

114-039-1475
MOTC-IOT-112-PDB011

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

著者：黃家耀、陳彥佑、林貴璽、蕭惟心、江品翰、
朱彥蓁、陳毓芬、洪廷杰、王寶儀、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 4 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
(1/3)-典型路段/黃家耀, 陳彥佑, 林貴璽, 蕭惟
心, 江品翰, 朱彥蓁, 陳毓芬, 洪廷杰, 王寶儀,
郭品峯, 林佳萱, 張舜淵, 呂怡青, 歐陽恬恬, 洪
瑋鍾著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究
所, 民 114. 4

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-672-3(平裝)

1. 公路管理 2. 交通流量 3. 容量分析

557

114003666

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

著 者：黃家耀、陳彥佑、林貴璽、蕭惟心、江品翰、朱彥蓁、陳毓芬、洪廷
杰、王寶儀、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 4 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：400 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：1011400348

ISBN：978-986-531-672-3 (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(1/3)-典型路段			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-672-3(平裝)	政府出版品統一編號 1011400348	運輸研究所出版品編號 114-039-1475	計畫編號 112-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、蕭惟心、江品翰、朱彥蓁、陳毓芬、洪廷杰、王寶儀、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 112 年 3 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：公路容量手冊、高速公路交織路段、典型交織路段、容量分析、服務水準分析			
<p>摘要：</p> <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，最後一年將同時進行公路容量手冊之修訂工作。本年期之研究重點為典型交織路段，指進口匝道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，本計畫透過文獻探討了解過往高速公路交織路段之分析分法，並以無人機實際進行 4 個交織路段調查，並藉由 AI 自動辨識協助了解及分析車流特性，建立符合國內車流特性之分析方法。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
114 年 4 月	198	400	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：			
<ol style="list-style-type: none"> 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 – Typical Segments			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-672-3(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400348	IOT SERIAL NUMBER 114-039-1475	PROJECT NUMBER 112-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 2023 TO December 2023
RESEARCH AGENCY: National Yang Ming Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ka-Lo Wong PROJECT STAFF: Yen-Yu Chen, Guey-Shii Lin, Hsiao, Wei-Hsin, ,Pin-Han Chiang, Yen-Chen Chu, Yu-Fen Chen, Ting-Chieh Hung, Pin-Fong Kuo, Pao-Yi Wang, Pin-Fong Kuo, Chia-Hsuan Lin ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, 30010, Taiwan PHONE: (03)571-2121#31219			
KEY WORDS: Highway Capacity Manual, Weaving, Typical weaving segments, Capacity analysis, Level of Service			
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 within still employs that of the 1985 Highway Capacity Manual (1985 HCM) of the Transportation Research Board (TRB) of the United States, since for many years, weaving road segment traffic data had not been collected for traffic flow characteristics analysis, and the applicability of the analysis methodology of 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 of weaving freeway segments, and to revise relevant chapters of the THCM.</p> <p>This research study has been planned to be divided into three yearly study phases, each focusing on a different roadway type. The study subject for each year is as follows: (1) Typical weaving segments, (2) Atypical weaving segments, and (3) Weaving segments of connecting interchanges. During the final year, the Taiwan Highway Capacity Manual will be concurrently revised and updated. The current year’s research focus is on typical weaving segments, which refers to segments where auxiliary lanes connect between on and off-ramps, the number of upstream and downstream mainline traffic lanes within the weaving segment are equal, and locations where no special designs exist within the segment. This research utilized a literature review to explore previous methods of analyzing weaving sections on highways. Additionally, it conducted surveys on four weaving sections using unmanned aerial vehicles (UAVs). With the assistance of AI for automatic recognition, the study aimed to understand and analyze traffic flow characteristics, establishing an analytical method that aligns with domestic traffic flow characteristics.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2025		NUMBER OF PAGES 198	PRICE 400
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

第一章 緒論	1
1.1 計畫背景	1
1.2 計畫目的	3
1.3 工作項目	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 交織路段定義	5
2.2 交織路段容量	6
2.3 交織路段設計與運行管理	9
2.4 各國公路容量分析發展概要	14
2.5 交織路段方法論評析	49
2.6 小結	53
第三章 現場調查工作及車流特性分析	55
3.1 交織路段調查流程規劃	55
3.2 現場調查工作	58
3.3 車流特性資料整理方式	68
3.4 車流特性資料分析	80
第四章 發展典型交織路段之分析模式	95
4.1 整理偵測器資料	96
4.2 分析模型比較	101
4.3 模型建立	103
4.4 交織路段分析方法	115
4.5 專家座談會	118
4.6 小結	119
第五章 結論與建議	121
5.1 結論	121
5.2 建議	122
參考文獻	124
附錄 1 期中審查會議意見與回覆表	附 1-1

附錄 2 專家學者座談會	附 2-1
附錄 3 期末審查會議意見與回覆表	附 3-1
附錄 4 期末審查會簡報	附 4-1

圖目錄

圖 1.1-1	交織路型結構示意圖.....	1
圖 1.1-2	典型、非典型交織路段示意圖	2
圖 1.1-3	銜接系統交流道之交織路段示意圖	3
圖 2.1-1	交織路段基本型式.....	5
圖 2.3-1	交織路段車道線設定與換道行為組合方案	10
圖 2.4-1	交織路段長度（來源：HCM 1965）	20
圖 2.4-2	HCM 1985 交織路型結構示意圖	23
圖 2.4-3	HCM 2010 交織路段長度定義	26
圖 2.4-4	典型主線－銜接匝道交織段與車流示意圖	28
圖 2.4-5	銜接匝道－銜接匝道交織段與車流示意圖	29
圖 2.4-6	典型交織路段長度示意圖.....	29
圖 2.4-7	交織路段路型結構範例.....	32
圖 2.4-8	德國 HBS 2015 高速公路分匯流、交織路段配置 v/c 值示意圖.....	36
圖 2.4-9	HBS 2015 分流區幾何型態分類示意圖.....	37
圖 2.4-10	HBS 2015 匯流與交織路段幾何型態分類示意圖.....	39
圖 2.4-11	交織流量、交織路段長度與 R 值	45
圖 3.1-1	交織區調查路段示意圖.....	55
圖 3.1-2	速率、密度、車道變換區間示意圖	56
圖 3.1-3	儀錶板介面示意圖.....	57
圖 3.1-4	內壢中壢服務區路段拍攝資訊整理	58
圖 3.2-1	現場調查地點之幾何示意圖.....	60
圖 3.2-2	國 3 南下烏日~中投交織路段拍攝畫面	61
圖 3.2-3	國 3 南下烏日~中投 無人機飛行與 VD 資料對照	61
圖 3.2-4	國 1 北上內壢~中壢服務區交織路段拍攝畫面	63
圖 3.2-5	國 1 北上內壢~中壢服務區-北側無人機飛行與 VD 資料對照... ..	63
圖 3.2-6	國 1 北上內壢~中壢服務區-南側無人機飛行與 VD 資料對照... ..	64
圖 3.2-7	國 1 北上豐原~臺中系統交織路段拍攝畫面	65

圖 3.2- 8	國 1 北上豐原~臺中系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照	65
圖 3.2- 9	國 1 北上豐原~臺中系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照	66
圖 3.2- 10	國 3 北上新竹系統~寶山交織路段拍攝畫面	67
圖 3.2- 11	國 3 北上新竹系統~寶山北側無人機飛行與 VD 資料對照	68
圖 3.2- 12	國 3 北上新竹系統~寶山南側無人機飛行與 VD 資料對照	68
圖 3.3- 1	影像辨識分析流程圖	69
圖 3.3- 2	接續拍攝之車流軌跡時空圖	70
圖 3.3- 3	國 3 南下烏日~中投交織路段影像辨識結果	70
圖 3.3- 4	國 3 南下烏日~中投交織路段 9:00:00~11:00:00 之軌跡圖	72
圖 3.3- 5	國 3 南下烏日~中投交織路段 11:00:00~12:30:00 之軌跡圖	73
圖 3.3- 6	車輛通過斷面判斷示意圖	73
圖 3.3- 7	時空圖測量方式	74
圖 3.3- 8	車道變換判斷示意圖	75
圖 3.3- 9	車道變換頻次示意圖	75
圖 3.3- 10	國 3 南下烏日~中投交織路段流率時空圖	77
圖 3.3- 11	國 3 南下烏日~中投交織路段密度時空圖	78
圖 3.3- 12	國 3 南下烏日~中投交織路段速率時空圖	79
圖 3.4- 1	現場調查地點流率、密度、速率資料選取範圍示意圖	80
圖 3.4- 2	國 3 南下烏日中投速率、流率與密度之關係	81
圖 3.4- 3	國 1 北上內壢~中壢服務區速率、流率與密度之關係	82
圖 3.4- 4	國 1 北上豐原~台中系統(狀態 1)速率、流率與密度之關係	83
圖 3.4- 5	國 1 北上豐原~台中系統(狀態 2)速率、流率與密度之關係	83
圖 3.4- 6	國 3 北上新竹系統~寶山交織路段速率、流率與密度之關係	84
圖 3.4- 7	國 3 南下烏日-中投 各交織類型 V-T 散點圖	85
圖 3.4- 8	國 1 北上內壢~中壢服務區 各交織類型 V-T 散點圖	86
圖 3.4- 9	國 3 北上豐原~台中系統 各交織類型 V-T 散點圖	86
圖 3.4- 10	國 3 北上新竹系統~寶山各交織類型 V-T 散點圖	87
圖 3.4- 11	南下烏日-中投 速率與無人機拍攝時間範圍圖	88
圖 3.4- 12	國 3 南下烏日-中投 不同壅塞情況下速率及車道變換	89

圖 3.4- 13	國 3 北上新竹系統~寶山 速率與無人機拍攝時間範圍圖	89
圖 3.4- 14	國 3 北上新竹系統~寶山 不同壅塞情況下速率及車道變換	90
圖 3.4- 15	現場調查地點各交織類型車道變換頻次圖	91
圖 3.4- 16	國 3 南下烏日-中投 V_{FR} 車輛變換車道累積圖	92
圖 3.4- 17	國 3 南下烏日-中投 V_{RF} 車輛變換車道累積圖	92
圖 3.4- 18	國 3 北上新竹系統~寶山 V_{FR} 車輛變換車道累積圖	93
圖 3.4- 19	國 3 北上新竹系統~寶山 V_{RF} 車輛變換車道累積圖	93
圖 4.1- 1	典型交織路段模式建立流程圖	96
圖 4.1- 2	交織路段旅次路徑方向示意圖	97
圖 4.1- 3	ETC 插補計算範例	97
圖 4.1- 4	分析地點篩選流程圖	98
圖 4.1- 5	VD 流量守恆檢核示意圖	100
圖 4.3- 1	Model 1 速率估計值與觀察值比較	108
圖 4.3- 2	Model 2 速率估計值與觀察值比較	109
圖 4.3- 3	Model 3 速率估計值與觀察值比較	109
圖 4.3- 4	Model 4 速率估計值與觀察值比較	110
圖 4.3- 5	國 1 北上內湖~東湖 流率-速率及速率-密度圖	112
圖 4.3- 6	國 3 北上南港~新台五路 流率-速率及速率-密度圖	112
圖 4.3- 7	速率與流率之時間序列圖(國 1 北上內湖~東湖).....	113
圖 4.3- 8	速率與流率之時間序列圖(國 3 北上南港~新台五路).....	114
圖 4.4- 1	交織路段分析方法流程	117

表目錄

表 2.4- 1	交織路段服務水準評估表	15
表 2.4- 2	各種交織路段型態平均行駛速率估算式與車道檢驗式	18
表 2.4- 3	HCM 2000 交織路段容量 (pc/h) 示範表.....	25
表 2.4- 4	交織路段服務水準表.....	31
表 2.4- 5	HBS 2015 高速公路各級服務水準參數表.....	34
表 2.4- 6	HBS 2015 分流區參數對照表.....	38
表 2.4- 7	HBS 2015 匯流與交織路段參數對照表.....	39
表 2.4- 8	交織段績效指標表.....	41
表 2.4- 9	交織車流之速度分類.....	45
表 2.5- 1	各國交織路段分析方法論輸出/輸入變數對照概要表	52
表 3.2- 1	拍攝地點時程整理.....	59
表 3.2- 2	拍攝地點幾何資訊.....	59
表 3.2- 3	國 3 南下烏日~中投交織路段飛行紀錄表	60
表 3.2- 4	北上內壢~中壢服務區交織路段飛行紀錄表	62
表 3.2- 5	國 1 北上豐原~台中系統交織路段飛行紀錄表	64
表 3.2- 6	國 3 新竹系統~寶山交織路段飛行紀錄表	67
表 4.1- 1	分析地點篩選結果.....	99
表 4.1- 2	可分析交織路段用途一覽表.....	99
表 4.1- 3	分析地點及日期一覽.....	100
表 4.1- 4	VD 與 ETC 資料流量守恆檢查結果	101
表 4.2- 1	美國容量手冊 2022 版第 27 章範例二提供之參數表	102
表 4.2- 2	容量模型估計值.....	102
表 4.2- 3	速率模型估計值.....	103
表 4.3- 1	速率模型校估資料特性.....	105
表 4.3- 2	Model 1 校估參數結果	106
表 4.3- 3	Model 2 校估參數結果	107
表 4.3- 4	Model 3 校估參數結果	107

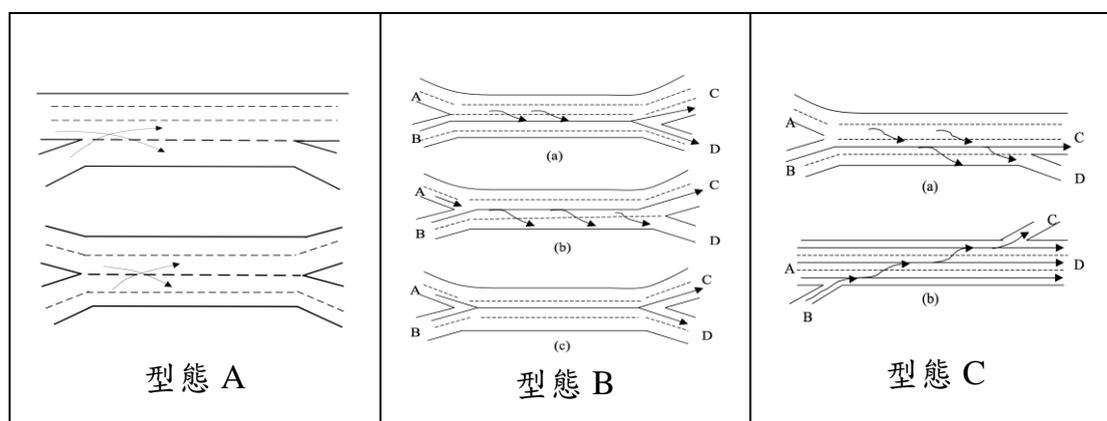
表 4.3- 5	Model 4 校估參數結果	107
表 4.3- 6	校估參數表	112
表 4.3- 7	國 1 北上內湖～東湖車流崩潰點之各車道、全斷面速率及流率	113
表 4.3- 8	國 3 北上南港～新台五路車流崩潰點之各車道、全斷面速率及 流率	114



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 TRB 1985 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」

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 2022 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, 2022b)，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(我國高速公路電子收費系統)之 M06A(各旅次路徑原始資料)資料可用於蒐集交織車流量的資訊、(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、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，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，此種假設係基於上、下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合理推測；當交織路段其中一處匝道銜接至系統交流道時，匝道-匝道的流量佔斷面流量比應會明顯高於不包含系統交流道之交織路段，如圖 1.1-3 所示，因其車流特性應有明顯不同，有需要進一步評估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 33 個(55.9%)、非典型交織路段共 26 個(44.1%)；其中有銜接系統交流道之交織路段有 33 個(55.9%)。

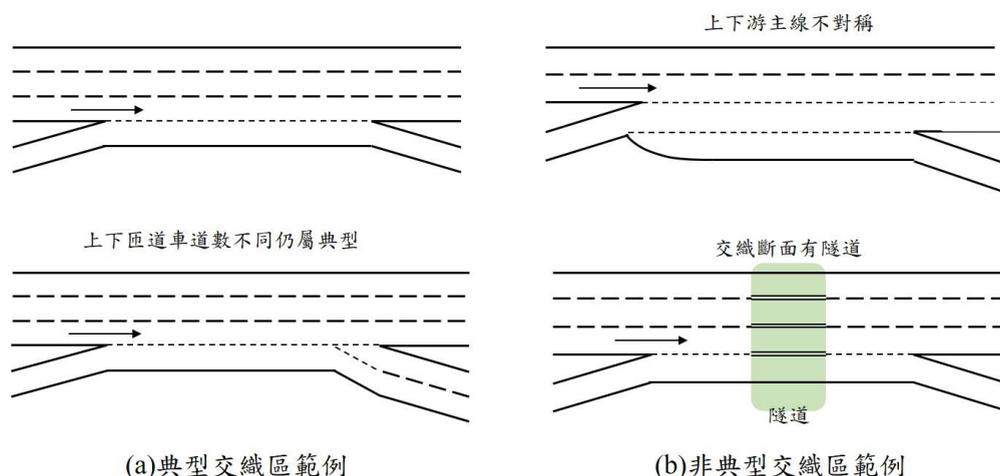


圖 1.1-2 典型、非典型交織路段示意圖

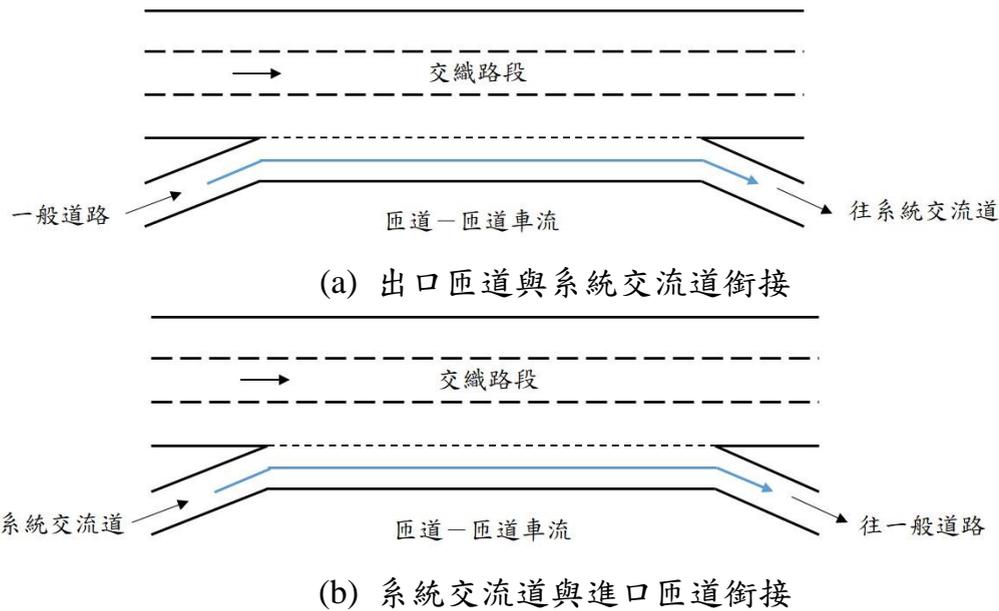


圖 1.1- 3 銜接系統交流道之交織路段示意圖

1.2 計畫目的

本計畫全期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。

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(112)年為第 1 年之工作說明如下：

1. 蒐集並回顧國內外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. 現場調查 4 處：
 - (1) 調查時段至少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) 由於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，將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。
 6. 本期研究計畫成果已投稿「2024 年會暨學術論文國際研討會」。
 7. 已於 112 年 11 月 2 日辦理專家學者座談會。
 8. 根據「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」案的研究成果，協助本所進行「公路容量手冊第 5、6 章」之草案修訂並辦理複審會議，以研提公路容量手冊第 5、6 章修正成果。

第二章 文獻回顧

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。車流在這種路段會經歷較多的亂流干擾，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。

本章參閱交織路段實質幾何、交通特性、運行容量等文獻，依設施定義、路段容量、幾何設計與運行管理，以及各國對交織設施分析概況等議題，分別概述如後。

2.1 交織路段定義

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)。

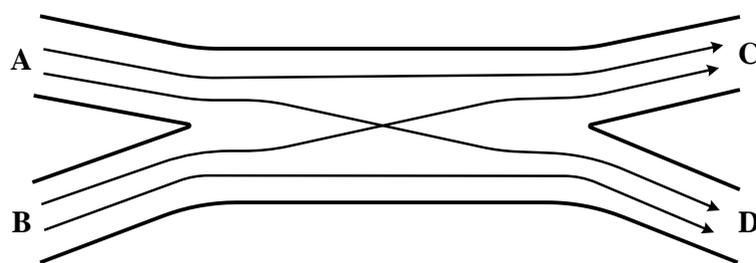


圖 2.1-1 交織路段基本型式

圖 2.1-1 中，由 B 端進入、由 C 端離去的車流必須和由 A 端進入、由 D 端離去的車流相互交叉，而交叉必須經由變換車道來完成，因此稱 B→C 和 A→D 兩股動線為交織流，此外這區段也同時服務動線 A→C 和 B→D，

由於這兩股動線不相交叉，故稱為非交織流，顯然一個交織路段含有四股不同路徑的車流動線。值得注意的是，非交織車輛雖然不需交織運行，但仍會佔用交織區的時空環境，以致非交織車輛也會受到該路段整體亂流程度的影響，所以也會呈現出與高速公路基本路段不同的運行特性。

交織路段的車道配置型式對所需變換車道數有很大影響，而交織路段的長度則是區段內變換車道強度一個重要的決定因素，由於所有交織車輛所需的車道變換動作都會發生在入口和出口之間，所以該區段的長度便決定了換道的強度。如果 1,000 輛汽車必須在交織路段變換車道，則在長度為 150 公尺的路段上，換道強度將遠遠高於 600 公尺的路段。交織路段愈短，單位距離內的換道次數增加，就會產生更大的亂流。

2.2 交織路段容量

Lertworawanich 與 Elefteriadou (2003) 的研究認為在 HCM 2000 之前對交織路段的分析著重在發展交織與非交織車流速率的估計方法，以及交織路段的服務水準，估計交織與非交織車流速率大多採用迴歸分析法，但研究發現速率對於流量在 1,600 pcphpl 以下的增減變化並不敏感，因此任何採用估計速率來評估服務水準的方法都不很準確。HCM2000 所提出的交織路段容量完全是參考基本路段車流密度在 27 pc/km/ln 所對應的流量，這是 E 級服務水準的上界，因此交織路段容量被定義為導致車流密度達到 27 pc/km/ln 的任何流量組合。當時並無準確估計交織路段容量的方法，量測或估計交織路段容量的困難處在於容量會隨著交織與非交織流量比例而變，但交織與非交織流量比例的可能組合太多，當交織流量比例增加時，變換車道數也會增加，因而會降低交織路段的容量。因此，所觀測到的容量只相當於當時對應的流量比例，且蒐集現場觀測的資料不只是流量，還須追蹤每一車輛的起訖點，以致幾乎不可能進行實地量測交織路段容量。

他們在模化變換車道接受間距行為與線性最佳化的基礎上，發展一套 A 類(即型態 A)匝道交織路段容量估算方法。假設交織路段容量是由兩部分路段容量的加總值：

1. 路段兩條交織車道的容量：透過所發展的線性最佳化程序和一些限制條件估計而得；

2. 路段其他車道的容量：假設與 HCM 2000 高速公路基本路段的車道容量 2,300 pcphpl 相等。

因此，交織路段容量為最大化交織與非交織車流。

$$\text{交織路段容量} = \text{最大化}\{V_{FF}+V_{RF}+V_{RR}+V_{FR}\}$$

其中 V_{FF} 主線至主線流量

V_{RF} 進口匝道至主線流量

V_{RR} 進口匝道至出口匝道流量

V_{FR} 主線至出口匝道流量

模式中交織車流行為採 HCM 2000 交織與非交織車流速率模式，並參考 Drew 等人 (1967) 與 Raff 等人 (1950) 的變換車道臨界間距研究結果，進行駕駛人在換道時的接受間距分配與參數校估，計算每一股交織車流的最大車道變換數，最後由線性最佳化程序和一些限制條件計算匝道交織路段兩條交織車道的容量。

他們發現交織路段的預測總容量和 HCM 2000 的估計容量相當，分析顯示交織路段每一車道交織流量的比例會影響該路段的容量，當比例增加，最初匝道交織路段容量也會增加，當比例達到約 0.3 時，容量開始下降，這是因為在較低交織流量下，交織車輛有更多機會併入另一車道，但當交織車輛達到相當程度時，換道衝突就會多於換道機會。模式敏感度分析顯示匝道交織路段車道容量是高速公路基本路段車道容量、交織路段起訖點交通需求比例的遞增函數，但由於交織車輛的影響，其遞增率會低於基本路段的車道容量遞增率。

Lertworawanich 與 Elefteriadou (2007) 基於 HCM 2000 交織段容量是根據車道密度 27 pc/km/ln 估算的，但沒有具體的緣由證明 HCM 方法論產生容量估算值的準確性，當時也沒有進行資料蒐集來驗證此估算值。他們的方法論是以間距接受理論和線性規劃法為基礎，發展一個適用於所有交織路段類型的通用容量估計模式，比較所算得容量估計值與實地預判值。實地資料來自多倫多 QE 401 號高速公路上三個調查點（一個型態 B 類，2 個型態 C 類之交織段）數天之速度和流量數據，經預先分析，取得預期容量。

所發展的模式架構是以接受間距理論和線性最佳化方法為基礎，前者可模化交織段車流的換道過程，這是估計交織段容量最重要的因素之一，後者因為容量是預期最大流率，可視為一種交織段在預期的換道數限制條件下的最佳化問題。模式針對不同交織段類型，對應之目標為最大化 $\sum_i (交織段車道 i 交織流量 + 交織段車道 i 非交織流量)$ 。模式限制式為：(1) 交織段主線、進口匝道、出口匝道之每一車道最大流量 \leq 基本路段車道容量；(2) 交織段主線、進口匝道流量比必須與各自需求比例一致；(3) 交織段每一車道換道流量 \leq 該車道期望換道數，期望換道數是以接受間距理論和換道長度機率分配估計而得。

演算此線性規劃模式的最佳解為交織段的估計容量值，如果此估計容量與交織段預期容量的差值太大（預設 100 vph），則調整總流入量，重新演算直到差值在預設範圍內。應用三個實證地點數據資料的演算結果發現本模式的容量估計值比 HCM 2000 更接近現場交織段預期容量。

馮玉榮與楊少偉等人 (2018) 為瞭解高速公路交織區運行分析脈絡，先針對美國 HCM 2010、德國 HBS 2015、瑞典 METKAP 和中國大陸公路通行能力手冊 CHCM 中交織區運行分析法，分別從運行分析步驟、交織構型、運行分析模型和服務水準評估指標，以及分級等四方面進行比對，探討各種研究方法的特點和適用性。

其次再以 HCM 2010 交織區範例，選擇流量比、匯出比、交織比、交織區長度，以及車道數為影響因素，對中國大陸 CHCM 和美國 HCM 2010 方法通行能力的敏感性進行對比分析，並由實測西安繞城高速公路曲江互通交織區車流資料取得的實測容量值，與美國 HCM 2010 和中國 CHCM 方法計算值進行比較。評析結果認為美國 HCM 2010 方法未考慮交織比且高估流量比對容量的影響；中國大陸 CHCM 方法低估流量比對容量的影響，交織比對容量的影響因匯出比和匯入比的不同呈現相反的變化趨勢，這與主線車流應具有優先通行權的規則不符。

他們改進了中國大陸 CHCM 的車道容量模式，將模式中匯出比指標替換為交織比，採用最小平方法對改進模型的流量比、交織比係數進行重新校估如下，顯示修正迴歸模式對取樣資料配適程度較好。

$$\text{HCM 2010} \quad C_{IWL} = C_0 - [438.2(1 + VR)^{1.6}] + 0.0765 L_s + 119.8 N_{wv}$$

修正模式
$$C_{IWL} = C_0 - 605.4 \ln(1 + VR) - 80.3 \ln(1 + WR) + 0.05 L_s - 60.38 N_{wv}$$
($R^2 = 0.96$)

- 其中
- C_{IWL} 理想狀況下，交織路段之車道容量 (pc/hr/lane)
 - C_0 理想狀況下，主線在相同自由車流速率時之車道容量 (pc/hr/lane)
 - WR 交織區段交織比
 - VR 流量容量比(volume ratio)
 - L_s 交織區段長度
 - N_{wv} 交織區段車流只需變換 0 或 1 次車道之車道數

最後此研究認為交織區車流實測資料是建立運行分析模式的基礎，資料庫的大小與其精度會影響模式的可信度，智慧運輸技術能即時精確採集交織區的車流參數，也可強化巨量資料的處理效率與深度，是今後交織區運行分析資料獲取方式的一個重要發展方向。

馮玉榮、楊少偉等人 (2018) 對國內外大量研究文獻的分析，首先詳細綜述了交織區運行分析採用迴歸分析法（如美國、德國、日本、瑞典）、理論解析法（如中國大陸）和微觀模擬法（如荷蘭）的研究成果，然後探討各種方法的特點，從交織區結構分類、區段長度和寬度、影響因素選擇及相關模式、服務水準指標及其分級等四方面的演變過程對各國迴歸分析法進行評析；在理論解析法方面，探討了移轉矩陣、間隙接受理論和線性規劃、類神經網路等方法，並以間隙接受理論為例說明理論解析法存在的問題，最後闡述微觀模擬法的關鍵步驟和困難點。

他們由評析結果認為：(1) 交織結構類型的劃分已趨向單一化，有利於提高交織區運行分析模式的普適性；(2) 現有容量分析模式未考慮大型車比例和出入口匝道容量等影響因素；(3) 服務水準評估指標仍需考慮交織區的亂流影響程度。

2.3 交織路段設計與運行管理

Luo 等人 (2019) 建立高速公路交織段換道微觀模擬系統 (TPSS)，蒐集上海 9 處匝道區主線、匝道流量與車種組成現調資料，在加速車道長度

60~260 公尺預設範圍內，模擬各種高速公路交織段進口匝道區在各種服務水準下的加速車道長度最佳值。模式假設主線車流間距服從愛爾朗分布 (Erlang distribution)，採用匯入車輛的換道位置、後隨車輛換道之接受間距等微觀指標，以 RMSE(均方根誤差)和 MPE(平均百分比誤差)對模擬值和觀測值進行校估，在要求主線與匝道運行速率分別達 C 級與 D 級服務水準的前提下，發現交織區上游主線運行速率與匯流區加速車道長度呈正相關，當主線設計速率 60、80、100 kph 時，建議加速車道最小長度 130、180、220 公尺。

Sun 等人 (2021) 鑒於常見的交織段車道管理方案一直缺乏有關量化測度效果的研究，因而建立一套可模擬縱向跟車與橫向換道行為的胞格自動模式 (CA)，可模擬交織段前後匝道間路段相鄰兩車道：(1) 允許換道；(2) 禁止換道；(3) 可局部換道三種換道行為，以及由這些換道行為組合而成的八種車道管理方案 (如圖 2.3-1)，從不同幾何、交通條件建議對應最佳方案。模擬結果顯示多數情況下，經由車道使用標線迫使下匝道車輛提早變換車道會產生較高運行效率。

Schemes	Lane markings		Schemes	Lane markings	
	On ramp	Off ramp		On ramp	Off ramp
Scheme 11	①	①	Scheme 31	③	①
Scheme 22	②	②	Scheme 41	④	①
Scheme 34	③	④	Scheme 13	①	③
Scheme 43	④	③	Scheme 14	①	④

圖 2.3-1 交織路段車道線設定與換道行為組合方案

An 等人 (2019) 認為匝道儀控、可變限速策略外，車道分配是提升交織段運行秩序和效率的絕佳對策。考慮跟車行為，以及強、中、弱等三種需求之換道規則對應之駕駛行為，以平均行駛時間、平均速率為指標，建立 A 類交織段胞格自動模型 (CA)。模擬發現車道分配效益受總流量、交織流量比例、交織段長度、專用車道隔離設備安裝位置之影響；當交織路段總流量 > 400 輛/車道、流量比 0.2~0.7、交織路段長度 < 300 公尺時的效益最佳。

Wang 等人(2021)為探討影響市區交流道交通效率因素和交通風險的空間分布特性，以 VISSIM 建構一套交織段模擬模式，評估具有短交織段的道路交通設計參數對交通運行效率和風險的影響，包括主線與匝道的延

誤、平均速率、碰撞率等。經由大量反覆情境模擬與變異分析，發現交織段長度是影響交織區運行效率和風險最重要因素。另在 350、450、550 公尺三種交織段長度下，以平均加減速、加減速範圍、速率標準差四項績效指標作為空間風險分布的代表變量進行敏感度分析，結果顯示較短交織段長度對風險機率有顯著影響，尤其在區段內、外側車道 3/4 後的位置發生風險機率最大。

Hao 等人(2020)針對易肇事和瓶頸路段，特別是高速公路交織路段，當涉及自駕車(CAV)與人駕車(HV)的混雜交通環境時，運行會更複雜。為使 CAV 準確辨識 HV 的駕駛行為，避免因換道導致交通事故，有必要對交織路段強制換道(MCL)過程的特點進行分析。其發展一種根據駕駛人心理特徵的 MLC 分析法，先透過與出口匝道距離的導引，提出駕駛人的 MLC 壓力概念，其次透過駕駛人 MLC 壓力和傾向，對換道企圖進行量化，最後根據換道企圖與目標車道的車間距分布，提出一套 MLC 位置機率密度模式來描述換道位置的分布特性，並進行數據驗證。

周晨靜、榮建等人 (2015) 認為 HCM 2010 交織段容量分析法缺乏適用性研究是推廣應用的主要障礙，他們以實測數據，從定性、定量兩方面對 HCM 2010 交織段容量分析法的速率模式進行適用性分析，並提出改進模式的方法。

他們先用四組 HCM 2000 範例資料分別對 HCM 2000、2010 的速率模式進行測算，之後又以交織段長度 L_s 、交織段流率 Q 、交織流量比 VR 等三項控制指標，設計三組分析方案進一步測試 HCM 2010 交織區分析法，發現當交織路段總流率、流量比逐漸增加時，HCM 2010 有三組測算範例和所有分析方案都顯示交織流速率大於非交織流速率，與工程實務經驗不符。

檢討發現非交織車流速率模式有重複折減現象，致使交織車流預測速率偏低，因而研擬出三種調整非交織車流速率模式，以及一種調整交織車流速率模式。驗證數據來自中國天津一個長 100 公尺、5 車道交織路段，蒐集上、下游主線與進、出口匝道之車道和分類交織流量和速率資料，對 HCM 2010 速率模式測算顯示交織與非交織車流速率都低於實測資料，且

平均誤差約 20%，最大誤差達 40.52%。由迴歸分析，在最大 R^2 之下，建議車流調整速率模式為：

$$\text{非交織 } S_{nw} = FFS - 0.001 \left(\frac{LC_{\text{Min}}}{N_w} \right) - 0.011 \left(\frac{Q_{nw}}{N_{nw}} \right) \quad R^2 = 0.806$$

$$\text{交織 } S_w = 15 + \frac{FFS - 15}{1 + 0.424 \left(\frac{LC_{\text{All}}}{L_s} \right)} \quad R^2 = 0.737$$

其中 S_{nw} 非交織車流平均行駛速率

S_w 交織車流平均行駛速率

FFS 自由車流速率

N_w 交織車道數量

Q_{nw} 非交織車流流率

N_{nw} 非交織車道數量

LC_{All} 交織路段的換道總數量

L_s 交織區段長度

非交織車流速率調整模式受交織次數、交織車道數、非交織流率與車道數影響，而交織車流速率調整模式參數則比 HCM 2010 稍大，顯示交織強度提升對交織車流速率的影響。模式驗證結果顯示：(1)交織車流速率隨交織段長度增加而遞增；交織車流速率低於非交織速率，但隨交織段長度增加而趨近非交織速率。(2)隨交織流率遞增，交織與非交織車流速率均遞減，但交織車流速率均低於非交織速率。(3)在很低流量比之下，交織與非交織車流速率相當一致，但隨著流量比增加，交織車流速率明顯降低，但非交織車流速率不變。

Xu、Rouphail 等人 (2020) 認為 HCM 6(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 HCM2016)，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。

他們新建了一套可描述從交織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。新建模式特別檢視 HCM6 的容量和速率模式對交織段長度 L 和流量比 VR 的敏感性：(1) HCM6 有兩個交織段容量模式，分別是以最大密度和交織需求量為基礎進行估算，前者當流量比例降低、路段長度增加、交織所必須強制換道數減少時，交織容量就會增加；後者是由實地觀察的研判值，交織段車道容量大約發生在 1,166~1,200 pcphpl，相比較後取其中較小值；(2) HCM6 交織速率估計模式只要考慮自由速率和換道交織強度 W ，而非交織速率模式則只考慮車道流量和所需最小換道數，交織段長度的影響反而被低估。至於車道長度增加將會增加總換道數和增加交織強度 W ，在最好情況下，這會中和車道長度增加對交織速率的影響；而較短交織段長度會發生更多強制性換道，導致路段內車流速率突然變化而影響所有車輛，非交織速率也可能連帶受影響。

此研究除運用 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。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 (SMS) 與基本路段速率的差異。因此，他們假設的簡化通式為：

$$S_0 = S_B - SIW$$

- 其中 S_0 交織段整體空間平均速率 (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 (mph)
 SIW 因交織亂流所造成之速率阻抗值

由此通式共構想四種速率模式，在綜合最大 R^2 和最小 RMSE 之下，判定交織段最適空間平均速率模式為 $S_0 = S_B - 0.0426 \cdot FFS \left(\frac{2.4 \cdot V_{RF} + V_{FR}}{V \cdot L_S} \right)^{0.869}$ ，

經由數據資料庫比對此模式和 HCM6 的預測速率差，整體而言，HCM6 低估大部分數據庫的速率資料（約 75% 的估計值低於速率資料）。

以某一城市四車道主線、 $FFS = 65$ mph、每英哩交流道密度為 0.5 處之交織路段，在總需求量 $V = 5,520$ pcph、 $V_{FF} = 4,200$ pcph、 $V_{FR} = V_{RF} = 600$

pcph 之下，測試此模式和 HCM6 對較短交織段長度 $L = 250 \sim 3,250$ 英尺的敏感性，顯示由模式 4 所得的容量、速率、密度對 L 的變化都很敏感。兩種方法對很短和很長的路段長度的測試結果都是一致的，但此模式在中等長度範圍可維持較高的容量和速率。

研究顯示此模式的非線性趨勢較符合邏輯，當交織流量固定時，較短的路段會放大亂流效應，因此對路段長度的敏感性更高，在較長路段上，因亂流會更分散，增加路段長度無法再提高些微的容量和速率。最後，他們結論預測 SIW 的最適模式是自由速率、主線往匝道的流量比例、匝道往主線的流量比例，以及交織路段長度的函數，此模式在預測速率、容量、密度對於路段長度 L 和 VR 比 HCM6 更具敏感性，該研究部分結論納入美國運輸部資助 STRIDE 中心之委託計畫內。

2.4 各國公路容量分析發展概要

2.4.1 臺灣 THCM 交織路段方法論概要

一、發展背景

臺灣本土公路容量相關研究始於民國 75 年，初期在非阻斷性車流設施研究方面，以高速公路主線設施（含收費站）與一般公路之基本容量、交通特性、相關影響因素探討為主，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 (THCM)，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；嗣後本所雖經由逐年分期修訂、增補原非阻斷設施章節內容，並增加匝道分匯流區、收費站、市區高架快速道路、多車道公路、雙車道公路等研究成果，但有關交織路段部分並未進行探討，以致在民國 90 ~ 111 年間依序發行的 2001、2011，以及 2022 年臺灣公路容量手冊之交織路段分析法仍依民國 79 年版內容，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 (crown line)，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。THCM 根據臺灣當時高速公路特性，THCM 主要著眼於型態 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 2.4-1。

表 2.4-1 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，致使交織路段的運作發生不平衡現象，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，有必要獲悉交織車流是否受限制。

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 類交織路段之分析

前述程序僅以型態 A 類交織路段為分析對象，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表 2.4- 2 所示。

表 2.4- 2 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			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
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

2.4.2 美國 HCM 交織路段方法論概要

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，只是在 HCM 1985 發行後，不但沒有平息對各種方法的爭論，而且還不斷在發展新的方法，迄今仍有一些分析程序據以作為初判之用，這主要是因為交織路段通常有相當距離，現場交織運行的資料較難蒐集且成本較大所致。

美國自 1965~1985 年陸續為整合該期間所發表不同的交織路段分析法與解決應用的問題，依序建立三套資料庫。美國 HCM 1965 中包含了由 Leisch 開發的交織區分析方法，它是基於幾條與交織流量、交織路段長度，以及和流量品質有關的曲線，是一種部分服務水準的衡量標準。有趣的是，HCM 1965 含有一個彙總當時公路局對交織區廣泛研究結果的附錄，但因

這項研究太晚進行，以致在制定 HCM 1965 方法時並沒有考慮進去，這項研究資料便成為後續研究使用的三個主要資料庫之一。

自 HCM 1965 發行之後，1970 年代初曾由全國公路合作計畫 (National Cooperative Highway Research Program, NCHRP) 贊助多項關於交織路段的運行研究與發展分析方法，旨在為制定第三版 HCM 預作準備，其中交織區運行研究是在 Polytechnic 理工大學運輸研究中心進行，其結果蒐集了第二個主要資料庫 (1972~1973 年)，並在結合 1963 年公路局資料和 1972~1973 年資料的基礎上開發了一個新方法，這個在 1975 年 NCHRP 159 (Pignataro, L., et al., 1975) 有關交織路段設計與分析研究所發展的方法是 HCM 1985 方法論的發軔。1980 年於三版 HCM 發行前夕，TRB 在公路容量分析程序期中通告中發表此新修訂分析法，作為在 HCM 1985 定稿前測試使用的新程序，但也同時列出由 J. Leisch 獨自研究的另一種分析法 (Leisch, J., 1983 ; Leisch, J. & Associates, 1984) 供測試使用。

1983 年美國聯邦公路局 (Federal Highway Administration, FHWA) 另由 NCHRP 贊助委託 JHK & Associates 在全美 10 個地點再進行調查、建立一套新資料庫，並由 Reilly 主持專案，對 Polytechnic 理工大學和 Leisch 的程序進行評析、比較 (Reilly W. et al., 1983)，此新建資料庫也是 HCM 1985 的第三個主要資料來源。惟這項研究卻又另衍生第三種方法，此法更簡化，只依靠兩個方程式，一個是預測路段交織車輛的平均速度，另一個是預測非交織車輛的平均速度，但並沒有像 Polytechnic 和 Leisch 方法那樣，將交織類型視為一個重要參數來考慮，以致其分析結果也和前兩種方法不同。當時鑒於 HCM 1985 發行在即，因此 TRB 委員會經多次討論後，決定仍沿用 1980 年代的 10 組舊資料，並指示採用 JHK & Associates 開發的基本演算法，但要對該方法進行修改，以具體說明交織類型是影響運行的一個主要變數。這項最終的修改工作由 Polytechnic 理工大學研究人員以經驗判斷調校方式，將三種方法整併，並納入 HCM 1985 的最後準備內容的一部分 (Roess, R., 1987)。HCM 1985 交織方法論便是 NCHRP 委由 Roess 等人在 3-28B 子計劃中綜合以上三種方法發展而成，只是進一步的資料分析與模式校估成果後來並沒有在 1994 年修訂 HCM 版本中引用，以致該修訂版所建立的交織方法論(1996 年發表)內容仍是整本容量手冊中最陳舊的部份，

而上述綜合研究成果直到 1997 年才在公路容量與服務品質委員會 (HCQSC) 審視核定下發表，並完整呈現在 HCM 2000 中。

至於在廣受關注之交織路段長度方面，HCM 1965、1985、2000 都預訂了交織最大長度限制，若超過此最大值，則交織路段不存在，而採用獨立匯流和分流區段方法論。此限制長度在 2,000 呎 (HCM 1985、2000) 到 8,000 呎 (HCM 1965) 之間，主要是依據當時的研究資料與 HCQSC 的判斷而訂，惟幾乎沒有證據顯示曾蒐集過 3,000 呎以上交織長度的資料。

HCM 1994 建議交織路段長度可用圖 2.4-1 來測量，按慣例，區段長度是由入口鼻端區左邊主線最右側車道邊緣線至右邊入口匝道最左側車道邊緣線間距為 2 英尺 (0.6 公尺) 處起算，以至出口鼻端區左、右兩車道邊緣線間距為 12 英尺 (3.6 公尺) 處止。

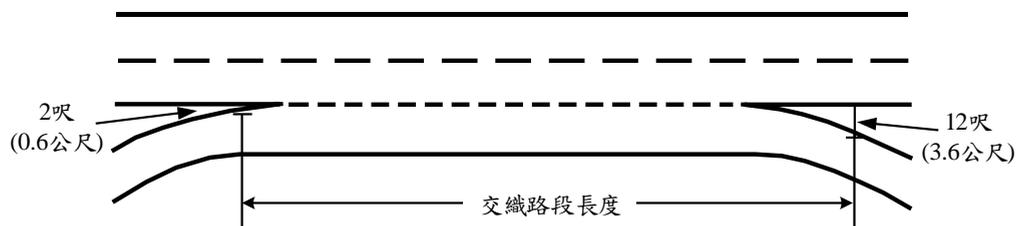


圖 2.4-1 交織路段長度 (來源：HCM 1965)

由於引用早期美國公路局 (現今聯邦公路局 FHWA) 在 1950 年代末到 1960 年代初期的交織研究資料，此定義的原始邏輯已無法可考，以致為保持方法的一致性，之後的研究也大都遵循這個定義。

直到 HCM 2010 對最大交織長度才根據「當交織運行活動不再影響交織路段的容量時」來界定，亦即在一個特定長度內，該路段的容量等於高速公路基本路段的容量。這雖合邏輯，但此長度限制也可定義為交織和非交織速度與高速公路基本路段相等的長度，只是這定義會產生更大的交織長度。此外，因界定最大交織長度的演算法包含與實質路型及交通需求有關的參數，所以一個路段有可能在某些時候是交織運行，在其他時候是基本高速公路的運行形式。

以下是美國各版 HCM 在發展交織分析法的概要：

1. HCM 1950 交織分析法

HCM 1950 交織分析法基本上是用華盛頓特區「五角大廈路網」的 4 個交織路段和舊金山海灣大橋的 2 個交織路段的有限資料所提出的一種根據幾項判斷原則的推理方法，當時構想的兩種基本路型為基本交織段（Basic Weaving Section，所有車輛都在執行交織動作的路段）與兩用交織段（Dual Purposes Weaving Section，交織和非交織車輛都可使用的路段）。兩種交織路型結構的特點是都有所謂「穿越虛線 crown line」的假想線，所有交織車輛都必須越過此穿越虛線。此特點引導出「在任何時段內，正在越過穿越虛線的車輛數不能超過能夠擠進一條車道的車輛數；....。因此，進入交織路段的總交織車輛數不能超過單一車道的容量。」的基本結論，此觀念引領了整個交織分析法到 HCM 1985 止。

2. HCM 1965 交織分析法

HCM 1965 為交織分析提供三種方法：

(1) Leisch/Normann 交織分析法

適用於所有交織（基本型、兩用型、複合型）路型結構，遵循 HCM 1950 方法的觀念架構，認為交織車輛運行會受交織路段長度和寬度影響，而非交織車輛只受交織路段寬度影響，其運行條件與任何基本路段上的車輛相同。

(2) Hess 與 Moskowitz/Newman 匝道分析法 I & II

觀念架構很簡單，先確定進入高速公路匝道口上游主線最右側車道（車道 1）流量，再決定匯流量（將進口匝道流量加上車道 1 流量）或分流量（僅車道 1 流量，其中有一部份仍在高速公路主線上，另一部份由下匝道離開），最後運用到兩套分析法上，一套可分析匝道交織段（適用於 LOS A ~ C），另一套也可分析匝道交織段，但也包括上匝道後沒有連續輔助車道的下匝道路型結構（適用於 LOS D 和 E）（Hess, J. W., 1963；Moskowitz, K. and Newman, L., 1963）。

由於這三種對交織路段的分析程序在概念和方法結構上有很大差異，甚至在服務水準也採用不同的界定標準，以致在開發第三版 HCM 交織方法前曾歷經妥協、折衷。

3. HCM 1985 交織分析法

1983 年聯邦公路局資助了一項由 JHK & Associates 公司取得，並由 William Reilly 主持 (Reilly W., et al., 1983) 的計畫，希望比較 TRB 第 212 號通告中的 PINY 和 Leisch 方法，並對 HCM 1985 的交織方法提供建議，意外的是在嘗試以新建資料庫重新校估這兩種方法後，此計畫否決了這兩種方法，並另推薦一個全新且非常簡單，可適用於所有交織路段，又不必考慮路型結構細節的分析法。此方法圍繞一個預測速率公式，其形式如下：

$$S_i = S_{\min} + \frac{S_{\max} - S_{\min}}{1+W} \quad \text{式中 } W = \frac{a(1+VR)^b (v/N)^c}{L^d}$$

其中 S_i 合併流量 i 的速率 (mi/h)

S_{\min} 、 S_{\max} 最小 (最大) 速率 (mi/h)

W 交織強度係數

VR 流量比 ($VR = v_w / v$)

v 交織路段總流率 (pc/h)

L 交織路段長度 (英尺)

N 交織路段總車道數

$a \sim d$ 校估常數

1984 年 1 月，HCQSC 指示 NCHRP 3-28B 計畫小組根據以下原則開發一種方法：

- ✓ 保留 Reilly 方法的速度預測演算法的基本形式。
- ✓ 使用 15 分鐘流率和速率資料重新校估分析程序。
- ✓ 重新引入 PINY 方法中定義的路型結構，以及受限制與無限制的運行概念。

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 2.4- 2 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。

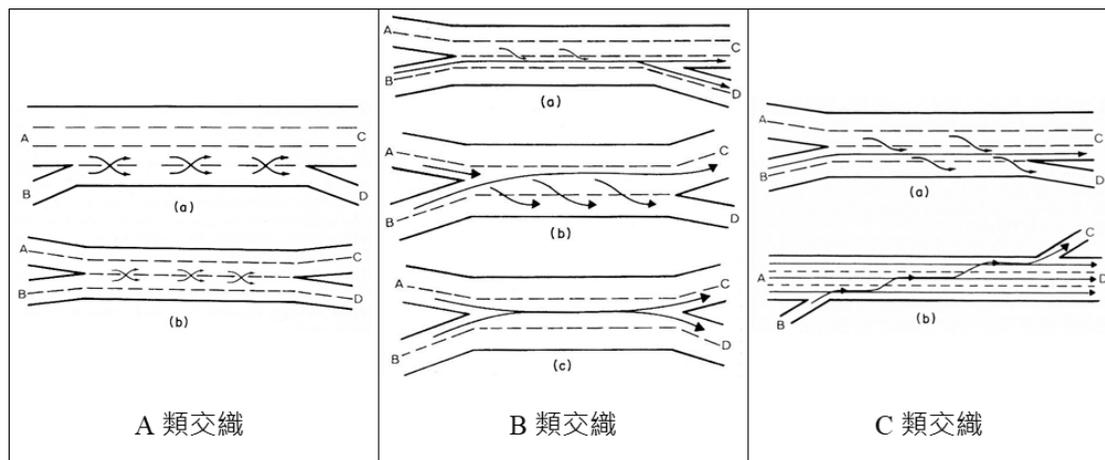


圖 2.4- 2 HCM 1985 交織路型結構示意圖

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，每一種類型又接受限制與無限制運行劃分。

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。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) 供解決許多計算難處，且方法一直被廣泛採用到 2000 年更新為止。

4. HCM 2000 交織分析法

HCM 1985 在 1994、1997 年進行兩次重大修訂，當時雖然沒有新近可用於交織分析的重要研究或資料，HCQSC 的高速公路小組委員會仍繼續修訂方法，結果也做了一些調整，並納入之後 HCM 2000 中。小組委員會在 1994、1997 年運用大量專業判斷對 HCM 1985 速率公式校估係數進行修訂，與 1983 年 Reilly 研究資料相比，此過程提高了準確性，也產生更合理的敏感性。此外，1997 年版將速率公式中的最高速率從 65 mi/h 改為自由車流速率 (FFS) 加 5 mi/h，增加 5 mi/h 是因為公式會傾向低估高速所做的修正。

HCM 2000 中增加一組表格，可直接估計交織路段的容量，這在 HCM 1985 及其後續過渡更新版本並沒有這功能。此外，對交織變數的最大限制值也進行修訂，大多數都比 HCM 1985 的數值大。

HCM 2000 交織方法論中最重要的異動之一就是將服務水準指標從速率改為車流密度，和高速公路、多車道公路、匝道分匯流口的服務水準指標一致，這也導致一項重要決議：放棄分別對交織和非交織車輛的服務評估，改採交織路段平均密度單一服務指標；實際上，在大量交織和非交織車流混合的情況下，的確很難分開解釋交織和非交織車流的個別密度。至於第二個主要異動就是加入了一個多頁的交織路段容量表（示範如表 2.4-3），自 HCM 1985 以來，估計交織路段容量的唯一辦法就是透過一個複雜又困難的試誤過程，在 HCM 2000 中，當出現以下情況之一時，就需決定交織路段的容量：

- ✓ 交織路段的密度達到 43 pc/mi/ln（高速公路）或 40 pc/mi/ln（多車道公路）時；
- ✓ 當每車道流量 v/N 達到高速公路或多車道公路基本路段的容量時；
- ✓ 當交織路段達到最大交織流率 v_w 時

這三個限制條件中最先達到的就能定義交織路段的容量，至於哪一個會先達到，以及路段容量的具體數值就取決於 HCM 2000 方法中的所有變數（包括交織類型、FFS、VR、交織路段長度 L 、寬度 N ，以及車流在容量時是受限制還是無限制運行等）。因此，要找到一個特定交織路段的容量值就需要多次試驗，為減輕計算負擔，HCM 2000 引進一系列 12 張高速公路交織路段的容量表（表 2.4-3 是其中之一），該表允許進行直線內插，以決定沒有列出的交織路段容量值。

表 2.4- 3 HCM 2000 交織路段容量 (pc/h) 示範表

流量比 VR	交織路段長度 L (英呎)				
	500	1,000	1,500	2,000	2,500
3 車道交織路段					
0.10	6,030	6,800	7,200	7,200	7,200
0.20	5,450	6,230	6,680	7,010	7,200
0.30	4,990	5,740	6,210	6,530	6,790
0.40	4,620	5,340	5,480	5,790	6,040
0.45	4,460	4,840	5,240	5,540	5,780
4 車道交織路段					
0.10	8,040	9,070	9,600	9,600	9,600
0.20	7,280	8,300	8,910	9,350	9,600
0.30	6,660	7,520	8,090	8,520	8,830
0.35	6,250	7,120	7,690	8,000	8,000
5 車道交織路段					
0.10	10,050	11,340	12,000	12,000	12,000
0.20	9,100	10,540	11,270	11,790	12,000

註：本表適用 FFS = 70 ~ 75 mi/h 之高速公路 A 類交織路段

5. 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 Roupail N., 1986)。

整個方法論之發展概要如下：

(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 英尺（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（如圖 2.4-3）

校核的結論是：較短長度 L_S 是預測交織路段運行情況最可靠的指標。在解釋上， L_S 不會限制交織車輛變換車道，儘管 L_B 會更直接限制交織車輛換道的能力，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 的確會比 L_B 提供更準的預測結果。

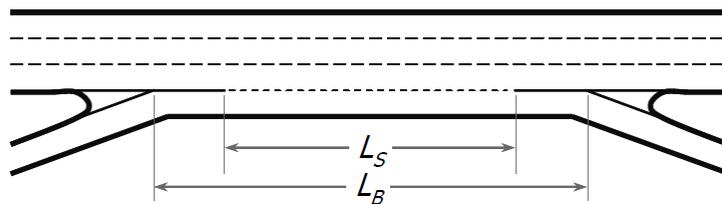


圖 2.4- 3 HCM 2010 交織路段長度定義

(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。經試驗後決定用一個含長度 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（分為 $\leq 1,300$ 、 $1,300 \sim 1,950$ 、 $\geq 1,950$ ），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：

$$S_w = 15 + \frac{FFS - 15}{1 + W_w}, \text{ 交織速率強度係數 } W_w = 0.226 \left(\frac{LC_{ALL}}{L_S} \right)^{0.789}$$

$$R^2 = 0.787$$

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：

$$S_{nw} = FFS - 0.0072 LC_{min} - 0.0048 \left(\frac{v}{N} \right) \quad R^2 = 0.50$$

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，便可使用和 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」。

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

2.4.3 其他國家交織路段分析概要

本節除了說明臺灣與美國交織路段分析方法的演進外，亦回顧了韓國、荷蘭、德國、瑞典、印尼等國公路交織路段容量分析概要，以及美國 HCM 2016 交織路段分析法之後續研究。

2.4.3.1 韓國 KHCM 2013 交織路段分析

1. 基本定義

韓國容量手冊界定公路交織路段是指當匯流區段後緊接著分流區段，或在流入路段後緊接著有流出路段時，此兩區段由一個連續輔助車道銜接起來的交叉路段；交織路段的車流運行特性會受交叉段的形狀、長度和寬度影響。

公路交織是指在沒有交通控制設施的協助下，兩個同方向車流在相當長的路段上交匯與變換車道的一種交通運行狀況，圖 2.4-4 中車流 A→D 和 B→C 必須相交才能駛往所需方向，故稱為交織車流，而車流 A→C 和 B→D 的行進方向不相交，故稱為非交織車流。這種交織路段幾乎存在所有道路上（高速公路、多車道道路、雙車道道路、幹道或集合道路），根據進入點的位置與到達目的點需要變換的車道數量，可以有多種不同型式。

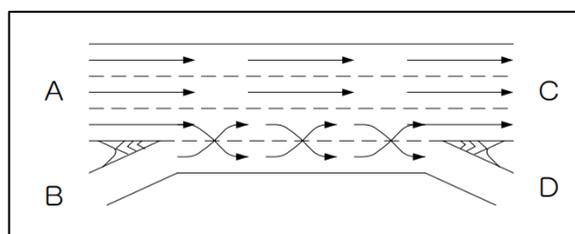


圖 2.4-4 典型主線一銜接匝道交織段與車流示意圖

2. 交織路段特性

影響交織路段車流特性的幾何要素有三：

- ✓ 交織路型
- ✓ 交織路段長度
- ✓ 交織路段寬度（車道數）

(1) 交織路型

交織路型取決於交織路段車輛的最小換道次數與進入點的位置，換道次數由進出車道的位置和車道數決定，這些在交織路段的設計中非常重要，因為它們嚴重影響交織段的行駛特性，包括換道。交織路段車流若愈頻繁地變換車道前往目的地，則該路段的交通狀況與服務水準就愈差。

韓國容量手冊考慮了主線一銜接匝道交織（如圖 2.4-4）、銜接匝道一銜接匝道交織（如圖 2.4-5）等兩種類型。

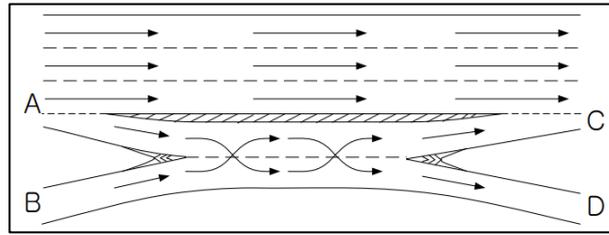


圖 2.4-5 銜接匝道—銜接匝道交織段與車流示意圖

(2) 交織路段長度

交織車輛從匝道和主線交匯處到出口匝道的分叉處必須進行變換車道，路段長度會限制駕駛人通過路段所使用車道的時間和空間。假設其他因素不變，交織路段愈短，駕駛人就很難變換車道，發生亂流的程度就會增加；反之，路段愈長，交錯的影響就愈小。

手冊將交織路段長度定義為從入口匝道和主線交叉鼻端頂點到出口匝道的鼻端頂點間的距離（如圖 2.4-6）。

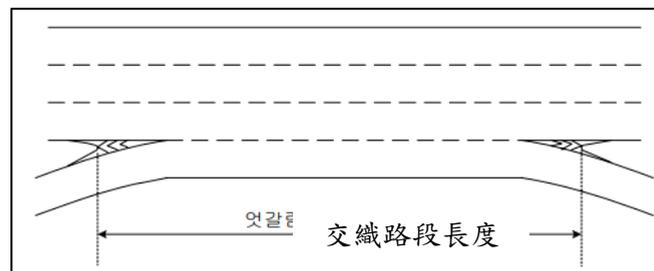


圖 2.4-6 典型交織路段長度示意圖

基於安全考慮，手冊建議典型主線—銜接匝道交織段的長度 ≥ 200 公尺，若超過 750 公尺，則將匯流和分流活動視為獨立影響主線的車流，而不是交織。

至於銜接匝道—銜接匝道交織段長度則取決於兩條銜接道的主要出口和入口之間的距離，這個長度至少在 150 公尺以上，主要是因為這種集散道的設計水準低，等級差異較小之故。

(3) 交織路段寬度

手冊對交織路段寬度是以該路段橫斷的車道數顯示，這也是對該交織運行狀況影響較大的因素；交織路段斷面愈寬，交織流量對該斷面車流的影響愈小，對行車速度的限制也愈小。

3. 分析方法

對交織路段服務水準分析方法如下：

- 以平均密度作為衡量交織路段的運行效果
- 藉由速度估算模式或實地調查，獲得交織路段的交織速率和非交織速率
- 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；實務上，可根據交織路段的交通量判斷服務水準，或根據交通量和速率判斷密度。

(1) 交織速率與非交織速率之計算

在規劃設計階段，可以下列估算公式估算空間速率；在運行分析階段，則建議透過實地調查或以下列公式計算速率。

$$W_{nw} = \frac{0.00000054(1+VR)^{0.68} (V/N)^{2.0}}{L^{0.17}}$$

$$W_w = \frac{0.059(1+VR)^{2.2} (V/N)^{0.97}}{L^{0.80}}$$

$$S_{nw} \text{ (或 } S_w) = 30 + \frac{(S_D + 10) - 30}{1 + W_{nw} \text{ (or } W_w)}$$

其中 S_{nw} (或 S_w) 交織 (非交織) 車流之空間平均速率 (kph)

S_D 交織路段設計速率 (kph)

W_{nw} 非交織車流之交織強度係數

W_w 交織車流之交織強度係數

VR 流量比 (V_w / V)

V 交織路段總交通量 (pcph)

V_w 交織流量 (pcph)

N 交織路段總車道數

L 交織路段長度 (公尺)

(2) 計算平均車流密度

根據速率估算公式計算或實地調查的交織速率和非交織速率，可據以估算交織路段平均速率，之後再計算平均車流密度。

$$\text{平均速率 } S = \frac{V}{\frac{V_w}{S_w} + \frac{V_{nw}}{S_{nw}}}, \quad \text{平均車流密度 } D = \frac{V/N}{S}$$

其中 S 交織路段所有車輛之空間平均速率 (kph)

V_w 交織流量 (pcph)

V_{nw} 非交織流量 (pcph)

D 交織路段平均車流密度 (pcpkmpl)

(3) 服務水準評判

密度是判斷主線－銜接匝道交織路段，以及銜接匝道－銜接匝道交織路段服務水準的主要判斷指標（如圖 2.4-4）。手冊建議主線以外的支線上的銜接匝道－銜接匝道交織路段的密度標準比在主線上的主線－銜接匝道交織路段的密度標準低 25~40%，這主要與駕駛人可以期望的服務水準的概念有關。

表 2.4-4 交織路段服務水準表

服務水準	密度 (D , pcpkmpl)	
	匝道－匝道交織路段	主線－匝道交織路段
A	≤ 6	≤ 8
B	≤ 12	≤ 13
C	≤ 17	≤ 18
D	≤ 22	≤ 25
E	≤ 27	≤ 38
F	> 27	> 38

(4) 交織路段容量

交織路段容量是根據在容量狀態下的密度值來計算的，界定值為對應於服務水準 E 的最大流量；主線－銜接匝道交織路段為 27.0 pcpkmpl、銜接匝道－銜接匝道交織路段為 37.5 pcpkmpl。

2.4.3.2 荷蘭 HCM 交織路段容量

荷蘭容量手冊界定交織段為兩股車流匯流後又分流的路段，匯流點和分流點之間有一定的距離，並以所謂區間線作為分隔兩個目的地的特徵標

線。根據荷蘭公路設計指引 (Motorway Design Directive)，一個交織路段有明確的邊界，其匯流點與分流點之間的最大距離為 1,500 公尺，在邊界範圍內的交織路段容量通常低於基本路段相同車道數預期的容量。

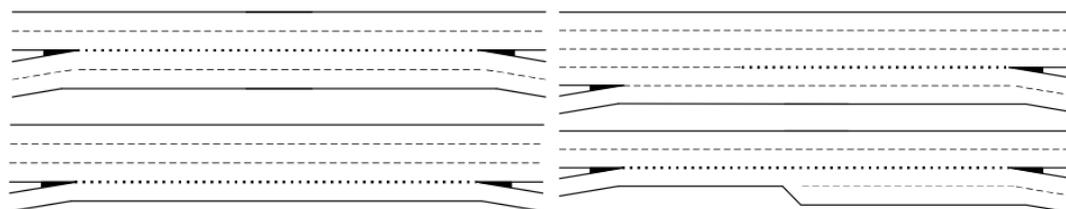
該手冊認為決定交織路段容量的主要因素包括：

- 基本路型
- 交織路段長度
- 重型車組成
- 交織車流由起點到迄點的分布
- 車道間的速度差
- 最高車速
- 速限管制

手冊大都以查表方式界定交織路段容量，交織路段的容量通常是經由比對該路段每一起點流量高於迄點流量的百分比、重車組成條件，以查核預先研訂的參考容量表的方式取得。如果輸入資料與預設流量條件或幾何設計有出入，亦即當交織段的幾何、流量特性與現有參考表預訂值明顯不同（例如交織流量或貨車比例有較大差異）時，則建議改用 FOSIM 模式進行模擬，至於較小的差異，則採用內插法，但仍建議優先採用 FOSIM 模式計算。

1. 交織路型

交織路型與交織起、迄點之間提供交織和非交織車流運行的車道數有關，起點入口、迄點出口的配置位置可以是對稱或不對稱。圖 2.4- 分別顯示兩種對稱和非對稱交織路型，交織路型對必須進行的車道變有重大影響。



(a) 對稱型交織路段

(b) 非對稱型交織路段

圖 2.4- 5 交織路段路型結構範例

2. 交織路段長度

如果交織路段的長度增加，則容量值也會增加，但隨著長度增加，容量增加程度會相對較低，這是由於大多數車道變換動作會發生在交織路段起點處，因此，交織路段迄點額外長度對容量的影響相對有限。

根據荷蘭現行公路設計指引 (ROA 2014)，每一種交織路型的最小交織段長度取決於設計速率（速率愈高，長度愈大）和交織路型是否對稱，愈是不對稱的交織路型，所需最小長度會明顯增加。

3. 重型車組成

交織路段的容量部分取決於重型車的組成比例，當重型車比例增加，則交織路段的容量會下降，荷蘭容量手冊雖有提供不同比例重型車流下的建議容量值，但當重型車比例逾越既定範圍時，則建議用 FOSIM 進行模擬估算容量。

4. 起迄點之間的車流分布

車輛在交織路段起、迄點之間的分布是路段容量的另一個決定性因素，如果在一個交織路段中只有很少車輛需變換車道，則可以達到的容量會遠大於許多車輛在交織路段需變換車道的情況。

5. 路段最大速率與車道速差

手冊假設主線和整個交織路段都可達到相同的最大速率，但實際上，因為每條交織路段的車道的行進車速有時會不相同，故當兩條相鄰車道的速差達 20 kph 以上時，就會對路段的容量產生影響，因此手冊也建議以 FOSIM 模式對速率有偏差的交織路段，以及相鄰車道間的速差進行模擬分析。

在比較對稱型與非對稱型交織路段的容量時，由 FOSIM 模擬顯示，在最大速率 100 kph (設計速率 90 kph) 以上時，兩者容量值幾乎相同；但在 80 kph (設計速率 70 kph) 以下時，兩者有較大差異。

6. 嚴格速限執法

手冊依據 Harms (2006) 的研究發現嚴格執行交織路段限速會降低路段的容量，特別是在交織路段匯合和分出的車道上，此外也會導致適應交通動態變化的能力減少，如果嚴格執行最高速限在 70 ~ 80 kph 時，動態性甚至會低於較高的速限。

2.4.3.3 德國 HBS 2015 分匯流區與交織路段分析

德國早期道路容量研究大都以「確定性」因素為著眼，直到美國發行 HCM 1950 後，德國相關研究才將「隨機性」元素 (stochastic elements) 結合到交通工程實證研究中。1989 年起在德國聯邦運輸部主導下，委託波鴻魯爾大學發展德國公路容量手冊 (HBS) 雛型，於 1993 年完成初稿，並於隔年出版。

德國聯邦運輸部雖早在 1994 年公佈公路容量手冊草案，惟截至 2001 年發表首版容量分析手冊 (HBS) 時，對設施運行品質之評估、設計標準仍依循美國 HCM 界定 A ~ F 六級服務水準概念，而對各同類設施之運行分析方法、評估指標與準則仍未一致。在公路分匯流、交織設施方面，HBS 2001 仍參酌沿用 Westphal (1995) 對限速 80 或 100 kph 高速公路匯流、分流、小型交織路段的容量和特性研究成果，但在之後數年間，已漸有很多涉及探究道路分隔設施運行因素的研究。

德國聯邦政府基於容量手冊用途日益廣泛，為滿足殷切之實務設計與專業研究需要，於是責成聯邦公路研究所 (Bast; 公路設施專案) 與道路運輸研究協會 (FGSV; 設計評估準則) 共同籌劃、編訂，於 2015 年發行新版容量分析手冊 (HBS 2015)，除了廣泛檢討、調整或更改各類設施原方法論外，並將交通設施統編為高速公路、鄉村公路、市區街道三大類，為求各同類設施績效測度指標之一致性，高速公路組成設施仍採飽和度 v/c (如表 2.4- 5 所示)，而鄉村公路、市區街道兩類設施則分別採車流密度與延滯指標 (惟市區街道類之市區幹道、行人設施仍採密度績效)。

表 2.4- 5 HBS 2015 高速公路各級服務水準參數表

服務水準	v/c 比值
A	≤ 0.30
B	≤ 0.55
C	≤ 0.75
D	≤ 0.90
E	≤ 1.00
F	> 1.00

(資料來源：Wu and Lemke, 2016)

HBS 2015 在高速公路部份主要增列容量相關研究成果、界定 30th HV 與尖峰小時需求流量之關連性、修訂流量—速率關係曲線等。

1. 高速公路主線部份

容量與車流特性資訊係參酌 1996~2010 年間有關高速公路容量、流率—速率校估關係等研究成果，根據高速公路佈設路段之坡度、坡長，以及主線單向車道數、速限、座落地區、重車比例等現況資訊，界定公路斷面總容量（流量單位 veh/h）。

2. 高速公路匝道分匯流、交織路段部份

早期德國對高快速公路匝道分、匯流區服務水準是由分析特定關鍵區域的速率、流量、密度來決定，關鍵區域指高速公路分流區、匯流區、交織路段，以及上、下游主線路段等，各區域分開個別分析，其中交織路段長度不超過 500 公尺，否則視為兩獨立之匯、分流區。HBS 2015 發展高速公路新方法論，大幅修改與簡化分、匯流區以及交織路段之服務水準評估程序，並視其為一個「整體路段」，即將主線與各匝道之服務水準指標，代入一特定飽和度公式中，產生單一「合計 (combined) 飽和度指標」。

容量與評估方法之發展係參酌 1995 年對特定速限都會區高速公路之交通調查與分析結果；手冊對出口匝道分流區依減速車道數、主線縮減車道數、出口匝道車道數等幾何配置，共區分 16 種類型，另含主線與出口匝道各為單車道之類型；對入口匝道匯流區依加速車道數、主線附加車道數、入口匝道車道數等幾何配置，共區分 10 種類型，另含主線與入口匝道各為單車道之類型，以及 2 種相鄰匝道間具短交織路段之類型。

HBS 2015 方法論對容量與服務水準評估模式要項如下：

- ✓ 各推估模式採用流量單位為 pc/h，故必須轉換現況混和車種流量 veh/h 為理想狀況下之單一小客車流。
- ✓ 對上述匝道分、匯流區每一類型，分別界定所含匝道之容量、上下游主線總容量，以及估算 v/c 值、匝道可通行最大流量模式之參數。

- ✓ 匝道分流區（或匯流區）服務水準是以合併匝道口下游主線與出口匝道（或匝道口上游主線與入口匝道）的組合 v/c 值方式進行評估。
- ✓ 若預定分流區（或匯流區）之 v/c 值，則在已知出口（或入口）匝道容量、匝道口下游（或上游）主線容量與現況流量下，可推估出口（或入口）匝道提供之最大流量。
- ✓ 依據不同類型之分、匯流區模式所估算之主線流量可能超過手冊所訂之主線容量，故必須進一步對分流匝道口下游（或匯流匝道口上游）主線容量進行檢核。

圖 2.4- 7 為德國 HBS 高速公路分、匯流區、交織路段，以及服務水準量化指標 v/c 比值（Volume / Capacity ratio，簡稱飽和度 v/c 值）示意圖。

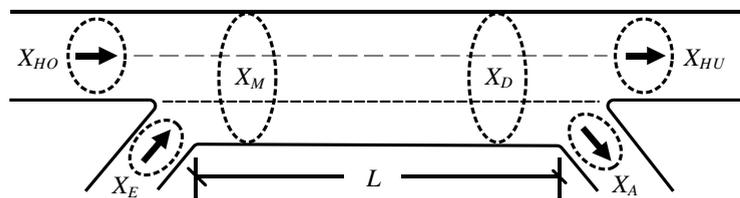


圖 2.4- 7 德國 HBS 2015 高速公路分匯流、交織路段配置 v/c 值示意圖

- 其中 X_{HO} 匯流區主線上游飽和度 v/c 值
 X_{HU} 分流區主線下游飽和度 v/c 值
 X_E 匯流區匝道飽和度 v/c 值
 X_A 分流區匝道飽和度 v/c 值
 X_M 匯流區合計飽和度 v/c 值
 X_D 分流區合計飽和度 v/c 值
 L 主線長度，若小於 500 公尺則視其為交織路段，反之則視其為二獨立匯、分流區

如果已知高速公路主線飽和度（ X_{HO} 與 X_{HU} ）與進出匝道飽和度（ X_E 與 X_A ），則所有分匯流區（包括小型交織路段）的合計飽和度（ X_M 與 X_D ）便可直接以下列公式計算。

1. 高速公路匝道分流區飽和度 X_D 估算如下式，對應高速公路各級服務水準指標參數表 A 即可獲得分流區服務水準。

$$X_D = \sqrt[\alpha]{X_A^\alpha + X_{HU}^\alpha}$$

上式中，計算匝道飽和度 X_A 與主線下游飽和度 X_{HU} 的參數為設施容量與對應之 α 值，HBS 將分流區依匝道幾何線型與主線車道數，將路段分類成 16 種（如圖 2.4- 8），每一類型對應之 α 值、匝道容量、主線容量如表 2.4- 6 所示。HBS 對表中容量估計方式為根據現場流率、速率、密度資料，建立誤差最小之代表性關係，再藉由此關係所估計之最大流率來界定容量。

若已預知分流區的飽和度 ($X_{D,LOS}$)，則高速公路主線最大允許飽和度 (X_{HU}) 和分流區最大允許飽和度 (X_A) 可由下式估算。

$$q_{A,LOS} = C_A \cdot X_{D,LOS} \cdot \sqrt[\alpha]{1 - \left(\frac{q_{HU}}{C_{HU} \cdot X_{D,LOS}} \right)^\alpha}$$

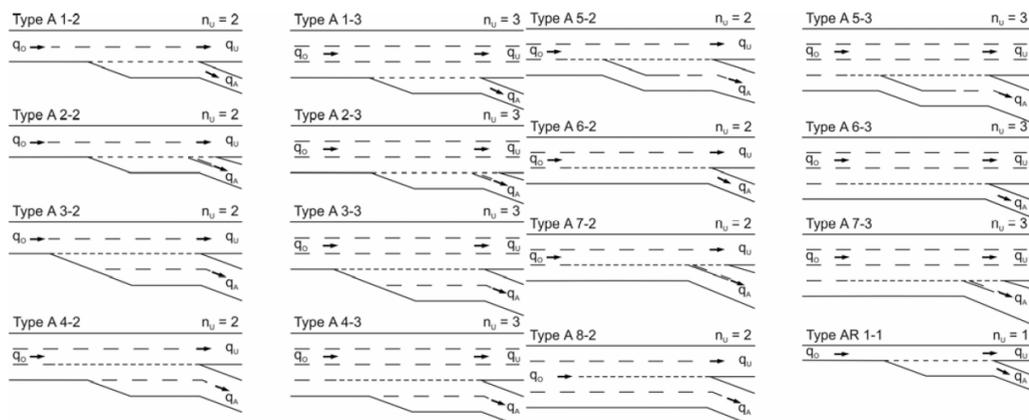


圖 2.4- 8 HBS 2015 分流區幾何型態分類示意圖

表 2.4- 6 HBS 2015 分流區參數對照表

種類	α	匝道容量 C_A (pc/h)	主線容量 C_{HU} (pc/h)
A1-2	1.9	1,800	4,000
A1-3	1.9	1,800	5,800
A2-2	1.2	3,060	4,000
A2-3	1.4	3,060	5,800
A3-2	1.1	3,600	4,000
A3-3	1.3	3,600	5,800
A4-2/A5-2	1.9	3,600	4,000
A4-3/A5-3	2.5	3,600	5,800
A6-2	2.7	2,000	4,000
A6-3	4.0	2,000	5,800
A7-2	2.0	3,060	4,000
A7-3	2.9	3,060	5,800
A8-2	6.0	3,600	4,000
AR1-1	1.2	1,800	2,000

(資料來源：Wu and Lemke, 2016)

2. 高速公路匝道匯流區飽和度 X_M 估算如下式，對應高速公路各級服務水準指標參數表即可獲得分流區服務水準。

$$X_M = \sqrt[\alpha]{X_E^\alpha + X_{HO}^\alpha}$$

上式中，計算匝道飽和度 X_E 與主線上游飽和度 X_{HO} 的參數為設施容量與對應之 α 值，HBS 將分流區依匝道幾何線型與主線車道數，將路段分類成 11 種與 2 種交織類型（如圖 2.4- 9），每一類型對應之 α 值、匝道容量、主線容量如表 2.4- 7 所示。

若已預知匯流區的飽和度 ($X_{M,LOS}$)，則高速公路主線最大允許飽和度 (X_{HO}) 和分流區最大允許飽和度 (X_E) 可由下式估算。

$$q_{E,LOS} = C_E \cdot X_{M,LOS} \cdot \sqrt[\alpha]{1 - \left(\frac{q_{HO}}{C_{HO} \cdot X_{M,LOS}} \right)^\alpha}$$

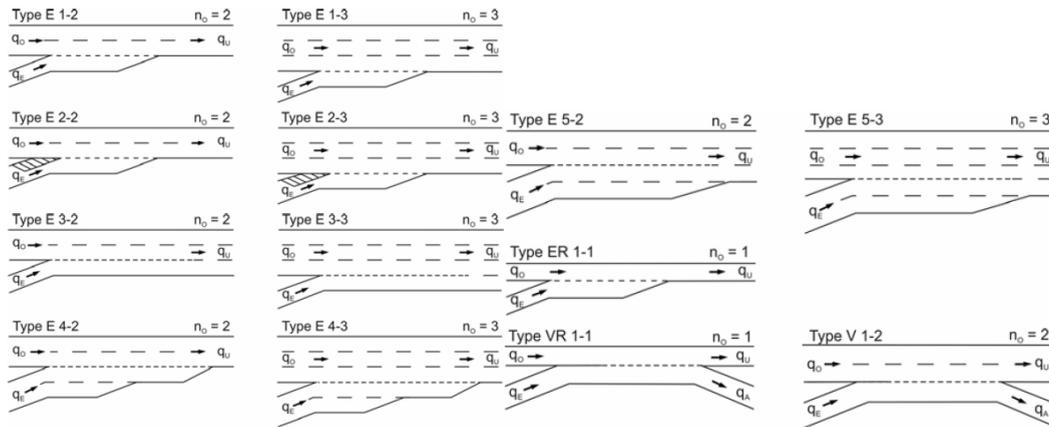


圖 2.4- 9 HBS 2015 匯流與交織路段幾何型態分類示意圖

表 2.4- 7 HBS 2015 匯流與交織路段參數對照表

種類	α	匝道容量 C_E (pc/h)	主線容量 C_{HO} 或 C_{VO} (pc/h)
E1-2/E2-2	1.5	1,800	4,000
E1-3/E2-3	2.1	1,800	5,800
E3-2	2.7	2,000	4,000
E3-3	3.8	2,000	5,800
E4-2	1.05	3,600	4,000
E4-3	1.3	3,600	5,800
E5-2	1.8	3,800	4,000
E5-3	2.4	3,800	5,800
ER1-1	1.2	1,800	2,000
VR1-1	1.4	1,800	2,000
VR1-2	1.5	1,800	4,000

HBS 2015 模型有以下優點：(a) 對所有類型的高速公路匯流、分流和交織路段都使用一致的函數；(b) 對三個關鍵區域（上匝道 / 下匝道、高速公路上下游主線、匯流 / 分流 / 交織運行區）的交通品質評估一步到位；(c) 滿足所有邊界條件；(d) 容易校估。此外，由於流量和容量的單位是小客車/時 (pc/h)，故所有車流量都必須轉換為 pc/h。至於重型車，採用 PCE 值 $E_{HV} = 2.0$ pc/truck，對於上坡環形匝道，則 PCE 值增為 $E_{HV} = 2.5$ pc/truck。

2.4.3.4 瑞典道路容量與服務水準評析程序 (SHCM 2015)

瑞典全國道路的所有投資項目大都必須經過逐步評估，包括可行性、初步設計階段的合法性，以及同步的經濟規劃程序，但對於都市道路專案的容量分析作業則一直沒有嚴正要求。在進行交通規劃設計上，瑞典運輸部 (STA) 過往採用的作業程序是建議在設計年的設計小時應有一個最大的飽和度，這通常是理論上第 30 最大小時的飽和度 0.8；而由於道路類型因素，在道路開放後第 20 年的 AADT 應為 8~15%；道路行駛速率也建議比參考速率（通常是限速）低 10 kph，只是這些建議準則隨時都可能被成本—效益分析 (CBA) 和一些客觀分析推翻。因此，瑞典公路容量和飽和度近年都是使用瑞典公路容量手冊 (SHCM；Trafikverket 2015) 來推估。

在容量手冊中，有關公路匯流區和交織路段的容量計算如下：

1. 進口匝道車道容量

進口匝道容量分析是藉由 Carlsson 等人在 2000 年完成的主要幹道績效評析計畫 (TPMA) 所發展的模式來推估：

$$q_{onar} = q_c - a \times q_{on}$$

其中 q_{onar} 進口匝道下游直進車道容量 (pc/h)

q_c 主線直進車道容量

$$q_c = 4,150 \text{ pc/h (2 直進車道)}$$

$$q_c = 5,600 \text{ pc/h (3 直進車道)}$$

a 0.25 (交流道密度 > 0.33 座/公里)

0.20 (交流道密度 0.20 ~ 0.33 座/公里)

q_{on} 進口匝道流量 (pc/h)

2. 交織路段容量

手冊中的新交織段模式是 Strémgren 在 2011 年蒐集高速公路上、下匝道間的流量資料所發展的，由於交通資料來源與 TPMA 計畫使用的相同，所以估算結果按理應該和舊模式 (Carlsson 等人，2000 年) 的結果相同；當沒有下匝道流量時，新模式也應與進口匝道的容量模式產生相同的結果。

$$C_w = C - 0.0065 \left(\frac{Q_{OFF}}{Q_{ON} + 1} \right)^{0.1} (0.43 \cdot Q_{OFF}) + 1.87 Q_{ON} (1 + (Q_{OFF}^{1.4} \cdot Q_{ON})^{0.3}) + 0.05(L - 250)^{1.5}$$

- 其中 C 主線車道總容量；4,150 pc/h (2 直進車道)
 Q_{ON} 進口匝道流量 (pc/h)
 Q_{OFF} 出口匝道流量 (pc/h)
 L 交織路段長度 (公尺)；當交織路段容量與基本路段相同時，最大交織長度為 1,250 公尺。

2.4.3.5 印尼 IHCM 1993 交織路段分析

印尼將全國道路設施中交織路段分為單一交織與圓環交織兩種，在目前幾何、交通狀況下，使用於此兩種交織段的測度績效如下表 2.4-8。

表 2.4-8 交織段績效指標表

測度績效指標	交織段類型	
	單一交織	圓環
容 量	○	○
飽和度	○	○
延 滯	X	○
等候機率	X	○
旅行速率	○	X
旅行時間	○	X

印尼容量手冊描述方法和發展程序主要是以經驗為基礎，其原因是印尼在交織路段的交通行為，例如讓行規則、車道使用紀律、排隊等候習慣等，很難用解析性行為模式來描述。駕駛人的交通行為與多數西方國家的行為不同，以致無法直接採用西方容量手冊的方法論。手冊中的方法是由 50 年代英國 Wardrop 概念公式改編的，採用 Wardrop 公式的原因是印尼的交織路段運行模式被認為和英國的交織路段在改為越位優先規則 (offside priority rule) 前的運行模式很相似之故。

該方法可估計幾何形狀、環境和交通需求等現況條件對容量和其他相關措施的影響。

1. 容量

考慮到實際現場條件對容量的影響，交織路段的總容量是由一組預定（理想）條件下的基本容量 C_0 和調整係數 F 的乘積來計算。

基本容量 C_0 與實際總容量 C 模式如下：

- 基本容量 $C_0 = 135 W^{1.3}$

$$\left(1 + \frac{W_E}{W}\right)^{1.5} \left(1 - \frac{W\%}{300}\right)^{0.5} \left(\frac{1}{1 + (W/L)^{1.8}}\right) \quad (\text{pc/h})$$

- 實際總容量 $C = C_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{RF}$ (pc/h)

其中 W_E 兩匯流路段平均寬度（公尺）
 W 交織路段寬度（公尺）
 L 交織路段長度（公尺）
 W/L 交織路段寬度與長度比值
 CS 都市規模等級，以都市人口數（百萬 M ）分級

$CS =$ 小型（人口數 $< 0.3 M$ ）

$CS =$ 中型（人口數 $0.3 \sim 1.0 M$ ）

$CS =$ 大型（人口數 $1.0 \sim 3.0 M$ ）

$CS =$ 特大（人口數 $> 3.0 M$ ）

F_{CS} 都市規模調整因素

$F_{CS} = 0.83$ （小型都市，人口數 $< 0.3 M$ ）

$F_{CS} = 0.94$ （中型都市，人口數 $0.3 \sim 1.0 M$ ）

$F_{CS} = 1.00$ （大型都市，人口數 $1.0 \sim 3.0 M$ ）

$F_{CS} = 1.05$ （特大都市，人口數 $> 3.0 M$ ）

RE 道路環境類型，分為商業區、住宅區、限制出入區

SF 路側影響等級，分為低、高兩級

F_{RF} 路側影響調整因數

道路環境類型 <i>RE</i>	路側影響等級 <i>SF</i>	
	低	高
商業區	1.00	0.94
住宅區	1.00	0.97
限制出入區	1.00	1.00

W% 交織流量百分比 (路段交織流量占總流量的比例)

2. 飽和度 *DS*

$$\text{飽和度 } DS = Q_P / C$$

其中 Q_P 交織路段實際總流量 (pcu/h)

C 交織路段實際總容量 (pcu/h)

3. 延滯 *D*

用於圓環交織段；平均延滯 (秒/pcu) 是根據延誤/飽和度經驗曲線來估計，以此法所得的延滯值可與其他設施類型方法算得的延滯和旅行時間值一併使用，以估計網路沿線的旅行時間。

4. 排隊機率 *QP %*

用於圓環交織段；排隊機率 $QP %$ (%) 是以排隊機率/飽和度經驗曲線來估計。

5. 行駛速率 *V*

用於單一交織路段；交織路段行駛速率(km/h)是根據以下經驗公式估算。

$$V = 0.5 V_0 (1 + (1 - DS)^{0.5})$$

其中 V_0 自由車流速率(km/h)，計算式如下：

$$V_0 = 45.2 \left(1 + \frac{HV\%}{100} \right)^{-2.8} \left(1 - \frac{W\%}{300} \right)$$

$HV %$ 重型車百分比 (%)

$W %$ 交織流量比例 (%)

DS 飽和度

6. 旅行時間 *TT*

用於單一交織路段；交織路段旅行時間 TT (秒) 的計算式如下：

$$TT = \frac{3.6L}{V}$$

其中 L 交織路段長度 (公尺)

V 行駛速度 (km/h)

以此法所算得的旅行時間可與其他設施類型方法算得的延滯和旅行時間值一併使用，以估計網路沿線的旅行時間。

2.4.3.6 日本 JHCM 2016 交織路段分析

日本交通工學研究會於 1984 年 (昭和 59 年) 發行了「道路の交通容量」，這是日本首版道路容量手冊，此手冊歷經多次改版，目前為 2016 年 (平成 28 年) 的第 14 版，本期研究雖尚未取得此新版，惟經比對新、舊版之交織路段章節目錄與對應頁數均相同，應可推測日本迄今尚未更新交織路段設施之內容，故仍參考 1984 年首版，並引述本所於民國 79 年 7 月編譯「日本道路容量手冊」中有關交織路段之方法概要。

日本交通工學研究會基於交織路段的車流具有與其他道路路段不同，而為交織路段所獨有的特徵，但因日本當時並未對交織路段進行過深入的調查研究，因此僅就 HCM 的方法檢討調整，作為日本交織區分析方法。

決定交織路段容量的因素包括：(1) 交織流量；(2) 交織路段長度，檢討交織路段的容量時，必須將流入與流出交織路段之流量，區分成交織流量與非交織流量兩類，並分別設定對應的交通量。設定流量後，即可根據下式，估算出考慮交織影響之下的交織路段流量 Q 。

$$Q = Q_{W1} + R \times Q_{W2} + Q_{O1} + Q_{O2}$$

其中 Q_{W1} 交織車流中流量較大者

Q_{W2} 交織車流中流量較小者

Q_{O1} 非交織流量之一

Q_{O2} 非交織流量之二

R 交織影響係數 ($1.0 \leq R \leq 3.0$)

上式流量必須換算成小客車單位 (pcu)，而交織影響係數 R 在交織車流中，係乘上其中流量較小者，主要是因為較小的交織車流受交織影響會

比較大的交織車流為高之故。交織影響係數 R 採計範圍設定為 1.0 ~ 3.0，此範圍值是依據表 2.4-9 與圖 2.4-10 交織流量、交織路段長度及 R 值計算而得。

表 2.4-9 交織車流之速度分類

類別	交織車流之速度 (公里/時)
I	80 以上
II	70 以上 ~ 80 未滿
III	60 ~ 70
IV	50 ~ 60
V	40~50

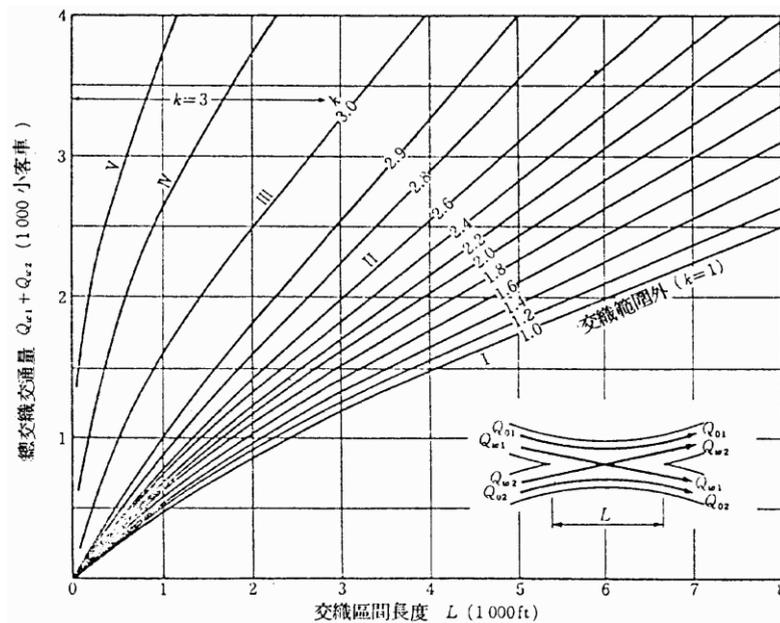


圖 2.4-10 交織流量、交織路段長度與 R 值

在表 2.4-9 中交織車流的速度分為 I ~ V 五個階段，圖 2.4-10 則是分別對應表 2.4-9 中的分類 I ~ V 的 R 值， R 值得估算過成為：事先推估交織車流的速度，再從表 2.4-9 中選擇 I ~ V 類中最接近的速度，最後由圖 2.4-10 找出和所選擇的速度相對應的 R 值。

交織車流的速度，一般都有平均速度值，將此平均速度值填入速度階段分類表即可，日本的方法論雖參考 HCM 所建議採用在該條件下能夠達

到的最高速度（即運行速度），但實務上，此速度的推估相當困難。不過，高速公路匝道部分和都市道路的交織路段之間，速度通常有相當幅度的差異，因此必須對交織路段的條件充份考量。

交織路段必要的車道數 N ，主要亦是利用上列 Q 估算式求出 Q 值，再根據下式計算而得。

$$N = \frac{Q}{C_D}$$

其中 N 交織路段必要的車道數

C_D 流入、流出道路中，每一車道的設計容量（輛/時）

上式中，設計容量 C_D 為交織路段流入或流出道路每一車道的設計容量值，此值可視為與道路每一車道的設計容量相等。但由於 Q 值已經換算為小客車單位，因此在計算設計容量的基本可能容量值時，並不需根據大型車等車種進行調整。此外，交織路段流入道路之車道數既已設定，如果從上列 N 式中所求出的必要車道數，超過該流入道路的合計車道數，則以各流入道路的合計車道數為交織路段的車道數。至於交織路段所需的路段長度，仍由圖 2.4- 10 中設定交織流量的合計值與 R 值得到。

2.4.3.7 美國 HCM 交織區段分析方法之後續研究

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。其中交織路段常因分流緊鄰匯流的特殊結構而導致瓶頸，因此是高速公路設施中最關鍵組成部分之一。

Rouphail 等人在 2021 年針對 A 類交織或匝道交織路型，由地面、空拍攝影，以及各類偵測器進行現調，並蒐集以往 NCHRP 3-75 的交織區資料，這些研究路段長度從 268~2,028 英呎（90~680 公尺），3~5 車道，交通狀況從輕度到中度，流量從 418~1,740 pc/h/ln 不等。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。事實上，這個新架構證明比 HCM 2016 中的模式更簡單、準確。

此研究提供了交織路段速率 (S_o) 和等效基本路段速率 (S_b) 之間的概念關係如下：

$$S_o = S_b - SIW$$

SIW 代表交織亂流的速率阻抗，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
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
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ 為參數	

研究團隊由檢視兩模型的 RMSE 值，認為模型 2 最適合，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。

此系列研究後續針對 B 類及 C 類交織路型提出整合型之修正模型 (Rouphail 等人, 2023)，並提出考慮主線到匝道及匝道到主線的車道變換情形之模式：

$$S_o = S_b - 20 \left(\frac{\frac{V_{RF} \times (LC_{RF} + 1)}{N_{WRF} + 1} + \frac{V_{rf} \times (LC_{FR} + 1)}{N_{WFR} + 1}}{N^{10.19}} \right)^{0.44} \times \left(\frac{V}{N} - 500 \right) \times \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.79}$$

其中新增參數包括

LC_{RF} 匝道到主線最小車道變換次數

LC_{FR} 主線到匝道最小車道變換次數

N_{WRF} 匝道到主線只需變換 0 或 1 次車道之車道數

N_{WFR} 主線到匝道只需變換 0 或 1 次車道之車道數

其餘變數定義與 Rouphail 等人 (2021) 之模式相同。

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 A 類交織及 B、C 類交織提出模型如下：

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

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

變數定義與前述大致相同，唯一改變是將交織路段車道數之變數調整為 N_{I-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)。

該研究提出之容量估算模型：

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

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)。透過求解上述公式取得容量發生時之速率 $S_b(C_W)$ 以及臨界密度取 35 veh/mi/ln 來計算交織路段容量，因速率的計算中需要先求基本路段對應速率 S_b ，但其計算過程又需要容量數值，因此需要求解一項一元二次方程式，計算過程頗為繁瑣，細節不在此敘述。

2.5 交織路段方法論評析

一、HCM 2010/2016 交織分析法之應用

HCM 2010 的「新」交織方法論應該會與之前各版一樣，當在各地全面推行時，可能很快就會發現諸多不足之處。此法的優點是有一個呈現近年交織路段運行的資料基礎，與以前的方法相比，它還可提供一些更合邏輯的方法來界定交織路段的容量。然而，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，故無論這些交織路型結構多麼罕見，目前此法都可進行分析。

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現對一些重要參數的敏感性(Rouphai et al., 2021)。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，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。

此外，有些研究發現速率和容量模式並不準確；Skabardonis 和 Mauch (2015) 從加州 93 個調查地點蒐集的現場資料顯示 HCM 會高估平衡的交

織路段密度達 8%，高估不平衡的交織路段密度達 24%。另外，Skabardonis 與 Papadimitriou 等人 (2016) 藉助藍牙和視頻資料顯示，HCM 高估預測密度平均達 13.4%；他們利用從希臘雅典蒐集的資料又做了一項後續研究，顯示在較高流量比(VR)之下，HCM 會高估密度達 17%；這些研究的結論是 HCM 2016 會低估交織路段的容量，特別是在 VR 較高的情況下。

造成這些差異的原因可能是 HCM 2016 過分強調 VR 的影響，且採用一個偏高的高速公路基本路段容量值。Kondyli 與 St. George 等人 (2017) 由實地觀察容量的研究顯示高速公路基本容量明顯低於 HCM 建議值；此外，Lertworawanich 和 Elefteriadou (2001；2003；2007) 的一些研究對使用 43 pc/mi/ln 的密度估計交織路段容量的假設也提出質疑，他們發現這種密度假設在文獻中沒有依據，也沒有驗證資料。

HCM 2016 的速率模式也遭到批評，Zhou 等人 (2015) 取現場資料比對發現 HCM 預測的交織速率在某些情況下的誤差高達 40%，而且在某些情況下，預測的交織速率比非交織速率高，與直覺完全不符。另外，由 Ahmed 與 Xu 等人 (2018) 的研究，發現 HCM 估計速率對交織路段長度的敏感性很低；當路段長度增加 4 倍時，即使在高交織需求下，空間平均速率只增加 7%，認為這是因為非交織車輛換道模式未將車道長度納入解釋變數之故。

綜合以上文獻顯示 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。此外，這些預測模式對調查地點幾何形式並不像現場資料顯示的那麼敏感。

二、其他國家分析方法之評析

前節回顧了若干國家公路容量手冊或文獻關於交織路段的內容，本節總結比較回顧文獻的方法論及服務水準指標。

除日本沿用美國方法論，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。

表 2.5-1 將整理各文獻所使用到變數，對文獻分析方法使用各變數與否進行比較。

檢視前節各國容量研究，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。

在方法論方面，荷蘭公路容量手冊則採查表法與模擬軟體並用的方式，德國公路容量手冊 (HBS 2015) 則提出交織路段各行車方向流量的飽和度的觀念，並以路段匯入、分出點的組合飽和度來評估交織運行品質，完全不同於其他國家的方法論。此外，NCHRP 07-26 (Schroeder et al., 2023) 的研究指出美國 HCM 2016 方法的若干缺陷，並提出新的模式來簡化分析步驟，提升模式預測的準確度，其分析法雖尚未納入美國 HCM，本計畫也將其納入探討。

表 2.5-1 為本計畫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。

表 2.5-1 各國交織路段分析方法論變數對照概要表

項目	台灣	美國	美國	美國	印尼	瑞典	德國	荷蘭	韓國	日本
	THCM	HCM	Rouphail	NCHRP 07-26	IHCM	SHCM	HBS	DHCM	KHCM	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		●	●	●					●	

三、交織路段車流特性認知與啟發

1. 運行概念

- 在相同流量、車道數、路段長度之下，交織路段的平均速率可能比高速公路基本路段低，速率差異是由交織換道所致。
- 除交織路段類型、路段長度外，亂流影響可能對該路段的交織需求流量敏感，如果交織路段的交織流量接近 0，那麼該路段運行狀況、平均速率、甚至車道容量應該很近似高速公路基本路段。

2. 路型特徵

- 主要與交織路段的長度、寬度(車道數)、匯入路段幾何設計有關。

- 較長交織路段會比較短交織路段的平均速率高，故交織路段長度（實體長度 L_B 或較短長度 L_S ）愈大，對運行車流的平均速率、車道容量的影響應該愈小。
- 在既有路型之下，具較多車道數的路段可同時為交織和非交織車輛提供更多機動換道空間、使用直通車道的機會來避開衝突；反之，則容易導致更多亂流。因此，較大的路段寬度對運行車流的平均速率、車道容量的影響應該愈小。
- 環道與匝道因匯入主線路段的幾何設計導致臨界速率不同，與主線交織車流的速率落差程度不同，故對交織路段運行車流的平均速率、車道容量所造成的影響可能會有差異。

3. 流量特性

- 交織路段的交織流量與平均速率會有不同的關係，流量很低時，該路段平均速率應會與同等高速公路基本路段相似，在此情況下，即使有相對較多的交織車輛也可在有足夠間隙下，完成換道交織而不需大幅降低速率；但當流量增加時，即使是少量的交織車輛也會導致明顯速率下降。
- 交織流量中的起、迄點對運行車流的影響應不會相同，通常車流由高速公路匝道匯入與主線分出的速率可能受匝道口設計限制而有落差，匝道到主線的流動可能比主線到匝道的流動對交織路段速率的衝擊更大。

2.6 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，本計畫以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。

HCM7 (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 臨界密度(Density at capacity)也有過高的情況，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。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，後續在發展模型時需要進行調整。

第三章 現場調查工作及車流特性分析

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數百公尺以上，調查範圍較大，且現場不容易布設攝影機，因此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，先期規劃中亦已驗證其可行性。以下將說明現場調查之規劃、調查工作之執行、資料整理方式、車流特性資料分析進度，以及後續工作。

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 五個區域，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。

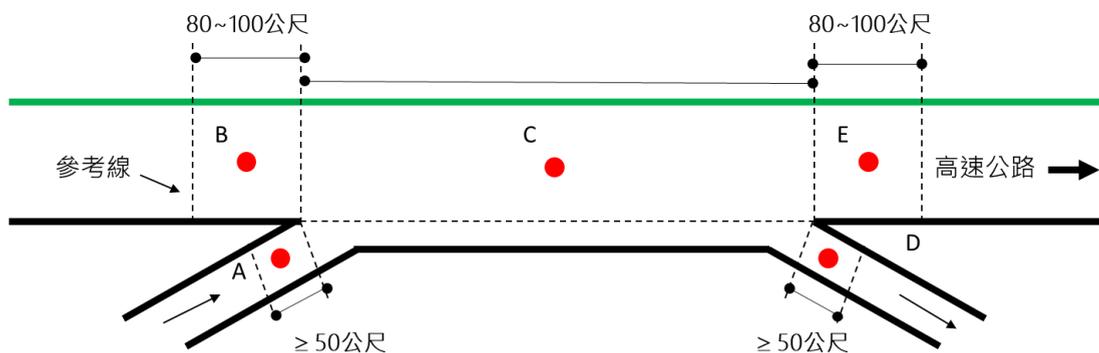


圖 3.1- 1 交織區調查路段示意圖

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。另外，為進一步了解交織路段車流交匯之特性，在現場調查情況允許下，將蒐集 A 路段至 E 路段以及 B 路段至 D 路段之車流量以及其車道變換之位置及頻次。

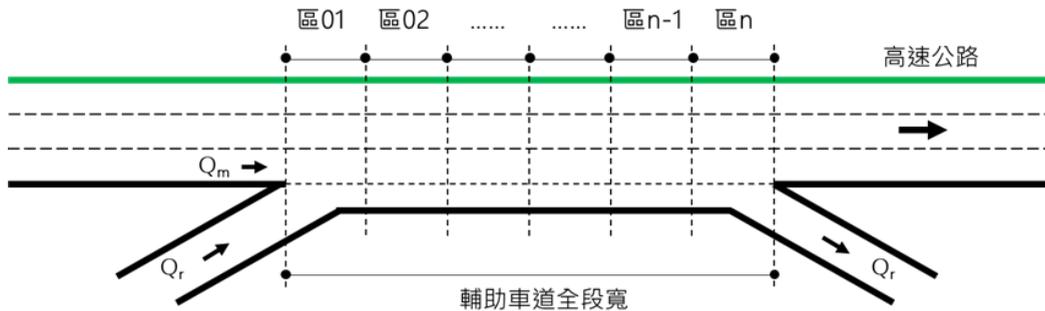


圖 3.1-2 速率、密度、車道變換區間示意圖

透過無人機俯視拍攝及後續影像辨識，能取得不同空間下更詳細的車流微觀資訊如車道變換等，這類資訊是 VD 與 ETC 資料所無法獲得的。現場調查之目標為能夠完成長達一小時之無人機拍攝任務，以利進行完整的交織路段範圍以利進行車流軌跡之辨識。本節將說明無人機拍攝任務之事前規劃，包含拍攝地點篩選準則及詳細任務流程。

3.1.2 調查地點之選擇原則

本期研究將對 4 處路段進行現場調查，調查地點除了需要符合典型交織路段幾何條件外，尚需要考慮車流情況，需要有交織車流量大、發生壅塞的情況。車流情況以下 3 點條件作為原則：

1. 車流壅塞：以 VD 資料確認有壅塞情況發生，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/小時至少 30 分鐘以上；
2. 交織車流量大 (ETC)：以 ETC 之 M06A 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 V_{FR} 與 V_{RF} 相加超過 1,200 車輛數/小時；
3. 交織車流量大 (VD)：交織路段之進口匝道流率和出口匝道流率相加超過 1,200 車輛數/小時。

條件 2 及條件 3 之門檻值係為執行計算時所採用的經驗法則，兩者的評估目標相同，條件 2 的計算準確但較複雜，且需要下載並處理 M06A 資料，適合用於系統交流道或 V_{RR} 不為 0 時所採用；條件 3 計算較簡單，可以直接由 VD 資料取得，但當系統交流道或該路段之 V_{RR} 遠超過 0 時，則不合適，服務區範圍無 ETC 門架也可以採用條件 3 作為評估方式。

由於本計畫案先期研究將交織路段依幾何類型區分為典型、非典型，另又牽涉是否包含系統交流道，篩選地點所需條件較為複雜；各交織路段是否有壅塞情形、壅塞發生時間及該地點交織車流情況等資訊，也都是地點選擇及空拍任務規劃上需要事前調查清楚之事項。為此，本計畫使用 Excel 建立一套針對交織路段分析使用的儀錶板工具，如圖 3.1-3，提供研究所需資料更快速、方便的支援。



圖 3.1-3 儀錶板介面示意圖

本工具先透過爬蟲程式下載交織路段對應之 VD、ETC 資料，經資料處理成適當格式後存於後端資料庫。儀錶板運作原理為在選定的交織路段、方向、日期後，藉由連結建立好的偵測器 ID 對應表於資料庫中選取相對應路徑檔案，輸出車流、幾何、壅塞資訊及是否適合作為研究資料的檢核結果。在介面中可讓使用者判讀交織車流情形、壅塞資訊及資料品質檢核，作為篩選調查地點的依據。另外，儀錶板也能輸出選取地點當日之 VD、ETC 資料，以利後續模式建立使用。

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，整理資訊如圖 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 內壢中壢服務區路段拍攝資訊整理

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位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

本期計畫於 112 年 4 月 29 日、5 月 24 日、6 月 20 日、6 月 25 日及 9 月 5 日，分別對國 3 南下烏日~中投、國 1 北上內壢~中壢服務區、國 1 北

上豐原~台中系統及國 3 北上新竹系統~寶山進行四個交織路段拍攝作業。5 月 24 日國 1 北上內壢~中壢服務區拍攝遇天氣狀況不佳，因此在 6 月 20 日時重新進行現場拍攝，其拍攝時長如表 3.2-1 所示。表 3.2-2 拍攝地點幾何資訊與圖 3.2-1 則分別是 4 個調查地點的車道數、匝道等路型幾何資訊及示意圖。

表 3.2-1 拍攝地點時程整理

國道	地點	日期	壅塞熱時	調查時間	拍攝時長
國 3 南下	烏日~中投	04/29(六)	09:50~11:40	09:03~12:30	121 分
國 1 北上	內壢~中壢 服務區	06/20(二)	16:30~17:40	15:53~18:29	北:137 分 南:101 分
國 1 北上	豐原~臺中 系統	06/25(日)	13:30~17:30	14:39~18:16	北:136 分 南:150 分
國 3 北上	新竹系統~ 寶山	09/05(二)	07:10~08:35	07:45~09:29	北：90 分 南：78 分

表 3.2-2 拍攝地點幾何資訊

國道	地點	L _s (m)	車道數	上游匝道 車道數	下游匝道 車道數	輔助車道數
國 3 南下	烏日~中投	630	4	2	1	1
國 1 北上	內壢~中壢 服務區	1,300	4	1	1	1
國 1 北上	豐原~臺中 系統	1,360	4	1	2	1
國 3 北上	新竹系統~ 寶山	870	4	2	1	1

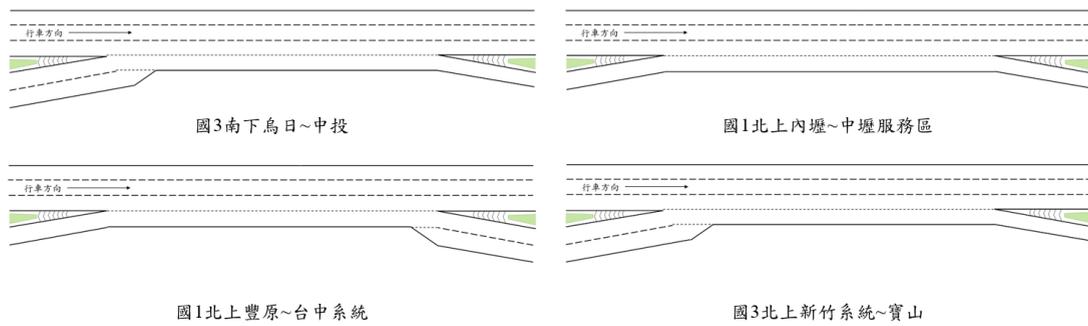


圖 3.2-1 現場調查地點之幾何示意圖

1. 國 3 南下烏日~中投之調查情況

由於拍攝規劃流程向塔台申請無人機飛行高度之空域較高，拍攝國 3 南下烏日~中投交織路段過程中有多次被告知有航班經過，無人機需在指定時間內降落，導致連續拍攝受到中斷，時間上有影片空缺之狀況，飛行紀錄表如表 3.2- 3 所示，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 121 分鐘。拍攝交織區畫面如圖 3.2- 2 所示。

表 3.2- 3 國 3 南下烏日~中投交織路段飛行紀錄表

趟次	無人機 編號	起飛	正式 開拍	開始 下降	觸地	空缺 時長	重疊 時長	有效 時長
1	1	9:03:08	9:05:24	9:16:26	9:19:59	00:49:19	-	0:11:02
2	2	10:03:13	10:05:45	10:20:14	10:24:09	00:11:57	-	0:14:29
3	1	10:29:42	10:32:11	10:47:21	10:50:53	00:11:04	-	0:15:10
4	2	10:55:53	10:58:25	11:13:59	11:17:46	-	00:00:07	0:15:34
5	1	11:11:37	11:13:52	11:28:23	11:31:55	-	00:00:07	0:14:31
6	2	11:25:47	11:28:16	11:43:59	11:48:06	-	00:00:06	0:15:43
7	1	11:41:36	11:43:53	12:02:20	12:05:57	-	00:00:05	0:18:27
8	2	11:59:42	12:02:15	12:19:02	12:23:09	-	-	0:16:47
Total								2:01:43



←國道3號北向
207烏日交流道

→國道3號南向
209中投交流道

圖 3.2- 2 國 3 南下烏日~中投交織路段拍攝畫面

拍攝完成後將當日無人機每趟飛行時間與國 3 南下烏日~中投交織路段主線之 VD 資料進行比對，如圖 3.2- 3 所示，第 2 與 3 趟次及第 3 與 4 趟次中間有受到塔台管制影響而中斷，第 4 趟次至第 8 趟次則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。

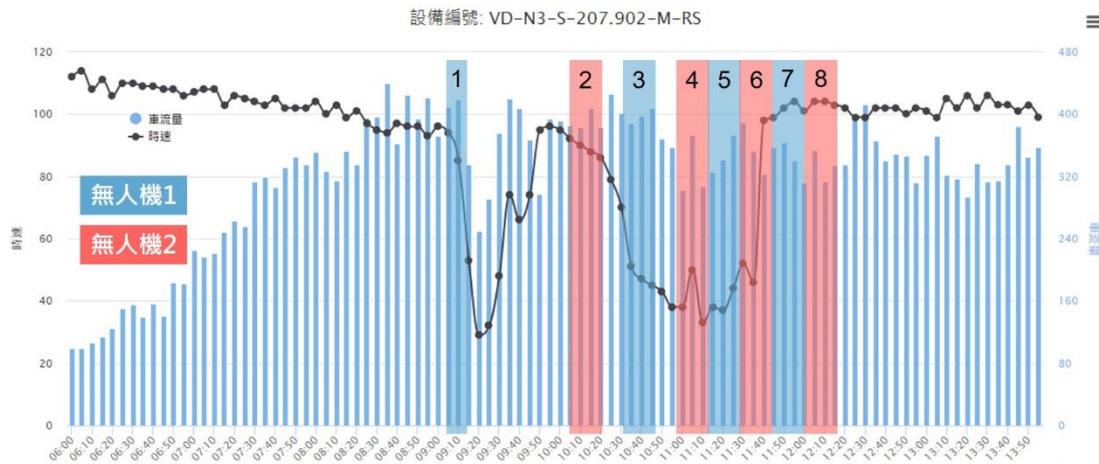


圖 3.2- 3 國 3 南下烏日~中投 無人機飛行與 VD 資料對照

2. 國 1 北上內壢~中壢服務區之調查情況

國 1 北上內壢~中壢服務區因交織路段大於 760 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，接著將敘述 6 月 20 日拍攝結果。當日北側影片有效時長為 136 分鐘，南側因無人機第三趟次飛行時遇到訊號異常自動返航，無拍攝到研究所需之影像，最終影片有效時長為 101 分鐘，如表 3.2- 4 所示。拍攝交織區畫面如圖 3.2- 4 所示。

表 3.2- 4 北上內壢~中壢服務區交織路段飛行紀錄表

方向	趟次	無人機 編號	起飛	正式 開拍	開始 下降	觸地	空缺 時長	重疊 時長	有效 時長
北側	1	1	15:53:02	15:55:26	16:06:36	16:11:47	-	00:00:04	0:11:10
	2	2	16:02:51	16:06:32	16:16:23	16:20:57	-	00:00:04	0:09:51
	3	1	16:14:05	16:16:19	16:26:10	16:32:09	00:02:02	-	0:09:51
	4	2	16:23:52	16:28:12	16:40:20	16:44:35	-	00:00:23	0:12:08
	5	1	16:37:45	16:39:57	16:52:43	16:57:50	00:11:07	-	0:12:46
	6	2	17:00:09	17:03:50	17:14:26	17:19:22	-	00:00:29	0:10:03
	7	1	17:11:37	17:13:57	17:24:40	17:29:22	-	00:00:28	0:10:43
	8	2	17:21:14	17:24:12	17:38:59	17:43:15	-	00:00:19	0:14:47
	9	1	17:36:28	17:38:40	17:54:11	17:57:40	-	00:00:29	0:15:31
	10	2	17:50:27	17:53:42	18:07:09	18:11:30	-	00:00:44	0:13:27
	11	1	18:04:16	18:06:25	18:23:06	18:29:38	-	-	0:16:41
	Total								2:16:58
南側	1	1	15:55:10	15:57:32	16:01:52	16:12:43	00:08:00	-	0:04:20
	2	2	16:06:57	16:09:52	16:22:16	16:26:07	-	00:00:09	0:12:24
	3	1	16:19:37	16:22:07	訊號異常		-	-	-
	4	2	16:35:04	16:37:34	16:51:37	16:56:19	00:10:54	-	0:14:03
	5	1	17:00:08	17:02:31	17:15:58	18:20:00	-	00:00:03	0:13:27
	6	2	17:13:22	17:15:55	17:33:26	17:37:41	-	00:00:06	0:17:31
	7	1	17:30:38	17:33:20	17:46:10	17:30:41	00:04:39	-	0:12:50
	8	2	17:48:05	17:50:49	18:07:32	18:11:38	-	00:00:04	0:16:43
	9	1	18:04:36	18:07:36	18:17:30	18:21:11	-	-	0:09:54
	Total								1:41:12



←國道1號北向
55中壢服務區

國道1號南向→
57內壢交流道

圖 3.2- 4 國 1 北上內壢~中壢服務區交織路段拍攝畫面

由於該日拍攝當下由無人機遙控器及高速公路 1968 之畫面判斷在 16:50 左右尚無壅塞情形發生，因此北側第 5 與 6 趟次、南側第 4 與 5 趟次中間有停止拍攝以減少電池電量之耗損，如圖 3.2- 5 及圖 3.2- 6 所示。

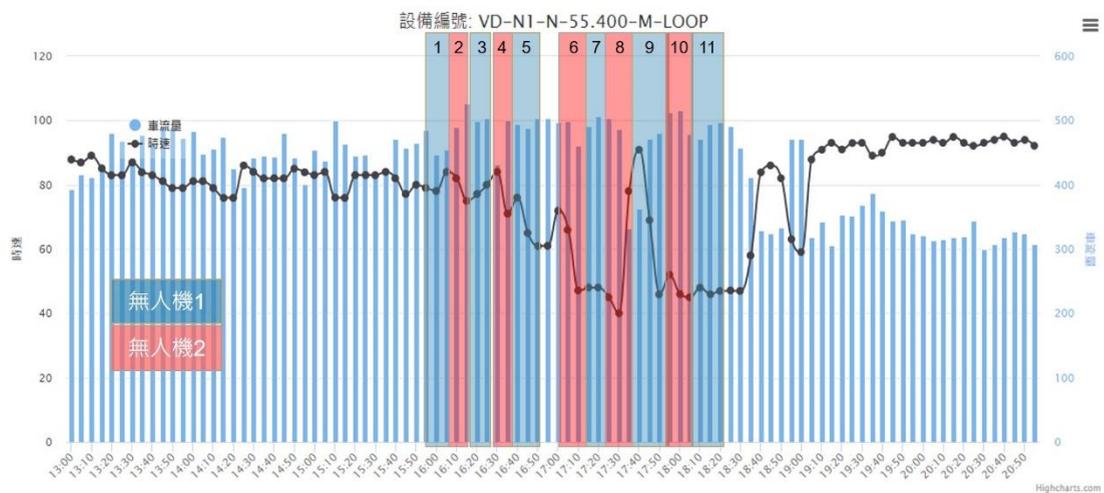


圖 3.2- 5 國 1 北上內壢~中壢服務區-北側無人機飛行與 VD 資料對照

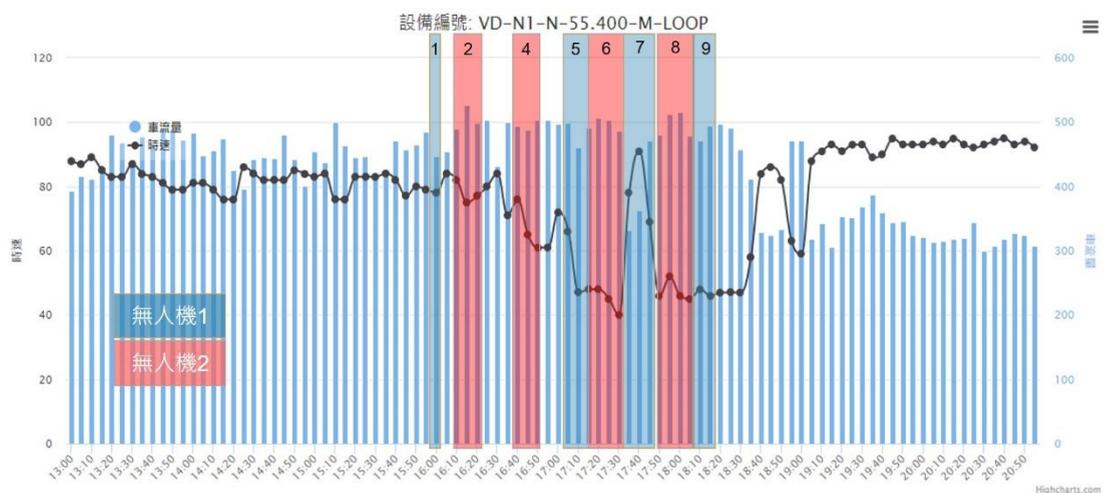


圖 3.2- 6 國 1 北上內壢~中壢服務區-南側無人機飛行與 VD 資料對照

3. 國 1 北上豐原~臺中系統之調查情況

國 1 北上豐原~臺中系統因交織路段大於 760 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。當日北側拍攝過程有些許狀況，影片有效時長為 136 分鐘，南側影片有效時長為 150 分鐘，如表 3.2- 5 拍攝交織區畫面如圖 3.2- 7 所示。

表 3.2- 5 國 1 北上豐原~臺中系統交織路段飛行紀錄表

方向	趟次	無人機 編號	起飛	正式 開拍	開始 下降	觸地	空缺 時長	重疊 時長	有效 時長
北側	1	1	14:39:48	14:43:36	14:58:26	15:03:48	-	-	0:14:50
	2	2	14:56:52	14:59:20	15:16:00	15:20:24	00:00:54	-	0:16:40
	3	1	-	-	-	-	-	-	0:00:00
	4	2	15:30:34	15:32:55	15:51:54	15:55:40	00:16:55	-	0:18:59
	5	1	-	-	-	-	-	-	0:00:00
	6	2	16:44:59	16:47:20	17:07:27	17:11:19	00:55:26	-	0:20:07
	7	1	17:03:40	17:07:19	17:19:56	17:24:41	-	00:00:08	0:12:37
	8	2	17:17:23	17:19:50	17:39:14	17:43:03	-	00:00:06	0:19:24
	9	1	17:35:33	17:39:08	17:54:30	17:59:17	-	00:00:06	0:15:22
	10	2	17:52:02	17:54:25	18:12:53	18:16:46	-	00:00:05	0:18:28
	Total								2:16:27
南側	1	1	14:40:53	14:46:11	15:01:22	15:05:34	-	-	0:15:11
	2	2	14:57:26	15:01:08	15:15:50	15:20:29	-	00:00:14	0:14:42
	3	1	15:13:03	15:15:46	15:32:15	15:36:26	-	00:00:04	0:16:29
	4	2	15:29:31	15:32:10	15:47:26	15:51:51	-	00:00:05	0:15:16
	5	1	15:44:40	15:47:17	16:03:19	16:07:20	-	00:00:09	0:16:02
	6	2	16:45:14	16:47:45	17:02:30	17:06:30	00:44:26	-	0:14:45
	7	1	16:59:42	17:02:23	17:18:32	17:22:37	-	00:00:07	0:16:09
	8	2	17:15:44	17:18:21	17:35:42	17:39:42	-	00:00:11	0:17:21
	9	1	17:32:43	17:35:33	17:52:03	17:56:32	-	00:00:09	0:16:30
	10	2	17:49:23	17:51:52	18:00:16	18:05:11	-	00:00:11	0:08:24
	Total								2:30:49



←國道1號南向
165豐原交流道

國道1號北向→
168台中系統

圖 3.2- 7 國 1 北上豐原~臺中系統交織路段拍攝畫面

由於該日拍攝當下車流已進入壅塞狀況，欲拍攝車流紓解之過程，因此北側第 5 與 6 趟次、南側第 5 與 6 趟次中間有停止拍攝以減少電池電量之耗損，如圖 3.2- 8 及圖 3.2- 9 所示。而北側第 3 趟次及第 5 趟次因故未能成功儲存影像，因兩段影片皆為車流已進入完全壅塞之情況，對後續分析影響不大。北側第 1 與 2 趟次無人機有連續拍攝到車流壅塞之影像，第 6 與 7 趟次無人機有連續拍攝到車流紓解之影像；南側 1 至 5 趟次無人機有連續拍攝到車流壅塞之影像，第 6 與 7 趟次有連續拍攝到車流紓解之影像，因此本計畫初步判斷此次拍攝已符合車流特性分析之需求。

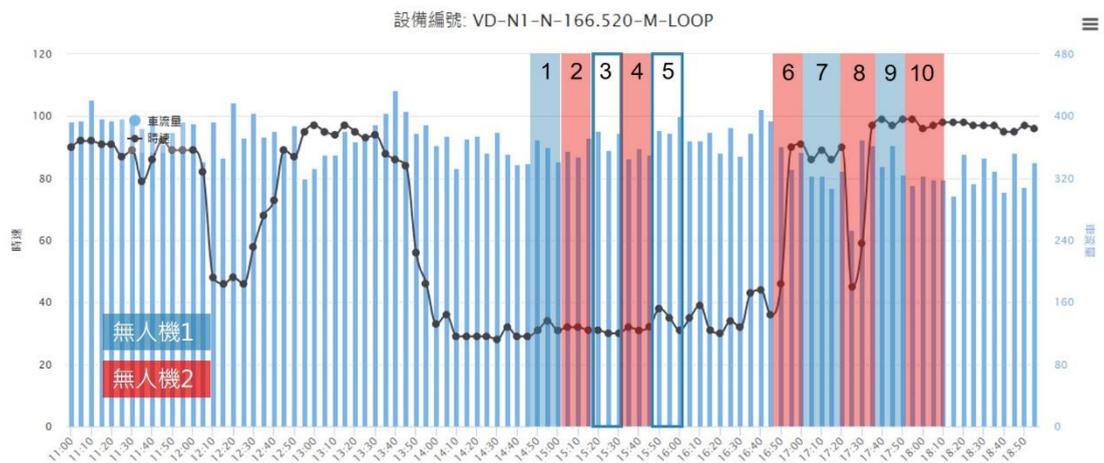


圖 3.2- 8 國 1 北上豐原~臺中系統-北側無人機飛行與 VD 資料對照

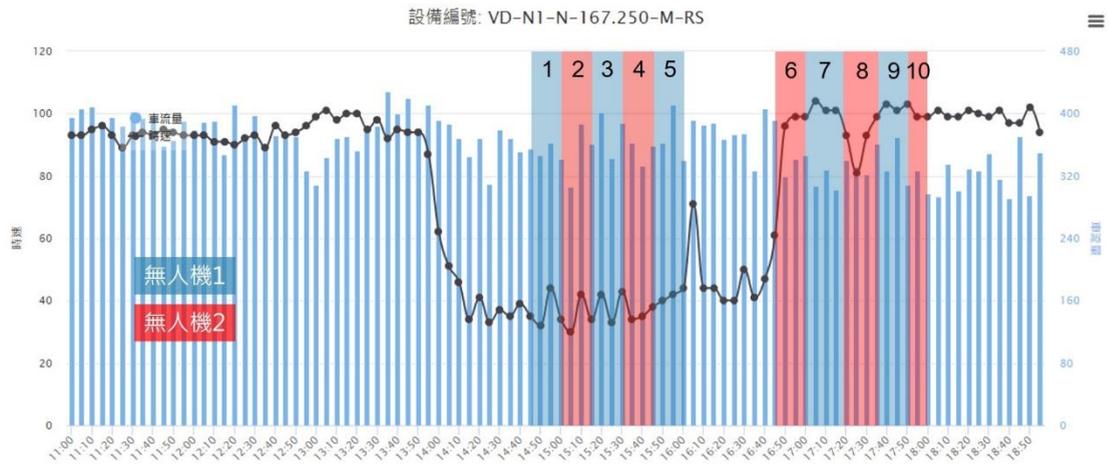


圖 3.2-9 國 1 北上豐原~台中系統-南側無人機飛行與 VD 資料對照

4. 國 3 北上新竹系統~寶山之調查情況

國 3 北上新竹系統~寶山因交織路段大於 760 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。拍攝當日正逢我國國軍執行特殊飛行任務，因此塔台於當日上午 6:55 至 7:45 之間及上午 9:30 後皆禁止無人機升空，導致本次拍攝時長較短，北側影片有效時長為 90 分鐘，南側影片有效時長為 78 分鐘，如表 3.2-6，拍攝交織區畫面如圖 3.2-10 所示。

表 3.2- 6 國 3 新竹系統~寶山交織路段飛行紀錄表

方向	趟次	無人機 編號	起飛	正式 開拍	開始 下降	觸地	空缺 時長	重疊 時長	有效 時長
北側	1	1	07:46:51	07:50:01	08:04:45	08:08:21	-	-	0:14:44
	2	2	08:02:02	08:04:36	08:07:19	08:10:08	-	00:00:09	0:02:23
	3	1	08:12:15	08:14:16	08:30:38	08:33:55	00:06:47	-	0:16:32
	4	2	08:28:11	08:30:16	08:44:58	09:08:44	-	00:00:11	0:14:42
	5	1	08:42:56	08:44:48	08:58:51	09:02:02	-	00:00:10	0:14:03
	6	2	08:56:34	08:58:31	09:12:26	09:15:58	-	00:00:20	0:14:02
	7	1	09:10:27	09:12:25	09:26:40	09:29:30	-	00:00:08	0:14:15
	Total								01:30:03
南側	1	1	07:50:04	07:53:25	08:07:50	08:10:55	-	-	00:14:25
	2	2	08:12:29	08:15:43	08:29:51	08:33:22	-	00:07:53	00:14:14
	3	1	08:27:07	08:29:39	08:48:16	08:52:09	00:00:12	-	00:18:37
	4	2	08:44:40	08:49:16	09:04:56	09:08:44	-	00:01:00	00:15:40
	5	1	09:02:01	09:04:16	09:10:04	-	00:00:40	-	00:05:48
	5	1	-	09:11:24	09:21:50	09:25:37	-	00:01:20	00:10:26
	Total								01:18:18

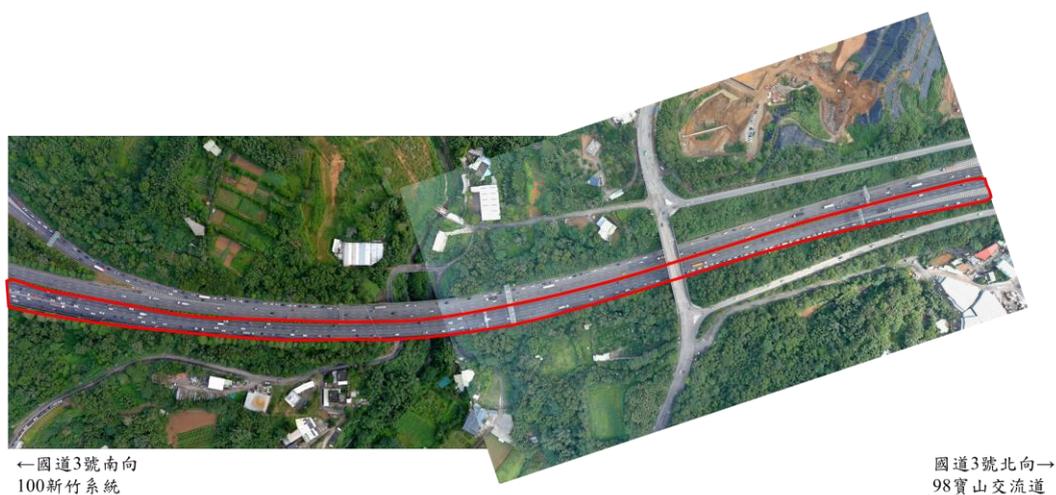


圖 3.2- 10 國 3 北上新竹系統~寶山交織路段拍攝畫面

該日上午 7:45 後塔台允許升空拍攝時，輔助車道車流已進入壅塞狀況。拍攝過程中，北側第 2 架次因訊號異常自動返航；南側第 1 架次不明原因自動返航，第 3 架次因電量不足自動返航，第 5 架次畫面因無人機拍攝畫

面偏移而導致拍攝畫面不連續。惟拍攝開始時已進入壅塞狀況，且北側第 3 架次及南側第 2 架次皆有拍到輔助車道車流疏散過程，故本計畫評估本次拍攝已符合車流特性分析之需求。

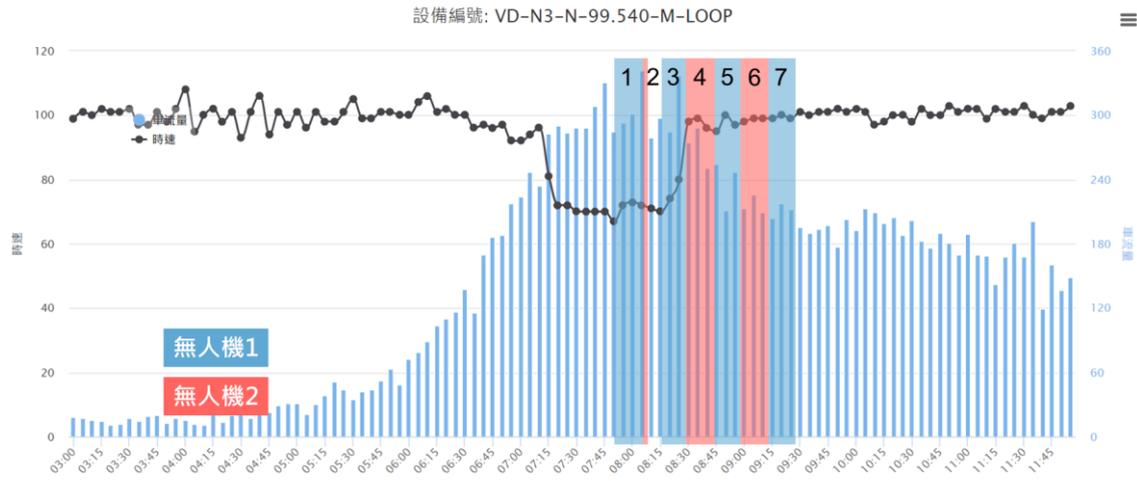


圖 3.2- 11 國 3 北上新竹系統~寶山北側無人機飛行與 VD 資料對照

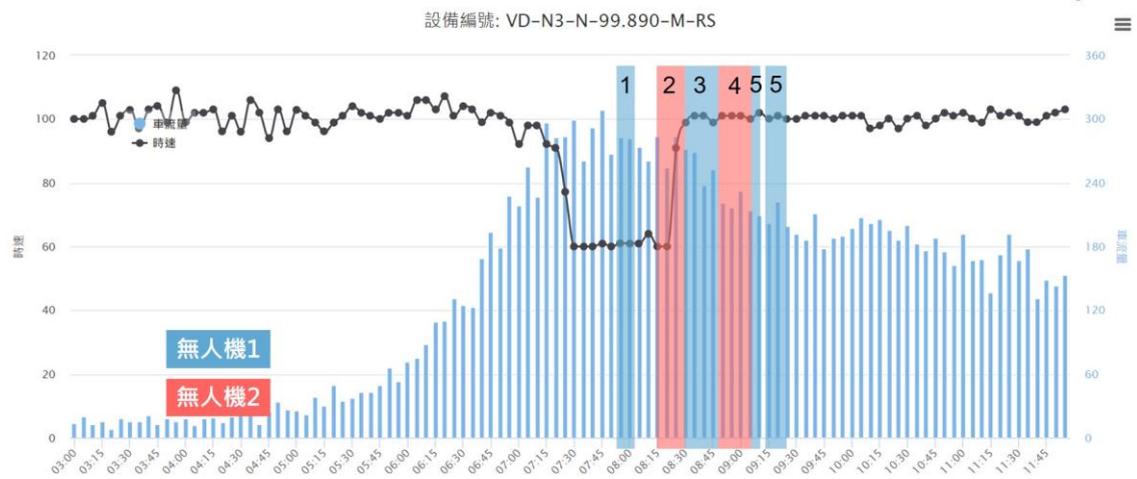


圖 3.2- 12 國 3 北上新竹系統~寶山南側無人機飛行與 VD 資料對照

3.3 車流特性資料整理方式

3.3.1 影像辨識及車流軌跡產出

本部分將針對無人機空拍調查後所蒐集的拍攝畫面說明影片拍攝完畢後，記錄資料以及資料整理的方式。本計畫採用電腦視覺方式，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。

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。

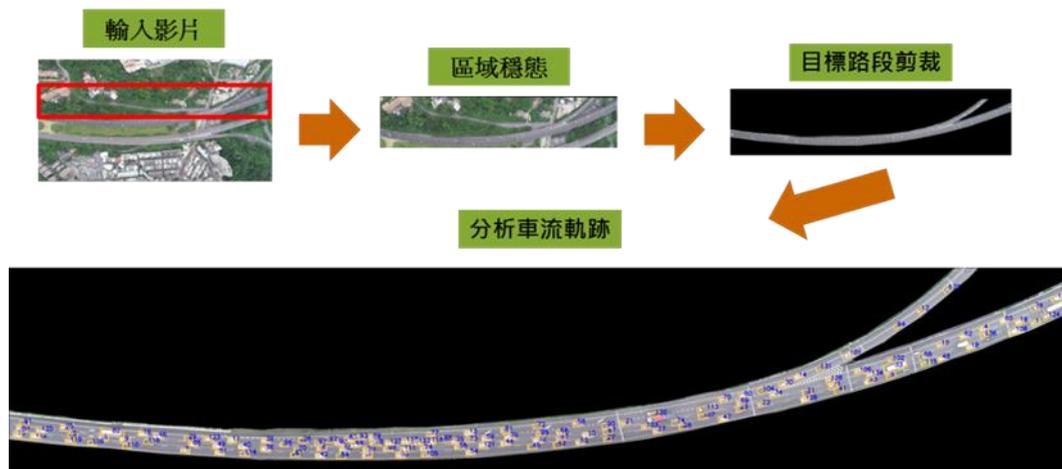


圖 3.3-1 影像辨識分析流程圖

影像辨識後可將每部影片辨識之車輛之時空產出，本計畫為了能夠蒐集長時間不受無人機電量限制之車流影像資料，以無人機接續拍攝的方式進行影像蒐集，再透過影像辨識可得到多部軌跡資料。透過資料合併的方式可將連續之軌跡資料串聯，以時空圖呈現可得到一無空缺時間之軌跡資料，如圖 3.3-2 所示。

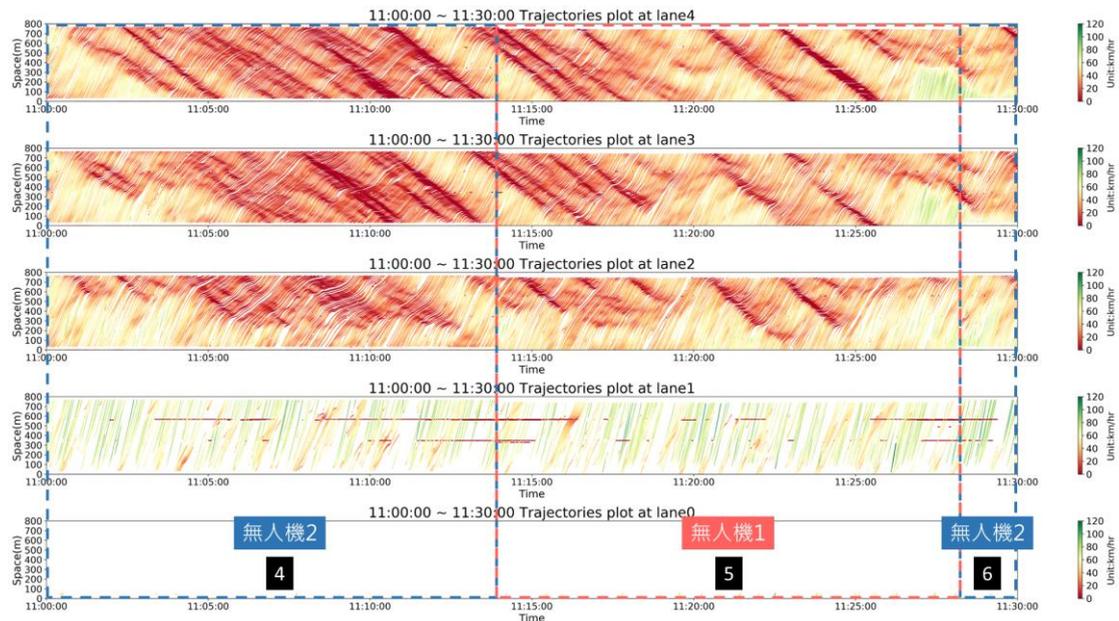


圖 3.3-2 接續拍攝之車流軌跡時空圖

後續將依各個調查地點說明之影像辨識結果以及軌跡資料的產出。

國 3 南下烏日～中投交織路段之影像辨識結果如圖 3.3- 3，可以看到無論是壅塞或非壅塞時段皆能夠準確辨識畫面中的車輛，利於進行車流特性之分析。路面上會有中文字的誤判，須於後續分析上進行排除。

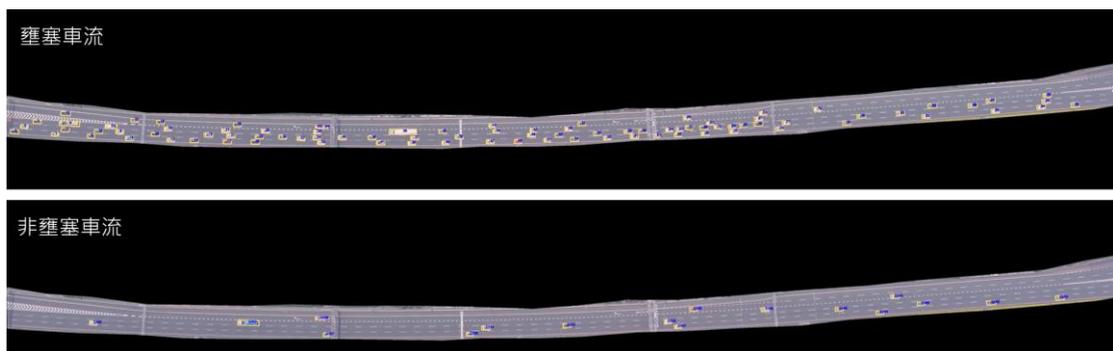
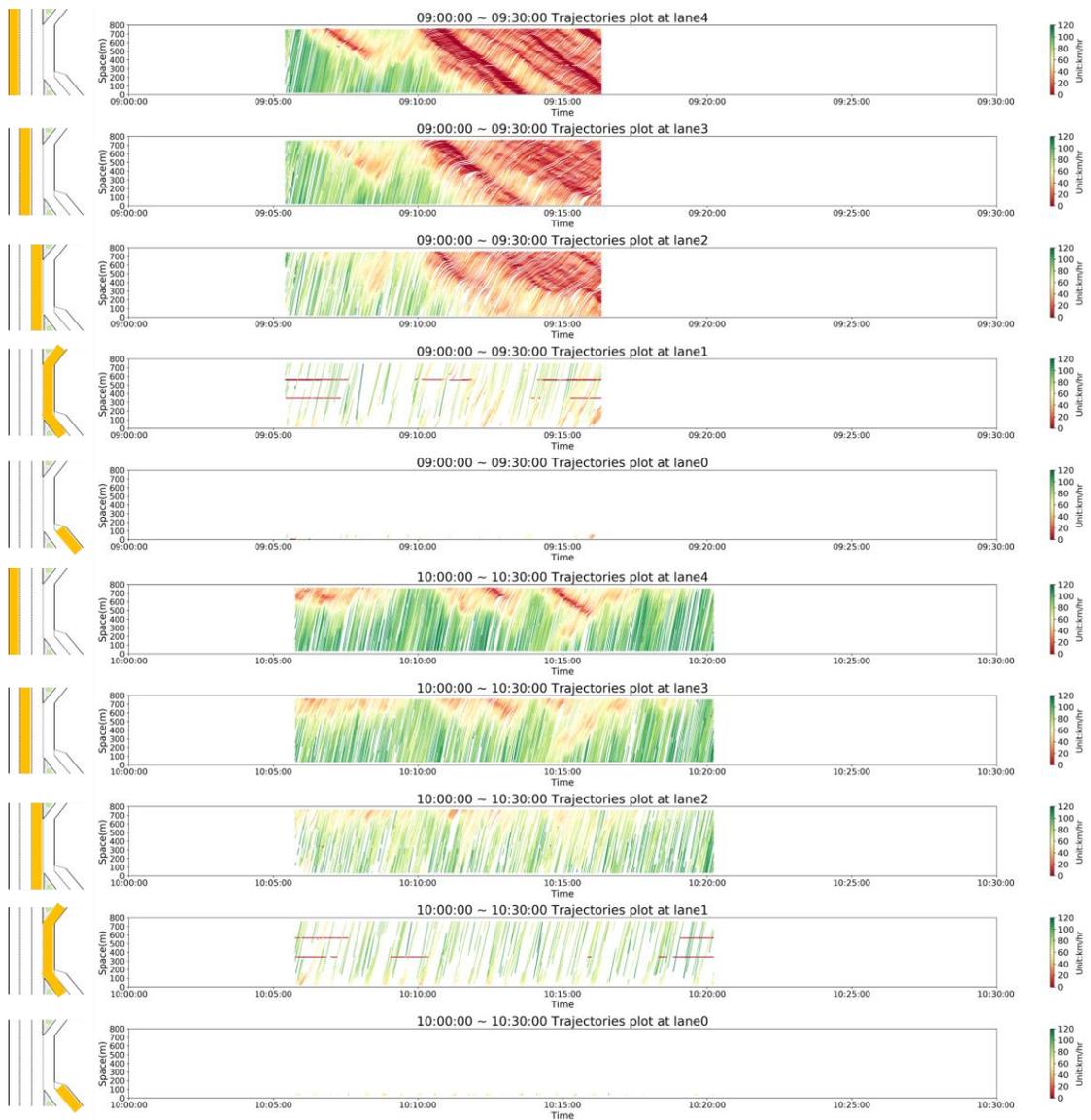


圖 3.3- 3 國 3 南下烏日～中投交織路段影像辨識結果

國 3 南下烏日～中投交織路段當日共拍攝 8 個架次，其中於 3.2 節中說明到第 4 至第 8 架次皆以無人機接續拍攝的方式進行影像紀錄，皆有約 6 秒的重疊時間，因此進行軌跡資料合併後以軌跡圖繪製可得圖 3.3-4 與圖 3.3-5。當中由上至下 5 張小圖各代表由內側至外側含輔助車道及匝道車道，如各小圖之左側圖例所示。此例子中最後一張小圖代表進口匝道兩車道之右側車道，由於該車道之車流於前 100 公尺變換至左側車道，因此只有顯

示很短的軌跡資料。10:58:25 至 12:19:02 的軌跡圖呈現無空缺時間之連續軌跡，成功解決無人機單趟電量不足的限制。



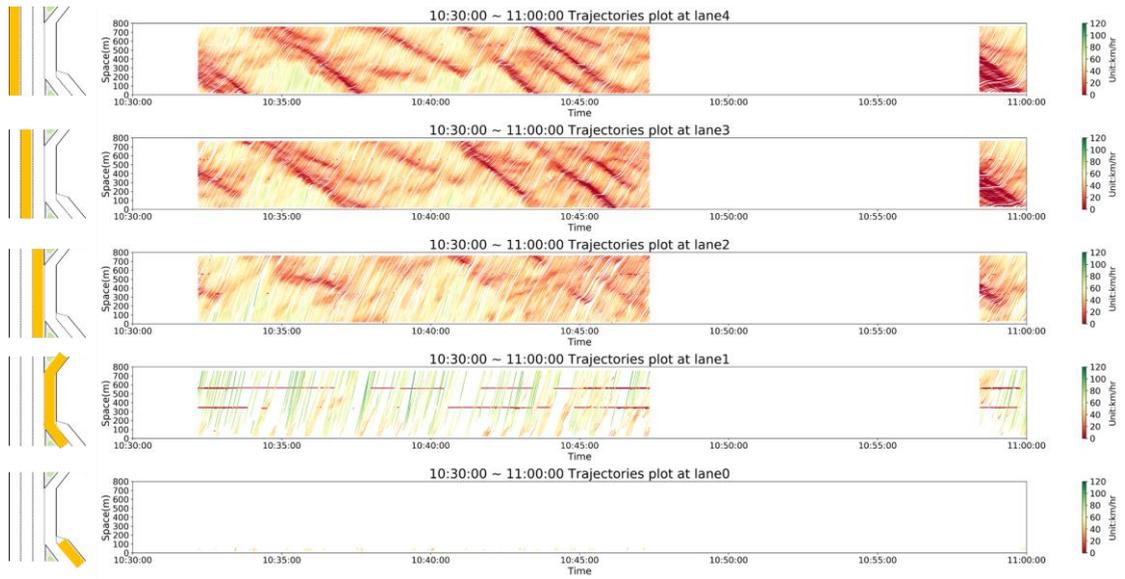
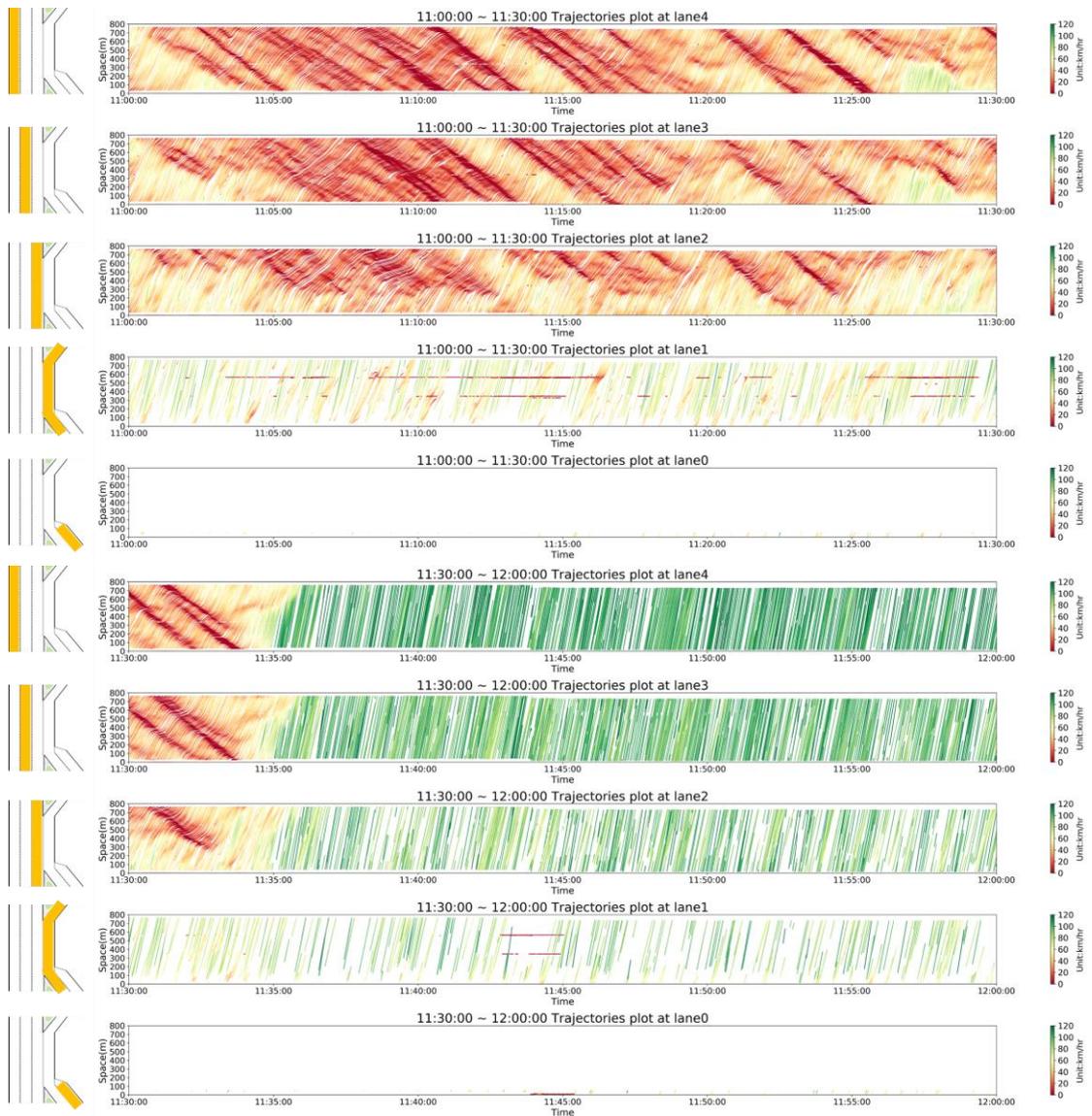


圖 3.3-4 國 3 南下烏日~中投交織路段 9:00:00~11:00:00 之軌跡圖



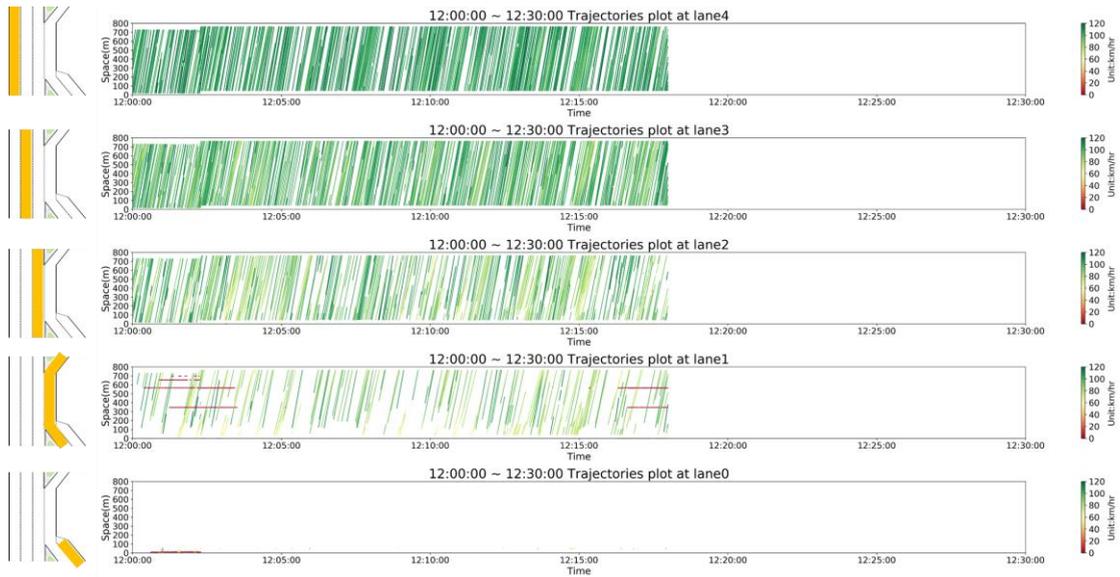


圖 3.3-5 國 3 南下烏日~中投交織路段 11:00:00~12:30:00 之軌跡圖

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。本計畫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：

1. 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，以圖 3.3-6 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。

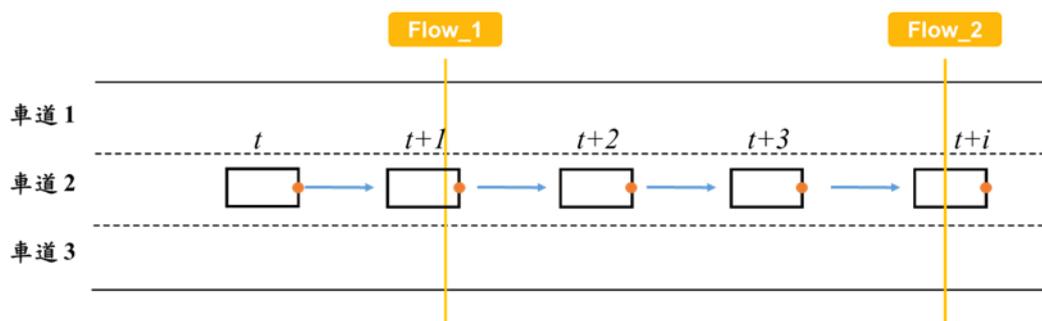


圖 3.3-6 車輛通過斷面判斷示意圖

2. 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(3-1)~(3-3)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 3.3-7 所呈現。本計畫區域 S 設定之空間維度為 50 公尺、時間維度為 1 分鐘。

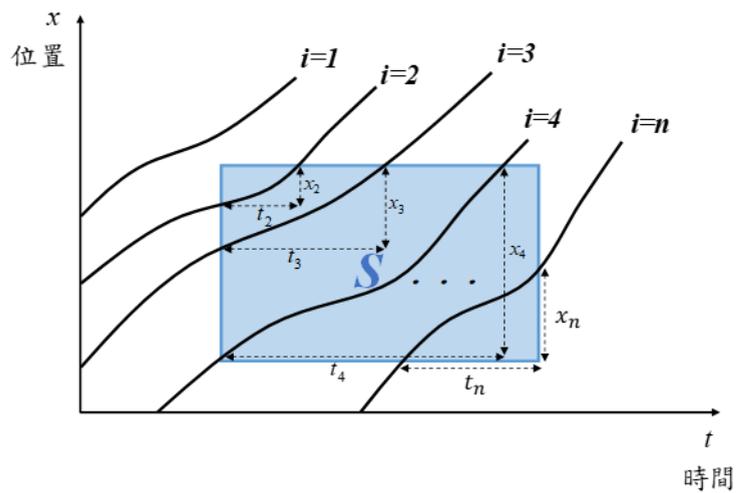


圖 3.3-7 時空圖測量方式

3. 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 3 變換至車道 2，接著再從車道 2 變換至車道 1，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。

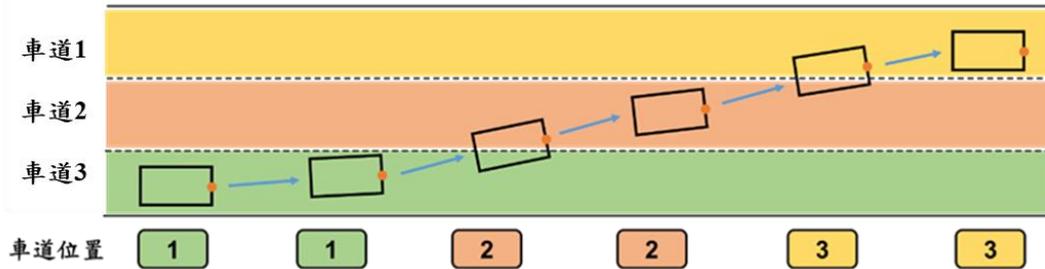


圖 3.3-8 車道變換判斷示意圖

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。

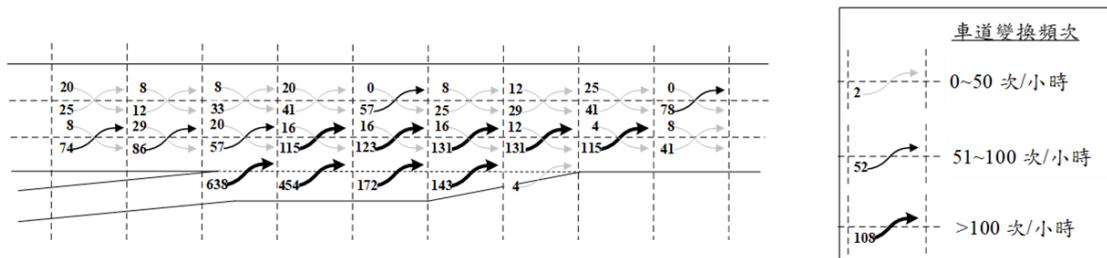


圖 3.3-9 車道變換頻次示意圖

以下將針對國 3 南下烏日～中投交織路段的調查資料，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(3-1)~(3-3)，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 3.3-10、圖 3.3-11、圖 3.3-12，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。

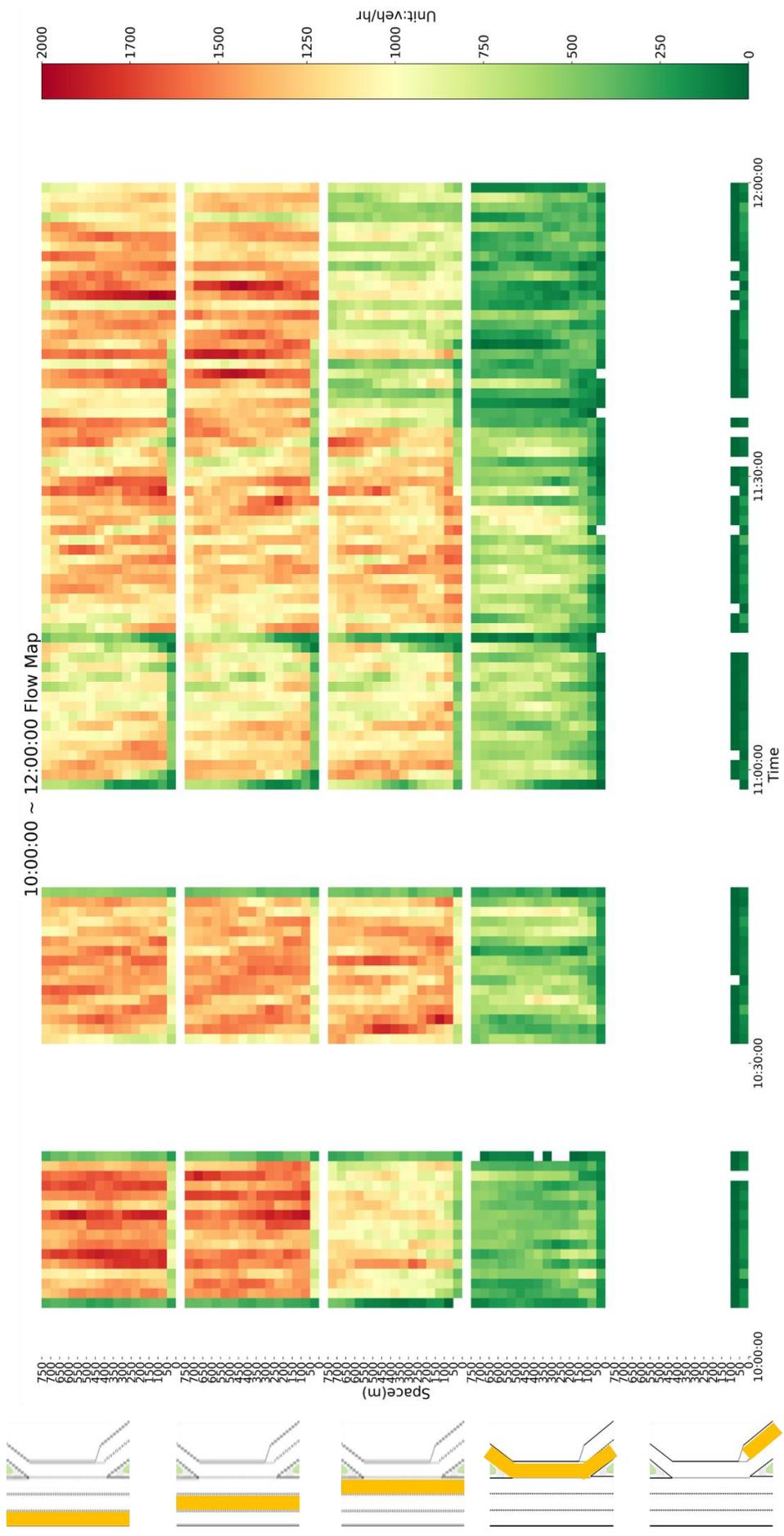


圖 3.3-10 國 3 南下烏日～中投交織路段流率時空圖

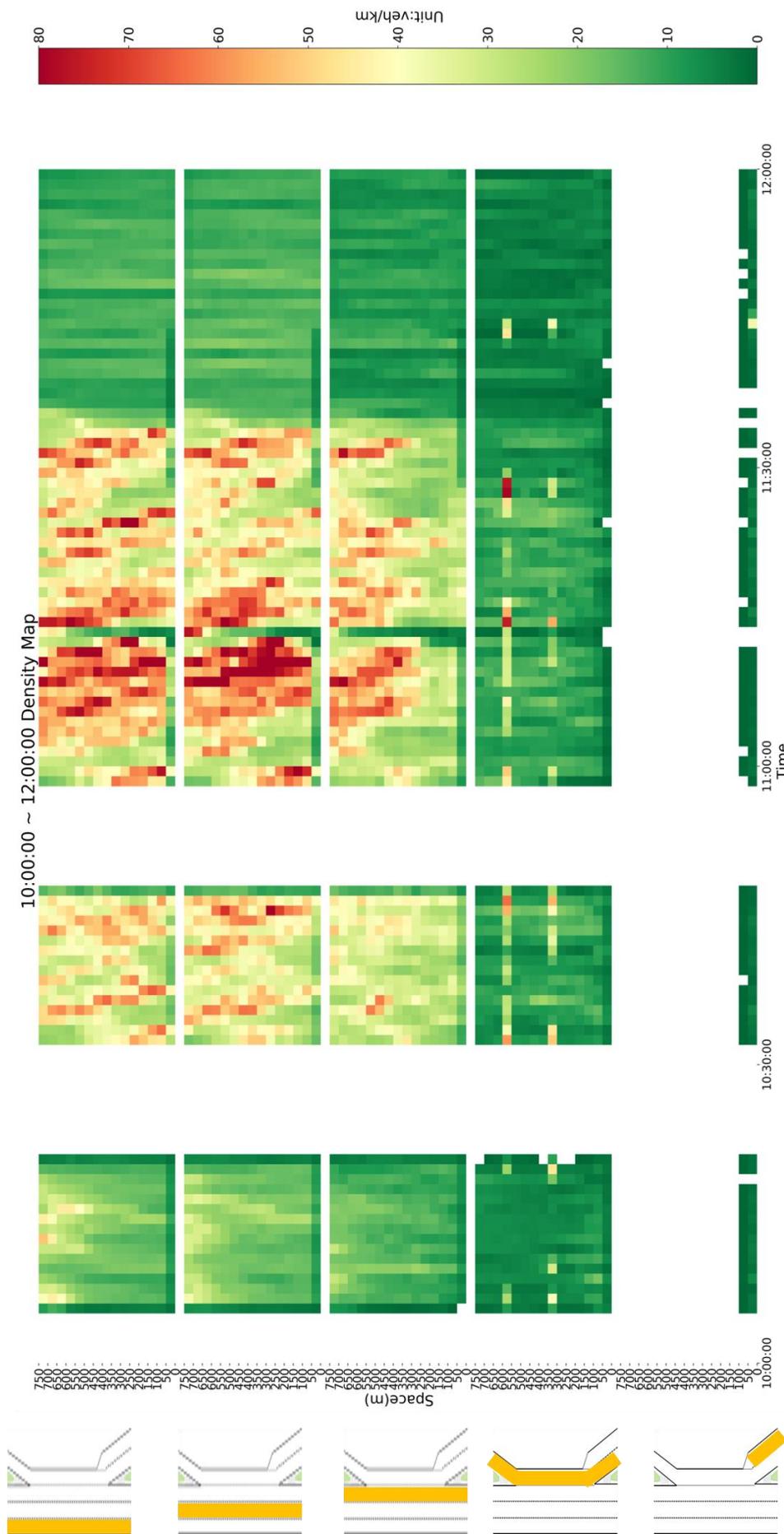


圖 3.3-11 國 3 南下烏日～中投交織路段密度時空圖

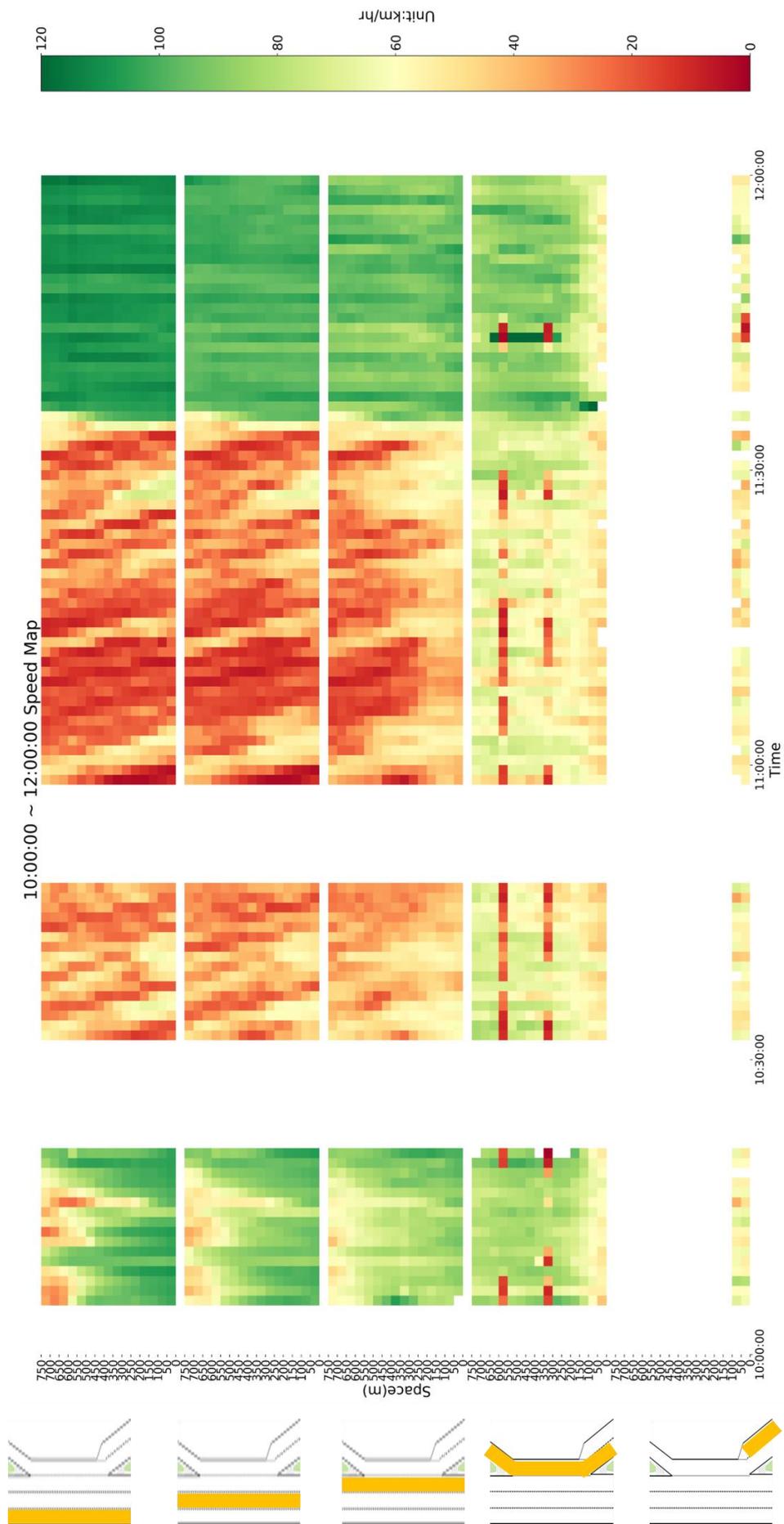


圖 3.3-12 國 3 南下烏日～中投交織路段速率時空圖

3.4 車流特性資料分析

本節將針對四個現場調查地點進行車流特性分析，並依據 3.3.2 節所述流率、速率及密度之計算方法，選擇此交織路段中間 50 公尺，並以每 1 分鐘資料平均滾動為 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 3.4-1 所示。

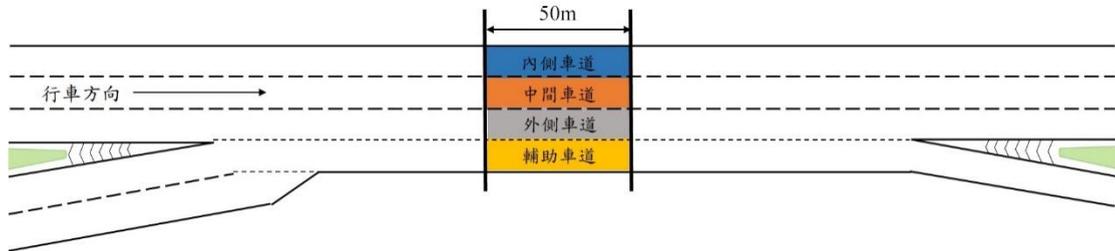


圖 3.4-1 現場調查地點流率、密度、速率資料選取範圍示意圖

圖 3.4-2 顯示國 3 南下烏日中投交織路段速率、流率與密度之關係，圖中可看出輔助車道之流率較內側車道、中間車道、外側車道低，流率皆低於 1,000 輛/小時，密度皆在 0~20 輛/公里之間。在穩定車流狀態進入壅塞狀況前，內側車道流率介於 1,800~2,000 輛/小時/車道，中間車道流率介於 1,500~1,700 輛/小時/車道，外側車道流率介於 1,000~1,300 輛/小時；進入壅塞狀況後內側車道與中間車道介於 1,100~1,500 輛/小時/車道，車流紓解後主線三車道之流率則略小於壅塞前。

另外，可以由圖中看出當內側車道發生最大通過量時，對應的速率約為 80 公里/小時、密度大約為 22 至 25 車輛/公里左右，可視為臨界密度的參考範圍。

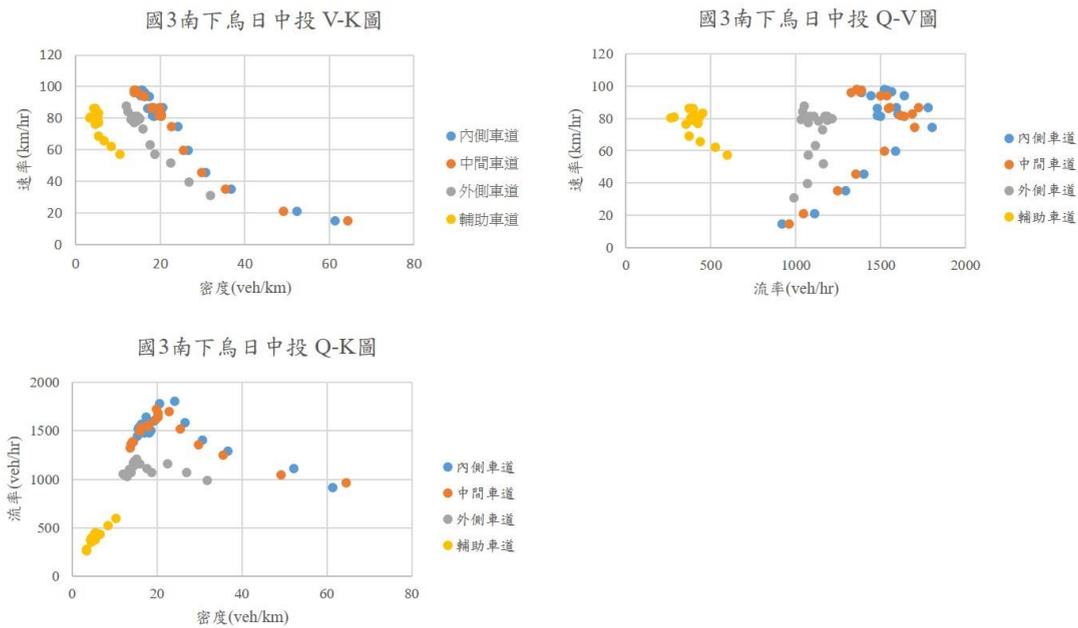


圖 3.4-2 國 3 南下烏日中投速率、流率與密度之關係

圖 3.4-3 顯示國 1 北上內壢～中壢服務區交織路段速率、流率與密度之關係，圖中可看出輔助車道之流率較內側車道、中間車道、外側車道低，部分略高於 1,000 輛/小時，其餘皆小於 1,000 輛/小時，密度大約介於 0~20 輛/公里之間。在穩定車流狀態進入壅塞狀況前，內側車道及中間車道流率介於 1,800~2,000 輛/小時/車道，外側車道流率介於 1,500~1,700 輛/小時/車道，進入壅塞狀況後各車道之流率則無明顯差異。

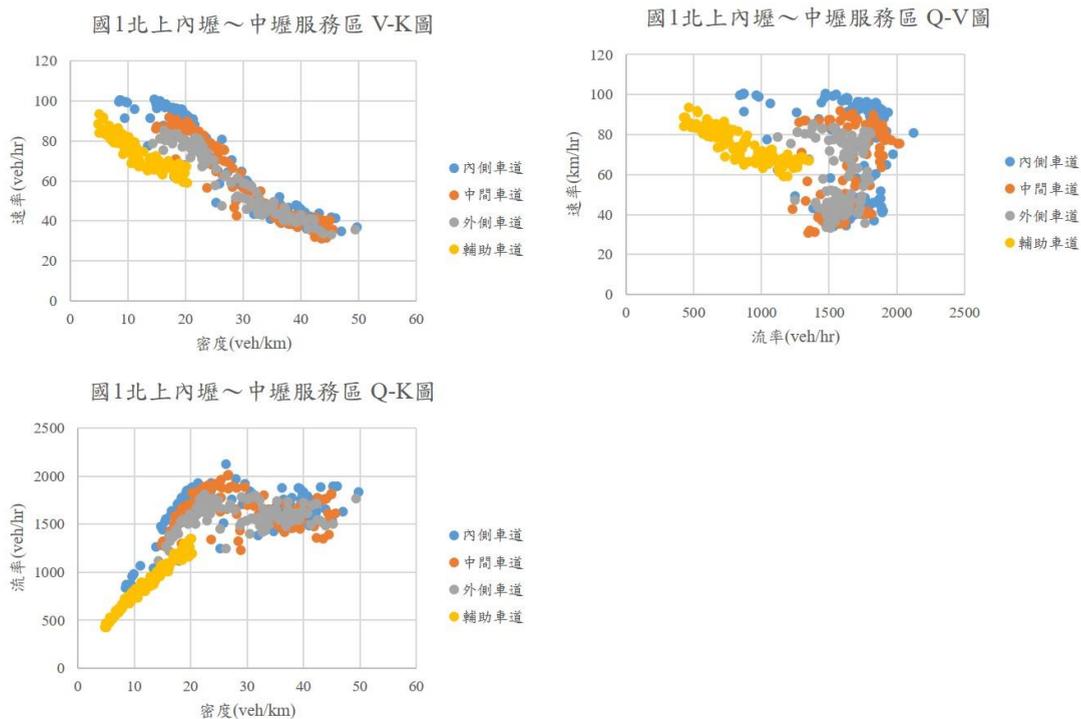


圖 3.4-3 國 1 北上內壠～中壠服務區速率、流率與密度之關係

圖 3.4-4 及圖 3.4-5 顯示國 1 北上豐原～臺中系統交織路段速率、流率與密度之關係，當日空拍調查該交織路段拍攝到車流從壅塞到紓解之狀況，在繪製散布圖時有發現不同狀態下其資料散布狀況不同，因此將分為兩個狀態作討論，狀態 1 為交織路段車流處於壅塞情形，狀態 2 則為交織路段車流逐漸從壅塞狀態紓解。

圖 3.4-4 中可看出該路段在壅塞情形時其輔助車道之流率較內側車道、中間車道、外側車道低，部分略高於 1,000 輛/小時，其餘皆小於 1,000 輛/小時，密度皆在 0~20 輛/公里之間。內側車道、中間車道及外側車道流皆低於 1,500 輛/小時，密度大約介於 30~60 輛/公里之間。

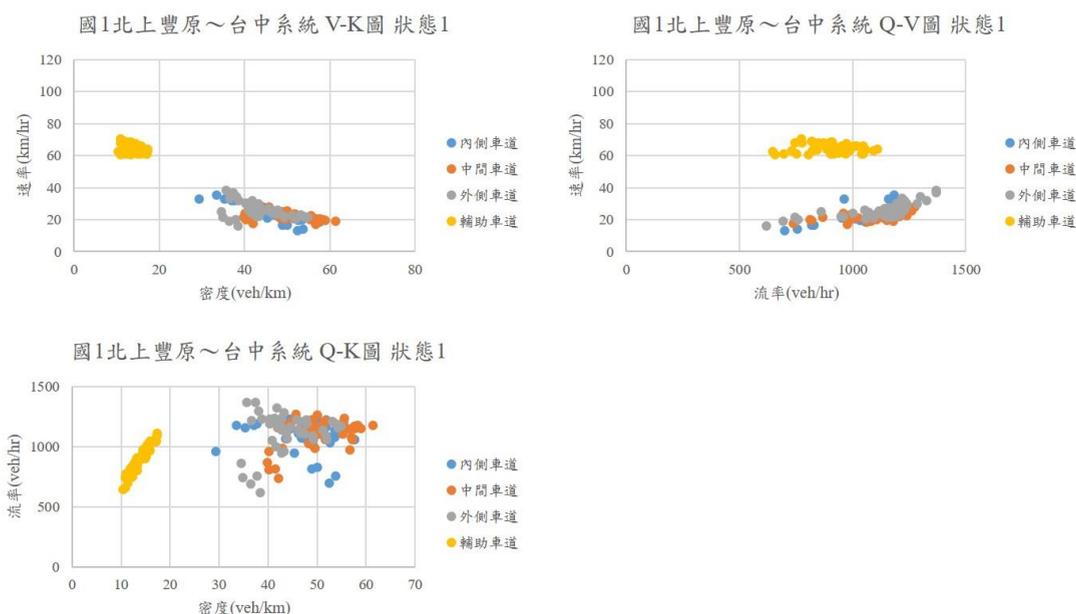


圖 3.4-4 國 1 北上豐原～臺中系統(狀態 1)速率、流率與密度之關係

圖 3.4-5 中可看出該路段在壅塞情況逐至紓解時其輔助車道之流率較內側車道、中間車道、外側車道低，部分略高於 1,000 輛/小時，其餘皆小於 1,000 輛/小時，密度皆在 0~20 輛/公里之間。內側車道、中間車道及外側車道在紓解後其流率仍低於 1,500 輛/小時。綜合狀態 1 及狀態 2 可得知在此兩種狀態下各車道之流率無明顯差異，且輔助車道在壅塞情形下速率並無驟降至與主線三車道之低速率情形。

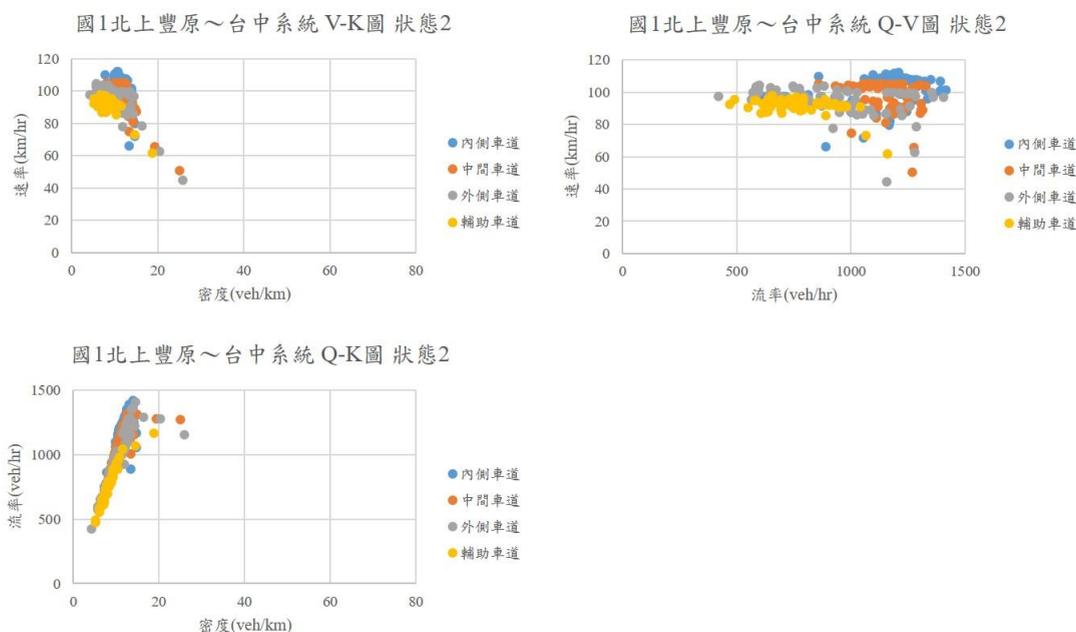


圖 3.4-5 國 1 北上豐原～臺中系統(狀態 2)速率、流率與密度之關係

現場調查拍攝到國 3 北上新竹系統～寶山交織路段之輔助車道在壅塞狀況至紓解過程，從圖 3.4-6 可看出輔助車道在壅塞時其流率有到達接近 2000 輛/小時，在車流紓解後流率與內側車道、中間車道、外側車道大致小於 1000 輛/小時。另外也可看出在整個調查過程當中內側車道車速皆介於 100～120 公里/小時，中間車道之車速則略低於內側車道。

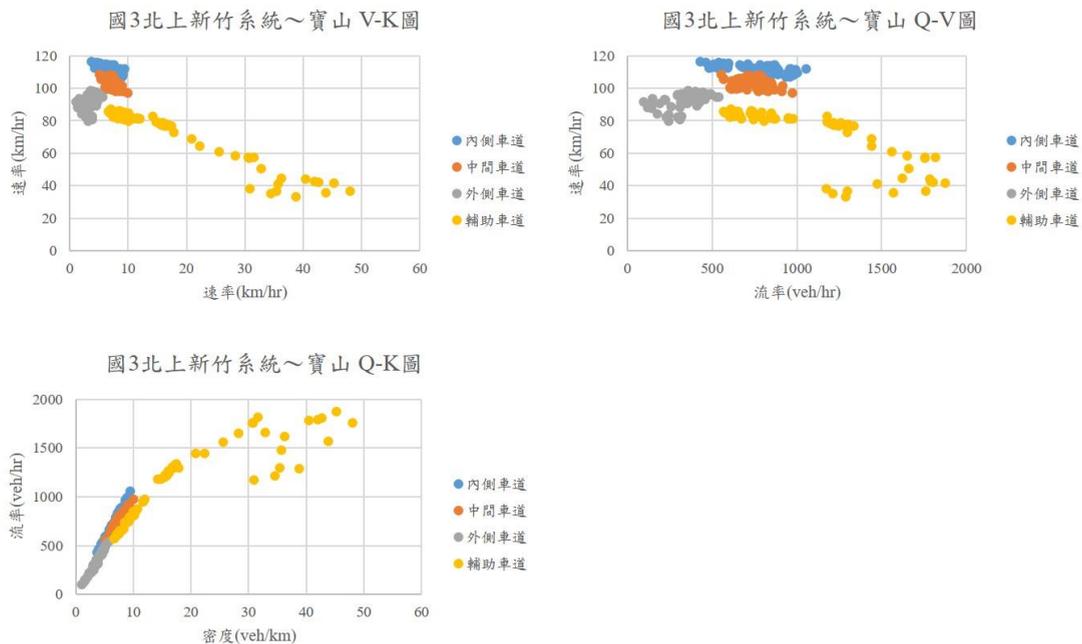


圖 3.4-6 國 3 北上新竹系統～寶山交織路段速率、流率與密度之關係

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 種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，使用一架無人機拍攝的國 3 南下烏日～中投交織路段，經後處理後估計有 90% 的車輛軌跡可被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；而另外三處使用兩架無人機拍攝之調查地點，因時空限制需進行軌跡拼接，造成可追蹤率降低，經後處理後則是約有 40%～50% 的車輛軌跡可被完整追蹤。而追蹤車輛起訖分析交織類型是為了分析車流特性，而非計算車流，因此目前的追蹤率是尚可接受的。

圖 3.4-7 為國 3 南下烏日～中投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，以車輛通過畫面時間、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，在車流未進入壅塞時 V_{FF} 擁有最高的速率，而當車流在壅塞後 V_{FF} 卻是有著最低的車速。 V_{FR} 、 V_{RR} 則是能壅塞時保持較高的速率。

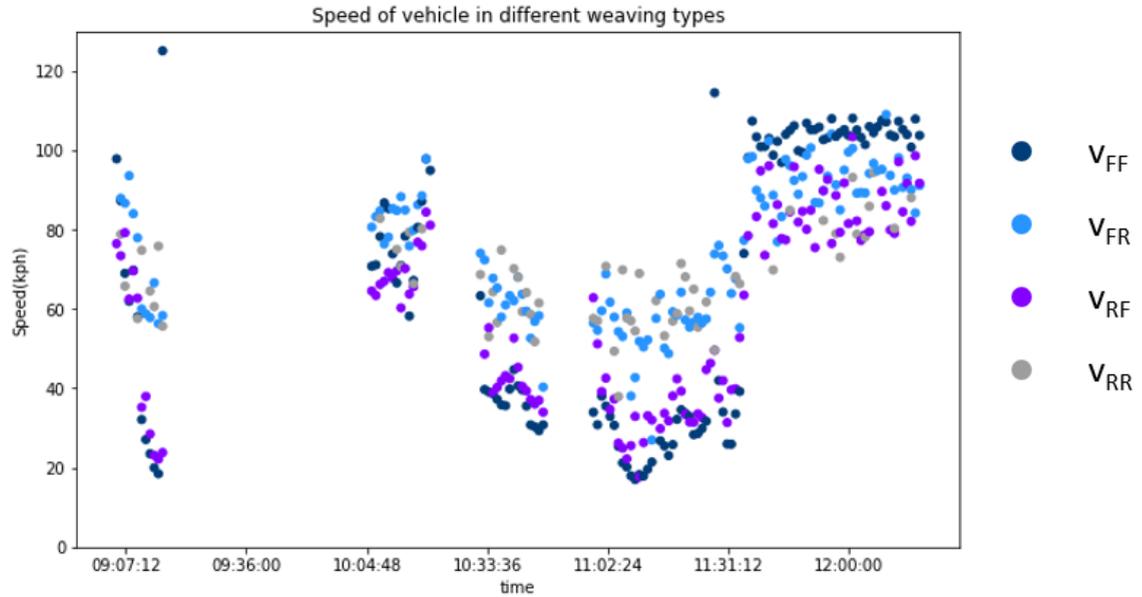


圖 3.4-7 國 3 南下烏日-中投 各交織類型 V-T 散點圖

圖 3.4-8 為國 1 北上內壢~中壢服務區交織路段根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖。如同前一個現場調查地點，此路段在發生壅塞時 V_{FR} 、 V_{RR} 有著相對於 V_{FF} 、 V_{RF} 較高的速率。在尚未發生壅塞時，外側車道的 V_{FR} 、 V_{RR} 亦有較高的速率。而調查當天有發生兩起交通事故，導致 17:16 與 17:45 附近有速率趨近於 0 的情況。

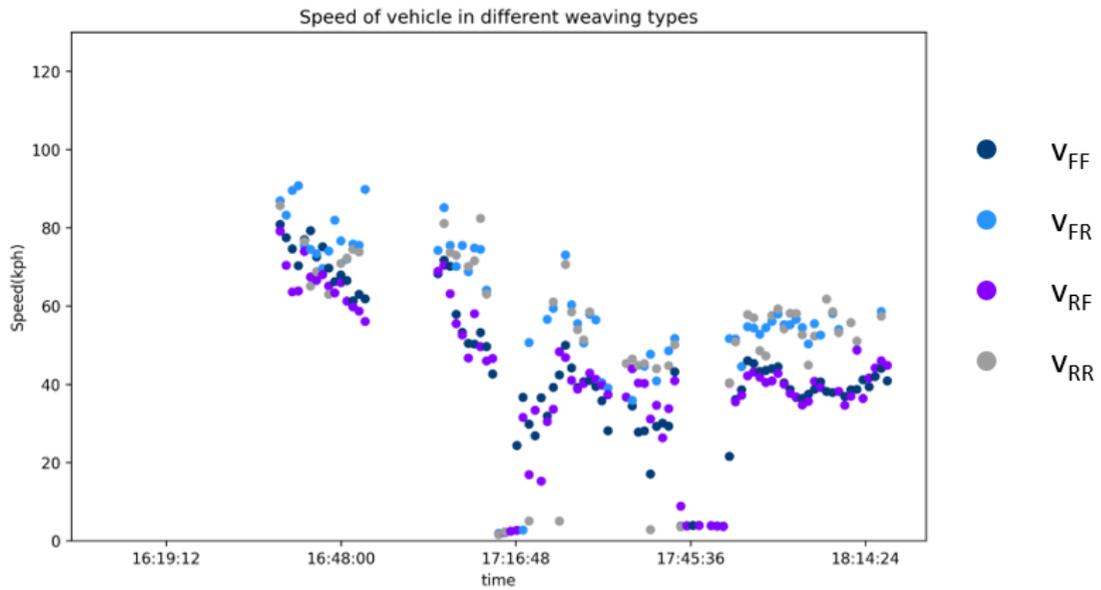


圖 3.4-8 國 1 北上內壢~中壢服務區 各交織類型 V-T 散點圖

圖 3.4-9 為國 3 北上豐原~臺中系統交織路段各交織類型根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖。與國 3 南下烏日~中投交織路段調查地點類似，此路段在發生壅塞時 V_{FR} 、 V_{RR} 有著相對於 V_{FF} 、 V_{RF} 較高的速率；而在非壅塞時則是 V_{FF} 較其他交織類型有著較高的速率。而調查當天有發生一起交通事故，導致圖中約 17:20 速率驟降至 20kph 的情況。

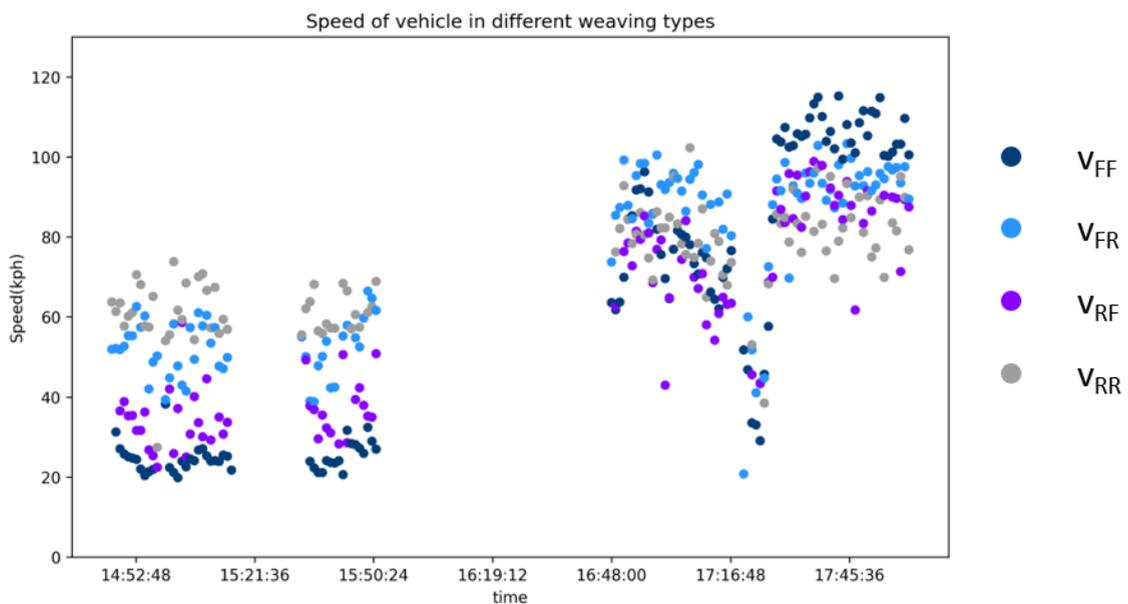


圖 3.4-9 國 3 北上豐原~臺中系統 各交織類型 V-T 散點圖

圖 3.4-10 為國 3 北上新竹系統~寶山交織路段根據不同交織車流型態繪製 V-T 散點圖。與前三個調查地點不同，此路段發生壅塞時 V_{FF} 擁有最高的速率。而約 8:20 壅塞結束後， V_{RF} 速率逐漸提升而 V_{FR} 、 V_{RR} 兩股出匝道的車流依然有著較低的速率。

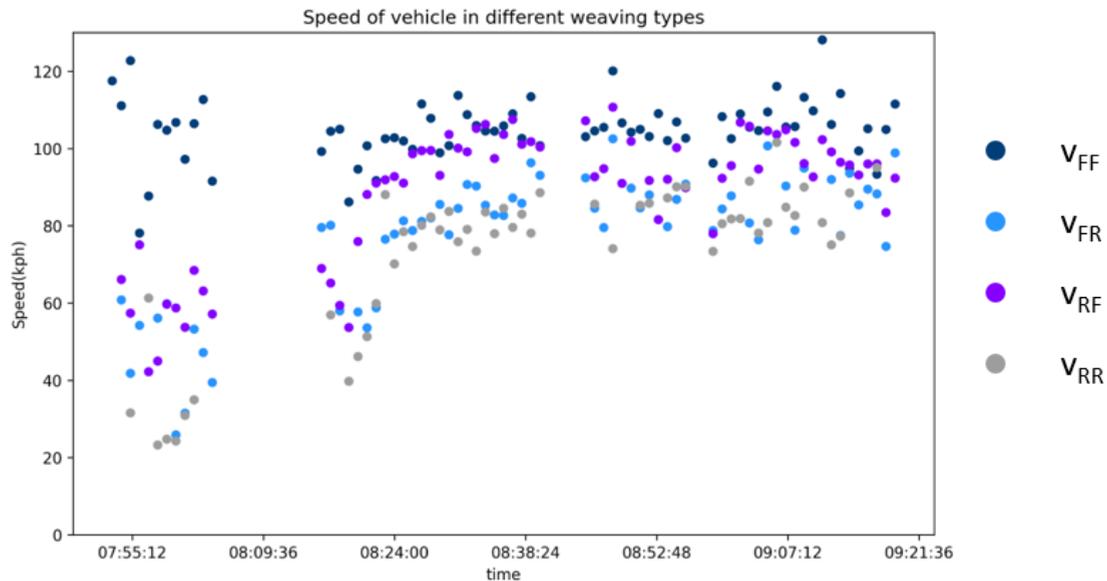


圖 3.4-10 國 3 北上新竹系統~寶山各交織類型 V-T 散點圖

綜整四個調查地點而言，國 3 南下烏日~中投、國 1 北上內壢~中壢服務區及國 3 北上豐原~台中系統具有較為類似的車流特性，內側壅塞均較外側為嚴重；而國 3 北上新竹系統~寶山則與前 3 個調查地點相異。本節後續將分別選用國 3 南下烏日~中投及國 3 北上新竹系統~寶山代表兩種不同之車流特性進行分析。

圖 3.4-11 為國 3 南下烏日~中投交織路段資料蒐集的時間範圍對照當天 VD 速率資料比較，可確認本次調查時間範圍包含非壅塞、非壅塞進入壅塞以及車流壅塞後。在探討車道變換頻次中，將選擇三個時段樣本，包括非壅塞 (10:10~10:20)、非壅塞進入壅塞 (10:33~10:40) 及壅塞後 (11:20~11:30)，作為不同速率情況的比較對象。

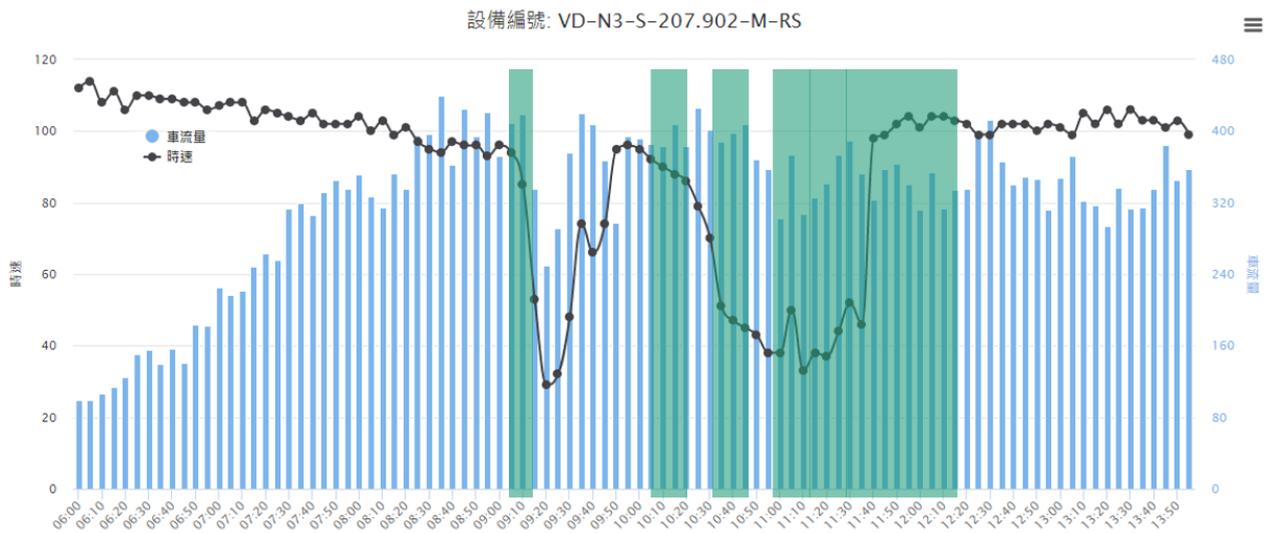


圖 3.4-11 南下烏日-中投 速率與無人機拍攝時間範圍圖

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。其中，車道變換次數轉換成以次數/小時為單位。車道 0、1 分別為進口 2 車道中外側車道、輔助車道，鼻段位置則是分別位於路段最前、後 60 公尺，因此車道 0 的速率、車道變換資料僅存在於圖示中前 60 公尺範圍。另外，圖中可發現 350 公尺、560 公尺處有速率異常低的情況，經檢查確認是由於路段門架分別位於路段約 350 公尺、560 公尺處，在影像辨識上會造成輔助車道軌跡誤判，經軌跡後處理將不當刪除後，仍有車輛軌跡經過門架時有掉幀現象，軌跡不連貫而誤判為該處速率較低，後續會加強軌跡追蹤的功能並排除此問題。

另外，觀察發現壅塞前內側車道變換車道次數比起壅塞後來的更頻繁，推測為發生壅塞後內側車道密度高，較難找到適合間距變換車道。另外，在壅塞前車輛能夠容易進、出輔助車道，車道變換位置在空間上較為平均；非壅塞進入壅塞、壅塞後則是因為輔助車道有著較高的車速，主線欲往匝道之車輛傾向於提早變換車道至輔助車道，因此車道 2 至車道 1 的車道變換行為集中於畫面中 50~150 公尺處。

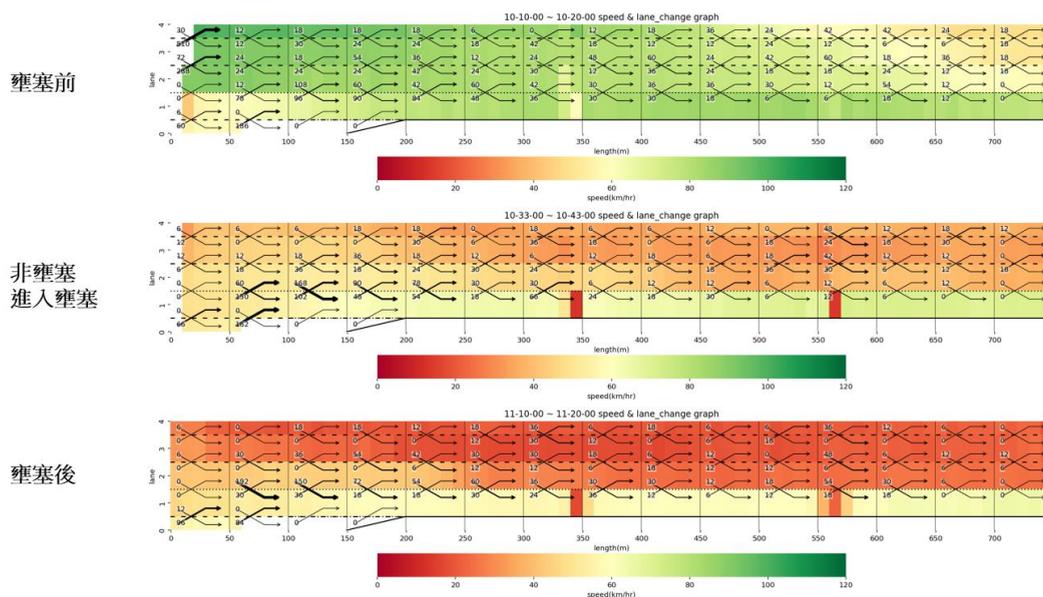


圖 3.4-12 國 3 南下烏日-中投 不同壅塞情況下速率及車道變換

圖 3.4-13 為國 3 北上新竹系統~寶山交織路段資料蒐集的時間範圍對照當天 VD 速率資料比較，可確認本次調查時間範圍包含壅塞、壅塞紓解以及非壅塞。在探討車道變換頻次中，將選擇三個時段樣本，包括壅塞 (07:57~08:04)、非壅塞進入壅塞(08:15~08:25)及壅塞後(08:30~08:40)，作為不同速率情況的比較對象。

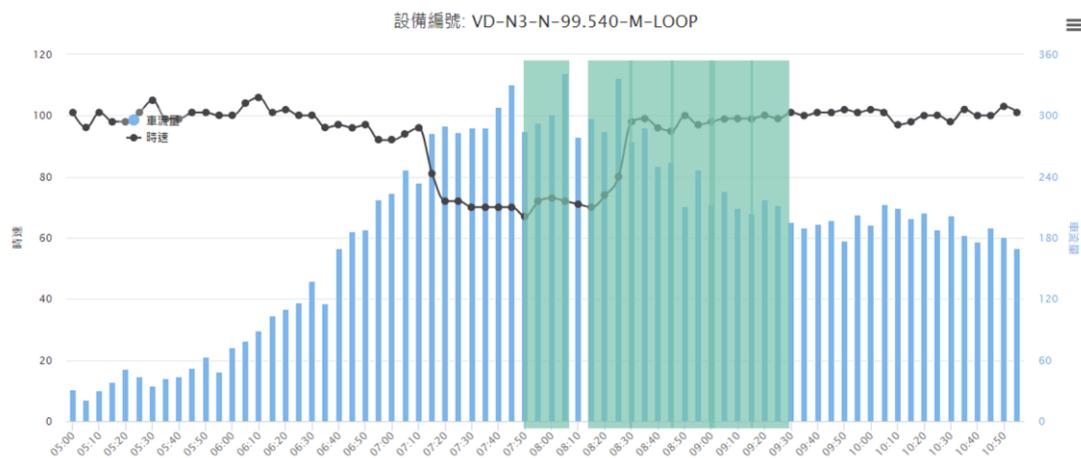


圖 3.4-13 國 3 北上新竹系統~寶山 速率與無人機拍攝時間範圍圖

圖 3.4-14 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。其中，車道變換

次數轉換成以次數/小時為單位。車道 0、1 分別為進口 2 車道中外側車道、輔助車道，鼻段位置則是分別位於路段最前、後 60 公尺，因此車道 0 的速率、車道變換資料僅存在於圖示中前 60 公尺範圍。圖中可以看出，國 3 北上新竹系統~寶山交織路段主要壅塞位於外側輔助車道及靠近鼻端之前之外側車道。而交織車流車道變換範圍集中於穿越虛線範圍起點處，交織車輛選擇行駛至可開始變換車道處立即完成必要之車道變換，即使輔助車道有著較低的速率。此現象在外側壅塞時最為明顯，而當外側密度降低，車流速率提升後變換車道發生位置便趨於平均分布於交織路段。而此駕駛行為可歸因於我國法規規定，若駛離主線車道未依序排隊，插入正在連貫駛出主線之汽車中間，就算是違規行為。而此現場調查地點推論多半為通勤旅次，在熟悉道路幾何的情況下便會選擇保守的駕駛行為。

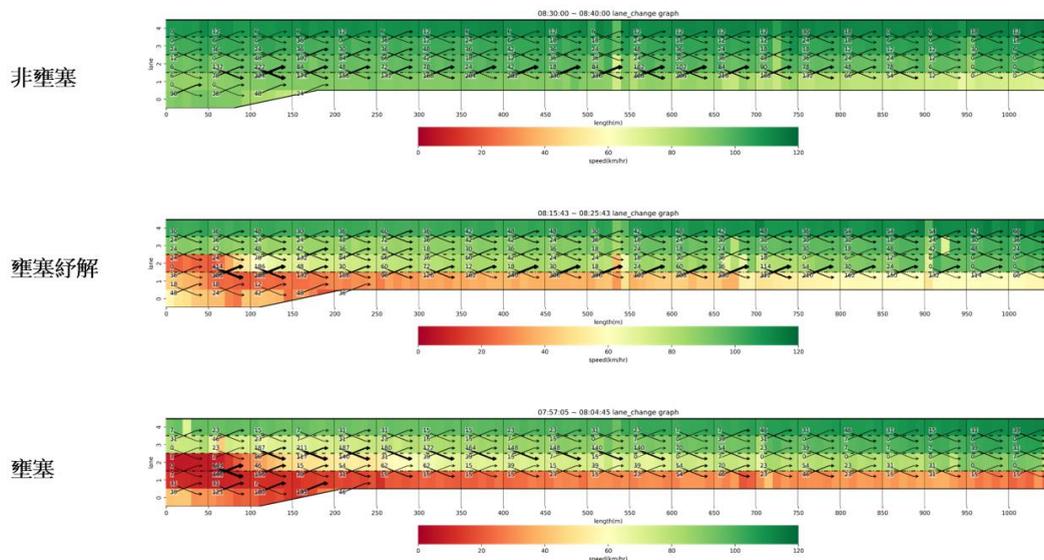


圖 3.4-14 國 3 北上新竹系統~寶山 不同壅塞情況下速率及車道變換

圖 3.4-15 中(a)至(d)分別為國 3 南下烏日-中投、國 1 北上內壢~中壢服務區、國 3 北上豐原~台中系統及國 3 北上新竹系統~寶山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，詳細各地點不同交織類型頻次平均如所表 3.4-1 所示。可以看出，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

車流中又屬 VFR 有較高的車道變換頻次，因拍攝畫面為交織路段，從匝道進入的 VFR 車輛有較多的內側車道空間讓車輛變換車道。

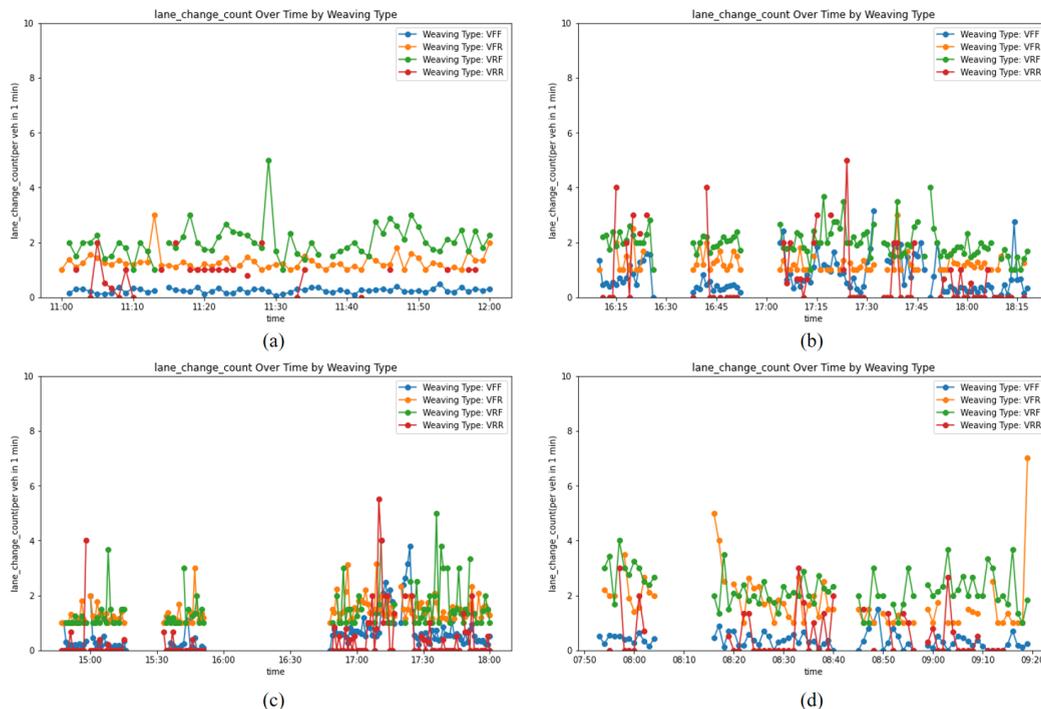


圖 3.4-15 現場調查地點各交織類型車道變換頻次圖

表 3.4-1 各現場調查地點不同交織類型平均車道變換頻次

地點\交織類型	主線到主	匝道到主	主線到匝	匝道到匝
平均變換車道頻次	線 VFF	線 VRF	道 VFR	道 VRR
國 3 南下 烏日~中投	0.28	1.38	1.22	0.21
國 1 北上 內壢~中壢服務區	0.58	1.97	1.22	0.28
國 3 北上 豐原~台中系統	0.62	1.63	1.42	0.19
國 3 北上 新竹系統~寶山	0.24	1.73	1.24	0.08

圖 3.4-16、圖 3.4-17 為國 3 南下烏日~中投交織路段 VFR、VRF 分別在不同壅塞情況下車道變換位置累積圖。其中值得注意的是在壅塞情況下傾向於提早由外側車道變換車道至輔助車道，在較為順暢的輔助車道上有較高的車速，這也是圖 3.4-7 中 VFR 能保持在較高速率的原因。而 VRF 則是有部分車輛在壅塞後選擇較晚由輔助車道變換至外側車道；在其他車道變換位置分布上則是沒有明顯差異。

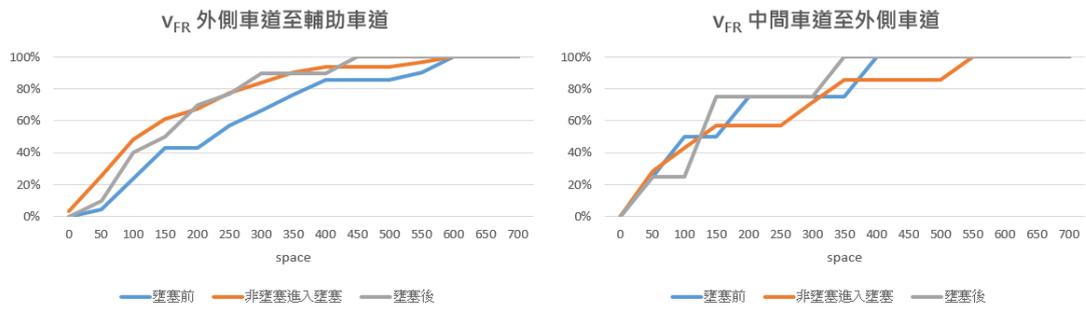


圖 3.4-16 國 3 南下烏日-中投 V_{FR} 車輛變換車道累積圖

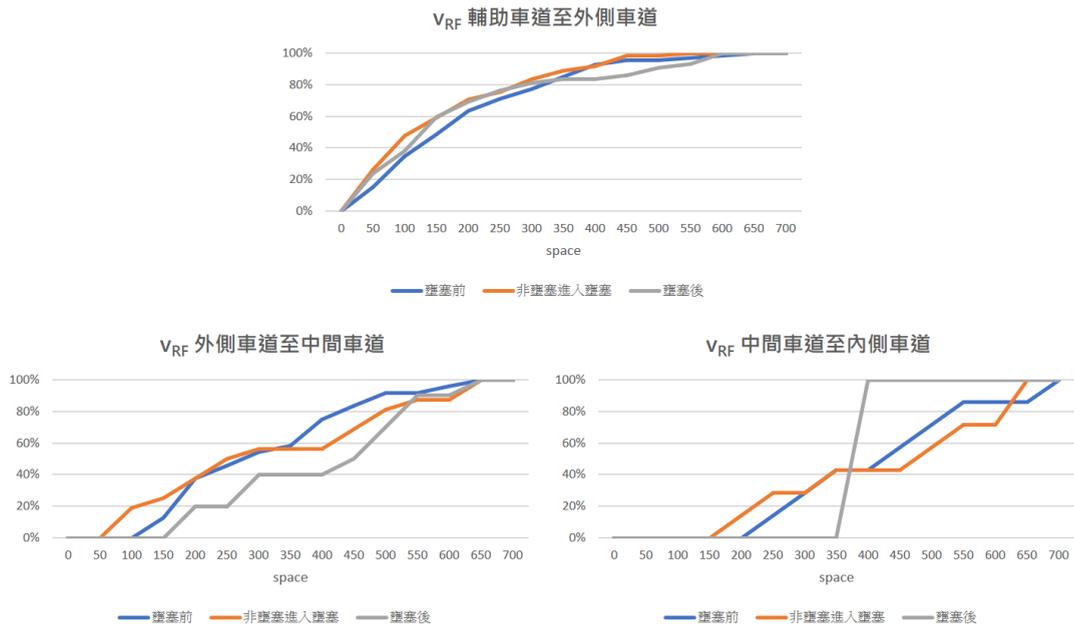


圖 3.4-17 國 3 南下烏日-中投 V_{RF} 車輛變換車道累積圖

圖 3.4-18 與圖 3.4-19 為國 3 北上新竹系統~寶山 V_{FR} 、 V_{RF} 分別不同壅塞情況下車輛變換車道位置累積圖。由於此地點下匝道車隊回堵，可以觀察到一的特別的現象是此地點交織行為中 V_{RF} 變換車道幾乎集中於進口匝道鼻段位置，即位於約圖中 50 公尺處； V_{FR} 則是約有 30%~40% 的車輛會選擇在進口匝道鼻段位置變換車道，其餘則是依循著外側車道尋找切入輔助車道的機會。壅塞發生時 V_{RF} 越傾向提早往內側變換車道； V_{FR} 則是傾向於越晚向外變換車道。此現象是由於壅塞主要發生於輔助車道，駕駛人為了追求更短的旅行時間、避開壅塞而做出的合理選擇。

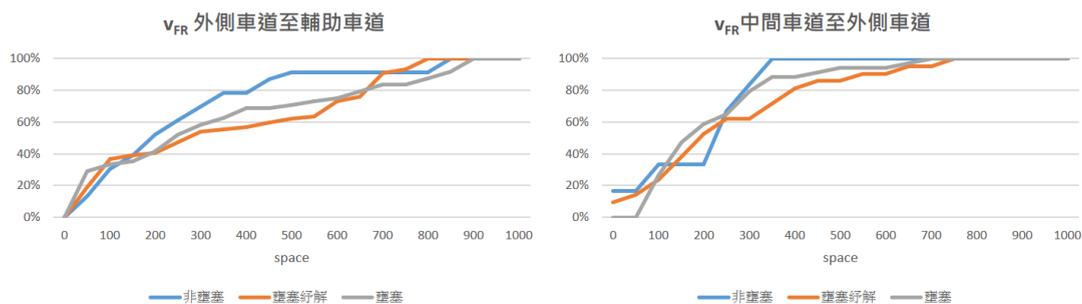


圖 3.4-18 國 3 北上新竹系統~寶山 v_{FR} 車輛變換車道累積圖

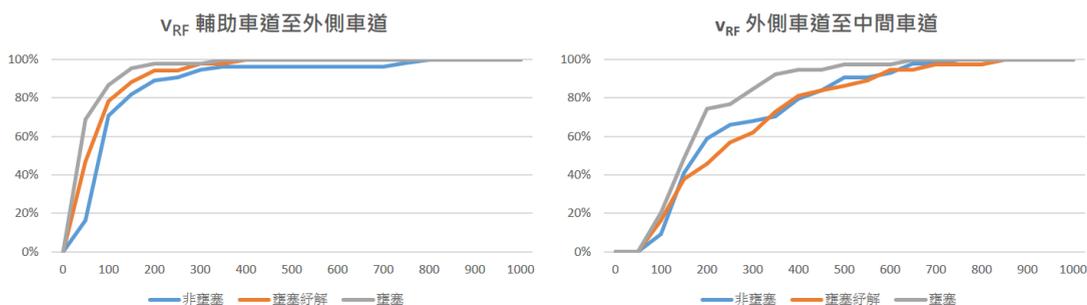


圖 3.4-19 國 3 北上新竹系統~寶山 v_{RF} 車輛變換車道累積圖

上述兩個調查地點之穿越虛線開始處約位於調查範圍約 50~60 公尺處，從統計結果發現鮮少有車輛違規跨越槽化線變換車道，由影片中進一步人工抽查檢驗的結果相同。

綜合車流特性結果，國 3 南下烏日-中投、國 1 北上內壢~中壢服務區及國 3 北上豐原~臺中系統交織路段現場調查時壅塞狀況為主線下游回堵所導致，但仍可以看到該地點有著不少的交織行為，以及 4 股交織車流在不同車流狀況下速率之差異。而國 3 北上新竹系統~寶山交織路段雖然壅塞只集中在輔助車道、外側車道，可以清楚地觀察到許多交織行為以及交織所帶來的外側車道壅塞。另外，透過空拍方式獲取資料，能夠觀察到交織車輛變換車道位置，分析平常無法蒐集到的特別的交織車流特性。

總體而言，本計畫的現場調查顯示，4 股交織車流的速率存在顯著差異，若將車流簡化為交織與非交織車流進行建模，可能有所簡化並導致誤差，因此建議在後續建模時將 4 股車流進行更細緻的區分。

此外，調查發現 4 股車流的平均變換車道次數明顯高於最低變換車道次數，其中非交織車流的平均車道變換頻次為 0.08 至 0.62 次（最少為 0 次），而交織車流的平均車道變換頻次則為 1.22 次至 1.97 次（最少為 1 次），

顯示國內駕駛有頻繁換道的習慣，這可能是導致交織路段容量偏低的原因之一。最後，交織車流的車道變換行為主要集中在交織區域的起點（即穿越虛線的開始位置），導致該區域的密度增高並影響通行效率，這一現象在車流進入壅塞前尤為明顯，而在壅塞狀態下，交織車流的變道行為則分散至交織車道的中後段，後續應再深入探討交織車道長度對車流運作及路段容量的敏感性。

第四章 典型交織路段之分析模式

為發展典型交織路段(不包含系統交流道之交織路段)之容量分析模式，本計畫提出研究架構如圖 4.1-1 所示。首先，本計畫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，本計畫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美國公路容量是手冊 HCM (2016)與臺灣公路容量手冊 THCM (2022)，以及 NCHRP07-26 (Schroeder et al., 2023) 之模型，HCM (2016) 為目前全球最為廣泛使用的分析方法，THCM (2022) 為國內採用的分析方法，NCHRP 07-26 則為今年出版之技術報告書，當中指出 HCM (2016) 分析模式對部分變數不敏感以及分析結果在特定情況下之誤差較大，因而提出之更新分析方法；另外，HCM (2022)並未對交織路段章節有修改，與 HCM(2016)相同。待評估既有模式後，本計畫將針對此些模型之參數，利用所蒐集之資料來進估其參數，並比較其績效。各步驟說明如下。

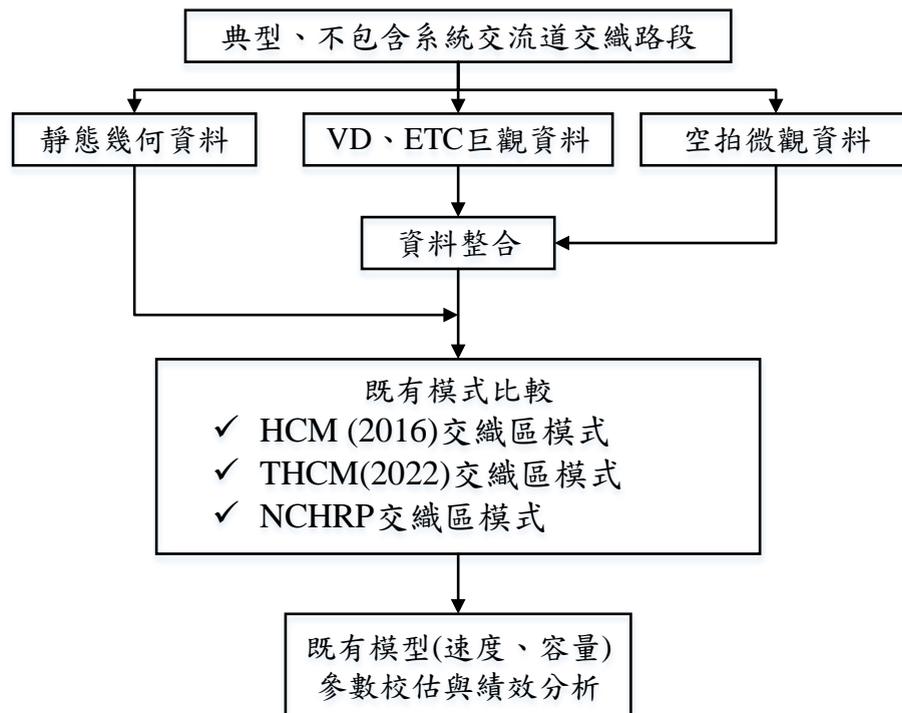


圖 4.1-1 典型交織路段模式建立流程圖

4.1 整理偵測器資料

本計畫所使用的偵測器資料包含交通部高速公路局交通資料庫中的車輛偵測器資料(簡 VD 資料)以及電子收費紀錄(簡稱 ETC 資料)。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，以及占有率相關資訊。然而，由 VD 僅可獲取每車道流量，無法得知交織路段中實際發生交織情形的車輛數，因此部分路段可運用 ETC 資料來彌補 VD 資料的不足。

ETC 的 M06A 資料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。利用這些資訊，可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。四個路徑方向包括維持行駛主線(主線-主線，FtoF)、由主線前往匝道(主線-匝道，FtoR)、由匝道進入主線(匝道-主線，RtoF)、由進口匝道至出口匝道(匝道-匝道，RtoR)，示意圖如圖 4.1-2 所示。

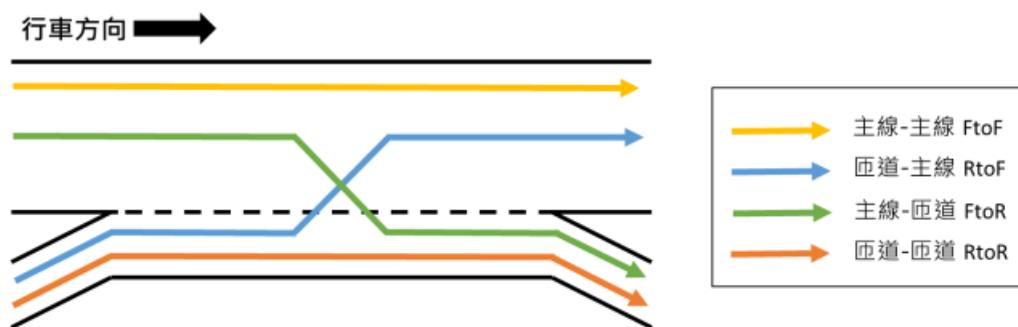


圖 4.1-2 交織路段旅次路徑方向示意圖

不過，受限於收費門架的布設位置，並非所有交織路段都可直接使用 ETC 資料計算上述四股車流之流量。當交織路段之 ETC 無法直接求算四股車流之流量時，本計畫使用更上游或下游之 VD 資料進行插補。以圖 4.1-3 國 1 北上 內湖～東湖為例，由於上游門架佈設密度不足，無法通過比較 15.5 與 18.2 兩處 ETC 門架的方式，確定車輛是由 16.2 或 16.7 的匝道進入，進而高估 RtoF 與 RtoR 兩股車流之流量。對此，本計畫透過 VD 獲取 16.2 與 16.7 兩處匝道之流入量，並依此兩處匝道流量之比例，決定 R to F 與 R to R 兩股車流應修正為 F to F 與 F to R 的比例，達到修正四股車流量之效果。

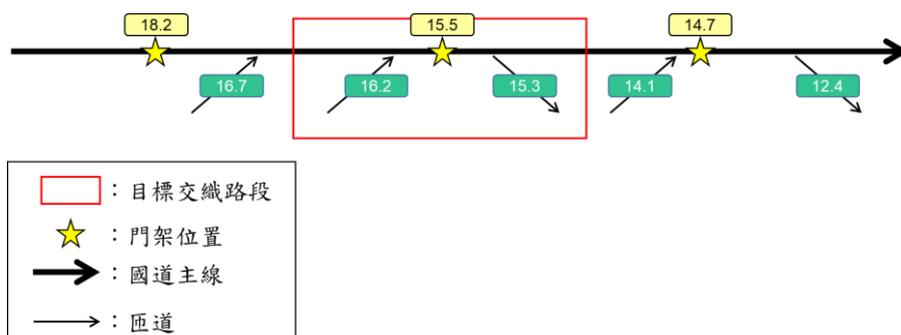


圖 4.1-3 ETC 插補計算範例

本期研究對象為典型、不包含系統交流道交織路段，根據先期研究的整理，國 1 與國 3 共有 11 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。本計畫將篩選分析地點之流程整理為圖 4.1-4、篩選結果則如表 4.1-1 所示。首先，本計畫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有所不同，故不納入分析對象。另外，分析地點應有一定水準的交織流量，才可確認該路段的壅塞係由交織行為導致。在檢視資料的過程中，本計畫發現國 1 南下泰安服務區~后里的交織流量偏低，故亦將此地點排除。

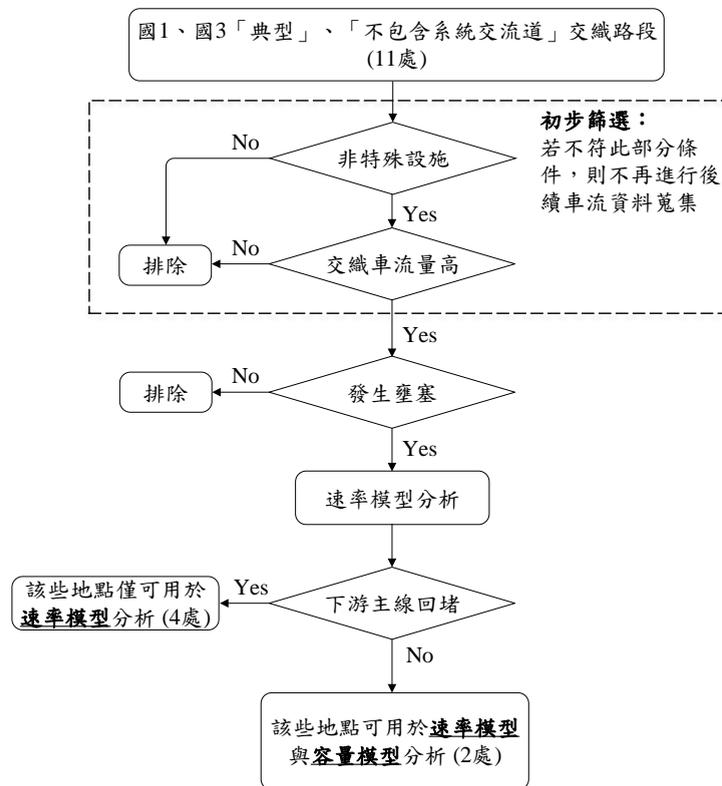


圖 4.1-4 分析地點篩選流程圖

經過上述篩選步驟，共剩餘 6 處典型、不包含系統交流道交織路段，如表 4.1-1 中以粗體字表示之地點。針對此些交織路段，本計畫考慮前些年疫情的衝擊對車流量及其特性的影響，故選擇蒐集今(2023)年 1 至 6 月的 VD 與 ETC 資料，以利檢視是否發生壅塞、以及是否發生下游回堵等車流特性。其中，下匝道回堵又可再細分為下游主線與下匝道回堵。本計畫採用的壅塞判斷標準是車速低於 60 公里/小時，且此狀態維持 30 分鐘以上。而下游回堵則是透過比對交織斷面及最接近之下游主線或下匝道 VD 資料進行判斷，若下游主線或下匝道流量達高峰且速率快速下降的時間點比交織斷面更早，則可判定為下游主線或下匝道回堵。結果顯示，雖然各處地點皆可找到發生壅塞的日期，但大多是下游主線回堵所致。僅有國 1

北上內湖~東湖的壅塞不是由下游回堵所導致，而國3北上南港~新台五路的回堵則通常來自下匝道。

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，或交織區內下匝道容量不足，所導致之車流崩潰。因此下游主線回堵之地點將無法供容量模式校估使用。因此，後續章節的容量模型之探討，僅使用國1北上內湖~東湖以及國3北上南港~新台五路兩處地點之資料。篩選後交織路段資料的用途整理如表4.1-2所示。

表 4.1-1 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	非下游主線回堵	非下游匝道回堵
國1南下中壢轉接道	X	-	-	-	-
國1南下泰安服務區~后里	O	X	-	-	-
國1南下員林地磅站~北斗	X	-	-	-	-
國1北上北斗~員林地磅站	X	-	-	-	-
國1北上中壢轉接道	X	-	-	-	-
國1北上內壢~中壢服務區	O	O	O	X	O
國1北上內湖~東湖	O	O	O	O	O
國3南下新台五路~南港	O	O	O	X	O
國3南下烏日~中投	O	O	O	X	O
國3北上中投~烏日	O	O	O	X	O
國3北上南港~新台五路	O	O	O	O	X

註：O 為符合條件、X 為不符合條件、- 為前項目不符合條件因此未進一步檢視。

表 4.1-2 可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北上內壢~中壢服務區	O	X
國1北上內湖~東湖	O	O
國3南下新台五路~南港	O	X
國3南下烏日~中投	O	X
國3北上中投~烏日	O	X
國3北上南港~新台五路	O	O

註：O 為符合條件、X 為不符合條件。容量分析需要採用非下游主線回堵資料。

於選定 6 處適合分析的交織路段後，本計畫對每處地點於 112 年 1 月至 6 月間各篩選出 7 日有發生壅塞的 VD 與 ETC 資料，供後續速率模型與流量模型使用，詳如圖 4.1-5。而針對此些資料，本計畫亦採用流量守恆原則進行檢查，以確認資料的正確性。VD 的流量守恆可由佈設於上、下游主線及上、下匝道的 VD，進行流量守恆檢核。檢核方式為檢查一日的時間內，交織路段的上游總流入量、交織斷面流量及下游總流出量，若彼此間誤差少於 5% 則可視為相同。圖 4.1-5 為 VD 流量守恆檢核示意圖，編號 1 上游主線與編號 4 入口匝道之流量總和，應與編號 3 交織斷面之流量相同，也應與編號 2 下游主線和編號 5 出口匝道之流量總和相同。此外，本計畫亦將 VD 與 ETC 資料的流量資訊相互比較，再次進行流量守恆檢測。藉由整理同樣位於交織斷面的 VD 資料與 ETC 門架全日流量資訊，本計畫比對結果整理如表 4.1-4。表中可見各地點、各天的 VD 與 ETC 資料誤差大致不超過 5%，符合流量守恆條件。

表 4.1-3 分析地點及日期一覽

國道&方向	國 1 北上	國 1 北上	國 3 南下	國 3 南下	國 3 北上	國 3 北上
交織區	內壢～中壢服務區	內湖～東湖	新台五路～南港	烏日～中投	中投～烏日	南港～新台五路
日期 1	2023.06.12	2023.06.05	2023.01.19	2023.04.01	2023.01.23	2023.05.19
日期 2	2023.06.13	2023.06.06	2023.01.23	2023.04.02	2023.01.25	2023.05.26
日期 3	2323.06.14	2023.06.07	2023.01.24	2023.04.03	2023.01.26	2023.05.29
日期 4	2023.06.15	2023.06.09	2023.02.25	2023.04.29	2023.02.26	2023.05.30
日期 5	2023.06.21	2023.06.14	2023.04.01	2023.05.27	2023.02.27	2023.05.31
日期 6	2023.06.26	2023.06.15	2023.04.02	2023.06.03	2022.02.28	2023.06.05
日期 7	2023.06.27	2023.06.20	2023.04.03	2023.06.23	2023.04.02	2023.06.28

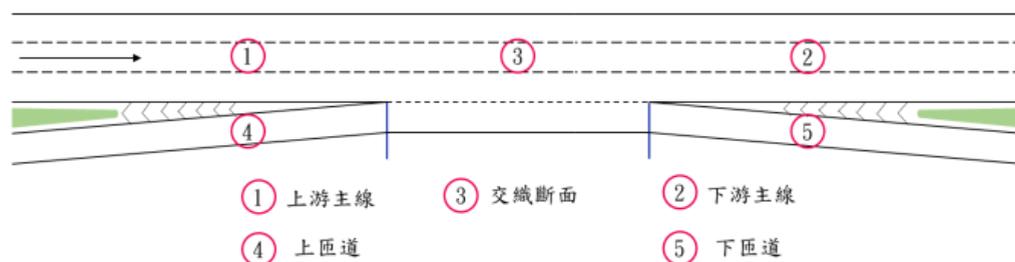


圖 4.1-5 VD 流量守恆檢核示意圖

表 4.1-4 VD 與 ETC 資料流量守恆檢查結果

國 1 北上 內壢～中壢服務區		國 1 北上 內湖～東湖		國 3 南下 新台五路～南港	
日期	VD 與 ETC 總流量差異	日期	VD 與 ETC 總流量差異	日期	VD 與 ETC 總流量差異
2023.06.12	-0.35%	2023.06.05	3.93%	2023.02.25	-1.80%
2023.06.13	-0.51%	2023.06.06	-3.86%	2023.01.19	-1.23%
2323.06.14	-0.58%	2023.06.07	-3.32%	2023.01.23	-1.40%
2023.06.15	-0.38%	2023.06.09	-6.31%	2023.01.24	-1.26%
2023.06.21	-0.32%	2023.06.20	-5.04%	2023.04.01	-2.00%
2023.06.26	-0.07%	2023.06.14	-4.02%	2023.04.02	-1.38%
2023.06.27	-0.22%	2023.06.15	-5.11%	2023.04.03	-1.19%
國 3 南下 烏日～中投		國 3 北上 中投～烏日		國 3 北上 南港～新台五路	
日期	VD 與 ETC 總流量差異	日期	VD 與 ETC 總流量差異	日期	VD 與 ETC 總流量差異
2023.04.01	-1.16%	2023.01.23	-1.95%	2023.05.19	-1.19%
2023.04.02	-1.90%	2023.01.25	-1.60%	2023.05.26	-1.51%
2023.04.03	-1.35%	2023.01.26	-2.80%	2023.05.29	-1.71%
2023.04.29	-0.41%	2023.02.26	-2.13%	2023.05.30	-1.82%
2023.05.27	-1.37%	2023.02.27	-2.21%	2023.05.31	-2.07%
2023.06.03	-1.08%	2022.02.28	-2.24%	2023.06.05	-1.66%
2023.06.23	-0.96%	2023.04.02	-2.37%	2023.06.28	-1.61%

4.2 分析模型比較

此小節將使用美國公路容量手冊 2022 版第 27 章範例二典型交織路段相關參數，如表 4.2-1 所示，針對、HCM2016、THCM2022、NCHRP 07-26 之分析方法，當中的容量及速率模型進行估計，並將結果轉換為公制單位後進行比較。因各版本分析方法之服務水準評估準則並不相同，因此只計算國內常用之服務水準評估指標，即需求流率/容量比及平均速率/速限比，並未轉換為服務水準。

表 4.2-1 美國容量手冊 2022 版第 27 章範例二提供之參數表

參數名稱	參數值
交織路段長度 L_S	1,000 ft (304.8 m)
主線-主線車輛之流率 V_{FF}	4,000 pc/h
匝道-主線車輛之流率 V_{RF}	600 pc/h
主線-匝道車輛之流率 V_{FR}	300 pc/h
匝道-匝道車輛之流率 V_{RR}	100 pc/h
尖峰小時係數 PHF	1
重車比 HV	0%
自由車流速率 FFS	75 mph (120 kph)
高速公路基本路段具相同自由速率之各車道容量 C_{IFL}	2,400 pc/h/ln
車道數 (主線車道+輔助車道)	4

4.2.1 容量模型比較

容量估算結果如表 4.2-2，HCM 2016 之容量值為 2,145 pc/hr/ln， v/c 為 0.58，而 NCHRP 07-26 之容量值較低， v/c 較高，其主要原因為 HCM 2016 將臨界密度 (Density at capacity) 訂定為 43 pc/mi/ln (即 26.9 pc/km/ln)，而 NCHRP 07-26 透過大量資料分析後發現交織路段應有較低之臨界密度為 35 pc/mi/ln (21.9 pc/km/ln)，表示過去分析方法可能對容量有高估的情況。本計畫現場空拍調查所得到的臨界密度亦與 NCHRP 07-26 的建議值接近。另外，THCM 2022 法並未對交織路段容量進行估算，因此不納入比較。

表 4.2-2 容量模型估計值

交織路段分析方法	容量估計值(pc/hr/ln)	需求流率/容量比 (v/c)
HCM 2016	2,145	0.58
THCM 2022	未估算	未估算
NCHRP 07-26	2,004	0.63

4.2.2 速率模型比較

從表 4.2-3 中可看出 THCM 2022 估算的交織車流及非交織車流的平均速率較低，平均速率也較低，HCM 2016 次之，NCHRP 07-26 的平均速率最高。值得一提的是，NCHRP 07-26 模式是直接估算平均速率，並未針對交織及非交織車流進行估算；而計算結果顯示平均速率/速限比超過 1.0，是因為該分析是以自由車流速率作為計算依據，而範例題目並未

提供速限資料，本計畫假設自由車流速度為速限加 5 英里/小時（或 8 公里/小時），因此在此範例中出現平均速率高於速限之情況。

表 4.2-3 速率模型估計值

交織路段分析方法	交織車流平均速率 Sw (km/hr)	非交織車流平均速率 SNw (km/hr)	交織路段平均速率 (km/hr)	平均速率/速限比 (\bar{V}/V_L)
HCM 2016	95.15	100.63	99.66	0.88
THCM 2022	81.93	98.25	94.86	0.84
NCHRP 07-26	未估算	未估算	114.3	1.01

4.3 模型建立

本節將運用 VD 及 ETC 偵測器資料，建立適用於典型交織路段之速率模型分析及容量估算分析。速率模型適用於車流尚未進入崩潰階段，在不同交織流率及總流率的情況下估及其平均速率；容量模型則適用於未有發生主線下游車流回堵之情境。

資料整理需要將車流量資料轉換為小車當量，然而過程中有發現 VD 資料之大型車車種比例普遍有高估的異常情況，經專家學者座談會確認後，本計畫採用 ETC 資料之車種分類計算綜合小車當量，並套用於 VD 資料將車輛數轉換為小車；另外參考 THCM 2022 第四章之圖表，假設車速在 60 公里/小時的情況下將大型車及聯結車之小客車當量值取 1.4。

4.3.1 速率模型

本計畫參考了 NCHRP 07-26 及 STRIDE Project K2 之相關報告書（Schroeder et al., 2023; Roupail et al., 2021, 2023），為針對交織路段之最新研究，對於 HCM 模式中敏感度及誤差問題進行修正，因此本節研究將以此架構下發展交織路段速率模型。該系列研究提出交織路段速率的估算模型，交織路段中速率的主要影響因素為自由車流速率、交織車流率、平均車道流率、交織路段長度，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。原報告書提出之模型假設交織路段速率 (S_o) 和等效基本路段速率 (S_b) 之間的關係如下：

$$S_o = S_b - SIW \quad (4-3-1)$$

當中 SIW 代表交織亂流的速率阻抗項，在這個架構下，他們評估以下模型架構：

$$S_o = S_b - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l^\varepsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta \quad (4-3-2)$$

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
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)
$\alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$	參數

將前節所述之 VD 及 ETC 資料處理方式，並排除壅塞發生後及異常資料，對上述模型進行調整及校估。為符合校估模式所需，將資料整理為 5 分鐘 1 筆，並根據以下幾點原則作為篩選條件：

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。在此以平均速率 60kph 作為壅塞標準，刪除壅塞後的資料點。

3. 排除壅塞回復資料點

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 10 分鐘的資料點。

4. 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。

上述模式中， S_b 代表相同車流及幾何條件下的基本路段空間平均速率，臺灣公路容量手冊第四章有提出基本路段 2 至 4 車道平坦路段之代表性流率與速率關係，然該關係的資料來源是透過模擬產生，考量交織路段中可能出現 5 車道（主線車道+輔助車道）的情況下，暫不採用該流率與速率關係，而將 S_b 變數改為自由車流速率（FFS），嘗試由提出的模式中直接估算交織路段速率。

自由車流速率（FFS）可以有偵測器資料中進行計算，本計畫將自由車流速率定義為白天而且流率低時之平均車速，因此擷取上午 6 點至下午 6 點、總流率低於 800 車輛 /小時的資料，計算其平均速率以作為平均自由車流速率。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，結果如表 4.3- 1 所表示，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；當速限為 90 公里/小時或以下時，自由車流速率建議值則以該路段速限加上 10 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 北上內湖～東湖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主線 2 車道而重車之限速為 90 公里/小時，自由車流速度較低屬合理結果。

表 4.3-1 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)	5 分鐘資料點數量
國 1 北上 內壢～中壢服務區	4	100	105	104.71	1226
國 1 北上	3	100	105	93.24	872

內湖~東湖					
國3南下 新台五路~南港	4	90	100	95.02	732
國3南下 烏日~中投	4	110	115	113.46	1150
國3北上 中投~烏日	4	110	115	119.32	1276
國3北上 南港~新台五路	4	90	100	98.77	1093

模式校估方式係將每 5 分鐘為單位的資料點帶入以下轉換為公制單位之 Model 1 模式之中，輸入 v_{FR} 、 v_{RF} 、每車道平均流率及交織區長度資料，採用統計軟體運算模式中 α 、 γ 、 δ 、 ε 4 個參數，將該資料點模式算得之車速與 VD 取得實際車速資料比對，使得總誤差最小化以求得最佳解。經校估結果如下表 4.3-2。

$$\text{Model 1: } S_o = FFS - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l \varepsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_S} \right)^\delta \quad (4-3-3)$$

表 4.3-2 Model 1 校估參數結果

參數	α	γ	δ	ε	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 1	0.472	0.622	1.044	0.324	8.667

在 Model 1 校估結果中， α 、 γ 、 ε 三個參數在 99% 信心水準下為顯著，調整交織路段長度影響的參數 δ 則是不構顯著。觀察發現，調整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 3 且不能校估，將其定義為 Model 2，模型架構如下，校估結果如表 4.3-3 所示。

$$\text{Model 2: } S_o = FFS - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l \varepsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_S} \right)^\delta \quad (4-3-4)$$

表 4.3-3 Model 2 校估參數結果

參數	α	γ	δ	ε	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 2	1.340	0.311	0.732	3.	8.815

Model 2 在定義 ε 為 3 之下， α 、 γ 、 δ 、 ε 四個參數在 99% 信心水準下為顯著，但整體誤差上升。考慮到校估模型使用資料多半為 4 車道路段，盤點台灣典型交織區在車道數上分歧不大且多半亦為 4 車道，本計畫調整模型架構，刪除車道數影響調整項，亦即參數 ε 定義為 0，本節定義此模型為 Model 3。模型架構如下，校估結果如表 4.3-4 所示。

$$\text{Model 3: } S_o = FFS - \alpha(v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_l} - 500\right)^1 \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta \quad (4-3-5)$$

表 4.3-4 Model 3 校估參數結果

參數	α	γ	δ	ε	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 3	0.356	0.640	1.044	0	8.672

Model 3 在誤差指標上與 Model 1 相近，而 α 、 γ 兩個參數在 99% 信心水準下為顯著，調整交織路段長度影響的參數 δ 則是不構顯著。團隊欲了解交織流率與總流率對於速率模型影響程度的關係，決定在 Model 3 基礎下調整模型架構，在總流率影響挑整項加入一個新的變數 ζ 。本節定義調整後的模型為 Model 4，模型架構如下，校估結果如所示。

$$\text{Model 4: } S_o = FFS - \alpha(v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_l} - 500\right)^\zeta \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta \quad (4-3-6)$$

表 4.3-5 Model 4 校估參數結果

參數	α	γ	δ	ε	ζ	均方根誤差 (RMSE)(kph)
Model 4	0.894	0.972	0.838	0	0.255	8.148

Model 4 在誤差上有著比前者更好的表現，而其中 α 、 δ 、 ζ 兩個參數在 99% 信心水準下為顯著，調整交織流率影響項 γ 則變為不顯著。

圖 4.3-1 至圖 4.3-4 比較了 Model 1 至 Model 4 的速率估計值與 VD 速率觀察值的關係，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，而圖中黃色標記的國 3 南下新台五路~南港交織路段則是略有速率高估的趨勢。另外，國 3 雙向中投~烏日交織路段在接近壅塞時還是有較高的估計值；國 3 北上中投~烏日交織路段在接近自由車流速率時卻有較低的估計值，兩者造成模型主要的誤差，推測為該資料點速率較低的原因可能不符分析定義，後續將進一步檢視地點及資料的採用及排除條件，以利改進模型績效。

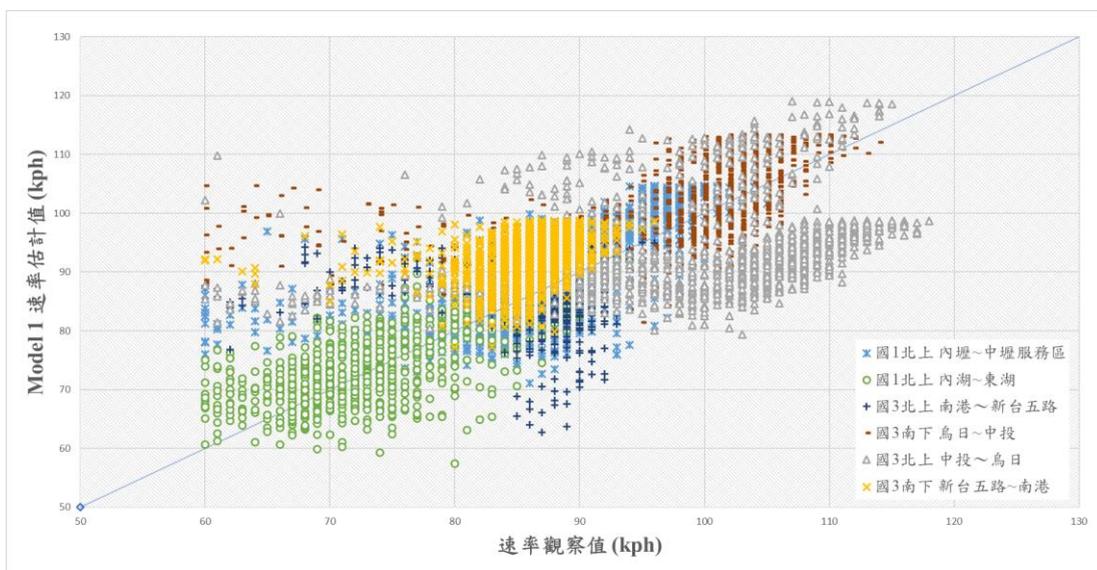


圖 4.3-1 Model 1 速率估計值與觀察值比較

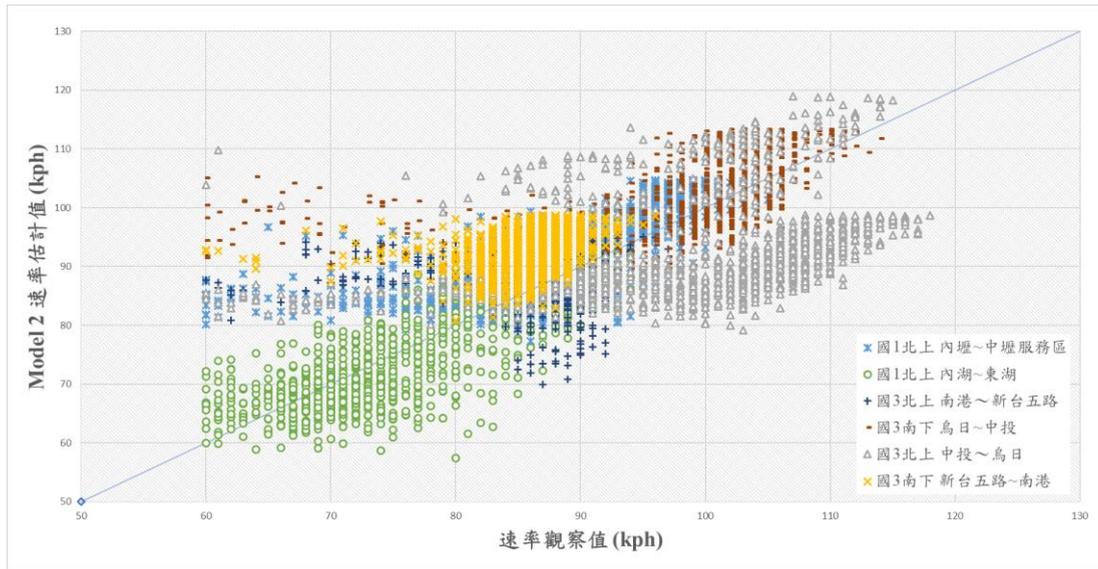


圖 4.3-2 Model 2 速率估計值與觀察值比較

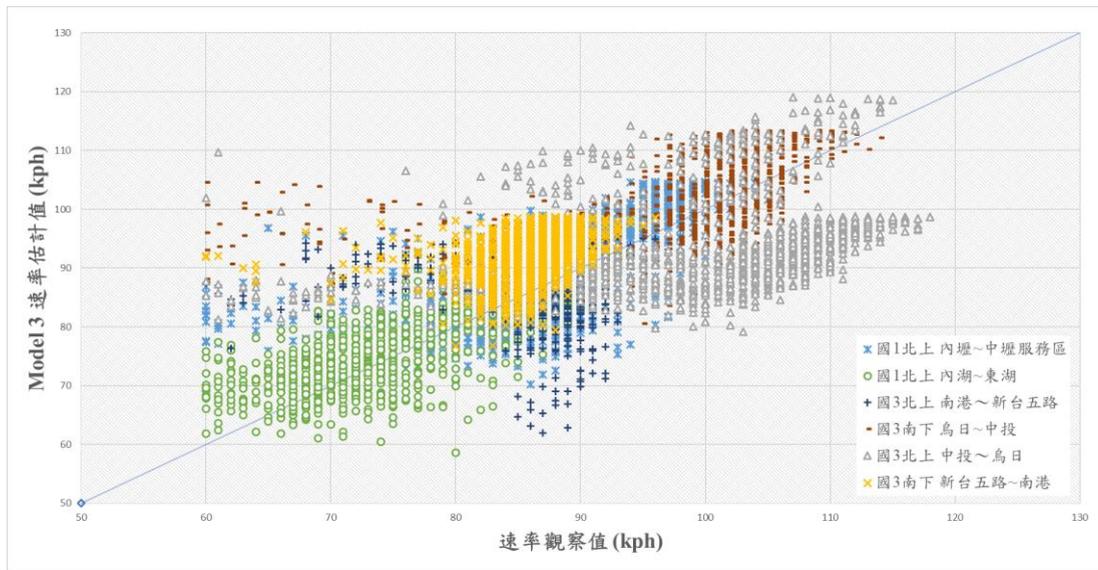


圖 4.3-3 Model 3 速率估計值與觀察值比較

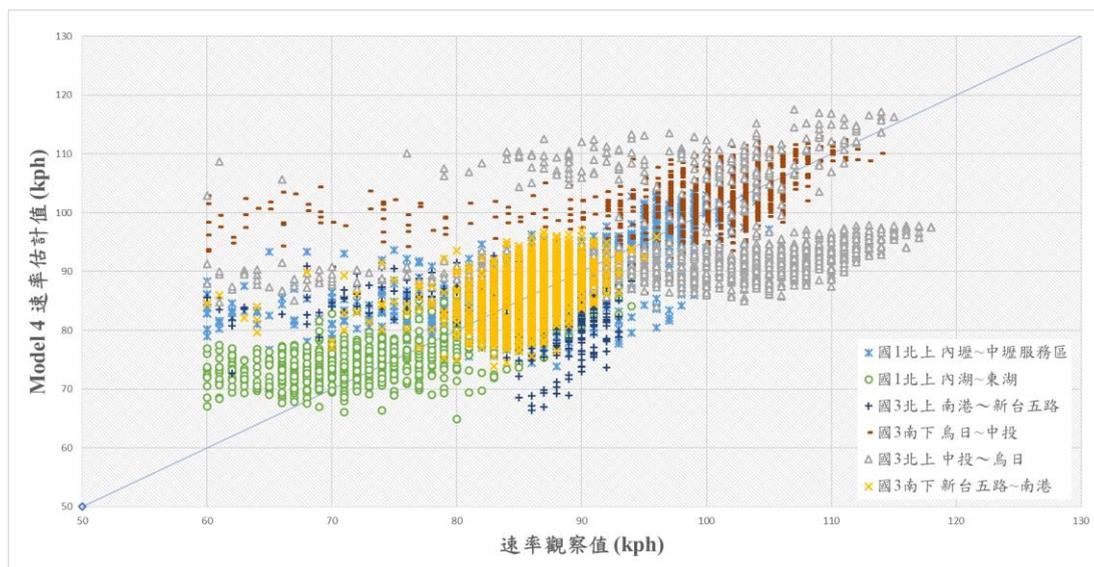


圖 4.3-4 Model 4 速率估計值與觀察值比較

綜整比較四個模型，Model 4 在誤差上有較好的結果，本節將建議以 Model 4 的架構為主。而從前章節的現場調查資料也可看出，平均速率模型並非適用於不同車道及各種車流情況，往往內、外車道的車流行為也大有不同。未來可以加強關於此方向的研究，分別以交織、非交織或是以內、外側道分別發展其速率模型作為目標，以分析不同車道受交織行為的影響差異。另外，隨著交織區長度增加，交織車流對速率的影響可能會隨之消失，交織區最大長度分析也是未來可發展的課題。

4.3.2 容量模型

本節將運用兩種分析方法來探討用交織路段之容量，方法一為利用巨觀車流模型針對偵測器所蒐集資料繪製流率-速率散布圖並進行曲線擬合 (Curve-fitting)，採用 Van Aerde 模型進行校估；方法二為近幾年提出的隨機容量 (Stochastic Capacity) 概念，採用之車流崩潰 (Traffic Breakdown) 條件，找出最大崩潰前流率之車流崩潰點，作為容量值的比較。經 4.1 節說明之地點篩選後，僅有兩處地點符合分析條件。以下將對國 1 北上內湖~東湖、國 3 北上南港~新台五路兩個交織路段之 1 分鐘資料滾動為 5 分鐘資料進行容量估算分析。

4.3.2.1 Van Aerde 模型

此小節採較廣為使用之巨觀車流模型—Van Aerde 模型進行校估，其所需校估之參數有自由車流速率 V_f 、擁擠密度 k_j 、流率可達之最大值 q_m ，以及在到達最大流率時之車速 V_m ，並利用最小化均方根誤差(root-mean-square error, RMSE)來求得 q_m ，以下方程式(4-3-7)至(4-3-10)將列出數學模型。

$$k = \frac{1}{C_1 + C_3 V + C_2 / (V_f - V)} \quad (4-3-7)$$

$$C_1 = \frac{V_f}{k_j V_m^2} (2V_m - V_f)^2 \quad (4-3-8)$$

$$C_2 = \frac{V_f}{k_j V_m^2} (V_f - V_m)^2 \quad (4-3-9)$$

$$C_3 = \frac{1}{q_m} - \frac{V_f}{k_j V_m^2} \quad (4-3-10)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)^2}{n}} \quad (4-3-11)$$

圖 1 北上內湖～東湖：

此地點在經由上述資料前處理篩選條件後有些許資料在密度低之情況下並無行駛至自由車流速率，觀察到其時間多散布在早上 6 點多，因此先將資料點刪除再進行曲線擬合。

表 4.3-6 可以得知自由車流速率 V_f 為 99.35(km/hr)，該交織路段速限訂定為 100(km/hr)，但大車行駛之速限為 90(km/hr)，推測此為校估後自由車流速率低於路段速限之原因，而流率可通過之最大值則為 4,169.22(pc/hr)。

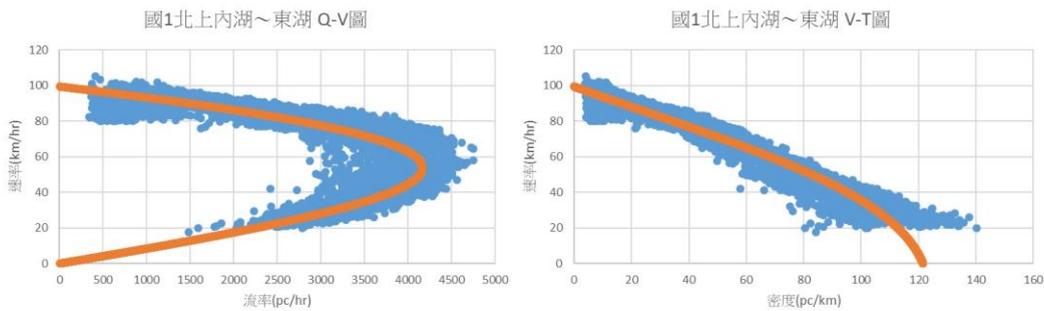


圖 4.3-5 國 1 北上內湖～東湖 流率-速率及速率-密度圖

表 4.3-6 校估參數表

參數	校估值
V_f	99.35(km/hr)
k_j	121.58(pc/km)
V_m	53.85(km/hr)
q_m	4,169.22(pc/hr)
RMSE	7.6

國 3 北上南港～新台五路：

此地點多在早上發生半小時至一小時壅塞情形，考慮建構模型之資料點需要資料平衡，因此選定早上 6:00 至 12:00 之資料點進行分析，以使得模型校估誤差較小且結果較為準確。而該地點之車流可能有匝道出口回堵情況，流率到達該日最大值時平均速率並未有下降之情形，因此難以判斷透過曲線擬合法得到的通過量最大值是否可作為容量值之參考。

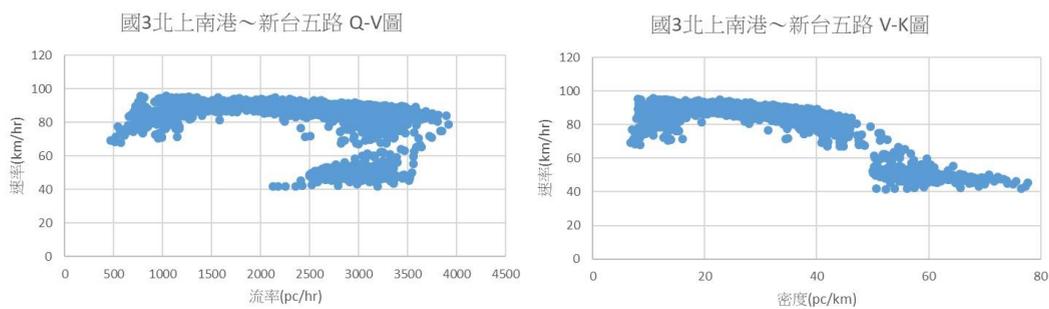


圖 4.3-6 國 3 北上南港～新台五路 流率-速率及速率-密度圖

4.3.2.2 最大崩潰前流率

此小節欲利用隨機容量之概念，以下三步驟為尋找最大崩潰前流率之車流崩潰資料點，依時序逐一檢查，直到有資料同時符合三個步驟的條件，在計算該時間點之各車道及全斷面之速率及流率。

步驟 1: 該筆資料速率較上一筆資料速率低

步驟 2: 該筆資料前五分鐘與後五分鐘之平均差異超過 8km/hr

步驟 3: 該筆資料五分鐘後之速率不大於此筆資料之速率

國 1 北上內湖～東湖：

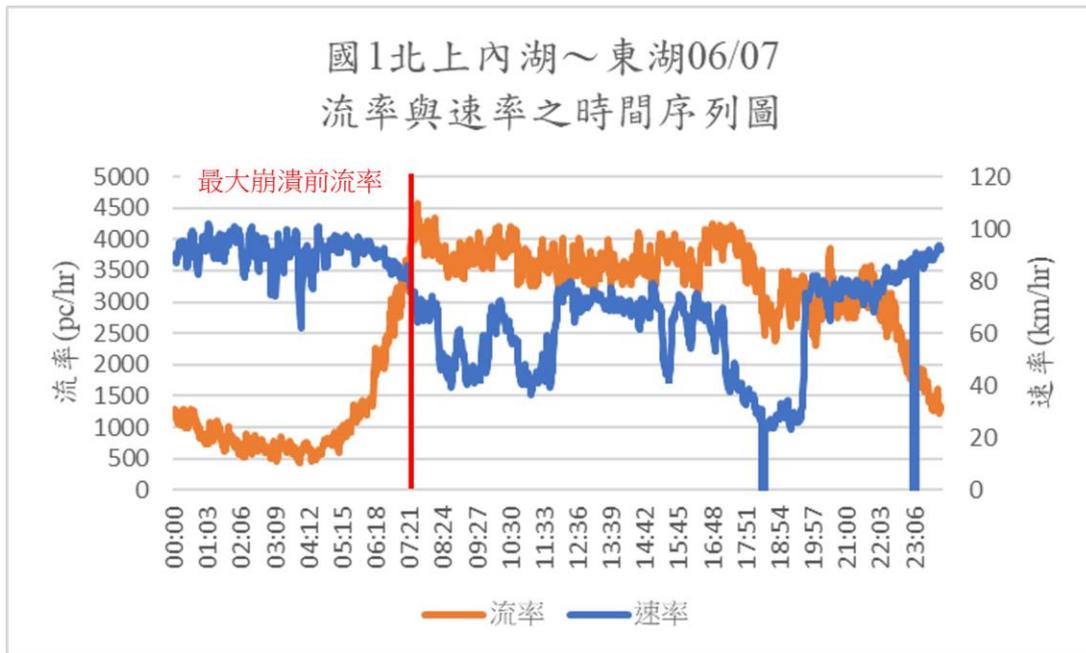


圖 4.3-7 速率與流率之時間序列圖(國 1 北上內湖～東湖)

表 4.3-7 國 1 北上內湖～東湖車流崩潰點之各車道、全斷面速率及流率

日期	速率(km/hr)				流率(pc/hr)			
	內側 車道	外側 車道	輔助 車道	車道 平均	內側 車道	外側 車道	輔助 車道	車道 平均
06/05	76.6	71.2	64.2	70.3	1,620	1,284	1,080	1,328
06/06	82.6	72.8	61.6	72.3	1,620	1,224	1,176	1,340
06/07	76.6	70	69.2	71.9	1,716	1,464	1,056	1,412
06/09	69.4	64.8	69.4	67.9	1,560	1,380	804	1,248
06/15	78.6	69.4	64.6	70.8	1,584	1,116	876	1,192
06/20	64.8	63.4	56.5	61.6	1,608	1,308	972	1,296

由表 4.3-7 可以得知多天資料之車流崩潰點多為內側車道車速較快，輔助車道速率較慢，但在 06/19 為外側車道車速最慢，未來將蒐集更多資料以用來分析交織路段容量之隨機性。

國 3 北上南港～新台五路：

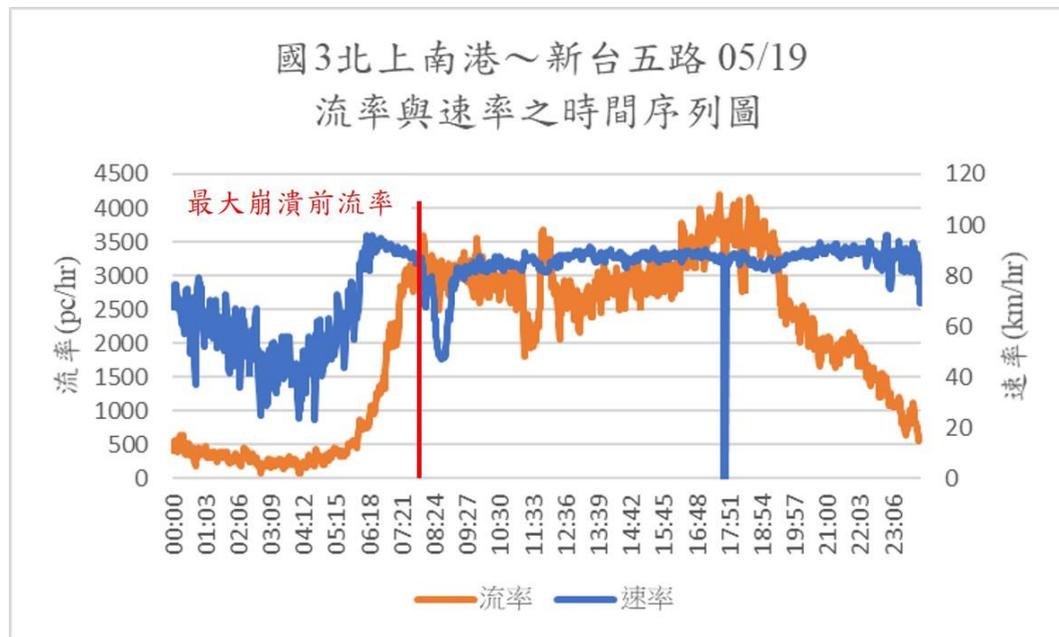


圖 4.3-8 速率與流率之時間序列圖(國 3 北上南港～新台五路)

表 4.3-8 國 3 北上南港～新台五路車流崩潰點各車道、全斷面速率及流率

日期	速率(km/hr)					流率(pc/hr)				
	內側車道	中間車道	外側車道	輔助車道	車道平均	內側車道	中間車道	外側車道	輔助車道	車道平均
05/19	101.8	91.8	77.6	69.2	85.1	504	852	1,308	636	825
05/26	100.6	93	81	72.6	86.8	444	888	1,164	624	780
05/29	100.4	91	77.4	66.4	86.8	516	828	1,140	744	807
05/30	99	92.6	78.8	69.4	85	480	696	1,128	600	726
05/31	96	89	75.6	67.6	82.1	564	1008	1,140	792	876
06/05	97.4	91.4	77.6	65.6	83	444	948	1,128	732	818
06/28	98.8	94	82.4	70.6	86.5	492	780	1,188	600	765

此地點為放寬回堵條件後篩選具下匝道回堵情形之交織路段，由上述最大崩潰前流率步驟求得之表 4.3-8 也可以得知多天資料之車流崩潰點之內側車道車速較快且流率較小，外側車道速率較內側兩車道

速率低且流率較高，而輔助車道速率最慢，表示該地點為匝道開始發生壅塞情形，此時若用斷面平均之資料可能無法反映出該地點壅塞發生之原因。

另外，目標的資料處理每隔 1 分鐘滾動計算 5 分鐘平均為 1 筆資料，可供分析的資料點較多。為配合公路容量手冊對容量之定義，後續將測試不同的滾動方式並以 15 分鐘平均為單位進行容量校估作業。

4.4 交織路段分析方法

本方法論主要經由交織及非交織車流量以及交織路段之結構特性，計算交織路段之容量及平均速率，據以評估交織區段內車流運作之服務水準。此為初步規劃之分析方法，本期研究只針對典型交織路段進行探討，在後續發展非典型交織路段及包含系統交流道之交織路段之分析模型後，將再檢討分析方法之適當性。

交織路段分析程序主要含 8 個步驟（如圖 4.4-1），簡要說明如下：

1. 蒐集交織路段實質幾何資料
 - 實質幾何資料包括：交織路段長度、車道數、交織型式及路型結構
2. 蒐集分析時段交通資料
 - 交織路段之四股車流：主線至主線、主線至匝道、匝道至主線、匝道至匝道之交通量及車種比例（分為小型車、大型車、聯結車等三種車型）
 - 尖峰小時係數（PHF）
 - 交織路段內之各車道及全部車道之平均速率
 - 主線及匝道之自由車流速率或速限
3. 估計對等小車需求流率
 - 界定大型車種（大型車、聯結車）當量值
 - 估計對等小車需求流率
 - 尖峰小時係數（PHF）
4. 決定交織幾何結構特性
 - 透過主線往匝道之最小換道次數、匝道往主線之最小換道次數、換道換次數為 0 或 1 之車道數、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等幾何資料，判斷交織

型式為典型交織路段、非典型交織路段

- 典型交織路段、非典型交織路段在容量及速率計算公式上，將採用不同的模式或參數

5. 計算最大交織長度

- 最大交織長度指交織車流所產生之亂流對交織路段之運作已不構成影響之交織路段長度最大值。
- THCM 2022 之交織路段分析方法，將最大交織長度設為定值 760 公尺。
- 本計畫認為最大交織長度應受車流及幾何條件相關，當流量比（交織流量佔路段總交通量之比例）越高，交織亂流所造成之干擾約長，因此最大交織長度越大。而可供交織車流進行車流變換的車道數越多，交織引起的亂流較小，最大交織長度會越小。
- 預計將根據特定車流及幾何情況下，計算受交織車流運作影響之最大路段長度。如實際交織路段長度低於最大交織路段長度，則可視為受影響並採用交織路段分析方法；如實際交織路段長度大於最大交織路段長度，則可視為不受影響並將進口匝道、出口匝道分別以分匯流區之方式進行分析。
- 受限於目前可用資料不足，尚未發展完整之最大交織長度之模式，將於後續研究進行探討。

6. 計算交織路段容量

- 參考 4.2 節之分析結果，估算交織路段之容量值，以及需求流率/容量比（ v/c ）。
- 如 v/c 大於 1.0，表示車流呈壅塞狀態，服務水準第一項指標為 F 級，並終止分析。

7. 計算交織路段平均速率

- 參考 4.3 節之分析結果，估算交織路段平均速率、計算平均速率/速限比（ \bar{V}/V_L ）。

8. 評估交織路段運作運作

- 根據需求流率/容量比、平均速率/速限比，並參照服務水準等級劃分標準表，評估交織路段之服務水準。

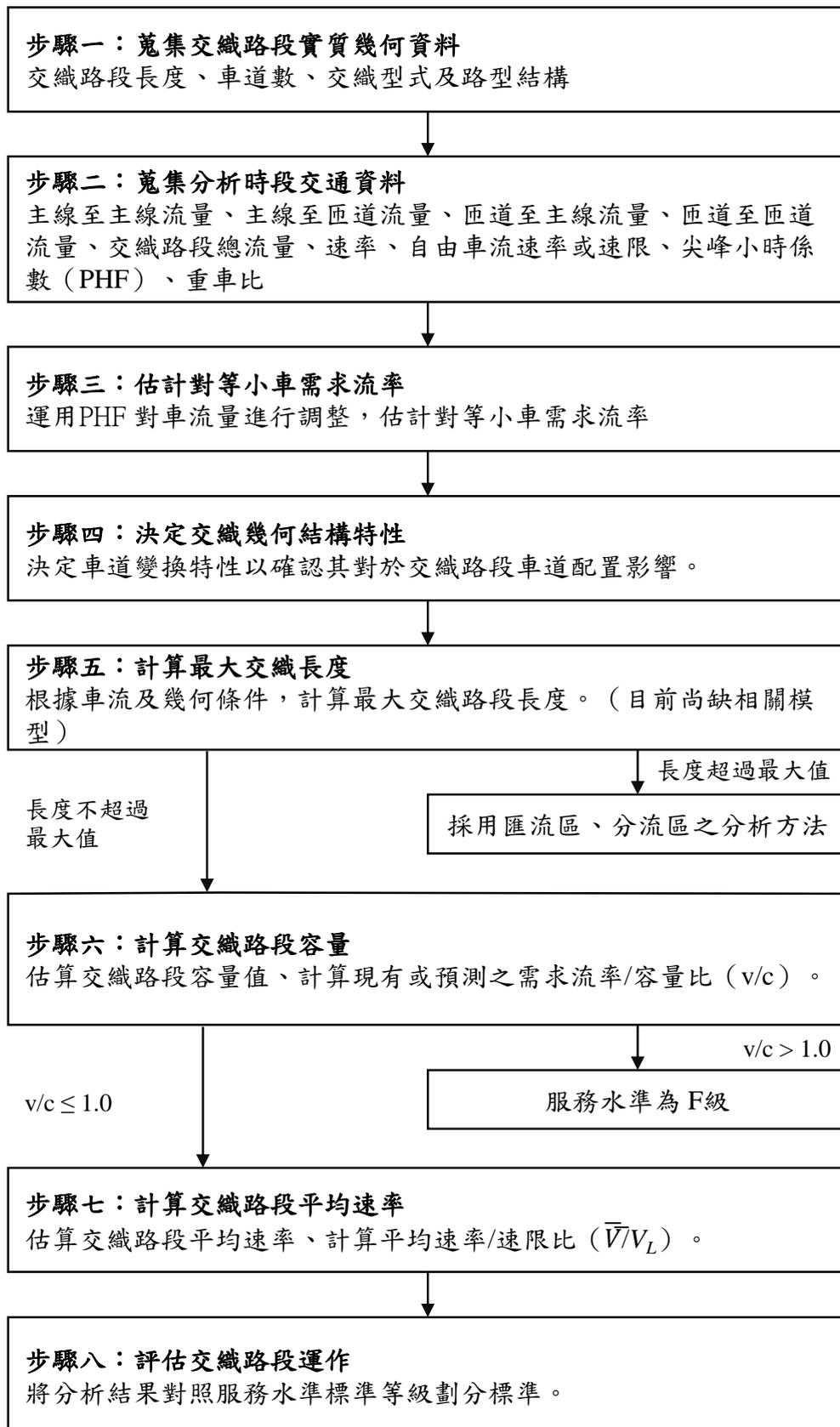


圖 4.4-1 交織路段分析方法流程

4.5 專家座談會

本期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 112 年 11 月 2 日下午在本所舉辦專家學者座談會議，當日與會之專家學者包括：國立陽明交通大學運輸與物流管理學系胡守任教授、國立東華大學運籌管理研究所陳正杰副教授、本所林大焜前所長、交通部公路局李忠璋副總工程司、交通部高速公路局以及國內多家工程顧問公司工程師。在說明本計畫的背景後，分別就四項議題進行說明：

1. 議題一、適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法：我國公路容量手冊未有列出容量估算方式之標準流程，近年國外有學者提出隨機容量概念為現場蒐集資料的校估容量方法之一。
2. 議題二、車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量（PCE）：與 ETC 資料比對，發現 VD 資料之大型車比例有高估情況。
3. 議題三、國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性：本計畫已完成國 1、國 3 共 59 個交織路段盤點，發現國內交織路段幾何多樣。欲探討提出之方法論需涵蓋路段樣態程度為何？
4. 議題四、交織路段之服務水準評估指標及劃分標準：我國現階段以斷面總流率及平均速率作為交織區段評估指標，可能無法反映現況交織與非交織車輛的實際狀況。

專家學者及實務單位就以上四項議題表達提供意見及建議，詳細會議記錄如附錄 2，整理相關重點及結論如下：

1. 針對「議題一、適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法」，專家學者普遍支持使用隨機容量之估算方法，惟該方法中車流崩潰之 λ 值需再根據現場條件滾動調整。此外，不同日期發生最大流率的車道不一，故建議研究團隊可確認是否能找出一致性。而工程顧問公司大多希望研究結果可有一固定值供依循。
2. 針對「議題二、車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量（PCE）」，專家學者與實務單位一致認同 VD 經常有將大型車比例高估情形。部分專家建議透過模擬工具評估大型車輛在道路中實際影響路況程度，也有

專家表示需針對 VD 資料校估後再行處理 PCE 問題。工程顧問公司希望大型車 PCE 值可以有一固定值可供其規劃設計參照使用。

3. 針對「議題三、國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性」，專家表示研究團隊已清楚提出國內交織路段分類，另部分專家建議將交織長度納入分析中，也可以嘗試分析新設匝道之影響。而工程顧問公司期望新分析方法能排除只適用 760 公尺內之交織區段之限制，同時期待能了解匝道長度是否滿足車輛排隊等候長度。
4. 針對「議題四、交織路段之服務水準評估指標及劃分標準」，專家與實務單位大致認同以斷面總流率及車道平均速率作為評估指標，會有無法反映交織及非交織車流運作之差異情形，建議可進一步探討合適的評估指標及劃分標準，也有單位建議可納入考慮外側及輔助車道之評估。另外，顧問公司在相關工程改善檢核需要考量可供交織行為之長度是否足夠，因此也是服務水準分析中重點之一。

4.6 小結

本計畫蒐集了台灣高速公路典型交織路段 11 處之資料，並進一步依據車流特性，篩選出適合用於建立交織區速度與容量模型之資料，並分析目前文獻上之速率模型之準確性，包含 HCM (2016)、THCM(2022) 與 NCHRP 07-26 模型。

在速率分析方面，本計畫參考 NCHRP 07-26 之最新模型，提出典型交織路段型態之速率模型，其中主要影響因素包括自由車流速率、交織車流率、平均車道流率、交織路段長度，本計畫亦依所蒐集之資料，經校估及測試多個模型後，最終建議模型的表現為均方根誤差約為 8 公里/小時，結果尚可但應有改進空間。由觀察值及模型估算值比較圖可發現，模型結果受地點及資料篩選條件影響，建議後續研究將進一步檢視資料的採用及排除條件，以利改進模型結果。

在容量分析方面，本計畫則採用兩種方法來進行容量校估，方法一為利用巨觀車流模型針對偵測器所蒐集資料繪製流率-速率散布圖並進行曲線擬合法(Curve-fitting)，本計畫採用 Van Aerde 進行校估；方法二為近年提出的隨機容量(Stochastic Capacity)概念，運用車流崩潰(Traffic Breakdown)判定條件找出最大崩潰前流率作比較。惟符合分析條件的地點數相當有限，

目前僅針對其中兩個地點進行探討並計算其容量值，尚未能發展出完整之容量估算方式。建議後續研究可加入更多的資料，進行更完整的分析。

最後則提出一交織路段服務水準的分析流程，供後續分析典型交織路段使用。本年期計畫係針對典型、非系統交流道路段進行服務水準分析，後續年期將針對非典型與系統交流道路段進行分析，期能建立起各類型路段適用之服務水準分析模式與流程。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本計畫之結論如下：

1. 文獻回顧

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、交織路段容量的訂定、交織路段設計與運行管理，以及各個公路容量分析在交織路段設施的發展概要，並針對各國分析方法之考量及模式，歸納各方法論之輸入及輸出變數及啟發，並以美國方法論為基礎，進一步發展符合國內車流情況之分析方法論。

2. 現場調查及車流特性分析

已完成 4 處現場調查，包括國 3 南下烏日-中投、國 1 北上豐原~臺中系統、國 1 北上內壢 ~中壢服務區、國 3 北上新竹系統~寶山，並進行車流資料蒐集及車流特性分析，發現如下：

- 交織路段長度及車道變換行為：主線到匝道、匝道到主線的車道變換行為主要發生於穿越虛線範圍內，少有車輛違規於槽化線範圍內變換車道，也確認了交織路段長度應以穿越虛線長度為主，不包含槽化線範圍。另外，現場觀察發現車道變換行主要發生於穿越虛線的開始端，導致交織密度集中。
- 交織車流之速度：透過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，主線到匝道車流、匝道到主線車流對於交織路段運作的影響程度亦可能有所不同；因此過去研究僅將主線到匝道車流、匝道到主線車流合併為交織車流，有可能過度簡化。

3. 典型交織路段之分析方法

已提出典型交織路段之分析方法，並發展平均速率估算模型、容量估算方式，說明如下：

- 已完成整理偵測器資料方式，並開發能抓取交織路段範圍內所

有偵測器資料（包括 VD 資料及 ETC 之 M06A 資料）並視覺化顯示車流資訊的儀錶板工具，以利於建立分析模式時選取符合建模條件之資料。

- 資料整理過程中，發現部分 VD 資料的車種分類比例異常，經與 ETC 資料交叉比對後，研判 VD 的大型車種比例有高估現象。
- 本計畫提出的速率模型，主要影響因素為自由車流速率、交織車流率、平均車道流率、交織路段長度。經校估及測試多個模型後，最終模型的表現為均方根誤差 (RMSE) 8.15 公里/小時，未來年期仍可就模式持續精進。
- 交織路段之容量值受到交織車流及幾何因素影響，應較基本路段之容量值為低。本計畫以曲線擬合法 (Curve-fitting) 及隨機容量分析法 (Stochastic Capacity) 採用之車流崩潰 (Traffic Breakdown) 條件來估算交織路段容量值，惟符合分析條件的地點相當有限，目前僅以有限地點進行探討並計算其容量值，後續將持續精進容量估算方式。

5.2 建議

1. 交織路段分析方法

本年期研究對象為典型交織路段，因此所開發的速率估算模型只考慮幾何較單純的交織型態。第二年期研究將探討非典型交織路段，需要進一步將較複雜的交織型態因素納入估算模型之參變數。

2. 現場調查及車流特性分析

現場觀察發現車道變換行為主要發生於穿越虛線的開始端，導致交織密度集中，後續可再探討車流是否有充分運用交織路段長度進行車道變換，如只有部分交織路段長度有被使用，則應考慮納入並反映於分析模型中。另外，後續建議探討主線到匝道、匝道到主線兩股交織車流是否應有不同權重變數以反映不同的影響程度。

3. 典型交織路段之分析方法

建議 VD 資料在車種比例異常的情況下，採用 ETC 資料來輔助計算綜合小車當量，並套用於 VD 資料將車輛數轉換為小車。另外，速率模型到發展過程中，由觀察值及模型估算值比較圖可發現，模型結果受地點及資料篩選條件影響，後續將進一步檢視資料的採用及排除條件，以利改進模型結果。交織路段之平均速率應不高於相同條件下之基本路段之平均速率，後續也應進行比較。

4. 容量值估算方法

專家學者座談會當中，學術界表示認同及可嘗試不同的容量估算方式。惟現階段所採用的資料樣本不多，尚未有明確結論，建議未來多選取不同地點及日期的資料，進行更完整的分析。

5. 服務水準評估指標

目前公路容量手冊的交織路段分析方法係參考美國公路容量手冊 1985 年版本，分別估算交織車流及非交織車流之速率，做為服務水準的評估準則。然而，發展此模式所需資料只能透過現場調查取得且取得方式相當困難，無法大量複製。美國 HCM 2022 之分析方法仍需要透過車道變換次數去估算交織車流及非交織車流之速率，再計算空間平均速率及平均密度作為績效指標之評估方式，其分析方法需要蒐集交織及非交織車流資料，仍有資料取得上之困難。NCHRP 07-26 則採用以交織路段之各車道斷面平均值作為評估依據，可以運用偵測器資料發展模式及驗證，可突破 HCM 2022 分析方法之困境。然而，當主線內側、外側及輔助車道之運作績效有較大差異時，平均值則會無法充分反映現況，建議可針對此議題進一步探討，如可以透過設定全車道、外側及輔助車道之檢核點進行評估。

6. 使用者需求

顧問公司因實務需要，於專家學者座談會中均表達期望後續發展之分析方法可以容易操作，參數及計算公式可以有較明確的建議值，以及分析方法不受交織路口長度小於 760 公尺之限制，以利後續公路容量手冊的使用者依循操作較為方便，爰建議後續於公路容量手冊編撰時建立明確的標準值以利實務操作。

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. 周晨靜, 榮建, & 馮星宇. (2015). 2010HCM 交織區通行能力分析方法適用性研究. 公路交通科技, 32(4), 118-123.
7. 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。
8. 黃家耀, 林貴璽, 廖晉毅, 陳威瑜, 溫雲晨, 李祐德, 林亶理, 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。
9. 馮玉榮, 楊少偉, 楊宏志, & 徐鵬. (2018). 高速公路交織區運行分析方法對比研究. 公路交通科技, 35(8), 134-143.
10. 楊少偉, 馮玉榮, 楊宏志, & 徐鵬. (2018). 高速公路交織區運行分析方法綜述. 公路交通科技, 35(10), 92-103.
11. 鄭賜榮 (1990), 「日本道路容量手冊」, 交通部運輸研究所。
12. An, X., Zhao, J., Li, P., & Ma, X. (2019). Effect of lane allocation on operational efficiency at weaving areas based on a cellular automaton model. IET Intelligent Transport Systems, 13(5), 851-859.

13. Ahmed, I., Xu, D., Roupail, N., & Karr, A. (2018). Lane Change Rates at Freeway Weaving Sites: Trends in HCM6 and from NGSIM Trajectories. *Transportation Research Record*, 2673(5), 627–636.
14. 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.
15. 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.
16. Hao, W., Zhang, Z., Gao, Z., Yi, K., Liu, L., & Wang, J. (2020). Research on mandatory lane-changing behavior in highway weaving sections. *Journal of advanced transportation*, 2020, 1-9.
17. Hess, J. W. (1963). Capacity and characteristics of ramp-freeway Connections II, *Highway Research Record* 27, TRB, Washington, D.C.
18. HRB (1950) *Highway Capacity Manual (HCM 1950)*, Bureau of Public Roads, US. Department of Commerce, Washington, D.C.
19. HRB (1965) *Highway Capacity Manual (HCM 1965)*, Special Report 87, Highway Research Board, National Research Council, Publication 1328, Washington, D.C.
20. Kashani, A., & Shirgir, B. (2021). Development of maximum weaving length model based on HCM 2016. *Transportation research record*, 2675(4), 135-145.
21. Kondyli, A., St. George, B., Elefteriadou, L., & Bonyani, G. (2017). Defining, Measuring, and Modeling Capacity for the Highway Capacity Manual. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 143(3).
22. Leisch, J., (1974). *Capacity Analysis Techniques for Design and Operation of Freeway Facilities*, FHWA, US. DOT, Washington, D.C.
23. Leisch, J., (1983). *Completion of Procedures for Analysis and Design of Traffic Weaving Areas, Final Report, Vols 1 and 2*, U.S. DOT, FHWA, Washington, D.C.
24. Leisch, J. & Associates, (1984). *Procedure for Analysis and Design of Weaving Sections, Final Report, Vol. 2*, U.S. DOT, FHWA, Washington,

D.C.

25. Lertworawanich, P., & Elefteriadou, L. (2001). Capacity Estimation for Type B Weaving Areas used Upon Gap Acceptance. *Transportation Research Record* 1776, 24-34.
26. Lertworawanich, P., & Elefteriadou, L. (2003). A Methodology for Estimating Capacity at Ramp Weave Based on Gap Acceptance and Linear Optimization. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(5), 459–483.
27. Lertworawanich, P., & Elefteriadou, L. (2007). Generalized Capacity Estimation Model for Weaving Areas. *Journal of Transportation Engineering*, 133(3), 166–179.
28. Luo, J., Zeng, X., Chen, Y., & Sun, D. (2019). Determining acceleration lane length on expressway weaving area using microscopic traffic simulation. In *International Symposium for Intelligent Transportation and Smart City (ITASC) 2019 Proceedings: Branch of ISADS (The International Symposium on Autonomous Decentralized Systems)* (pp. 13-27). Springer Singapore.
29. 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.
30. Moskowitz, K. and Newman, L. (1963). Notes on Freeway Capacity, *Highway Research Record* 27, TRB, Washington, D.C.
31. Nederland, G. (2015). *Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen*, versie 4.
32. Pignataro, L. J., McShane, W.R., Crowley, K.W., Lee, B., Roess, R. P., (1971). *Weaving Area Operations Study, Final Report*, NCHRP Project 3-15, Polytechnic Institute of Brooklyn, Brooklyn.
33. Roess, R., (1987). *Development of Weaving Area Analysis Procedures for the 1985 Highway Capacity Manual*, TRR 1112, Washington, D.C.
34. 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.
35. Roess, R. and Prassas, E., (2014). *The Highway Capacity Manual- A Conceptual and Research History Vol.1: Uninterrupted Flow*, Springer.
 36. Roess, R., Prassas, E., and McShane, W., (2019). *Traffic Engineering*, 5th Edition, Pearson.
 37. 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) and Transportation Institute, University of Florida
 38. Rouphail, N., Elefteriadou, L., Aminil, E. and Ahmed, I. (2023) *Assessing & Addressing Deficiencies in the HCM Weaving Segment Analyses (Phase 2 of Project K2)*. Final Report Project J5. Southeastern Transportation Research, Innovation, Development, and Education Center (STRIDE) and Transportation Institute, University of Florida.
 39. 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)*. <https://doi.org/10.17226/27044>.
 40. Skabardonis, A. & Mauch, M. (2015). *Evaluation of Methodologies for Analyzing Freeway Ramp Weaving* Transportation Research Record, 2483, 130–139.
 41. Skabardonis, A., Papadimitriou, F., Halkias, B., & Kopelias, P. (2016). *Operational Analyses of Freeway Off-Ramp Bottlenecks*. *Transportation Research Procedia*, 15, 573–582.
 42. Sun, S., An, X., Zhao, J., Li, P., & Shao, H. (2021). *Modeling and simulation of lane-changing management strategies at on-ramp and off-ramp pair areas based on cellular automaton*. *IEEE Access*, 9, 35034-35044.
 43. TRB (1980). *Interim Procedures on Highway Capacity*, Circular 212, TRB, Washington, D.C., 1980.
 44. TRB (1985). *Highway Capacity Manual (HCM 1985)*, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington,

D.C.

45. TRB (1994). Highway Capacity Manual (HCM 1994), Special Report 209 (Revised in 1994), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
46. TRB (2000). Highway Capacity Manual (HCM 2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
47. TRB (2016). Highway Capacity Manual (HCM 2016), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
48. TRB (2010). Highway Capacity Manual (HCM 2010), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
49. TRB (2022). Highway Capacity Manual (HCM 2022), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
50. Wang, X., Ding, Z., Guo, K., & Lin, Y. (2021). A simulation-based comprehensive analysis for traffic efficiency and spatial distribution of risks in short weaving area of municipal interchange. *Journal of advanced transportation*, 2021, 1-14.
51. 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.
52. Xu, D., Roupail, 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.
53. 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 1 期中審查會議意見與回覆表

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
陳委員宏仁(書面意見)			
1.	圖 1.1-2 建議參照圖 1.1-1 原則(縮小槽化區範圍加長交織路段)修正，以利閱讀。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
2.	報告書 P.10 報告書提及楊玉榮、Luo、Sun 等人之研究成果，惟參考文獻並無相關資料來源，建議補充。	謝謝委員指正，依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
3.	報告書 P.10，RMSE 和 MPE 定義為何，建議補充。	依指示辦理，於期末報告 2.3 節修正。	同意
4.	報告書 P.11，倒數第 2 行似有錯字，請再檢視。	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
5.	報告書 P.12、P.13，HCM6 是否為 HCM2016 簡稱？請補述。	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 HCM2016，已在期末報告修正。	同意
6.	報告書 P.14、P.19，THCM 目前係採 HCM1985 編撰，其交織路段長度定義為分流點下游與路肩橫向距離 0.6 公尺處，惟 1994 採 3.6 公尺，其原因為何？建請補充。	經翻查文獻 (Roess and Prassas, 2014 The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History)，交織路段長度定義為匯流端進入道路內緣相距 2 英尺 (0.6 公尺) 處至分流端離開道路內緣相距 12 英尺 (3.6 公尺) 處，最早出現於 HCM1965，其邏輯沒有明確出處。推測原因可能是受限於當時的可用資料及長度量測方式；另一個可能原因是出口匝道之曲率通常比進口匝道之曲率來得更大，此方法能更反映實際情況。	同意
7.	報告書 P.46、P.48，其他國家分析方法評析第二段說明日本公路容量手冊(JHCM)因沿用美國方法論，故未列入表中，惟表 2.5-1 仍有 JHCM。	依指示辦理，將 JHCM 納入表格中。	同意
8.	報告書 P.50，倒數第二行說明「於匝道區低、中、高」流率狀況下各蒐集至少 30 分鐘。全部是否需蒐集 1.5 小時	是的，現場調查規劃是要蒐集三種不同流率狀態下各至少 30 分鐘資料，全部調查整理應不少於 1.5 小時。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
9.	圖 3.1-4 中心是否表示交織路段範圍？其與地形圖顯示範圍似有不符。	謝謝委員意見。圖 3.1-4 是指規劃階段兩側無人機的預定拍攝畫面至少應涵蓋的範圍，其底圖為 Google Map。經確認兩側空拍畫面已涵蓋交織路段範圍。	同意
10.	本計畫分 3 年期辦理，銜接系統交流道交織路段屬第 3 年期，本(第 1)年期調查地點即有兩處系統交流道，是否符合需求？	本期調查原規劃是以未銜接系統交流道之典型交織路段為主，但經詳細檢查後發現部分候選地點不符拍攝或分析需求（如交通量過低），經與運研所討論後，決定將兩處地點改為調查銜接系統交流道之典型交織路段。	同意
11.	報告書 P.58 國 1 北上內壢~台中系統應修正為豐原~台中系統。	謝謝指正，依指示辦理。	同意
12.	圖 3.2-6 及圖 3.2-7 應修正為圖 3.2-7 及圖 3.2-8。	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
13.	圖 3.4-2 V-K 圖縱軸應為速率而非流率。	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
14.	報告書 P.77、P.78，RHF 應修正為 PHF。	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
15.	運研所研究主題與重點提及 TRB 1985 (THCM)之分析方法不適用美國環境，後續版本已更新分析訪法，本計畫為何選擇 THCM、HCM2016、STIRDE 模式進行評估，建議補充說明。	謝謝委員意見，本計畫仍與舊版方法進行比較，目的是嘗試釐清各方法論在本土例子之誤差範圍。	同意
曾委員平毅			
1.	研究團隊已完成期中報告書之進度，內容符合規畫要求。	謝謝委員意見。	同意
2.	報告書 P.8，最大化 $\{V_{FF}+V_{RF}+V_{RR}+V_{RF}\}$ 為首次出現，亦建議補充說明。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
3.	報告書 P.8，B 類、C 類交織亦首次出現，亦建議補充說明。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
4.	報告書 P.9、P.10，馮玉榮與楊少偉等人 (2018)，Luo 等人 (2019)、Sun(2021)(等人等大陸文獻均未列「參考文獻」，請補充。(書面意見)	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
5.	報告書 P.12，HCM6 的簡稱亦首次出現。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
6.	報告書 P.14，「本研究」應改為「該研究」。	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
7.	第 4 個調查地點建議可優先考慮國 1 北上新竹系統~寶山交流道。	謝謝委員建議。本案已採用國 1 北上新竹系統~寶山交流道作為第 4 個調查地點。	同意
8.	建議研究分析臺灣車流特性與國外相異之處。	謝謝委員意見。本案將比較臺灣國外車流特性之相異之處，由於國內車流有比較常發生車道變換及超車之情況，將比較不同流率及速率情況下之車道變換頻次，並釐清是否對道路之通行能力造成影響。	同意
鍾委員智林			
1.	本計畫為延續性研究，先期已奠定了良好基礎，本次期中報告書之計畫架構、文獻回顧、研究方法等項目均清楚呈現。	謝謝委員意見。	同意
2.	報告書 P.58，首行國 1 北上內壢~台中系統應為豐原~台中系統，本地點的無人機空拍資料蒐集時間未包含由非壅塞進入壅塞的狀態，是否會影響分析的完整性？	依指示辦理，已納入期末報告中。 豐原~台中系統的開始調查時間已進入壅塞狀態，仍可透過圖 3.2-7 看到架次 7-8 有拍攝到車迅有不壅塞（速率 90kph）進入壅塞（速率 40kph）之情況，而且有連續拍攝到車流疏解之影像，初步判斷已符合車流分析之需求，後續在車流特性分析時將再探討分析之完整性。	同意
3.	報告書 P.69，圖 3.4-2 左上圖 y 軸流率應是速率。(書面意見)	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
4.	報告書 P.76，車流特徵值有考慮重車比，P.85 之 STRIDE 模式的流率單位為 veh/hr，似未考慮重(大)車因素，	STRIDE 模式的流率單位 pc/hr/ln，重(大)車會先轉換為 pcu/hr 再輸入模式進行測試。謝謝委員提醒。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
	可否嘗試採用 pcu/hr ？		
5.	左右車輛或壅塞時的前後車輛在陽光照射下，陰影可能重疊，是否會影響空拍車輛影像辨識結果？	謝謝委員意見。在訓練影像辨識模型時已將車輛陰影問題納入考慮，目前分析結果顯示車輛陰影幾乎不造成影響。惟高速公路上方橋梁之陰影對影像軌跡之追蹤判斷造成較大影響，已運用軌跡串接的後方式進行補強。	同意
6.	本計畫應用了若干高速公路局交通資料庫的開放資料，或可從使用者角度對於資料內容、項目、格式、擷取與應用等面向，提出相關建議供高公局參考。	謝謝委員意見，後續將本計畫使用高速公路局資料庫之相關經驗於期末報告進行說明。	同意
羅委員仕京(書面意見)			
1.	報告書 P.3，文中提及交織行為路段分成(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之路段。如果是參考國際上的定義請引述出處，如果為本計畫定義也請敘明為本計畫定義。	謝謝委員意見，已納入期末報告中。	同意
2.	報告書 P.5、P.87，提及本計畫作為公路容量手冊第 5、6 章之修訂草案，應為第 7 章。	報告書中提及之公路容量手冊第 5、6 章之修訂草案，係指運研所已完成分析之高速公路進出口匝道分匯流區研究案，其成果運用於修訂公路容量手冊第 5、6 章之事宜。	同意
3.	文獻回顧中有多篇文獻未列入報告書後的參考文獻列表，應仔細對照。舉例如下： 1. P.8 Drew(1967)與 Raff 等人(1950)。 2. P.9 馮玉榮與楊少偉等人(2018) 3. P.10-11 Luo 等人(2019)、Sun 等人(2021)、An 等人(2019)...	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
4.	報告書 P.11，最後一段倒數第二行，有錯漏字。 推“逛”應用的主要障礙，“塌”定性、們以實測數據，...	謝謝委員指正，已納入期末報告中。	同意
5.	車流壅塞以 60 公里/小時為門檻是否	內文之車流壅塞條件是指篩選調查	同意

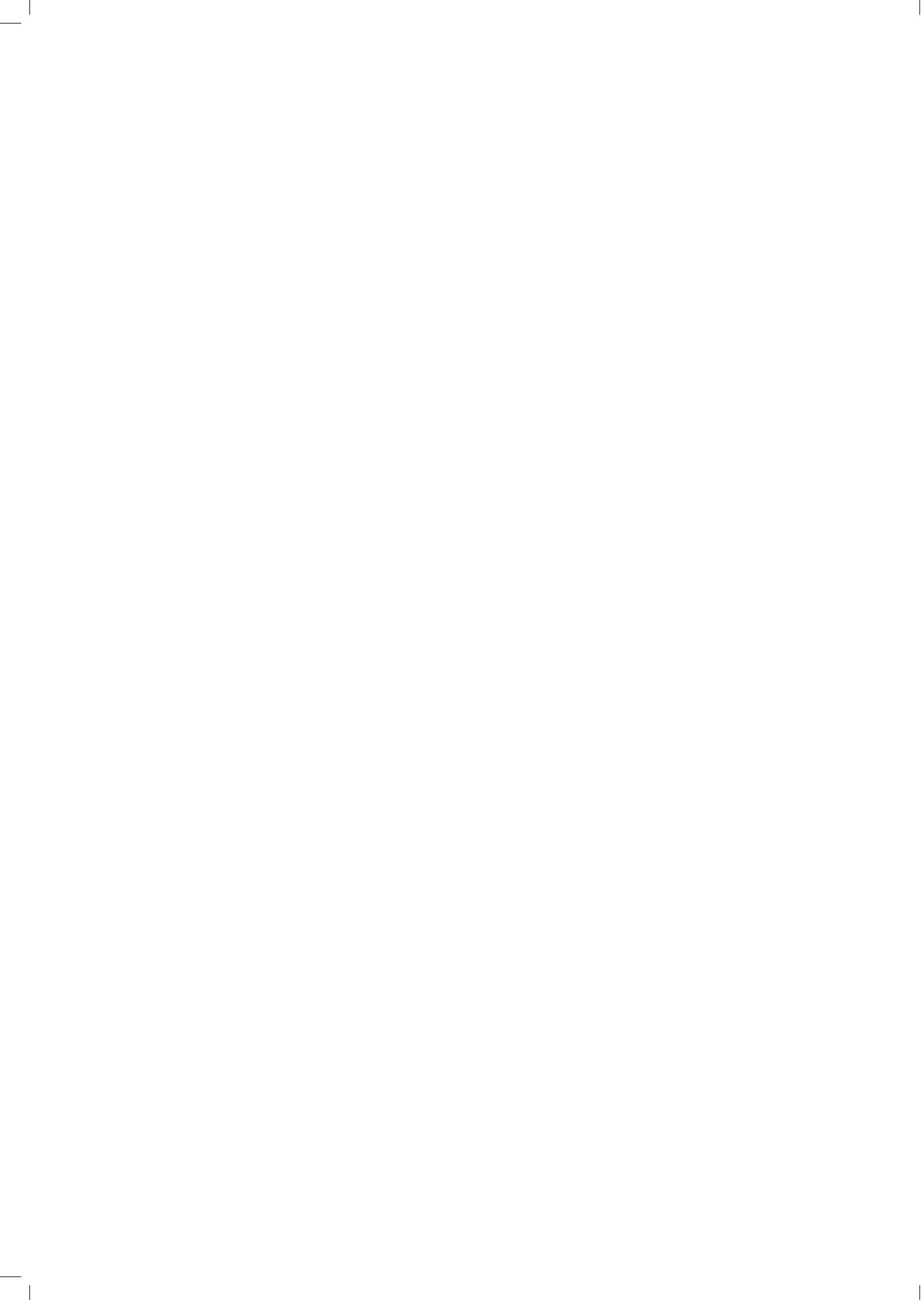
項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
	適合？通常以 40 公里/小時判斷。	地點及調查時間時所採用之速率門檻值，主要根據車流達到容量值時之臨界速率約在 75-80 公里/小時，且參考路肩開放之速限為 60 公里/小時。這裡的車流壅塞與提供旅行者資訊服務之壅塞定義及用途不相同。	
6.	圖 3.2-4~5，3.2-7~8，標題為無人機飛行與 VD 資料對照，係指拍攝時段的對照還是有其他的對照比較？圖中無人機僅標出時段與無人機編號，VD 則有流量與速度。	圖中以 VD 資料作為底圖，並標示無人機之成功拍攝時段作為對照，欲以視覺化表示無人機拍攝趟次與當天車流情形之對應。	同意
7.	是否因文獻回顧中提到 STRIDE 模型以模型 2 較佳，因此直接捨棄模型 1。若是如此建議 81 頁處僅提出模型 2 即可。 另，44、81、85 頁的公式中均有“N1”是否即為底下變數定義之 N？底標 1 有無意義，若無，建議刪除。	謝謝委員意見，STRIDE 原文提到模型 1、模型 2 的績效差不多，基於使用的便利性而採用模型 2。後續將測試並採用其中之一。 原文之 N1 係指交織路段斷面之總車道數，即主線車道數加輔助車道數，已納入期末報告中。	同意
8.	為何僅選擇 HCM2016、STRIDE 與 THCM 三種模式比較？應說明不採其他模型比較的理由。例如：德國的模型未考慮交織路段長度與其他國家不同，應用於台灣結果會比較好還是比較差？	謝謝委員意見，已納入期末報告中。	同意
9.	報告書 P.81，建議 HCM2016 八個步驟中採用的公式也列出供參，如 STRIDE 模型一樣。	謝謝委員意見。	同意
交通工程技師公會			
1.	調查地點選擇建議考慮上下游車流交織狀況。	謝謝委員意見，本計畫已運用 ETC 之 M06A 資料計算交織車流量並納入選擇調查地點及時段的評估準則。	同意
2.	未來提出模型是否能解釋匝道受下游號誌影響造成回堵等車流現象？	交織路段模型主要是針對交織車流的容量及服務水準進行分析，不會探討匝道受下游號誌影響的情況。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位處理情形或說明	承辦單位審查意見
3.	簡報 p.34, 開始壅塞反而內側車道壅塞更嚴重, 建議補充、討論此地點壅塞發生原因。	該地點內側車道速率較低, 其原因為主線下游車流回堵, 已納入期末報告中。	同意
4.	後續建立適用於台灣地區交織狀況的模式, 是否能納入快速道路、市區高架橋等場域?	謝謝委員意見。本計畫的主要分析對象為高速公路, 快速道路、市區高架橋等場域並未納入探討範圍。然而, 高速公路的模式或能適合運用於符合特定條件(如高架)之快速道路。	同意
交通部高速公路局			
1.	報告書 P.3, 有關國 1 及國 3 共計有 59 個交織路段, 建議後續以列表方式呈現。(書面意見)	依指示辦理, 已納入期末報告中。	同意
2.	報告書 P.51, CH3.1.2 第 1 段「本期研究將對 4 個進行現場調查, ...:」, 建議修正為「本期研究將對 4 處路段進行現場調查, ...:」, 另 P74 亦同。(書面意見)	謝謝委員指正, 已納入期末報告中。	同意
3.	報告書 P.51, 建議將 V_{FF} 、 V_{FR} 、 V_{RF} 、 V_{RR} 四股車流以圖例表明並於首次出現段落用文字敘明。(書面意見)	依指示辦理, 已納入期末報告中。	同意
4.	現場調查工作中, 有 1 處調查時間屬端午連續假期, 除一般上班日與連假交通量有差異外, 經觀察車流組成中有較多出遊目的, 易發生對於國道現地不熟悉影響行車秩序事件, 供參考。	謝謝委員提供資訊。	同意
5.	報告書 P.58, 請將內壢~台中系統修正為豐原~台中系統。(書面意見)	謝謝委員指正, 已納入期末報告中。	同意
6.	國道門架跨設於全車道橫斷面, 軌跡圖中僅輔助車道產生密度較高、速率較低情形, 再請釐清。	門架僅對輔助車道之密度及速率影響較大, 推測其原因是輔助車道之流率較低、通過的車間距較大, 因門架誤判車速為 0 情況較多。而主線流率較大, 持續有車輛通過較不會發生辨識錯誤現象。後續將以後處理方式將錯誤偵測資料予以排除。	同意
7.	報告書 P.69, 圖 3.4-2 VK 圖縱軸標	依指示辦理, 已納入期末報告中。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
	示請修正為速率。(書面意見)		
8.	報告書 P.69，圖 3.4-7 車道變化累積圖 Lane3 to lane4 壅塞後圖示於 350 公尺處驟增為 100%，似不合理，建議釐清。資料結果僅呈現烏日~中投路段，建議後續可呈現其餘調查路段並比較差異，如不同交織長度影響路段速率及變換頻次，以助於未來研究情境分類及交織長度之建議。(書面意見)	謝謝委員意見。圖 3.4-7 壅塞後車道變換取用樣本為 10 分鐘車道變換車輛，因短時間內樣本極少且皆發生於 350 公尺處，故車道變化累積圖線型繪製如此，已透過原始影片釐清正確性。將於期末報告調整該圖之表達方式，以避免造成誤會。	同意
9.	有關冠狀線(crown line)之敘述及標示，建議使用道路交通標誌標線號誌設置規則之我國慣用名稱。	謝謝委員意見。冠狀線(crown line)係指鼻端和鼻端之間的線，源自引用國外文獻，後續將會加註國內名稱或用語。	同意
10.	報告書 P.51 述明調查地點除了需要符合幾何條件，幾何條件是指公路路線設計之相關規定或者其他，請補充說明。(書面意見)	幾何條件係指本期研究分析對象：交織區路段之典型路段類別，已納入期末報告中。	同意
11.	有關重車比例增加，交織路段容量會下降，本案調查國道 4 處路段均分布為北部及中部路段，考量國道南部路段重車比較高，建議南部路段增設 1 處調查並進行分析，以利瞭解大型車交織行為供高公局後續規設及管理時之參考。	經調查地點盤點，符合調查條件的地點均在北部及中部路段，南部路段無合適之調查地點。為平衡各地區的現場調查地點，未來年期研究將優先考慮南部路段及重車比較高的交織路段。	同意
12.	烏日~中投以外的其他調查地點結果後續可以一併呈現與比較，分析不同交織長度及其他變量的影響，作為交織長度設計建議的參考。	謝謝委員意見。	同意
交通部公路局			
1.	公路設計規範具有連續鼻端的入口至出口長度為 2LR 的布設標準，是否會在本計畫的報告書出來之後修正部頒規範？	謝謝委員意見。本計畫案目的為容量及服務水準分析，不會對部頒規範提出修正建議。	同意
本所運輸計畫組 (書面意見)			
1.	考量本所後續出版作業時程能更為	依指示辦理。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位處理情形或說明	承辦單位審查意見
	快速，請協助於期末報告書時依據本所出版品報告書格式編輯。		
2.	第一章、緒論中，有部分專有名詞，如 ETC、M06A 等，建議於第一次出現時以全名或中文說明後，於文中再以簡寫呈現以利首次閱讀者能充分理解。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
3.	P.11 倒數第二行「是近遊應用的主要障礙，塌地性、們以實測數據」應有誤繕，請協助修正。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
4.	P.70 圖 3.4-3 之圖表呈現方式於過往報告書中較少以此方式呈現，爰建議於文中補充說明如何藉由 V-T 散點圖檢視是否有壅塞之情形。	依指示辦理，已納入期末報告中。	同意
5.	P.74 有關於中壠服務區-內壠之交織型態，經了解其型式後應可嘗試歸類為典型交織區之特殊型式，並納入後續本期研究之調查對象。	謝謝委員意見，經期中審查會議後討論，發現國 3 北上新竹系統~寶山交流道較為合適，並作為後續調查對象。	同意
6.	P.86 說明本計畫已蒐集 4 處典型交織區資料，與工作進度中的 3 處有所不同，請確認。	工作進度中已完成 3 處資料蒐集，此為誤值，已納入期末報告中。	同意
7.	P.87 本所於契約中僅規範期末階段需完成之調查地點數量及需進行車流特性分析工作，並未規範於期中階段需完成 2 個地點之車流特性分析工作，爰本案期中階段仍符合契約規定。	敬悉。	同意
主席結論			
1.	本計畫期中報告書審查通過，後續請依契約規定辦理相關事宜。	依指示辦理。	同意
2.	有關與會委員及各單位提供之意見，請工作團隊審慎檢討納入報告書修正，並製表整理回應處理情形，送交主辦單位審閱同意後，作為後續研提期末報告書之依據。	依指示辦理。	同意
3.	為符合本所出版品印製進度，請工作	依指示辦理。	同意

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
	<p>團隊依本所出版品印製格式撰寫報告書，於期中審查後納入每月工作會議查核事項，按月提供章節初稿予本所承辦人進行校對、審閱。</p>		



附錄 2 專家學者座談會

一、時間：112 年 11 月 2 日（星期四）下午 2 時

二、地點：本所 5 樓會議室

三、主席：張舜淵組長、黃家耀副教授 紀錄：洪瑋鍾、蔡佩宏

四、出席專家學者與單位：（如簽到簿）

五、專家學者意見

（一）國立陽明交通大學 胡守任 教授

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

(1)支持並贊同隨機容量之估算方法。

(2)容量為一隨機變數，受時間、地點及供需條件等因素影響。極限乘積法可接受的車流由穩定進入不穩定機率 λ 為 15 至 20%，該值應根據車道數、地形等條件滾動調整。韋伯分布則需探討期望值與參數，無論極限乘積法或是韋伯分布皆為連續型隨機變數的機率密度函數(PDF)之問題，因此需探討期望值。建議未來計畫可再詳加探討或以文獻佐證。

2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：

有關大型車輛之小客車當量 PCE 之訂定方式以靜態車長或動態干擾訂定皆不夠準確。建議透過模擬工具，根據就進出匯流區之主線路段輸入不同比例之大型車進行情境模擬，了解其對平均速率及旅行時間的影響，以評估大型車輛在道路中實際影響程度。

3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：

研究團隊已清楚提出 59 處交織路段分類，未來新設或改善交流道大多為已分類之交流道類型。因此，可區分為 Type 1(典型)及 Type 2(非典型)兩者，又 Type 2 可再細分為 2a、2b、2c... 等，顧問公司或相關機關可藉此對應參照。

4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：

以交織與非交織區之速率做為評估指標有討論空間，除非為新建交流道，否則探討雙指標以 v/c 評斷亦不合適；若以營運管理角度評估，密度及佔有率相對較具參考價值。

（二）國立東華大學 陳正杰 副教授

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

(1)肯定研究團隊付出且贊同隨機容量之評估方式。

(2)簡報中 P.20 中，國 3 北上南港~新台五路會出現兩次車流由穩定進入不穩定之情形，研究團隊選擇以其中之一次做為探討焦

點，惟建議另一次也應了解其發生原因，另部分路段可能出現如國 3 北上南港~新台五路較為特殊之結果，建議再思考如何估算較為妥適。

2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：
VD 與 ETC 資料差異甚大，贊同胡教授之想法，以模擬方試了解真實的大型車 PCE，並縮小 VD 與 ETC 資料間的差距。
3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：
後續容量方法之適用性可嘗試評估對於新設匝道之影響，如：國 5 新設冬山交流道之影響評估。
4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：
 - (1)贊同研究團隊想法，速率較傳統上僅評估道路之 v/c 值更為合適。
 - (2)研究團隊可再思考如何評估上游至下游一連串之交織行為之服務水準。

(三)交通部運輸研究所 林大煜 前所長

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：
 - (1)2 種計算方法中，以國 1 北上內湖~東湖而言，兩計算方法差異不大，但並非所有路段皆有相同結果，因此建議多選取幾筆資料進行更完整的分析。
 - (2)簡報 P.21 中，5/19、5/26 流率最高為 lane 2，5/29 最高為 lane 3，5/30 為 lane 1，因此動態幅度大，是否能找出一致性之變化需詳加確認。
 - (3)認同胡教授所提，容量估算究竟是供規劃用，抑或是操作用，需再詳加考量適用對象。
2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：
 - (1)簡報 P.26 中，VD 與 ETC 誤差過大會影響到後續分析步驟的 PCE 換算，因此有必要確認 VD 資料對於大型車之定義。
 - (2)建議 VD 資料需校估後再處理 PCE 問題較有意義。
3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：
設置交織路段時必須符合規定，但實際營運時未必會有相同的狀況，因此建議將交織路段長度納入分析之因素。
4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：
 - (1)目前服務水準採 v/c 及速率評估，可探討是否交織與非交織路段需有不同的評估方式。
 - (2)以基隆交流道改善案為例，該案並非主線交通問題，而是因下匝道後之號誌導致回堵，因此牽涉一般道路之路口長度。另林

口交流道先前針對交流道改善，該案也是因下匝道號誌導致回堵至交織路段。

(四) 交通部公路局 李忠璋 副總工程師

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法):
 - (1)以 6/5 至 6/20 國 1 北上內湖~東湖為例，速度與流率關係未必一致。6/5：lane 0 速度最快且流率最低；6/3、6/6 及 6/7：lane 0 速度最快且流率也最高。因此本地點之趨勢為速度越快，流率越大，與國 3 狀況不同，故流量與速度間的關係應再探討。
 - (2)若以 v/c 指標觀察，在非高速公路會有壅塞、通過量低、速度慢狀況，國道因速度較一致，較無類似問題。但快速公路速度差異較大，雖性質其類似於高速公路，若後續需應用於快速公路則需考量速限所造成的影響。
 - (3)簡報中 λ 值為 15%，國內可接受之數值可再行討論。
2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量):

ETC 於高速公路之準確性高，但以公路局而言，ETC 不會做為流量及車型的資料蒐集來源，因 ETC 資料在市區不如在高速公路準確性高。
3. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準):
 - (1)在高速公路以速度評估服務水準較適合，但若在快速公路則需考量更複雜的車種，如大型重機。
 - (2)近系統交流道之外側車道塞車狀況較嚴重，因此車道或斷面之流量分析可再行探討，雖斷面之平均容量較不真實，但以車道容量分析則無法向民眾告知交通狀況。因此，以系統而言，仍建議斷面分析服務水準。

(五) 交通部高速公路局

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法):

探討服務水準目前高公局實務上係依 2022 容量手冊辦理，有需要了解該路段道路容量時，會透過速率-流率圖，畫出曲線找出其最大容量。
2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量):

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建議以 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，則需進一步探討。
3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性):

交流道改善計畫中，實務上會先請顧問公司評估改善後服務水準提升的程度。交流道改善完成後會以 CCTV 觀察狀況，通車後 2 個月會追蹤其績效是否達預期改善程度。

4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：
以實務經驗而言，交織路段之車輛大多集中前段進行交織。此外，交織路段之服務水準可評估交織車輛順暢度，是否需要納入非交織車流一併評估，需再徵求共識。

(六) 易緯工程顧問股份有限公司

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：
 - (1)隨機容量估算會造成評估上無固定數值，在執行交通改善或交通量預測時需做個案評估，以顧問公司角度仍建議訂定固定值，以利實務應用。
 - (2)現行公路容量手冊中，容量值不因幾何條件折減，包含：車道數、車道寬度、路側淨寬...等皆不影響容量值，惟執行改善計畫時，車道寬度過窄可能是交通狀況不佳之原因。期盼於修正公路容量手冊時將上述條件納入考量。
2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：
小客車當量值會因車種比例及車速而變動，惟現況分析上仍建議公路容量手冊中小客車當量值為一固定值，以利分析時易於使用。
3. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：
建議服務水準評估指標單一化，並希望交織區評估標準能沿用於快速公路，俾供實務運用。

(七) 亞聯工程顧問股份有限公司

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：
交織路段若採用隨機容量，可能與第四章之評估方式不同，另建議研究成果與現行基本路段容量需相互搭配。
2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：
交織路段特性應該與分匯流區類似，此類型相似路段之當量值建議統一為宜，另大車之當量值應與小車有明顯區別較適合。
3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：
交織區長度大於 760 公尺的地點多，建議未來以「類型」區分而非以 760 公尺做為區分標準。
4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：
實務分析及相關工程改善檢核時常考量交織長度是否足夠，因此也是服務水準分析中需探討的項目。

(八) 鼎漢國際工程顧問股份有限公司

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

(1)認同隨機容量概念，但於實務使用上建議仍回歸定值供依循為佳。

(2)流率的變化會影響最大容量，且速率與流率似無正相關，建議可再檢視。

2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：

VD 資料實務上確有不準確問題，ETC 資料則較為準確，但 ETC 於市區使用準確性極低。且人工調查也會有類似 VD 判別的誤差，建議蒐集更多資料進行校正。

3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：

地方政府擔心匝道設置是否會影響平面道路之路網，因此除了解交織路段之服務水準，亦希望了解匝道長度是否滿足 queuing (排隊等候)長度。

(九)台灣世曦工程顧問股份有限公司

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

(1)新設交流道若有交織需求，會避免於主線交織，並以集散道(CD Road)滿足交織需求。因此較需要用於集散道交織行為的分析，而目前尚無此部分研究。

(2)交織路段長度定義有待討論，若兩匝道間產生車流回堵時，交織路段長度如何定義？

2. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：

(1)目前高速公路調查仍以 VD 或 ETC 資料為主，惟 ETC 資料於交織路段、分匯流區無進出各匝道的細部資料，仍會以 VD 輔助。因此，後續若有 VD 校正方式可幫助到實務之資料蒐集及取得再請研究團隊分享供實務界運用。

(2)有關現場調查需考量交織路段上下游範圍，建議予以界定俾利後續實務使用。

(十)美商美聯科技股份有限公司台灣分公司

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

(1)認同隨機容量概念，但仍希望容量估算有一固定值供依循。

(2)近期案例審查中，有審查委員認為輔助車道非基本路段車道，因此需折減容量，期盼能對於輔助車道容量有明確規範。

2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：

(1)高速公路 VD 資料確實較不準確，惟 ETC 資料是取中間值，因此於進出口匝道分析時仍需取樣多個 VD 資料檢視速率是否正確。

(2)PCE 仍建議有一固定值供實務分析參考。

3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：

應了解是否仍存在交織路段以 760 公尺為基準？未來若有一定準則可依循，則在實務操作將較簡便。

4. 議題四(交織路段之服務水準評估指標及劃分標準)：

以斷面分析服務水準確實曾被質疑，當時解決辦法為同時分析斷面及區分交織車道速率。因此建議納入考慮外側及輔助車道較能符合真實狀況。

(十一) 交通工程技師公會 簡君珊副理事長

1. 議題一(適合國內情況之高速公路路段的容量估算方法)：

交通維持計畫為短暫變化情形，無法蒐集長期資料，因此固定的容量值相對重要。另施工時之交通維持計畫經常使用 v/c 指標，該指標為施工前後的重要參考，若能保留較佳。

2. 議題二(車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量)：

PCE 值可研究其他規範之規定確保各政府規範之一致性，如：公路路線設計規範。

3. 議題三(國內交織路段幾何設計之多樣性與容量分析方法之適用性)：

建議容量分析可以典型為基礎，其他幾何狀態再行折減較易於使用。建議後續公路容量手冊能歸納折減之標準方法，俾供實務界運用。

六、主席結論：

今日與會人員皆提供很多寶貴意見，後續本所與研究團隊將評估納入本計畫後續研究方向。

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(1/3)-典型路段」

專家學者座談會

時間：民國 112 年 11 月 2 日下午 2 時

地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室

主持人：張組長舜淵、黃教授家耀

出席者：

單位	職稱	姓名
胡委員守任	教授	胡守任
郭委員正成	教授	請假
陳委員正杰	教授	陳正杰
林委員大煜	前所長	林大煜
卓委員明君	副總工程司	請假
李委員忠璋	副總工程司	李忠璋
交通部高速公路局	主任工程司	許為聲 黃郁凱 林清山
易緯工程顧問 股份有限公司	經理	謝秉欽

亞聯工程顧問 股份有限公司	經理	申瑤琦
鼎漢國際工程顧問 股份有限公司	規劃師	張哲琦
台灣世曦工程顧問 股份有限公司	工程師	林心桐 吳宜呈
美商美聯科技股份 有限公司台灣分公司	經理	葉耿光
美華工程科技顧問 有限公司	經理	葉耿光
交通工程技師公會	副理事長	簡君如
交通部運輸研究所		呂怡希 洪瑋鏡
國立陽明交通大學		謝 井貴聖 江品翰 朱彥蓬 陳錦名 蔡仰宏

附錄 3 期末審查會議意見與回覆表

項次	與會人員審查意見	合作單位 處理情形或說明	承辦單位 審查意見
曾委員平毅			
1.	文獻回顧內容完整，並整理至 2023 年的資料值得肯定，建議於最後一小節探討值得我國借鏡之處，如：車流特性、方法論等。	謝謝委員意見。已於第二章最後一小節補充文獻中可借鏡之處。	同意
2.	表 4.1-3 的資料內容包含連續假期、春節等，報告書中有提及符合篩選條件之交織區段不易尋找，另分析容量的資料也需要篩選，是否能找更多資料提高分析之準確性？	謝謝委員意見。表 4.1-3 選取之資料已足夠用於速率模型及 curve fitting 之分析使用，如未來研究之容量分析採最大崩潰前流率作為判斷依據，則會進一步找更多資料，建立完整模型。	同意
3.	交織路段服務水準劃分方式有待未來再行討論。	謝謝委員意見。	同意
4.	報告書 P.110 表示交織路段最大長度分析是未來可研究課題，目前高公局有延長上下匝道的長度，是否為此研究課題涵蓋的內容？	此研究課題是針對目前交織路段分析方法只適用於 760 公尺以下之交織路段，本計畫最終提出的分析方法應可排除此一限制。至於委員提到的延長上下匝道長度議題，因文獻回顧顯示匝道長度並非交織路段運作的關鍵影響因素之一，因此未有相關探討，後續將此可能因素納入模型分析的考慮。	同意
5.	過去林豐博教授在進行公路容量研究時因曲線擬合(curve fitting)不易找出可靠曲線故不建議使用，而偏好觀察資料臨界容量情形。另新版手冊臨界速率(critical speed)偏高，可能與我國駕駛人跟車距離較短有關，或許可再請教林教授對於新版的臨界速率想法。	謝謝委員資訊，後續有機會將請教林教授對於新版 critical speed 的想法。	同意
鍾委員智林			
1.	期末報告已針對高速公路典型交織路段之車流特性、容量及服務水準分	謝謝委員意見。	同意

	析方法，進行多面向的探究，符合本計畫的預期目標。		
2.	報告書 P.87 空拍機調查時段有發生交通事故，導致 VT 散布圖有速率驟降情況。空拍機畫面可辨識事故，但某些事件不一定能由空拍機畫面察覺，建議未來可比對高公局的路況事件資料，了解調查期間有無足以影響車流特性的事件，據以排除受干擾資料。	謝謝委員建議，未來將記錄高公局的路況事件資料，以利發現調查現場是否有其他干擾車流的事件。	同意
3.	報告書 P.106 團隊有發現 VD 資料高估大型車比例，建議提醒未來模式使用者以 VD 資料計算交織路段速率的適用性。	謝謝委員意見，此發現已於專家座談會進行交流及確認，未來將於修訂內容上提出相關說明及提醒。	同意
4.	報告書 P.106 速率模式校估時，採用小型車速限加 5-10kph 作為整體自由車流速率建議值，由於大型車速限低於小型車，大型車比例較高的國道交織路段恐未必適用前述速率模式，建議未來應用時加註提醒。	謝謝委員意見，未來將於修訂內容上加註提醒，在主線 2 車道、大型車比例較高的情況下，建議自由車流速率應參考大型車之速限。	同意
5.	簡報 P.40 及報告書 P.113-114 的圖 4.3-7 及 4.3-8 均出現短暫時間速率由 80kph 以上驟降至 0 的狀況，請說明原因並多加留意。	謝謝委員意見。圖 4.3-7 與圖 4.3-8 速率與流率之時間序列圖有速率驟降至 0 之狀況為該時間 VD 偵測器異常，異常資料對於此次在判斷最大崩潰前流率並未造成影響，未來在資料處理上會多加留意，避免因偵測器資料異常導致分析結果有誤。	同意
6.	報告書 P.58 表 2.5-1 各國交織路段分析方法輸出與輸入變數對照，宜明確標示輸入與輸出等兩大變數主分類，並按照原表格底色標示出次分類。	謝謝委員意見，表 2.5-1 之內容除了輸出及輸入變數，也包括了計算過程中的中介變數，已依委員建議進行表格底色調整及補充說明。	同意
7.	報告書 P.101 VD 與 ETC 全日總流量比較結果，VD 值低於 ETC 值約 5% 以下，具有一致性，可留意分時資料是否出現某些時段 VD 值高出 ETC 值、某些時段相反，以致縮小全日差異。	謝謝委員意見，將納入未來流率檢查項目。然而，委員提到之檢查條件較為嚴格，可能會導致無足夠符合檢查條件之資料可供分析之困境。	同意

8.	報告書 P.102 的 4.2.1 節首段首字漏了「容」。P.105 末句提及國 1 內湖-東湖路段主線 2 車道，可加註另有 1 輔助車道，方與表 4.3-1 的 3 車道相符。	謝謝委員意見，並依指示辦理。	同意
9.	報告書 P.104-107，公式 4-3-2 以 mph 為單位，建議速率 Model 1~4 宜註明以 kph 為單位。	謝謝委員意見，已於期末報告書定稿修改。	同意
羅委員仕京			
1.	建議補充說明調查地點的幾何特性，如：主線車道數、輔助車道數、上下匝道數等。	謝謝委員意見，將補充於調查地點的幾何特性表格內。	同意
2.	團隊回顧許多模型，並納入校估與比較。而文獻回顧相關手冊的觀察資料，關乎模型公式，如：交織長度提升會使車流速率提升。不知團隊是否能觀察出車流特性與相關手冊結果相同？或了解是否有其他影響變數，如：上匝道數量、車流等，間接驗證引用模式合宜性。	本計畫初步發展之分析模式，變數之影響已符合初步假設之方向性。而現場調查之車流特性已用於檢視模型在車流相關變數之合宜性，但由於調查地點數不多，目前尚無法用於確認幾何相關變數之合宜性。另外，由於現場調查資料有限，建模仍以偵測器資料為主。	同意
3.	調查結果可能不易觀察涵蓋壅塞與回堵的現象，但建議可以對車流紓解及其他車流特徵再行探討。	謝謝委員意見，因為公路容量分析主要是針對車流由不壅塞進入壅塞之情況，因此並未進一步探討車流紓解的情況及車流特性。	同意
4.	建議未來計畫年期可探討不同道路幾何條件佈設之下對車流的影響，如：不同幾何特性對於車流的速率、密度、容量、壅塞回復、變換車道行為差異等。	謝謝委員意見。本計畫為三年期計畫，發展不同道路幾何條件佈設之下對車流影響模型為本計畫之目標，將於第三年期提出完整模型及分析方法。	同意
交通部高速公路局陳總工程司宏仁			
1.	高速公路交織路段是複雜路段之一，在未來模型需要大量資料做分析及驗證，希望可以先提供初步結果供高公局使用，再由運研所進行做調整及出版。	謝謝委員意見，後續將提供初步結果供高公局同仁應用。	同意
2.	標線對於用路人是具強制性的，本局常對於易壅塞路段進行標線調整。例	謝謝委員意見，因本計畫案實際調查地點有限，無法涵蓋不同類型的交織	同意

	如：為使匝道出口車流不影響主線，透過標線設計(如部分虛線部分實線)，對於交織將有改變。近期高公局將調整內湖東湖路段之標線，而標線之劃設具不同型式，而不同型式的交織路段運轉有所不同，期能了解標線調整之成效。	路段。另部分壅塞原因為匝道下游回堵，若以車道數或是交織區類型區分成效可能與實際情況不符。	
3.	簡報 P.11 四個路段調查的示意圖，建議統一圖示方向，如：往北在左側、往南在右側。另中投交流道里程應是 209 k。	謝謝委員意見，報告書圖示方向統一為車流由左向右。另里程數已於期末報告書定稿修改。	同意
4.	建議歸納座談會主要意見進行說明，並於報告書的建議說明後續因應及處理之方式。	謝謝委員意見，已新增 4.5 節補歸納專家學者座談會重點。	同意
5.	有關調查地點的選擇原則，挑選交織車流流率較大的路段中有提到主線到匝道，匝道到主線相加大於 1,200 車/小時，為何最終將數值訂為 1,200 車/小時？	該選擇原則是主線到匝道、匝道到主線之流量相加作為交織行為多寡之參考依據，1200 車/小時之門檻值是為執行計算時所採用的經驗法則。	同意
6.	公路容量手冊 2022 年版服務水準評估使用平均速率。但報告書提到使用流率容量比、速率速限比，請教未來是否會朝此方向訂定服務水準？	公路容量手冊 2022 年版之交織路段分析方法(第七章)採交織與非交織車流速率作為服務水準評估指標，而其他新版章節，如高速公路基本路段(第四章)則採用新版的雙指標，即流率容量比、速率速限比。未來將需要評估交織路段分析方法是否應採用新版指標，以維持容量手冊方法論之一致性。	同意
交通部公路局李副總工程司忠璋			
1.	報告書的交織路段車道定義分為：內、中、外、輔助車道，調查地點似乎都是主線三車道，若是四個車道應如何說明，是否用 lane0、1、2 編號較佳？	謝謝委員意見，後續將考慮主線車道數的情況，統一制定車道數的編號及命名方式。	同意
2.	調查的 4 處地點中，匝道和主線的車道配置不完全相同，例如：南下烏日~中投雖是典型路段，從烏日進入匝道會從 2 車道併為 1 車道再進入輔	謝謝委員意見，已調整調查地點之幾何示意圖。	同意

	助車道，故建議能將交織區段的簡單示意圖納入報告中，以便瞭解。		
3.	贊成以「車流由穩定進入不穩定前之流率(即最大崩潰前流率)」來當作容量的估算，但同一路段會因為交通管制措施的投入可能會讓車流由穩定進入不穩定時間有所改變，因此是否也需要經過比較長時觀測再來以平均值處理。	運用「最大崩潰前流率」進行容量分析，需要採用更多天(30天以上)的資料以建構隨機容量分布函數。	同意
4.	在交織區主線與交織段壅塞的狀況可能會有比較大的差異，因此若以平均值進行服務水準評估對於主線段或是交織段的狀況描述都不正確，是否可以思考將兩者的服務水準分別計算。	謝謝委員意見，在未來制定分析方法時，將朝可以將主線段及交織車道的車流狀況分別評估服務水準之方式。	同意
5.	報告書 P.70、P.72 豐原~台中系統、新竹系統~寶山言兩處調查點中，南側和北側所選用的車輛偵測器不同，因此速率和流量的曲線不同(尤其豐原~台中系統)，建議說明原因及是否會影響無人機拍攝車輛軌跡的分析。	謝謝委員意見。車輛偵測器之速率、流量圖示，僅用於與無人機拍攝趟次進行比對，方便可快速檢視現場調查所拍攝之車流情形，並不影響車流特性分析結果。	同意
6.	請修正以下項目： 1. 報告書 P.60 的 3.1.1 處，應是區分為 ABCDE「五」處非四處。 2. 報告書 P.70 圖 3.2-6 及圖 3.2-7，應該改為 3.2-7 及 3.2-8。 3. 報告書 P.82 車流密度的單位應該是「輛/長度」而非「輛/時間」。	依指示辦理。	同意
社團法人中華民國交通工程技師公會			
1.	公路局有提到主線跟交織段服務水準有差異，技師接觸交織路段大多為新闢交流道、高速公路與交流道較近才會進行分析，並提出相關對策，目前研究僅探討最大流率、流量等，期待有較明確之結果可供技師應用。	謝謝委員意見。	同意
交通部高速公路局			
1.	有關車流特性資料分析部分，於國 1 北向豐原~台中系統有 2 個分析情	謝謝委員意見。由於現場調查時間有限，不一點能涵蓋進入壅塞狀況及壅	同意

	境，分別為進入壅塞狀況及壅塞紓解，但其他地點僅分析進入壅塞狀況，是否其他交流道亦須分為數種情境說明？	塞紓解狀況，因此僅針對有觀測到的車流特性進行探討。	
2.	主線內外運作績效差異大時，交織型態速率變化不同，且進入壅塞前中後交織型態亦有差異，建議後續可再分類探討，另調查結果顯示差異性大，樣本取樣及數量將影響建模成果。	謝謝委員意見，未來建模時將注意考慮主線內外車道之運作差異。	同意
3.	報告書 P.118 的 4.4 交織路段分析方法，第 6 點計算交織路段容量小節「以 v/c 大於 1.0(F 級)表示車流呈壅塞狀態並終止分析」，是否考慮將平均速率/速限比納入，因調查流率可能並非需求流率，且第二碼速率/速限績效不佳(如 4~6 級)，第一碼 V/C 應為 F 級。	謝謝委員意見，當 v/c 大於 1.0 時，已無法透過流率-速率關係圖計算速率，因此未將平均速率/速限比納入。；若分析人員能蒐集現場速率，且第二碼速率/速限績效不佳，可直接採用第二碼作為主要的評估指標。	同意
4.	報告書 P.85，圖 3.4-4 國 1 北向豐原-台中系統輔助車道速率、流率、密度關係圖與其他車道不同，且與其他路段亦有差異，再請釐清。	謝謝委員意見。由於現場調查時間有限，QKV 圖僅呈現調查時段內所蒐集之資料點，其曲線型態與偵測器所得的完整曲線會略有不同。	同意
5.	報告書 P.92，實務上利用交通量來了解主線及匝道變換需求流量，表 3.4-1 平均車道變換頻次是否可反映至 ETC、VD 所呈現之流量？(書面意見)	謝謝委員意見，可透過車道變換頻次乘上對於 ETC 資料的四股對應車流類別，估算交織路段內的車流變換總次數，原則上，車流變換總次數越多，速率越低。	同意
6.	報告書 P.89-91，建議將國 1 北上內壢-中壢服務區、國 3 北上豐原-台中系統不同壅塞情況下速率及車道變換圖一併放入，可供參考比較。	謝謝委員意見，本年期針對典型交織路段進行分析，其他地點包含系統交流道，將於本計畫第三年期進行探討。	同意
7.	請修正以下項目： 1. 報告書 P.82-84 數處密度單位應為輛/公里。 2. 報告書 P.85 文字說明請修正為新竹系統至寶山。	依指示辦理。	同意
交通部公路局			

1.	報告書 P.85 提及烏日中投路段有 90% 車輛軌跡可被追蹤，惟其他地點僅 40~50%，請教為何有此差異？	謝謝委員意見，烏日中投交織路段長度較短，可透過一台無人機完成影像蒐集並進行車流軌跡分析，因此可被追蹤率較高。其他地點路段較長，需兩台無人機同時進行拍攝，並將兩部影片取得的軌跡進行軌跡拼接，拼接過程中會有軌跡拼接不完整情況，導致成功追蹤率降低。	同意
2.	報告書 P.99，表 4.1-1 分析地點篩選結果，後續僅兩空拍地點列入評估，其餘沒有納入評估的原因再補充說明。	謝謝委員意見。本年期針對典型交織路段進行分析，其他地點包含系統交流道，將於本計畫第三年期進行探討。	同意
本所運輸計畫組（書面意見）			
1.	有關專家學者座談會紀錄請將正式版本納入定稿報告，並於定稿報告本文中摘要說明探討主題及辦理過程。	依指示辦理。	同意
2.	本案為利後續報告書出版事宜，請提供本計畫之中英文版摘要，並依據本所出版品規範調整格式(如：版面配置、頁碼編列等)。	依指示辦理。	同意
3.	有關期中審查回覆表為後續本所出版品之一部分，就處理情形及說明建議以目前的時間點進行說明(如：後續將在期末報告呈現可修正為已納入期末報告中)。	謝謝委員意見，已將期中審查回覆情形納入期末報告定稿之中。	同意
4.	文獻回顧提及各國公路容量手冊中對於交織路段績效指標的評估方式，請於結論與建議說明後續建議的評估方式或方向。	謝謝委員意見，已於結論與建議補充說明後續建議的評估方向。	同意
5.	報告書 P.85 提及「使用兩架無人機拍攝之調查地點，經處理後則是約有 40%~50% 的車輛軌跡可被完整追蹤」一節，請補充說明此比例之辨識程度是否能進行完整的車流分析。	謝謝委員意見，透過無人機調查旨在以抽樣方式探討交織區段內之車流特性（如交織車道頻次、車流速率等），並非用於模型建立，因此不會對最終的分析模型造成影響。已於報告書補充說明。	同意
6.	報告書 P.102，該章節比較 HCM2016、THCM2022 以及 NCHRP07-26 之分析方法，比較後在	謝謝委員意見，將補充採用 NCHRP07-26 之原因。	同意

	速率模型中採用 NCHRP07-26 之分析方式，在報告書中建議補充採用 NCHRP07-26 之原因或現場資料代入計算後之結果。		
7.	報告書 P.106，Model 將 ε 設定為 3，是否可比照其他 Model 直接將數字代入。	研究過程中曾嘗試不同的變數組合，報告書僅呈現效果較佳之模型結果。經測試 Model 3、Model 4 將 ε 設定為 0 有較好的效果。	同意
8.	有關第五章之結論及建議，結論中包含「現場調查及車流特性分析」、「典型路段之分析方法」中都有提到需精進之事項，考量本系列研究為 3 年期計畫，最後一個年期需進行公路容量手冊的撰擬工作，爰精進事項請列入「建議」的小節論述。	謝謝委員意見，已將結論中提到之精進事項列入「建議」小節。	同意
9.	其餘文字調整如下： 1. 報告書 P.67、69 等表格中有些空格，建議以「-」或「0」呈現，以利閱讀。 2. 報告書 P.102，4.2.1 容量模型比較一節似有漏字，請確認。 3. 請將第五章修正為「結論與建議」。	依指示辦理。	同意
10.	參考文獻中高快速公路匝道之相關研究已出版，請引用正式出版報告內容。	依指示辦理。	同意
主席結論			
1.	本計畫期末報告書審查通過。	謝謝主席意見。	同意
2.	有關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 8 日前提送修正定稿。	依指示辦理。	同意
3.	另請研究團隊於契約執行期限前將本期研究計畫成果投稿運輸計畫季刊、國內外期刊或學術研討會。	依指示辦理。	同意

附錄 4 期末審查會簡報



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

期末審查

國立陽明交通大學 運輸研究中心

計畫主持人：黃家耀老師

研究團隊：陳彥佑老師、林貴璽老師

112年11月24日

2

會議內容大綱

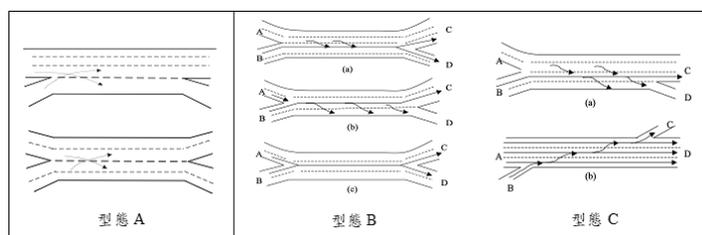
- 壹、計畫說明
- 貳、文獻回顧
- 參、現場調查及車流特性
- 肆、分析模式
- 伍、結論與建議



壹、計畫背景

一、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」



二、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。



三、預期成果

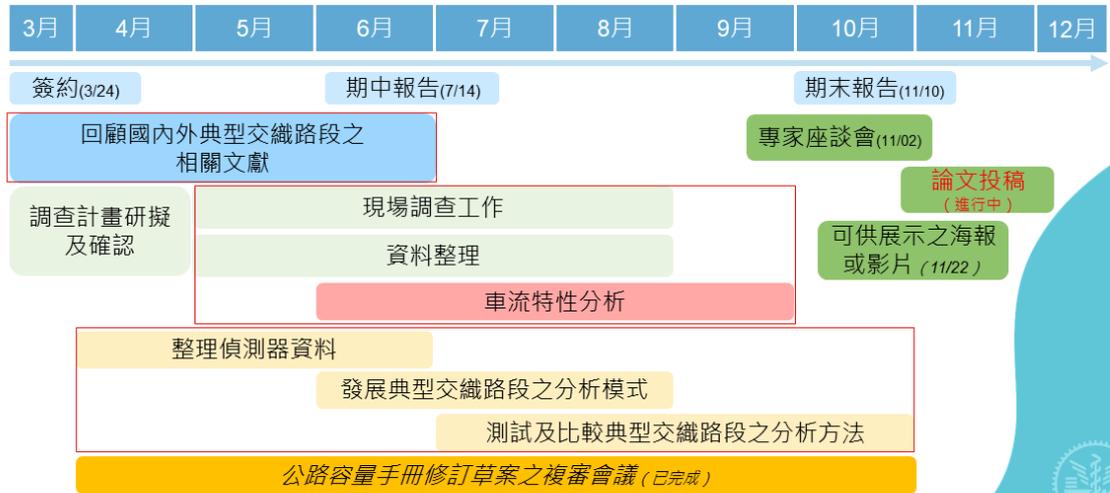
全程 3 年期預期達到以下目的：

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。



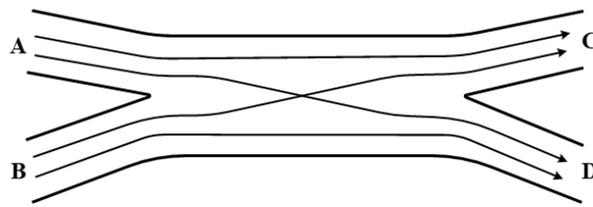
四、研究時程及工作內容



貳、文獻回顧

一、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。

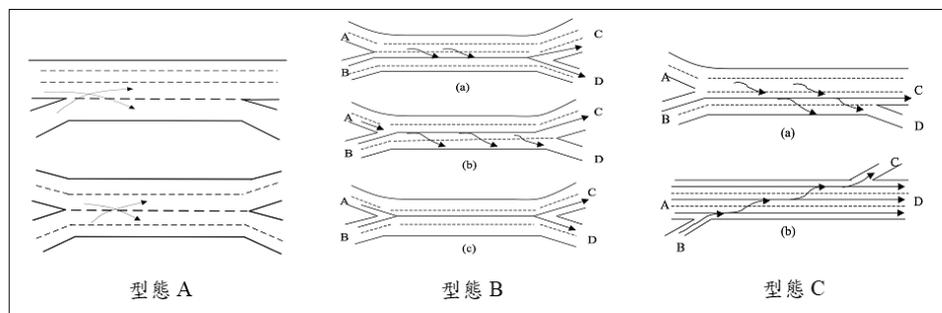


交織路段基本型式

非交織車流：A → C、B → D
交織車流：B → C、A → D

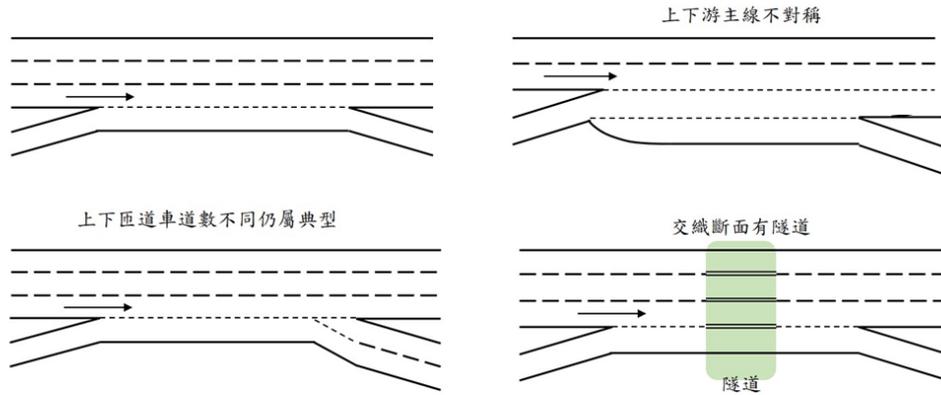
幾何型態示意圖：THCM 2022

- 根據交織的兩股車流的變換車道次數進行分類
 - 型態A：交織的兩股車流均須變換一次車道
 - 型態B：其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：有一股無須變換車道，另一股至少須變兩次以上車道



資料來源：「2022年臺灣公路容量手冊」

本研究分類：典型與非典型



(a) 典型交織區範例

(b) 非典型交織區範例

資料來源：本研究定義



二、分析方法

THCM 2022 (HCM 1985) 法

主要模型描述	備註
檢驗車流是否受限制： $N_W = 2.70N \times V_R^{0.571} \times (L/30.48)^{0.234} / S_W^{0.438}$	N_W ：交織車道數(換道次數為 0 或 1 之車道數) N ：交織路段總車道數(主線車道+輔助車道) S_W ：交織車流平均行駛速度(km/h) S_{NW} ：非交織車流平均行駛速度(km/h) L ：交織路段長度(m)
當 $N_W \leq 1.4$ (無限制)： $S_W = 0.88 \times \left[24 + \frac{80}{1+0.078(1+V_R)^{2.2}(V/W)^{1.5}/L^{0.5}} \right]$ $S_{NW} = 0.88 \times \left[24 + \frac{80}{1+0.006(1+V_R)^{1.0}(V/N)^{1.5}/L^{1.5}} \right]$	V_R ：交織流量比 = $\frac{V_w}{V}$ V_W ：交織車流(pc/h) V ：交織路段安峰 15 分鐘總車流(pc/h)
當 $N_W > 1.4$ (受限制)： $S_W = 0.88 \times \left[24 + \frac{80}{1+0.096(1+V_R)^{2.2}(V/W)^{1.5}/L^{0.5}} \right]$ $S_{NW} = 0.88 \times \left[24 + \frac{80}{1+0.01(1+V_R)^{4.0}(V/N)^{0.36}/L^{0.6}} \right]$	

表 7.1 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/小時)	非交織車流平均速率 S_{NW} (公里/小時)
A	79	85
B	71	76
C	64	68
D	56	60
E	45	45
F	< 45	< 45

資料來源：[2]

方法：

- 先評估“不受限制”、“受限制”
- 再計算交織及非交織車流 S_W 、 S_{NW} 速率

優點：

- 對交織及非交織車流分別評估服務水準，可進一步反映問題來源及服務水準的改善方向

困難之處：

- S_W 、 S_{NW} 資料無法由VD或ETC取得，現場調查困難，難以廣泛蒐集資料並發展模型

二、分析方法

HCM 2022 (2010/2016) 法

容量估算模型

利用密度和需求流率進行估算，並取最小值作為交織路段容量估計值。

1. 當密度達到 43pc/mi/ln 時容量之估算：

$$C_{IWL} = C_{IFL} - [438.2 \times (1 + VR)^{1.6}] + (0.0765 \times L_s) + (119.8 \times N_{IWL})$$

$$C_W = C_{IWL} \times N \times f_{HV} \times f_p \quad (\text{不受限制車流運作})$$

2. 利用需求流率進行容量之估算

$$C_{IW} = \frac{2400}{VR} \quad (N_{IWL} = 2) \quad (\text{受限制車流運作})$$

$$C_W = C_{IW} \times f_{HV} \times f_p$$

車道變換數估算模型

交織路段最小車道變換數：

$$LC_{MIN} = (LC_{RF} \times V_{RF}) + (LC_{FR} \times V_{FR})$$

交織車輛車道變換數：

$$LC_W = LC_{MIN} + 0.39[(L_s - 300)^{0.5} N^2 (1 + ID)^{0.8}]$$

$$I_{NW} = \frac{L_s \times ID \times V_{NW}}{10,000}$$

$$I_{NW} \leq 1,300 \quad LC_{NW} = LC_{NW1}$$

$$I_{NW} \geq 1,950 \quad LC_{NW} = LC_{NW2}$$

$$1,300 < I_{NW} < 1,950 \quad LC_{NW} = LC_{NW3}$$

$$LC_{NW1} \geq LC_{NW2} \quad LC_{NW} = LC_{NW2}$$

非交織車輛車道變換數：

速率估算模型

13

交織車輛平均速度：

$$S_W = 15 + \left(\frac{FFS \times SAF - 15}{1 + W} \right)$$

$$W = 0.226 \left(\frac{L_{CALL}}{L_s} \right)^{0.789}$$

非交織車輛平均速度：

$$S_{NW} = FFS \times SAF - (0.0072 \cdot LC_{MIN}) - \left(0.0048 \frac{V}{N} \right)$$

交織路段空間平均速度：

$$S = \frac{V_W + V_{NW}}{\left(\frac{V}{S_W} \right) + \left(\frac{V}{S_{NW}} \right)}$$

方法：

- 過去“不受限制”、“受限制”模型，改為採用兩條容量計算方法，評估 v/c 是否小於 1.0 (LOS F)
- 計算程序：車道變換數 → 交織速率及非交織速率 S_W 、 S_{NW} → 平均速率 S → LOS 評估

優點：

- 模式適用於各種 Weaving type
- 容易計算

困難之處：

- LC、 S_W 、 S_{NW} 資料無法由VD或ETC取得，現場調查困難

二、分析方法

NCHRP 07-26 法

(2023) Update of Highway Capacity Manual: Merge, Diverge, and Weaving Methodologies

容量估算模型

當密度達到 35pc/mi/ln 時容量之估算：

$$C_w = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4c}}{2}$$

$$b = \frac{W}{B} + \frac{1}{35B} - 2BP$$

$$c = BP^2 - \frac{FFS}{B} - \frac{500W}{B}$$

$$B = \frac{FFS - S_b}{(C_b - BP)^2}$$

$$W = 0.025 \left[\frac{LC_{RF} + 1 \cdot V_{RF} + LC_{FR} + 1 \cdot V_{FR}}{N^3} \right]^{0.156} \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.311}$$

速率估算模型

$$S_o = S_b - 0.025 \times \left(\frac{V_{RF} + V_{FR}}{N_{I-GP}^{1.0}} \right)^{0.156} \times \left(\frac{V}{N_{I-GP}} - 500 \right)^1 \times \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.311} \leq S_b$$

$$S_o = S_b - 0.056 \times \left[\frac{(LC_{RF} + 1)V_{RF} + (LC_{FR} + 1)V_{FR}}{N_{I-GP}^{1.0}} \right]^{0.300} \times \left(\frac{V}{N_{I-GP}} - 500 \right)^1 \times \left(\frac{1}{L_s} \right)^{0.400} \leq S_b$$

方法：

- 更新 HCM 2022 之容量及速率估算模型
- 建議將臨界密度(Density at capacity) 由 43 pc/mi/ln 下調至 35 pc/mi/ln
- 需要依賴基本路段的容量及速率估算模式
- 直接估算平均速率 S

優點：

- 模式適用於各種 Weaving type
- 不估算車道變換數
- 不估算交織車流及非交織車流車速 S_W 、 S_{NW}
- 用 VD 和 ETC 資料可滿足資料校估需求

困難之處：

- 如交織/非交織之車流運作、或主線(內側)及交織車道(外側)之車流運作有顯著落差，平均值會無法反映現況

參、現場調查及車流特性分析

現場調查

現場調查方案

- 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。



交織路段長度900公尺以內：
一台無人機



交織路段長度900-1700公尺：
兩台無人機、畫面拼接



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3南下	烏日~中投	630	04/29(六)	09:50~11:40	09:03~12:30	121分
國1北上	內壢~中壢服務區	1,300	06/20(二)	16:30~17:40	15:53~18:29	北:137分 南:101分
國1北上	豐原~台中系統	1,360	06/25(日)	13:30~17:30	14:39~18:16	北:136分 南:150分
國3北上	新竹系統~寶山	870	09/05(二)	07:10~08:35	07:45~09:29	北:90分 南:78分

車流特性分析 (1)

交織行為發生於穿越虛線段，確認交織車道長度之定義及計算方式

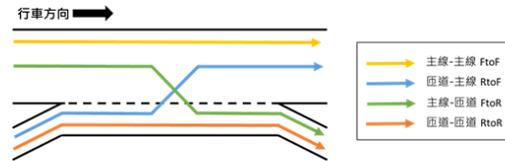


車流特性分析

軌跡資料的主要優勢：

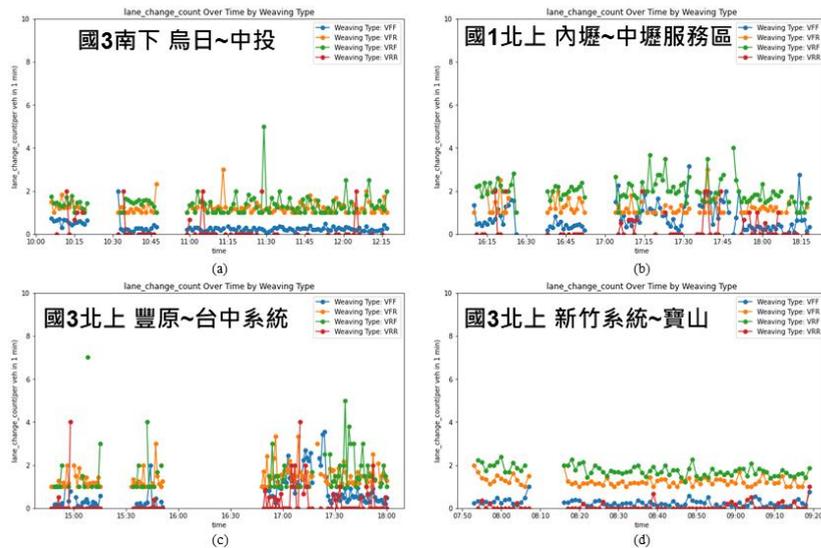
- 能追蹤四股交織車流軌跡，並計算其速度及車道變換次數
- 蒐集旅次路徑

- V_{FF} ：主線->主線
- V_{RF} ：匝道->主線
- V_{FR} ：主線->匝道
- V_{RR} ：匝道->匝道



車流特性分析(2)

不同交織類型車道變換頻次



車流特性分析(2) 不同交織類型車道變換頻次

地點\交織類型 平均變換車道頻次	主線到主線 V_{FF}	匝道到主線 V_{RF}	主線到匝道 V_{FR}	匝道到匝道 V_{RR}
國3南下 烏日~中投	0.28	1.38	1.22	0.21
國1北上 內壢~中壢服務區、	0.58	1.97	1.22	0.28
國3北上 豐原~台中系統	0.62	1.63	1.42	0.19
國3北上 新竹系統~寶山	0.24	1.73	1.24	0.08

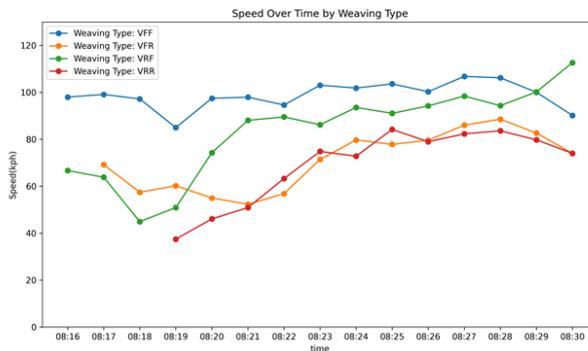
- 主線到主線 V_{FF} 、匝道到匝道 V_{RR} 之最少車道變換頻次 = 0
- 匝道到主線 V_{RF} 、主線到匝道 V_{FR} 之最少車道變換頻次 = 1
- 匝道到主線 V_{RF} 較 主線到匝道 V_{FR} 之車道變換頻次為高
- 主線到主線 V_{FF} 之車道變換與交織車道長度為正相關，同時受到主線車流狀況所影響
- 匝道到匝道 V_{RR} 之車道變換數值偏大，可能由於輔助車道的影像辨析結果受到較大干擾，且 V_{RR} 流率不高，導致個別極端誤差對平均值之影響被放大



車流特性分析(3)

四股車流之車速

國3 北上 新竹系統~寶山交流道各交織類型 V-T 圖



*8:16-8:18 缺少部分資料點，因該時間內沒有符合該交織類型樣本

- 運用現場空拍及影像分析，追蹤每一輛車之 OD：FF、FR、RF、RR，並計算車輛於交織路段之平均車速（交織區鼻端之間，即短虛線範圍）
- 紀錄車輛離開交織區的時間點，整理為1分鐘1筆資料。
- 可看出四股車流之平均車速並不相同：
 - 交織車流（FF、RR）有明顯差異
 - 非交織車流（RF、FR）有明顯差異



車輛偵測器之車種分類議題 (4)

車輛偵測器之車種分類與對應之小客車當量 (PCE)

- 在進行容量及服務水準分析時，資料來源大多採用車輛偵測器VD資料
- 將各車種車輛數乘以對應小客車當量 (PCE) 轉換為小車
- VD對車種分類定義：小型車 (0-5.5 公尺)、大型車 (5.5-12.2 公尺)、聯結車 (>12.2 公尺)。
- 根據「即時路況資料標準2.1」VD 與 ETC 資料分類對應

車種(VD)	1.1 版代碼 (VD)	車種(eTag)	EPC ID 代碼 (eTag)(註)	車種(eTag)	高公局遠通代碼(eTag)
機車	M	機車	2		
小型車	S	小型車	3	小客車	31
				小貨車	32
大型車	L	大客貨車	4	大客車	41
				大貨車	42
聯結車	T	聯結車	5	聯結車	5



車輛偵測器之車種分類議題

VD 資料與 ETC 資料比對

- 與ETC資料來源的比對，發現VD 資料之大型車比例有高估情況

國3 北上中投~烏日 11:00~12:00

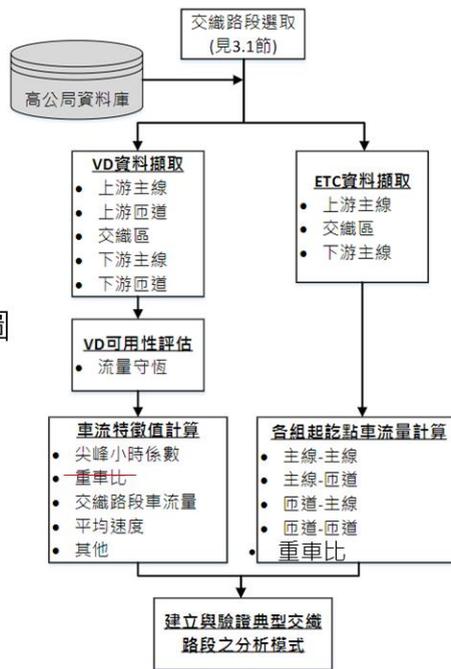
VD 車種	VD 車輛數	VD 百分比	ETC 車種	ETC 車輛數	ETC 百分比
小型車	2234	57%	小客車	3309	82%
			小貨車	708	17%
大型車	1671	43%	大客車	15	0%
			大貨車	10	0%
聯結車	15	0%	聯結車	4	0%
Total	3920	100%	Total	4046	100%

國1 北上內湖~東湖 11:00~12:00

VD 車種	VD 車輛數	VD 百分比	ETC 車種	ETC 車輛數	ETC 百分比
小型車	1898	55%	小客車	2106	55%
			小貨車	952	25%
大型車	1025	29%	大客車	60	2%
			大貨車	301	8%
聯結車	574	16%	聯結車	438	11%
Total	3588	100%	Total	3857	100%

肆、典型交織路段之分析模式

偵測器資料整理分析架構圖



速率模型

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)	5分鐘資料點數量
國1北上 內壢 ~ 中壢服務區	4	100	105	104.71	1226
國1北上 內湖 ~ 東湖	3	100	105	93.24	872
國3南下 新台五路 ~ 南港	4	90	100	95.02	732
國3南下 烏日 ~ 中投	4	110	115	113.46	1150
國3北上 中投 ~ 烏日	4	110	115	119.32	1276
國3北上 南港 ~ 新台五路	4	90	100	98.77	1093



速率模型建立

參考 NCHRP 07-26 之模型架構

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

交織車道長度

相同條件下
基本路段之平均速率

交織流率

交織路段流率

其中	S_o	交織路段車輛平均速度(mph)
	S_b	對等基本路段空間平均速率
	FFS	自由流速率
	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_i	交織路段車道數(主線車道+輔助車道)
	L_S	交織路段長度(ft)
	$\frac{V}{N_i}$	交織路段平均車道流率(pc/h/ln)
	$\alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$	參數

速率模型建立

參考 NCHRP 07-26 之模型架構

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

期末簡報補充
模型校估結果

以FFS 取代之 S_b 模型之模型

$$S_o = \text{FFS} - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l^\varepsilon} \right)^{\gamma} \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^{\eta} \left(\frac{1}{L_S} \right)^{\delta}$$

期末報告書初稿
模型校估結果

速率模型建立

速率模型校估資料特性

交織區	車道數	速限 (kph)	FFS 建議值 (kph)	FFS 偵測器估算 (kph)	5分鐘資料點 數量
國1北上 內壢 ~ 中壢服務區	4	100	105	104.71	1226
國1北上 內湖 ~ 東湖	3	100	105	93.24	872
國3南下 新台五路 ~ 南港	4	90	100	95.02	732
國3南下 烏日 ~ 中投	4	110	115	113.46	1150
國3北上 中投 ~ 烏日	4	110	115	119.32	1276
國3北上 南港 ~ 新台五路	4	90	100	98.77	1093

FFS 估算方法：

擷取上午 6 點至下午 6 點、總流率低於 800 車輛 / 小時的資料，
採計內側二車道的車速並以流率加權平均作為平均自由車流速率。



速率模型建立

校估結果

$$S_o = FFS - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l \epsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_S} \right)^\delta$$

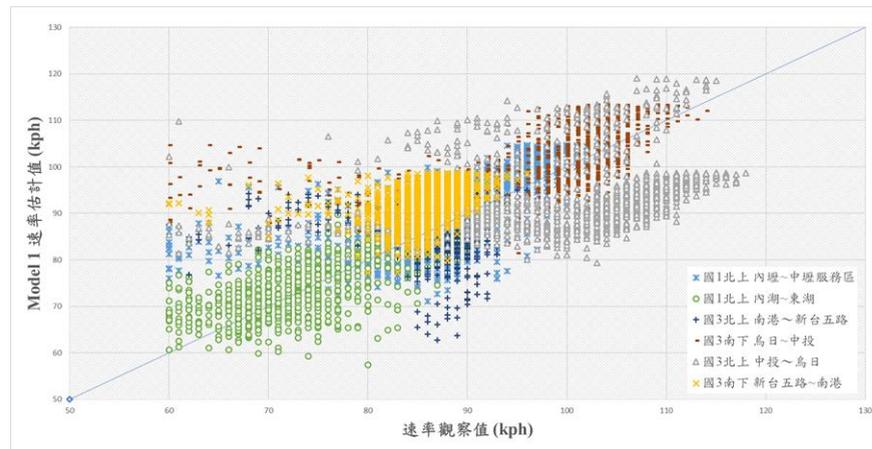
參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 1	0.472	0.622	1.044	0.324	1	8.667
Model 2	1.340	0.311	0.732	3	1	8.815
Model 3	0.356	0.640	1.06	0	1	8.672
Model 4	0.894	0.972	0.838	0	0.255	8.148



速率模型校估結果

$$\text{Model 1 : } S_o = FFS - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_l \epsilon} \right)^\gamma \left(\frac{V}{N_l} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_S} \right)^\delta$$

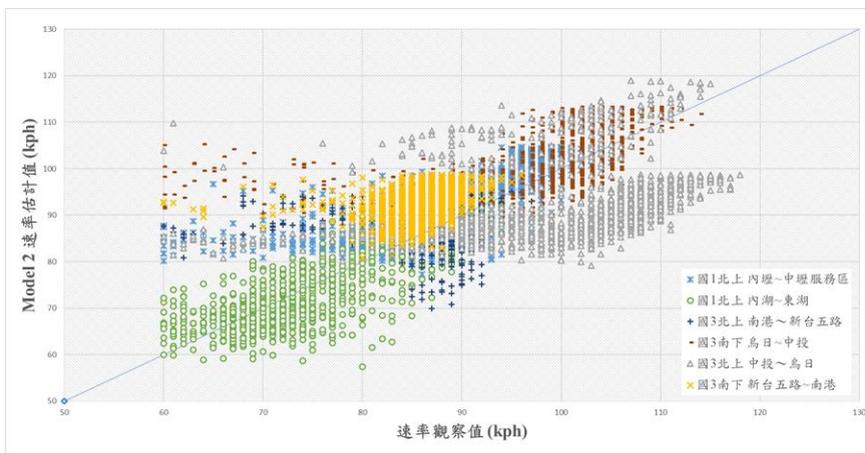
參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 1	0.472	0.622	1.044	0.324	1	8.667



速率模型校估結果

$$\text{Model 2 : } S_o = FFS - \alpha \left(\frac{v_{RF} + v_{FR}}{N_i \epsilon} \right)^\gamma \left(\frac{v}{N_i} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$$

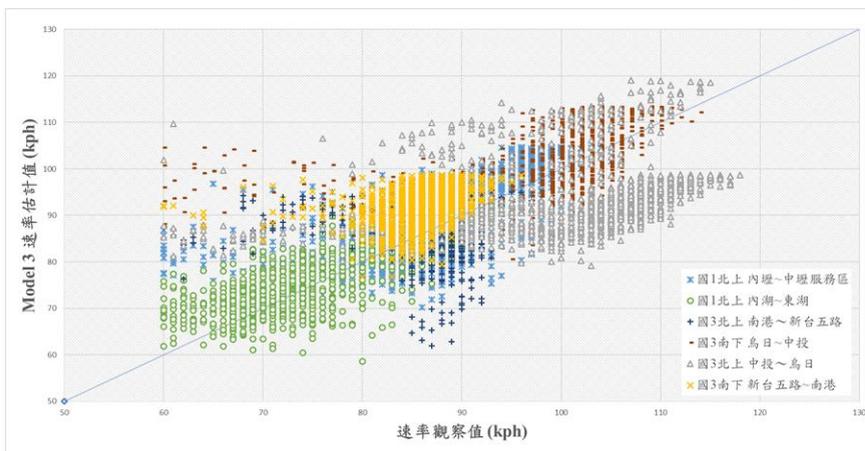
參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 2	1.340	0.311	0.732	3	1	8.815



速率模型校估結果

$$\text{Model 3 : } S_o = FFS - \alpha (v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_i} - 500 \right)^1 \left(\frac{1}{L_s} \right)^\delta$$

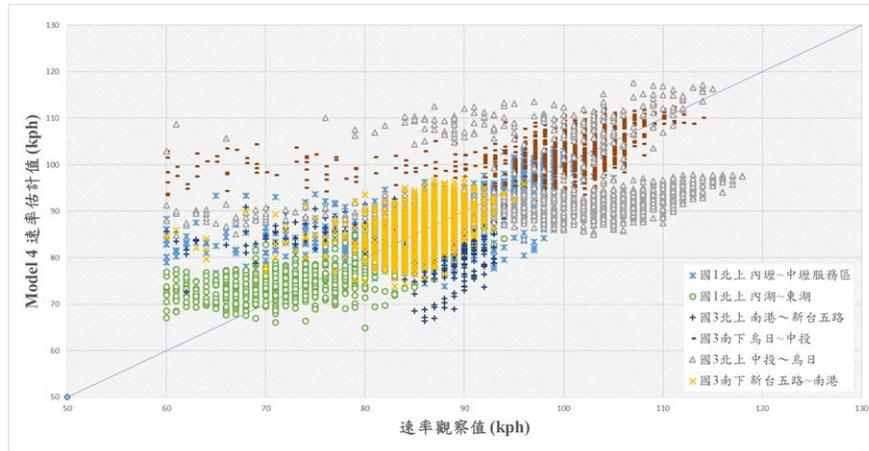
參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 3	0.356	0.640	1.06	0	1	8.672



速率模型校估結果

$$\text{Model 4 : } S_o = FFS - \alpha(v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_i} - 500\right)^\zeta \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta$$

參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 4	0.894	0.972	0.838	0	0.255	8.148

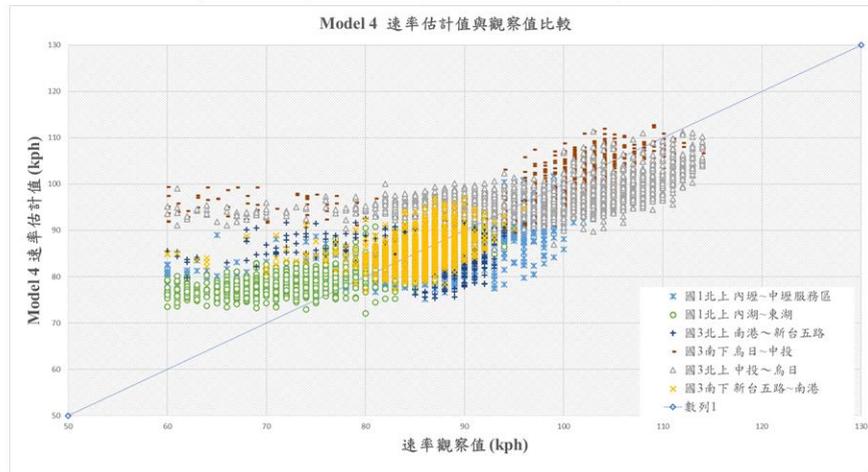


嘗試用THCM 之基本路段模型帶入 S_b

Model 4

$$S_o = S_b - \alpha(v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_i} - 500\right)^\zeta \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta$$

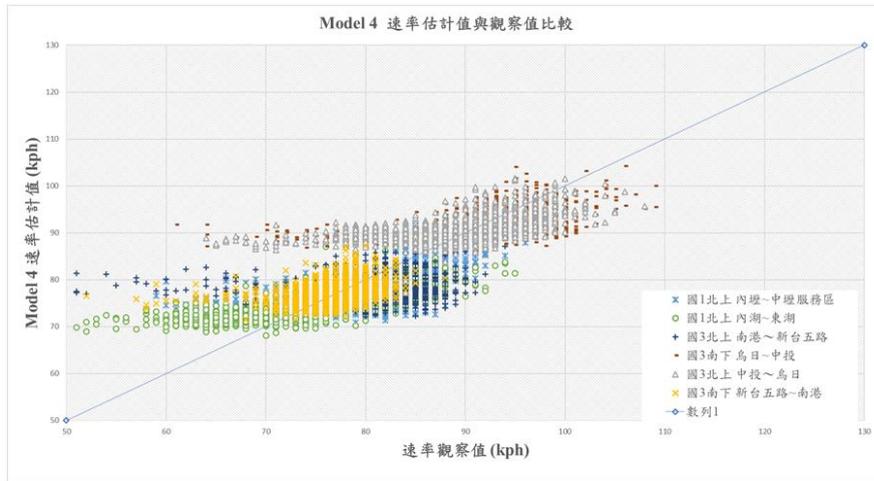
參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 4	4.083	0.289	0.351	無	0.275	6.998



Model 4

$$S_o = S_b - \alpha(v_{RF} + v_{FR})^\gamma \left(\frac{v}{N_l} - 500\right)^\zeta \left(\frac{1}{L_S}\right)^\delta$$

參數	α	γ	δ	ϵ	ζ	RMSE(kph)
Model 4	9.286	0.121	0.077	0	0.094	5.662



容量模型

- 比較兩個方法之初步分析結果
 - Curve fitting : 採 Van Aerde 模型
 - 隨機容量 : 採最大崩潰前流率(max pre-breakdown flow, max PBF) · 當中Pre-breakdown點篩選條件:
 1. 該筆資料速率較上一筆資料速率低
 2. 該筆資料前五分鐘與後五分鐘之平均差異至少8km/hr
 3. 該筆資料5分鐘後之速率不大於此筆資料之速率

容量校估-國1北上內湖~東湖

Van Aerde 模型

$$k = \frac{1}{C_1 + C_3 V + C_2 / (V_f - V)}$$

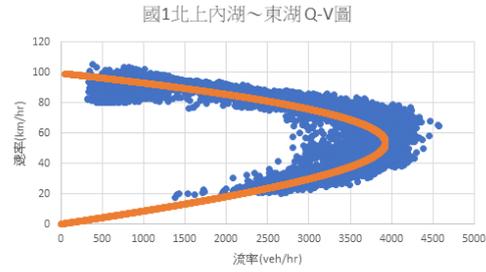
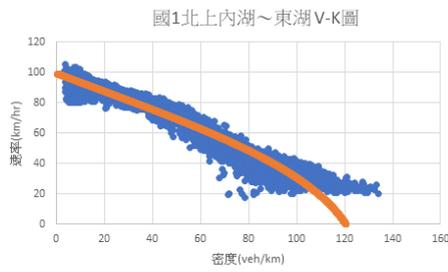
$$C_1 = \frac{V_f}{k_j V_m^2} (2V_m - V_f)^2$$

$$C_2 = \frac{V_f}{k_j V_m^2} (V_f - V_m)^2$$

$$C_3 = \frac{1}{q_m} - \frac{V_f}{k_j V_m^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)^2}{n}}$$

$V_f =$	99.72(km/hr)
$k_j =$	122.6(veh/km)
$V_m =$	53.5(km/hr)
$q_m =$	3920.77(veh/hr)
RMSE =	7.36



容量校估-國1北上內湖~東湖(06/07)



容量校估-國1北上內湖~東湖(06/07)

41

國1北上內湖~東湖車流崩潰點之各車道、全斷面速率及流率

日期	速率(km/hr)				流率(pc/hr)			
	內側車道	外側車道	輔助車道	車道平均	內側車道	外側車道	輔助車道	車道平均
06/05	76.6	71.2	64.2	70.3	1620	1284	1080	1328
06/06	82.6	72.8	61.6	72.3	1620	1224	1176	1340
06/07	76.6	70	69.2	71.9	1716	1464	1056	1412
06/09	69.4	64.8	69.4	67.9	1560	1380	804	1248
06/15	78.6	69.4	64.6	70.8	1584	1116	876	1192
06/20	64.8	63.4	56.5	61.6	1608	1308	972	1296



42

伍、結論及建議

結論

1. 車流特性分析

- 透過無人機現場調查及車流軌跡追蹤，確認四股車流（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，主線到匝道車流、匝道到主線車流對於交織路段運作的影響程度亦可能有所不同。



結論

2. 偵測器資料處理

- 確立結合 VD 資料和 ETC M06A資料的分析流程

	VD 資料	ETC M06A 資料
提供資訊	<ul style="list-style-type: none"> • 速率 • 流率 	<ul style="list-style-type: none"> • 四股車流（主線到主線、主線到匝道、匝道到主線、匝道到匝道）之車流量 • 輔助計算綜合小車當量
使用限制	大型車種比例有高估，無法精確估算綜合小車當量	<ul style="list-style-type: none"> • 無法提供速率資料 • 分析地點不一定有合適之ETC門架



結論

3. 典型交織路段之分析方法

- **速率模型**：主要影響因素為自由車流速率、交織車流率、平均車道流率、交織路段長度，已發展初步模型。
- **容量分析**：採用曲線擬合法 (Curve-fitting) 及最大崩潰前流率 (Max Pre-Breakdown Flow, Max PBF) 來估算交織路段容量值，惟符合分析條件的地點數相當有限，目前僅針對其中兩個地點進行探討並計算其容量值，尚未能發展出完整之容量估算方式。
- **基本路段模型**：分析過程中需要運用基本路段，需進一步確認其特性。



建議

1. 交織路段分析方法

- 已針對『**典型交織路段**』發展分析方法，未來將針對『**非典型交織路段**』，進一步將較複雜的交織型態因素納入估算模型之參變數

2. 容量值估算方法

- 臺灣公路容量手冊未定義容量估算之標準方法
- 專家學者座談會當中，學術界表示認同可嘗試不同的估算方式 (e.g. 隨機容量)，未來多選取不同地點及日期的資料，進行更完整的分析



建議

3. 容量模型及速率模型

- 依賴基本路段之容量值及速率模型 (VR = 0 -> 基本路段)
- 需進一步探討THCM 基本路段模型之特性及估算方法

4. 服務水準評估指標

- 平均值無法充分反映交織及非交織車流情況，建議除了『**車道平均**』外，進一步探討外側『**交織車道**』之服務水準評估方式



簡報結束，感謝指教