展全車道之速率估算模型、容量估算方式：

- 建立容量估算模式，其主要變數包括車道數、自由車流速率、交織路段長度（ $RMSE=44.23$ 小車/小時/車道）
- 建立全車道之車道平均速率模型，主要影響因素為自由車流速率、主線至匝道流率、匝道至主線流率、平均車道流率、交織路段長度（ $RMSE= 4.37$ 公里/小時）
- 將根據專家座談會之建議，持續進行針對交織車道之容量及速率評估方法



結論

4. 研提快速公路適合長期蒐集資料之地點

- 透過 Google map、CCTV、VD資料進行篩選及檢查，找出易壅塞路段，再優先挑選出無設置VD、無VD資料、各調查結果一致的路段，最後挑選出19個路段。
- 逐一檢視路段上的VD位置及VD資料流量守恆，發現有2處路段已符合VD位置及資料品質，另17處路段需新增設VD並(或)需維修校正VD。相關結果已提送運研所。



建議

1. 交織路段分析程序

- 專家座談會討論中建議以「全車道」及「交織車道」作為評估對象。目前已完成「全車道」的模式建立，後續應針對「交織車道」之車流運作特性有更深入的探討並建立模式。
- 分析程序中，需要檢核匝道之 v/c ，因此需要估算匝道之容量值。目前分析程序中，僅沿用分匯流區之容量值結果，後續應對交織路段之進口匝道、出口匝道進行容量分析，並補充環道（速限40）類別。



建議

2. 交織路段分析模式

- 國內之車流特性資料顯示，匝道至匝道之流率較高，不包含非系統交流道之交織路段其匝道至匝道流率約在200至500車/小時，而包含系統交流道交織路段之匝道至匝道流率可高達600車/小時以上。
- 後續應針對此議題進行深入探討，並納入至模式變數中



簡報結束，感謝指教



高速公路交織路段車流特性分析之研究

黃家耀、陳彥佑、林貴璽、蔡佩宏、朱彥蓁、陳毓芬¹
張舜淵、洪瑋鍾、歐陽恬恬²

¹國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 ²交通部運輸研究所

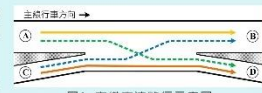
前言

- 高速公路交織路段因車流交織頻繁，經常為高速公路交通瓶頸區，然而，我國關於交織路段的研究資料甚少，目前《臺灣公路官制手冊》分析方法仍採用美國公路官制手冊1985年之方法論，未反映國內之交通特性。此外，因現場調查資料蒐集困難，國內外以實證資料研究交織路段的文獻也相當有限。
- 本研究目的是探討高速公路交織路段內之車流特性，採無人機空拍，透過上帝視角鳥瞰觀察之路段，可觀察到VD或ETC資料無法蒐集到的車流現象，再以影像辨識與軌跡串接技術進行分析，以空拍之實證資料除了可得到傳統之車流特性資訊（流率、速率、密度），更可以了解車道變換位置與頻次，進而分析亂流的程度及集中位置等。

交織路段定義與型態

1. 交織(weaving)定義

- 交織現象常見於高速公路進出口面道間，交織(weaving)指兩股以上同向車流在無號誌控制下相互交織的現象。
- 交織車流(A→D與C→B)：需變換車道。
- 非交織車流(A→B與C→D)：不需變換車道。



2. 交織路段定義

- 上游進口匝道匯流點下游出口匝道分流點之間有「輔助車道」。
- 本研究經盤點後將國內交織路段區分為「典型」及「非典型」兩大類。

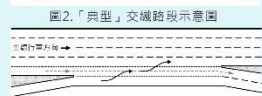
a. 「典型」交織路段：

- 入口與出口匝道間以輔助車道連接。
- 上、下游主線車道數相等。
- 沒有其他特殊設計之地點。



b. 「非典型」交織路段：

- 上下游不對稱。
- 輔助車道不明確。
- 存在禁止變換車道標線或避讓等幾何設計。
- 依據最小變換車道數分為3類。



調查方式及資料蒐集技術

1. 正射攝影

透過無人機同時升空拍攝交織路段範圍內的空拍影像，再運用深度學習之影像辨識技術、軌跡串接技術，並提取距離之車流軌跡，推算軌跡區域內各重要車流特性參數。



2. 斜拍攝影

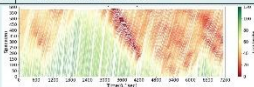
透過一架或兩架無人機同時升空拍攝交織路段範圍內的影像，依據調查之交織路段長度，調整拍攝位置與角度，再以車流分析軟體DataFromSky進行影像辨識。



3. 正拍與斜拍比較

表1. 正拍與斜拍技術比較

	正射攝影	斜拍攝影
拍攝設定	<ul style="list-style-type: none">飛行高度 550 公尺拍攝範圍約可達 700 公尺垂直無人機垂直軌跡可達1300公尺以上	<ul style="list-style-type: none">飛行高度 60 公尺拍攝範圍約可達 450 公尺
適用條件	<ul style="list-style-type: none">無人機設備成熟曾於路口干預較少之地點依路段長度選擇無人機數量	<ul style="list-style-type: none">無人機設備成熟曾於路口干預較少之地點依路段長度選擇無人機數量
調查範圍	車道之中心至匝道(occlusion)範圍	車道之中心至匝道(occlusion)範圍
影像分析效果	影像辨識(gantry)，網圖文字有時會影響影像辨識產生干擾	影像辨識(gantry)，網圖文字有時會影響影像辨識產生干擾
分析技術	自行研發之影像分析工具	影像分析工具 DataFromSky
	提取車道外緣之4點坐標	提取車道中心點位置



- 透過正射攝影技術可再以本研究開發之車流影像辨識平台取得車流軌跡資料，如圖6。

資料分析結果

1. 本研究調查地點

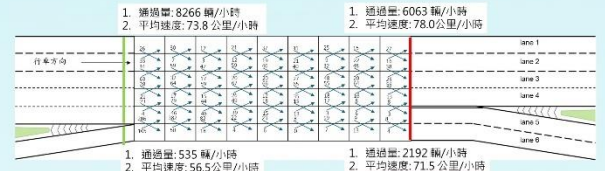
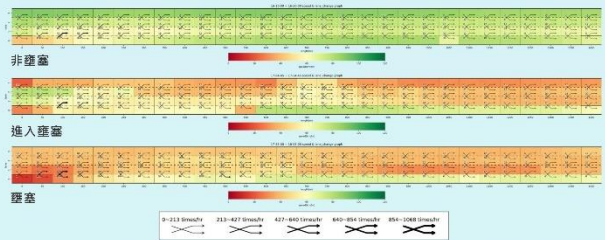
表2. 調查地點幾何特性

編號	地點	交織路段長度	交織路段型態	交織路段車道數	上游主線車道數	下游主線車道數	進口匝道車道數	出口匝道車道數
地點一	區1北上 內連~牛邊寮匝道	1350m	典型路段	4	3	3	1	1
地點二	區3南下 應隆~應隆系統	1580m	非典型路段 之路段	5	3	4	2	1
地點三	區1南下 高公局~五股	450m	非典型路段 第1類	6	5	4	1	2

備註：交織路段長度為該路段上游車道至下游車道之長度。

2. 車流運行特性分析

- 依據「非壅塞」、「進入壅塞」與「壅塞」三個車流狀態繪製車道變換頻次與速率圖。
- 可發現駕駛人傾向於交織路段前快速完成車道變換，導致交織行為集中於路段上游。



3. 各地點車流狀態分析

- 調查地點一：
 - 主線車道壅塞，主線車道流率分布在1500至2000輛/小時/車道之區間。
- 調查地點二：
 - 輔助車道壅塞，出口專用的車道5最高流率約1,500輛/小時/車道。
 - 含系統交流道之交織路段，交織比例較高。
 - 匝道口銜接系統交流道，匝道-匝道流率較高。
- 調查地點三：
 - 輔助車道壅塞，出口專用的車道6最高流率約1,600輛/小時/車道。

表3. 各調查地點分析結果統整

交織路段型態	調查地點1 (典型)			調查地點2 (含系統交流道)			調查地點3 (非典型)		
車道狀態	非壅塞	壅入車道	壅塞	非壅塞	壅入車道	壅塞	非壅塞	壅入車道	壅塞
	車流量 V (輛/小時)								
V	5520	5712	4818	6481	7838	5782	9737	8732	7917
V _{IR}	3533	3142	2987	2118	2118	2659	7082	5938	5046
V _{ER}	110	457	578	930	1080	912	2164	1921	1742
V _{RR}	1656	1885	1060	2165	2028	1719	98	87	79
V _{IR}	221	171	193	636	612	492	393	786	475
VR	0.32	0.41	0.34	0.34	0.48	0.40	0.23	0.23	0.23
MR	0.30	0.33	0.22	0.33	0.26	0.30	0.01	0.01	0.01
DR	0.02	0.08	0.12	0.14	0.14	0.16	0.22	0.22	0.22
	平均車速 V (公里/小時)								
S _{IR}	76.6	54.0	17.8	77.0	94.0	78.3	78.0	65.0	60.9
S _{IR}	76.1	66.4	13.8	77.0	30.1	26.9	57.8	45.7	29.0
S _{ER}	66.1	53.7	16.8	85.7	79.4	49.3	65.8	27.4	28.5
S _{RR}	74.6	59.8	18.0	74.5	45.1	17.9	64.6	28.5	28.5
S _{IR}	71.1	60.1	15.3	81.4	54.8	38.1	61.8	36.8	38.8
S _{VR}	75.6	56.9	17.9	86.1	69.6	48.1	70.8	55.7	44.7
	車道變換頻次 LCR (次)								
LCR _{IR}	0.29	0.42	0.88	0.31	0.29	0.45	0.17	0.18	0.3
LCR _{ER}	1.5	1.32	1.04	2.51	2.55	2.6	0.48	0.5	0.79
LCR _{RR}	1.83	1.7	1.68	1.57	1.52	1.94	2.67	2.63	2.87
LCR _{VR}	0	0	0.28	0.08	0.08	0.16	0.07	0.08	0.08
備註：	1) VR=(V _{IR} +V _{RR})/V, (2) MR=V _{RR} /V, (3) DR=V _{RR} /V, (4) S _{IR} 為非壅塞車道之平均速率，S _{IR} 與S _{RR} 之加權平均，S _{VR} 為交流道之平均速率，S _{VR} 與S _{VR} 之加權平均。								

結論

- 透過空拍及車流軌跡分析，觀察交織路段運行特性，可得出以下結論：
 - 運用無人機、影像辨識，以及軌跡串接技術，取得時空維度之車流特性，透過分析交織路段內之車流演變，說明車流運作之影響。
 - 三處調查點皆觀察到主線到匝道、匝道到主線的車道變換行為主要集中於匝道口銜接處之後之穿越虛線範圍內，顯示駕駛人傾向於快速完成車道變換，以導致交織行為集中於路段的前端。
 - 現場調查及車流軌跡追蹤，發現交織路段的四股車流（主線到主線、主線到匝道、匝道到主線、匝道到匝道）速度有明顯不同，不同的交織車流對於交織路段影響程度也不同，因此過去研究將主線到匝道車流、匝道到主線車流合併為交織車流，有可能過度簡化。後續在進一步發展分析模型時，應將四股車流之特性加以區分及釐清。
 - 交織路段可能會發生全部車道壅塞或只有部分車道壅塞的情況，分析時不應以断面平均做為分析依據，在進行服務水準評估時應將壅塞情境加以區分。

附錄 F：重要模式變數定義表

變 數	定 義	單 位
c	道路設施容量	小車/小時
$c_{(ALL)}$	交織路段全部車道總容量	小車/時
$c_{(WL)}$	交織路段車道容量	小車/小時/車道
c_I	交織路段車道容量	小車/小時/車道
c_R	進口匝道總容量	小車/小時
E_C	聯結車當量值 (PCE)	—
E_P	小型車（小客車、小貨車）當量值 (PCE)	—
E_T	大型車（大客車、大貨車）當量值 (PCE)	—
FFS	主線自由車流速率	公里/小時
$f_{HV(ij)}$	交織路段重型車（大型車、聯結車）車種調整因素	—
LC_{FR}	主線往出口匝道交織車輛所須之最小變換車道次數	次
LC_{RF}	進口匝道往主線交織車輛所須之最小變換車道次數	次
L_S	交織路段長度；交織路段由進口匝道鼻端頂點至出口匝道鼻端頂點之距離（應扣減禁止換道線長度）	公尺
N	全車道數；交織路段由進口匝道鼻端頂點至出口匝道鼻端頂點間之直通車道總數	車道
N_A	輔助車道數；銜接交織路段進、出口匝道之直通車道數	車道
N_F	主線車道數；由進口匝道鼻端頂點進入交織路段之主線車道數	車道
N_{RI}	進口匝道車道數；進口匝道進入交織路段之車道數	車道
N_{RO}	出口匝道車道數；出口匝道離開交織路段之車道數	車道
NW_{FR}	主線往出口匝道車輛可使用之交織車道數	車道
NW_{RF}	進口匝道往主線車輛可使用之交織車道數	車道
N_{WL}	交織車流完成穿越運作最多只需換道 1 次的車道數	車道
PHF_F	主線尖峰小時係數	—
PHF_R	匝道尖峰小時係數	—
$P_{C(FR)}$	交織路段主線往主線之聯結車比例	%
$P_{C(FR)}$	交織路段主線往出口匝道之聯結車比例	%
$P_{C(RF)}$	交織路段進口匝道往主線之聯結車比例	%

變 數	定 義	單 位
$P_{C(RR)}$	交織路段進口匝道往出口匝道之聯結車比例	%
$P_{T(FF)}$	交織路段主線往主線之大型車比例	%
$P_{T(FR)}$	交織路段主線往出口匝道之大型車比例	%
$P_{T(RF)}$	交織路段進口匝道往主線之大型車比例	%
$P_{T(RR)}$	交織路段進口匝道往出口匝道之大型車比例	%
S	道路之空間平均速率	公里/小時
$S_{(ALL)}$	交織路段全部車道之平均速率	公里/小時
$S_{(WL)}$	交織路段交織車道之平均速率	公里/小時
$S_{F(F)}$	交織路段主線自由車流速率	公里/小時
S_L	速限	公里/小時
$S_{L(F)}$	主線速限	公里/小時
$S_{L(R)}$	進口匝道速限	公里/小時
v	交織路段尖峰小時對等小車總需求流率	小車/小時
$v_{(ALL)}$	交織路段全部車道之對等小車總需求流率	小車/小時
v_{ij}	交織路段車流方向 ij 之尖峰小時對等小車需求流率	小車/小時
v_R	進口匝道對等小車總流率	小車/小時
$v_{(WL)}$	交織路段交織車道之對等小車總需求流率	小車/小時
v/c	交織路段設施尖峰流率與容量之比值	—
$v/c(ALL)$	交織路段全部車道尖峰流率與容量之比值	—
$v/c(WL)$	交織路段交織車道尖峰流率與容量之比值	—
V_{FF}	交織路段主線往主線之流量	輛/小時
V_{FR}	交織路段主線往出口匝道之流量	輛/小時
V_{RF}	交織路段進口匝道往主線之流量	輛/小時
V_{RR}	交織路段進口匝道往出口匝道之流量	輛/小時
V_R	交織路段交織流量與總流量之比值	—